



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



**TAZE HALDE SOĞUK HAVA ETKİSİNE MARUZ LİFLİ BETONLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan TUNÇ

TEMMUZ 2019

GÜMÜŞHANE

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

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TAZE HALDE SOĞUK HAVA ETKİSİNE MARUZ LİFLİ BETONLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan TUNÇ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”

Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.05.2019

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 28.06.2019

TEMMUZ 2019



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Mustafa ÇULLU danışmanlığında **Hasan TUNÇ** tarafından hazırlanan **“TAZE HALDE SOĞUK HAVA ETKİSİNE MARUZ LİFLİ BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ”** 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 : Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN

Üye(Danışman) : Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

Üye : Doç. Dr. Özlem ÇAVDAR

ONAY

Bu tez 07.08.2019 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Taze Halde Soğuk Hava Etkisine Maruz Lifli Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”** 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.

30/05/2019



Hasan TUNÇ

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAZE HALDE SOĞUK HAVA ETKİSİNE MARUZ LİFLİ BETONLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hasan TUNÇ

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Mustafa ÇULLU

2019, 135 sayfa

Geleneksel beton, tipik olarak yorulma, kaviteasyon,(boşluk, oyuk, çukur), aşınma, çarpma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından zayıftır. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde, beton içine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu betonun zayıf özellikleri iyileştirilerek beton güçlendirilmiştir. Verimli ve doğru sonuçlar elde edebilmek için beton tasarımının önemli olduğu kadar, beton döküm koşullarında bir o kadar önem taşımaktadır. Beton dökümü sırasında; ortalama sıcaklığın art arda üç gün süre ile +5°C'un altına düşmesi TS 1248 standardında soğuk hava olarak tanımlanmıştır.

Birbirini izleyen 3 günden uzun bir süre içinde; günlük ortalama hava sıcaklığı 5 °C'den az ise veya 24 saatlik bir sürenin yarısından daha fazla bir sürede sıcaklık 10 °C'nin

üzerine çıkmıyor ise, bu koşullar da yine soğuk hava koşulları olarak tanımlanmaktadır (ACI 306, 1997). Taze betonun döküldüğü ortamın sıcaklığı düşünce priz süresi uzar, hidrasyon yavaşlar ve dayanım kazanma hızı azalır, buna bağlı olarak da kalıp alma süresi de gecikir. Taze betonun ve içindeki suyun donmasıyla birlikte hidrasyon da durur. Don etkisine uğrayan beton çözülünce hidrasyon yeniden başlayabilir, ancak çimento hamuru-agrega ve çimento hamuru-donatı ara yüzeylerinde aderans büyük ölçüde azalır. Bu durum ise beton dayanımında düşüşe yol açar. Bu sebeplerden dolayı;

Bu çalışmada; taze halde soğuk hava etkisinde üretilen lifli betonların mekanik özelliklerindeki, değişim incelenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, çelik ve polipropilen lifler eklenerek üretilen betonlar taze halde 0°C, -5°C ve -10°C derecelerde soğuk havaya maruz bırakılmıştır. Soğuk hava etkisi ile mekanik özelliklerdeki değişimi kıyaslamak amacıyla laboratuvar şartlarında çelik ve polipropilen lifli örnekler üretilmiştir. Lif özelliklerinin mekanik özelliklere katkısını görmek amacıyla çelik ve polipropilen lifler, farklı uzunluklarda ve farklı oranlarda kullanılmıştır. Üretilen örnekler üzerinde eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve enerji yutma kapasiteleri (tokluk) belirlenmiştir. Üretilen lifli betonlarda normal şartlar ve soğuk hava şartlarının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Sonuç olarak, betonun maruz kaldığı sıcaklık değerinin değişimi ile mekanik özelliklere olumsuz etkisinin olduğu belirlenmiştir. Betonda kullanılan lif katkısının, mekanik özelliklere olumlu etki yaptığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, Çelik Lif, Polipropilen lif, Soğuk havada beton.

ABSTRACT
MS THESIS

**INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF FIBER CONCRETE
EXPOSED COLD WEATHER TO FRESH**

Hasan TUNÇ

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÇULLU

2019, 135 pages

Traditional concrete is typically poor in fatigue, cavitation, (cavity, hollow, pit), wear, impact strength, post-cracking load bearing strength and toughness. Where these properties of concrete are clearly required, the concrete is reinforced by improving the weak properties of the concrete as a result of the addition of high-quality fibers made of different materials into the concrete. In order to achieve efficient and accurate results, concrete design is important as well as it is important in concrete casting conditions. During the pouring of concrete; the average temperature falls below + 5°C for three consecutive days is defined as cold air in TS 1248 standard (TS 1248). Over 3 consecutive days; if the daily average air temperature is less than 5 °C or the temperature does not exceed 10 °C for more than half of a 24 hour period, these conditions are also defined as

cold weather conditions (ACI 306, 1997). When the fresh concrete is poured, the temperature of the environment increases the time, the hydration slows down and the rate of gain decreases, and the mold take time is delayed. Hydration stops with the freezing of the fresh concrete and the water in it. When the concrete under the influence of the frost is dissolved, hydration can be resumed, but the adherence is greatly reduced at the cement-pulp-aggregate and cement-pulp-reinforcement interfaces. This leads to a decrease in concrete strength. Because of these reasons;

In this study; the aim of this course is to investigate the change in mechanical properties of fibrous concretes produced under the influence of cold weather. For this purpose, the concrete produced by adding steel and polypropylene fibers will be exposed to fresh frost at 0°C, -5°C and -10°C. In order to compare the change in mechanical properties with the effect of cold air, fiber and fiber samples will be produced in laboratory conditions. Steel and Polypropylene fibers will be used in different lengths and in different ratios in order to see the contribution of fiber properties to mechanical properties. Bending strength, compressive strength and energy absorption capacity (toughness) will be determined on the samples produced. The mechanical properties of the non-fiber reference concrete and the fibrous concrete produced will be investigated and the changes will be determined.

As a result, it has been determined that the temperature value of concrete is negatively affected by the change of the temperature value. The fiber additive used in concrete has a positive effect on the mechanical properties.

Keywords: Concrete, Steel fiber, Polypropylene fiber, Cold weather concrete

TEŞEKKÜR

“Soğuk Hava Etkisi Altındaki Lif Katkılı Betonların Mekanik Özellikleri” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım süresince bana zaman ayıran, tezin planlanması, araştırılması ve yürütülmesinde geçen her aşamada değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, iyi niyetini, güler yüzünü ve hoşgörüsünü daima hissettiren kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Mustafa ÇULLU’ya sonsuz şükran ve saygılarımı sunarım.

Maddi manevi tüm desteğiyle bu günlere gelmemde büyük katkısı bulunan babam Bayram TUNÇ’ a, annem Ayşe TUNÇ’ a, kardeşlerim Nida TUNÇ ve Nilgün BEKAR’ a, gerek çalışmalarına yaptığı katkılarıyla gerekse manevi destekleriyle birçok çalışmama ilham kaynağı olan ve varlıkları ile hayatıma değer katan kıymetli eşim Edanur TUNÇ ve oğlum Yiğit Bayram TUNÇ’ a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Eğitim-öğretim hayatımın tümünde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, mühendislik çalışmalarını ve çalışma azmini örnek aldığım Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Kontrol Şefi Zeki BAYRAKTAR’ a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında iş hayatımı, akademik kariyerle birleştirmeme fırsat sunan Rize DSİ 224.Şube Müdürlüğü; Şube müdürü Sinan YILDIZ ’a, Proje İnşaat Başmühendisi Rıdvan Kayhan Kadir SAKA’ ya ve Plan Etüt Başmühendisi Hamit ÖZTÜRK’ e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında desteğini esirgemeyen Tacettin BAYRAKTAR, Murat YILMAZ, Göktuğ Alper GENÇ, Gürkan GÜNDÜZ ve Erdi ŞENSOY’ a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı birlikte aştığımız çetin yolların anısına arkadaşım Şehit Piyade Onbaşı Ali Yasin EROSMANOĞLU ve tüm aziz şehitlerimize ithaf ediyorum.

Hasan TUNÇ
Gümüşhane, 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
İÇİNDEKİLER	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XIX
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Soğuk Hava Koşullarında Beton Dökümü İle İlgili Genel Bilgiler	2
1.2.1. Soğuk Hava Koşullarının Taze Betona Etkileri	4
1.2.2. Taze Halde Soğuk Hava Etkisi Altında Kalmış Sertleşmiş Betonun Özellikleri	6
1.3. Lifler Hakkında Genel Bilgiler	9
1.3.1. Doğal Olarak Elde Edilen Lifler	10
1.3.2. Metalik Lifler	10
1.3.3. Polimerik Lifler	12
1.4. Lifli Betonlar	13
1.4.1. Lifli Beton Türleri	13
1.4.2. Lifin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri	15
1.4.3. Lif Katkılı Betonun Kırılma Mekanizması	21
1.5. Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı	22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	23
2.1. Malzeme	23

2.1.1.	Agrega.....	23
2.1.2.	Çimento.....	23
2.1.3.	Karışım Ve Kür Suyu.....	24
2.1.4.	Uçucu Kül	24
2.1.5.	Çelik Lif.....	25
2.1.6.	Polipropilen Lif	26
2.1.7.	Akışkanlaştırıcı Katkı Malzemesi.....	27
2.2.	Yöntem.....	28
2.2.1.	Beton Örneklerin Hazırlanması	28
2.2.2.	Basınç Dayanımının Tayini	33
2.2.3.	Eğilme dayanımının Tayini.....	33
2.2.4.	Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk) Tayini.....	34
2.2.5.	Elastisite Modülünün Tayini	35
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	36
3.1.1.	Basınç Dayanımı	36
3.1.2.	Eğilme Dayanımı	54
3.1.3.	Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk)	81
3.1.4.	Elastisite Modülü	107
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER	126
5.	KAYNAKLAR	131
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çelik liflerin Şekilleri	12
Şekil 1.2. Lif oranının Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisine Etkisi (Bentur and Mindess, 1990).	16
Şekil 1.3. Çimento Esaslı Malzemelerde Çekme Dayanımı- Şekil Değiştirme İlişkisi(Taşdemir ve Bayramov, 2002)	17
Şekil 1.4. Lif Katkılı Betonda Eğilmede Yük - Deplasman Eğrisi (ACI 544.4R-88, 1999).	18
Şekil 1.5. Tokluk İndekslerinin Hesaplanması İçin Çizilmiş Gerilme - Deformasyon Eğrisi (TS10515, 1992).	20
Şekil 1.6. Lifli ve lifsiz betonlarda kırılma mekaniği (Uğurlu, 1994).	21
Şekil 2.1. Kireçtaşı agregası	23
Şekil 2.2. Afşin-Elbistan Termik santralinden temin edilen uçucu kül.....	24
Şekil 2.3. Betonda kullanılan kısa ve uzun çelik lifler	26
Şekil 2.4. Betonda kullanılan kısa ve uzun polipropilen lifler	27
Şekil 2.5. Lifli beton yapım aşamaları.....	30
Şekil 2.6. Beton basınç deneyi	33
Şekil 2.7. Eğilme basınç deneyi	34
Şekil 3.1. A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı	38
Şekil 3.2. B oranlı çelik .. lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı	38
Şekil 3.3. C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı	39
Şekil 3.4. A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı	40
Şekil 3.5. B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı	41

Şekil 3.6. C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı	41
Şekil 3.7. A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı	43
Şekil 3.8. B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı	43
Şekil 3.9. C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı	44
Şekil 3.10. A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı	47
Şekil 3.11. B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı değeri	47
Şekil 3.12. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı değeri	48
Şekil 3.13. A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı	49
Şekil 3.14. B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı	50
Şekil 3.15. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı	50
Şekil 3.16. A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı	52
Şekil 3.17. B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı	52
Şekil 3.18. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı	53
Şekil 3.19. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	56
Şekil 3.20. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	56
Şekil 3.21. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	57
Şekil 3.22. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	57

Şekil 3.23. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	58
Şekil 3.24. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	58
Şekil 3.25. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	60
Şekil 3.26. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	60
Şekil 3.27. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	61
Şekil 3.28. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	61
Şekil 3.29. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	62
Şekil 3.30. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	62
Şekil 3.31. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	64
Şekil 3.32. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	64
Şekil 3.33. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	65
Şekil 3.34. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	65
Şekil 3.35. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	66
Şekil 3.36. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	66
Şekil 3.37. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	69
Şekil 3.38. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	69
Şekil 3.39. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	70

Şekil 3.40. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	70
Şekil 3.41. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	71
Şekil 3.42. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	71
Şekil 3.43. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	73
Şekil 3.44. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	73
Şekil 3.45. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	74
Şekil 3.46. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	74
Şekil 3.47. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	75
Şekil 3.48. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	75
Şekil 3.49. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	77
Şekil 3.50. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	77
Şekil 3.51. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	78
Şekil 3.52. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	78
Şekil 3.53. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	79
Şekil 3.54. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri	79
Şekil 3.55. A oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	83
Şekil 3.56. B oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	83

Şekil 3.57. C oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	84
Şekil 3.58. A oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	84
Şekil 3.59. B oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	85
Şekil 3.60. C oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	85
Şekil 3.61. A oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	87
Şekil 3.62. B oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	87
Şekil 3.63. C oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	88
Şekil 3.64. A oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	88
Şekil 3.65. B oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	89
Şekil 3.66. C oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	89
Şekil 3.67. A oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	91
Şekil 3.68. B oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	91
Şekil 3.69. C oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	92
Şekil 3.70. A oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	92
Şekil 3.71. B oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	93
Şekil 3.72. C oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	93
Şekil 3.73. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri	96

Şekil 3.74. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	96
Şekil 3.75. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	97
Şekil 3.76. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	97
Şekil 3.77. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	98
Şekil 3.78. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	98
Şekil 3.79. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	100
Şekil 3.80. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	100
Şekil 3.81. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	101
Şekil 3.82. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	101
Şekil 3.83. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	102
Şekil 3.84. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	102
Şekil 3.85. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	104
Şekil 3.86. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	104
Şekil 3.87. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	105
Şekil 3.88. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	105
Şekil 3.89. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	106
Şekil 3.90. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri.....	106

Şekil 3.91.	A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	110
Şekil 3.92.	B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	110
Şekil 3.93.	C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	111
Şekil 3.94.	A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	112
Şekil 3.95.	B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	113
Şekil 3.96.	C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	113
Şekil 3.97.	A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	115
Şekil 3.98.	B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	115
Şekil 3.99.	C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	116
Şekil 3.100.	A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	119
Şekil 3.101.	B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	119
Şekil 3.102.	C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	120
Şekil 3.103.	A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	121
Şekil 3.104.	B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	122
Şekil 3.105.	C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	122
Şekil 3.106.	A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	124
Şekil 3.107.	B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	124

Şekil 3.108. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri.....	125
---	-----

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Don etkisinin taze betonda tahribata sebebiyet vermemesi için gerekli beton yaşı (Erdoğan, 2007)	5
Tablo 1.2. K karışımına ait basınç dayanımları (Karagöl, 2013)	8
Tablo 1.3. Farklı türdeki liflere ait fiziksel özellikler (Biber, 2001)	10
Tablo 1.4. Bazı metalik liflere ait özellikler (Chawla, 1998)	11
Tablo 1.5. Bazı metalik liflere ait özellikler (Chawla, 1998)	13
Tablo 1.6. Lifli betonun avantajları	15
Tablo 2.1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	24
Tablo 2.2. Uçucu kül özellikleri	25
Tablo 2.3. Lif özellikleri	26
Tablo 2.4. Lif Özellikleri	27
Tablo 2.5. Normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi teknik özellikleri	28
Tablo 2.6. 1 m ³ karışım için malzeme miktarları	29
Tablo 2.7. Beton türleri	31
Tablo 3.1. Çelik lif takviyeli beton numunelerin ortalama basınç dayanımları ...	36
Tablo 3.2. Polipropilen lif takviyeli beton numunelerin ortalama basınç dayanımları	45
Tablo 3.3. Çelik lif takviyeli beton numunelerin ortalama eğilme dayanımları...	54
Tablo 3.4. Polipropilen lif takviyeli beton numunelerin ortalama eğilme dayanımları	67
Tablo 3.5. Çelik lif takviyeli beton numunelerin enerji yutma kapasiteleri	81
Tablo 3.6. Polipropilen lif takviyeli beton numunelerin enerji yutma kapasiteleri	94
Tablo 3.7. Çelik lif takviyeli beton numunelerin ortalama elastisite modülü değerleri	108
Tablo 3.8. Polipropilen lif takviyeli beton numunelerin ortalama elastisite modülü değerleri	117

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

NÇKA	: Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
NÇKB	: Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
NÇKC	: Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
NÇUA	: Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
NÇUB	: Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
NÇUC	: Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
0ÇKA	: 0 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
0ÇKB	: 0 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
0ÇKC	: 0 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
0ÇUA	: 0 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
0ÇUB	: 0 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
0ÇUC	: 0 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
5ÇKA	: -5 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
5ÇKB	: -5 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
5ÇKC	: -5 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
5ÇUA	: -5 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
5ÇUB	: -5 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
5ÇUC	: -5 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri

- 10ÇKA : -10 °C' de üretilen, çelik lifli kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
- 10ÇKB : -10 °C' de üretilen, çelik lifli kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- 10ÇKC : -10 °C' de üretilen, çelik lifli kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
- 10ÇUA : -10 °C' de üretilen, çelik lifli uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
- 10ÇUB : -10 °C' de üretilen, çelik lifli uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- 10ÇUC : -10 °C' de üretilen, çelik lifli uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
- NPPKA : Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifli kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
- NPPKB : Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifli kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- NPPKC : Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifli kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
- NPPUA : Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifli uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
- NPPUB : Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifli uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- NPPUC : Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifli uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
- 0PPKA : 0 °C' de üretilen, polipropilen lifli kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
- 0PPKB : 0 °C' de üretilen, polipropilen lifli kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- 0PPKC : 0 °C' de üretilen, polipropilen lifli kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
- 0PPUA : 0 °C' de üretilen, polipropilen lifli uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- 0PPUB : 0 °C' de üretilen, polipropilen lifli uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- 0PPUC : 0 °C' de üretilen, polipropilen lifli uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
- 5PPKA : -5 °C' de üretilen, polipropilen lifli kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
- 5PPKB : -5 °C' de üretilen, polipropilen lifli kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- 5PPKC : -5 °C' de üretilen, polipropilen lifli kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
- 5PPUA : -5 °C' de üretilen, polipropilen lifli uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri

- 5PPUB : -5 °C’ de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- 5PPUC : -5 °C’ de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
- 10PPKA : -10 °C’ de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
- 10PPKB : -10 °C’ de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- 10PPKC : -10 °C’ de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
- 10PPUA : -10 °C’ de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
- 10PPUB : -10 °C’ de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
- 10PPUC : -10 °C’ de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton ilk kullanılmasından, bugüne kadar hala tercih edilen ve kullanım alanı giderek yaygınlaşan yapı malzemesidir. Betonun tercih edilmesinin en büyük nedeni ise fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, ekonomik ve kolay üretilmesidir (Şimşek, 1997).

Betonun çekme dayanımı dışındaki mekanik özellikleri oldukça iyidir. Betonun çekme zorlanmalarına karşı dayanım, beton içerisindeki çelik donatıların kullanılması ile iyileştirilir. Betonarme donatısı, çekme mukavemetini arttırmak dışında başka görevler de üstlenir. Bunlar; eğilme dayanımı, darbe dayanımı, kesme ve kayma dayanımının artırılması, burulma momentlerinin karşılanması, betonarmede sünekliğin sağlanması, enerji yutma kapasitesinin artırılması ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi olarak sıralanabilir. Beton ile çeliğin bir arada kullanılması ile ortaya çıkan betonarme malzeme; ısı genleşme katsayıları birbirine çok yakın ve uyumlu bu iki malzemenin bir araya gelmesi ve hatasız yapıldığında içindeki beton ve çeliğin olumsuzluklarını da bertaraf etmesi sebebiyle inşaatlarda en çok tercih edilen malzeme haline gelmiştir (Yıldırım, 2002).

1900'lü yılların ikinci yarısından itibaren beton teknolojisinde büyük gelişmeler yaşanmıştır. Sanayileşmeyle beraber değişik beton yapıların (sanat yapıları, sulama kanalları, viyadükler, beton yol, köprü, baraj yapıları vs.) ortaya çıkmasına neden olarak, ön gerilmeli beton, prefabrike beton gibi yeni teknolojilerin ortaya çıkmasının saptanmıştır. Bu gelişmeler sonucunda beton, yeni teknikler ve yeni malzemeler yardımıyla kullanıldığı fiziksel ve kimyasal etkilere karşı güçlendirilerek ondan beklenen klasik niteliklerinin daha çok verimli hizmet verebilecek bir yapı malzemesi olacağı anlaşılmıştır (Şimşek, 1997).

Betonarme ile daha yüksek, daha küçük kesitli yapılar yapma ve bu malzemenin yetersiz görülen bazı özelliklerinin daha da iyileştirilmesi ihtiyacı, insanoğlunu beton içinde daha başka malzemelerde kullanma ve hatta bu malzemelere alternatif arama yoluna itmiştir. Beton içerisine katılan tüm malzemeler belirli bir 2 amaca ve belirli bir özellik ya da özelliklerin iyileştirilmesine yönelik olarak kullanılır. Değişik ortamlarda çeşitli etkilere

karşı betonun gösterdiği davranışları ya da bu davranışlardan herhangi birini tek bir matematik modelle açıklamak mümkün değildir.

Bu nedenle yapılması gereken, beton hangi etkiye ya da hangi zorlamaya karşı çalışacaksa bu durumun açıkça tanımlanarak betonun bu yönünün güçlendirilmesi gerekmektedir (DSİ, 1999). Bu doğrultuda günümüzde piyasada çok geniş bir ürün yelpazesi bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi ve en önemlisi 1960’larda başlayıp günümüze kadar hızla gelişerek gelen beton içerisine lif katmaktır (Kiper, 1996).

Beton içerisinde yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen, karbon ve alkali dirençli cam liflerdir. Lif katkılı betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde de oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lif katkılı betonun özellikle çekme ve eğilme dayanımını arttıran faktörler darbe etkisine karşı dayanımını da arttırmaları (Altun vd., 2004).

Beton soğuk havaya maruz kaldığında büyük termal şoklardan kaçınmak ve betonu dona karşı korumak için kür süresi boyunca yeterli bir sıcaklığın korunması ve sağlanması gerekir. Temelde beton malzemeleri ısıtılmalıdır ve beton yalıtım malzemeleri ile veya kür süresince dışarıdan ısıtıcılarla ılık olarak tutulmalıdır. Ayrıca uygun katkı malzemeleri kullanılarak da betonun korunması gerçekleştirilebilir (Korhonen, 2003). Kimyasal katkının uygunluğu, seçimi, geliştirilmesi yapılacak herhangi bir projenin amacına, sıcaklık değerlerine, yapı tasarımına ve beton karışım tasarımına bağlıdır.

1.2. Soğuk Hava Koşullarında Beton Dökümü İle İlgili Genel Bilgiler

TS 1248 standartlarında beton dökümü esnasında, sıcaklık ortalamasının arka arkaya 3 gün süre ile +5 °C ‘un altına düşmesi soğuk hava koşulları olarak geçer.

Geçen 3 günlük süreden daha uzun bir zaman içinde; günlük ortalama sıcaklık 5 °C ‘den daha düşük ise veya 12 saatten daha fazla bir zaman diliminde sıcaklık 10 °C ‘den çok olmuyorsa ise bu durum yine soğuk hava koşulları olarak tanımlanır (ACI 306, 1997).

Beton dökümü esnasında düşen ortam sıcaklığıyla birlikte hidratasyon hızı ve dayanım kazanma hızı yavaşlar, priz alma süresi artar. Dolayısıyla kalıp sökümü için beklenen sürede artar. Soğuk hava etkisiyle birlikte beton dökümünden hemen sonra gerçekleşen, betonun içindeki suyun donması durumu hidratasyonun tamamen durmasına

neden olabilir. Dona uğrayan su tekrar çözöldüğünde hidratasyon devam eder ancak agrega ve donatıya yapışması gereken çimento hamuru arasında aderans büyük oranda azalır ve beton dayanımında düşüşe neden olur. Bu durumun oluşmaması ve soğuk hava koşullarına uygun beton döküm şartlarının yerine getirilmesi için bazı önlemler alınabilir. Bunlar;

- Soğuk hava şartları göz önüne alınarak, suyun donabileceği havalarda beton uygulamalarından kaçınılmalıdır,
- Beton uygulamaları öncesinde imalat yapılacak kalıplar kontrol edilmelidir. Kalıp yüzeyindeki buz parçaları temizlenmelidir.
- Hidratasyon ile açığa çıkan ısı, yalıtım aracılığıyla betona hapsedilmesi sağlanmalıdır. Gereken yalıtım kalınlığı TS 1248 standartlarında açıkça belirtilmiştir. Gerekli durumlarda açık beton yüzeylerinde cam yünü kullanılabilir (TS 1248).
- Soğuk havalarda uzun priz sürelerini önlemek için yapı ısıtılabilir. Döşemelerde, döşeme altında sağlanan ısıtma en az üzerindeki ısıtma kadar önemlidir. Karışım sıcak su veya sıcak agrega kullanarak betonu doğrudan ısıtmak da mümkündür, ancak bu yöntem yapıyı ısıtmak kadar etkili değildir, çünkü birçok döşeme sıcaklığını koruyacak kadar kalın olmayıp çok incedir.
- Betonun nakledilirken soğuması önlenmelidir.
- Beton, dayanımı belli bir seviyenin üstüne çıkana kadar korunmalıdır. Korunacağı süre; beton uygulaması yapılacak elemanın özelliklerine, etkisi altında kalacağı şartlara ve beton özelliklerine göre değişir.
- Beton hidratasyon hızının düştüğü durumlar takip edilerek, dayanım kazanma hızına göre kalıp sökümü için gerekli süre uzatılmalıdır.
- Hidratasyon ısı daha yüksek çimentolar kullanılarak S/Ç oranı düşürülmelidir.
- Priz hızlandırıcı, hava sürükleyici ve hidratasyon suyunun donma noktasını düşürecek katkıları ilave edilmelidir.
- Üretim aşamasındaki beton sıcaklığının kalıba yerleştirilmeden önce donma derecesine düşmemesine dikkat edilmelidir. Üretim esnasında çimento, agrega ve su bileşenlerinin sıcaklıkları artırılmasından fayda sağlanacaktır. Bu bileşenler içinde suyun ısıtılması hem daha ekonomik hem de uygulama açısından daha kolay olacaktır.

1.2.1. Soğuk Hava Koşullarının Taze Betona Etkileri

Betonun priz alma süresi soğuyan hava koşullarıyla birlikte artar ve dayanım kazanma hızı azalır. Taze beton kalıba yerleştirildikten sonra belli bir dayanım seviyesine ulaşmadan önce içindeki suyun donması durumunda dayanımı ve dayanıklılığı büyük ölçüde azalmaktadır. Kalıba yerleştirilen beton sıcaklığı ve dış ortamın hava sıcaklığı arasında yüksek sıcaklık farkları oluşmasın durumunda ise beton yüzeyinde gerilmeler oluşur ve çatlamalara neden olur. Beton bileşenleri karıştırıldıktan hemen sonra kalıba yerleştirildiğinde don etkisine maruz kalması durumunda beton içerisinde bulunan suyun donması ve hacminin artması beklenir. Beton içerisinde hacmi artan buz parçacıkları boşluklar oluşturarak büyür. Beton henüz plastik kıvamda olduğu için buzun hareketine engel olamaz ve tahribata uğrar. Agreganın özgül kütlesi betonun özgül kütlesinden daha büyük olduğu için ısı iletme yeteneği çimento hamurundan daha fazladır. Bundan dolayı agrega çimento hamurundan daha erken soğur. Soğuk hava koşullarında yapılan dökümlerde su beton içerisinde en soğuk bileşen olan agregaya doğru hareket ederek etrafında ince bir tabaka ile agregayı sarar. Agregaya etrafını saran su donmaya maruz kaldığında hacmi artar ve çimento hamuruyla agrega arasındaki teması keser. Temasın kesilmesi sonucu aderans sıfırlanır. Boşluklu agregalar suyu emdiği için, hafif betonlarda normal betona göre tahribat daha az olur (Karagöl, 2013).

Don etkisinin taze betona verdiği tahribatı azaltmak amacıyla nitelikli malzeme seçilmesi ve beton tasarımının iyi yapılması gerekir.

Tablo 1.1. 'de betonun don etkisine maruz kalmaması için gereken kür süreleri belirtilmiştir (Erdoğan, 2007).

Tablo 1.1. Don etkisinin taze betonda tahribata sebebiyet vermemesi için gerekli beton yaşı (Erdoğan, 2007)

Çimento Tipi	W/C Oranı	Kür Sıcaklığına Bağlı Olarak Taze Betonun Don Etkisinden Zarar Görmemesi İçin Gereken Süre(Saat)			
		5 °C	10 °C	15 °C	20 °C
Normal Portland	0.4	35	25	15	12
	0.5	50	35	25	17
	0.6	70	45	35	25
Hızlı Dayanım Kazanan Portland	0.4	20	15	10	7
	0.5	30	20	15	10
	0.6	40	30	20	15

1.2.1.1. Soğuk Hava Koşullarının Hidratasyona Etkisi

Beton taze halde iken içerisindeki suyun, hava sıcaklığının düşmesiyle birlikte buz formuna dönüşmesiyle, plastik kıvamdaki betona uğrattığı fiziksel hasarın yanı sıra, su miktarında azalmaya neden olarak betonu kimyasal olarıktan etkiler. Taze beton içerisinde bulunan kimyasal tepkimede gerekli suyun yavaş yavaş buz formuna dönüşmesiyle hidrasyon (betonun sertleşmesi için gereken kimyasal tepkimeler) yavaşlar. Eğer su tamamen donar ise hidrasyon tamamen durur. Geçmişten günümüze yapılan araştırmalarda çoğunlukla -12°C, bazı araştırmalarda ise -10°C'den daha düşük sıcaklıklarda hidrasyonun tamamen durduğu kabul edilir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte hidrasyon tekrar devam etmeye başlar. Suyun buz formuna dönüşürken artan hacmi sebebiyle, betonda eriyen buzun yerinde boşluklar oluşur. Oluşan bu boşluklar beton içerisinde homojen şekilde dağılmaz ve aderans özelliklerine negatif etki yaratır. Bu etkilerden kurtulmak için taze halde dona maruz kalan beton çözüldükten hemen sonra tekrar karıştırılarak yerleştirilmelidir. Bu işlem yapılmaz ise betonun mekanik ve kalıcı özellikleri kalite standartlarının altına düşer. (Karagöl, 2013)

1.2.2. Taze Halde Soğuk Hava Etkisi Altında Kalmış Sertleşmiş Betonun Mekanik Özellikleri

Dayanımını tamamlamış veya suya doymuş beton soğuk hava etkisiyle donma maruz kalınca, içindeki kapiller boşluklardaki su donar ve hacmi büyür. Isınan havayla beraber su çözülür. Bu döngü sonucunda suyun genleşme miktarı kümülatif olarak çoğalır. Bu yüzden donma çözülme sürecinin etkisi, çözülmenin olmadığı ya da uzun süreli olduğu don etkisinden daha fazla tahribata sebebiyet verir. Dayanımını tamamlamış betonda su donarken iki farklı hidrolik basınç etkisi oluşturur. İlk etkisi suyun donarken %9 oranında hacminin artmasıyla kapiller boşluklardaki fazla suyun dışarı çıkma isteği ile oluşan basınçtır. İkincisi ise jel boşluklarından difüzyon yoluyla çıkan suyun küçük buz parçalarına dönüşümüdür. Betonun donmaya karşı direncini etkileyen 2 farklı etken vardır. Bu etkenlerden bir tanesi boşluk yapısıdır, diğeri ise kritik doygunluk derecesidir. Beton içerisinde kapiller boşluklar, sürüklenmiş hava boşlukları ve çimento hamurunda bulunan jel boşlukları bulundurulur. Betonun soğuk hava etkisiyle donması ve ısınan havayla çözülmesi sürecinde suyun yaptığı tahribatın detaylı belirlenebilmesi için suyun bu süreçteki fiziksel ve kimyasal hareketleri iyi takip edilmesi gerekir. Bu nedenle dikkat edilmesi gereken önemli bir diğer konu ise beton içindeki suyun tamamının donma eğiliminde olmamasıdır. Hidratasyon sonucu oluşan kristal yapı nedeniyle beton içerisindeki boşluklarda azalma meydana gelir. Oluşan kimyasal tepkimeler sonucunda çimento hamurunda bulunan jel boşluklardaki su $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında donmaktadır (David, 2001).

Yaptığı çalışma sonucunda ACI 306R(Anonymus 2010) bu sıcaklığı $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak saptamıştır. Çimento hamurunda bulunan jel boşlukların büyüklüğü $15-20\text{ }\mu\text{m}$ boyutundadır. Daha büyük boyuttaki sürüklenmiş hava kabarcıklar, hapsolmuş hava kabarcıkları ile kapiller boşluklardaki su, normal şartlarda açık havadaki su ile aynı donma noktasına sahiptir ve $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında donmaktadır (Erdoğan, 2007).

Su/Çimento oranıyla birlikte boşlukların miktarı ve yapısı etkilenmektedir. Su/Çimento oranıyla birlikte kapiller boşluk oranı da düşmektedir. Bunun sonucunda beton don etkisine karşı daha dayanıklı hale gelmektedir. Bir diğer unsur ise çimento hamurunun yaşıdır. Taze halde bulunan su miktarı yüksek betonda hidratasyon tepkimesi henüz yeni başladığı için içerisindeki serbest su miktarı daha fazladır. Bu betonu donmaya daha elverişli hale getirmektedir. Hidratasyon tepkimesinin devam etmesiyle birlikte bulunan

serbest su miktarı azalmaktadır. Dolayısıyla beton dayanım kazandıkça donmaya karşı daha dayanıklı hale gelmektedir.

Donma çözülme olayları sonrasında meydana gelen tahribatı belirleyen ikinci unsur ise doygunluk seviyesidir. Sertleşmiş beton kritik doygunluk derecesi altında iken don sonrasında oluşan tahribata karşı oldukça dayanıklıdır. Sertleşmiş beton doyun hale gelmedikçe donma çözülme sürecinden etkilenmemektedir. Sertleşmiş beton içerisindeki boşluklarda bulunan suyun donmaya başlamasıyla birlikte transfer olmaya çalışan suyun komşu boşluklarında donmaya başlayan bir başka su kütlesiyle karşılaşmaması durumunda betondaki çimento hamuru tahribata uğramamaktadır. Bu durumun aksi olduğu şartlarda betondaki çimento hamuru zarar görmektedir (David, 2001).

Soğuk hava şartlarında beton dökülürken agreganın suya doygun halde olmamasına çok dikkat edilmelidir. Soğuk havada yapılan dökümlerde agreganın şekline de önem verilmelidir. Kusurlu, iri, yassı taneler don etkisine karşı dayanıklılığı azaltmaktadır. Bu fiziksel özelliklerdeki agregalar kullanılmamaya özen gösterilmelidir. Şekil bozuklukları olan agrega kullanımı, agrega taneleri altında su dolu hava cepleri oluşturabilir. Hidratasyon tepkimesini büyük ölçüde tamamlamış lakin yeterli dayanıma ulaşamamış betonda boşluklarda bulunan serbest suyun donması sonucunda genleşme kuvvetleri meydana gelir ve agregalar arası kohezyonu bozar (Kayyali vd., 1979). Çimento hamuru oluşan genleşme kuvvetine karşı koyacak dayanıma sahip olmadığı için betonun içyapısı bozulur. Dayanımda kayıplar ortaya çıkar (Ortiz vd., 2005). Bu olayda sürüklenmiş hava boşluklarının bir tesiri yoktur (Kewalramani ve Gupta 2005).

1.2.2.1. Basınç Dayanımına Etkisi

Karagöl (2013) yaptığı çalışmada, hazırladığı beton karışımlarından aldığı numunelerden bir kısmını dökülür dökülmez -5°C, -10°C, - 15°C ve -20°C sıcaklıktaki donduruculara yerleştirerek 7, 14, 28 ve 90 gün süreyle kür etmiştir. Hazırlamış olduğu başka bir grup numuneleri de 1 gün süreyle laboratuvarında normal oda koşullarında bekleterek kalıp sökümü işleminin ardından 7, 28, 90 gün kür havuzuna koymuştur. Hazırlamış olduğu başka bir grup numuneleri de Erzurum açık hava koşullarında 90 gün ve 1 yıllık zaman dilimlerinde dış ortama terk etmiştir. Hazırlanan numuneler ilk 3 gün dış ortam ve dondurucularda saklanıp sonrasında kür havuzuna koyulmuştur. Kür havuzunda istenilen süre bekletilen beton numuneleri, basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur.

Basınç deneyleri sonucunda hazırlanan Tablo 1.2' de numunelerin ortam sıcaklığı ve farklı kür şartlarında basınç dayanımındaki değişim gösterilmiştir. Çizelge incelendiğinde beton örneklerinin 7, 14, 28 ve 90 günde kazandığı basınç dayanımlarının soğuk hava etkisiyle azaldığı görülmektedir. Örneğin 7 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göz atıldığında normal sıcaklıkta kür edilen numuneler ile -5°C, -10°C, -15°C ve -20°C kür edilen numunelerin basınç dayanımlarında sırasıyla %79, %79, %81 ve %82 oranlarında azalma görülmektedir. Yine aynı karışımın 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında normal sıcaklıkta kür edilen numuneler ile -5°C, -10°C, -15°C ve -20°C kür edilen numunelerin basınç dayanımlarında sırasıyla %92,5, %97, %98 ve %100 oranlarında azalma görülmektedir. Karagöl (2013) ve Korhonen (2003) yapmış oldukları çalışmalarda bu durumu ifade etmişlerdir.

Dondurucuda geçirilen kür süresiyle birlikte basınç dayanımı da düşmektedir. Bunun nedeni ise hidratasyona yeni başlamış betonun suya doymun halde bulunması nedeniyle içindeki suyun %9 oranında genişerek buz formuna dönüşmesiyle oluşturduğu iç gerilmelerdir. Bu gerilmeler nedeniyle meydana gelene çatlaklar, homojen iç yapıyı bozar, porozite artışı oluşur ve basınç dayanımında negatif etki yaratır.

Tablo 1.2. K karışımına ait basınç dayanımları (Karagöl, 2013)

Karışımlar	K (-5°C)	K (-10°C)	K (-15°C)	K (-20°C)	KSU KÜRÜ	K.D
Veriler (7gün) Maksimum Gerilme MPa	7.92	7.81	6.97	6.55	37.96	-
Veriler (14 gün) Maksimum Gerilme MPa	7.56	3.42	4.02	3.67	-	-
Veriler (28 gün) Maksimum Gerilme MPa	3.12	1.31	0.88	Veri yok	41.05	-
Veriler (90 gün) Maksimum Gerilme MPa	14.90	10.76	9.10	8.51	48.95	21.31
Veriler (1 Yıl) Maksimum Gerilme MPa	18.37	17.03	15.03	14.56	48.82	27.08

Betonun kalıba yerleştirilmesinden hemen sonra soğuk hava koşulları oluşuyor ise, kalıp sökülünün ardından beton dayanımının tasarım dayanımının en az %70 ini kazanması gerekmektedir (Ramachandran, 1995). Çizelge 4.6 ' da görüldüğü gibi -5°C'de 7 günlük K karışımı 7 günlük su küründeki K karışımının basınç dayanımının yaklaşık % 21'ini kazanabilmiştir. Ayrıca -5°C'de 28 günlük K karışımı 28 günlük su küründeki aynı karışımın basınç dayanımının sadece %7'sini kazanabilmiştir. Hatta -20°C için 28 günlük basınç dayanımı 0 MPa olmuştur. Su küründe ise dayanım kazanmaya devam etmiş ve 90 gün sonunda 41,05 MPa'a ulaşmıştır. Don etkisinin sürekli olduğu durumlarda betonun

priz alması gecikmiş, dayanım kazanma hızı yavaşlamıştır. Azalan sıcaklıkla beraber dayanımın düştüğü gözlenmiştir. Dayanım hızı hidratasyonun gerçekleştirme oranına, hızına ve kür sıcaklığına göre değişkendir.

Hava sıcaklığının sürekli değiştiği dış ortamda K.D karışımının 21.31 MPa olan 90 günlük basınç dayanımı, aynı kür süresindeki sürekli donmanın olduğu -5°C, -10°C, -15°C ve -20°C kür sıcaklıklarında elde edilen basınç dayanımlarından sırasıyla %43, %93, %134 ve %150 kadar daha yüksektir. Sürekli don etkisinden dolayı -5°C, -10°C, -15°C ve -20°C kür sıcaklıklarında basınç dayanımında düşüş gözlenmiştir.

Doğal ortamda hava gündüzler ısındığı için beton kendini yenileyebilmektedir. K karışımında don etkisinin sürekli olması nedeniyle, 28 güne kadar kür süresi uzamış ve dayanımı düşmüştür. Fakat 90.günden sonra dayanımında artış gözlenmemiştir.

Örneğin -5°C’ de 28 günlük basınç dayanımı 3.12 MPa iken 90 günlük basınç dayanımı 14.90 MPa olmuştur. Aradaki artış oranı %377 kadardır. 90. günden sonra oluşan bu artışın nedeni beton bünyesindeki jel boşluklarında var olan suyun donmamış olması ve böylece çok yavaşta olsa hidratasyonun devam etmesidir. (Korhonen, 2003) yapmış olduğu çalışmasında aynı durumdan söz etmektedir.

(Krylov vd., 1979), beton bünyesinde oluşan buz kristallerinin oluşumunda, homojen bir şekilde dağılımında, kristal şekillerinde ve buz plaklarının oluşumunda soğuma hızının rol oynadığını ifade etmiştir. Yavaş soğumanın hızlı soğumadan daha zararlı olabileceğini ifade etmiştir. Bu durumu beton bünyesinde bulunan suyun göç etmesine bağlamıştır. Ona göre yavaş soğumada su göçü hızlı soğumadan çok daha belirgindir. Çünkü yavaş soğuma esnasında beton bünyesindeki su, betona zarar verebilecek buz tabakasına doğru hareket etmek için zaman kazanmaktadır. Yani hızlı soğumada, su olduğu yerde donmakta ve tahribat azalmaktadır (Korhonen, 2003).

Bu sebeple K karışımına ait Çizelge 4.6 incelendiğinde -15°C kür sıcaklığında elde edilen 14 günlük basınç dayanımının, -10°C’de elde edilen dayanımdan daha yüksek olduğu gözlenmektedir.

1.3. Lifler Hakkında Genel Bilgiler

Tarihten günümüze kadar lifler yapı malzemeleri içerisinde kullanılmasıyla karşımıza çıkmaktadır. Geçmiş tarihte kerpiç içinde saman kullanılmasıyla başlayan lif uygulamaları günümüzde cam, çelik ve polimer gibi çeşitleriyle kullanılmaktadır(Hughes

vd., 1997). Lifler kullanım alanlarına göre sınıflandırılmaktadır. Beton içerisinde kullanılan lif türlerinin fiziksel özellikleri Tablo 1.3’de verilmektedir.

Tablo 1.3. Farklı türdeki liflere ait fiziksel özellikler (Biber, 2001)

Lif cinsi	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)	Maksimum uzama (%)	Özgül ağırlık (g/cm ³)
Akrilik	207-414	2.1	25-45	1.1
Asbestler	552-966	83-138	0.6	3.2
Pamuk	414-690	4.8	3-10	1.5
Cam	1035-3795	69	1.5-3.5	2.5
Naylon	759-828	4.1	16-20	1.1
Polyester	724-863	8.3	11-13	1.4
Polietilen	690	0.14-0.4	10	0.95
Polipropilen	552-759	3.5	25	0.9
Pamuk-Yün	4414-621	6.9	10-25	1.5
Mineral Yünü	483-759	69-117	0.6	2.7
Çelik	276-2760	200	0.5-3.5	7.8

Tablo 1.3’ e bakıldığında elastisite modülünün yüksekliğiyle dikkatimizi çeken lif gurubu çelik liflerdir. Çelik liflerin elastisite modülü betona kıyasla çok büyük olduğu için yüklerin taşınmasında diğer liflere göre daha fazla yük taşınmasına olanak sağlar. Çelik liflerin dikkat çeken bir diğer özelliği ise yüksek ve üniform çekme gerilmelerine sahip olup düşük uzama özelliğine sahip olmasıdır.

1.3.1. Doğal Olarak Elde Edilen Lifler

Doğadan elde edildiği biçimde işlenmeden kullanılan mineral, hayvansal ve bitkisel kaynaklardan temin edilen liflerdir. Bitkisel lifler tek başına kerpiç çalışmalarında saman ve kil hamuru birlikte kullanılması. Alçı sıva kartonpiyer çalışmaları; bitkisel liflerden keten, kenevir ve hayvansal liflerden atkuyruğu, keçi kılının bir arada kullanıldığı örneklerdendir (Ersoy, 2001).

Bilinen en eski doğal lifler saman ve at yelesidir. Günümüzde ise portland çimentosuyla birlikte kullanılan doğal lifler bambu, hindistan cevizi, sisal, şeker kamışı ve ahşap gibi liflerdir.

1.3.2. Metalik Lifler

Metaller günümüzde yüksek şekil değiştirme özellikleri nedeniyle inşaat sektörünün vazgeçilmezi olmuşlardır.

Tablo 1.4’ de bazı metalik liflerin özellikleri verilmiştir.

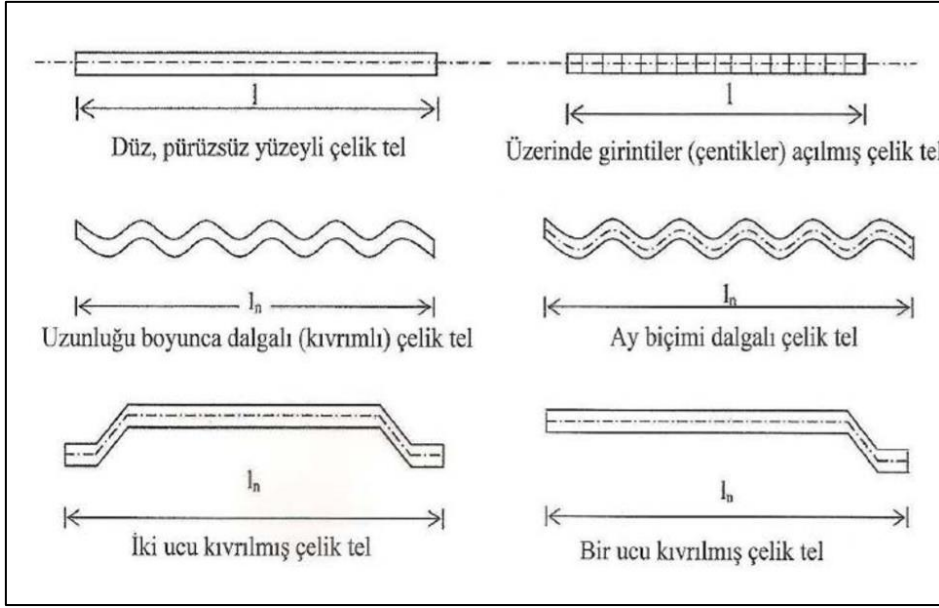
Tablo 1.4. Bazı metalik liflere ait özellikler (Chawla, 1998)

Metal	Yoğunluk (gr/cm³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Al	2.7	660	70	300
Be	1.8	1350	310	1100
Cu	8.9	1083	125	450
Mo	10.2	2625	330	2200
W	19.3	3410	350	2890
0.9 % Karbon Çeliği (0.1 mm çapında)	7.9	1300	210	4000
Paslanmaz Çelik (0.05 mm çapında)	7.8	1535	198	2400

Beton uygulamalarında kullanılan en yaygın lif çelik liflerdir. Çelik lifler genellikle paslanmaz çelikten veya karbon çeliğinden imal edilmektedirler. Beton içerisinde homojen dağılı bulunan çelik liflerden adezyon kuvveti oluşturmaları beklenir. Beton içerisinde bulunan mikro çatlaklar nedeniyle sürtünme kuvveti düzensizdir. Bu düzensiz sürtünme kuvvetleri nedeniyle oluşan zayıf bölgelere gelene yüklerin çelik liflerin oluşturdukları adezyon kuvveti sayesinde köprü gibi aktarılması görevini yapar (Altun, vd. 2003).

Amerikan standardı ASTM A 820-96' ya göre beton uygulamalarında kullanılacak çelik liflerin özellikleri ve sınıflandırılması dört gruba ayrılmıştır. Bunlar; soğuk çekilmiş lifler, plakadan kesilmiş lifler, eritilip çekilmiş lifler ve diğer lifler (ASTM A820, 1996).

Türk standardı TS 10513 göre beton uygulamalarında kullanılacak liflerin sınıflandırılması üç gruba ayrılmıştır. Bu standarda göre lifler; düz pürüzsüz yüzeyli lifler, bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler (üzerinde gintiler açılmış, uzunluğu boyunca dalgalı ve ay biçimli dalgalı teller) ve sonu kancalı lifler (iki ucu kıvrılmış ve bir ucu kıvrılmış teller) olarak gruplandırılmıştır (TS 10513, 1992). Liflerin şekilleri Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Çelik liflerin Şekilleri

1.3.3. Polimerik Lifler

Polimer lifler arasında yaygın kullanılan türleri polipropilen, naylon, polietilen, aramid ve perlon liflerdir. Polimer lif gurubunda beton uygulamalarında en doğru sonucu veren polipropilen liflerdir (Ekincioğlu, 2003). Polipropilen liflerin dayanımı yüksek, alkali ortamlara karşı dirençleri yüksek ve ucuz olmalarından dolayı polimer lif gurubunda en çok kullanılan türdür.

Lifli beton uygulamalarında liflerin topaklanma sorunuyla da karşı karşıya kalınmaktadır. Islak çimento hamuru içerisindeki lifler topaklanarak homojen karışım yapılmasına engel olur. Bunun sonucunda betonun basınç dayanımı düşer. Polipropilen liflerin yüzeyi hidrofob özellik gösterdiği için ıslak çimento hamuru içerisinde topaklanmaz. Polipropilen lifler bu hidrofob özelliği nedeniyle tercih edilir (Ersoy, 2001).

Betonun dayanım kazanma hızının yavaş olması ve ilk priz alma döneminde oluşan büzülme nedeniyle iç gerilmeler oluşur. Betonun iç çekme gerilmelerinin oluşması betonun sertleşmesinden daha hızlıdır. Bu olay plastik büzülmeye neden olur. Polipropilen lifler plastik büzülmenin oluşturduğu gerilmelere karşı mukavemet gösterirler. Bu sayede betonda çatlak riski azalmış olur (Acun, 2000).

Kısaca beton dökümünün ardından ortaya çıkan plastik büzülme sonucu betonda çatlaklar meydana gelir. Polipropilen lifler bu çatlakları kontrol altına alarak etkisini azaltır.

1.4. Lifli Betonlar

Lifli beton inşaat sektöründe oldukça yaygın kullanılan agrega, çimento, lif ve su bileşiminden oluşan kompozit bir malzemedir. Betonun çekme dayanımı, çekme birim deformasyon kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi çok düşüktür. Betonun zayıf yönlerinin iyileştirmek amacıyla beton karışımına, teknik özellikleri yüksek malzemelerden üretilmiş lifler katılmaktadır. Bu betonlara ise lifli beton adı verilmektedir (Yardımcı, 2007).

1.4.1. Lifli Beton Türleri

Yaygın olarak lifli beton üretiminde doğal, çelik, polimer ve cam esaslı lifler kullanılmaktadır (Şimşek, 2004). Beton üretiminde lif kullanımı, betonun çatlak gelişimine karşı dirençli olmasını ve süneklik özelliğinin artmasını ve betonun; dayanım ve enerji yutma kapasitesi özelliklerini geliştirir (Kozak, 2013). Lifli betonun özelliklerini etkileyen en önemli faktörler narinlik oranı, lif miktarı ve lifin beton matrisi içerisinde homojen olarak dağılmasıdır (Chung, 2005 ;Yıldırım vd., 2007). Homojen bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir (Song ve Hwang, 2004 ; Ünal vd., 2007).

1.4.1.1. Çelik Lifli Betonlar

Metaller sahip oldukları yüksek şekil değiştirme özelliklerinden dolayı günümüzde inşaat sektöründe oldukça fazla kullanılmaktadır. Bazı metalik liflere ait özellikler

Tablo 1.5’de verilmektedir.

Tablo 1.5. Bazı metalik liflere ait özellikler (Chawla, 1998)

Metal	Özgül Ağırlık(gr/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı(MPa)
Al	2.7	660	70	300
Be	1.8	1350	310	1100
Cu	8.9	1083	125	450
Mo	10.2	2625	330	2200
W	19.3	3410	350	2890
0,9 % Karbon Çeliği(0,1 mm çapında)	7.9	1300	210	4000
Paslanmaz Çelik (0,05 mm çapında)	7.8	1535	198	2400

Beton içerisine katılan metalik lifler arasında en yaygın olarak kullanılanı çelik liflerdir. Çelik lifler ya karbon çeliğinden veya paslanmaz çelikten yapılırlar. Liflerin görevi beton içerisinde adezyon kuvveti oluşturmaktır. Beton içerisinde bulunan sürtünme kuvvetleri malzeme içerisinde bulunan mikro çatlaklar nedeniyle düzensizdir. Bu nedenle, beton içerisinde lifler kullanılarak zayıf bölgelerde oluşan gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması sağlanır (Altun vd., 2003). Betonda kullanılacak çelik liflerin özellikleri ve sınıflandırılması Amerikan standardı ASTM A820-96' ya göre dört gruba ayrılmıştır. Bunlar; soğuk çekilmiş lifler, plakadan kesilmiş lifler, eritilip çekilmiş lifler ve diğer lifler (ASTM A820, 1996). Liflerin sınıflandırılması Türk standardı TS 10513 göre üç gruba ayrılmıştır. Bu standarda göre lifler; düz pürüzsüz yüzeyli lifler, bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler (üzerinde gintiler açılmış, uzunluğu boyunca dalgalı ve ay biçimli dalgalı teller) ve sonu kancalı lifler (iki ucu kıvrılmış ve bir ucu kıvrılmış teller) olarak gruplandırılmıştır (TS 10513, 1992). Liflerin şekilleri Şekil 1.1'de verilmiştir.

1.4.1.2. Polipropilen Lifli Betonlar

Polimer liflerin genellikle tercih edilen türleri naylon, aramid, polipropilen, polietilen ve perlondur. Teknik özellikleri yüksek ve istenilen sonucu en uygun şekilde veren polimer lif türü ise polipropilendir (Ekincioğlu, 2003). Polimer liflerin ekonomik olması, yüzeyinin hidrofob özelliğinde olması, dayanımlarının yüksek olması, alkali silika asidine karşı dirençli olması nedeniyle sıkça kullanılmaktadır. Polimer liflerin hidrofob özelliği, betonun üretim aşamasında hazırlanan kuru karışımda bulunan polimer liflerin bir sonraki aşamada su ile karışım esnasında topaklanmamasını sağlar (Ersoy, 2001). Polipropilen lifler beton dökümünün ardından oluşan plastik büzölmeler nedeniyle oluşan çatlakları engeller.

Betonun sertleşmesi prizinin ilk aşamasında betonun dayanım kazanma hızı ve büzölmeler nedeniyle oluşan iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu da plastik büzölmeye neden olur. Polipropilen lifler bu büzölme gerilmelerine karşı bir direnç meydana getirir ve büzölmelerden dolayı oluşacak çatlak tehlikesini en az seviyeye indirir (Acun, 2000).

1.4.1.3. Cam Lifli Betonlar

İnşaat sektöründe cam lifler endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Korozyona karşı dirençli, sert, elastik yapılı ve hafif olması nedeniyle cam lifler bu özelliklerine uygun alanlarda tercih edilmektedirler. Cam lifler betonda kullanılmasının bir diğer sebebi ise betonda kullanılan diğer malzemeler ile kimyasal tepkimeye girmemesi ve dayanımının yüksek olmasıdır (Barbero, 1999).

1.4.2. Lifin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri

Beton içerisinde birim hacimce eşit şekilde dağılı bulunan lifler, betonda;

- Çatlak Oluşmasını önler.
- Çatlak yayılımını ve ilerlemesini geciktirir / önler.
- Aşamalı olarak matrinden sıyrılma ve kopma mekanizması ile betonun enerji

yutma kapasitesini önemli oranda geliştirirler. Lifli betonun mekanik özelliklere faydaları Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Lifli betonun avantajları

Mekanik Özellikler	Artış (%)
Tokluk-Enerji Yutabilme	100-1200
Darbe Dayanımı	100-1200
İlk Çatlak Dayanımı	25-100
Çekme Dayanımı	25-100
Eğilme Dayanımı	50-100
Yorulma Dayanımı	50-100
Deformasyon Kapasitesi	50-100
Basınç Dayanımı	±25
Elastisite Modülü	±25
Kavitasyon-Erozyon Dayanımı	300

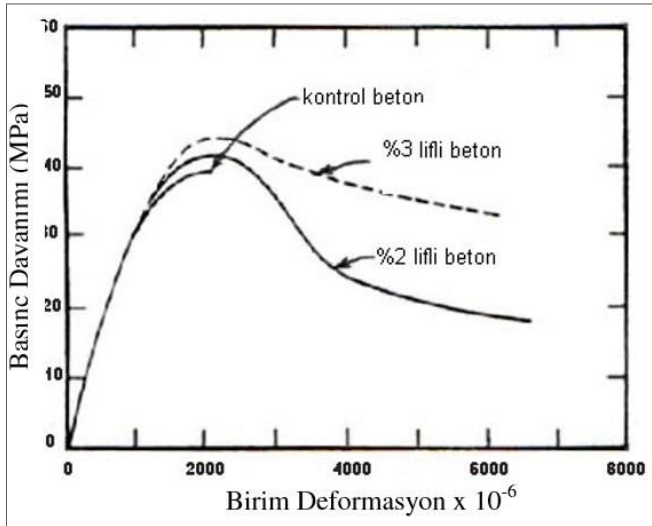
1.4.2.1. Basınç Dayanımına Etkisi

Lif kullanımı beton uygulamalarında, %1.5 oranından daha az kullanıldığında basınç dayanımına etkisi göz ardı edilebilecek kadar azdır. Buna karşın betonun basınç dayanımı lif kullanılarak istenirse %25 arttırılabilir. Liflerin beton içindeki yönelimleri, lifli betonun basınç dayanımını doğrudan etkiler. Lifli betona gelen yüklere dik konumda olan lifler, lifli

betonun basınç dayanımına etkide bulunmazlar. Lifli betona gelen yüklere yatay pozisyonda bulunan lifler basınç dayanımına doğrudan etki ederek artışa neden olurlar.

Şekil 1.2’te lif katkılı betonlarda lif kullanım oranı ile beton basınç dayanımının nasıl etkilendiği ve bu tür betonların gerilme–şekil değiştirme davranışlarının nasıl olduğu görülmektedir (Bentur ve Mindess, 1990).

Şekil 1.2 ‘te gösterilen verilerden görüleceği üzere lif katkılı beton uygulamalarında lif oranının betonun basınç dayanımını artırmaktan ziyade betonun deformasyon yeteneğini artırdığı görülmektedir. Referans (Kontrol) betonu eksenel basınca maruz kaldığı nihai kırılma noktasında gevrek şekilde kırılırken, lifli betonlar nihai yükten sonra lifler sayesinde yük taşımaya ve deformasyona uğramaya devam etmektedirler. Lif oranı arttıkça bu davranışı gösterebilme yeteneği artmakta ve enerji yutma kapasitesi artmaktadır.



Şekil 1.2. Lif oranının Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisine Etkisi (Bentur ve Mindess, 1990).

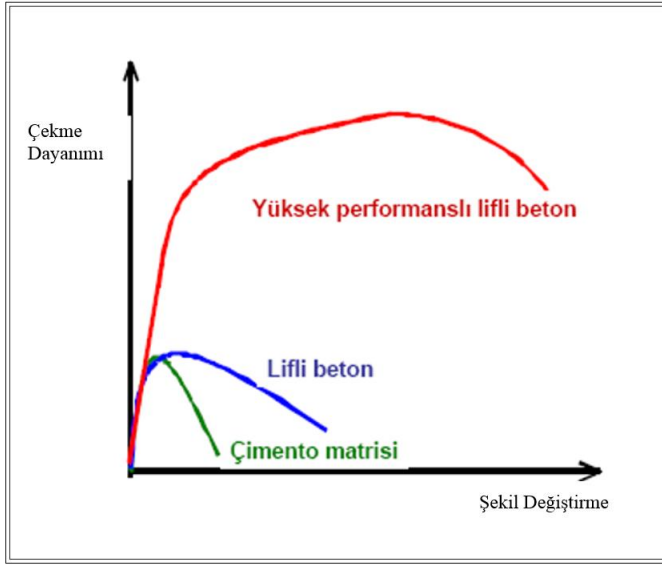
Yıldırım (1994), yaptığı çalışmada, lif takviyesinin hafif betonlarda basınç dayanımına etkisinin düşük boyutta olduğunu ve değişik tip liflerde de bu özelliğin değişmediğini belirtmiştir.

Lee (2002), yaptığı çalışmada, çimento miktarının ağırlıkça %20 oranında uçucu kül ve hacimce %0, %0.5, %1 ve %2 oranlarında narinliği 60 olan lif katkılı betonlar üretmiştir. Basınç dayanımı deneyleri sonucunda; betonda kullanılan lif oranı artışı ile basınç dayanımlarının da arttığını ve bu oranının %2 lif kullanılması halinde normal betona kıyasla %16’ya kadar arttığını belirtilmiştir.

1.4.2.2. Çekme Dayanımına Etkisi

Çekme dayanımları kıyaslamasında lifli betonlar, lifsiz betonlara kıyasla daha yüksek sonuçlar vermektedir. Lif oranı, lif çeşidi, lif miktarın, beton içerisindeki homojen dağılıma seviyesine göre lifli betonların çekme dayanımları % 5-133 oranlarında arttığı tespit edilmiştir. (Bentur ve Mindess, 1990; Uğurlu, 1994).

Şekil 1.3'deki grafikte lif içeren beton, lif içeren yüksek performanslı beton ve çimento matrisinin çekme gerilmesi altındaki davranışını gösterilmektedir. Şekilde gösterilen lifsiz çimento matrisinin çekme dayanımı çok düşük ve gevrek olduğu gözükmemektedir. Beton içerisinde lif kullanımıyla birlikte çekme dayanımında az miktarda artış olmakta ve özellikle süneklik artmaktadır. Yüksek performanslı lif kullanılan betonlarda ise süneklik ve çekme dayanımını değerlerinde çok yüksek oranlarda artış elde edildiği gözükmemektedir(Taşdemir ve Bayramov, 2002).

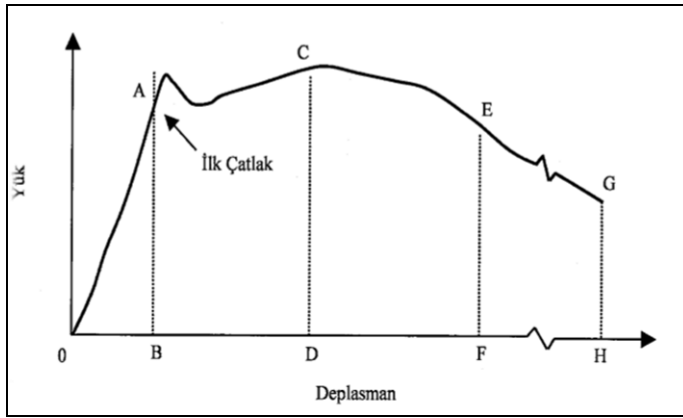


Şekil 1.3. Çimento Esaslı Malzemelerde Çekme Dayanımı- Şekil Değiştirme İlişkisi(Taşdemir ve Bayramov, 2002)

Beton içerisinde lif kullanılmasının eğilme dayanımı değerleri üzerinde olan etkisi, çekme dayanımı değerlerine olan etkisine kıyasla daha baskındır. Geleneksel betonlarda lif kullanılmasının etkisiyle nihai eğilme dayanımları %50-100 arasında iyileşme göstermektedir. Bu davranış liflerin çekme dayanımlarının yüksek olması ile ilişkilidir. Çimento hamuru matrisinin çatlamasından sonra çatlak uçlarından gerilme transferi ve dağılımı yapması nedeniyle yük, ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artmaktadır. Bu

durumda maksimum eğilme yükü normal betonlara göre daha fazla olabilmektedir (Uğurlu, 1994).

Geleneksel yük-sehim grafiğinde iki çeşit eğilme dayanımı bulunmaktadır. İlk çatlak eğilme dayanımı Şekil 1.4' te A noktası ile belirtilen yük-sehim eğrisinin lineerlikten çıktığı değerdir. Numune üzerinde ilk çatlak bu noktada oluşur. İkinci eğilme dayanımı ise eğilme dayanımının maksimum değere çıktığı C noktasıdır. Betonun çekme dayanımı ile betonun ilk çatlak eğilme dayanımı arasında bağ vardır. Beton içerisinde mevcut bulunan lifin içeriği ve görünüm oranları ile de nihai eğilme dayanımı arasında bağ vardır. Beton içerisinde bulunan lif oranının hacimce %0.5'den, görünüm oranı ise 50 den küçük olursa, statik açıdan beton içerisine katılan liflerin etkisi çok az olmaktadır. Aderans sağlaması amacıyla uç kısmı kancalı veya kıvrımlı olarak üretilen liflerin betonda içerisinde kullanımının, aderansa olumlu etki yapması nedeniyle, eğilme dayanımını % 100 oranında arttırdığı görülmüştür. Uç kısmı kancalı, kıvrımlı ya da çentikli üretilen liflerin dayanım değerlerine etkisi pozitif yönlü, aynı oranda olduğu ve lifsiz betona kıyasla daha yüksek dayanım değerleri verdiği görülmüştür (ACI 544.4R-88, 1999).



Şekil 1.4. Lif Katkılı Betonda Eğilmede Yük-Deplasman Eğrisi (ACI 544.4R-88, 1999).

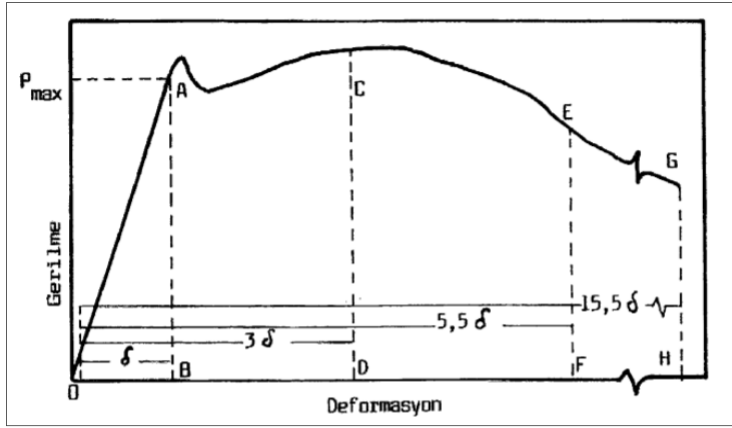
Yazıcı vd. (2006), lif görünüm oranının (l/d) ve lif hacminin (V_f) betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bu sebeple, %0, %1 ve %1.5 oranlarında ve görünüm oranı 45, 65 ve 80 olan üç farklı lif, kullanılarak 10 çeşit lifli beton örnekleri üretilmiştir. Eğilme dayanımı değerlerinin lif kullanılmasıyla birlikte yaklaşık olarak %3 - %81 arasında arttığı görülmüştür. Liflerin eğilme dayanımının lif görünüm oranının ve lif hacminin artmasıyla birlikte arttığı belirlenmiştir.

1.4.2.3. Enerji Yutma Kapasitesine Etkisi

Lifli betonların karakteristik özelliklerini temsil eden özelliklerden en önemlisi enerji yutma kapasitesi (tokluk) dir. Enerji yutma kapasitesi betondaki liflerin rolüne bağlıdır ve lifli betonların kullanım alanı belirlenirken lif türü esas alınır. Bu özellik, lif katkılı betonun lif boyu, lif geometrisi, lif miktarı, narinlik oranı, yükleme hızı ve numune boyutları gibi özelliklerden etkilenir. Yük deformasyon eğrisi altında kalan alan enerji yutma kapasitesidir. Lifli betonların maksimum yük taşıma kapasitesi betonun taşıma gücü azalsa da bir süre daha devam etmektedir (Uğurlu, 1994).

Yük deformasyon grafiğinde ilk çatlamanın görüldüğü A noktasına kadar eğrinin altında bulunan AOB üçgeninin alanı tokluk indeksidir. Tokluk indeksi lifli betonların elastik-plastik davranışlarına açıklık getirebilmek amacıyla belirlenmiştir. Bu indeksler numune indekslerinden bağımsız oldukları için değerlendirme açısından daha anlamlıdır (Yiğiter, 2002).

Lifli betonlarda eğilme deneyi sonucunda elde edilen verilerle çizilen yük deformasyon eğrisi altında kalan alandan yararlanarak hesaplanan elastik şekil değiştirme indeksleri lifli betonun gerçek performansının anlaşılmasını ve referans betonuyla kıyaslanmasını sağlar. Bulunan indeksler ilk çatlak alanına kadar doğrusal elastik davranışı, daha sonra da plastik davranışı açıklar. TS 10515’de I5, I10 ve I20 olmak üzere üç indeks yer almaktadır. Elastik şekil değiştirme indeksleri, belirtilen sehime kadar olan eğri altında kalan alanın, ilk çatlağa kadar olan alana bölünmesi ile elde edilen sayılardır. İlk çatlak sehiminin 3 katı sehime kadar yük-sehim eğrisinin altındaki alanın, ilk çatlağa kadar olan alana bölünmesi ile I5, ilk çatlak sehiminin 5.5 katı sehime kadar yük sehim eğrisinin altındaki alanın, ilk çatlağa kadar olan alana bölünmesi ile I10, ilk çatlak sehiminin 10.5 katı sehime kadar yük-sehim eğrisinin altındaki alanın, ilk çatlağa kadar olan alana bölünmesi ile I20 şekil değiştirme indeksleri hesaplanmaktadır.



Şekil 1.5. Tokluk İndekslerinin Hesaplanması İçin Çizilmiş Gerilme-Deformasyon Eğrisi (TS10515, 1992).

Tokyay vd. (1991), yaptıkları çalışmada çelik ve polipropilen lifli beton örnekler üretmiştir. Yaptıkları değerlendirme sonucunda polipropilen liflerin, lifsiz betona kıyasla tokluğu artırmadığını belirlemiştir. Çelik liflerin ise normal betonun tokluğunu % 110 oranında arttırdığını tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra, gerilme-şekil değiştirme grafiklerinin azalan kısımlarının eğimlerinin azalması, lif katkıli betonlarda sünekliği arttırdığını belirlemişlerdir.

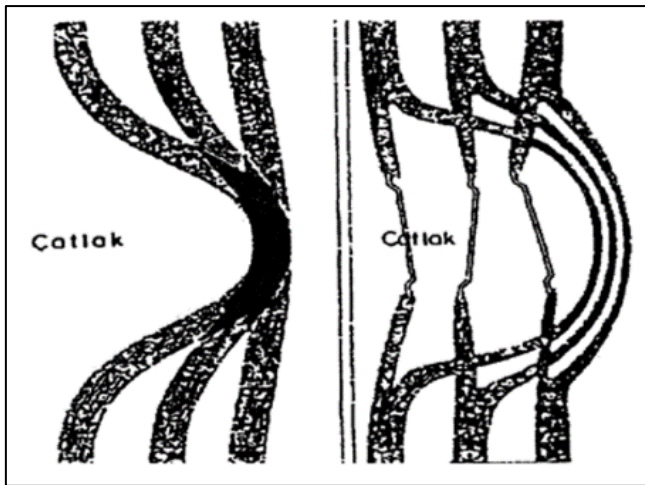
Lif katkıli betonun tokluk özelliği göz önüne alındığında şu genellemeleri yapılabilir (Uğurlu, 1994):

- Lif katkıli betonlarda kullanılan uzunluk/çap oranı, lifin geometrisi ve lif hacmi betonun enerji yutma kapasitesi (tokluk) özelliğini doğrudan etkilemektedir.
- Lif hacmiyle birlikte betonun tokluğu artış göstermektedir.
- Uç kısımları çengelli olarak üretilen liflerin kullanıldığı betonlarda tokluk, diğer tip liflerin kullanıldığı betonlara kıyasla daha yüksektir.
- Lif narınlığının (l/d) artmasıyla birlikte betonun tokluğu küçük miktarda olsa artmaktadır.
- Beton tokluğundaki artış miktarı büyük tokluk indeksi değerlerinde (I20) lif hacminin artmasıyla birlikte daha fazla etkilenmektedir.
- Lif boyundaki artış miktarı ile betonun tokluk değerlerinde görülen artış, büyük indeks değerlerinde daha belirgindir.
- Aynı lif içeriğinde yüksek dayanımlı betonun tokluğu normal betonlara göre biraz daha azdır.

1.4.3. Lif Katkılı Betonun Kırılma Mekanikği

Lif katkılı betonun performansındaki iyileşme, liflerin betondaki davranışı, betonun bu özelliklere karşı tepkisi, betonda ilk çatlak ve nihai yükten dolayı meydana gelen kırılma veya kopma ile açıklanabilir. Lifi betonda, değişik nedenlerle oluşan gerilmelerin doğurduğu çatlaklardan her biri çatlak ucuna yakın bir yerdeki bir lif ile sınırlanmış veya takviye edilmiştir. Şekil 1.6'da görüldüğü gibi, beton içerisinde lif kullanılmaması halinde betona bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikro çatlaklar gerilmenin artması çeşitli yönlerde doğru yayılarak ve gittikçe büyüyerek belli bir sınır gerilme değerinde betonun taşıma gücüne ulaşmasına neden olur.

Lif katkısız betonda oluşan çatlağın gerilmenin artması ile çatlağın büyümesi için daha az enerjiye ihtiyaç vardır. Betonun lif katkılı olması durumunda, mikro çatlağı meydana getiren enerji, lifler sayesinde çatlağın sağlam çimento hamuru bölgelerine aktarılmasını sağlar. Liflerin bu özelliği sayesinde çatlağın yayılması için daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır. Böyle bir enerjinin oluşması durumunda dahi bu enerjinin büyük bir kısmı lifler tarafından karşılanır ve taşıma liflerin çimento hamuru matrisinden sıyrılması için gerekli olan enerji seviyesine kadar devam eder. Bu enerjinin oluşması için çok büyük bir kuvvetin uygulanmalıdır. Beton kırıldıktan sonra, lifler kırılan beton parçalarını bir arada tutarak nihai yükten azda olsa bir miktar yükün taşınmasını sağlarlar (Uğurlu, 1994). Liflerin betonda belirli oranlarda kullanılmasıyla, kırılma yükünden sonra yüksek bir düktilite elde edildiği, kullanılan lif oranı arttıkça kırılma enerjisinin de arttığı görülmüştür (Arslan ve Aydın, 1999).



Şekil 1.6. Lifli ve lifsiz betonlarda kırılma mekanikği (Uğurlu, 1994).

1.5. Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı

Bu çalışmada; Normal dayanımlı olarak üretilen betonların taze halde, normal hava koşullarında ve soğuk hava şartlarına maruz kalması durumunda; farklı lif türlerinin betonun mekanik özelliklerine etkisi incelemektir. Elde edilen bilgiler ışığında alınması gereken önlemler öneriler kısmında belirtilecektir.

Çalışma kapsamında;

- Polipropilen lifli, Lifli ve Lifsiz referans betonu üretilmiştir,
- Dayanım sınıfı olarak, normal dayanım sınıfı olan C25/30 seçilmiştir.
- Beton örnekler 10x10x40 cm ebadında üretilmiştir,
- Üretilen betonların bir kısmı 2 gün boyunca taze halde 0°C, -5°C, -10°C derecelerde dona maruz bırakılmış, referans betonları ise normal hava koşullarında kür edilmiştir.
- Lif türü (Çelik, Polipropilen), Lif boyu (3-6 cm, 2.5-5 cm), lif miktarı (15kg/m³- 30kg/m³- 45kg/m³) kullanılmıştır.

Üretilen beton örnekler üzerinde gerekli tahkikler yapılarak eğilme dayanımı, basınç dayanımı, enerji yutma kapasitesi (tokluk) ve elastisite modülü belirlenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Yapılan çalışmada beton üretiminde kireçtaşı agregası, çimento ve Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1.1. Agregası

Yapılan çalışmada (0-4, 4-11.2, 11.2-22.4) agregası gruplarından, beton santrallerinde normal ve yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan Gümüşhane yöresine ait kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Şekil 2.1' de görülmektedir.



Şekil 2.1. Kireçtaşı agregası

2.1.2. Çimento

Üretilen betonlarda CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento Gümüşhane'de bulunan Aşkale Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Tablo 2.1' de çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	18.10	İncelik (45 µ elek üstü %)	7.15
Al ₂ O ₃	4.48	Yoğunluk (g/cm ³)	3.1
Fe ₂ O ₃	3.09	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3698
CaO	63.65	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2saa-31dk
MgO	2.58	Priz Sonu(saat-dk)	3saa-11dk
SO ₃	2.84	Hacim Genişlemesi(mm)	1.0
Kızdırma Kaybı	3.90	Su İhtiyacı (%)	29.5
Na ₂ O	0.21		
K ₂ O	0.62		
CI	0.015	Basınç Dayanımı(N/mm ²)	
Ölçülemeyen	0.52	2.Gün	27.9
Toplam	100	28.Gün	58.0

2.1.3. Karışım Ve Kür Suyu

Çalışmada Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1.4. Uçucu Kül

TS 10514 standardına göre 0-0.25 mm aralığındaki agregaların 400 kg/m³ olması gerekmektedir. Bu aralıktaki agrega uçucu kül ile sağlanmıştır. Uçucu kül Afşin Elbistan Termik Santralinden temin edilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Afşin-Elbistan Termik santralinden temin edilen uçucu kül

Beton üretiminde kullanılan uçucu küllerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Tablo 2.2’de görülmektedir.

Tablo 2.2. Uçucu kül özellikleri

Kimyasal Analizler (%)	
Toplam 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	2.44
Blaine (cm ² /g)	2496
Puzolanik Aktivite	15.8

2.1.5. Çelik Lif

Bu çalışmada çelik lif uzun ve kısa olarak kullanılmıştır. Lif özellikleri Tablo 2.3’ de gösterilmiştir. TS 10514 betonda kullanılacak çelik liflerin 1 metreküpte 50 kilogramı aşmamasını tavsiye etmektedir. Çelik lif standardının maksimum belirlediği lif oranı dikkate alınarak 15-30-45 kg/m³ (A-B-C) şeklinde 3 oran belirlenmiştir. 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. Burada lif hacimleri beton türlerinde aynı tutulmasına karşın, boy, çap ya da kalınlık faktörlerinden dolayı adet olarak farklılık göstermektedir. Çelik lifleri 3 cm kısa ve 6 cm uzun lifler şeklinde temin edilme zorunluluğu olmuştur. Çelik lifler Kemerli Metal Sanayi adlı bir kuruluştan temin edilmiştir.

Tablo 2.3. Çelik lif özellikleri

Lif Özellikleri	
Lif oranı (dm ³ A-B-C)	1.91-3.81-5.72
Lif uzunluğu (mm)	30-60
Lif genişliği (mm)	-
Lif kalınlığı (mm)	-
Lif çapı (mm)	0.9
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	7.87
Çekme Dayanımı (MPa)	~1100
Elastik modül (MPa)	200000
En son uzama (%)	< 2
Alevlenme sıcaklığı (°C)	-
Erime, oksidasyon ve bozulma sıcaklığı (°C)	800
ASTM D 570'e göre Su emme (% - ağırlık esas)	0

Beton örneklerin üretilmesinde kullanılan polipropilen lifler Şekil 2.3' de görülmektedir.



Şekil 2.3. Betonda kullanılan kısa ve uzun çelik lifler

2.1.6. Polipropilen Lif

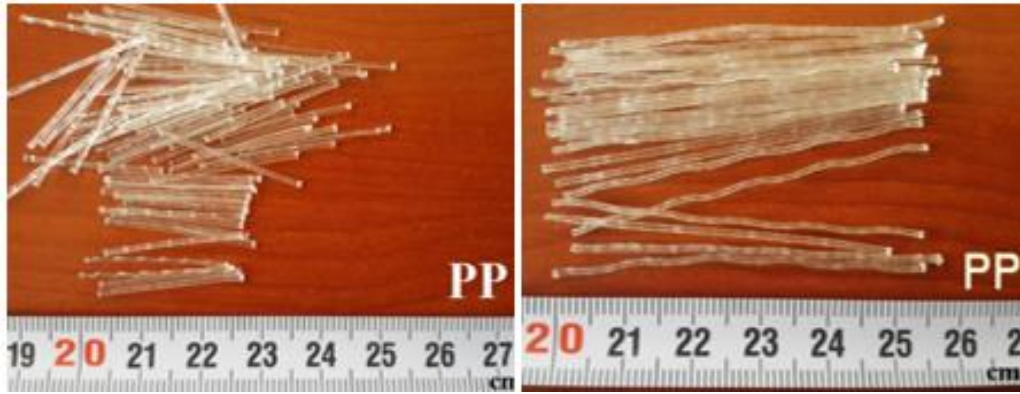
Bu çalışmada polipropilen lif (PP) uzun ve kısa olarak kullanılmıştır. Lif özellikleri Tablo 2.4'da gösterilmiştir. TS 10514 betonda kullanılacak polipropilen liflerin 1 metreküpde 50 kilogramı aşmamasını tavsiye etmektedir. Çalışmada, sentetik liflerle ilgili standart almayı nedeniyle çelik lif standardının maksimum belirlediği lif oranı dikkate alınarak 15-30-45 kg/m³ (A-B-C) şeklinde 3 oran belirlenmiştir. 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 belirlenmiş ve aynı hacimde polyester lif, polipropilen lif ve

polipropilen elyafların miktarı belirlenmiştir. Burada lif hacimleri beton türlerinde aynı tutulmasına karşın, boy, çap ya da kalınlık faktörlerinden dolayı adet olarak farklılık göstermektedir. Polipropilen lif 2.5 cm kısa lifler ve 5 cm uzun lifleri temin noktasında bir sıkıntı yaşanmazken Polipropilen lif Polyfibers adlı bir kuruluştan, temin edilmiştir.

Tablo 2.4. Polipropilen lif Özellikleri

Lif Özellikleri	
Lif oranı (dm ³ A-B-C)	1.91-3.81-5.72
Lif uzunluğu (mm)	25-50
Lif genişliği (mm)	0.5
Lif kalınlığı (mm)	0.25
Lif çapı (mm)	-
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	0.91
Çekme Dayanımı (MPa)	600-750
Elastik modül (MPa)	3800
En son uzama (%)	10
Alevlenme sıcaklığı (°C)	537
Erime, oksidasyon ve bozulma sıcaklığı (°C)	180
ASTM D 570'e göre Su emme (% - ağırlık esas)	0.01

Beton örneklerin üretilmesinde kullanılan polipropilen lifler Şekil 2.4.' de görülmektedir.



Şekil 2.4. Betonda kullanılan kısa ve uzun polipropilen lifler

2.1.7. Akışkanlaştırıcı Katkı Malzemesi

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. 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 2.5’de belirtilen beton karışım tasarımıdaki akışkanlaştırıcı miktarı ön denemeler sonucu belirlenmiştir.

Tablo 2.5. Normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi teknik özellikleri

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

2.2. Yöntem

Çalışmada, beton üretiminde kullanılmak üzere agrega, akışkanlaştırıcı katkı, çimento, çelik ve polipropilen lif temin edilecektir. Üretilecek betonların mekanik özelliklerindeki değişimi incelemek için temin edilen 2 tür lifin ayrı ayrı az, orta ve çok oranda karışımı kullanılarak 10x10x40 cm ölçülerinde numuneler hazırlanacaktır. Hazırlanan numunelerin bir kısmı taze halde 0°C, -5°C ve -10°C şartlarında derin dondurucuda 2 gün boyunca kür edildikten sonra kalıplardan çıkarılarak suda 28 güne kadar kür edilecektir. Kalan kısmı ise 2 gün normal hava koşullarında bekletilip kür havuzunda 28 gün kür edilecektir. Numuneler kür havuzunda 28 günü tamamlamalarının ardından normal hava koşullarında 120 bekletilecektir.

Üretilen numuneler 7, 28 ve 120 günlerde, önce 3 nokta eğme deneyine tabi tutularak eğilme dayanımları ve tokluk değerleri belirlenecektir. Kırılan kiriş numunelerin sağlam olan uç kısımlarından 10x10x10 cm ölçülerinde kesilerek, kesilen parçalar basınç dayanımı testine tabi tutularak, basınç dayanımları ve elastisite modülleri hesaplanacaktır.

2.2.1. Beton Örneklerin Hazırlanması

Çalışmada karışım hesapları yapılarak gerekli malzemeler temin edilmiştir. Karışım miktarları Tablo 2.6’de görülmektedir. Karışım hesaplarına uygun olacak biçimde önce

Çimento, agrega, lif kullanılarak pan tipi beton mikseri yardımıyla kuru karışım yapılmıştır. Gümüşhane şebeke suyu ve akışkanlaştırıcı katkı malzemesi gerekli oranlarda kullanılarak karışım suyu hazırlanmıştır. Mikserde kuru karışım dönerken karışım suyu yavaş yavaş ilave edilmiştir. Karışım suyunun tamamı ilave edildikten sonra gözle yapılan kontrollerde yeterli homojenliğe ulaşana kadar mikserde karıştırılmıştır. Kalıplar yağlanarak döküme uygun hale getirildikten sonra beton yerleştirilme aşamasına geçilmiştir. Taze beton kalıba yerleştirilirken tokmak yardımıyla sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıba yerleştirilen numuneler planlanan kür programına göre dondurucu veya laboratuvar ortamında 2 gün bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak kür havuzuna aktarılmışlardır. 28 günü tamamlayan numuneler kür havuzundan çıkarılarak 120 güne kadar laboratuvar ortamında bekletilmişlerdir (Şekil 2.5).

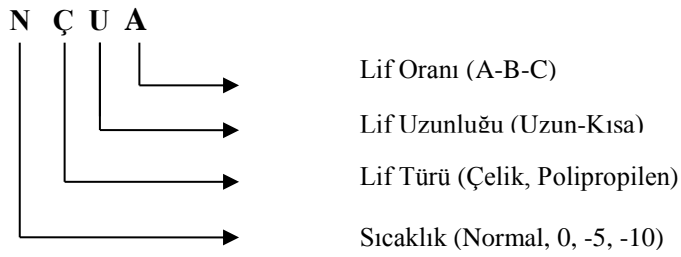
Tablo 2.6. 1 m³ karışım için malzeme miktarları

MALZEMELER		Ağırlık (kg)	Hacim(dm ³)
Çimento		347	112
Su		190	190
Agrega	İnce (%38)	687	256
	Orta (%18)	326	121
	İri (%44)	796	297
Hava		0	20
Akışkanlaştırıcı Katkı malzemesi (%1)		3.47	3
Toplam		2366	1000
Su / Çimento :		0.55	



Şekil 2.5. Lifli beton yapım aşamaları

Betonlar üretildiği sıcaklık, lif miktarı ve lif oranına göre aşağıdaki gibi kodlanmıştır. Tablo 2.7’ de tüm betonların sıra numarası ve kodlarının açıklamaları gösterilmiştir.



Tablo 2.7. Beton türleri

Beton Kodu	Beton Türü Açıklaması
NÇKA	Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
NÇKB	Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
NÇKC	Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
NÇUA	Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
NÇUB	Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
NÇUC	Normal hava koşullarında üretilen, çelik lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
0ÇKA	0 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
0ÇKB	0 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
0ÇKC	0 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
0ÇUA	0 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
0ÇUB	0 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
0ÇUC	0 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
5ÇKA	-5 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
5ÇKB	-5 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
5ÇKC	-5 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
5ÇUA	-5 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
5ÇUB	-5 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
5ÇUC	-5 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
10ÇKA	-10 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
10ÇKB	-10 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
10ÇKC	-10 °C' de üretilen, çelik lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
10ÇUA	-10 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
10ÇUB	-10 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
10ÇUC	-10 °C' de üretilen, çelik lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri

Tablo 2.7. (Devamı)

NPPKA	Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
NPPKB	Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
NPPKC	Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
NPPUA	Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
NPPUB	Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
NPPUC	Normal hava koşullarında üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
0PPKA	0 °C' de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
0PPKB	0 °C' de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
0PPKC	0 °C' de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
0PPUA	0 °C' de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
0PPUB	0 °C' de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
0PPUC	0 °C' de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
5PPKA	-5 °C' de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
5PPKB	-5 °C' de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
5PPKC	-5 °C' de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
5PPUA	-5 °C' de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
5PPUB	-5 °C' de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
5PPUC	-5 °C' de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
10PPKA	-10 °C' de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
10PPKB	-10 °C' de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
10PPKC	-10 °C' de üretilen, polipropilen lifi kısa boylu ve C oranında içeren beton numuneleri
10PPUA	-10 °C' de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve A oranında içeren beton numuneleri
10PPUB	-10 °C' de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve B oranında içeren beton numuneleri
10PPUC	-10 °C' de üretilen, polipropilen lifi uzun boylu ve C oranında içeren beton numuneleri

2.2.2. Basınç Dayanımının Tayini

Basınç dayanımı, beton örnekler üzerinde TS EN 12390-3’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Beton basınç dayanımının hesaplanmasında kullanılan eşitlik Denklem 1’ de gösterilmektedir.

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Denklem 1. Basınç dayanımı tayini

Eşitlikte:

f_c = Basınç dayanımı, MPa (N/mm^2),

F = Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N,

A_c = Numunenin, üzerine basınç uygulandığı en kesit alanı, (mm^2) ifade etmektedir.

Basınç dayanımının belirlenmesinde Şekil 2.6’da görülen basınç presi kullanılmıştır.



Şekil 2.6. Beton basınç deneyi

2.2.3. Eğilme dayanımının Tayini

Eğilme basınç deneyi 10x10x40 cm ebadında kiriş örnek üzerinde TS-EN 12390-5’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Eğilme basınç dayanımı testleri, 28 günlük numunelere uygulanmıştır. Eğilme basınç pres (Şekil 3.5) TS-3114'e uygun olarak ayarlanmış ve otomatik olarak kırılarak kırılma yükleri ve basınç gerilmeleri (eğilme basınç dayanımları) saptanmıştır.

Eğilme dayanımının hesaplanmasında kullanılan eşitlik Denklem 2' de gösterilmektedir.

$$f_{cf} = \frac{3*F*l}{2*d_1*d_2^2}$$

Denklem 2.Eğilme dayanımı tayini

Burada,

f_{cf} = Eğilme Dayanımı, MPa (N/mm²)

F = En büyük yük (N),

d₁ ve d₂ = Numunenin en kesit boyutları (mm),

l = Mesnet silindirleri arasındaki açıklık (mm) ifade etmektedir.



Şekil 2.7. Eğilme basınç deneyi

2.2.4. Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk) Tayini

Çalışmada üretilecek olan 10x10x40 cm ölçülerindeki numuneler 3 nokta eğme testine tabi tutulacaktır. Elde edilecek kuvvet-sehim grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi verilerine ulaşılabilecektir. Betonların enerji yutma kapasiteleri hesabında kullanılan eşitlik Denklem 3' de gösterilmektedir (Can, 2018).

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

Denklem 3. Enerji yutma kapasitesi tayini (Can,2018).

2.2.5. Elastisite Modülünün Tayini

Tasarım hesaplarında kullanılacak betonun E değeri, genellikle, basınç dayanımı ile elastik modülü arasındaki ampirik ilişki göz önünde tutularak kullanılmaktadır.

Betonun basınç dayanımı ile elastik modülü arasındaki ampirik ilişkiyi gösteren ve aslında birbirine oldukça yakın sonuçlar veren değişik formüller mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanları aşağıdaki Kuruluşlar tarafından önerilen formüllerdir.

- Amerikan Beton Enstitüsü Formülü
- Avrupa Beton Komitesi Formülü
- Türk Standartları Formülü

Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından önerilen formülü kullanarak betondaki elastiklik modülü değerinin hesaplanması Denklem 4' de gösterilmektedir.

$$E = 14000 + 3250 f_{ck}^{1/2}$$

Denklem 4. Elastisite modülü tayini

E = Elastiklik Modülü (MPa),

f_{ck} = Betonun karakteristik basınç dayanımı (MPa),

TS 500 tarafından önerilen formülle elastiklik modülü hesaplaması yukarıdaki gibidir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1.1. Basınç Dayanımı

3.1.1.1. Çelik Lif Takviyeli Betonların Basınç Dayanımı

Taze halde donatı maruz çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı değerleri, beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin normal şartlarda üretilen beton örneklerle göre 7, 28 ve 120 günlük basınç dayanımına göre kıyaslanmıştır. Betonun basınç dayanımına göre 7, 28 ve 120 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri Tablo 3.1’de görülmektedir. Ayrıca kısa çelik lif takviyeli ve uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.1-Şekil 3.9 de görülmektedir.

Tablo 3.1. Çelik lif takviyeli beton numunelerin ortalama basınç dayanımları

Lif Türü	Lif Oranı	Lif Boyu	Sıcaklık	Ortalama Basınç Dayanımları (MPa)		
				7. gün	28. gün	120. gün
Çelik	A	Kısa	N	26.13	32.13	45.72
			0	20.26	31.43	40.46
			-5	18.81	23.34	31.42
			-10	16.45	17.54	24.59
		Uzun	N	23.40	29.78	49.02
			0	19.74	25.87	36.96
			-5	18.77	21.86	26.46
			-10	15.36	16.52	21.98
	B	Kısa	N	23.55	34.43	47.20
			0	22.48	23.69	39.60
			-5	18.25	19.97	30.54
			-10	15.95	18.08	23.72
		Uzun	N	24.89	31.07	57.58
			0	20.87	23.45	36.79
			-5	16.36	19.85	25.63
			-10	13.17	17.48	20.68
	C	Kısa	N	20.88	27.32	48.03
			0	19.71	25.33	38.00
			-5	17.69	24.74	27.79
			-10	14.50	17.98	23.50
		Uzun	N	16.92	24.11	53.60
			0	15.72	22.55	32.37
			-5	15.21	21.16	25.49
			-10	11.62	17.20	19.15

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük basınç dayanımı değerinin 20.88 MPa ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 14.50 MPa ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %22.5, %28.0, %37.1 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %4.5 , %22.5 , %32.3 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %5.6 , %15.3 %30.6 daha az olduğu,

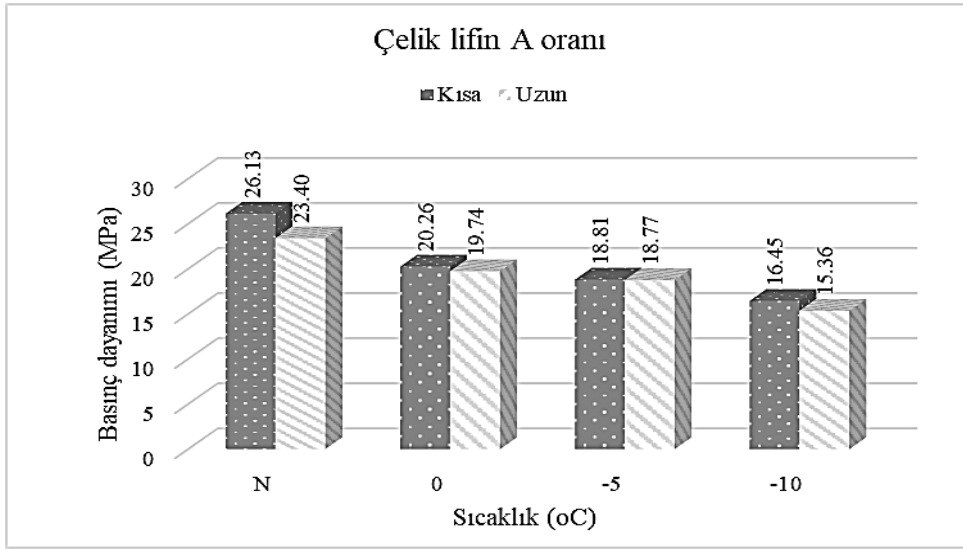
Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük basınç dayanımı değerinin 24.89 MPa ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 11.62 MPa ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %15.70 , %19.8, %34.3 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton

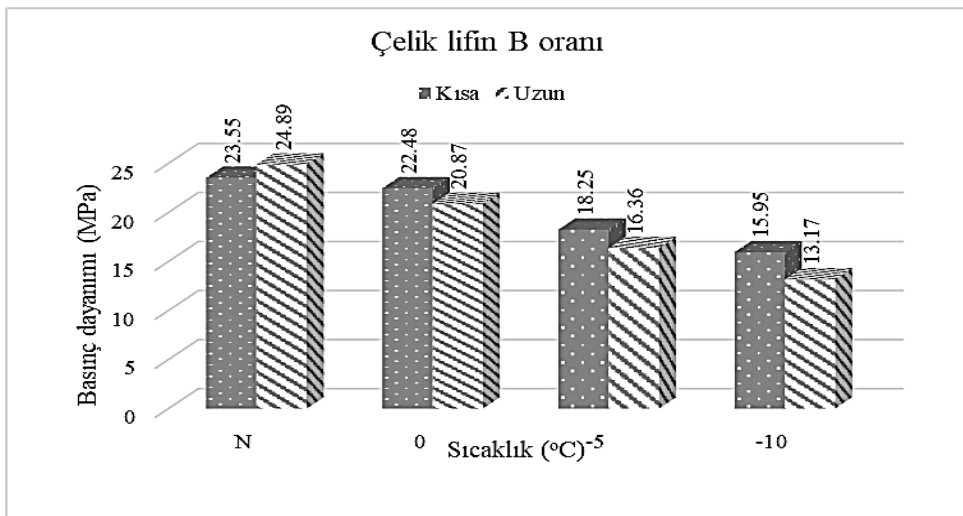
türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %16.1 , %34.3 ,%47.1 daha az olduğu,

- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %7.1 , %10.1 ,%31.3 daha az olduğu belirlenmiştir.

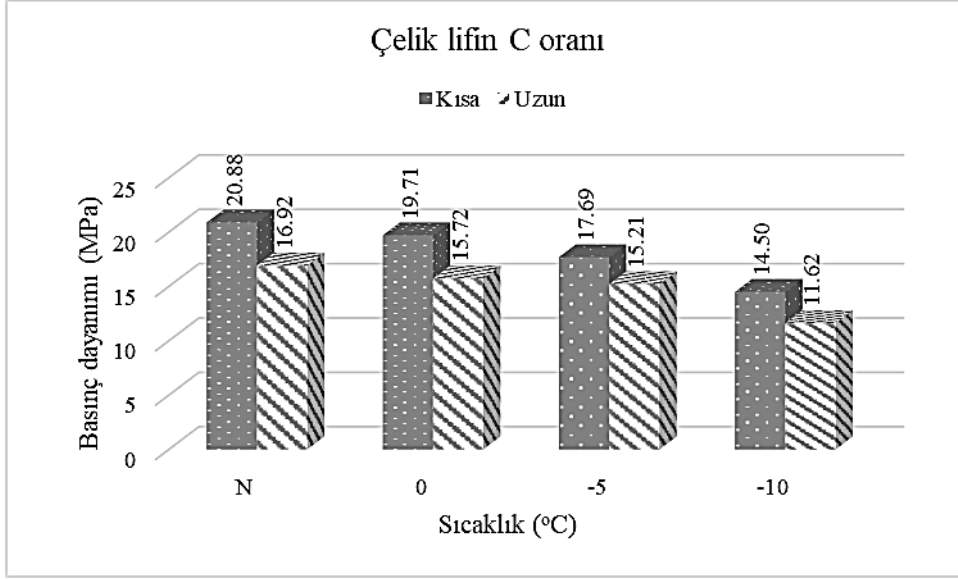
Çelik lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 7 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.1-Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.1. A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.2. B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.3. C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

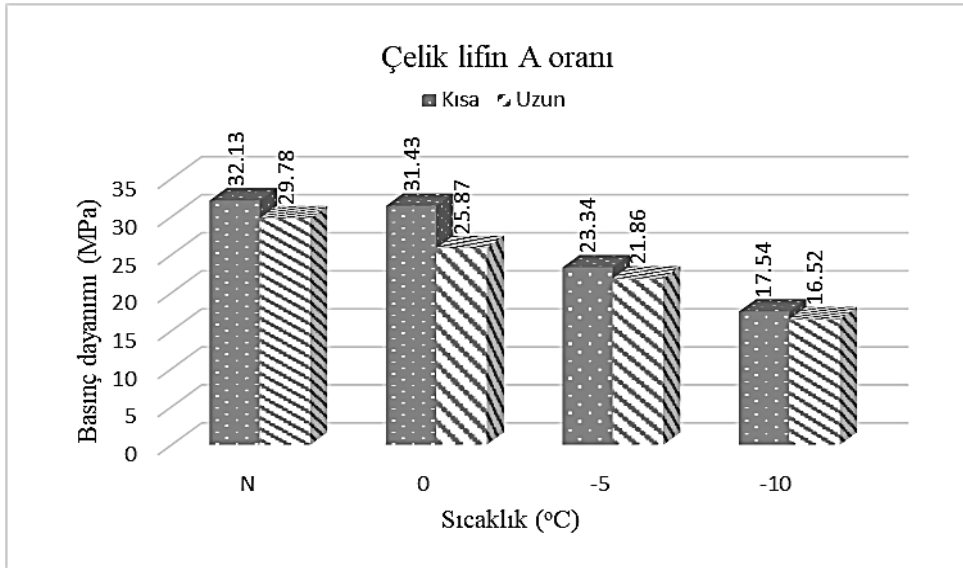
Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük basınç dayanımı değerinin 27.32 MPa ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 17.98 MPa ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %2.2, %27.3 , %45.4 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %31.2 , %42.0 , %47.5 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %7.3, %9.5 %34.2 daha az olduğu,

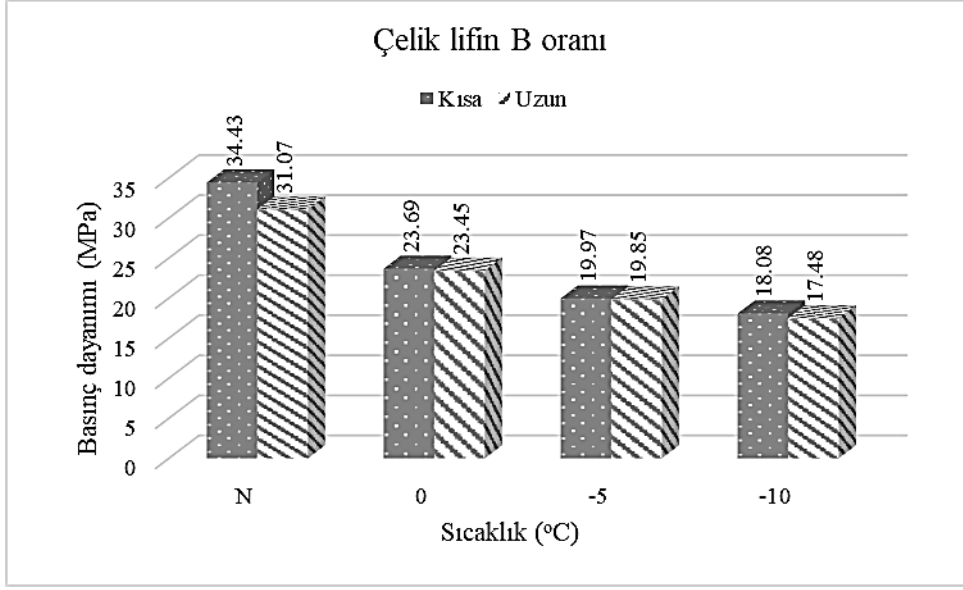
Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük basınç dayanımı değerinin 31.07 MPa ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 17.20 MPa ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %13.1, %26.6, %44.5 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %24.5, %36.1, %43.7 daha az olduğu,
- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %6.5, %12.2, %28.6 daha az olduğu belirlenmiştir.

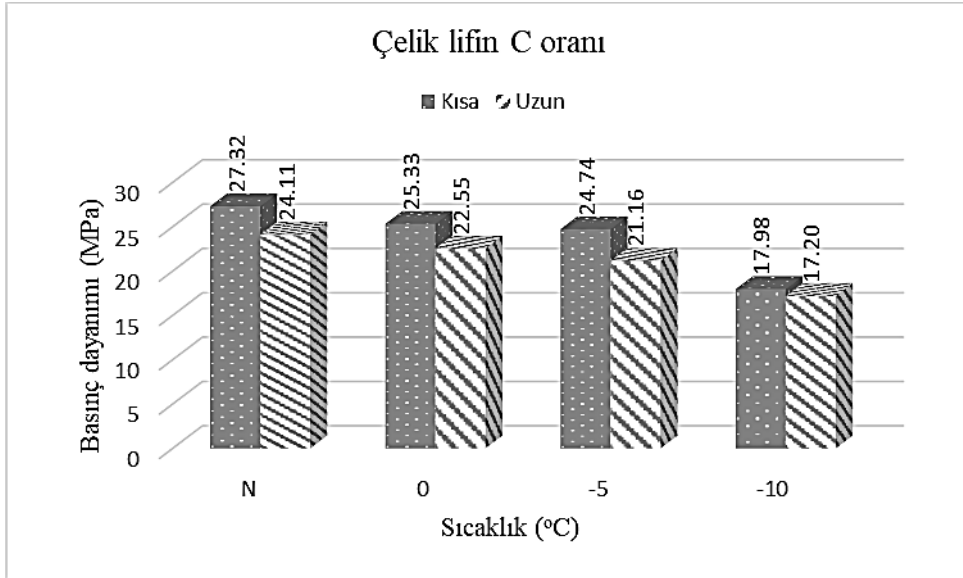
Çelik lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.4-Şekil 3.6'de görülmektedir.



Şekil 3.4. A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.5. B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.6. C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 120 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerde;

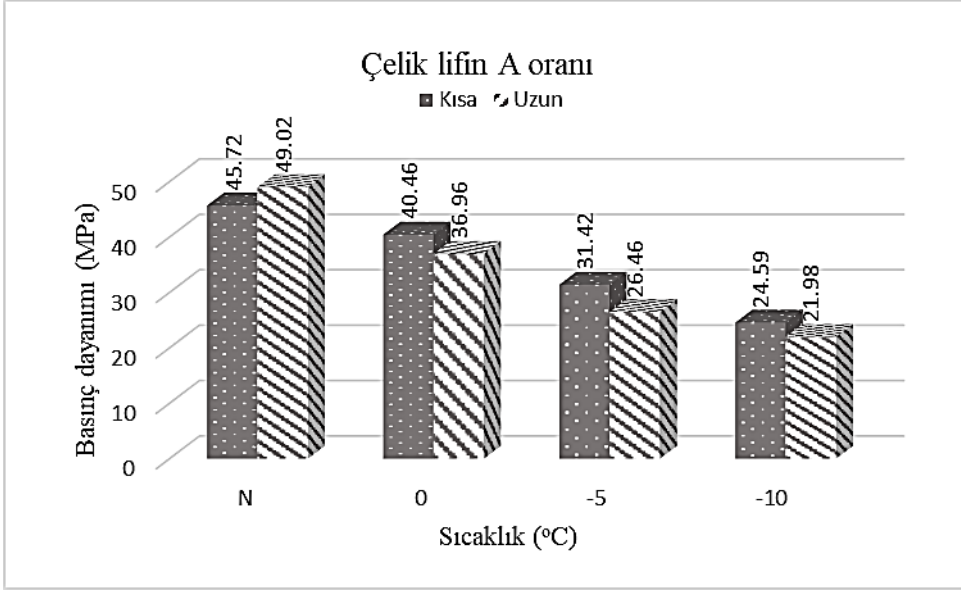
- En büyük basınç dayanımı değerinin 48.03 MPa ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,

- En küçük basınç dayanımı değerinin 23.50 MPa ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %11.5, %31.3, %46.2 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %16.1, %35.3, %49.7 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %20.9, %42.2, %51.1 daha az olduğu,

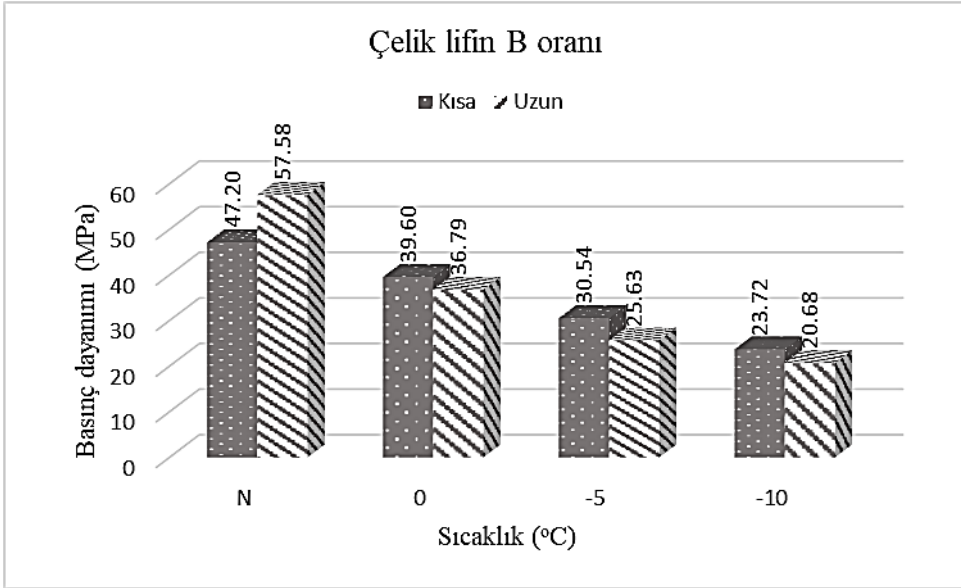
Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük basınç dayanımı değerinin 57.58 ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 19.15 MPa ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %24.6, %46.0, %55.2 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %36.1, %55.5, %64.1 daha az olduğu,
- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %39.6, %52.5, %64.3 daha az olduğu belirlenmiştir.

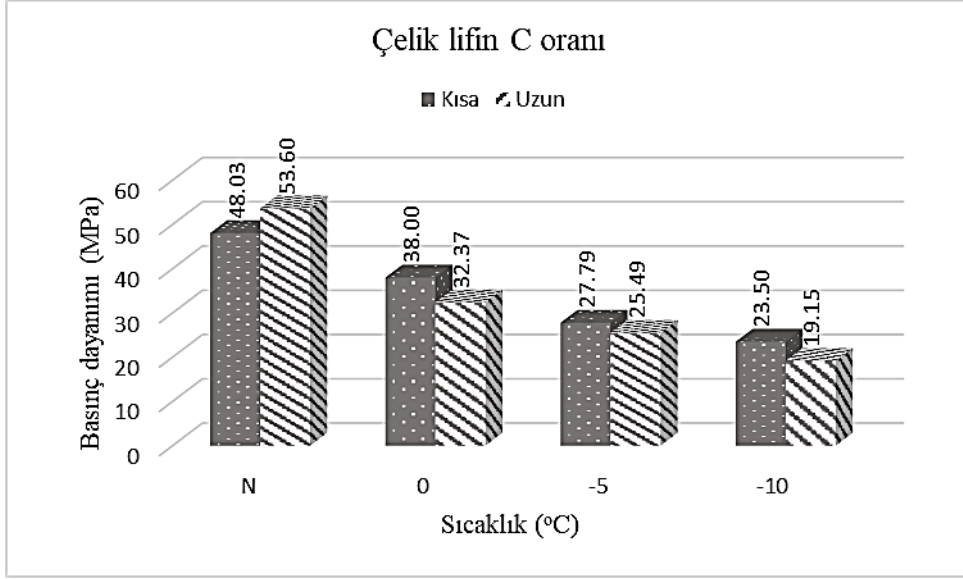
Çelik lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 120 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.7-Şekil 3.9'de görülmektedir.



Şekil 3.7. A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.8. B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.9. C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı

Sonuç olarak, taze halde donu maruz kalmış lifli betonların erken yaş dayanımlarında karakteristik dayanıma göre yaklaşık olarak %60 azalma belirlenmiştir. Demirboğa ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, bezer şekilde taze halde donu maruz bırakılan lifsiz betonların erken yaş dayanımının yaklaşık olarak %80 azaltıldığını ve 28 günlük dayanımlarda ise %95 civarında dayanım kaybı tespit etmiştir (Demirboğa, 2014). Benzer şekilde Korhonen yaptığı çalışmada taze halde donu maruz kalan betonlarda dayanım kayıplarının olduğunu belirlemiştir.

3.1.1.2. Polipropilen Lif Takviyeli Betonların Basınç Dayanımı

Taze halde donu maruz polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı değerleri, beton örneklerin taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin normal şartlarda üretilen beton örneklere göre 7, 28 ve 120 günlük basınç dayanımına göre kıyaslanmıştır. Betonun basınç dayanımına göre 7, 28 ve 120 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri Tablo 3.2’de görülmektedir. Ayrıca kısa polipropilen lif takviyeli ve uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.10-Şekil 3.18’de görülmektedir.

Tablo 3.2. Polipropilen lif takviyeli beton numunelerin ortalama basınç dayanımları

Lif Türü	Lif Oranı	Lif Boyu	Sıcaklık	Ortalama Basınç Dayanımları(MPa)		
				7. gün	28. gün	120. gün
Polipropilen	A	Kısa	N	31.08	35.93	46.48
			0	24.62	30.68	43.68
			-5	21.78	26.69	38.73
			-10	20.11	23.42	27.27
		Uzun	N	32.51	38.80	52.74
			0	23.52	29.99	41.31
			-5	20.99	26.19	32.04
			-10	17.68	19.35	25.64
	B	Kısa	N	31.58	36.48	47.65
			0	24.13	30.55	43.03
			-5	21.77	26.41	38.45
			-10	18.53	22.91	26.75
		Uzun	N	35.44	40.60	56.38
			0	23.48	28.65	39.93
			-5	20.76	26.16	31.32
			-10	16.82	19.07	25.25
	C	Kısa	N	32.42	36.85	48.57
			0	24.08	30.27	41.53
			-5	21.56	26.22	38.29
			-10	17.99	20.02	25.57
		Uzun	N	32.75	38.92	55.11
			0	22.39	27.26	39.49
			-5	20.58	24.68	30.29
			-10	15.03	18.08	20.55

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

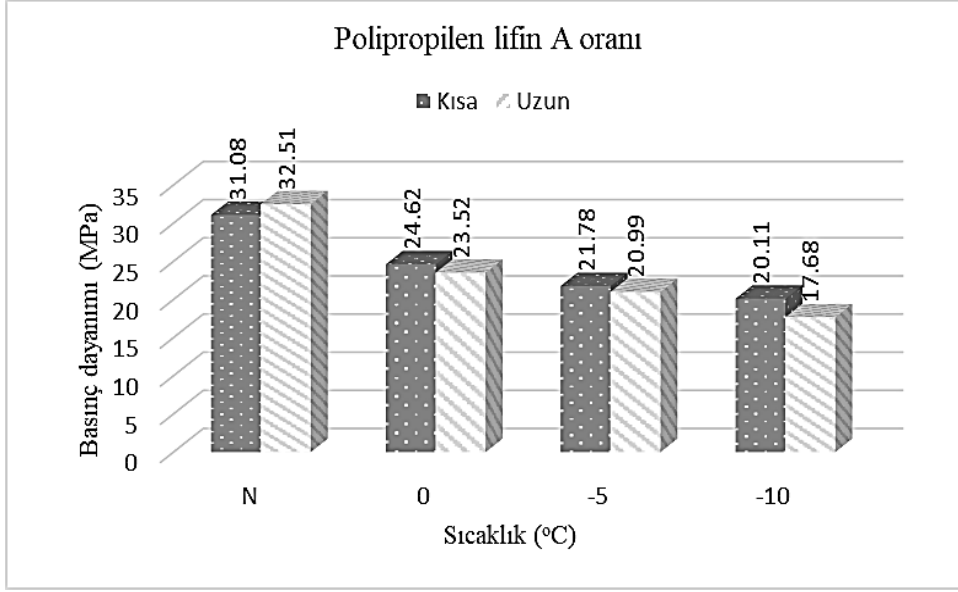
- En büyük basınç dayanımı değerinin 32.42 MPa ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 17.99 MPa ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,

- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %20.8 , %29.9, %35.3 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %23.6 , %31.1 ,%41.3 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKC, 5PPKC, 10PPKC beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %25.7 , %33.5 ,%44.5 daha az olduğu,

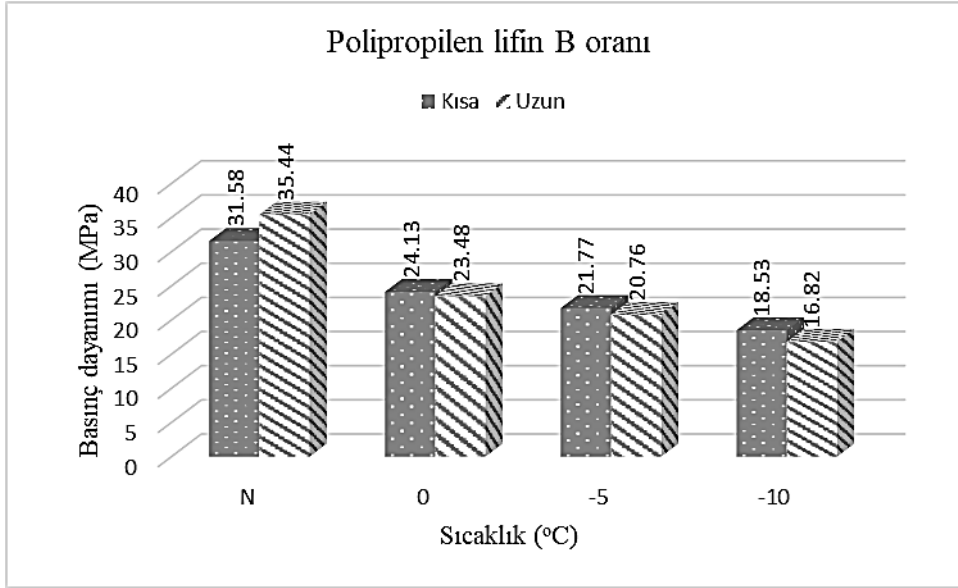
Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük basınç dayanımı değerinin 35.44 MPa ile NPPUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 15.03 MPa ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %27.7 , %35.4, %45.6 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %33.7 ,%41.4 ,%52.6 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %31.6 ,%37.2, %54.1 daha az olduğu belirlenmiştir.

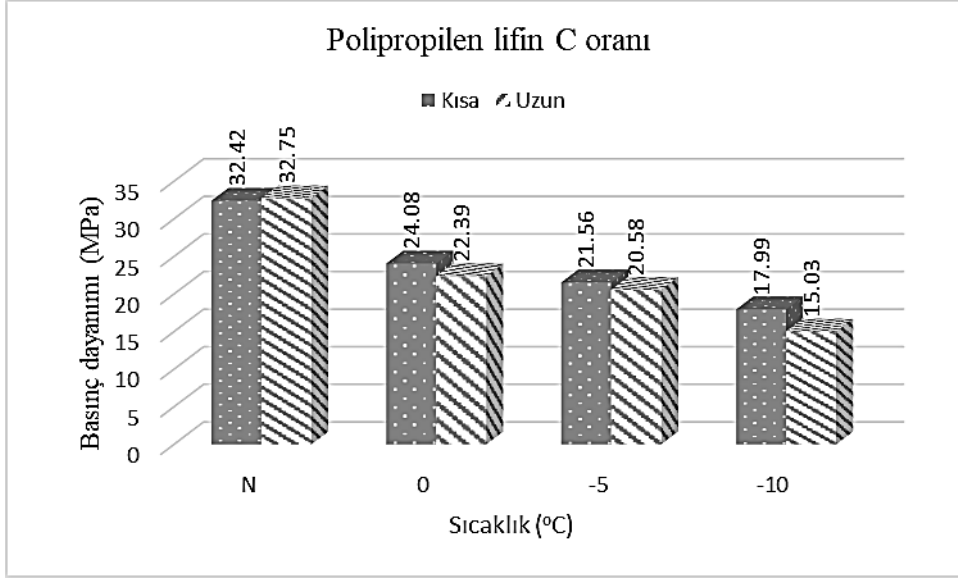
Polipropilen lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 7 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.10-Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.10. A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.11. B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı değeri



Şekil 3.12. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı değeri

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

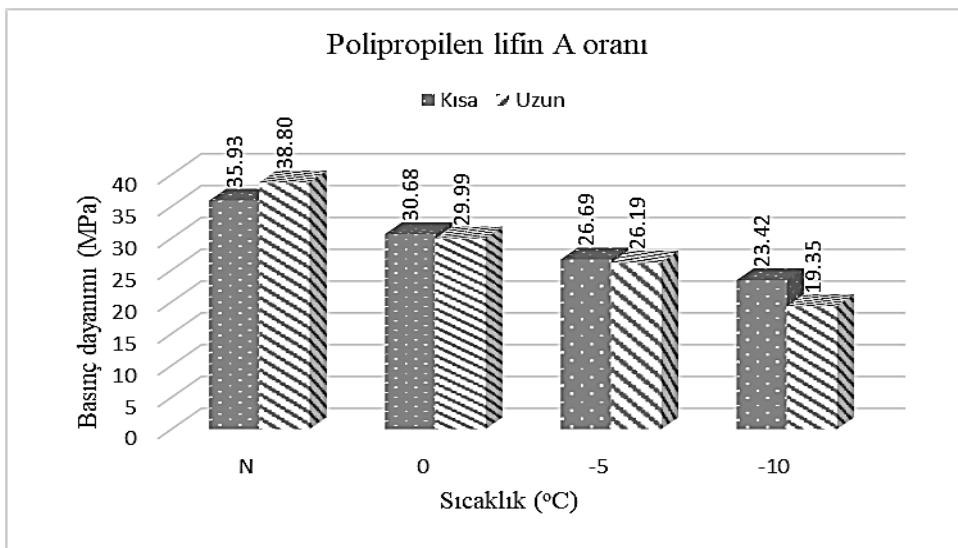
Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük basınç dayanımı değerinin 36.85 MPa ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 20.02 MPa ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %14.6, %25.7, %34.8 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %16.3, %27.6, %37.2 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKC, 5PPKC, 10PPKC beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %17.9, %28.8, %45.7 daha az olduğu,

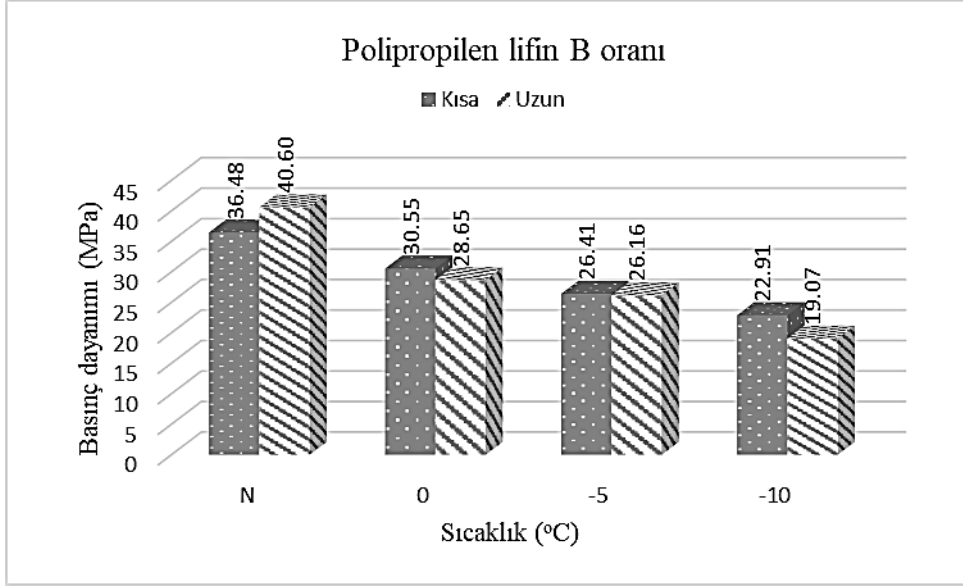
Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük basınç dayanımı değerinin 40.60 MPa ile NPPUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 18.08 MPa ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %22.7, %3.5, %50.1 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %29.4, %35.6, %53.0 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %30.0, %36.6, %53.5 daha az olduğu belirlenmiştir.

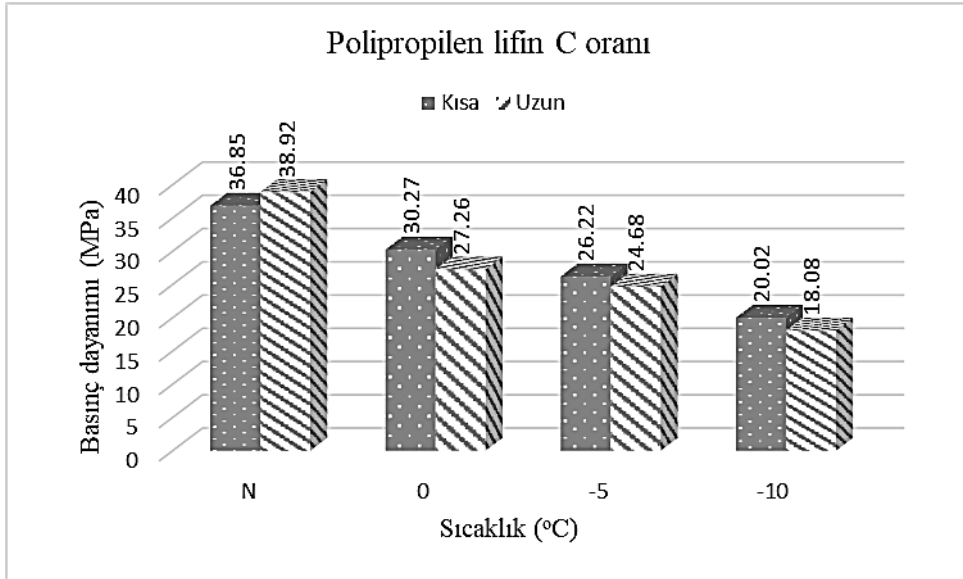
Polipropilen lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.13-Şekil 3.15’de görülmektedir.



Şekil 3.13. A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.14. B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.15. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 120 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

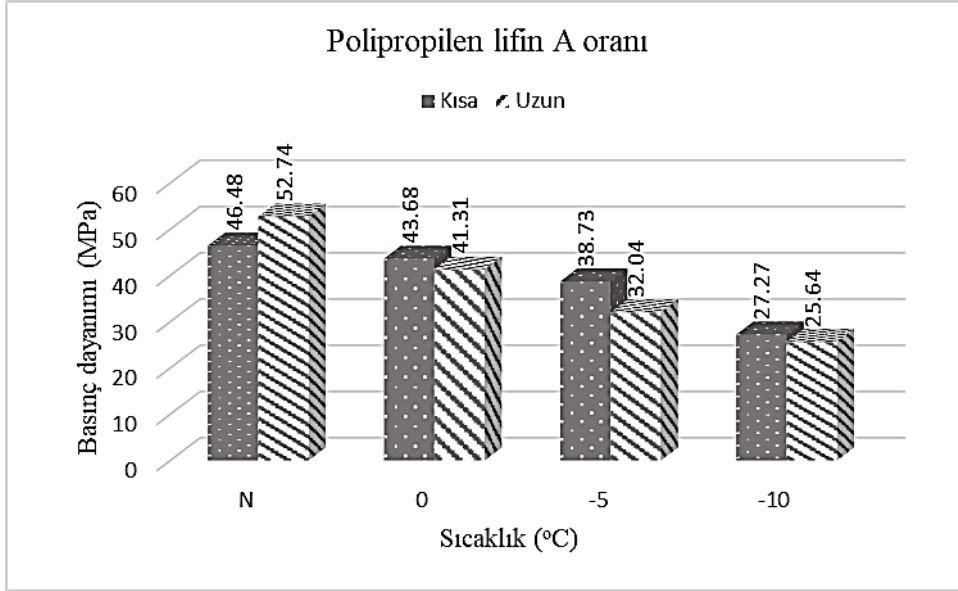
- En büyük basınç dayanımı değerinin 48.57 MPa ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,

- En küçük basınç dayanımı değerinin 25.57 MPa ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklerle karşılaştırıldığında sırasıyla %6.0, %16.7, %41.3 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklerle karşılaştırıldığında sırasıyla %9.7, %19.3, %43.9 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKC, 5PPKC, 10PPKC beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklerle karşılaştırıldığında sırasıyla %14.5, %21.2, %47.4 daha az olduğu,

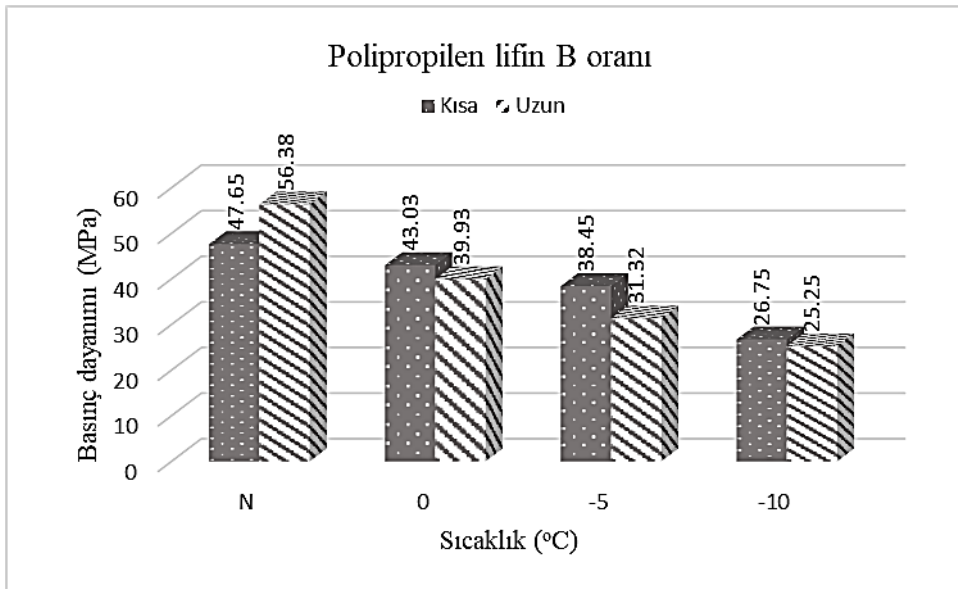
Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük basınç dayanımı değerinin 56.38 MPa ile NPPUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük basınç dayanımı değerinin 20.55 MPa ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklerle karşılaştırıldığında sırasıyla %21.7, %39.3, %51.4 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklerle karşılaştırıldığında sırasıyla %29.2, %44.4, %55.2 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin basınç dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklerle karşılaştırıldığında sırasıyla %28.3, %45.0, %62.7 daha az olduğu belirlenmiştir.

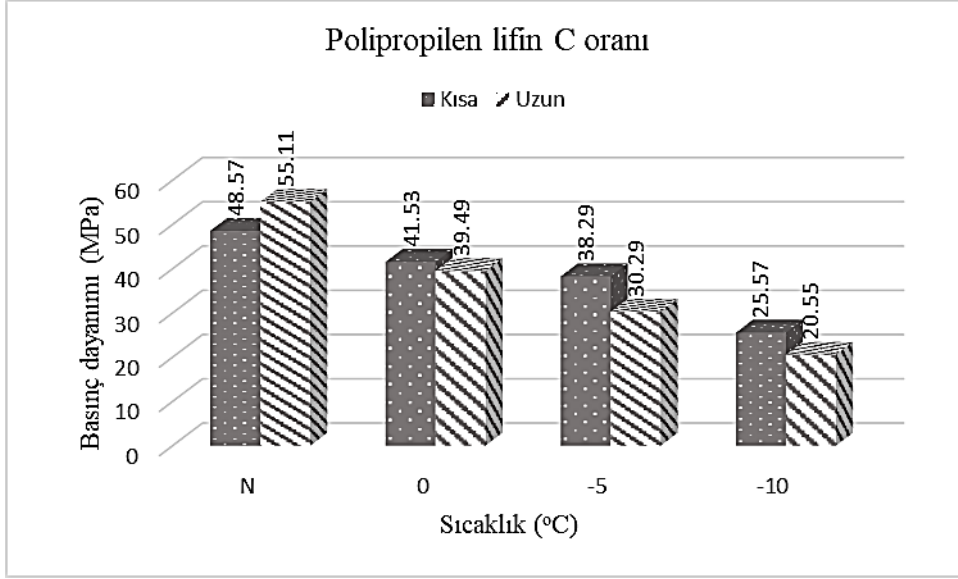
Polipropilen lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 120 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.16-Şekil 3.18’de görülmektedir.



Şekil 3.16. A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.17. B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı



Şekil 3.18. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama basınç dayanımı

Sonuç olarak, taze halde dona maruz kalmış lifli betonların erken yaş dayanımlarında karakteristik dayanıma göre yaklaşık olarak %60 azalma belirlenmiştir. Taze halde dona maruz kalan betonlarda lif kullanımı ile dayanım kayıplarının azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde,

Demirboğa ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, taze halde dona maruz bırakılan lifsiz betonların erken yaş dayanımının yaklaşık olarak %80 azalttığını ve 28 günlük dayanımlarda ise %95 civarında dayanım kaybı tespit etmiştir. (Demirboğa, 2014).

Çullu yaptığı çalışmada, beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık derecesine bağlı olarak boşluk miktarı artmakta ve dolayısıyla basınç dayanımı düştüğünü tespit etmiştir(Çullu, 2009).

Lee yapmış olduğu çalışmada %2 çelik lif kullanılması durumunda basınç dayanımında %16 artış belirlemiştir (Lee, 2002).

Ünal yapmış olduğu çalışmada basınç dayanımı değerlerinin lifsiz referans betonuna kıyasla polipropilen lifli betonlarda %3, çelik lifli betonlarda %7 artış olduğunu belirlemiştir (Ünal, 2003).

Ashour ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada çelik lif kullanımının beton dayanımına %38.5 artış olduğunu saptamıştır (Ashour vd., 2001).

Bu çalışmada taze halde dona maruz kalan betonlarda çelik lif ve polipropilen lif kullanımının basınç dayanımlarındaki kayıpları azalttığı görülmüştür.

3.1.2. Eğilme Dayanımı

3.1.2.1. Çelik Lif Takviyeli Betonlar

Taze halde donatıya maruz beton örneklerin eğilme dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı değerleri, beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin normal şartlarda üretilen beton örneklerine göre 7, 28 ve 120 günlük eğilme dayanımına göre kıyaslanmıştır. Betonun eğilme dayanımına göre 7, 28 ve 120 günlük eğilme dayanımı değerleri Tablo 3.3’de görülmektedir. Ayrıca kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.19-Şekil 3.33’ de, uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.22 - Şekil 3.36 görülmektedir.

Tablo 3.3. Çelik lif takviyeli beton numunelerin ortalama eğilme dayanımları

Lif Türü	Lif Oranı	Lif Boyu	Sıcaklık	Eğilme Dayanımları (MPa)		
				7. gün	28. gün	120. gün
Çelik	A	Kısa	N	7.66	8.34	8.96
			0	3.05	4.99	8.89
			-5	2.65	4.76	8.63
			-10	2.51	4.38	7.26
		Uzun	N	7.99	8.69	9.27
			0	2.86	4.87	8.77
			-5	2.60	4.60	8.10
			-10	2.18	4.02	6.10
	B	Kısa	N	7.74	8.60	9.01
			0	3.04	4.96	8.88
			-5	2.65	4.75	8.31
			-10	2.42	4.34	6.89
		Uzun	N	8.90	9.05	9.93
			0	2.84	4.86	8.72
			-5	2.54	4.55	7.90
			-10	2.05	3.05	5.66
	C	Kısa	N	7.99	8.68	9.07
			0	3.03	4.95	8.86
			-5	2.61	4.71	8.22
			-10	2.40	4.30	6.54
		Uzun	N	8.44	8.83	9.45
			0	2.66	4.78	8.64
			-5	2.54	4.39	7.82
			-10	1.61	1.47	5.16

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak,

Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirilmesine göre;

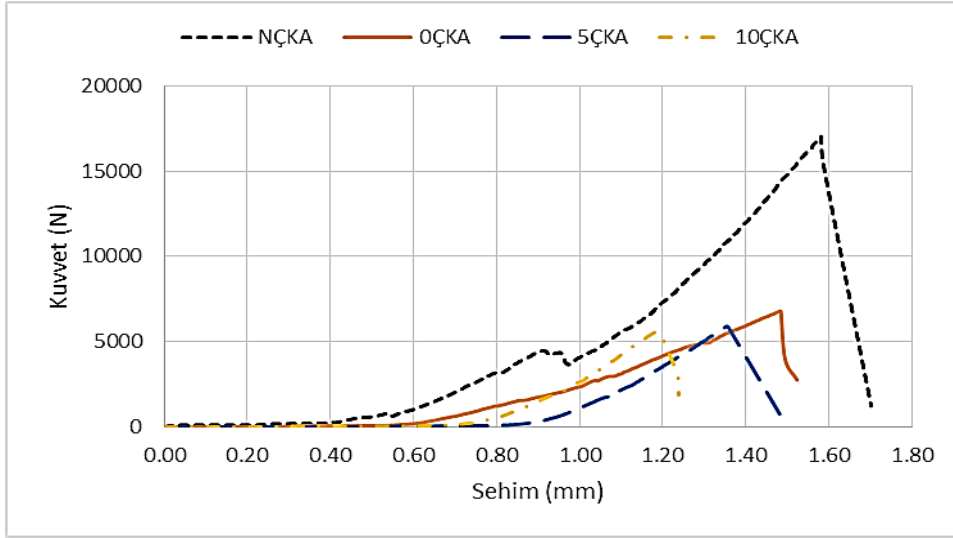
- En büyük eğilme dayanımı değerinin 7.99 MPa ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 2.40 MPa ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %60.2 , %65.4, %67.2 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %60.7 , %65.7 ,%68.7. daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %62.1 , %67.3 %69.9 daha az olduğu,

Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirilmesine göre;

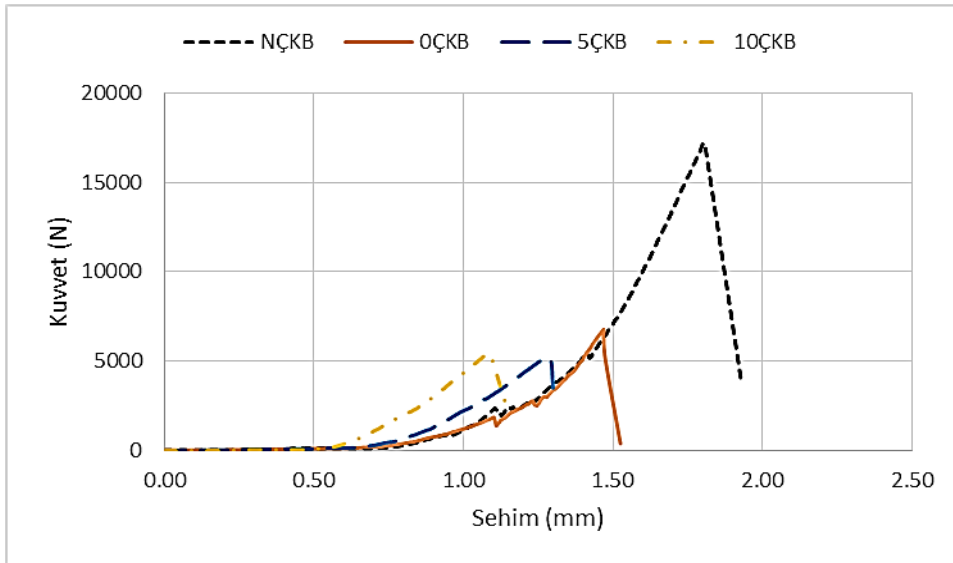
- En büyük eğilme dayanımı değerinin 8.90 MPa ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 1.61 MPa ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %64.2 , %67.5, %72.7daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %68.1 , %71.5 ,%77.0 daha az olduğu,

- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örnekler göre sırasıyla %68.4 , %69.9 , %81.0 daha az olduğu belirlenmiştir.

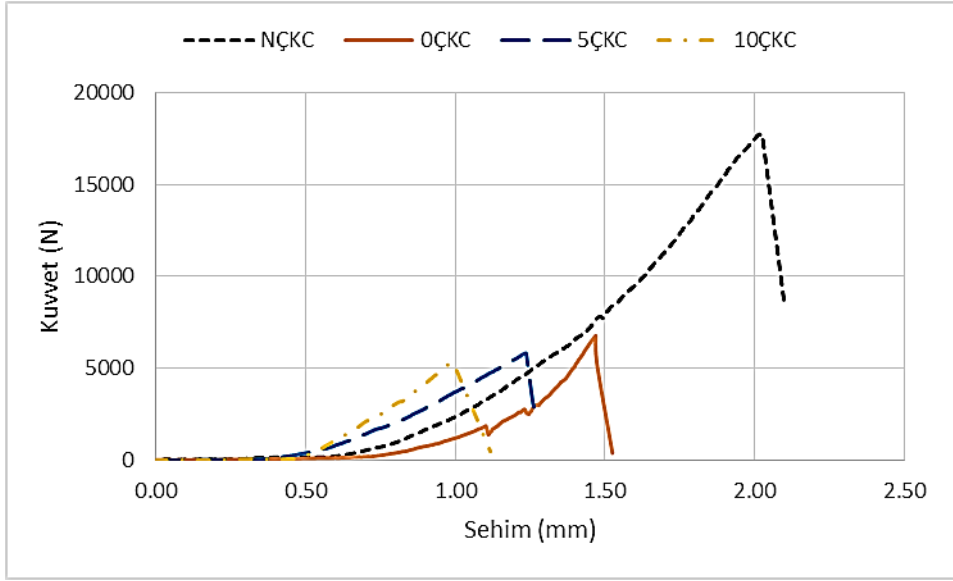
Çelik lif takviyeli 7 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağlı eğilme dayanımı hesaplamasında kullanılan Kuvvet-Sehim grafikleri Şekil 3.19-Şekil 3.24’de görülmektedir.



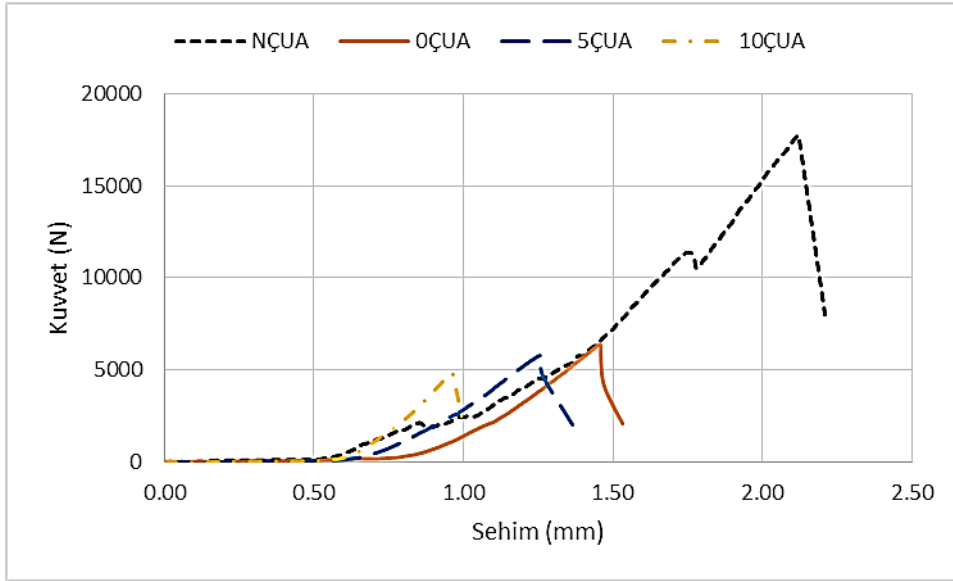
Şekil 3.19. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



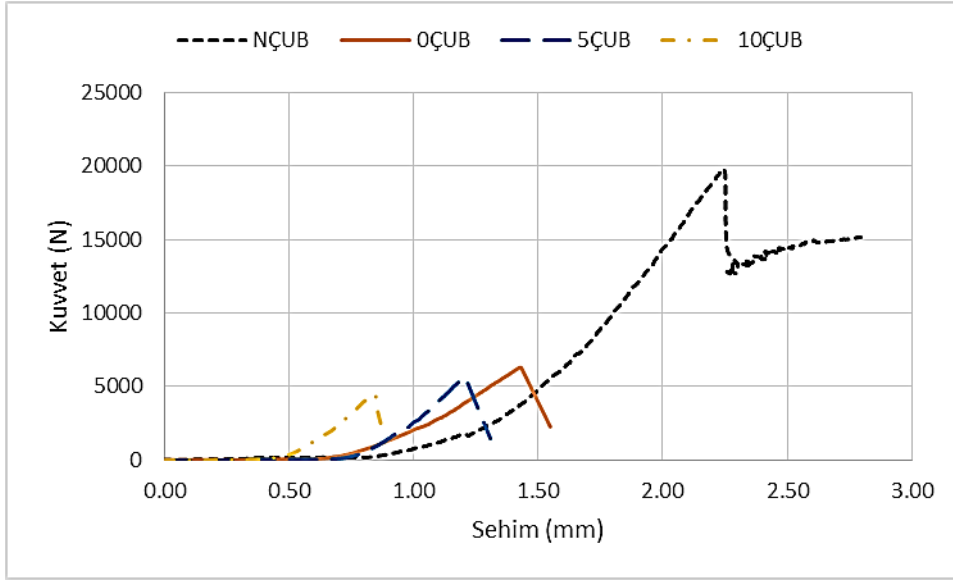
Şekil 3.20. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



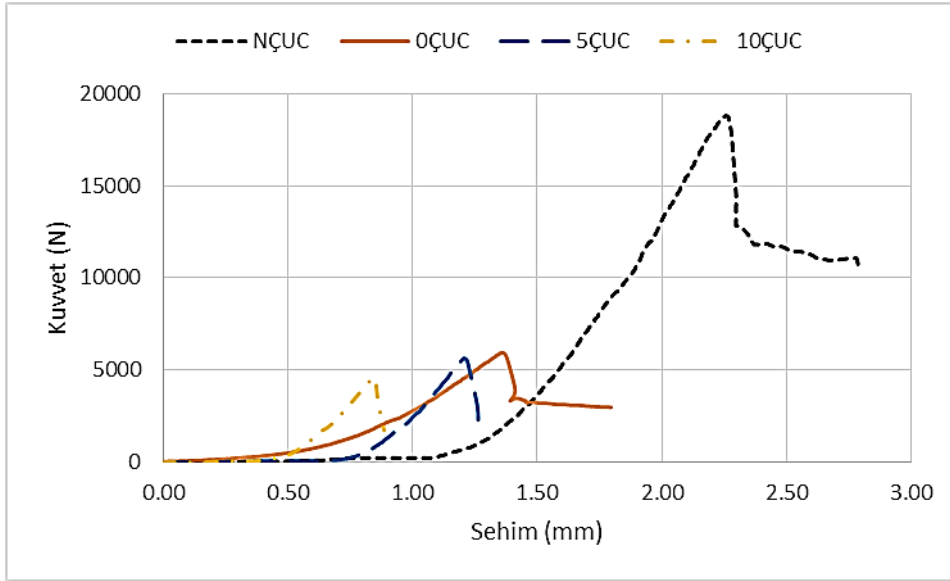
Şekil 3.21. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.22. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.23. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.24. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak,

Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük eğilme dayanımı değerlendirilmesine göre;

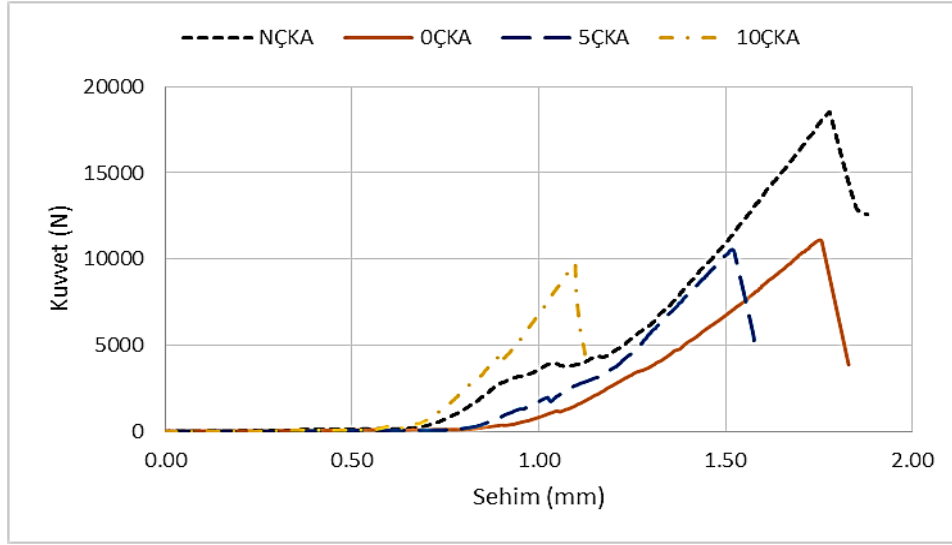
- En büyük eğilme dayanımı değerinin 8.68 MPa ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 4.30 MPa ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %40.1, %42.9, %47.4 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %42.3, %44.8, %49.6 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %42.9, %45.8, %50.4 daha az olduğu,

Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük eğilme dayanımı değerlendirilmesine göre;

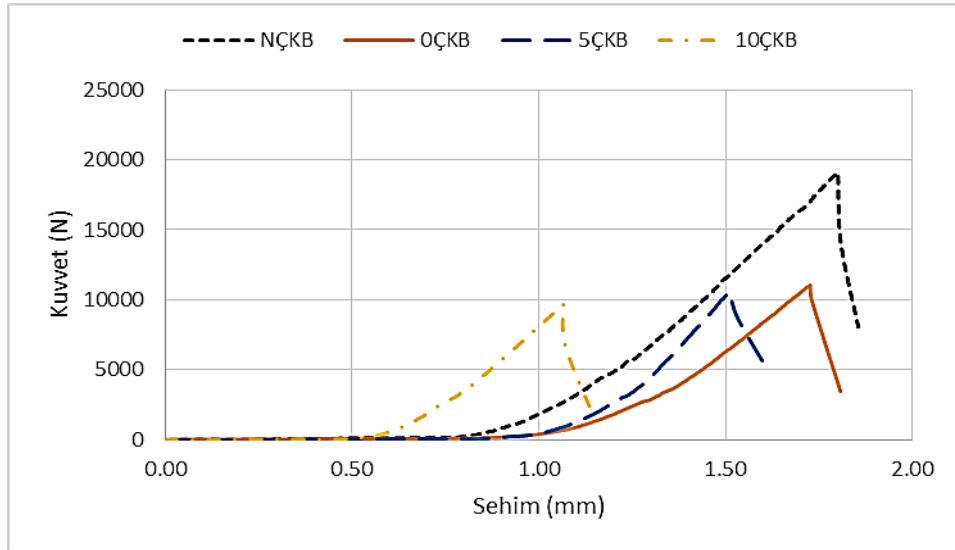
- En büyük eğilme dayanımı değerinin 9,05 MPa ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 1.47 MPa ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %44.0 , %47,1 , %53.8 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %46.5 , %49.7 , %66.3 daha az olduğu,

- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %45.8 , %50.3 , %83.4 daha az olduğu belirlenmiştir.

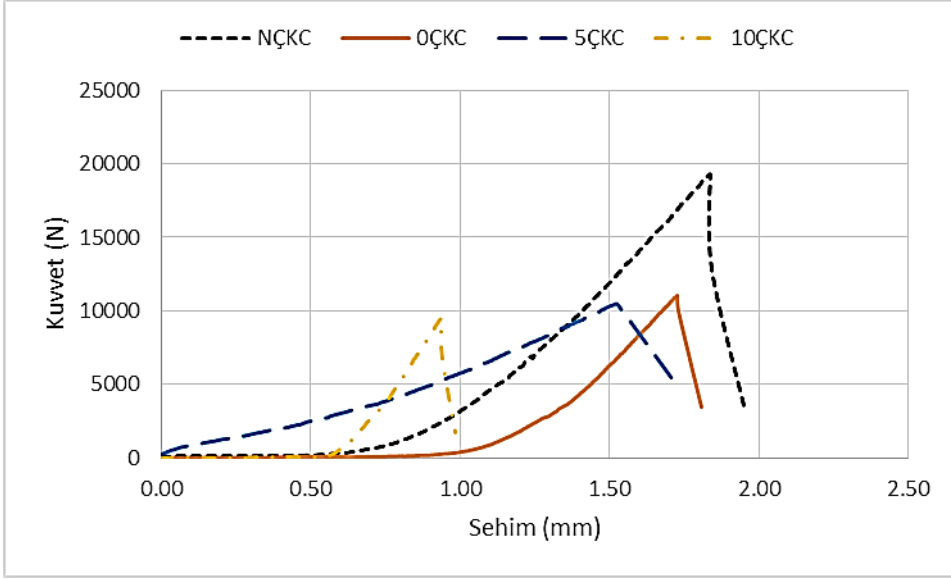
Çelik lif takviyeli 28 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağlı eğilme dayanımı hesaplamasında kullanılan Kuvvet-Sehim grafikleri Şekil 3.25-Şekil 3.30'de görülmektedir.



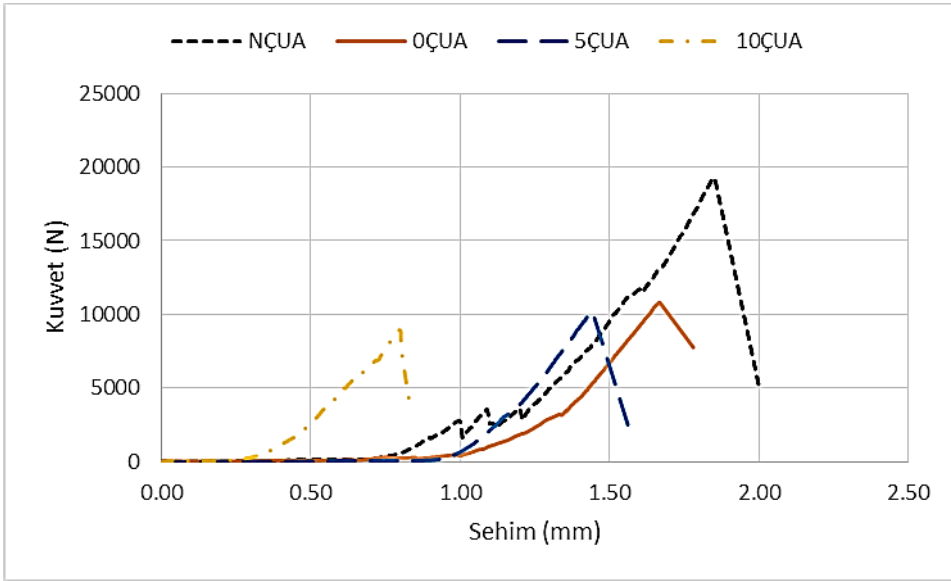
Şekil 3.25. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



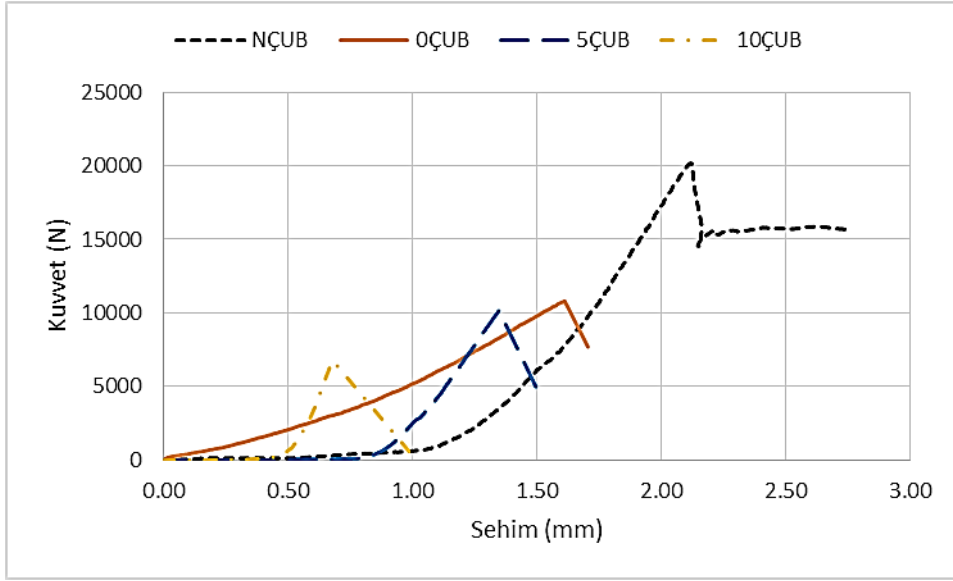
Şekil 3.26. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



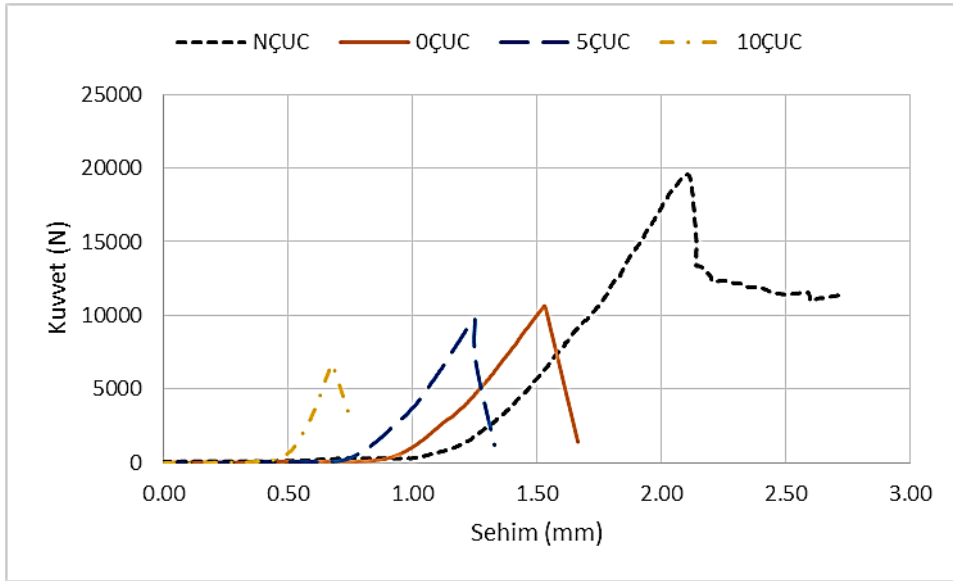
Şekil 3.27. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.28. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.29. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.30. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak,
Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesine göre;

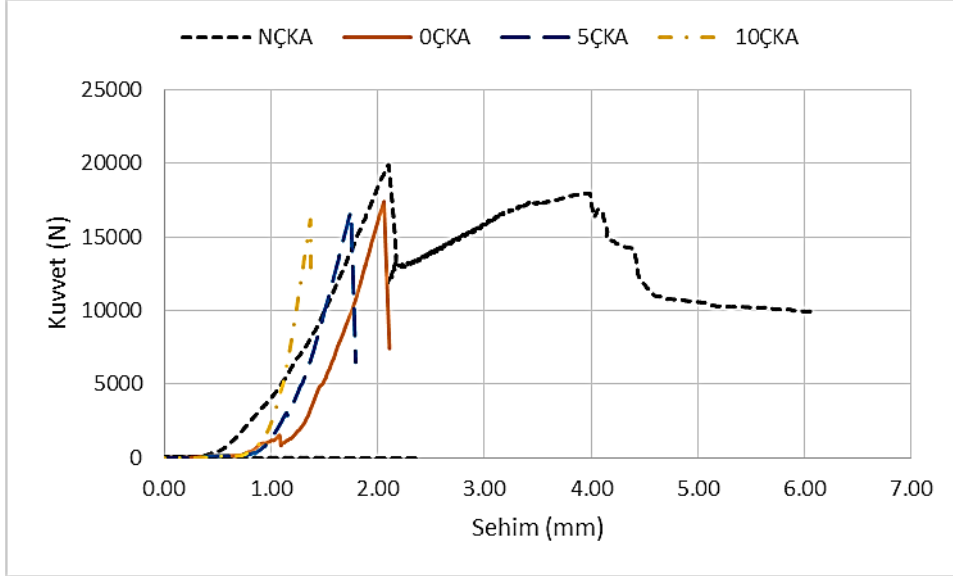
- En büyük eğilme dayanımı değerinin 9.07 MPa ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,

- En küçük eğilme dayanımı değerinin 6.54 MPa ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %0.8 , %3.6, %18.9 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %1.4 , %7.8 , %23.5 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %2.3 , %9.4 , %27.9 daha az olduğu,

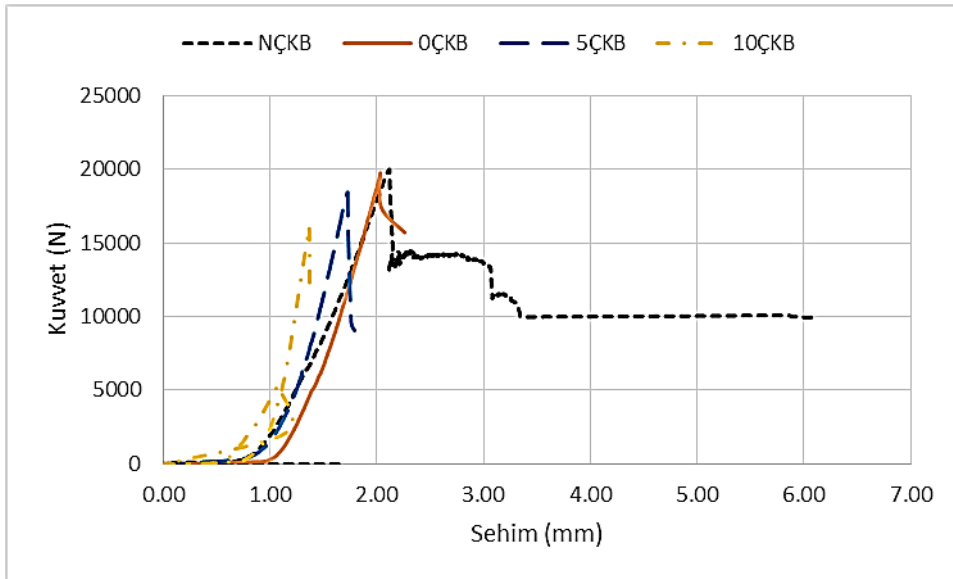
Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesine göre;

- En büyük eğilme dayanımı değerinin 9.93 MPa ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 5.16 MPa ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %5.4 , %12.6, %34.2 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %12.2 , %20.5 , %43.0 daha az olduğu,
- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %8.6 , %17.3 , %45.5 daha az olduğu belirlenmiştir.

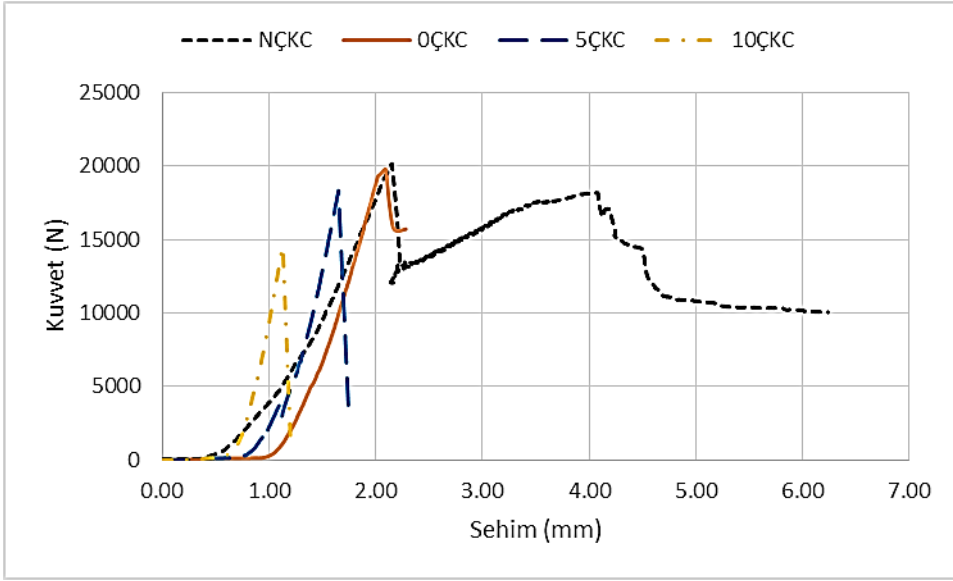
Çelik lif takviyeli 120 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağlı eğilme dayanımı hesaplamasında kullanılan Kuvvet-Sehim grafikleri Şekil 3.31-Şekil 3.36'da görülmektedir.



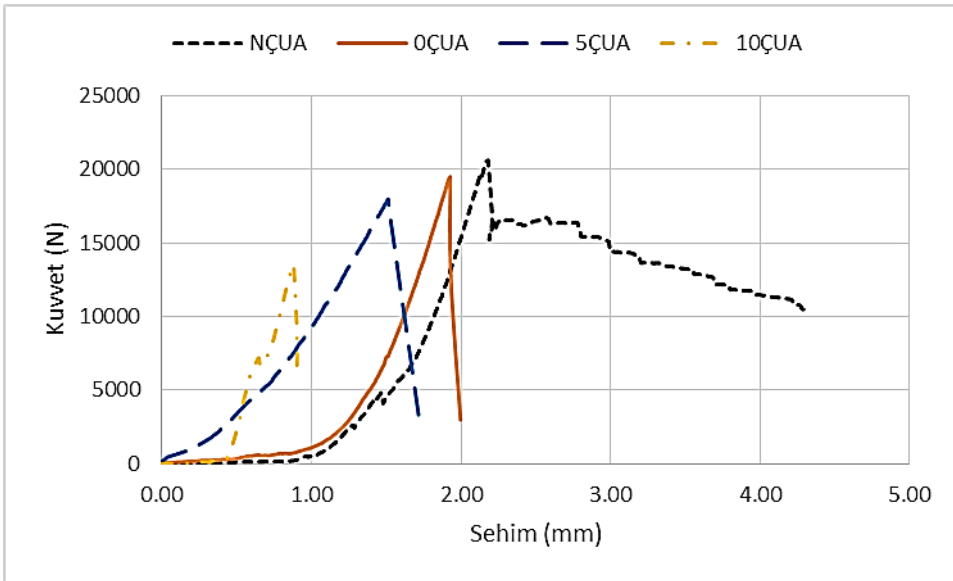
Şekil 3.31. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



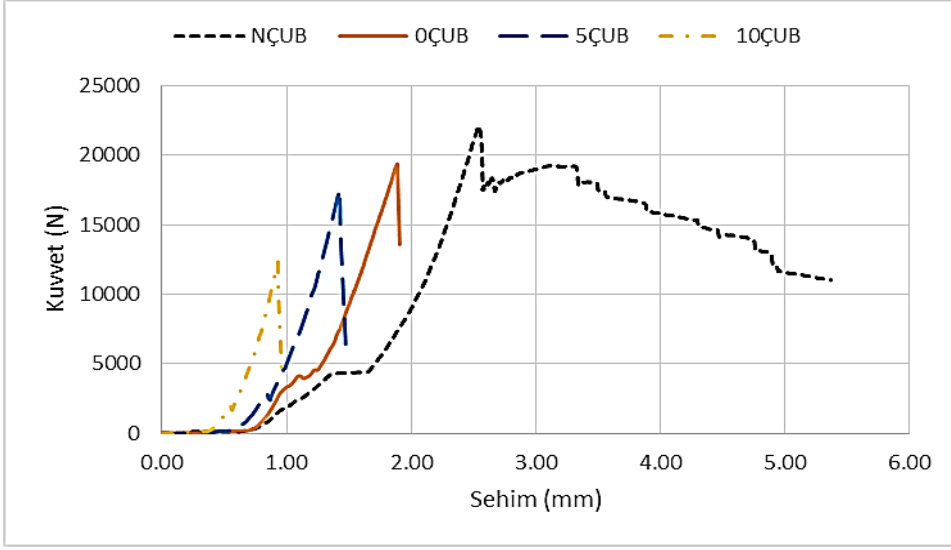
Şekil 3.32. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



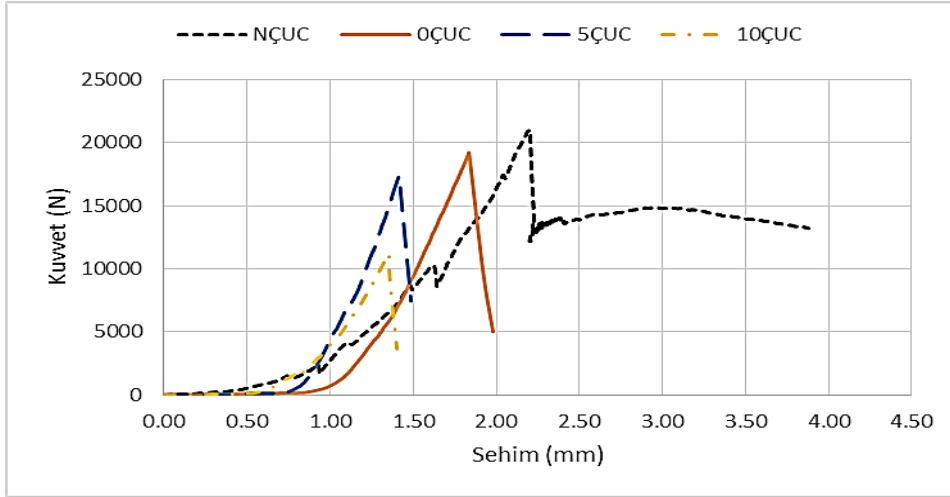
Şekil 3.33. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.34. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.35. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.36. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri

Sonuç olarak, taze halde dona maruz kalmış lifli betonların erken yaş dayanımlarında karakteristik dayanıma göre yaklaşık olarak %60 azalma belirlenmiştir. Demirboğa ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, bezer şekilde taze halde dona maruz bırakılan betonların erken yaş dayanımının yaklaşık olarak %80 azaltıldığını ve 28 günlük dayanımlarda ise %95 civarında dayanım kaybı tespit etmiştir (Demirboğa, 2014). Benzer şekilde Korhonen yaptığı çalışmada taze halde dona maruz kalan betonlarda dayanım kayıplarının olduğunu belirlemiştir.

3.1.2.2. Polipropilen Lif Takviyeli Betonlar

Taze halde donu maruz beton örneklerin eğilme dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı değerleri, beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin normal şartlarda üretilen beton örneklerine göre 7, 28 ve 120 günlük eğilme dayanımına göre kıyaslanmıştır. Betonun eğilme dayanımına göre 7, 28 ve 120 günlük eğilme dayanımı değerleri Tablo 3.4’de görülmektedir. Ayrıca kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.37-Şekil 3.51’de, uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.40-Şekil 3.54 görülmektedir.

Tablo 3.4. Polipropilen lif takviyeli beton numunelerin ortalama eğilme dayanımları

Lif Türü	Lif Oranı	Lif Boyu	Sıcaklık	Eğilme Dayanımları(MPa)		
				7. gün	28. gün	120. gün
Polipropilen	A	Kısa	N	7.35	8.84	8.97
			0	2.91	5.14	6.13
			-5	2.78	4.99	5.79
			-10	2.22	4.71	5.54
		Uzun	N	8.06	9.04	9.51
			0	2.84	5.09	5.91
			-5	2.56	4.97	5.60
			-10	1.77	4.36	4.65
	B	Kısa	N	7.56	8.87	8.99
			0	2.87	5.14	6.07
			-5	2.69	4.98	5.68
			-10	2.13	4.51	5.46
		Uzun	N	8.46	9.75	10.07
			0	2.82	5.06	5.89
			-5	2.53	4.95	5.60
			-10	1.30	2.64	4.45
	C	Kısa	N	8.05	9.03	9.21
			0	2.86	5.09	5.98
			-5	2.69	4.98	5.63
			-10	1.94	4.47	5.06
		Uzun	N	8.08	9.09	9.85
			0	2.79	4.99	5.88
			-5	2.32	4.94	5.58
			-10	0.99	1.74	3.96

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak,

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesine göre;

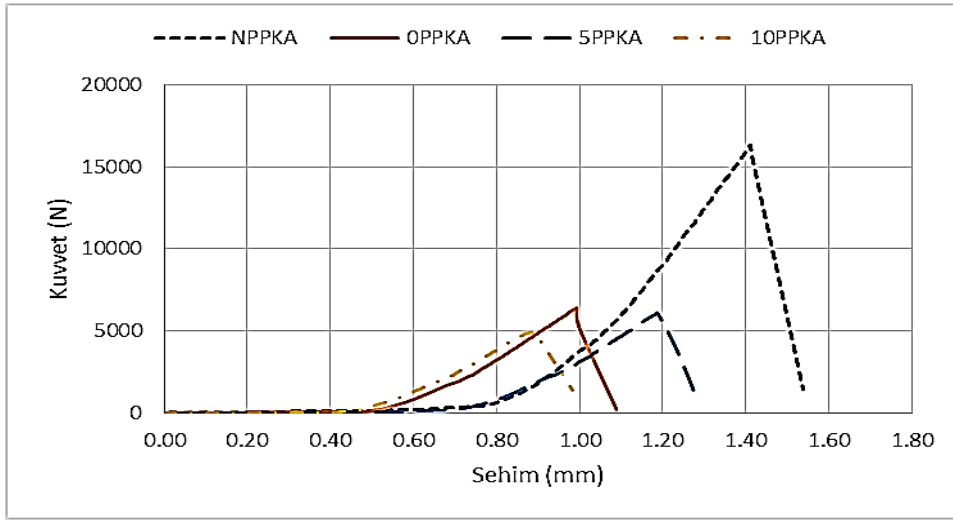
- En büyük eğilme dayanımı değerinin 8.05 MPa ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 1.94 MPa ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %60.4 , %62.2, %69.8 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %62.2 , %64.4, %71.8 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PKC, 5PPKC, 10PPKC beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %64.5 , %66.6 %75.9 daha az olduğu,

Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesine göre;

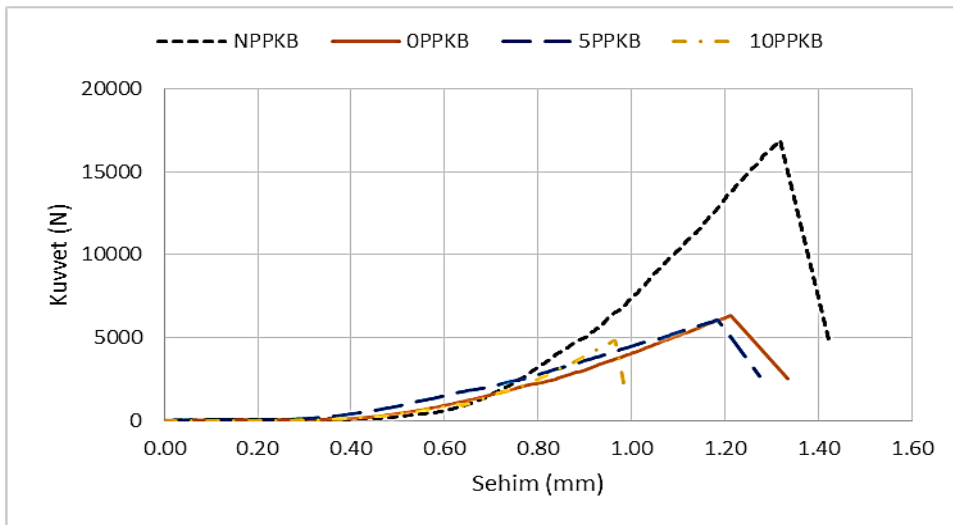
- En büyük eğilme dayanımı değerinin 8.46 MPa ile NPPUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 0.99 MPa ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %64.7 , %68.3 , %78.1 daha az olduğu,
- B oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %66.7 , %70.1, %84.7 daha az olduğu,

- C oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donatıya maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PKC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklerle karşılaştırıldığında sırasıyla %65.5 , %71.3, %87.7 daha az olduğu belirlenmiştir.

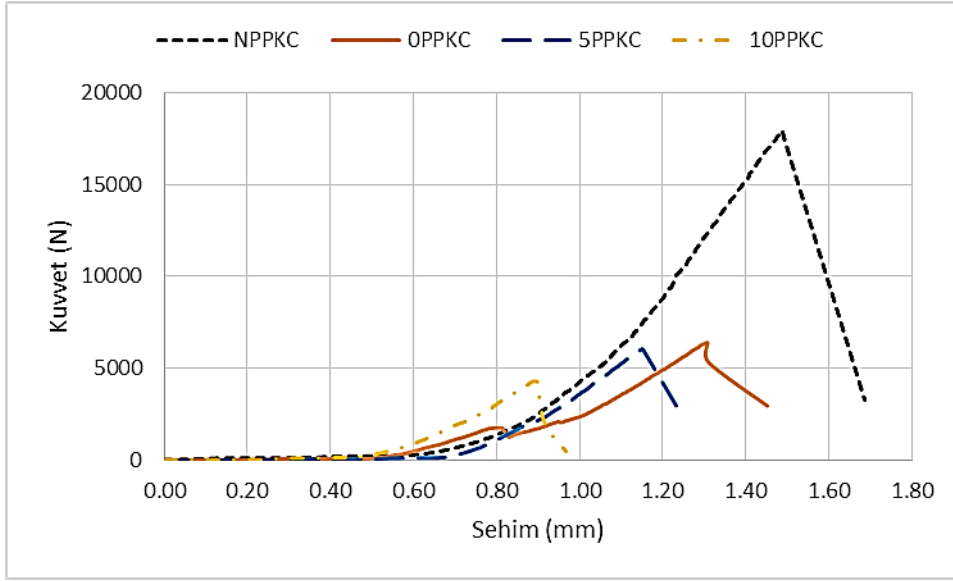
Polipropilen lif takviyeli 7 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağlı eğilme dayanımı hesaplamasında kullanılan Kuvvet-Sehim grafikleri Şekil 3.37-Şekil 3.42’de görülmektedir.



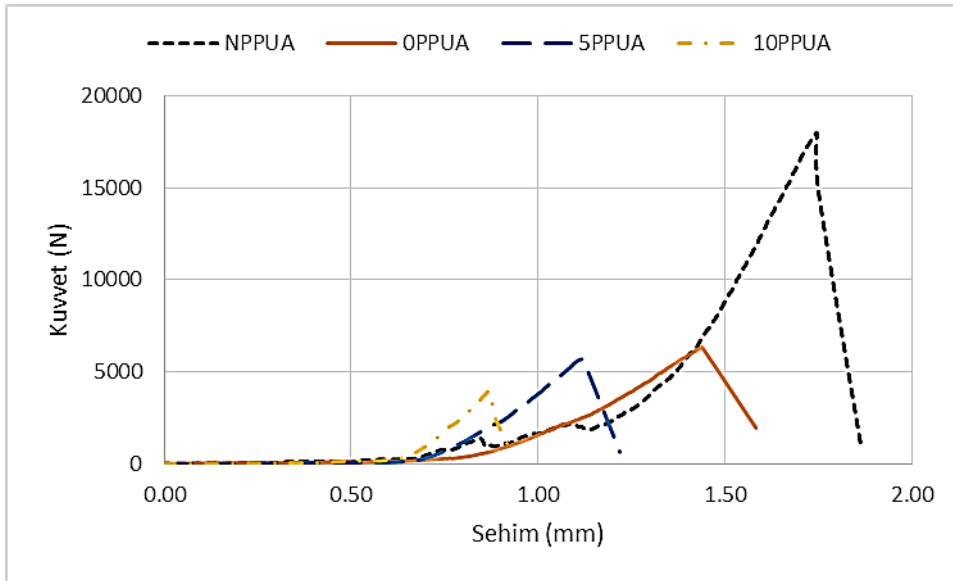
Şekil 3.37. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



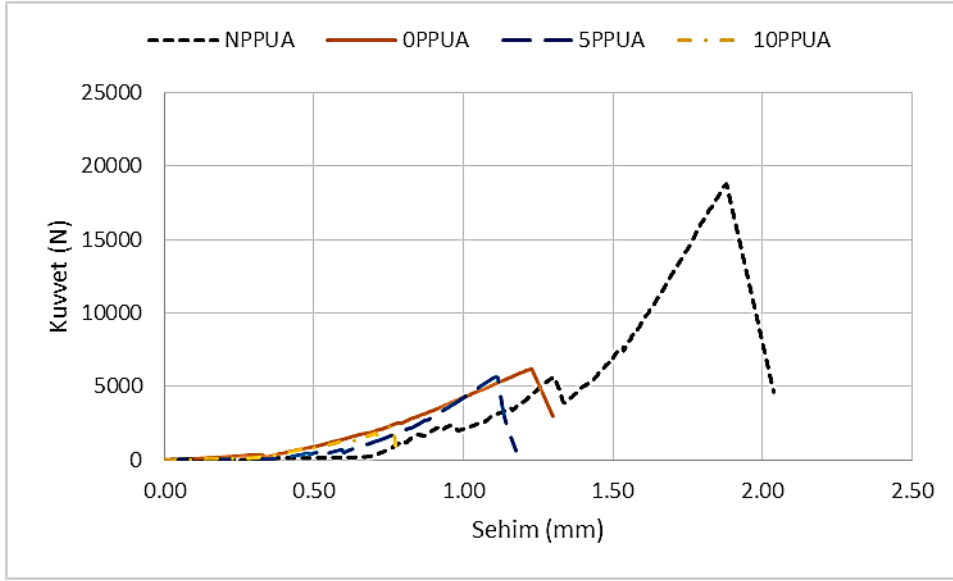
Şekil 3.38. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



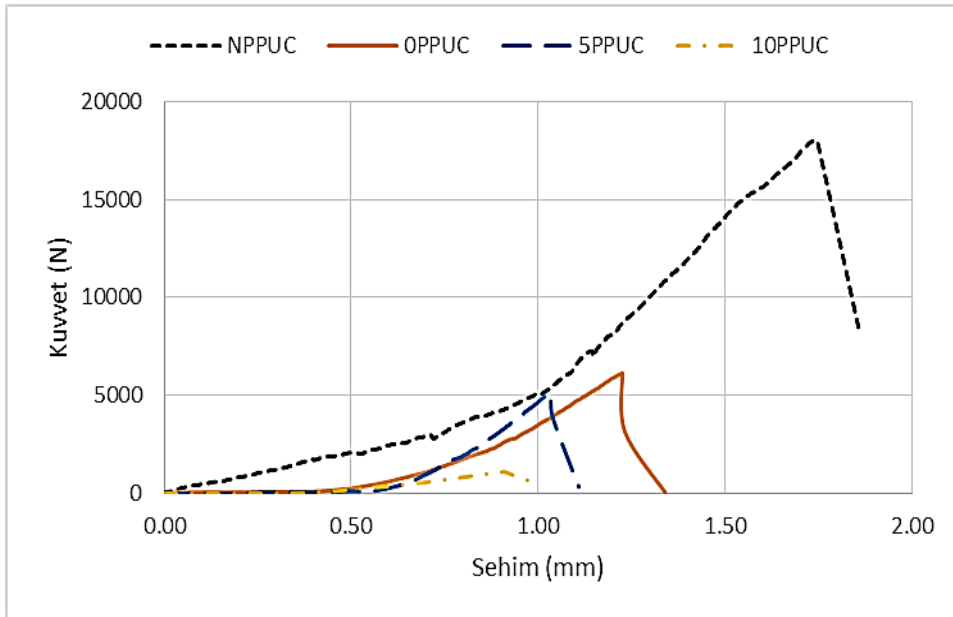
Şekil 3.39. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.40. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.41. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.42. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerinin 28 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesine göre;

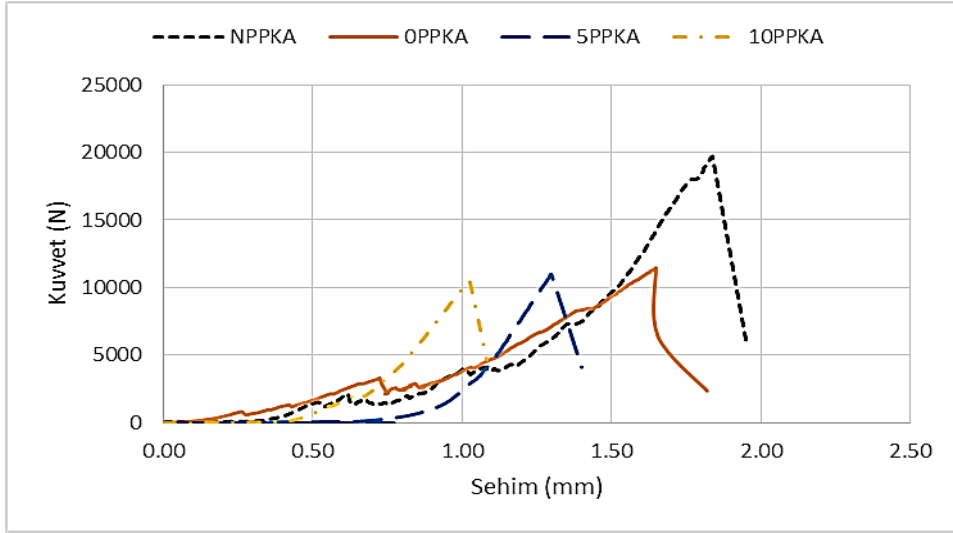
- En büyük eğilme dayanımı değerinin 9.03 MPa ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 4.47 MPa ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,

- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %41.8, %43.6, %46.7 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %42.1, %43.9, %49.2 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKC, 5PPKC, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %43.6, %44.9, %50.5 daha az olduğu,

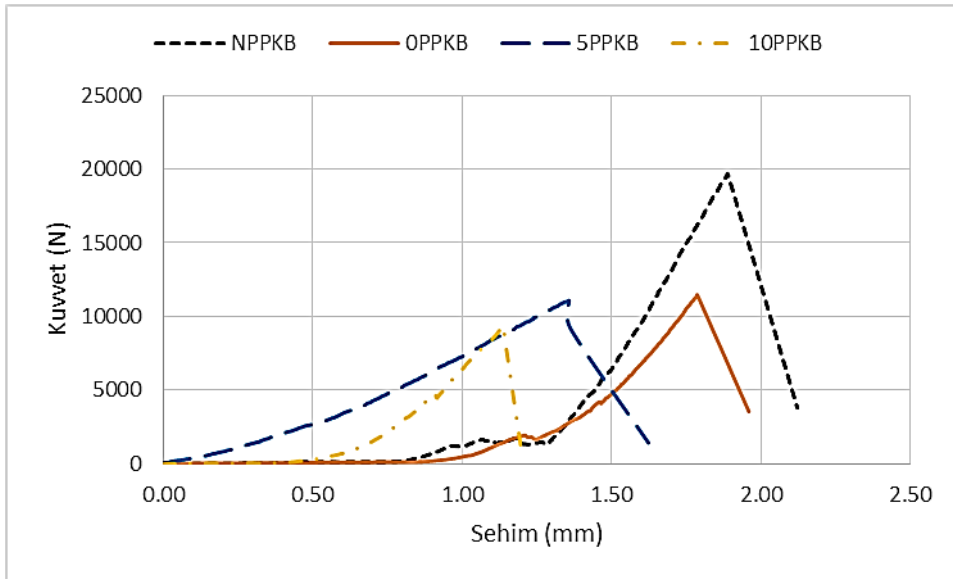
Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük eğilme dayanımı değerlendirilmesine göre;

- En büyük eğilme dayanımı değerinin 9.75 MPa ile NPPUC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 1.74 MPa ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %44.0, %45.4, %52.1 daha az olduğu,
- B oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %48.1, %49.3, %73.0 daha az olduğu,
- C oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %44.8, %45.3, %80.8 daha az olduğu belirlenmiştir.

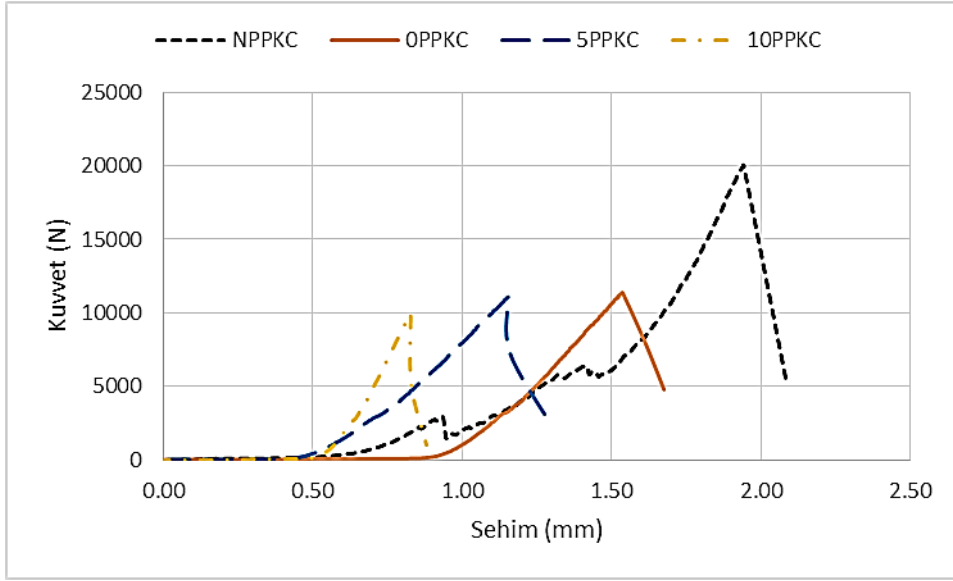
Polipropilen lif takviyeli 28 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağlı eğilme dayanımı hesaplamasında kullanılan Kuvvet-Sehim grafikleri Şekil 3.43-Şekil 3.48’de görülmektedir.



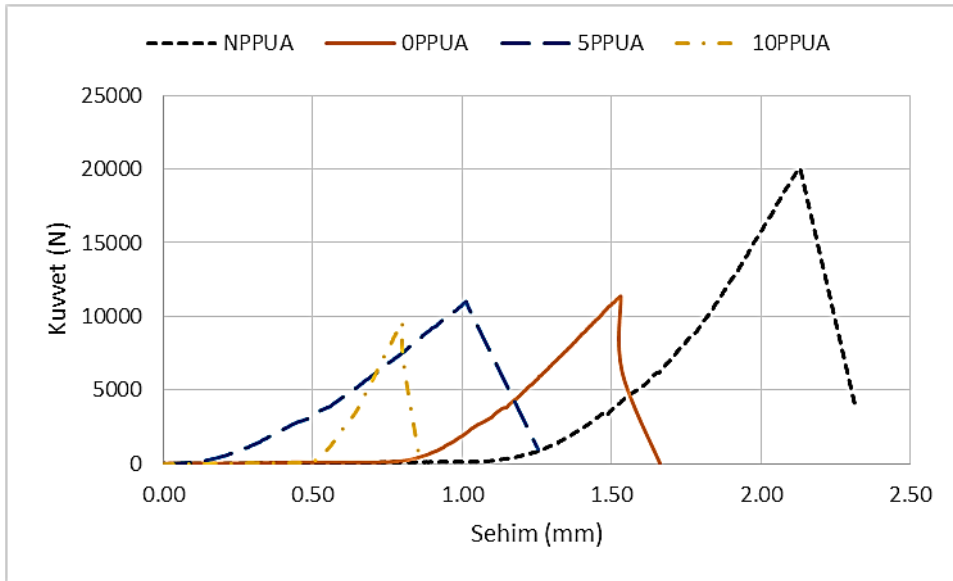
Şekil 3.43. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



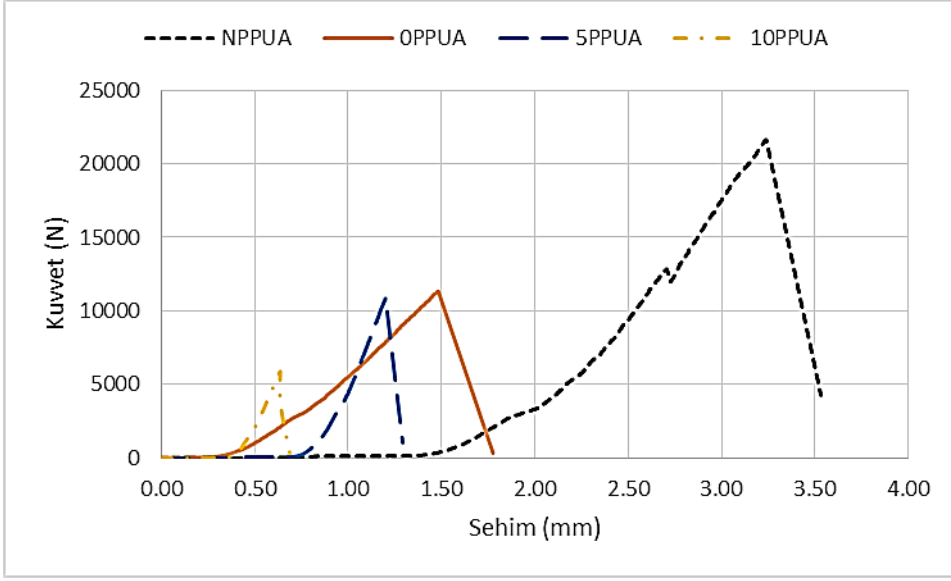
Şekil 3.44. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



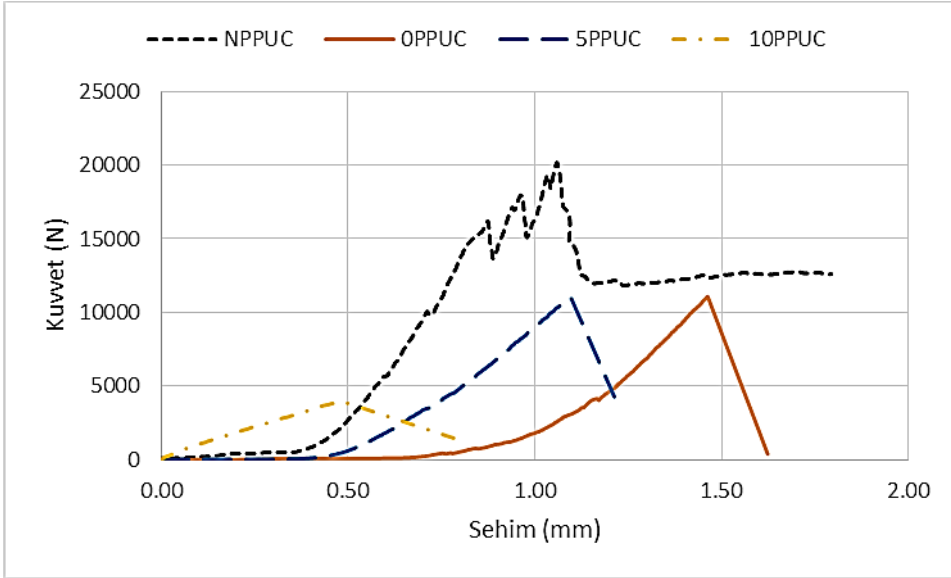
Şekil 3.45. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.46. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.47. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.48. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesine göre;

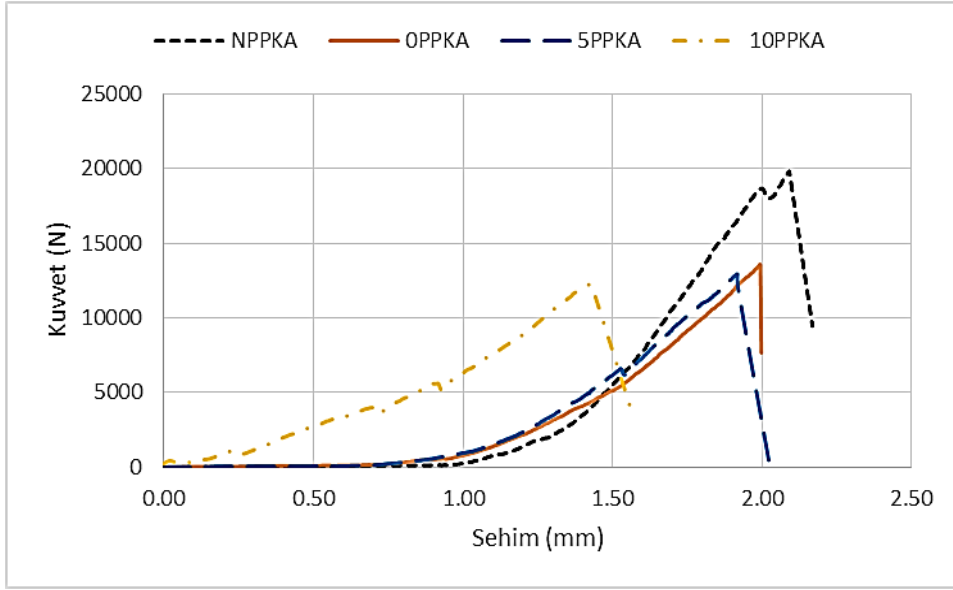
- En büyük eğilme dayanımı değerinin 9.21 MPa ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 5.06 MPa ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,

- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %31.7, %35.4, %38.2 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %32.4, %36.8, %39.3 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKC, 5PPKC, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %35.1, %38.9, %45.0 daha az olduğu,

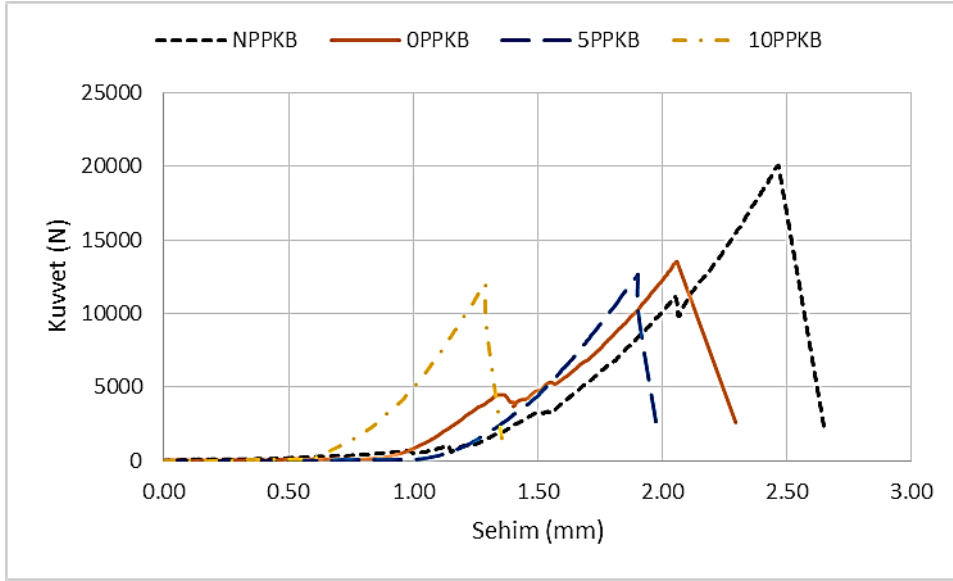
Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesine göre;

- En büyük eğilme dayanımı değerinin 10.07 MPa ile NPPUB türü beton örneklere olduğu,
- En küçük eğilme dayanımı değerinin 3.96 MPa ile 10PPUC türü beton örneklere olduğu,
- A oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %37.8, %41.1, %51.1 daha az olduğu,
- B oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %41.4, %44.4, %55.7 daha az olduğu,
- C oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %40.3, %43.3, %94.3 daha az olduğu belirlenmiştir.

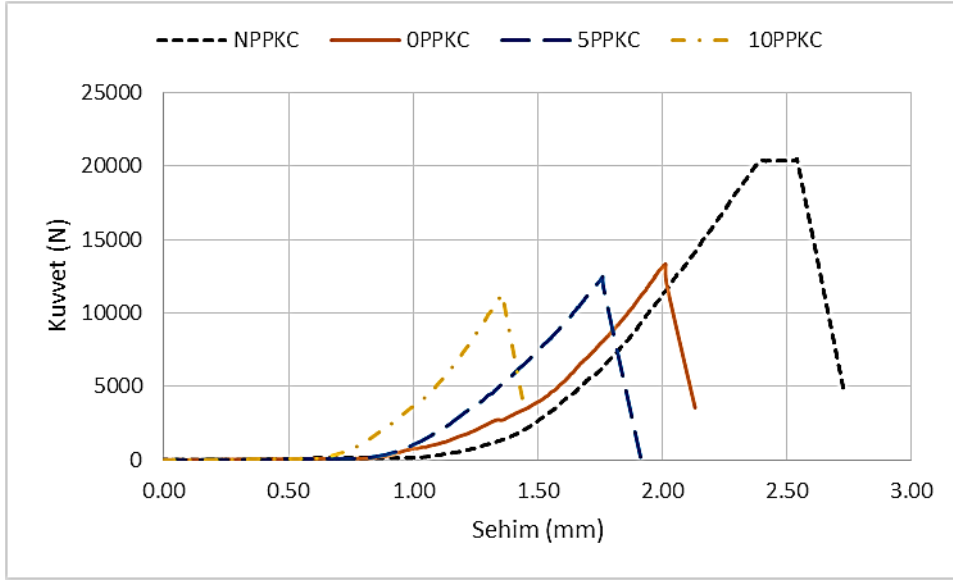
Polipropilen lif takviyeli 120 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağı eğilme dayanımı hesaplamasında kullanılan Kuvvet-Sehim grafikleri Şekil 3.49-Şekil 3.54'de görölmektedir.



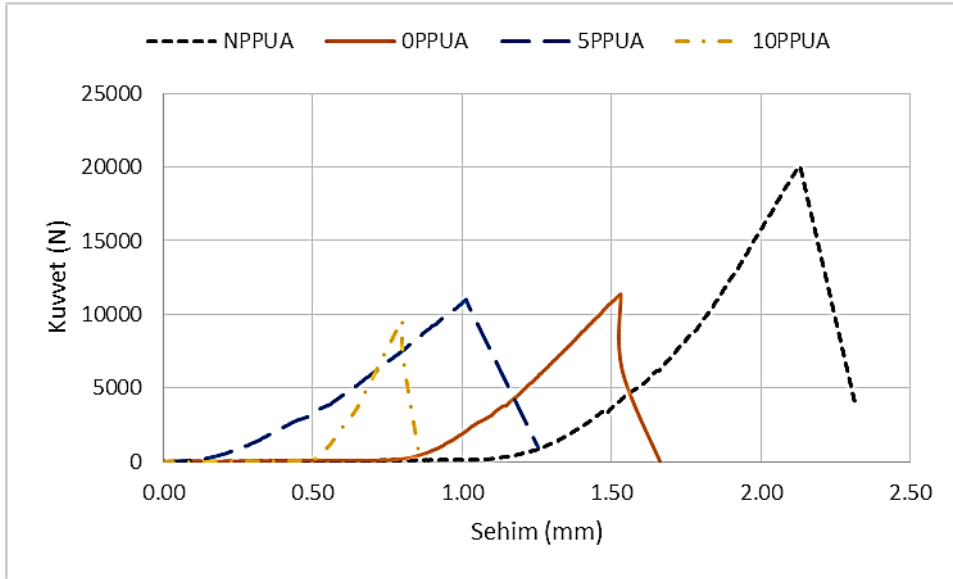
Şekil 3.49. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



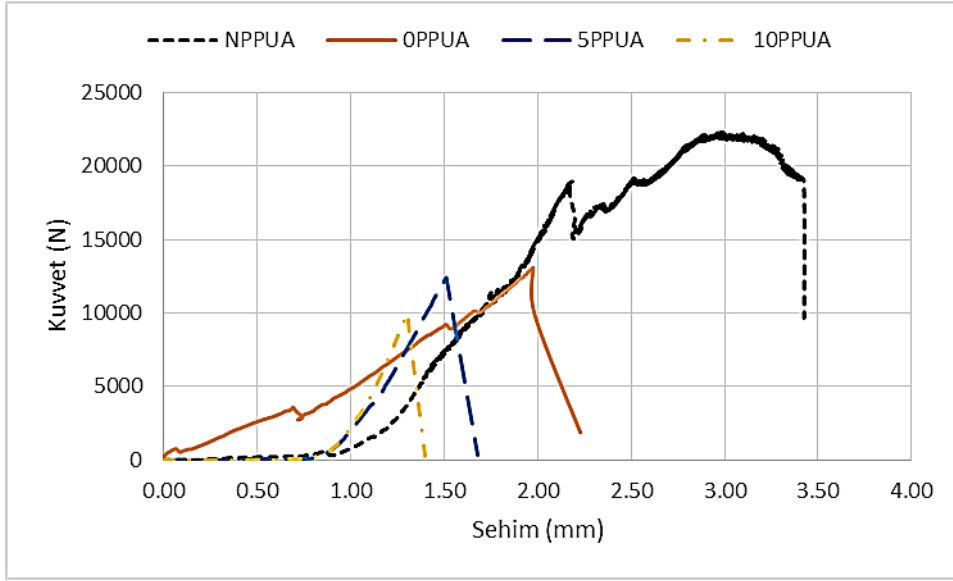
Şekil 3.50. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



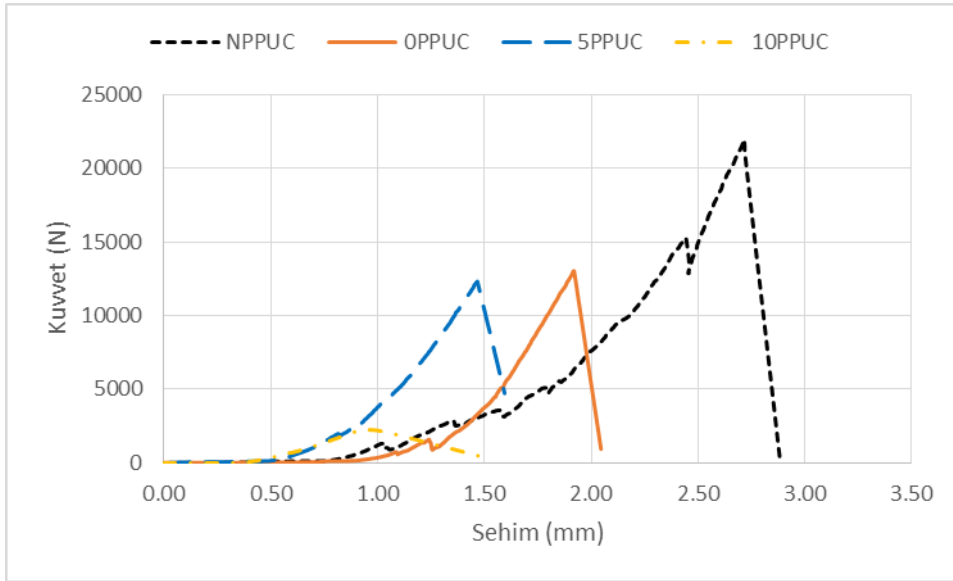
Şekil 3.51. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.52. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.53. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri



Şekil 3.54. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Kuvvet-Sehim grafikleri

Sonuç olarak, yapılan literatür çalışmaları sonucunda beton içerisinde lif kullanılması sonucu eğilme dayanımının arttığı, lifsiz betonların taze halde donda maruz kalması sonucu eğilme dayanımı değerlerinde kayıplar olduğu görülmüştür. Benzer şekilde,

Yazıcı ve diğerlerinin yaptığı çalışmada 3 farklı oranda çelik lif kullanarak betonun eğilme dayanımında %81'e kadar artış olduğunu belirlemişlerdir (Yazıcı vd., 2006).

Eyyubov ve diğerlerinin yaptığı çalışmada eğilme dayanımlarında en fazla artış; 40 kg/m³ çelik tel içerikli beton ile 600 g/m³ polipropilen ve 40 kg/m³ çelik tel içerikli karma betonda sağlanmıştır. Artışlar sırayla % 19.7 ve % 21.2 olarak elde edilmiştir (Eyyubov vd., 2003).

Pierre ve diğerlerinin yaptığı çalışmada eğilme dayanımları; lifsiz harçta 7.7 MPa iken %2.5 mikro lif ilavesiyle 14 MPa değerine çıkarak yaklaşık %100'lük bir artış göstermiştir %5 lif ilavesinde ise eğilme dayanımı 14.8 MPa değerine çıkmıştır (Pierre vd., 1999).

Sevil yaptığı çalışmada üretilen betonlardan hazırlanan örnekler üzerinde yapılmış olan yarmada çekme deneyleri sonucunda yarmada çekme dayanımlarının uçucu kül artışına bağlı olarak düştüğü ve lif ilavesine bağlı olarak yükseldiği belirtilmiştir. Çalışmada, en etkili artış %54 oranında çelik lifli betonda elde edilmiştir (Sevil, 2002).

Kayali ve diğerlerinin yaptığı çalışmada üretilen betonlarda yarmada çekme dayanımlarında %0.56 oranında polipropilen lif kullanımı ile %90, %1.7 oranında çelik lif kullanılması ile de %118 oranında artışlar elde edildiği rapor edilmiştir (Kayali vd., 2003).

Zhan ve diğerlerinin yaptığı çalışmada direkt çekme ile eğilmede çekme deneyleri arasında bir sapma olmadığı, çelik lifli betonların düktil davranışını iyi ifade ettikleri görülmüştür. Silindir yarma deneyinde ise çelik lifli betonun kompozit etkisinin numunenin içyapısında içsel gerilmelerin dağılmasında değişkenlik oluşturduğunu görülmüştür (Zhan vd., 1992).

Tokyay ve diğerlerinin yaptığı çalışmada üretilen betonlardan hazırlanan örneklerin çekme dayanımlarında polipropilen lifli betonlarda %13, çelik lifli betonlarda ise %35 oranında artışlar tespit edilmiştir (Tokyay vd., 1991).

Gao ve diğerlerinin yaptığı çalışmada yarmada çekme dayanımındaki artışın lif hacminin artışıyla lineer olarak artış gösterdiği belirtilmiştir (Gao vd., 1997).

Bu çalışmada taze halde donatıya maruz kalan betonlarda çelik lif ve polipropilen lif kullanımının eğilme dayanımlarındaki kayıpları azalttığı görülmüştür.

3.1.3. Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk)

3.1.3.1. Çelik Lif Takviyeli Betonlar

Taze halde donan beton örneklerin enerji yutma kapasitesi deneyi gerçekleştirilmiştir. Değerler betonun örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin normal şartlarda üretilen beton örneklerine göre 7, 28 ve 120 günlük enerji yutma kapasitesine göre kıyaslanmıştır. Betonun enerji yutma kapasitesine göre 7, 28 ve 120 günlük enerji yutma kapasitesi değerleri Tablo 3.5’de görülmektedir. Ayrıca kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.55-Şekil 3.69’de, uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.58-Şekil 3.72’de görülmektedir.

Tablo 3.5. Çelik lif takviyeli beton numunelerin enerji yutma kapasiteleri

Lif Türü	Lif Oranı	Lif Boyu	Sıcaklık	Enerji Yutma Kapasiteleri (Joule)		
				7. gün	28. gün	120. gün
Çelik	A	Kısa	N	7.39	9.33	10.13
			0	6.88	7.53	9.87
			-5	5.32	6.05	8.75
			-10	3.98	5.10	6.70
		Uzun	N	12.35	10.17	34.07
			0	6.09	6.25	9.46
			-5	4.48	5.27	7.84
			-10	3.64	4.58	5.24
	B	Kısa	N	8.28	8.81	17.10
			0	6.18	6.78	9.56
			-5	5.04	5.82	8.25
			-10	3.78	4.88	6.47
		Uzun	N	15.63	20.50	37.25
			0	5.72	6.19	9.33
			-5	4.33	5.22	7.39
			-10	3.61	4.04	5.20
	C	Kısa	N	8.33	10.21	23.44
			0	6.18	6.35	9.51
			-5	4.73	5.44	8.01
			-10	3.65	4.83	5.65
		Uzun	N	12.91	17.51	35.69
			0	5.45	6.07	9.17
			-5	3.98	5.20	7.36
			-10	2.97	3.33	5.20

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak,

Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirilmesine göre;

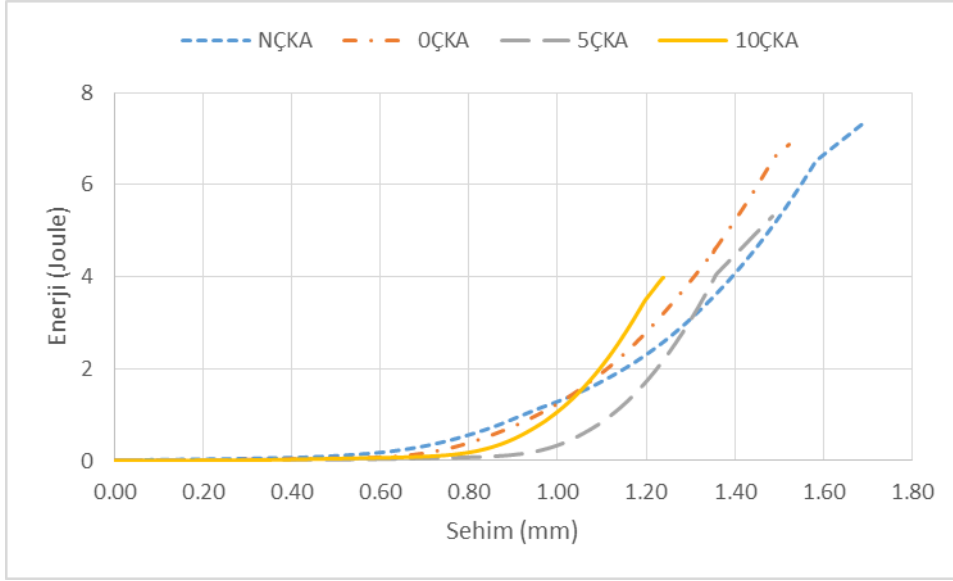
- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 8.32 joule ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 3.64 joule ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %6.9 , %28.0, %46.1 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %25.4 , %39.1 , %54.4 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %25.8, %43.2 %56.2 daha az olduğu,

Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirilmesine göre;

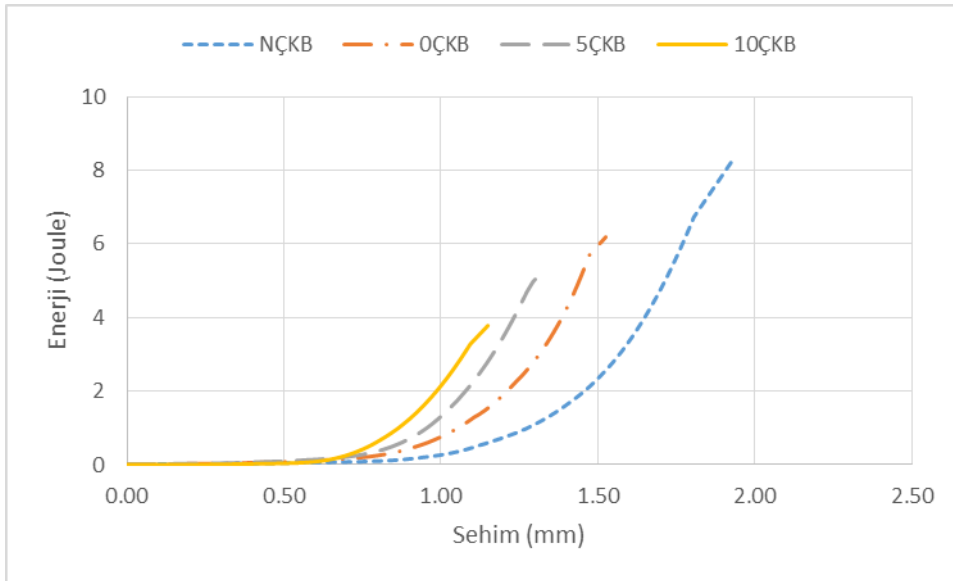
- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 15.63 joule ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 2.97 joule ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %50.6 , %63.8 , %70.5 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %63.4 , %72.3 , %76.9 daha az olduğu,

- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değeri göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %57.8 , %69.2 , %77.0 daha az olduğu belirlenmiştir.

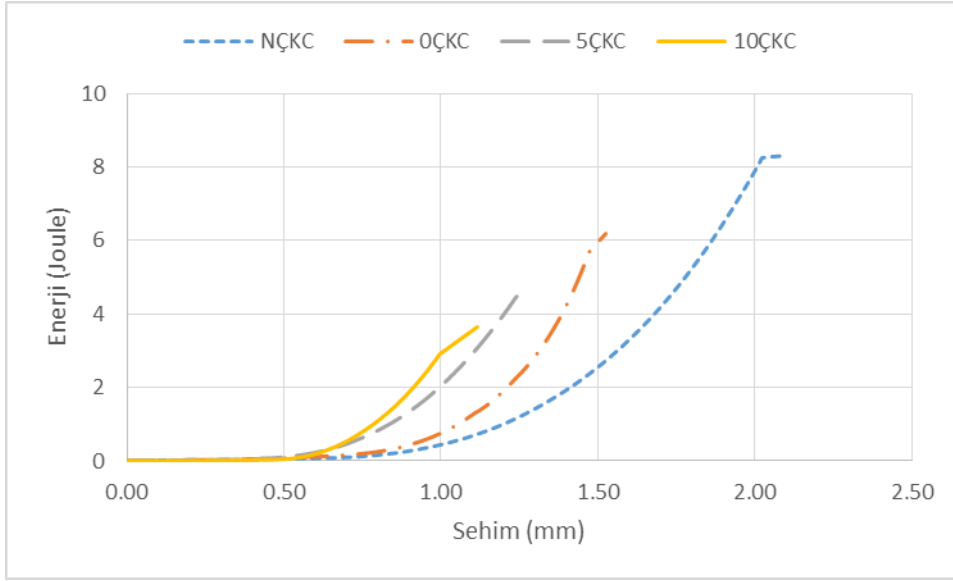
Çelik lif takviyeli 7 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağlı enerji yutma kapasitesi hesaplamasında kullanılan Enerji-Sehim grafikleri Şekil 3.55’de görölmektedir.



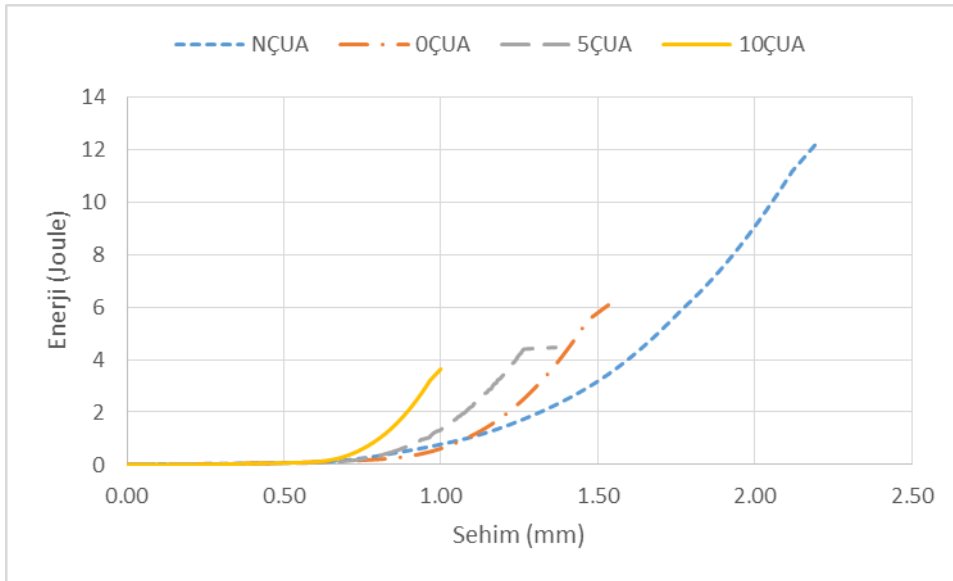
Şekil 3.55. A oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



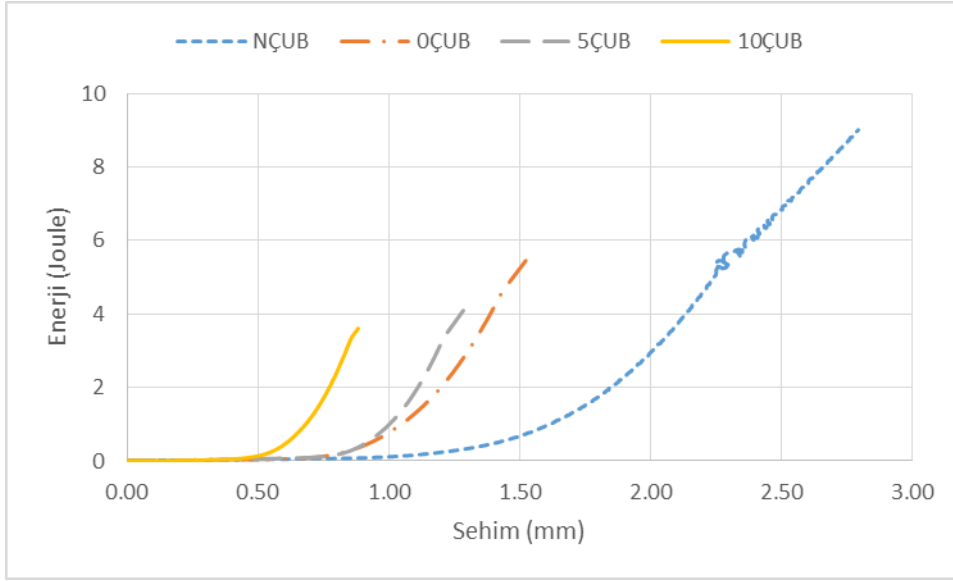
Şekil 3.56. B oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



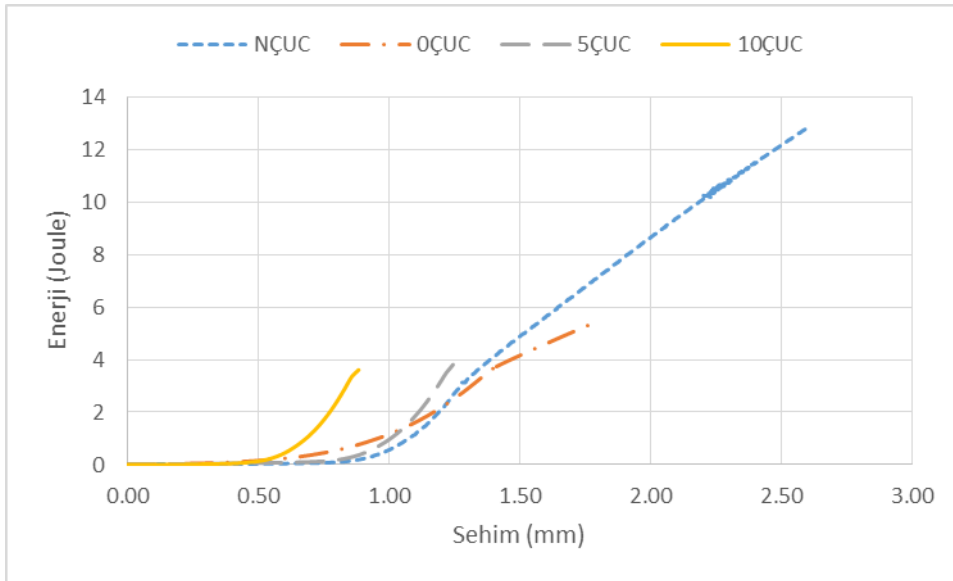
Şekil 3.57. C oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.58. A oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.59. B oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.60. C oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri

Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirmesine göre;

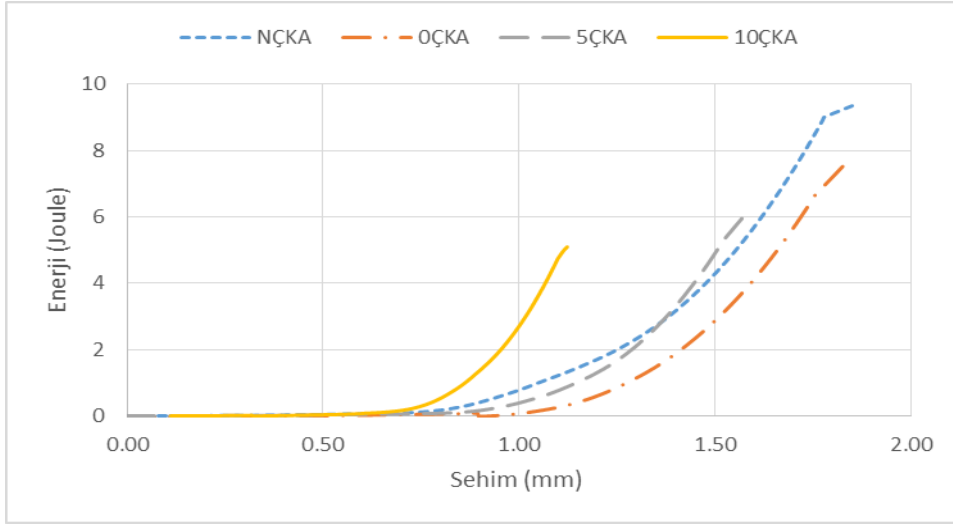
- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 10.20 joule ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 4.83 joule ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,

- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %19.3, %35.2, %45.4 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %23.0, %34.0, %44.6 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %37.8, %46.7, %52.7 daha az olduğu,

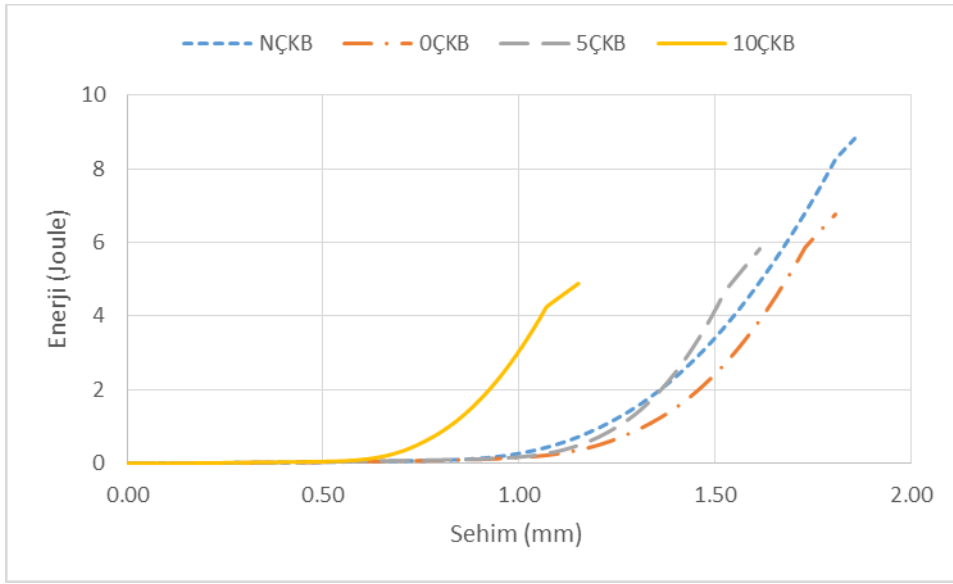
Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirmesine göre;

- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 20.49 joule ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 3.33 joule ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %38.5 , %48.2 , %55.0 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %69.8 , %74.5 , %80.3 daha az olduğu,
- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %65.3 , %70.3 , %81.0 daha az olduğu belirlenmiştir.

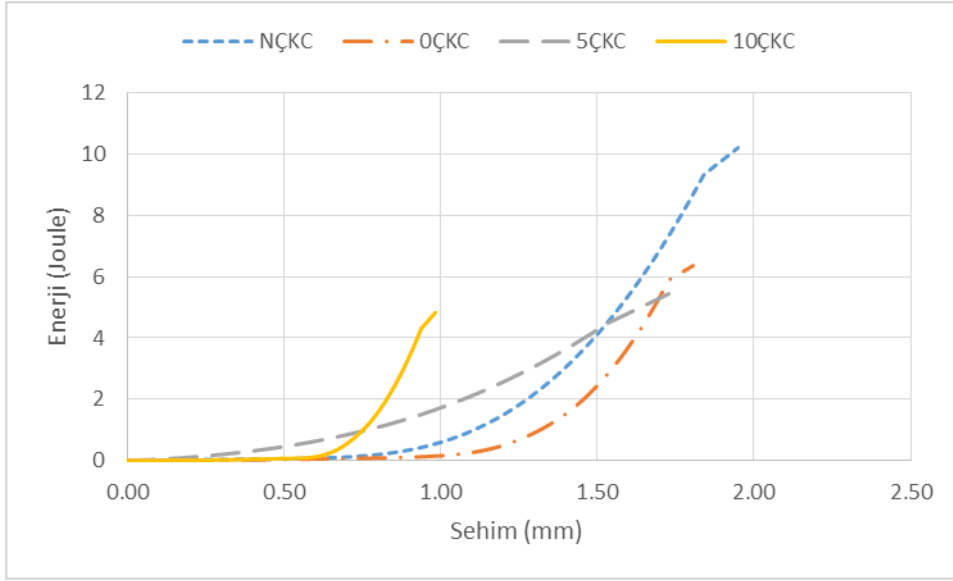
Çelik lif takviyeli 28 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağılı enerji yutma kapasitesi hesaplamasında kullanılan Enerji-Sehim grafikleri Şekil 3.19-Şekil 3.21’de görölmektedir.



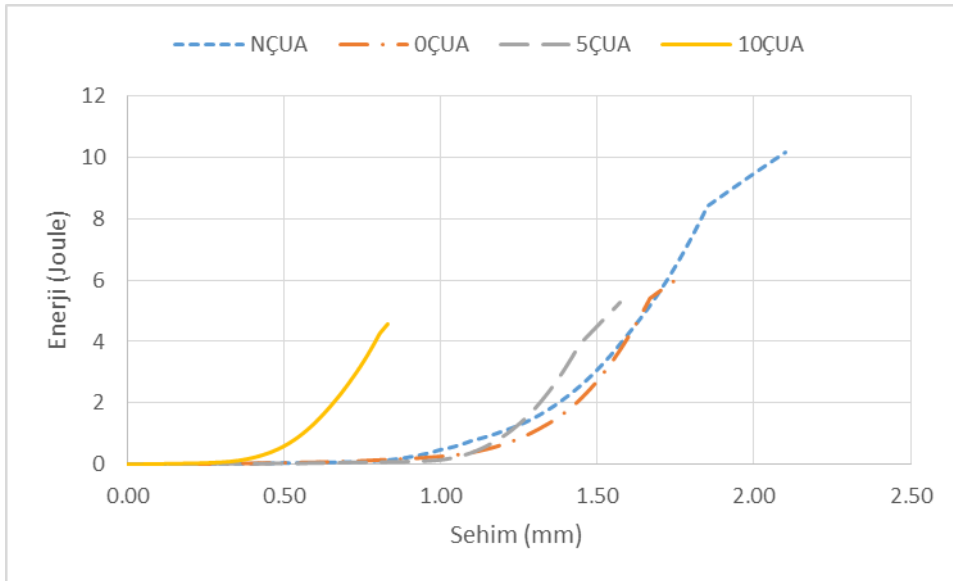
Şekil 3.61. A oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



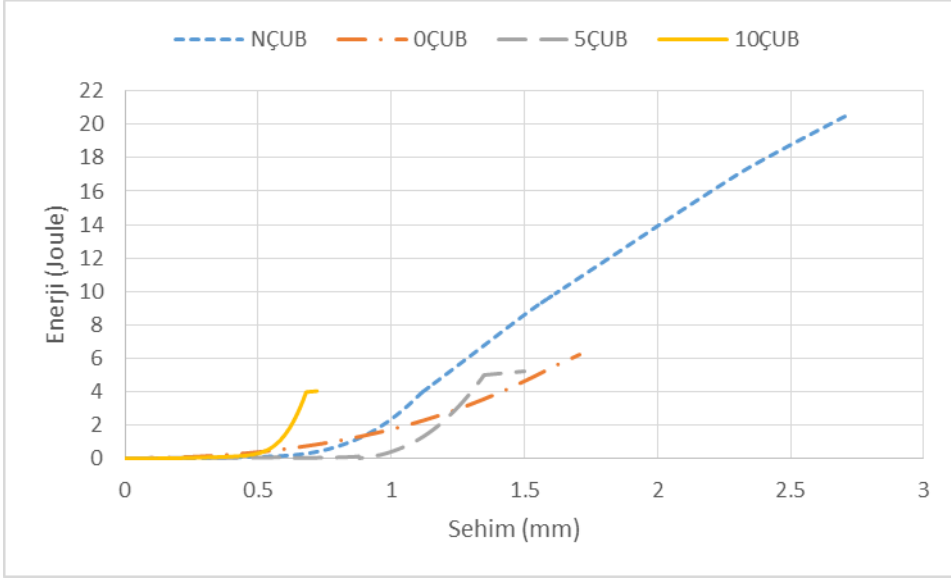
Şekil 3.62. B oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



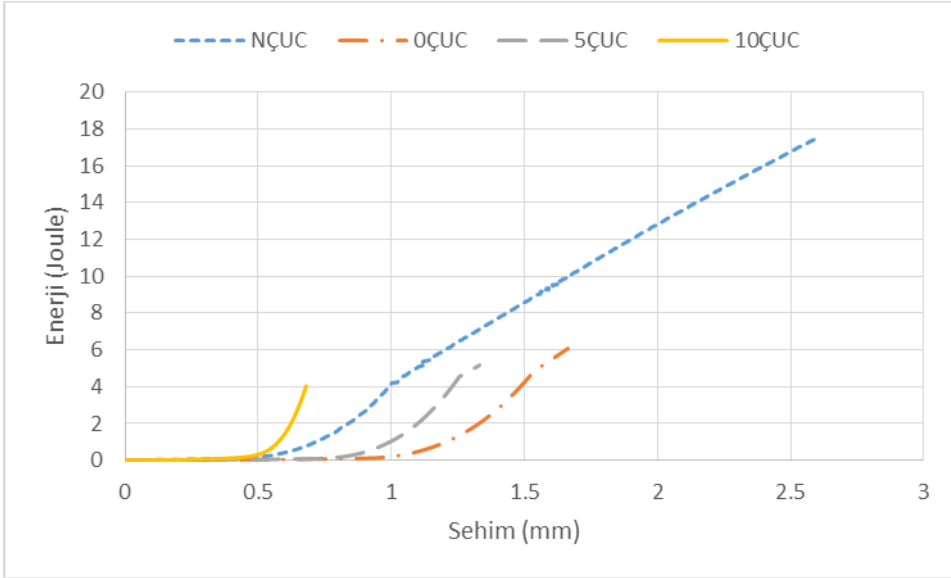
Şekil 3.63. C oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.64. A oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.65. B oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.66. C oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri

Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirmesine göre;

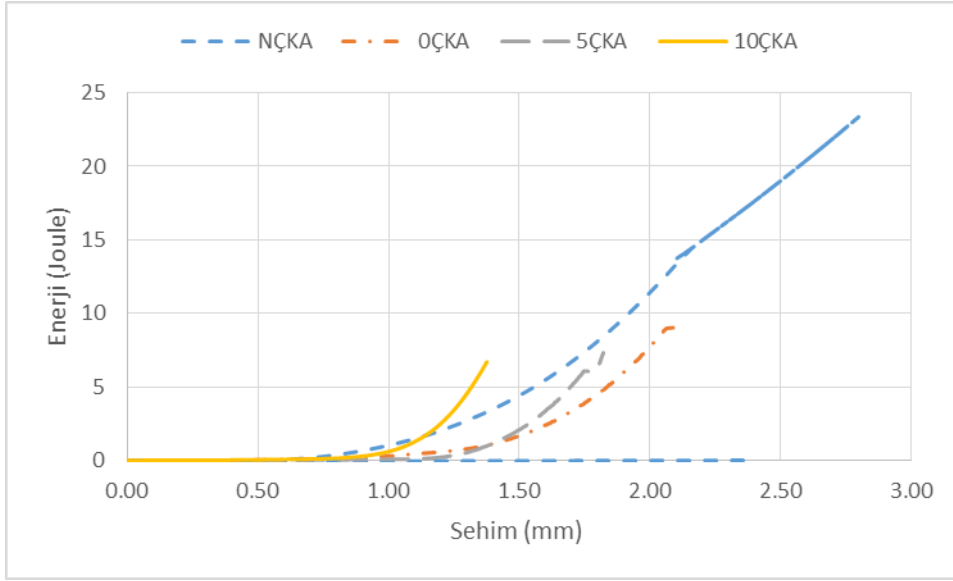
- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 23.43 joule ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 5.64 joule ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,

- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %2.6 , %13.6, %33.9 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %44.1 , %51.8 , %62.2 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %59.4 , %65.8 , %75.9 daha az olduğu,

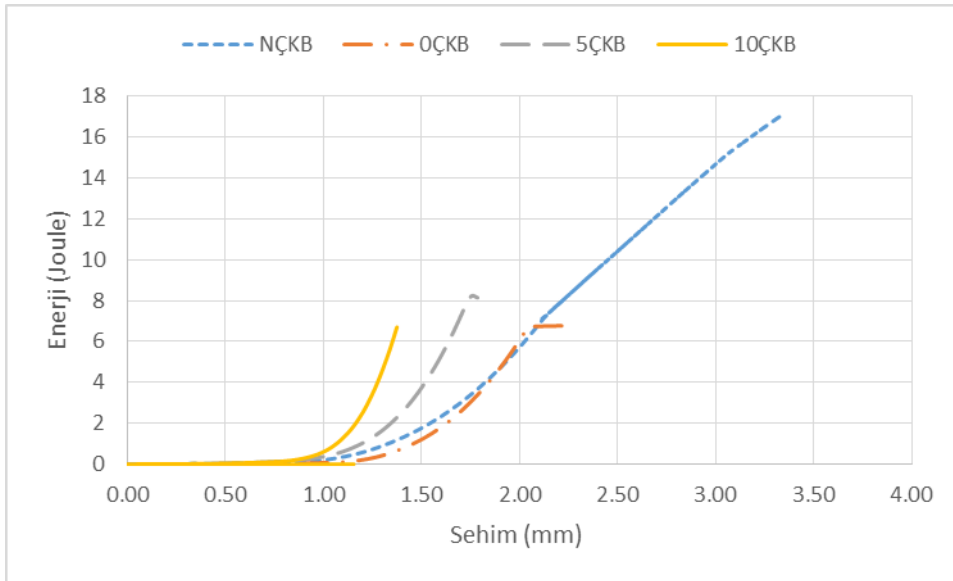
Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirmesine göre;

- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 37.24 joule ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 5.20 ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %72.2 , %77.0 , %84.6 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %74.9 , %80.2 , %86.0 daha az olduğu,
- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %74.3 , %79.4 , %85.4 daha az olduğu belirlenmiştir.

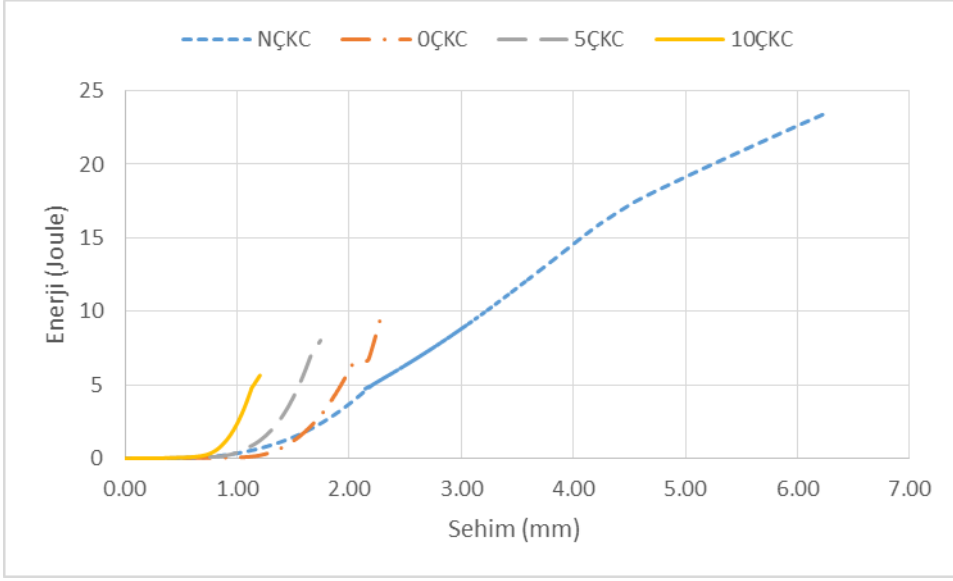
Çelik lif takviyeli 120 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağılı enerji yutma kapasitesi hesaplamasında kullanılan Enerji-Sehim grafikleri Şekil 3.19-Şekil 3.21’de görölmektedir.



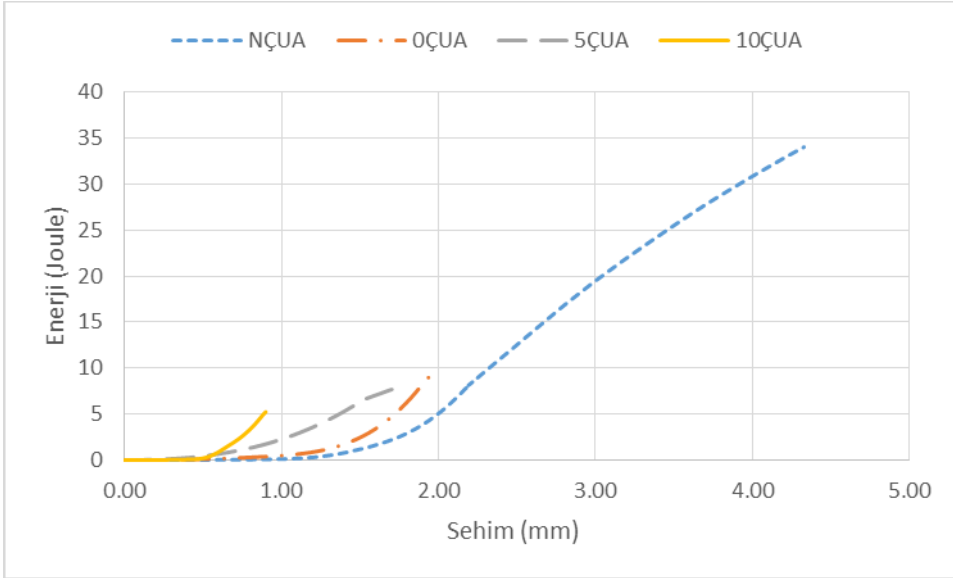
Şekil 3.67. A oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.68. B oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



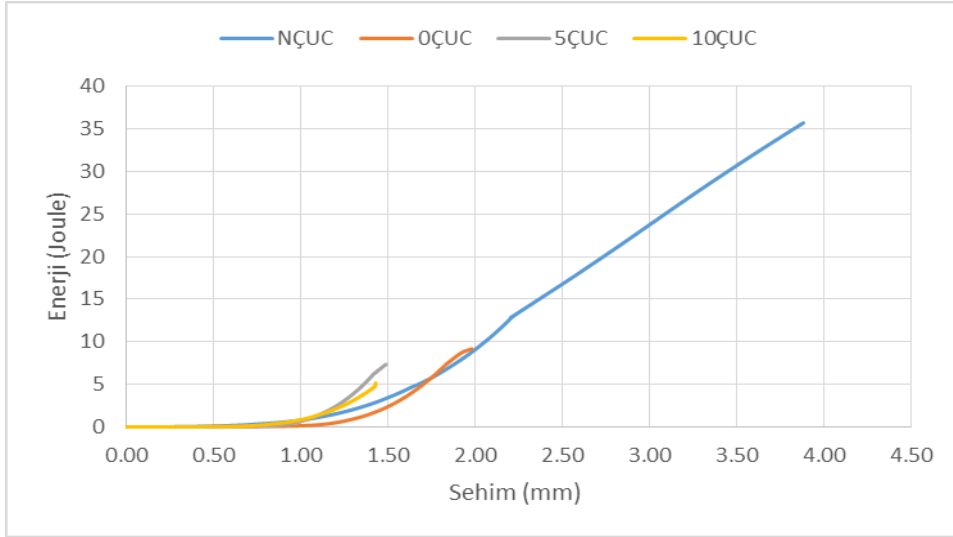
Şekil 3.69. C oranlı kısa çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.70. A oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.71. B oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.72. C oranlı uzun çelik takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri

Sonuç olarak, taze halde dona maruz kalmış lifli betonların erken yaş dayanımlarında karakteristik dayanıma göre yaklaşık olarak %60 azalma belirlenmiştir. Demirboğa ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, bezer şekilde taze halde dona maruz bırakılan betonların erken yaş dayanımının yaklaşık olarak %80 azalttığını ve 28 günlük dayanımlarda ise %95 civarında dayanım kaybı tespit etmiştir (Demirboğa, 2014). Benzer şekilde Korhonen yaptığı çalışmada taze halde dona maruz kalan betonlarda dayanım kayıplarının olduğunu belirlemiştir.

3.1.3.2. Polipropilen Lif Takviyeli Betonlar

Taze halde donatıya maruz beton örneklerin enerji yutma kapasitesi deneyi gerçekleştirilmiştir. Değerler betonun örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin normal şartlarda üretilen beton örneklerine göre 7, 28 ve 120 günlük enerji yutma kapasitesine göre kıyaslanmıştır. Betonun enerji yutma kapasitesine göre 7, 28 ve 120 günlük enerji yutma kapasitesi değerleri Tablo 3.6’da görülmektedir.

Ayrıca kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.73-Şekil 3.87’de, uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin eğilme dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.76-Şekil 3.90 görülmektedir.

Tablo 3.6. Polipropilen lif takviyeli beton numunelerin enerji yutma kapasiteleri

Lif Türü	Lif Oranı	Lif Boyu	Sıcaklık	Enerji Yutma Kapasiteleri		
				7. gün	28. gün	120. gün
Polipropilen	A	Kısa	N	6.14	9.32	11.02
			0	5.99	8.49	10.69
			-5	4.55	6.40	8.60
			-10	3.57	5.49	7.78
		Uzun	N	6.58	9.67	12.59
			0	4.81	6.71	9.39
			-5	4.10	6.00	8.17
			-10	2.31	5.11	6.84
	B	Kısa	N	6.17	9.52	11.29
			0	5.24	7.85	10.12
			-5	4.42	6.21	8.28
			-10	3.55	5.49	7.49
		Uzun	N	8.08	10.44	22.50
			0	4.79	6.68	9.25
			-5	4.01	5.77	8.12
			-10	2.07	5.06	6.43
	C	Kısa	N	6.27	9.57	11.66
			0	5.20	6.79	9.49
			-5	4.10	6.16	8.21
			-10	3.00	5.20	7.39
		Uzun	N	8.04	9.86	15.53
			0	4.64	6.56	9.06
			-5	3.88	5.57	8.05
			-10	1.80	2.30	6.16

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak,

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirilmesine göre;

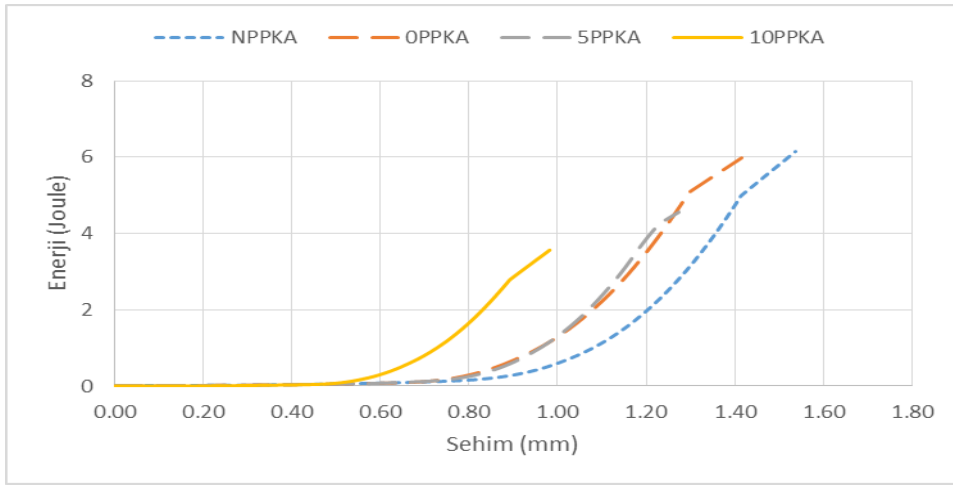
- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 6.26 joule ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 2.99 joule ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %2.5 , %25.9, %42.0 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %15.1 , %28.5 , %42.5 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKC, 5PPKC, 10PPKC beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %17.1 , %34.6 %52.2 daha az olduğu,

Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirilmesine göre;

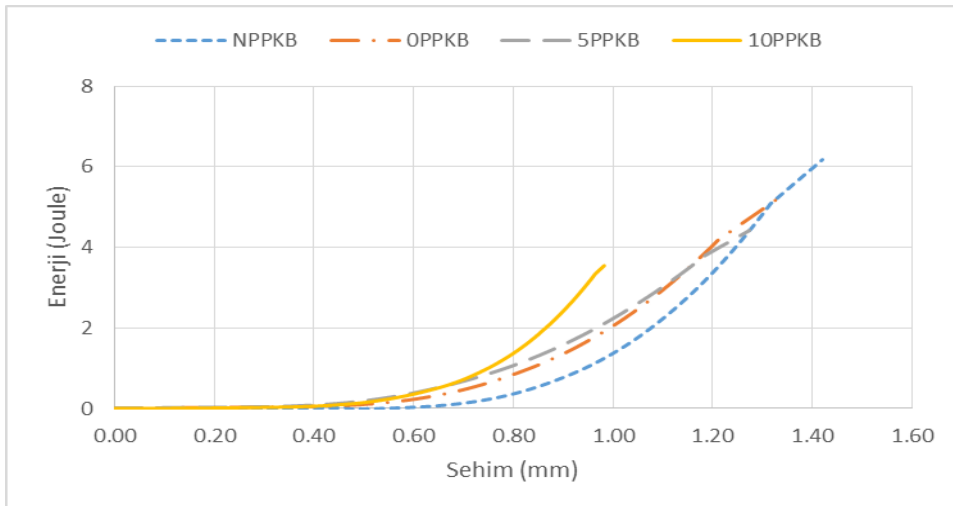
- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 22.50 joule ile NPPUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 6.15 joule ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %26.8 , %37.8, %64.8 daha az olduğu,
- B oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %40.7 , %50.4 , %74.4 daha az olduğu,

- C oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PKC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %42.3 , %51.8 %77.6 daha az olduğu belirlenmiştir.

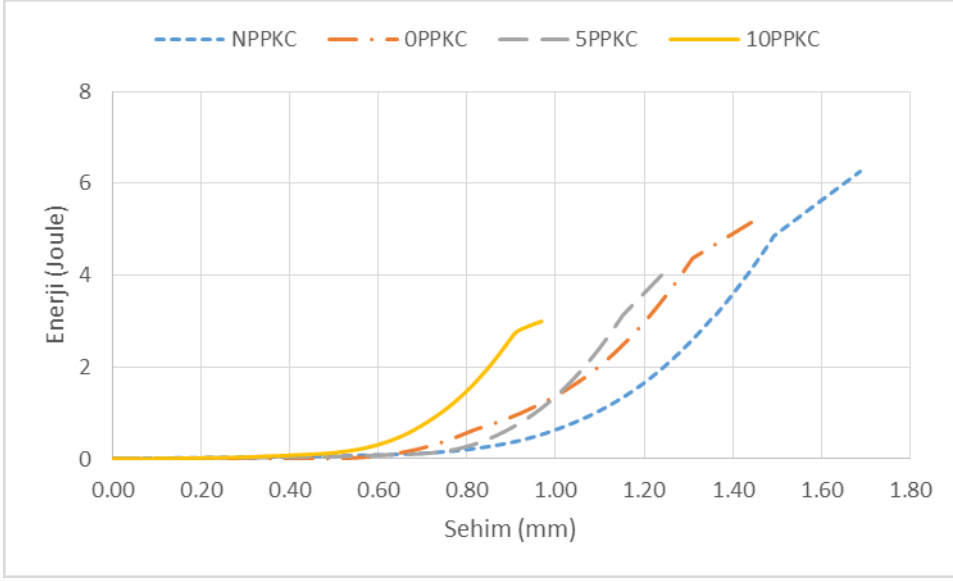
Polipropilen lif takviyeli 7 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağlı enerji yutma kapasitesi hesaplamasında kullanılan Enerji-Sehim grafikleri Şekil 3.73-Şekil 3.78’de görölmektedir.



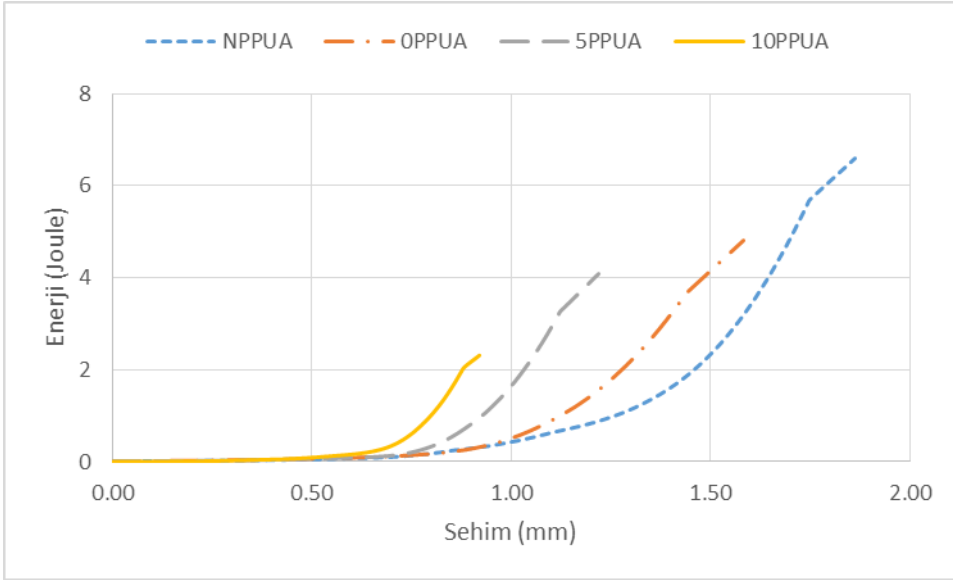
Şekil 3.73. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



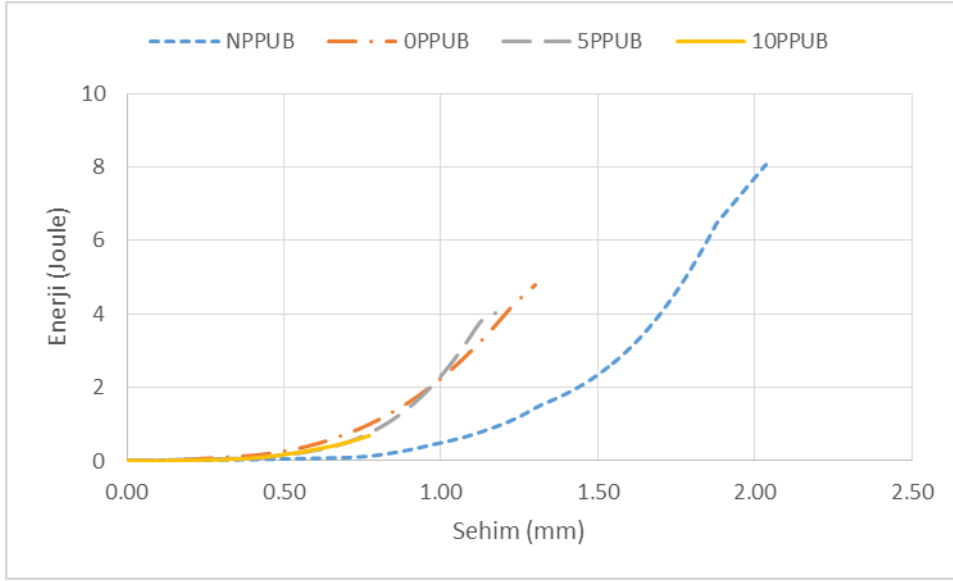
Şekil 3.74. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



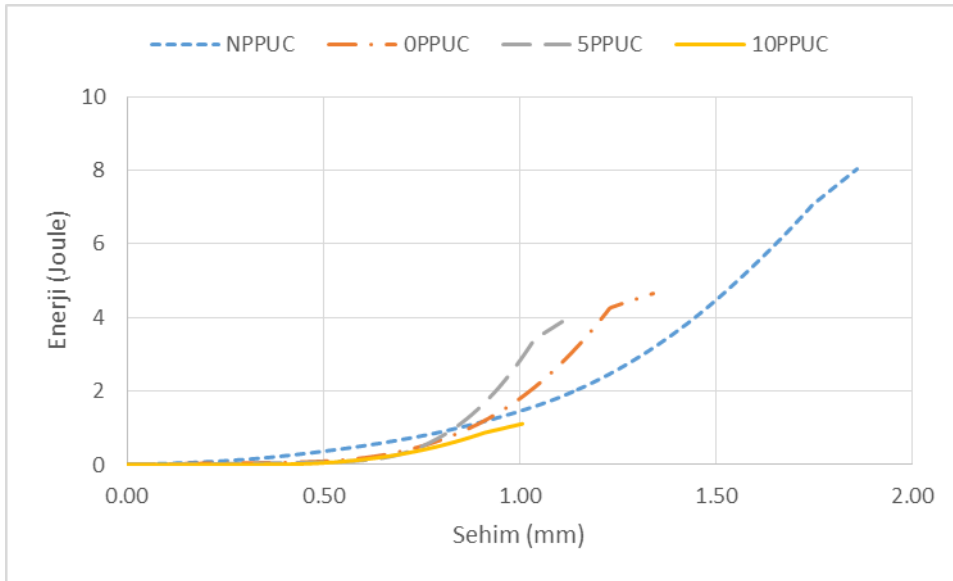
Şekil 3.75. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.76. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.77. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.78. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirmesine göre;

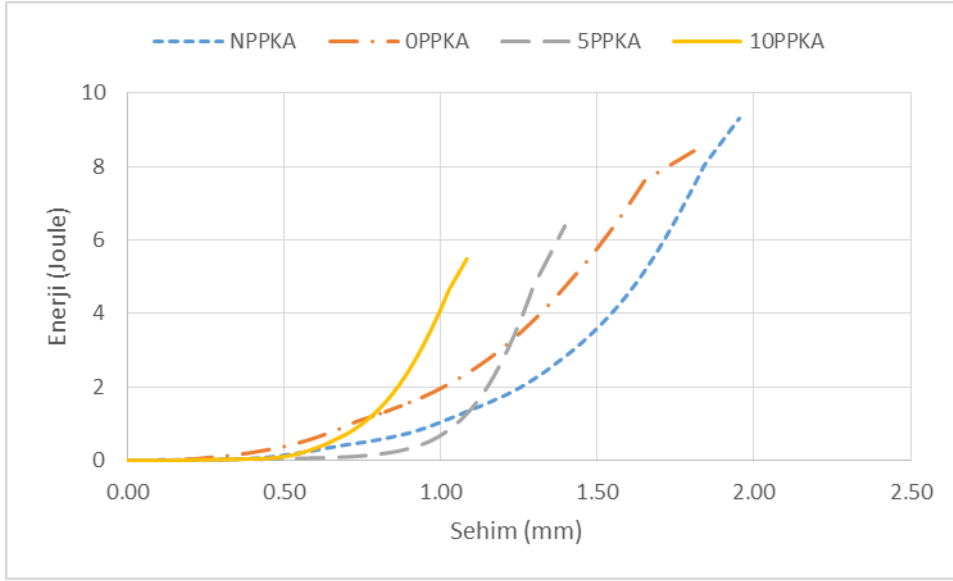
- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 9.57 joule ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 5.19 joule ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,

- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %8.9, %31.3, %41.1 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %17.6, %34.7, %42.3 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKC, 5PPKC, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %29.0, %35.7, %45.7 daha az olduğu,

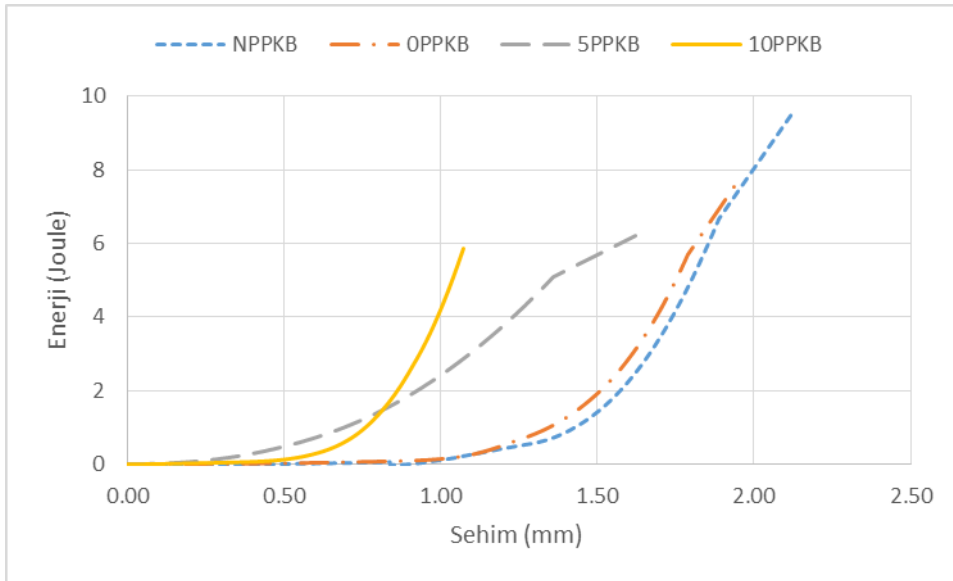
Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirmesine göre;

- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 10.44 joule ile NPPUC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 2.29 joule ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %30.6 %37.9, %47.2 daha az olduğu,
- B oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %36.0, %44.7, %51.5 daha az olduğu,
- C oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUC, 5PPUC, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %33.5, %43.6, %76.7 daha az olduğu belirlenmiştir.

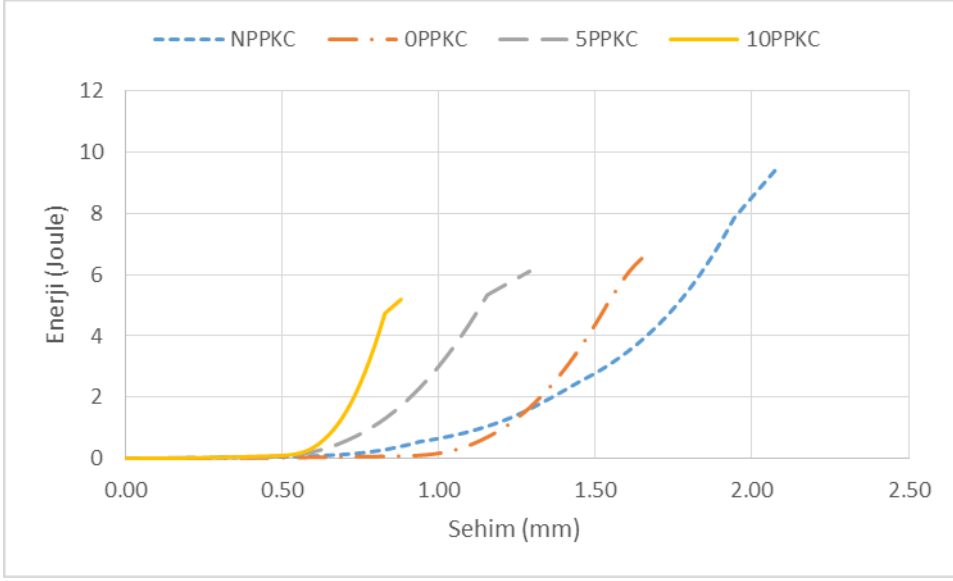
Polipropilen lif takviyeli 28 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağı enerji yutma kapasitesi hesaplamasında kullanılan Enerji-Sehim grafikleri Şekil 3.79-Şekil 3.84’de görölmektedir.



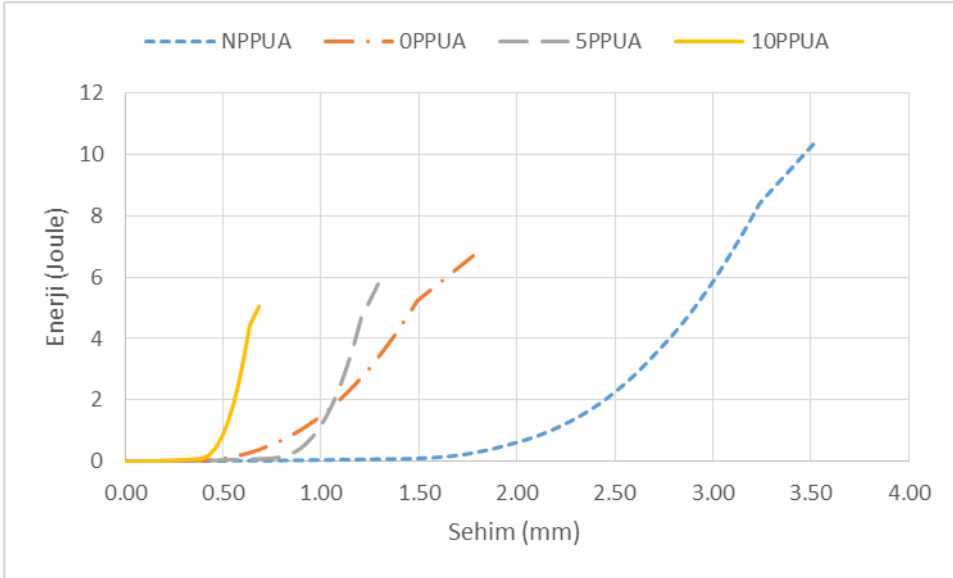
Şekil 3.79. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



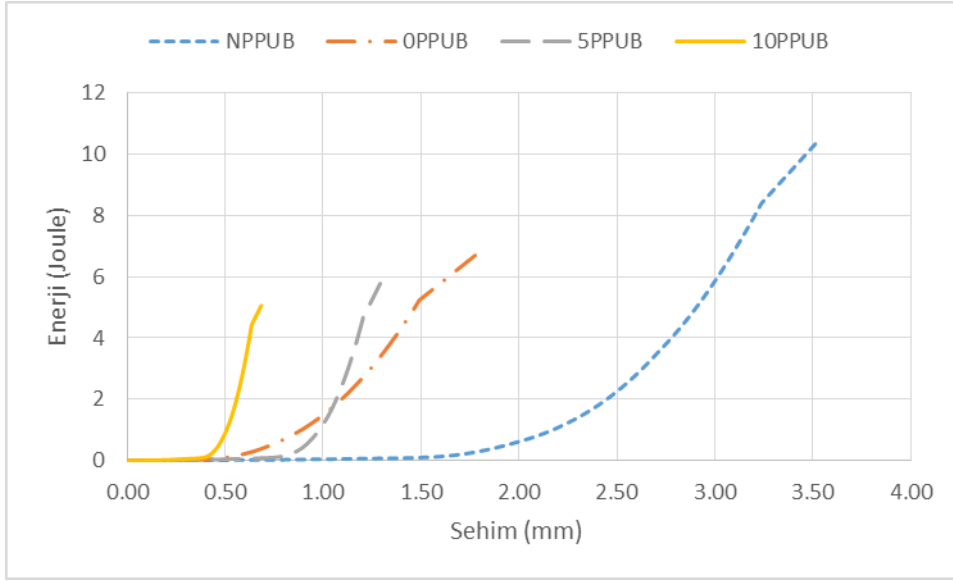
Şekil 3.80. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



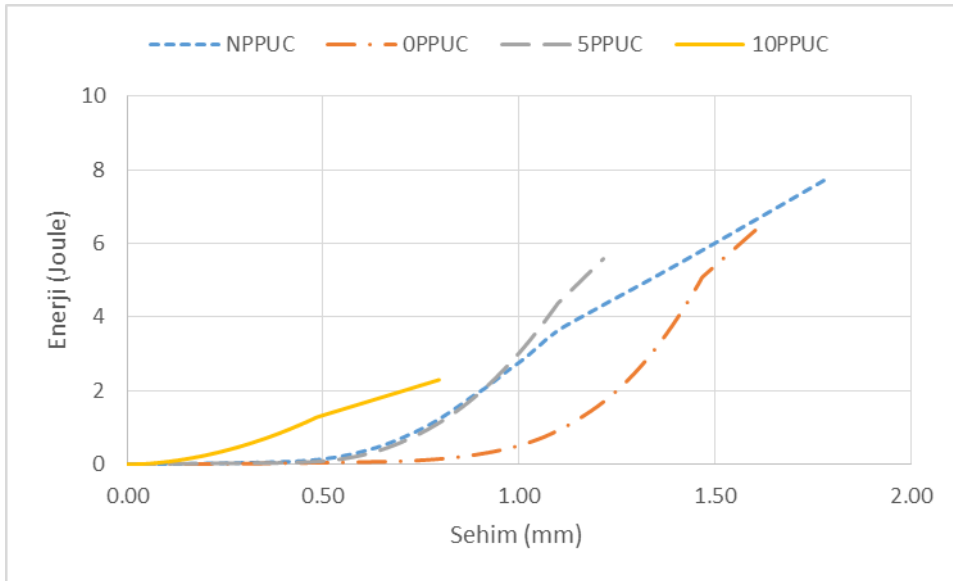
Şekil 3.81. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.82. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.83. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



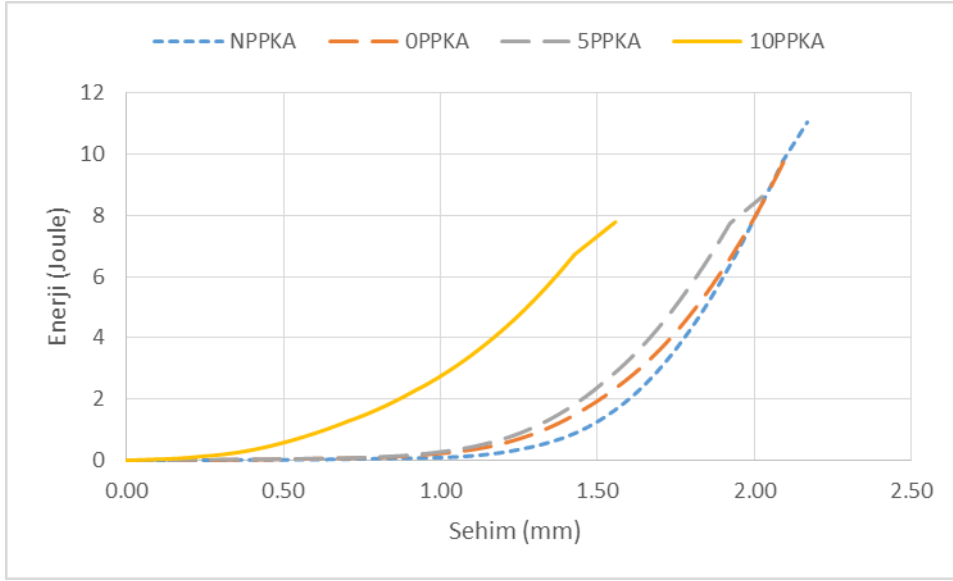
Şekil 3.84. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük enerji yutma kapasitesi değerlendirmesine göre;

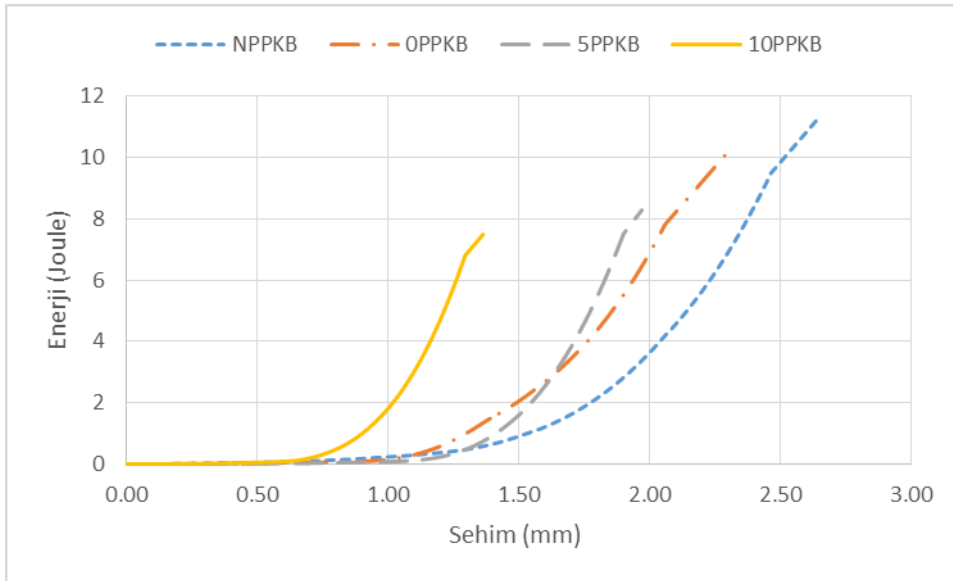
- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 11.65 joule ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 7.38 joule ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,

- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %8.9, %31.3, %41.1 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %17.6, %34.7, %42.3 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPKC, 5PPKC, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %29.0, %35.7, %45.7 daha az olduğu,
- En büyük enerji yutma kapasitesi değerinin 22.50 joule ile NPPUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük enerji yutma kapasitesi değerinin 6.15 joule ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %25.4, %35.1, %45.7 daha az olduğu,
- B oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %58.9, %63.9, %71.4 daha az olduğu,
- C oranda uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerin enerji yutma kapasitesi taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre OPPUC, 5PPUC, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %41.7, %48.2, %60.4 daha az olduğu belirlenmiştir.

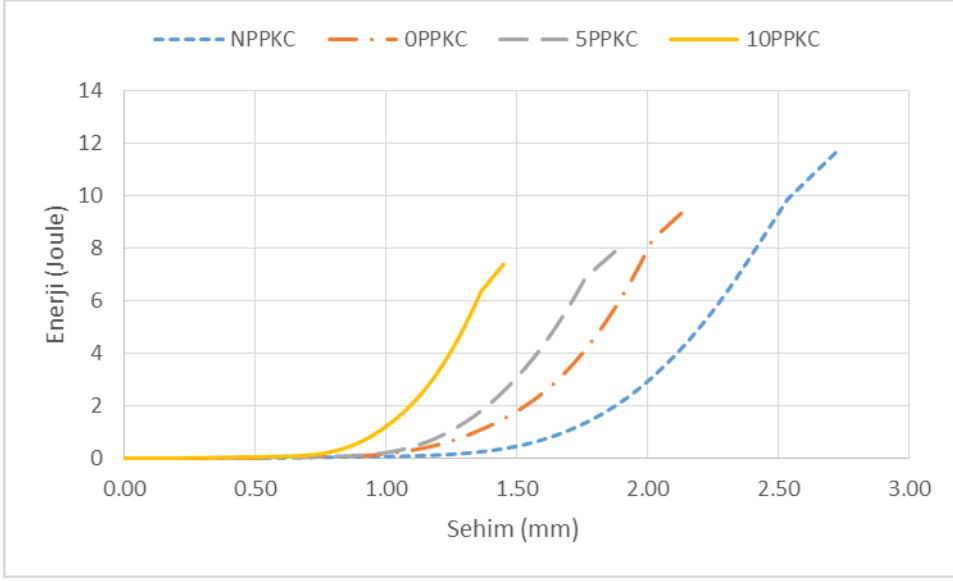
Polipropilen lif takviyeli 120 günlük beton örneklerin lif oranına (A, B, C) bağı enerji yutma kapasitesi hesaplamasında kullanılan Enerji-Sehim grafikleri Şekil 3.85-Şekil 3.90’de görölmektedir.



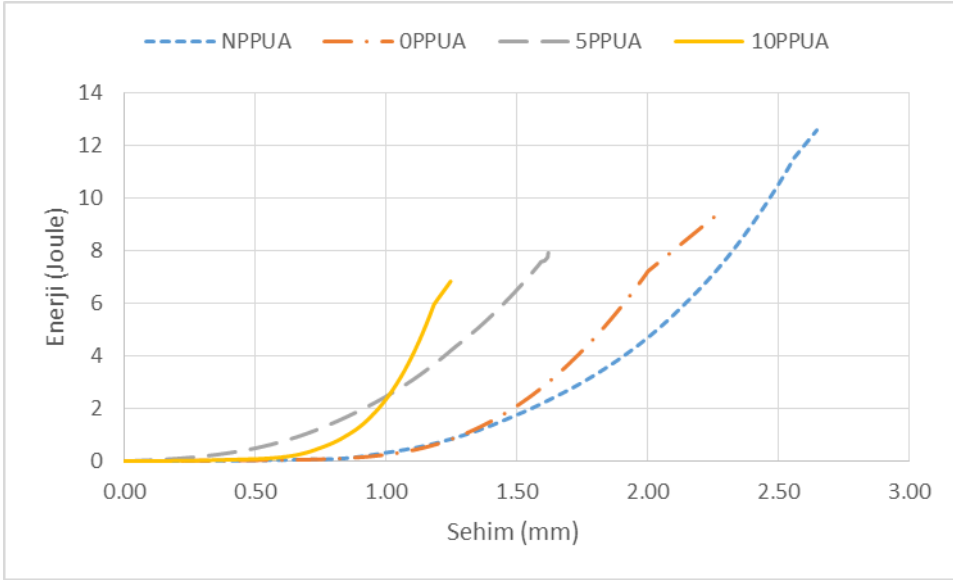
Şekil 3.85. A oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



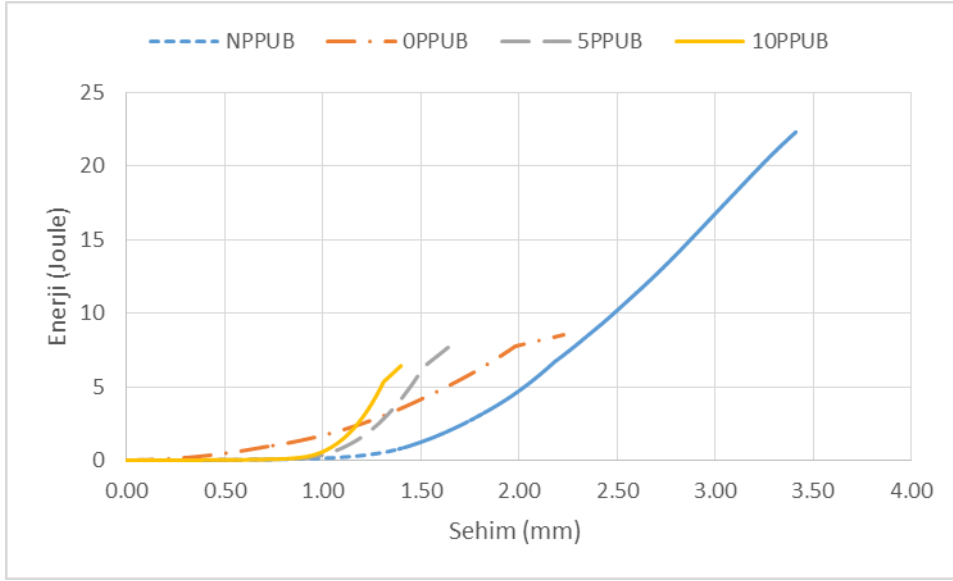
Şekil 3.86. B oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerinin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



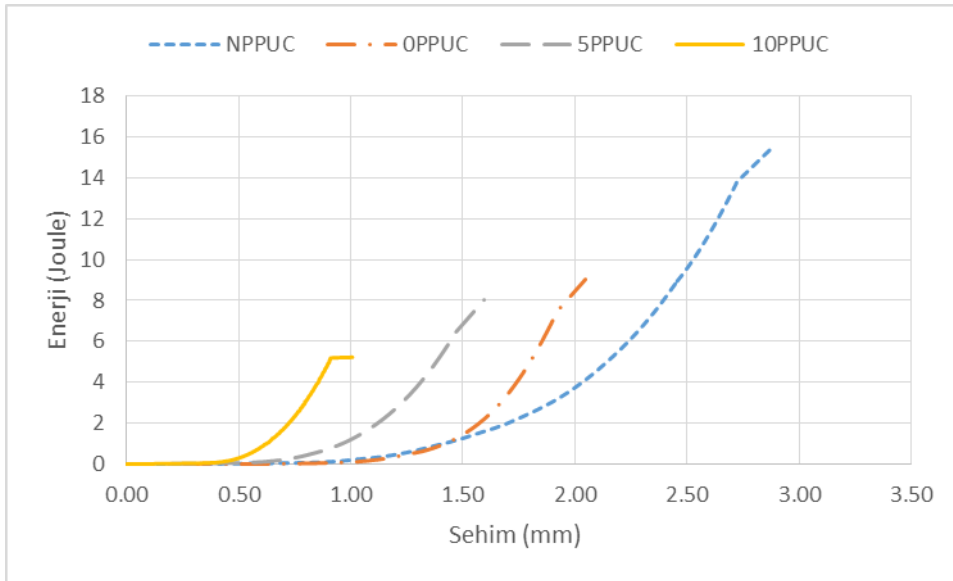
Şekil 3.87. C oranlı kısa polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.88. A oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.89. B oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri



Şekil 3.90. C oranlı uzun polipropilen takviyeli beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı Enerji-Sehim grafikleri

Sonuç olarak, yapılan literatür çalışmaları sonucunda beton içerisinde lif kullanılması sonucu tokluk değerlerinin arttığı, lifsiz betonların taze halde donatı maruz kalması sonucu tokluk değerlerinde kayıplar olduğu görülmüştür.

Tokay ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada polipropilen lif ve çelik lif içeren betonlarında, polipropilen liflerin normal betonun tokluğunu arttırmadığını, çelik liflerin

ise normal betonun tokluğunu %110 mertebesinde arttırdığını belirlemiştir. Ayrıca bu çalışmada; gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin alçalan kısımlarının eğimlerinin daha düşük olması, çelik liflerin sünekliği arttırdığını ortaya koymuştur (Tokyay vd., 1991).

Mansur ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada üretilen betonlarda; çelik lif içeriği ve yükleme eksenine göre döküm yönü değişken alınmıştır. Yapılan deneyler sonunda yatay şekilde duran kalıplara dökülen lifli beton numuneler daha yüksek düktilite göstermiştir. % 1 Lif içeren kare kesitli numunelerin dairesel kesitli numunelere göre daha sünek olduğu görülmüştür. Şekil etkisi dayanımın artması ile azalmıştır. Ayrıca prizmatik ve dairesel numunelerde tokluk indeksinin beton dayanımı arttıkça azaldığı da görülmüştür (Mansur vd., 1999).

Balaguru, çalışmasında ucu çengelli ve boyu 50 mm olan çelik liflerin tokluk bakımından en iyi performansı gösterdiği, çimento tipinin önemli bir etki yapmadığı ve iyileşmenin kaba agrega içermeyen karışımlarda daha fazla olduğu görülmüştür (Balaguru, 1992).

Uğurlu yaptığı çalışmada çelik liflerle güçlendirilmiş betonun tokluk özelliğine etkisinin çelik lif miktarının, hacminin, narinliğinin, boyunun artmasıyla birlikte artış gösterdiği sonucuna varmıştır.

Bu çalışmada taze halde donatıya maruz kalan betonlarda çelik lif ve polipropilen lif kullanımının enerji yutma kapasitesini arttırdığı, taze halde donatıya maruz kalan lifsiz betonun tokluk değerlerine kıyasla kayıpları azalttığı görülmüştür.

3.1.4. Elastisite Modülü

3.1.4.1. Çelik Lif Takviyeli Betonların Elastisite Modülü

Taze halde donatıya maruz çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü deneyi gerçekleştirilmiş. Elastisite modülü değerleri, beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin normal şartlarda üretilen beton örneklere göre 7, 28 ve 120 günlük elastisite modülüne göre kıyaslanmıştır. Betonun elastisite modülüne göre 7, 28 ve 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri Tablo 3.7’de görülmektedir. Ayrıca kısa çelik lif takviyeli ve uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin ortalama elastisite modülü değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.91-Şekil 3.99’de görülmektedir.

Tablo 3.7. Çelik lif takviyeli beton numunelerin ortalama elastisite modülü değerleri

Lif Türü	Lif Oranı	Lif Boyu	Sıcaklık	Ortalama Elastisite Modülü Değerleri (GPa)		
				7. gün	28. gün	120. gün
Çelik	A	Kısa	N	30.61	32.42	35.98
			0	28.63	32.22	34.67
			-5	28.09	29.70	32.22
			-10	27.18	27.61	30.12
		Uzun	N	29.72	31.73	36.75
			0	28.44	30.53	33.76
			-5	28.08	29.20	30.72
			-10	26.74	27.21	29.24
	B	Kısa	N	29.77	33.07	36.33
			0	29.41	29.82	34.45
			-5	27.88	28.52	31.96
			-10	26.98	27.82	29.83
		Uzun	N	30.21	32.11	38.66
			0	28.85	29.74	33.71
			-5	27.15	28.48	30.45
			-10	25.79	27.59	28.78
	C	Kısa	N	28.85	30.99	36.52
			0	28.43	30.36	34.03
			-5	27.67	30.16	31.13
			-10	26.38	27.78	29.75
		Uzun	N	27.37	29.96	37.79
			0	26.89	29.43	32.49
			-5	26.67	28.95	30.41
			-10	25.08	27.48	28.22

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 7 günlük elastisite modülü değerlendirmesine göre;

Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerde;

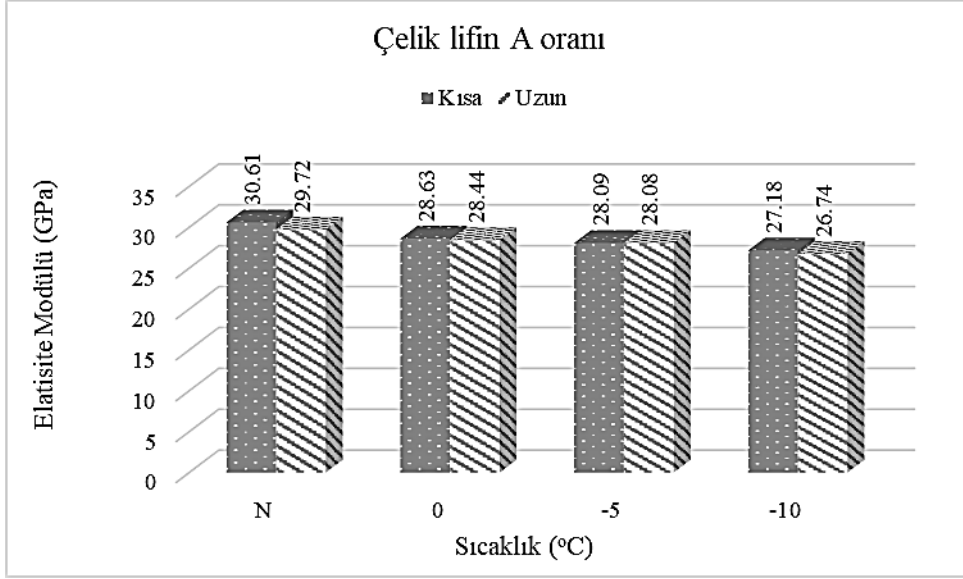
- En büyük elastisite modülü değerinin 28.85 GPa ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 26.37 GPa ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,

- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örnekler göre sırasıyla %6.5, %8.2, %11.2 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örnekler göre sırasıyla %1.2, %6.3, %9.4 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örnekler göre sırasıyla %1.5, %4.1, %8.6 daha az olduğu,

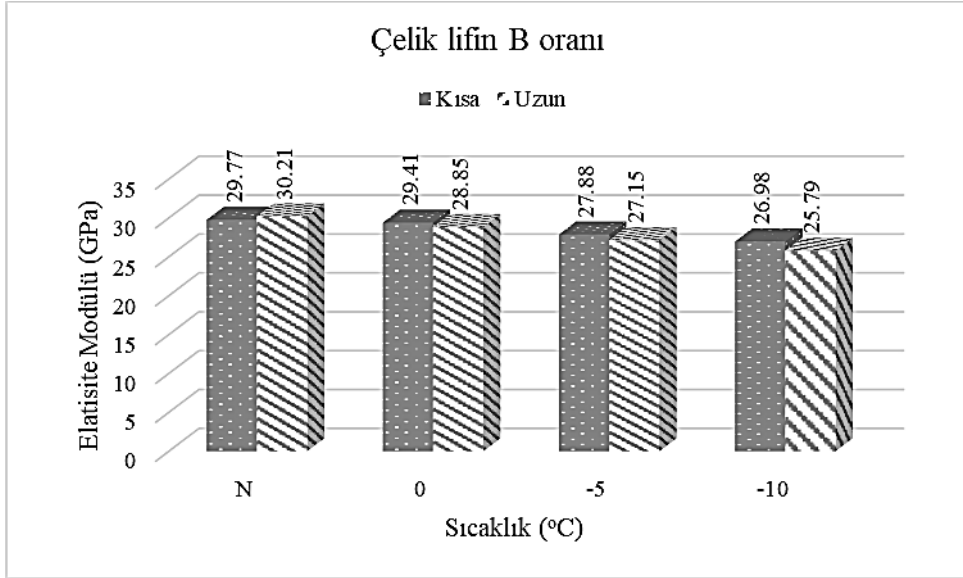
Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük elastisite modülü değerinin 30.21 GPa ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 25.07 GPa ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örnekler göre sırasıyla %4.3 , %5.5, %10.0 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örnekler göre sırasıyla %4.5 , %10.2 , %14.6 daha az olduğu,
- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örnekler göre sırasıyla %1.8, %2.5 ,%8.4 daha az olduğu belirlenmiştir.

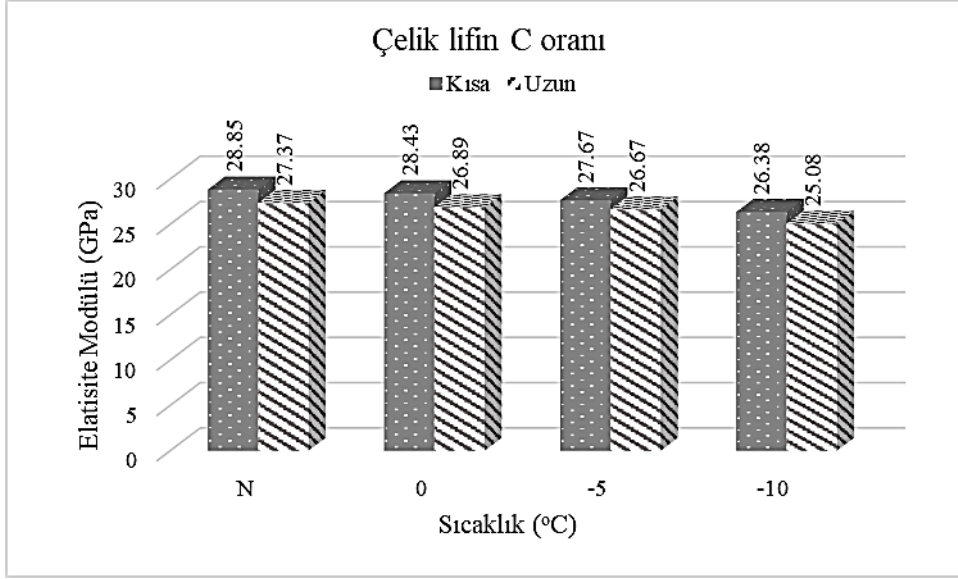
Çelik lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 7 günlük ortalama elastisite modülü değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.1-Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.91. A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.92. B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.93. C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 28 günlük elastisite modülü değerlendirmesine göre;

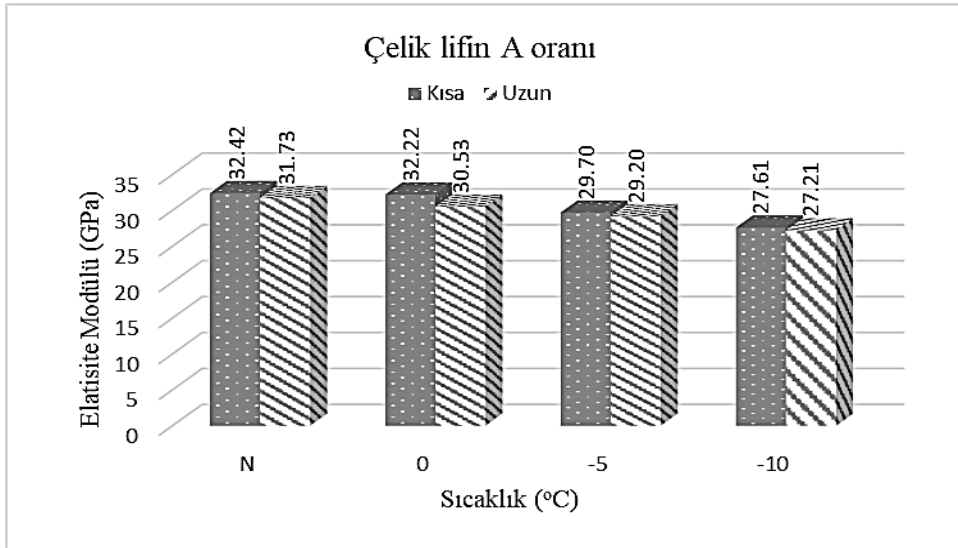
Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük elastisite modülü değerinin 30.98 GPa ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 27.79 GPa ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %0.6, %8.4, %14.8 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %9.8, %13.8, %15.9 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde dona maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %2.0, %2.7, %10.4 daha az olduğu,

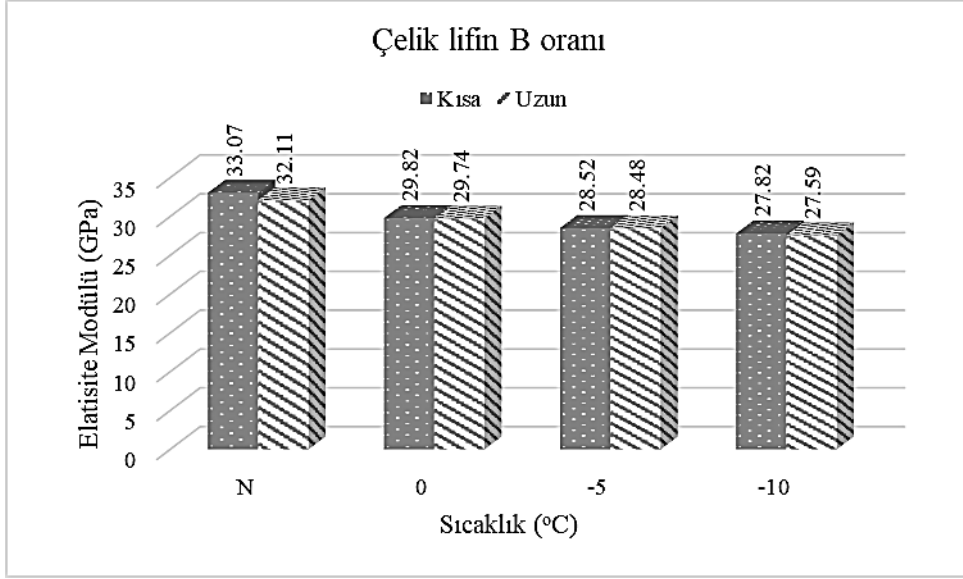
Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük elastisite modülü değerinin 32.11 GPa ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 22.47 GPa ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %3.8, %8.0, %14.3 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %7.4, %11.3, %14.1 daha az olduğu,
- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %1.7, %3.4, %8.3 daha az olduğu,

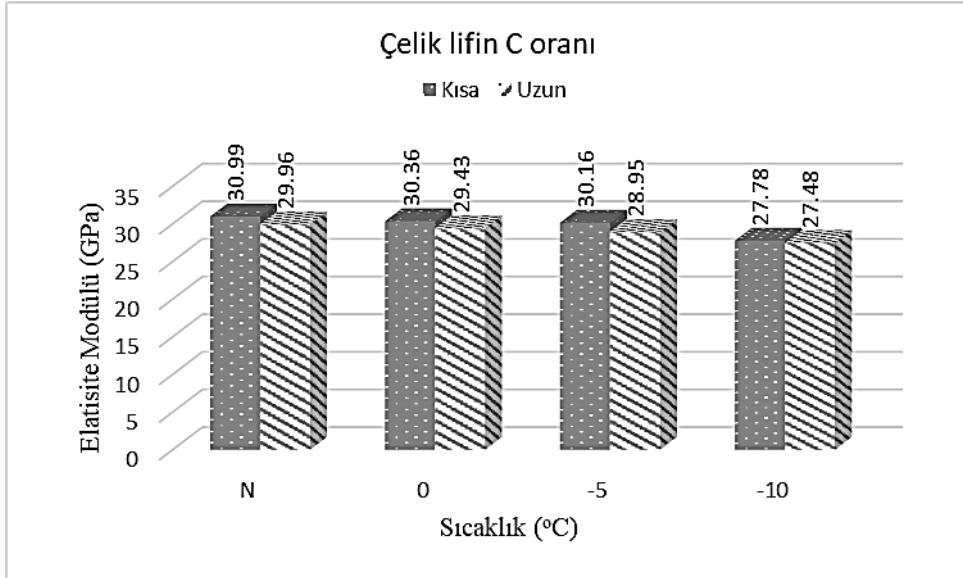
Çelik lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 28 günlük ortalama elastisite modülü değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.94-Şekil 3.96’de görülmektedir.



Şekil 3.94. A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.95. B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.96. C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 120 günlük elastisite modülü değerlendirmesine göre;

Kısa çelik lif takviyeli beton örneklerde;

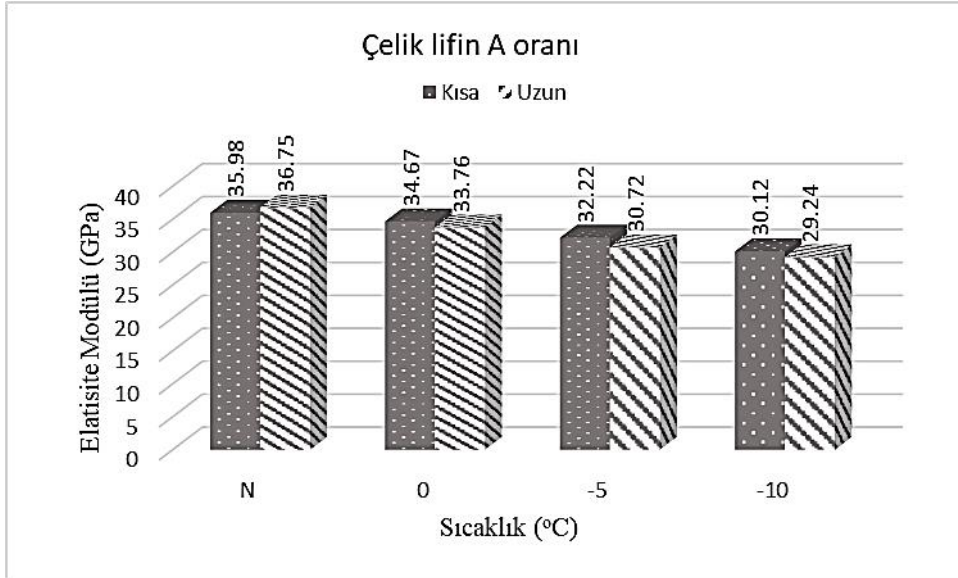
- En büyük elastisite modülü değerinin 36.52 GPa ile NÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 29.75 GPa ile 10ÇKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKA, 5ÇKA, 10ÇKA beton türlerinde referans NÇKA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %3.6, %10.4, %16.3 daha az olduğu,
- B oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKB, 5ÇKB, 10ÇKB beton türlerinde referans NÇKB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %5.2, %12.0, %17.9 daha az olduğu,
- C oranda kısa çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇKC, 5ÇKC, 10ÇKC beton türlerinde referans NÇKC beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %6.8, %14.8, %18.5 daha az olduğu,

Uzun çelik lif takviyeli beton örneklerde;

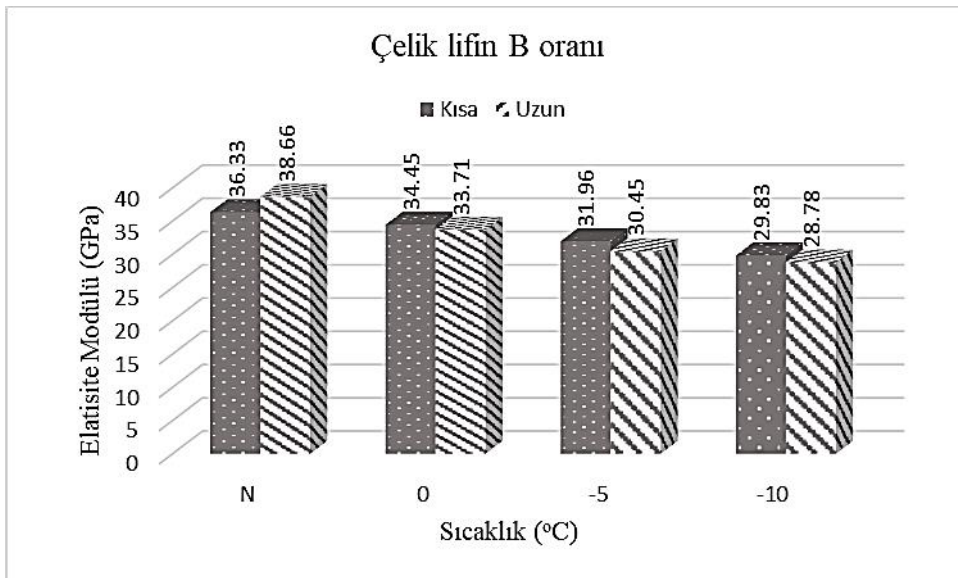
- En büyük elastisite modülü değerinin 38.66 GPa ile NÇUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 28.22 GPa ile 10ÇUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUA, 5ÇUA, 10ÇUA beton türlerinde referans NÇUA beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %8.2, %16.4, %20.4 daha az olduğu,
- B oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUB, 5ÇUB, 10ÇUB beton türlerinde referans NÇUB beton türdeki örneklerle göre sırasıyla %12.8, %21.2, %25.6 daha az olduğu,
- C oranda uzun çelik lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donda maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0ÇUC, 5ÇUC, 10ÇUC beton

türlerinde referans NÇUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %14.0, %19.5, %25.3 daha az olduğu belirlenmiştir.

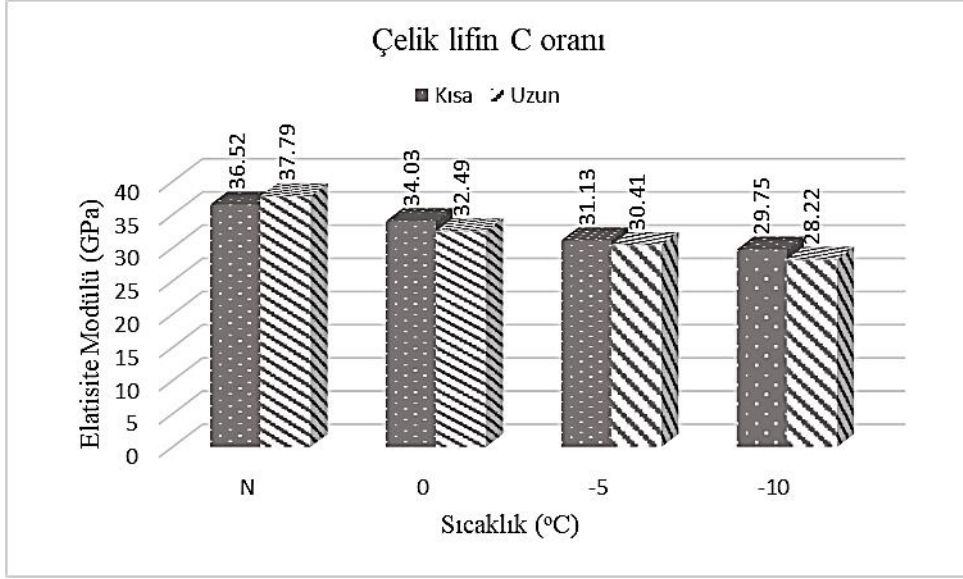
Çelik lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 120 günlük ortalama elastisite modülü değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.1Şekil 3.97-Şekil 3.99'de görülmektedir.



Şekil 3.97. A oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.98. B oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.99. C oranlı çelik lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri

Sonuç olarak, taze halde dona maruz kalmış lifli betonların erken yaş dayanımlarında karakteristik dayanıma göre yaklaşık olarak %60 azalma belirlenmiştir. Demirboğa ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, bezer şekilde taze halde dona maruz bırakılan betonların erken yaş dayanımının yaklaşık olarak %80 azaltıldığını ve 28 günlük dayanımlarda ise %95 civarında dayanım kaybı tespit etmiştir (Demirboğa, 2014). Benzer şekilde Korhonen yaptığı çalışmada taze halde dona maruz kalan betonlarda dayanım kayıplarının olduğunu belirlemiştir.

3.1.4.2. Polipropilen Lif Takviyeli Betonların Elastisite Modülü

Taze halde dona maruz polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü deneyi gerçekleştirilmiş. Elastisite modülü değerleri, beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin normal şartlarda üretilen beton örneklere göre 7, 28 ve 120 günlük elastisite modülüne göre kıyaslanmıştır. Betonun elastisite modülüne göre 7, 28 ve 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri Tablo 3.8’de görülmektedir. Ayrıca kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin ortalama elastisite modülü değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.100-Şekil 3.108’de gösterilmektedir.

Tablo 3.8. Polipropilen lif takviyeli beton numunelerin ortalama elastisite modülü değerleri

Lif Türü	Lif Oranı	Lif Boyu	Sıcaklık	Ortalama Elastisite Modülü Değerleri (GPa)		
				7. gün	28. gün	120. gün
Polipropilen	A	Kısa	N	32.12	33.48	36.16
			0	30.13	32.00	35.48
			-5	29.17	30.79	34.23
			-10	28.58	29.73	30.97
		Uzun	N	32.53	34.24	37.60
			0	29.76	31.80	34.89
			-5	28.89	30.63	32.40
			-10	27.66	28.30	30.46
	B	Kısa	N	32.26	33.63	36.43
			0	29.97	31.96	35.32
			-5	29.16	30.70	34.15
			-10	27.99	29.55	30.81
		Uzun	N	33.35	34.71	38.40
			0	29.75	31.40	34.54
			-5	28.81	30.62	32.19
			-10	27.33	28.19	30.33
	C	Kısa	N	32.51	33.73	36.65
			0	29.95	31.88	34.94
			-5	29.09	30.64	34.11
			-10	27.78	28.54	30.43
		Uzun	N	32.60	34.28	38.13
			0	29.38	30.97	34.42
			-5	28.74	30.15	31.89
			-10	26.60	27.82	28.73

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 7 günlük elastisite modülü değerlendirmesine göre;

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

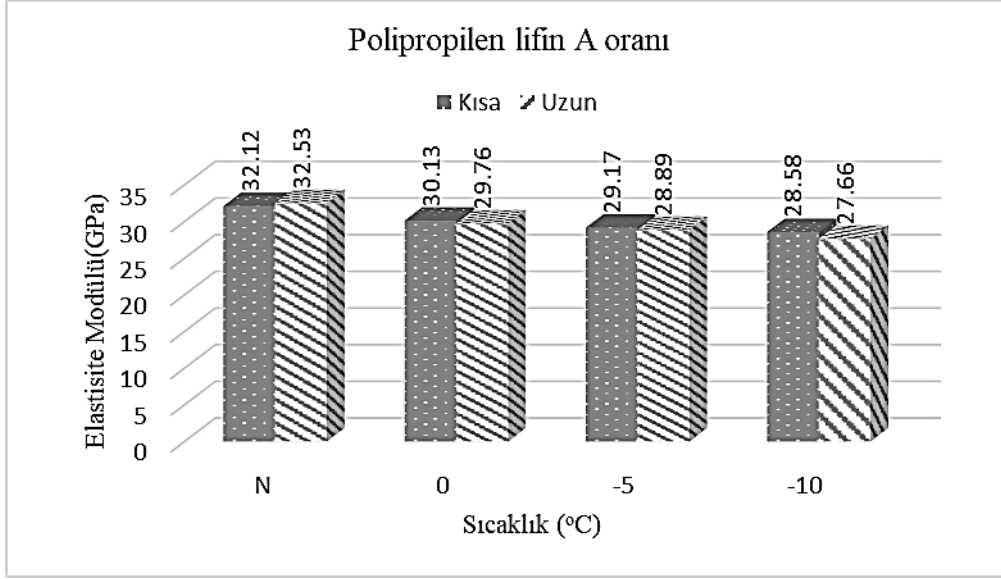
- En büyük elastisite modülü değerinin 32.50 GPa ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 27.78 GPa ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,

- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %6.2 , %9.2, %11.0 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %7.1 , %9.6, %13.3 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKC, 5PPKC, 10PPKC beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %7.9 , %10.5 ,%14.5 daha az olduğu,

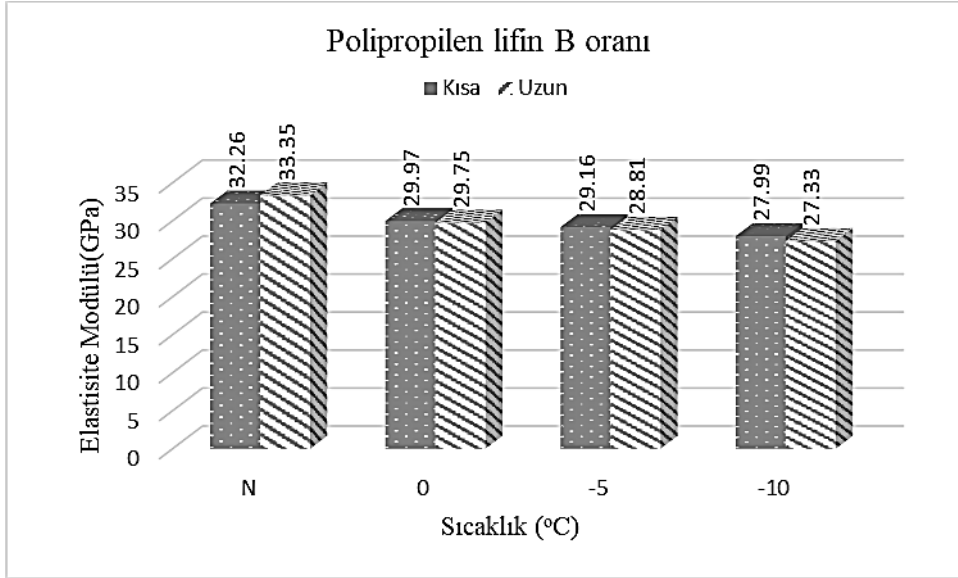
Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklende;

- En büyük elastisite modülü değerinin 33348.37 MPa ile NPPUB türü beton örneklende olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 26600.93 MPa ile 10PPUC türü beton örneklende olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %8.5 , %11.2, %15.0 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %10.8 , %13.6 ,%18.1 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %9.9, %11.8, %18.4 daha az olduğu belirlenmiştir.

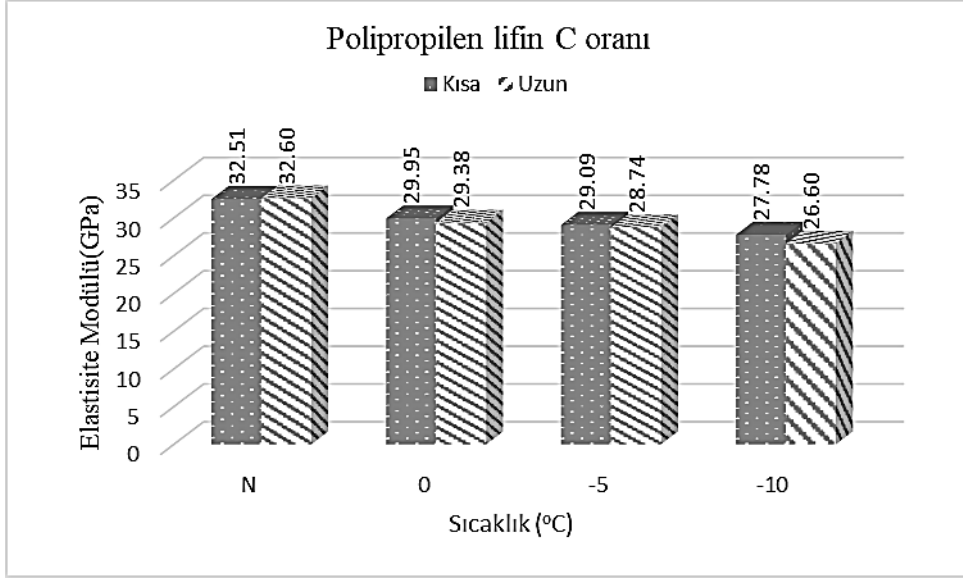
Polipropilen lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağılı olarak 7 günlük ortalama elastisite modülü değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.100-Şekil 3.102Şekil 3.3'de görölmektedir.



Şekil 3.100. A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.101. B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.102. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 7 günlük ortalama elastisite modülü değerleri

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 28 günlük elastisite modülü değerlendirmesine göre;

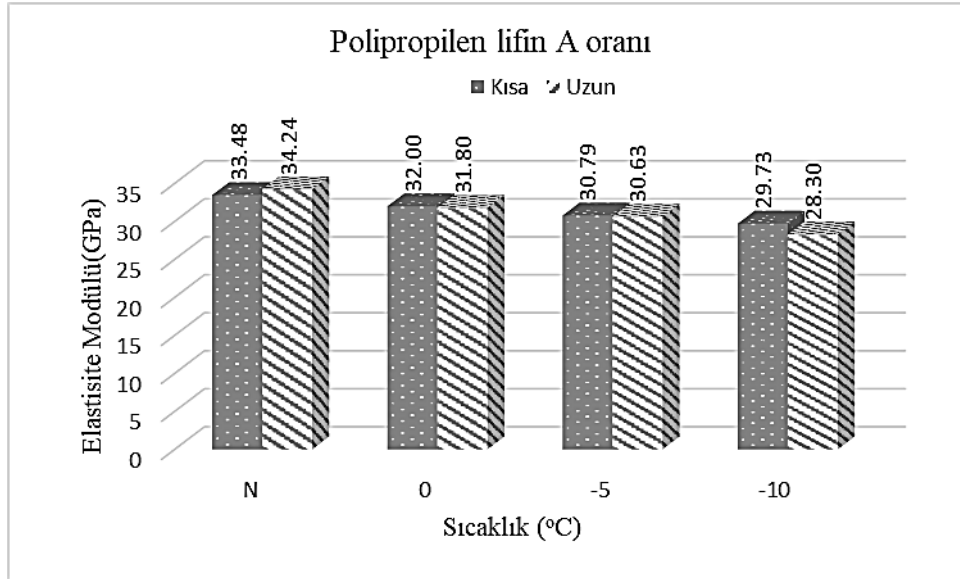
Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük elastisite modülü değerinin 33.72 GPa ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 28.54 GPa ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %4.4 , %8.0 %11.2 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %5.0, %8.7 ,%12.1 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKC, 5PPKC, 10PPKC beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %5.5 , %9.1, %15.4 daha az olduğu,

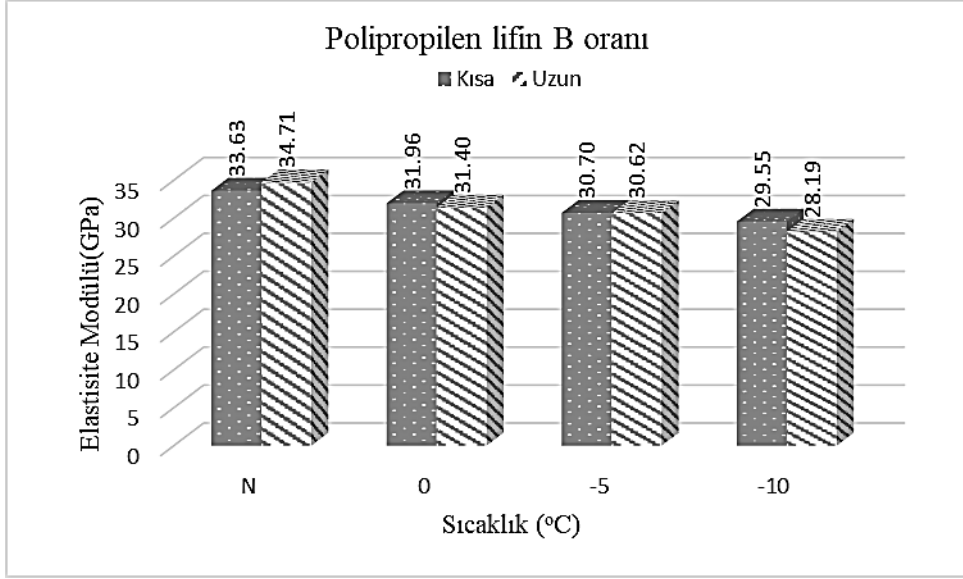
Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük elastisite modülü değerinin 34.70 GPa ile NPPUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 27.81 GPa ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %7.1, %10.5, %17.4 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %9.5, %11.8, %18.8 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %9.6, %12.0, %18.8 daha az olduğu belirlenmiştir.

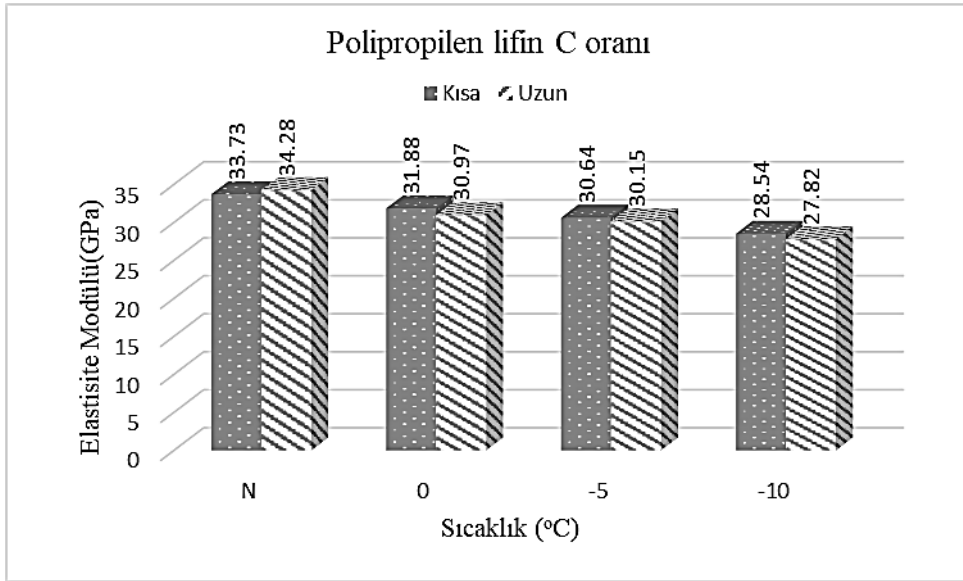
Polipropilen lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 28 günlük ortalama elastisite modülü değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.103-Şekil 3.105’de görülmektedir.



Şekil 3.103. A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.104. B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.105. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 28 günlük ortalama elastisite modülü değerleri

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri ve lif oranına bağlı olarak 120 günlük elastisite modülü değerlendirmesine göre;

Kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

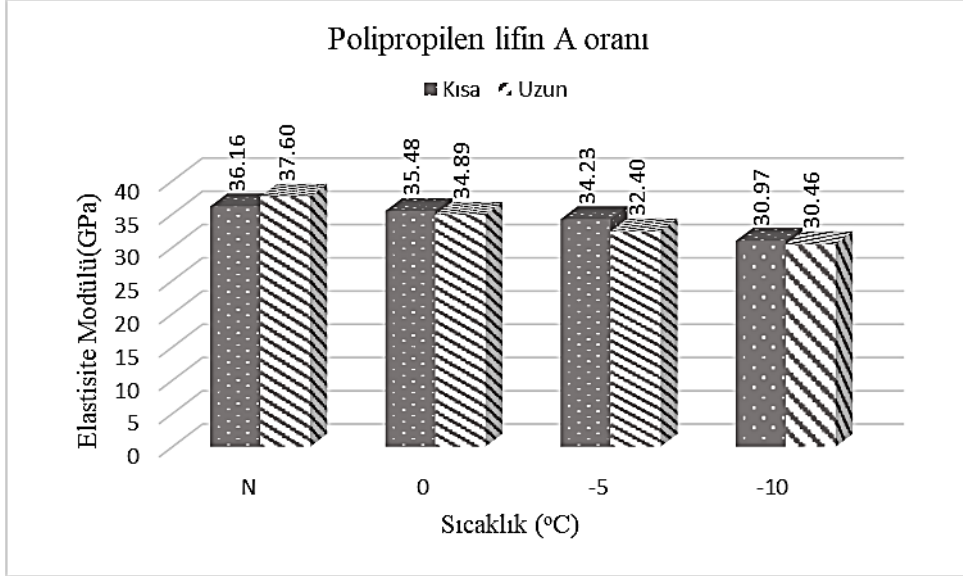
- En büyük elastisite modülü değerinin 36.65 GPa ile NPPKC türü beton örneklerde olduğu,

- En küçük elastisite modülü değerinin 30.43 GPa ile 10PPKC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKA, 5PPKA, 10PPKA beton türlerinde referans NPPKA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %1.9, %5.3, %14.3 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKB, 5PPKB, 10PPKB beton türlerinde referans NPPKB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %3.1, %6.3, %15.4 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPKC, 5PPKC, 10PPKC beton türlerinde referans NPPKC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %4.7, %6.9, %17.0 daha az olduğu,

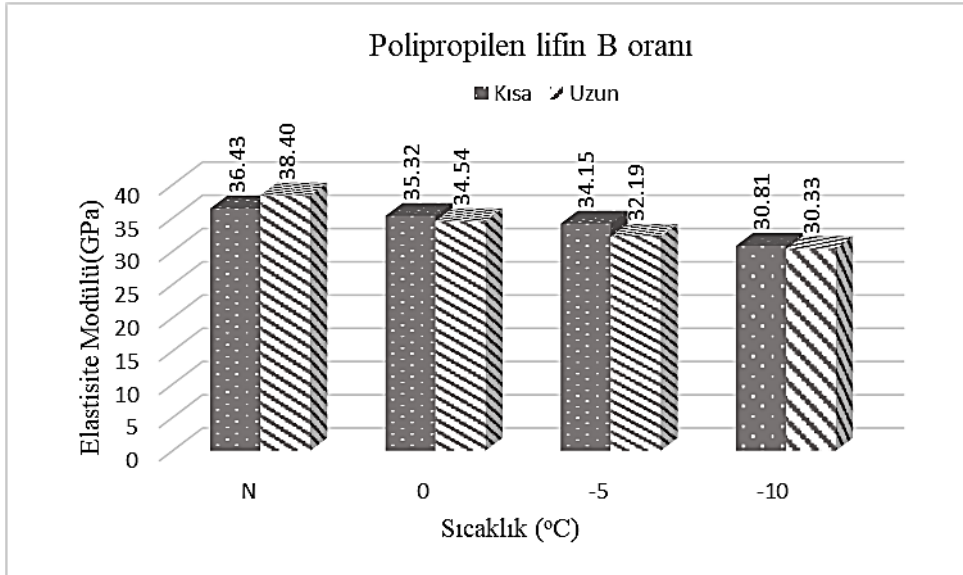
Uzun polipropilen lif takviyeli beton örneklerde;

- En büyük elastisite modülü değerinin 38.40 GPa ile NPPUB türü beton örneklerde olduğu,
- En küçük elastisite modülü değerinin 28.73 GPa ile 10PPUC türü beton örneklerde olduğu,
- A oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUA, 5PPUA, 10PPUA beton türlerinde referans NPPUA beton türdeki örneklere göre sırasıyla %7.2, %13.8, %19.0 daha az olduğu,
- B oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUB, 5PPUB, 10PPUB beton türlerinde referans NPPUB beton türdeki örneklere göre sırasıyla %10.1, %16.2, %21.0 daha az olduğu,
- C oranda kısa polipropilen lif takviyeli beton örneklerin elastisite modülü taze halde donu maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0PPUC, 5PPUC, 10PPUC beton türlerinde referans NPPUC beton türdeki örneklere göre sırasıyla %9.7, %16.4, %24.6 daha az olduğu belirlenmiştir.

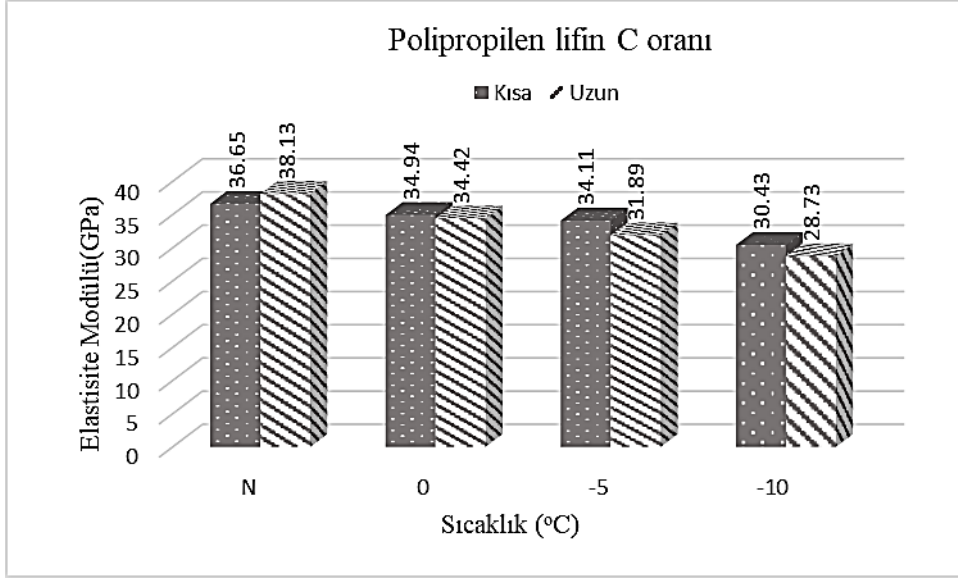
Polipropilen lif takviyeli beton örneklerin lif oranına bağlı olarak 120 günlük ortalama elastisite modülü değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.106-Şekil 3.108’de görülmektedir.



Şekil 3.106. A oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.107. B oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri



Şekil 3.108. C oranlı polipropilen lif takviyeli beton örneklerin 120 günlük ortalama elastisite modülü değerleri

Sonuç olarak, yapılan literatür çalışmaları sonucunda beton içerisinde lif kullanılması sonucu basınç dayanımının artmasıyla birlikte elastisite modülünün arttığı, lifsiz betonların taze halde donatıya maruz kalması sonucu basınç dayanımının düşmesiyle elastisite modülü değerlerinde kayıplar olduğu görülmüştür. Literatürde, basınç dayanımında elde edilen bulgulara göre taze halde donatıya maruz kalan lifsiz betonlarda elastisite modülü değerinde %30 değer kaybı oluşabileceği belirlenmiştir (Karagöl, 2013). Bu çalışmada ise, lif kullanımının etkisiyle bu dayanım kaybının %25'e düştüğü görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Soğuk hava etkisinin lif takviyeli betonların mekanik özelliklerine etkileri üzerine yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda ifade edilmiştir.

Basınç dayanımı değerlendirmesine göre ;

Taze halde donan maruz kalan lifli betonların erken yaş dayanımlarında karakteristik dayanıma göre yaklaşık olarak %60 azalma belirlenmiştir. Basınç dayanım kayıplarının en fazla olduğu sıcaklık ise bütün beton örneklerde -10°C olarak saptanmıştır.

Literatürde beton içerisinde lif kullanılması sonucu basınç dayanımının arttığı, lifsiz betonların taze halde donan maruz kalması sonucu basınç dayanımı değerlerinde % 82 kayıp olduğu görülmüştür.

Normal şartlarda üretilen kısa çelik lif katkılı beton örneklerin maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle dayanım kayıpları olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımı 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %55, %61, %63 olduğu görülmüştür. Uzun çelik lif katkılı beton örneklerde ise maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle dayanım kayıpları olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımı kaybı 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %61, %64, %65 olduğu görülmüştür. Çelik lifli betonlarda basınç dayanımındaki düşüş uzun liflerde daha fazla olmuştur. Uygulamada liflerin topaklanmasından dolayı basınç dayanımında azalma olduğu görülmüştür.

Normal şartlarda üretilen kısa polipropilen lif katkılı beton örneklerin maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle dayanım kayıpları olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımı kaybı 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %53, %59, %61 olduğu görülmüştür. Uzun polipropilen lif katkılı beton örneklerde ise maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle dayanım kayıpları olduğu belirlenmiştir. Basınç dayanımı kaybı 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %59, %62, %63 olduğu belirlenmiştir. Çelik lifli betonlara benzer şekilde, uzun polipropilen liflerin topaklanması ve bu alanda oluşan boşlukların soğuk hava etkisi ile artması ile basınç dayanımında azalmalar belirlenmiştir.

Eğilme dayanımı değerlendirmesine göre ;

Taze halde dona maruz kalan lifli betonların eğilme dayanımları, karakteristik eğilme dayanımına göre yaklaşık olarak %83 azalma belirlenmiştir. Eğilme dayanım kayıplarının en fazla olduğu sıcaklık ise bütün beton örneklerde -10°C olarak saptanmıştır.

Literatürde beton içerisinde lif kullanılması sonucu eğilme dayanımının arttığı, lifsiz betonların taze halde dona maruz kalması sonucu eğilme dayanımı değerlerinde % 94 kayıp olduğu görülmüştür.

Normal şartlarda üretilen kısa çelik lif katkılı beton örneklerin maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle eğilme dayanımında kayıplar olduğu belirlenmiştir. Eğilme dayanımı kaybı 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %78, %84, %86 olduğu görülmüştür. Uzun çelik lif katkılı beton örneklerde de benzer şekilde eğilme dayanımında kayıplar olduğu belirlenmiştir. Eğilme dayanımı kaybı 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %82, %88, %90 olduğu görülmüştür.

Normal şartlarda üretilen kısa polipropilen lif katkılı beton örneklerin maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle eğilme dayanımında kayıplar olduğu belirlenmiştir. Eğilme dayanımı kaybı 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla % 76, %82, %84 olduğu belirlenmiştir. Uzun polipropilen lif katkılı beton örneklerde ise, eğilme dayanımı kaybı 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %82, %85, %86 olduğu görülmüştür.

Eğilme dayanımındaki kayıplar, basınç dayanımına benzer şekilde betonun maruz kaldığı soğuk hava ısı değerinin düşüşü ile eğilme dayanımında kayıplar belirlenmiştir.

Betonun soğuk havaya maruz kalması ile karışım suyu donmaktadır. Bu durum, özellikle lifler ile çimento pastası arasındaki aderansın azalmasına neden olmaktadır. Liflerdeki aderansa azalma liften beklenen mekanik özelliklerin azalmasına neden olmaktadır.

Enerji yutma kapasitesi değerlendirmesine göre ;

Taze halde dona maruz kalan lifli betonların enerji yutma kapasitelerinde karakteristik enerji yutma kapasitesine göre yaklaşık olarak %84 azalma belirlenmiştir. Enerji yutma kapasitesi kayıplarının en fazla olduğu sıcaklık ise bütün beton örneklerde -10°C olarak saptanmıştır.

Literatürde beton içerisinde lif kullanılması sonucu tokluk değerlerinin arttığı, lifsiz betonların taze halde donatıya maruz kalması sonucu tokluk(enerji yutma kapasitesi) değerlerinde ortalama %95 kayıp olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada taze halde donatıya maruz kalan betonlarda çelik lif ve polipropilen lif kullanımının enerji yutma kapasitesini arttırdığı, taze halde donatıya maruz kalan lifsiz betonun tokluk değerlerine kıyasla kayıpları azalttığı görülmüştür.

Normal şartlarda üretilen kısa çelik lif katkılı beton örneklerin maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle enerji yutma kapasitesinde azalma olduğu belirlenmiştir. Enerji yutma kapasitesindeki azalma 0° C, -5° C, -10° C' lere göre sırasıyla %79, %85 %87 olduğu görülmüştür. Uzun çelik lif katkılı beton örneklerde ise maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle enerji yutma kapasitesinde azalma olduğu belirlenmiştir. Enerji yutma kapasitesindeki azalma 0° C, -5° C, -10° C' lere göre sırasıyla % 85, %88, %89 olduğu görülmüştür.

Normal şartlarda üretilen kısa polipropilen lif katkılı beton örneklerin maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle enerji yutma kapasitesinde azalma olduğu belirlenmiştir. Enerji yutma kapasitesindeki azalma 0° C, -5° C, -10° C' lere göre sırasıyla %79, %85, %87 olduğu görülmüştür. Uzun polipropilen lif katkılı beton örneklerde ise maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle enerji yutma kapasitesinde azalma olduğu belirlenmiştir. Enerji yutma kapasitesindeki azalma 0° C, -5° C, -10° C' lere göre sırasıyla %85, %88, %89 olduğu görülmüştür.

Taze halde donatıya maruz kalan betonlarda beton içerisindeki suyun buza dönüşmesi ile beton içerisindeki boşluk miktarında artış olduğu bilinmektedir. Çimento kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi için yeterli suyu bulamaması nedeniyle hidratasyon durmaktadır. Daha sonra hava sıcaklığının artmasıyla buz çözülmemekte ve beton priz alabilmektedir. Fakat bu durumda buzların erimesi ile geride kalan boşlukların hacimleri çok büyük olduğundan hidratasyon sonucunda çimento jelleri bu boşlukları yeteri kadar dolduramaz ve beton boşluklu bir yapı halini almaktadır. Beton örneklerde yapılan eğilme dayanımı testleri sonucunda kuvvet-sehim grafiğinde maksimum kuvvete karşılık gelen sehim değerinin ve yük altındaki toplam sehim değerinin azaldığı belirlenmiştir. Kuvvet-sehim grafiğinin altında kalan alanın azalmasından dolayı enerji yutma kapasitesinde de azalma olduğu görülmüştür.

Elastisite modülü değerlendirmesine göre ;

Taze halde dona maruz kalan lifli betonların elastisite modülü değerleri karakteristik elastisite modülü değerlerine göre yaklaşık olarak %25 azalma belirlenmiştir. Elastisite modülü değerindeki kayıpların en fazla olduğu sıcaklık ise bütün örneklerde -10°C olarak saptanmıştır.

Elastisite modülü hesaplanmasında değişken tek parametrenin basınç dayanımı olması dolayısı nedeniyle basınç dayanımının artmasıyla birlikte elastisite modülü artacak, basınç dayanımının azalmasıyla birlikte azalacaktır.

Literatürde beton içerisinde lif kullanılması sonucu basınç dayanımının artmasıyla birlikte elastisite modülünün arttığı, lifsiz betonların taze halde dona maruz kalması sonucu basınç dayanımının düşmesiyle elastisite modülü değerlerinde %30 oranında kayıplar olduğu grlmştir.

Normal şartlarda üretilen kısa elik lif katkılı beton örneklerin maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle elastisite modülünde azalma olduğu belirlenmiştir. Elastisite modülündeki azalma 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %22, %26, %28 olduğu grlmştir. Uzun elik lif katkılı beton örneklerde ise maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle elastisite modülünde azalma olduğu belirlenmiştir. Elastisite modülündeki azalma 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %25, %28, %29 olduğu grlmştir.

Normal şartlarda üretilen kısa polipropilen lif katkılı beton örneklerin maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle elastisite modülünde azalma olduğu belirlenmiştir. Elastisite modülündeki azalma 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %21, %24, %26 olduğu grlmştir. Uzun polipropilen lif katkılı beton örneklerde ise maruz kaldığı soğuk hava derecesinin düşüşüyle elastisite modülünde azalma olduğu belirlenmiştir. Elastisite modülündeki azalma 0°C , -5°C , -10°C lere göre sırasıyla %23, %26, %27 olduğu grlmştir.

Betonlarda lif kullanımı ile mekanik özelliklerde iyileşmeler sağlandığı bilinmektedir. Beton retimi için normal şartlardan farklı hava koşullarında (aşırı sıcak, aşırı soğuk) beton retiminn kontrollü şekilde yapılması gerekmektedir. Betonun taze halde maruz kalacağı sıcaklık değerine bağlı olarak önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışmada göstermiştir ki, soğuk hava şartlarında üretilcek betonların istenen mekanik özellikleri sağlaması için tedbir alınması gerekmektedir. Lif katkısının betonun mekanik özelliklerine olan etkisi, soğuk hava şartlarında da belirgin bir şekilde grlmştir.

Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda, farklı lif türleri, lif oranları, lif boyları ve farklı geometrilerde çalışılması önerilmektedir. Soğuk havalarda betonun dondan etkilenmemesi için kullanılan antifriz katkılarının da lif katkıları ile beraber kullanımı durumunda lifli betonların performansları belirleme çalışmaları yapılabilir. Bu çalışma kapsamında lifli betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve tokluk gibi özellikleri belirlenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda farklı mekanik ve fiziksel özelliklerin belirlenmesi önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- ACI 306, “Cold Weather Concreting”, American Concrete Institute, 1997.
- ACI 544.4R-88, 1999. “Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete”, ACI Committee Report, American Concrete Institute, ACI.
- ACI Committee, 1997. “State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete”, American Concrete Institute, 544ACI 544.1R-96, ACI.
- Acun, S., 2000. “Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi” , İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Altun, F., Özcan, M., Vekli, M. ve Karahan, O., 2003. “Lif Katkılı C20 Betonunun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(1-2):31-40, Afyon.
- Altun, F., Özcan, D.M., Vekli, M. ve Karahan, O., 2004, “Çelik Lif Katkılı C20 Betonun Mekanik Özelliklerinin Deneysel Araştırılması”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, Cilt-4, Sayı 1-2, Ekim, Afyon.
- Anonymous, 2010. ACI 306R: Guide to Cold Weather Concreting. American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- Arslan, A. ve Aydın, A.C., 1999. “Lifli Betonların Genel Özellikleri”, Hazır Beton Dergisi, Kasım-Aralık, (67-75).
- ASTM A820, 1996. Standart Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete, the American Society for Testing and Materials, USA.
- Ashour, A.S., Wafa, F.F. ve Kamal M.I., 2001. “Effect of the Compressive Strength and Tensile Reinforcement Ratio on the Flexural Behavior of Fibrous Concrete Beams”, Engineering Structures, Elsevier Science Ltd, 22 (9): 145-1158.
- Balaguru, P.B. ve Shah, S. P., 1992. Fiber-Reinforced Cement Composites, McGraw-Hill, Inc.
- Barbero, E.J., 1999. Introduction to Composit Materials Design. Edwards Brothers, Ann Arbor, USA.
- Bentur, A. ve Mindess S., 1990. Fiber reinforced cementitious composites, Elsevier Applied Science, London.
- Biber, S.A., 2001. “Karmaşık Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı”, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

- Chawla K.K., 1998. "Fibrous Materials", Cambridge University Pres, Cambridge.
- Chung, D.D.L., 2005. Dispersion of Short Fibers in Cement Journal of Materials in Civil Engineering ASCE, 379-383.
- Can, Ö., 2018. "Investigation Of Seismic Performance Of İn-Plane Aligned Masonry Panels Strengthened With Carbon Fiber Reinforced Polymer", Construction and Building Materials 186 (2018) 854–862, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Bayburt, Bayburt, Turkey.
- Çullu, M., 2009. "Antifriz Katkısının Beton Dayanıklılığı Beton Üzerine Etkisi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- David, J.C., 2001. "A Microscopic Study of Ice Formation and Propagation in Concrete", Graduate Division of The University of California, Berkeley.
- D.S.İ., 1999. "Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton", T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Sulama İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Yayın No:MLZ-878 (İkinci Baskı).
- Ekincioglu, Ö., 2003. "Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım", İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Erdoğan, T.Y., 2007. "Beton", METU Yayınları, Ankara.
- Ersoy, H.Y., 2001. "Kompozit Malzeme", Literatür Yayınları, 66, İstanbul.
- Eyyubov, C., Köksal, F. ve Ünal, B., 2003. "Polipropilen Ve Çelik Liflerin Donma Çözülme Ve Aşınma Dirençlerine Ortak Etkisi", 5. Ulusal Beton Kongresi Betonun Dayanıklılığı Bildiri Kitabı, İstanbul, 345-354.
- Gao, J., Sun, W. ve Morino, K., 1997. "Mechanical Properties Of Steel Fibre Reinforced, High-Strength, Lightweight Concrete", Cement And Concrete Composites, 307-313.
- Hughes, B.P. ve Fattuhi, N.H., 1997. "Stress Strain Curves for Fibre Reinforced Concrete in Compression", Cement and Concrete Research. Vol 7. pp 173-184.
- Karagöl, F., 2013. "Antifriz Katkıların Soğuk Havada Dökülen Beton Özelliklerine Etkileri", Atatürk Üniversitesi, Doktora Tezi, Erzurum.
- Kayali, O.A., Page, C.L. ve Ritchie, A.G.B., 1979. "Frost action on İmmature Cement Paste Effects on Mechanical Behaviour", ACF Journal November, pp 1217-1225.
- Kayali, O.A., Haque, M.N. ve Zhu, B., 2003. Some Characteristics of High Strength Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete, Cement and Concrete Composites, 25, 207–213

- Kewalramani, M.A. ve Gupta R., 2005. "Concrete Compressive Strength Prediction Using Ultrasonic Pulse Velocity Through Artificial Neural Networks". Civil Engineering Group, Birla Institute of Technology and Science, Pilani, Rajasthan-333 031, India.
- Kiper M., 1996. "Polipropilen Liflerin Özellikleri Ve Kullanım Olanakları", Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Sayı 64, Makale. s.21, Şubat.
- Korhonen, C.J., 2003. Effect of High Doses of Chemical Admixtures on The Strength Development and Freze-Thaw Durability of Portland Cement Mortar. PhD theses, pp. 14–16.
- Kozak M., 2013. "Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması", Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi, 5:3:26-35, Isparta.
- Krylov, B.A., A.V. Lagoida, ve G.P. Apostolova 1979. "Critical Strength Of Concretes With Antifreeze Admixtures". Beton i Zhelezbeton (Concrete and Reinforced Concrete). No 12, p 27-28.
- Lee, I., 2002. "Complete Stress-Strain Characteristic of High Performance Concrete". New
- Mansur, M.A, Chin, M.S. ve Wee T.H., 1999. "Stres-Strain Relationship of High Strength Fiber Concrete in Compression", Journal of Materials in Civil Engineering, 11 (1): 21-29.
- Ortiz, J., Aguado A., Agullo L. ve García T., 2005. Influence of environmental temperatures on the concrete compressive strength: Simulation of hot and cold weather conditions. Technical University of Catalonia (UPC), C. Jordi Girona 1-3, module C-1, 08034 Barcelona, Spain School of Civil Engineering of Barcelona (UPC), C. Jordi Girona 1-3, module C-1, 08034 Barcelona, Spain Cement and Concrete Research, pp 7-10.
- Pierre, P., Pleau, R. ve Pigeon, M., 1999. "Mechanical Properties of Steel Microfiber Reinforced Cement Pastes and Mortars" , Journal of Materials in Civil Engineering, 11 (4): 317-324
- Ramachandran, V.S., 1995. Concrete Admixtures Handbook, Chapter 11: Antifreezing admixtures, pp. 740–797 and Chapter 5: Accelerators, pp 246-273.
- Song, P.S. ve Hwang, S., 2004. "Mechanical Properties of High Strength Steel Fiber Reinforced Concrete", Construction and Building Materials 18, 669-673.
- Sevil, C., 2002. "Uçucu Küllü, Lifli Beton Kompozitinde Lif Tipinin Beton Özelliklerine Etkisi"
- Şimşek O. 2004. "Beton ve Beton Teknolojisi", Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş, Ankara, 242s.

- Şimşek, S., 1997. “Lifli Betonlar Üzerine Bir Çalışma”, G.Ü., Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A.N. ve Yerlikaya, M., 2004. “Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler”. Beton 2004 Kongresi Bildirileri, İstanbul, s. 24-57.
- Taşdemir, M.A. ve Yerlikaya, M., 2003. ”Çelik Tel Donatılı Betonlar”, Seminer, İMO Ankara Şubesi.
- Tokyay, M., Ramyar, K ve Turanlı, L., 1991. “Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları”. 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, s.303-311.
- TS 10513, 1992. “Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10514, 1992. “Beton- Çelik Tel Takviyeli-Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları”, Ankara.
- TS 10515, 1992. ”Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1248, 1989. “Betonun Hazırlanması, Dökümü ve Bakımı Kuralları - Anormal Hava Şartlarında”, Türk Standartları Enstitüsü, 2012.
- TS EN 12390-3, 2012. “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini”.
- TS 3114 ISO 4012, 1998. “Beton Basınç Mukavemeti Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000. “Betonarme Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-5, 2002. “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Uğurlu, A., 1994. ”Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Özellikleri ve Su Yapılarında Kullanılması”, DSİ Teknik Bülteni, (80): s. 17-25. Uyan, M., 1985, Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi. İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Semineri, İstanbul, s. 121-132.
- Ünal, B., 2003 “Betonarme Kiriş Elemanlarda Çelik Lif Katkısının Taşıma Gücüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, 2003.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T. ve Gencel, O., 2007 “ Liflerin Beton Basınç ve Eğilme ” Özelliklerine Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13:1:23-30.

Yardımcı M., 2007. “Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Mekanik Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı”, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.

Yıldırım, H., Sertbaş, B. ve Berbergil, V., 2007. “Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen ve Lif Kullanılmasının İşlenilebilirliğe Etkisi”, Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şube, İstanbul - Türkiye, 28.11.2007 - 30.11.2007.

Yıldırım, S.T., 2002. “Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması”, F.Ü. Fen. Bil. Enst. Doktora Tezi, Elazığ.

Yiğiter, H., 2002. “Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması”. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 207s.

URL-1 <http://www.beksa.com.tr>

URL-2 <http://wbt.bme.hu/phydsymp/2ndphd/proceedings/materschlg.pdf>

URL-3 <http://www.betonvecimento.com/beton-2/soguk-havada-beton>

ÖZGEÇMİŞ

Hasan TUNÇ, 1993 yılında Trabzon ilinin Ortahisar ilçesinde doğdu. İlköğrenimini 1998-2006 yılları arasında Prof. İhsan KOZ İlköğretim okulunda tamamlamıştır. Lise öğrenimini 2006- 2010 yılları arasında Yunus Emre Lisesinde tamamlamıştır. 2010 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü' nde okumaya hak kazandı. 2015 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü' nden mezun oldu. 2016 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda "Yüksek Lisans" eğitimine başladı ve halen devam etmektedir. 2015- 2019 yılları arasında bazı özel firmalarda Saha mühendisi, Kontrol mühendisi ve Şantiye Şefi gibi görevlerde bulunmuştur. Yabancı dili İngilizce olan Hasan TUNÇ evli ve 1 çocuk babasıdır.