

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAVA SÜRÜKLEYİCİ VE LİF KATKISI İÇEREN ÇİMENTO HARÇLARININ
DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zekariya ATAŞ

TEMMUZ 2013

GÜMÜŞHANE

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAVA SÜRÜKLEYİCİ VE LİF KATKISI İÇEREN ÇİMENTO HARÇLARININ
DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zekariya ATAŞ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”

Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22/07/2013

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 29/07/2013

TEMMUZ 2013



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR danışmanlığında Zekariya ATAŞ tarafından hazırlanan **“HAVA SÜRÜKLEYİCİ VE LİF KATKISI İÇEREN ÇİMENTO HARÇLARININ DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

: 
Doç. Dr. Şükrü YETGİN

Üye (Danışman)

: 
Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

Üye

: 
Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ

ONAY

Bu tez 05.09.2013 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Temel BAYRAK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HAVA SÜRÜKLEYİCİ VE LİF KATKISI İÇEREN ÇİMENTO HARÇLARININ
DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Zekariya ATAŞ

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

2013, 85 sayfa

Bu çalışmada, betonun donma-çözülme döngüsüne maruz kalması halinde ortaya çıkan zararlı etkileri azaltmak için hava sürükleyici katkı maddeleri ile lif katkılarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla yapılan çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın birinci kısmında, üç farklı türdeki (HS1,HS2,HS3) hava sürükleyici katkı, dört farklı oranda (%0.00, %0.45, %0.55, %0.65) çimento harcına katılarak beş farklı donma-çözülme döngüsüne (0, 7, 14, 28, 56) maruz bırakılmıştır. İkinci kısımda ise birinci kısımda belirlenen hava sürükleyici katkı türü ve oranı ile birlikte beş farklı lif türü (PP, CF, AR, GF ve PVA) dört farklı oranda (%0.0, %0.4, %0.8, %1.2) çimento harcına ilave edilerek hazırlanan numuneler, beş farklı donma – çözülme döngüsüne (0, 25, 50, 75, 100) maruz bırakılmış ve donma-çözülme etkisi altında mekanik davranışları incelenmiştir.

Çalışmada hazırlanan ve donma-çözölme döngüsüne maruz bırakılan numuneler eğilme, basınç ve ultrasonik ses deneylere tabi tutulmuştur. Eğilme deneyleri yapılırken sehim değerleri ayrıca okunmuştur. Bunlara ilave olarak kütle özellikleri de belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kontrol numuneleri ile kıyaslanmıştır.

Çalışmadan elde edilen en önemli bulgular özetlenecek olursa; hava sürükleyici katkıları betonun donma-çözölme direncini artırırken mekanik özelliklerini de düşürebilmektedir. Donma çözölme etkisine karşı en iyi başarımı bu çalışmada kullanılan HS3 türü hava sürükleyici katkı, %0.65 ilave oranı ile sağlamıştır. Lif katkıları ise numunenin eğilme dayanımını ve sehim kabiliyetini artırırken basınç dayanımı, dinamik elastisite modülünü ve birim kütlesini düşürmüştür. En yüksek eğilme dayanımı CF lifinin %1.2 oranında ilave edilmesi ile elde edilmiştir. Tekrarlı donma çözölme döngülerine maruz kalan numunelerin mekanik özellikleri incelendiğinde ise; hava sürükleyici katkı, lif katkılı ve katkısız bütün numunelerin basınç dayanımlarında, eğilme dayanımlarında ve dinamik elastisite modüllerinde belli oranlarda azalmalar görülmüştür. Ancak aynı anda hem hava sürükleyici hem de lif katkı içeren numuneler donma-çözölme hasarına karşı daha iyi performans göstermişlerdir. Donma-çözölme hasarına karşı basınç dayanımında en iyi başarıyı PVA lifi %1.2 oranında katılmasıyla gösterirken, eğilme dayanımında CF lifi %0.8 oranında katılmasıyla ve dinamik elastisite modülünde ise PP lifi %1.2 oranında katılması ile göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento Harçları, Donma-Çözölme Direnci, Hava Sürükleyici Katkılar, Lifler, Mekanik Özellikler.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF CEMENT MORTARS CONTAINING AIR ENTRAINING AGENT AND FIBERS UNDER FREEZE- THAW EFFECT

Zekariya ATAŞ

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇAVDAR

2013, 85 pages

In this study, it is investigated usability of air entraining agents and fibers decreasing harmful effects occurred in case of the concrete subjected to freeze-thaw cycles. For this objective, the study consists of two parts. In the first part of the study, cement mortars having three different types of air agent (AE1, AE2, AE3) in four different ratios (%0.00, %0.45, %0.55, %0.65) are subjected to five different freeze-thaw cycles (0, 7, 14, 28, 56). In the second part of the study, five different types of fibers (PP, CF, AR, GF, PVA) in four different ratios (0.0%, 0.4%, 0.8%, 1.2%) are added to cement mortars with the air agent type and ratio that are determined in the first part of the study. Then, these samples are subjected to five different freeze-thaw cycles (0, 25, 50, 75, 100). Thus, mechanical behaviors are investigated under freeze-thaw effects.

The samples prepared and subjected to freeze-thaw cycles in the study are applied flexural, compressive and ultrasonic tests. When applied flexural tests, deflections are also determined. In addition to this, mass properties are found. The results obtained are compared with control samples.

If most important results found from the study are summarized; air entraining agents can decrease mechanical properties of concrete while they increase freeze-thaw resistance of it. For this study, AE3 type air entraining agent with 0.65% addition ratio provides the best performance against freeze-thaw effects. The fibers decrease compressive strength, dynamic modulus of elasticity and specific mass while they increase flexural strength and deflection ability. The highest flexural strength is obtained with 1.2% addition of CF fiber. If it is investigated the mechanical properties of the samples subjected to repetitive freeze-thaw cycles; in some degree decrease in compressive strength, flexural strength and modulus of dynamic elasticity of the samples containing air agent or fiber or non-additive are seen. However, the samples containing both air agent and fiber show better performance against freeze-thaw damage. The best performance against freeze-thaw damage is shown with 1.2% PVA addition. The best flexural strength provided with 0.8% CF addition and the highest modulus of dynamic elasticity obtained with 1.2% PP addition.

Keywords: Cement Mortars, Freeze-Thaw Resistance, Air Entraining Agents, Fibers, Mechanical Properties.

TEŞEKKÜR

“Hava Sürükleyici ve Lif Katkısı İçeren Çimento Harçlarının Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Uygulanan yöntemler ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda bilim dünyasına katkılar sağlayacağına inandığım bu çalışmanın, planlanmasından yazımına kadar geçen her aşamada değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, manevi desteğini ve değerli vakitlerini benden esirgemeyen, iyi niyeti, hoşgörüsü, güler yüzü ile çalışmalarına destek olarak yön veren kıymetli Danışman Hocam, Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR’a şükran ve saygılarımı sunarım.

Çalışmamı değerlendirerek olumlu yönde katkılar sağlayan jürimdeki Hocalarım Doç. Dr. Şükrü YETGİN ve Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ’a teşekkürlerimi bildiririm.

Deneysel çalışmalarım boyunca desteklerini gördüğüm, İsmail SÖNMEZ, Rıdvan POLAT, E. Sabri KURTBOĞAN, Sedat SEVİN, Abdurrahman TUR, Murat ALKAN, Şinasi BİNGÖL, Gökhan UZUN ve Gümüşhane Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığında görev yapan mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Öğrenim gördüğüm süre boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen ev arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Ayrıca tüm yaşamım süresince, bana güvenen ve maddi- manevi desteklerini eksik etmeyerek her zaman yanımda olan aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Zekariya ATAŞ
Gümüşhane, 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Liflerle Güçlendirilmiş Beton ve Çimento Harçları.....	3
1.4. Yapı Malzemelerinde Liflerin Kullanılmasının Tarihçesi.....	3
1.5. Beton ve Çimento Harçlarında Kullanılan Lif Türleri	4
1.5.1. Polipropilen Lifler (PP)	5
1.5.2. Karbon Lifler (CF)	6
1.5.3. Aramid (Kevlar) Lifler (AR).....	8
1.5.4. Cam Lifler (GF)	9
1.5.5. Polivinil Alkol Lifler (PVA)	11
1.6. Lifli Betonun Kazanımları.....	12
1.7. Beton ve Çimento Harçlarında Donma- Çözülme Etkisi	14
1.7.1. Taze Betonda Donma – Çözülme Etkisi.....	15
1.7.2. Sertleşmiş Betonda Donma – Çözülme Etkisi	17
1.7.3. Betonda Buz Çözücü Tuzların Etkisi	18
1.7.4. Hava Sürüklenmiş Betonda Donma-Çözülme Etkisi	19
1.7.5. Lif Katkısının Betonun Donma-Çözülme Direncine Etkisi.....	20
1.7.6. Donma-Çözülme Dayanaklılığını Etkileyen Unsurlara Genel Bakış	22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	23
2.1. Deney Yönergesi	23
2.2. Yöntem ve Deneysel Çalışmalar	26
2.2.1. Çimento Harcının Hazırlanması.....	26
2.2.2. Numunelerin Deneylere Hazırlanması	28

2.2.3.	Donma-Çözülme Cihazı ve Döngüleri	28
2.3.	Deneylerin Uygulanması	29
2.3.1.	Ultrasonik Test Deneyi ve Betonun Dinamik Elastisite Modülünün Belirlenmesi	29
2.3.2.	Eğilme Dayanımı Deneyi.....	31
2.3.3.	Sehimin Ölçülmesi	31
2.3.4.	Basınç Dayanımı Deneyi	32
2.3.5.	Numune Kütle Değişimlerinin Tespiti	33
2.4.	Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	34
2.4.1.	Portland Çimentosu	34
2.4.2.	Standart Kum	34
2.4.3.	Karışım Suyu.....	35
2.4.4.	Hava Sürükleyiciler	35
2.4.5.	Lif Katkıları.....	36
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	38
3.1.	En Uygun Hava Sürükleyici Türü ve Oranının Belirlenmesi	38
3.1.1.	Hava Sürükleyici Katkıların Çimento Harçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi	38
3.1.1.1.	Hava Sürükleyici Katkıların Harçların Birim Kütlelerine Etkisi	38
3.1.1.2.	Hava Sürükleyici Katkıların Harçların Basınç Dayanımlarına Etkisi.....	39
3.1.1.3.	Hava Sürükleyici Katkıların Harçların Eğilme Dayanımlarına Etkisi	41
3.1.1.4.	Hava Sürükleyici Katkıların Harçların Dinamik Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi	43
3.1.2.	Hava Sürükleyici Katkıların Donma-Çözülme Direnci Üzerindeki Etkisi.....	44
3.1.2.1.	Donma-Çözülme Döngüsüne Maruz Harçlarda, Hava Sürükleyici Katkıların Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi.....	44
3.1.2.2.	Donma-Çözülme Döngüsüne Maruz Harçlarda, Hava Sürükleyici Katkıların Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkisi	48
3.1.2.3.	Donma-Çözülme Döngüsüne Maruz Harçlarda, Hava Sürükleyici Katkıların Dinamik Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi.....	52
3.1.3.	En Uygun Hava Sürükleyici Türü ve Oranının Seçilmesi.....	55
3.2.	Lif Katkısının Çimento Harçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi	56
3.2.1.	Lif Katkısının Harçların Birim Kütlelerine Etkisi	56
3.2.2.	Lif Katkısının Harçların Basınç Dayanımına Etkisi.....	57

3.2.3.	Lif Katkısının Harçların Eğilme Dayanımına Etkisi.....	58
3.2.4.	Lif Katkısının Harçların Sehım Kabiliyeti Üzerindeki Etkisi.....	60
3.2.5.	Lif Katkısının Harçların Dinamik Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi	61
3.3.	Lif Katkısı İçeren Çimento Harçlarının Donma-Çözölme Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi.....	62
3.3.1.	Lif Katkıların Donma-Çözölme-Döngüleri Sonuncunda Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi.....	62
3.3.2.	Lif Katkıların Donma-Çözölme Döngüleri Sonuncunda Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkisi.....	68
3.3.3.	Lif Katkıların Donma-Çözölme Döngüleri Sonuncunda Dinamik Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi.....	73
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78
5.	KAYNAKLAR	811
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 Polipropilen lifi	6
Şekil 1.2 Karbon Lifi (CF)	7
Şekil 1.3 Aramid lifi (AR).....	9
Şekil 1.4 Cam lifi (GF).....	10
Şekil 1.5 Polivinil alkol lifi (PVA)	11
Şekil 1.6 Donma-çözülme etkisi ile bozulmuş beton elamanları.....	17
Şekil 2.1 Birinci kısım deney yönerge şeması.....	24
Şekil 2.2 İkinci kısım deney yönerge şeması	25
Şekil 2.3 Özel tasarım çimento harç karıştırıcısı	26
Şekil 2.4 Sıkıştırıldıktan sonra yüzeyi düzeltilmiş harç örneği.....	27
Şekil 2.5 Ultrasonik test cihazı	30
Şekil 2.6 Eğilme deneyinde sehim ölçümü	32
Şekil 2.7 Deneylerde kullanılan lif türleri	37
Şekil 3.1 Hava sürükleyici katkıların harçların birim kütlelerine etkisi	39
Şekil 3.2 Hava sürükleyici katkıların harçların basınç dayanımına etkisi	41
Şekil 3.3 Hava sürükleyici katkıların harçların eğilme dayanımına etkisi.....	42
Şekil 3.4 Hava sürükleyici katkıların harçların dinamik elastisite modülüne etkisi.....	44
Şekil 3.5 Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS1 oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	46
Şekil 3.6 Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS2 oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	46
Şekil 3.7 Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS3 oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	47
Şekil 3.8 Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, hava sürükleyici katkı türü ve oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	48
Şekil 3.9 Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS1 oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	49
Şekil 3.10 Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS2 oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	50
Şekil 3.11 Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS3 oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	50
Şekil 3.12 Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, hava sürükleyici türü ve oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	51

Şekil 3.13	Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS1 oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....	53
Şekil 3.14	Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS2 oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....	53
Şekil 3.15	Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS3 oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....	54
Şekil 3.16	Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, hava sürükleyici türü ve oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki	55
Şekil 3.17	Lif katkılı harçların birim kütleleri.....	57
Şekil 3.18	Lif katkılı harçların basınç dayanımı.....	58
Şekil 3.19	Lif katkılı harçların eğilme dayanımı	59
Şekil 3.20	Lif katkılı harçların sehîm değeri.....	61
Şekil 3.21	Lif katkılı harçların dinamik elastisite modülleri.....	62
Şekil 3.22	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PP lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	64
Şekil 3.23	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde CF lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	65
Şekil 3.24	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde AR lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	65
Şekil 3.25	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde GF lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	66
Şekil 3.26	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PVA lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	66
Şekil 3.27	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde lif türü ve oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki	67
Şekil 3.28	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PP lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	69
Şekil 3.29	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde CF lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	70
Şekil 3.30	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde AR lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	70
Şekil 3.31	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde GF lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	71
Şekil 3.32	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PVA lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	71
Şekil 3.33	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde lif türü ve oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	72

Şekil 3.34	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PP lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....	74
Şekil 3.35	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde CF lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....	75
Şekil 3.36	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde AR lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....	75
Şekil 3.37	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde GF lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....	76
Şekil 3.38	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PVA lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....	76
Şekil 3.39	Donma-çözülme etkisindeki numunelerde lif türü ve oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki.....	77

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Betonda kullanılan bazı liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri	5
Tablo 1.2. Liflerin beton üzerindeki etkisinin kaba oranları	13
Tablo 1.3. Donma-çözülme dayanıklılığını etkileyen unsurlar	22
Tablo 2.1. Birinci aşama deneylerinde kullanılan, hava sürükleyici katkı içeren 10 farklı tür harçın tasarımı	27
Tablo 2.2. İkinci aşama deneylerinde kullanılan, lif katkısı içeren 17 farklı tür harçın tasarımı	28
Tablo 2.3. Bir çevrim için geçen süre ve sıcaklık değerleri	29
Tablo 2.4. CEM 42.5 R tipi çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	34
Tablo 2.5. CEN referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı	35
Tablo 2.6. Kullanılan hava sürükleyicilere ait teknik bilgiler	35
Tablo 2.7. Deneylerde kullanılan liflerin özellikleri.....	36
Tablo 3.1. Hava sürükleyici katkıların harçların birim kütlelerine etkisi	39
Tablo 3.2. Hava sürükleyici katkıların harçların basınç dayanımına etkisi	40
Tablo 3.3. Hava sürükleyici katkıların harçların eğilme dayanımına etkisi.....	42
Tablo 3.4. Hava sürükleyici katkıların harçların dinamik elastisite modülüne etkisi.....	43
Tablo 3.5. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, hava sürükleyici katkıların basınç dayanımlarına etkisi	45
Tablo 3.6. Donma-çözülme döngülerine maruz harçlarda, hava sürükleyici katkıların eğilme dayanımlarına etkisi	48
Tablo 3.7. Donma-çözülme döngülerine maruz harçlarda, hava sürükleyici katkıların dinamik elastisite modülüne etkisi	52
Tablo 3.8. Lif katkılı harçların birim kütleleri.....	56
Tablo 3.9. Lif katkılı harçların basınç dayanımı.....	58
Tablo 3.10. Lif katkılı harçların eğilme dayanımı	59
Tablo 3.11. Lif katkılı harçların sehim değerleri	60
Tablo 3.12. Lif katkılı harçların dinamik elastisite modülleri.....	61
Tablo 3.13. Donma-çözünme etkisi altındaki lif katkılı harçların basınç dayanımları.....	63
Tablo 3.14. Donma-çözülme etkisi altındaki lif katkılı harçların eğilme dayanımları.....	68
Tablo 3.15. Donma-çözülme etkisi altındaki lif katkılı harçların dinamik elastisite modülleri	73

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AR	: Aramid Lifi
B	: Prizma Kare Kesitinin Kenar Uzunluğu
C	: Beton Harcı Tasarımında Kullanılan Çimento Miktarı
CF	: Karbon Lifi
DYK	: Doygun Yüzey Kuru Numune
D-Ç	: Donma-çözülme
EK	: Etüv Kurusu Numune
F_c	: Kırılma Anındaki En Büyük Yük Kuvveti
F_f	: Prizmanın Kırıldığı Anda Ortasına Uygulanan En Büyük Yük Kuvveti
GF	: Cam Lifi
HS1	: Çalışmada kullanılan 1. tür hava sürükleyici
HS2	: Çalışmada kullanılan 2. tür hava sürükleyici
HS3	: Çalışmada kullanılan 3. tür hava sürükleyici
L	: Mesnet Silindirleri Arasındaki Uzaklık
m_a	: Numunenin Havadaki Kütlesi
m_{st}	: Numune Kefesinin Görünür Kütlesi
m_w	: Suya Batırılmış Numune Kütlesi
PP	: Polipropilen Lifi
PVA	: Polivinil Alkol Lifi
R_c	: Basınç Dayanımı
R_f	: Eğilme Dayanımı
V	: Numunenin Hacmi
W	: Beton Harcı Tasarımında Kullanılan Su Miktarı
ρ_c	: Numunenin Birim Kütlesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yapılar servis ömrü süresince çeşitli çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkiler fiziksel, kimyasal, fiziko - kimyasal veya mekanik olabilmektedir. Yapının maruz kalacağı çevresel etki iyi belirlenmeli ve tasarımda dikkate alınmalıdır. Yapının işlevini yerine getirebilmesi için yapıda kullanılan betonun, maruz kalacağı etkilere karşı dayanıklılığı yeterli olmalı ve yapının performansını belirli bir düzeyin altına düşürmemelidir. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına hatta proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir (ACI 201-2R, 1992). Bu nedenlerden dolayı günümüz yapısal tasarımında malzeme dayanımlarından daha çok dayanıklılık ölçütlerinin dikkate alınması daha fazla kabul görmektedir (Sommerville, 2000). Mehta ve Monterio (1993), gelişmiş ülkelerde yapı sektöründeki toplam kaynakların %40'ının var olan yapıların bakım ve onarımına harcandığını, yalnız %60'ının yeni uygulama alanlarında kullanılmakta olduğunu ifade etmektedirler ve artık malzemelerin dayanıklılık özelliklerinin de tıpkı mekanik özellikler ve maliyetler gibi, yapının tasarım aşamasında dikkate alınması gereken önemli birer unsur olduğunu vurgulamaktadırlar.

Betonun tekrarlı donma-çözülme etkisinde kalması fiziksel etkilerden bir tanesidir. Karasal iklim gibi sert iklim koşullarının görüldüğü yörelerde binaların dış cepheleri, köprülerin kolon ve kirişleri, barajlar, istinat duvarları, beton yol döşemeleri ve hava meydanı pistleri gibi yüzeyleri atmosfer etkilerine açık kalacak betonarme elemanlarda beton kalıcılığının karşısındaki en büyük tehditlerden birisi donma-çözülme olayıdır (Shang ve Song 2008). Beton ve çimento hamuru içerisindeki su düşük sıcaklıklarda buza dönüşebilir. Beton içerisindeki su donduğunda hacimce % 9 genişir. Genleşen su beton bünyesinde içsel gerilmelere yol açar ve çatlaklar oluşur (Baradan vd., 2010; Powders ve Helmut 1953). Betonun don dayanıklılığı için ihtiyaç duyulan hava miktarı harç hacminin % 9'u kadardır. Katkısız betonda bu havanın homojen dağılması zordur. Hava sürükleyici katkıları betonun içerisindeki havanın homojen dağılmasını sağlar. Birbirinden bağımsız olarak homojen bir biçimde dağılan hava, içerisine giren su donduğunda içsel gerilmeler oluşturamaz. Böylece donma-çözülme etkisine maruz beton daha az zarar görür. Ayrıca betonun işlenebilirliği ve donma-çözülme direnci artar, ayrışması ve su ihtiyacı azalır.

Ancak hava miktarı %1-8 olan betonlarda, hava miktarındaki her % 1'lik artış basınç dayanımını %5 oranında azaltmaktadır (Erdoğan,2003; Neville,1997; Powers, 1949; Pigeon ve Pleau, 1995; Yalçınkaya, 2009).

Beton basınç etkisi altında gösterdiği başarımı, eğilme ve çekme kuvvetleri etkisi altında gösterememektedir. Beton yüksek basınç dayanımına sahip olmasına karşın heterojen ve boşluklu yapısı nedeniyle çekme dayanımı basınç dayanımının ancak % 14'ü kadardır ve yüksek süneklikten de yoksundur. Değişik yöntemlerle basınç dayanımları artırılabilmesine rağmen basınç dayanımının çekme dayanımına oranı pek fazla değişmemektedir. Betonun bu mekanik özelliklerini geliştirmek ve daha sünek bir davranış kazandırılması için farklı malzemelerle donatılması uygulamaları yapılmıştır. Betonda liflerin ilavesi ile beton içerisinde rastgele dağılmış olan lifler çekme dayanımını, enerji yutma kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini iyileştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir. Yapılan çalışmalar sonucunda betonda lif katkıları kullanıldığı takdirde, beton içerisinde homojen ve süreksiz bir şekilde dağılmış olan liflerin; betonun tokluğunu, çarpma ve çekme dayanımı gibi birçok özelliğini iyileştirdiği görülmüştür. Bunun yanında liflerin beton içerisinde çatlak ilerlemesini önemli derecede azalttığı ve süneklik düzeyini artırdığı görülmüştür. Öte yandan lif katkıları betonun basınç dayanımında bir miktar düşüşe sebep olabilmektedir (Baradan vd., 2012; Çavdar, 2012a, b, 2013; Groth ve Ghasemlou, 1996; Swamy, 1971; Taşdemir, 1999).

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Hava sürükleyici katkı maddeleri ve lifler çeşitli kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklere sahip yapılarıyla beton ve çimento harçlarına katılmaları halinde bu malzemelerin mekanik özelliklerine önemli katkılar sağlamaktadırlar.

Bu çalışmanın amaçları, farklı türdeki hava sürükleyici katkıları ile farklı türdeki liflerin, çimento harçlarının mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi ve donma-çözülme direncine katkısının belirlenmesidir. Bu amaçla yapılan çalışma iki kısımdan oluşmaktadır.

Birinci kısımda üç farklı türdeki [Hava sürükleyici-1 (HS1), Hava sürükleyici-2 (HS2), Hava sürükleyici-3 (HS3)] hava sürükleyici katkı, dört farklı oranda (%0.00, %0.45, %0.55, %0.65) çimento harcına katılarak beş farklı donma-çözülme döngüsüne (0, 7, 14, 28, 56) maruz bırakılmış ve böylece çimento harcına en iyi donma-çözülme direnci kazandıran, en uygun hava sürükleyici katkı türü ve oranı belirlenmiştir.

İkinci kısımda ise birinci kısımdan elde edilen en uygun hava sürükleyici katkı türü ve oranı için beş farklı tür [polipropilen (PP), karbon (CF), aramid (AR), cam (GF) ve polivinil alkol (PVA)] ve dört farklı oranda (%0.0, %0.4, %0.8, %1.2) lif içeren çimento harcı üretilmiştir. Bu harçlar beş farklı donma – çözülme döngüsüne (0, 25, 50, 75, 100) maruz bırakılmış ve bu numunelerin mekanik özellikleri ile donma-çözülme direnci belirlenmiştir.

Çalışmada hazırlanan numuneler eğilme, basınç ve ultrasonik ses deneylerine tabi tutulmuştur. Eğilme deneyleri yapılırken sehim değerleri ayrıca okunmuştur. Bunlara ilave olarak kütle özellikleri de belirlenmiştir.

1.3. Liflerle Güçlendirilmiş Beton ve Çimento Harçları

Çimento, su, ince ve/veya kaba agreganın belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup çimentonun hidrasyonu ile zamanla sertleşen kompozit malzemeye beton denir (Baradan vd., 2012).

Geleneksel betonun mukavemet özelliklerini iyileştirmek amacıyla; hidrolik çimento, su, agrega ile birlikte ayrık ve süreksiz liflerin farklı tekniklerle karıştırılması ile elde edilen farklı çeşitleri bulunan kompozit malzemeye liflerle güçlendirilmiş veya lifli beton denilmektedir. Belirli özellikleri olan lifli beton ilk görünüşte normal betona benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan ayrı bir özelliğe sahiptir (Baradan vd., 2012). Liflerle güçlendirilmiş beton üretimi için çelik, cam, sentetik ve doğal malzemelerden değişik boyut ve şekillerde üretilen lifler kullanılmaktadır.

1.4. Yapı Malzemelerinde Liflerin Kullanılmasının Tarihçesi

Gevrek yapı malzemelerini güçlendirmek için lif takviyesi çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Güneş pişirilmiş tuğlaların güçlendirilmesinde saman çöpünün, kargir harcı ve sıvada at kıllarının kullanılması bu malzemelerin yapı alanında ilk kullanımlarına örnek olarak gösterilebilir (ACI Committee, 1997; Siddique, 2003; Yetgin vd., 2008).

Mehta ve Monteiro 2006, yapı malzemelerinde ilk kez mısırlıların saman çöplerini lif olarak kullandıklarını belirtmektedirler. Bununla birlikte yaklaşık 5000 yıl önce kil çanakların yapısını güçlendirmede asbest liflerinin kullanıldığına dair kanıtlar olduğu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca bazı hayvanların (kuş türleri vb.) yuvalarını yapmada doğal lif katkısı (ot, saman vb.) kullandığı bilinmektedir (Mehta ve Monteiro, 2006; Bozkurt, 2009).

Gevrek yapı malzemelerinin özelliklerini iyileştirmek amacıyla lif takviyesinin M.Ö. 1500'lerde de örnekleri vardır. Bir çeşit doğal lif olan samanın tuğlaya katkısıyla lif katkılı yapı malzemesi elde edilmiştir (Newman vd., 2003). Daha yakın zamanda Mimar Sinan'ın yapıları incelendiğinde, yapılarında kullandığı horosan harcının içerisinde saman gibi doğal lifler barındırdığı görülmektedir (Baradan vd., 2012).

ABD'de, İngiltere'de ve Rusya'da 1950 yılından itibaren beton içerisinde cam lifi kullanılmasına dair deneysel çalışmalar başlatılmıştır. Lifli betonlar üzerindeki çalışmalar, 1963'lü yıllarda beton içerisine cam liflerin katılmasıyla devam etmiştir. Daha sonraları farklı lif türleri kullanılarak beton mukavemeti üzerine liflerin etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; beton içerisinde süreksiz dağılı bulunan liflerin genellikle betonda oluşan çatlakları en aza indirerek lifli betonun şekil değiştirme kabiliyetini arttırdığı görülmüştür. Bugün ise çimentolu ürünleri güçlendirmek için asbestli lif yaklaşık 100 yıldır, selüloz lif 50 yıldır, çelik, propilen ve cam lifler ise 30 yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır (Demirtaş, 2010; Erdoğan vd., 2007; Ünal, 1994).

1.5. Beton ve Çimento Harçlarında Kullanılan Lif Türleri

Liflerin doğal malzemelerden yararlanarak elde edilen kompozit yapı malzemeleri üzerinde sağladığı teknik avantajların farkına varıldığı zamandan bugüne kadar çok çeşitli lif türleri, gerek ticari gerekse deneysel kullanım amaçlı olarak üretilmektedir. Farklı kaynaklardan elde edilen bu lifler değişik özelliklere sahip olmakla birlikte farklı boylarda ve biçimde olmaktadır. Konuyla ilgili yayınlarda liflerle ilgili kesin bir tanım yer almamakla birlikte genellikle lif malzemenin çapı ve boy/çap oranı belirleyici bir kıstas olarak kabul edilmektedir ve bu değer narinlik oranı (aspect ratio) olarakta adlandırılmaktadır. İlgili Amerikan Standardı ASTM uyarınca, bir malzemenin lif olarak tanımlanabilmesi için, boy/ortalama çap oranının en az 10 ($L/d > 10$) olması, lifin en büyük genişliğinin 0.25 mm' den ve en büyük kesit alanının da 0.05 mm' den daha küçük olması gibi sınırlamalar getirilmektedir (Ersoy, 2001).

Bugün piyasada en çok kullanılan lif türleri çelik, cam ve sentetik liflerdir (Altun vd., 2002). Her ne kadar kullanımı sınırlı olsa da yün, ipek, kıl gibi hayvansal; bambu, hindistan cevizi kabuğu, saman çöpü, keten, kenevir gibi bitkisel kaynaklardan elde edilen doğal lifler de yapı malzemelerinde doğrudan kullanılabilir (İpek, 2007; Yetgin vd., 2008). Elbette her biri farklı bir malzeme kökenine sahip olan bu lifler kendi arasında çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitliliği belirleyen parametreler malzeme kökeninden başka

üretim şekli, dayanım sınıfı, narinlik oranı, eşdeğer lif çapı ve geometrik yapı olarak sıralanabilir. (ACI Committee, 1997; Durmaz, 2007; Ersoy, 2001).

Çimentolu kompozit malzemelerin çeşitli özelliklerini iyileştirmek için metalik, cam, doğal ve sentetik lifler kullanılabilir. Bu lifler kullanılırken kompozit malzemeden istenen avantajı sağlayacak lif türü, karakteristik özellikleri dikkate alınarak seçilmektedir. Çünkü lifler çimentolu kompozitlerin mekanik özelliklerini artırdığı gibi bazı durumlarda da düşürebilmektedirler (Çavdar, 2012a, b, 2013; Yalçınkaya, 2009).

Betonun özelliklerini geliştirmek amacıyla lifli betonda kullanılan bazı lif türlerinin ACI 544.IR-2002 raporundan alınan fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1.1. de verilmiştir.

Tablo 1.1. Betonda kullanılan bazı liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri (ACI 544.IR, 2002)

Lif tipi	Çekme day. (MPa)	Elastisite mod. (10 ³ .MPa)	Maks. uzama (%)	Özgül ağırlık (g/cm ³)
Akrilik	207-414	2.10	25-45	1.10
Asbestler	552-96	83-138	0.60	3.20
Pamuk	414-690	4.80	3-10	1.50
Cam	1035-3795	69	1.5-3.50	2.50
Naylon	759-828	4.10	16-20	1.10
Polyester	724-863	8.30	11-13	1.40
Polietilen	690	0.14-0.40	10	0.95
Polipropilen	552-759	3.50	25	0.90
Pamuk -yün	414-621	9.90	10-25	1.50
Minarel yünü	483-759	69-117	0.60	2,70
Çelik	276-2760	200	0.5-35	7.80

1.5.1. Polipropilen Lifler (PP)

Çimentolu kompozitlerde sentetik liflerin kullanımı diğer lif çeşitleri gibi birçok avantajlar sağlamaktadır. Bu liflerin, beton donatı malzemesi olarak kullanılması ilk kez 1965 yılında Goldfein tarafından önerilmiştir. Yapılan araştırmalar açıkça göstermiştir ki, beton içerisine sentetik lif ilave etmek büzülmeyi ve büzülmeden dolayı doğabilecek hasarları minimize etmekte oldukça etkilidirler (Bezerra vd., 2006; Wang vd., 1990). Aynı zamanda yüzey sertliğini artırmada ve çimento matrisi içinde mikro-çatlakların büyümesini kısıtlamada faydalı olduğu da tanımlanmıştır (Miller, 2005; NRCS, 1991). Beton teknolojisinde kullanılan sentetik lifler arasında en ucuz ve en yaygın kullanılanı PP lif türüdür (Şekil 1.1.). Polipropilen lif, uygun mekanik özelliklere sahip olup rölatif erime

noktası 165°C, özgül kütlesi 0.91 kg/dm³'tür ve kimyasal kararlılığı iyidir. Herhangi bir kimyasal etki karşısında, PP lif etkilenmeden çok önce çimentolu matris tahrip edilmiş olacaktır (Bezerra, 2006). Bunun yanında PP lifin düşük sıcaklık karakteristiklerinin zayıf olması uygulamada karşılaşılan olumsuz yönlerindendir. Camsı geçiş sıcaklığı ~-20°C' dir. Bu lifler yapı itibarıyla birçok kimyasal maddeye karşı direnç göstermektedir. Özellikle yüksek dayanımları, alkali ortama çok iyi direnç göstermeleri ve düşük fiyatları bu malzemenin beton ve harçlarda donatı olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Çavdar, 2012a, b, 2013; Teker, 2012).



Şekil 1.1. Polipropilen lifi

PP liflerinin dinamik elastisite modülü, gerilme altındaki şekil değişikliğine bağlı olarak 1 kN/mm² ile 8 kN/mm² arasında değerler almaktadır. Bu değer, matris malzemesi olan beton ve harçların, 20-30 kN/mm² mertebelerindeki dinamik elastisite modülü değerinin çok altında kalmaktadır. Buna rağmen, PP liflerin katılmasıyla çimento bağlayıcılı kompozitlerin özellikle çarpma dayanımı yükselmekte ve tokluğu artmaktadır (Bhargava, 2004; Ersoy, 2001; NRC, 1994; Saçak, 2010; Sawyer, 2008).

1.5.2. Karbon Lifler (CF)

Karbon liflerinin kullanımı teknik özelliklerinden dolayı XIX. yüzyıldan bu yana önem kazanmıştır. Karbonun teknik olarak kullanımı için dikkate değer en eski örnek, Edison'un, keten ve pamuk gibi karbonlaştırılmış doğal lifleri, akkor halde Ampul'ünde kullanmasıdır. Karbonun ısıya dayanma özelliklerinden (buharlaşma sıcaklığının 3700°C

olması ve yüksek sıcaklıklarda bile fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğramaması) dolayı yüksek sıcaklıkların oluştuğu uçak frenlerinde ve roketlerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte çeşitli dokumaların, keçelerin, filtre kâğıtlarının yapımında kullanılır. Karbon ayrıca, yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu yerlerde yalıtım amacıyla ve endüstri işlemlerinde kataliz için de kullanılmıştır. Karbon lifler, mekanik rijitlik ve dayanıklılık bakımından yetersiz ve kırılğan olduklarından, kompozit yapı malzemelerine takviye edilmesine uygun değildiler. Ancak 1950-1960 yılları arasında, fenol reçineleri için takviye maddesi olarak karbon dokumalardan yararlanılmaya başlanması, mekanik özellikleri oldukça geliştirilmiş liflerin ortaya çıkarılmasına neden olmuştur. Bu lifler, viskoz reyon ipliklerinden elde ediliyordu. Karbon lifi teknolojisindeki hızlı ilerlemeler ve bu konunun bilimsel bakımdan açıklığa kavuşması, 1960 yıllarında gerilme direnci ve çekme dayanıklılığı yüksek liflerin üretilmesine yol açtı. Bu da karbon liflerin sağlam ve hafif kompozitlerin üretilmesinde takviye malzemesi olarak kullanılmada önemini artırmıştır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Karbon Lifi (CF)

Karbon lif üretiminde kullanılan hammadde yoğunluğu $1.14-1.19 \text{ g/cm}^3$ arasında değişkenlik gösterirken karbon liflerinin yoğunluğu kullanılan hammadde ve işlem sıcaklığına bağlı olarak 1.6 g/cm^3 ila 2.2 g/cm^3 arasında bir değer almaktadır. Elde edilen lif modülündeki artış grafitizasyon sıcaklığının artışı ile artmaktadır. Karbon liflerinden yapılmış kompozitler daha dayanıklı ve daha sert olmakla birlikte daha hafiftirler. Karbon liflerinin yorulma davranışı ise bilinen tüm metallerden daha iyidir. Uygun reçine ile

kaplandığı zaman elde edilen kompozitin korozyona karşı direnci de artmaktadır. Elektrik iletkenliği ise bakırdan 3 kat daha yüksektir. Daha büyük kristalitlere ve daha iyi oryantasyon derecesine sahip olmaları nedeniyle çok yüksek elastisite modülüne sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı uydu yapımında kullanılmaktadır. Karbon liflerin diğer önemli bir özelliği de çok iyi bir yorulma mukavemetine sahip olmasıdır. 2200°C sıcaklığa kadar kararlı bir davranış göstermektedir (Yaman vd., 2007).

Bugün karbon lifler düşük yoğunluğu ve yüksek mukavemet özellikleri sayesinde, kompozit yapılarda, inşaat sektöründe, peyzaj kaplamalarda, spor malzemelerinde, uzay ve uçak sanayinden tıba kadar oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir.

1.5.3. Aramid (Kevlar) Lifler (AR)

Aramid lifler yüksek performanslı yapay sentetik elyaflardır. Aramidlerin molekülleri, katı polimer zincirleri tarafından güçlü hidrojen bağları ile bağlanarak karakterize olmuştur. Peptid bağları tarafından bağlanmış monomerler içeren bir polimerdir. Poliamid ailesine verilen isim “Naylon” dur. Düşük yoğunluk ve yüksek dayanıma sahiptir. Aromatik yapı, zincirinin katılığını artırdığı için erimezler. Bu yüzden aramidler, çözeltiden elde edilirler. Aramid terimi “aromatic polyamide” in kısaltılışıdır. Organik kimyada “aromatic” kelimesi benzen ve benzene yapısal olarak benzeyen bileşikler için kullanılmaktadır (Teker, 2012).

Aramidin kimyasal yapısı, amid (-CO-NH-) bağlarının en az %85’i doğrudan iki aromatik halka arasına bağlanmış sentetik poliamid şeklindedir. Poliamidler uzun zincirli polimerlerdir. Moleküler yapısı hemen hemen tamamen trans yapıda olduğundan cips yapıya dönmesi mümkün değildir. Bu özelliği sayesinde aramid lifin çekme mukavemeti çelikten yaklaşık 5 kat daha fazladır. Aramidin, hidrojen atomu ile birbirine bağlanmış altı karbon atomlu bir moleküler yapısı vardır. Yüksek düzeyde yönlendirilmiş olan bu polimer, düşük yoğunluk ile yüksek elastisite ve yüksek düzeyde yapışma özelliği ile yüksek mukavemet/kütle oranını üründe bir araya getirmektedir. Mukavemet ve E-modülü değerlerinin yanı sıra, liflerin kolaylıkla ıslatılabilmesi ve üründe darbe dayanımını artırma özelliklerinden dolayı yaygın olarak kullanılan reçinelerin çoğunluğu ile birlikte kullanılabilir (Şekil 1.3.). Aramid elyafının negatif ısıl genleşme katsayısı özelliğinden dolayı, ısıl yayılmanın önem taşıdığı ortamlarda fayda sağlamaktadır (Bhargava, 2004; NRC, 1994; Sawyer. 2008; Teker, 2012).



Şekil 1.3. Aramid lifi (AR)

1.5.4. Cam Lifler (GF)

Cam lifleri veya diğer bir deyişle cam elyafı, liflerle donatılı kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan lif türüdür (Şekil 1.4.). Üstün özelliklerinin yanı sıra, ekonomik bir donatı türü olması bu sonucu ortaya çıkarmaktadır.

Cam lifleri hemen hemen sınırsız kaynaktan elde edilebilen ham maddelerden kolayca üretilmektedir. Cam liflerde ana bileşen doğal olarak oluşan silikon dioksittir. Bunun yanında küçük miktarlarda diğer minerallerden de içermektedir. Dengeleyici olarak çinko, alüminyum, titanyum oksitler düzenleyici olarak da magnezyum, lityum, baryum, kalsiyum, sodyum, potasyum oksitler gibi kimyasallar kullanılarak cam lifleri permutasyonları oluşturulmaktadır. Bu dengeleyici ve düzenleyici maddelerin karışım içerisinde kullanım ve miktarları cam liflerin fiziksel özelliklerini değiştirebilmektedir. Cam lifler dayanım, esneklik ve sertlik gibi özelliklerinin yanı sıra, sağlamlık şeffaflık, kimyasal etkilere karşı dayanım, kararlılık ve durağanlık gibi faydalı kütle özellikleri sergilemektedir (Bahadır, 2007; Bozkurt, 2009; Committee on Toxicology, 2000; ASM Committee, 2001; ASTM D 578-98, 1998).



Şekil 1.4. Cam lifi (GF)

Cam lifler ham maddelerin yüksek sıcaklık fırınlarında karıştırılıp ergitilmesi sonucu elde edilirler (Committee on Toxicology, 2000). Çeşitli matris malzemeleriyle kullanılmış olmasına karşılık, temel kullanım alanı cam lif takviyeli plastik (CTP) endüstrisidir (Bahadır, 2007). Yapısal kompozitlerin üretiminde ve özel amaçlı birçok ürünün üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Karmaşık ve büyük boyutlu kaplama panellerden, ön-dökümlü betonların üretimine kadar çok çeşitli kullanım alanına sahiptirler. Tipik cam lif çapı 3-20 μm arasında değişmektedir. Cam lifler, belirli boylarda kırılmış halde ya da sürekli lifler halinde kullanılabilir. Bu tür üretilen çimento esaslı kompozitler “Cam Lifi Takviyeli Kompozitler” olarak adlandırılırlar (Barluenga vd., 2007; Ersoy, 2001; Kurt, 2006).

Başlangıçta, cam liflerin üretiminde A-Camı (Alkali cam) kullanılmıştır. Bunu çok az alkali içeren ve çok üstün elektriksel ve mekanik özelliklere sahip bir borsilikat camı olan E-Camının (Elektrik dayanımlı cam) kullanımı izlemiştir. E-Camı uygulamada en çok yararlanılan donatı malzemelerinden biridir. Ancak bu malzeme, beton ve harçlardaki alkali ortamından etkilenmekte ve tahrip olmaktadır. Cam lifi üzerinde yapılan çalışmalar sonucu 1971 yılında “Cem-Fil” adında alkali etkisine dirençli cam lifler üretilmiştir. Daha sonraki çalışmalar ile birlikte özel uygulamalar için çok yüksek mekanik özelliklere sahip S-Camı, R-Camı ve E-Camı türleri üretilmiştir (Ersoy, 2001).

Cam liflerinin ticari anlamda üretimine 1930'lu yıllarda İngiltere'de başlandığı halde plastik kompozitlerde kullanılması 1950'leri bulmuştur. Cam liflerinin çimento kompozitlerinin donatılmasında kullanımıyla ilgili ilk önemli çalışmaları 1960'lı yıllarda

Sovyetler Birliği'nde Biryukovich ve arkadaşları yapmıştır. Bu alışma ve uygulamadan elde ettikleri bilgileri 1964 yılında kitap haline getirmişlerdir. Ayrıca, in Halk Cumhuriyeti'nde de cam liflerinin beton türü malzemelerin donatılmasında kullanılmasıyla ilgili çalışmalara 1958 yılında başlandığı bilinmektedir (Ersoy, 2001; Asokan vd., 2010).

1.5.5. Polivinil Alkol Lifler (PVA)

Yaklaşık 50 yıl önce Japonya'da üretilen ve birçok farklı uygulamada kullanılan PVA lifleri 1980'li yıllardan itibaren de çimentolu kompozitlerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu lifler naylon ve polipropilen gibi diğer polimerik liflerle karşılaştırıldığında, daha yüksek çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerine sahiptir (şekil 1.5.). PVA lif takviyeli betonlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucu, PVA lif takviyeli betonların yalın betona kıyasla oldukça yüksek eğilme dayanımı sergilediği gözlenmiştir. Bununla birlikte enerji yutma kapasiteleri yüksek ve sünek bir davranış göstermektedirler (avdar, 2012a, b, 2013; Teker, 2012; Uğur, 2007).



şekil 1.5. Polivinil alkol lifi (PVA)

Yapısında vinil ($\text{CH}_2 = \text{CH}-$) grubu bulunan monomerlerin polimerleşmesiyle oluşan maddelere polivinil bileşikleri adı verilir. Vinil grubuna bağlı olan grubun yapısına göre değişik polimerler elde edilir. Örneğin, $-\text{Cl}$ bağlı ise polivinil klorür; $-\text{CN}$ bağlı ise poliakrilonitril; $-\text{OH}$ bağlı ise polivinil alkol oluşur (Saçak, 2010).

Birchall polimer çimentolu kompozitlerde kullanılabilecek polimer türlerini suda çözünen veya dağılan (ko)polimerler olarak belirtmiştir. Çimentolu kompozitlerde en çok polivinil alkol, poliakrilamid ve selüloz polimerleri kullanılmaktadır. Polivinil alkol, vinil asetatın yoğunlaşması sonucunda elde edilen polivinil asetat'ın kısmi veya tam olarak hidrolize olmasıyla elde edilen sentetik uzun zincirli bir polimerdir. Polimerizasyon derecesine ve kalan asetat miktarına göre değişen farklı derecelerde PVA'lar vardır. PVA'nın özellikleri polimerizasyon derecesinden ve hidroliz derecesinden büyük ölçüde etkilenmektedir. PVA'nın suda çözünürlüğü polimerizasyon ve hidroliz derecelerine bağlıdır, özellikle hidroliz derecesinin etkisi daha fazladır. Hidroliz derecesi arttıkça polimerin oda sıcaklığında çözünme özelliği ortadan kaybolmaktadır. Bununla birlikte hidroliz derecesinin artması ile su emme özelliği azalmaktadır (Birchall vd., 1983; Ekincioglu vd., 2007).

1.6. Lifli Betonun Kazanımları

Lif katkıları çimentolu kompozit içinde homojen dağıldığı ve optimum miktarda kullanıldığı takdirde çok etkin ve faydalı olabilirler.

Betonun gevrek davranışı nedeniyle enerji yutma kapasitesi düşük yüzeylerde kalmaktadır. Sönümlenen enerji miktarının az olması göçme sürecini hızlandırmakta ve ani kırılmalar meydana getirmektedir. Özellikle deprem bölgelerinde yapılacak yapılarda, betondan istenen özelliklerden birisi de göçmeden önce büyük deformasyonlar yaparak gelen enerjiyi sönümleyebilmesidir (Baradan vd., 2012).

Betonun bu gevrek davranış özelliğinin iyileştirilerek daha sünek bir davranış gösterebilmesi için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Betonda liflerin ilavesi ile beton içerisinde rastgele dağılmış olan lifler çekme dayanımını, enerji yutma kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini iyileştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir. Bu davranış farklılığı, beton içerisinde gelişen güzel dağılan liflerin, çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üzerlerine ya da sağlam alanlara transfer etmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu şekilde yapıyı göçmeye götürecek olan çatlakların oluşumunu ve büyümesini engelleyerek, kırılmayı daha büyük yüklerde ve deformasyonlardan sonraya ertelemektedir (Baradan vd., 2012).

Taze beton daha sıvı fazda iken yer çekimi etkisi ile agregalar dibe çökmeye başlar. Özellikle vibrasyon ile sıkıştırma yapılıyorsa bu yer çekim etkisi daha da artar. Ancak lifler agregaların dibe çökmesini ve betonun yüzeyinde zayıf karakterli bir tabakanın oluşmasını

engeller. Bu tabakanın engellenmesi tozuma, ufalanma, pullanma, parçalanma, kırılma, aşınma ve çatlama problemlerini ortadan kaldırır (Ersoy, 2001; Saçak, 2010).

Betonun dayanımını doğrudan etkileyen, karışım oranları, çimento türü, puzolanların varlığı, sıkıştırma, kür cinsi, kimyasalların varlığı, agrega türü ve miktarı gibi birçok parametrenin ayrıntılı etkisi göz önünde bulundurulmadan liflerin betona sağladığı avantajlar incelendiğine kabaca Tablo 1.2.'deki gibi özetlenebilir.

Tablo 1.2. Liflerin beton üzerindeki etkisinin kaba oranları (Ersoy, 2001)

Mekanik Özellik	Artış (%)
Basınç Dayanımı	±25
Eğilme Dayanımı	25 – 200
Elastisite Modülü	±25
Tokluk	100 – 1200
Çekme Dayanımı	25 – 150
Deformasyon Kapasitesi	50 – 300
Kavitasyon Dayanımı	200 – 300
Yorulma Dayanımı	50 – 100
Darbe Dayanımı	100 – 1200
İlk Çatlak Dayanımı	25 – 100
Sehim	20 – 500

Bu değerlerin, betonun dayanımını doğrudan etkileyen deney yönteminden ve betonun karışım özelliklerinden tamamen bağımsız ve çok kaba bir yaklaşımla verildiğini vurgulamak gerekmektedir. Tablo 1.2.'de Görüldüğü gibi lifler betonun eğilme-çekme dayanımını önemli derecede artırırken basınç dayanımını da düşürebilmektedirler. Ayrıca darbe dayanımı, kavitasyon ve yorulma dayanımı gibi uzun dönem sürekli etkilerine karşı lifler çok büyük avantajlar sağlamaktadırlar.

Çimentolu matrislerde kullanılan liflerin bazıları çatlak genişliğinin sınırlandırılması ve tokluk arttırmak için kullanılırken (makro ve mikro boyuttaki çelik lifler ve yüksek performanslı PVA lifler gibi) bazı lifler ise plastik rötre çatlaklarının azaltılması ve yüksek sıcaklık etkisi altında patlamaları engellemek için (PP lifler gibi) kullanılabilir (Yardımcı, 2007).

Heterojen bir yapıya sahip olan betonda birçok ara yüzey bulunmaktadır. Bu ara yüzeylerden en zayıfı agrega ile matris ara yüzeyidir. Termal genleşme veya büzülmeden kaynaklanan mikro çatlaklar her betonda mevcuttur. Genleşme ve büzülme sırasında agregaların matrisi kısıtlama etkisi ile yükleme sırasında agrega ile matris arasındaki

rijitlik farkından dolayı agrega çevresinde mikro çatlak yoğunluğunun arttığı söylenebilir. Mikro çatlaklar betonun göçme mekanizmasını hızlandırmakta ve dayanımı düşürmektedir. Mikro çatlak oluşturuıcı etmenler arasında şüphesiz durabilite zorlamaları da bulunmaktadır. Bunlarla birlikte alkali – silika veya alkali – karbonat reaksiyonları, gecikmiş etrenjit oluşumu, donma – çözülme ile genleşen su gibi gevrek matris içerisinde gerilme oluşturan etkiler, betonun mikro çatlak sayısını artırmaktadır. Bu mikro çatlakların matris içerisinde zayıf kesitler oluşturduğu, birleşerek makro çatlğa dönüştüğü göz önüne alınacak olursa, yükleme sırasında mikro çatlak ilerlemesinin erken durdurulması kırılma parametrelerini iyileştirecektir.

Gevrek çimentolu kompozitlere lif katkıları eklenerek sünek bir davranış kazandırılabilir. Burada vurgulanması gereken önemli bir ayrıntı, liflerin birincil etkisinin malzemenin dayanımının geliştirilmesinden daha çok, çatlak oluştuktan ve genişledikten sonra kompozitte gerilme transferinin devam etmesi ve tokluğunun artırılmasıdır. Ayrıca lif katkıları çatlakları önlemede çok etkilidir. Cook ve Gordon'un 1964 yılında geliştirdiği liflerin çatlak önleme mekanizması incelendiğinde, çatlğı oluşturan ve ilerlemesine sebep olan maksimum çekme gerilmeleri çatlak ucunda değil de bir miktar ilerde oluşmaktadır. Bu sayede çatlak ilerlemesi devam etmektedir. İlerleyen çatlak lif – matris ara yüzeyine geldiğinde burada ara yüzey hasarı gelişmektedir. Gelişen bu hasar ile çatlak birleştiğinde “T” şekilli bir sonlanmış çatlak gözlenmektedir. Böylece gelişen çatlak lif tarafından engellenmiş olmaktadır (Bentur ve Mindess,1990; Shah, 1991; Li ve Maalej, 1996; Yardımcı, 2007; Yalçınkaya, 2009).

1.7. Beton ve Çimento Harçlarında Donma- Çözülme Etkisi

Beton, günümüz yapı teknolojisinde en sık kullanılan, kolay üretilebilen ve bileşenleri kolay temin edilebilen, ekonomik bir malzemedir. Dünyada kişi başına düşen yıllık beton üretimi yaklaşık 2,5 tondur (Aitcin, 1998).

Yapılar servis ömrü süresince çeşitli çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Yapının maruz kalacağı çevresel etki iyi belirlenmeli ve tasarımda dikkate alınmalıdır. Yapının işlevini yerine getirebilmesi için yapıda kullanılan malzemeler, maruz kalacağı etkilere karşı dayanıklılığı yeterli olmalı ve yapının performansını belirli bir düzeyin altına düşürmemelidir. Günümüz yapısal tasarımında malzeme dayanımları kadar dayanıklılık ölçütlerinin de dikkate alınması kabul görmektedir (Sommerville, 2000). Yapıda taşıyıcı elamanları oluşturan beton servis ömrü boyunca çeşitli çevresel etkilerle hasara

uğrayabilir. Bu etkiler fiziksel, kimyasal, fiziko - kimyasal veya mekanik olabilmektedir. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına hatta proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir. (ACI 201-2R, 1992)

Betonun tekrarlı donma-çözülme etkisinde kalması fiziksel etkilerden bir tanesidir. Karasal iklim gibi sert iklim koşullarının görüldüğü yörelerde binaların dış cepheleri, köprülerin kolon ve kirişleri, barajlar, beton yol döşemeleri, hava meydanı pistleri gibi yüzeyleri atmosfer etkilerine açık kalacak betonarme elemanlarda beton kalıcılığının karşısındaki en büyük tehditlerden birisi donma-çözülme olayıdır. Donma-çözülme olayı beton taze veya sertleşmiş haldeyken meydana gelebilmektedir.

1.7.1. Taze Betonda Donma – Çözülme Etkisi

Taze betonda donma etkisi, suya doygun toprak üzerindeki don etkisine benzemektedir. Henüz sertleşmemiş yani plastik halde bulunan beton içerisindeki su donmaya başladığında su hacmi yaklaşık %9 oranında artar. Beton henüz plastik kıvamda olduğundan oluşan buz hacim artışı nedeni ile boşluklara doğru hareket eder. Bu olay tekrarlı donma çözülme ile buz kütlesinin büyümesini sağlar (Baradan vd., 2010).

Taze beton donduğunda çimento harcı ile iri agrega taneleri arasındaki yüzey bağları kütle transferi nedeniyle bozulmaya başlamaktadır. İri agregaların özgül ağırlığı betona kıyasla daha büyük olduğundan çimento harcından daha iyi ısı iletirler. Beton donmaya başlayınca, agregalar beton harcından daha çabuk soğur. Oluşan sıcaklık farkı ile düşük sıcaklıklardaki bölgelerde bağıl basınç daha az olduğundan su daha soğuk olan agregalara doğru hareket etmeye başlar. Böylelikle agrega yüzeyinde donarak birikmeye başlayan su agrega çevresinde bir buz-su filmi oluşturur. Buz filminin hacimsel olarak büyümesi ile oluşan genleşme neticesinde agrega-çimento ara yüzeyindeki fiziksel bağ koparır. Aderansın azalmasına paralel olarak agrega taneleri çimento matrisinden kolayca ayrılabilir. Boşluklu agregaların kullanımı durumunda hafif betonda olduğu gibi, agregalar suyu emip film tabakası oluşumunu azaltarak hasarı minimuma indirmektedir. (Baradan vd. 2002; Yalçınkaya, 2009).

Donma sırasında oluşan kütle transferinin başka bir nedeni de çimentonun su ile temasıyla başlayan hidrasyonun, egzotermik yapıda tepkimeler oluşturması sebebiyle beton içerisindeki suyun tamamen donmamasıdır. -5°C’de beton karışım suyunun %92 si donarken -45°C’de bu oran %96’ya çıkmaktadır. Bu durum taze beton içindeki suyun tamamının donmadığını göstermektedir. Donmayan su çimento tanecikleri ile reaksiyona

girdiğinde, tanecikler etrafında ısı açığa çıkması ile su daha soğuk bölgelere kayar. Böylelikle buz kütlesinin daha da büyümesini sağlar. Ayrıca nispeten daha sıcak olan iç bölgelerdeki sular donmaya başlayan dış yüzeye hareket ederek ek bir kütle transferi oluşturmaktadır. Prize henüz başlayan beton için dış bölgelerde donup genleşen su, betonun ana iskeletini parçalayıcı etki yaratmaktadır (Baradan vd., 2010).

Çimento ve diğer bağlayıcıların hidratasyonu için gereken su donduğunda taze betonun prizinin durduğu gözlemlenir. Bu nedenle -12°C 'nin altında sıcaklıklarda betonun dayanım kazanmadığı kabul edilir (Baradan vd., 2002).

Hava sıcaklığının yükselmesi ile donma etkisinde kalan beton içerisindeki buzlar çözülmeye başlar ve hidratasyon kaldığı yerden devam eder. Hidrate olan çimento jelleri buzun çözülmesi ile oluşan boşlukları dolduramadığından makro yapıda boşluklar dahi oluşabilmektedir, böylelikle geçirimli bir beton imalatı yapılmış olur. Bu sebepten dolayı gerek mekanik özelliklerde gerek kalıcılık performansında düşmeler meydana gelmektedir.

Donma olayı beton, buzun oluşturduğu genleşmeye karşı koyabilecek dayanıma ulaştıktan sonra gerçekleşirse bu ilk donma periyodunu zararsız atlatabilir. Bu yeterli basınç dayanım 5-14 MPa arasındaki değerler olarak değişik araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Betonun zarar görmemesi için diğer bir etken karışım suyunun reaksiyona girmesi, reaksiyona girmeyen suyun dışarıya sızması veya buharlaşması ile beton içinde donabilecek suyun azalmasıdır (Baradan vd., 2010).

Taze betonda karşılaşılan bu olumsuzlukları önlemek için aşağıdaki gibi basit ama etkili önlemler alınabilir.

- Beton döküm sırasında ve sonrasında beton üstünü örtü ile kapatmak gibi kütle sıcaklığını koruyucu önlemlerin alınması
- Günün daha sıcak olduğu öğle saatlerinde döküm yapılması
- Priz hızlandırıcı veya don engelleyici (antifriz) kimyasalların kullanılması
- Dona dayanıklı agregaların kullanılması
- Kullanılan çimentonun türünün, inceliğinin ve kimyasal bileşenlerinin uygun seçilmesi

1.7.2. Sertleşmiş Betonda Donma – Çözülme Etkisi

Sertleşmiş bir beton suya doygun halde don etkisinde kaldığında matris içerisindeki kapiler boşluklarda bulunan su donar ve genişir. Tekrarlı donma-çözülme etkileri sonucu bu genişleme kümülatif olarak artar. Bu nedenle tekrarlı donma-çözülmenin oluşturduğu olumsuz etki çözülmenin gerçekleşmediği uzun süreli don etkisinden çok daha fazladır. Bu durum bir önceki donma periyodunun oluşturduğu ince bir çatlağın yeniden donma etkisi ile genişleyip büyümesinden kaynaklanmaktadır. Temel olarak beton içerisindeki su donduğunda hacmi %9 oranında artar. Bu genişlemenin oluşturduğu gerilmenin betonun çekme dayanımını aşması durumunda betonda harita görünümlü çatlaklar, kabuk atma, ufalanma gibi bozulmalar görülür (Baradan vd., 2010). Şekil 1.6’da donma-çözülme etkisi ile bozulmuş beton elamanları görülmektedir.



Şekil 1.6 Donma-çözülme etkisi ile bozulmuş beton elamanları

Beton içindeki suyun donması yavaş ilerleyen bir olaydır. Boşluk çapları ve niteliği, ısıнын transfer edilme hızı, beton içerisindeki suyun çözülebilir madde yoğunluğu donma hızını etkilemektedir. Donma büyük boşluklardan küçük boşluklara doğru ilerlemektedir. Bunun sebebi küçük boşluklardaki yüzey geriliminin daha fazla olmasıdır (Baradan vd., 2002).

Donma sırasında boşluk yüzeylerinde oluşan enerji beton içindeki suyun donma noktasını düşürmektedir. Beton içindeki boşluk çapları değişken olduğundan suyun donma dereceleri de değişmektedir. Boşluk suyunun yaklaşık üçte biri -30°C ’de donarken üçte ikisi -60°C ’de donmaktadır. Donma sırasında ortam koşulları ve betonun doygunluk derecesi uygun ise suyun önemli bir miktarı buharlaşır. Eğer beton tamamen suya doygun ise buharlaşma gerçekleşmez (Baradan vd., 2010).

Betonun boşluk yapısı ve kritik doygunluk derecesi betonun donmaya karşı dayanıklılığını etkileyen en önemli iki etkidir. Kritik doygunluk derecesinin altındaki betonların donmaya karşı oldukça dayanıklı olduğu söylenebilir. Kuru haldeki betonlar ise donmadan etkilenmezler. Yani betonun donma-çözülme hasarı doygunluk derecesi ile alakalıdır. Beton kritik doygunluk derecesine gelmedikçe donma-çözülme olayından hasar gördüğü söylenemez. Bu nedenle soğuk iklim koşullarında betonu su emmeyecek şekilde korumak ve beton dökümünü yaz aylarında yaparak taze betonu don olayından korumak betonun dayanımına önemli katkılar saylayacaktır (Baradan vd., 2010).

Fagerlund betonun suya doygunluk derecesinin etkisini incelemek için bir seri laboratuvar deneyleri yapmış ve buradan kritik doygunluk oranının 0,80'ler mertebesinde olduğunu belirtmiştir (Çopuroğlu, 2006; Fagerlund, 1977; Schulson, 1998).

1.7.3. Betonda Buz Çözücü Tuzların Etkisi

Kış aylarında buz tutan, beton kaldırım ve yollardan buz tabakasını kaldırmak için sıklıkla kalsiyum ve sodyum tuzlar kullanılmaktadır. Bu tuzlar betona zarar vermektedir. Bu buz çözücü tuzların verdiği hasar, sadece donma etkisinden kalan betonda oluşan hasardan çok daha şiddetli olmaktadır. Bu hasar sebebi fiziksel bir mekanizmadan kaynaklıdır. Tuzlamayla birlikte bir miktar tuz betonun üst tabakaları tarafından emilir. Bu da osmotik basınç oluşturarak donmanın başladığı en soğuk bölgeye doğru su akımını başlatır. Böylelikle salt donma-çözülme hasarının etkisini arttırmaktadır. Bunun yanında buz tabakasının üzerinde bulunan tuzlar buz tabakasının erimesiyle önemli derecede termal şok etkisi yapar. Yüzeyde ve iç bölgede oluşan sıcaklık farkından dolayı yüzey çatlakları meydana gelir. Buz yoğunluğunun beton derinliğince farklı olması farklı zamanlarda donma-çözülme olayına sebep olur. Bu da tabaka veya kabuk halinde bozulmalara sebep olmaktadır. Keza betonarme donatıları klorür korozyonuna maruz kalmaktadır. Böylece buz çözücü tuzları betonla birlikte donatılara da zarar vermektedir (Yalçinkaya, 2009).

Buz çözücü tuzların oluşturduğu hasar betondaki boşluk karakteristiği ile doğrudan ilişkilidir. Hava sürüklenmiş beton bağımsız ve küresel küçük boşluklar içerdiğinden bu kimyasallara karşı daha dayanıklıdır. Boşluk çapları küçüldükçe tuzlu suların donma noktası yalın suyun donma noktasına yaklaşmaktadır. Diğer bir deyişle boşluk çapı küçüldükçe tuzların donma noktasını düşürücü etkisi azalmaktadır. Bu da küçülen boşluk çapı ile daha geçirimsiz ve tuzlara dayanıklı bir beton tasarımının sağlanabileceği anlamına gelmektedir (Baradan, 2002; Yalçinkaya, 2009).

1.7.4. Hava Sürüklenmiş Betonda Donma-Çözülme Etkisi

Doygunluk oranı kritik doygunluk oranının üzerinde olan beton donma-çözülme döngüsüne maruz kaldığında betonda hasar oluşmaktadır. Suya doygun beton ve çimento harçları donmaya başladığında kapiler boşluklardaki su yaklaşık %9 oranında genişerek betonda iç gerilmeler meydana getirmektedir. Bu gerilmeler beton içerisinde bir takım kılcal çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Buzların çözülmesi ile bu gerilmeler ortadan kalkmaktadır. Ancak bir başka donma ile aynı olay tekrarlanmakta ve bu donma-çözülme devirlerinin sayısı arttıkça beton içerisinde yeni kılcal çatlaklar oluşmakta, daha önce oluşan çatlaklar giderek büyümekte ve betonun yıpranıp kırılmasına ve dağılmasına neden olmaktadır.

Doygun betonda donma-çözülme ile oluşacak parazit gerilmelere karşı betonda kullanılan en etkili önlemlerden birisi de hava sürükleyici kimyasalların kullanılmasıdır. Betonun içerisine hava sürüklenmesi ile donma-çözülme ve buz çözücü tuzların etkileri karşısında, betonun daha dayanıklı olması sağlanmaktadır. Betonun üretimi sırasında çimento harcı içerisine dahil edilen milyonlarca hava kabarcığı ile pasta hacmi artmakta, işlenebilirlik iyileşmekte, daha az terleme ve ayrışma gözlemlenmektedir. Bununla birlikte, betona hava sürüklemenin basınç dayanımında düşüşe sebep olma gibi olumsuz bir yönü de bulunmaktadır. Hava sürükleyici olarak sentetik deterjanlar, reçine tuzları, petrol asidi tuzları, protein içeren malzeme tuzları, organik hidrakerbon tuzları gibi kimyasallar kullanılmaktadır. Bunlardan en çok kullanılanları sentetik deterjanlar ve reçine tuzlarıdır.

Hava sürükleyici katkı maddeleri, beton yapımı esnasında taze betondaki çimento harcının içerisinde küçük boyutlu (0.05 - 1.25 mm mertebesinde) ve kalıcı hava kabarcıklarının oluşmasını sağlayan katkı maddeleridir (Erdoğan, 2010).

Hava sürükleyici katkılarla oluşturulan hava boşlukları hapsolmuş hava boşluklarından farklılık göstermektedir. Hapsolmuş hava boşlukları, taze betonun yerleştirilmesi esnasında betonun içerisinde istenmeden oluşan, beton içerisinde rastgele dağılmış ve bazen aralarında bağlantı bulunabilen gelişigüzel şekillerdeki hava boşluklarıdır. Sürüklenmiş hava boşlukları ise çimento harcı içinde katkı maddesi yardımıyla istenerek oluşturulmuş hava boşluklarıdır. Hapsolmuş hava boşluklarından daha küçük ve küresel şekilli olan bu boşluklar birbirileri ile bağlantılı olmaksızın beton içerisinde düzenli olarak dağılım göstermektedir.

Taze haldeyken betona sürüklenen milyonlarca ayrı ve birbirine çok yakın bu hava tanecikleri donma-çözülme hasarını önlemeyi mümkün kılmaktadır. Bu boşluklar genellikle şeklen küresel ve nispeten küçük boyutlardadır. Küresel şekilli bu boşlukların boyutu 1µm ila 1 mm arası olup genellikle 100 µm aralıklı bir yoğunluğa sahiptir (Erdoğan, 1997; Pigeon ve Pleau, 1995).

Beton içerisindeki su donmaya başladığında genişleyen su kapiler boşluklardan dışarıya çıkmaya zorlanmaktadır. Hava boşlukları dışarıya çıkmaya zorlanan suyu içine alarak bir nevi emniyet supabı görevi görmektedir. Bu hava boşlukları donma sonucunda oluşan hidrolik basınç etkisini azaltmakta ve beton içerisindeki gerilmenin üst mertebelere çıkmasını önlemektedir. Böylece donma çözülme hasarını azaltmaktadır (Erdoğan, 2003; Powders, 1945; Powders ve Helmuth, 1953; Powders ve Brownyard, 1947).

Hava sürükleyici katkı kullanılarak betonun donma-çözülme dayanıklılığı artırılabilir. Bu katkı maddeleriyle beton içinde homojen dağılmış, boyutları 10 µm'den birkaç mm'ye ulaşabilen, birbirlerinden bağımsız küresel hava boşlukları oluşturulur. Bu boşluklar hem betonun kılcallık yoluyla su emmesini engeller, hem de kılcal boşluklarda su donduğu zaman buzun boşluk içine doğru oluşmasını sağlayarak donma ile genişleyen suyun kılcal boşluk çeperlerine basınç uygulanmasını önler. Böylece beton donma-çözülmeden daha az zarar görür (Neville,1997; Pigeon ve Pleau, 1995).

Hava sürükleyicilerin temel amacı donma - çözülme dayanıklılığını artırmaktır. Donma dayanıklılık için gereken hava miktarı beton hacminin %5-7'si arasında değişmektedir. Daha düşük orandaki hava etkisiz kalmakta, daha yüksek orandaki hava boşlukları ise malzemenin dayanımını önemli derecede düşürmektedir. Bu düşüş değeri basınç dayanımında, her %1 sürüklenmiş hava miktarı için %5 oranında olmaktadır (Pigeon ve Pleau, 1995; Powers, 1949; Yalçınkaya, 2009).

1.7.5. Lif Katkısının Betonun Donma-Çözülme Direncine Etkisi

Donma-çözülme hasarı doğrudan lif katkılarıyla engellenebilen bir konu değildir (Pigeoun ve Pleau, 1995a, 1995b). Liflerin ana fonksiyonu çatlakları azaltırken, aynı zamanda tokluğu artırmaktır (Singh ve Kayshik, 2003). Lifler daha çok gevrek bir malzeme olan geleneksel betonun çekme dayanımını, aşınma dayanımını, enerji yutma kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini artırmak için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda betonda lif katkıları kullanıldığı takdirde, beton içerisinde homojen ve süreksiz bir şekilde dağılmış olan liflerin; betonun tokluğunu, çarpma ve çekme

dayanımını artırdığı görülmüştür. Bunun yanında liflerin beton içerisinde çatlak ilerlemesini önemli derecede azalttığı ve süneklilik düzeyini artırdığı görülmüştür. (Groth ve Ghasemlou, 1996; Swamy, 1971; Taşdemir, 1999).

Betonun donma-çözülme hasarı doygunluk derecesi ile alakalıdır. Betonun doygunluk derecesi belli bir orana çıkmadıkça donma-çözülme olayından hasar gördüğü söylenemez. Bu nedenle betonu su emmeyecek şekilde korumak betonun dayanımına önemli katkılar saylayacaktır. Lif katkılar termal genleşme veya büzülmeden kaynaklanan büzülme çatlaklarını azaltmaktadır. Böylece donma-çözülme hasarına sebep olacak su girişini de azaltmış olacaktır. Aynı şekilde dayanıklılığının düşüşüne sebep olacak kimyasal madde girişi de engellenmiş olacaktır. Beton don olayına maruz kaldığında beton içerisindeki suda donmaktadır. Donan su %9 oranında genleştiğinden beton içerisinde iç gerilmeler ve çatlaklar oluşturmaktadır. Beton içerisinde dağılmış lifler matris içinde donma sonucu oluşan parazit çekme ve büzülme gerilmelerine paralel konuşlanmaktadır. Böylece oluşan gerilmeler lif tarafından sönümlenmektedir. Ayrıca tekrarlı donma-çözülme çevrimlerinde şişmeyi engellemekte ve dağılmayı geciktirdikleri bilinmektedir (Atiş ve Karahan, 2007; Nawy, 2001).

Donma-çözülme direnci üzerinde yapılan çalışmalarda lif katkılarının donma çözülme hasarını azalttığı görülmüştür. Singh ve Kayshik tarafından yapılan çalışmada çelik lifli beton numuneleri %5 sodyum sülfat çözeltisi ve su içerisinde donma-çözülme döngülerine tabi tutulmuştur. 300 döngü sonunda hem kontrol numunesinin hem de çelik lifli numunenin dinamik elastisite modülünde ciddi düşüşler meydana gelmiş ve bu döngü sayısının üzerine çıkılamamıştır. Ancak çelik lifli betondaki düşüş kontrol numunesine kıyasla daha az olmuştur (Singh ve Kayshik, 2003).

Başka bir çalışmada çelik ve karbon mikro-lif katkılı harçların donma-çözülme dayanıklılığı incelemiştir. Çelik liflerin ve kısmen karbon liflerin donma-çözülme dayanıklılığını artırdığı ve buz çözücü tuz etkisinde pullanmayı azalttıkları rapor edilmiştir. Liflerin donma-çözülme direnci üzerindeki bu etkisi hava sürüklenme davranışlarına dayandırılmıştır. Ancak hasar tam olarak engellenememiştir (Pigeoun ve Pleau, 1995a, 1995b).

1.7.6. Donma-Çözülme Dayanıklılığını Etkileyen Unsurlara Genel Bakış

Donma-çözülme dayanıklılığını birçok unsur etkilemektedir. Genel anlamda betonun donma-çözülme dayanıklılığı, geçirimsizlik ve uygun hava boşluğu ile doğrudan ilişkilidir. Doygunluk derecesi kritik doygunluk derecesinin (%80) üstüne çıkmadıkça donma-çözülmeden pek etkilenmez. Hava sürüklenmesi ise hasarı minimuma indirmektedir. Lif katkıların çatlakları sınırladığı ve dağılmayı geciktirdikleri bilinmektedir. Bunlarla birlikte kompoziti oluşturan malzemelerin donda dayanıklılığı matrisin geçirimliliğine bağlı olarak donma-çözülme direncini etkilemektedir. Betonun donda maruz kalırken ki değişkenleri de (Donma hızı, en düşük-en yüksek sıcaklık, donma süresi vb.) çok önemli parametrelerdir. Donma-çözülme dayanıklılığını etkileyen genel unsurlar Tablo 1.3.' te özetlenmiştir (Yalçınkaya, 2009).

Tablo 1.3. Donma-çözülme dayanıklılığını etkileyen unsurlar (Yalçınkaya, 2009).

İçsel Faktörler	Dış Faktörler
S/Ç oranı (majör etki)	Doygunluk Derecesi (majör etki)
Sürüklenmiş Hava (majör etki)	Donma Hızı
Agrega	Minimum Sıcaklık
Çimento Türü	Donmada Bekleme Süresi
Akışkanlaştırıcı katkıları	Kür Sıcaklığı
Alkaliler	Örtücüler (sealants)
Viskozite Artırıcı Kimyasallar	Uygulanan Yük
Lateks Katkısı	
Lif Katkıları	

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, betonun donma-çözülme döngüsüne maruz kalması halinde, ortaya çıkan olumsuz etkileri azaltmak için farklı tür hava sürükleyici katkı maddeleri ile lif katkılarının kullanılabilirliği araştırılmış ve bu katkıların betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada hazırlanan numuneler eğilme, basınç ve ultrasonik ses deneylere tabi tutulmuştur. Eğilme deneyleri yapılırken sehim değerleri ayrıca okunmuştur. Bunlara ilave olarak kütle özellikleri de belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kontrol numunesi ile kıyaslanmıştır.

Bu amaca yönelik olarak hazırlanan deney yönergesi, yapılan çalışmalar ve malzeme özellikleri bu bölümde yer alacaktır.

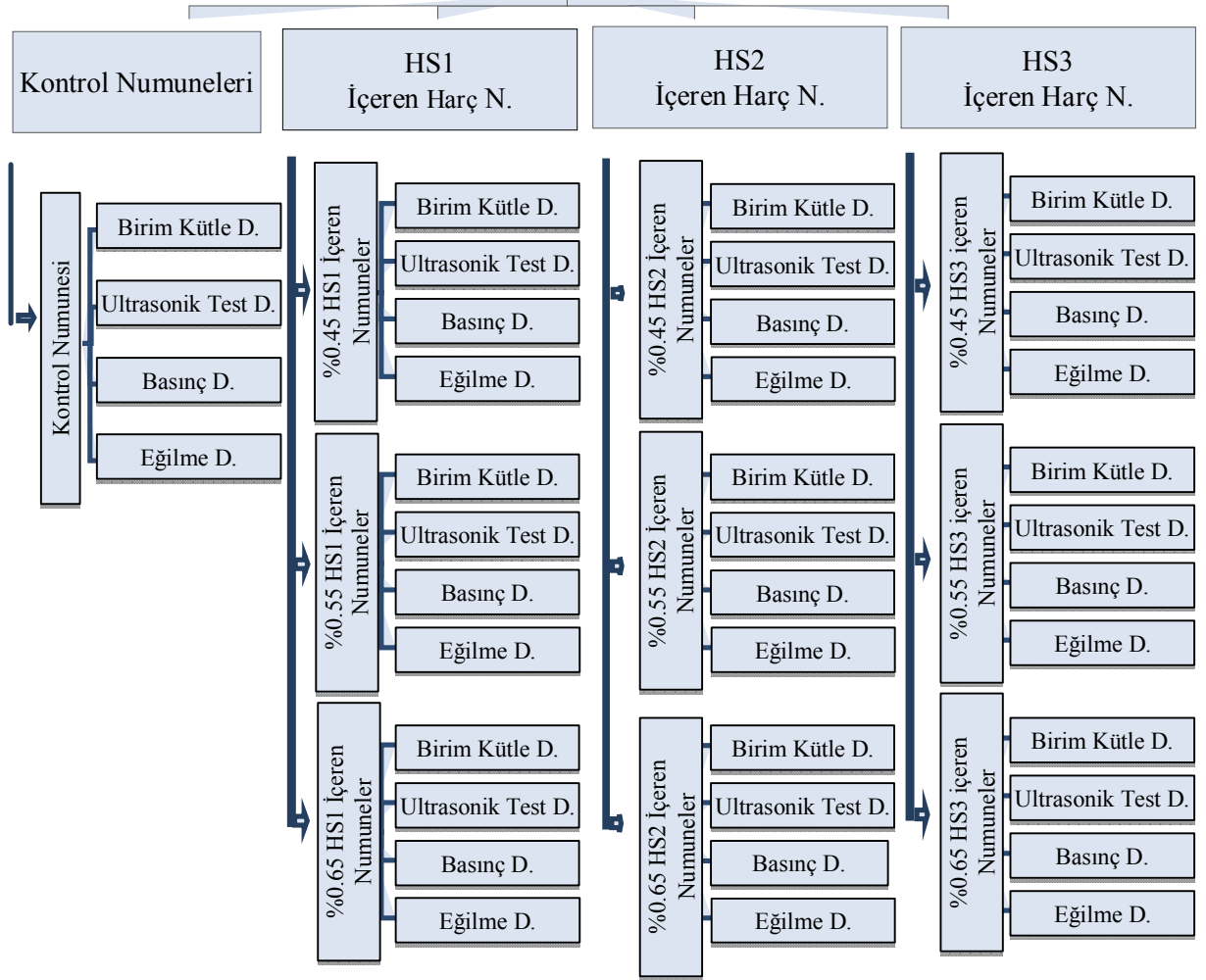
2.1. Deney Yönergesi

Çalışmanın birinci aşamasında üç farklı türde (HS1, HS2, HS3) hava sürükleyici katkı, çimento harcına dört farklı oranda (%0.0, %0.45, %0.55, %0.65) katılarak hazırlanan numuneler 40 gün boyunca kür edilmiş ve bu süre sonunda beş farklı donma – çözülme döngüsüne (0, 7, 14, 28, 56) maruz bırakılarak eğilme, basınç ve ultrasonik ses deneylerine tabi tutulmuştur. Bunlara ilave olarak kütle özellikleri de belirlenmiştir (Şekil 2.1.).

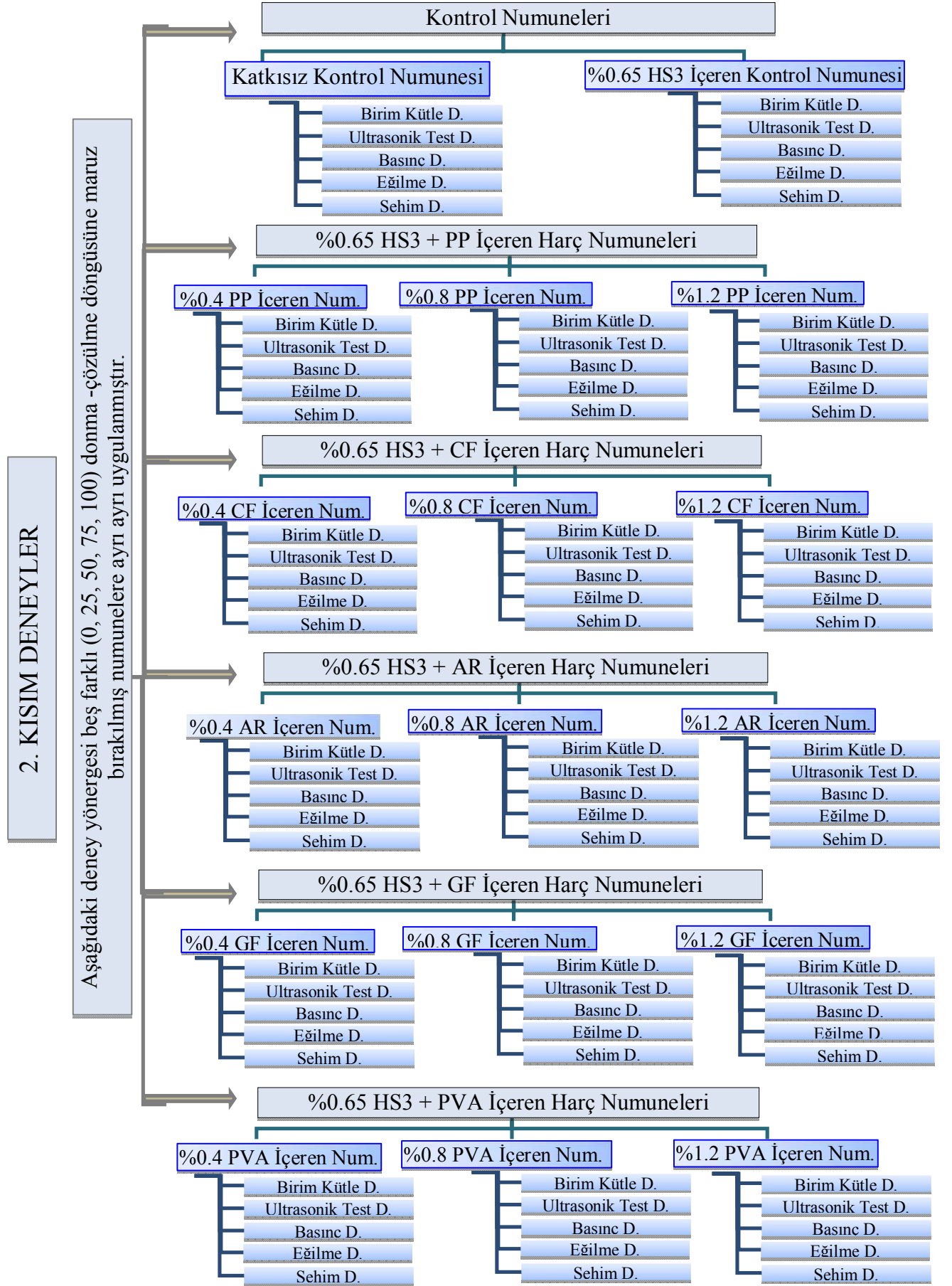
İkinci aşamada ise birinci aşamada belirlenen en uygun tür ve orandaki hava sürükleyici katkı tüm harçlarda kullanılmıştır. Buna göre harç numunelerine beş farklı türde lif (PP, CF, AR, GF ve PVA) dört farklı oranda (%0.0, %0.4, %0.8, %1.2) ilave edilerek, beş farklı donma – çözülme döngüsüne (0, 25, 50, 75, 100) maruz bırakılmış ve bu numuneler eğilme, basınç ve ultrasonik ses deneylerine tabi tutulmuştur. Bunlara ilave olarak eğilme deneyleri sırasında sehim ölçülmüş ve ayrıca kütle özellikleri de belirlenmiştir (Şekil 2.2.).

1. KISIM DENEYLER

Aşağıdaki deney yönergesi beş farklı (0, 7, 14, 28, 56) donma -çözülme döngüsüne maruz bırakılmış numunelere ayrı ayrı uygulanmıştır



Şekil 2.1. Birinci kısım deney yönerge şeması



Şekil 2.2. İkinci kısım deney yönerge şeması

2.2. Yöntem ve Deneysel Çalışmalar

2.2.1. Çimento Harcının Hazırlanması

Deneyleler için hazırlanan çimento harç numuneleri, TS EN 196-1 “Çimento deney metodları” standardına uygun olarak Gümüşhane Üniversitesi, Yapı Malzemesi Laboratuvarında üretilmiştir. Buna göre numuneler, boyutları 160 mm × 40 mm × 40 mm olacak biçimde tasarlanmış üçlü prizma kalıplara dökülmüştür.

Harcın bileşim oranları kütlece bir kısım çimento, üç kısım standart kum ve 1/2 kısım (sadece birinci kısım deneylerde bu oran 0.45) su şeklindedir. Buna göre üç deney prizmasına yetecek her kalıp takımı için öngörülen karışım 450 g çimento, 1350 g kum ve 225 g (sadece birinci kısım deneylerde bu miktar 202.5 g) sudan ibaret olmaktadır.

Daha sonra bu bileşim, adı geçen standarda uygun olarak, özel karıştırıcı (Şekil 2.3.) içerisinde 2 dakika 30 sn süreyle karıştırılır. Deney programında yer aldığı üzere, harç numunelerine HS1, HS2, HS3 Hava sürükleyici katkıları ile PP, CF, AR, GF ve PVA lifleri farklı oranlarda ilave yapılmıştır (Tablo 2.1. - Tablo 2.2.). Hava sürükleyici katkı ve lifler harca standart kumun ilavesinden hemen sonra katılmış olup, karışımın tam bağdaşık bir biçimde olabilmesi için standarttaki sürelerle ilaveten 30 saniye daha yüksek hızda karıştırma işlemi devam ettirilmiştir.



Şekil 2.3. Özel tasarım çimento harç karıştırıcısı

Hazırlanan harç bekletilmeden kalıplara doldurulup sıkıştırılmıştır. Bu işlem iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada bir miktar harç üçlü prizma kalıba konulup kalıba yayılarak, titreşim masasında yeterli bir süre (lif oranına bağlı olarak 2-5 dakika) sıkıştırılmıştır. Daha sonra kalıbın üzerindeki yaka kaldırılıp, kalıbın yüzeyi sıyrılarak, düzeltilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Sıkıştırıldıktan sonra yüzeyi düzeltilmiş harç örneği

Tablo 2.1. Birinci aşama deneylerinde kullanılan, hava sürükleyici katkı içeren 10 farklı tür harcın tasarımı

Hava sürükleyici katkıları			Standard Kum (g)	Çimento (CEM-I/42.5R) (g)	Su (g)	W/C
Türü	Çimentoya Kütlece oran (%)	Kütlesi (g)	1350	450	202,5	0,45
HS1	0,45%	2,025				
	0,55%	2,475				
	0,65%	2,925				
HS2	0,45%	2,025				
	0,55%	2,475				
	0,65%	2,925				
HS3	0,45%	2,025				
	0,55%	2,475				
	0,65%	2,925				
Katkısız kontrol numunesi	0,00%	0,00				

Tablo 2.2. İkinci aşama deneylerinde kullanılan, lif katkısı içeren 17 farklı tür harcın tasarımı

Lif katkıları			HS3 (%0,65) (g)	Standard Kum (g)	Çimento (CEM-I/42.5R) (g)	Su (g)	W/C
Türü	Hacimce oran (%)	Kütlesi (g)	2,925	1350	450	225	0,5
PP	0,40%	3,15					
	0,80%	6,30					
	1,20%	9,45					
CF	0,40%	6,08					
	0,80%	12,16					
	1,20%	18,24					
AR	0,40%	4,98					
	0,80%	9,95					
	1,20%	14,30					
GF	0,40%	9,26					
	0,80%	18,52					
	1,20%	27,79					
PVA	0,40%	4,49					
	0,80%	8,99					
	1,20%	13,48					
Kontrol numunesi-1	0,00%	0,00					
Kontrol numunesi-2	0,00%	0,00	0,00				

2.2.2. Numunelerin Deneylere Hazırlanması

Numuneler nem ortamında (23 ± 1 °C’de) 24 saat bekletildikten sonra kalıpları sökülerek çıkartılan prizmatik harç numuneleri musluk suyu ile dolu bir kür havuzunda 28 güne kadar muhafaza edilir. Ancak standartlardan farklı olarak bu çalışmadaki numuneler 40 gün kür edilmiştir. Suyun sıcaklığı 20 ± 1 °C olmalıdır. Kür işlemi tamamlandıktan sonra numuneler donma – çözülme döngülerine maruz bırakılmıştır.

2.2.3. Donma-Çözülme Cihazı ve Döngüleri

Kür işleminden sonra TS 699’a uygun olarak numuneler üzerinde donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Donma-çözülme deney aletinin çalışma prensibi Tablo 2.3.’ te verilmiştir. Donma çözülme aletinde numuneler beş farklı (birinci kısım numuneler: 0, 7, 14, 28, 56; ikinci kısım numuneler: 0, 25, 50, 75, 100) çevrime maruz bırakılmıştır.

Tablo 2.3.' ten de anlaşılabacağı üzere her bir döngü yaklaşık 6½ saat gibi bir süreç aldığından 56 ve 100 döngünün tamamlanması 16 ve 27 günlük bir süreci kapsamaktadır. Henüz hidratasyonu nihai anlamda tamamlanmamış olan çimento harçlarında 16 ve 27 günlük dayanım farkının önemli değerlere ulaşacağı açıktır. Bunun önüne geçebilmek için her döngü sonunda ilgili numuneler donma-çözölme cihazından alınarak diğer numunelerin döngü süreci tamamlanana kadar kür havuzunda beklemeye alınmıştır.

Tablo 2.3. Bir çevrim için geçen süre ve sıcaklık değerleri

1 çevrim için;		
Set sayısı	sıcaklık °C	Zaman(dk)
1.set	20	1
2.set	-15	5
3.set	-16	5
4.set	-17	5
5.set	-18	5
6.set	-20	90
7.set	-20	121
Su al bekle	20	120
Su boşalt	-	25

2.3. Deneylerin Uygulanması

Çalışmada hazırlanan numuneler kür havuzundan alınıp 24 saat boyunca etüvde kurutulup, etüv kurusu (EK) halde üç deneye tabi tutulmuştur. Bunlar eğilme, basınç ve ultrasonik test deneyleridir. Eğilme deneyi sırasında numunelerin kırılmada yaptığı sehım de ayrıca okunmuştur. Bunlara ilave olarak kütle özellikleri de belirlenmiştir.

2.3.1. Ultrasonik Test Deneyi ve Betonun Dinamik Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Betonların dayanımlarının tespitinde kullanılan tahribatsız yöntemlerden olan ve Pundit (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester) olarak adlandırılan bir cihaz tarafından belirlenen ultrases dalga hızı ölçümüdür. Cihaz tarafından gönderilen düşük frekanslı ultrasonik sinyaller malzeme içerisinden geçerek alıcılar tarafından algılanmakta ve böylece ultrasonik sinyallerin malzeme içerisinden geçiş süresi hassas olarak ölçülmektedir.

Ultrasonik test cihazı, sesüstü dalgaların, dalga gönderici ve alıcı başlıklar arasındaki bir mesafeyi ne kadar zamanda geçtiğini mikrosaniye birimiyle otomatik olarak belirlemekte ve cihazın üzerindeki ekranda göstermektedir (Şekil 2.5).

Ultrasonik sinyallerin beton içerisinden geçiş süresi betonun kalitesine bağlıdır. Ultrasonik testler sonucunda: betonun homojenliği, içindeki boşluklar, çatlaklar, beton yapısındaki kimyasal olaylarla meydana gelen değişimler ile beton dayanımı ve kalitesi ile ilgili bilgiler elde edilebilir.



Şekil 2.5 Ultrasonik test cihazı

Beton dayanımının yaklaşık olarak elde edilebilmesinde kullanılan ultrasonik test cihazından, betonun dinamik elastisite modülünün tayininde de yararlanılmaktadır.

Beton bloğun bir yüzeyinden içeriye gönderilen sesüstü dalganın, bloktaki diğer bir yüzeye ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, 2.1 eşitliğinden dalga hızı hesaplanır. Dalga hızı hesaplandıktan sonra 2.2 eşitliği ile dinamik elastisite modülü hesaplanmaktadır.

$$V = \frac{S}{t} \times 10^6 \quad (2.1)$$

V: Ultrases dalga hızı (m/s)

S: Alıcı-Verici başlıklar arası mesafe (m)

t: Zaman (μs)

$$E_d = \frac{V^2 \times \rho \times (1 + \mu) \times (1 - 2\mu)}{(1 - \mu)} \quad (2.2)$$

E_d : Dinamik elastisite modülü

ρ : Yoğunluk

μ : Poisson Oranı

formüllerinden dinamik elatisite modülüne geçiş yapılabilir.

Yukarıdaki formülde kullanılacak Poisson oranının değeri, çok düşük kalitedeki betonlarda 0.3, yüksek kalitedeki betonlarda 0.15 olarak kabul edilmektedir (Erdoğan, 2010). Genellikle $\mu = 0.2$ gibi bir değer olarak kullanılmaktadır (TS 500). Bu çalışmada da $\mu = 0.2$ olarak alınmıştır.

2.3.2. Eğilme Dayanımı Deneyi

Boyutları 40 mm × 40 mm × 160 mm olan prizma numuneler deney aletine (Şekil 2.6) yan yüzeylerden biri üzerine ve uzunluğuna, eksenini mesnet silindirlerinin eksenine dik olacak şekilde yerleştirilir. Yükleme, yükleyici silindir aracılığı ile yan yüzünden eksenine dik olarak uygulanır ve 50 ± 10 N/s hızında artırılarak numune kırılıncaya kadar sürdürülür. İki parçaya bölünmüş olan yarım prizmalar basınç dayanım deneyine kadar ıslak bir bezle sarılarak muhafaza edilir.

Eğilme dayanımı R_f , N/mm² olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır (2.3).

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (2.3)$$

Burada;

R_f : Eğilme dayanımı (N/mm²),

b : Prizma kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

F_f : Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan en büyük yük kuvveti (N),

l : Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm)'dır

2.3.3. Sehimin Ölçülmesi

Lif katkısı ile numunelerin sehim değerlerindeki değişimlerin incelenmesi amacıyla bu değerler tespit edilmiştir. Eğilme cihazı şekil değiştirme kontrol donanımına sahip olmadığından bu işlem bir dijital şekil değiştirme ölçer (ekstansometre) yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Eğilme deneyinde sehim ölçümü

2.3.4. Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı sonrası kırılan numunenin iki yarım parçası ayrı ayrı basınç dayanımına tabi tutulurlar. Böylece bir seferde üç kalıp halinde dökülen bir harç numunesinden altı farklı değer elde edilmiş olur. Yarım prizmalar, cihazın plakaları arasına ± 0.5 mm'den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plakadan veya yardımcı plakalardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilir.

Basınç aletinin çene alanı $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ 'dir. Yükleme $2400 \pm 200 \text{ N/s}$ hızla, prizma kırılıncaya kadar artırılarak sürdürülür.

Basınç dayanımı R_c , aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır (2.4).

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2.4)$$

Burada;

R_c : Basınç dayanımı (N/mm^2),

F_c : Kırılma anındaki en büyük yük kuvveti (N),

1600 : Plâkaların veya yardımcı plâkaların ($40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$) alanı (mm^2)'dir.

2.3.5. Numune Kütlesinin Değişimlerinin Tespiti

Çimento harç örneklerinin, mekanik özellikleriyle ilişkisini ortaya koymak üzere bazı fiziksel özellikleri (havadaki kütle, su içerisindeki kütle, etüv kurusu kütle) belirlenirken, TS EN 12390-7 standardında yer alan ilkeler temel alınmıştır.

Numunenin havadaki kütlesi, aşağıda verilen işlem kullanılarak belirlenir.

Numune, terazinin kefesinden alınır ve nemli bez kullanılarak yüzeylerdeki su kurulanır. Numune teraziye yerleştirilir ve havadaki kütle belirlenerek (m_a), gram cinsinden kaydedilir.

Numunenin su içerisindeki kütlesi, aşağıda verilen işlem kullanılarak belirlenir.

Boş numune kefesi su içerisine tamamen batacak ancak depo tabanına değmeyecek şekilde su deposu, yukarıya kaldırılır. Numune kefesinin görünür kütlesi (m_{st}), gram olarak kaydedilir.

Suya batırılmış numune ve kefenin toplam görünür kütlesi ($m_{st} + m_w$), gram olarak kaydedilir.

Etüv kurusu kütle; numunenin 24 saat ve/veya kütlesi sabit kalıncaya kadar, fırında (etüv) 100-110 °C sıcaklıkta kurutulduktan sonra bulunan kütlesidir.

Numune hacmi, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır (2.5).

$$V = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{\rho_w} \quad (2.5)$$

Burada;

$$\rho_c = \frac{m_a}{V}$$

V: Numunenin hacmi (m^3)

m_a : Numunenin havadaki kütlesi (g)

m_{st} : Kefenin su içerisindeki görünür kütlesi (g)

m_w : Numunenin su içerisindeki görünür kütlesi (g)

ρ_w : Suyun 998 kg/m^3 olarak kabul edilen, 20 °C sıcaklıktaki yoğunluğudur.

ρ_c : Numunenin birim kütlesi (g/cm^3)

2.4. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

2.4.1. Portland Çimentosu

Portland çimentosu klinkeri, kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikatlardan ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ve $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ve geri kalanı alüminyum ve demir ihtiva eden klinker fazları ile diğer bileşiklerden oluşan hidrolik bir maddedir. Kütlece CaO/SiO_2 oranı 2.0'den az olmamalıdır. MgO muhtevası kütlece % 5'den fazla olmamalıdır (TS EN 197-1, 2002).

Deneyler sırasında Aşkale Çimento Fabrikası tarafından üretilen CEM I 42.5 R türü çimento kullanılmıştır. Bu çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 2.4.' te verilmektedir. Bu Tabloda görüldüğü gibi MgO oranı standartta belirtilen sınırın oldukça altında kalmakta ve CaO/SiO_2 oranı da istenilen şartları sağlamaktadır ($2.77 > 2.00$).

Deneyler TS EN 196'ya göre yapılmıştır, bu yüzden harçlarda agrega olarak CEN-standart kumu kullanılmıştır.

Tablo 2.4. CEM 42.5 R tipi çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analiz (%)		Özgül Yüzey (cm^2/g)	3626
SiO_2	21,86	Katılaşma Başlangıcı (dak.)	170
Al_2O_3	4,39	Katılaşma Sonu (dak.)	225
Fe_2O_3	3,05	Özgül Kütle (g/cm^3)	3,06
CaO	60,62	Le Chatelier Genleşmesi (mm)	2
MgO	2,55	Basınç Dayanımı (MPa)	
SO_3	2,35	1. Gün sonunda	12,5
LOI	2,26	2. Gün sonunda	23,1
Toplam	97,08	28. Gün sonunda	57,4

2.4.2. Standart Kum

CEN referans kumu, tercihen yuvarlak tanecikli ve silisyum dioksit miktarı en az %98 olan doğal silis kumu olmalıdır. Tanecik büyüklük dağılımı Tablo 2.5.'te verilen sınırlar dahilinde olmalıdır. CEN standart kumu her tanecik büyüklüğüne göre ayrı ayrı veya önceden karıştırılmış deneye hazır halde 1350g'lık torbalar içinde hazır bulunmaktadır.

Tablo 2.5. CEN referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı

Kare göz açıklığı (mm)	Kümülatif elekte kalan (%)
2.0	0
1.60	7 ±5
1.00	33 ± 5
0.50	67 ± 5
0.16	87 ± 5
0.08	99 ± 1

2.4.3. Karışım Suyu

Deneysel çalışma süresince, karışımların tasarımı ve deney numunelerinin üretiminde Gümüşhane şehir şebekesi içme suyu kullanılmıştır. Karışım suyu herhangi bir bekletme, dinlendirme gibi işlemlere tabi tutulmadan şebekeden alındığı gibi kullanılmıştır.

2.4.4. Hava Sürükleyiciler

Çalışmada üç farklı tür kimyasal katkı kullanılmıştır. Bunlar bu çalışmada HS1, HS2, HS3 diye adlandırılan hava sürükleyici kimyasal katkılar olup bunlara ait bazı özellikleri Tablo 2.6.'da verilmiştir.

Tüm hava sürükleyici türleri için aynı katılım oranı kullanılmıştır. Bu durumda HS1 ve HS2 türü hava sürükleyici için kullanım talimatında verilen oranın üzerinde bir miktarda, HS3 için ise kullanım talimatında yer alan değerlerin alt sınırına yakın bir oranda ilave söz konusu olmuştur.

Tablo 2.6 Kullanılan hava sürükleyicilere ait teknik bilgiler

Teknik Özellik	HS1	HS2	HS3
Kimyasal Yapı	Yağ Alkolü ve Amonyum Tuzu Esaslı	Özel yüzey aktif maddelerden oluşan sıvı	Özel inorganik maddeler karışımı toz
Yoğunluk	0,98 - 1,02 kg/lt	0,99 – 1,03 kg/lt	0,95±0,05 kg/lt
Klor İçeriği % (EN 480-10)	0,1	En fazla %0.1, klorür içermez	-
Alkali İçeriği % (EN 480-12)	< 10	En fazla %3	-

2.4.5. Lif Katkıları

Tez çalışmasında beş farklı lif kullanılmıştır. Bunlar polipropilen lif (PP), Karbon lif (CF), Aramid lif (AR), Cam lif (GF) ve Polivinil alkol (PVA) lifleridir (Şekil 2.7). Kullanılan lif katkılara ait bazı özellikleri Tablo 2.7.' de verilmiştir.

Tablo 2.7. Deneylerde kullanılan liflerin özellikleri

ÖZELLİKLER	PP	CF	AR	GF	PVA
Özgül Kütle (g/cm^3)	0,91	1,76	1,44	2,68	1,3
Lif Uzunluğu (mm)	12	12	12	12	12
Lif Çapı (μm)	18	6,9	12	14	660
Ergime Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	160	3500	149-177	860	>200
Yanma Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	360	Yanmaz	450 (kavrulma)	Yanmaz	Yanıcı
Alkali Direnci	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Uzama (%)	8-10	1,8	3,6	2,4	7
Çekme Dayanımı (N/mm^2)	300-400	4200	2920	1700	900
Elastisite Modülü (N/mm^2)	4000	240000	83000	72000	23000



Polipropilen lifi (PP)



Karbon lifi (CF)



Aramid lifi (AR)



Cam lifi (GF)



Polivinil alkol lifi (PVA)

Şekil 2.7 Deneylerde kullanılan lif türleri

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bölüm 1’de belirtilen amaca ve Bölüm 2’de belirtilen yönergelere uygun olarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiş olup gerekli irdelemeler ayrıca yapılmıştır.

3.1. En Uygun Hava Sürükleyici Türü ve Oranının Belirlenmesi

Bu çalışmanın birinci aşamasında üç farklı türde hava sürükleyici (HS1, HS2, HS3) katkı, dört farklı oranda (%0.0, % 0.45, % 0.55, % 0.65) çimento harcına katılarak hazırlanan numuneler beş farklı donma – çözülme döngüsüne (0, 7, 14, 28, 56) maruz bırakılmıştır. Bu numuneler üzerinden hava sürükleyici katkıların çimento harçların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve donma - çözülme direnci için en uygun hava sürükleyici katkı türü ve oranı belirlenmiştir.

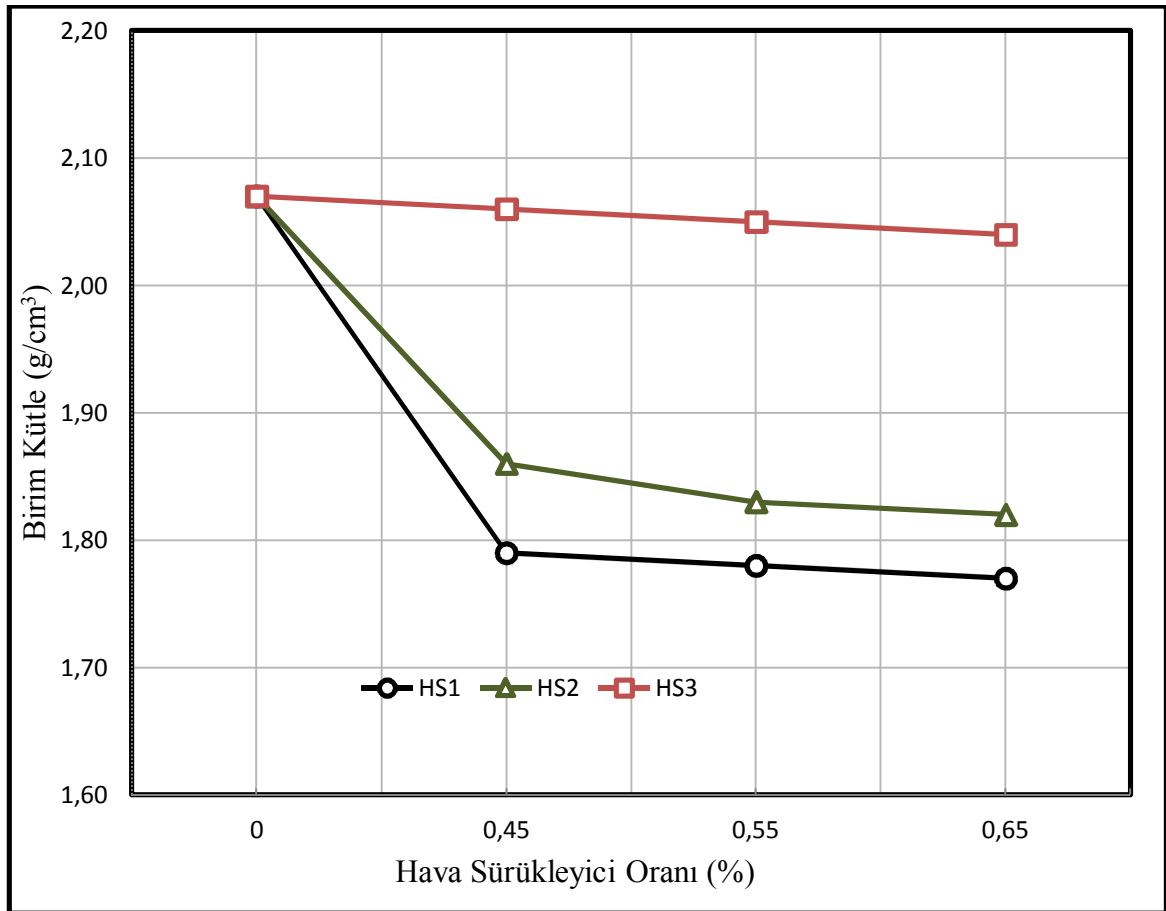
3.1.1. Hava Sürükleyici Katkıların Çimento Harçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

3.1.1.1. Hava Sürükleyici Katkıların Harçların Birim Kütlelerine Etkisi

Hava sürükleyici katkı kullanımı ile numune içerisine binlerce hava kabarcığı sürüklendiği ve bu olayın boşluk hacminde bir artışa neden olduğu için katkısız numunelere göre hava sürükleyici katkı katılan numunelerin, daha düşük kütleye sahip olması beklenmektedir. TS EN-12390-7’e göre yapılan ölçümler sonucunda katkısız numunenin birim kütlesi 2.07 g/cm^3 iken, HS1 türü hava sürükleyicinin kütlege % 0.45 oranında katılması ile numune birim kütlesinde %13.53, %0.55 oranında katılmasıyla %14.01, %0.65 oranında katılmasıyla %14.49 oranında bir azalma olmuştur. HS2 türü hava sürükleyicinin kütlege %0.45 oranında katılması ile numune birim kütlesinde %10.14, %0.55 oranında katılmasıyla %11.59, %0.65 oranında katılmasıyla %12.08 oranında bir azalma olmuştur. HS3 türü hava sürükleyicinin kütlege %0.45 oranında katılması ile numune birim kütlesinde %0.48, %0.55 oranında katılmasıyla %0.97, %0.65 oranında katılmasıyla %1.45 oranında bir azalma olmuştur. Hava sürükleyici katkıların harçların kütle özelliklerine etkisi Tablo 3.1.’de ve Şekil 3.1.’de özetlenmektedir.

Tablo 3.1. Hava sürükleyici katkıların harçların birim kütlelerine etkisi

Hava Sürükleyici Katkının Çimentoya Oranı (%Kütle)	Birim Kütle (g/cm ³)		
	HS1	HS2	HS3
% 0.00	2,07	2,07	2,07
% 0.45	1,79	1,86	2,06
% 0.55	1,78	1,83	2,05
% 0.65	1,77	1,82	2,04



Şekil 3.1. Hava sürükleyici katkıların harçların birim kütlelerine etkisi

3.1.1.2. Hava Sürükleyici Katkıların Harçların Basınç Dayanımlarına Etkisi

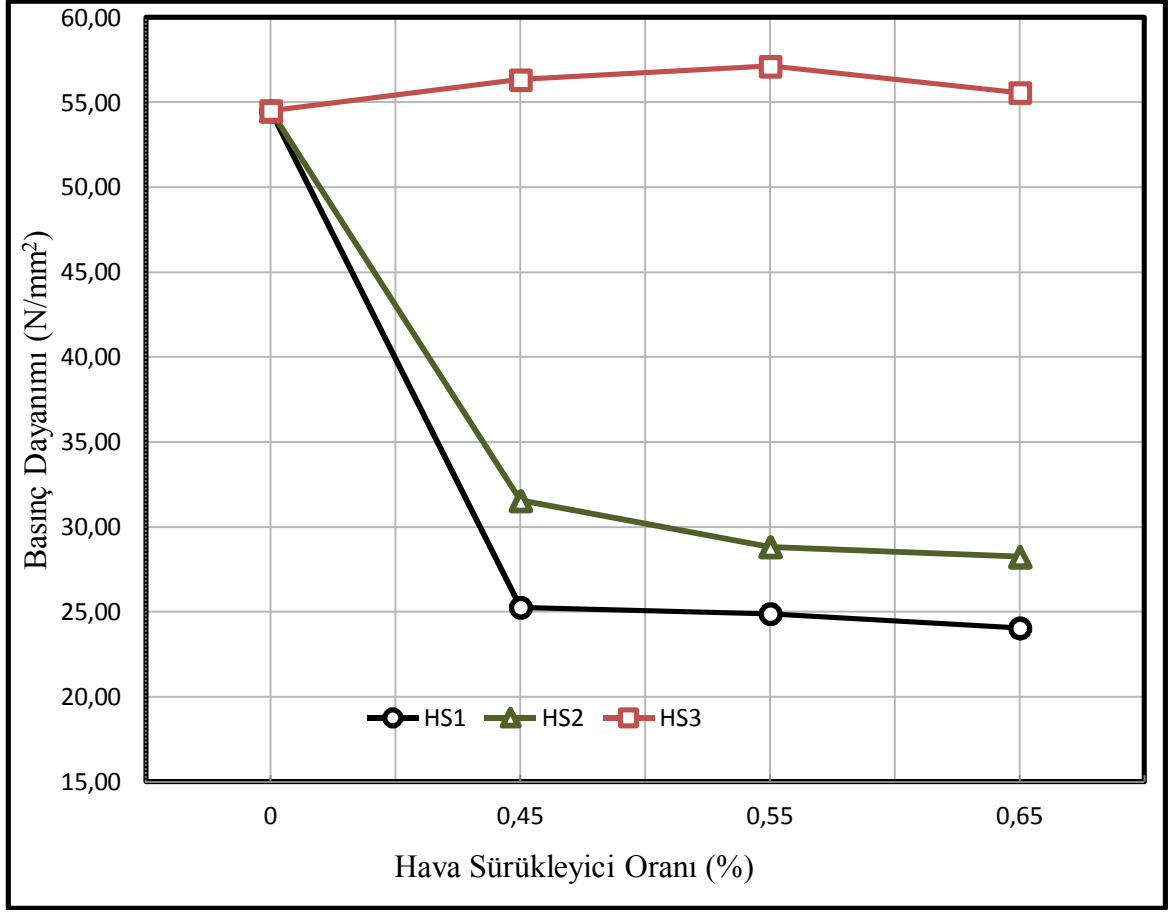
Hava sürükleyici katkıların kullanılması ile numunelerde hava boşlukları oluşacağından basınç dayanımlarında bir düşüş olması beklenmektedir. Ancak HS1 ve HS2 katkılarının ilavesiyle basınç dayanımlarında düşüş yaşanırken HS3 katkısının ilavesiyle basınç dayanımı beklenenin aksine artmıştır. Bunun sebebi ise Şekil 3.1.'de birim kütle değişiminden de anlaşılacağı gibi öncelikle daha az miktar havanın

sürüklenmesi ve bu katkının harç üzerinde akışkanlaştırıcı etki yaparak daha iyi sıkışmasını sağlayıp düzensiz hava boşluklarını engellemesi olduğu düşünülmektedir. Akışkanlaştırma etkisinin sağladığı ilave yarar, hava boşluklarının neden olduğu dayanım kaybından daha fazla olduğundan neticede basınç dayanımında artış meydana gelmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda Tablo3.2. ve Şekil 3.2.'den görüldüğü gibi HS1 türü hava sürükleyicinin kütlece %0.45 oranında katılması ile numunenin basınç dayanımı 54.5 MPa'dan %53.6 oranında bir düşüşle 25.28 MPa'a, %0.55 oranında katılmasıyla %54.3 oranında bir düşüşle 24.90 MPa'a ve %0.65 oranında katılmasıyla %55.9 oranında bir azalmayla 24.06 MPa'a düşmüştür. HS2 türü hava sürükleyici katkının kullanıldığı numunelerde de durum benzerdir. HS2 türünün kütlece %0.45 oranında katılması ile numunenin basınç dayanımı 54.5 MPa'dan %42.1 oranında bir düşüşle 31.56 MPa'a, %0.55 oranında katılmasıyla %47.1 oranında bir düşüşle 28.84 MPa'a ve %0.65 oranında katılmasıyla %48.2 oranında bir azalmayla 28.25 MPa'a düşmüştür. HS3 türü hava sürükleyicinin kullanıldığı numunelerde ise yukarıda belirtildiği gibi numunelerin basınç dayanımı artmıştır. HS3 türü katkının kütlece %0.45 oranında katılması ile numunenin basınç dayanımı 54.5 MPa'dan %3.9 oranında bir artış ile 56.34 MPa'a, %0.55 oranında katılmasıyla %4.8 oranında bir artış ile 57.13 MPa'a ve %0.65 oranında katılmasıyla %2.0 oranında bir artış ile 55.58 MPa'a yükselmiştir. Buradan HS3 türü hava sürükleyici katkı için optimum oranın %0.55 olduğu görülmektedir. Bundan daha yüksek oranlarda akışkanlaştırıcı etkinin sağladığı ilave yarar, hava sürükleyicinin oluşturduğu hava boşluklarından kaynaklanan basınç kaybından dolayı etkisini kaybetmektedir.

Tablo 3.2. Hava sürükleyici katkıların harçların basınç dayanımına etkisi

Hava Sürükleyici Katkının Çimentoya Oranı (%Kütle)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)		
	HS1	HS2	HS3
% 0.00	54,50	54,50	54,50
% 0.45	25,28	31,56	56,34
% 0.55	24,90	28,84	57,13
% 0.65	24,06	28,25	55,58



Şekil 3.2. Hava sürükleyici katkıların harçların basınç dayanımına etkisi

3.1.1.3. Hava Sürükleyici Katkıların Harçların Eğilme Dayanımlarına Etkisi

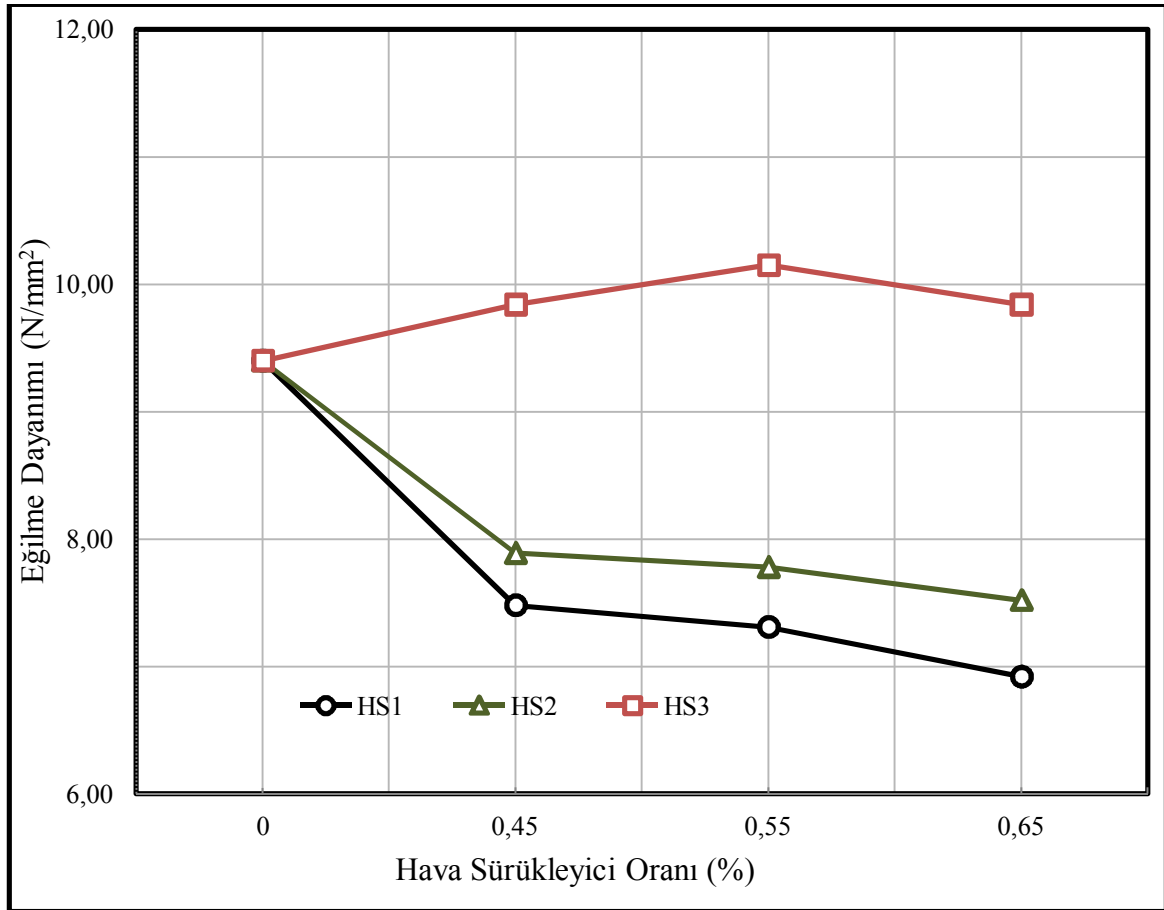
Basınç dayanımlarında ki gibi hava sürükleyici katkıların eğilme dayanımlarını da olumsuz etkilemektedir. Ancak HS3 türü hava sürükleyici akışkanlaştırıcı etkisinden dolayı eğilme dayanımında da artış meydana getirmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda Tablo 3.3. ve Şekil 3.3.' de görüldüğü gibi HS1 türü hava sürükleyicinin kütlege %0.45 oranında katılması ile numunenin eğilme dayanımı 9.40 MPa'dan %20.4 oranında bir düşüşle 7.48 MPa'a, %0.55 oranında katılmasıyla %22.2 oranında bir düşüş ile 7.31 MPa'a ve % 0.65 oranında katılmasıyla %26.4 oranında bir azalmayla 6,92 MPa'a düşmüştür. HS2 türü hava sürükleyicinin numunelerin eğilme dayanımı üzerindeki etkisi HS1 türü ile benzerlik göstermektedir. HS2 türü hava sürükleyici katkının kütlege %0.45 oranında katılması ile numunenin eğilme dayanımı %16.1 oranında bir düşüşle 7.89 MPa'a, %0.55 oranında katılmasıyla %17.2 oranında bir düşüşle 7.78 MPa'a ve %0.65 oranında katılmasıyla %20.0 oranında bir azalma ile 7.52 MPa'a düşmüştür. HS3 türü hava sürükleyici katkı, kullanıldığı numunelerde basınç

dayanımında olduğu gibi eğilme dayanımını da artırmıştır. HS3 türünün kütlece %0.45 oranında katılması ile numunenin eğilme dayanımı %4.7 oranında bir artışla 9.84 MPa'a, %0.55 oranında katılmasıyla %8.0 oranında bir artışla 10.15 MPa'a ve %0.65 oranında katılmasıyla %4.7 oranında bir artışla 9.84 MPa'a yükselmiştir

Tablo 3.3. Hava sürükleyici katkıların harçların eğilme dayanımına etkisi

Hava Sürükleyici Katkının Çimentoya Oranı (%Kütle)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)		
	HS1	HS2	HS3
% 0.00	9,40	9,40	9,40
% 0.45	7,48	7,89	9,84
% 0.55	7,31	7,78	10,15
% 0.65	6,92	7,52	9,84



Şekil 3.3. Hava sürükleyici katkıların harçların eğilme dayanımına etkisi

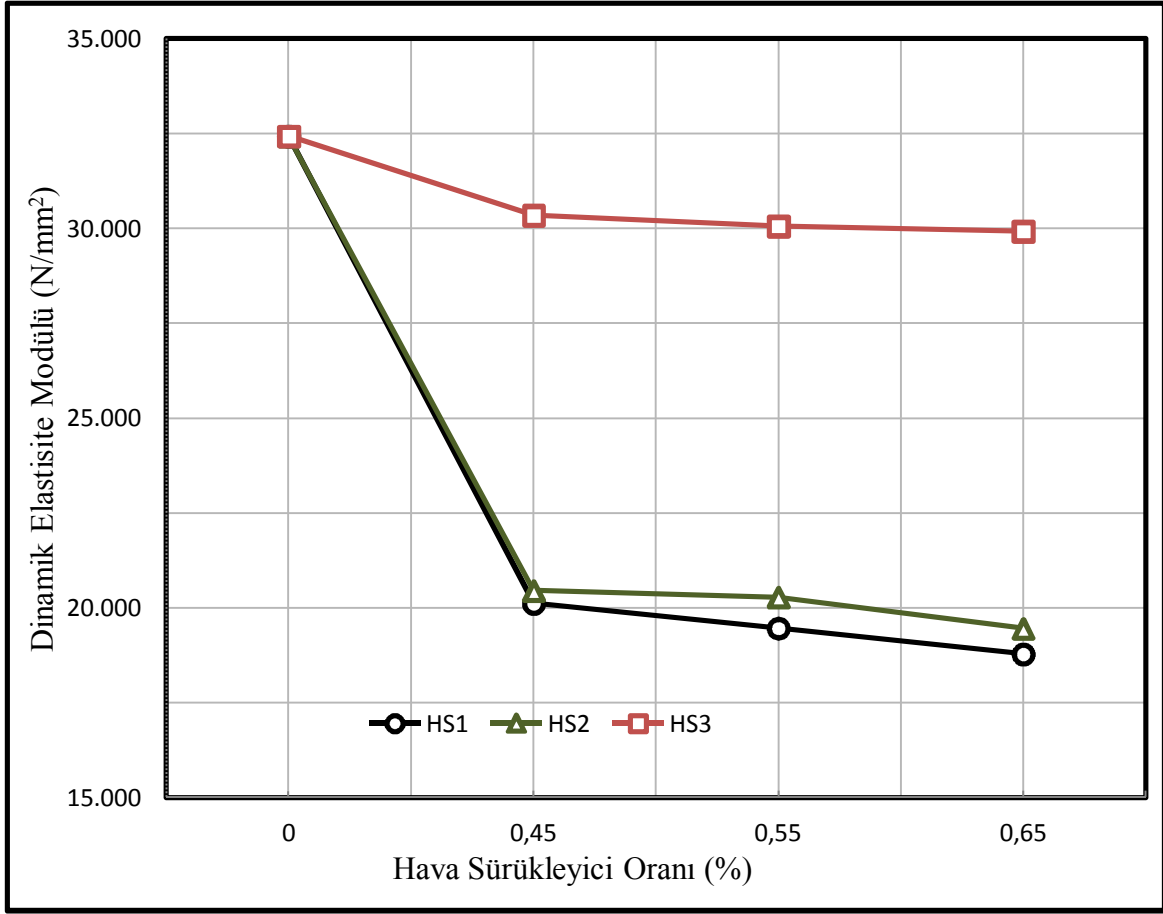
3.1.1.4. Hava Sürükleyici Katkılarının Harçların Dinamik Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi

Kütlenin azalmasına neden olan hava sürükleyici katkı bu yolla elastisite modülünü de etkilemektedir. Hava sürükleyici katılan numunelerin, katkısız numunelere göre ultrasonik dalga hızının daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ultrasonik ses aletinden gönderilen dalgaların hava sürükleyici katkı sebebiyle numune içerisinde oluşmuş olan hava kabarcıklarının etraflarını dolaşmasıyla ses dalgasının bir uçtan bir uça geçiş süresinin (mikrosaniye) artmasıdır. Bu durumda hız ve dolayısıyla dinamik elastisite modülünde bir düşüşün olacağı aşikârdır.

Yapılan deneyler sonucunda katkısız numunenin dinamik elastisite modülü 32.44 GPa iken, HS1 türü hava sürükleyicinin kütlece %0.45 oranında katılması ile dinamik elastisite modülünde %37.97 , %0.55 oranında katılmasıyla %39.98, %0.65 oranında katılmasıyla %42.08 oranında bir azalma olmuştur. HS2 türü hava sürükleyicinin kütlece %0.45 oranında katılması ile dinamik elastisite modülünde %36.92 , %0.55 oranında katılmasıyla %37.46, %0.65 oranında katılmasıyla da %40.00 oranında bir azalma olmuştur. HS3 türü hava sürükleyicinin kütlece %0.45 oranında katılması ile elastisite modülünde %6.44 , %0.55 oranında katılmasıyla %7.32, %0.65 oranında katılmasıyla da %7.73 oranında bir azalma olmuştur. Hava sürükleyici türü ve oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki Tablo3.4. ve Şekil 3.4.' te belirtilmektedir.

Tablo 3.4. Hava sürükleyici katkıların harçların dinamik elastisite modülüne etkisi

Hava Sürükleyici Katkının Çimentoya Oranı (%Kütle)	Dinamik Elastisite Modülü (N/mm ²)		
	HS1	HS2	HS3
% 0.00	32437	32437	32437
% 0.45	20120	20460	30348
% 0.55	19469	20286	30063
% 0.65	18787	19461	29929



Şekil 3.4. Hava sürükleyici katkıların harçların dinamik elastisite modülüne etkisi

3.1.2. Hava Sürükleyici Katkıların Donma-Çözülme Direnci Üzerindeki Etkisi

Çimento harçlarına üç farklı (HS1, HS2, HS3) hava sürükleyici katkı, dört farklı oranda (%0.00, % 0.45, % 0.55, % 0.65) katılarak hazırlanan numuneler beş farklı donma-çözülme döngüsüne (0, 7, 14, 28, 56) maruz bırakılmış ve basınç dayanımı, eğilme dayanımı ile dinamik elastisite modülündeki değişimler incelenmiştir.

3.1.2.1. Donma-Çözülme Döngüsüne Maruz Harçlarda, Hava Sürükleyici Katkıların Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi

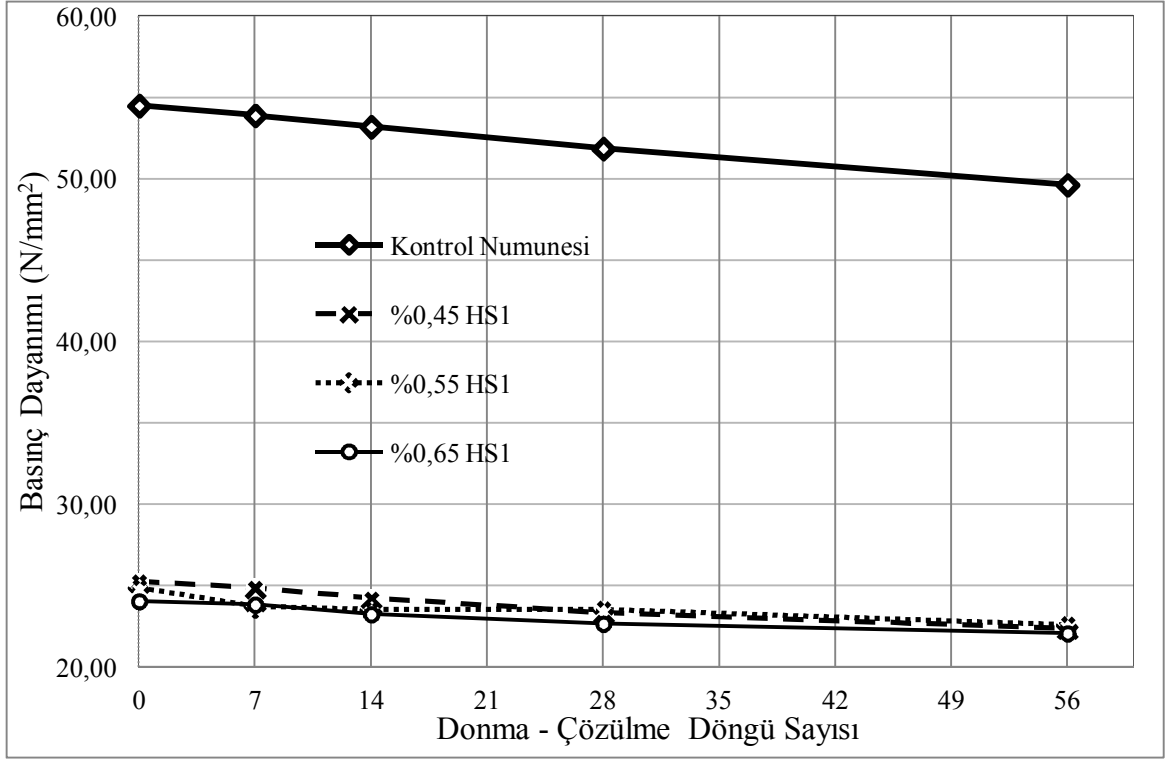
Donma-çözülme deneylerine tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneylerin sonucunda, donma-çözülme döngüsü Tablo 3.5.'te görüldüğü gibi tüm numunelerin basınç dayanımlarını düşürmüştür. Donma-çözülme hasarı kendini hemen ilk 7 döngüde göstermekte olup bu döngü sayısı artıkça numunelerin basınç dayanımı döngü sayısına ters orantılı olarak düşmüştür.

Tablo 3.5. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, hava sürükleyici katkıların basınç dayanımlarına etkisi

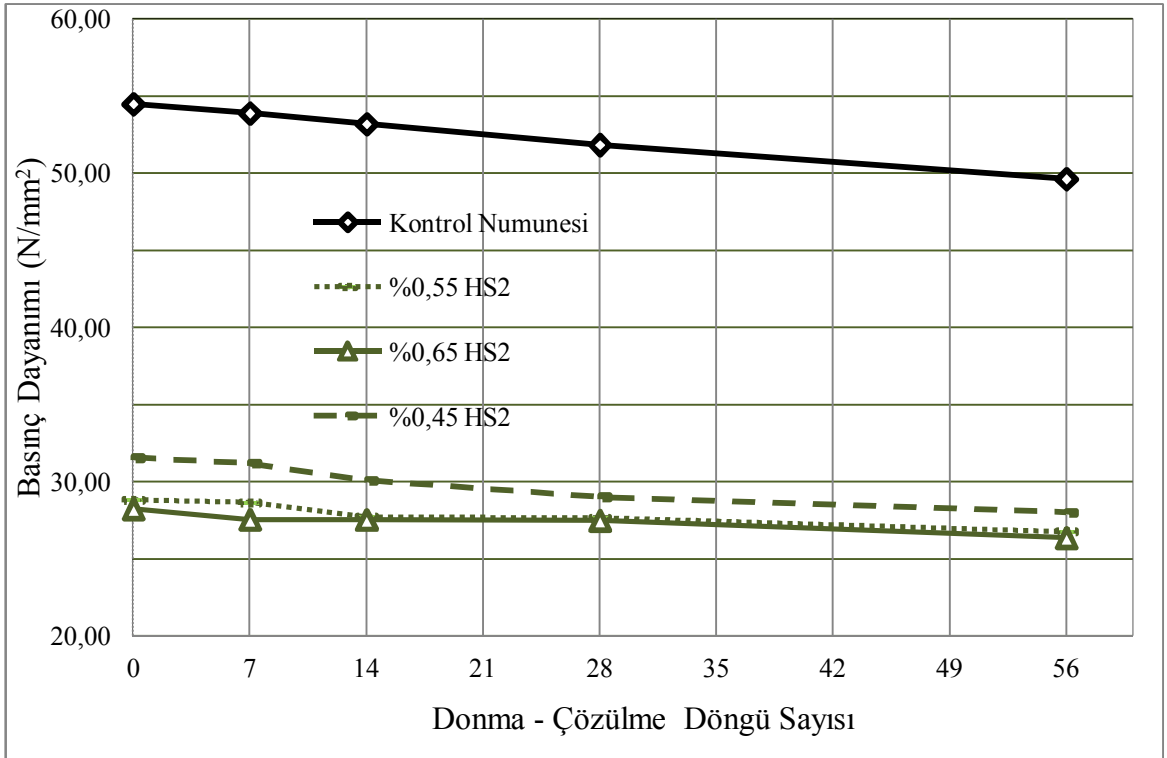
D-Ç döngü sayısı	Basınç Dayanımı (N/mm ²)									
	Kontrol Numunesi	HS1			HS2			HS3		
		% 0,45	% 0,55	% 0,65	% 0,45	% 0,55	% 0,65	% 0,45	% 0,55	% 0,65
0	54,50	25,28	24,90	24,06	31,56	28,84	28,25	56,34	57,13	55,58
7	53,90	24,89	23,74	23,85	31,20	28,67	27,57	55,81	56,17	54,76
14	53,20	24,24	23,54	23,26	30,10	27,73	27,55	54,83	55,36	54,59
28	51,86	23,36	23,56	22,68	29,03	27,66	27,50	52,96	54,21	53,76
56	49,64	22,38	22,60	22,09	28,03	26,78	26,38	51,72	52,76	52,17

Kontrol numunelerimiz donma-çözülme etkisine maruz değilken 54.50 MPa basınç dayanımı sergilerken, 56 donma-çözülme döngü sonunda %8.92 oranında bir azalmayla 49.64 MPa dayanıma düşmüştür.

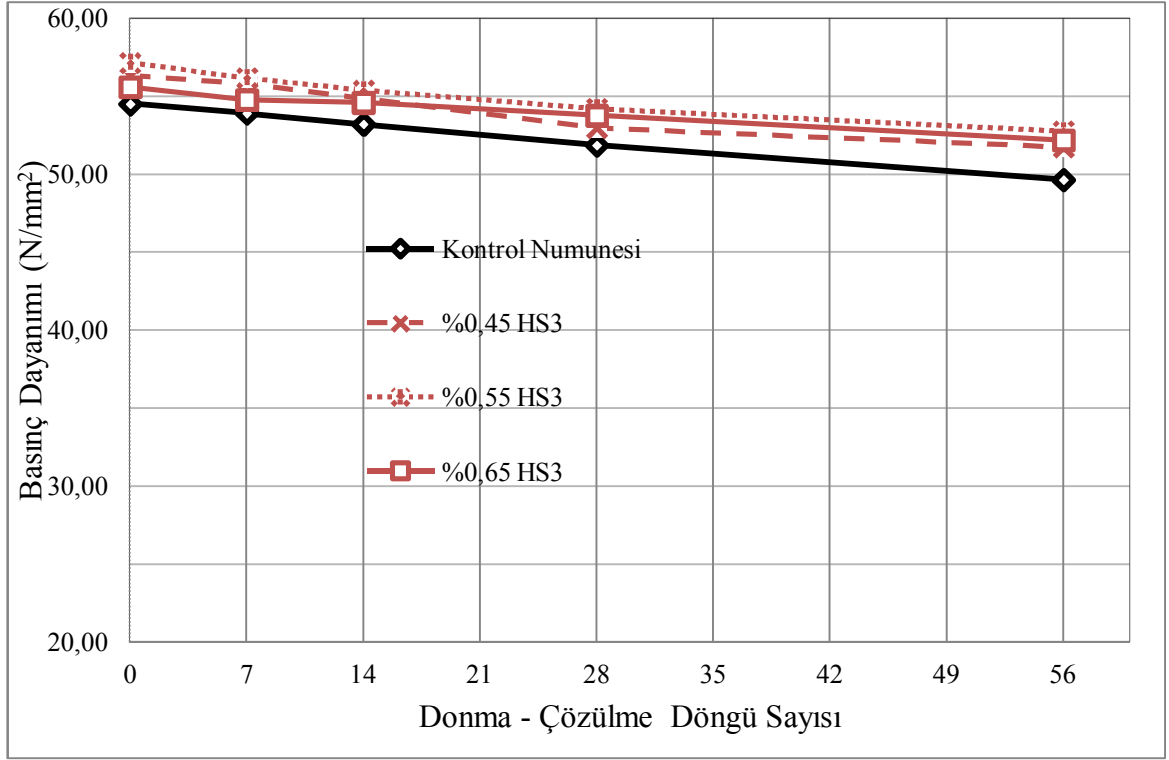
HS1 türü hava sürükleyici katkının kullanıldığı numunelerin donma-çözülme direnci incelendiğinde, harca kütlece %0.45 oranında katılan numunenin basınç dayanımı 56 döngü sonunda 25.28 MPa'dan %11.47 oranında bir düşüşle 22.38 MPa'a, %0.55 oranında katılan numunenin basınç dayanımı 24.90 MPa'dan %9.24'lik bir düşüşle 22.60 MPa'a ve %0.65 oranında katılan numunenin basınç dayanımı 24.06 MPa'dan %8.19 oranında bir azalmayla 22.09 MPa'a düşmüştür (Şekil 3.5.). HS2 türü hava sürükleyici katkının kullanıldığı numunelerde ise durum benzerdir. Kütlece %0.45 oranında katılan numunenin basınç dayanımı 56 döngü sonunda 31.56 MPa'dan %11.19 oranında bir düşüşle 28.03 MPa'a, %0.55 oranında katılan numunenin basınç dayanımı 28.84 MPa'dan %7.14 oranında bir düşüşle 26.78 MPa'a ve %0.65 oranında katılan numunenin basınç dayanımı ise 28.25 MPa'dan %6.62 azalmayla 26.38 MPa'a düşmüştür (Şekil 3.6.). HS3 türü hava sürükleyici katkının kullanıldığı numunelerde ise düşüş daha azdır. HS3 türü hava sürükleyici katkının kütlece %0.45 oranında katılan numunenin basınç dayanımı 56 döngü sonunda 56.34 MPa'dan %8.20 oranında bir düşüşle 51.72 MPa'a, %0.55 katıldığı numunede 57.13 MPa'dan %7.65 oranında bir düşüşle 52.76 MPa'a ve %0.65 oranında katılan numunede ise 55.58 MPa'dan %6.14 oranında bir azalma ile 52.17 MPa'a düşmüştür (Şekil 3.7.).



Şekil 3.5. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS1 oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

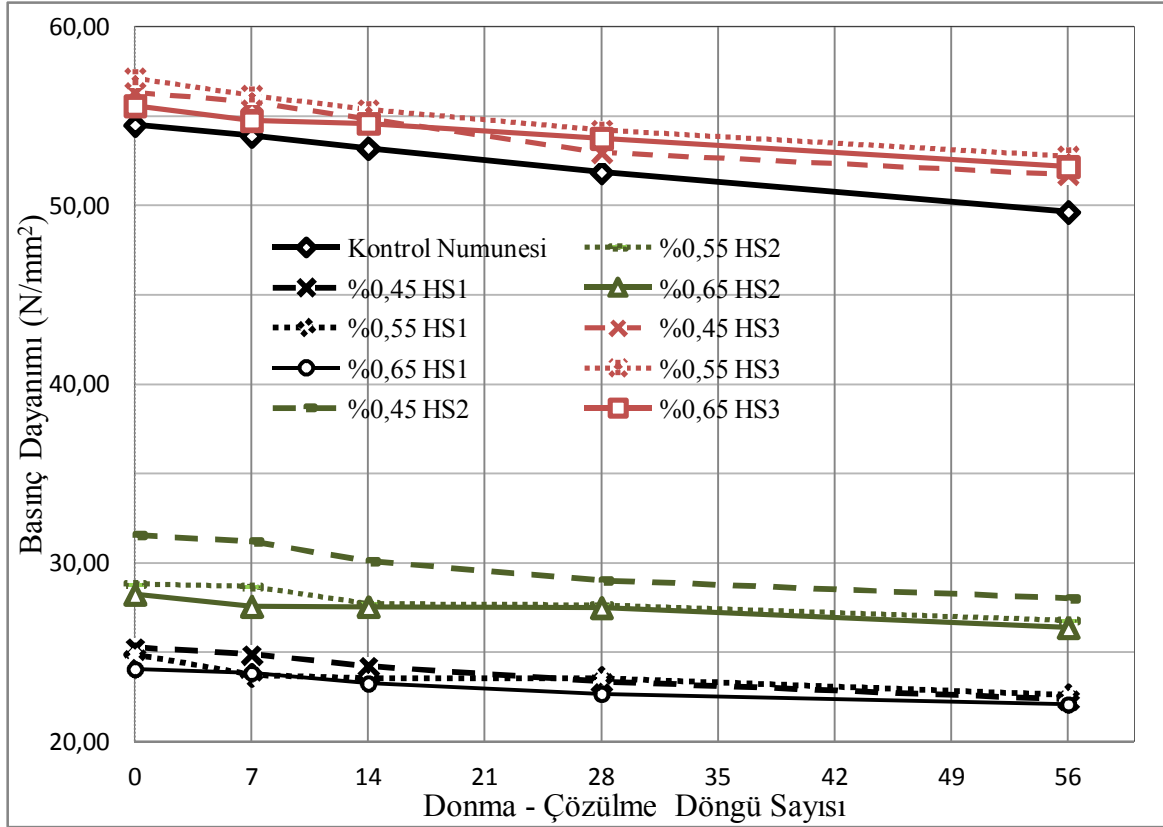


Şekil 3.6. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS2 oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.7. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS3 oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Donma-çözülme döngüsü sonunda numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde HS1 ve HS2 türü hava sürükleyicinin olumlu etkisi 56 donma-çözülme döngüsü sonunda kontrol numunesine kıyasla pek görülmemiştir. Bunun nedeni de Şekil 3.2. görüldüğü gibi basınç dayanımını %50'den fazla düşürmesidir. Basınç dayanımındaki bu düşüş donma-çözülme döngüsünden sonra da görülmektedir. Numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde donma-çözülme direncine karşı en iyi dayanımı HS3-%0.65 göstermiştir. Kontrol numunesi 56 döngü sonunda en yüksek %8.92 düşerken HS3-%0.65 ise %6.14 oranında düşmüştür. Şayet bu döngü sayısı artırılmış olsaydı (300-400 döngü) hava sürükleyicilerin etkisi muhtemelen daha net görülebilecekti. Bu sebeple hava sürükleyici katkı oranı artıktıkça donma çözülme direncinin arttığı söylenebilir. Hava sürükleyici katkı türü ve oranlarının basınç dayanımları üzerindeki etkisi Şekil 3.8.'de özetlenmektedir.



Şekil 3.8. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, hava sürükleyici katkı türü ve oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

3.1.2.2. Donma-Çözülme Döngüsüne Maruz Harçlarda, Hava Sürükleyici Katkıların Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkisi

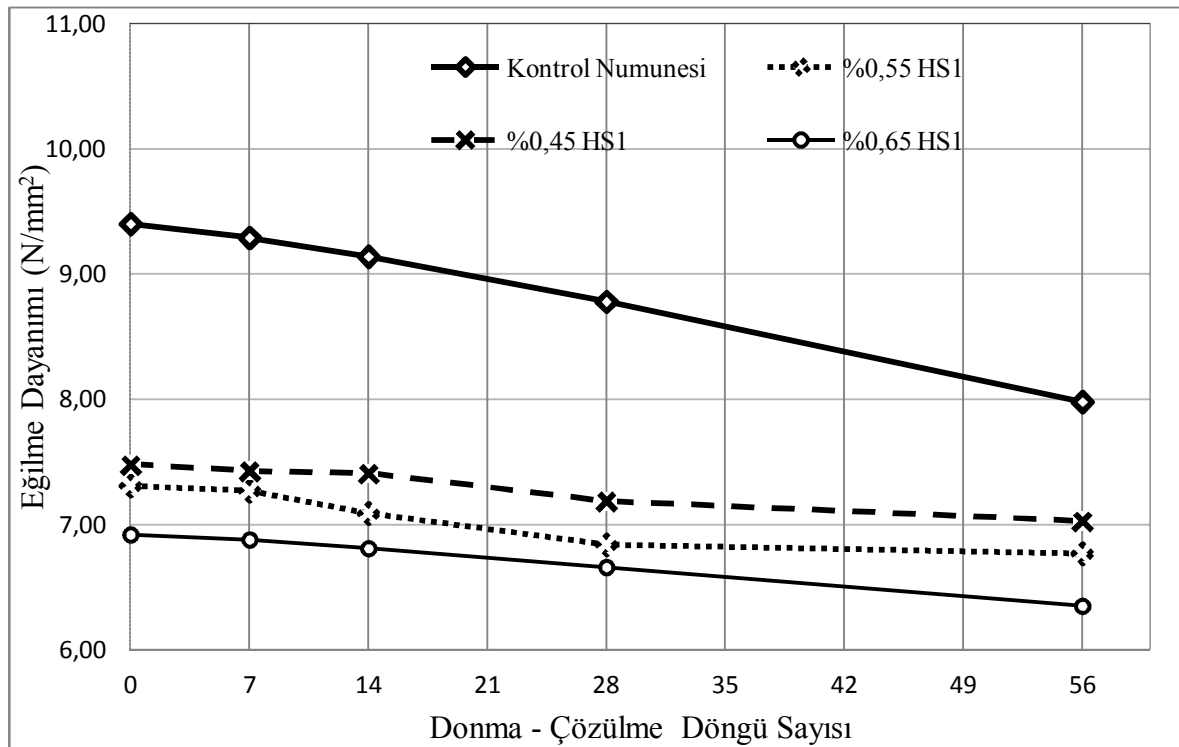
Yapılan deneyler sonucunda donma-çözülme hasarı basınç dayanımında olduğu gibi eğilme dayanımını da düşürmüştür (Tablo 3.6.).

Tablo 3.6. Donma-çözülme döngülerine maruz harçlarda, hava sürükleyici katkıların eğilme dayanımlarına etkisi

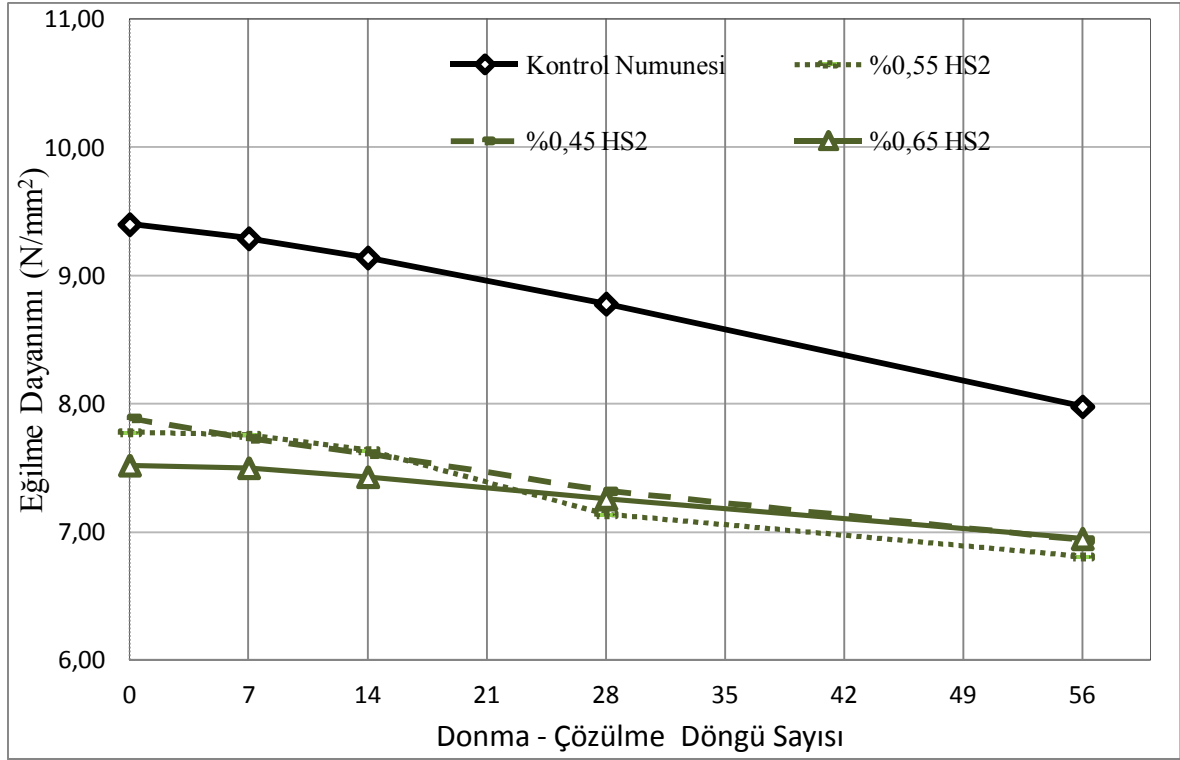
D-Ç döngü sayısı	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)									
	Kontrol Numunesi	HS1			HS2			HS3		
		% 0,45	% 0,55	% 0,65	% 0,45	% 0,55	% 0,65	% 0,45	% 0,55	% 0,65
0	9,40	7,48	7,31	6,92	7,89	7,78	7,52	9,84	10,15	9,84
7	9,29	7,43	7,27	6,88	7,73	7,76	7,50	9,55	9,97	9,59
14	9,14	7,41	7,09	6,81	7,61	7,64	7,43	9,26	9,73	9,32
28	8,78	7,19	6,84	6,66	7,32	7,14	7,26	8,93	9,52	9,09
56	7,98	7,03	6,77	6,35	6,94	6,91	6,95	8,47	9,28	8,56

Donma-çözülme döngüsünün numunelerin eğilme dayanımı üzerindeki etkisi incelendiğinde katkısız kontrol numunesinin eğilme dayanımında 56 donma-çözülme döngüsü sonunda 9.40 MPa'dan %15.11 oranında bir düşüşle 7.98 MPa'a düşmüştür.

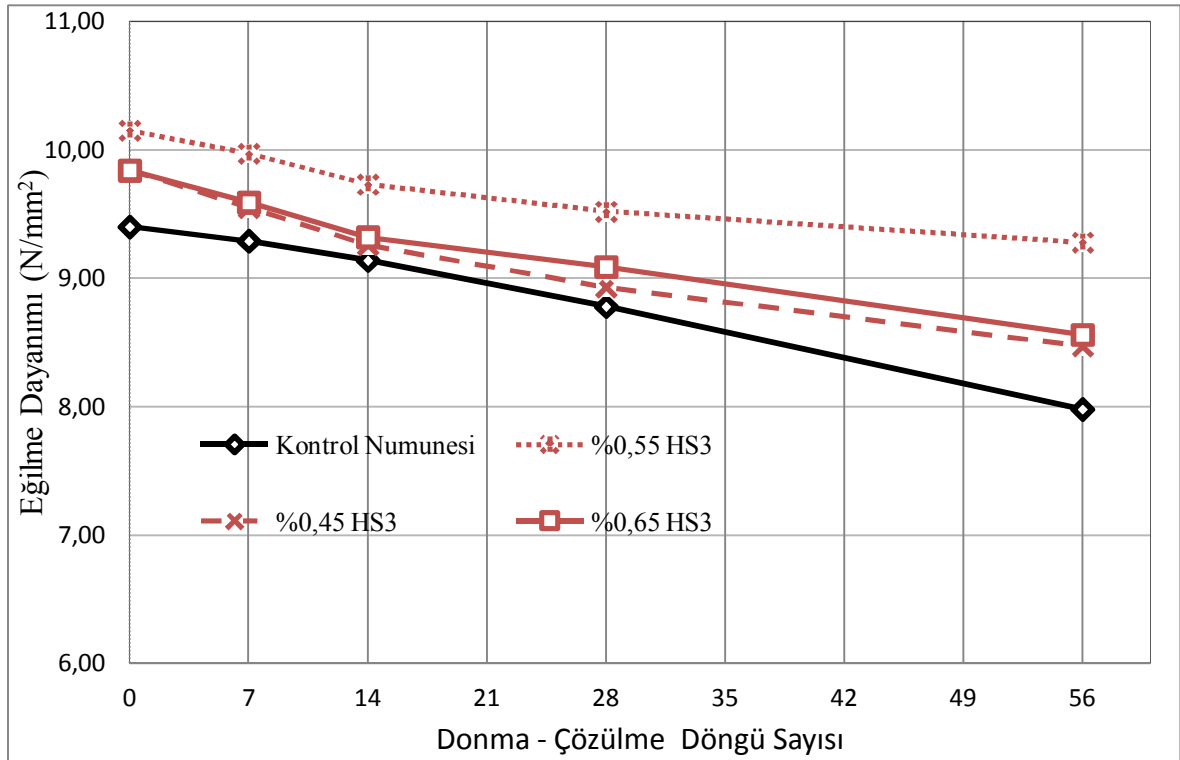
HS1 türü hava sürükleyici katkının kütlece %0.45 oranında katılan numunesinin eğilme dayanımı 56 döngü sonunda 7.48 MPa'dan %6.02 oranında bir düşüşle 7.03 MPa'a, %0.55 oranında katılan numunesinin eğilme dayanımı 7.31 MPa'dan %7.39 oranında bir düşüşle 6.77 MPa'a ve %0.65 oranında katılan numunesinin eğilme dayanımı ise 7.78 MPa'dan %8.24 oranında bir azalmayla 6.35 MPa'a düşmüştür (Şekil 3.9.). HS2 türü hava sürükleyicinin kullanıldığı numunelerde düşüş oranı daha fazladır. HS2 türünün kütlece %0.45 oranında katıldığı numunenin eğilme dayanımı 56 döngü sonunda %12.04, %0.55 oranında katılan numunede %11.18 ve %0.65 oranında katılan numunede ise %7.58 oranında bir düşüş oluşmuştur (Şekil 3.10.). HS3 türünün kullanıldığı numunelerde düşüş oranı daha yüksektir. HS3 türünün kütlece %0.45 oranında katıldığı numunenin eğilme dayanımı 56 döngü sonunda 9.84 MPa'dan %13.92 oranında bir düşüşle 8.47 MPa'a %0.55 oranında katıldığı numunenin eğilme dayanımı 10.15 MPa'dan %8.57 oranında bir düşüşle 9.28 MPa'a ve %0.65 oranında katıldığı numunenin eğilme dayanımı ise 9.84 MPa'dan %13.01 oranında bir azalmayla 8.56 MPa'a düşmüştür (Şekil 3.11.).



Şekil 3.9. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS1 oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

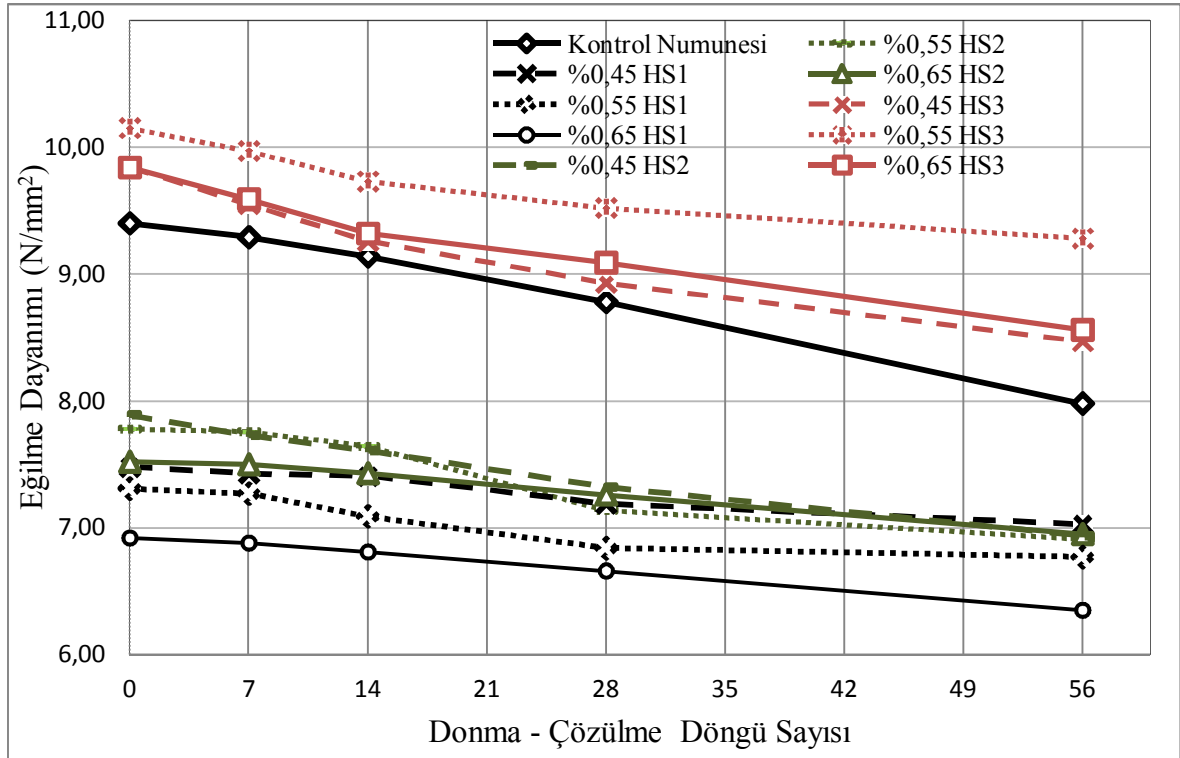


Şekil 3.10. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS2 oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.11. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS3 oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

Hava sürükleyici türü ve oranların eğilme dayanımları üzerindeki etkisi Şekil 3.12.'de özetlenmiştir. Donma çözülme döngüleri bütün numunelerin eğilme dayanımını düşürmüştür. Hava sürükleyici katkı içeren numuneler katkısız kontrol numuneleriyle kıyaslandığında donma çözülme direncine karşı daha iyi performans sergilediği görülmektedir. 56 donma-çözülme döngüsü sonunda basınç dayanımında en iyi başarımı HS3 katkısı %0.65 katılım oranı ile gösterirken eğilme dayanımında en iyi başarımı HS1 katkısı %0.45 katılım oranı ile göstermiştir. Kontrol numunesinin eğilme dayanımı 56 döngü sonunda %15.11 düşerken HS1-%0.45 numunesinin eğilme dayanımı %6.02 düşmüştür. Diğer bir deyişle kontrol numunesinin 56 döngü sonunda eğilme dayanımı 1.42 N/mm² düşerken HS1-%0.45 numunesinin eğilme dayanımı ise sadece 0.45 N/mm² düşmüştür. Buradan hava sürükleyici katkıların uygun oranlarda kullanılmaları halinde harç numunelerinin donma-çözülme dirençlerini artırabileceği söylenebilir. Ayrıca eğilim çizgilerinin eğimleri incelendiğinde, özellikle döngü sayısının artırılması ile (mesela 300 döngü gibi) hava sürükleyici içeren örneklerin dayanımlarının daha da yüksek kalacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.12. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, hava sürükleyici türü ve oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

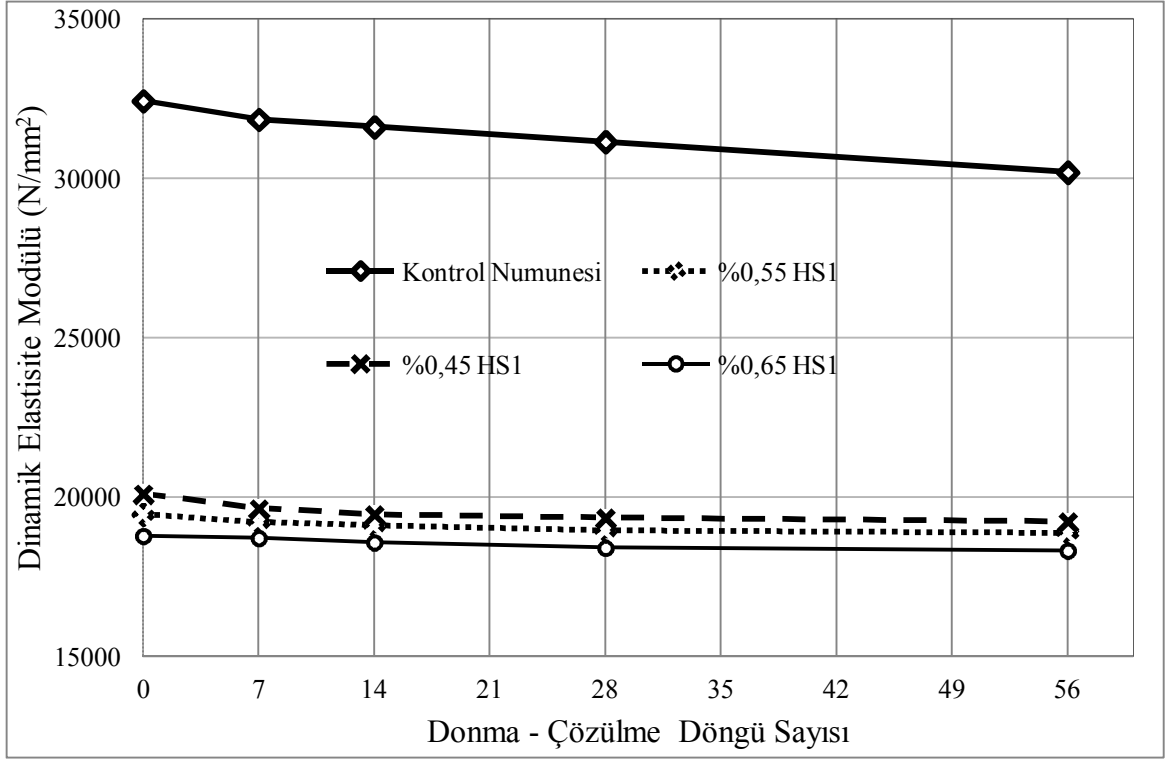
3.1.2.3. Donma-Çözülme Döngüsüne Maruz Harçlarda, Hava Sürükleyici Katkıların Dinamik Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi

Donma çözülme döngüleri basınç ve eğilme dayanımlarında ki gibi dinamik elastisite modülünü de düşürmüştür. Ancak hava sürükleyici katkılı numunelerdeki düşüş kontrol numunesinden daha düşük kalmıştır (Tablo 3.7.).

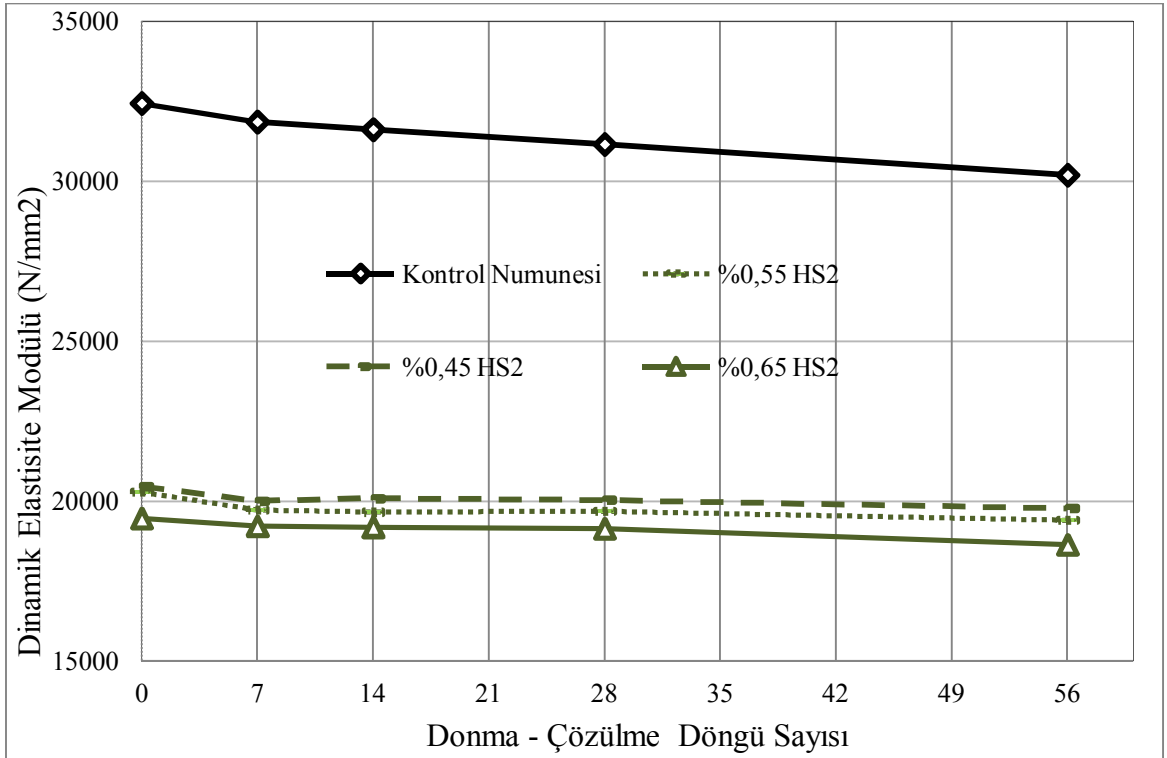
Tablo 3.7. Donma-çözülme döngülerine maruz harçlarda, hava sürükleyici katkıların dinamik elastisite modülüne etkisi

D-Ç döngü sayısı	Dinamik Elastisite Modülü (N/mm ²)									
	Kontrol Numunesi	HS1			HS2			HS3		
		% 0,45	% 0,55	% 0,65	% 0,45	% 0,55	% 0,65	% 0,45	% 0,55	% 0,65
0	32437	20120	19469	18787	20460	20286	19461	30348	30063	29929
7	31854	19659	19218	18724	20003	19721	19212	30191	30007	29703
14	31619	19463	19110	18585	20084	19658	19191	29918	29874	29686
28	31155	19360	18957	18417	20036	19685	19141	29869	29812	29590
56	30198	19242	18884	18326	19779	19410	18638	29617	29506	29453

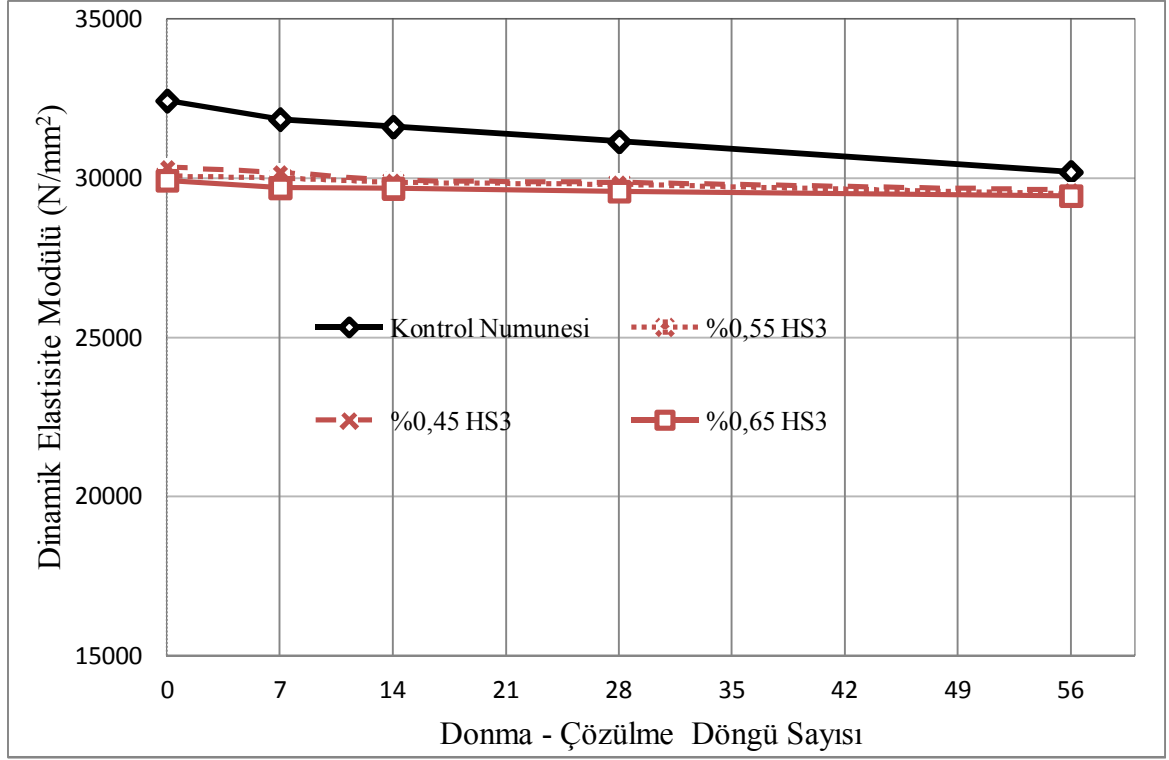
Hazırlanan numuneler 5 farklı donma çözülme döngüsüne maruz bırakılmış ve dinamik elastisite modüllerindeki değişim incelenmiştir. Katkısız kontrol numunesinin dinamik elastisite modülü 56 donma-çözülme döngüsü sonunda 32.44 GPa'dan %6.90 oranında bir düşüşle 30.20 GPa'a düşmüştür. Hava sürükleyici katkıların kullanıldığı numunelerdeki düşüş kontrol numunesine kıyasla daha azdır. HS1 türü hava sürükleyicinin kütlege %0.45 oranında katılan numunenin dinamik elastisite modülündeki düşüş 56 döngü sonunda %4.36, %0.55 oranında katılan numunenin %3.00 ve %0.65 oranında katılan numunenin ise %2.45 oranındadır (Şekil 3.13.). HS2 türü hava sürükleyicinin kütlege %0.45 oranında ilave edilerek hazırlanan numunenin dinamik elastisite modülünde 56 döngü sonunda %3.33, %0.55 oranında ilave edilen numunenin %4.32 ve %0.65 oranında ilave edilen numunenin ise %4.23 oranında bir düşüş meydana gelmiştir (Şekil 3.14.). HS3 türü hava sürükleyicinin kullanıldığı numunelerde ise düşüş oranı daha azdır. HS3 türünün kütlege %0.45 oranında katılan numunenin dinamik elastisite modülü 56 döngü sonunda %2.41, %0.55 oranında katılan numunenin %1.85 ve %0.65 oranında katılan numunenin %1.59 oranında düşmüştür (Şekil 3.15.).



Şekil 3.13. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS1 oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki

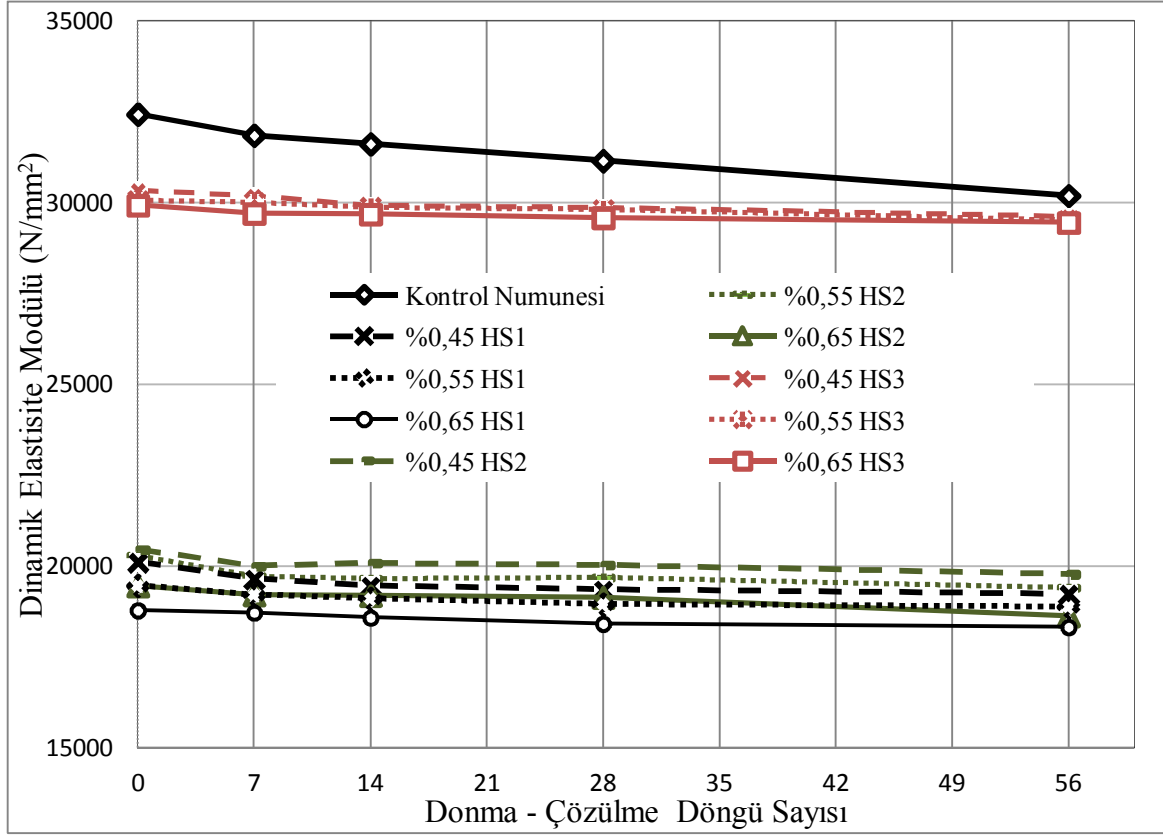


Şekil 3.14. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS2 oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki



Şekil 3.15. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, HS3 oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki

Hava sürükleyici türü ve oranlarının dinamik elastisite modülü üzerindeki etkisi Şekil 3.16.'da özetlenmektedir. Donma çözülme döngüleri sonunda bütün numunelerin dinamik elastisite modülünde bir düşüş meydana gelmiştir. Ancak katkılı numunelerdeki düşüş kontrol numunesine kıyasla daha azdır. 56 döngü sonunda kontrol numunesinin dinamik elastisite modülü 32.44 GPa'dan %6.90 oranında bir düşüşle 30.20 GPa'a düşerken kütlece %0.65 oranında HS3 içeren numunenin dinamik elastisite modülü ise 29.93 GPa'dan %1.59 oranında bir azalmaya 29.45 GPa'a düşmüştür. Diğer bir deyişle kontrol numunesinin 56 donma-çözülme döngüsü sonunda dinamik elastisite modülünde ki düşüş 2.24 GPa'ken, kütlece %0.65 HS3 katkısı içeren numunenin dinamik elastisite modülünde ki düşüş sadece 0.48 GPa'dır.



Şekil 3.16. Donma-çözülme döngüsüne maruz harçlarda, hava sürükleyici türü ve oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki

3.1.3. En Uygun Hava Sürükleyici Türü ve Oranının Seçilmesi

Hava sürükleyici tür ve oranının, donma-çözülme döngüsüne maruz çimento harçlarının mekanik özelliklerine etkisinin incelendiği kısmın sonunda; diğer aşamalarda kullanılmak üzere en uygun hava sürükleyici tür ve oranının seçiminin yapılması gerekmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere, tüm hava sürükleyici türleri için aynı oran kullanıldığından, HS1 ve HS2 türü hava sürükleyici için kullanım talimatında verilen oranın üzerinde bir miktarda, HS3 için ise kullanım talimatında yer alan değerlerin alt sınırına yakın bir oranda ilave söz konusu olmuştur. Bu sebeple HS1 ve HS2 hava sürükleyici katkılı harçların özelliklerinde aşırı bir düşüş söz konusu olmuştur.

Donma-çözülme döngülerinden sonra kontrol numunesi ile kıyaslandığında donma-çözülme etkilerine karşı en iyi başarıyı hem basınç dayanımı hem eğilme dayanımı ve hem de dinamik elastisite modülü için HS3 türü katkı, %0.65 katılım oranıyla göstermiştir. Bu sebeple, 2. aşama deneylerinde hava sürükleyici türü olarak HS3 katkısı, katılım oranı ise kütlece %0.65 olarak seçilmiştir.

3.2. Lif Katkısının Çimento Harçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

3.2.1. Lif Katkısının Harçların Birim Kütlesine Etkisi

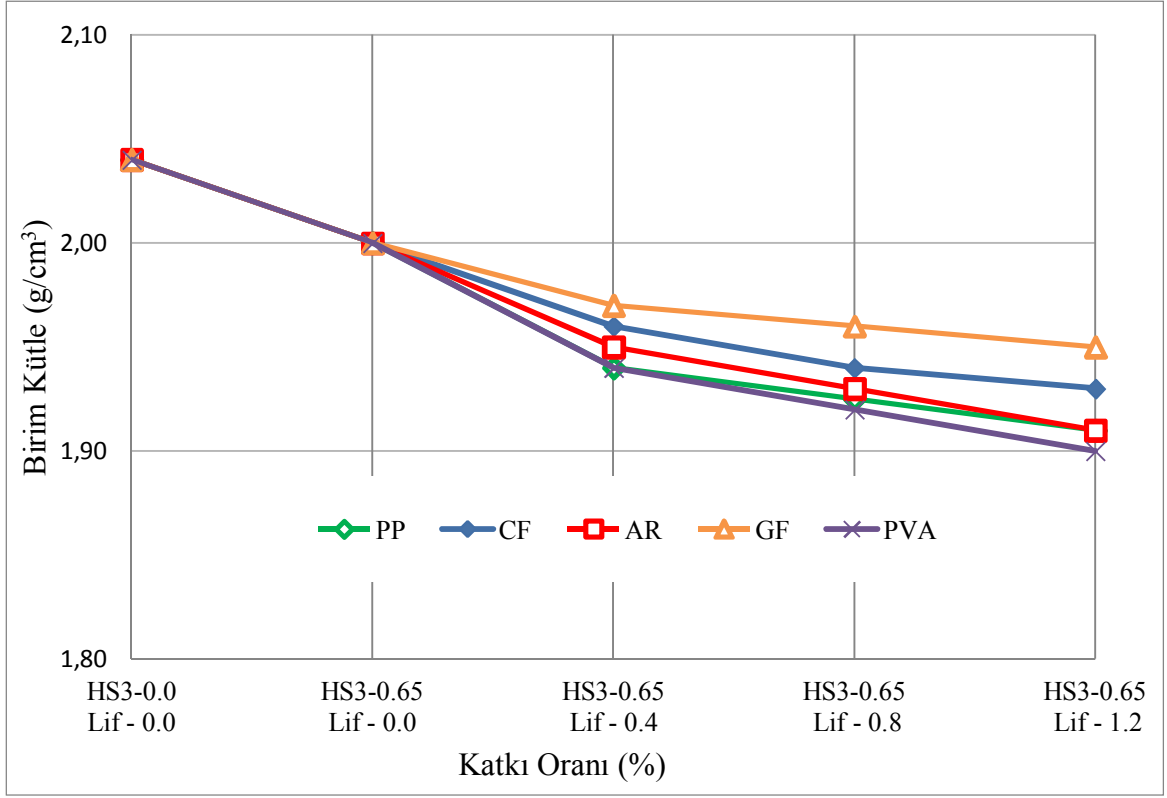
Lifler harçlara eklendiğinde, birim kütlesi harcın birim kütlesinden (2.00 g/cm^3) yüksek (GF) olan liflerin, harçların birim kütlesini artırması, birim kütlesi harcınkinden az (PP, CF, AR, PVA) olanların ise harçların birim kütlesini düşürmesi beklenir. Ancak tüm lif katkıların harcın birim kütlesini düşürdüğü görülmüştür. Bunun sebebinin adı geçen liflerin hidrofilik (su seven) yapısı nedeniyle ilave suyu emmesi ve sıkıştırmaya olumsuz etki yapmasıdır. Bu sebeple aynı zamanda lif katkılı harçların mekanik özelliklerinde de bir düşüş söz konusu olabilmektedir. Bundan dolayı lif ilave oranı artıkça harcın birim kütlesi ters orantılı olarak düşmüştür. Hatta en büyük düşüş birim kütlesi (0.91 g/cm^3) en düşük lif olan PP ilavesinde değil birim kütlesi (1.3 g/cm^3) daha büyük olan PVA lif katkısında olmuştur.

Birim kütlesi 2.04 g/cm^3 olan harca, hava sürükleyici katkı maddesinin ilave edilmesi ile harcın birim kütlesi 2.00 g/cm^3 'e düşerken lif katkıların ilavesi ile bu değer daha da düşmüştür. Hacimce %1,2 oranında PP, CF, AR, GF, PVA lifleri harca eklendiğinde hava sürükleyici katkılı harcın birim kütlesinin sırasıyla %4.5, %3.5, %4.5, %2.5 ve %5.0 oranlarında düştüğü görülmüştür.

Hava sürükleyici ve lif katkıların katkılı harcın birim kütlesi üzerinde etkisi Tablo 3.8. ve Şekil 3.17.' de özetlenmektedir.

Tablo 3.8. Lif katkılı harçların birim kütleleri

Lif katkı oranları (%hacim)	HS3 katkı oranı (%kütle)	Birim Kütle (g/cm^3)				
		PP	CF	AR	GF	PVA
% 0.00	%0.00	2,04	2,04	2,04	2,04	2,04
% 0.00	%0.65	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
% 0.4	%0.65	1,94	1,96	1,95	1,97	1,94
% 0.8	%0.65	1,93	1,94	1,93	1,96	1,92
% 1.2	%0.65	1,91	1,93	1,91	1,95	1,90



Şekil 3.17. Lif katkılı harçların birim kütleleri

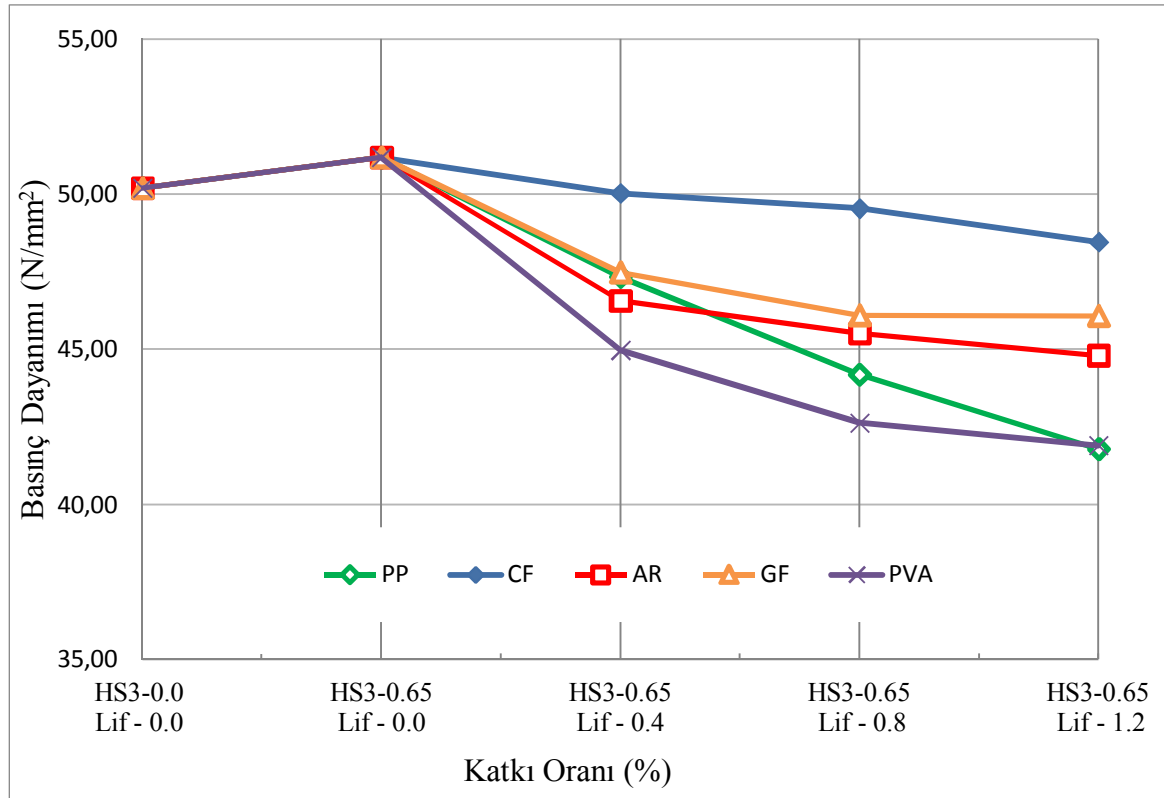
3.2.2. Lif Katkısının Harçların Basınç Dayanımına Etkisi

Lifler harçlara ilave edildiğinde, çimento hamuru ve agregalara nazaran daha elastik bir yapıya sahip olduklarından, çimento matrisinde süreksizliğe yol açarlar. Bunun basınç dayanımını düşürmesi beklenir. Eğer farklı lif türlerinin ilavesiyle harçların basınç dayanımı özelliklerindeki değişim incelenirse, basınç dayanımının her türdeki lifin ilavesiyle düşmekte olduğu görülür. Lif ilave oranı artıkça basınç dayanımındaki düşüşte artmıştır. Yapılan deneyler sonucunda liflerin ilavesi ile harç numunelerin basınç dayanımında %18 oranına varan bir düşüş meydana gelmiştir. CF lifinin ilavesi ile basınç dayanımlarında meydana gelen düşüşler kabul edilebilir seviyelerde kalmıştır. Numunenin basınç dayanımı $51,18 \text{ N/mm}^2$ iken PP lifinin %1.2 oranında ilave edilmesi ile en yüksek düşüşle $41,79 \text{ N/mm}^2$ seviyesine düşmüştür.

PP, CF, AR, GF ve PVA liflerin %1.2 oranında harca ilave edilmesi ile numunenin basınç dayanımında sırası ile %18.35, %5.31, %12.47, %9.96 ve %18.13 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. Lif katkıların harçların basınç dayanımı üzerindeki etkisi Tablo 3.9. ve Şekil 3.18.' de özetlenmektedir.

Tablo 3.9. Lif katkılı harçların basınç dayanımı

Lif katkı oranları (%hacim)	HS3 katkı oranı (%kütle)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)				
		PP	CF	AR	GF	PVA
% 0.00	%0.00	50,20	50,20	50,20	50,20	50,20
% 0.00	%0.65	51,18	51,18	51,18	51,18	51,18
% 0.4	%0.65	47,34	50,03	46,56	47,48	44,97
% 0.8	%0.65	44,19	49,54	45,52	46,10	42,63
% 1.2	%0.65	41,79	48,46	44,80	46,08	41,90



Şekil 3.18. Lif katkılı harçların basınç dayanımı

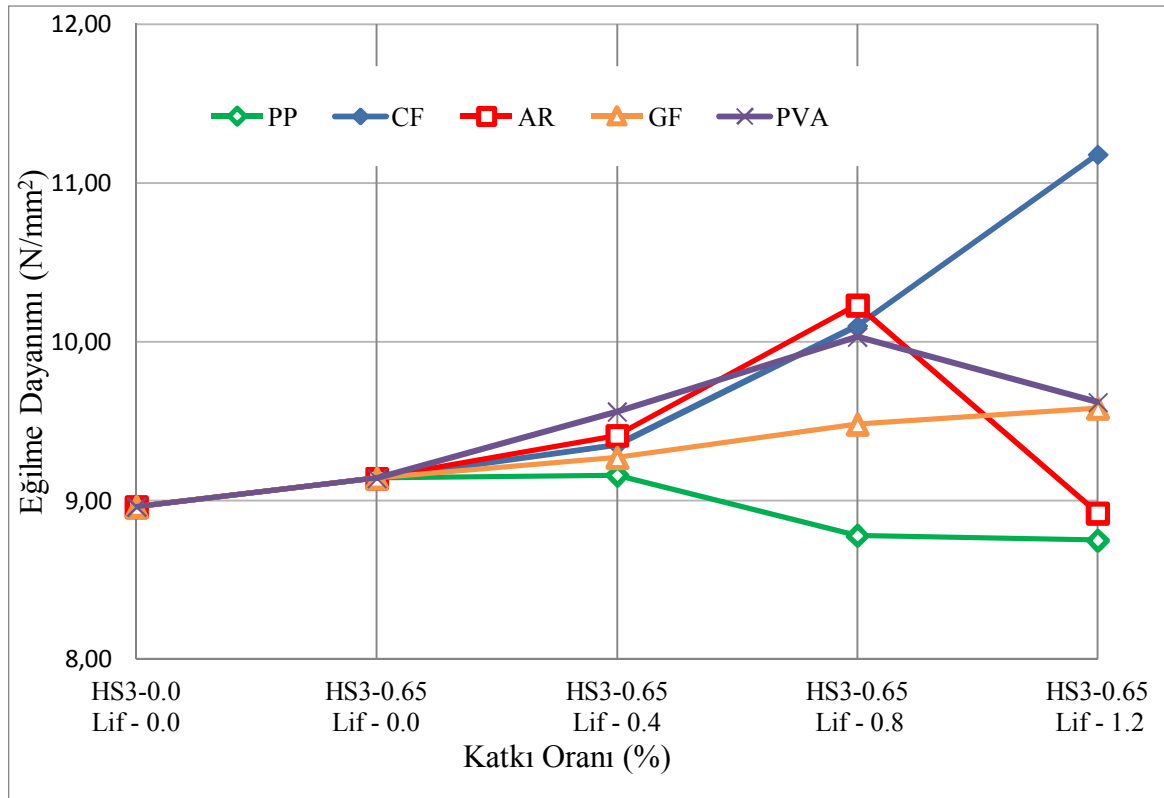
3.2.3. Lif Katkısının Harçların Eğilme Dayanımına Etkisi

Farklı tür (PP, CF, AR, GF ve PVA) ve oranlardaki (%0, %0.4, %0.8, %1.2) lif katkısının eğilme dayanımındaki etkisi incelendiğinde, kontrol numuneleri ile kıyaslandığında genelde lif katkıların numunenin eğilme dayanımını yükselttiği görülür. Ancak tüm oranlar için PP lif türünün ilavesi ile numunenin eğilme dayanımında bir artış gözlenememiştir. AR ve PVA liflerin %0.8 oranında ilave edilmesi ile bu lifler için en yüksek eğilme dayanımı elde edilirken bu orandan sonra ise bir düşüş gözlenmektedir. Bu

da en uygun oranın %0.8 olduğu anlamına gelmektedir. CF lifinin ilavesinde ise lif oranı artıkça eğilme dayanımının da bir artış gözlenmiştir. Numunenin eğilme dayanımı 9,14 N/mm² iken CF lifinin %1.2 oranında ilave edilmesi ile en yüksek dayanım olan 11,18 N/mm²'ye yükselmiştir. Yine GF için de kullanılan katılım oranlarında bir düşüş eğilimi tespit edilememiştir. GF'nin %1.2 katılım oranı ile kontrol numunesine göre %5'lik bir artış ile 9.62 MPa'lık bir eğilme dayanımı elde edilmiştir. Lif türü ve oranların harçların eğilme dayanımı üzerindeki etkisi Tablo 3.10. ve Şekil 3.19.' da özetlenmektedir.

Tablo 3.10. Lif katkılı harçların eğilme dayanımı

Lif Katkı oranları (%hacim)	HS3katkı oranı (%kütle)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)				
		PP	CF	AR	GF	PVA
% 0.00	%0.00	8,96	8,96	8,96	8,96	8,96
% 0.00	%0.65	9,14	9,14	9,14	9,14	9,14
% 0.4	%0.65	9,16	9,35	9,41	9,27	9,56
% 0.8	%0.65	8,78	10,10	10,23	9,48	10,03
% 1.2	%0.65	8,75	11,18	8,92	9,58	9,62



Şekil 3.19. Lif katkılı harçların eğilme dayanımı

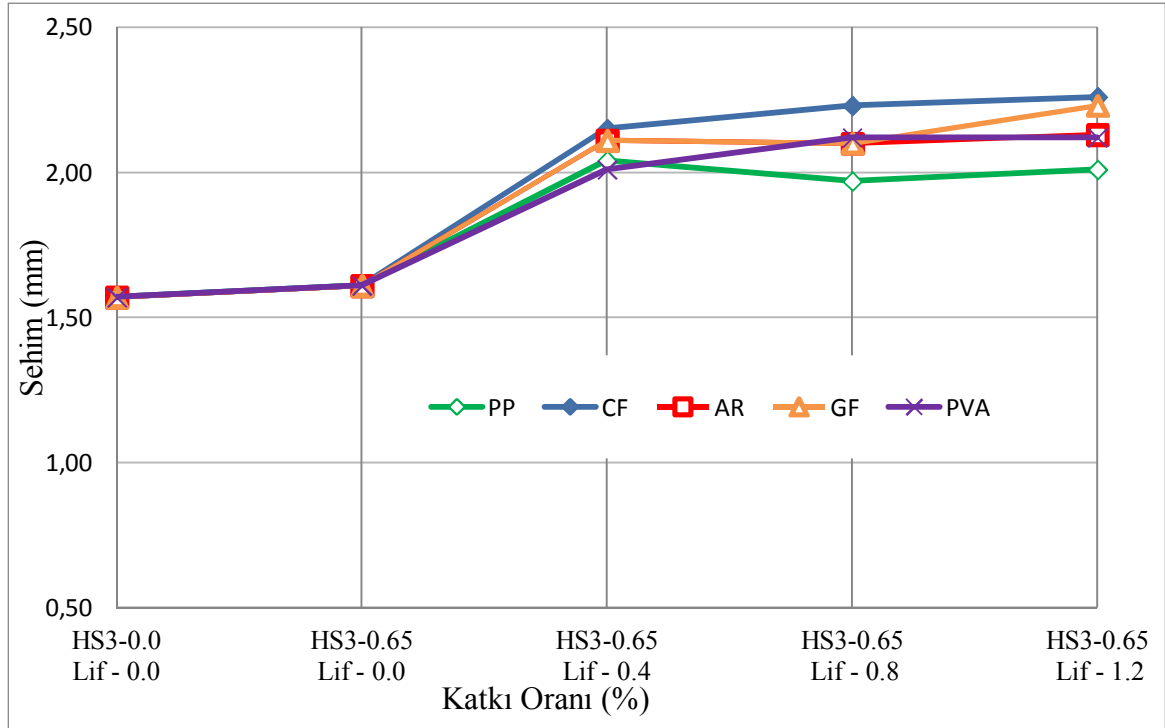
3.2.4. Lif Katkısının Harçların Sehım Kabiliyeti Üzerindeki Etkisi

Çimento harçlarının eğilme dayanımı deneyleri yapılırken, sehım miktarı da belirlenmiştir. Çimento harcına lif ilavesinin önemli bir diğer sebebi de küçük çekme dayanımında sehım miktarını arttırarak çatlak oluşumunu engellemektir. Bu sebeple yüksek seviyede sehım yapabilme kabiliyeti amaçlanmaktadır. Lif ilave edilmiş bütün çimento harçlarının yüksek sehım kabiliyetine sahip oldukları tespit edilmiştir (Tablo 3.11. ve Şekil 3.20.). Lif ilavesi yapılan harçlarda normal harçlarınkine göre sehım kabiliyeti %40'a varan oranlarda artmıştır. Liflerin mekanik özellikleri birbirinden farklı özellik göstermesine rağmen, lif türünün ve lif miktarının değişmesi ile sehım değerlerinde önemli değişimlerin olmadığı tespit edilmiştir.

Lif türü ve oranına bağlı olarak numunenin basınç ve eğilme dayanımında önemli farklılıklar oluşurken sehım değerinin birbirine yakın olması nedeniyle harçların sehımleri ve eğilme dayanımları arasında doğrudan bir bağlantı kurulamadığı gözlenmiştir.

Tablo 3.11. Lif katkılı harçların sehım değerleri

Lif katkı oranları (%hacim)	HS3 katkı oranı (%kütle)	Sehım (mm)				
		PP	CF	AR	GF	PVA
% 0.00	%0.00	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
% 0.00	%0.65	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
% 0.4	%0.65	2,04	2,15	2,11	2,11	2,01
% 0.8	%0.65	1,97	2,23	2,10	2,10	2,12
% 1.2	%0.65	2,01	2,26	2,13	2,23	2,12



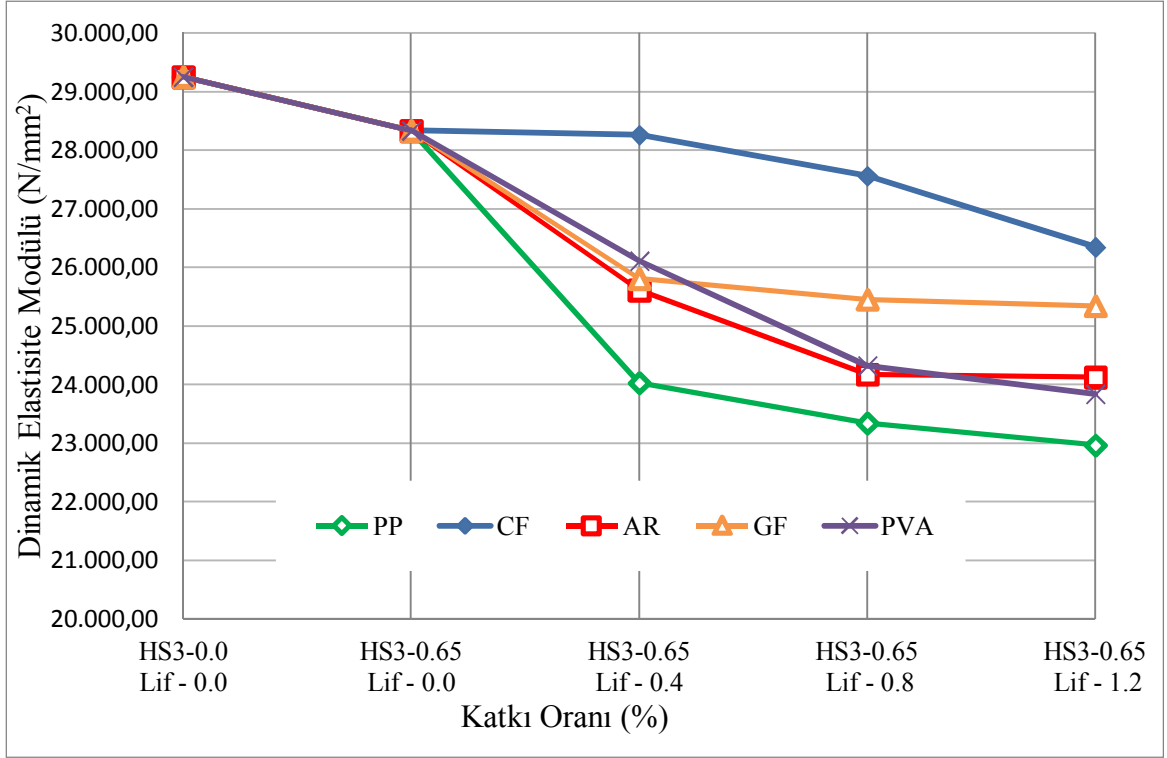
Şekil 3.20. Lif katkılı harçların sehim değerleri

3.2.5. Lif Katkısının Harçların Dinamik Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi

Kütlenin azalmasına neden olan lif katkıları bu yolla elastisite modülünü de etkilemektedir. Liflerin ilavesi ile harçların dinamik elastisite modülü genelde düşmüştür. Ancak CF lifinin %0.4 oranında ilavesi ile lif katkılı harcın dinamik elastisite modülünde önemli bir değişiklik olmamıştır. Diğer tüm lif katkıları ve oranları katkılı harcın dinamik elastisite modülünü düşürmüştür. En büyük düşüş (%19) PP lifinin %1.2 oranında ilavesi ile gerçekleşmiştir. Genelde lif katkı oranı arttıkça numunenin dinamik elastisite modülü de ters orantılı olarak düşmüştür. Lif katkıların dinamik elastisite modülü üzerindeki etkileri Tablo 3.12. ve Şekil 3.21.'de özetlenmektedir.

Tablo 3.12. Lif katkılı harçların dinamik elastisite modülleri

Lif katkı oranları (%hacim)	HS3 katkı oranı (%kütle)	Dinamik Elastisite Modülü (N/mm ²)				
		PP	CF	AR	GF	PVA
% 0.00	%0.00	29252	29252	29252	29252	29252
% 0.00	%0.65	28335	28335	28335	28335	28335
% 0.4	%0.65	24032	28264	25612	25808	26114
% 0.8	%0.65	23345	27562	24175	25456	24326
% 1.2	%0.65	22968	26348	24128	25346	23842



Şekil 3.21. Lif katkılı harçların dinamik elastisite modülleri

3.3. Lif Katkısı İçeren Çimento Harçlarının Donma-Çözülme Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

Deneysel çalışmanın bu aşamasında, Tablo 2.2.'de belirtildiği gibi birinci aşamada seçilen en uygun tür (HS3) ve orandaki (% 0.65) hava sürükleyici katkı ile birlikte harç numunelerine beş farklı türde lif (PP, CF, AR, GF ve PVA) dört farklı oranda (%0.0, %0.4, %0.8, %1.2) ilave edilerek harç numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan harç numuneleri beş farklı donma-çözülme döngüsüne (0, 25, 50, 75, 100) maruz bırakılmış ve donma çözülme etkisi altında mekanik davranışları incelenmiştir. Çalışmada hazırlanan numuneler eğilme, basınç ve ultrasonik ses deneylerine tabi tutulmuştur.

3.3.1. Lif Katkıların Donma-Çözülme-Döngüleri Sonuncunda Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi

Lif katkılı ve katkısız olarak hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, donma – çözülme hasarı daha 25 döngüde kendini göstermekte olup donma çözülme döngüsünün bütün numunelerin basınç dayanımlarını düşürdüğü görülmüştür. Ancak lif katkılı numunelerin donma-çözülme hasarı katkısız numunelere kıyasla daha az olmuştur. Kontrol numunelerin basınç dayanımları 100 donma-çözülme döngü sonunda

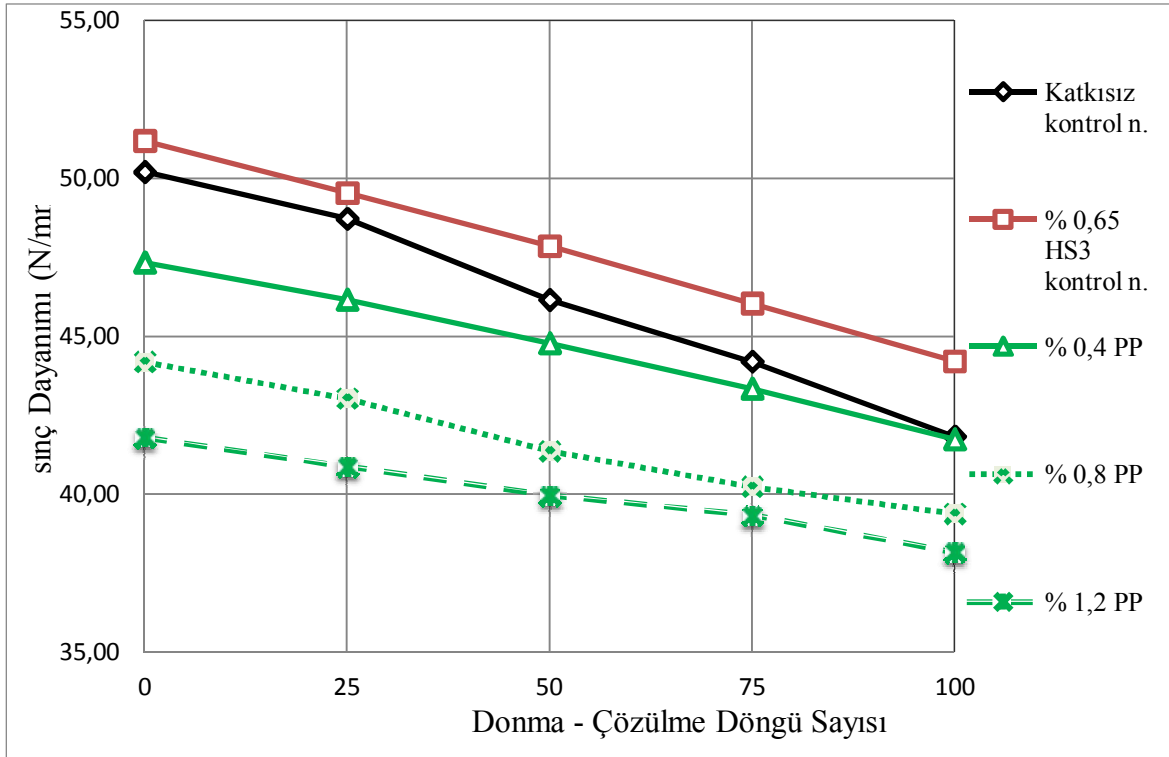
%13.62 düşerken lif katkılı numunelerin ise ortalama %10 civarında düşmüştür. Lif katkıların donma çözülme döngüleri sonrasında lif katkılı harçların basınç dayanımı üzerindeki etkisi Tablo 3.13.'de özetlenmektedir

Tablo 3.13. Donma-çözülme etkisi altındaki lif katkılı harçların basınç dayanımları

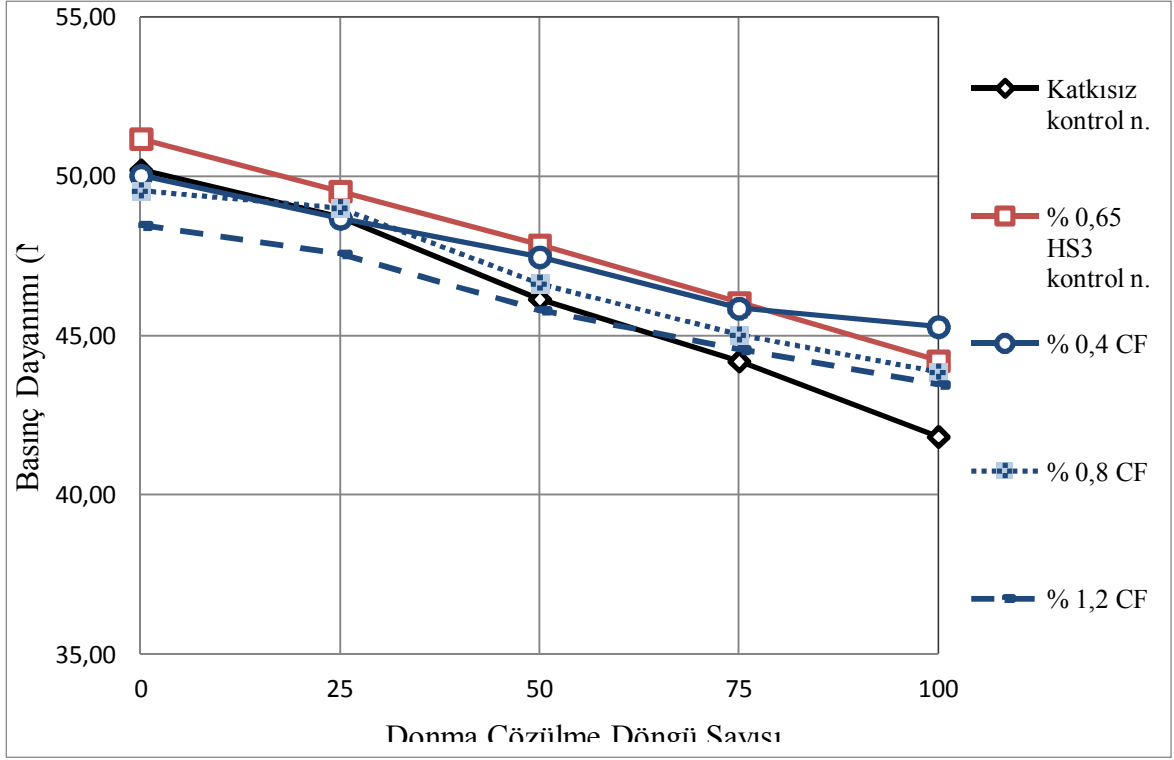
Donma-Çözülme döngü sayısı			0	25	50	75	100
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Katkısız kontrol numunesi		50,20	51,18	46,15	44,20	41,83
	% 0,65 HS3 kontrol numunesi		51,18	49,53	47,85	46,04	44,21
	%0,65 HS3 + PP içeren numuneler	% 0,4 PP	47,34	46,16	44,78	43,35	41,74
		% 0,8 PP	44,19	43,03	41,36	40,24	39,38
		% 1,2 PP	41,79	40,87	39,96	39,33	38,16
	%0,65 HS3 + CF içeren numuneler	% 0,4 CF	50,03	48,68	47,47	45,86	45,28
		% 0,8 CF	49,54	49,01	46,63	45,02	43,85
		% 1,2 CF	48,46	47,57	45,79	44,56	43,47
	%0,65 HS3 + AR içeren numuneler	% 0,4 AR	46,56	45,10	44,15	42,79	42,17
		% 0,8 AR	45,52	45,10	44,07	43,31	42,48
		% 1,2 AR	44,80	43,92	42,38	42,01	41,06
	%0,65 HS3 + GF içeren numuneler	% 0,4 GF	47,48	46,73	45,83	43,27	41,86
		% 0,8 GF	46,10	45,61	43,89	42,03	41,91
		% 1,2 GF	46,08	45,42	43,73	42,38	40,39
	%0,65 HS3 + PVA içeren numuneler	% 0,4 PVA	44,97	44,27	42,07	41,36	39,64
		% 0,8 PVA	42,63	40,74	40,02	39,01	37,68
		% 1,2 PVA	41,90	41,09	40,35	39,76	39,04

Donma-çözülme döngüleri sonunda yapılan deneylerde katkısız kontrol numunesinin basınç dayanımında 100 donma-çözülme döngüsü sonunda en yüksek %16.67 düşme meydana gelirken, %0.65 HS3 içeren kontrol numunesinde ise %13.62 oranında bir düşme meydana gelmiştir. %0.65 HS3 ile birlikte lif kullanılan numunelerdeki durum ise aşağıdaki gibidir.

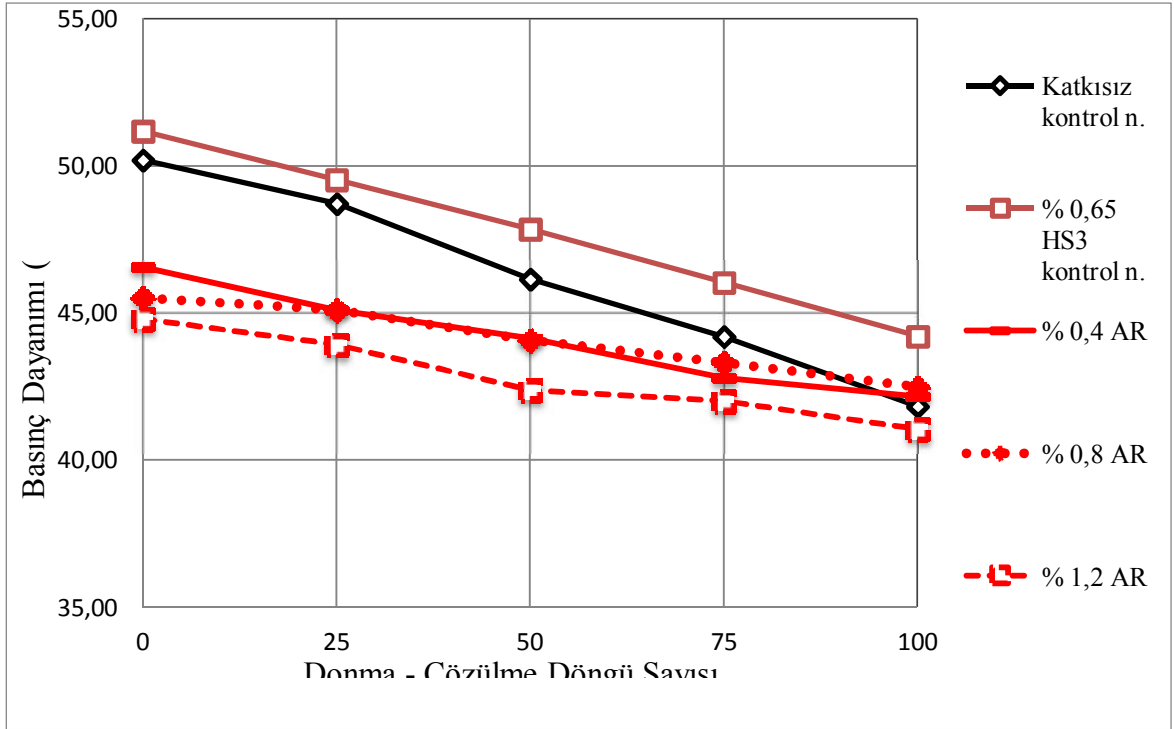
PP lifinin donma çözölme direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde, bu numuneler kontrol numunesine kıyasla daha az zarar görmüştür. Yine de donma-çözölme döngüsü basınç dayanımını düşürmüştür. PP lifinin hacimce %0.4 oranında ilavesi ile numunenin basınç dayanımında 100 donma-çözölme döngüsü sonunda maksimum %11.83, %0.8 oranında katılmasıyla %10.88, %1.2 oranında katılmasıyla %8.69 oranında bir azalma olmuştur (Şekil 3.22.). CF lifi donma-çözölme direncine katkı bakımından, PP lifine benzer bir davranış sergilemiştir (Şekil 3.23.). Donma -çözölme direncine karşı en iyi başarıyı AR lifi göstermiştir. AR lifinin %0.8 oranında ilave edildiği numunede 100 donma-çözölme döngüsü sonunda düşüş sadece %6.68 dir (Şekil 3.24.). Kontrol numunesinin basınç dayanımı 8,37 N/mm² düzeyinde düşerken, AR lifinin %0.8 oranında ilave edildiği numunelerde bu düşüş 3.04 N/mm² düzeyindedir. GF ve PVA liflerin ilave edilmesi ile oluşturulan numunelerde ise 100 donma-çözölme döngüsü sonunda ortalama %10 civarında bir düşüş meydana gelmiştir (Şekil 3.25. ve Şekil 3.26.).



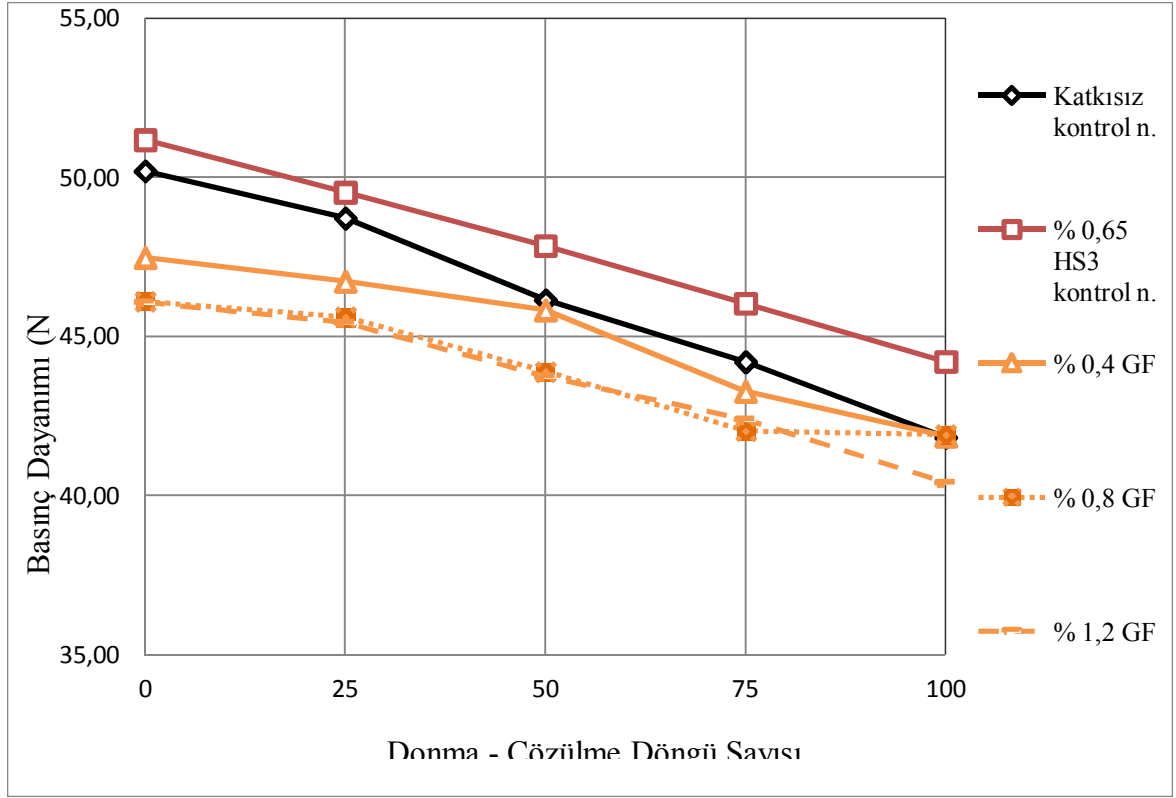
Şekil 3.22. Donma-çözölme etkisindeki numunelerde PP lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki



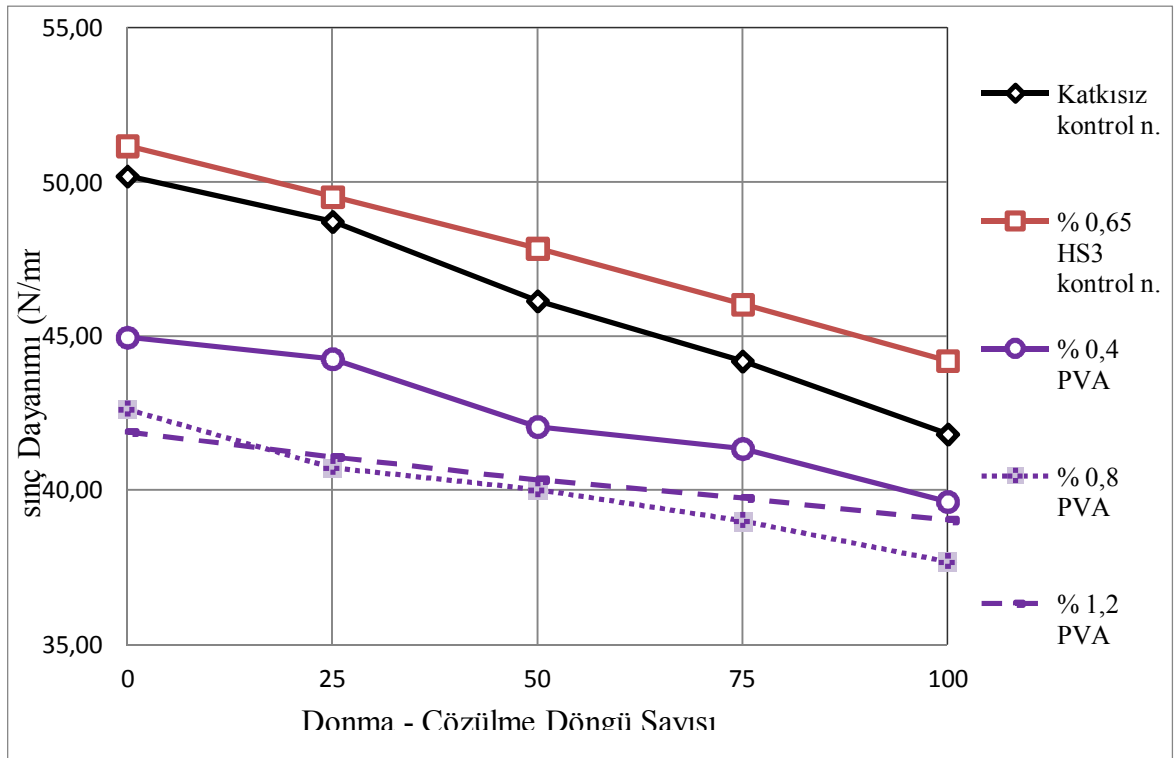
Şekil 3.23. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde CF lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.24. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde AR lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

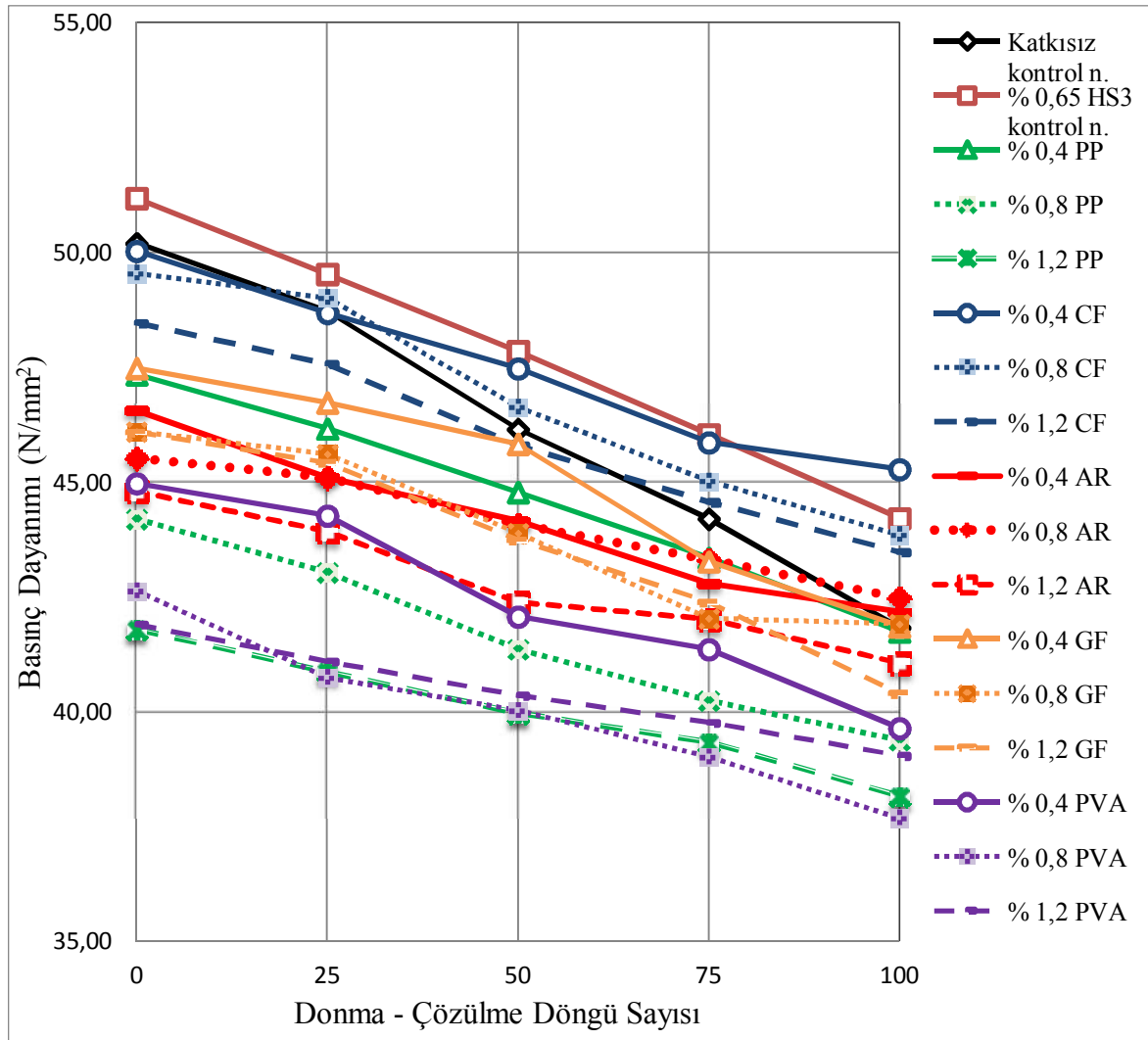


Şekil 3.25. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde GF lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.26. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PVA lifi oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Lif katkıların donma-çözülme direnci üzerindeki etkisi genel olarak değerlendirildiğinde, basınç dayanım kaybı yönünden oransal olarak, bütün lif katkılı numunelerin katkısız kontrol numunesinden daha iyi bir başarımla sergilediği görülmekte ve grafiklerin eğimleri incelendiğinde daha fazla sayıdaki donma çözülme döngülerinde bu farkın daha da ön plana çıkacağı anlaşılmaktadır. Ancak lifler kendi arasında farklılık göstermiştir. Lif katkılardan donma-çözülme direncine karşı en iyi başarıyı (%6,68) AR-%0,8 gösterirken en düşük başarı (%11,85) PVA-%0,4 numunesinden elde edilmiştir. Buradan lif katkıların donma-çözülme direncine katkısı açık olarak görülebilir. Lif türü ve oranlarının donma-çözülme döngüsü sonrasında basınç dayanımları üzerindeki etkisi Şekil 3.27.' de özetlenmektedir.



Şekil 3.27. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde lif türü ve oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

3.3.2. Lif Katkıların Donma-Çözülme Döngüleri Sonucunda Eğilme Dayanımı Üzerindeki Etkisi

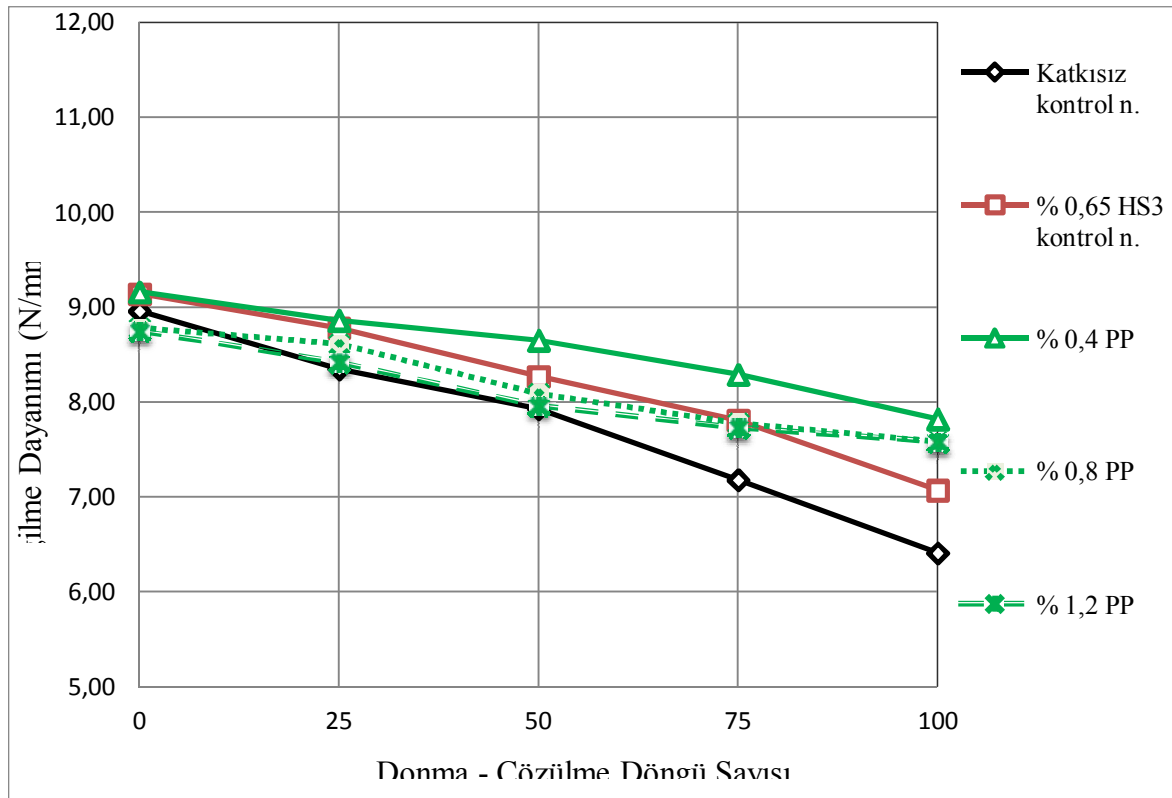
Donma-çözülme döngülerinin numunelerin eğilme dayanımı üzerindeki etkisi incelendiğinde, donma-çözülme döngüsü arttıkça bütün numunelerin eğilme dayanımı düşmüştür. Ancak lif katkılı harçlar, lifsiz harçlara nispeten daha iyi performans göstermektedir. Lif türü ve oranının donma-çözülme direnci üzerindeki etkisi Tablo 3.14.'te özetlenmektedir.

Tablo 3.14. Donma-çözülme etkisi altındaki lif katkılı harçların eğilme dayanımları

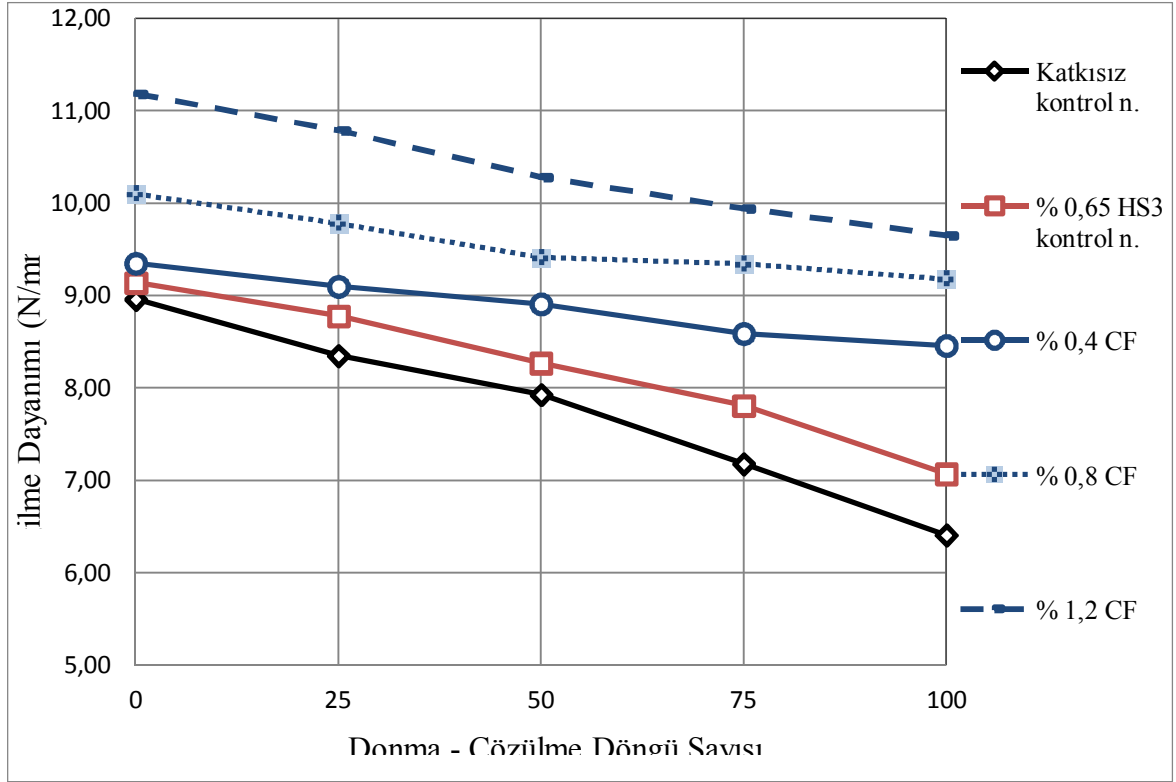
Donma-çözülme döngü sayısı		0	25	50	75	100
Eğilme Dayanımı (N/mm ²)	Katkısız kontrol numunesi	8,96	9,14	7,93	7,18	6,41
	% 0,65 HS3 kontrol numunesi	9,14	8,78	8,27	7,81	7,07
	%0,65 HS3 + PP içeren n.	% 0,4 PP	9,16	8,86	8,65	8,29
		% 0,8 PP	8,78	8,61	8,09	7,78
		% 1,2 PP	8,75	8,42	7,96	7,73
	%0,65 HS3 + CF içeren n.	% 0,4 CF	9,35	9,10	8,91	8,59
		% 0,8 CF	10,10	9,78	9,41	9,34
		% 1,2 CF	11,18	10,79	10,28	9,94
	%0,65 HS3 + AR içeren n.	% 0,4 AR	9,41	9,03	8,74	8,56
		% 0,8 AR	10,23	9,93	9,58	9,12
		% 1,2 AR	8,92	8,72	8,49	8,05
	%0,65 HS3 + GF içeren n.	% 0,4 GF	9,27	8,86	8,67	8,18
		% 0,8 GF	9,48	9,18	8,99	8,68
		% 1,2 GF	9,58	9,44	9,07	8,55
	%0,65 HS3 + PVA içeren n.	% 0,4 PVA	9,56	9,42	9,12	8,93
		% 0,8 PVA	10,03	9,87	9,62	9,08
		% 1,2 PVA	9,62	9,43	9,19	8,88

Donma-çözülme döngülerine maruz bırakılan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda katkısız kontrol numunesinin eğilme dayanımı 100 donma-çözülme döngüsü sonunda maksimum %28 oranında düşmüştür. %0.65 HS3 içeren kontrol numunesinde ise bu oran %23'tir. Lif katkıların donma-çözülme direnci üzerindeki etkisi incelendiğinde düşüş ortalama %12 civarındadır.

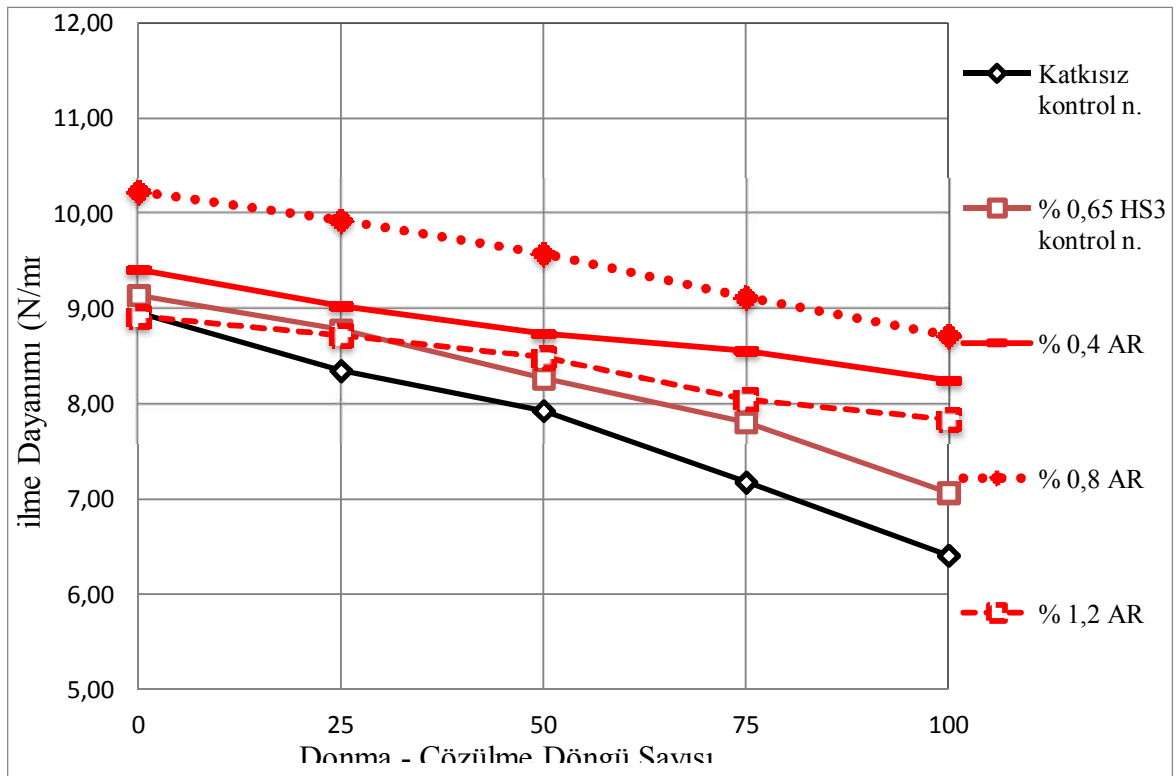
PP lifinin hacimce %0.4 oranında ilavesi ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımında 100 donma-çözülme döngüsü sonunda %14.63, %0.8 oranında katılmasıyla %13.67, %1.2 oranında katılmasıyla %13.37 oranında bir azalma olmuştur (Şekil 3.28.). CF lifinin hacimce %0.4, %0.8 ve %1.2 oranında ilavesi ile oluşturulan numunelerde sırasıyla %9.52, %9.11 ve %13.69 oranında bir düşüş meydana gelmiştir (Şekil 3.29.). AR lifinin hacimce sırasıyla %0.4, %0.8 ve %1.2 oranında ilave edilmesi ile hazırlanan numunelerin 100 donma-çözülme döngüsü sonunda eğilme dayanımındaki düşüş, sırası ile %12.33, %14.76, %12.11(Şekil 3.30.) iken GF lifi için bu oranlar %15.21, %10.97, %11.17 (Şekil 3.31.) ve PVA lifi için ise %8.68, %13.46, %11.95 (Şekil 3.32.) şeklinde ortaya çıkmaktadır.



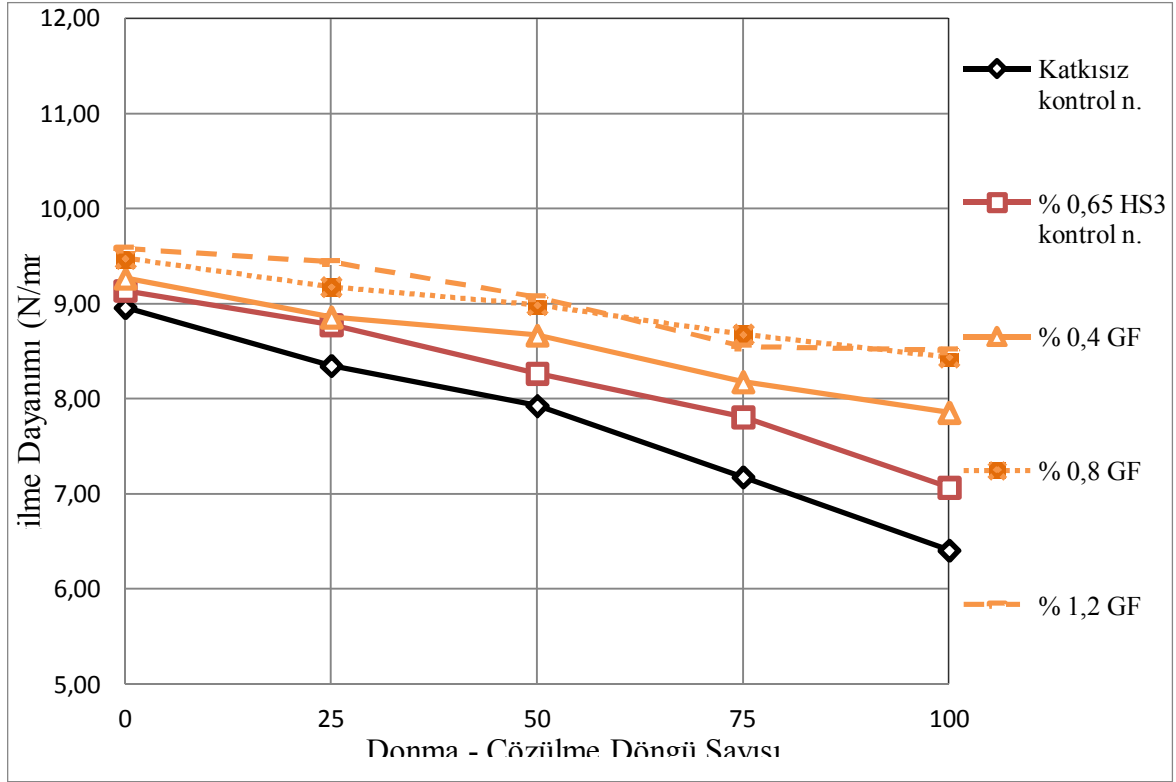
Şekil 3.28. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PP lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki



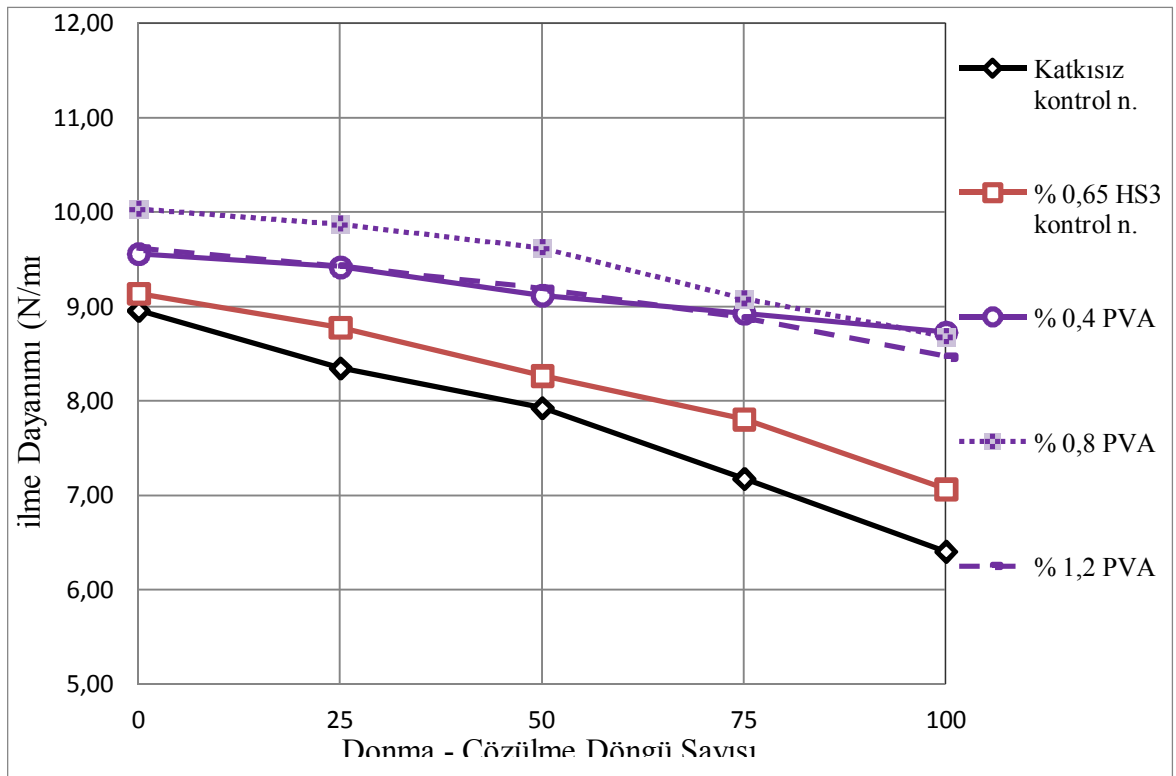
Şekil 3.29. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde CF lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.30. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde AR lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

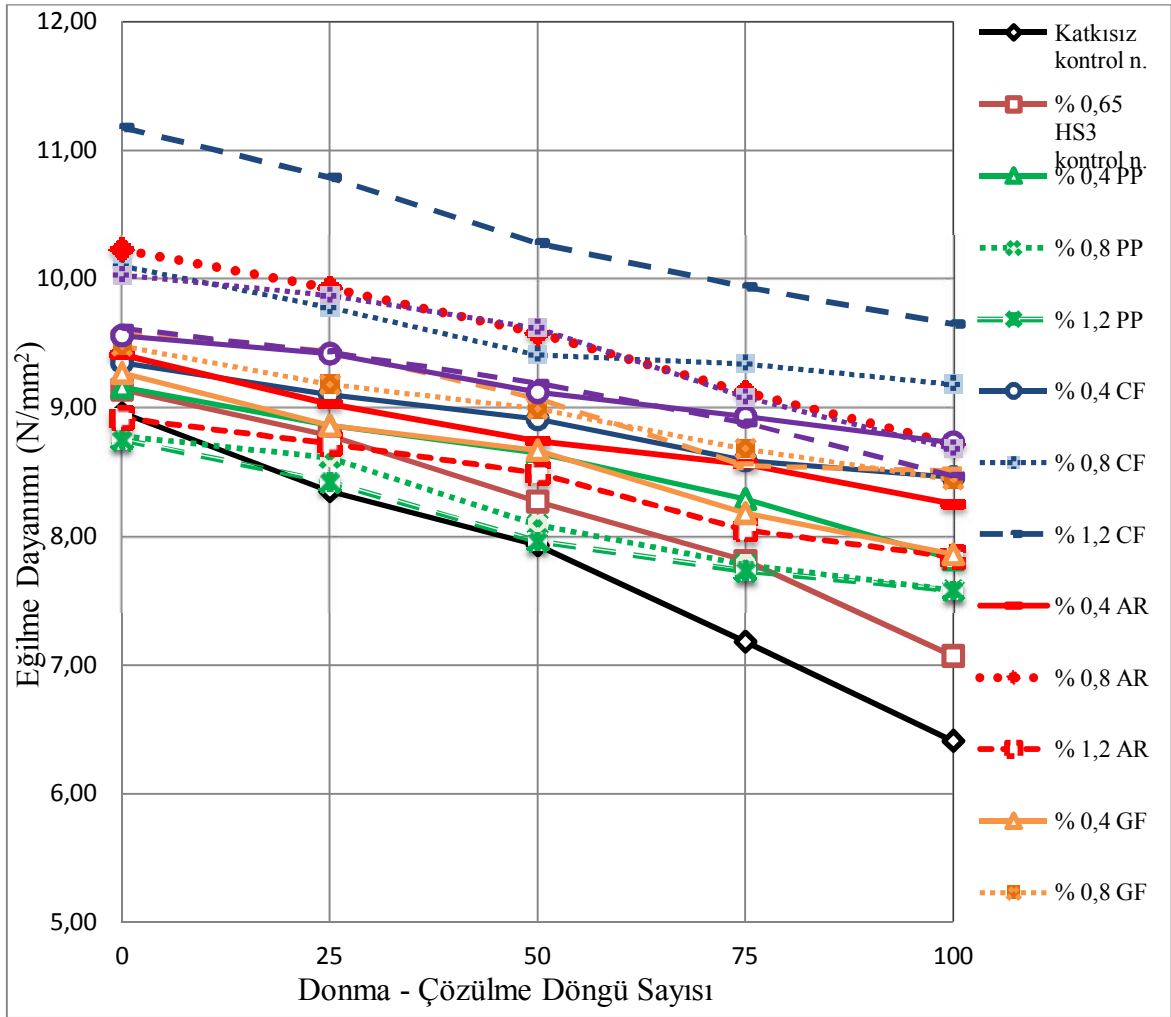


Şekil 3.31. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde GF lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.32. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PVA lifi oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

Donma-çözülme döngülerine maruz bırakılan numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde bütün lif katkıların katkısız kontrol numunesine kıyasla daha yüksek donma-çözülme direnci gösterdikleri görülür. Lif katkıların donma-çözülme etkisi altında eğilme dayanımına katkısı kontrol numunelerine göre %11 daha fazladır. Katkısız kontrol numunesinin 100 donma-çözülme döngüsü sonunda eğilme dayanımı 2.55 N/mm^2 , HS3-%0.65'in 2.07 N/mm^2 düşerken lif katkıları numunelerin ise ortalama 1.18 N/mm^2 düşmüştür. Buradan lif katkıların donma-çözülme direncini artırdığı görülmektedir. Ayrıca donma-çözülme etkisine maruz kalmadan önce kontrol numunelerinden düşük eğilme dayanımına sahip lifli numunelerin de donma çözülme etkisi sonunda daha yüksek eğilme dayanımı sergilediği görülmektedir. Lif türü ve oranlarının donma-çözülme döngüsü sonrasında eğilme dayanımları üzerindeki etkisi Şekil 3.33.'te özetlenmektedir.



Şekil 3.33. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde lif türü ve oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

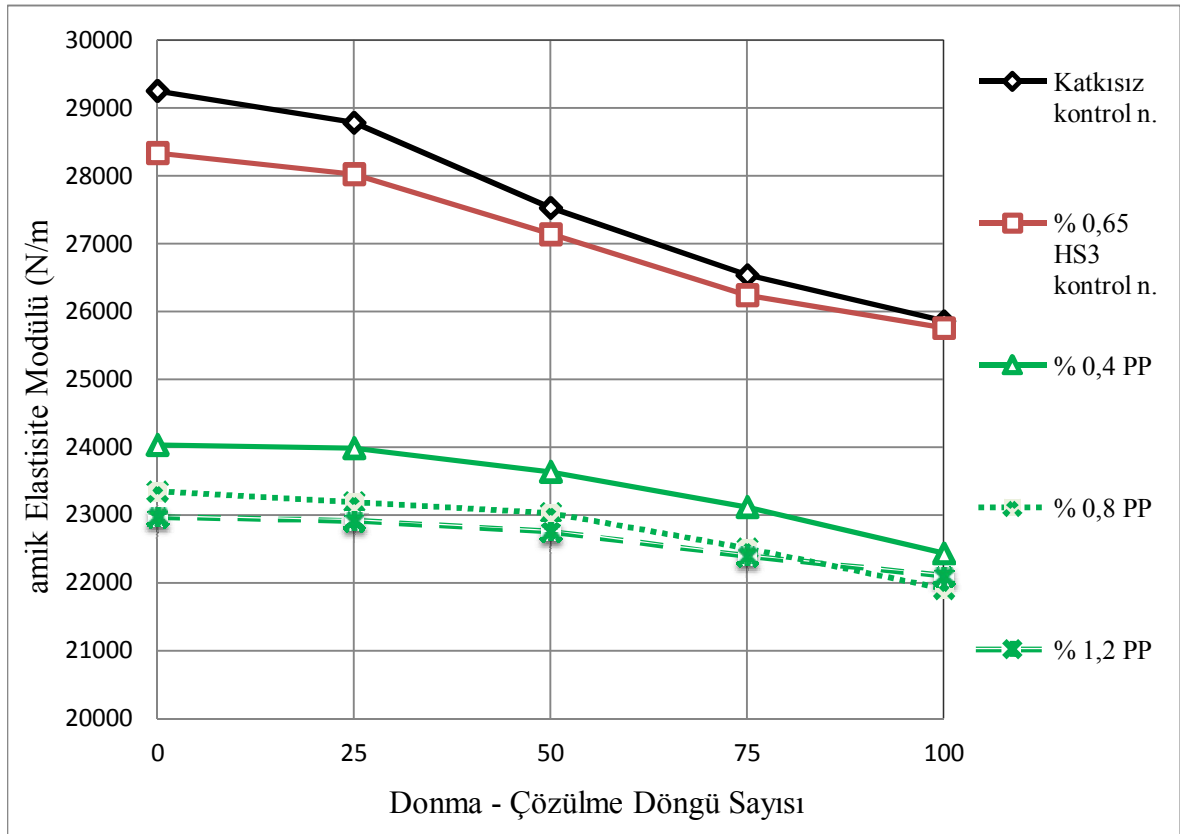
3.3.3. Lif Katkıların Donma-Çözülme Döngüleri Sonuncunda Dinamik Elastisite Modülü Üzerindeki Etkisi

Donma-çözülme hasarının numunelerin dinamik elastisite modülü üzerindeki etkisi incelendiğinde donma-çözülme döngüsü basınç ve eğilme dayanımında olduğu gibi dinamik elastisite modülünü de düşürmüştür. Ancak bu düşüş eğilme ve basınç dayanımındaki düşüşten daha azdır. Katkısız kontrol numunesinin dinamik elastisite modülü 100 donma-çözülme döngüsü sonunda %12 düşerken HS3 %0.65 katkı numunenin %9, lif katkılı numunelerin ise %3.5 ila %9.5 arasında düştüğü görülmüştür (Tablo 3.15.).

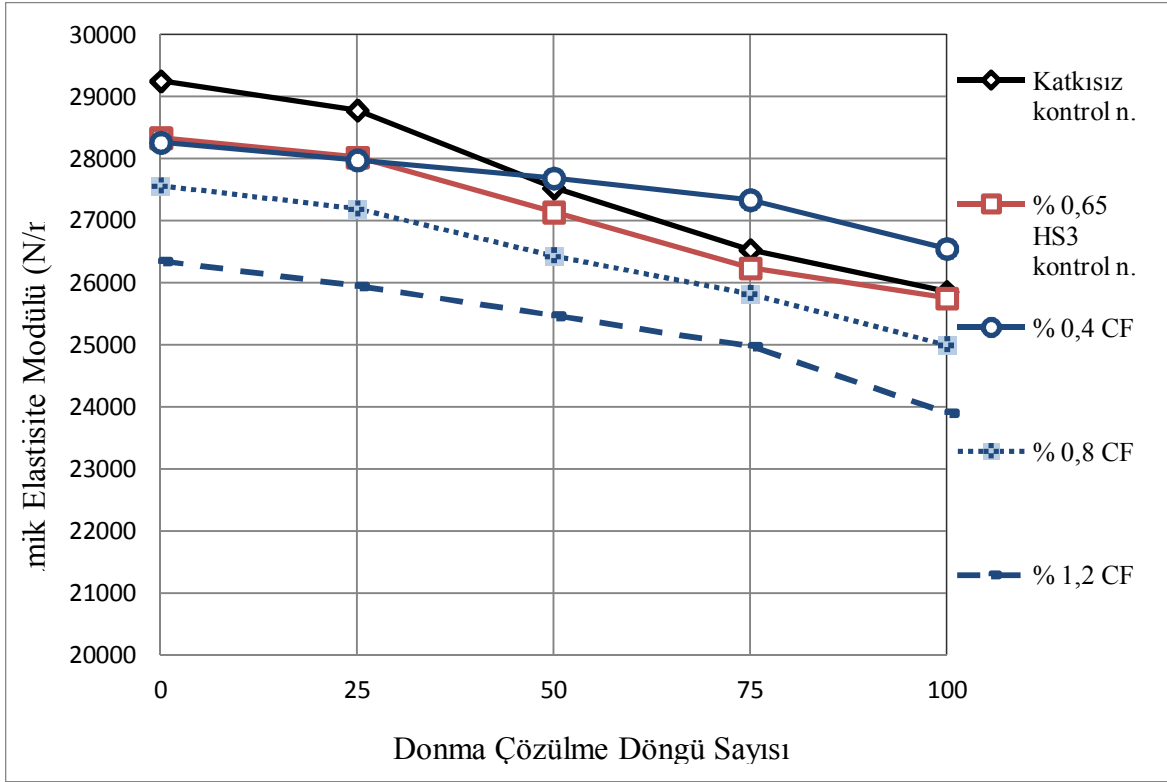
Tablo 3.15. Donma-çözülme etkisi altındaki lif katkılı harçların dinamik elastisite modülleri

Donma-çözülme döngü sayısı			0	25	50	75	100
Dinamik Elastisite Modülü (N/mm ²)	Katkısız kontrol numunesi		29252	28335	27528	26535	25857
	% 0,65 HS3 kontrol numunesi		28335	28024	27139	26240	25754
	%0,65 HS3 + PP içeren n.	% 0,4 PP	24032	23986	23637	23118	22432
		% 0,8 PP	23345	23188	23029	22506	21910
		% 1,2 PP	22968	22912	22753	22394	22097
	%0,65 HS3 + CF içeren n.	% 0,4 CF	28264	27979	27688	27338	26553
		% 0,8 CF	27562	27190	26430	25824	24999
		% 1,2 CF	26348	25948	25470	24980	23908
	%0,65 HS3 + AR içeren n.	% 0,4 AR	25612	25167	24823	24138	23315
		% 0,8 AR	24175	23764	23424	23239	22113
		% 1,2 AR	24128	23428	22862	22182	21845
	%0,65 HS3 + GF içeren n.	% 0,4 GF	25808	25698	25302	25086	23950
		% 0,8 GF	25456	25000	24285	23775	23487
		% 1,2 GF	25346	25075	24639	23981	22972
	%0,65 HS3 + PVA içeren n.	% 0,4 PVA	26114	25931	25121	24467	23733
		% 0,8 PVA	24326	24220	23711	23040	22384
		% 1,2 PVA	23842	23159	22830	22352	21804

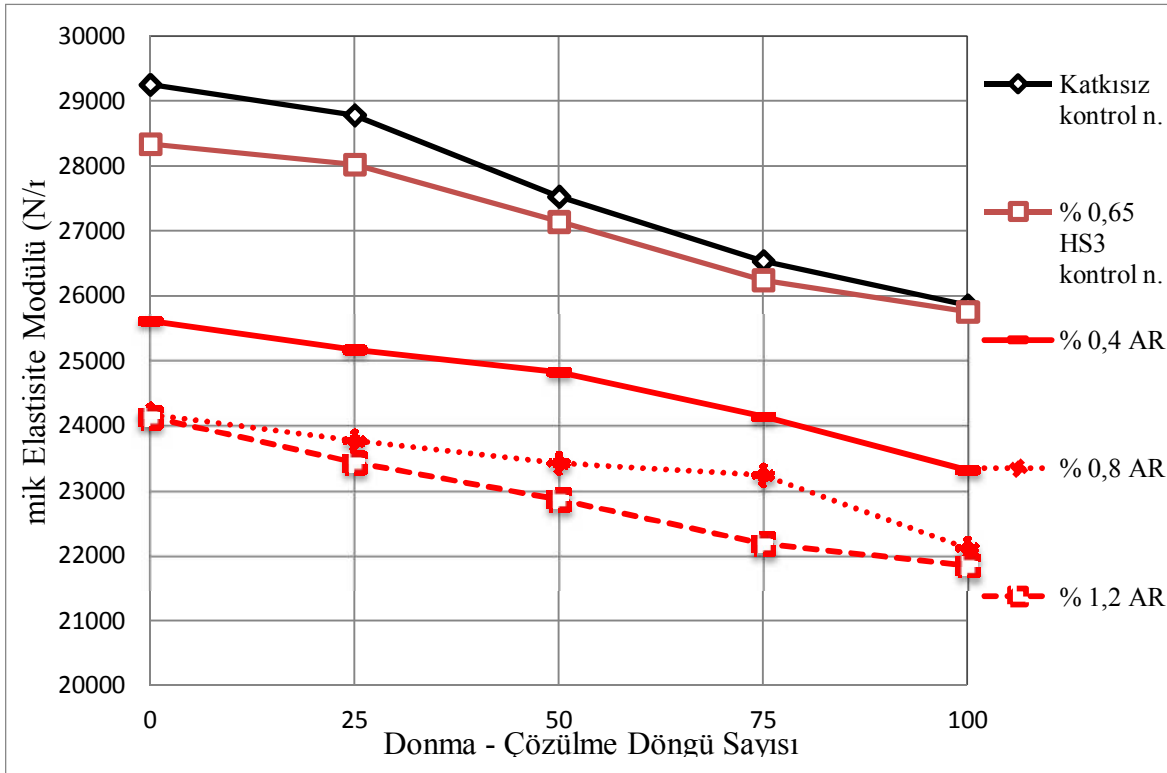
Donma-çözülme hasarı bütün numunelerin dinamik elastisite modülünü düşürmüştür. Ancak 100 donma-çözülme döngüsü sonunda dinamik elastisite modülündeki maksimum düşüş incelendiğinde lif katkıların donma-çözülme hasarını azalttığı görülür. Kontrol numunesinin dinamik elastisite modülü %9.11 düşerken PP lifinin %1.2 oranında katılması ile en iyi başarı (%3.79) sağlanmıştır (Şekil 3.34.). CF lifi ise en iyi başarıyı %0.4 oranında katılması ile %6.05'lik bir düşüş ile göstermiştir (Şekil 3.35.). AR lifi katkı numunelerde ise ortalama düşüş %9 civarındadır (Şekil 3.36.). GF lifi AR lifinden daha iyi başarı göstermiştir. GF lif katkı numunelerde düşüş ortalama %8 civarındadır (Şekil 3.37.). PVA lifinin etkisi AR lifine paraleldir. PVA lif katkı numunelerde ortalama düşüş %9 civarındadır (Şekil 3.38.).



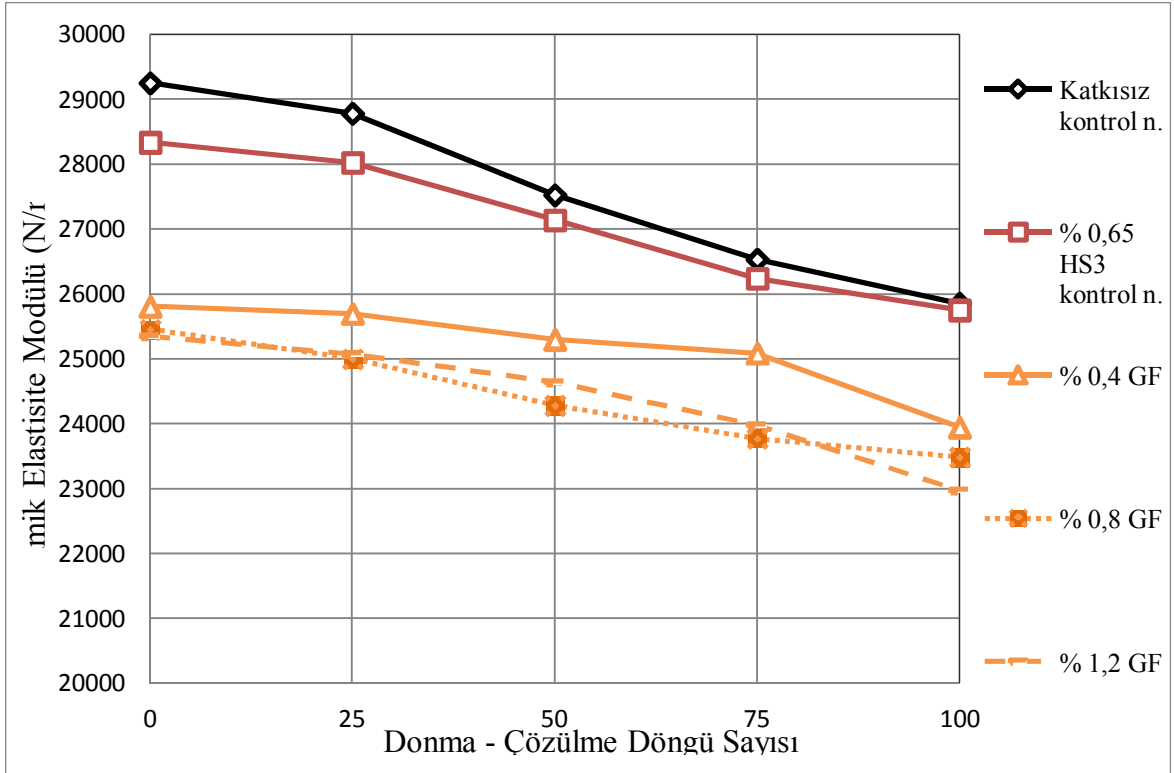
Şekil 3.34. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PP lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki



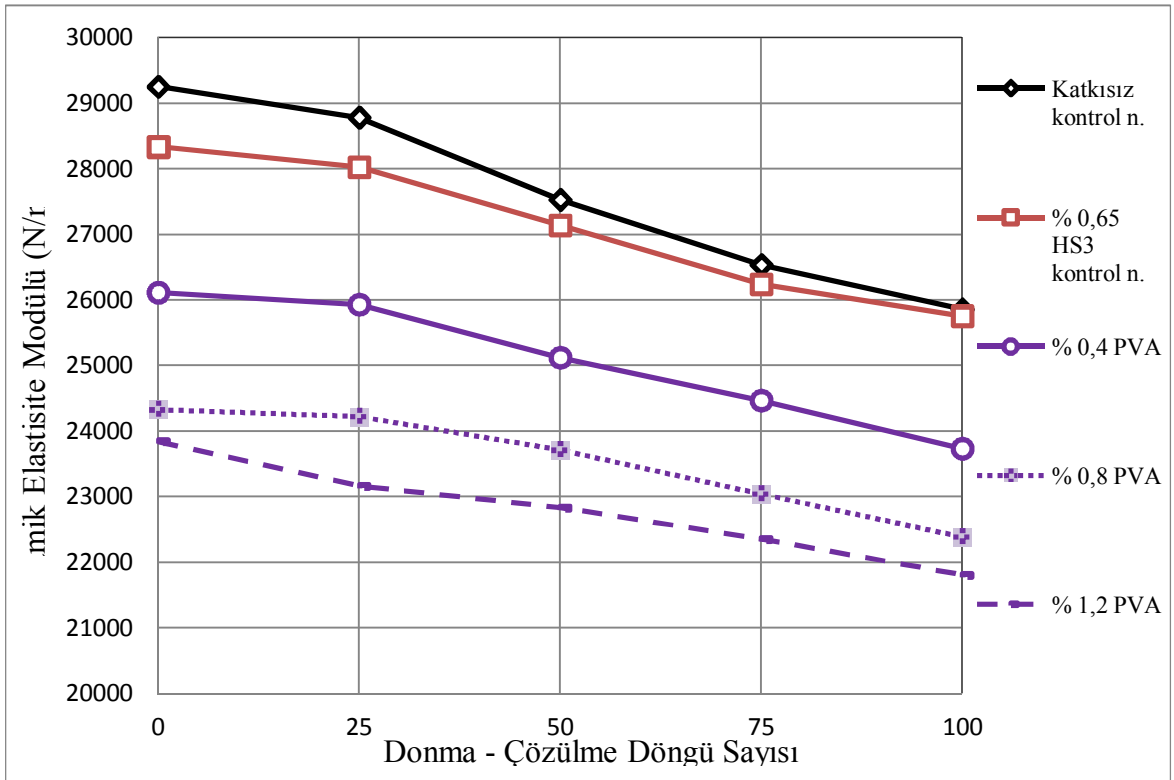
Şekil 3.35. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde CF lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki



Şekil 3.36. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde AR lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki

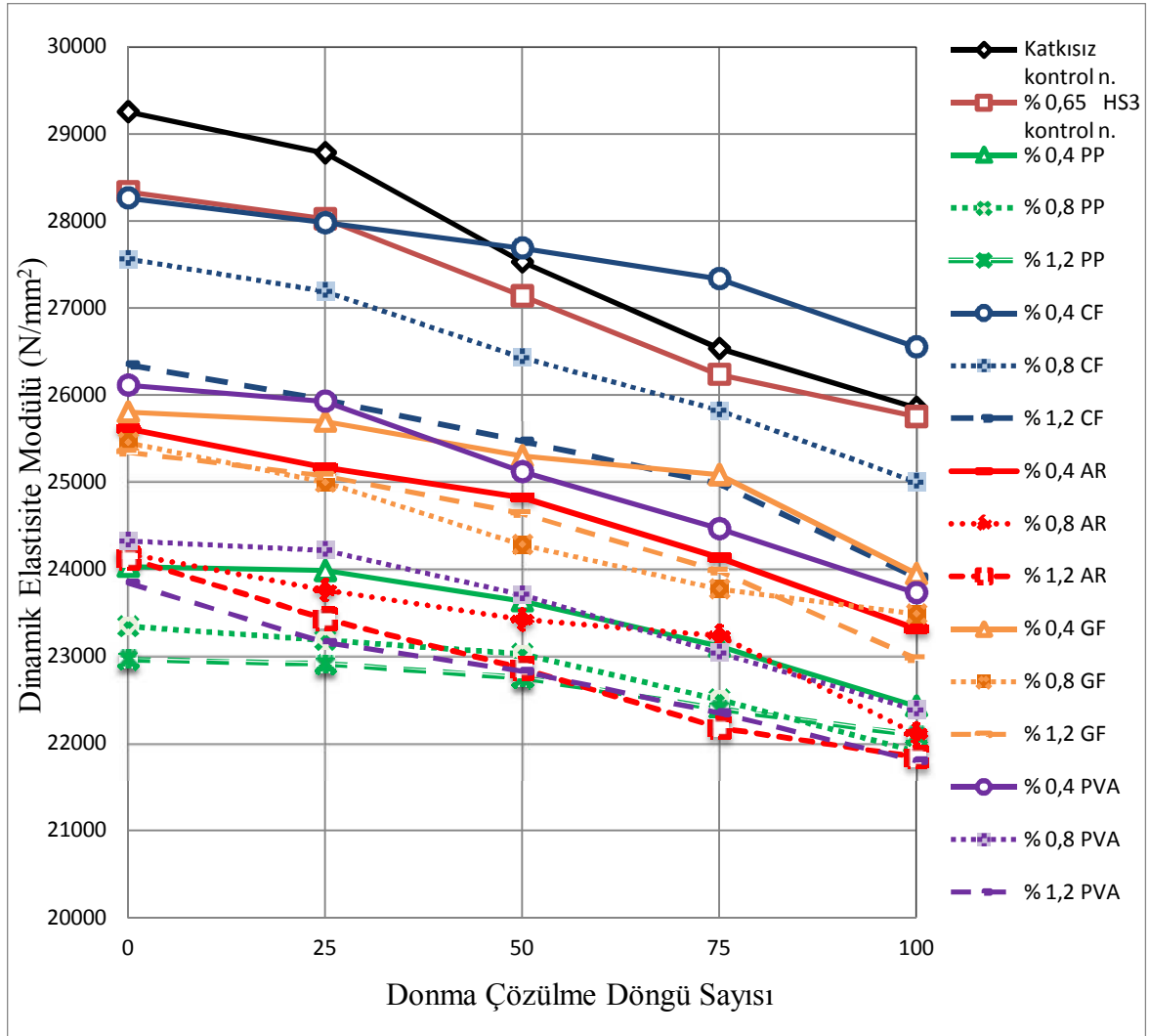


Şekil 3.37. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde GF lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki



Şekil 3.38. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde PVA lifi oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki

Lif katkıları çimento harçlarına ilave edildiklerinde çimento harçlarının dinamik elastisite modülünü düşürdüğü görülmüştür. PP lifi olumlu etki yaparken diğer lifler kontrol numunelerine kıyasla katkı sağlamamıştır. Kontrol numunesinin dinamik elastisite modülü 100 donma-çözülme döngüsü sonunda %9 düşerken, PP lifinin %1.2 oranında ilavesiyle bu düşüş sadece %4 düzeyindedir. Diğer lif türleri ve oranlarında ise bu düşüş %6 ila %10 arasında değişmektedir. Lif türü ve oranlarının donma-çözülme döngüsü sonrasında dinamik elastisite modülü üzerindeki etkisi Şekil 3.39.'da özetlenmektedir.



Şekil 3.39. Donma-çözülme etkisindeki numunelerde lif türü ve oranı ile dinamik elastisite modülü arasındaki ilişki

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, farklı türdeki hava sürükleyici katkıları ile farklı türdeki liflerin, donma-çözünme etkisi altında çimento harçlarının mekanik özelliklerine etkilerinin incelenmesidir. Bu amaca yönelik olarak hazırlanan numuneler donma çözülme döngülerine maruz bırakılarak eğilme, basınç ve ultrasonik ses deneylerine tabi tutulmuştur. Eğilme deneyleri yapılırken sehim değerleri ayrıca okunmuştur. Bunlara ilave olarak kütle özellikleri de belirlenmiştir.

Tez çalışmasından elde edilen genel sonuçlar özetle aşağıda verilmiştir:

A. Donma-çözülme etkisine maruz hava sürükleyici içeren harçların mekanik davranışlarının incelenmesi ve en uygun hava sürükleyici türünün ve oranının belirlenmesi

1. Hava sürükleyici katkı kullanımı ile numune içerisine binlerce hava kabarcığı sürüklendiği ve bu olayın boşluk hacminde bir artışa neden olması sebebiyle katkısız numunelere göre hava sürükleyici katkı katılan numunelerin, daha düşük kütleye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, deneysel çalışmalar sonucunda % 15'e varan birim kütle düşüşleri tespit edilmiştir.

2. HS3 türü hava sürükleyici kullanımı ile numune içerisine daha az miktar hava sürüklenmiş olması ve bu katkının harç üzerinde akışkanlaştırıcı etki yaparak daha iyi sıkışmasını sağlayarak düzensiz hava boşluklarını engellemesinden dolayı basınç dayanımını %5 ve eğilme dayanımını %8 oranında artırmıştır. Öte yandan diğer numunelerde ise hava sürükleyici katkı kullanımıyla numune içerisine sürüklenen yüksek orandaki hava kabarcıkları numunenin hem basınç hem de eğilme dayanımını önemli düzeyde düşürmüştür. Yapılan deneyler sonucunda hava sürükleyici katkıları, katılma oranına bağlı olarak basınç dayanımında %55, eğilme dayanımında %26'ya varan dayanım kayıplarına sebep olmuştur.

3. Hava sürükleyici katkı kullanımıyla numunelerin hem kütlelerinde hem de sesüstü dalga geçiş hızlarında katkısız numunelere göre belirgin azalmalar görülmüştür. Dinamik elastisite modülünün numune kütlesi ve sesüstü dalga hızıyla doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Deneysel çalışma sonrası kontrol numunelerine kıyasla katkılı numunelerde belirlenen dinamik elastisite modüllerinde hava sürükleyici türü ve oranına bağlı olarak % 42'ye varan düşüşler gözlenmiştir.

4. Donma-çözölme etkilerine maruz örnekler incelendiğinde ise; 56 donma-çözölme döngüsü sonunda kontrol numunesinin basınç dayanımında %10 oranında bir düşüş oluşurken, HS3-%0.65 numunesinde bu oran %6 düzeyindedir. Yine kontrol numunesinin eğilme dayanımı %15 oranında düşerken, HS1-%0.45 numunesinde bu düşüş %6, HS3-%0.65 numunesinde ise %13 kadardır. Dinamik elastisite modülleri incelendiğinde ise kontrol numunesinin dinamik elastisite modülündeki düşüş %7 iken HS3-%0.65 numunesinin ise %2'dir. Bu sebeple, ikinci aşama deneylerinde kullanılmak üzere en uygun hava sürükleyici türü ve katılma oranı olarak HS3 türü %0.65 oranı seçilmiştir.

5. Yapılan donma-çözölme deneyleri sonrasında, tekrarlı donma-çözölme çevrimlerine maruz kalan numunelerin basınç dayanımlarında, eğilme dayanımlarında ve dinamik elastisite modüllerinde, genellikle, belli oranlarda azalmalar görülmüştür. Ancak uygun oranda hava sürükleyici katkı içeren numunelerde donma çözölme direncinin arttığı ve donma çözölme çevrimleri sonucunda daha az hasar oluştuğu söylenebilir. Bu oran hava sürükleyici türüne göre değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, tüm hava sürükleyici türleri için kütlece aynı katılma oranı kullanılması öngörüldüğünden, HS1 ve HS2 türü hava sürükleyici için kullanım talimatında verilen oranın üzerinde bir miktarda, HS3 içinse kullanım talimatında yer alan değerlerin alt sınırına yakın bir oranda ilave söz konusu olmuştur. Bu sebeple HS1 ve HS2 katkılı hava sürükleyici katkılı harçların mekanik özelliklerinde aşırı bir düşüş söz konusu olmuştur. Buradan hava sürükleyici katkıların kullanım oranı arttıkça numunenin basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve birim kütlesinin ters orantılı olarak düştüğü söylenebilir.

B. Donma-çözölme etkisine maruz lifli harçların mekanik davranışlarının incelenmesi

1. Harçlara lif katkıları ilave edildiğinde harçların birim kütleleri %2.5 ila %5.0 arasında düşmüştür.

2. Bu çalışmada kullanılan lif katkıların harçların eğilme dayanımları üzerindeki etkisi incelendiğinde, liflerin eğilme dayanımını genelde artırdığı görülür. PP lifi ise kabul edilebilir oranda (%4) bir düşüş meydana getirmiştir. CF ve GF lifleri en iyi dayanımı hacimce %1.2 oranında katılması ile sağlarken, AR ve PVA ise en iyi başarımı %0.8 oranında sağlamıştır. Buradan, doğru lif (CF) ve uygun oran (%1.2) seçilmesi durumunda

liflerin harç numunelerin eğilme dayanımını yüksek düzeylerde (%22) artırabileceği söylenebilir. Ancak her lif için en uygun oran değişmektedir.

3. Bu çalışmada kullanılan liflerin her orandaki ilavesiyle harç örneklerinin basınç dayanımı düşmektedir. %1.2 oranında PP, CF, AR, GF, PVA liflerin ilavesiyle basınç dayanımında sırasıyla %18.35, %5.31, %12.47, %9.96, %18.13 oranlarında düşüşler tespit edilmiştir. Ancak CF lif ilavesi ile meydana gelen düşüş kabul edilebilir seviyelerde kalmıştır.

6. Bu çalışmada kullanılan liflerin, her orandaki ilavesiyle harç örneklerinin dinamik elastisite modülünün düştüğü görülmüştür.

7. Tüm lif türü katkılı harçların yüksek derecede sehim performansı sergiledikleri gözlemlenmiştir.

8. Donma-çözülme etkilerine maruz lif katkılı örneklerin mekanik özellikleri incelendiğinde ise; 100 donma-çözülme döngüsü sonunda kontrol numunesinin basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve dinamik elastisite modüllerinde sırasıyla %14, %23 ve %9 oranlarında bir düşüş gerçekleşmiştir. Lif katkılı numunelerin ortalama düşüşleri ise sırasıyla %10, %12 ve %8 düzeylerindedir. Buradan görüldüğü gibi donma çözülme etkisi sebebiyle mekanik özelliklerdeki düşüşler lifli harçlarda daha düşük düzeyde kalmıştır. Basınç dayanımında en iyi başarıyı sadece %7'lik düşüşle AR lifini %0.8 oranında içeren numune ile PVA lifini %1.2 oranında içeren numune sergilerken, eğilme dayanımında %9'luk bir düşüşle PVA lifini %0.4 ile CF lifini %0.8 oranında içeren numuneler ve dinamik elastisite modülünde ise %4'lük düşüşle %1.2 oranında PP lif katkısı içeren numune göstermiştir.

5. KAYNAKLAR

- ACI 544, IR-96, 2002. State of the art report on fiber reinforced concrete, American Concrete Institute Committee 544 Report, 66 Pages.
- ACI Committee 201, 1992. Guide to Durable Concrete, ACI 201.2R-92, 39 pp.
- ACI Committee, 1997. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, 544ACI 544.1R-96, ACI.
- Aitcin P. C., 1998. High Performance Concrete, E&FN Spon, London, 591 pp, ISBN 0-419-19270-0.
- Altun, F., Özcan D. M., Vekli, M., Haktanır, T., 2002. Çelik Lif Katkılı Betonarme Kirişlerin Taşıma Gücünün Deneysel İncelenmesi, ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- ASM Committee, 2001. ASM Metal Hand Book Volume 21 Composites, ASM International Handbook Committee.
- Asokan, P., Osmani M and ADF, 2010. Improvement of the mechanical properties of glass fibre reinforced plastic waste powder filled concrete, Construction and Building Materials 24 448–460.
- ASTM D 578-98, 1998. Standard Specification for Glass Fiber Strands, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, USA.
- Atis, C. D., Karahan, O., 2009. Properties of steel fiber reinforced fly ash concrete. Construction and Building Materials 23, 392-399.
- Bahadır, B., 2007. Liflerin Beton Kırılma Tokluğuna Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 95s.
- Baradan, B., 2000. Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:207, İzmir.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., 2012. Beton, D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları, İzmir.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). D.E.Ü. Müh. Fak. Yayın No 298, İzmir.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2010. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Barluenga, G., Hernández-Olivares F., 2007. Cracking control of concretes modified with short AR-glass fibers at early age. Experimental results on standard concrete and SCC, Cement and Concrete Research, 37, 1624–1638.

- Bentur, A. and Mindess, S. 1990. Fibre Reinforced Cementitious Composites, Elsevier Applied Science, London and Newyork.
- Bezerra, E.M., Joaquim, A.P., Savastano Jr. H., John, V.M., Agopyan, V., 2006. The Effect of Different Mineral Additions and Synthetic Fiber Contents on Properties of Cement Based Composites, Cement and Concrete Composites, Volume 28, Issue 6, pp 555-563.
- Bhargava A., 2004. Engineering Materials-Polymers, Ceramics, Composites, Prentice Hall Limited.
- Birchall, J. D, Howard, A. J., Kendall, K., Raistrick, J. H., 1983. Cement composition and product. United States Patent No: 4,410,366.
- Bozkurt, N., 2009. Fiber Takviyeli Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 179s.
- Committee on Toxicology, 2000. Review of the U.S. Navy's Exposure Standard for Manufactured Vitreous Fibers, National Academy Press, Washington D.C., 91p.
- Committee, A., 1997. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, 544ACI 544.1R-96, ACI.
- Çavdar, A., 2013. The Effects of High Temperature on Mechanical Properties of Cementitious Composites Reinforced with Polymeric Fibers, Composites Part B: Engineering, Volume 45, Issue 1, Pages 78-88.
- Çavdar, A., 2012a. Study on the Effects of High Temperature on Mechanical Properties of Fiber Reinforced Cementitious Composites, Composites Part B: Engineering, Volume 43, Issue 5, Pages 2452-2463 .
- Çavdar, A., 2012b. The Effects of Types and Content of Fibers on Mechanical Properties of Cementitious Composites, ASPIC “The Asian Symposium on Polymers in Concrete”, İstanbul.
- Çopuroglu, O., 2006. The characterisation, improvement and modelling aspects of Frost Salt Scaling of Cement-Based Materials with a High Slag Content. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft, pp.182.
- Demirtaş, G., 2010. GRC Cephe Panellerinde Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Durmaz, B., 2007. Bölgesel Basınca Maruz Lifli Betonlarda Yatak Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 62s.

- Ekincioglu, Ö., Özkul, H. ve Struble, L. J., 2007. Farklı PVA'larla Üretilen Büyük Boşluklarından Arındırılmış Çimento-Polimer Kompozitlerinin Suyu Karşı Dirençlerinin İncelenmesi, Beton Teknolojisinde Gelişmeler ve Uygulamalar, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, No:28-30.
- Erdoğan, S., T., Erdoğan, T., Y., 2007. Bağlayıcı Malzemelerin ve Betonun Onbin Yıllık Tarihi, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Erdoğan, T., Y., 1997. Admixtures for Concrete. METU Press, Ankara.
- Erdoğan, T., Y., 2003. Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Erdoğan, T., Y., 2010. Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Ersoy H., Y., 2001. Kompozit Malzemeler, Literatür Yayıncılık. İstanbul.
- Fagerlund, G., 1977. Materiaux et Constructions, Paris, 10: 217–230; bicl. 231–251.
- Groth, P. and Ghasemlou, F., 1996. Toughness Characteristics of Steel Fibre Reinforced Concrete with Energetically Modified Cement, Lulea University of Technology, Division of structural Engineering, Internal Report 96:05 June, 23pp.
- İpek, G., 2007. Beton Büz Üretiminde Farklı Liflerin Kullanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 46s.
- Kurt, G., 2006. Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 87s.
- Li, V. C. and Maalej, M., 1996. Toughening in Cement Based Composites. Part II: Fiber Reinforced Cementitious Composites, Cement & Concrete Composites, 18, 239-249.
- Mehta, P. K. and Monteiro, P. J. M., 2006. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. McGraw-Hill Professional Publishing third edition, USA, 684p.
- Mehta, P. K. and Monteiro, P. J. M., 1993. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials, Second Edition, McGraw-Hill, ABD, 245 s.
- Miller, M., 2005. Polymers in Cementitious Materials, Smithers Rapra, Shropshire UK, 196p.
- National Research Council Staff, 1991. High Performance Synthetic Fibers for Composites, National Academies Press, Washington, D.C., 145p.
- National Research Council, 1994. Polymer Science and Engineering, National Academy Press, Washington.

- Nawy, E. G., 2001. Fundamentals of highperformance concrete. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, Inc.; ISBN 0-471-38555-7.
- Neville A. M., 1997. Properties of Concrete, John Wiley & Sons Inc., London, 844 pp., 1997, ISBN 0-582-23070-5.
- Newman John Choo Ban Seng, 2003. Advanced Concrete Technology Set, Volume-1 Concrete Properties, Butterworth-Heinemann, England.
- Pigeon M. and Pleau, R., 1995. Durability of Concrete In Cold Climates, E&FN Spon, 244 pp, 1995, ISBN 0-419-19260-3.
- Powders, T. C. and Brownyard, T. L., 1947. Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste, ACI.
- Powders, T. C., 1945. A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete, ACI , 242-272.
- Powders, T. C., Anel Helmuth R. A., 1953. Theory of Volume Changes in Hardened Portland Cement Pastes During Freezing Proc. Highway Research Board.
- Powers, T. C., 1949. Proceedings, Highway Research Board Annual Meeting, National Academy of Sciences, 29: 184–211.
- Saçak, M., 2010. Polimer Kimyası, Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- Sawyer, L., 2008, Grubb D and Meyers G, Polymer Microscopy, Springer, Third Edition.
- Schulson, E. M., 1998. Ice damage to concrete. CRREL special report 98-6.
- Shah, S. P., 1991. Do Fibers Increase the Tensile Strength of Cement-Based Matrixes, ACI Material Journal, V. 88, No. 6, Nov-Dec, 595-602.
- Shang, H. S. and Song, Y.P., 2008. Behavior of air-entrained concrete under the compression with constant confined stress after freeze–thaw cycles, Cement & Concrete Composites, 854-860.
- Siddique, R., 2003. Properties of Concrete Incorporating High Volumes of Class F Fly Ash and San Fibers, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 1, pp 37-42.
- Singh, S. P. and Kaushik, S.K., 2003. Fatigue Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete in Flexure, Cement and Concrete Composites, 25, 779-786.
- Sommerville G., 2000. A Holistic Approach To Structural Durability Design, Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century, Eve FN Spon, 41-56, ISBN 0-419-25060-3.

- Swamy, R. N., 1971. Fiber reinforcement, of Cement and Concrete Evaluation of Fibre Reinforcement Cement and Composites, 19 FRC Commitce, Materials and Structures, vol.8. No.45. pp, 235-254.
- Taşdemir, M. A., 1999. Çelik Tel Takviyeli Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışı, Çelik Tel Donatılı Betonların Sempozyumu, Sabancı Center, 4s.
- Teker, S. Z., 2012. Farklı tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 73s.
- TS EN 12390-7., 2002. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 196-1., 2002. Çimento Deney Metotları, TSE, Ankara.
- TS EN 197-1., 2002. Çimentolar, TSE, Ankara.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TSE, Ankara.
- TS 699, 2009. Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları, TSE, Ankara.
- Uğur, A., 2007. Lif Donatıların Yüksek Dayanımlı Betonlarda Yarma Dayanımı – Basınç Dayanımı İlişkisine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ünal, O., 1994. Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wang, Y., Li, V. C., Backer, S., 1990. Tensile Properties of Synthetic Fiber Reinforced Mortar, Cement and Concrete Composites, Volume 12, Issue 1, pp 29-40.
- Yalçınkaya, Ç., 2009. Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite ve Mikron Yapı Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yaman, N., Öktem, Y., Seventekin, N., 2007. Karbon Liflerin Özellikleri ve Kullanım Olanakları, Tekstil ve Konfeksiyon.
- Yardımcı, M. Y., 2007. Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yetgin, Ş., Çavdar, Ö., Çavdar, A., 2008. The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes, Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 3, Pages 222-227.

ÖZGEÇMİŞ

Zekariya ATAŞ, 1986 yılında Bingöl'de doğdu. İlk öğrenimini Bingöl'de tamamladıktan sonra orta öğrenimine Aydın'da başlayan Ataş, orta öğrenimini İstanbul'da 2002 yılında tamamlayarak Halkalı Mehmet Akif Ersoy Lisesi'nden mezun oldu. 2003 yılında girdiği ÖSS sınavı sonucu Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2007 yılında bu Bölüm' den mezun olarak lisans öğrenimini tamamladı. 2009 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'na İnşaat Mühendisi olarak atanan Ataş, aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans programına başladı.