

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

**YÜKSEK SICAKLIĞIN POLİMER ESASLI SENTETİK
MİKRO LİF TAKVİYELİ HARÇLARIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Abdullah BİNİCİ

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

Yozgat 2019

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

**YÜKSEK SICAKLIĞIN POLİMER ESASLI SENTETİK
MİKRO LİF TAKVİYELİ HARÇLARIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Abdullah BİNİCİ

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

Yozgat 2019

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70110712002 numaralı öğrencisi Abdullah BİNİCİ'nin hazırladığı “**Yüksek Sıcaklığın Polimer Esaslı Sentetik Mikro Lif Takviyeli Harçların Mekanik Özelliklerine Etkisi**” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 10/04/2019 Çarşamba günü saat 15:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR

Jüri Üyesi (Danışman) : Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Yuşa ŞAHİN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...18../...04../19. tarih ve 18.. sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

...18../04../2019


Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI
Müdür

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	1
KISALTMALAR LİSTESİ.....	1
1. GİRİŞ	3
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
2.1 Lifler Hakkında Genel Bilgiler	5
2.2 Lif Takviyeli Kompozitlerin Özellikleri	8
2.2.1.Çimentolu Kompozitlerde Kullanılan Lif Türleri.....	8
2.2.1.1. Doğal Lifler	10
2.2.1.2. Metalik Lifler	11
2.2.1.3. Sentetik Lifler.....	12
2.2.1.3.1 Akrilik Lifler	13
2.2.1.3.2 Aramid Lifler	13
2.2.1.3.3 Naylon Lifler	13
2.2.1.3.4 Polyester Lifler.....	14
2.2.1.3.5 Polipropilen Lifler.....	14
2.2.1.3.6 Poliolefin Lifler	14
2.2.1.4. Cam lifler	15
2.2.2 Lifli Kompozitlerin Kullanım Alanları	16
2.3 Polimer Lif Takviyeli Kompozitlerin Özellikleri	19
2.3.1 Polimerler.....	19
2.3.2. Polimerlerin Sınıflandırılması.....	20
2.3.2.1. Elde Edilişlerine Yöntemine Göre Polimerler	20
2.3.2.2. Kimyasal Bileşimlerine Göre Polimerler	20
2.3.3 Polimer Lifler	21
2.3.3.1 Polimer Liflerin Yapısı Ve Özellikleri.....	22
2.3.3.2. Polimer Lif Katkılı Betonlarının Özellikleri	22
2.4. Silis Dumanı.....	24
2.4.1 Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri	25

2.4.1.1. Renk	25
2.4.1.2. İncelik.....	25
2.4.1.3. Özgül Ağırlık	26
2.4.1.4. Gevşek Birim Ağırlık	26
2.4.1.5 Su İhtiyacı ve Puzolanik Aktivite	26
2.4.2 Silis Dumanın Kimyasal Özellikleri ve Kompozisyonu	27
2.4.3. Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkileri	28
2.4.3.1. Taze Beton Özellikleri Üzerine Etkisi	29
2.4.3.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerine Etkisi	31
2.4.4. Silis Dumanı Konusunda Standartlar	33
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	34
3.1. Kullanılan Malzemeler	34
3.1.1. Çimento	34
3.1.2. Silis Dumanı.....	35
3.1.3. İnce Agrega	36
3.1.4. Naylon Lif	36
3.1.5. Akışkanlaştırıcı	37
3.1.6. Karışım Suyu.....	37
3.2. Karışım Oranları ve Üretim	37
3.2.1. Numune Üretimi	39
3.3. Deneyler ve Yöntemler	39
3.3.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık, Porozite ve Su Emme Deneyleri	39
3.3.2. Eğilme Dayanımı Tayini	40
3.3.3 Basınç Dayanımı	41
3.3.4 Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi	42
3.3.5. Numunelere Sıcaklık Etkisi Uygulaması	43
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	44
4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık	45
4.2. Su Emme	54
4.3. Porozite	64
4.4.Ultrases Geçiş Hızı.....	74
4.5 Eğilme Dayanımı	84
4.6. Basınç Dayanımı	94
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	104
KAYNAKLAR	10707
ÖZGEÇMİŞ.....	1122

YÜKSEK SICAKLIĞIN POLİMER ESASLI SENTETİK MİKRO LİF TAKVİYELİ HARÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Abdullah BİNİCİ

Yozgat Bozok Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

2019; Sayfa: 112

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

ÖZET

Bu çalışmada polimer esaslı sentetik mikro lif ilave edilerek üretilen harçların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışları incelenmiştir. Mikro lifler %0, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarda ve silis dumanı ise çimento miktarının ağırlıkça %0, %5, %10 ve %15 oranlarında olacak şekilde toplam 16 seri harç numuneler üretilmiştir. Standart küre tabii tutulan harç numunelerin üzerinde laboratuvar koşullarında, ayrıca 300 °C, 600°C ve 900 °C sıcaklık etkisini maruz bırakıldıktan sonra fiziksel özelliklerin belirlenmesi amacıyla kuru birim ağırlık, boşluk oranı, su emme ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Mekanik dayanımların tespiti için ise eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan harçların kuru birim ağırlıklarında ve ultrases hızı geçiş hızlarında azalma gözlenirken, buna karşılık su emme ve porozite değerlerinde artış elde edilmiştir. Sıcaklık öncesi basınç ve eğilme dayanımlarında lif ve silis dumanı içeriğine bağlı olarak artış gözlenirken, sıcaklık sonrası dayanımlarda azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca, yüksek sıcaklık sonrası basınç ve eğilme dayanımlarındaki azalmalarda silis dumanı ve mikro lifin olumlu etkileri olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sentetik lif, silis dumanı, yüksek sıcaklık, harç

**THE EFFECTS OF HIGH TEMPERATURE ON THE MECHANICAL
PROPERTIES OF POLYMER-BASED SYNTHETIC MICRO FIBER
REINFORCED MORTARS**

Abdullah BINICI

Yozgat Bozok University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

2019; Page: 112

Thesis Supervisor: Professor Fuat KÖKSAL

ABSTRACT

In this thesis, the behavior of mortar, produced by adding polymer-based synthetic micro fibers, is investigated at elevated temperatures. Mortar specimens were produced by addition of fibers to the mix at 0%, 0.5%, 1% and 1.5% percentages, and silica fume was used at 0%, 5%, 10% and 15% percentages as a replacement of cement by weight. After standard curing, reference mortar specimens were kept in laboratory condition, and others were subjected to the temperatures of 300 °C, 600 °C and 900 °C. Then, specimens subjected to high temperatures left to self-cooling. In order to determine the physical properties such as dry unit weight, void ratio, water absorption and ultrasound tests were made on mortar specimens after cooling. Besides, flexural and compression tests were made for the mechanical strengths of mortars.

After application of high temperatures, it was observed that dry unit weight and ultrasound pulse velocity of mortar specimens decreased, however void ratio and water absorption of mortars including fiber and silica fume were increased less than reference specimens. The mechanical strengths of mortar increased by increasing silica fume and fiber before application of high temperature. On the other hand, mortars had good performance to the high temperature depending on the silica fume and the synthetic micro fiber the contents.

Keywords: Synthetic fiber, silica fume, high temperature, mortar.

TEŞEKKÜR

Öncelikle alıŐmalarım boyunca bilgi ve tecrübesi ile bana her konuda yardımcı olan çok değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fuat KÖKSAL' a en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Yüksek lisans eğitimimin ders aşamasından tezimin tamamlanmasına kadar geçen süre içerisinde her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen başta Sayın Dr. Öğretim Üyesi Yuşa ŞAHİN' e, tez aşamasında bana yardımlarını esirgemeyen İnşaat Yüksek Mühendisi Cansu ERGİN' e teşekkür ederim.

Benden desteklerini esirgemeyen başarabileceğime inanan ve güvenen eşim Aslı BİNİCİ ile kızlarım Muazzez BİNİCİ ve Mira BİNİCİ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca benden desteklerini esirgemeyen ve beni yalnız bırakmayan Babam Mustafa BİNİCİ ile Annem Muazzez BİNİCİ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Farklı türdeki liflere ait fiziksel özellikler [21].....	10
Tablo 2.3. Sentetik liflerin özellikleri [26].....	15
Tablo 2.4. Bazı cam liflerine ait fiziksel ve mekanik özellikler [32].....	15
Tablo 2.5. Çeşitli lif çeşitlerinin kullanım alanları [33].....	17
Tablo 2.6. Polimer liflerin fiziksel özellikleri [39].....	22
Tablo 2.7. ASTM C 618'in Sınırları [46].....	27
Tablo 2.8. Silis dumanının kimyasal bileşim oranları (% olarak) [50].....	28
Tablo 3.1. CEM I 42,5 R Portland Çimentosunun Özellikleri.....	34
Tablo 3.2. Çalışmada Kullanılan Silis Dumanın Özellikleri.....	35
Tablo 3.3. Çalışmada Kullanılan Naylon Lifin Özellikleri.....	36
Tablo 3.4. Karışım Miktarları.....	38
Tablo 4.1. Numunelerin Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları.....	46
Tablo 4.1. Numunelerin Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları (devam).....	47
Tablo 4.2. Numunelerin Su Emme Oranları.....	55
Tablo 4.2. Numunelerin Su Emme Oranları (Devam).....	56
Tablo 4.3. Numunelerin Porozite Değerleri.....	65
Tablo 4.3. Numunelerin Porozite Değerleri (Devam).....	66
Tablo 4.4. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızları.....	75
Tablo 4.2. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızları (Devam).....	76
Tablo 4.5. Numunelerin Eğilme Dayanımları.....	85
Tablo 4.2. Numunelerin Eğilme Dayanımları (Devam).....	86
Tablo 4.6. Numunelerin Basınç Dayanımları.....	95
Tablo 4.6. Numunelerin Basınç Dayanımları (Devam).....	96

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1. Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması [17].	7
Şekil 2.2. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı	8
Şekil 2.3 Çeşitli boyutlarda çelik ve sentetik lif türleri [19].....	9
Şekil 3.1. İnce Agregaya Ait Tane Dağılım Eğrisi	36
Şekil 3.2. Çalışmada Kullanılan Naylon Lif.....	37
Şekil 3.3. 24 Saat Kalıpta Bekletilen (a) ve Küre Tabi Tutulan (b) Numuneler.....	39
Şekil 3.4. Eğilme Deney Düzeneği.....	40
Şekil 3.5. Basınç Dayanımı Deney Düzeneği.....	41
Şekil 3.6. Ultra Ses Geçiş Hızının Belirlenmesi.....	42
Şekil 4.1. Numunelerin 300 °C ve 600 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu.....	44
Şekil 4.2. Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu.....	45
Şekil 4.3. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Hacim Ağırlığın Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi	48
Şekil 4.4. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Hacim Ağırlığın Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi.....	48
Şekil 4.5. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Polimer Lif İçeriği Vf=%0 Olduğundaki Değişimi	49
Şekil 4.6. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Polimer Lif İçeriği Vf=%0,5 Olduğundaki Değişimi	49
Şekil 4.7. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Polimer Lif İçeriği Vf=%1,0 Olduğundaki Değişimi	50
Şekil 4.8. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Polimer Lif İçeriği Vf=%1,5 Olduğundaki Değişimi	51
Şekil 4.9. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Silis Dumanı SD=%0 Olduğundaki Değişimi.....	52
Şekil 4.10. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi.....	52

Şekil 4.11. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Silis Dumanı $SD=\%10$ Olduğundaki Değişimi.....	53
Şekil 4.12. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Silis Dumanı $SD=\%15$ Olduğundaki Değişimi.....	54
Şekil 4.13. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi	57
Şekil 4.14. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi	57
Şekil 4.15. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Polimer Lif İçeriği $Vf=\%0$ Olduğundaki Değişimi	58
Şekil 4.16. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Polimer Lif İçeriği $Vf=\%0,5$ Olduğundaki Değişimi	59
Şekil 4.17. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Polimer Lif İçeriği $Vf=\%1,0$ Olduğundaki Değişimi	60
Şekil 4.18. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Polimer Lif İçeriği $Vf=\%1,5$ Olduğundaki Değişimi	60
Şekil 4.19. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Silis Dumanı $SD=\%0$ Olduğundaki Değişimi.....	61
Şekil 4.20. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Silis Dumanı $SD=\%5$ Olduğundaki Değişimi.....	62
Şekil 4.21. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Silis Dumanı $SD=\%10$ Olduğundaki Değişimi.....	63
Şekil 4.22. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Silis Dumanı $SD=\%15$ Olduğundaki Değişimi.....	64
Şekil 4.23. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi	67
Şekil 4.24. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi.....	67
Şekil 4.25. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Polimer Lif İçeriği $Vf=\%0$ Olduğundaki Değişimi	68
Şekil 4.26. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Polimer Lif İçeriği $Vf=\%0,5$ Olduğundaki Değişimi	69

Şekil 4.27. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Polimer Lif İçeriği Vf=%1,0 Olduğundaki Değişimi	70
Şekil 4.28. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Polimer Lif İçeriği Vf=%1,5 Olduğundaki Değişimi	70
Şekil 4.29. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Silis Dumanı SD=%0 Olduğundaki Değişimi.....	71
Şekil 4.30. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi.....	72
Şekil 4.31. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Silis Dumanı SD=%10 Olduğundaki Değişimi.....	73
Şekil 4.32. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Silis Dumanı SD=%15 Olduğundaki Değişimi.....	74
Şekil 4.33. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi	77
Şekil 4.34. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Her Bir Lif İçeriğindeki Değişim	77
Şekil 4.35. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Polimer Lif İçeriği Vf=%0 Olduğundaki Değişimi	78
Şekil 4.36. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Polimer Lif İçeriği Vf=%0,5 Olduğundaki Değişimi	79
Şekil 4.37. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Polimer Lif İçeriği Vf=%1,0 Olduğundaki Değişimi	80
Şekil 4.38. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Polimer Lif İçeriği Vf=%1,5 Olduğundaki Değişimi	80
Şekil 4.39. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Silis Dumanı SD=%0 Olduğundaki Değişimi.....	81
Şekil 4.40. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi.....	82
Şekil 4.41. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Silis Dumanı SD=%10 Olduğundaki Değişimi.....	83
Şekil 4.42. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Silis Dumanı SD=%15 Olduğundaki Değişimi.....	84

Şekil 4.43. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi	87
Şekil 4.44. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi	87
Şekil 4.45. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Polimer Lif İçeriği $V_f=0$ Olduğundaki Değişimi	88
Şekil 4.46. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Polimer Lif İçeriği $V_f=0,5$ Olduğundaki Değişimi	89
Şekil 4.47. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Polimer Lif İçeriği $V_f=1,0$ Olduğundaki Değişimi	90
Şekil 4.48. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Polimer Lif İçeriği $V_f=1,5$ Olduğundaki Değişimi	90
Şekil 4.49. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Silis Dumanı $SD=0$ Olduğundaki Değişimi.....	91
Şekil 4.50. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Silis Dumanı $SD=5$ Olduğundaki Değişimi.....	92
Şekil 4.51. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Silis Dumanı $SD=10$ Olduğundaki Değişimi.....	93
Şekil 4.52. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Silis Dumanı $SD=15$ Olduğundaki Değişimi.....	94
Şekil 4.53. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi	97
Şekil 4.54. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi	97
Şekil 4.55. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Polimer Lif İçeriği $V_f=0$ Olduğundaki Değişimi	98
Şekil 4.56. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Polimer Lif İçeriği $V_f=0,5$ Olduğundaki Değişimi	99
Şekil 4.57. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Polimer Lif İçeriği $V_f=1$ Olduğundaki Değişimi	99
Şekil 4.58. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Polimer Lif İçeriği $V_f=1,5$ Olduğundaki Değişimi	100

Şekil 4.59. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Silis Dumanı SD=%0 Olduğundaki Değişimi.....	101
Şekil 4.60. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi.....	101
Şekil 4.61. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Silis Dumanı SD=%10 Olduğundaki Değişimi.....	102
Şekil 4.62. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Silis Dumanı SD=%15 Olduğundaki Değişimi.....	103



KISALTMALAR LİSTESİ

EN	:	Avrupa Normu
TS	:	Türk Standartları
PP	:	Polipropilen
SD	:	Silis Dumanı
Si	:	Silis
YDB	:	Yüksek Dayanımlı Beton
μs	:	Mikro saniye
MPa	:	Megapascal
GPa	:	Gigapascal
L	:	Lif Boyu
d	:	Lif Çapı
L/d	:	Lif Narinliği
S/Ç	:	Su / Çimento oranı
V_f	:	Lif Oranı
W_0	:	Etüv kurusu ağırlık
W_1	:	Suya doymun havadaki ağırlık
W_2	:	Su içerisindeki ağırlık
P	:	Uygulanan kuvvet (N)
L	:	Mesnetler arası uzaklık (100 mm)
b	:	Numune kesitinin kısa kenar uzunluğu (40 mm)
d	:	Numune kesitinin yüksekliği (40 mm)
σ_e	:	Eğilme Dayanımı, MPa
A	:	Kesit Alanı (1600 mm ²)

- σ_b** : Basınç Dayanımı, MPa
 V_s : Ultrases geçiş hızını (km/sn)
L : İki transduser arası mesafeyi (160 mm)
T : Ultrases geçiş hızını (μ s)



1. GİRİŞ

Beton, günümüz yapı teknolojisinde en sık kullanılan, kolay üretilebilen ve bileşenleri kolay temin edilebilen, ekonomik bir malzeme olmasına karşın, özellikle yük altındaki davranışının ve mekanik özelliklerinin tam anlaşılammış olması sebebiyle üzerinde yoğun çalışmaların hala sürdürüldüğü bir malzemedir. Betonun eğilme ve çekme kuvvetleri etkisi altında gösterdiği dayanım davranışı, basınç etkisi altında gösterdiği dayanım davranışa göre daha zayıftır. Ayrıca yüksek süneklikten yoksundur. Araştırmacılar, betonun basınç, eğilme ve çekme dayanımları gibi özelliklerini iyileştirebilmek için uzun yıllardır geniş kapsamlı çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar ışığında beton ve elemanlarının donatılmasında farklı malzemeler ilave edilerek çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Polipropilen, cam, karbon vb. lif donatılı betonlar da bu çalışmalar kapsamında ele alınabilir. Lifleri betona katmakta ki temel amaç, çekme ve eğilme yüklerine karşı dayanımı artırmak ve çatlakların oluşumunu engellemektir [1]. Lifler antik çağlardan beri güçlendirme malzemesi olarak kullanıla gelmiştir. Tarih boyunca at kuyruğu, saman ve sisal lifi harçlarda ve kil tuğlalarda takviye için kullanılmıştır [2]. Polipropilen (PP) türü polimer liflerin sünekliği darbe dayanımını ve eğilme dayanımını arttırdığı büzülme çatlaklarını da engellemeye yardımcı olduğu bilinmektedir [3].

Polimerler, metalik olmayan (genellikle organik), yüksek moleküler ağırlığa sahip, zincirli yapıda bir malzemedir. Homopolimer, her halkası aynı türe sahip zincir yapıda polimerdir. Bu çalışmada kullanılan homopolimer, polipropilen türü liftir. Kopolimer ise iki veya daha fazla farklı halka içeren molekül zinciridir. Bu çalışmada kullanılan kopolimer polipropilen-poliyeten karışımı makro sentetik bir liftir. Aramid lif terimi aromatik poliamid lif teriminin kısaltmasıdır. Bunların molekül zincirleri lif boyunca dizilmiştir ve hidrojen bağı sebebi ile enine çekme dayanımları çok düşüktür [4].

Yangına veya herhangi bir yüksek sıcaklığa maruz kalma betonun veya çimento harcının mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir. Betonun veya çimento harcının boşluk yapısında değişimlerin meydana gelmesi kavlanma ve çatlamların oluşması çimento hamuru ve agregalar arasındaki aderansın zarar

görmesi ve sertleşmiş çimento hamurunun bozulması bu etkilere örnek olarak verilebilir [5]. Bu durum beton bileşenlerinin ısı uyumsuzluğu denen ve iki mekanizma sonucunda oluşabilen bir olgudur; buhar basıncı oluşumu mekanizması [6] ve kısıtlanmış ısı genleşme mekanizması [7] yüksek dayanımlı betonun normal beton ile kıyaslandığında daha düşük olan geçirimsizliği sebebi ile buhar basıncına karşı daha zayıf olduğu düşünülmektedir [8]. Yüksek dayanımlı beton, yoğun mikro yapısı sebebi ile sıvı ve gaz halindeki suyun bünyeden uzaklaşmasını engeller. Isı uyumsuzluğun sonucunda genişleyen agrega ve büzülen çimento hamuru arasında ısı gerilmeleri oluşur. Agregaya ve onu çevreleyen çimento hamurunun arasındaki aderans azaldığından kırılmalar meydana gelir ve beton dayanım kaybeder [9]. Birçok çalışma göstermiştir ki betonun ısı duyarlılığı polimer lif katkısıyla geliştirilebilmektedir.

Polimer lifler yaklaşık olarak 160-170°C'de eridiği için geniş kanallar oluştururlar. İlave gözenekler ve eriyen polimer lifler tarafından oluşturulan küçük kanallar betondaki iç buhar basıncını düşürür. Eriyen polimer liflerin yol açtığı ek gözenekler, betonların artan mekanik performansının düşüşüne yol açabilir. Betonun direnci, polimer liflerin türü ve uzunluğu ile ilişkilidir. Örülerek kalınlaştırılmış lifler tekil liflere göre daha dirençli bir hamur yapısı oluştururlar. Bu örülü liflerin çapının diğerine göre daha büyük olmasından kaynaklanır [10].

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Lifler Hakkında Genel Bilgiler

İlk insanların keçi kılı, insan saçı ve saman çöpü kullanarak harç ve tuğlayı güçlendirmek için, yapı malzemelerinin doğal yapısını iyileştirmeye yönelik çalışmaların oldukça eski zamanlara dayandığını göstermektedir. Gerçekte ise 4500 yıl öncesinden yapılarda kullanılan harca samanın eklenmesiyle elde edilen kerpiç, lifli betonlara ilham kaynağı olmuştur. Yapı malzemelerinde lif gibi ilave donatıların kullanılması, geleneksel betonunun kullanılması kadar eskidir [11].

Roma Collosium inşaatının yapımında kullanılan ve dönemin sıvası olarak isimlendirebileceğimiz balçık karışımlarına farklı hayvan türlerine ait yele ile kuyruk kıllarının sıvaya ilave edildiğini biliyoruz. Mimar Sinan' nın da Osmanlı Mimarisi yapılarında içerisinde saman gibi doğal lifler içeren Horasan Harcı kullandığı bilinmektedir.

Su, agrega ve çimentonun karışımından oluşan bir malzeme olan beton İkinci Dünya Savaşı dönemlerine kadar çok büyük bir değişim ve gelişim göstermemiştir. Betonda oluşan çatlakların malzemenin kendi doğal yapısından kaynaklandığı düşünülerek yıllar boyunca dikkate alınmadı. Bu çatlakların nedeni ise betonun ilk dönemlerinde kendi iç bünyesinde oluşan gerilmeleri taşıyacak kadar yeterli dayanımının olmamasıydı [12].

1960'lı yılların başında Amerikan Silahlı Kuvvetleri Mühendisleri Birliği tarafından betonda oluşan büzülme ve çökme çatlakları için bir araştırma ve geliştirme çalışması başlatmıştır. Yapılan çalışmalar sırasında betonda oluşan büzülme ve çökme çatlaklarının azaltılması amacıyla eskiden beri kullanılan yöntemler, yüzeyin sıvı bir kür malzemesi veya bir örtü ile kapatılarak betonun su içeriğini korumasını kapsıyordu. Fakat kullanılan bu yöntemler çatlakların kılcal olmasını sağlıyor olsa da yük altında, betonda oluşan çatlakların genişlemesini önlemiyordu. Araştırmalar sonucunda “plastik rötre çatlaklarının, betonun tasarlanan mukavemet değerine ulaşmaya kadar geçen süre içerisinde maruz kaldığı dinamik iç gerilmelerden kaynaklandığı” sonucuna varılmıştır. Bir diğer sonuç da elde edilen ise “beton içerisine konulacak liflerin betonun balistik, darbe dayanımını ve enerji sönümlemesini arttırdığı” şeklinde olmuştur [13].

1963'lü yıllarda lifli betonlar üzerinde yapılan çalışmalar, beton içerisine cam liflerin ilave edilmesiyle sürdürülmüştür. Devam eden zamanlarda ise farklı lif çeşitlerinin betonun dayanımı üzerine etkileri incelenmiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde; beton içerisine süreksiz olarak dağılı bir şekilde ilave edilen lif türlerinin genellikle betonda oluşan çatlakların oranını en aza indirdiği ve lif katkılı betonun şekil değiştirme özelliğini arttırdığı sonucuna varılmıştır [14].

Lif, bir boyutu diğer boyutuna göre çok daha büyük olan, insan eliyle üretilen ya da doğal yollarla bulunan, elastisite modülleri ve mukavemeti aynı malzemenin büyük hacimli haline göre yüksek olan malzemeler olarak tanımlanır [15].

Liflerin büyük formasyondaki durumlarına göre elastisite modüllerinin ve dayanımlarının yüksek olması lifleri malzemenin en gelişmiş hali yapar. Günümüzde kullanılan liflerin yanı sıra insanoğlunun lifleri çok eski zamanlarda da keçi kılı, atkuyruğu, kenevir, keten, gibi doğal lifleri kullanıldığı bilinmektedir.

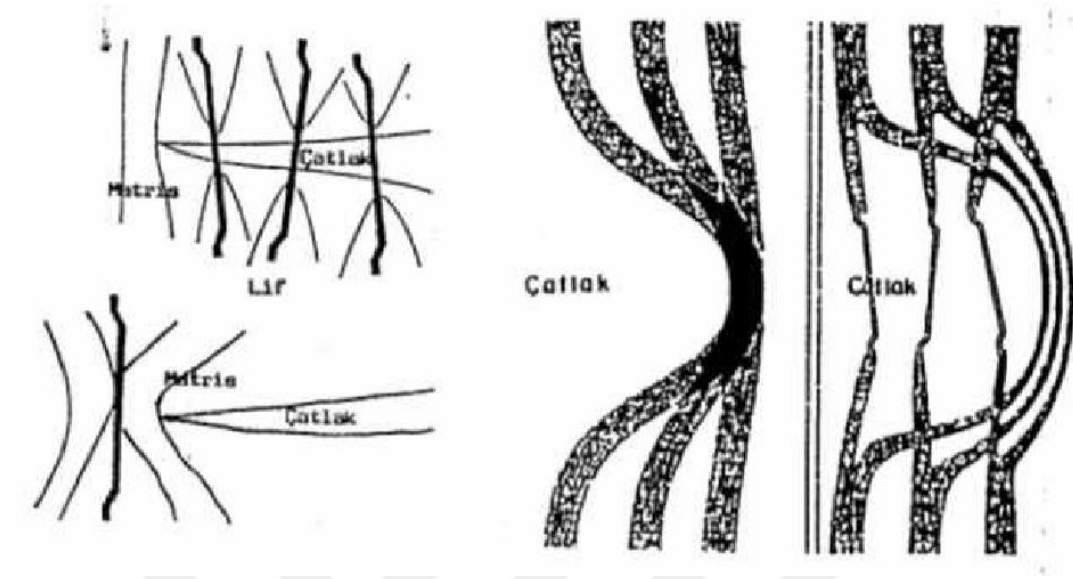
İlk defa 19. Yüzyılın sonunda ortaya çıkan insan eliyle üretilmiş liflerin geçmişi çok fazla değildir. Fakat insan eliyle üretilen sentetik liflerin kullanımı kısa sürede yaygınlaşarak vazgeçilmez hale gelmiştir [16].

Heterojen bir malzeme olan beton agreganın çimento hamuru ile bağlanmasından meydana gelmektedir. Bu sebeple betonun kırılma sürecini birçok süreksizlik etkilemektedir. Bu süreksizliklerden biri olan çimento ve agrega yüzeyinde meydana gelen gerilmelerden ötürü oluşabilecek çatlakların büyümesini betona ilave edilen lifler engellemektedir. Lif etkisi bu sayede betonun sünekliğini ve mekanik özelliklerini geliştirerek oluşabilecek ani göçmelerin de önüne geçer.

Betonlarda kullanılan lifler, çekme mukavemetlerinin yüksek olması sayesinde, betondaki çatlakların oluşmasını, dağılmasını ve büyümesini önlemektedir [17]. Betona belirli oranlarda ilave edilen lifler beton bünyesinde meydana gelen çatlaklarda oluşan gerilmeleri çatlak oluşmamış kısımlara iletirler. Böylece çatlak bulunan kısımlardaki lifler, matristeki gerilmeleri iletterek çatlaklı beton kesitlerinin dayanımından da faydalanılmasını sağlamaktadır [18].

Bu durum Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Çatlakların oluştuğu bölgede taşıma gücü artırılarak, mekanik ve fiziksel özellikleri geliştirilmiş bir malzeme elde

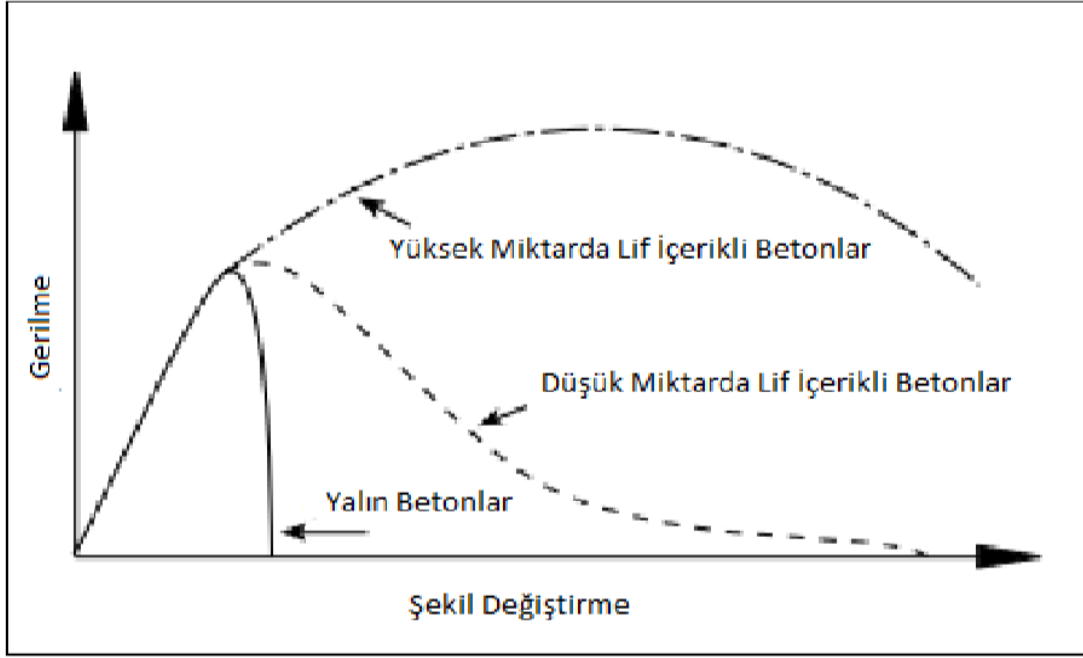
edilmektedir. Lif etkisinin betonlarda gerilme şekil değiştirme üzerindeki etkisi Şekil 2.2' de görülmektedir.



Şekil 2. 1. Liflerin gerilme kuvvetlerini bir köprü gibi aktarması [17].

Liflerin betona katkıları Şu Şekilde sıralanabilir;

- Taze betonda oluşabilecek çatlakları engeller,
- Durabiliteyi arttırır
- Çekme ve eğilme mukavemetlerini arttırır,
- Gevrek kırılmayı engeller,
- Çarpma dayanımını ve tokluğu arttırır [18].



Şekil 2.2. Lifli betonun tipik gerilme şekil değiştirme diyagramı

2.2 Lif Takviyeli Kompozitlerin Özellikleri

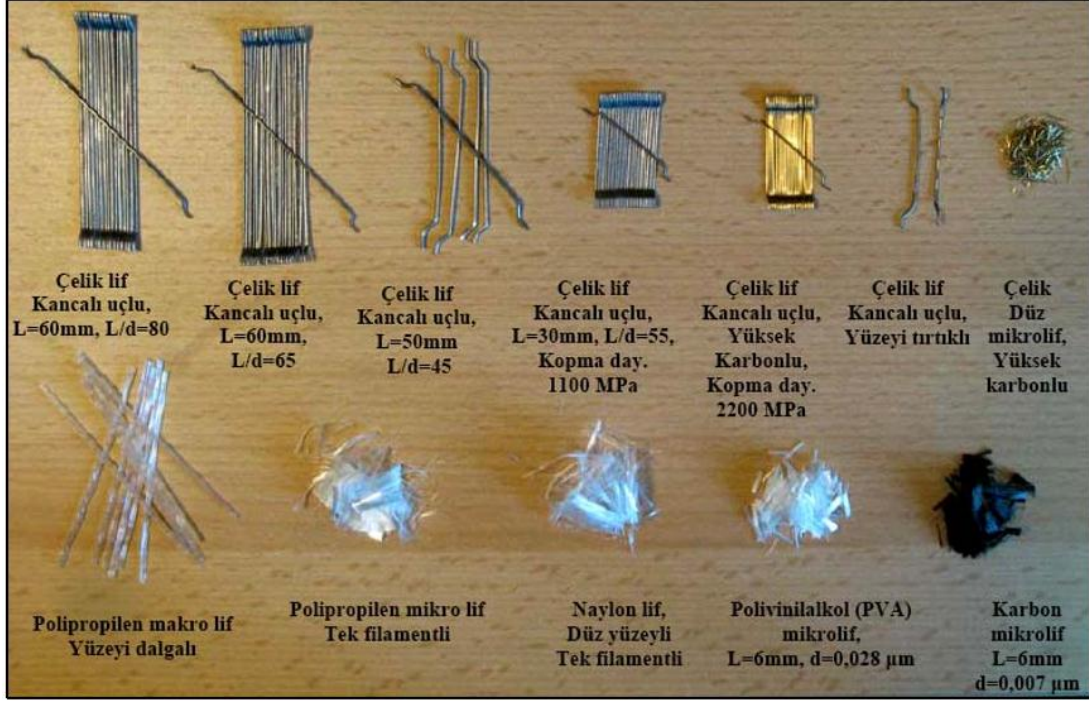
2.2.1.Çimentolu Kompozitlerde Kullanılan Lif Türleri

Çimentolu kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için doğal, metalik, sentetik ve cam lifler kullanılabilir. Tasarım aşamasında liflerin karakteristik özelliği dikkate alınarak kullanım amacına yönelik uygun lif çeşidi seçilmektedir. Lif çeşitlerinin mekanik özelliklerine katkısı olduğu gibi bazı durumlarda kimi özelliklerde düşüşler görülebilmektedir. Lif türlerinin mekanik özellikleri geliştirici etkisine ek olarak durabilite zorlamalarından oluşabilecek hasarların önlenmesi için yapılan araştırmalar günümüzde de devam etmektedir.

Sentetik liflerin kullanımı son yıllarda hız kazanmakta olup sık kullanılan sentetik liflere örnek olarak alkol, karbon, akrilik polipropilen, polietilen ve polivinil lifler verilebilir. Yüksek alkali ortamda bulunan liflerin betonun tüm bölgelerinde etkili bir şekilde iş görebilir olması yani yapısının kimyasal bozulmalardan korunarak yalın haldekine yakın performans gösterebilmeleri için diğer matris malzemeleri ile iyi bir aderans kurulması ve kalıba homojen olarak dağıtılması gerekmektedir.

Şekil 2.3'te sık kullanılan liflerin sıralı halde fotoğrafı gösterilmektedir. Şekilde görüleceği üzere birçok geometrik yapı, dayanım, narinlik ve kullanılan

hammaddeye göre sayısız lif çeşidi üretilebilir. Genellikle bu lifler demetler halinde suda eriyen yapıştırıcılarla tutturulmuş şekilde satılmaktadır. Çimentolu matrislere ilave edilen liflerden makro ve mikro boyuttaki çelik lifler ve yüksek performanslı PVA lifler çatlak genişliğinin sınırlandırılması ve tokluk arttırmak için kullanılır iken polipropilen lifler ise plastik rötre çatlaklarının azaltılması ve yüksek sıcaklık etkisi altında patlayarak dağılmalarını engellemek için kullanılabilir [19].



Şekil 2.3 Çeşitli boyutlarda çelik ve sentetik lif türleri [19]

Kullanım alanları ve farklı mekanik özellikleri bakımından birçok lif çeşidi bulunmaktadır. Bu lifler genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilirler [20]

- Doğal Lifler
 - Bitkisel Lifler
 - Hayvansal Lifler
 - Mineral Lifler
- Sentetik Lifler
 - Polimer Lifler
 - Seramik Lifler
 - Metalik Lifler

Değişik türden liflere ait bazı özellikler Tablo 2.1 de gösterilmektedir;

Tablo 2.1. Farklı türdeki liflere ait fiziksel özellikler [21]

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10^3 , MPa)	Maksimum Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)
Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8,3	11-13	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,9
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral Yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-3,5	7,8

2.2.1.1. Doğal Lifler

Kolayca elde edilebilmeleri bu liflerin en önemli özellikleridir. Fakat doğal liflerin olumsuz özelliklerinden biri de alkali ortamda parçalanma eğiliminde olmalarıdır. Bu sorunu çözmek için betonun alkali oranını azaltacak katkıları ilave edilmelidir. Bilinen en eski doğal lifler at yelesi ve saman olup Portland çimentosuyla üretilen betonda kullanılan diğer doğal lifler ise şeker kamışı, hindistan cevizi, ahşap ve bambu gibi liflerdir. Korozyona dayanıklı, çevre kirliliği oluşturmayan, yalıtkan ve elastik özellikte olan bazalt lifler yüksek sıcaklıkta bazalt kayacın ergitilmesi ile elde edilen bir üründür. Son dönemlerde bazalt; lifler ve iplerden oluşan kumaşlarda kullanılan malzemeler arasında olup bazalt lifi kullanılarak üretilen kumaş kimyasal, yüksek mekanik, ses ve ısı yalıtım özellikleri ile başta otomotiv sektörü olmak üzere savunma sanayi, gemicilik, havacılık vb. birçok sektörde kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe ise benzer ürünler olan karbon ve sentetik lifli kumaşların alternatifi olan

Bazalt lifler ayrıca betonarme yapılarda da epoksi reçine ile birlikte çelik formunda üretilen donatı olarak Rusya, Amerika ve Ukrayna gibi ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede, donatı çeliğinden yaklaşık üç kat daha hafif, daha yüksek dayanıma sahip, termal genişleme katsayısı betonun genişleme katsayısına oldukça yakın ve alkali reaksiyonlara karşı yüksek direnci gibi özellikleri ile korozyon riski bulunan yapı elemanlarında da donatı çeliğine alternatif olma potansiyeli bulunan ürünlerdendir [22].

2.2.1.2. Metalik Lifler

Metallar yüksek plastik şekil değiştirme özelliklerinden dolayı günümüzde inşaat ve sanayi sektöründe çokça kullanılırlar. Metal lifler ise uzunca bir süredir kullanılmaktadır. Bazı metalik liflerin fiziksel özellikleri Tablo 2.2’ de verilmiştir:

Tablo 2.2. Bazı metalik liflerin tipik özellikleri [23].

Metal	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Al	2,7	660	70	300
Be	1,8	1350	310	1100
Cu	8,9	1083	125	450
Mo	10,2	2625	330	2200
W	19,3	3410	350	2890 (< 250 µm) 3150 (< 125 µm) 3850 (< 25 µm)
0,9 % Karbon Çeliği (0,1 mm çapında)	7,9	1300	210	4000
Paslanmaz çelik (0,05 mm çapında)	7,8	1535	198	2400

En çok kullanılan metalik lif paslanmaz çelik liflerdir. Paslanmaz çelikten üretilen lifler hem metallerin korozyona uğrama riskini ortadan kaldırır hem de çeliğin yüksek elastisite modülü ve dayanımı özellikleri sayesinde diğer tüm lifler çeşitlerinden daha üstün bir konuma getirmektedir.

Betona ilave edilebilecek çelik liflerin özelliklerini belirten ve sınıflandıran Amerikan Standardı ASTM A 820-96’ da [24] çelik lifler 4 değişik şekilde gruplandırılmıştır. Bunlar:

- Tip 1: Soğuk çekilmiş çelik lifler,
- Tip 2: Plakadan kesilmiş çelik lifler,
- Tip 3: Haddelenip çekilmiş çelik lifler,
- Tip 4: Diğer lifler

Sadece oluşum biçimine göre sınıflandırılmış olan bu lifleri, Türk standardı TS 10513/92 [25] ise lifleri çeşitlerine göre şu şekilde sınıflandırır:

- A: Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler,
- B: Bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler,
- C: Sonu kancalı lifler.

B sınıfı lifler, uzunluğu boyunca deforme olma şekline göre;

- Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler,
- Ay biçimi dalgalı lifler
- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler,

C sınıfı lifler sonlarındaki kancalara göre;

- İki ucu kıvrılmış lifler,
- Bir ucu kıvrılmış lifler olmak üzere ikiye ayrılır.

TS 10513 / 92' de çelik liflerin özellikleri ile ilgili iki önemli parametre vardır:

- Liflerin çekme dayanımı-kopma dayanımı ortalaması 345 N/mm^2 ' den her bir lif için çekme dayanımı-kopma dayanımı ise 310 N/mm^2 'den az olmamalıdır.
- $16 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik ortamda, lif eğilme deneyine tabi tutulan liflerin 3,18 mm'lik bir iç çap çevresinde yapılan 90° eğilme yaptığıında %90'ının kırılmaması gerekmektedir.

2.2.1.3. Sentetik Lifler

Sentetik lifler tekstil endüstrisi ve petrokimya alanında yapılan ARGE çalışmaları sonucunda insan eli ile üretilen bir lif türüdür. Bu liflerin betondaki alkali ortama karşı direnci yüksektir. Naylon, polipropilen, aramid, polyester, akrilik ve polietilen başlıca polimer esaslı sentetik lif çeşitleridir. Sentetik liflerin çekme dayanım

değerleri çok yüksektir. Aramid lif dışındaki diğer sentetik lif çeşitlerinin ise elastisite modülleri daha düşük değerlerdedir. Çapları mikron düzeyde olan sentetik liflerinin kalitesi narinliklerine bağlı olarak değişmektedir. Sentetik lifler genellikle iki farklı karışım oranında betona katılır. Bunlarda biri hacimce %0,1 ile %0,3 olan düşük oranda bir diğeri ise hacimce %0,4 ile %0,8 olan yüksek oranda olarak karışımıza çıkmaktadır. En çok kullanılan karışım oranı ise hacimce %0,1'lik olan karışımlardır. Bu karışım oranı kullanıldığında betonun gerilme değerleri sabit kalıp kontrollü kırılmalar gerçekleşmiştir [26].

2.2.1.3.1 Akrilik Lifler

Lif katkılı betonlarda asbestlerin yerini akrilik lifler almıştır. Akrilik lifler seyreltik su ve çimento karışımı ile birleştirildiğinde bir kompozit meydana getirdiler. Kompozitin şekli ve kalınlığı gibi fiziksel özellikleri ise basınç altında vakumlama işlemi yapılarak belirlenebilir. Hacimce düşük oranlarda eklenen akrilik lifler betonda oluşacak plastik rötre etkisini en aza indirmektedirler.

2.2.1.3.2 Aramid Lifler

Aramid lifler, birim kütlede cam liflerden iki buçuk, çelik liflerden ise beş kat daha kuvvetli lifler olmasına rağmen maliyetinin fazla olması nedeniyle çok yüksek dayanım gerektiren uygulamalarda kullanılan lif çeşididir.

2.2.1.3.3 Naylon Lifler

Hammaddesi petrol olan doğrusal poliamid tipi plastiklere naylon denir. Naylon elyafının polyester karşısında dayanıklılık bakımından daha üstün olması bu elyafın üretim çalışmalarının arttırılmasını sağlamıştır. Polipropilen ve polyester lifler betonun sadece mekanik özelliklerini etkilerken naylon lifler ile beton arasında ise su emme özellikleri sayesinde daha kuvvetli bir bağ oluşur. Taze betonda süresiz dağılı olarak bulunan lif donatılar, plastik rötre çatlaklarına engel olurken sertleşmiş betonda da mikro çatlakların makro düzeye geçmesine engel olmaktadır. Naylon lifli betonların basınç dayanımlarında lif ilave edilmemiş betona göre fazla bir değer artışı görülmesi de, naylon liflerin çekme dayanımlarının yüksek olması, bu özelliklerini ilave edildikleri kompozite aktarmaları ve beton içerisindeki dağılımlarının daha düzenli olması nedeniyle diğer sentetik lif türlerinin ilave edildiği betonlara göre basınç dayanımları daha yüksektir. Günümüzde betonda lif

olarak ilave edilen iki farklı naylon lif türü vardır. Bunlar naylon 6 ve naylon 6.6 dır [27]. Genel olarak bütün poliamid elyaflarına naylon denilse de naylon terimi aslında poliamid 6.6 için öngörülmüştür.

Naylon 6 ve naylon 6.6 arasında küçük fiziksel özellik farklılıkları dışında neredeyse aynı özelliklere sahip olup birbirlerinin yerlerine de kullanılabilirler. Naylon liflerin yüzeyleri pürüzsüz olup genellikle silindirik bir görünüme sahiptirler. Naylon 6' nın erime noktası 210°C iken naylon 6.6 250°C' de erime sıcaklığına ulaşması bu iki tip naylon lifin en önemli fiziksel farklılığıdır. Aşağıda her iki naylon lif tipi için ortak fiziksel ve kimyasal özellikleri belirtilmektedir.

- Özgül ağırlıkları 1,15 g/cm³ ' tür.
- Çekme dayanımı yüksektir.
- Alkaliye karşı dayanıma sahiptirler.
- Asitler hariç kimyasal dirence sahiptirler.
- Yüksek su emme kapasitelerine sahiptirler [28].

2.2.1.3.4 Polyester Lifler

Polyester lifler ince telli bir yapıya sahip olup termoplastik polyester grubundadır. Polyester lifin betona hacimce %0,1 oranında ilave edilmesi durumunda betonda oluşabilecek plastik rötreği engellediği gözlemlense de sıcaklık etkisine karşı dayanıksız bir malzeme olması nedeniyle sıcaklığın bu liflerin özellikleri üzerinde olumsuz etkileri olmaktadır [26].

2.2.1.3.5 Polipropilen Lifler

Sentetik hidrokarbon polimer olan polipropilen lifler betonda 1960'larda kullanılmaya başlanmıştır. Polipropilen liflerin hidrofobik yapıya sahip olması nedeniyle çimento matrisi ile zayıf bağ oluşmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu özelliğinden dolayı kolay tutuşabilen, düşük ergime sıcaklığı ve diğer sentetik liflere göre daha düşük elastisite modülüne sahip olması nedeniyle plastik şekil değiştirmeye yatkındır.

2.2.1.3.6 Poliolefin Lifler

1990'lı yıllardan itibaren polietilen ve polipropilen gibi polimer esaslı bir malzeme olan poliolefin, plastik koruma malzemesi ve çeşitli tekstil ürünlerinde yaygın olarak

kullanılmakta olup Amerika’ da kullanım oranı 1996’ dan günümüze kadar %6’ dan %20’ ye çıkmıştır [29].

Betonda sünekliği, yorulma direncini, çarpmaya karşı direncini ve bunlara bağlı olarak da tokluğu arttırdığı görülen poliolefin lifler ilk olarak betonun çarpma direncini arttırmak için köprü ve otoyol bariyer taşlarında (Jersey taşı) kullanılmıştır [30, 31].

Sentetik liflerin çeşitlerine ait mekanik ve fiziksel özellikler Tablo 2.3’ te verilmiştir.

Tablo 2.3. Sentetik liflerin özellikleri [26]

Lif Tipleri	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Nihai Uzama (%)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Çap (10-3mm)
Akrilik	1,17	207-1000	14,6-19,6	7,5-50,0	-	13-104
Aramid I	1,14	3620	62	4,4	-	12
Aramid II	1,44	3620	117	2,5	-	10
Naylon	1,16	965	5,17	20	260	23
Polyester	1,34	896-110	17,5	-	265	-
Polietilen	0,96	200-300	5	3	253	25-30
Polipropilen	0,91	310-760	3,5-4,9	15	160	18

2.2.1.4. Cam lifler

Sertlik derecesi yüksek, aşınmaya karşı dirençli ve reaktif ürün olmayan aynı zamanda hafif, esnek ve düşük maliyetli olan cam lifleri çeşitli sınıflara ayrılırlar. Bütün bu benzer özelliklerine rağmen farklı dayanım, elastisite modülü ve çevresel etkilere karşı direnç değerlerine sahip olan cam liflerden E tipi lifler çekme dayanımı ve kimyasal direnci düşük olan, S tipi lifler daha yüksek dayanım ve maliyete sahiptirler. C tipi liflerin ise korozyona karşı dayanımı yüksektir. Bazı cam lifi tiplerinin fiziksel özellikleri Tablo 2.4’ te verilmiştir.

Tablo 2.4. Bazı cam liflerine ait fiziksel ve mekanik özellikler [32]

Cam Lifi Tipi	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Çekme Dayanımı (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)
E	2,54	1,7-3,5	69-72
S	2,48	2,0-4,5	85
C	2,48	1,7-2,8	70
CEM-FİL	2,7	-	80

2.2.2 Lifli Kompozitlerin Kullanım Alanları

Günümüzde hem inşaat hem de sanayi sektöründe karşımıza çıkan lifli kompozitlerde kullanılan liflerin her çeşit matrisle uyum sağlamamakta, her lifli kompozit de her uygulamada kullanılamaması nedeniyle uygulama alanlarına göre çeşitli lifli kompozitler kullanılabilir. Örneğin; çelik liflerin yüksek süneklilik ve çekme mukavemeti gibi özellikleri sayesinde yol ve güvenlik yapılarında, depreme dayanıklı yapılarda, tünellerde püskürtme beton olarak ve prekast elemanlar gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Aşındırıcı bir malzeme olan ve püskürtme beton ekipmanına kalıcı zararlar veren çelik liflerin yerini almaya başlayan sentetik lifler ise betonda erken plastik rötre ve betonun tokluğunu arttırdığı için su emme özelliği sayesinde betonun bünyesindeki suyu emerek betondan suyun uzaklaşmasını engellemektedir.

Kullanılması teşvik edilen ve teknolojinin ilerlemesi ile gelişen ve üretimi artan polimer liflerin çelik lifleri geride bırakacağı görülmektedir. Hafiflikleri ve iyi işlenebilirlik özelliklerinden dolayı ise dış cephe giydirmeye uygulamalarında cam lifli betonlara sıkça rastlanılmaktadır.

Tablo 2.5. Çesitli lif çeşitlerinin kullanım alanları [33].

Lif Tipi	Uygulamalar
Cam	Prekast paneller, giydirme cephe kaplamaları, kanalizasyon boruları, ince beton çatılar ve beton blokların sıvası.
Çelik	Çatı uygulamalarında kullanılan gözenekli betonlar, kaldırımlar, köprü dösemeleri, atese dayanıklı elemanlar, beton borular, havalimanları, rüzgara dayanıklı yapılar, tünel kaplamaları, gemi omurgaları.
Polipropilen, naylon	Temel kazığı, öngermeli kazıklar, kaplama panelleri, yürüyüş yolları, marinaların iskele elemanları, yol yamaları, büyük çaplı sualtı borularının kaplamaları.
Asbest	Saç boru, levhalar, yangına dayanıklı malzemeler ve yalıtım malzemeleri, kanalizasyon boruları, oluklu ve düz çatı levhaları, duvar kaplamaları.
Karbon	Dalgalı şekilli çatı kaplama elemanları, tek veya çift kat ince membran yapılar, tekne omurgaları, yapı iskelesi tahtaları.
Mika	Çimento esaslı levhalarda, kısmen asbestin yerine, beton borular, tamirat malzemeleri.

Lifler, üretildikleri malzeme, boyut ve dayanımlarına göre sınıflandırılmaktadır. Malzeme bağlayıcılı sınıflandırma lifin üretildiği (polimerik, metalik ya da doğal gibi) orjin maddeye bağlı olarak yapılmaktadır. Karışımlarda kullanılan lif malzemesinin tipi lif matris arasındaki bağda önemli bir rol oynamaktadır. Bağlar üç ana kategoride sınıflandırılabilir; mekanik, fiziksel veya kimyasal bağlar. Örneğin, çelik lifer (özellikle kancalı lifler) matris ile iyi bir mekanik ankraj etkisine sahiptir. Sentetik liflerde ise daha çok kimyasal bir bağ meydana gelmektedir.

Lifler boyutlarına göre mikro ve makro lifler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Mikro lifler boyları 10 mm'den ve çapları ise 0,3 mm'den küçük olan lif tipleridir. Bu tip lifler, betonda çatlak direncini artıran plastik bölgenin özelliklerini iyileştirmektedir. Diğer taraftan, boyca mikro liflerden uzun ve çapları ise 0,3 mm'nin üzerinde olmaktadır. Oluşan çatlak bölgelerinin birleştirilmesiyle çatlak sonrası direncin ve tokluğun artırılması amacıyla kullanılmaktadırlar.

Son olarak, liflerin sınıflandırılması dayanımlarına ve/veya elastisite modüllerine bağlı olarak yapılmaktadır. Düşük elastisite modülüne sahip lifler (polipropilen, naylon ve selüloz lifler gibi), elastisite modülleri betonun elastisite modülünden küçük olan, yüksek elastisite modülüne sahip lifler ise (çelik, cam ve karbon lifler gibi), elastisite modülleri betonun elastisite modülünden büyük olan liflerdir [33]. Beton üretiminde yaygın olarak kullanılan bazı liflerin fiziksel özellikleri'de verilmiştir.

ECC karışımları, bugüne kadar, çoklu mikroçatlak hasarı davranışından ödün verilmeksizin çeşitli sentetik lifler kullanılarak başarılı bir şekilde üretilebilmiştir. ECC karışım tasarımlarında kullanılan bu sentetik lifler polietilen (PE), polivinil alkol (PVA) ve yüksek kararlılığa sahip polipropilen (PP) lifleridir. Literatürde gerçekleştirilmiş olan en son çalışmalara bakıldığında, ECC karışımları içerisinde kullanılan sentetik liflerin (PVA gibi) kimyasal yüzey iyileştirme işleminin ardından çevre dostu doğal liflerle belirli oranlarda ikame edilebildiği ve kompozit malzemenin nihai performans sonuçlarında belirgin kayıpların olmadığı belirtilmiştir [34]. Beklenilebileceği üzere, karışımlarda kullanılan lif türlerine bağlı olarak nihai kompozit malzeme performansı da farklı olmaktadır. Örneğin, PE liflerinin kullanımı nihai dayanım ve süneklik kapasitesi bakımından yukarıda sayılan liflerin içerisinde en yüksek performans sonuçlarını vermektedir. Ancak PE lifleri performans sonuçları bakımından kendine en yakın sonuçları veren PVA liflerinden çok daha maliyetlidir (yaklaşık sekiz katı). Diğer taraftan, PVA lifli kompozit malzemelerin performansı her ne kadar PE lifli kompozitlerden aşağıda olsa da, daha uygun ürün maliyetiyle yüksek performans sergilemesi bakımından halihazırda literatürde gerçekleştirilen çalışmaların çoğunda PVA lifli ECC karışımları üzerine odaklanılmıştır. Son zamanlarda PE ve PVA liflerine alternatif olarak polipropilen (PP) liflerinin kullanılmasına ilişkin çalışmalar gerçekleştirilmektedir [34]. Ancak geleneksel PP lifleri çimento bağlayıcı matrislerle düşük çekme dayanımı sergilemekte ve zayıf bağ özelliklerine sahip olmaktadır. Bu sebeple, özellikle geçmişte PP liflerin çimento bağlayıcı lif donatılı kompozit malzemelerin üretiminde kullanımları oldukça kısıtlı kalmıştır. Polimer teknolojisindeki son gelişmeler sayesinde 800-900 MPa aralığında çekme dayanımına sahip yeni nesil yüksek kararlılığa sahip PP lifleri geliştirilmiştir. Bu tarz PP liflerin çimento bağlayıcı kompozitler içerisinde hacimsel olarak %2 oranında kullanılmasıyla %4-8

aralığında aksel çekme birim şekil değiştirme kapasitesi ve 3 MPa ila 4 MPa aralığında nihai çekme dayanımı sonuçları başarılı bir şekilde elde edilebilmiştir [35]. Ancak, yüksek kararlılığa sahip PP liflerinin özellikle PVA lifleriyle olan performans karşılaştırmalarıyla ilgili çalışmalar halihazırda çok yeni olduğundan bu tarz liflerin performanslarıyla ilgili literatürde fazla bilgi bulunmamaktadır. Yukarıda da belirtildiği üzere, bu sebeplerden dolayı, halihazırda birçok çalışma PVA bağlayıcı çimento bağlayıcı kompozitler üzerinde gerçekleştirilmektedir.

2.3 Polimer Lif Takviyeli Kompozitlerin Özellikleri

Yüksek performanslı betonlarda taze beton özelliklerini iyileştirmek için kullanılan ve en iyi sonuç veren polimer lif türü polipropilen liflerdir. Polipropilen lif katkılı betonlarda basınç dayanımı ve elastisite modülleri fazla değişiklik göstermemekte olup yarmada çekme dayanımının ise arttığı görülmüştür.

Çok ince taneli bir malzeme olan silis dumanı süperakışkanlaştırıcı ile birlikte, su/bağlayıcı oranının çok aşağılara düşürülmesi nedeniyle su içeriği azalacağından terlemenin az olması ve yüksek performanslı betonlardaki boşluk oranının minimuma indirilmesi için kullanılırlar. Karma suyunu büyük oranda tutan silis dumanı betonda plastik rötre şekil değiştirmesine neden olacağından betona sentetik lif ilave edilmesi ile oluşabilecek rötre çatlakları engellenmiş olup beton plastik rötre çatlaklarına karşı dayanıklı bir hale gelir. En çok kullanılan polimer lif türleri polipropilen ve polyester lifleri dışında son yıllarda ise alkali direnci ve betonun mekanik davranışı gibi özelliklerini iyileştirilmesi nedeni ile kullanımı yaygınlaşan yüksek elastisite modülüne sahip olan poliolefin lifler, diğer polimer liflerle rekabet içine girmiştir.

2.3.1 Polimerler

Monomer denilen küçük moleküllerin kovalent bağlarla birbirlerine tekrarlar halinde bağlanmasıyla oluşan çok uzun zincirli moleküllere polimer adı verilmektedir [35]. Bir polimer malzeme, kimyasal olarak birbirine bağlı birçok parça ya da birimi içeren bir katı olarak ya da birimler olarak düşünülebilir. Polimerler, basit bir ifade ile çok sayıda aynı ya da farklı atomik grupların kimyasal bağlarla düzenli bir biçimde bağlanarak meydana getirdiği yüksek molekül kütleli ve uzun zincirli bileşiklerdir. Son 40-50 yıl içinde büyük gelişme gösteren Cam, karbon vb. gibi

liflerle kuvvetlendirilen plastik malzemeler olarak da bilinen insan eli ile üretilen polimerler, günümüzde metallerle hacimce hemen hemen aynı oranlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sebepleri ise; bu malzemelerin nispeten daha ucuz, hafif, kolay işlenebilir, yüksek kimyasal ve korozyon direnci gibi özelliklere, yüksek ısıl ve elektriksel özelliklere ve yeterli mekanik özelliklere sahip olmalarıdır. Liflerle kuvvetlendirilen plastikler özellikle içten yanmalı motorların ve uçakların yapımında kullanılırlar. Plastik lif takviyeli beton karışımları rijit ve çok iyi sönümlenme kabiliyetine sahip olup tezgâh ve diğer ağır makine gövdelerinin yapımında kullanılırlar.

2.3.2. Polimerlerin Sınıflandırılması

2.3.2.1. Elde Edilişlerine Yöntemine Göre Polimerler

Polimerler elde edilme şekillerine göre doğal, yarı doğal ve sentetik olmak üzere üç gruba ayrılmakta olup çeşitli endüstriyel yöntemlerle monomerlerden başlayarak üretilen polipropilen, polietilen, poliamidler ve polyesterlere sentetik polimerler, selülozdan elde edilen rejenere selüloz ve diğer selüloz türevleri gibi doğal polimerlerin iyileştirmesi ile oluşan polimerlere ise yarı doğal polimerler ve farklı yapıda değişik birimlerin bir araya gelmesiyle oluşan yün, deri ve biyopolimer olarak isimlendirilen aynı zamanda yaşam faaliyetlerinin yürütülmesinde birçok önemli rol alan enzimlere, nükleik asitlere (DNA, RNA), proteinlere doğal polimerler denmektedir. Aynı zamanda doğal polimerler karmaşık yapıdaki yüksek molekül ağırlıklı bileşikler "makromoleküller" olarak da adlandırılır [36].

2.3.2.2. Kimyasal Bileşimlerine Göre Polimerler

Polimerler, kimyasal bileşim özelliklerine göre organik ve inorganik olarak iki grupta sınıflandırılmıştır. Organik polimerler, doğal ve sentetik polimerlerin büyük bir kısmını oluşturan ve günlük hayatta sıkça kullandığımız organik polimerlerin bileşimlerinde ise polimerlerin kimyasal yapısının temel bileşeni olan karbon atomu genellikle hidrojen atomu ile birlikte bulunmaktadır.

Organik polimerlere örnek olarak; polietilen, polipropilen, poliamidler, poliesterler, proteinler, selüloz, doğal kauçuk vb. gibi polimerler verilebilir.

2.3.3 Polimer Lifler

Doğal olarak elde edilen veya insan yapısı olarak üretilen dayanıklılığı, esnekliği, uzunluğu ve bükülebilirliği gibi fiziksel özelliklere sahip olan maddelere lif denir. Lifler, bitki, hayvan, mineral gibi doğal olarak elde edildiği şekilde işlem görmeden kullanılabilen doğal lif ile kendisinden istenen bir takım özellikleri sağlayacak biçimde tasarlanarak endüstriyel olarak imal edilen yapay lif olmak üzere ikiye ayrılır [37].

Lifler doğal ve yapay olmak üzere aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir. Ancak bu çalışmanın konusu yapay lifler olduğu için doğal liflerin detayına girilmemiştir.

a. Doğal Lifler

b. Yapay Lifler

1. Cam Yünü

2. Polimer Lifler

Polimer lifler de aramid, karbon, naylon, polipropilen, polietilen, poliüretan, polyester lifler olmak üzere gruplandırılabilir.

Lif üretmek için kullanılacak olan ham madde akışkan veya yarı akışkan hale getirilir ve yaş ile kuru çekme gibi uygulamalar yapılarak lifler oluşturulur.

Uzunlukları 3-50 mm arasında değişen lifler tekil veya hamur biçimindedir. Uzun lifler tekil, kısa lifler ise hamur haldedir. Polietilen hamuru polipropilen hamuruna göre yüksek dayanıma sahiptir. Polimer liflerin fiziksel özellikleri Tablo 2.6'da gösterilmiştir [38].

Tablo 2.6. Polimer liflerin fiziksel özellikleri [39]

Lif tipleri	Etkili çap (10-3 mm)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastiklik modülü (GPa)
Akrilik	13-104	1,17	207-1000	14,6-19,6
Aramid	12	1,44	3620	62
Aramid II	10	1,44	3620	117
Naylon	10	1,16	965	5,17
Polyester	10	1,34-1,39	896-1100	17,5
Polietilen	25-1020	0,96	200-300	5,0
Polipropilen	25-1020	0,90-0,91	310-760	3,5-4,9

2.3.3.1 Polimer Liflerin Yapısı Ve Özellikleri

Betonda kullanılan polimer liflerin hacimce ilave edilme oranları çok düşük olup genellikle 1 m³ saha betonuna en fazla %0,1 oranında ilave edilir. Lif katkısı oranı ile hava miktarı minimum işlenebilirliğe göre değişiklik gösterir. Lifler beton döküm sahasında veya hazır beton tesislerinde de ilave edilebilir. Lifler ilave edildikten sonra en az 10 dakika karıştırma işlemi yapılır. Bazı araştırmacılar ise bu konuyla ilgili olarak hacimce %2 oranına göre deneyler yapmışlardır. Fazla oranlarda ilave edildiğinde betonlarının işlenebilirliği azalmakta ve içerisindeki hava miktarı artmaktadır. Betona ilave edilen su azaltıcı katkıların miktarı artırılarak işlenebilirlik probleminin çözülmesi ile beton içerisindeki hava miktarı da kontrol edilebilir. Tekil lif halindeki lifler, hamur halindeki liflere göre beton içerisinde daha homojen dağılması nedeniyle tekil lif ilave edilmiş betonda işlenebilirlik daha iyidir. Lif boyutları bu iki özelliğe yakından etki eder. Karışıma Hacimce %5 oranında ilave edilen Liflerin hamur halindeki uzunlukları birkaç mm ile sınırlıdır. Genellikle kullanılan lifler tekil ve boyları 12-50 mm olanlardır [38].

2.3.3.2. Polimer Lif Katkılı Betonlarının Özellikleri

Yüz yıllardır inşaat alanında kullanılan polimerlere Babylonia' nın tuğla duvarlarındaki harç ile Kish şehrindeki Ur-Nina tapınağının yapımında kullanılan harç içerisinde %25-35 oranında ilave edildiğine rastlanılmış olup ayrıca çeşitli anıtlarda da kullanıldığı bilinmektedir.

Sentetik polimer liflerin portland çimentolu beton ve harçlarda kullanımı 20. yüzyılın ortalarına dayanmaktadır. Günümüzde ise polimer, yollarda, köprülerde, katkılı saha betonlarında ve tamir işlerinde kullanılmakta olup ayrıca geçirimsiz olması istenen yerlerde, yüzme havuzlarında, döşeme ve su tanklarında, kullanımı ile yaygınlaşmışlardır [40].

Hem lif hamuru hem de tekil halde bulunan ve polimer esaslı lif olan Polipropilen, naylon hammaddelerinden biri olan naylon 6 ile polyester lifleri gibi yaygın olarak kullanılmakta olan polipropilenin betona hacimce %0,05-0,1 oranlarında ilave edilmesi durumunda ise plastik rötreyi azalttığı bilinmektedir. Polimer lif içeren saha betonlarının işlenebilmesi, kullanılan liflerin tipine, içeriklerine, uzunluklarına ve betonun dayanımına bağlıdır. Betonun plastik davranış sergilediği süre zarfında betonun gerilme taşıma kapasitesi, oluşan iç gerilmeleri karşılayamadığından betonun yüzeyinde süreksiz dağılı, yapısal olmayan, betonun dürabilitesi için son derece zararlı olan ve plastik rötre çatlakları olarak adlandırılan kılcal çatlamlar oluşur. Yaşam alanlarının birçok bölgesinde karşımıza çıkan saha betonları, bu tür çatlakların en fazla görüldüğü beton imalatlarıdır. Ancak sadece fiziksel ve kimyasal etkiler olmamakla birlikte, saha betonlarının uzun süreler sağlıklı olarak hizmet vermesi için beton dökümü öncesinde ve dökümünde dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Bu hususlar aşağıda belirtilmiştir.

- Minimum beton kalınlığının belirlenmesi
- Taban zeminin iyi sıkıştırılması
- Gerekli eğim
- Yeterli genleşme derzi bırakılması
- Doğru beton yerleştirilmesi
- Kürleme ve koruma
- Derz kesme (gerekli ise)

Sadece beton kalitesini yükselterek saha betonlarının kullanım ömrünü uzatmak mümkün değildir. Yukarıda sıralanan şartlar sağlandıktan sonra yapılan imalatlar sonucu saha betonlarından uzun süre sağlıklı olarak faydalanılabilir.

Saha betonlarında rötreden kaynaklanan kılcal çatlaklar vasıtasıyla beton bünyesine nüfuz eden su ve diğer zararlı sıvıların donma-çözünme çevrimi sonrası betonu bozan ve hidratasyon sürecinin devam ettiği 3 saat boyunca ortaya çıkabilecek olan plastik rötre çatlamlarının önlenmesi aşırı ve kontrolsüz su kaybının neden olduğu büzülme kuvvetlerinden doğan iç gerilmeleri azaltmakla sağlanabilir. Bunun için ise karma suyunu, beton içerisinde korumak gerekmektedir. Hava sıcaklığı, rüzgâr, beton ile ortam arasındaki sıcaklık farkı ve her sıcaklık derecesinde buharlaşmanın meydana gelmesi nedeniyle buharlaşmayı engellemek mümkün olmadığından bu sorunu en aza indirmek için betonun üzerine kür maddesi sürmek veya örtmek gibi önlemler alınabilir. Ancak rötre çatlamlarının olduğu zaman diliminde beton sıvı-plastik bir yapıda olduğundan yapılan bu işlemler yetersiz kalacak ve yüzey tabakasının zedelenmesine neden olacaktır. Ayrıca betonda karma suyunun kalıptan sızması ve toprağa akması gibi nedenler de büzülme kuvvetlerini artırdığından beton döküm öncesinde zemini yalıtkan bir örtü ile kaplamak ve kalıp birleşim noktalarını sızdırmaz hale getirilmesi gibi önlemler alınabilir [41].



Liflerin geometrik şeklinin hem betonun işlenebilirliğine ve hem de ulaşılan özelliklere büyük etkisi vardır. Farklı lif tipleri farklı amaçlara yöneliktir. Böylece kullanıcı lifleri kendi amacına göre seçebilir [42]. Kısa boylu lifler, lif dağılımı açısından uzun liflerden daha homojen bir oluşuma sahiptir [43]. Araştırmacılar kısa liflerin dayanımı ve etkili takviyesinin, lif hacmine ve lif malzemesine bağlı olduğunu ispatlamışlardır [44].

2.4. Silis Dumanı

Silis dumanı, demir silisyum veya silisyum alaşımlarının erime yöntemi ile üretimi esnasında elde edilen, ana bileşeni 1 jam'den küçük olan camsı silis (SiO_2), küresel partiküller ve amorfdan oluşan, yüksek düzeyde puzolanik etkinliğe sahip bir yan üründür [45].

Silikonlu metal alaşımların veya silikon metalinin üretimi sırasında ortaya çıkan gazın hızlı bir şekilde soğutularak yoğunlaştırılmasıyla açığa çıkan ve %85-98 oranında silis içeren amorf yapıya sahip oldukça ince ve katı parçacıklardan oluşan malzemeye "silis dumanı" adı verilmekte olup "silika füme" ya da "silis tozu" ya da

"mikrosilis" ya da "yoğunlaştırılmış silis dumanı" olarak da isimlendirilmektedir. Amorf yapısı ile birlikte çok ince taneli malzeme olan silis dumanı, yüksek miktarda içerdiği "camsı silis" nedeniyle mükemmel puzolanik bir malzemedir [46].

2.4.1 Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

2.4.1.1. Renk

Silis dumanının rengi açık griden koyu griye doğru renk değişikliği gösterebilir. İçerdiği karbon miktarının artmasıyla birlikte rengindeki koyuluk da artış olup su ile karıştırılması durumunda ise rengi daha da koyulaşarak siyaha dönüşebilmektedir [47].

2.4.1.2. İncelik

Çok ince öğütülmüş bir malzeme olan silis dumanı tanelerinin büyük çoğunluğunun boyutu 0.1 jam ile 0.2 jam arasında değişmekte olup bu boyut bir Portland çimentosunun taneciklerinin boyutuna göre ortalama 100 kat daha küçüktür. Genelde 45 jam lik elek üzerinde kalan silis dumanı taneleri boyut üstü (kaim) olarak kabul edilir [46].

Silis dumanı içerisindeki kaim malzemenin oranı genellikle %6'nın altındadır. Blaine aleti ile ölçülemeyen özgül yüzeyinin tayini için nitrojen emme yöntemi kullanılmakta olup silis dumanının özgül yüzey ölçüsü genellikle 130.000-280.000 cm²/gr arasındadır. Betonda kullanılan silis dumanının özgül yüzeyi ise 200.000 cm²/gr civarındadır.

Diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında silis dumanının inceliği net olarak görülmektedir:

Silis: ~ 200.000 cm²/gr

Tütün Külü: ~ 100.000 cm²/gr

Uçucu Kül: 4.000-7.000 cm²/gr

Normal Portland Çimentosu: 3.000 cm²/gr

2.4.1.3. Özgül Ağırlık

Betonda kullanımı uygun olan silis dumanlarının özgül ağırlıkları 2,2 ile 2,3 arasında değişmektedir. (Portland çimentosunun özgül ağırlığı ise 3,1 civarındadır).

2.4.1.4. Gevşek Birim Ağırlık

Silis dumanının gevşek haldeki birim ağırlığı genellikle 200 kg/m^3 ile 300 kg/m^3 arasında değişmektedir.

Portland çimentosunun gevşek haldeki birim ağırlığı ise 1500 kg/m^3 'tür. Yani 50 kg Portland çimentosu alan torbaya ancak 10 - 12 kg kadar gevşek durumundaki silis dumanı yerleştirilebilmektedir.

2.4.1.5 Su İhtiyacı ve Puzolanik Aktivite

Silis dumanı, oldukça ince olması ve yüksek oranda silis içermesi nedeniyle yüksek puzolanik etkinliğe sahiptir. Çimentolu ortamda bulunması durumunda ise en önemli görevi, C_3S ve C_2S hidratasyonları sonucu oluşan Ca(OH)_2 'i bağlamak ve yeni bir CSH jeli meydana getirmektir. Bu jel çimento hamurunda oluşan CSH jellerine göre biraz değişkenlik gösterir, yoğunluğu daha az olup geçirimsizliği daha fazladır. Bu sayede silis dumanı taneleri, büyük kristaller yerine daha küçük ve sayıca fazla ayrıca daha sağlam Ca(OH)_2 kristallerinin oluşmasını sağlamaktadırlar. Uygun oranda akışkanlaştırıcı katkı ile birlikte kullanılan küçük tanecikli silis dumanı çimento taneleri arasındaki boşluklarda bulunan suyun yerini alarak çimento hamurunun daha yoğun bir hal almasını sağlamaktadır [48].

Silis dumanının su ihtiyacı aşırı ince olması nedeniyle oldukça fazladır. Bu su ihtiyacı ise uçucu kül ve doğal puzolanlar için verilen üst sınırların da üzerindedir. Tablo 2.7'de silis dumanının puzolanik etkinliği ve su ihtiyacı, uçucu kül ve doğal puzolanlardan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [46].

Tablo 2.7. ASTM C 618'in Sınırları [46]

	Doğal Puzolan	F sınıfı uçucu kül	C sınıfı uçucu kül	Silis dumanı
Dayanım aktivite indisi 28 günde kontrol numunesine oranla % min.	75	75	75	110
Su ihtiyacı Kontrol numunesinin % max.	115	105	105	134

Düz çimento hamuru ile üretilen betonlarda bulunan boşluk yapısının silis dumanı ilave edilerek üretilen beton ve harçlarda bulunan boşluk yapısına göre daha süreklili ve su geçirirli olduğu belirtilmektedir [49].

2.4.2 Silis Dumanın Kimyasal Özellikleri ve Kompozisyonu

Kristalize halde olmayan ve beton içerisinde katkı olarak kullanılan silis dumanının esas bileşenleri %85'in üzerinde bir oranla camsı silis ile yanmamış karbon kalıntıları olup ayrıca %1-2 arasında değişen oranlarda Fe_2O_3 ve %1'den az oranlarda ise MgO, Na_2O , Al_2O_3 , SO_3 ve K_2O gibi oksitleri bulundurur.

Üretilen metalin ve ya alaşımın çeşidine göre silis dumanının kimyasal özelliği de değişiklik gösterebilir. Silis dumanının demir ve magnezyum içeriği demir silikon üreten fırınlarda, diğer silikon metal üretilen fırınlara göre daha fazladır. Bazı tipik silis dumanlarının kimyasal bileşim oranları Tablo 2.8'de gösterilmektedir.

Tablo 2.8. Silis dumanının kimyasal bileşim oranları (% olarak) [50]

Bileşen	USA	Norveç	Kanada	Türkiye
SiO ₂	90-93	90-96	89.0-95.0	93-95
C	1.3-2.6	0.5-1.4	2.1-4.2	0.8-1
Fe ₂ O ₃	0.4-0.7	0.2-0.8	0.1-3.1	0.4-1
Al ₂ O ₃	0.5-1.6	0.5-3	0.1-0.7	0.4-1.4
MgO	0.3-0.5	0.5-1.5	0.3-1.0	1-1.5
CaO	0.5-0.8	0.1-0.5	0.1-1.0	0.6-1
Na ₂ O ₃	0.1-0.3	0.2-0.7	0.1-0.2	0.1-0.4
K ₂ O	1-1.2	0.4-1	0.5-1.4	0.5-1
S	0.1-0.2	0.1-0.4	0.1-0.2	0.1-0.3
Kızdırma Kaybı	1.4-2.8	0.7-2.5	2.3-4.4	0.5-1

2.4.3. Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkileri

Silis dumanı ilave edilerek üretilen betonların olumlu özellikleri ve zararlı etkileri maddeler halinde aşağıda yer almaktadır [46]:

Olumlu Etkileri

- Basınç dayanımının artmasını sağlamaktadır.
- Hidratasyon ısısını azaltmaktadır.
- Taze betondaki segregasyonu ve terlemeyi düşürmektedir.
- Sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini düşürmektedir.
- Sertleşmiş betonun sülfatlara karşı dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır.

Zararlı Etkileri

- Silis dumanı kullanılması nedeniyle oluşan suyu ihtiyacını karşılayabilmek için su azaltıcı katkıları kullanılması gerekmektedir.
- Silis dumanının ince taneli olması ve terlemeyi azaltması nedeniyle beton

yüzeyinin düzeltilmesi zor olabilmektedir.

- Silis dumanı kullanılan betonlarda plastik rötre çatlağı daha fazla miktarda oluşabilmektedir.
- Silis dumanı kullanılması ile betonun rengi daha koyu renkte olabilmektedir.

2.4.3.1. Taze Beton Özellikleri Üzerine Etkisi

2.4.3.1.1. Su İhtiyacı

Çok ince taneleri olan silis dumanı ilave edilen betonların su ihtiyacının artması nedeniyle ve belirli bir çökme değerini de sağlayabilmek için su azaltıcı katkı malzemelerinin de betonda kullanılması gerekmektedir. Genellikle betona ilave edilen her 1 kg/m³ silis dumanı için, yaklaşık olarak 1 lt/m³ kadar su ilave edilmesi gerekmektedir [51].

2.4.3.1.2. İşlenebilirlik

Silis dumanı ilave edilmiş betonun yüksek kohezyon ve ince katı tanecikleri arasında oluşan temasın fazla olmasından dolayı sadece Portland çimentosu ile üretilen betona göre işlenebilirliği azalmaktadır. Çimento ağırlığının %5'inden daha fazla silis dumanı kullanılması durumunda beton daha yapışkan bir hale gelmesi nedeniyle yüzey düzeltme malzemelerine yapışarak bu işlemlerinde zorluk çıkarmaktadır [51].

2.4.3.1.3. Kanama ve Ayrışma

Silis dumanının çok ince tanecikli olması sebebiyle özgül yüzeyi artırmaktadır. Böylece bir kısım suyun taze betondaki silis dumanı tanecikleri tarafından tutulmasını sağlamakta ve suyun yükselmesini engellemekte olup terlemeyi de azaltmaktadır.

Ayrıca silis dumanı tanelerinin çimento tanelerinin aralarına yerleşerek yüzeye çıkabilecek su miktarını azaltacağından çok az suyun serbest kalmasına ve terlemenin azalmasına neden olmaktadır [52].

Silis dumanlı ilave edilmiş olan betonda viskozite ve iç kohezyon artırmakta olup normal betona göre daha az ayrışma eğilimindedir. Fakat yüksek slump değerine sahip silis dumanı ilave edilmiş olan betona akışkanlaştırıcı eklenmesi ve uzun süre vibrasyon uygulanması durumunda ayrışma oluşabilir [53].

2.4.3.1.4 Rötne

Silis dumanı ilave edilerek üretilen taze betonda kohezyonun yüksek olması, terlemenin çok azalması veya hiç olmaması nedeniyle beton yüzeyinde oluşan buharlaşmadan dolayı meydana gelen plastik büzülme çatlak riskini de artırabilmektedir. Bu çatlakların oluşması ise beton dökümünden priz başlangıcına kadar devam edebilmektedir.

Beton içerisine ilave edilen silis dumanı oranının artması, toplam büzülme çatlaklarını önemli ölçüde etkilememekte olup sadece otojen rötreyi artırmaktadır [54].

2.4.3.1.5 Priz Süresi

Çimento ağırlığının %10' unundan daha fazla silis dumanı ilave edilen betonlar normal betona göre genelde daha geç priz almaktadırlar. Betona ilave edilen süper akışkanlaştırıcı katkıları da priz sürelerini etkilemektedir. Örnek verilecek olursa, silis dumanı ile çimento %15 oranında yer değiştirilmesi durumunda priz başlangıç süresi ve priz bitiş süresinde 1 saatlik, süper akışkanlaştırıcı ile çimento %15 oranında yer değiştirilmesi durumunda ise priz başlangıç süresi ve priz bitiş süresinde 2 saatlik uzamalar görülmüştür [55].

2.4.3.1.6 Hidratasyon

Hidratasyon Isısı

Beton içerisine ilave edilen silis dumanının oranı çimento ağırlığının %7-10'u kadar olduğunda ilk 72 saat içerisindeki hidratasyon ısısı, silis dumanı ilave edilmeyen betonlara göre biraz fazla olabilmektedir. Silis dumanı ilave edilmiş olan betonlardaki ileri yaşlarda oluşan hidratasyon ısısının, silis dumanı ilave edilmemiş olan betonlarınkine göre, yaklaşık %8-10 kadar daha az olduğu belirtilmektedir [46]. Bu husus hakkında araştırmacıların bazıları, silis dumanı ilavesiyle betonda hidratasyon ısısının ilk günlerde artış gösterdiğini, daha sonraki zamanlarda ise azaldığını belirtmekte iken; araştırmacıların bazıları ise silis dumanı ilaveli betonlarda ileriki yaşlarda toplam hidratasyon ısısının arttığını belirtmektedir.

Hidratasyon Hızı

Çok etkin bir puzolan olan silis dumanı hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırarak yoğun bir şekilde devam ettirdiği belirtilmektedir [48].

Çimentonun erken yaştaki hidratasyon hızı, betona ilave edilen silis dumanının neden olacağı alkalilerin ve OH⁻ iyonlarının sıvı gözeneklerinde serbest kalması durumundan dolayı artmaktadır. Ayrıca betona ilave edilen silis dumanı, ilk saatlerde C₃S ve C₃A hidratasyonlarını da hızlandırmaktadır. Bu kireç, CSH ve etrengit gibi hidratasyon ürünlerine çekirdekleşme alanları yapmayı sağlamaktadır [56].

2.4.3.1.7 Hava Sürüklenme

Silis dumanı ilave edilmiş betonların hava katkı maddesi ihtiyacı silis dumanı ilave edilmemiş betonlara göre artmaktadır. Bunun nedeni ise, silis dumanının ince taneli olması ve yanmamış karbon atomları içermesi olabilmektedir [56].

2.4.3.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerine Etkisi

2.4.3.2.1. Dayanım

Betondaki boşlukları doldurma ve puzolanik etki olmak üzere iki görevi olan Silis dumanı ilave edilen betonların basınç dayanımları artmaktadır. Bu görevlerden hangisinin daha etkili olduğu yönünde çeşitli görüşler olsa da betonun içeriğinde yer alan agrega ve çimento malzemeleri arasındaki temas yüzeyini güçlendiren silis dumanının puzolanik etkisinin önemli olduğu, fiziksel ve mekanik araştırmalar ile kanıtlanmıştır [57]. Ayrıca ince taneli yapısının olması sebebiyle çimento tanecikleri arasında yer alan boşluklara girerek bu boşlukları doldurmakta bu sebeple agrega ile çimento hamurunun ara yüzeyini iyileştirmektedir [58]. İlave edilen silis dumanının betonun basınç dayanımında erken yaşlarda daha etkili olduğu görülmekte olup çimento ağırlığının %10-20'si oranında silis dumanı ile betonun işlenebilirliğini sağlamak için %10'dan fazla oranda süper akışkanlaştırıcının birlikte kullanılarak

betonun 28 günlük basınç dayanımını artırmayı hedefleyen çalışmalar yapılmaktadır [48].

2.4.3.2.2 Permeabilite (Geçirimsizlik)

Silis dumanı ilave edilen betonda yer alan çimento ve silis dumanı hamuru bünyesinde bulunan gözeneklerin azalması nedeniyle toplam porozite yaklaşık olarak aynı kalmasına rağmen çimento ve silis dumanı hamurunun homojene yakın ve geçirimsizliği az olduğundan dolayı silis dumanı ilave edilen betonların, silis dumanı ilave edilmeyen betonlara göre daha az geçirimsiz olduğu düşünülmektedir [48].

2.4.3.2.3 Aşınma Direnci

Silis dumanı ilave edilen betonların aşınma direncinin de arttığı görülmekte olup bu durum yüksek basınç dayanımına bağlanabilir [59]. Silis dumanı ilave edilen betonlar çelik paletli araçların kullanıldığı yollarda aşınma direncini artırması nedeniyle kaplama betonu olarak başarılı bir şekilde kullanılmıştır [60]. Su/bağlayıcı oranlarının düşük olduğunda silis dumanının aşınma direncini artırdığı; su/bağlayıcı 0,50 ve 0,60 oranlarında olduğunda ise aşınmayı arttırdığı belirtilmektedir.

2.4.3.2.4 Kimyasal Direnc

Betonun birçok kimyasala karşı direncinde rol alan faktörlerden olan Ca(OH)_2 içeriği ve geçirgenliğin %12'den %20'ye kadar yüksek oranlarda silis dumanı ilave edilerek azaltılması sağlanmaktadır. Silis dumanı ilave edilen beton ile Portland çimentolu beton karşılaştırıldığında, yüksek oranda ilave edilen silis dumanının betonun direncini asetik asit, amonyum nitrat, laktik asit, sülfürik asit, hidroklorik asit gibi birçok kimyasal solüsyona karşı arttırdığı bulunmuştur [47].

2.4.4.1.5 Sülfat Direnci

Norveç'te yapılan araştırmalara göre silis dumanı ilave edilerek üretilen betonun sülfata karşı direncinin Tip V- Sülfata Dayanıklı Portland Çimentosu ile üretilen betonlar gibi yüksek olduğu kanıtlanmıştır [60].

2.4.3.2.6 Alkali-Silika Reaksiyonu

Hacimce %5-10 oranları arasında silis dumanı ilave edilerek üretilen betonlarda yüksek oranda alkali içeren çimento ve reaksiyona hazır agrega olması durumunda alkali-silika reaksiyonunun bozuculuğu önlenmiş veya oluşumu geciktirilmiştir.

2.4.4. Silis Dumanı Konusunda Standartlar

Silis dumanı konusundaki standartların çoğu bu katkının harç ve beton üretimi sırasında katkı olarak kullanılacağı, çimento katkısı olarak kullanılması halinde de İstenilen özelliklerin büyük ölçüde geçerli olacağı düşünülerek hazırlanmıştır. Örneğin TS EN 197-1 standardına göre Portland Silis Dumanlı Çimento üretiminde kullanılacak silis dumanının bileşimi konusunda ise aşağıdaki sınırlamalar getirilmiştir:

Amorf SiO₂ = en az %85

Kızdırma kaybı = en fazla %4

Özgül yüzey (BET) = en az 15 m²/g

Standartta çimentoların kimyasal özellikleri ile ilgili olarak SO₃ miktarının %3,5-4 ü; klorür miktarının ise %0,1'i geçmemesi gerektiğini belirtmekte olup dolaylı olarak kullanılacak silis dumanı bileşimi de kontrol altında tutulmaktadır. Buna ek olarak puzolanik katkıların hazırlanması ve homojenliği konularında genel hususlara değinilmektedir [61].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, harç karışım oranları, taze ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları, deneylerin yapım metotları ve yapım aşamaları anlatılmaktadır.

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Çalışmada, Votorantim Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin Yozgat Çimento Fabrikasında üretilen CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. CEM I 42,5 R Portland Çimentosunun Özellikleri
Kimyasal Bileşim

Bileşen	(%)
MgO	2,6
SiO ₂	18,7
Al ₂ O ₃	5,48
Fe ₂ O ₃	3,01
Na ₂ O	0,23
K ₂ O	1,22
SO ₃	3,25
CaO	62,3
Kızdırma Kaybı	2,57
Çözünmeyen Kalıntı	0,84
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık g/cm ³	3.11
Özgül Yüzey cm ² /g.	3320

3.1.2. Silis Dumanı

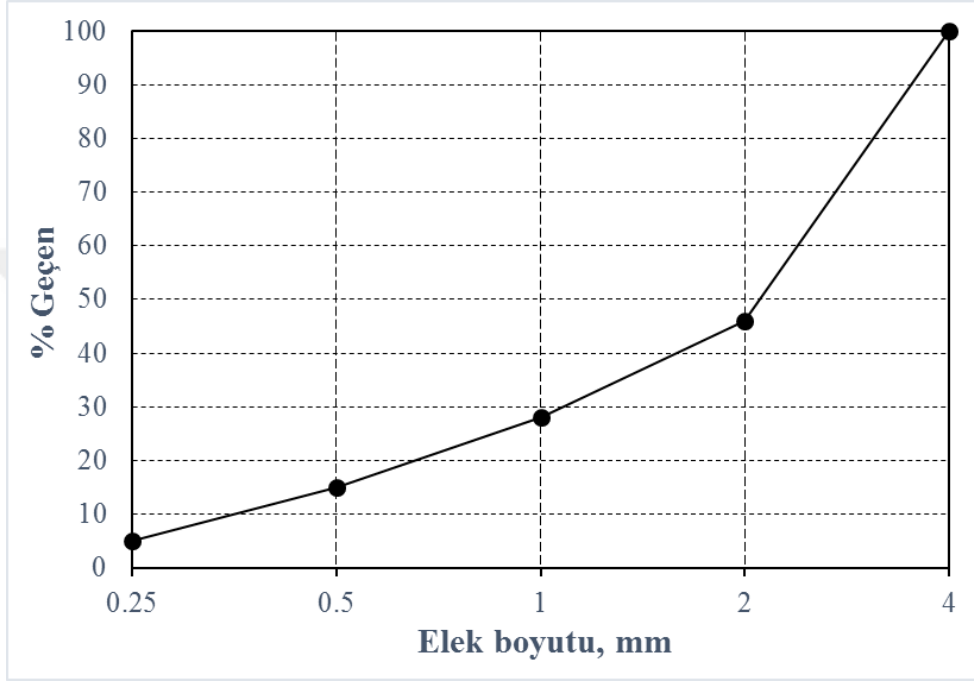
Çalışmada ASTM C-1240 standartlarına uygun silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanına ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışmada Kullanılan Silis Dumanın Özellikleri

Kimyasal Bileşim	
Bileşen	Yüzdesi (%)
MgO	1,47
SiO ₂	85,35
Al ₂ O ₃	1,42
Fe ₂ O ₃	2,39
Na ₂ O	-
CaO	0,80
SO ₃	1,34
K ₂ O	-
Kızdırma Kaybı	3,4
Çözünmeyen Kalıntı	-
Fiziksel Özellikler	
	Miktarı
Özgül Ağırlık, g/cm ³	2,23
BET, cm ² /gr	23,36
+45 mikron üzeri	%0,58
Hacim yoğunluğu, kg/dm ³	0,55-0,65
Nem (H ₂ O), %	0,19

3.1.3. İnce Agregaya

Harç üretiminde ince agregaya olarak özgül ağırlığı 2,63 ve su emme oranı %1 olan kalker kökenli 0-4 mm kırma kum kullanıldı. İnce agregaya ait tane dağılım eğrisi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. İnce Agregaya Ait Tane Dağılım Eğrisi

3.1.4. Naylon Lif

Çalışmada endüstriyel bir ürün olarak da yer alan (Kratos Micro) naylon lif kullanılmıştır. Naylon life ait özellikler Tablo 3.3’te görüntü ise Şekil 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3.3. Çalışmada Kullanılan Naylon Lifin Özellikleri

Çekme Dayanımı, MPa	962
Erime Sıcaklığı, °C	260
Özgül Ağırlık	1,14
Uzunluk, mm	12
Çap, µm	27



Şekil 3.2. Çalışmada Kullanılan Naylon Lif

3.1.5. Akışkanlaştırıcı

Harçların işlenebilirliğinin sağlanması ve karışım sırasında topaklanmanın önlenmesi için Sika Katkı Malzemeleri Sanayi firmasından Viscocrete Hi-Tech tipi süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanıldı.

3.1.6. Karışım Suyu

Bu çalışmada karışım suyu olarak ortalama sıcaklığı +20 °C' olan şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Karışım Oranları ve Üretim

Harçların üretiminde standart harç karışım miktarları referans alınmıştır. Karışımlarda silis dumanı çimento ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirmiş ve naylon lif oranları %0, 0,5, 1 ve 1,5 olacak şekilde harç numuneleri üretilmiştir. Her bir naylon lif içeriği için harçlar, referans sıcaklık (20 ° C) ve 3 farklı sıcaklık değeri (300, 600 ve 900 ° C) dikkate alınarak üretilmiştir. Bu şekilde toplam 16 grup harç numunesi kullanılmıştır. Harç karışım miktarları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Karışım Miktarları

Karışım Kodu	Naylon Lif, Oranı %	Silis Dumanı, Oranı %	Çimento, gr	Silis Dumanı, gr	Su, gr	Kum, gr	Naylon Lif, gr	Katkı, gr
K1	0	0	450	0	225	1350	0	4,5
K2	0	5	428	22,5	225	1350	0	4,5
K3	0	10	405	45	225	1350	0	4,5
K4	0	15	384	67,5	225	1350	0	4,5
K5	0,5	0	450	0	225	1350	2,25	4,5
K6	0,5	5	428	22,5	225	1350	2,25	4,5
K7	0,5	10	405	45	225	1350	2,25	4,5
K8	0,5	15	384	67,5	225	1350	2,25	4,5
K9	1	0	450	0	225	1350	4,5	4,5
K10	1	5	428	22,5	225	1350	4,5	4,5
K11	1	10	405	45	225	1350	4,5	4,5
K12	1	15	384	67,5	225	1350	4,5	4,5
K13	1,5	0	450	0	225	1350	6,75	4,5
K14	1,5	5	428	22,5	225	1350	6,75	4,5
K15	1,5	10	405	45	225	1350	6,75	4,5
K16	1,5	15	384	67,5	225	1350	6,75	4,5

Karışım hazırlanırken çimento, silis dumanı ve agrega ilk önce karıştırıldı. Daha sonra ise naylon lif eklendi tekrar karıştırma işlemi yapılarak karışım içerisinde liflerin homojen bir şekilde dağılımı sağlandı. Ardından karışım suyu ve

akışkanlaştırıcı katkı malzemesi eklendi. Karışımların tamamı harç makinasında yapılmıştır.

3.2.1. Numune Üretimi

Standart çimento kalıbı kullanılarak, her bir naylon lif oranı %0, %0,5, %1, %1,5 olan, 20 °C, 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklık değerleri için 40x40x160 mm boyutlarında prizma numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler, ertesi gün kalıptan çıkarılarak 28 gün boyunca 20 ± 3 °C sıcaklıktaki su içerisinde kür edilmiştir (Şekil 3.3). 4 farklı lif oranı ve 4 farklı SD için 16 karışım, 4 farklı sıcaklık değeri için toplam 64 üretim yapılmış ve 192 numune üretilmiştir.



Şekil 3.3. 24 Saat Kalıpta Bekletilen (a) ve Küre Tabi Tutulan (b) Numuneler

3.3. Deneyler ve Yöntemler

3.3.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık, Porozite ve Su Emme Deneyleri

28 günlük kür işlemi sonrası şahit ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra kendiliğinden soğumaya bırakılan numunelerin kuru birim hacim ağırlık, porozite ve su emme oranlarının tespiti için Arşimet deneyi yapılmıştır. Ayrıca, Arşimet deneyi ile su içinde tartılarak gerçek hacimleri hesaplanan numunelerin birim hacim ağırlık (BHA), porozite değeri (P) ve su emme oranları (μ) sırasıyla (3.1), (3.2) ve (3.3) eşitlikleri yardımı ile hesaplanmıştır.

$$BHA = \frac{W_0}{W_1 - W_2}, kg/m^3 \quad (3.1)$$

$$P(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_1 - W_2} \quad (3.2)$$

$$\mu(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada,

W_0 : Etiv kurusu ağırlık

W_1 : Suya doymun havadaki ağırlık

W_2 : Su içerisindeki ağırlık olarak ifade edilmektedir.

3.3.2. Eğilme Dayanımı Tayini

Çalışmada üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numunelere TS EN 196-1 standartına uygun olarak eğilme deneyi yapılmıştır. Eğilme deneyi düzeneği Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Eğilme Deney Düzeneği

Eğilme deneyi 50 N/s yükleme hızında ve her bir karışım grup için üç adet numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonucu olarak üç numunenin ortalaması alınmıştır.

$$\sigma_e = \frac{1.5PL}{bd^2} \quad (3.4)$$

Burada;

P : Uygulanan kuvvet (N)

L : Mesnetler arası uzaklık (100 mm)

b : Numune kesitinin kısa kenar uzunluğu (40 mm)

d : Numune kesitinin yüksekliği (40 mm)

σ_e : Eğilme dayanımı, MPa

ifade etmektedir.

3.3.3 Basınç Dayanımı

Eğilme dayanımı deneyinden elde edilen numunelere TS EN 196-1 standartına uygun olarak basınç deneyi yapılmıştır. Basınç deney düzeneği Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Basınç Dayanımı Deney Düzeneği

Basınç deneyi 2400 N/s yükleme hızında ve eğilme deneyi sonrası 2 parçaya ayrılan numunelerden elde edilen toplam 6 adet numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonucu 6 adet numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak belirlenmiştir.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \quad (3.5)$$

Burada,

P : Uygulanan kuvvet (N)

A : Kesit Alanı (1600 mm²)

σ_b : Basınç Dayanımı, MPa

ifade etmektedir.

3.3.4 Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi

Numuneler üzerinde sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve sonra TS EN 12504-4 standartlarına uygun olarak ultrases geçiş hızının tayini deneyi yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Ultra Ses Geçiş Hızının Belirlenmesi

Deneyde, ultrases aleti ile 0,1 µs duyarlıklı ses geçiş süreleri ölçülmüştür. Ses geçiş hızı ölçüm yapılan numune boyunun kaydedilen geçiş süresine bölünmesiyle elde edilmiştir.

$$V_s = \frac{l}{t} \quad (3.6)$$

Burada,

V_s : Ultrases geçiş hızını (km/sn)

l : İki transduser arası mesafeyi (160 mm)

t : Ultrases geçiş hızını (µs)

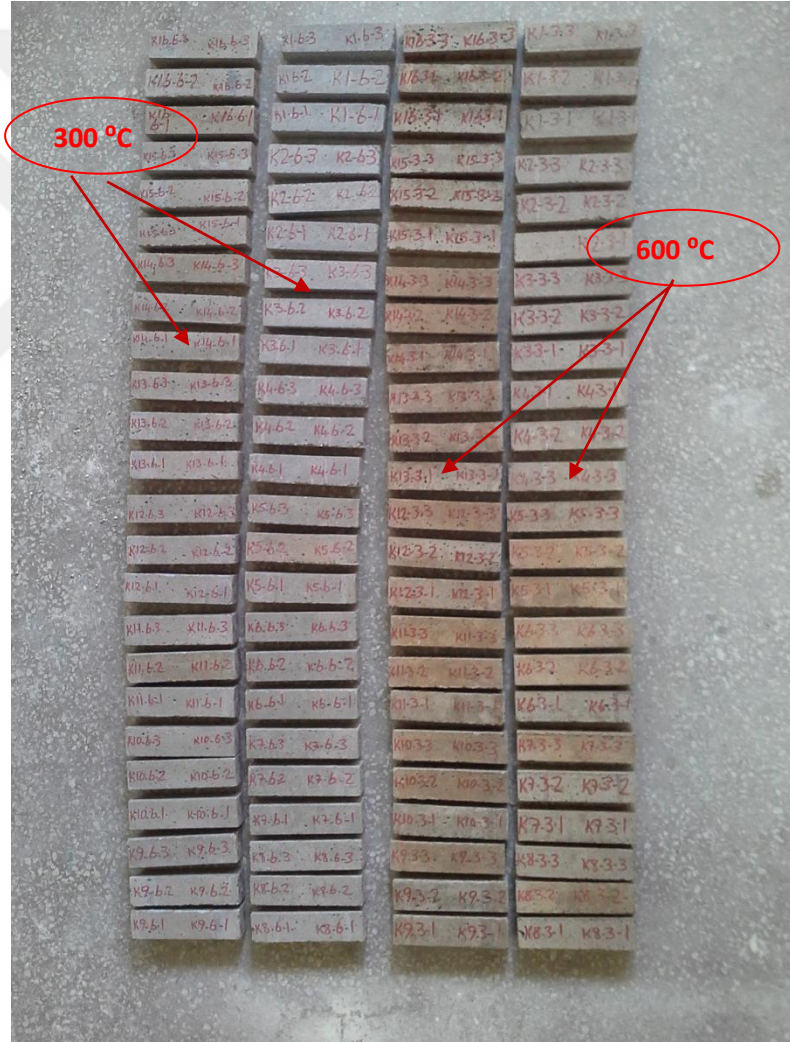
ifade etmektedir.

3.3.5. Numunelere Sıcaklık Etkisi Uygulaması

28 günlük kürlenmeden sonra numuneler yüksek sıcaklık fırınına konularak 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. İstenilen sıcaklığa ulaşmak için sıcaklık artışı 7±3 °C/dk. olacak şekilde gerçekleşmiştir. Numuneler hedef sıcaklıkta 3 saat süreyle bekletilmiştir.

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada üretilen 40x40x160 mm boyutundaki prizma numuneler 28 gün standart küre tabi tutulduktan sonra 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Numuneler hedef sıcaklıkta 3 saat süreyle bekletildikten sonra fırından çıkarılarak oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır (Şekil 4.1 ve 4.2). Soğuma sonrasında sıcaklık etkisine maruz bırakılan numuneler ile referans numuneler üzerinde standartlara uygun olarak kuru birim ağırlık, su emme, boşluk oranı (porozite), ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.1. Numunelerin 300 °C ve 600 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu



Şekil 4.2. Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu

900 °C sıcaklık etkisine maruz kalan numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakıldıktan sonra dağılmıştır. Dolayısıyla, fiziksel ve mekanik deneyler bu numunelerde yapılamamıştır. Bu numunelere ait sıcaklık öncesi değerlere tablolarda yer verilmiştir.

4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık

28 gün standart bakıma tabi tutulan numuneler sabit ağırlığa erişinceye kadar kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra sertleşmiş harç numunelerin sıcaklık öncesindeki ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki kuru birim ağırlıkları belirlenmiştir. Deney sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

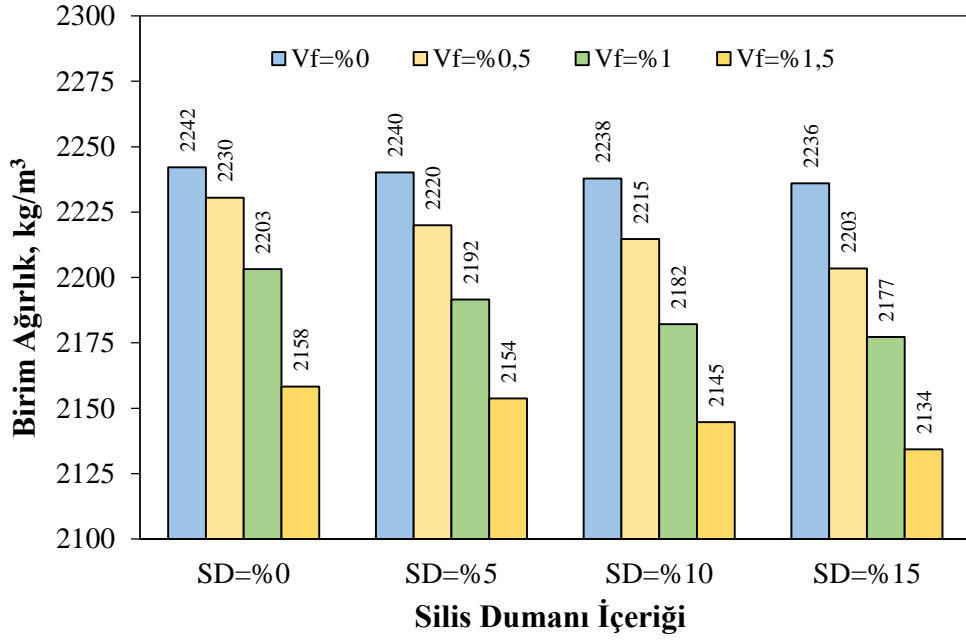
Tablo 4.1. Numunelerin Kuru Birim Ağırlık Deneş Sonuçları

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Birim Ağırlık, kg/m ³		
		Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
K1	20	2258	-	-
	300	2235	2189	2.04
	600	2225	2071	6.92
	900	2237	-	-
K2	20	2240	-	-
	300	2241	2195	2.05
	600	2227	2073	6.91
	900	2243	-	-
K3	20	2243	-	-
	300	2242	2182	2.67
	600	2230	2067	7.30
	900	2237	-	-
K4	20	2251	-	-
	300	2239	2197	1.85
	600	2245	2088	6.98
	900	2226	-	-
K5	20	2204	-	-
	300	2215	2138	3.49
	600	2221	2025	8.84
	900	2239	-	-
K6	20	2215	-	-
	300	2246	2138	4.84
	600	2213	2014	8.99
	900	2248	-	-
K7	20	2203	-	-
	300	2192	2090	4.66
	600	2205	2001	9.24
	900	2214	-	-
K8	20	2209	-	-
	300	2225	2138	3.91
	600	2212	2026	8.43
	900	2213	-	-
K9	20	2185	-	-
	300	2127	2074	2.46
	600	2166	2016	6.94
	900	2156	-	-

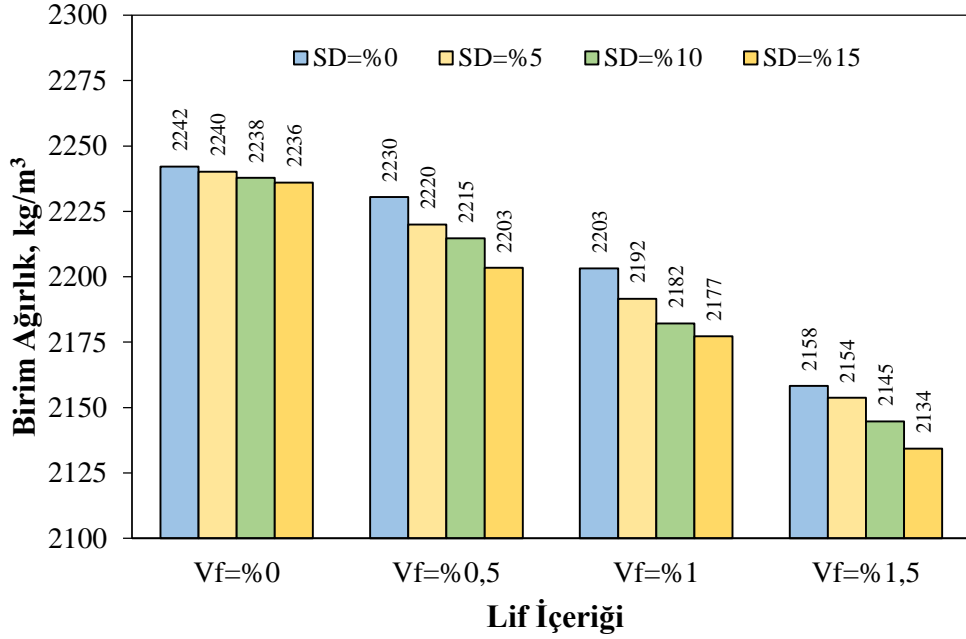
Tablo 4.1. Numunelerin Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları (devam)

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Birim Ağırlık, kg/m ³		
		Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
K10	20	2148	-	-
	300	2154	2099	2.56
	600	2144	2006	6.43
	900	2169	-	-
K11	20	2139	-	-
	300	2152	2090	2.88
	600	2132	1977	7.24
	900	2156	-	-
K12	20	2130	-	-
	300	2128	2082	2.15
	600	2151	1995	7.25
	900	2128	-	-
K13	20	2169	-	-
	300	2165	2063	4.69
	600	2182	1959	10.19
	900	2193	-	-
K14	20	2169	-	-
	300	2196	2060	6.18
	600	2192	1971	10.07
	900	2211	-	-
K15	20	2209	-	-
	300	2210	2072	6.24
	600	2205	1966	10.84
	900	2189	-	-
K16	20	2198	-	-
	300	2172	2042	5.99
	600	2185	1975	9.62
	900	2173	-	-

Lif içeriğine bağlı kuru birim hacim ağırlığın her bir silis dumanı miktarındaki değişimi Şekil 4.3'te ve silis dumanı miktarına bağlı kuru birim hacim ağırlığın her bir lif içeriğindeki değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir.



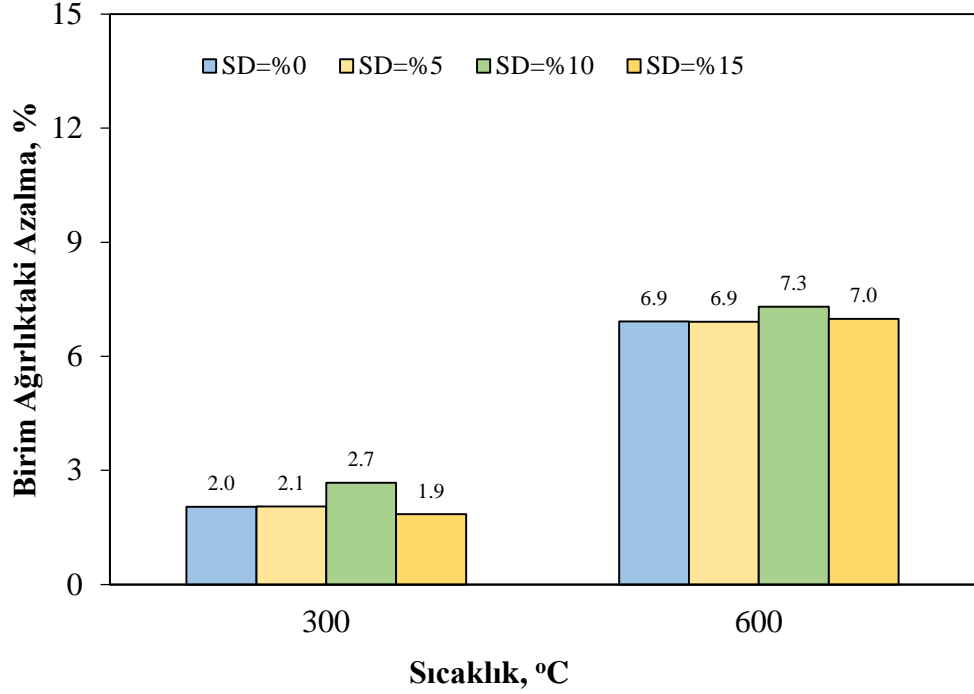
Şekil 4.3. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Hacim Ağırlığın Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi



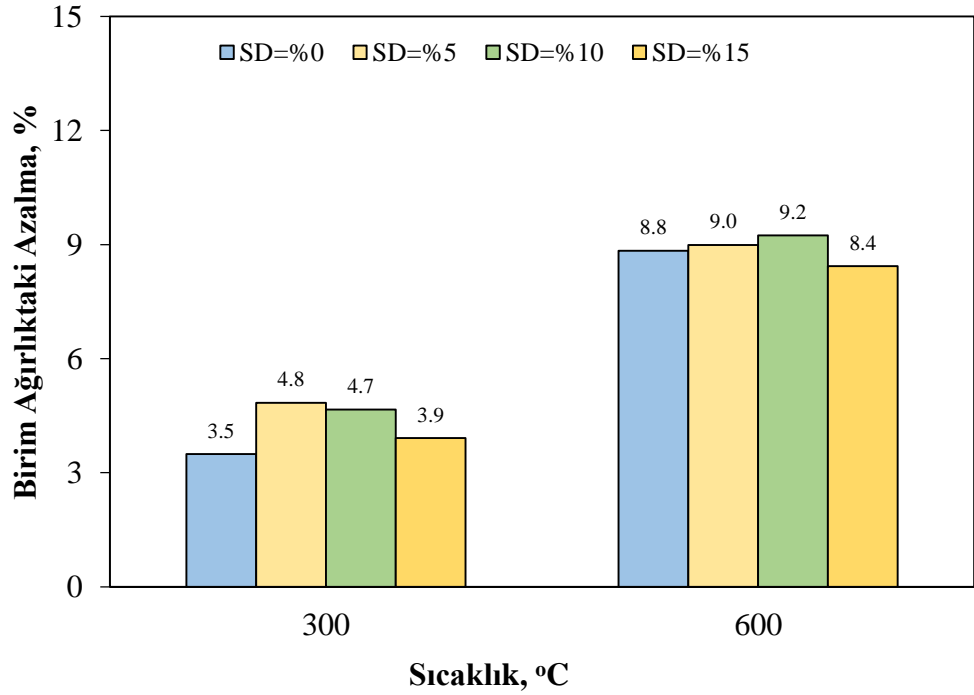
Şekil 4.4. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Hacim Ağırlığın Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi

Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı birim ağırlıkları incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça birim ağırlığın azaldığı görülmektedir. En büyük birim ağırlık değeri lif içeriğinin ve silis dumanı içeriğinin %0 olduğu durumda 2242 kg/m^3 olarak elde edilmiştir.

Numunelerin 300 °C ve 600 ° sıcaklık sonrası silis dumanı miktarına bağlı kuru birim hacim ağırlık değerleri lif içeriği %0, %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.



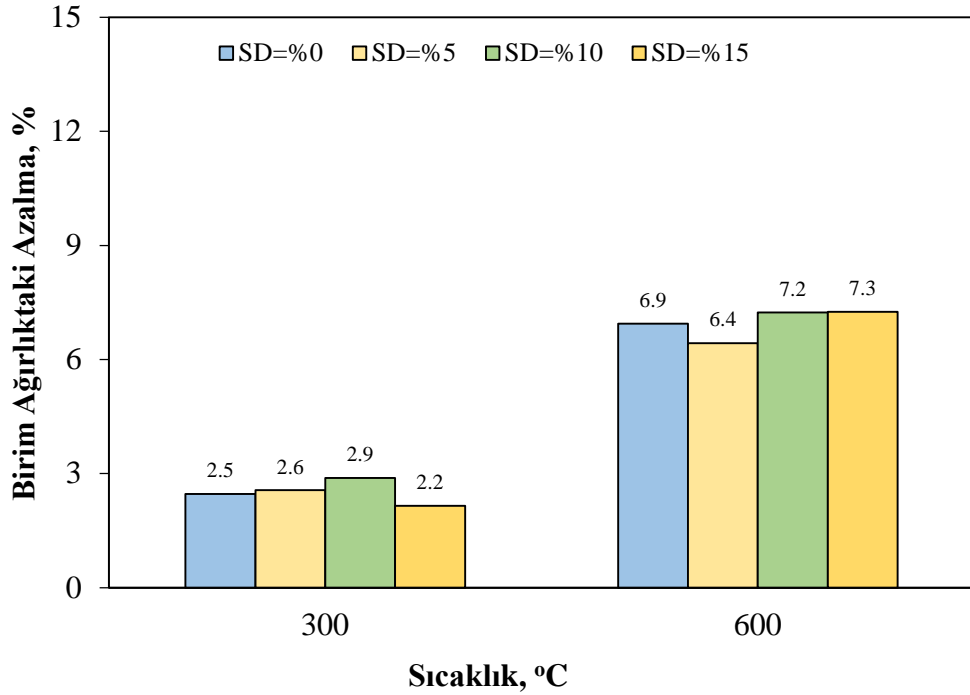
Şekil 4.5. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Polimer Lif İçeriği Vf=%0 Olduğundaki Değişimi



Şekil 4.6. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Polimer Lif İçeriği Vf=%0,5 Olduğundaki Değişimi

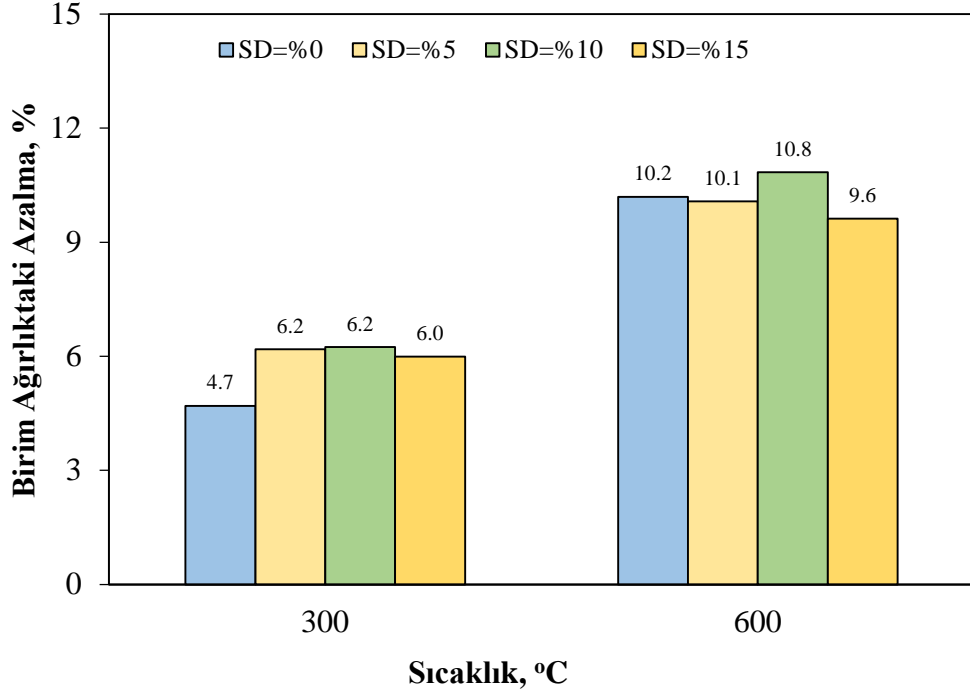
Sıcaklık sonrası birim ağırlıktaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0 olduğu durumda 300°C için birim ağırlık değerlerindeki en fazla azalma SD=%10 silis dumanı içeriğinde %2,7 ve 600°C için ise SD=%10 silis dumanı içeriğinde %7,3 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası birim ağırlıktaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0,5 olduğu durumda 300°C için birim ağırlık değerlerindeki en fazla azalma SD=%5 silis dumanı içeriğinde %4,8 ve 600°C için ise SD=%10 silis dumanı içeriğinde %9,2 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Polimer Lif İçeriği Vf=%1,0 Olduğundaki Değişimi

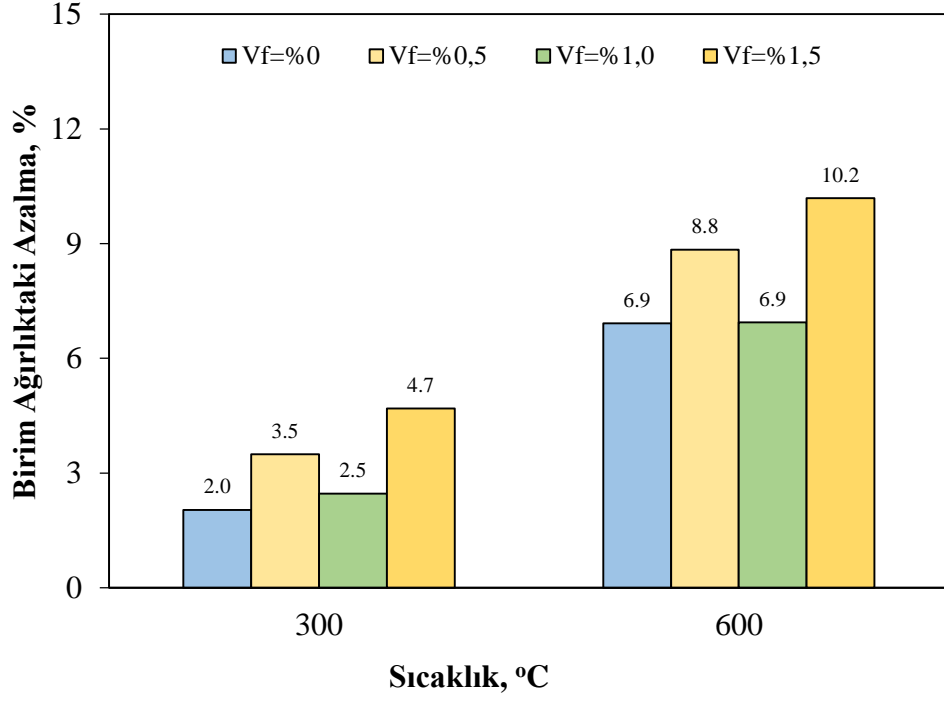
Sıcaklık sonrası birim ağırlıktaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%1,0 olduğu durumda 300°C için birim ağırlık değerlerindeki en fazla azalma SD=%10 silis dumanı içeriğinde %2,9 ve 600°C için ise SD=%15 silis dumanı içeriğinde %7,3 olarak elde edilmiştir.



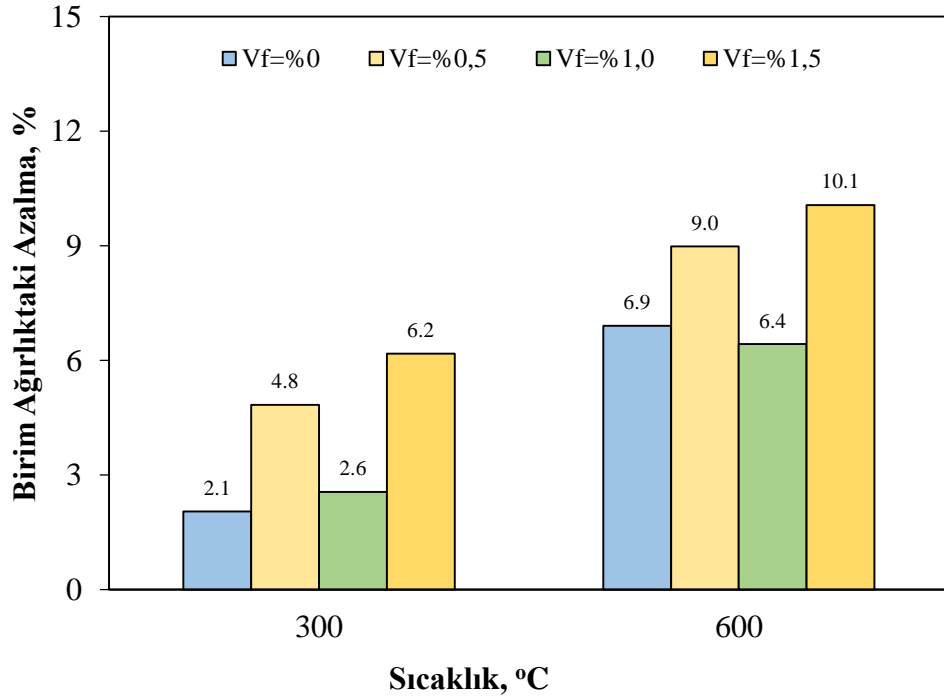
Şekil 4.8. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Polimer Lif İçeriği $V_f=1,5$ Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası birim ağırlıktaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin $V_f=1,5$ olduğu durumda 300°C için birim ağırlık değerlerindeki en fazla azalma SD=%10 silis dumanı içeriğinde %6,2 ve 600°C için ise SD=%10 silis dumanı içeriğinde %10,8 olarak elde edilmiştir.

Numunelerin 300 °C ve 600 ° sıcaklık sonrası lif içeriğine bağlı kuru birim hacim ağırlık değerleri silis dumanı miktarı %0, %5, %10 ve %15 için sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.



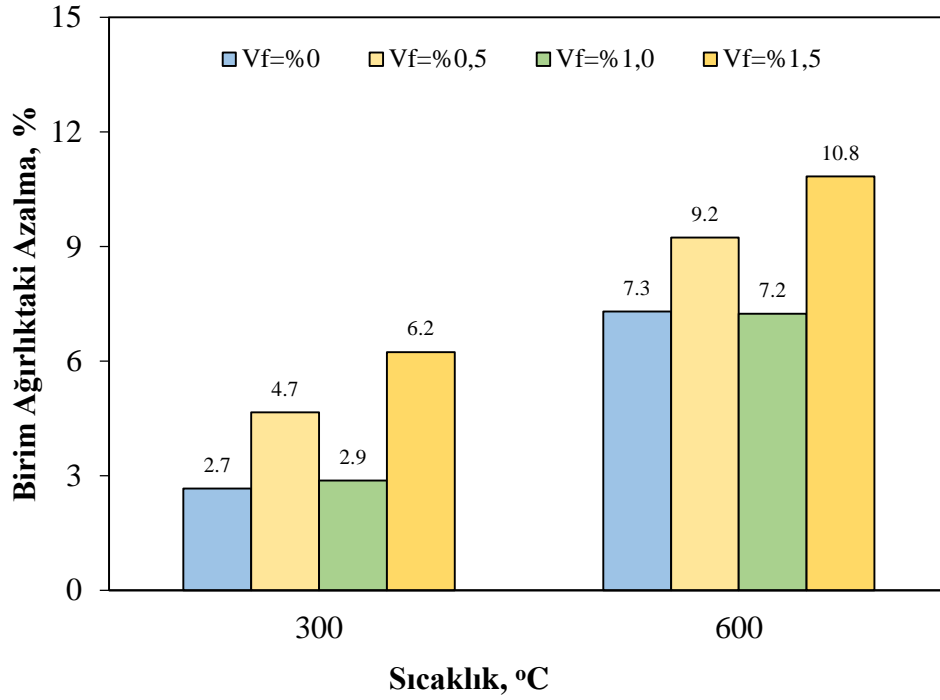
Şekil 4.9. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Silis Dumanı SD=%0 Olduğundaki Değişimi



Şekil 4.10. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi

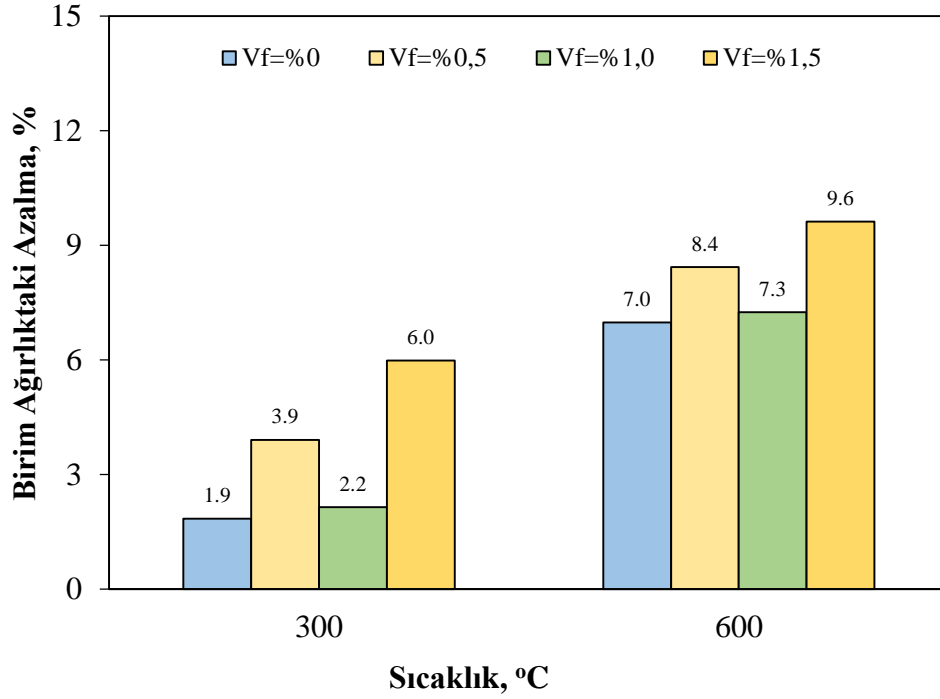
Sıcaklık sonrası birim ağırlıktaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%0 olduğu durumda 300°C için birim ağırlık değerlerindeki en fazla azalma Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %4,7 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %10,2 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası birim ağırlıktaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%5 olduğu durumda 300°C için birim ağırlık değerlerindeki en fazla azalma Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %6,2 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %10,1 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.11. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Silis Dumanı SD=%10 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası birim ağırlıktaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%10 olduğu durumda 300°C için birim ağırlık değerlerindeki en fazla azalma Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %6,2 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %10,8 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Silis Dumanı SD=%15 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası birim ağırlıktaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%15 olduğu durumda 300°C için birim ağırlık değerlerindeki en fazla azalma Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %6,0 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %9,6 olarak elde edilmiştir.

4.2. Su Emme

28 gün standart küre tabii tutulan numuneler sabit ağırlığa erişinceye kadar kurumaya bırakıldı ve kuruduktan sonra ise sertleşmiş olan harç numunelerin sıcaklık öncesindeki ve sıcaklık uygulandıktan sonraki soğuma tiplerine göre su emme oranları belirlendi. Deney sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

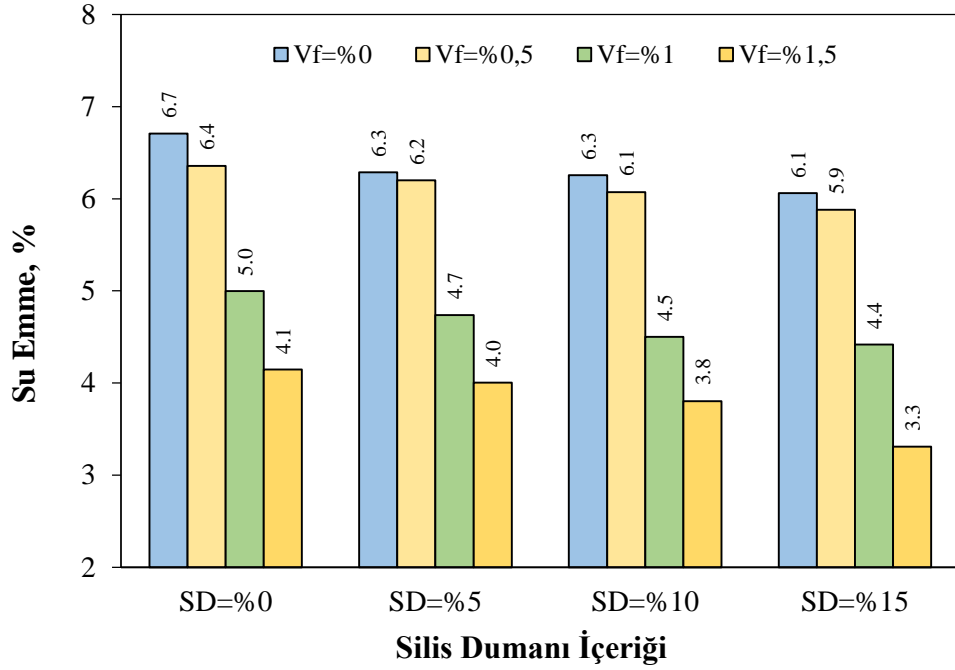
Tablo 4.2. Numunelerin Su Emme Oranları

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Su Emme Oran, %		
		Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
K1	20	6,06	-	-
	300	6,24	7,16	14,69
	600	6,04	11,38	88,39
	900	6,45	-	-
K2	20	6,09	-	-
	300	6,08	7,39	21,52
	600	6,46	11,23	74,01
	900	5,59	-	-
K3	20	6,00	-	-
	300	6,04	7,86	30,12
	600	6,02	11,29	87,40
	900	6,23	-	-
K4	20	6,16	-	-
	300	6,64	7,78	17,20
	600	6,11	11,12	82,02
	900	6,52	-	-
K5	20	5,16	-	-
	300	5,60	8,35	49,24
	600	4,84	11,51	137,47
	900	4,38	-	-
K6	20	4,95	-	-
	300	4,20	8,46	101,42
	600	4,84	11,76	142,89
	900	4,01	-	-
K7	20	4,32	-	-
	300	4,53	8,21	81,24
	600	4,29	11,69	172,50
	900	4,53	-	-
K8	20	4,47	-	-
	300	4,55	8,01	76,08
	600	4,76	11,69	145,37
	900	5,17	-	-
K9	20	5,79	-	-
	300	7,30	8,73	19,60
	600	5,66	11,46	102,32
	900	6,39	-	-

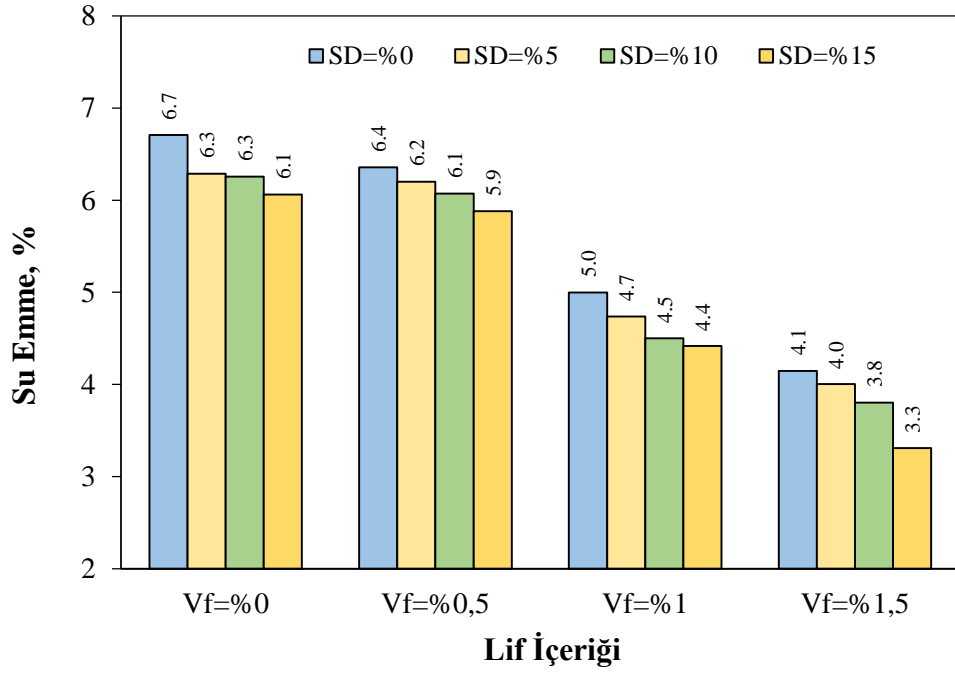
Tablo 4.2. Numunelerin Su Emme Oranları (Devam)

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Su Emme Oran, %		
		Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
K10	20	6,02	-	-
	300	5,90	8,42	42,72
	600	6,49	11,37	75,15
	900	5,12	-	-
K11	20	6,62	-	-
	300	5,79	8,36	44,29
	600	6,55	11,37	73,77
	900	6,06	-	-
K12	20	6,48	-	-
	300	7,01	8,72	24,40
	600	6,22	11,27	81,23
	900	7,12	-	-
K13	20	4,11	-	-
	300	4,86	8,98	84,69
	600	3,90	11,54	196,03
	900	3,71	-	-
K14	20	4,37	-	-
	300	3,56	9,09	155,08
	600	3,99	11,31	183,63
	900	3,29	-	-
K15	20	3,29	-	-
	300	3,09	8,67	180,68
	600	3,20	11,19	249,94
	900	3,66	-	-
K16	20	3,38	-	-
	300	4,05	9,07	123,95
	600	3,97	10,96	176,17
	900	4,61	-	-

Lif içeriğine bağlı su emme oranının her bir silis dumanı miktarındaki değişimi Şekil 4.13'te ve silis dumanı miktarına bağlı su emme oranının her bir lif içeriğindeki değişimi Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi

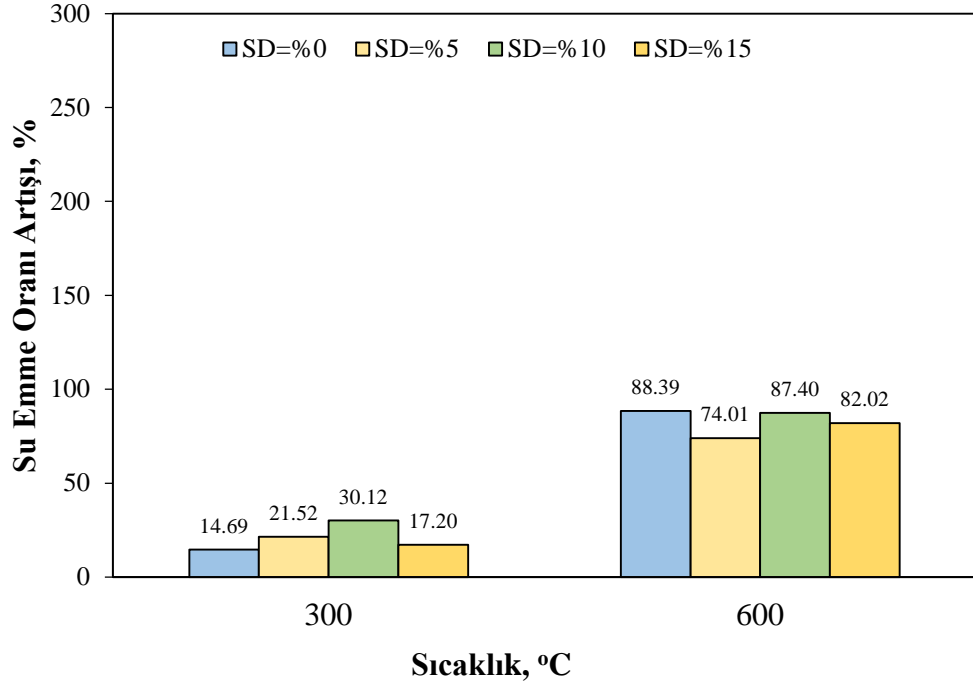


Şekil 4.14. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi

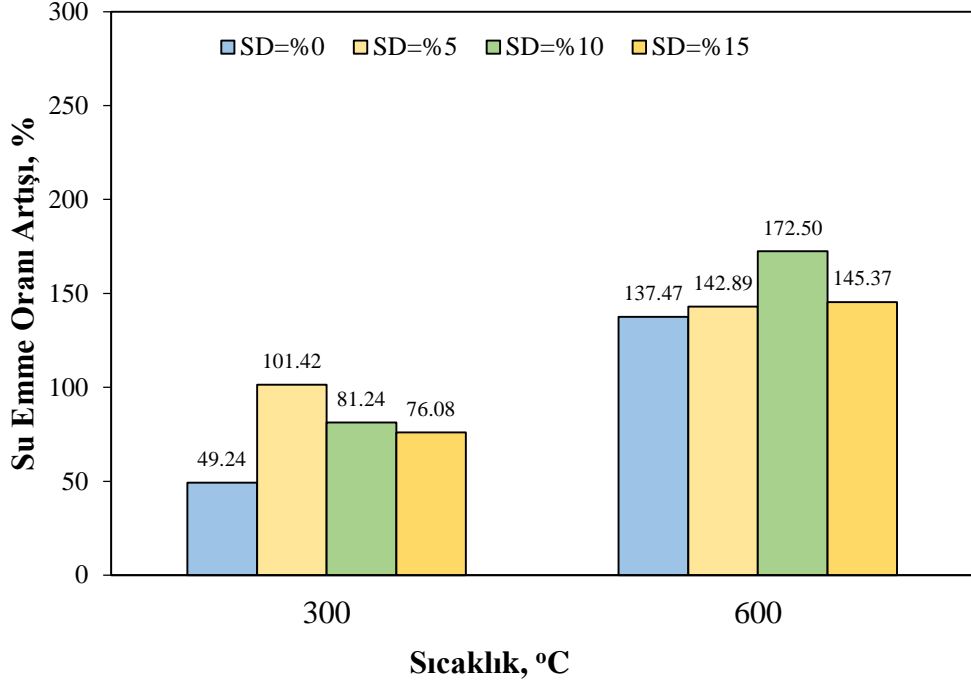
Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı su emme oranları incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça su emme

oranının azaldığı görülmektedir. En büyük su emme değeri lif içeriğinin ve silis dumanı içeriğinin %0 olduğu durumda %6,7 olarak gözlenmiştir.

Numunelerin 300 °C ve 600 ° sıcaklık sonrası silis dumanı miktarına bağlı su emme oranı değerleri lif içeriği %0, %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmiştir.



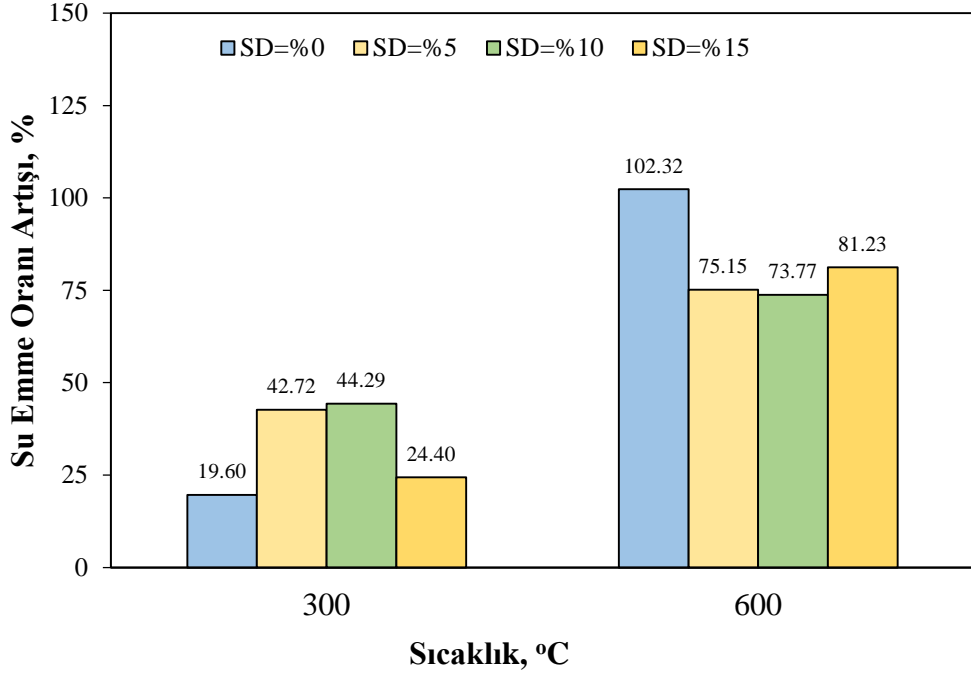
Şekil 4.15. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Polimer Lif İçeriği Vf=%0 Olduğundaki Değişimi



Şekil 4.16. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Polimer Lif İçeriği Vf=%0,5 Olduğundaki Değişimi

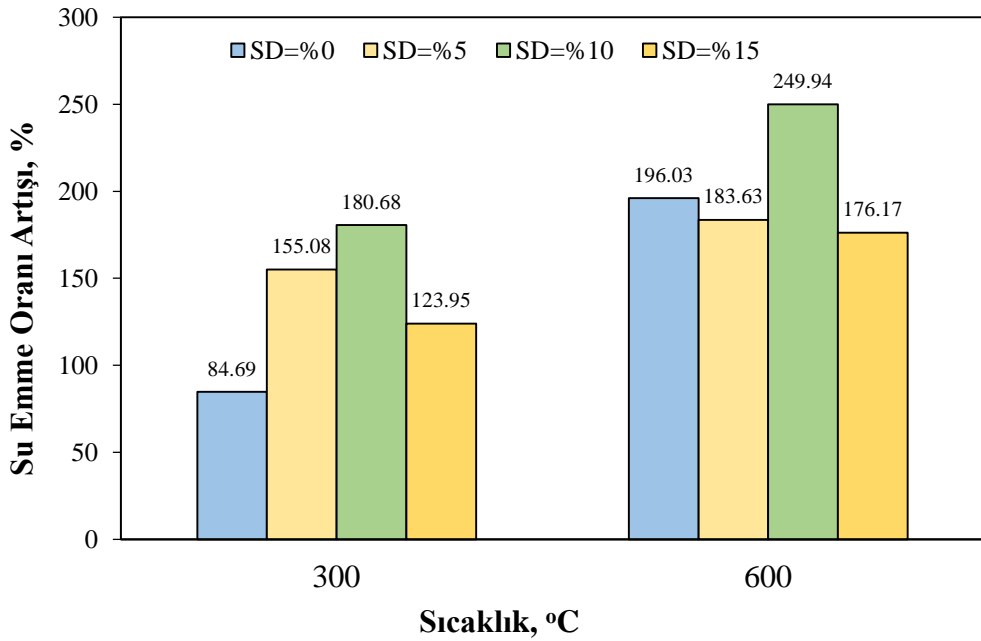
Sıcaklık sonrası su emme oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0 olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış SD=%10 silis dumanı içeriğinde %30,12 ve 600°C için ise SD=%0 silis dumanı içeriğinde %88,39 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası su emme oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0,5 olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış SD=%5 silis dumanı içeriğinde %101,42 ve 600°C için ise SD=%10 silis dumanı içeriğinde %172,50 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.17. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Polimer Lif İçeriği Vf=%1,0 Olduğundaki Değişimi

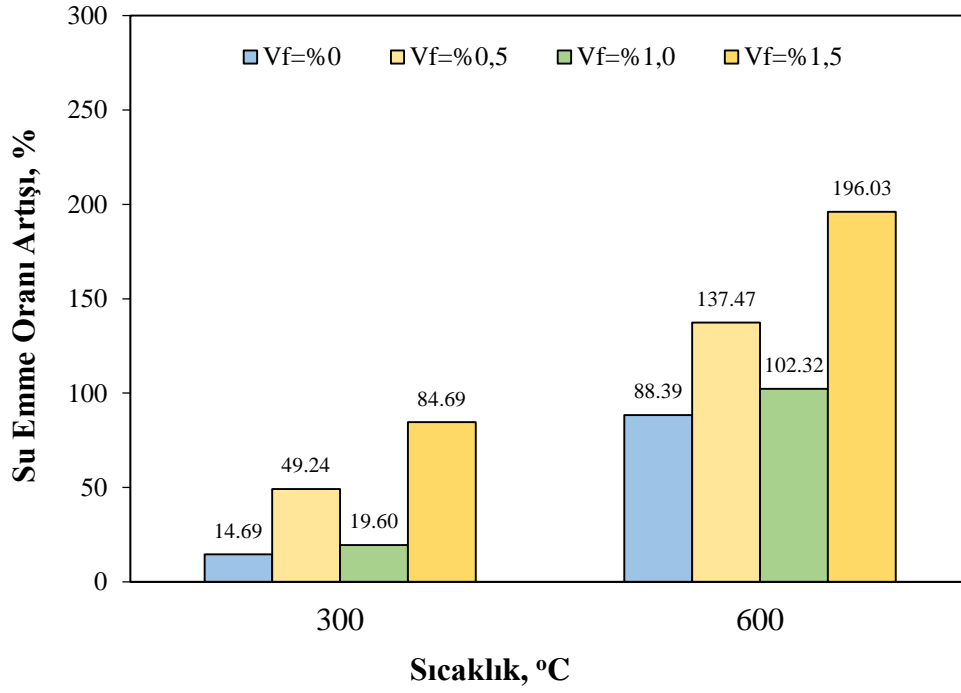
Sıcaklık sonrası su emme oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%1,0 olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış SD=%10 silis dumanı içeriğinde %44,29 ve 600°C için ise SD=%0 silis dumanı içeriğinde %102,32 olarak elde edilmiştir.



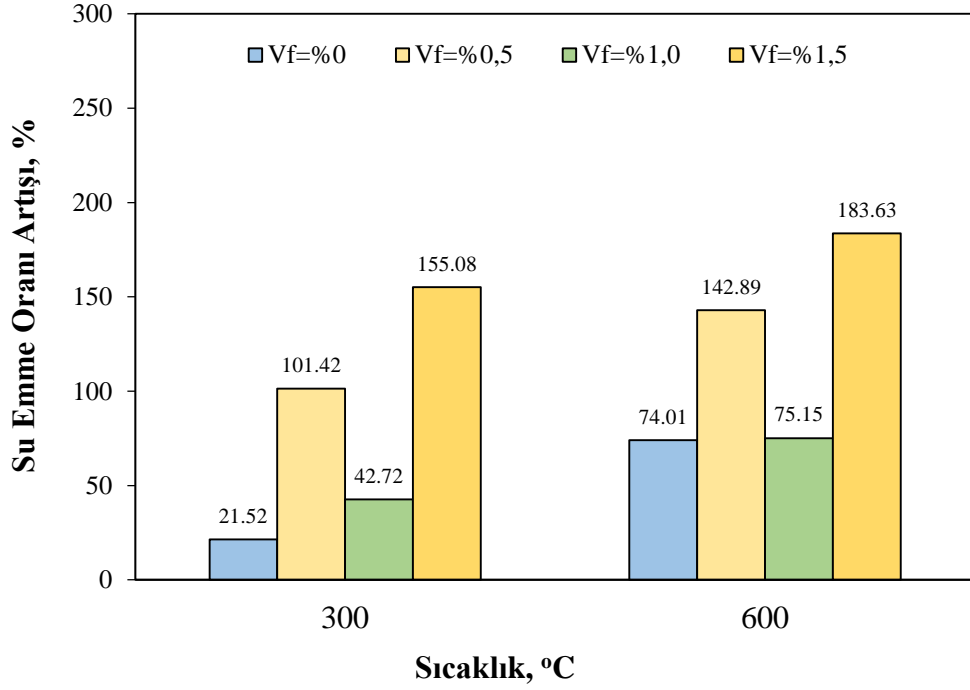
Şekil 4.18. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Su Emme Oranının Polimer Lif İçeriği Vf=%1,5 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası su emme oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%1,5 olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış SD=%10 silis dumanı içeriğinde %180,68 ve 600°C için ise SD=%10 silis dumanı içeriğinde %249,94 olarak elde edilmiştir.

Numunelerin 300 °C ve 600 ° sıcaklık sonrası lif içeriğine bağlı su emme oranı değerleri silis dumanı miktarı %0, %5, %10 ve %15 için sırasıyla Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.



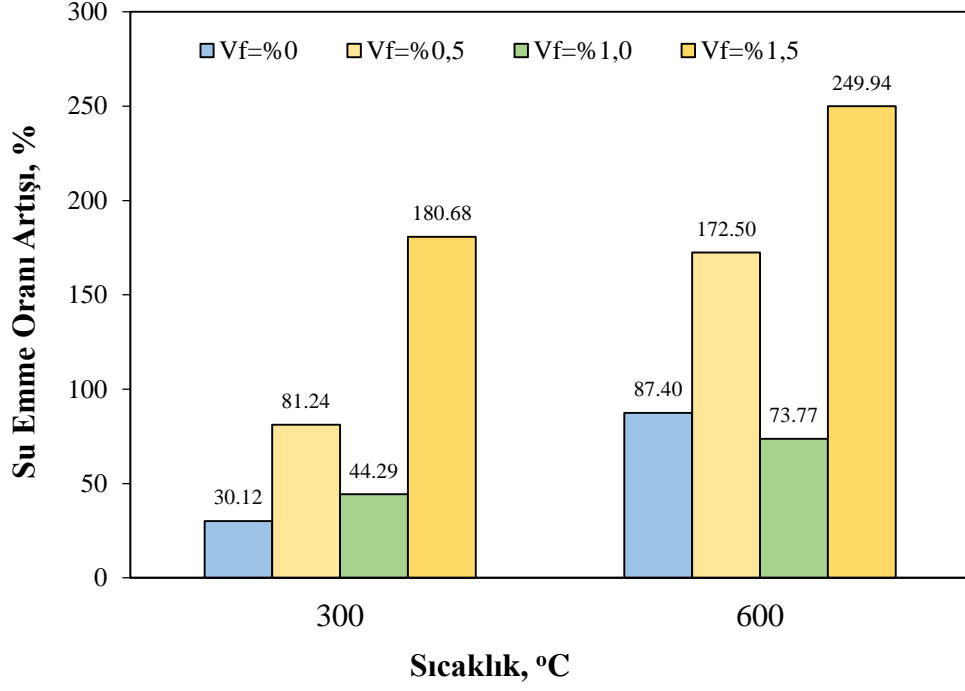
Şekil 4.19. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Silis Dumanı SD=%0 Olduğundaki Değişimi



Şekil 4.20. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi

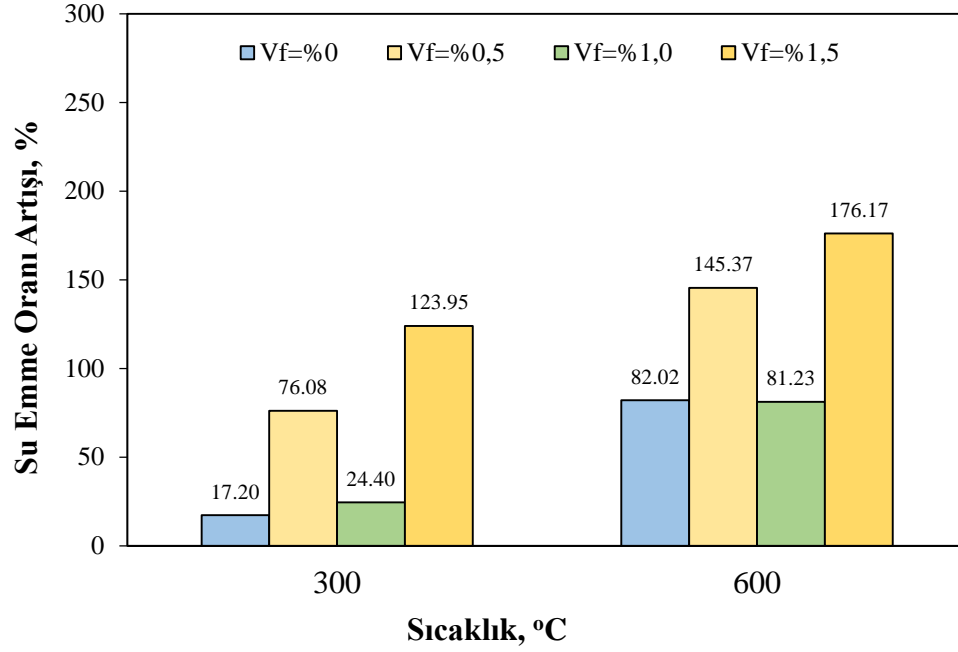
Sıcaklık sonrası su emme oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%0 olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %84,69 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %196,03 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası su emme oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%5 olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %155,08 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %183,63 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.21. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Silis Dumanı SD=%10 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası su emme oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%10 olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %180,68 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %249,94 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.22. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Su Emme Oranının Silis Dumanı SD=%15 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası su emme oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%15 olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %123,95 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %176,17 olarak elde edilmiştir.

4.3. Porozite

28 gün standart bakıma tabi tutulan numuneler kuru ağırlığı değişmeyinceye kadar oda sıcaklığından kurumaya bırakıldı. Daha sonra sertleşmiş harç numunelerin sıcaklık öncesindeki ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki soğuma tiplerine göre porozite değerleri belirlendi. Deney sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.

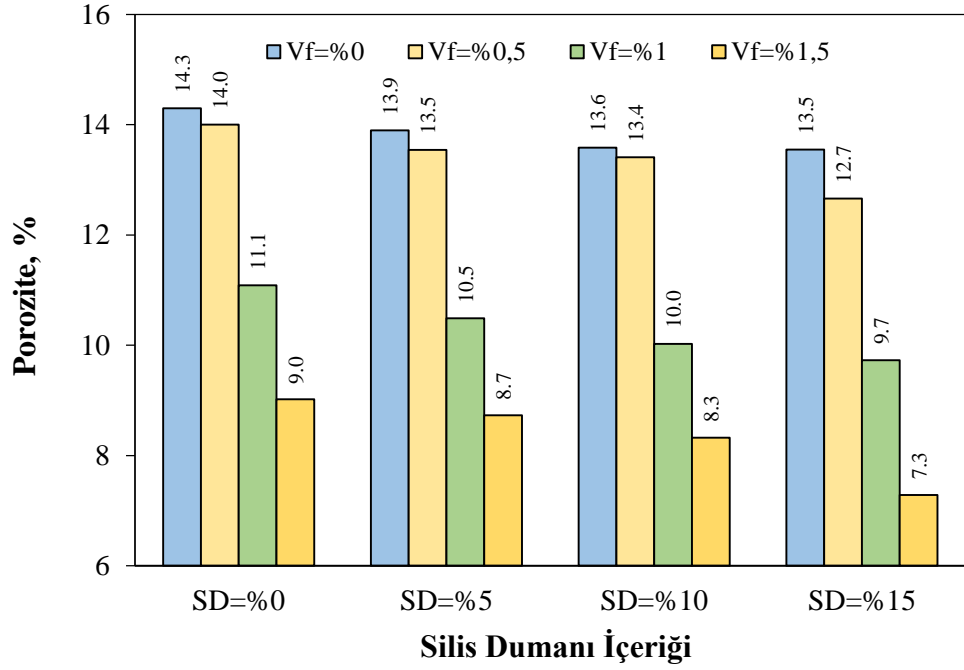
Tablo 4.3. Numunelerin Porozite Değerleri

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Porozite %		
		Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
K1	20	13,67		
	300	13,95	15,67	12,35
	600	13,52	23,57	74,35
	900	14,44		
K2	20	13,65		
	300	13,62	16,21	19,01
	600	14,38	23,29	61,98
	900	12,55		
K3	20	13,45		
	300	13,53	17,15	26,69
	600	13,42	23,33	73,81
	900	13,93		
K4	20	13,87		
	300	14,86	17,09	15,02
	600	13,72	23,23	69,34
	900	14,51		
K5	20	11,37		
	300	12,40	17,86	44,02
	600	10,75	23,30	116,66
	900	9,82		
K6	20	10,95		
	300	9,44	18,09	91,67
	600	10,71	23,67	121,08
	900	9,01		
K7	20	9,51		
	300	9,92	17,15	72,84
	600	9,46	23,40	147,32
	900	10,03		
K8	20	9,87		
	300	10,11	17,12	69,40
	600	10,54	23,68	124,67
	900	11,43		
K9	20	12,62		
	300	15,52	18,10	16,66
	600	12,25	23,09	88,52
	900	13,78		

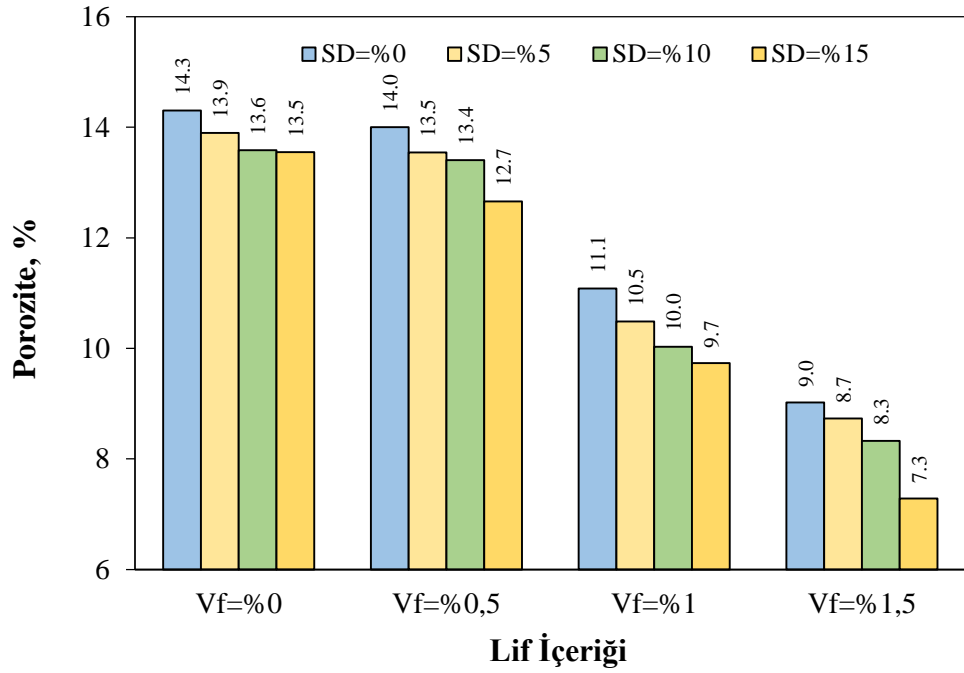
Tablo 4.3. Numunelerin Porozite Değerleri (Devam)

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Porozite %		
		Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
K10	20	12,91		
	300	12,71	17,67	39,08
	600	13,92	22,81	63,88
	900	11,11		
K11	20	14,16		
	300	12,47	17,47	40,16
	600	13,95	22,49	61,18
	900	13,05		
K12	20	13,81		
	300	14,91	18,15	21,72
	600	13,37	22,48	68,13
	900	15,16		
K13	20	8,93		
	300	10,53	18,53	76,05
	600	8,50	22,62	166,09
	900	8,14		
K14	20	9,47		
	300	7,83	18,72	139,29
	600	8,74	22,28	155,05
	900	7,28		
K15	20	7,27		
	300	6,82	17,97	163,56
	600	7,05	22,00	212,02
	900	8,01		
K16	20	7,44		
	300	8,79	18,51	110,54
	600	8,67	21,64	149,63
	900	10,02		

Lif içeriğine bağlı porozitenin her bir silis dumanı miktarındaki değişimi Şekil 4.23'te ve silis dumanı miktarına bağlı porozitenin her bir lif içeriğindeki değişimi Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.23. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi

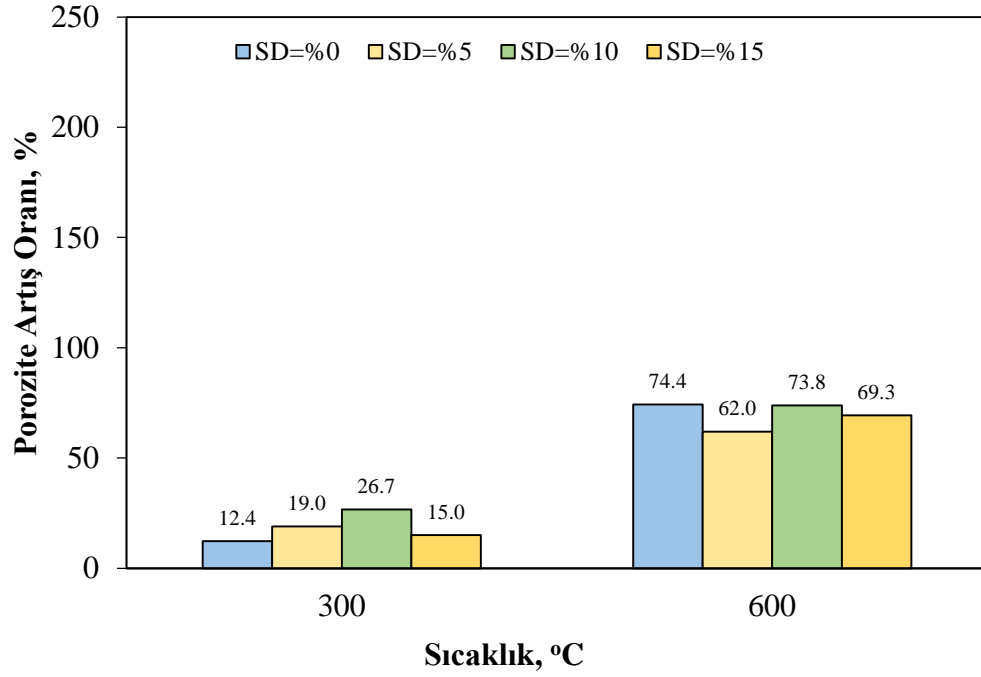


Şekil 4.24. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi

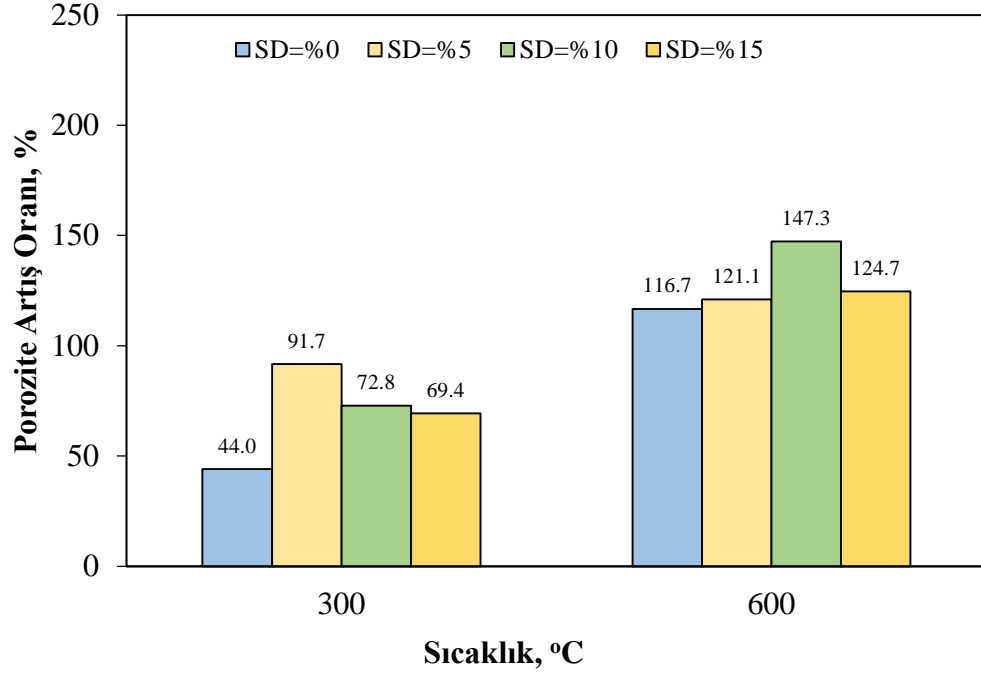
Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı poroziteleri incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça porozitenin

azaldığı görülmektedir. En büyük porozite değeri lif içeriğinin ve silis dumanı içeriğinin %0 olduğu durumda %14,3 olarak gözlenmiştir.

Numunelerin 300 °C ve 600 ° sıcaklık sonrası silis dumanı miktarına bağlı porozite değerleri lif içeriği %0, %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de verilmiştir.



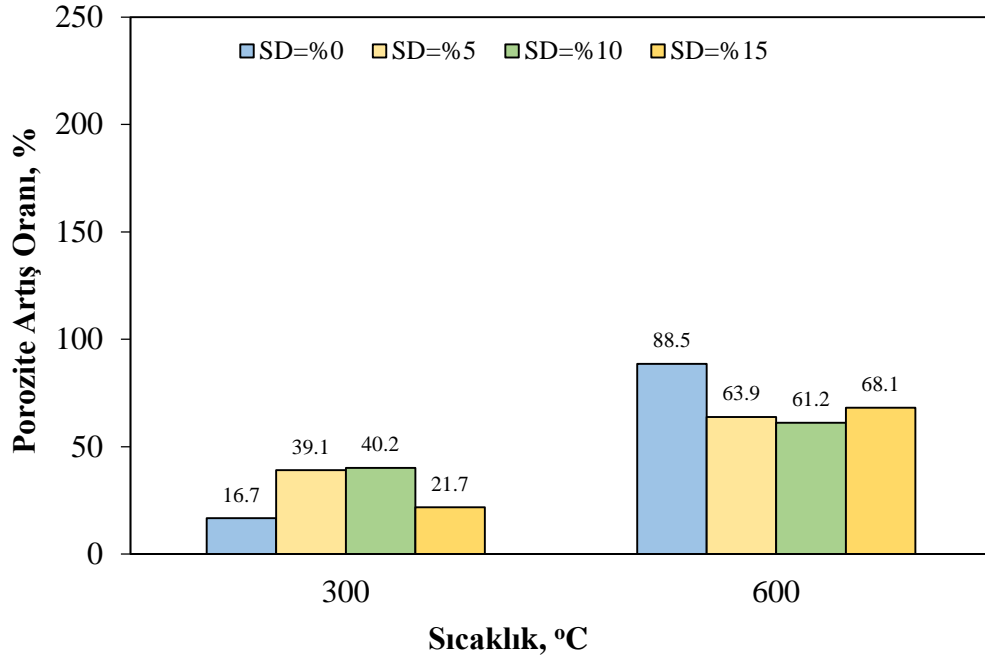
Şekil 4.25. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Polimer Lif İçeriği Vf=%0 Olduğundaki Değişimi



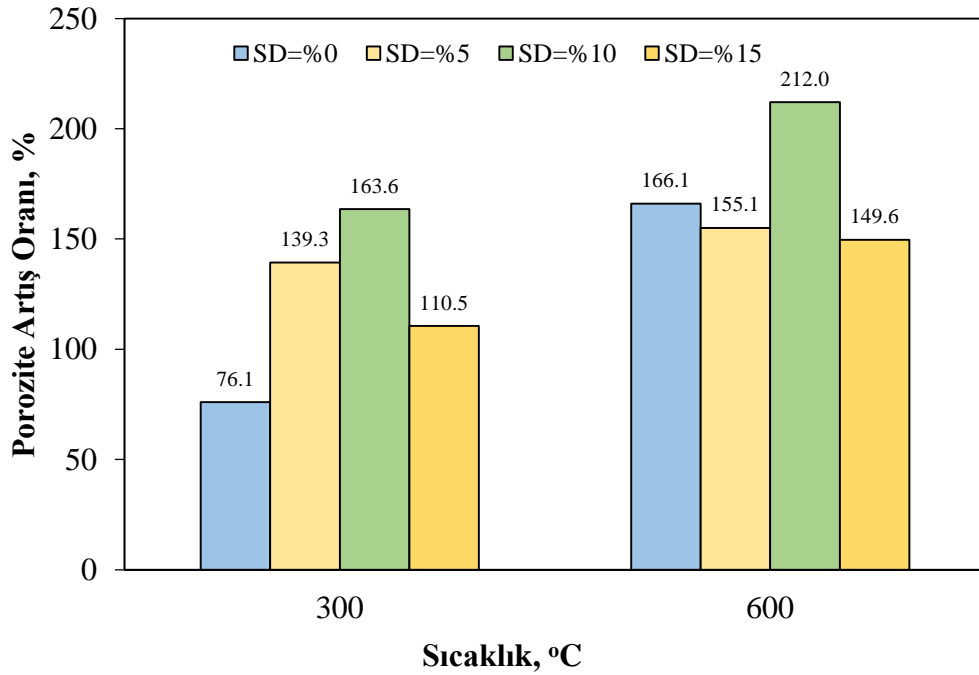
Şekil 4.26. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Polimer Lif İçeriği Vf=%0,5 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası porozitedeki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0 olduğu durumda 300°C için porozite değerlerindeki en büyük artış SD=%10 silis dumanı içeriğinde %26,7 ve 600°C için ise SD=%0 silis dumanı içeriğinde %74,4 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası porozitedeki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0,5 olduğu durumda 300°C için porozite değerlerindeki en büyük artış SD=%5 silis dumanı içeriğinde %91,7 ve 600°C için ise SD=%10 silis dumanı içeriğinde %147,3 olarak elde edilmiştir.



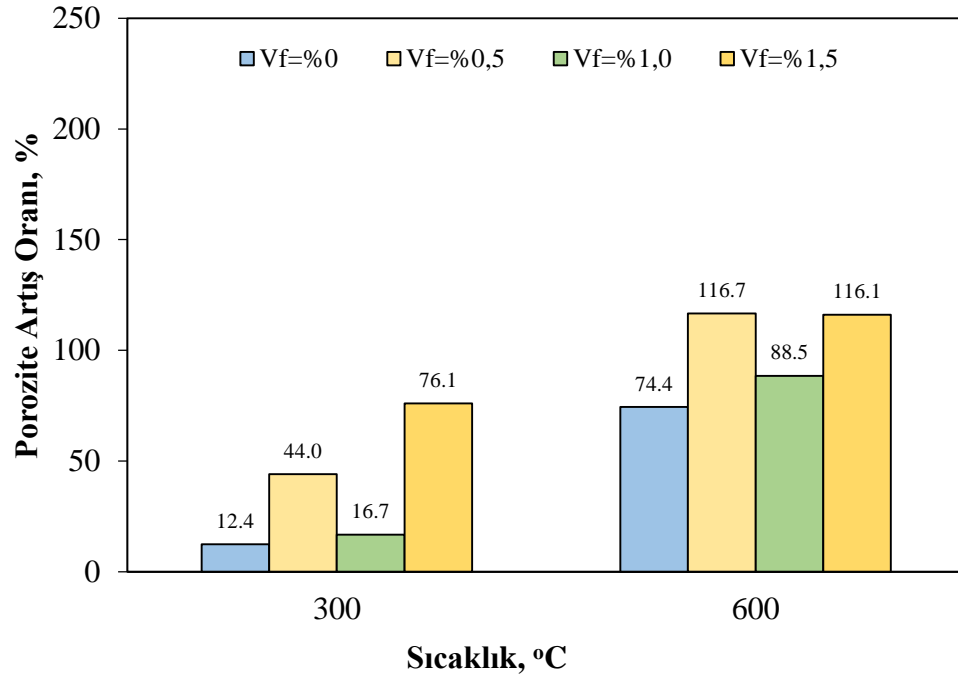
Şekil 4.27. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Polimer Lif İçeriği Vf=%1,0 Olduğundaki Değişimi Sıcaklık sonrası porozitedeki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%1,0 olduğu durumda 300°C için porozite değerlerindeki en büyük artış SD=%10 silis dumanı içeriğinde %40,2 ve 600°C için ise SD=%0 silis dumanı içeriğinde %88,5 olarak elde edilmiştir.



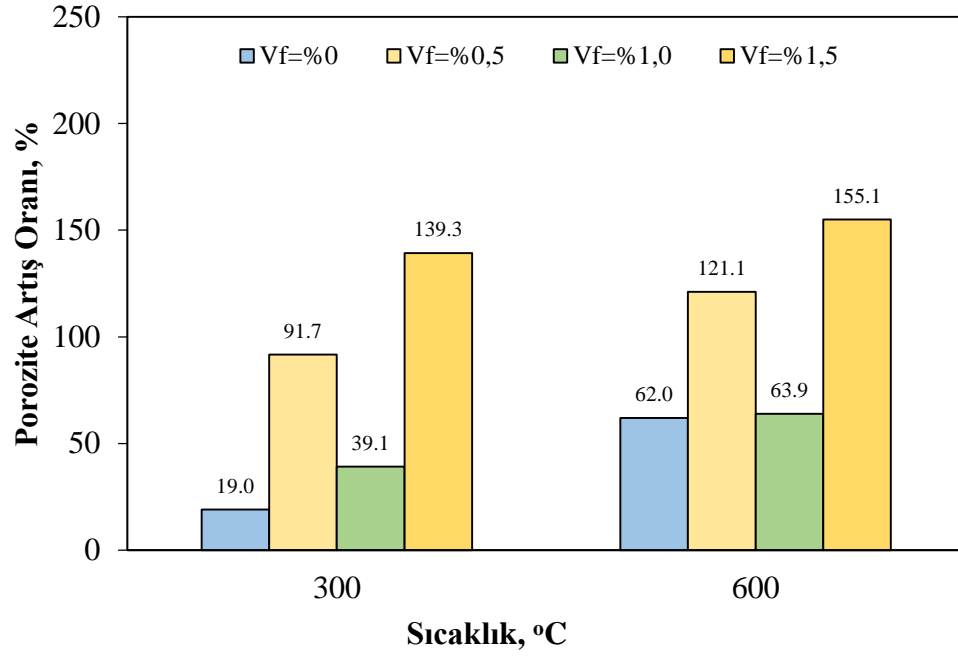
Şekil 4.28. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Porozitenin Polimer Lif İçeriği Vf=%1,5 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası porozitedeki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin $V_f=1,5$ olduğu durumda 300°C için porozite değerlerindeki en büyük artış $SD=10$ silis dumanı içeriğinde $163,6$ ve 600°C için ise $SD=10$ silis dumanı içeriğinde 212 olarak elde edilmiştir.

Numunelerin 300°C ve 600°C sıcaklık sonrası lif içeriğine bağlı porozite değerleri silis dumanı miktarı 0 , 5 , 10 ve 15 için sırasıyla Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32’de verilmiştir.



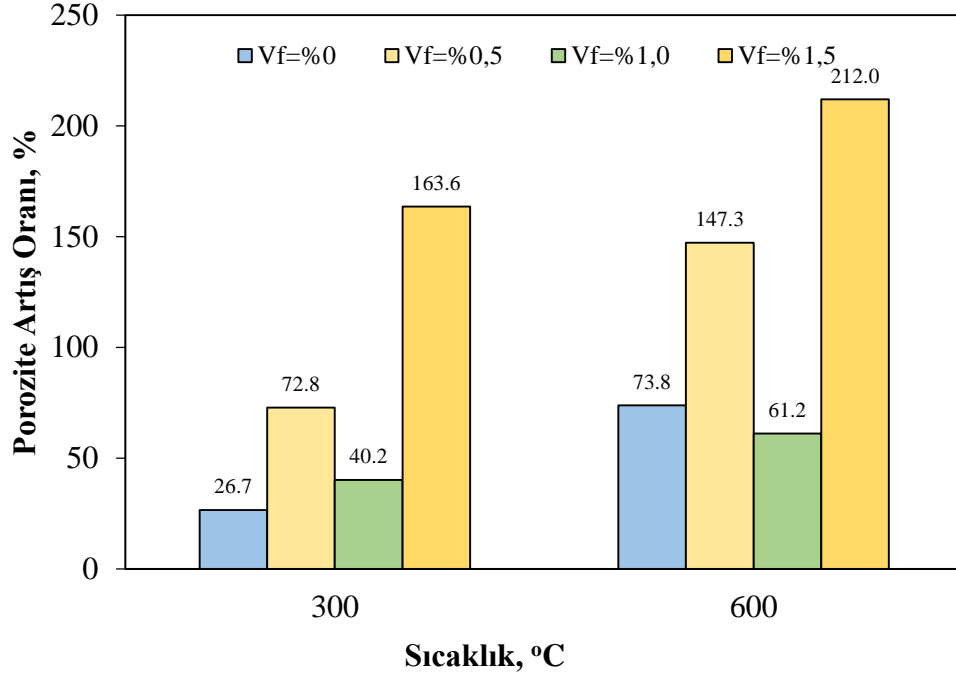
Şekil 4.29. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Silis Dumanı $SD=0$ Olduğundaki Değişimi



Şekil 4.30. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi

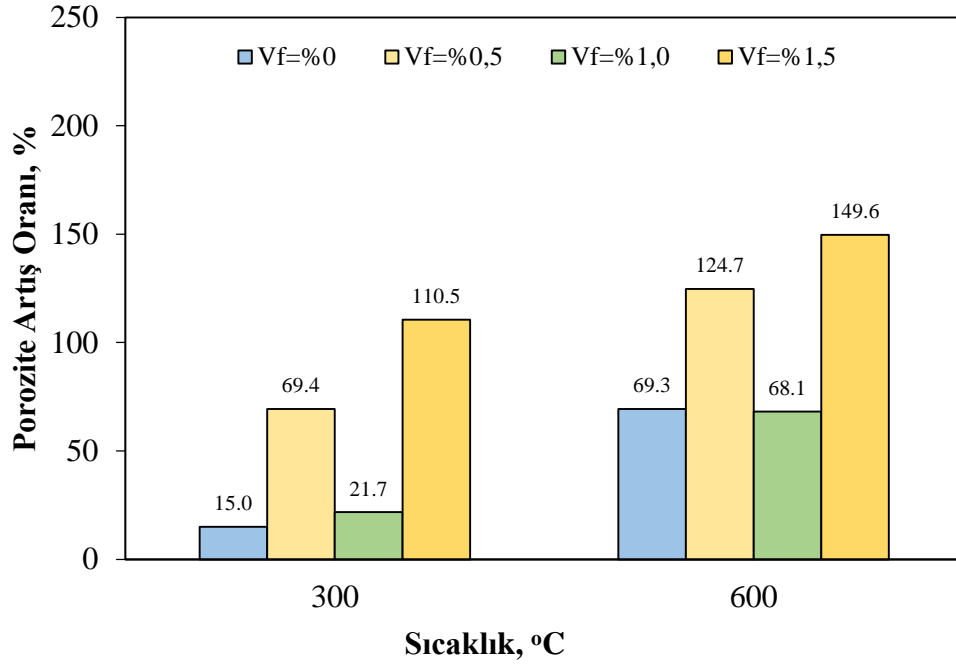
Sıcaklık sonrası porozitedeki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%0 olduğu durumda 300°C için porozite değerlerindeki en büyük artış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %76,1 ve 600°C için ise Vf=%0,5 polimer lif içeriğinde %116,7 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası porozitedeki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%5 olduğu durumda 300°C için porozite değerlerindeki en büyük artış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %139,3 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %155,1 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.31. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Silis Dumanı SD=%10 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası porozitedeki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%10 olduğu durumda 300°C için porozite değerlerindeki en büyük artış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %163,6 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %212 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.32. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Porozitenin Silis Dumanı SD=%15 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası porozitedeki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%15 olduğu durumda 300°C için porozite değerlerindeki en büyük artış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %110,5 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %149,6 olarak elde edilmiştir.

4.4.Ultrases Geçiş Hızı

Sıcaklık uygulamasından sonra üretilen numunelerin ultrases geçiş hızlarında büyük değişiklikler meydana gelmiştir. Deneyden elde edilen numunelere ait ultrases deney sonuçları Tablo 4.4’de verilmiştir.

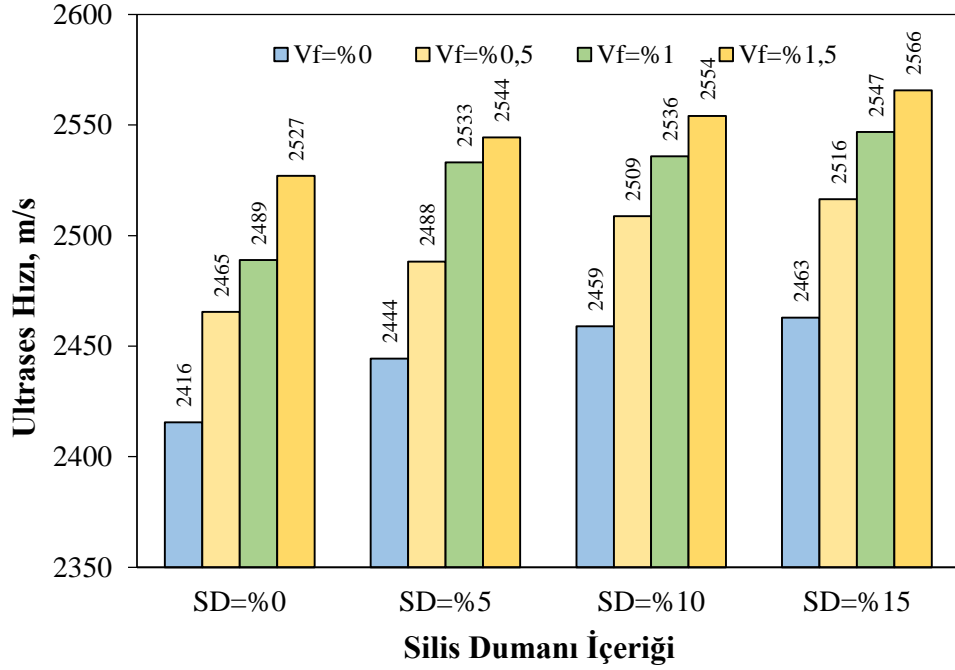
Tablo 4.4. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızları

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Ultrases Geçiş Hız m/s		
		Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
K1	20	2525		
	300	2479	2018	18,61
	600	2489	1162	53,33
	900	2461		
K2	20	2423		
	300	2427	1951	19,59
	600	2473	1171	52,64
	900	2455		
K3	20	2522		
	300	2476	1963	20,69
	600	2491	1168	53,10
	900	2465		
K4	20	2536		
	300	2457	1962	20,16
	600	2526	1177	53,39
	900	2516		
K5	20	2545		
	300	2495	1973	20,91
	600	2563	1178	54,02
	900	2585		
K6	20	2546		
	300	2583	1978	23,42
	600	2556	1170	54,22
	900	2578		
K7	20	2546		
	300	2558	2016	21,20
	600	2549	1169	54,12
	900	2564		
K8	20	2572		
	300	2534	2031	19,85
	600	2534	1200	52,64
	900	2538		
K9	20	2461		
	300	2422	1949	19,52
	600	2474	1141	53,89
	900	2479		

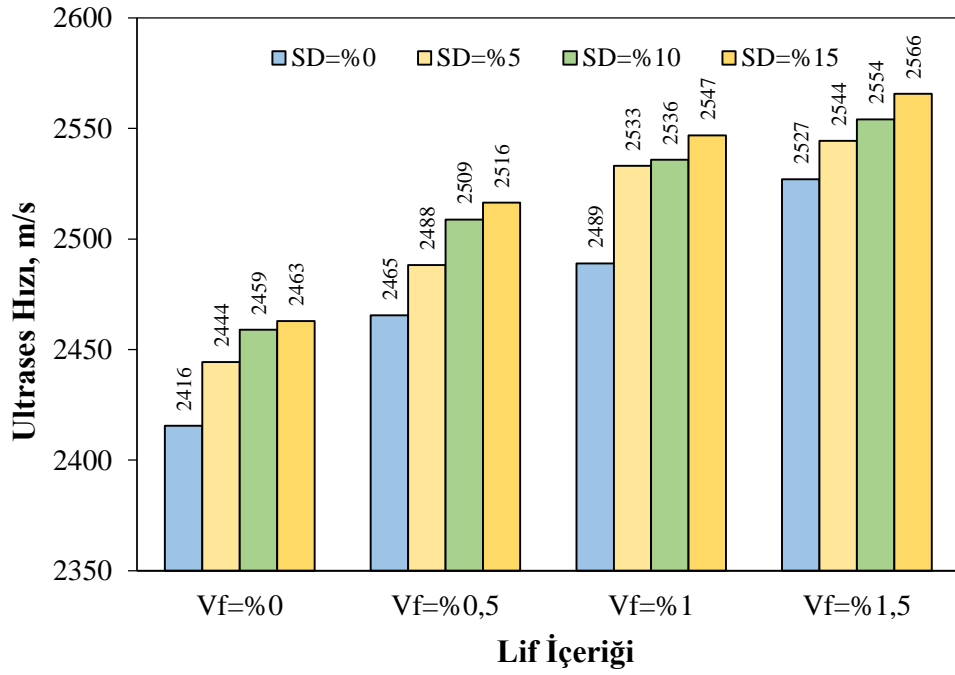
Tablo 4.2. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızları (Devam)

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Ultrases Geçiş Hız m/s		
		Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
K10	20	2437		
	300	2452	1993	18,72
	600	2470	1190	51,83
	900	2503		
K11	20	2489		
	300	2451	1956	20,18
	600	2419	1151	52,43
	900	2492		
K12	20	2406		
	300	2395	1956	18,34
	600	2411	1139	52,75
	900	2450		
K13	20	2470		
	300	2479	1955	21,12
	600	2563	1139	55,55
	900	2554		
K14	20	2549		
	300	2531	1950	22,97
	600	2507	1112	55,64
	900	2545		
K15	20	2507		
	300	2524	1941	23,09
	600	2564	1091	57,43
	900	2512		
K16	20	2575		
	300	2522	1946	22,83
	600	2535	1136	55,19
	900	2512		

Lif içeriğine bağlı ultrases geçiş hızının her bir silis dumanı miktarındaki değişimi Şekil 4.33'te ve silis dumanı miktarına bağlı ultrases geçiş hızının her bir lif içeriğindeki değişimi Şekil 4.34'de verilmiştir.



Şekil 4.33. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Ultras Geçiş Hızının Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi

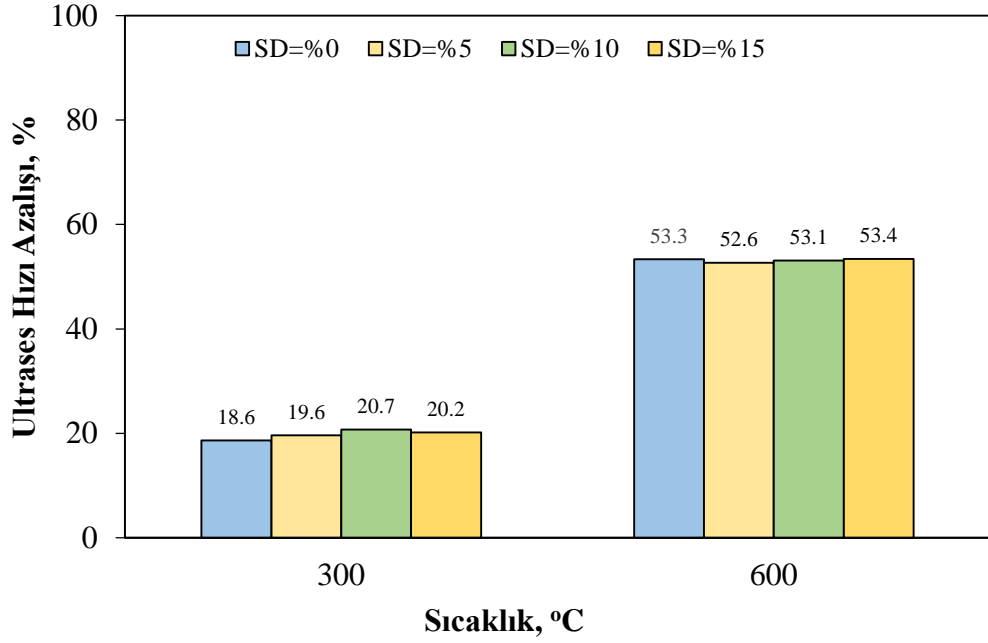


Şekil 4.34. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultras Geçiş Hızının Her Bir Lif İçeriğindeki Değişim

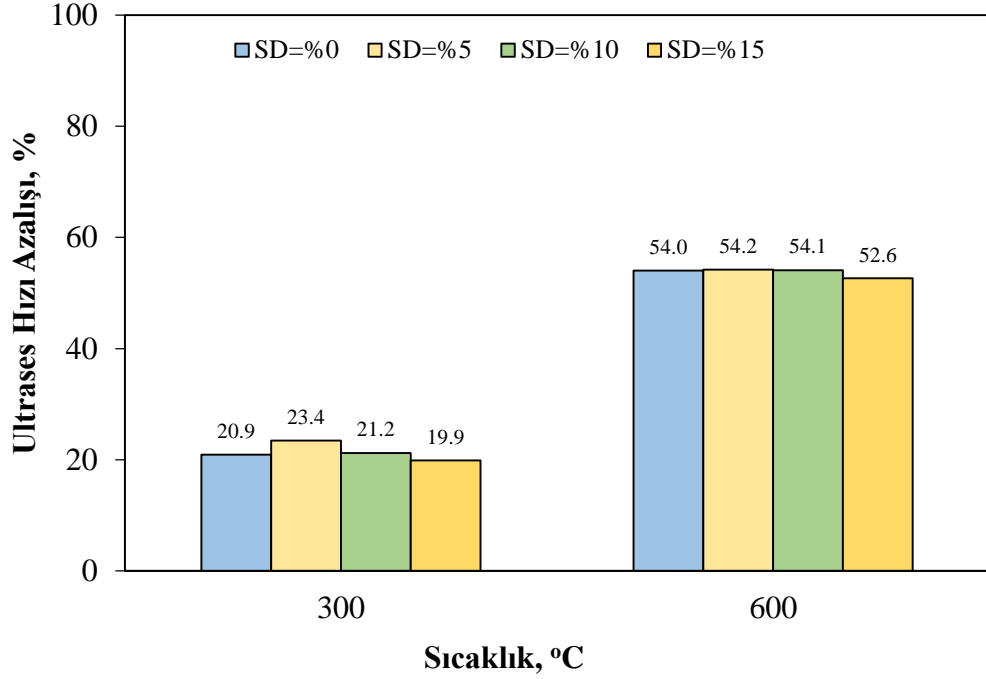
Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı ultra ses hızı incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça ultras hızının

arttığı görülmektedir. En büyük ultrases hızı değeri lif içeriğinin Vf=%1,5 ve silis dumanı içeriğinin %15 olduğu durumda 2566 m/s olarak gözlenmiştir.

Numunelerin 300 °C ve 600 ° sıcaklık sonrası silis dumanı miktarına bağlı ultrases geçiş hızı değerleri lif içeriği %0, %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de verilmiştir.



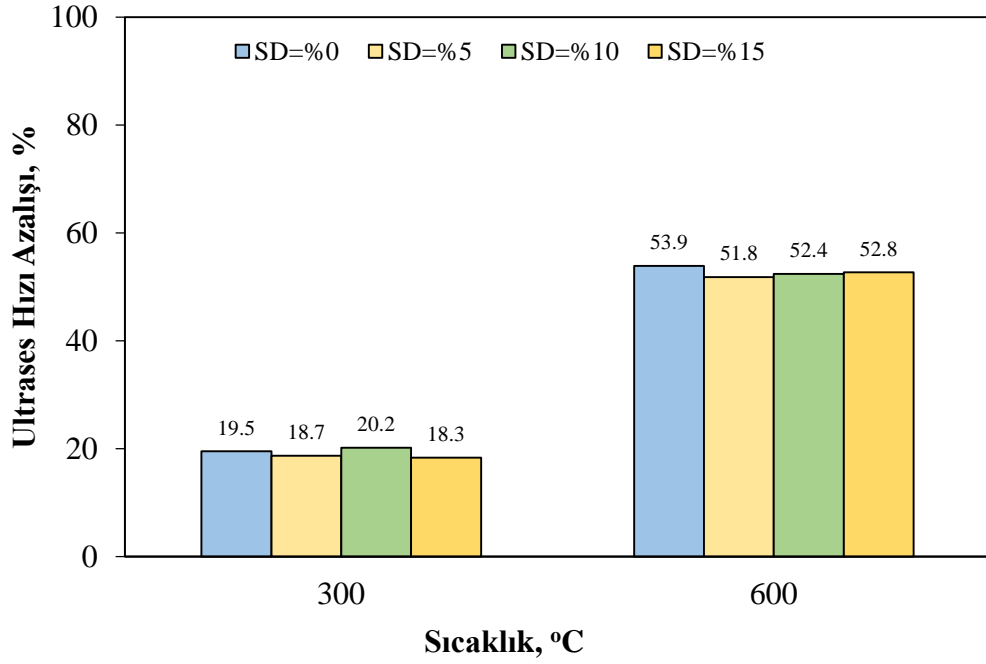
Şekil 4.35. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Polimer Lif İçeriği Vf=%0 Olduğundaki Değişimi



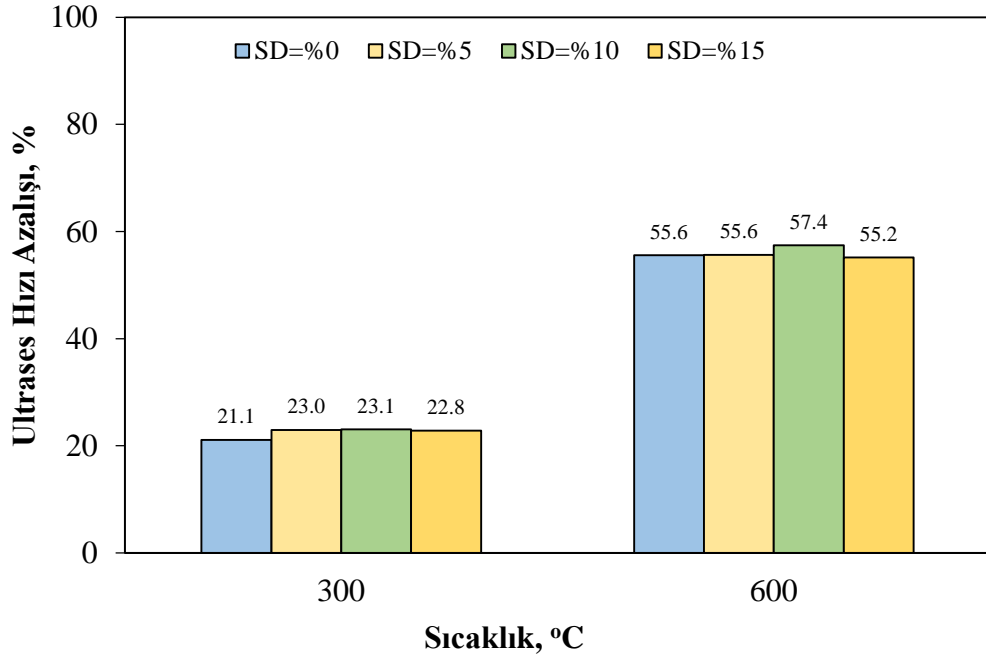
Şekil 4.36. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Polimer Lif İçeriği Vf=%0,5 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası ultrases hızı azalışındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0 olduğu durumda 300°C için ultrases hızı azalışı değerlerindeki en büyük azalış SD=%10 silis dumanı içeriğinde %20,7 ve 600°C için ise SD=%15 silis dumanı içeriğinde %53,4 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası ultrases hızı azalışındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0,5 olduğu durumda 300°C için ultrases hızı değerlerindeki en büyük azalış SD=%5 silis dumanı içeriğinde %23,4 ve 600°C için ise SD=%5 silis dumanı içeriğinde %54,2 olarak elde edilmiştir.



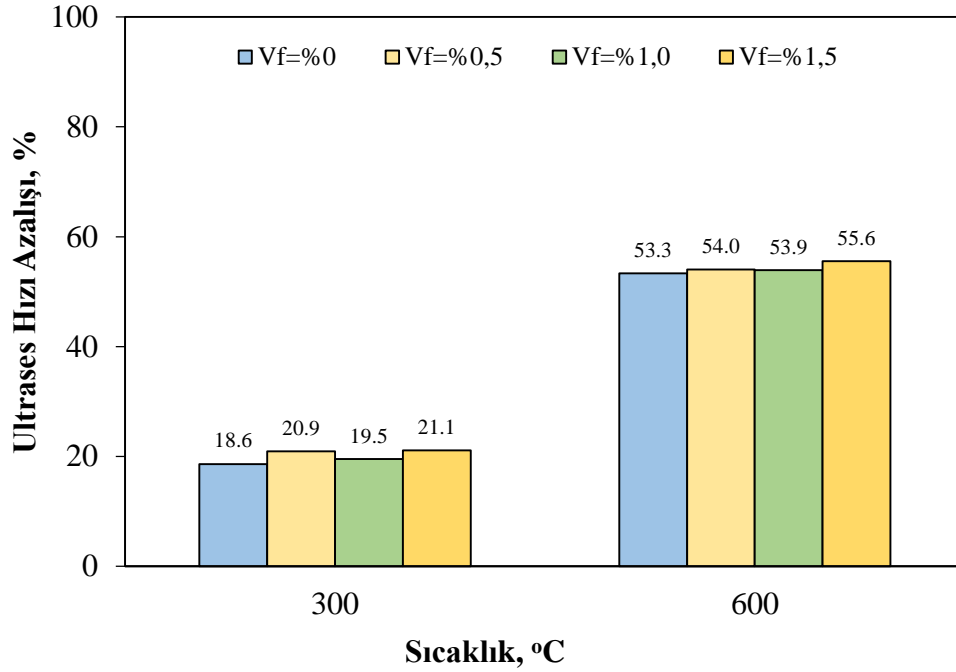
Şekil 4.37. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Polimer Lif İçeriği Vf=%1,0 Olduğundaki Değişimi Sıcaklık sonrası ultrases hızı azalışındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%1,0 olduğu durumda 300°C için ultrases hızı değerlerindeki en büyük azalış SD=%10 silis dumanı içeriğinde %20,2 ve 600°C için ise SD=%0 silis dumanı içeriğinde %53,9 olarak elde edilmiştir.



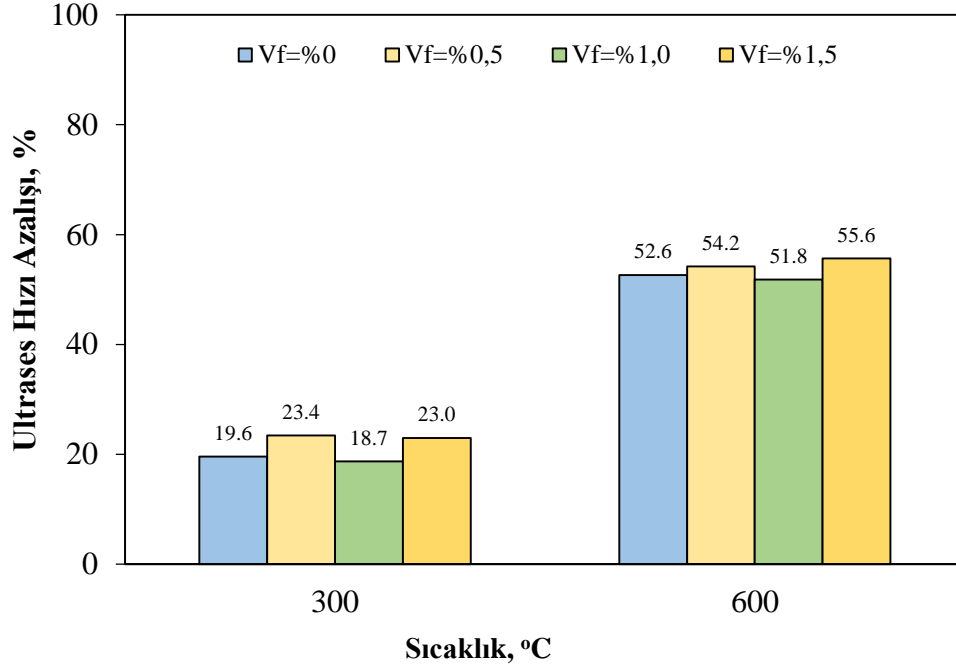
Şekil 4.38. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Polimer Lif İçeriği Vf=%1,5 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası ultrases hızı azalışındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin $V_f=1,5$ olduğu durumda 300°C için ultrases hızı değerlerindeki en büyük azalış $SD=10$ silis dumanı içeriğinde $23,1$ ve 600°C için ise $SD=10$ silis dumanı içeriğinde $57,4$ olarak elde edilmiştir.

Numunelerin 300°C ve 600°C sıcaklık sonrası lif içeriğine bağlı ultrases geçiş hızı değerleri silis dumanı miktarı 0 , 5 , 10 ve 15 için sırasıyla Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de verilmiştir.



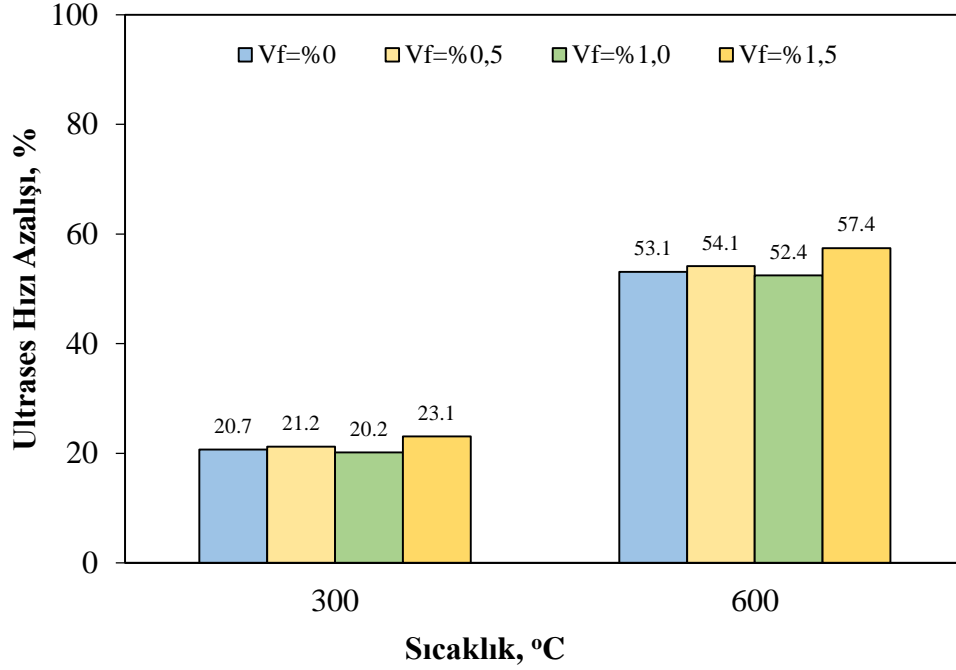
Şekil 4.39. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Silis Dumanı $SD=0$ Olduğundaki Değişimi



Şekil 4.40. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Ultrasres Geçiş Hızının Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi

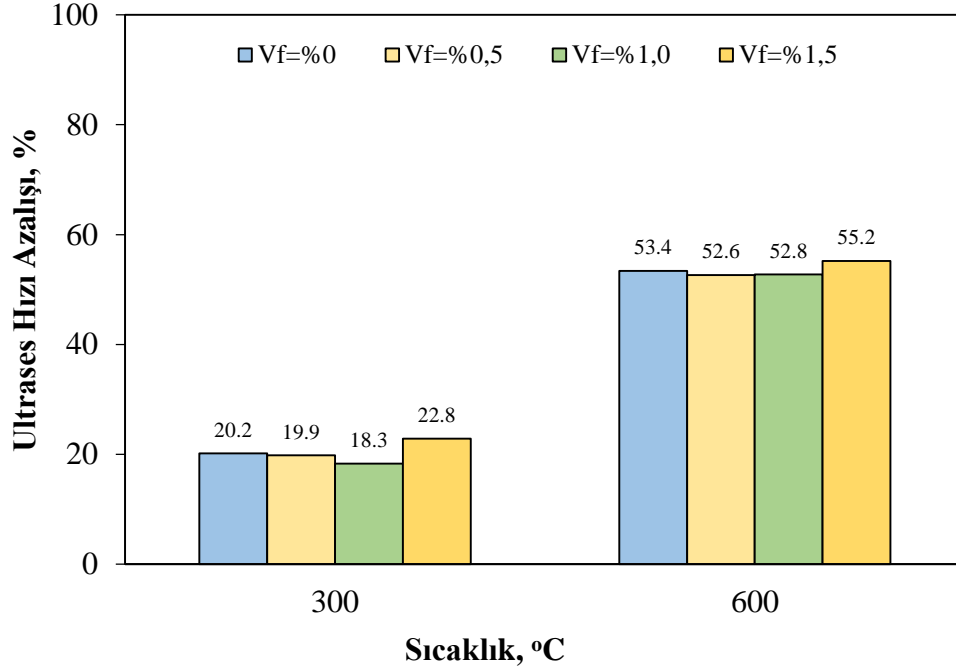
Sıcaklık sonrası ultrasres hızı azalışındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%0 olduğu durumda 300°C için ultrasres hızı azalışındaki en büyük azalış Vf=%0,5 polimer lif içeriğinde %20,9 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %55,6 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası ultrasres hızı azalışındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%5 olduğu durumda 300°C için ultrasres hızı azalışındaki en büyük artış Vf=%0,5 polimer lif içeriğinde %23,4 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %55,6 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.41. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Ultrases Geçiş Hızının Silis Dumanı SD=%10 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası ultrases hızı azalışındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%10 olduğu durumda 300°C için ultrases hızı azalışındaki en büyük azalış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %23,1 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %57,4 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.42. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Ultrasres Geçiş Hızının Silis Dumanı SD=%15 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası ultrasres hızı azalışındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%15 olduğu durumda 300°C için ultrasres hızı azalışındaki en büyük azalış Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %22,8 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %55,2 olarak elde edilmiştir.

4.5 Eğilme Dayanımı

Numuneler hedef sıcaklıkta 3 saat süreyle bekletildikten sonra yüksek sıcaklık fırınından çıkartılarak oda sıcaklığında soğumaya ve suya konularak ani soğumaya bırakılmıştır. Ani soğuma tipi için suya bırakılan numuneler soğuduktan sonra sudan çıkartılarak kurumaları için etüve konulmuştur. Etüvden çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında normal soğumaya bırakılan numuneler üzerinde üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Deneyden elde edilen numunelere ait eğilme dayanım sonuçları Tablo 4.5’de verilmiştir.

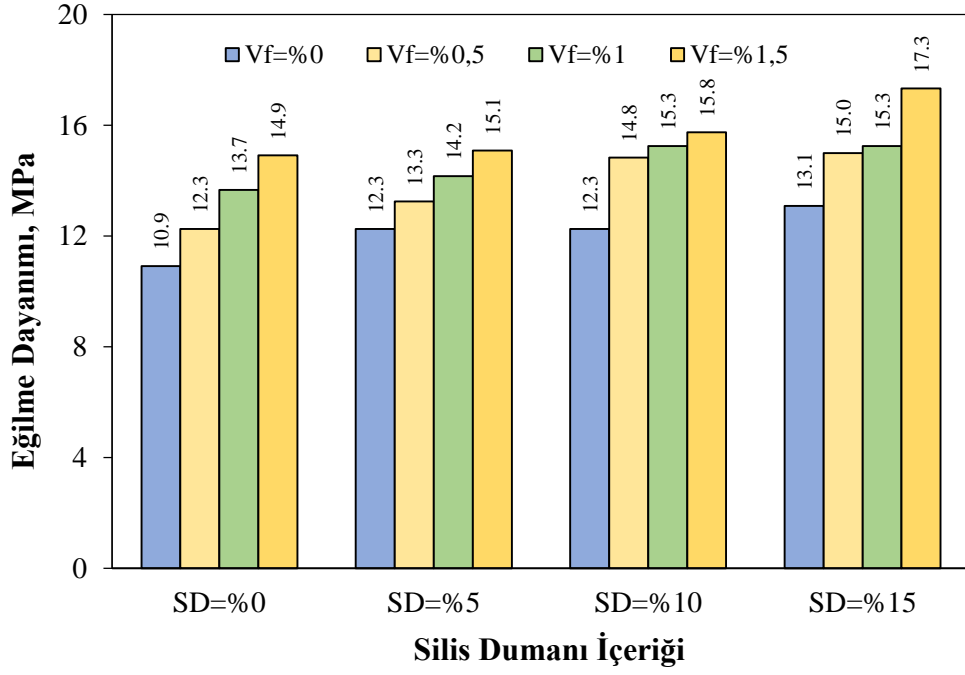
Tablo 4.5. Numunelerin Eğilme Dayanımları

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Eğilme Dayanımı, MPa	% Değişim
K1	20	12,25	
	300	8,92	27,21
	600	5,33	40,19
	900		
K2	20	12,25	
	300	9,92	19,05
	600	4,25	57,14
	900		
K3	20	10,92	
	300	8,58	21,37
	600	4,50	47,57
	900		
K4	20	13,08	
	300	9,33	28,66
	600	3,94	57,79
	900		
K5	20	14,92	
	300	8,92	40,22
	600	4,58	48,60
	900		
K6	20	15,75	
	300	9,17	41,80
	600	4,00	56,36
	900		
K7	20	15,08	
	300	9,50	37,02
	600	4,25	55,26
	900		
K8	20	17,33	
	300	11,08	36,06
	600	4,83	56,39
	900		
K9	20	15,25	
	300	8,75	42,62
	600	3,75	57,14
	900		

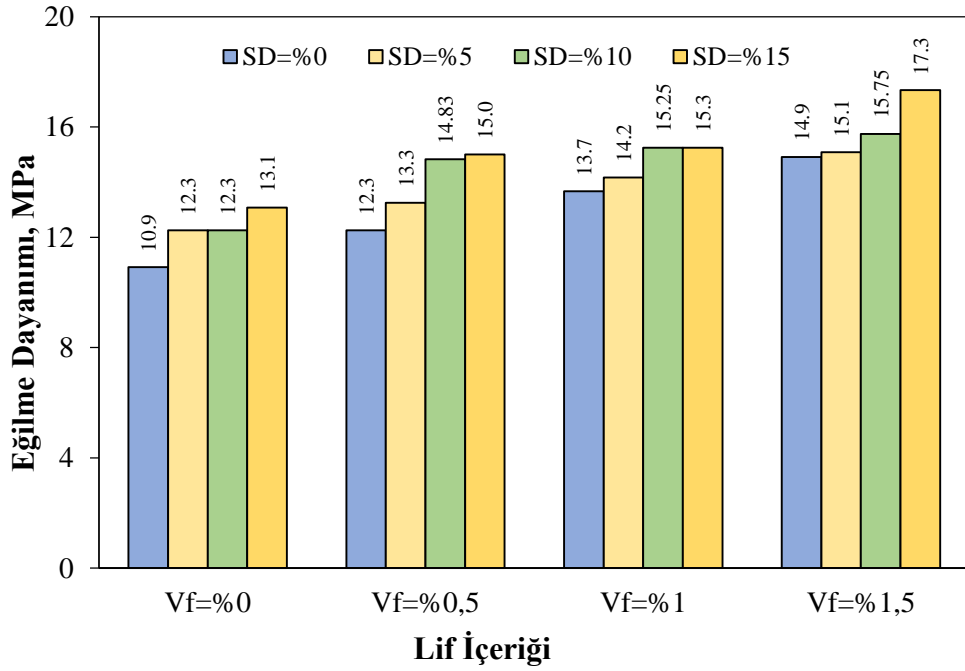
Tablo 4.2. Numunelerin Eğilme Dayanımları (Devam)

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Eğilme Dayanımı, MPa	% Değişim
K10	20	14,17	
	300	10,17	28,24
	600	4,92	51,64
	900		
K11	20	15,25	
	300	8,25	45,90
	600	4,58	44,44
	900		
K12	20	13,67	
	300	7,75	43,29
	600	4,25	45,16
	900		
K13	20	14,83	
	300	9,58	35,39
	600	4,17	56,52
	900		
K14	20	12,25	
	300	6,33	48,30
	600	3,50	44,74
	900		
K15	20	13,25	
	300	7,83	40,88
	600	3,75	52,13
	900		
K16	20	15,00	
	300	8,17	45,56
	600	3,75	54,08
	900		

Lif içeriğine bağlı eğilme dayanımının her bir silis dumanı miktarındaki değişimi Şekil 4.43'te ve silis dumanı miktarına bağlı eğilme dayanımının her bir lif içeriğindeki değişimi Şekil 4.44'de verilmiştir.



Şekil 4.43. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi

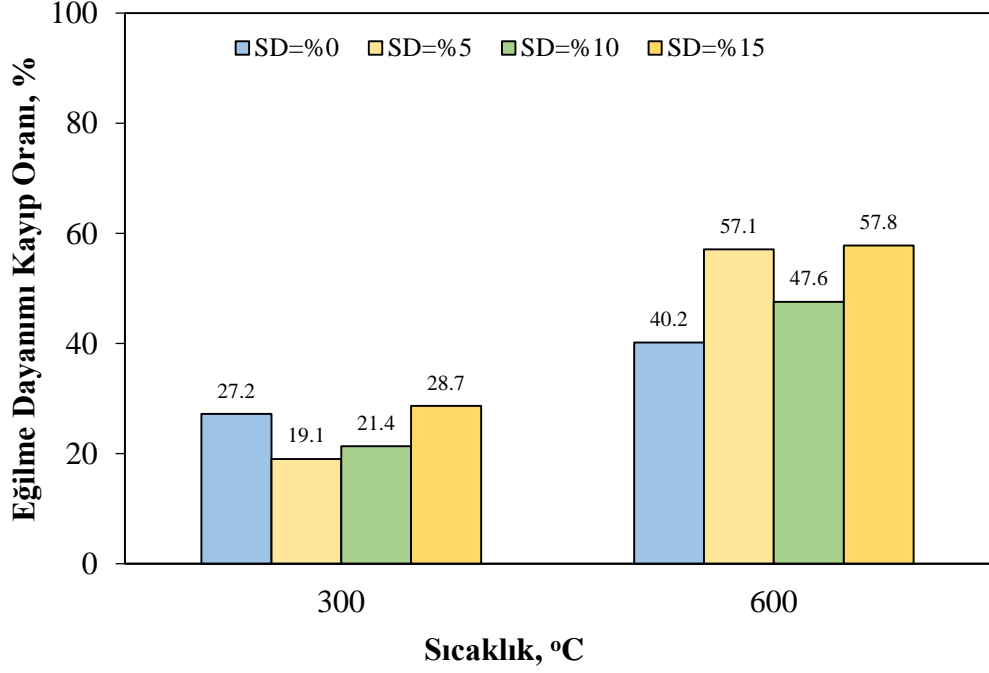


Şekil 4.44. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi

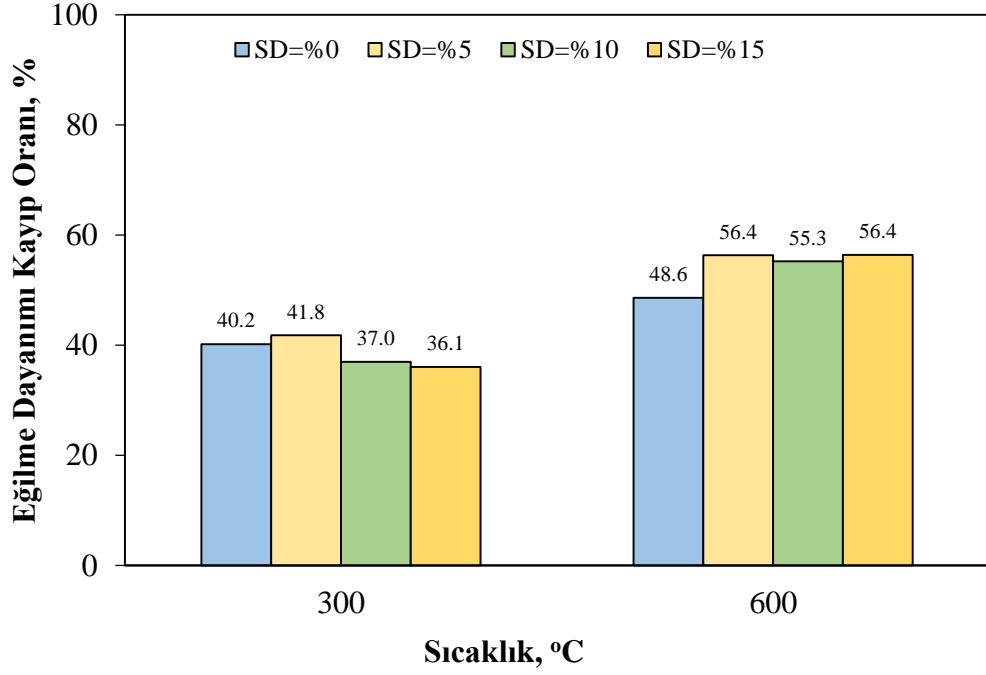
Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı eğilme dayanımı incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça eğilme dayanımının arttığı görülmektedir. En büyük eğilme dayanımı değeri lif içeriğinin

Vf=%1,5 ve silis dumanı içeriğinin SD=%15 olduğu durumda %17,3 olarak gözlenmiştir.

Numunelerin 300 °C ve 600 °C sıcaklık sonrası silis dumanı miktarına bağlı eğilme dayanımı değerleri lif içeriği %0, %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de verilmiştir.



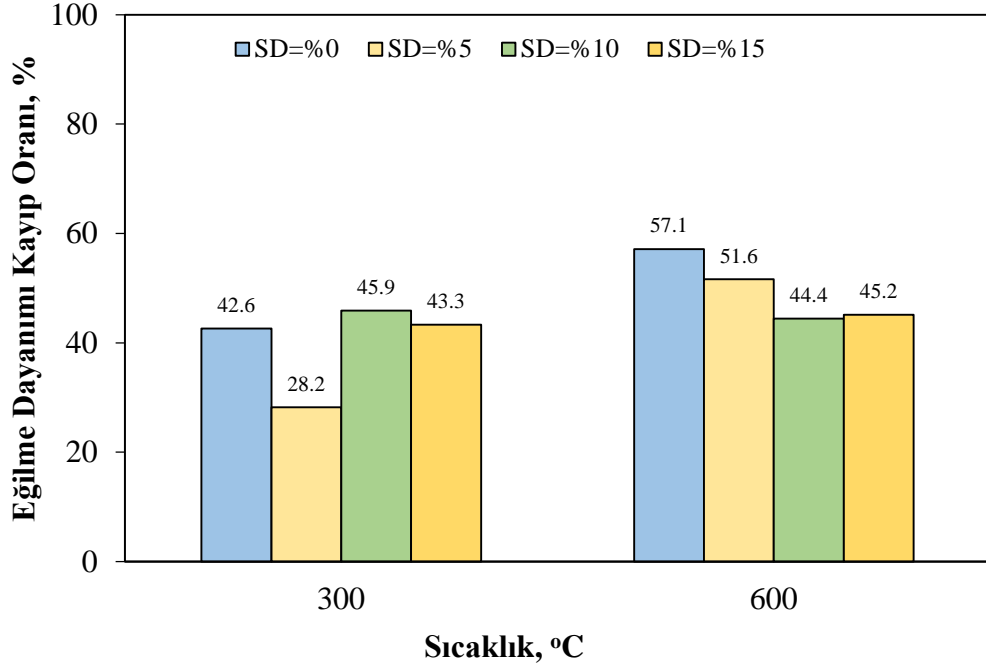
Şekil 4.45. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Polimer Lif İçeriği Vf=%0 Olduğundaki Değişimi



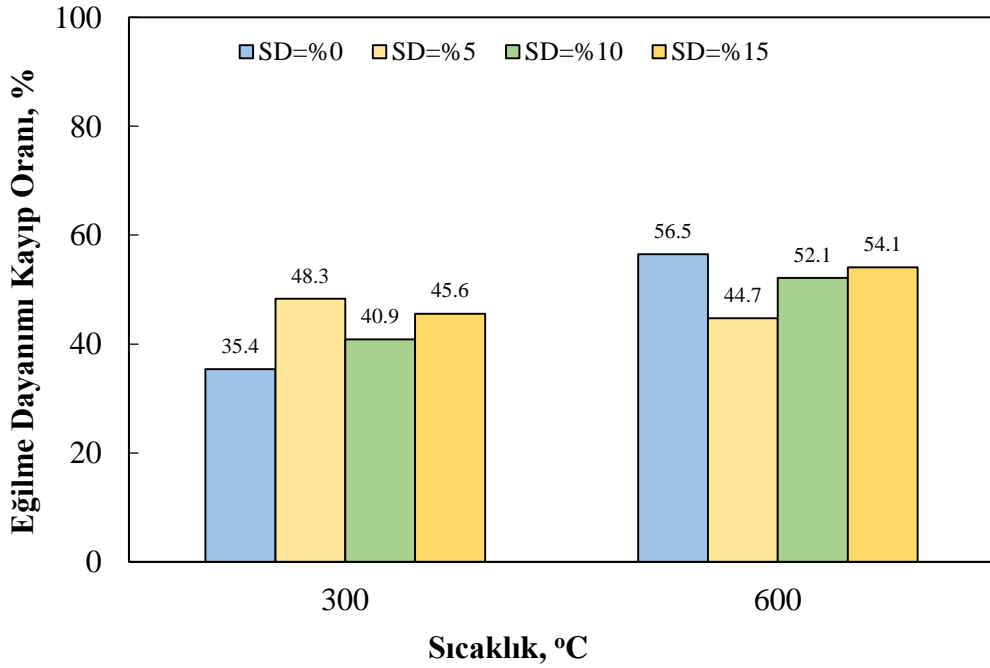
Şekil 4.46. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Polimer Lif İçeriği Vf=%0,5 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası eğilme dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0 olduğu durumda 300°C için eğilme dayanımı kayıp oranındaki en düşük azalma SD=%5 silis dumanı içeriğinde %19,1 ve 600°C için ise SD=%0 silis dumanı içeriğinde %40,2 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası eğilme dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0,5 olduğu durumda 300°C için eğilme dayanımı kayıp oranındaki düşük azalma SD=%15 silis dumanı içeriğinde %36,1 ve 600°C için ise SD=%0 silis dumanı içeriğinde %48,6 olarak elde edilmiştir.



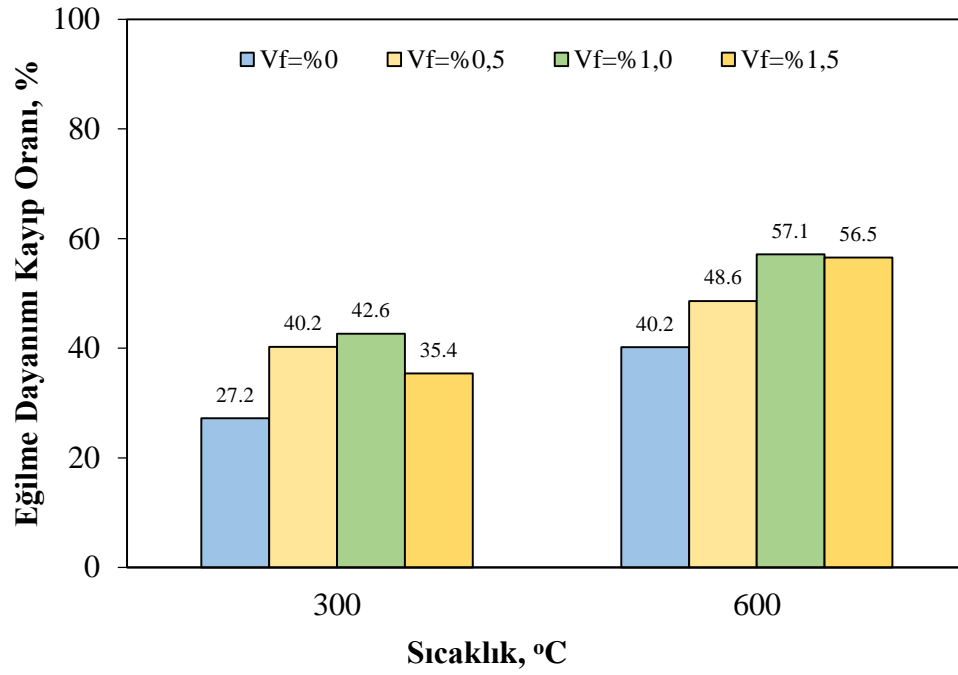
Şekil 4.47. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Polimer Lif İçeriği Vf=%1,0 Olduğundaki Değişimi Sıcaklık sonrası eğilme dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%1,0 olduğu durumda 300°C için eğilme dayanımı kayıp oranındaki en düşük azalma SD=%5 silis dumanı içeriğinde %28,2 ve 600°C için ise SD=%10 silis dumanı içeriğinde %44,4 olarak elde edilmiştir.



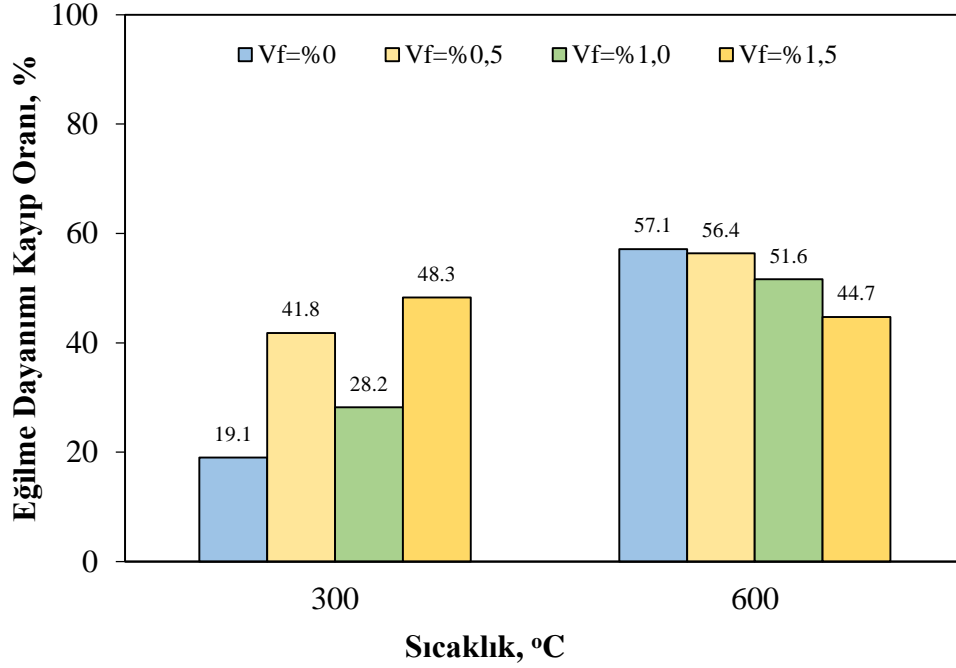
Şekil 4.48. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Eğilme Dayanımının Polimer Lif İçeriği Vf=%1,5 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası eğilme dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%1,5 olduğu durumda 300°C için eğilme dayanımı kayıp oranındaki en düşük azalma SD=%0 silis dumanı içeriğinde %35,4 ve 600°C için ise SD=%5 silis dumanı içeriğinde %44,7 olarak elde edilmiştir.

Numunelerin 300 °C ve 600 ° sıcaklık sonrası lif içeriğine bağlı eğilme dayanımı değerleri silis dumanı miktarı %0, %5, %10 ve %15 için sırasıyla Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51 ve Şekil 4.52’de verilmiştir.



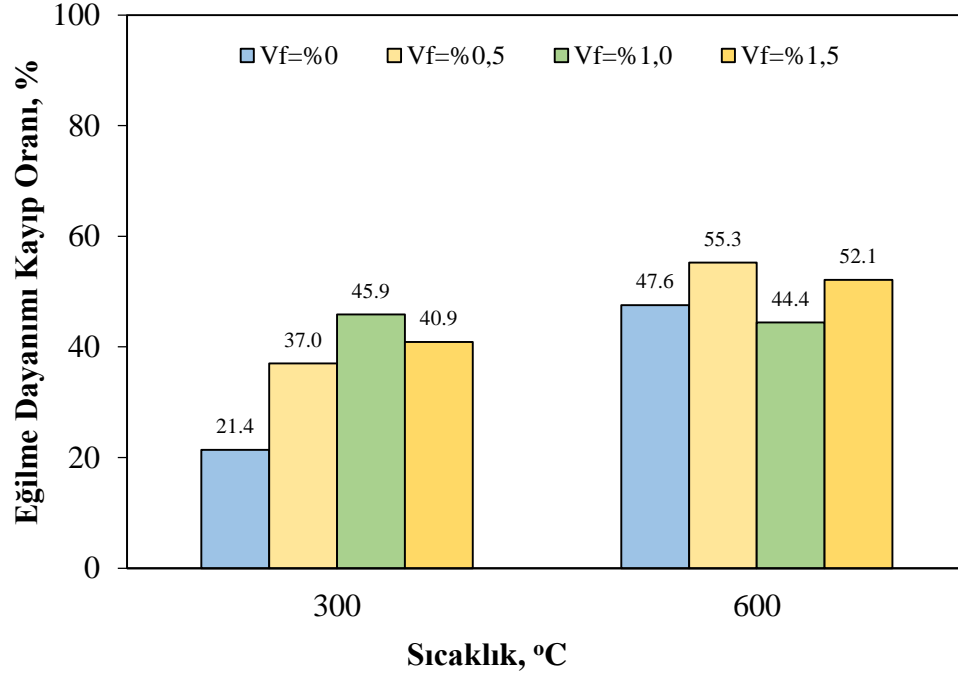
Şekil 4.49. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Silis Dumanı SD=%0 Olduğundaki Değişimi



Şekil 4.50. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi

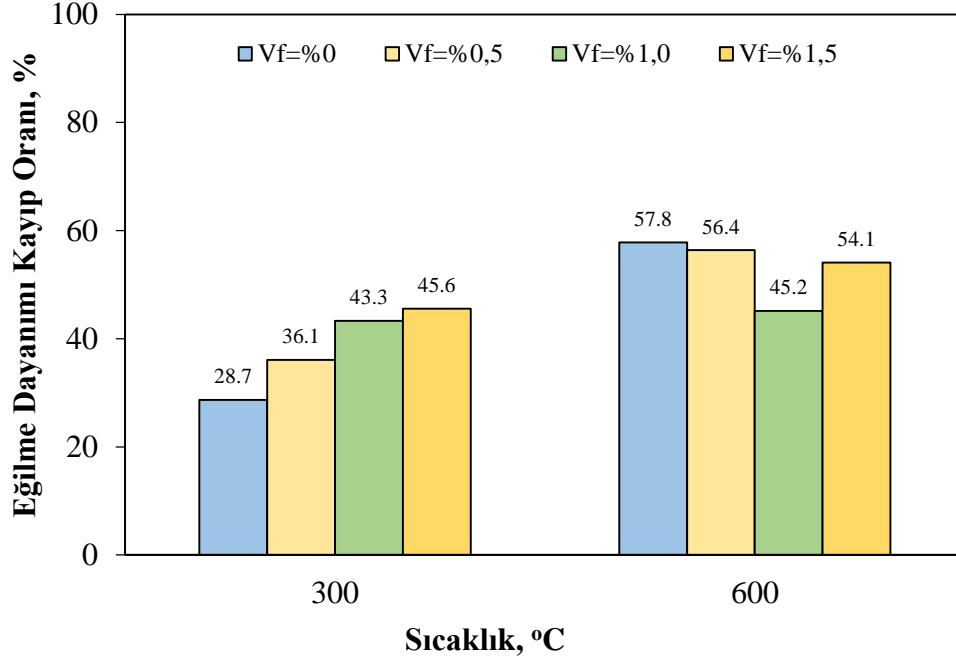
Sıcaklık sonrası eğilme dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%0 olduğu durumda 300°C için eğilme dayanımı kayıp oranındaki en düşük azalma Vf=%0 polimer lif içeriğinde %27,2 ve 600°C için ise Vf=%0 polimer lif içeriğinde %40,2 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası eğilme dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%5 olduğu durumda 300°C için eğilme dayanımı kayıp oranındaki en düşük azalma Vf=%0 polimer lif içeriğinde %19,1 ve 600°C için ise Vf=%1,5 polimer lif içeriğinde %44,7 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.51. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Silis Dumanı SD=%10 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası eğilme dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%10 olduğu durumda 300°C için eğilme dayanımı kayıp oranındaki en düşük azalma Vf=%0 polimer lif içeriğinde %21,4 ve 600°C için ise Vf=%1,0 polimer lif içeriğinde %44,4 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.52. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Eğilme Dayanımının Silis Dumanı SD=%15 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası eğilme dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%15 olduğu durumda 300°C için eğilme dayanımı kayıp oranındaki en düşük azalma Vf=%0 polimer lif içeriğinde %28,7 ve 600°C için ise Vf=%1,0 polimer lif içeriğinde %45,2 olarak elde edilmiştir.

4.6. Basınç Dayanımı

Numuneler hedef sıcaklıkta 3 saat süreyle bekletildikten sonra yüksek sıcaklık fırınından çıkarılarak oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Etüvden çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılan numuneler üzerinde basınç dayanımını ölçmek için deney yapılmıştır. Deneyden elde edilen numunelere ait eğilme dayanım sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir.

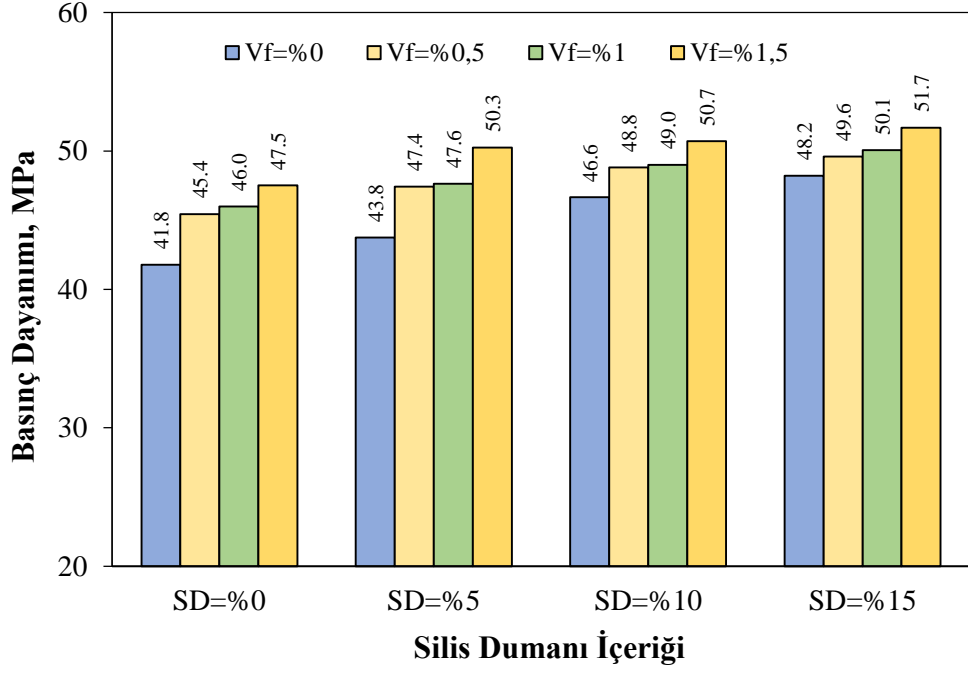
Tablo 4.6. Numunelerin Basınç Dayanımları

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Basınç Dayanımı, MPa	% Değişim
K1	20	43,76	
	300	44,85	-2,51
	600	26,15	41,70
	900		
K2	20	41,78	
	300	41,26	1,24
	600	27,80	32,62
	900		
K3	20	46,65	
	300	42,06	9,85
	600	25,32	39,81
	900		
K4	20	48,20	
	300	43,17	10,44
	600	25,78	40,28
	900		
K5	20	48,93	
	300	45,63	6,75
	600	23,10	49,38
	900		
K6	20	47,64	
	300	42,99	9,75
	600	23,29	45,82
	900		
K7	20	49,59	
	300	39,20	20,95
	600	22,55	42,46
	900		
K8	20	45,45	
	300	45,21	0,52
	600	24,24	46,38
	900		
K9	20	45,99	
	300	41,59	9,56
	600	20,89	49,78
	900		

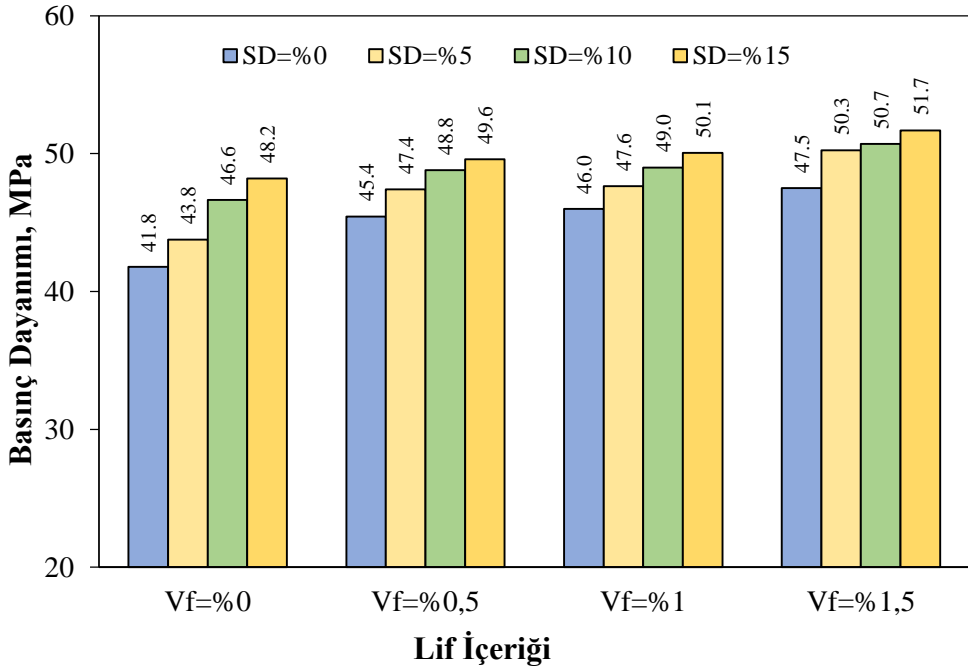
Tablo 4.6. Numunelerin Basınç Dayanımları (Devam)

Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Basınç Dayanımı, MPa	% Değişim
K10	20	48,99	
	300	42,26	13,73
	600	21,38	49,42
	900		
K11	20	50,05	
	300	42,41	15,27
	600	19,83	53,23
	900		
K12	20	47,42	
	300	40,74	14,09
	600	19,99	50,93
	900		
K13	20	50,70	
	300	42,73	15,72
	600	20,15	52,85
	900		
K14	20	50,25	
	300	41,56	17,31
	600	18,90	54,52
	900		
K15	20	51,68	
	300	43,54	15,75
	600	18,06	58,51
	900		
K16	20	47,51	
	300	40,82	14,09
	600	19,44	52,38
	900		

Lif içeriğine bağlı basınç dayanımının her bir silis dumanı miktarındaki değişimi Şekil 4.53'te ve silis dumanı miktarına bağlı basınç dayanımının her bir lif içeriğindeki değişimi Şekil 4.54'de verilmiştir.



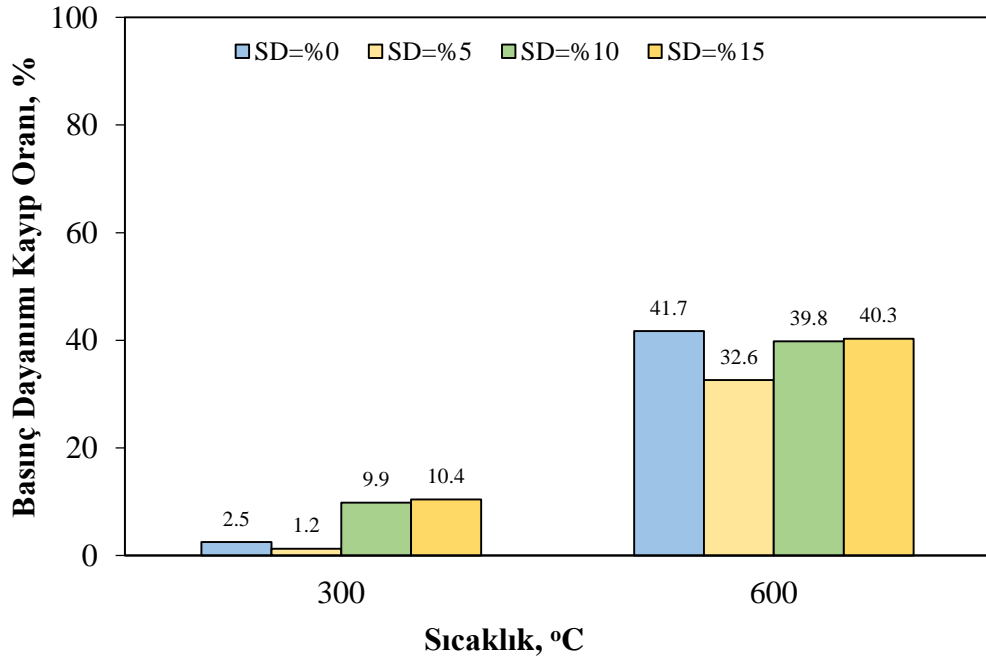
Şekil 4.53. Numunelerde Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Her Bir Silis Dumanı Miktarındaki Değişimi



Şekil 4.54. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Her Bir Lif İçeriğindeki Değişimi

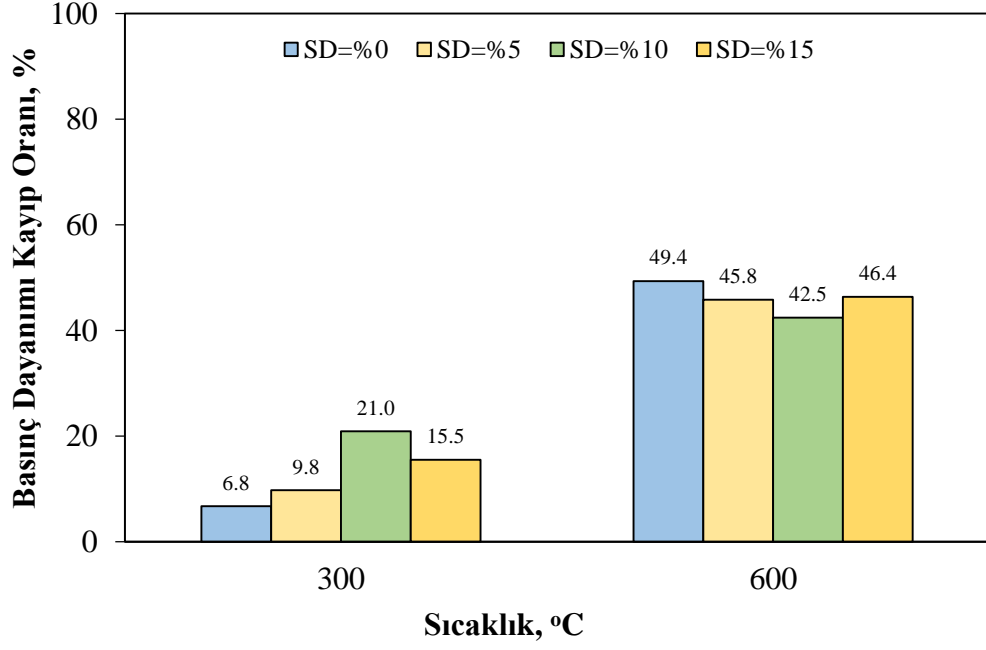
Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı basınç dayanımı incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça basınç dayanımının arttığı görülmektedir. En büyük basınç dayanımı değeri lif içeriğinin Vf=%1,5 ve silis dumanı içeriğinin SD=%15 olduğu durumda %51,7 olarak gözlenmiştir.

Numunelerin 300 °C ve 600 °C sıcaklık sonrası silis dumanı miktarına bağlı basınç dayanımı değerleri lif içeriği %0, %0,5, %1 ve %1,5 için sırasıyla Şekil 4.55, Şekil 4.56, Şekil 4.57 ve Şekil 4.58’de verilmiştir.

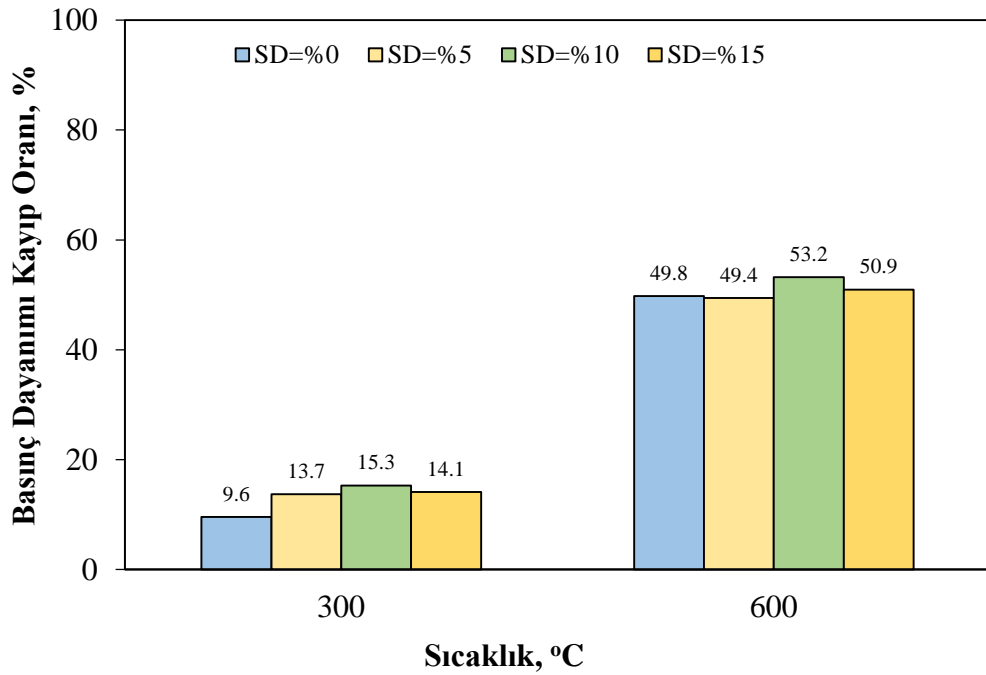


Şekil 4.55. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Polimer Lif İçeriği Vf=%0 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası basınç dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin Vf=%0 olduğu durumda 300°C için basınç dayanımı kayıp oranındaki en küçük artış SD=%5 silis dumanı içeriğinde %1,2 ve 600°C için ise SD=%5 silis dumanı içeriğinde %32,6 olarak elde edilmiştir.



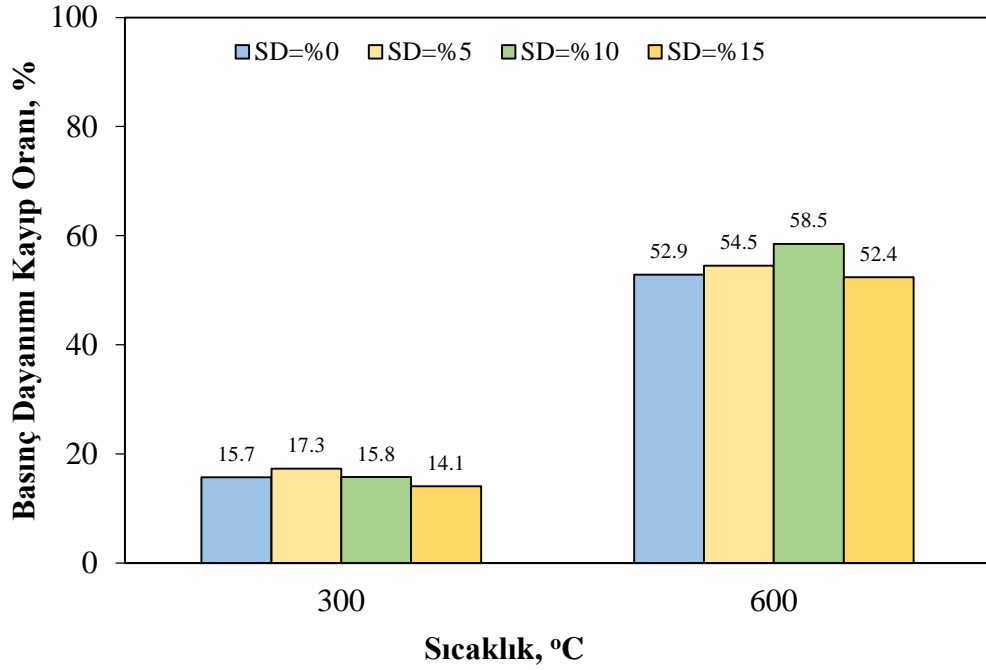
Şekil 4.56. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Polimer Lif İçeriği Vf=%0,5 Olduğundaki Değişimi



Şekil 4.57. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Polimer Lif İçeriği Vf=%1 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası basınç dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin $V_f=0,5$ olduğu durumda 300°C için basınç dayanımı kayıp oranındaki en küçük artış $SD=0$ silis dumanı içeriğinde $6,8$ ve 600°C için ise $SD=10$ silis dumanı içeriğinde $42,5$ olarak elde edilmiştir.

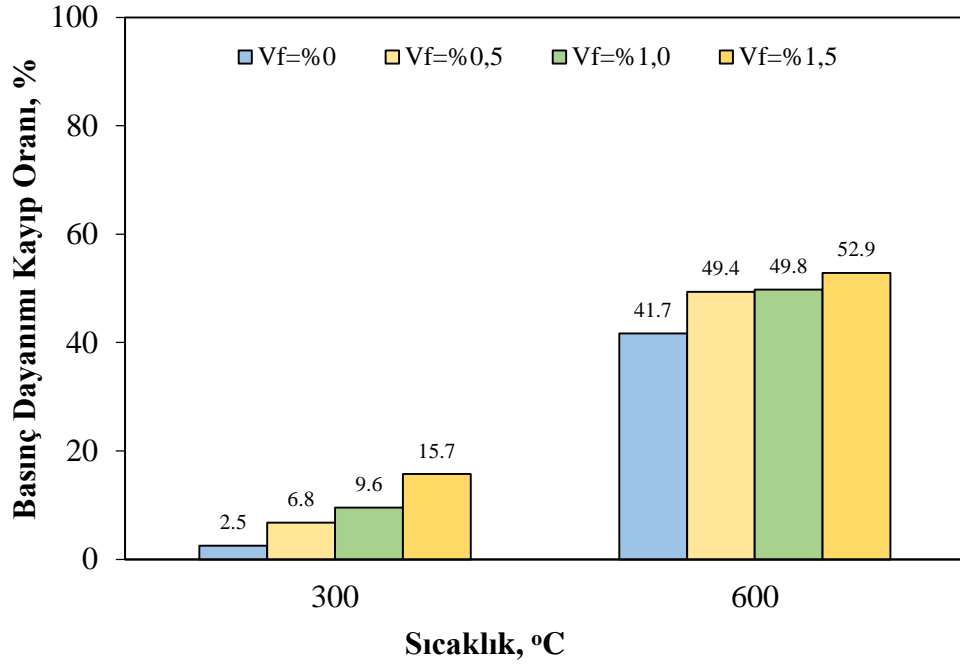
Sıcaklık sonrası basınç dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin $V_f=1,0$ olduğu durumda 300°C için basınç dayanımı kayıp oranındaki en küçük artış $SD=0$ silis dumanı içeriğinde $9,6$ ve 600°C için ise $SD=5$ silis dumanı içeriğinde $49,4$ olarak elde edilmiştir.



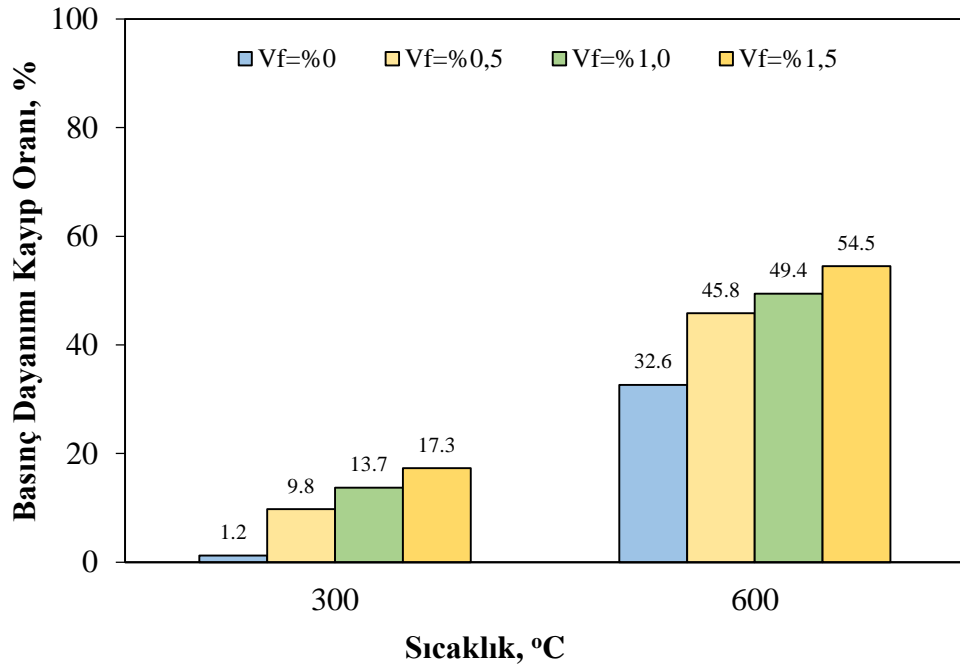
Şekil 4.58. Numunelerde Silis Dumanı Miktarına Bağlı Basınç Dayanımının Polimer Lif İçeriği $V_f=1,5$ Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası basınç dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; polimer lif içeriğinin $V_f=1,5$ olduğu durumda 300°C için basınç dayanımı kayıp oranındaki en küçük artış $SD=15$ silis dumanı içeriğinde $14,1$ ve 600°C için ise $SD=15$ silis dumanı içeriğinde $52,4$ olarak elde edilmiştir.

Numunelerin 300°C ve 600°C sıcaklık sonrası lif içeriğine bağlı basınç dayanımı değerleri silis dumanı miktarı 0 , 5 , 10 ve 15 için sırasıyla Şekil 4.59, Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62’de verilmiştir.



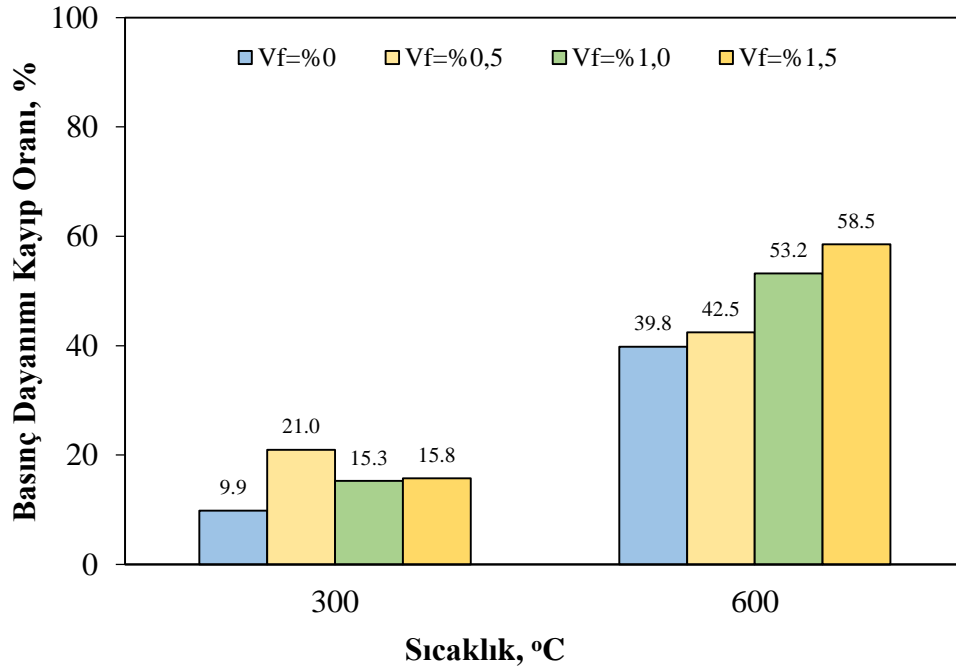
Şekil 4.59. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Silis Dumanı SD=%0 Olduğundaki Değişimi



Şekil 4.60. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Silis Dumanı SD=%5 Olduğundaki Değişimi

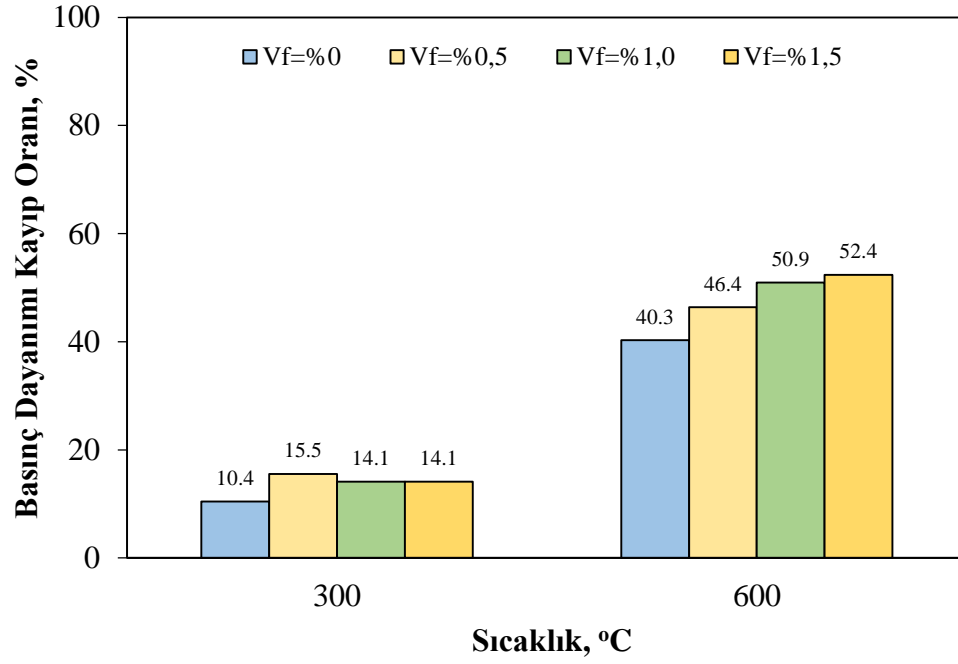
Sıcaklık sonrası basınç dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%0 olduğu durumda 300°C için basınç dayanımı kayıp oranındaki en küçük artış Vf=%0 polimer lif içeriğinde %2,5 ve 600°C için ise Vf=%0 polimer lif içeriğinde %41,7 olarak elde edilmiştir.

Sıcaklık sonrası basınç dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%5 olduğu durumda 300°C için basınç dayanımı kayıp oranındaki en küçük artış Vf=%0 polimer lif içeriğinde %1,2 ve 600°C için ise Vf=%0 polimer lif içeriğinde %32,6 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.61. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Silis Dumanı SD=%10 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası basınç dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%10 olduğu durumda 300°C için basınç dayanımı kayıp oranındaki en küçük artış Vf=%0 polimer lif içeriğinde %9,9 ve 600°C için ise Vf=%0 polimer lif içeriğinde %39,8 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.62. Numunelerde Polimer Lif İçeriğine Bağlı Basınç Dayanımının Silis Dumanı SD=%15 Olduğundaki Değişimi

Sıcaklık sonrası basınç dayanımı kayıp oranındaki değişimler incelendiğinde; silis dumanı içeriğinin SD=%15 olduğu durumda 300°C için basınç dayanımı kayıp oranındaki en küçük artış Vf=%0 polimer lif içeriğinde %10,4 ve 600°C için ise Vf=%0 polimer lif içeriğinde %40,3 olarak elde edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Polimer lif kullanılarak üretilen yüksek dayanımlı harçlar üzerinde yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı birim ağırlıkları incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça birim ağırlığın azaldığı görülmüştür. En büyük birim ağırlık değeri lif içeriğinin ve silis dumanı içeriğinin %0 olduğu durumda 2242 kg/m^3 olarak elde edilmiştir.
2. Numunelerin sıcaklık sonrası birim ağırlık değerlerinin azaldığı görülmüştür. Lif miktarı arttıkça birim ağırlıklardaki azalmalar artmıştır. Silis dumanı içeriğinin $SD=\%10$ olduğu durumda 300°C için birim ağırlık değerlerindeki en fazla azalma $V_f=\%1,5$ polimer lif içeriğinde %6,2 ve 600°C için ise $V_f=\%1,5$ polimer lif içeriğinde %10,8 olarak elde edilmiştir. Sıcaklık sonrası birim ağırlık azalmalarında silis dumanı miktarının belirgin bir etkisi görülmemiştir.
3. Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı su emme oranları incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça su emme oranının azaldığı görülmüştür. En büyük su emme değeri lif içeriğinin ve silis dumanı içeriğinin %0 olduğu durumda %6,7 olarak elde edilmiştir.
4. Numunelerin sıcaklık sonrası su emme değerlerinin arttığı görülmüştür. Lif miktarı arttıkça su emme oranı miktarları artmıştır. Silis dumanı içeriğinin $SD=\%10$ olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış $V_f=\%1,5$ polimer lif içeriğinde %180,68 ve 600°C için ise $V_f=\%1,5$ polimer lif içeriğinde %249,94 olarak elde edilmiştir. Sıcaklık sonrası su emme oranı artışlarında silis dumanı miktarının belirgin bir etkisi görülmemiştir.
5. Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı poroziteleri incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça porozitenin azaldığı görülmüştür. En büyük porozite değeri lif içeriğinin ve silis dumanı içeriğinin %0 olduğu durumda %14,3 olarak elde edilmiştir.

6. Numunelerin sıcaklık sonrası porozite değerlerinin arttığı görülmüştür. Lif miktarı arttıkça porozite değerleri artmıştır. Silis dumanı içeriğinin $SD=10\%$ olduğu durumda 300°C için su emme oranındaki en büyük artış $V_f=1,5\%$ polimer lif içeriğinde $163,6\%$ ve 600°C için ise $V_f=1,5\%$ polimer lif içeriğinde 212% olarak elde edilmiştir. Sıcaklık sonrası porozite değeri artışlarında silis dumanı miktarının belirgin bir etkisi görülmemiştir.
7. Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı ultra ses hızı incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça ultrases hızının arttığı görülmüştür. En büyük ultrases hızı değeri lif içeriğinin $V_f=1,5\%$ ve silis dumanı içeriğinin 15% olduğu durumda 2566 m/s olarak elde edilmiştir.
8. Numunelerin sıcaklık sonrası ultra ses hızı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Sıcaklık sonrası ultra ses hızı değeri azalmalarında lif içeriği ve silis dumanı miktarının belirgin bir etkisi görülmemiştir. Bununla birlikte, ultras ses hızı değerlerinde en büyük azalmalar 300°C 'de $SD=10\%$ ve $V_f=1,5\%$ için $23,1\%$ olarak, 600°C 'de ise $SD=10\%$ ve $V_f=1,5\%$ için $57,4\%$ olarak elde edilmiştir.
9. Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı eğilme dayanımı incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça eğilme dayanımının arttığı görülmüştür. En büyük eğilme dayanımı değeri lif içeriğinin $V_f=1,5\%$ ve silis dumanı içeriğinin $SD=15\%$ olduğu durumda $17,3\%$ olarak elde edilmiştir.
10. Numunelerin sıcaklık sonrası eğilme dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Lif miktarı arttıkça eğilme dayanımı değerleri azalmıştır. Silis dumanı içeriğinin $SD=5\%$ olduğu durumda 300°C için eğilme dayanımındaki en büyük azalma $V_f=1,5\%$ polimer lif içeriğinde $48,3\%$ ve 600°C için ise $SD=15\%$ $V_f=0\%$ polimer lif içeriğinde $57,8\%$ olarak elde edilmiştir. Sıcaklık sonrası eğilme dayanımındaki azalmalarda silis dumanı miktarının belirgin bir etkisi görülmemiştir.

11. Numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki lif ve silis dumanı içeriğine bağlı basınç dayanımı incelendiğinde; lif içeriği ve silis dumanı içeriği arttıkça basınç dayanımının arttığı görülmüştür. En büyük basınç dayanımı değeri lif içeriğinin $V_f=1,5$ ve silis dumanı içeriğinin $SD=15$ olduğu durumda %51,7 olarak elde edilmiştir.

12. Numunelerin sıcaklık sonrası basınç dayanımı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Lif miktarı arttıkça basınç dayanımındaki azalmalar artmıştır. Silis dumanı içeriğinin $SD=10$ olduğu durumda 300°C için basınç dayanımındaki en fazla azalma $V_f=0,5$ polimer lif içeriğinde %21 ve 600°C için ise $V_f=1,5$ polimer lif içeriğinde %58,5 olarak elde edilmiştir. Sıcaklık sonrası basınç dayanımı az

KAYNAKLAR

1. Khoury, G.A., Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: A Reassessment, Magazine of Concrete Research, 44, 161, 291-309, 1992.
2. Lea, F.C., The Effect of Temperature on Some of the Properties of Materials, Engineering, 110, 293-298, 1920.
3. Khoury, G.A., Passive Fire Protection of Concrete Structures, Structures & Buildings, sayı 583, sayfa 135-145, 2008.
4. Aköz, F. ve Yüzer, N., Yüksek Sıcaklığın Nedenleri ve Betonarme Elemanlara Etkileri, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, İstanbul, 1994.
5. Yüzer, N., Aköz, F., Öztürk L.D., Compressive Strength–Color Change Relation in Mortars at High Temperature, Cement and Concrete Research, 34, 1803-1807, 2004.
6. Çil, İ., et al., Farklı Tip Çimentoların Yüksek Sıcaklık Direnci, Tübitak Projesi, MAG 106M158, İzmir, 2007.
7. Topçu, İ.B., Semi-lightweight Concrete Produced by Volcanic Slags, Cement and Concrete Research, 27, 15-21, 1997.
8. Miled, K., Et al, Compressive Behavior of an Idelized EPS Lightweight Concrete: Size Effects and Failure Mode, Mechanics of Materials, 36, 1031-1046, 2003.
9. Altun, F., et al., Yangına Maruz Hasarlı Prefabrike Yapıda Malzeme Kalitesinin Belirlenmesi ve Onarım Detayları, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Denizli, 159-168, 7-8 Aralık, 2006.
10. Neville, A. M., Properties of Concrete, John Wiley&Sons Inc, USA, 1996.
11. Arslan, A., Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 369, s.29-33, 1993.
12. Yiğiter, H., Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002.
13. Erbaş, M., Lif Donatılı Betonlar. Hazır Beton Dergisi, Ocak-Şubat, s. 68-71, 1999
14. Ünal, O. , Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi. Dr. Tezi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, 1994.

15. Ersoy, H. Y., 2001. Kompozit malzeme, Literatür Yayınları: 66, İstanbul, Türkiye
16. Chawla K.K., Fibrous Materials, Cambridge University Pres, Cambridge, 1998.
17. Fırat, M.T., Silis dumanı içeren yüksek mukavemetli betonların enerji tutma kapasitelerinin arttırılmasında çelik lif kullanımının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.
18. Hannant, D.J., Advanced Concrete technology, Elsevier Ltd, 2003.
19. Yardımcı, M. Y. , Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir 2007.
20. Bunsell, A.R., Fiber Reinforcement for Composite Materials, Vol:2 Composite Materials Series, Elsevier Science, The Netherlands 1988.
21. Biber, Ş.A., Karmaşık Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul 2001.
22. Shah, S.P. and Balaguru, P.N., 1992. Fiber-Reinforced Cement Composites, McGraw-Hill Inc., Singapore
23. Bartos, P., French Concrete-Properties and Tests, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1992.
24. ASTM A 820, Standart Specification for Steel Fibers for FiberReinforced Concrete, The American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1996.
25. TS 10513, Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1992.
26. Cement&Concrete Institute, Fibre Reinforced Concrete, Cement & Concrete Institute, Midrand, 2010.
27. Ersoy, H. Y., Kompozit malzeme, Literatür Yayınları: 66, İstanbul, Türkiye , 2001.
28. Mclntyre, J.E., Synthetic Fibres : Nylon, Polyester, Acrylic, Polyolefin, CRC Press, 2005.
29. Victor, C.Li"Large Volume High Performance Applications of Fibers in Civil Engineering," Journal of Applied Polymer Science, Vol. 83, pp. 660-686, . 2002.
30. Ramakrishnan, V. "Structural Application of Polyolefin Fiber Reinforced Concrete," ACI SP-183-13, pp. 235-253, 1999.

31. Ramakrishnan, V. And Sivakumar, C., "Performance of Polyolefin Fiber Reinforced Concrete under Cyclic Loading," AC-CANMET SP-186-10, pp. 161-182, 1999.
32. Chawla K.K., Fibrous Materials, Cambridge University Pres, Cambridge, 1998.
33. http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/cdb/cdb223_e.html
34. www.polyfibers.com (Mayıs 2018)
35. Felekoğlu, B., Tosun-Felekoğlu, K., Keskinateş, M. ve Gödek, E. (2016). A comparative study on the compatibility of PVA and HTPP fibers with various cementitious matrices under flexural loads. Construction and Building Materials, 121, 423-428, 2016.
36. Bentur, A., & Mindness, S. "Fibre Reinforced Cementitious Composites" Elsevier Applied Science, London And Newyork, 1990.
37. Türker, S., Balanlı, A., Yapı Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, s.45-72, 1992.
38. Shah, B., Fiber Reinforced Composites, American Concrete Institute, Detroit, USA, pp. 142-149, 1995.
39. Erbaş, M., Polipropilen Lifler ve Betonun Durabilitesine Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, MMO Yayınları, s.82-86, İstanbul,2003.
40. Johnston, C.D., Fiber-Reinforced Cements and Concretes. Advances in Concrete Technology. International Centre for Sustainable Development of Cement and Concrete. [ICON], Ottawa, Ontario, Canada. V.3. pp 332-335, 2000.
41. ACI Committee 182, 544.4R, Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, pp.182-191, 1989.
42. HALM, J., Ausgangstoffe, Herstellverfahren und Eigenschaften von Glasfaserbeton, Faserbeton, Vortrage der DBV(Deutscher Beton Verein e.V.)-Arbeitstagung, 40-45, Duisburg, 1992.
43. Schnütgen, B., Technologie des Stahlfaserbetons und Stahlfaserpritzbetons, Faserbeton, Vortrage der DBV(Deutscher Beton Verein e.V.)-Arbeitstagung, 6-12, Duisburg, 1992.
44. Nakagawa, H., Akihama S. Suenaga, .T., Mechanical Properties of Various Types of Fibre Reinforced Concretes, Fiber Rinfored Cement and Concretes, London, pp 523-532, 1989.

45. Koca, C., Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis, Cüruf, Klinker Karışımı Çimento Kullanımı, 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral Ve Kimyasal Katkılar Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, s.381-394, 1996.
46. Erdoğan, T.Y. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., 741s, 2003.
47. Malhotra, V.M., Mineral Admixtures. Concrete Construction Engineering Handbook, Naway Edward G. CRC Press, New York, pp.2736, 1997.
48. Yeğinobalı, A., Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Endüstriyel Atıkların İnşaat sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, Ankara, s.149-167, 1993.
49. Bayası, Z., Zhou, J., Properties of Silica Fume Concrete and Mortar, ACI Materials Journal 90 (4) pp.349-356, 1993.
50. Yazıcı, S., The Mechanical Properties and Durability of High Strength Concrete with Silica Fume and Fly Ash. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 115s, 1996.
51. Erdoğan, T.Y., "Beton", ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Genişletilmiş 2. Baskı, Ankara, 2007
52. Özbek, R., Silis Dumanın Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 86s., 1998.
53. Khayat, K.H., Vachon, M., Lanctot, M.-C., Use of Blendend Silica Fume Cement in Commercial Concrete Mixtures. ACI Material Journal, v.94, n.3, pp.183-192, 1997.
54. Mazloom, M., Ramezaniyanpour, A.A., Brooks, J.J., Effect Of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. Cement & Concrete Composites, v. 26, pp.347-357, 2004.
55. Khayat, K.H., Aıtcın, P.C., Silica Fume in Concrete: an Overview. ACI Sp Publication S132, Detroit, pp.835-872, 1992.
56. Larbi, J.A., Fraay, A.L.A., Bijen, J.M., The Chemistry of The Porefluid of Silica Fume-Blended Cement Systems. Cement and Concrete Research 20 (4), pp.506-516, 1990.
57. Akcaozoğlu, K., Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı ve Birim Kısalma Üzerindeki Etkisi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 2007.

58. Toutanji, H., Delatte, N., Aggoun, S., Duval, R., Danson, A., Effect Of Supplementary Cementitious Materials On The Compressive Strength And Durability Of Short-Term Cured Concrete, Cement And Concrete Research. 311-319, 2004.
59. Ekinci, C.E., Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Elazığ, 1995.
60. Özcan, F., Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 173s., 2005.
61. TS EN 197-1, Genel Çimentolar- Bileşim Özellikleri ve Uygunluk Kriterleri 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah BİNİCİ, 1981 yılında Yozgat'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Yozgat'ta tamamladı. 1999 Yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünü kazandı. Bir yıl eğitim sonrasında 2000 yılında kaydını dondurarak 2001 yılında Erciyes Üniversitesi, Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2005 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu.

2005-2007 yılları arasında Yozgat' ta, Orta Anadolu Kalkınma Birliğinde Proje Koordinatörlüğü ve Teknik Danışmanlık yaptı. 2007-2015 yıllarında ise Yozgat Bayındırlık ve İskân İl Müdürlüğünde Yapım Şube, Proje Şube ve Yapı Denetimi Ve Yapı Malzemeleri Şubesinde teknik personel olarak görev yaptı. Halen Yozgat Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünde 2015 yılından beri Yapı Denetimi ve Yapı Malzemeleri Şube Müdürlüğü görevini sürdürmektedir.

Abdullah BİNİCİ, evli ve iki çocuk sahibidir.

İletişim Bilgileri:

Adres: Yozgat Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü

Bahçeşehir Mah. Şehit Rahmi DUYAR Cad. No:7

Merkez / YOZGAT

Telefon: (354) 212 27 03

Faks: (354) 212 10 62

GSM: (532) 560 79 81

E-posta: abdullahbinici66@hotmail.com