



EGE ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DEĞİŞİK MİKROLİFLERİN ÇİMENTO
HARÇLARININ BAZI MEKANİK VE DURABİLİTE
ÖZELİKLERİNE ETKİSİ**

Babak ABBASPOURSANİ AHARİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 09.10.2015

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**DEĞİŞİK MİKROLİFLERİN ÇİMENTO
HARÇLARININ BAZI MEKANİK VE DURABİLİTE
ÖZELİKLERİNE ETKİSİ**

Babak ABBASPOURSANİ AHARİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi: 06.01.2016

Bornova-İZMİR

2016

Babak ABBASPOURSANI AHARI tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Değişik Mikroliflerin Çimento Harçlarının Bazı Mekanik ve Durabilite Özelliklerine Etkisi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve .06./01./2016. tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

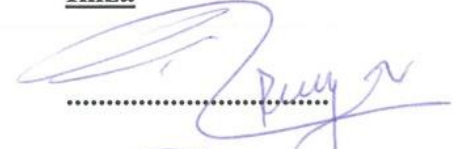
Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Prof.Dr. Kambiz RAMYAR

Raportör Üye : Doç.Dr. Gözde İNAN SEZER

Üye : Doç.Dr. Serdar AYDIN

İmza


.....

.....

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“DEĞİŞİK MİKROLİFLERİN ÇİMENTO HARÇLARININ BAZI MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELİKLERİNE ETKİSİ”** başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

06 / 01 / 2016

Babak ABBASPOURSANI AHARI

ÖZET**DEĞİŞİK MİKROLİFLERİN ÇİMENTO HARÇLARININ BAZI
MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELİKLERİNE ETKİSİ**

ABBASPOURSANİ AHARİ, Babak

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez danışmanı : Prof.Dr. Kambiz RAMYAR

Ocak 2016, 92 Sayfa

Bu tezde farklı çeşitte ve değişik oranlardaki mikroliflerin harçların bazı mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışmada herhangi bir lif içermeyen kontrol karışımına ek olarak, hacimce %0.50, %0.75 ve %1 olmak üzere 3 farklı oranda çelik, polipropilen (PP) ve polivinil alkol (PVA) olarak 3 çeşit mikrolif içeren, 10 farklı harç karışımı hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda çimento dozajı 532 kg/m^3 , su/çimento oranı 0.48, maksimum agrega boyu 4 mm ve kum/çimento oranı 2.75 olarak sabit tutulmuştur.

Üretilen karışımların taze halde yayılması, su emmesi, kapiler su emmesi ve birim hacim ağırlığı, sertleşmiş halde ise basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, tokluğu, donma-çözülme sonucunda dayanım ve ağırlık kaybı, kuruma büzülmesi ve sülfata direnci kıyaslamalı olarak incelenmiştir.

Sonuçta mikroliflerin taze karışımın yayılma değerlerini azalttığı, su emmesini arttırdığı, kapiler su emmesine kayda değer etkisi olmadığı belirlenmiştir.

Ayrıca çelik mikroliflerin basınç ve yarmada çekme dayanımını arttırdığı, özellikle bu artış %0.50 çelik lifli karışımında sırasıyla %8 ve %35 olduğu görülmüştür. Çelik lifin donma-çözülme sonucunda oluşan ağırlık kaybını arttırdığı, dayanım kaybına ise sadece 150 çevrim sonrası olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Büzülme deneyinde sadece %1çelik lifli karışım, sülfat deneyinde

ise sadece %0.75 elik lifli karışım kontrol numunesinden daha başarılı sonuç vermiştir. elik lif eğilme dayanımını kayda değeri etkilememiştir, tokluğu ise lif miktarına bağlı olarak 2-6 kat arttırmıştır.

PP lifli tüm kullanım oranlarında basınç dayanımını olumsuz etkilediği, yarmada çekme dayanımını az miktarda arttırdığı, donma-çözölme deneyinde 150 çevrim sonrası hem ağırlık hem dayanım kaybını azalttığı görölmüştür. Büzölme bakımından sadece %1 PP lifli karışım, sülfat direnci bakımından ise %0.75 ve %0.50 PP lifli karışımların kontrol karışımından daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. PP liflerin eğilme dayanımına kayda değeri etkisi olmamıştır. Ancak, lif oranına paralel olarak tokluğu 4-5 kat arttırmıştır.

PVA lifi basınç dayanımını azalttığı, özellikle %1 PVA lifli karışımında tüm karışımlar arasında en düşük basınç dayanımını verdiği görölmüştür. Ayrıca, PVA lifi çekme dayanımını, sülfat ve donma-çözölme direncini büyük derecede arttırdığı görölmüştür. Tüm karışımlar arasında %1 PVA lifli karışım en düşük büzölme değeri gösterdiği belirlenmiştir. PVA lif eğilme dayanımını az miktarda arttırmıştır. Ancak, tokluğu önemli miktarda (9-19 kat) artırmıştır. Tokluktaki artış, lif içeriğinin artışıyla artmıştır.

Anahtar sözcükler : Mikrolifli harç, mekanik özellikleri, durabilite özellikleri.

ABSTRACT**EFFECT OF MICROFIBERS ON MECHANICAL AND
DURABILITY PROPERTIES OF CEMENT MORTAR MIXTURES**

ABBASPOURSANI AHARI, BABAK

MSc in Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

January 2016, 92 pages

In this thesis the effects of various types and amounts of microfibers on mechanical and durability properties of cement mortar mixtures were investigated.

In the experimental study, in addition to control mixture containing no fiber, 9 different mortar mixtures containing 3 different microfibers i.e., steel, polypropylene (PP) and polyvinyl alcohol (PVA) in three different usage rates i.e., 0.50%, 0.75% and 1% by the volume of the mixture were prepared. The cement content (532 kg/m^3), maximum aggregate size (4 mm), water / cement ratio (0.48) and fine aggregate / cement ratio (2.75) were kept constant in all of the mixtures.

The flow, water absorption and sorptivity of the fresh mixtures as well as the compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength, toughness, freezing-thawing, drying shrinkage, sulfate resistance and drying shrinkage of the hardened mixtures were studied comparatively.

A reduction in flow values, an increase in water absorption and a negligible change in sorptivity of the fresh mixtures were recorded.

Steel fibers increased both the compressive and splitting tensile strength of the mortar. Particularly, compared to those of control mixture the increase in compressive and tensile strength was found to be 8% and 35%, respectively. Adding of steel fibers increased the weight loss upon freezing-thawing. The positive effect of steel fibers on loss of strength was only observed at 150 cycles

of freezing-thawing. From drying shrinkage point of view only 1% steel fiber-bearing mixture and from sulfate resistance point of view 0.75% steel fiber-containing mixture showed superior results than the control mixture. Steel fibers had a negligible effect on the flexural strength; however they increased the toughness 2-6 times. The effect was more significant at higher fiber contents.

In all incorporation levels, PP fibers decreased the compressive strength, increased slightly the splitting tensile strength, decreased the loss of weight and on strength upon 150 cycles of freezing-thawing. From drying shrinkage view point merely 1% PP-bearing mixture and from sulfate resistance view point 0.75% as well as 0.50% PP-bearing mixtures showed better results than those of the control mixture. PP fibers had a negligible effect on the flexural strength; however, they increased the toughness 4-5 times. The effect increased by increasing the fiber content.

Addition of PVA fiber was found to decrease the compressive strength of the mixture. Particularly, among the tested mixture, the lowest compressive strength was recorded in 1% PVA-bearing mixture. However, PVA fiber increased the splitting tensile strength as well as sulfate and freezing-thawing resistance significantly. Besides, 1% PVA-containing mixture showed the lowest drying shrinkage value among all of the tested mixtures. PVA fiber increased the flexural strength slightly. However, it increased the toughness considerably (9-19 times). The effect became more significant upon increasing the fiber content of the mixture.

Keywords : Fiber concrete, fiber cement mortar, Mechanical properties.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, danışman hocam Sayın Prof.Dr. Kambiz RAMYAR'a sonsuz saygılar ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, tez konu ve kapsam belirlenmesinde büyük katkısı olan Doç.Dr. Gözde İNAN SEZER'a, deneysel çalışma esnasında Yapı Malzemesi Laboratuvarında yardımcı olan değerli arkadaşlarım, Saman ASLANI, Hadi ASHKARI, Hojjat HOSSEİNEJAD, Onurcan BOYACI, Ramin NAVİDİAN'a, sevgili hocam Şemsi YAZICI'ya, Yar. Doç.Dr Mert Yücel YARDIMCI'ya, Araştırma görevlisi Sayın Cihat YÜKSEL'e, Dr. Reza SALEH AHARI'ye, tekniker Ahmet UÇKUNOĞLU'na, deneylerin uygulamasında ve tez yazım esnasında yol gösteren Ali MARDANI'ye, 5 yıl boyunca kendimi ülkemde olduğu gibi hissetmeyi sağlayan İzmirli arkadaş ve tanıdıklarına şükranlarımı sunarım.

Bu tezi Anne ve Babama ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xxi
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç.....	2
1.2 Kapsam.	2
2. LİFLİ BETONLARLA İLGİLİ GENEL BİGİLER	3
2.1 Lifli Betonların Tanıtımı	3
2.2 Lif Kullanımının Tarihçesi	4
2.3 Lifli Betonların Avantajları	7
2.4 Lifli Betonların Kullanma Alanları	7
2.5 Lifli Betonların Üretim Yöntemleri.....	8
2.6 Lifli Betonların Hazırlanma ilkeleri ve Yerleştirilmesi.....	9
2.7 Beton ve Çimento Harçlarında Kullanılan Lif Türleri	9

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.8 Çelik, PP ve PVA mikrolifler	10
2.8.1 Çelik lifler	11
2.8.2 Polipropilen lifler (PP)	14
2.8.3 Polivinil alkol lifler (PVA)	16
3. LİTERATÜR TARAMASI.....	19
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	28
4.1 Kullanılan Malzeme	28
4.1.1 Çimento.....	28
4.1.2 Su	29
4.1.3 Mikrolifler.....	29
4.1.4 Agrega.....	32
4.2 Deneysel Program	33
4.3 Karışım Oranları	33
4.3.1 Matematiksel hesaplamalar.....	33
4.3.2 Karışım oranları	36
4.4 Karışımların Hazırlanması	37

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.5 Çalışma Kapsamında Uygulanan Deneyler	37
4.5.1 Yayılma deneyi	38
4.5.2 Su emme deneyi	38
4.5.3 Kapiler su emme deneyi	38
4.5.4 Basınç dayanımı deneyi	39
4.5.5 Yarmada çekme dayanımı deneyi	40
4.5.6 Donma-çözülme deneyi	40
4.5.7 Büzülme deneyi	41
4.5.8 Sülfat direnci deneyi	41
4.5.9 Eğilme dayanımı deneyi	42
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ	45
5.1 Yayılma Deneyi Sonuçları	45
5.2 Su Emme Deneyi Sonuçları	45
5.3 Kapiler Su Emme Deneyi Sonuçları	46
5.4 Basınç Dayanımı Deneyleri Sonuçları	48
5.5 Yarmada Çekme Dayanımı Deneyleri Sonuçları	49

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

5.6 Donma-Çözülme Deneyleri Sonuçları	52
5.6.1 Donma-çözülme'ye maruz kalan numunelerin ağırlık kaybı.....	52
5.6.2 Donma-çözülme'ye maruz kalan numunelerin dayanım kaybı	54
5.7 Büzülme Deneyleri Sonuçları	57
5.8 Sülfat Direnci Deneyleri Sonuçları	62
5.9 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları	72
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	82
KAYNAKLAR DİZİNİ	85
ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Değişik tipteki lifli betonların çekme etkisi altındaki davranışları	4
2.2 Lifli malzeme-lifsiz malzeme çatlak görünüşü	6
2.3 Çimento esaslı matris içindeki mikro çatlaklar ve lifler	7
2.4 Çeşitli boyutlarda çelik ve sentetik lif türleri.....	10
2.5 Beton için kullanılan çelik lif çeşitleri	11
2.6 PP lifi.	14
2.7 PVA lifi.....	16
2.8 PVA ve PP lifli kompozitlerin mikroskop altındaki görüntüsü.	17
2.9 PVA kimyasal yapısı.	18
4.1 Polipropilen mikrolifi	30
4.2 PVA lifi.....	31
4.3 Çelik mikrolifi.....	31
4.4 Granülometri eğrisi	33
4.5 Kapiler su emme numuneleri ve kullanılan tepsi.....	39
4.6 Dayanım deneyleri için üretilen 50 mm küp numuneler	39
4.7 Yarmada çekme deneyi uygulama düzeni	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.8 Donma-çözülme deneyinde kullanılan cihaz	40
4.9 Büzülme deneyine tabi tutulan 25×25×285 mm’lik çubuklar.....	41
4.10 Boy ölçme cihazı.....	42
4.11 Eğilme dayanımı deneyi için kullanılan pres	44
5.1 Karışımların su emme değerleri	46
5.2 Karışımların kapiler su emme değerleri	47
5.3 28-günlük basınç dayanımı sonuçların grafiği	48
5.4 Yarmada çekme dayanımı değerleri.....	50
5.5 Yarmada çekme ve basınç dayanımı değerleri.....	50
5.6 Yarmada çekme dayanımı / basınç dayanımı oranı	52
5.7 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin ağırlık kaybı (%)	53
5.8 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı değerleri.....	55
5.9 Donma-Çözölmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı kaybı (%).....	56
5.10 Tüm numunelerin büzölmeleri (%)	58
5.11 Çelik lifli numunelerin büzölmeleri (%)	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.12 PP lifli numunelerin büzölmeleri (%).....	59
5.13 PVA lifli numunelerin büzölmeleri (%).	60
5.14 84.gün sonundaki büzölme değeri (%).....	60
5.15 Lifli numunelerin 84.gün büzölmeleri üzerinde lif etkisi	61
5.16 Magnezyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin genleşmeleri	63
5.17 Magnezyum sülfata maruz kalan çelik lifli numunelerin genleşmeleri	64
5.18 Magnezyum sülfata maruz kalan PP lifli numunelerin genleşmeleri	64
5.19 Magnezyum sülfata maruz kalan PVA lifli numunelerin genleşmeleri	65
5.20 Magnezyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin 84.gün genleşmeleri	65
5.21 84 gün magnezyum sülfatta bekletilen harçların görece genleşmesi.....	66
5.22 Sodyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin genleşmeleri	68
5.23 Sodyum sülfata maruz kalan çelik lifli numunelerin genleşmeleri.....	69
5.24 Sodyum sülfata maruz kalan PP lifli numunelerin genleşmeleri	69
5.25 Sodyum sülfata maruz kalan PVA lifli numunelerin genleşmeleri	70

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.26 Sodyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin 84.gün genleşmeleri	70
5.27 84 gün sodyum sülfatta bekletilen harçların görece genleşmesi	71
5.28 Na_2SO_4 ve MgSO_4 çözeltilerinde oluşan genleşmelerin oranı	72
5.29 Karışımların eğilme dayanımları (MPa)	73
5.30 Karışımların tokluk değerleri (N.mm)	74
5.31 Kontrol karışımın yük-sehim eğrisi.....	74
5.32 %1 Çelik karışımın yük-sehim eğrisi	75
5.33 %0.75 Çelik karışımın yük-sehim eğrisi	75
5.34 %0.50 Çelik karışımın yük-sehim eğrisi	76
5.35 %1 PP karışımın yük-sehim eğrisi	76
5.36 %0.75 PP karışımın yük-sehim eğrisi	77
5.37 %0.50 PP karışımın yük-sehim eğrisi	77
5.38 %1 PVA karışımın yük-sehim eğrisi.....	78
5.39 %0.75 PVA karışımın yük-sehim eğrisi.....	78
5.40 %0.50 PVA karışımın yük-sehim eğrisi.....	79
5.41 14 günlük eğilmeden sonra basınç ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	81

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Lifli karışımların oranları.....	20
4.1 Çimentonun kimyasal bileşimi	28
4.2 Çimentonun meknik ve fiziksel özellikleri	29
4.3 Mikroliflerin teknik özellikleri.....	30
4.4 Agreganın elek analizi	32
4.5 Agreganın fiziksel özellikleri.....	32
4.6 Teorik karışım oranları	36
4.7 Düzeltilmiş karışım oranları	36
4.8 Uygulanan deneyler için hazırlanan numunelerin sayıları ve boyutları	37
5.1 Karışımların yayılma çapları.....	45
5.2 Tüm karışımların su emme değerleri	45
5.3 Karışımların kapiler su emme değerleri.....	47
5.4 28-günlük basınç dayanımı değerleri.....	48
5.5 Yarmada çekme dayanımı değerleri	49
5.6 Yarmada çekme / basınç dayanımı oranı	51

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
5.7 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin ağırlık kaybı (g).....	53
5.8 Donma-Çözölmeye maruz kalan numunelerin Basınç dayanımı değerleri.....	54
5.9 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı kaybı (%).....	55
5.10 Harç karışımların büzölme değerleri (%).....	57
5.11 Magnezyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin genleşmeleri (%).....	62
5.12 Sodyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin genleşmeleri (%).	67
5.13 Karışımların eğilme ve tokluk değerleri.....	73
5.14 1 mm sehime neden olan yük miktarı	80
5.15 14 günlük eğilmeden sonra basınç ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	80

1. GİRİŞ

İnşaatlarda kullanılan malzeme özellikleri gelişen teknoloji ile birlikte iyileşmektedir. Beton, inşaat alanında en önemli ve en yaygın kullanım alanına sahip malzemelerden biridir. Beton özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli lifler kullanılmaktadır. Özellikle geçmiş dönemlerde çamur, saman, hayvan kılları karıştırılarak oluşturulan harç ile yığma yapıların inşa edildiği bilinmektedir. Betonda çelik lif kullanıldığı gibi, yaygın olarak bitkisel lifler ve polimer esaslı lifler kullanılmaktadır (Çivici, 2006). Betonun kullanımı ile betondaki bilinmeyenler araştırılmaya başlanmış, betonun hem mekanik özellikleri hem de fiziksel ve kimyasal özellikleri irdelenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalar günümüzde de yoğun bir şekilde devam etmektedir (Celep, 2005).

Çekme dayanımı, enerji yutma kapasitesi, darbe yükleri altında parçalanma direnci, vb. büyüklükler betonun zayıf olan mekanik özellikleridir (Tanrıöven, 2009).

Bu tez çalışması giriş, lifli betonlar ve harçlarla ilgili genel bilgiler, literatür çalışması, deneysel çalışma, deney sonuçları ve değerlendirmesi ile sonuç ve öneriler ana başlıklarından oluşmaktadır.

Lifli betonlarla ilgili bölümde lif ve lifli betonların tanıtımı, tarihçesi, avantajları, kontrol kuralları, kullanma alanları, üretim yöntemleri, hazırlanma ilkeleri ve yerleştirilmesi, lif çeşitleri ve lifli kompozitlerden söz edilmiştir.

Literatür taraması bölümünde lifli betonlarla ilgili önceki çalışmalardan özet verilmiştir.

Deneysel çalışma başlığı altında ilk olarak çalışmada kullanılan malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Devamında ise karışım oranları, karışımların hazırlanması ve üretilen harçlarda yapılan deneyler açıklanmıştır.

Tezde elde edilen veriler, deney sonuçları ve değerlendirmesi 5. bölümde rapor edilmiştir. Bu bölümde yayılma, su emme, kapiler su emme, basınç

dayanımı, yarmada çekme dayanımı, sodyum ve magnezyum sülfata maruz kalan numunelerin genleşmeleri, büzülme ve donma-çözülme sonucunda oluşan ağırlık ve dayanım kaybı değerleri ve eğilme dayanımı değerleri tartışılmıştır. Ayrıca, karışımların tokluk değerleri belirlenmiştir.

Sonuç ve öneriler bölümünde çalışmada elde edilen verilerin değerlendirmesi yapılmış ve bundan sonra yapabilecek çalışmalar için önerilerde bulunmuştur.

1.1 Amaç

Bu tez çalışmasında, farklı çeşitte ve kullanım oranında ilave edilen liflerle üretilen çimento harçlarının bazı mekanik ve durabilite özellikleri incelenmiştir.

1.2 Kapsam

Tez kapsamında; yerel çimento üreticisinden temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimento, en fazla 4 mm büyüklüğüne sahip olan kırma kireç taşı ince agrega ile çelik, propilen (PP) ve polivinilalkol (PVA) olmak üzere üç değişik mikrolif kullanılarak TS EN 197-1 standardına uygun olarak harçlar üretilmiştir. Çalışma kapsamında karışımların 9 farklı özeliği araştırılmıştır. Kontrol numunesine ilaveten, lifler hacimce %0.50, %0.75 ve %1 olmak üzere üç farklı oranda kullanılmıştır. Üretilen harç karışımların yayılma, su emme, kapiler su emme, basınç ve yarmada çekme dayanımı, büzülmesi, donma-çözülme, sülfat direnci, ve eğilme dayanımı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında toplam 300 adet numune deneye tabi tutulmuştur.

2. LİFLİ BETONLARLA İLGİLİ GENEL BİLGİLER

2.1 Lifli Betonların Tanıtımı

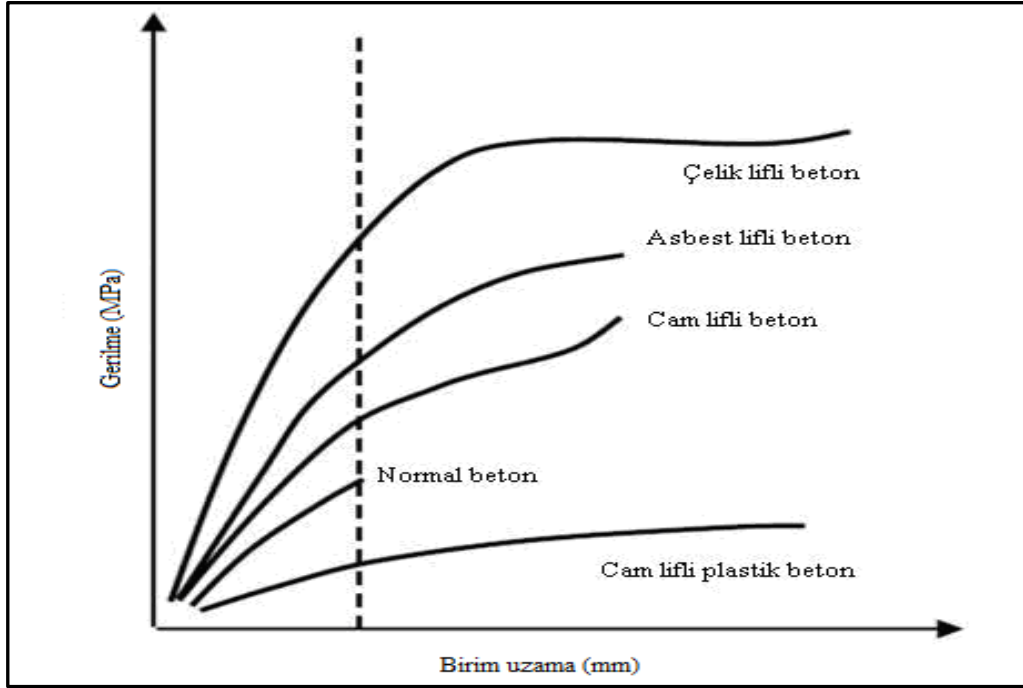
Genelde betonun statik yükler altında elde edilen özellikleri, büyük miktarlarda şekil değiştirmelerin söz konusu olduğu durumlarda, betonun davranışının tahmin etmek için kullanılamaz. Bu nedenle, betonun dinamik yükler altındaki davranışını belirleyebilmek için büyük şekil değiştirmelere yol açan deney uygulamaları gerekir. Depremler, sanayi yapılarında makinelerin meydana getirdiği titreşimler, baraj vb. yapılarda meydana gelen türbülanslı akımlar, kazıklı temel inşaatında kazıkların çakılması sırasında meydana gelen dinamik etkiler, çeşitli patlamalar, özellikle askeri yapılar için roket çarpması gibi yükler yapılara etki eden dinamik yüklerdendir. O halde betonarme elemanlar dinamik yüklemeler altında meydana gelebilecek gerilmeleri karşılayabilme yeteneğine sahip olmalıdır. Betonun çok düşük çekme dayanımına sahip olması nedeniyle beton elemanların tasarımında statik çekme gerilmelerinden kaçınılır. Buna karşılık yukarıda belirtilen dinamik yükleme durumlarında çekme gerilmelerinin oluşumu kaçınılmazdır. Çekme gerilmeleri ise bir çatlaktan başlayarak pek çok çatlağın yayılmasına sebep olarak betonarme elemanlarda göçmeye neden olur. Çatlak gelişimine karşı betonun direncini ve sünekliğini arttırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur (Yerlikaya, 1998).

Geleneksel betona doğal veya yapay lif katılarak oluşturulan lifli beton, görünüşte geleneksel beton karışımına benzese de, çeşitli yükler altında gösterdiği davranış ve performans bakımından geleneksel betondan oldukça farklıdır. Beton meydana gelen farklı gerilmeler, malzeme içerisindeki mikro çatlaklar nedeniyle düzensizdir. Betona katılan lifler matris fazını takviye ederek, betonda üzerinden gerilmelerin geçtiği küçük köprüler olarak rol oynar. Betonda üç boyutlu olarak dağılan ve çatlak sonlarında yer alan lifler matristeki çatlağın yayılmasına yol açan gerilmeleri kendi üzerlerine alarak matrisin çatlamamış bölgelerine nakleder (Yerlikaya, 1998).

Betonun yük altında gösterdiği maksimum çatlama deformasyonu lifli betonlarda geleneksel betona kıyasla çok daha yüksektir. Lifli betonlarda

maksimum yük sonrası, artan deformasyon sonucu yük azalma hızı çok daha yavaş olmaktadır. Liflerin matristen ayrılması ve uzaması esnasında yutulan enerji lifli betonlarda oldukça fazladır (Tokyay et al., 1991).

Gevrek bir malzeme olan lifsiz betonların göçme süreçlerinde sönümledikleri enerji miktarı sınırlı iken, lifli betonlar özellikle ilk çatlama yükünden sonra oldukça yüksek sünek davranış gösterir (Yiğiter, 2002). Şekil 2.1’de değişik tipte liflerle güçlendirilmiş betonların çekme etkisi altındaki davranışları görülmektedir. Şekilde değişik oranlarda lif içeren betonların çekme gerilmesi-birim uzama eğrileri görülmektedir. Ayrıca beton içindeki lifin cinsi de bu özelliği etkilemektedir (Salami, 2009).



Şekil 2.1 Değişik tipteki lifli betonların çekme etkisi altındaki davranışları (Salami, 2009).

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi lifler arasında elastisite modülü en yüksek olan çelik lif eklenmesi ile beton en iyi performansı elde edilmiştir.

2.2 Lif Kullanımının Tarihçesi

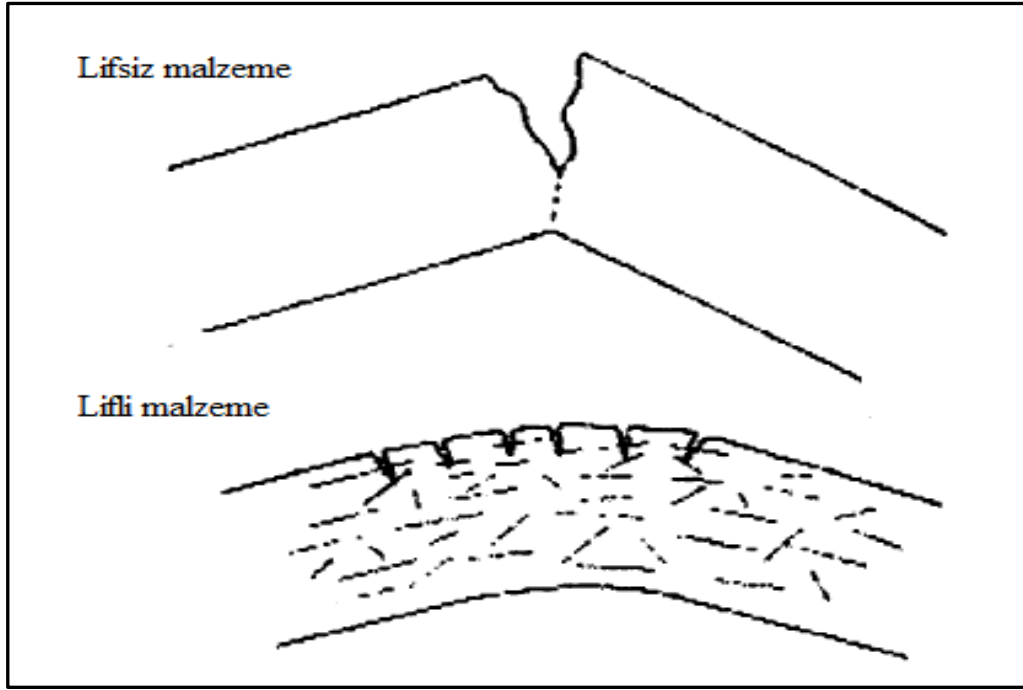
Gevrek yapı malzemelerini güçlendirmek için lif takviyesi çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Güneş altında kurutulan kerpiçlerin

güçlendirilmesinde samanın, kargir harcı ve sıvada ise at kıllarının kullanılması bu malzemelerin yapı alanında ilk kullanımlarına örnek olarak gösterilebilir (ACI Committee, 1997; Siddique, 2003; Yetgin vd., 2008). Mehta ve Monteiro (2006), yapı malzemelerinde ilk kez mısırlıların saman çöplerini lif olarak kullandıklarını belirtmiştir. Bununla birlikte yaklaşık 5000 yıl önce kil çanakların yapısını güçlendirmede asbest liflerinin kullanıldığına dair kanıtlar olduğunu ileri sürmüştür. Ayrıca bazı hayvanların (kuş türleri vb.) yuvalarını yapmada doğal lif katkısı (ot, saman vb.) kullandığı bilinmektedir (Bozkurt, 2009)

Daha yakın zamanda Mimar Sinan'ın inşa ettiği yapılarda horosan harcının içine saman gibi doğal lifler kattığı görülmektedir (Baradan vd., 2012). ABD, İngiltere ve Rusya'da 1950 yılından itibaren beton içerisinde cam lifi kullanılmasına dair deneysel çalışmalar başlatılmıştır. 1960' yılların başlarında devam etmiştir. Daha sonraları farklı liflerin beton dayanımına etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; beton içerisinde süreksiz dağılı bulunan liflerin genellikle betonda oluşan çatlakları en aza indirerek lifli betonun şekil değiştirme kabiliyetini arttırdığı görülmüştür. Günümüze kadar çimentolu sistemleri güçlendirmek için asbestli lif yaklaşık 100 yıl, selüloz lif 50 yıl, çelik, propilen ve cam lifler ise 30 yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır (Demirtaş, 2010; Erdoğan vd., 2007; Ünal, 1994).

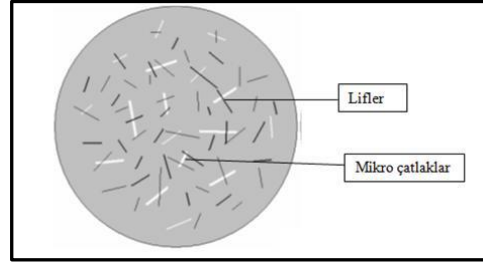
Günümüzde polipropilen, PVA, polyester, cam ve çelik lifler ticari ürün olarak kullanılan liflerdir. Çapı, özgül ağırlığı, elastisite modülü, çekme dayanımı gibi özelliklerinin yanı sıra kullanılacak lif miktarı, lif tipinin seçiminde etkili olmaktadır (Brown ve Shukla, 2002).

Yalın beton, nihai eğilme dayanımı aşıldığında bir defada aniden kırılır, diğer yandan lif takviyeli betonlar yalın betonun taşıyabileceğinden fazla yük taşıyabildikleri ve çok yüksek şekil değiştirmeye izin verdikleri için önemli ölçüde sehim yapabilirler. Lif takviyeli betonlardaki kırılmanın lif sıyrılması veya kopmasından dolayı olduğu bilinmektedir. Böylece yalın betonun aksine kırılma, ilk çatlak başlangıcından hemen sonra oluşmamaktadır (Nemati, 2007). Lifli ve lifsiz malzemelerdeki çatlak görünüşü Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Lifli malzeme- lifsiz malzeme çatlak görünüşü (Nemati, 2007).

Lifsiz betonun kırılma mekanizması ilk çatlağın oluşmasıyla tamamlanmaktadır. Kısa ve rastgele dağıtılmış liflerle donatlandırılmış betonda ise kırılma mekanizması çok sayıda paralel çatlağın oluşması ile tamamlanır. Beton içinde, gerek priz anında ve yük uygulamadan önceki dönemde oluşan mikroçatlaklar gerekse içsel gerilmelerden oluşan çatlaklar, eleman çalışmaya ve yük almaya başladıktan sonra büyümeye başlar. Çatlak, beton içinde ilerlerken liflerle karşılaştığında, çatlağın ilerlemesini sağlayan enerji liflere aktarılır ve lifler tarafından karşılanmaya başlar. Lif bu enerjiyi karşılayamadığı anda ya kopar ya da betondan sıyrılır. Lif koptuktan ya da sıyrıldıktan sonra, enerjisi tekrar betona aktarılır ve çatlak bir sonraki lifle karşılaşınca kadar ilerlemeye devam eder. Bu işlem yük arttıkça tekrarlanır ve elemanda paralel çatlaklar oluşur. Nihai kırılma gerçekleşinceye kadar oluşan paralel çatlaklar elemanın sünekleştiğinin göstergesidir. Normal beton ile lifli betonların yük-deplasman eğrisine bakıldığında, ilk çatlak oluşuktan sonra normal betonun derhal kırıldığı, ancak lifli betonun yük almaya devam ettiği, hatta eğilme dayanımının arttığı bilinmektedir (Arısoy, 2005). Çimento esaslı matris içerisindeki mikroçatlaklar ve lifler Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Çimento esaslı matris içindeki mikro çatlaklar ve lifler (Devis, 2007).

2.3 Lifli Betonların Avantajları

Daha önce vurgulandığı gibi betonda liflerin kullanılması çatlak oluşumunu ve genişlemesini önlemektedir. Betonun erken yaşta taşıma gücünü artırmakta ve özellikle çekme olmak üzere basınç dayanımını da arttırabilmektedir. Lifli betonların avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Bahadır, 2007) :

- 1- Lifli betonların çekme dayanımları başta olmak üzere dayanımları yüksektir.
- 2- Çatlaksız veya çatlakları genişlemeyen betonlardır.
- 3- Bu betonun kılcal rötre çatlakları çok daha düşüktür.
- 4- Yüzeye iyi yapışan aderanslı betonlar olduğundan püskürtme betonunda daha rahat kullanılabilen betondur.
- 5- Daha küçük kalınlıklarda fazla dayanıma sahiptir.
- 6- Korozyona karşı dirençli betonlardır.
- 7- Alkali direnci, donma-çözülme dirençleri fazladır.
- 8- Su geçirimsizlikleri yüksek betonlardır.
- 9- Kalıp sökümü sırasında kırılmaları azdır.
- 10- Tamirat işçiliği azdır.
- 11- Beton kohezyonu yükseldiği için, inşaat kalitesi artmaktadır.
- 12- Aşınma ve darbe dayanıklılığı yükseltir.

2.4 Lifli Betonların Kullanma Alanları

Lifli betonlar, normal betonlara göre sağladıkları çoğu avantajlarından dolayı geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Başlıca kullanım alanları; tüneller, püskürtme beton kaplamaları, havaalanı ve karayolu gibi yol kaplamaları, aşınma

ve çekme dayanımının yüksek olmasından dolayı endüstri ve su yapıları, şevlerin stabilizasyonu, istinat duvarı yapımı, kesit kalınlıklarının azaltılmasına imkan verdiğinden ince kabuk yapılar, mimari açıdan kalınlığı sınırlı olan kabuk yapılar, kubbeler ve depreme dayanıklı yapılardır. Lifli betonlar ayrıca, bina ve mühendislik yapılarının taşıyıcı elemanlarının onarımı ve takviyesinde kullanılmaktadır (Karahana, 2006).

2.5 Lifli Betonların Üretim Yöntemleri

Bentur ve Mindness (1990), lifli betonun beş farklı üretim tekniğini aşağıdaki gibi açıklamıştır :

1) Ön karıştırma yöntemi (premix process). Bu yöntemde lifler, beton karışım malzemeleri ile birlikte karıştırıcıya ilave edilir. Lifler, betona katılan ekstra bir malzeme gibi kabul edilir ve beton üretiminde ilave bir iş gerektirmez. Ancak ilave edilen lif, beton karışımının işlenebilirliğini olumsuz etkileyeceği için lif oranı beton hacminin %2'sini aşmaması gerekmektedir.

2) Püskürtme yöntemi (spray-up process). Bu yöntem genel olarak camsı lifler için kullanılır. İnce kesilmiş camsı lifler ile çimento bulamacı eş zamanlı olarak kalıp yüzeyine ince tabaka oluşturacak şekilde püskürtülür. Bu yöntem ile %6'ya kadar yüksek lif içerkli kompozitler üretmek mümkündür.

3) Püskürtme betonu (shot creting). Normal püskürtme betonu üretim tekniği modifiye edilerek çelik ve polipropilen lifli püskürtme betonu elde etmek mümkündür. Bu yöntemle tünel kaplamaları ve şev stabilizasyonu çelik lifli püskürtme betonu ile daha güvenli bir şekilde yapılabilir. Bu yöntemde de yüksek oranda lif kullanımı mümkündür.

4) Hamur tipi işlemi (pulp type process). Asbest çimentoları veya selüloz yada diğer liflerin asbest yerine kullanıldığı yerlerde, liflerin çimento bulamacı içine yayılması ile gerçekleştirilir. Bu tipteki üretim yöntemi ile hazırlanan kompozitte lif içeriği genellikle %20'nin üstündedir.

5) Elle yayma işlemi (hand lay up). Bu yöntemde kalıbın içerisine lifler, hasır şeklinde yayılarak bir lif katmanı oluşturacak şekilde yerleştirilirler. Yayılan liflere çimento bulamacı emdirilerek vibrasyon uygulanır ve yüksek lif içerikli yoğun yapı elemanları üretilir.

2.6 Lifli Betonların Hazırlanma İlkeleri ve Yerleştirilmesi

Lifli betonların nerede, hangi metotla üretileceği, liflerin düzgün dağılması, topaklanmaması ve betonun segregasyon yapmaması için büyük önem taşır. Topaklanma ve ayrışmanın nedenleri olarak; narinlik, kullanılan lif miktarı, maksimum agreg a çapı, agreg a granülometrisi, su/çimento oranı ve karıştırma yöntemi sıralanabilir.

Çelik liflerde hacimce % 2'nin aşılması karıştırma güçlüğüne neden olmaktadır. Liflerin, betonun önemli bir özeliğı olan çökme değeri azalttığı ve bu yüzden lifli betonların çökme deneyi yerine Ve-be deneyi ile kontrolünün uygun olduğı bilinmektedir.

Lifli betonların s/ç oranı 0.4-0.6 arasında, çimento içeriğı ise 250 ile 430 kg/m³ arasında değışmektedir. Lifli betonlarda yüksek çimento içeriğini azaltmak, işlenebilirliğı arttırmak veya priz süresini geciktirmek için mineral katkıları kullanılabilir. Çimento yerine kullanılacak optimum mineral katkı miktarı karışım oranları ve çimentonun özelliklerine göre değışebilir. Normal betonlara kıyasla, lifli betonların çimento ve ince agreg a içeriğı yüksek, iri agreg a içeriğı ise düşüktür. Bu nedenle normal betonda uygulanan karışım oranları belirleme yöntemleri lifli betonda bire bir uygulanmaz (Durmaz, 2007).

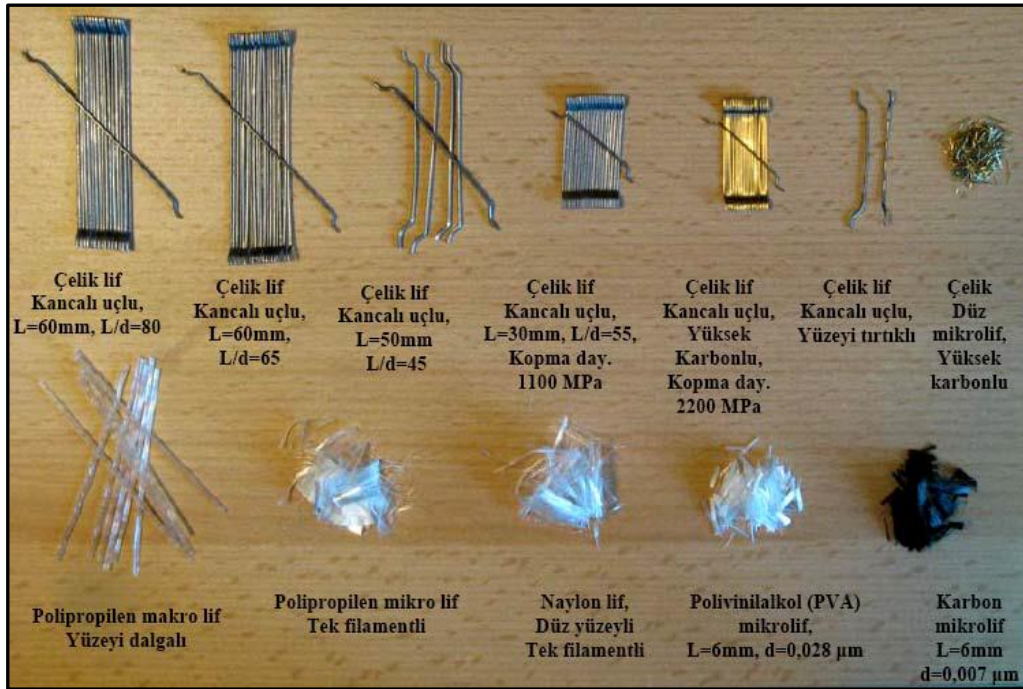
2.7 Beton ve Çimento Harçlarında Kullanılan Lif Türleri

Farklı kaynaklardan elde edilen lifler değışik özelliklere sahip olmakla birlikte farklı boylarda ve biçimde olmaktadır. Konuyla ilgili yayınlarda liflerle ilgili kesin bir tanım yer almamakla birlikte genellikle lifin çapı ve boy/çap oranı (narinlik oranı) belirleyici bir kıstas olarak kabul edilmektedir. İlgili Amerikan Standardı ASTM C 1116 uyarınca, bir malzemenin lif olarak tanımlanabilmesi

için, boy/ortalama çap oranının en az 10 ($L/d > 10$) olması, lifin en büyük genişliğinin 0.25 mm den ve en büyük kesit alanının da 0.05 mm^2 den daha küçük olması gibi sınırlamalar getirilmektedir (Ersoy, 2001). Bu lifler kullanılırken kompozit malzemeden istenen avantajı sağlayacak lif türü, karakteristik özellikleri dikkate alınarak seçilmelidir. Aksi taktirde çimento sistemin mekanik özelliklerini iyileştirme amacıyla eklenen lifler tersi etkiye yaratabilir (Çavdar, 2012a, b, 2013; Yalçinkaya, 2009).

2.8 Çelik, PP ve PVA mikrolifler

Sık kullanılan liflerin fotoğrafı Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi farklı geometrik yapı, dayanım, hammadde ve narinliğe göre sayısız lif türleri üretebilmek mümkündür. Çelik lifler genellikle suda eriyen yapıştırıcılarla tutturulmuş demetler halinde satılmaktadır. Bu Lif demetleri çimentolu karışıma eklendiğinde suyun etkisi ile bağlayıcı çözülür ve karıştırma sırasındaki mekanik etki ile birbirinden ayrılır (Salami, 2009).



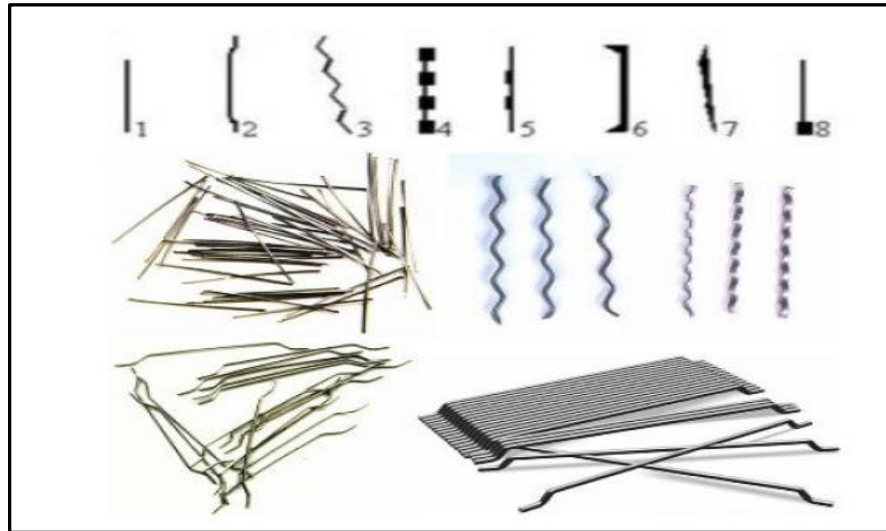
Şekil 2.4 Çeşitli boyutlarda çelik ve sentetik lif türleri (Yardımcı, 2008).

2.8.1 Çelik lifler

Farklı tip ve özeliğe sahip olan çelik lifler beton ve harçların donatılmasında kullanılmaktadırlar. 1970’ten sonra önem kazanan çelik lifler, şekil, boyut ve yüzey yapısı olarak farklı üretildikleri için mekanik özellikleri, çekme dayanımı, aderansları, gerilme ve su emme yetenekleri bakımından farklı özellikler sergiler. Çelik lifler aşağıdaki farklı yöntemlerle üretilir;

- Sıcak çekme yöntemi,
- Soğukta çekilmiş tellerin kesilmesi yöntemi,
- Çelik plakaların kesilmesi yöntemi ve
- Çelik tellerin kesilmesi yöntemi (Durmaz, 2007).

Çelik lifler, elastik limitleri %0.2’den aşağı olan, düşük karbonlu C1008 çeliğinden üretilmektedir. Çekme dayanımları 1200 MPa olan çelik lifler, yüksek ve üniform çekme dayanımlarına karşın az uzama gösterir. Kullanılan çelik liflerin çapları 0.13 ile 1.0 mm arasında olup uzunluk/çap oranları 30 ile 150 arasında değişmektedir. Lif boyları ise 13 mm’den 70mm’ye kadar değişmektedir (Durmaz, 2007). Betonda kullanılan lif hacmi genelde %0.5 ile %3 arasında değişmektedir. Şekil 2.5’te betonlarda kullanılan çelik lif tipleri gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Beton için kullanılan çelik lif çeşitleri (Durmaz, 2007).

Şekilde 1 ile gösterilen düz lif, 2 ile gösterilen kancalı lif, 3 ile gösterilen kıvrımlı lif, 4 ile gösterilen çift baskılı lif, 5 ile gösterilen tek baskılı lif, 6 ile gösterilen uçları geniş lif, 7 ile gösterilen düzensiz lif, 8 ile gösterilen ise paletli liftir.

Kullanım rahatlığı açısından 10 veya 30 adet lif suda eriyebilen ya da mekanik etkiler ile kopabilen bir tutkal ile birbirine yapıştırılmıştır. Suda çözülme süresine bağlı olarak tutkalar P tipi ve C tipi olarak iki gruba ayrılır. P tipinin çözülme süresi birkaç saniye, C tipinin ise 30-60 saniyedir. Beton ve harçlarda kullanılan çelik liflerin kırılmadan bükülebilir özellikte olması ve her türlü pas, yağ gibi maddelerden arındırılmış ve temiz olması gerekmektedir. Çelik lifli betonlarda karıştırmayı kolaylaştırmak veya lif oranını arttırmak için daha ince agregaların kullanımı tavsiye edilmiştir (Bahadır, 2007).

Çelik Liflerin Sınıflandırılması :

TS 10513 (1992)'e göre çelik lifler üç ana gruba sınıflandırılmıştır :

A Sınıfı: düz, pürüzsüz yüzeyli lifler,

B Sınıfı: bütün uzunluğu boyunca deforme olmuş lifler,

- Tip 1: üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler,
- Tip 2: uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler,
- Tip 3: ay biçimi dalgalı lifler,

C Sınıfı: sonu kancalı lifler,

- Tip 1: iki ucu kancalı lifler,
- Tip 2: tek ucu kancalı lifler.

Çelik lifler düşük karbonlu çelikten soğuk çekme işlemi ile elde edilmiş olmalıdır. Her lifin çekme dayanımı 300 MPa'dan, liflerin ortalama çekme dayanımı ise 345 MPa'dan az olmamalıdır.

Çelik lif içeren betonlar lifsiz betonlara göre sağladıkları avantajlarından dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir:

i) Tünellerde, püskürtme beton kaplamalarında çekme donatısı kullanmaksızın uygulanabilir. Kaplama kalınlığı düz ve hasırlı beton kaplama kalınlıklarına göre daha az olabilir. Kırılmaya karşı yüksek enerji yutma kapasitesi nedeniyle daha fazla süneklik sağlar.

ii) Havaalanı ve karayolu gibi yol kaplamalarında aşınma ve çekme dayanımı yüksek kalıcı bir beton olarak uygulanabilir. Ayrıca plak kalınlığının daha az olmasına olanak sağlar.

iii) Dayanıklılık ve çarpma rijitliğinin yüksek olması gerekli endüstri yapılarının inşasına imkan tanır. Ayrıca yük taşıma kapasitesinin fazla olması, çatlak kontrolü sağlaması, dinamik ve ani yüklemelere karşı yüksek performans göstermesinden dolayı endüstri yapılarının zeminlerinde kullanılabilir.

iv) Baraj, kanal, dolu savak vb. hidrolik yapıların plaklarının yerine kullanılabilir. Ayrıca yüksek aşınma direnci nedeniyle kavitasyon hasarlarına karşı kaplama olarak kullanılabilir.

v) Yüksek dayanım ve dayanıklılığı nedeniyle kaya ve toprak zeminlerin şev stabilizasyonunda uygulanabilir.

vi) Kesit kalınlıklarının azaltılmasına olanak sağladığından, ince kabuk yapılarda, kubbelerde ve mimari açıdan kalınlığı sınırlı olan yapı elemanlarında kullanılmaktadır.

vii) Sünekliğin yüksek olması istenen depreme dayanıklı yapılarda kullanılabilir.

viii) Büyük sıcaklık farklılıklarına maruz kalabilen, termal ve mekanik şok tehlikesi bulunan ve aynı zamanda yük taşıyacak olan yapılarda kullanılmaktadır.

ix) Patlamaya karşı dayanıklı olması gereken yapılarda, normal donatı ile birlikte kullanılır. Çelik lifli beton uzun yıllardan beri Amerikan askeri tesislerinde kullanılmaktadır (Aktaş, 2007).

Çimentolu matrislerde kullanılan liflerin bazıları çatlak genişliğinin sınırlandırılması ve tokluk arttırmak içinken (makro ve mikro boyuttaki çelik lifler ve yüksek performanslı PVA lifler gibi) bazıları ise plastik rötre çatlaklarının azaltılması ve yüksek sıcaklık etkisi altında patlamaları engellemek için (polipropilen lifler gibi) kullanılabilir (Yardımcı, 2008).

2.8.2 Polipropilen lifler (PP)

Beton teknolojisinde kullanılan sentetik lifler arasında en ucuz ve en yaygın kullanılanı PP lif türüdür (Şekil 2.6). Polipropilen lif, uygun mekanik özelliklere ve kimyasal kararlılığa sahip olup erime noktası 165°C, özgül kütlesi 0.91 g/cm³ dir. Herhangi bir kimyasal etki karşısında, PP lif etkilenmeden çok önce çimentolu matrisin tahrip olması olasıdır (Bezerra, 2006). Bunun yanında PP lifin düşük sıcaklık karakteristiklerinin zayıf olması, örneğin camsı geçiş sıcaklığının ~ -20°C olması, uygulamada karşılaşılan olumsuz yönlerindendir. Bu lifler yapı itibarıyla birçok kimyasal maddeye karşı direnç göstermektedir. Özellikle yüksek dayanımları, alkali ortama çok iyi direnç göstermeleri ve düşük fiyatları bu malzemenin beton ve harçlarda lif olarak kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Çavdar, 2012a, b, 2013; Teker, 2012).



Şekil 2.6 Polipropilen lifi

PP liflerinin dinamik elastisite modülü, gerilme altındaki şekil değişikliğine bağlı olarak 1 kN/mm^2 ile 8 kN/mm^2 arasında değerler almaktadır. Bu değer, matris malzemesi olan beton ve harçların, $20\text{-}30 \text{ kN/mm}^2$ mertebelerindeki dinamik elastisite modülü değerinin çok altında kalmaktadır. Buna rağmen, PP liflerin katılmasıyla çimento bağlayıcılı kompozitlerin özellikle çarpma dayanımı yükselmekte ve tokluğu artmaktadır (Bhargava, 2004; Ersoy, 2001; NRC, 1994; Saçak, 2010; Sawyer, 2008).

Polipropilen liflerin sınıflandırılması :

Polipropilen elyaflar fibrilize ve multifilament elyaflar olarak iki çeşitte üretilmektedir. Fibrilize elyaflar kısaca F, multifilament elyaflar kısaca M ile gösterilmektedir. Multifilament elyaflar çok ince olup yüzeyde gözükmeyenleri için şap kullanımlarına uygundur. Fibrilize liflerin ise endüstriyel zeminlerde, tokluk aranan betonlarda ve ağır hizmet zeminlerinde kullanılması daha uygundur.

İnşaat sektörü dışında polipropilen liflerinin kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır :

→ Polipropilen lifleri çeşitli giysilerde, döşemelik kumaş, halı ve endüstriyel alanda oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Tek başlarına veya diğer liflerle karıştırılarak kullanılabilir.

→ Giyim: İç giyim, çorap, çocuk giysilerinde, çeşitli ipliklerin yapımında, özellikle lifin nem çekmemesi nedeniyle ve sürtünmeye karşı dayanıklı olduğundan spor giysilerinde kullanılır.

→ Ev tekstili: Polipropilen lifleri battaniye, halı ve halat yapımında kullanılmaktadır. Battaniye yapımında yün lifleri ile karıştırılarak kullanılır.

→ Endüstriyel tekstil: Çeşitli filtre kağıdı, balık ağı, kayış yapımı ve yat döşemesinde kullanılmaktadır (Atashafrzeh, 2013)

2.8.3 Polivinil alkol lifler (PVA)

Yaklaşık 50 yıl önce Japonya’da üretilen ve birçok farklı uygulamada kullanılan PVA lifleri 1980’li yıllardan itibaren çimentolu kompozitlerde kullanılmaya başlanmıştır (Şekil2.7). Bu lifler naylon ve polipropilen gibi diğer polimerik liflere kıyasla, daha yüksek çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerine sahiptir (Çavdar, 2012a, b, 2013; Teker, 2012; Uğur, 2007).



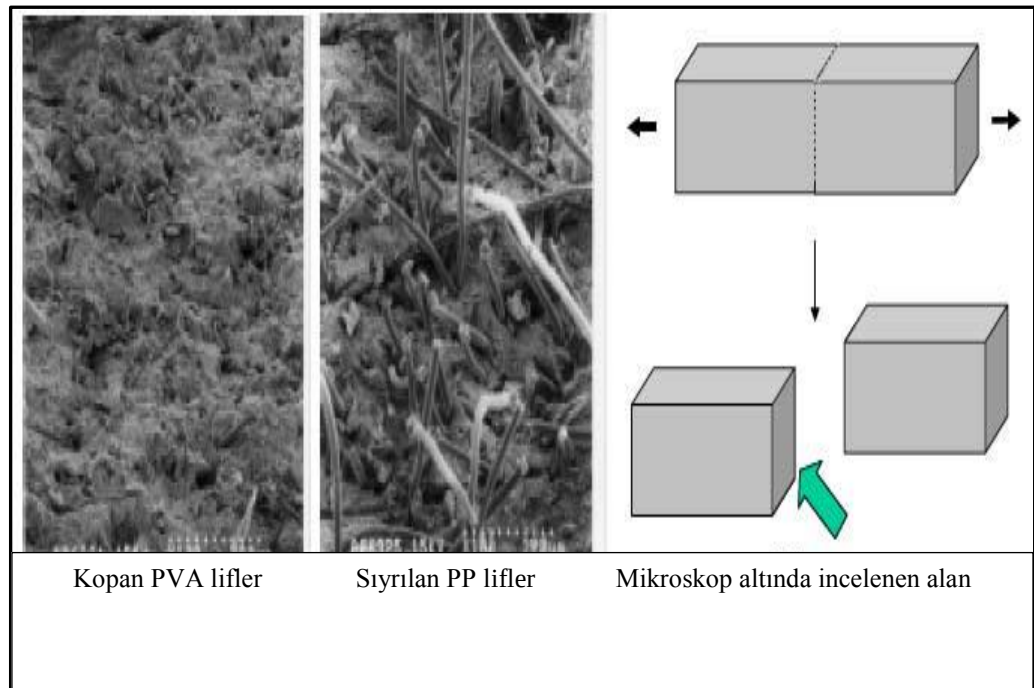
Şekil 2.7 Polivinil alkol lifi (PVA)

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

Polimerizasyon derecesine ve kalan asetat miktarına göre değişen farklı özelliklerde PVA’lar bulunmaktadır. PVA’nın özellikleri polimerizasyon derecesinden ve hidroliz derecesinden büyük ölçüde etkilenmektedir. PVA’nın suda çözünürlüğü polimerizasyon ve hidroliz derecelerine bağlıdır, özellikle hidroliz derecesinin etkisi daha fazladır. Hidroliz derecesi arttıkça polimerin oda

sıcaklığında çözülme özeliği ortadan kaybolmaktadır. Bununla birlikte hidroliz derecesinin artması ile su emme özeliği azalmaktadır (Birchall vd., 1983; Ekincioğlu vd., 2007).

PVA lifler yüksek derecede lif-matris aderansı gösterir. Üretim esnasında liflerin yüzeylerinde oluşturulan deformasyonlar ile lif-matris aderansının daha da güçlü kılınması mümkündür. Şekil 2.8’de PVA lifli ve polipropilen lifli kompozitin kırıldıktan sonraki mikroskop görüntüsü görülmektedir. Polipropilen liflerin sıyrıldığı PVA liflerin ise koptuğu görülmektedir (Horikoshi et al., 2005).

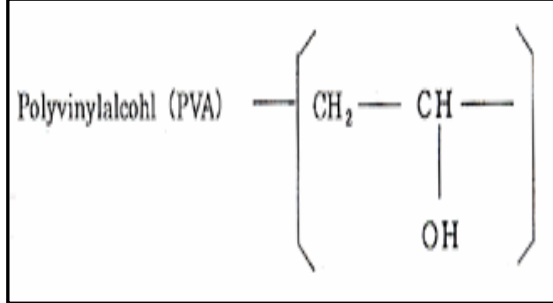


Şekil 2.8 PVA ve Polipropilen lifli kompozitlerin kopan yüzeylerinin mikroskop altındaki görüntüsü (Horikoshi, 2005).

PVA lifli betonlarla ilgili olarak yürütülen çalışmalar, bu betonların eğilmede çekme dayanımlarının yalın betonlara kıyasla oldukça yüksek olduğunu, enerji yutma kapasitelerinin yüksekliği nedeniyle oldukça sünek bir davranış sergilediklerini ve donma çözülme çevrimlerine karşı dayanıklılıklarının çok yüksek olduğunu göstermiştir (Uğur, 2007; Shuxin and Victor, 2010)

PVA liflerin ana maddesi olan PVA reçinesi Amerikan Gıda ve İlaç Kurulu tarafından da onaylanmıştır. Şekil 2.9’da gösterildiği gibi PVA’nın kimyasal

yapısının ana taşlarını karbon, hidrojen ve oksijen meydana getirdiği için yanması sırasında dioksin ve amonyak gibi zararlı maddeler oluşmaz (Kalyonca, 2007).



Şekil 2.9 PVA kimyasal yapısı (www.kuaay.com; kalyonca, 2007'den)

3. LİTERATÜR TARAMASI

Pan ve arkadaşları (2015), toplam 21 polivinilalkol-tasarlanmış çimento kompozitleri (PVA-TÇK) karışımında su/bağlayıcı oranı, uçucu kül içeriği, kum/bağlayıcı oranı ve katkı içeriği gibi parametrelerin etkilerini incelemiştir. Araştırmada karışımların performans-fiyat ilişkileri değerlendirilmiştir. Lif içermeyen M0 karışımına ilaveten yukarıda belirtilen 5 değişken faktöre bağlı olarak üretilen kompozitlerin karışım oranları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Çalışmada ortalama 110 mikron büyüklüğünde ince kum kullanılmıştır. Lif olarak ise 12 mm uzunluğunda ve 26 mikron çapında yağsız ve 12 mm uzunluğunda, 39 mikron çapında yağlı PVA lifleri olarak eklenmiştir. Sonuçta, yağsız liflerle tasarlanmış çimentolu kompozitlerin çekme gerilme kapasitesinin kontrol karışımına kıyasla, oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, performans ve maliyet faktörlerini göz önüne alınarak aşağıda verilen üç tip karışım önerilmiştir.

Düşük maliyetli ve nisbeten düşük çekme sünekliğe sahip olan yağsız PVA lifli M7 karışım, orta maliyetli ve nisbeten yüksek çekme sünekliğe sahip olan hibrid PVA lifli M17 karışım ve yüksek maliyetli, yüksek çekme sünekliğe sahip olan yağlı PVA lifli M21 karışım.

Tablo 3.1 Lifli karışımların oranları

Kompozisyon	Çimento	Uçucu kül	Kum/ bağlayıcı oranı*	Su/bağlayıcı oranı*	Su azaltıcı katkı	Lif hacmi (%)	
						yağlı	yağsız
M 1	1.0	1.2	0.36	0.30	0.0054	1.3	----
M 2	1.0	1.8	0.36	0.30	0.0052	1.3	----
M 3	1.0	2.4	0.36	0.30	0.0050	1.3	----
M 4	1.0	3.0	0.36	0.30	0.0048	1.3	----
M 5	1.0	3.6	0.36	0.30	0.0047	1.3	----
M 6	1.0	1.8	0.36	0.28	0.0083	1.3	----
M 7	1.0	1.8	0.36	0.32	0.0045	1.3	----
M 8	1.0	2.4	0.36	0.28	0.0080	1.3	----
M 9	1.0	2.4	0.36	0.32	0.0042	1.3	----
M 10	1.0	3.0	0.36	0.28	0.0078	1.3	----
M 11	1.0	3.0	0.36	0.32	0.0040	1.3	----
M 12	1.0	2.4	0.30	0.30	0.0050	1.3	----
M 13	1.0	2.4	0.42	0.30	0.0050	1.3	----
M 14	1.0	1.8	0.36	0.30	0.0020	0.0	----
M 15	1.0	1.8	0.36	0.30	0.0050	1.2	----
M 16	1.0	1.8	0.36	0.30	0.0054	1.4	----
M 17	1.0	2.4	0.36	0.28	0.0029	0.6	1.0
M 18	1.0	2.4	0.36	0.26	0.0032	0.6	1.0
M 19	1.0	2.4	0.36	0.28	0.0020	----	1.0
M 20	1.0	2.4	0.36	0.28	0.0025	----	1.6
M 21	1.0	2.4	0.36	0.28	0.0028	----	2.0

* Bağlayıcı miktarı, çimento ve uçucu külün toplamıdır.

Güneyisi ve arkadaşları (2014), çelik lif içeren ve içermeyen yalın ve metakaolin (MK) katkılı betonların mekanik özelliklerini araştırmıştır. MK katkılı betonların üretiminde, MK toplam bağlayıcı miktarının %10'u oranında çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çelik lif donatılı betonların üretiminde, iki tip kanca uçlu 60/80 ve 30/40 uzunluk/narinlik oranına sahip lifler kullanılmıştır. Su/bağlayıcı (s/b) oranı 0.35 ve 0.50 olan iki beton grubu hazırlanmıştır. Metakaolinin ve değişik tipte çelik tel donatıların betonun mekanik özelliklerine etkisini irdelemek amacıyla basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, üç noktalı eğilme dayanımı deneylerinin yanı sıra beton ile donatı arasındaki aderans deneyleri yapılmıştır. Bütün deneyler 28 gün kürlenmiş numuneler üzerinde uygulanmıştır. Deneysel verilerin varyans analizi yapılarak, değişkenlerin mekanik özelliklerine etki seviyeleri belirlenmiştir. Daha sonra mekanik özellikler

arasındaki etkileşimi belirlemek amacıyla korelasyon çalışması yapılmıştır. Ayrıca, yalın ve metakaolin içeren çelik lifli betonların mikro yapıları taramalı elektron mikroskopuyla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre betonda metakaolin kullanımının ve betona değişik tipte çelik lif eklenmesinin, s/b oranından bağımsız olarak betonun mekanik özelliklerine önemli düzeyde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Choi ve arkadaşları (2014), çalışmalarında lifin hafif iri ve ince agrega içeren hafif betonların bazı mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada 30 mm uzunluğunda olan üç farklı çelik , vinaylon ve polietilen lif kullanılmıştır. Vinaylon ve polietilen lifer hacimce %0.5, %1, %1.5, çelik lif ise hacimce % 0.4 , % 0.8 ve %1.2 oranlarında betona eklenmiştir. Sonuçta, lif türünden bağımsız olarak, lif eklenmesiyle betonun kırılma dayanımının azaldığı, %1 oranında lifli tüm hafif betonların, normal betona benzer mekanik özellikler gösterdiği açıklanmıştır. Vinaylon lifli betonların yarmada çekme dayanımı, çelik ve polietilen lifli betonlara göre daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Liflerin hafif ve normal ağırlıkta betonların basınç dayanımına az bir etkisi olduğu açıklanmıştır. Lif ilavesinin eğilme dayanımını arttırdığı, bu artışın yarmada çekme dayanımındaki artıştan dahada yüksek olduğu ve özellikle vinaylon lifli tüm hafif betonlarda dahada belirgin olduğu bildirilmiştir. Çelik lif, tüm betonların kesme dayanımını arttırmıştır. Bu konuda polietilen liflerin kayda değer etkisi olmamıştır. Ayrıca, çelik liflerin tüm hafif ve normal betonların tokluk değerini etkili bir şekilde arttırdığı açıklanmıştır.

Güneyisi ve arkadaşları (2014), rötre azaltıcı katkının ve çelik lifin hafif agregalı betonun bazı özelliklerine etkisini araştırmıştır. Rötre azaltıcı katkılı veya çelik lifli, 7 hafif beton karışımı soğuk birleştirilen uçucu kül agregası kullanılarak sabit su/çimento oranında hazırlanmıştır. Beton karışımlarında %0.25, %0.75 ve %1.25 olmak üzere üç farklı hacim oranında çelik lif ve çimentonun ağırlığınca üç farklı miktarda (%0.75, %1.5 ve %3) rötre azaltıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Kısıtlanmış rötre deneyi için halka tipi numuneler kullanılmıştır. Serbest rötre, ağırlık kaybı, basınç dayanımı ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar çelik lif kullanılmasının basınç dayanımına fazla bir etkisinin olmadığını, ancak, yarmada çekme dayanımını iyileştirdiğini göstermiştir. Rötre azaltıcı katkı, basınç

dayanımını azaltırken çekme dayanımı üzerinde önemli bir etki göstermemiştir. Ayrıca, çelik lif ve rötre azaltıcı katkı kullanımının çatlama süresini uzatmanın yanı sıra, düşük serbest rötre kaynaklı çatlakların enini azalttığı ve daha ince çatlakların oluşumuna neden olduğu rapor edilmiştir.

Zhang ve Li (2013), çalışmalarında polipropilen lifin silis dumanı ve uçucu kül içeren beton karışımların, işlenebilirliği ve durabilitesine etkisini araştırmıştır. Hacimce %0.06, %0.08, %0.1 ve %0.12 olmak üzere dört farklı oranında polipropilen lifi betona eklenmiştir. Eklenen lif oranı dışında tüm karışımlarda s/ç oranı ile, silis dumanı, uçucu kül, iri ve ince agregâ içerikleri sabit tutulmuştur. Sonuçta, polipropilen lif ilavesinin işlenebilirlik üzerinde ters etkisi olduğu ve lif oranı arttıkça çökme değerinin azaldığı bildirilmiştir. Ancak, liflerin durabilite özellikleri üzerinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Su geçirgenlik değerini düşürmekte liflerin çok etkin bir rolü olduğu bildirilmiştir. Lif oranı arttıkça, su geçirgenlik miktarında ciddi düşüş rapor edilmiştir. Ayrıca, lif oranı % 0.12'nin altında kaldığı sürece, lifin artmasıyla büzülmede kayda değer kısıtlama olduğu açıklanmıştır. Karbonatlaşma derinliğinde de lif miktarı yükseldikçe, azalma görülmüştür. Donma çözülme direncinde polipropilen liflerin çok az etkili olduğu, lif oranı %0.08'in altında kaldığı sürece lifin artmasıyla donma çözülme direncinin arttığı, ancak lif oranı %0.08'den %0.12'ye yükselince, donma çözülme direncinin azaldığı açıklanmıştır.

Kang ve arkadaşları (2013), kumun tane boyu ve kum/çimento oranının harç karışımları ile yüksekk dayanımlı çelik liflerin geçiş bölgesine etkisini araştırmıştır. Üç farklı çelik lif (30 mm uzunluğunda ve 0.3 mm çapında düz, 30 mm uzunluğunda ve 0.375 mm çapında kancalı, 30 mm uzunluğunda ve 0.3 mm çapında kıvrılmış), üç farklı boy sınıfında kum (0.15-0.70 mm çapında normal silis kumu, 0.1-0.3 mm çapında ince silis kumu ve çapı 0.2 mm'den az olan çok ince silis kumu) ve kum/çimento oranı 1 ile 1.5 olmak üzere iki farklı matris kompozisyonu kullanılmıştır. Sonuçta, lif türünden bağımsız olarak kumun incelmesi ve kum/çimento oranının yükselmesi daha güçlü geçiş bölgesi oluşumuna neden olduğu açıklanmıştır. Bu konuda düz ve kıvrılmış lifler, kancalı liflerle kıyasla daha etkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, kum/çimento oranı arttıkça

düz ve kancalı liflerde çekip çıkarma direnci oldukça yükselmiştir, benzer davranış kıvrılmış liflerde görülmemiştir.

Gesoğlu ve arkadaşları (2013) tarafından, soğuk yöntemle üretilen yapay uçucu kül agregaları içeren yalın ve silis dumanlı çelik lif katkılı betonların mekanik özellikleri deneysel olarak araştırılmıştır. Su/bağlayıcı oranları 0,35 ve 0,55 olan iki beton serisi tasarlanmıştır. Silis dumanı, çimentonun ağırlığının %10'uyla yer değiştirilerek kullanılmıştır. Boy/narinlik oranı 60/80 ve 30/40 olan iki farklı tip kanca uçlu çelik tel kullanılmıştır. Bütün beton karışımlarında, %90'ı F sınıfı uçucu kül ve %10'u portland çimentosu olan soğuk bağlı peletleme yöntemiyle üretilmiş yapay uçucu kül agregaları kaba agrega olarak kullanılmıştır. Betonun basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve donatı-beton arasındaki aderans dayanımı değerlendirilmiştir. Deneyler 28 günlük kür süresi sonunda yapılmıştır. Deney sonuçlarının üzerinde varyans analizi yapılmış ve deneysel parametrelerin istatistiksel değerlendirmesi için betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkili faktörler tespit edilmiştir. Ayrıca betonların aderans dayanımları ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi görmek amacıyla deneysel verilerin korelasyonu yapılmıştır. Sonuçlar, s/b oranından bağımsız olarak silis dumanı ve farklı tip çelik lif kullanılmasının, betonun mekanik özelliklerine önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Choi ve Yuan (2005), çalışmalarında cam lifli ve polipropilen lifli betonların yarmada çekme dayanımları ile basınç dayanımları arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Monofilament tipi 0.90 mm çapında ve 50 mm boyunda polipropilen lifi, beton hacminin %1.0 ve %1.5 oranlarında kullanarak lifli betonlar üretmiştir. Test sonuçları betona cam ve polipropilen lif ilavesinin 7, 28 ve 90 günlük yarmada çekme dayanımlarına yaklaşık %20-%50 arasında bir artış sağladığını göstermiştir. Ayrıca, cam ve polipropilen lifli karışımların yarmada çekme dayanımı/basınç dayanımı oranlarının %9 ile %13 arasında olduğu görülmüştür. Polipropilen lifli betonlarda yarmada çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki $f(st)=0.55(fc')^{(0.5)}$ olduğu açıklanmıştır.

Song ve arkadaşları (2005), naylon ve polipropilen lifli betonların basınç, yarmada çekme, darbe dayanımları ile rötre çatlaklarını incelemiştir. Polipropilen

lifler hacimce 0.6 kg/m^3 miktarında ilave edilmiştir. Polipropilen liflerin basınç dayanımını %5.8, yarmada çekme dayanımını ise %9.7 arttırdığı bildirilmiştir. Darbe deneyinde ise polipropilen lifin ilk çatlak oluşumu için ortalama düşüş sayısını %11.9, kırılma için düşüş sayısını %17 arttırdığı rapor edilmiştir. Ayrıca, erken plastik rötre çatlakları ve çökme değerinin azaldığı açıklanmıştır.

Puertas ve arkadaşları (2003), polipropilen lifli alkali ile aktif edilmiş çimento harçlarının mekanik ve durabilite davranışlarını incelemiştir. Mekanik testlerde iki farklı lif dozajı (hacimce %0.5 ve %1), rötre testinde tek lif dozajı (hacimce %1), durabilite testlerinde ise tek lif dozajı (hacimce %0.5) kullanılmıştır. Polipropilen liflerin rötreyi azalttığı, %1'e kadar lif ilavesinin mekanik davranışlara olumlu bir etkisinin olmadığı, ayrıca, elastisite modülünün etkilemediği görülmüştür. Lifin karışım büzülmesine etkisi, matris özelliklerine bağlı olduğu açıklanmıştır.

Miao ve arkadaşları (2002), yalın ve çelik lifli betonların %5 sodyum sülfat çözeltisinde donma çözülme direncini araştırmıştır. Deneylerde narinlik oranı 40 olan çelik lifi hacimce 117 kg/m^3 kullanılmıştır. S/Ç oranı 0.26, 0.32 ve 0.44, maksimum agrega tane çapı ise 10 mm olan betonlardan $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ prizma numuneler hazırlanmıştır. S/Ç oranı 0.44 ve 0.32 olan karışımların sülfat çözeltisindeki donma-çözülme bozulması, tatlı suya kıyasla biraz fazla olduğu bildirilmiştir. S/Ç oranı 0.26 olan karışımlar ise sülfat çözeltisindeki donma-çözülme etkisiyle kayda değer mertebede hasar gördüğü açıklanmıştır. Lifli betonların yalın betonlara göre sülfatlı ortamda donma-çözülme direnci bakımından daha üstün olduğu rapor edilmiştir.

Toutanji (1999), çalışmasında %5 ve %10 silis dumanı ile hacimce %0.1, %0.3 ve %0.5 oranlarında uzunluğu 6-51 mm arasında değişen fibrilize polipropilen lifli ve genleşen çimento içerikli betonun taze hal, basınç ve eğilme dayanımları, klor geçirirliliği ve aderans özeliğini araştırmıştır. Silis dumanının lifli betonlarda işlenebilirliğe ters etkisi olduğu, fakat eğilme dayanımını önemli miktarda arttırdığı bildirilmiştir. Polipropilen lif miktarının artmasıyla silis dumanı ve genleşen çimento içeren betonun pik noktasından sonraki eğilme dayanımının arttığı bildirilmiştir. Silis dumanının %5 oranında kullanımının

aderansı arttırdığını, silis dumanı içeriğinin %5'den %10'a arttırılması aderansdaki yükselme hızını azalttığı, bununla birlikte polipropilen lif kullanımının aderansı arttırdığı özellikle %10 silis dumanı içeren karışımlarda bu etkinin belirgin olduğu açıklanmıştır. Polipropilen lif eklenmesinin klor geçirimliliğine ters etki yaptığı, ancak silis dumanı eklenmesinin geçirimliliği önemli derecede düşürdüğü söylenmiştir. %5 silis dumanı ve %0.3 polipropilen lifli betona yeterli işlenebilirliği sağlarken, geçirimliliğin azalmasını sağlayan optimum oranlar olduğu belirtilmiştir.

Toutanji ve arkadaşları (1998), çalışmalarında %0, %0.1, %0.3 ve %0.5 olmak üzere dört değişik oranda 12.5 mm ve 19 mm uzunluğundaki iki farklı polipropilen lif ve çimentonun %5 ve %10'u yerine silis dumanı içeren numuneler üzerinde permeabilite ve ACI 544 şartnamesinde verilen düşü ağırlıklı darbe deneylerini gerçekleştirmiştir. Silis dumanı içermeyen polipropilen lifli betonların permeabilitesinin yüksek olduğu görülmüştür. Silis dumanı eklenmesiyle liflerin daha iyi dağılım göstermesi ve belki de çimento matrisinin kohezifliğinin artması nedeniyle söz konusu bu artışın azaldığı vurgulanmıştır. Lif hacmi sabit kalacak şekilde lif uzunluğu küçüldüğünde silis dumanı içeren ve içermeyen betonlarda permeabilitenin azaldığı vurgulanmıştır. Ayrıca, lifli betonların darbe dayanımının silis dumanı eklenmesiyle arttığı fakat lifsiz betonlarda silis dumanı eklenmesinin kayda değer etkisi olmadığı görülmüştür.

Manolis ve arkadaşları (1997), polipropilen liflerle güçlendirilmiş beton döşemelerin dinamik özelliklerini araştırmıştır. 19 mm uzunluğundaki fibrilize polipropilen lifler hacimce %0, %0.10 ve %0.50 oranlarında betona ilave edilmiştir. 150×300 mm silindir ve 100×100×360 mm kiriş numuneler üzerinde 28 günlük standart basınç ve eğilme deneyleri ve beton döşemeler üzerinde darbe deneyleri yapmıştır. Test sonuçları hem basınç hem de eğilme dayanımları açısından lif miktarları ile dayanımlar arasında ters bir ilişki olduğunu göstermiştir. Polipropilen lif miktarının artmasıyla basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı belirtilmiştir. Ayrıca, polipropilen lif katkısının betonun darbe direncini geliştirdiği, bu gelişmenin lif oranının artışıyla arttığı ve doğal frekans üzerinde bir etkisi olmadığı rapor edilmiştir.

Furlan ve Hanai (1997), çalışmalarında farklı tiplerde çelik ve polipropilen lifli etriyeli ve etriyesiz kirişlerin özelliklerini incelenmiştir. S/Ç oranı sabit 0.45 olan yedi farklı karışımda, 42mm uzunluğunda ve 0.05 mm çapında polipropilen lif hacimce %0.5 oranında, $0.2 \times 2.3 \text{ mm}^2$ dikdörtgen kesit alanına sahip ve 25.4 mm uzunluğundaki kıvrılmış çelik lif hacimce %1.0 ve %2.0, 38.1 mm uzunluğundaki kıvrılmış çelik lifi hacimce %0.5, %1.0 ve %2.0 oranlarında kullanılmıştır. Etriyesiz kirişlerin kesme kırılması gösterdiği bildirilmiştir. Fakat, lifli kirişlerde lif hacmine bağlı olarak, kesme dayanımının %9 ile %37 arasında arttığı açıklanmıştır. Liflerin, çatlak sonrası kirişte rijitlik artışı sağladığı ve çatlak kontrolünde daha etkili olduğundan sehimini azalttığı bildirilmiştir. Çelik ve polipropilen liflerin farklı davrandığı görülmüştür. Polipropilen liflerin daha az etkin olduğu ve bu olayın liflerin düşük elastik modülünden kaynaklandığı açıklanmıştır. Liflerin ilavesi betonun işlenebilirliğini azaltmıştır, özellikle narinlik oranı oldukça yüksek olan polipropilen liflerde bu etki daha da çarpıcı olmuştur. Uzun çelik liflerin betonun çekme dayanımını az miktarda arttırdığı, kısa çelik liflerin ise betonun elastisite modülünü arttırdığı rapor edilmiştir. Lifli betonlarda çatlamanın yavaşladığı bununla sehimini azalttığı belirtilmiştir. %2 çelik lif etriyesiz kirişlerde sünekliliği arttırdığı bildirmiştir. Lifi kesme dayanımını arttırdığı ve etriyeli kirişte kırılma modunu kesmeden eğilmeye çevirdiği açıklanmıştır. Bu durumun, söz konusu deney koşulunda liflerin daha etkili olduğundan kaynaklandığı bildirilmiştir.

Eren ve Çelik (1997), yaptıkları çalışmada silis dumanının ve çelik lif tiplerinin, çelik lifli yüksek dayanımlı betonların (ÇLTyDB) özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışmada silis dumanı çimento ağırlığının %5 ve %10'u olmak üzere iki oranda kullanılmıştır. Karışımlara uzunluk/çap oranı 30/0.5, 60/0.8 ve 50/0.6 (mm/mm) üç farklı kancalı çelik lif hacimce %0.5, %1 ve %2 oranında katılmıştır. Silis dumanının basınç dayanımına etkisi olmasına karşın, çelik liflerin miktarı ve narinliği basınç dayanımını çok az etkilediği belirtilmiştir. Katılan liflerin çap ve miktarlarını artırmanın ÇLTyDB'lerin Ve-be zamanını artırdığını, türünden bağımsız olarak çelik lif içeriğinin artırılmasıyla taze ÇLTyDB'lerin hava içeriğinin azaldığı açıklanmıştır. %2 oranında narinliği 60 olan lif içerikli betona %10 silis dumanı eklenmesiyle yarmada çekme dayanımının %130 arttığı bildirilmiştir. Betonun yarmada çekme dayanımını ile lif içeriği ve yarmada

çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasında kuvvetli bir lineer ilişki olduğu gösterilmiştir. Kontrol karışımına %10 oranında silis dumanı ve %1 oranında narinlik oranı 60 olan lifin eklenmesiyle %28 mertebesinde basınç dayanımında artış sağlanmıştır. Bu değerin kaydedilen en yüksek dayanım artışı yüzdesi olduğu bildirilmiştir. Ancak, narinlik oranı 75 olan liflerin %2 oranında kullanılmasıyla betonun basınç dayanımında %41 oranında azalma olduğu rapor edilmiştir.

Sanjuan ve Moragues (1996), çalışmalarında polipropilen lifli harç karışımlarının plastik rötresini minimize etmek için bir optimizasyon çalışması yapmıştır. Seçilmiş metot, çimento / kum oranı ($\frac{ç}{k}$), s/ç oranı ve polipropilen lif katkısı incelen parametrelere olan deneylerin faktoriyel tasarımı, esnasında olduğu bildirilmiştir. Sonuçta, harcın plastik rötresini etkileyen parametrelerin $\frac{ç}{k}$ oranı ve s/ç oranı olduğu açıklanmıştır. İki parametrenin beraber olan etkisi, s/ç oranının tek başına etkisinden daha fazla olduğu bildirilmiştir. Lif miktarının artışı plastik rötreği azalttığı, ama diğer faktörlere göre daha az etkisi olduğu rapor edilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri, çalışma programı, karışım oranları, karışımların hazırlanması ve üretilen lifli harçların üzerinde yapılan deneyler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

4.1 Kullanılan Malzeme

4.1.1 Çimento

Tez çalışmasının bütün aşamalarında İzmir Çimentaş fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan çimento tek seferde temin edilip, rutubet almaması için kapalı varillerde deneyler süresince muhafaza altına alınmıştır. Çimentonun üretici firma tarafından verilen kimyasal kompozisyonu Tablo 4.1’de, fiziksel özellikleri ise Tablo 4.2’de verilmiştir. Tablo 4.2’de belirtilen çimentonun ana bileşenleri Bogue denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 4.1 Çimentonun kimyasal bileşimi

İçerik	Miktar (%)	TS EN 197-1 standardı uygunluk kriterleri
SiO ₂	18.53	
Al ₂ O ₃	5.01	
Fe ₂ O ₃	2.74	
CaO	63.51	
MgO	1.06	≤ %5
Na ₂ O	0.40	
K ₂ O	0.75	
SO ₃	3.14	≤ %3.5
Cl	0.004	≤ %0.10
Kızdırma Kaybı	2.24	≤ %5
Çimento ana bileşenleri (karma oksitler)		
C ₃ S	64.21	
C ₂ S	11.39	
C ₃ A	7.92	
C ₄ AF	10.27	

Tablo 4.2 Çimentonun meknik ve fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler		CEM I 42.5 R	TSEN 197-1 standardı uygunluk kriterleri
Özgürlük		3.13	
Basınç dayanımı (MPa)	2 Günlük	24.3	≥ 20 MPa
	7 Günlük	39.9	
	28 Günlük	47.0	≤ 62.5 MPa , ≥ 42.5 MPa
İncelik	Blaine özgül yüzeyi (cm ² /g)	2990	
	0.090 mm elek üstünde kalan (%)	1.0	
	0.032 mm elek üstünde kalan (%)	22.4	
Priz süresi (saat:dakika)	Başlangıç	2:50	≥ 60 dakika
	Bitiş	4.35	----
Normal kıvam (%)		28.2	----

4.1.2 Su

Tüm deneysel karışımların hazırlanmasında şehir şebekesinde sağlanan musluk suyu kullanılmıştır.

4.1.3 Mikrolifler

Bu çalışmada, polipropilen (PP), polivinilalkol (PVA) ve çelik olmak üzere üç farklı mikrolif Draco firmasından temin edilmiştir. Üretici firması tarafından verilen mikroliflerin bazı özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Ayrıca, mikroliflerin görünüşleri Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Mikroliflerin teknik özellikleri

Teknik özellikler	Çelik	Polipropilen (PP)	Polivinilalkol (PVA)
Yoğunluğu	7.75 (g/cm ³)	0.91 (g/cm ³)	1.30 (g/cm ³)
Çapı	0.18 - 0.20 (mm)	18 (mikron)	---
Uzunluğu	6 (mm)	3 - 6 - 10 (mm)	6 - 10 (mm)
Çekme Dayanımı	≥ 2000 (MPa)	400-600 (MPa)	600 - 900 (MPa)
Elastisite Modülü	190 000 (MPa)	3500 (MPa)	3500 (MPa)
Su Emmesi	---	% 0.01	% 0.01 - % 0.02
Kopma Uzmanı	≤ %1	≤ % 80	---
Rengi	---	Beyaz	Bej
Kullanım Oranı	---	0.6 - 1.2 (kg/m ³)	1 (kg/m ³)
Ambalajı	---	0.6 - 0.9 - 1.2 (kg)	---
Tipi	Düz	Monofilament	---
Ürünün Ticari adı	Goldmix	Micro Graminflex PP	Micro Graminflex PVA
İlgili Standardi	TSE 10513	---	---



Şekil 4.1 Polipropilen mikrolifi



Şekil 4.2 PVA mikrolifi



Şekil 4.3 Çelik mikrolifi

4.1.4 Agregat

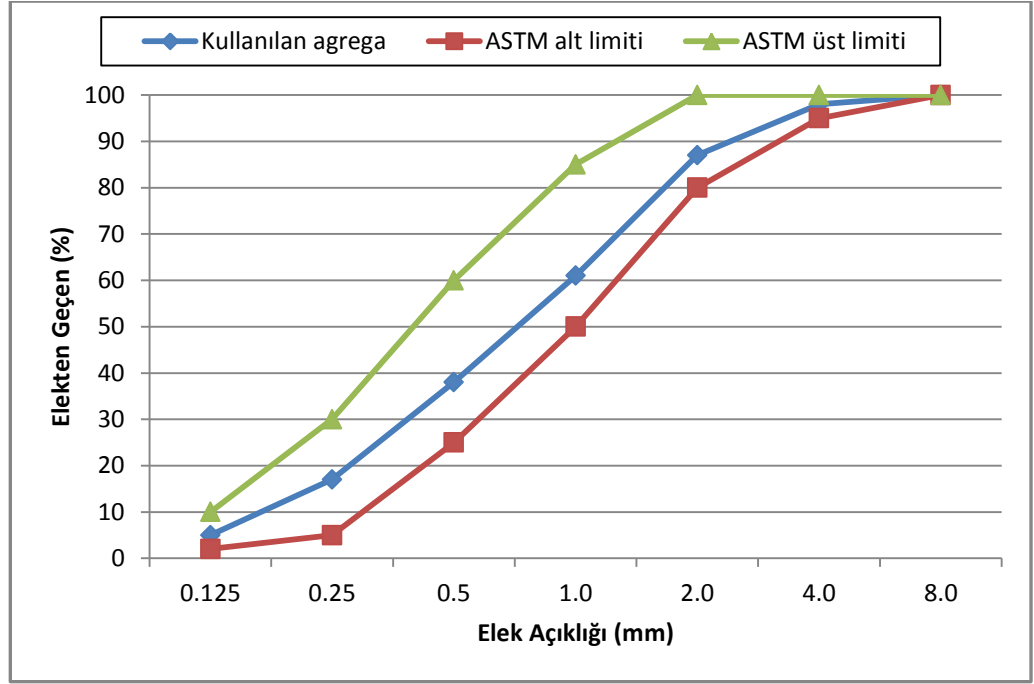
Çalışmada kullanılan ince agregat Dere Madencilik A.Ş.'den temin edilen (0-5 mm) kalker esaslı kırma kireç taşıdır. 0.125 mm'lik elekten geçen malzeme miktarı %8 olarak belirlenmiştir. Agregat deneyler süresince kuru ve nemsiz ortamda muhafaza edilmiştir. Agregatın elek analizi ve fiziksel özellikleri Tablo 4.4 ve 4.5'de, granülometri eğrisi ise ASTM C33 standard sınırları ile birlikte Şekil 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4 Agregatın elek analizi

Elek Açıklığı (mm)	Elekte Kalan (g)	Kümülatif Kalan (g)	Elekte Kümülatif (%)	Elekten Geçen (%)
8	-	0	0	100
4	20	20	2	98
2	111	131	13	87
1	259	390	39	61
0.5	229	619	62	38
0.25	214	833	83	17
0.125	120	953	95	5
Elek Altı	47	1000	100	----

Tablo 4.5 Agregatın fiziksel özellikleri

Agregat Tane Sınıfı	0-5 (mm)
Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	1793
Görünür Özgül Ağırlık	2.63
Kuru Özgül Ağırlık	2.58
Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık	2.61
Su Emme (%)	0.67
Boşluk Yüzdesi	30.53



Şekil 4.4 Granülometri eğrisi

4.2 Deneysel Program

Deneysel çalışma için farklı karışım oranlarında toplam 10 grup harç numunesi hazırlanmıştır. Bir seri lifsiz kontrol karışımı, 3 farklı çeşitte (çelik, PP, PVA) ve 3 farklı kullanım oranında (hacimce %1, %0.75, %0.50) toplam 9 seri lifli numune üretilmiştir.

4.3 Karışım Oranları

4.3.1 Matematiksel hesaplamalar

Laboratuvarda harç karışımı için kullanılan karıştırıcının kapasitesi dikkate alınarak, harç karışımları 450 g çimento için hesaplanmıştır. Karışımların S/Ç oranı 0.485, agregat/çimento oranı ise 2.75 olarak sabit tutulmuştur.

Karışımardaki kullanılan lif ağırlıklarının hesaplamaları

$$W_{Su} / W_{Çimento} = 0.485 \quad , \quad W_{Agrega} / W_{Çimento} = 2.75$$

$$W_{Çimento} = 450 \text{ g} \longrightarrow \begin{cases} W_{Su} = 450 \times 0.485 = 218 \text{ g} \\ W_{Agrega} = 450 \times 2.75 = 1237 \text{ g} \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} V_{Su} = 218 \text{ cc} \\ V_{Çimento} = 450 / 3.13 = 144 \text{ cc} \\ V_{Agrega} = 1237 / 2.58 = 480 \text{ cc} \end{bmatrix} \longrightarrow V_{Toplam} = 218 + 144 + 480 = 842 \text{ cc}$$

$$\begin{bmatrix} \begin{aligned} &(\% 1 \text{ hacimce}) \text{ Lif oranı} \\ &842 \times 0.01 = 8.42 \text{ cc} \end{aligned} \longrightarrow \begin{cases} W_{Çelik} = 65.25 \text{ g} \\ W_{PP} = 7.66 \text{ g} \\ W_{PVA} = 10.95 \text{ g} \end{cases} \\ \\ \begin{aligned} &(\% 0.75 \text{ hacimce}) \text{ Lif oranı} \\ &842 \times 0.0075 = 6.31 \text{ cc} \end{aligned} \longrightarrow \begin{cases} W_{Çelik} = 49 \text{ g} \\ W_{PP} = 5.74 \text{ g} \\ W_{PVA} = 8.20 \text{ g} \end{cases} \\ \\ \begin{aligned} &(\% 0.50 \text{ hacimce}) \text{ Lif oranı} \\ &842 \times 0.0050 = 4.21 \text{ cc} \end{aligned} \longrightarrow \begin{cases} W_{Çelik} = 33 \text{ g} \\ W_{PP} = 3.83 \text{ g} \\ W_{PVA} = 5.47 \text{ g} \end{cases} \end{bmatrix}$$

1 (m³)’teki kullanılan malzemelerin ağırlıklarının hesaplamaları

$$V = 1 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{Dönüştürme oranı} = 1 / 0.842 = 1.19$$

$$V_{\text{Su}} = 0.218 \times 1.19 = 0.259 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{Su}} = 0.259 \times 1000 = 259 \text{ kg}$$

$$V_{\text{Çimento}} = 0.144 \times 1.19 = 0.170 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{Çimento}} = 0.170 \times 3130 = 532 \text{ kg}$$

$$V_{\text{Agrega}} = 0.480 \times 1.19 = 0.571 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{Agrega}} = 0.571 \times 2580 = 1473 \text{ kg}$$

(% 1 hacimce) Lif oranı

$$1 \times 0.01 = 0.01 \text{ (m}^3\text{)} = 10 \text{ lt}$$

$$W_{\text{Çelik}} = 77.5 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{PP}} = 9.1 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{PVA}} = 10.3 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

(% 0.75 hacimce) Lif oranı

$$1 \times 0.0075 = 0.0075 \text{ (m}^3\text{)} = 7.5 \text{ lt}$$

$$W_{\text{Çelik}} = 58.12 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{PP}} = 6.82 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{PVA}} = 9.75 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

(% 0.50 hacimce) Lif oranı

$$1 \times 0.0050 = 0.005 \text{ (m}^3\text{)} = 5 \text{ lt}$$

$$W_{\text{Çelik}} = 38.75 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{PP}} = 4.55 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{PVA}} = 6.5 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

4.3.2 Karışım oranları

Önceki bölümde elde edilen veriler Tablo 4.6’da verilmiştir. Bu veriler bir m³ karışımda kullanılan malzemelerin kg olarak ağırlıklarıdır. Deney esnasında, karışımların gerçek birim hacim ağırlıkları ölçülerek karışım oranlarında gereken düzeltmeler yapılmıştır. Düzeltilmiş karışım oranları Tablo 4.7’de sunulmuştur.

Tablo 4.6 Teorik karışım oranları (kg/m³)

Harç kodu	Çimento	Su	Agrega	Mikrolif			Birim hacim ağırlığı (kg/m ³)
				Çelik	PP	PVA	
Kontrol	532	259	1473	----	----	----	2264
% 1 Çelik	532	259	1473	77.5	----	----	2341
% 0.75 Çelik	532	259	1473	58.12	----	----	2322
% 0.50 Çelik	532	259	1473	38.75	----	----	2303
% 1 PP	532	259	1473	----	9.1	----	2273
% 0.75 PP	532	259	1473	----	6.82	----	2271
% 0.50 PP	532	259	1473	----	4.55	----	2269
% 1 PVA	532	259	1473	----	----	10.3	2274
% 0.75 PVA	532	259	1473	----	----	9.75	2274
% 0.50 PVA	532	259	1473	----	----	6.5	2270

Tablo 4.7 Düzeltilmiş karışım oranları (kg/m³)

Harç kodu	Çimento	Su	Agrega	Mikrolif			Birim hacim ağırlığı (kg/m ³)
				Çelik	PP	PVA	
Kontrol	525	255	1455	----	----	----	2235
% 1 Çelik	513	250	1422	74.86	----	----	2260
% 0.75 Çelik	519	253	1439	56.78	----	----	2268
% 0.50 Çelik	524	255	1452	38.20	----	----	2270
% 1 PP	499	242	1381	----	8.53	----	2131
% 0.75 PP	506	246	1402	----	6.49	----	2161
% 0.50 PP	515	243	1386	----	4.28	----	2149
% 1 PVA	500	243	1386	----	----	9.69	2139
% 0.75 PVA	510	248	1412	----	----	9.35	2179
% 0.50 PVA	517	251	1431	----	----	6.31	2205

4.4 Karışımların Hazırlanması

Tüm karışımların dökümü esnasında aşağıda belirtilen esaslara uyulmuş ve aynı hassasiyet gösterilmiştir. Taze harçların üretilebilmesi için kullanılan tüm malzemeler (çimento, ince agrega, su ve mikrolifler) 0.1 g hassasiyetli terazide tartılarak hazırlanmıştır. İlk başta çimento ve su, 45 saniye mikserde karıştırılıp, sonra tepsi içinde iyice karıştırılan ince agrega ve mikrolif mikserde ilave edilip 120 saniye boyunca karıştırılmıştır. Göz ile yapılan kontrolde, 120 saniye karıştırma süresi homojen bir karışım elde etmek için yetersiz kalan durumlarda karıştırma işlemi 120 saniyeden fazla tutulmuştur. Kalıplara yerleştirmeden önce karışımların yayılma ölçülmüştür. Üretilen harç, önceden yağlanan kalıplara iki kademede tablalı vibratör cihazı üzerinde 20 saniye sıkıştırma enerjisi uygulanarak yerleştirilmiş ve numunenin üst yüzeyi mala ile temizlenip düzeltilmiştir. Her deney için her karışımdan üçer adet örnek hazırlanmıştır. Nemli ortamda 24 saat bekledikten sonra kalıplarından çıkarılan, sülfat deneyine tabi tutulan dışındaki tüm numunelere 28 gün boyunca standart su kürü uygulanmıştır. Tezde sunulan değerler tüm deneylerde üç numuneden alınan ortalama değerdir.

4.5 Çalışma Kapsamında Uygulanan Deneyler

Bu çalışmada sertleşmiş harçlar üzerinde 8 farklı deneyin yapılması için toplam 300 adet numune hazırlanmıştır. Uygulanan deneyler için hazırlanan numunelerin sayıları ve boyutları Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8 Uygulanan deneyler için hazırlanan numunelerin sayıları ve boyutları

	Deney	Numune Sayısı	Numune Boyutu (mm)
1	Yayılma	---	---
2	Su emme	30	40×40×160
3	Kapiler su emme	30	40×40×160
4	Basınç dayanımı	30	50×50×50
5	Yarmada çekme dayanımı	30	
6	Donma-çözülme	90	
7	Büzülme	30	25×25×285
8	Sülfat direnci	60	
9	Eğilme dayanımı	30	40×40×160

4.5.1 Yayılma deneyi

Kalıplara yerleştirmeden önce karışımların yayılma çapları TS EN 1015-3 “Kagir harcı-deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini” standardına uygun olarak yapılmıştır.

4.5.2 Su emme deneyi

Her karışım için 3'er adet toplam 30 adet 40×40×160 mm ayrıtlı prizmatik numuneler üzerinde TS EN 3624 “Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayini” standardına uygun olarak su emme deneyi yapılmıştır. Şöyleki deney numuneleri 14 gün suda bekledikten sonra, 100°C – 110°C arasındaki sıcaklıkta bir etüvde, 24 saat kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan deney numuneleri kuru havada, oda sıcaklığına soğutulduktan sonra tartılmıştır. Numuneler sabit ağırlığa gelene kadar su içinde bekletilmiştir. Numunelerin su emdikten sonraki ağırlığı ile kuru ağırlığı arasındaki fark hesaplanmıştır.

4.5.3 Kapiler su emme deneyi

Su emme deneyine tabi tutulan numuneler, kapiler su emme deneyi için kullanılmıştır. Numunelerin su emme işlemi sadece alt yüzeylerinden gerçekleşmesi için numunelerin yan tarafları yaklaşık 2 cm boyunda silikon ile kaplanmıştır. Silikon kaplamalı olan fırın kurusu numuneler, ağırlıkları tartıldıktan sonra sadece alt yüzeylerinden su emebilecek dik durumda 5 mm su derinliğine sahip olan bir tepside 7 gün boyunca tutulmuştur (Şekil 4.5). 7. gün sonundaki numunelerin ağırlıklarındaki artış yüzdesi hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 Kapiler su emme numuneleri ve kullanılan tepsi

4.5.4 Basınç dayanımı deneyi

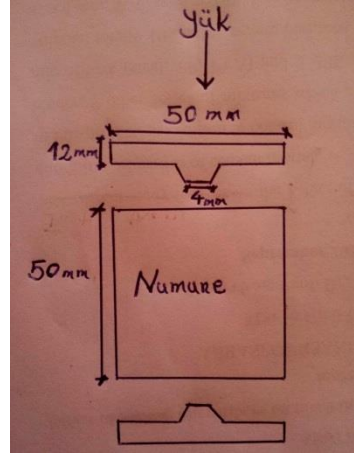
Karışımların basınç dayanımı 50 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Numuneler 200 ton kapasitesi olan preste 0.15-0.35 MPa/s hızında deneye tabi tutulmuştur. Şekil 4.6’da dayanım deneyleri için üretilen 50 mm ayrıtlı küp numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Dayanım deneyleri için üretilen 50 mm küp numuneler

4.5.5 Yarmada çekme dayanımı deneyi

Yarmada çekme deneyi Şekil 4.7’de gösterildiği gibi 50 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde yapılmıştır.



Şekil 4.7 Yarmada çekme deneyi uygulama düzeni

4.5.6 Donma-çözülme deneyi

Çalışmada uygulanan donma-çözülme deneyi yöntem olarak ASTM C 666 “Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing” Standardına uygun olarak yapılmıştır. Şöyleki, 50 mm ayrıtlı harç numuneler, 180 dakika süre ile donma sıcaklığı olan -18 ± 2 °C’de ardından 60 dakika içinde çözülme sıcaklığı olan 5 ± 2 °C’ye getirilmiştir. Numunelerin 50, 100 ve 150 çevrimden sonra ağırlık ve basınç dayanımı kayıpları belirlenmiştir.



Şekil 4.8 Donma-çözülme deneyinde kullanılan cihaz

4.5.7 Büzülme deneyi

Büzülme deneyi için Şekil 4.8’de gösterildiği gibi 25×25×285 mm boyutunda numune hazırlanmıştır. Numuneler 28 gün suda bekledikten sonra, %50 ± 10 bağıl nem ve 23 °C sıcaklıkta olan ortamda 71 hafta boyunca muhafaza edilmiş ve düzenli olarak 0.001 mm hassasiyete sahip cihazla boy değişimleri ölçülmüştür. Büzülme değerleri numunenin kurumadan önceki boyu (L_0) ve belirli periotlarda ölçülen boyu dikkate alınarak aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır. Burada 250 mm numunenin ölçü boyu, L_0 kurumadan önceki orjinal boyu ve L_f ise kurama esnasında gösterdiği boydur.

$$\text{Büzülme} = ((L_0 - L_f) / 250 \text{ mm}) \times 100$$



Şekil 4.9 Büzülme deneyine tabi tutulan 25×25×285 mm’lik çubuklar

4.5.8 Sülfat direnci deneyi

Karışımların sülfat direncini tesbit etmek amacıyla ASTM C1012 “Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution” standartına istinaden 25×25×285 mm boyutunda prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Aynı harçtan üretilen küp numunenin basınç

dayanımı 20 MPa'a ulaştıktan sonra, söz konusu çubukların yarısı %5 derişiminde Na_2SO_4 çözeltisinde, diğer yarısı ise %4.2 derişiminde MgSO_4 çözeltisinde 71 hafta boyunca $23 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta bekletilmiştir.

Çözeltiler içerisine konulan numunelerin altına çubuklar yerleştirerek numunelerin her yerine sülfatın aynı şekilde nüfuz etmesi sağlanmıştır. Çözeltiler 3 haftalık süre ile yenilenmiştir.

Numunelerin boy ölçümlemlerini almak için Şekil 4.10'da gösterilen, 0.001mm'lik hassasiyete sahip olan cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz her ölçüm öncesi kalibrasyon çubuğu ile kalibre edilmiştir. Numunelerin boy değışimi % olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.10 Boy ölçme cihazı

4.5.9 Eğilme dayanımı deneyi

Numunelerin eğilme dayanımları TS EN 12390-5 ‘‘Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini’’ standardına uygun olarak üç noktalı yükleme yöntemi ile yapılmıştır. Eğilme dayanımının belirlenmesi için her karışımından 3'er adet, toplam 30 adet

40×40×160 mm ayrıtlı prizmatik numuneler 14 gün suda bekledikten sonra deneye tabi tutulmuştur. Numunelerin eğilme dayanımları aşağıdaki denklem kullanılarak bulunmuştur. Ayrıca, numunelerin tokluk değerleri Excel programı kullanarak her numune için elde edilen yük-sehim eğrisinin altında kalan alan olarak hesaplanmıştır. Tezde sunulan değerler üç numunenin ortalama değeridir. Bu deney için Gediz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Labratuvarındaki Şekil 4.11’de gösterilen MTS markalı cihaz kullanılmıştır.

$$\text{Eğilme dayanımı (MPa)} = (3F \times L) / (2D_1 \times D_2^2)$$

Burada ;

F = Deney presinde kırılma anındaki en büyük yük, (N),

L = Yükleme tablası mesnetleri arasındaki açıklık, (120 mm),

D₂ = Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği, (40 mm),

D₁ = Kırılma kesitinin ortalama genişliğidir (40 mm).



Şekil 4.11 Eğilme dayanımı deneyi için kullanılan pres

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

5.1 Yayılma Deneyi Sonuçları

Karışımların yayılma değerleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Kaydedilen en yüksek değer 22 mm olarak kontrol karışımına, en düşük değer ise 15 mm olarak %1 PP Karışımına aittir. Kullanılan Lif türünden bağımsız olarak lif oranı azalınca yayılma çapı yükselmiştir.

Tablo 5.1 Karışımların yayılma çapları (mm)

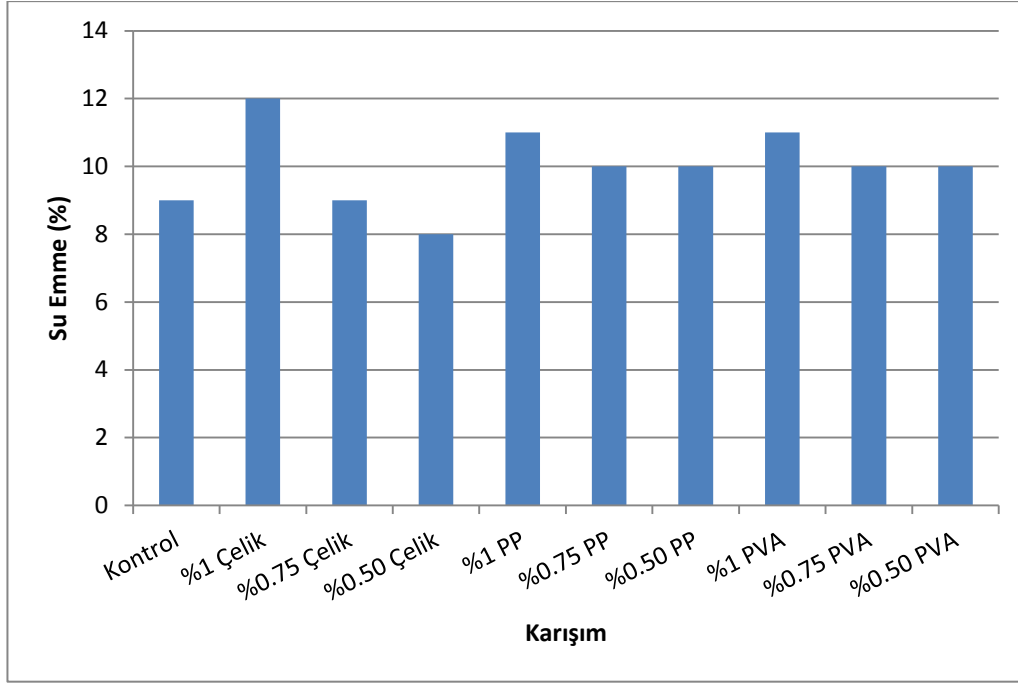
Karışım	Yayılma Çapı (mm)
Kontrol	220
%1 Çelik	190
%0.75 Çelik	205
%0.50 Çelik	210
%1 PP	150
%0.75 PP	165
%0.50 PP	175
%1 PV	155
%0.75 PV	165
%0.50 PV	180

5.2 Su Emme Deneyi Sonuçları

Numunelerin su emme değerleri Tablo 5.2 ve Şekil 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.2 Tüm karışımların su emme değerleri

Karışım	Kuru Ağırlık (g)	Islak Ağırlık (g)	Ağırlık Artışı (g)	Su Emme (%)
Kontrol	605	659	54	9
%1 Çelik	619	693	74	12
%0.75 Çelik	603	657	54	9
%0.50 Çelik	617	666	49	8
%1 PP	603	669	66	11
%0.75 PP	614	676	62	10
%0.50 PP	602	662	60	10
%1 PVA	630	699	69	11
%0.75 PVA	619	681	62	10
%0.50 PVA	600	660	60	10



Şekil 5.1 Karışımların su emme değerleri

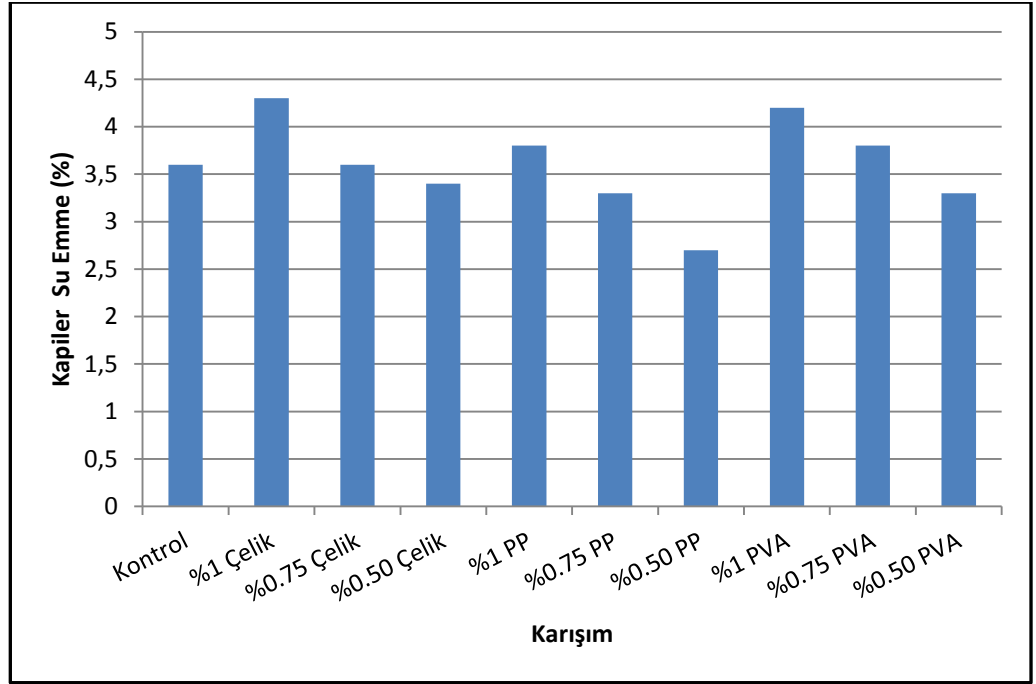
Görüldüğü gibi, harçlara lif ilavesi daha fazla su emme'ye yol açmıştır. En az su emme yüzdesini %0.50 Çelik karışımı gösterirken, %1 Çelik karışımı en fazla su emme yüzdesine sahiptir. Lif türünden bağımsız olarak %1 lif içeren karışımlar en fazla su emme göstermektedir. Önceki bölümlerde'de vurgulandığı gibi bu karışımlarda porozitenin artması daha fazla su emme'ye yol açmıştır.

5.3 Kapiler Su Emme Deneyi Sonuçları

Numunelerin kapiler su emme değerleri Tablo 5.3 ve Şekil 5.2'de verilmiştir. Verilen değerler dikkate alındığında, kullanılan lif yüzdesi arttıkça kapiler su emme yüzdeside artmıştır. Kaydedilen en düşük değer % 2.7 olarak %50 PP karışımına, en yüksek değer ise % 4.3 olarak %1 Çelik karışımına aittir.

Tablo 5.3 Karışımların kapiler su emme değerleri

Karışım	Kuru Ağırlık (g)	Islak Ağırlık (g)	Ağırlık Artışı (g)	Kapiler Su Emme (%)
Kontrol	612	634	22	3,6
%1 Çelik	626	653	27	4,3
%0.75 Çelik	610	632	22	3,6
%0.50 Çelik	624	646	22	3,4
%1 PP	610	634	24	3,8
%0.75 PP	622	643	21	3,3
%0.50 PP	609	626	17	2,7
%1 PVA	637	664	27	4,2
%0.75 PVA	626	650	24	3,8
%0.50 PVA	608	628	20	3,3



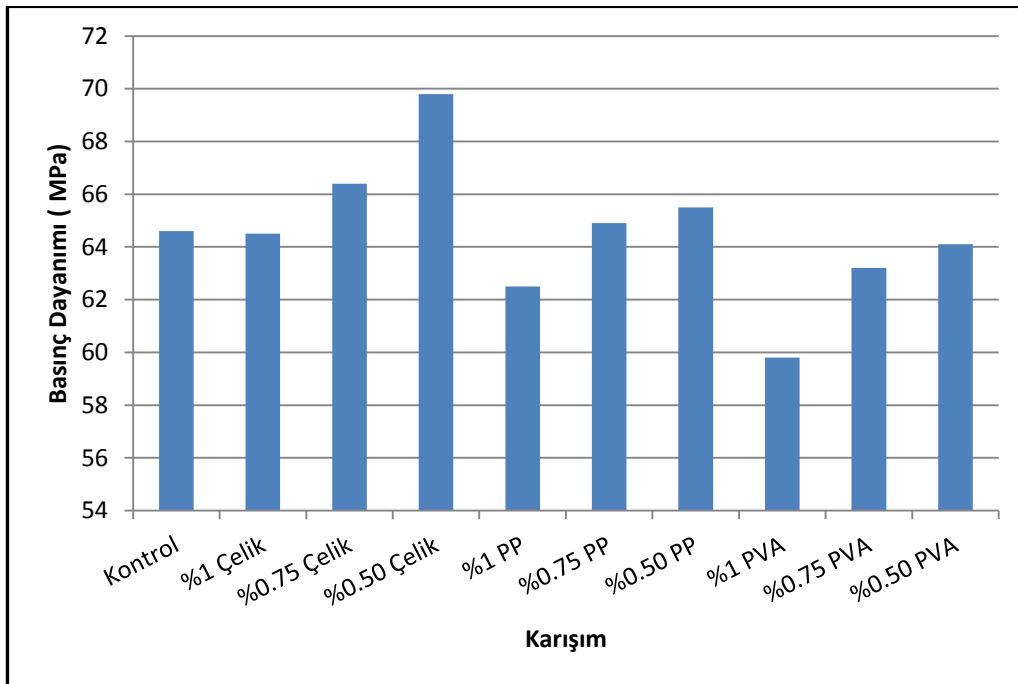
Şekil 5.2 Karışımların kapiler su emme değerleri

5.4 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Tüm numunelerin 28-günlük basınç dayanımı değerleri Tablo 5.4'te, sonuçların grafiği ise Şekil 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.4 28-günlük basınç dayanımı değerleri (MPa)

Krişim	Basınç Dayanımı (MPa)				Standart Sapma (MPa)
	1	2	3	Ortalama	
Kontrol	62,30	65,70	65,80	64,60	1,63
%1 Çelik	59,40	63,90	70,20	64,50	4,43
%0.75 Çelik	69,70	64,60	64,90	66,40	2,34
%0.50 Çelik	73,80	70,70	64,90	69,80	3,69
%1 PP	56,90	61,90	68,70	62,50	4,84
%0.75 PP	60,60	63,30	70,80	64,90	4,32
%0.50 PP	65,40	70,20	60,90	65,50	3,80
%1 PVA	64,70	60,10	54,60	59,80	4,13
%0.75 PVA	66,30	64,40	58,90	63,20	3,14
%0.50 PVA	59,20	68,10	65,00	64,10	3,69



Şekil 5.3 28-günlük basınç dayanımı sonuçların grafiği

Tablo 5.4 ve Şekil 5.3'te verilen basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde; kaydedilen en yüksek ve en düşük 28-günlük basınç dayanımı değerleri sırasıyla %0.50 Çelik numunelerinde 69.8 MPa ve %1PVA numunelerinde 59.8 MPa olmuştur.

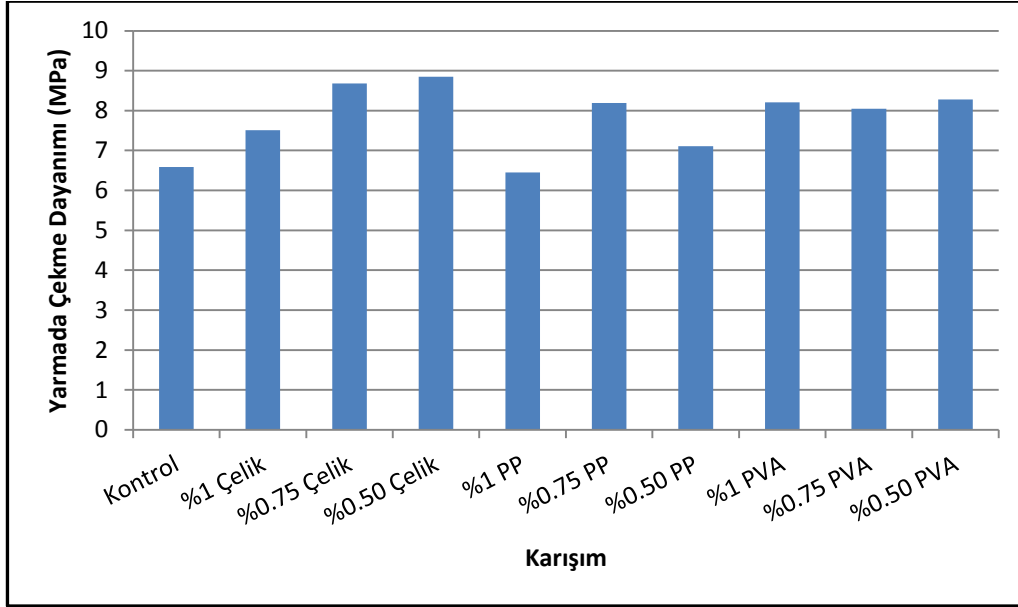
PP ve PVA liflerin ilavesinin harç numunelerin 28-günlük basınç dayanımına kayda değer etkisi olmadığı görülmüştür. Ancak, %1 PP ve özellikle %1 PVA numunelerinde, lifler 28-günlük basınç dayanımı değerlerini %7'ye kadar düşürdüğü anlaşılmıştır. Bu olayın, söz konusu lifli karışımların işlenebilirliğinin az olduğundan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Çelik liflerin (%1 Çelik hariç) ise 28-günlük basınç dayanımı üzerinde olumlu etkisi olduğu ve özellikle %0.50 Çelik numunelerinde %8 civarında bir artış sağladığı söz konusudur. Ayrıca, lif çeşitinden bağımsız olarak lif içeriği arttıkça dayanımların olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir.

5.5 Yarmada Çekme Dayanımı Deneyleri Sonuçları

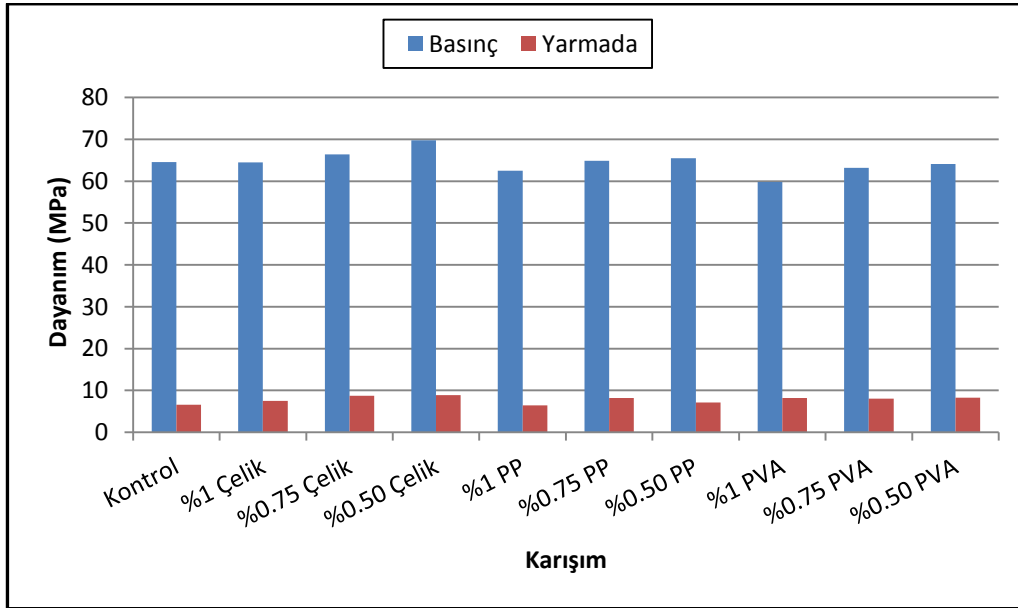
Harç numunelerin 28-günlük yarmada çekme dayanımı değerleri Tablo 5.5'de, grafiği ise Şekil 5.4'te verilmiştir. Bunlara ilaveten, basınç ve yarmada çekme dayanımı değerleri Şekil 5.5'te kıyaslanmıştır.

Tablo 5.5 Yarmada çekme dayanımı değerleri

Karışım	Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri (MPa)	Standart Sapma (MPa)
Kontrol	6,59	1,43
%1 Çelik	7,51	3.32
%0.75 Çelik	8,68	3.21
%0.50 Çelik	8,85	2.94
%1 PP	6,45	3.92
%0.75 PP	8,19	3.73
%0.50 PP	7,11	3,24
%1 PVA	8,21	2.12
%0.75 PVA	8,05	2.55
%0.50 PVA	8,28	1.98



Şekil 5.4 Yarmada çekme dayanımı değerleri



Şekil 5.5 Yarmada çekme ve basınç dayanımı değerleri

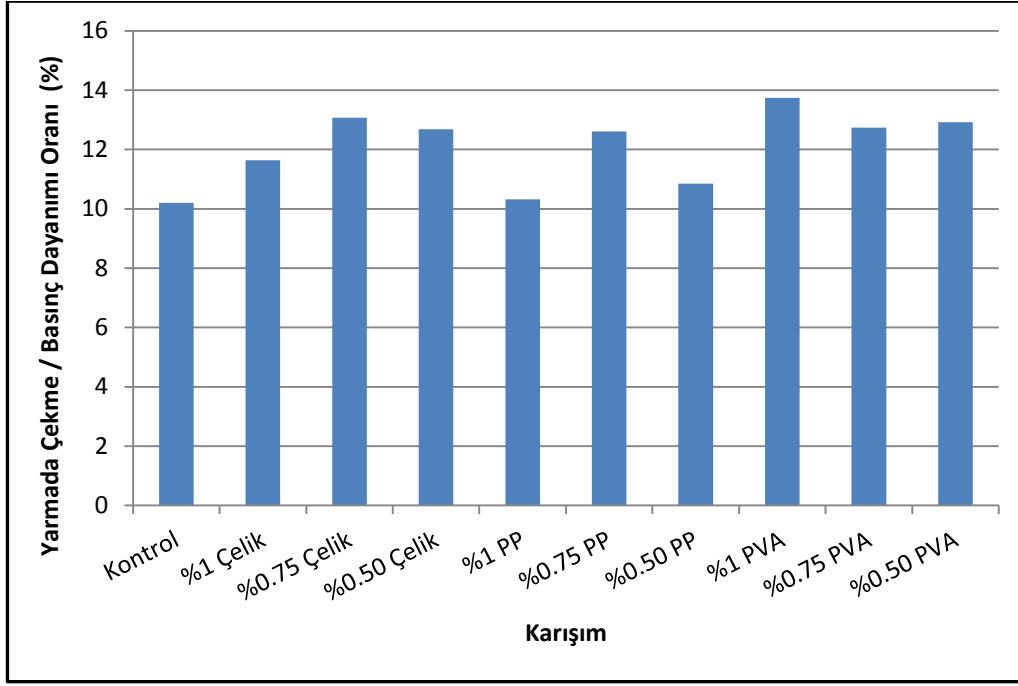
Tablo 5.5, Şekil 5.4 ve 5.5'te verilen yarmada çekme dayanımı değerleri incelendiğinde; kaydedilen en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla %0.50 Çelik numunelerinde 8.85 MPa ve %1 PP numunelerinde 6.45 MPa olmuştur. %1 PP numunelerinin en düşük işlenebilirliğe sahip olmaları bu olayın en önemli nedeni olarak değerlendirilmektedir.

Lif türünden ve kullanım oranından bağımsız olarak lif ilavesinin yarmada çekme dayanımı üzerinde etkili olduğu ve özellikle %0.50 Çelik numuneleri dayanımını %35'e kadar yükselttiği görülmektedir. Çelik lifli numunelerde lif oranı azaldıkça yarmada çekme dayanımının yükselmiştir. PVA lifli numunelerde ise tez kapsamında kullanılan lif oranları arttıkça yarmada çekme dayanımı çok fazla değişmemiştir. Ancak PVA lifi içeren karışımların ortalama yarmada çekme dayanımının kontrol numunesinden %24 mertebesinde büyük olduğu vurgulanmalıdır. PP lifli karışımlarda en yüksek yarmada çekme dayanımı %0.75 PP karışımında elde edilmiştir. Lif oranı bunun üstünde veya altında olduğunda yarmada çekme dayanımı olumsuz etkilenmiştir. Karışımların yarmada- çekme/ basınç dayanımı oranları Tablo 5.6 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.

Tablo ve Şekilden görüldüğü gibi tüm karışımlarda yarmada çekme dayanımı değerleri, basınç dayanımı değerlerinin %10 ile %14'ü arasında değişmektedir. Bu aralığın en düşük noktası kontrol numunesine ve en yüksek noktası %1 PVA numunesine aittir. Lifli numuneler arasında yarmada çekme / basınç dayanımı oranı bakımından en kötü performansı %1 PP karışımında elde edilmiştir.

Tablo 5.6 Yarmada çekme dayanımı / basınç dayanımı oranı

Karışım	Yarmada Çekme / Basınç Oranı (%)
Kontrol	10,19
%1 Çelik	11,63
%0.75 Çelik	13,07
%0.50 Çelik	12,68
%1 PP	10,31
%0.75 PP	12,61
%0.50 PP	10,84
%1 PVA	13,74
%0.75 PVA	12,74
%0.50 PVA	12,91



Şekil 5.6 Yarmada çekme / basınç dayanımı oranı

5.6 Donma Çözülme Deneyleri Sonuçları

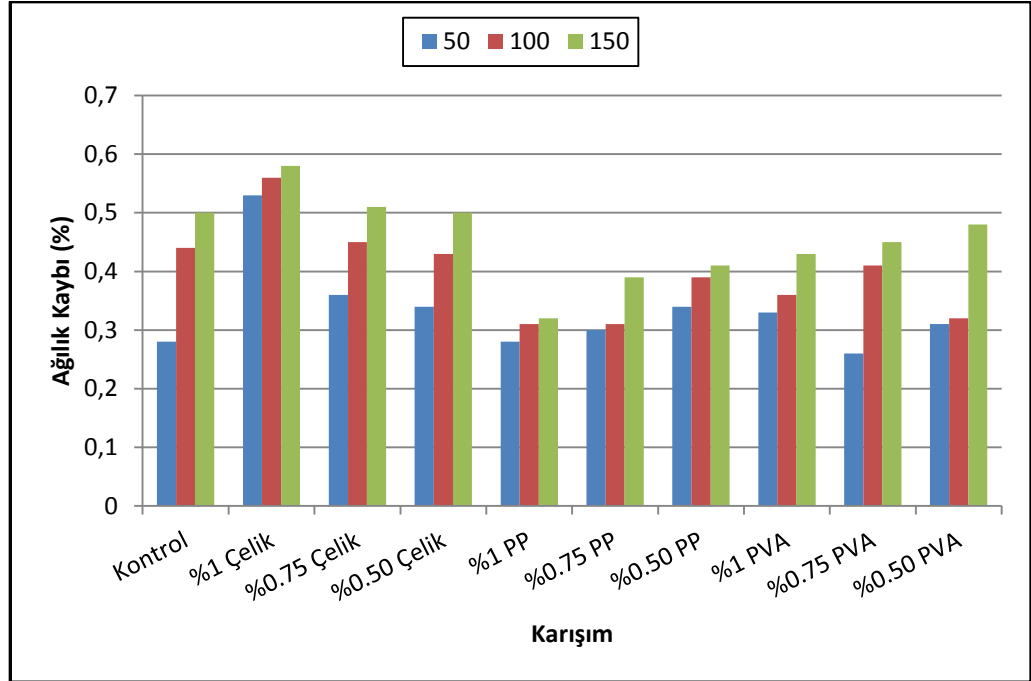
Bu bölümde 50, 100 ve 150 çevrim donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin ağırlık ve basınç dayanımı kaybı irdelenmiştir.

5.6.1 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin ağırlık kaybı

50, 100 ve 150 çevrim donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin ağırlık kaybı değeri Tablo 5.7 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin ağırlık kaybı

Karışım	Ağırlık Kaybı					
	50 Çevrim		100 Çevrim		150 Çevrim	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
Kontrol	0,83	0,28	1,33	0,44	1,50	0,50
%1 Çelik	1,60	0,53	1,70	0,56	1,76	0,58
%0.75 Çelik	1,10	0,36	1,33	0,45	1,53	0,51
%0.50 Çelik	1,05	0,34	1,30	0,43	1,51	0,50
%1 PP	0,81	0,28	0,92	0,31	0,93	0,32
%0.75 PP	0,90	0,30	0,93	0,31	1,20	0,39
%0.50 PP	1,03	0,34	1,16	0,39	1,20	0,41
%1 PVA	1,00	0,33	1,13	0,36	1,26	0,43
%0.75 PVA	0,80	0,26	1,24	0,41	1,36	0,45
%0.50 PVA	0,93	0,31	0,96	0,32	1,43	0,48



Şekil 5.7 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin ağırlık kaybı

Tablo 5.7 ve Şekil 5.7’de verilen değerler incelendiğinde; sürpriz bir sonuçla karşılaşmadığımızı beyan edebiliriz. Tüm karışımlarda çevrim sayısı arttıkça numunelerin yıpranması sonucunda ağırlık kayıpları artmıştır. PP ve PVA lifli tüm numunelerde genellikle 150 çevrim sonrasında kullanılan lif oranı azalınca, ağırlık kaybı artmıştır, çelik lifli numunelerde ise tam tersi bir sonuç görölmektedir. Çelik lifli karışımlarda lif oranı azalınca ağırlık kaybı da

azalmıştır. Ağırlık kaybı sonuçları dikkate alındığında, en az ağırlık kaybının %1 PP içeren karışımda olduğu görülmektedir.

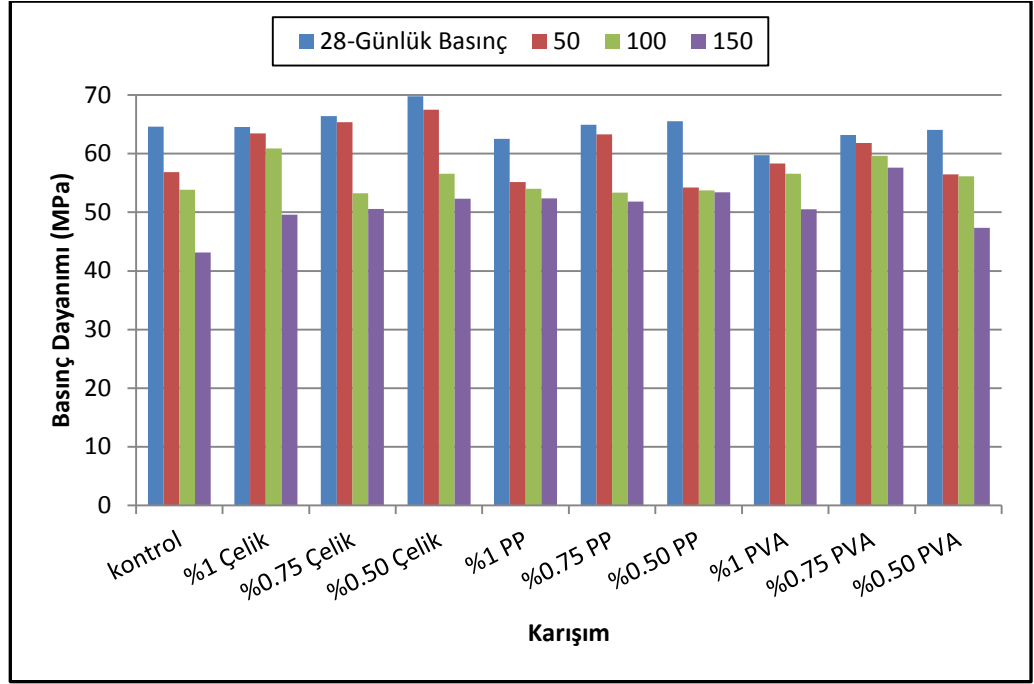
Şekil 5.7’de görüldüğü gibi ağırlık kaybına karşın sırasıyla PP, PVA ve çelik lifli karışımlar daha fazla direnç göstermektedir. PVA ve PP lifli karışımların düşük işlenebilirlik özelliği bu karışımlarda porozitenin artmasına neden olmuştur. Bu durum söz konusu karışımların su emme kapasitelerinden de anlaşılmaktadır. Bahis konusu boşluklar donma esnasında içsel basıncı azaltarak hasar oranını ve bundan dolayı ağırlık kaybını azalttığı düşünülmektedir. Çelik lifli karışımlarda ise tersi bir durum söz konusudur. Şöyleki, karışımların yüksek kompasitesi donma esnasında daha fazla hidrostatik basınç ve yıpranmaya neden olmaktadır.

5.6.2 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin dayanım kaybı

Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin 50, 100 ve 150 çevrimden sonra basınç dayanımı değeri Tablo 5.8 ve Şekil 5.8’de verilmiştir. Ayrıca, donma-çözölmeye deneyinden sonra elde edilen dayanım sonuçları, normal 28-günlük numunelerin basınç dayanımı değeri ile Tablo 5.9 ve Şekil 5.9’da kıyaslanmıştır.

Tablo 5.8 Donma-Çözölmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı değeri

Karışım	Çevrim Sayısı			
	0	50	100	150
	Basınç Dayanımı (MPa)			
Kontrol	64,60	56,85	53,82	43,13
%1 Çelik	64,53	63,47	60,88	49,61
%0.75 Çelik	66,38	65,37	53,25	50,60
%0.50 Çelik	69,81	67,52	56,60	52,326
%1 PP	62,53	55,14	53,98	52,40
%0.75 PP	64,91	63,29	53,33	51,81
%0.50 PP	65,52	54,25	53,76	53,40
%1 PVA	59,76	58,30	56,573	50,54
%0.75 PVA	63,21	61,80	59,61	57,64
%0.50 PVA	64,08	56,45	56,16	47,33

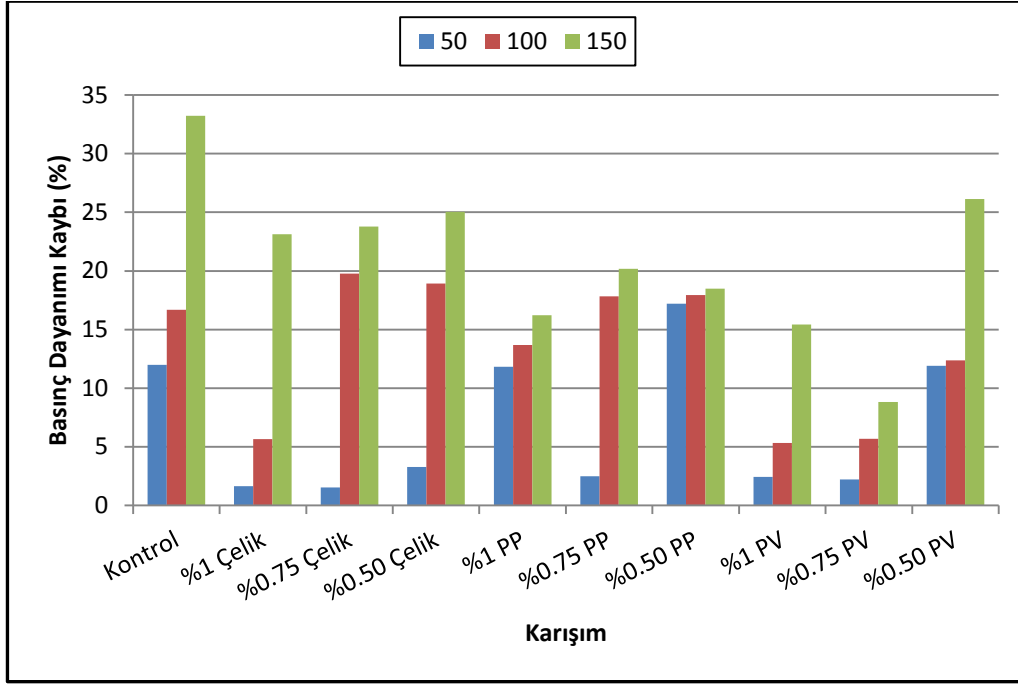


Şekil 5.8 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı değeri

Tablo 5.8 ve Şekil 5.8’de verilen değeri incelendiğinde, donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı kaybını engellemek doğrultusunda, liflerin çok etkili oldukları ortaya çıkmaktadır. Bu etki özellikle 150 çevrim sonrasındaki tüm lifli karışımların basınç dayanımı kontrol numunesiyle kıyaslandığında çok net bir şekilde görölmektedir. Donma-çözölmeye sonrası dayanım koruma bakımından düşük çevrimlerde (50 çevrimde) çelik lif içeren karışımlar daha başarılı sonuçlar verilmiştir. 150 çevrimde ise %0.75 PVA içeren karışım en az dayanım kaybına uğramıştır.

Tablo 5.9 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı kaybı (%)

Karışım	Çevrim Sayısı		
	50	100	150
Kontrol	11,99	16,68	33,23
%1 Çelik	1,65	5,66	23,12
%0.75 Çelik	1,52	19,78	23,78
%0.50 Çelik	3,28	18,92	25,04
%1 PP	11,81	13,67	16,21
%0.75 PP	2,49	17,84	20,18
%0.50 PP	17,19	17,95	18,49
%1 PVA	2,44	5,33	15,42
%0.75 PVA	2,22	5,69	8,81
%0.50 PVA	11,91	12,36	26,14



Şekil 5.9 Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı kaybı

Tablo 5.9 ve Şekil 5.9’da verilen değerlerden; 150 çevrim sonrası, kontrol karışımının %33 basınç dayanımı kaybına uğradığı, bu değerin lifli karışımlarda %8 ile %26 arasında sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır. Burdan yola çıkarak lif türünden ve kullanım oranından bağımsız olarak, liflerin 150 çevrim sonrası basınç dayanımını korumada etkili olduğu belirlenmiştir.

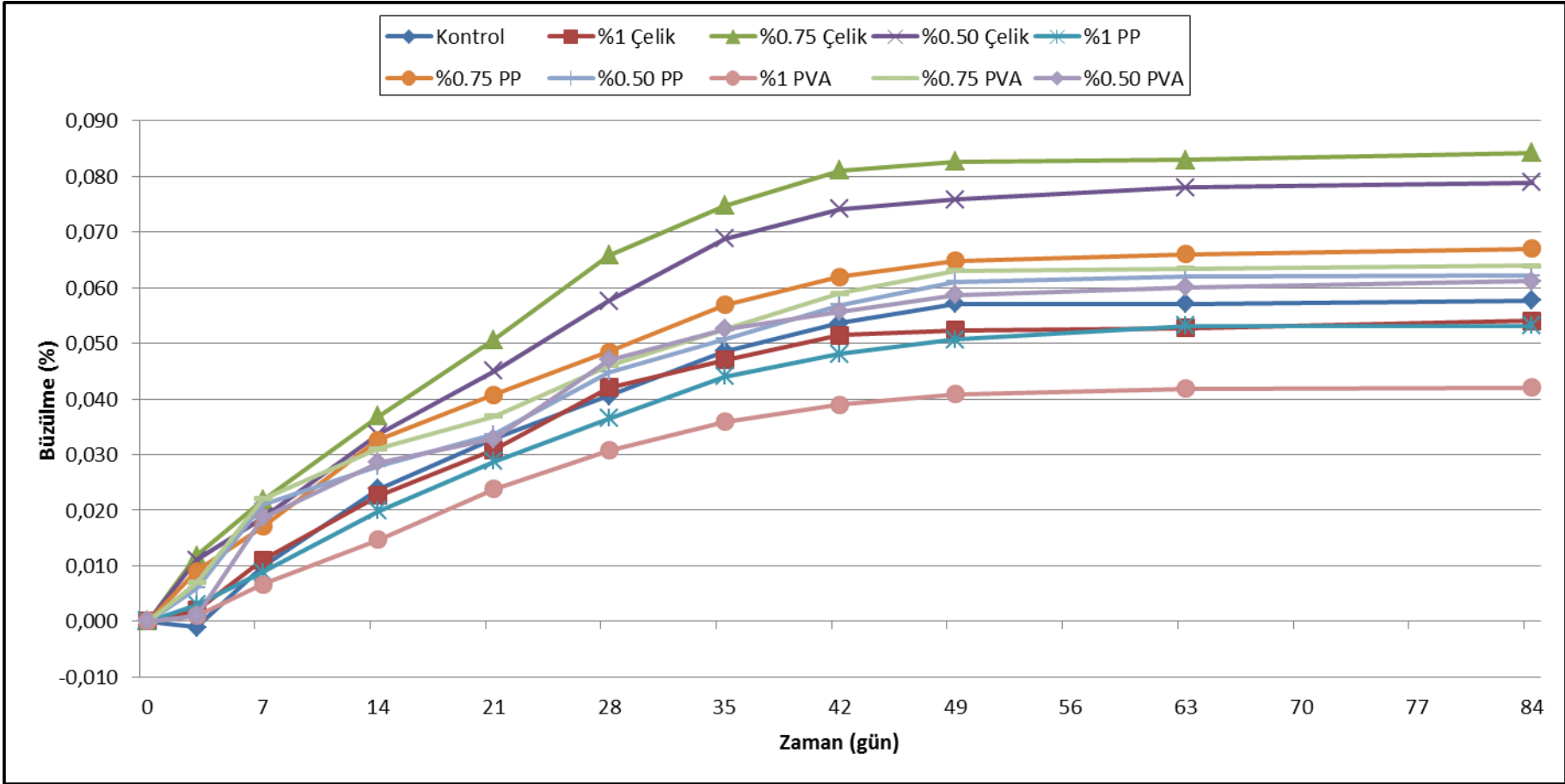
Çevrim sayısı arttıkça liflerin dayanım koruma performansının azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak bu bakımdan %0.50 PP içeren karışım farklı bir davranış göstermiştir. Şöyleki, bu karışımında çevrim sayısı 50’den 100 ve 150’ye yükseltildiğinde, dayanım kaybı yüzdesinde kayda değer artış oluşmamıştır.

5.7 Kuruma Büzülmesi Deneyi Sonuçları

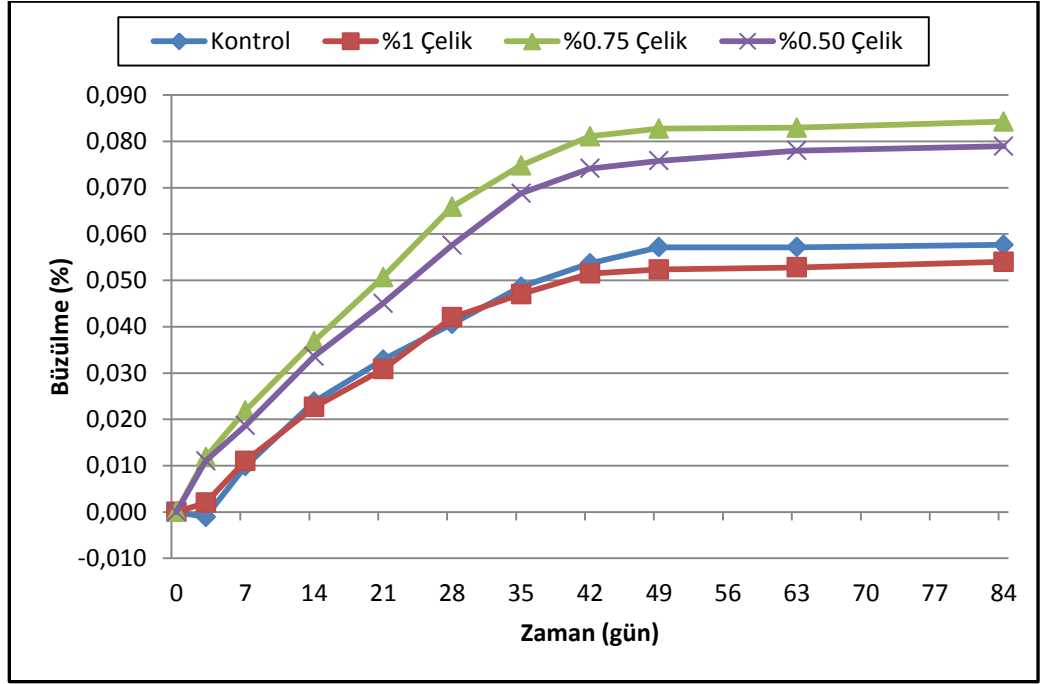
Karışımların kuruma büzülmesi değerleri Tablo 5.10 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Ayrıca çelik, PP ve PVA lifli içeren karışımların büzülme davranışları ayrı ayrı Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13'te ve 84 gün sonunda karışımlarda oluşan büzülmeler Şekil 5.14'te verilmiştir. Bunlara ilaveten liflerin, büzülme üzerindeki etkisini daha net görmek amacıyla 84. günde ölçülen kuruma büzülme değerleri kontrol karışımı büzülme değerleri ile Şekil 5.15'te kıyaslanmıştır. Tablolar ve grafiklerde verilen negatif değerler genleşmeyi, pozitif değerler ise büzülmeyi ifade etmektedir.

Tablo 5.10 Harç karışımların büzülme değerleri (%)

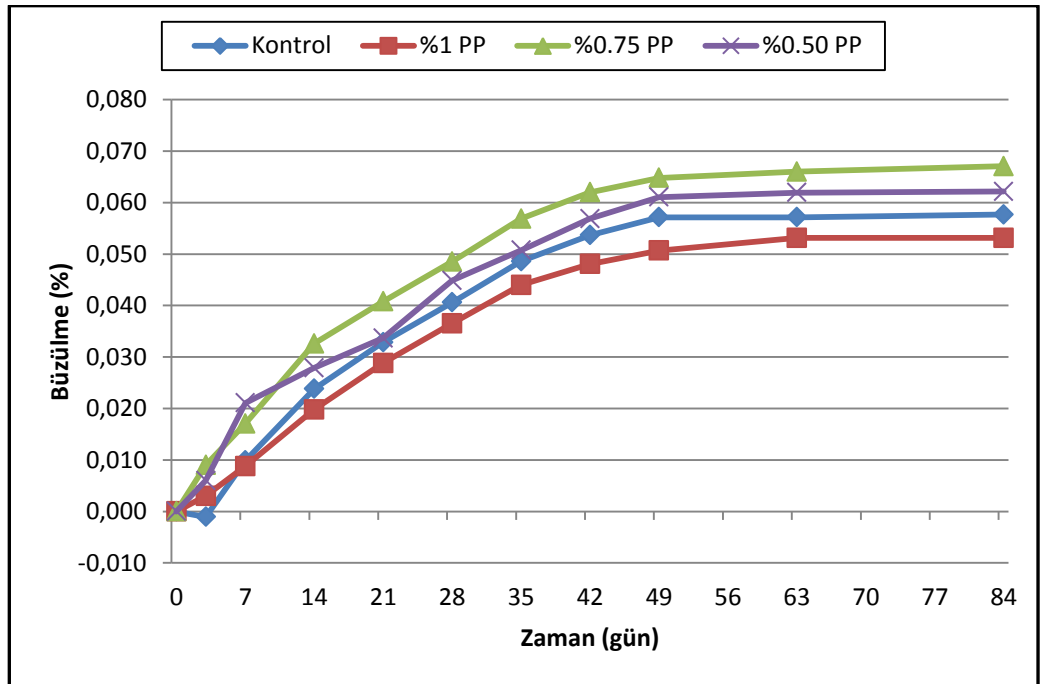
Karışım	Zaman (gün)									
	3	7	14	21	28	35	42	49	63	84
Kontrol	-0,001	0,010	0,024	0,033	0,041	0,049	0,054	0,057	0,057	0,058
%1 Çelik	0,002	0,011	0,023	0,031	0,042	0,047	0,051	0,052	0,053	0,054
%0.75 Çelik	0,012	0,022	0,037	0,051	0,066	0,075	0,081	0,083	0,083	0,084
%0.50 Çelik	0,011	0,019	0,034	0,045	0,058	0,069	0,074	0,076	0,078	0,079
%1 PP	0,003	0,009	0,020	0,029	0,037	0,044	0,048	0,051	0,053	0,053
%0.75 PP	0,009	0,017	0,033	0,041	0,049	0,057	0,062	0,065	0,066	0,067
%0.50 PP	0,006	0,021	0,028	0,034	0,045	0,051	0,057	0,061	0,062	0,062
%1 PVA	0,001	0,007	0,015	0,024	0,031	0,036	0,039	0,041	0,042	0,042
%0.75 PVA	0,007	0,022	0,031	0,037	0,046	0,053	0,059	0,063	0,063	0,064
%0.50 PVA	0,001	0,019	0,029	0,033	0,047	0,053	0,056	0,059	0,060	0,061



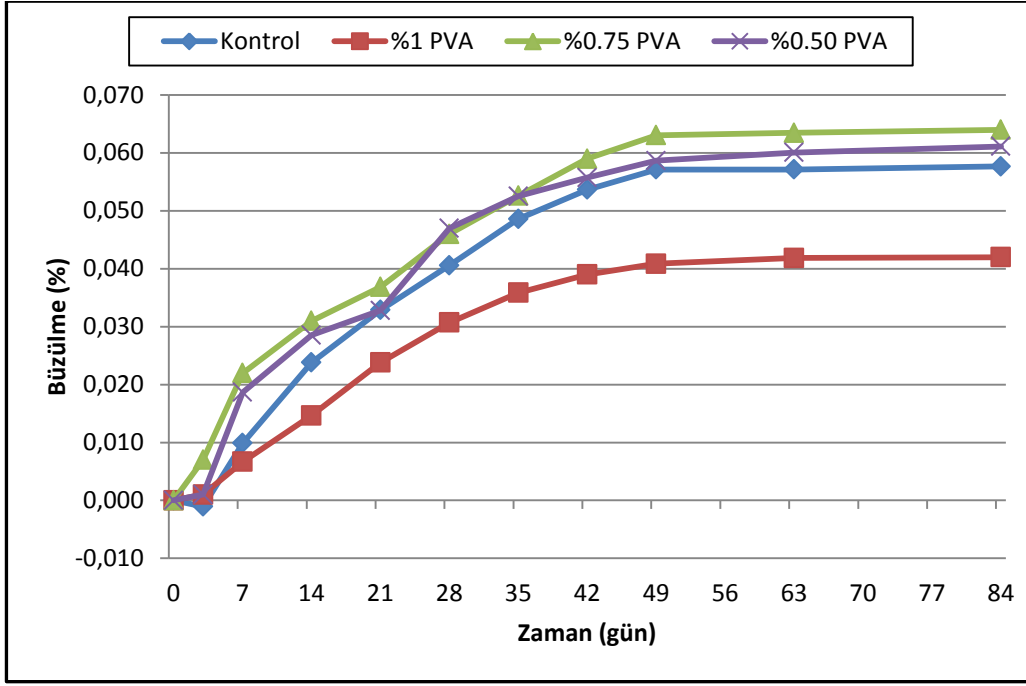
Şekil 5.10 Tüm numunelerin büzülmeleri



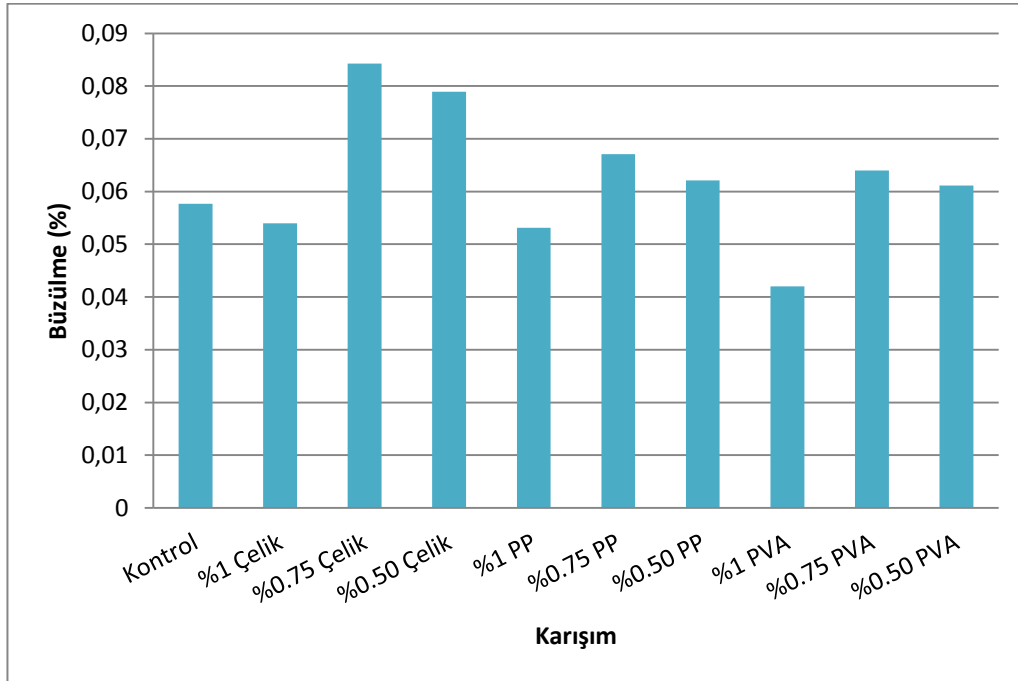
Şekil 5.11 Çelik lifli numunelerin büzölmeleri



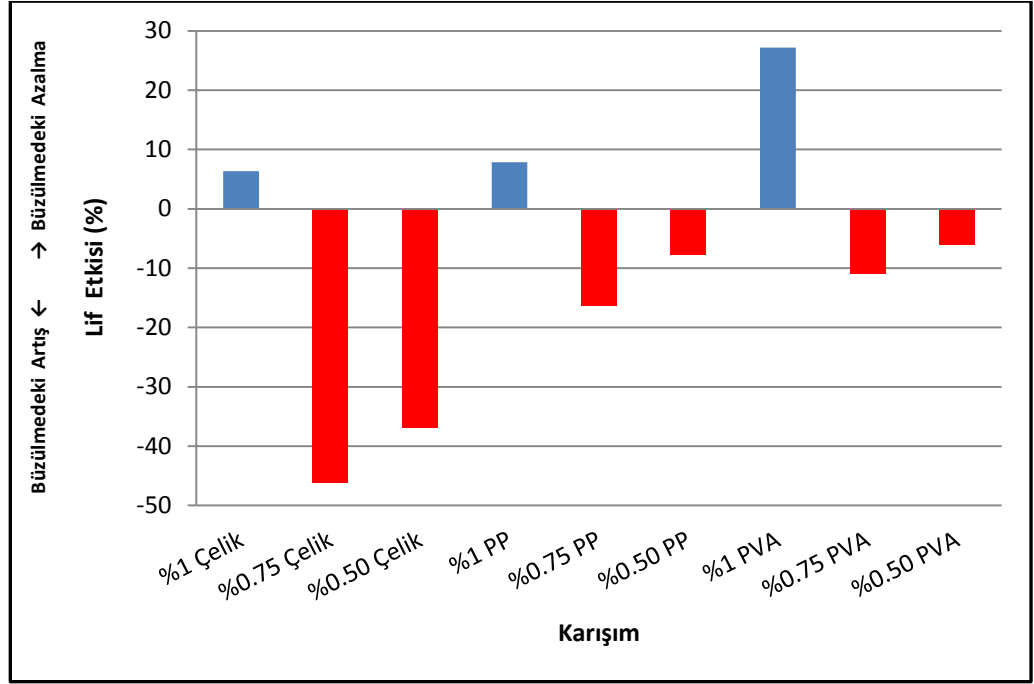
Şekil 5.12 PP lifli numunelerin büzölmeleri



Şekil 5.13 PVA lifli numunelerin büzölmeleri



Şekil 5.14 84.gün sonundaki büzölme değeri



Şekil 5.15 Lifli numunelerin 84. gün büzülmeleri üzerinde lif etkisi*

$$* \left(\frac{((\text{kontrol} - \text{lif}) / \text{kontrol}) \times 100}{100} \right)$$

Yukarıdaki değerler ve grafikler incelendiğinde; tüm lifli numuneler ile kontrol numunesinin büzülme eğilmelerinin benzer olduğu görülmektedir. Liflerin, hiç bir kimyasal etki olmadan ve matrisin yapısı değişmeden, harcı fiziksel olarak etkilediği bu olayın asıl nedeni olarak değerlendirilmektedir. Büzülmelerin büyük kısmının (ortalama %98'i) ilk 50 günde oluştuğu ve bundan sonra tüm numunelerin büzülme eğrilerinin yataylaştığı Şekil 5.8'de görülmektedir.

Lif türünden bağımsız olarak, %1 lif içeriğinde karışımların kuruma büzülmesinin kontrol karışımının altında olduğu görülmektedir. Ancak %0.50 ve özellikle %0.75 if içeren karışımlar, kontrol karışımının üstünde büzülme göstermiştir.

Deney boyunca %1 PVA ve %0.75 Çelik karışımlar, sırasıyla en alt ve en üstte hareket eden büzülme eğrilerine sahip olduklarından en iyi ve en kötü performans gösteren karışımlar olarak belirlenmiştir. Özellikle lifli karışımların 84 günlük büzülme değerleri kontrol numunesiyle kıyasladığında, %1 PVA karışımı %27 büzülme azalışına, %0.75 Çelik karışımı ise %46 büzülme artışına neden

olduğu görülmüştür (Tablo 5.10 ve Şekil 5.15). Ayrıca, lif yüzdesi sabit tutulduğunda, sırasıyla PVA, PP ve çelik lifi içeren karışımların daha az büzülme gösterdiği saptanmıştır (Şekil 5.14).

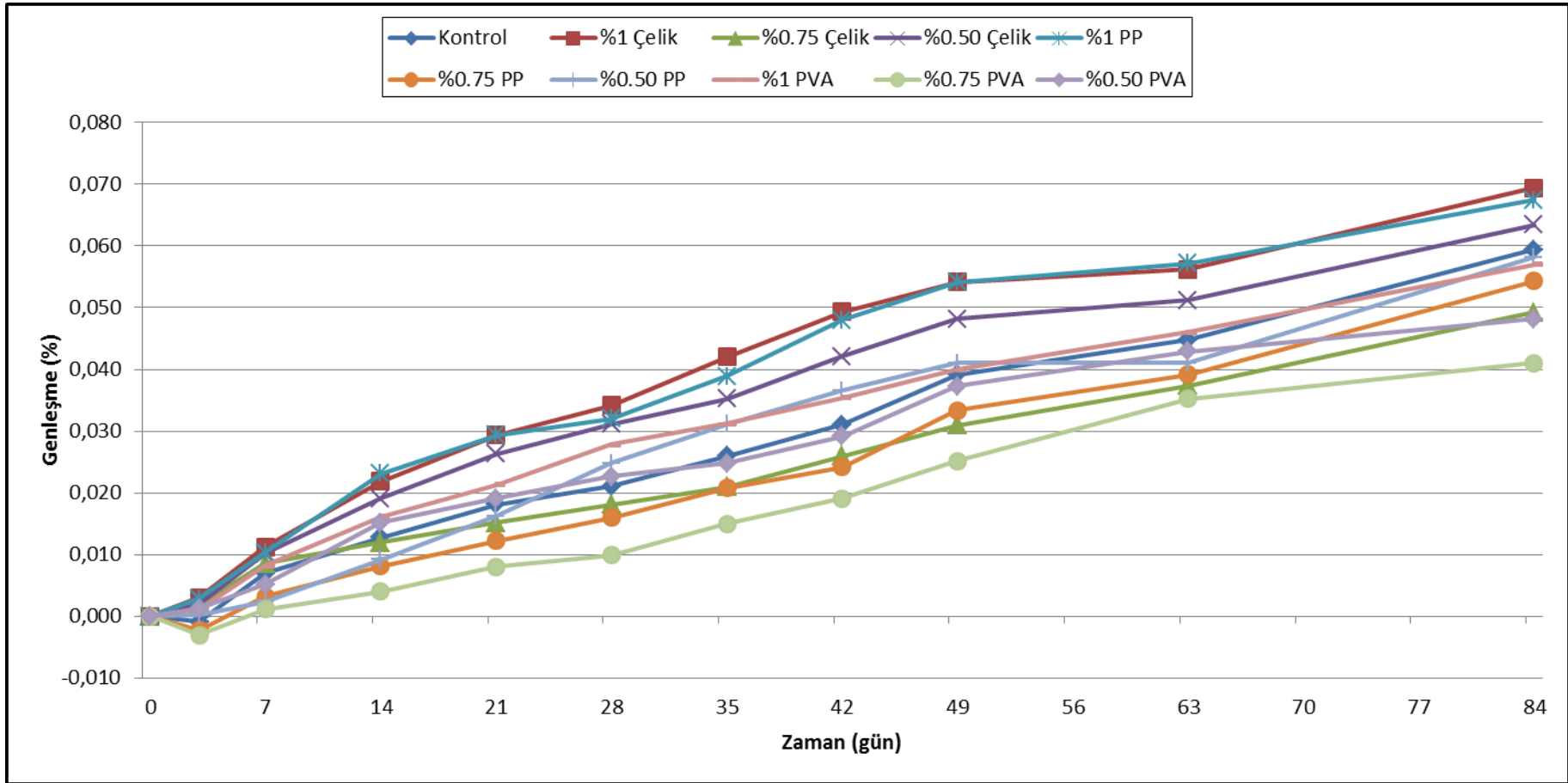
Liflerin ayrı ayrı büzülme grafikleri göz önüne alındığında, PP lifi içeren karışımların, lif yüzdesinin değişmesinden en az etkilendiği görülmüştür (Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13).

5.8 Sülfat Deneyleri Sonuçları

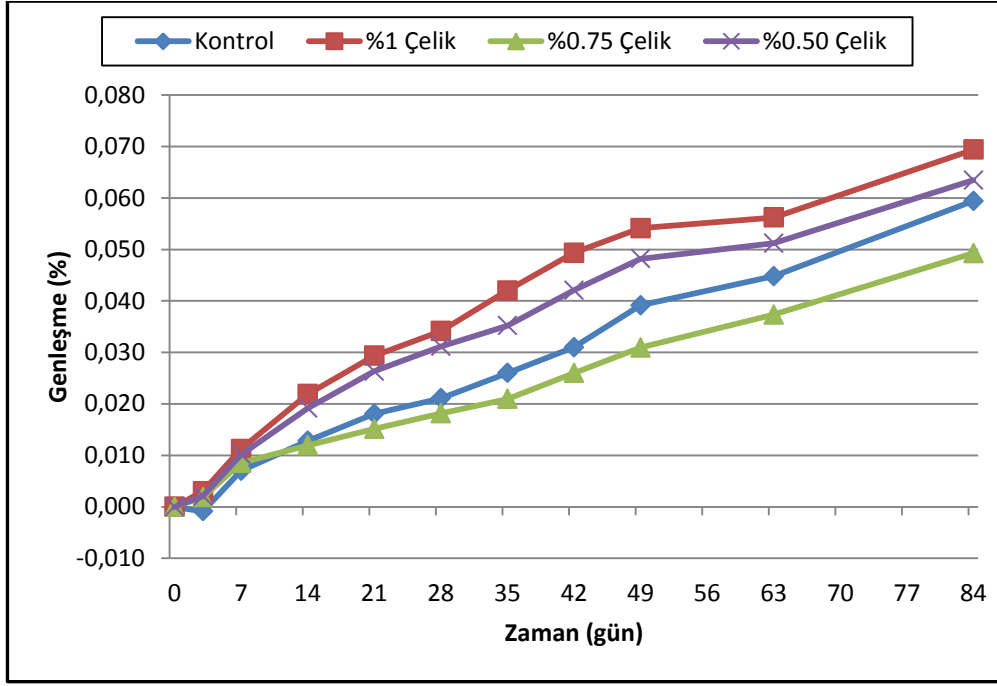
Bu bölümde sülfat etkisine maruz kalan numunelerin boy değişimi değerleri sunulup, sonuçları tartışılmıştır. Magnezyum sülfat çözeltisine maruz kalan numunelerin genleşme değerleri ve grafikleri Tablo 5.11 ile Şekil 5.16, 5.17, 5.18, 5.19, 5.20, 5.21’de, sodyum sülfat çözeltisine maruz kalan numunelerin genleşme değerleri ve grafikleri ise Tablo 5.12 ile Şekil 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, 5.27’de verilmiştir. Ayrıca sülfat çözeltisi türünün genleşmeye etkisini daha açık görmek için iki farklı çözeltinin 84. günde yol açtığı genleşmeler Şekil 5.28’de kıyaslanmıştır. Tablo ve Şekillerde (-) değerler büzülmeyi, (+) değerler ise genleşmeyi göstermektedir.

Tablo 5.11 Magnezyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin genleşmeleri (%)

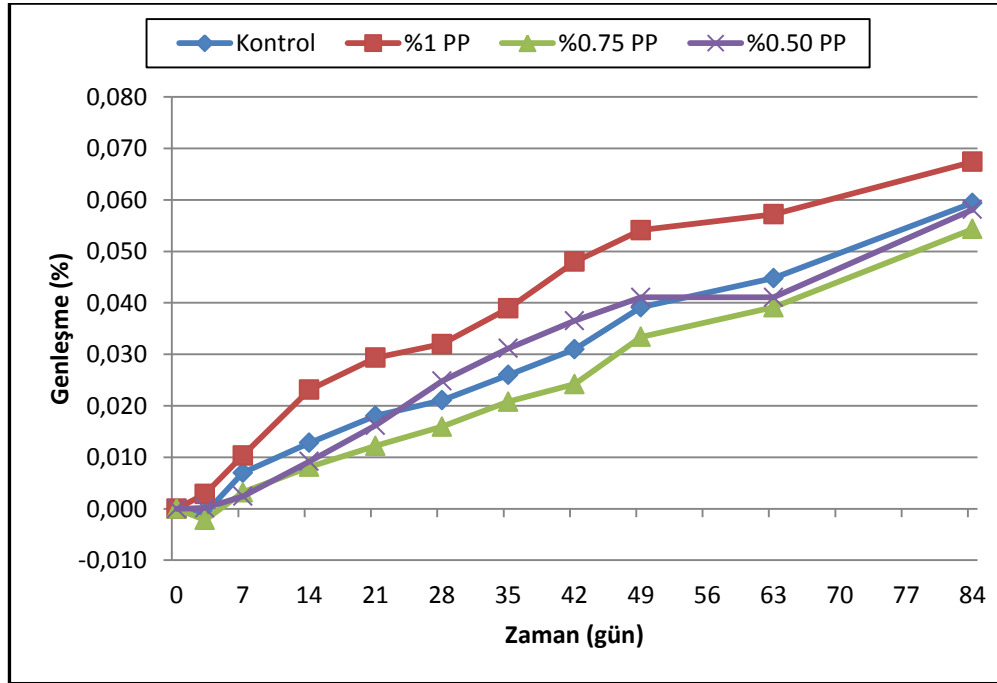
Karışım	Zaman (gün)									
	3	7	14	21	28	35	42	49	63	84
Kontrol	-0,001	0,007	0,013	0,018	0,021	0,026	0,031	0,039	0,045	0,059
%1 Çelik	0,003	0,011	0,022	0,029	0,034	0,042	0,049	0,054	0,056	0,069
%0.75 Çelik	0,002	0,009	0,012	0,015	0,018	0,021	0,026	0,031	0,037	0,049
%0.50 Çelik	0,002	0,010	0,019	0,026	0,031	0,035	0,042	0,048	0,051	0,063
%1 PP	0,003	0,010	0,023	0,029	0,032	0,039	0,048	0,054	0,057	0,067
%0.75 PP	-0,002	0,003	0,008	0,012	0,016	0,021	0,024	0,033	0,039	0,054
%0.50 PP	0,000	0,002	0,009	0,016	0,025	0,031	0,037	0,041	0,041	0,058
%1 PVA	0,001	0,008	0,016	0,021	0,028	0,031	0,035	0,040	0,046	0,057
%0.75 PVA	-0,003	0,001	0,004	0,008	0,010	0,015	0,019	0,025	0,035	0,041
%0.50 PVA	0,001	0,005	0,015	0,019	0,023	0,025	0,029	0,037	0,043	0,048



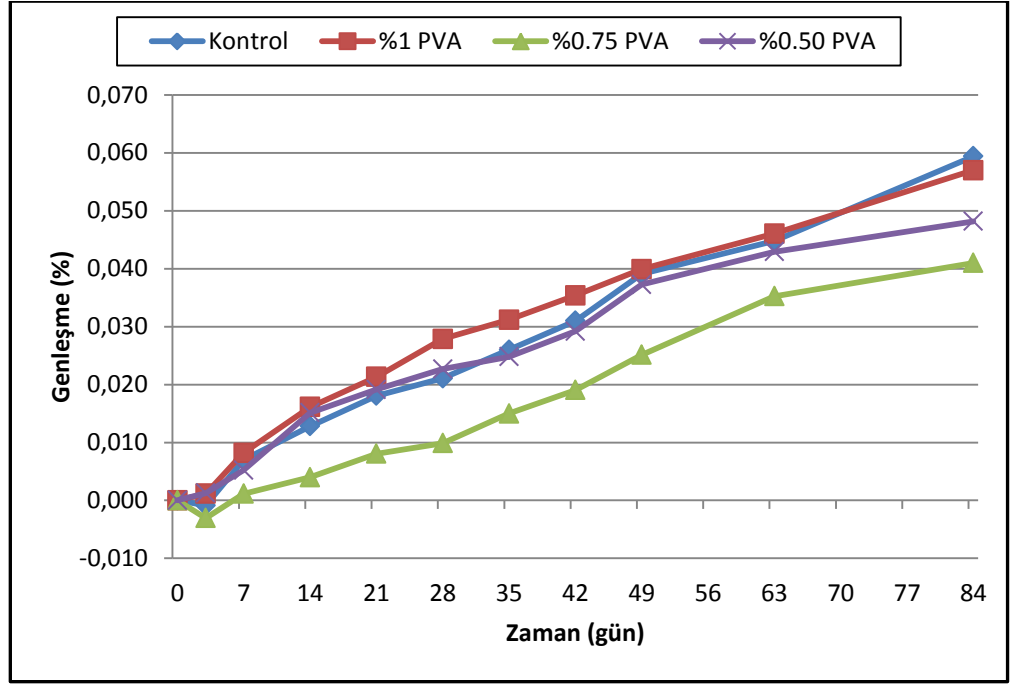
Şekil 5.16 Magnezyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin genleşmeleri



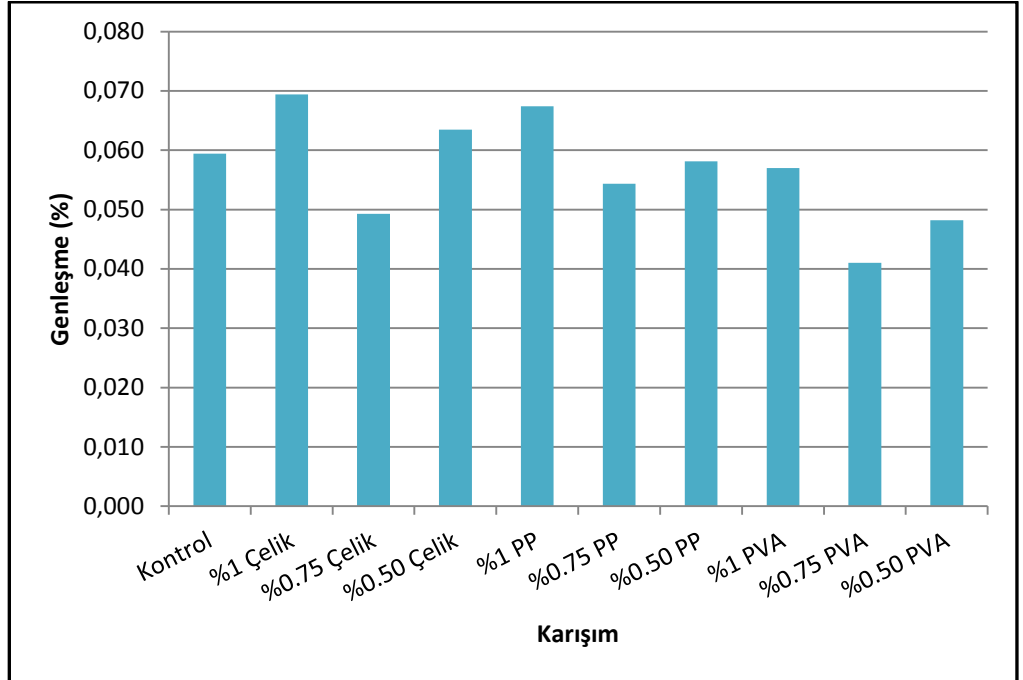
Şekil 5.17 Magnezyum sülfata maruz kalan çelik lifli numunelerin genleşmeleri



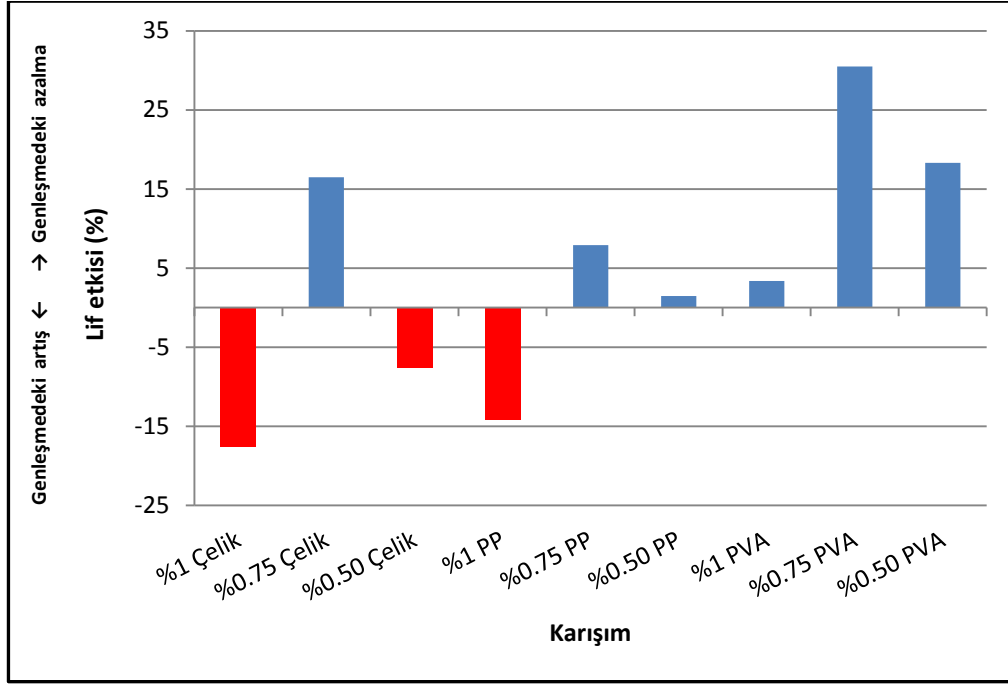
Şekil 5.18 Magnezyum sülfata maruz kalan PP lifli numunelerin genleşmeleri



Şekil 5.19 Magnezyum sülfata maruz kalan PVA lifli numunelerin genleşmeleri



Şekil 5.20 Magnezyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin 84.gün genleşmeleri



Şekil 5.21 84 gün magnezyum sülfatta bekletilen harçların göreceli genleşmesi*

$$* ((\text{lifli karışımın genleşmesi} - \text{kontrol genleşmesi}) / (\text{kontrol genleşmesi})) \times 100$$

Yukarıda verilen değerler incelendiğinde;

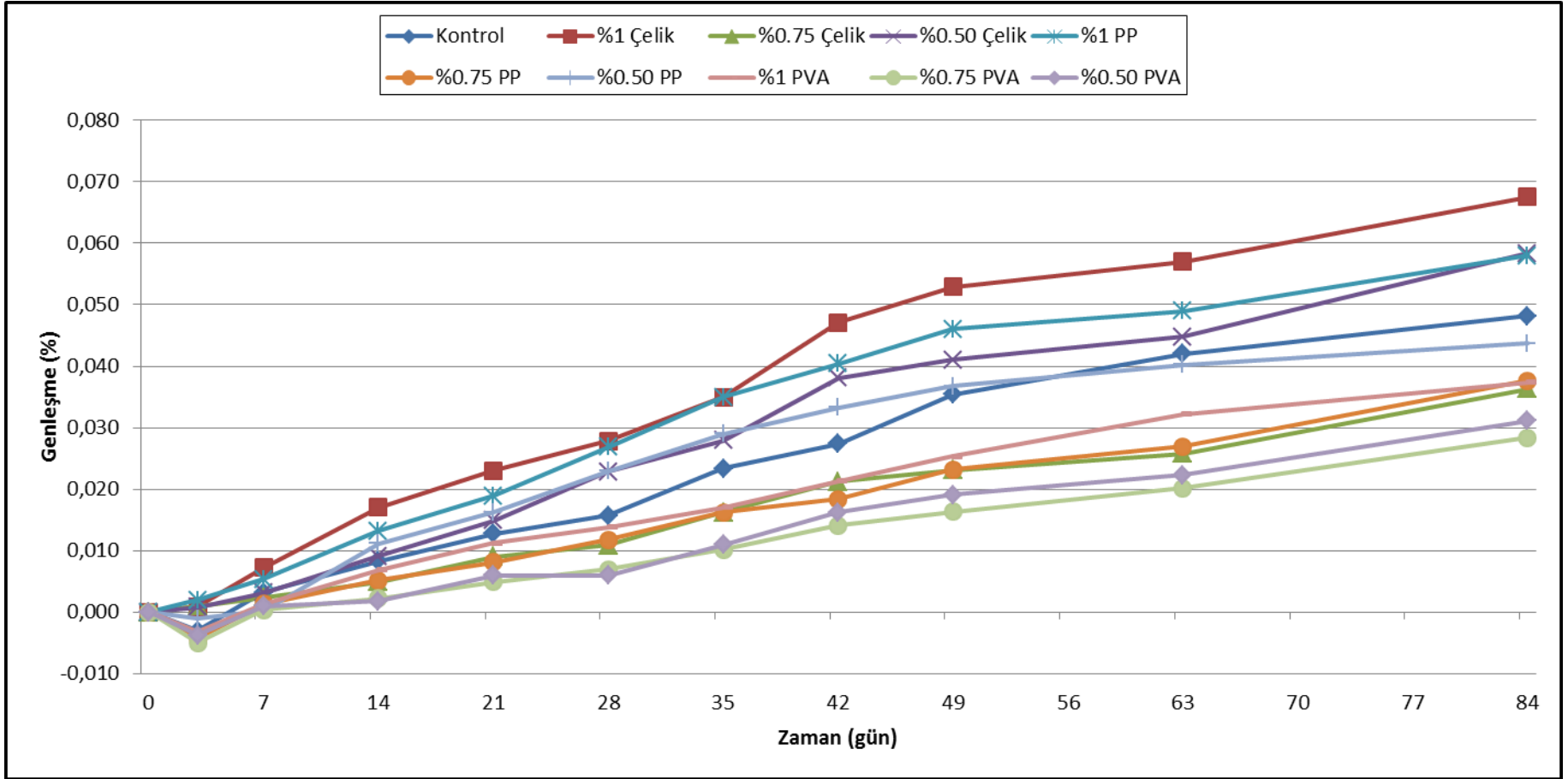
Magnezyum sülfatta bekletilen numuneler arasında 84 gün sonunda kaydedilen en yüksek ve en düşük genleşmeler sırasıyla %1 Çelik (%0.069) ve %0.75 PVA (%0.041) karışımlarına aittir (Tablo 5.11 ve Şekil 5.20). Ayrıca, adı geçen karışımların genleşme eğrileri tüm deney boyunca en üst ve en altta hareket eden eğriler oldukları için genleşme bakımından en kötü (%1 Çelik) ve en iyi (%0.75 PVA) performans gösteren karışımlar sayılmaktadır (Şekil 5.16). Şöyleki, 84. günde kontrol karışımına kıyasla %1 Çelik karışımın %18 daha fazla, %0.75 PVA karışımının ise %31 daha az genleşmeye yol açtığı görülmüştür (Tablo 5.11 ve Şekil 5.20).

Bu deneyde alınan son ölçümler dikkate alındığında, sabit lif oranında, PVA lifi içeren karışımların en düşük genleşmeleri gösterdikleri anlaşılmaktadır. Ayrıca, lif çeşitinden bağımsız olarak, lif oranına göre en düşük genleşmeler %0.75 lifli karışımlarda, en yüksek genleşmeler ise %1 lifli karışımlarda tespit edilmiştir (Tablo 5.11 ve Şekil 5.21). %1 lif içeren karışımların düşük işlenebilirlik özelliğinin bu karışımlarda porozitenin artmasına neden olması bu

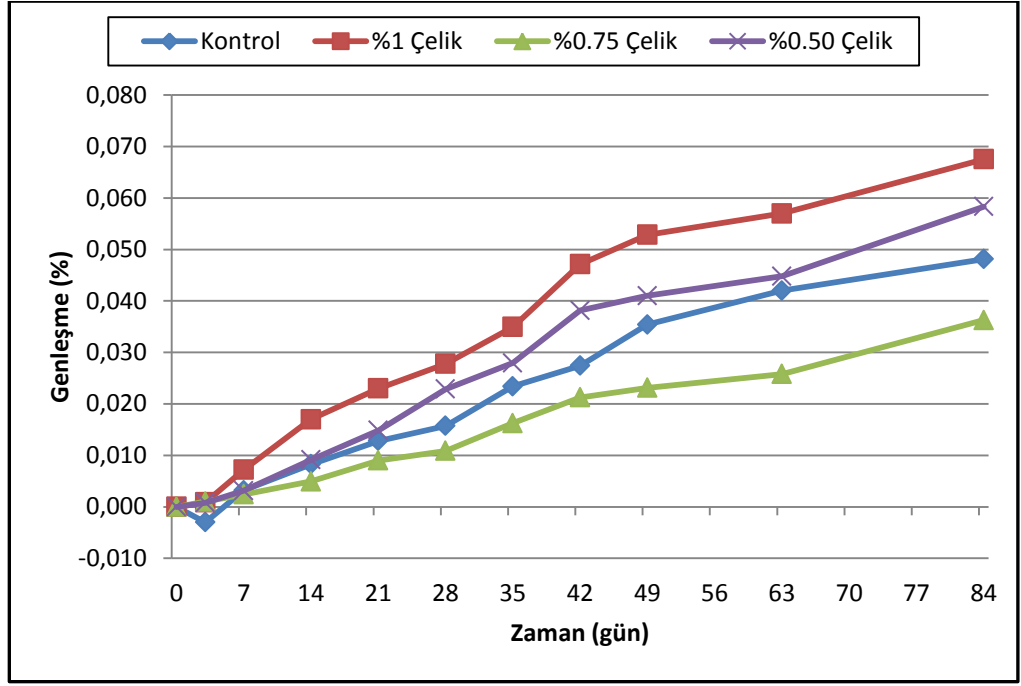
olayın asıl nedeni olarak değerlendirilmektedir. Bu durum söz konusu karışımların su emme kapasitelerinden de anlaşılmaktadır. Bahis konusu boşlukları, harcın yapısına sülfatın daha rahat sızmasını sağlayarak, daha fazla genleşmeye yol açmıştır.

Tablo 5.12 Sodyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin genleşmeleri (%)

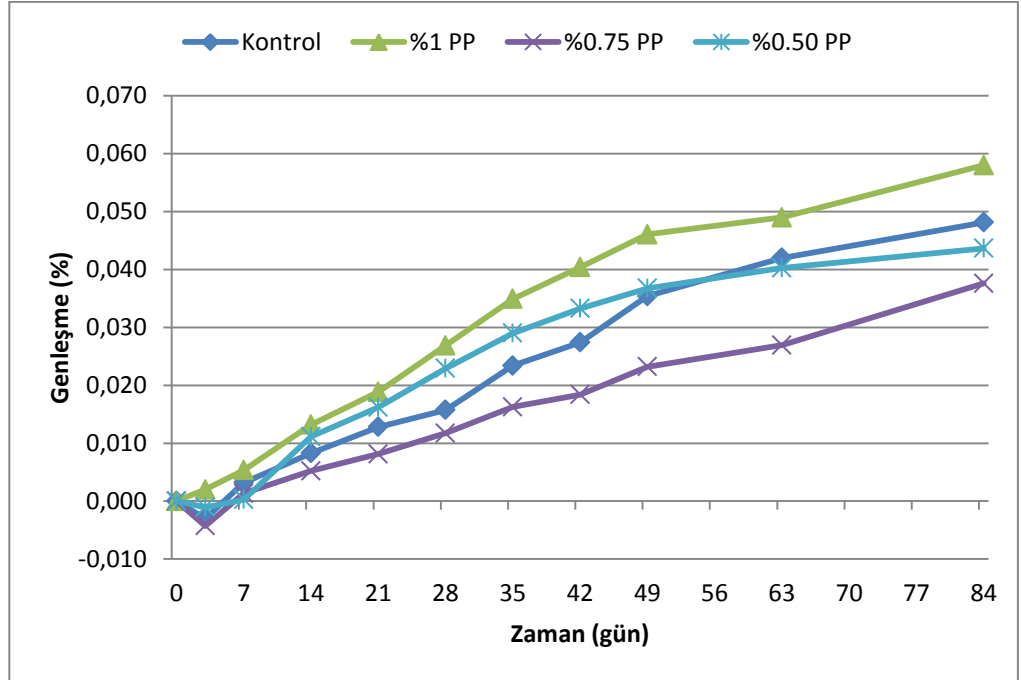
Karışım	Zaman (gün)									
	3	7	14	21	28	35	42	49	63	84
Kontrol	-0,003	0,003	0,008	0,013	0,016	0,023	0,027	0,035	0,042	0,048
%1 Çelik	0,001	0,007	0,017	0,023	0,028	0,035	0,047	0,053	0,057	0,068
%0.75 Çelik	0,001	0,002	0,005	0,009	0,011	0,016	0,021	0,023	0,026	0,036
%0.50 Çelik	0,001	0,003	0,009	0,015	0,023	0,028	0,038	0,041	0,045	0,058
%1 PP	0,002	0,005	0,013	0,019	0,027	0,035	0,040	0,046	0,049	0,058
%0.75 PP	-0,004	0,001	0,005	0,008	0,012	0,016	0,018	0,023	0,027	0,038
%0.50 PP	-0,001	0,000	0,011	0,016	0,023	0,029	0,033	0,037	0,040	0,044
%1 PVA	-0,003	0,001	0,007	0,011	0,014	0,017	0,021	0,025	0,032	0,037
%0.75 PVA	-0,005	0,000	0,002	0,005	0,007	0,010	0,014	0,016	0,020	0,028
%0.50 PVA	-0,004	0,001	0,002	0,006	0,006	0,011	0,016	0,019	0,022	0,031



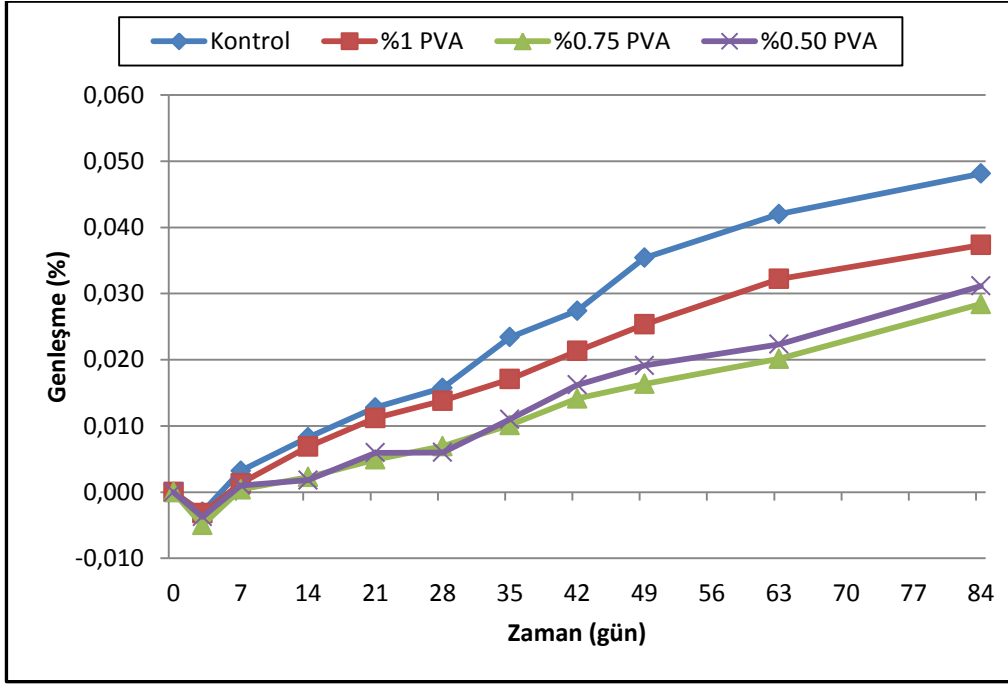
Şekil 5.22 Sodyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin genleşmeleri



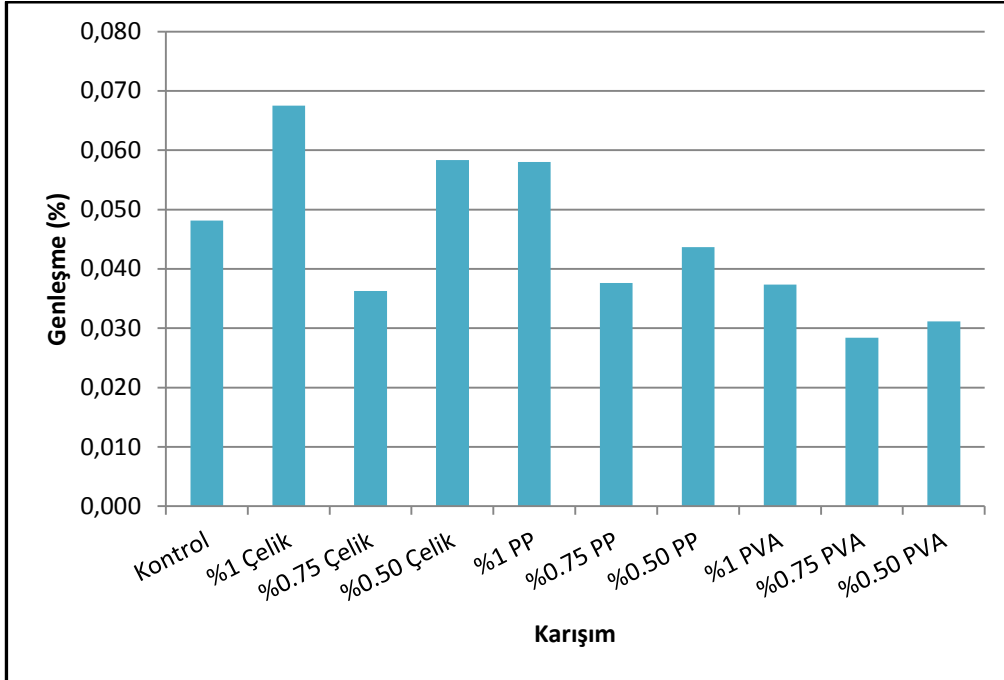
Şekil 5.23 Sodyum sülfata maruz kalan çelik lifli numunelerin genleşmeleri



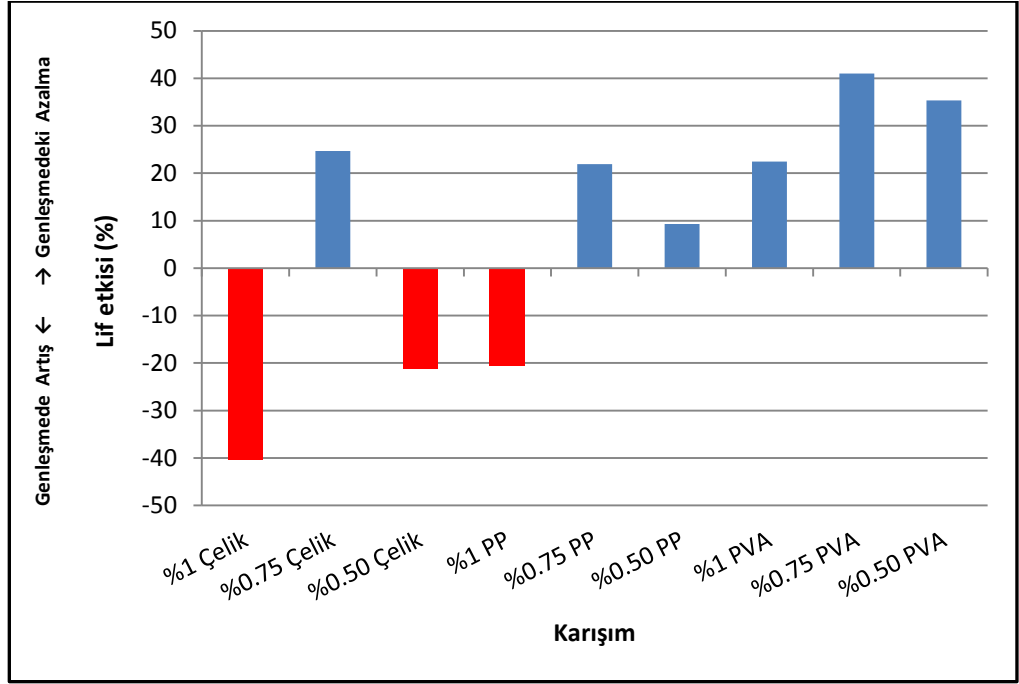
Şekil 5.24 Sodyum sülfata maruz kalan PP lifli numunelerin genleşmeleri



Şekil 5.25 Sodyum sülfata maruz kalan PVA lifli numunelerin genleşmeleri



Şekil 5.26 Sodyum sülfata maruz kalan tüm numunelerin 84.gün genleşmeleri



Şekil 5.27 84 gün sodyum sülfatta bekletilen harçların görece genleşmesi*

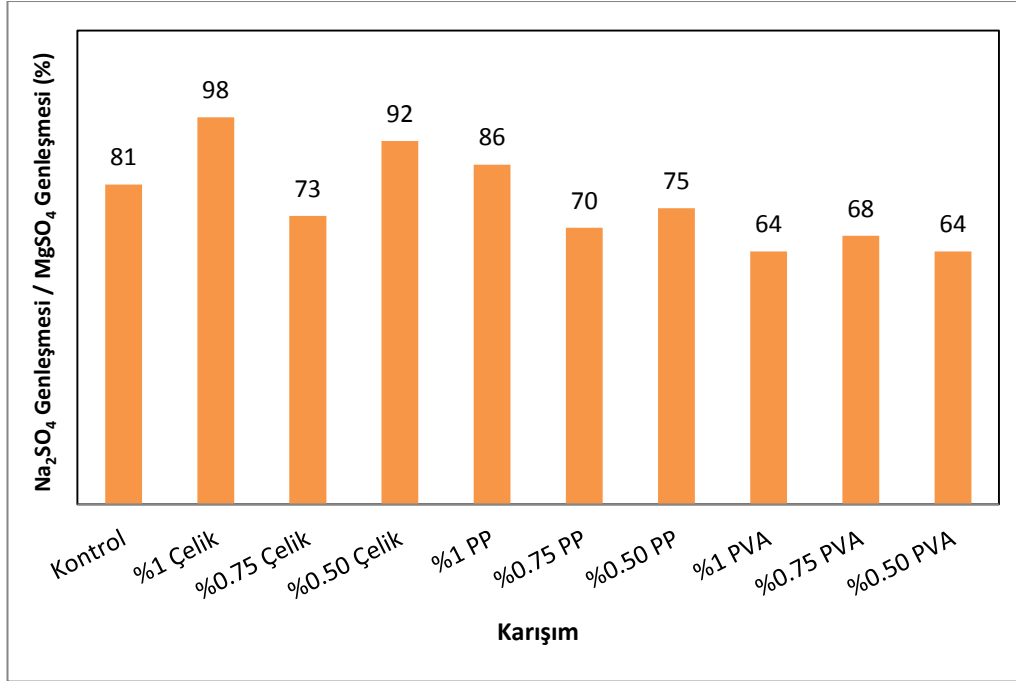
$$* \left(\frac{\text{lifli karışımın genleşmesi} - \text{kontrol genleşmesi}}{\text{kontrol genleşmesi}} \right) \times 100$$

Sodyum sülfat çözeltisine maruz kalan numunelerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde; sodyum sülfatta bekletilen numuneler arasında 84 gün sonunda kaydedilen en yüksek ve en düşük genleşmeler sırasıyla %1 Çelik (%0.068) ve %0.75 PVA (%0.028) karışımlarına aittir (Tablo 5.12 ve Şekil 5.26). Ayrıca, adı geçen karışımların genleşme eğrileri tüm deney boyunca en üst ve en altta hareket eden eğriler oldukları için genleşme bakımından en kötü (%1 Çelik) ve en iyi (%0.75) performans gösteren karışımlar sayılmaktadır (Şekil 5.22). Şöyleki, 84. günde kontrol karışımına kıyasla %1 Çelik karışımı %40 daha fazla, %0.75 PVA karışımı ise %41 daha az genleşmeye yol açtığı görülmüştür (Tablo 5.12 ve Şekil 5.27).

Bu deneyde alınan son ölçümler dikkate alındığında, sabit lif oranında, PVA lifi içeren karışımların en düşük genleşmeleri gösterdikleri anlaşılmaktadır. Ayrıca, lif çeşitinden bağımsız olarak, lif oranına göre en düşük genleşmeler %0.75 lifli karışımlarda, en yüksek genleşmeler ise %1 lifli karışımlarda tespit edilmiştir (Tablo 5.12 ve Şekil 5.26). Daha önce vurgulandığı gibi %1 lif içeren

karışımların düşük işlenebilirlik özelliğinin bu karışımlarda porozitenin artmasına neden olması bu olayın asıl nedeni olarak değerlendirilmektedir.

Sülfat çözeltisi türünün genişlemeye etkisini daha açık görmek için iki farklı çözeltinin 84. günde yol açtığı genişlemeler Şekil 5.28’de kıyaslanmıştır.



Şekil 5.28 Na₂SO₄ ve MgSO₄ çözeltilerinde oluşan genişmelerin oranı

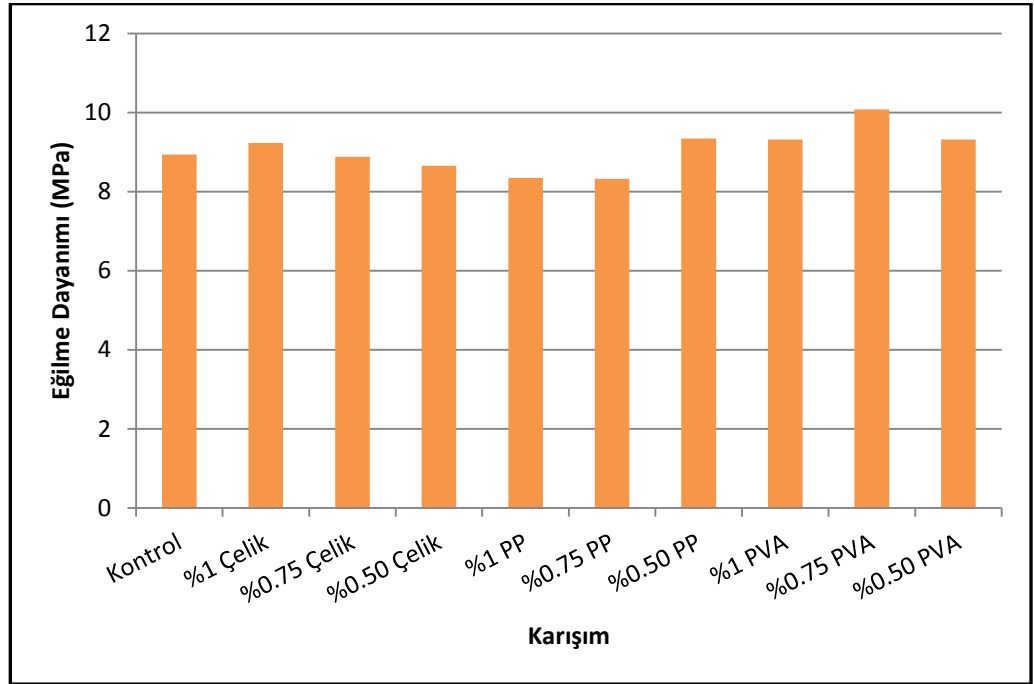
Şekil 5.28’de de görüldüğü gibi tüm harçlar magnezyum sülfat çözeltisinde daha fazla genişleme göstermiştir. Bu etki PVA içeren karışımlarda daha da çarpıcı olmuştur. Bilindiği gibi magnezyum sülfat kalsiyum silikat hidratın yapısını bozarak çimentolu sistemde daha fazla yıpranmaya yol açabilmektedir. Sülfat çözeltisi türünün, PVA lifli karışımlarda neden daha fazla etkili olduğu araştırılmalıdır.

5.9 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

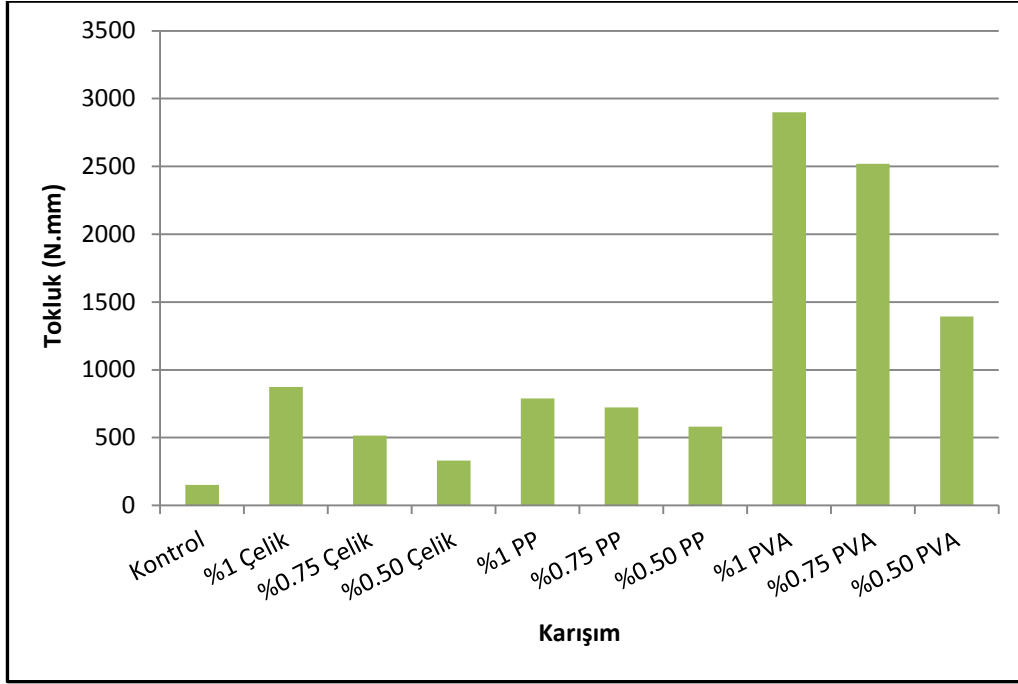
Numunelerin eğilme dayanımı ve tokluk değerleri Tablo 5.13, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30’da verilmiştir. Karışımların yük-sehim eğrileri Şekil 5.31, 5.32, 5.33, 5.34, 5.35, 5.36, 5.37, 5.38, 5.39 ve 5.40’ta verilmiştir.

Tablo 5.13 Karışımların eğilme ve tokluk değerleri

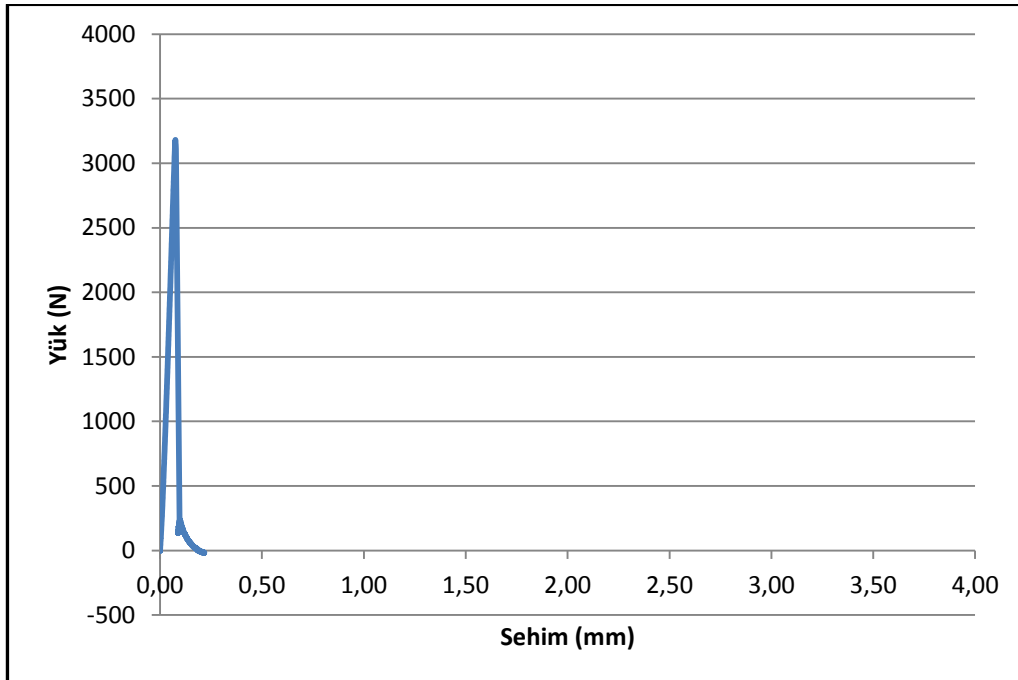
Karışım	Eğilme Dayanımı (MPa)	Tokluk (N.mm)
Kontrol	8.94	152
%1 Çelik	9.23	874
%0.75 Çelik	8.88	516
%0.50 Çelik	8.65	330
%1 PP	8.35	790
%0.75 PP	8.32	724
%0.50 PP	9.34	582
%1 PVA	9.32	2900
%0.75 PVA	10.08	2520
%0.50 PVA	9.32	1393



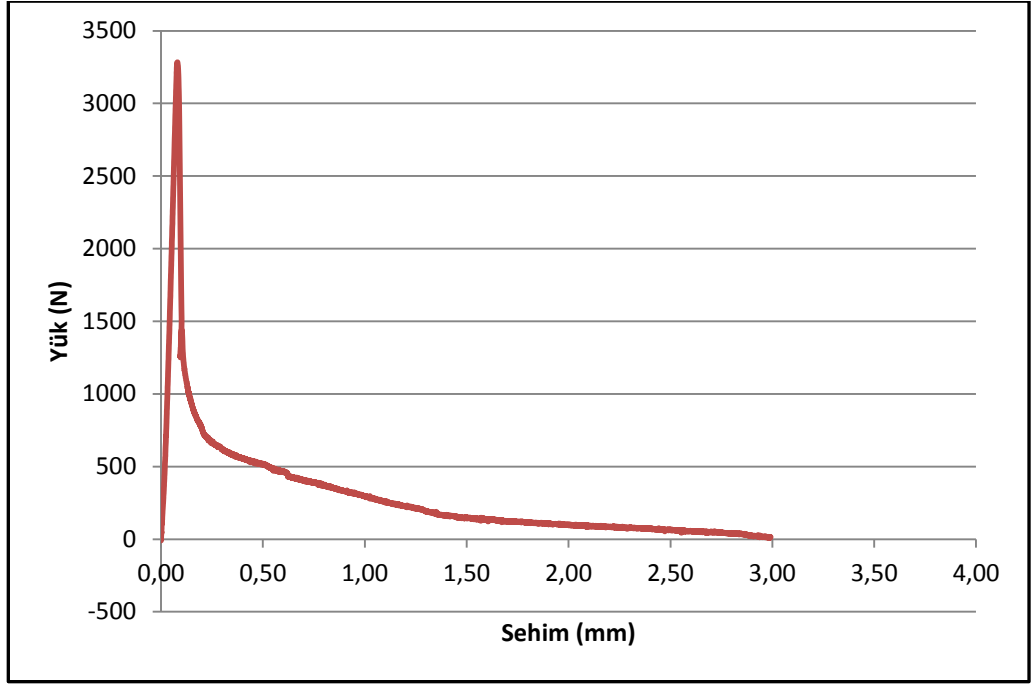
Şekil 5.29 Karışımların eğilme dayanımları (MPa)



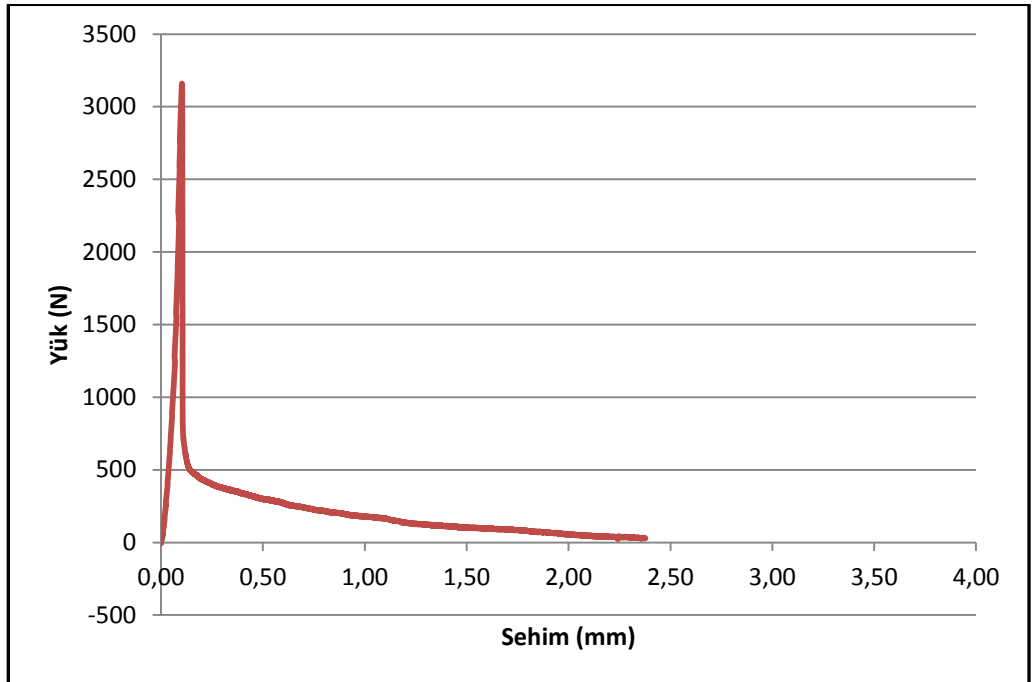
Şekil 5.30 Karışımların tokluk değerleri (N.mm)



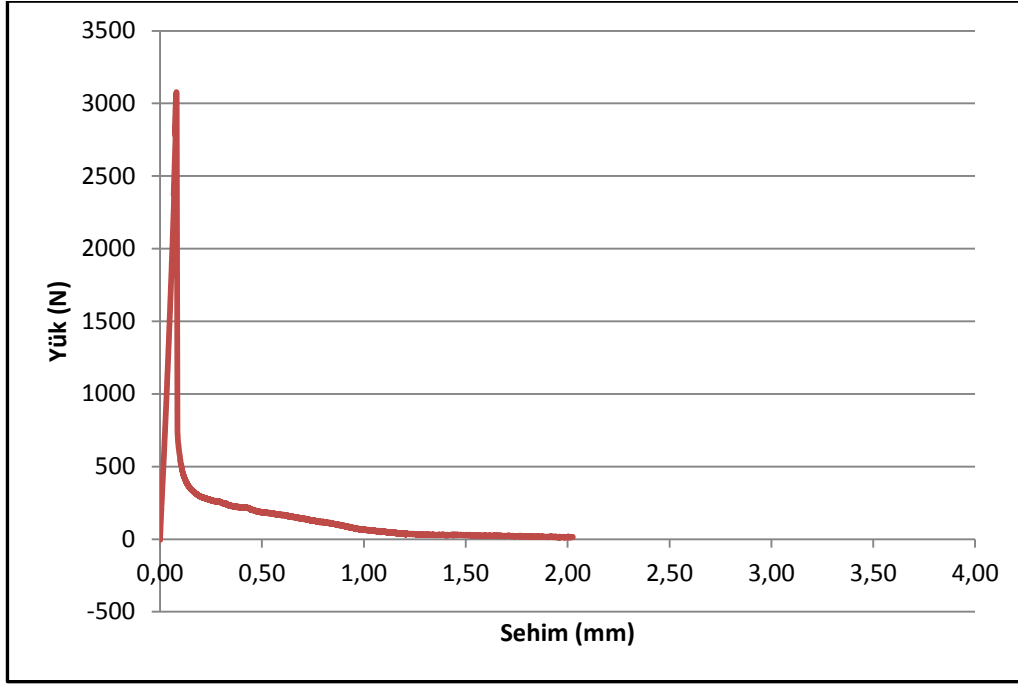
Şekil 5.31 Kontrol karışımının yük-sehim eğrisi



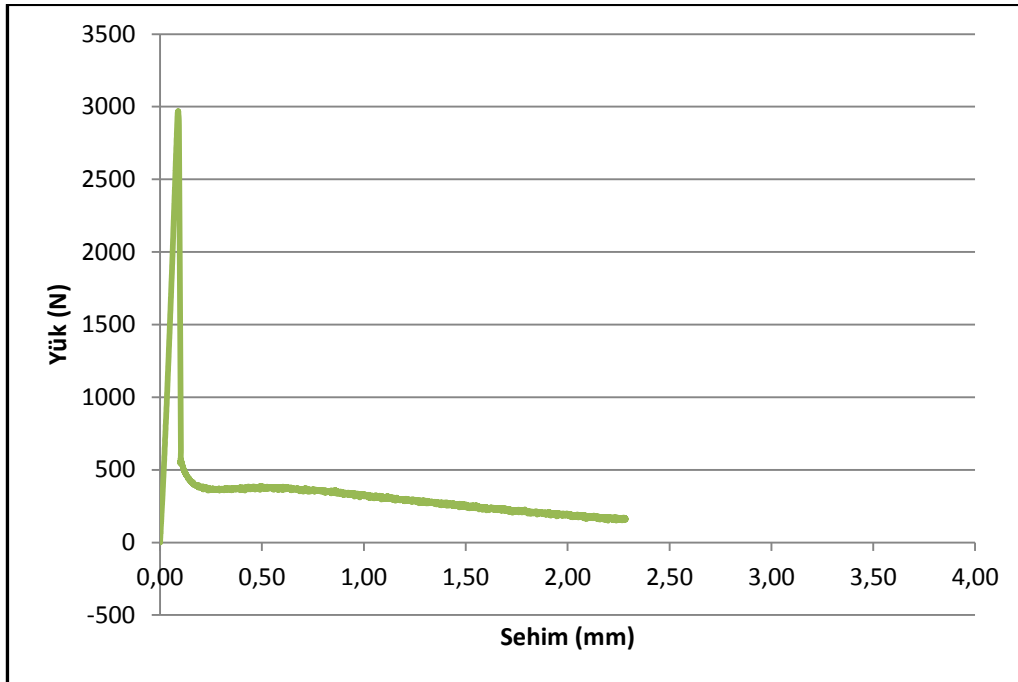
Şekil 5.32 %1 Çelik karışımının yük-sehim eğrisi



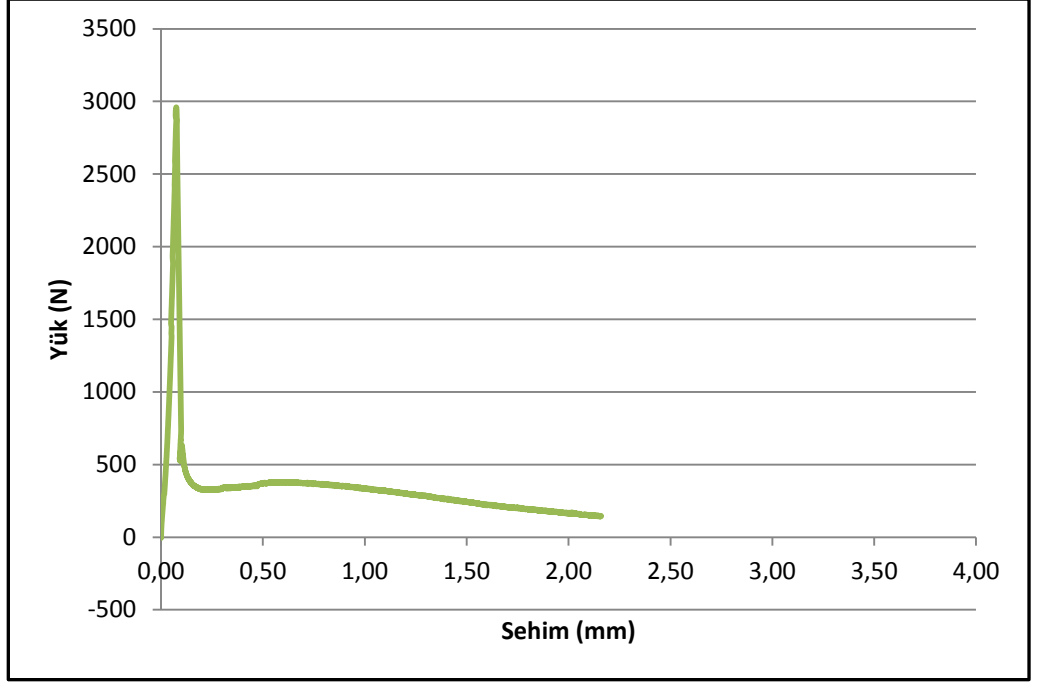
Şekil 5.33 %0.75 Çelik karışımının yük-sehim eğrisi



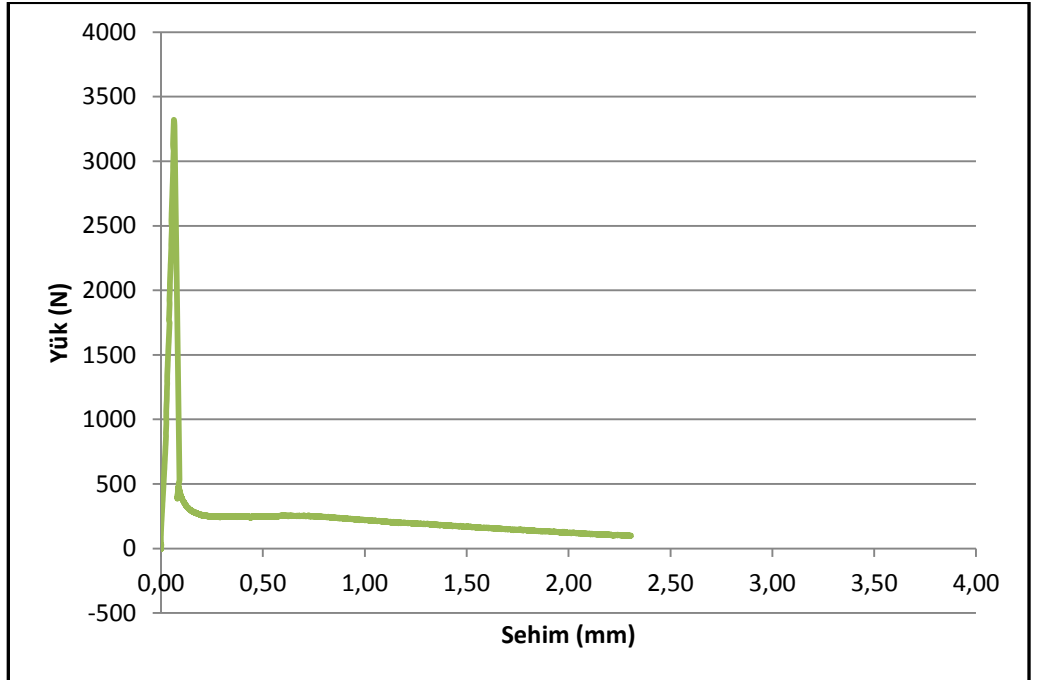
Şekil 5.34 %0.50 Çelik karışımının yük-sehim eğrisi



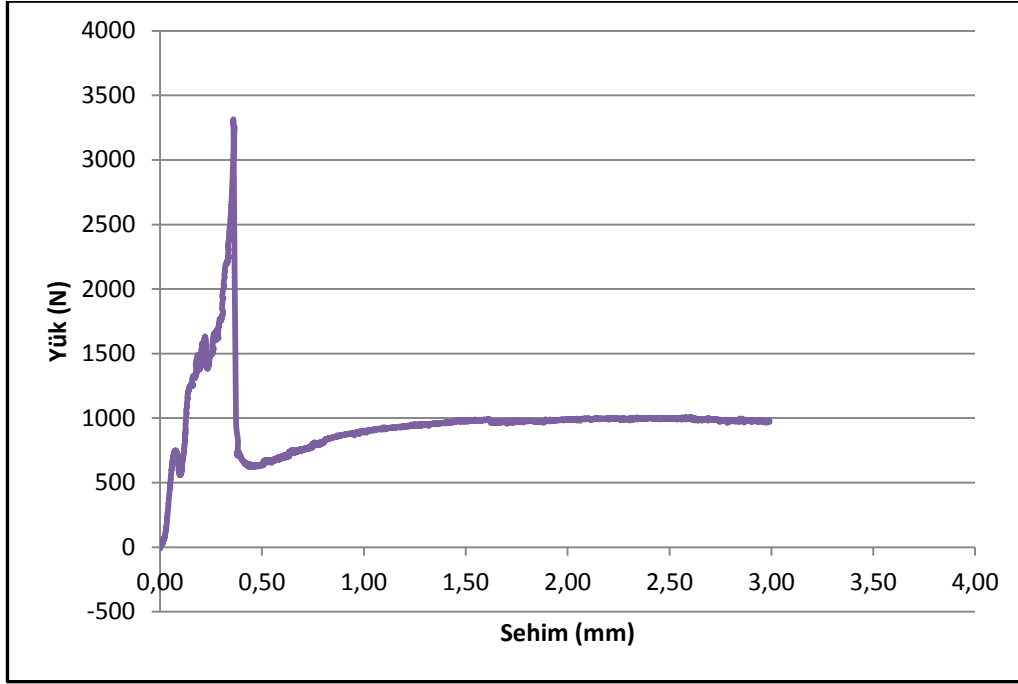
Şekil 5.35 %1 PP karışımının yük-sehim eğrisi



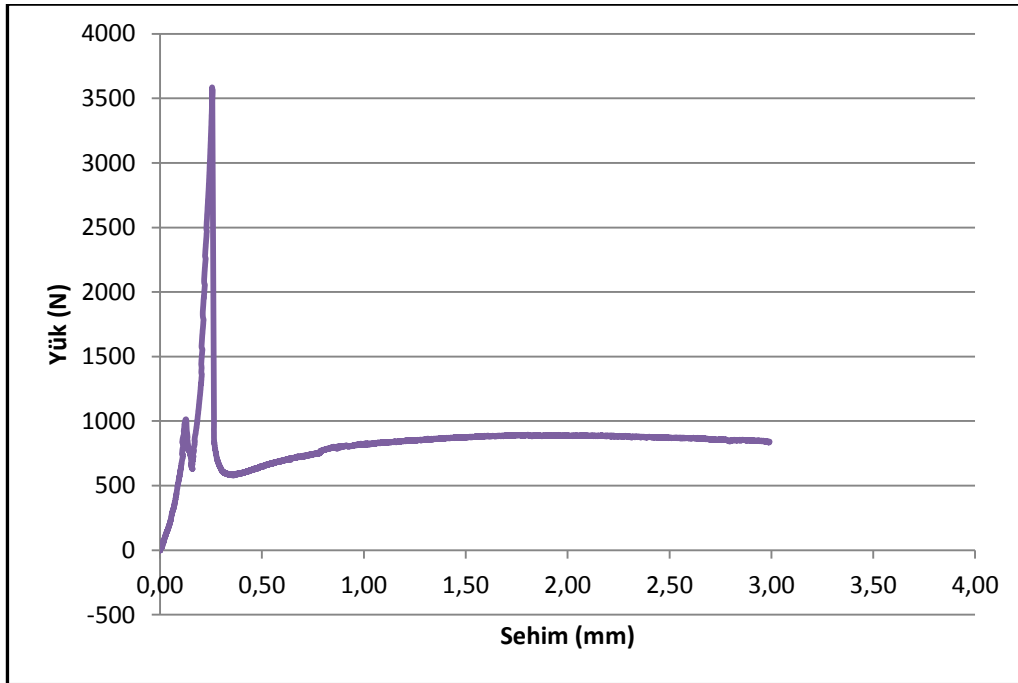
Şekil 5.36 %0.75 PP karışımının yük-sehim eğrisi



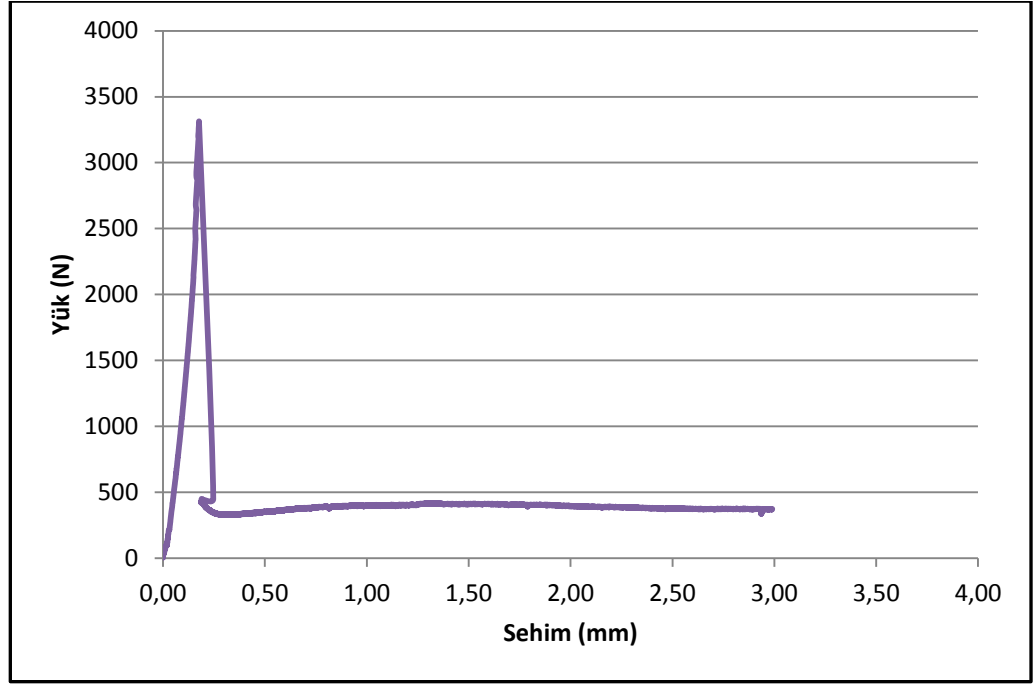
Şekil 5.37 %0.50 PP karışımının yük-sehim eğrisi



Şekil 5.38 %1 PVA karışımının yük-sehim eğrisi



Şekil 5.39 %0.75 PVA karışımının yük-sehim eğrisi



Şekil 5.40 %0.50 PVA karışımının yük-sehim eğrisi

Verilen değerler ve graflar dikkate alındığında;

Kaydedilen en yüksek eğilme dayanımı 10.08 MPa olarak %0.75 PVA numunesine, en düşük değer ise 8.32 MPa olarak %0.75 PP numunesine aittir. Lif ilavesi sonucunda beklenen eğilme dayanımı artışının ortaya çıkmaması, liflerin karışım içerisinde homojen dağılmaması ve çelik lifli karışımlarda düşük lif kullanım oranından kaynaklandığı düşünülmektedir.

PVA lifli karışımların yük-sehim eğrileri altındaki alan ve buna bağlı olarak tokluk değerleri en yüksek değerler olduğu ortaya çıkmıştır. Örneğin, PVA lifli karışımlar arasında en düşük tokluk değeri (yaklaşık 1400 N.mm) gösteren karışımın aynı oranda diğer lifleri içeren karışımların oldukça üstünde olduğu görülmüştür.

Eğilmeye karşı hiç direnç gösteremeyen ve nihai yük'ten sonra ani bir şekilde kırılan kontrol karışımı, en düşük tokluk değerine (152 N.mm) sahip olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan lif türünden bağımsız olarak lif oranı azalınca tokluk değeride azalmıştır. 1 mm sehime neden olan yük miktarları, Tablo 5.13'te verilmiştir.

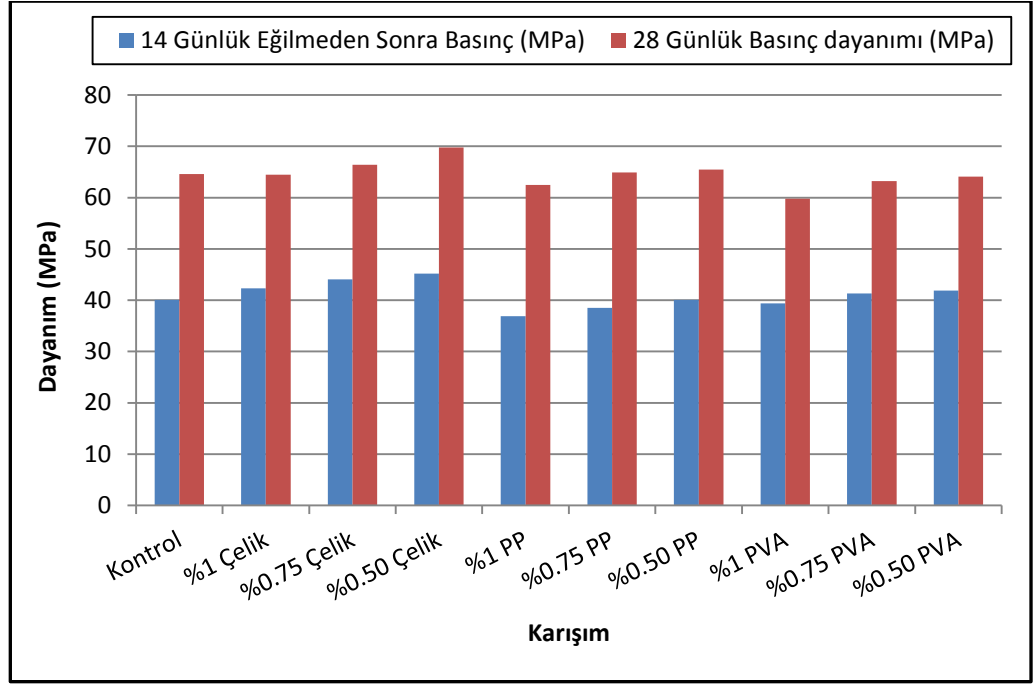
Tablo 5.14 1 mm sehime neden olan yük miktarı

Karışım	Yük (N)
Kontrol	---
%1 Çelik	325
%0.75 Çelik	200
%0.50 Çelik	85
%1 PP	350
%0.75 PP	350
%0.50 PP	230
%1 PVA	900
%0.75 PVA	820
%0.50 PVA	400

Eğilme dayanım deneyinde kırılmış olan numunelerin ortalama basınç dayanımı Tablo 5.14 ve Şekil 5.41’de daha önce elde edilen 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile kıyaslama amacıyla verilmiştir. Tablo 5.14 ve Şekil 5.41’deki değerler dikkate alındığında; eğilmeden sonra basınç dayanımı deneyine tabi tutulan numunelerin 28 günlük numuneler ile kıyasla ortalama %30 civarında daha az basınç dayanımı değerine ulaştıkları görülmektedir. Bu durum numunelerin yaş farkından olduğu gibi boyut farkından da kaynaklandığı düşünülmektedir. Eğilmeye maruz kalan numunelerde basınç dayanımını azaltabilecek hasar oluşabileceği mümkündür. Ayrıca, eğilmeden sonra basınç deneyi 40 mm modifiye küp numuneleri üzerinde, 28-günlük basınç dayanım deneyi ise 50 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde elde edilmiştir.

Tablo 5.15 14 günlük eğilmeden sonra basınç ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri

Karışım	14 Günlük Eğilmeden Sonra Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
Kontrol	40,1	64,6
%1 Çelik	42,3	64,5
%0.75 Çelik	44,1	66,4
%0.50 Çelik	45,2	69,8
%1 PP	36,9	62,5
%0.75 PP	38,5	64,9
%0.50 PP	40,1	65,5
%1 PVA	39,4	59,8
%0.75 PVA	41,3	63,2
%0.50 PVA	41,9	64,1



Şekil 5.41 14 günlük eğilmeden sonra basınç ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kullanılan malzeme ve uygulanan deneylere göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

PP ve PVA liflerin harç numunlerin 28-günlük basınç dayanımı değerlerini arttırmadığı, hatta %1 PP ve özellikle %1 PVA numunlerinde liflerin basınç dayanımını azalttığı, bu azalmanın %1 PVA lifli karışımlarda %7 mertebesinde olduğu görülmüştür. Çelik liflin ise 28-günlük basınç dayanımına olumlu etkisi olduğu ve özellikle %0.50 Çelik numunelerde %8 civarında bir artış sağlamıştır. Ayrıca lif türünden bağımsız olarak lif içeriği arttıkça dayanımların olumsuz etkilendiği gözlemlenmiştir. Burdan yola çıkarak ileri çalışmalar için harçlarda lif oranı %0.50'nin altında tutulması önerilmektedir.

Lif türünden ve kullanım oranından bağımsız olarak lif ilavesinin yarmada çekme dayanımını arttırdığı, bu artışın %0.50 Çelik lifli karışımda %35'e vardığı görülmüştür. Çelik lifli numunelerde lif oranı azaldıkça yarmada çekme dayanımı yükselmiştir. PVA lifli numunelerde ise tez kapsamında kullanılan lif oranlarının yarmada çekme dayanımını azalttığı, ancak lif dozajının etkisinin kayda değer olmadığı görülmüştür. Ancak PVA lifi içeren karışımların yarmada çekme dayanımının kontrol numunesinden %24 mertebesinde büyük olduğu belirlenmiştir. PP lifli karışımlarda en yüksek yarmada çekme dayanımı %0.75 PP karışımda elde edilmiştir. Lif oranı bunun üstünde veya altında olduğunda yarmada çekme dayanımı olumsuz etkilenmiştir. Tüm karışımlarda yarmada çekme dayanımı değerleri, basınç dayanımı değerlerinin %10 ile %14'ü arasında değişmektedir. Bu aralığın alt değeri kontrol numunesine, üst değeri ise %1 PVA numunesine aittir. Lifli karışımlar arasında yarmada çekme / basınç dayanımı bakımından en kötü performans %1 PP karışımında elde edilmiştir.

Donma-çözülme etkisinde bırakılan numunelerde lifli ve lifsiz karışımların çok yakın ağırlık kaybına uğradığı görülmüştür. Ancak, çelik lifli numuneler az miktarda daha yüksek ağırlık kaybına uğramıştır.

Donma-çözölmeye maruz kalan numunelerin basınç dayanımı kaybı lifli numunelerde kontrol karışımına kıyasla azalmıştır. Ancak, çevrim sayısı arttıkça liflerin dayanım koruma performansının azaldığı gözlemlenmiştir. Donma-çözölme sonrası dayanım koruma bakımından düşük çevrimlerde (50 çevrim) çelik lif içeren karışımlar daha başarılı sonuçlar verilmiştir. 150 çevrimde ise %0.75 PVA içeren karışım en az dayanım kaybına uğramıştır. 150 çevrim sonrası, kontrol karışımı %33 basınç dayanımı kaybı gösterirken, bu değeri lifli karışımlarda %8 ile %26 arasında sınırlı kalmıştır.

Tüm lifli numuneler ile kontrol numunesinin büzölme eğilmelerinin benzer olduğu görölmüştür. Büzölmelerin büyük kısmı (ortalama %98'i) ilk 50 günde oluştuğu ve bundan sonra tüm numunelerin büzölme eğrilerinin yataylaştığı görölmüştür. Lif çeşidinden bağımsız olarak, %1 lif içeriğinde karışımların kuruma büzölmesinin kontrol karışımının altında olduğu görölmüştür. Ancak %0.50 ve özellikle %0.75 lif içeren karışımlar, kontrol karışımının üstünde büzölme göstermiştir. 84 gün kuruma sonunda en fazla büzölme %0.75 Çelik lifli karışımda (kontrol karışımından %46 daha fazla), en düşük büzölme ise (kontrol karışımından %27 daha az) %1 PVA karışımında tespit edilmiştir.

84 gün boyunca sodyum veya magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen numuneler arasında en yüksek ve en düşük genleşmeler sırasıyla %1 Çelik ve %0.75 PVA karışımlarında oluşmuştur. 84. günde kontrol karışımına kıyasla %1 Çelik karışımı %18 daha fazla, %0.75 PVA karışımı ise %31 daha az genleşmeye yol açtığı görölmüştür. Bu deneyde alınan son ölçümler dikkate alındığında, sabit lif oranında, PVA lifi içeren karışımların en düşük genleşme gösterdikleri anlaşılmıştır. Ayrıca lif çeşitinden bağımsız olarak, en düşük genleşmeler %0.75 lifli karışımlarda, en yüksek genleşmeler ise %1 lifli karışımlarda tespit edilmiştir. Magnezyum sülfat çözeltisi sodyum sülfat çözeltisine kıyasla daha büyük genleşmelere neden olmuştur. Çözelti türünden PVA lifi karışımlar en az, %1 Çelik karışımı ise en fazla etkilenmiştir.

En az su emme yüzdesini %0.50 Çelik karışımı gösterirken, %1 Çelik karışımı en fazla su emme yüzdesine sahiptir. Lif türünden bağımsız olarak %1 lif içeren karışım en fazla su emme göstermektedir.

Kullanılan lif yüzdesi arttıkça kapiler su emme yüzdeside artmıştır. Kaydedilen en düşük değer % 2.7 olarak %50 PP karışımına, en yüksek değer ise % 4.3 olarak %1 Çelik karışımına aittir.

Kaydedilen en yüksek eğilme dayanımı 10.08 MPa olarak %0.75 PVA numunesine, en düşük değer ise 8.32 MPa olarak %0.75 PP numunesine aittir. PVA lifli karışımların yük-sehim eğrileri altındaki alan ve buna bağlı olarak tokluk değerleri en yüksek değerler olduğu ortaya çıkmıştır. PVA lifli karışımlar arasında en düşük tokluk değeri (yaklaşık 1400 N.mm) gösteren karışımın aynı oranda diğer lifleri içeren karışımların oldukça üstünde olduğu görülmüştür. Eğilmeye karşı hiç direnç gösteremeyen ve nihai yük'den sonra ani bir şekilde kırılan kontrol karışımı, en düşük tokluk değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan lif türünden bağımsız olarak lif oranı azalınca tokluk değeride azalmıştır.

Benzer çalışma, hibrid lif kullanarak ve lifli karışımların işlenebilirliğinin akışkanlaştırıcı katkı yardımıyla arttırarak tekrarlanabilir.

PVA lifli karışımların sülfat çözeltisi türünden neden çok fazla etkilendiği araştırılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- ACI Committee**, 1997, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, 544ACI 544.1R-96, ACI.
- Aktaş, B.**, 2007, Çelik Lifli Hafif Beton ile İmal Edilmiş Betonarme Kirişlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Altun, F., Özcan D. M., Vekli, M. ve Haktanır, T.**, 2002, Çelik Lif Katkılı Betonarme Kirişlerin Taşıma Gücünün Deneysel İncelenmesi, ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Arısoy, B.**, 2005, Lifli Hafif Betonların Optimum Karışım Tasarımı, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart 2005, 912-916s.
- Atashafrazeh, M.**, 2013, Polipropilen Lif Takviyeli Betonların Yüksek Sıcaklık Etkilerinden Sonra Basınç Dayanımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bahadır, B.**, 2007, Liflerin Beton Kırılma Tokluguna Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 109s.
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Aydın, S.**, 2012, “Beton”, D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları, İzmir.
- Bentur, A. and Mindness, S.**, 1990, “Fibre Reinforced Cementitious Composites” Elsevier Applied Science, London And Newyork.
- Bhargava A.**, 2004, “Engineering Materials-Polymers, Ceramics, Composites”, Prentice Hall Limited.
- Birchall, J. D, Howard, A. J., Kendall, K. and Raistrick, J. H.**, 1983, Cement composition and product. United States Patent No: 4,410,366.
- Bozkurt, N.**, 2009, Fiber Takviyeli Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. 179s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Brown, R., Shukla A. and Natarajan K. R.,** 2002, Fiber Reinforcement of Concrete Structures, University of Rhode Island, Project No:536101,September 2002.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.,** 2005, ‘‘Betonarme Yapılar’’ , Dördüncü Baskı, İstanbul.
- Choi, J., A, Zi, J., Hino, S., Yamaghuchi, K. and Kim, S.,** 2014, Influence of fiber reinforcement on strength and toughness of all-lightweight concrete, Construction and Building Materials, 381-389pp.
- Choi, Y. and Yuan, R.,** 2005, Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC, Cement and Concrete Research, 1587– 1591.
- Çavdar, A.,** 2012a, Study on the effects of high temperature on mechanical properties of fiber reinforced cementitious composites, Composites Part B: Engineering, Volume 43, Issue 5, 2452-2463pp.
- Çavdar, A.,** 2012b, The Effects of Types and Content of Fibers on Mechanical Properties of Cementitious Composites, ASPIC ‘‘The Asian Symposium on Polymers in Concrete’’, İstanbul.
- Çavdar, A.,** 2013, The effects of high temperature on mechanical properties of cementitious composites reinforced with polymeric fibers, Composites Part B: Engineering, Volume 45, Issue 1, 78-88pp.
- Çivici, F.,** 2006, Çelik lif donatılı betonun eğilme tokluğu, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2), 183 – 188, 2006.
- Demirtaş, G.,** 2010, GRC Cephe Panellerinde Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Devis, B.,** 2007, Natural Fiber Reinforced Concrete, Georgia.
- Durmaz, B.,** 2007, Bölgesel Basınca Maruz Lifli Betonlarda Yatak Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 62s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ekincioglu, Ö., Özkul, H. ve Struble, L. J.,** 2007, Farklı PVA’larla Üretilen Büyük Boşluklarından Arındırılmış Çimento-Polimer Kompozitlerinin Suya Karşı Dirençlerinin İncelenmesi, Beton Teknolojisinde Gelişmeler ve Uygulamalar, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, No:28-30.
- Erdoğan, S.T. ve Erdoğan, Y.T.,** 2007, “Bağlayıcı Malzemelerin ve Betonun Onbin Yıllık Tarihi”, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Erdoğan, Y.T.,** 2010, “Beton”, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Genişletilmiş 3. Baskı, Ankara.
- Eren, Ö. ve Çelik, T.,** 1997, Effect of silica fume and steel fibers on some properties of high-strength concrete, Construction and Building Materials, 373-382pp.
- Ersoy H., Y.,** 2001, “Kompozit Malzemeler”, Literatür Yayıncılık. İstanbul.
- Furlan, S. and Bento, J.,** 1997, Shear behaviour of fiber reinforced beams, Cement and Concrete Composites, 359-366pp.
- Gesoğlu, M., Güneyisi, E., Alzebaree, R. and Mermerdaş, K.,** 2013, Effect of silica fume and steel fiber on the mechanical properties of the concretes produced with cold bonded fly ash aggregates, Construction and Building Materials, 982–990pp.
- Gibson, F. and Ronald,** 1994, “Principles of Composite Material Mechanics”, McGraw Hills Inc., New York.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M., Akoi, A. and Mermerdaş, K.,** 2014. Combined effect of steel fiber and metakaolin incorporation on mechanical properties of concrete, Composites: Part B, 83–91pp.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M., Mohamadameen, A., Alzebaree, R., Algin, Z., and Mermerdaş, K.,** 2014, Enhancement of shrinkage behavior of lightweight aggregate concretes by shrinkage reducing admixture and fiber reinforcement, Construction and Building Materials, 91–98pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Horikoshi, T., Ogawa, A., Saito, T. and Hoshiro, H.,** 2005, Properties of PolyvinylalcoholFiber as Reinforcing Materials for Cementitious Composites, International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cementitious Compositesin Structural Applications, Honolulu, HI, USA.
- İpek, G.,** 2007, Beton Büz Üretiminde Farklı Liflerin Kullanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 46s.
- Kalyonca, H.,** 2007, PVA kimyasal yapısı (www.kuaray.com) (Erişim Tarihi: 14 Mayıs 2014).
- Kang, S., Kim, J., Kim, D. and Chung, Y.,** 2013, Effect of sand grain size and sand-to-cement ratio on the interfacial bond strength of steel fibers embedded in mortars, Construction and Building Materials, 1421–1430pp.
- Karahan, O.,** 2006, Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Manolis, G.D., Gareis, P.J., Tsonos, A.D. and Neal, J.A.,** 1997, Dynamic properties of polypropylene, fiber-reinforced concrete slabs, Cement and Concrete Composites, 341-349pp.
- Mardani, A.,** 2011, Uçucu Küllü Silindirle Sıkıştırılmış Betonlarda Dayanıklılık, Yüksek Lisans Tezi, EGE Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Mehta, P. K. and Monteiro, P. J. M.,** 2006, Concrete: Microstructure, Properties and Materials. McGraw-Hill Professional Publishing third edition, USA, 684p.
- Miao, Ch., Mu, R., Tian, Q. and Sun, W.,** 2002, Effect of sulfate solution on the frost resistance of concrete with and without steel fiber reinforcement, Cement and Concrete Research, 31–34pp.
- National Research Council Staff,** 1991, High Performance Synthetic Fibers for Composites, National Academies Press, Washington, D.C., 145p.
- Nemati, K. M.,** 2007, Progress in Concrete Technology, Fiber Reinforced Concrete (FRC), University of Washington, Fall Quarter 2007.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Newman John Choo Ban Seng**, 2003, Advanced Concrete Technology Set, Volume-1 Concrete Properties, Butterworth-Heinemann, England.
- Pan, Z., Wu, Ch., Liu, J., Wang, W. and Liu, J.**, 2015, Study on mechanical properties of cost-effective polyvinyl alcohol engineered cementitious composites (PVA-ECC), Construction and Building Materials, 397–404pp.
- Puertas, F., Amat, T., Fernandez-Jimenez, A. and Vazquez, T.**, 2003, Mechanical and durability behaviour of alkaline cement mortars reinforced with polypropylene fibres, Cement and Concrete Research, 2031–2036pp.
- Saçak, M.**, 2010, “Polimer Kimyası”, Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., Ankara..
- Salami, E.**, 2009, Çelik Liflerin Farklı Dayanıma Sahip Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sanjuan, M. and Moragues, A.**, 1996, Polypropylene-fiber-reinforced mortar mixes : optimization to control plastik shrinkage, Composites Science and Technology, 655-660pp.
- Sawyer, L., Grubb, D. and Meyers G**, 2008, “Polymer Microscopy”, Springer, Third Edition.
- Shuxin, W. and Victor, C. L.**, 2008, Polyvinly Alcohol Fiber Reinforced Engineered Cementitious Composites: Material Design and Performances, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, USA.
- Siddique, R.**, 2003. Properties of concrete incorporating high volumes of class f fly ash and san fibers, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 1, 37-42pp.
- Song, P.S., Hwang, S. and Sheu, B.C.**, 2005, Strength properties of nylon- and polypropylene-fiber-reinforced concretes, Cement and Concrete Research, 1546– 1550pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Teker, S. Z.**, 2012, Farklı Tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 73s.
- Tokay, M., Ramyar, K. ve Turanlı, L.**, 1991, “Polipropilen ve Çelik Lifli Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç ve Çekme Yükleri Altındaki Davranışları”, Yüksek Dayanımlı Betonda II. Ulusal Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, İstanbul, 303-311s.
- Toutanji, H.**, 1999, Properties of polypropylene fiber reinforced silica fume expansive-cement concrete, Construction and Building Materials, 171-177
- Toutanji, H., Mcneil, S. and Bayasi, Z.**, 1998, Chloride permeability and impact resistance of polypropylene-fiber-reinforced silica fume concrete, Cement and Concrete Research, 961–968pp.
- TS 10513.** 1992, “Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan”, Türk Standartları Enstitüsü.
- Uğur, A.**, 2007, Lif Donatıların Yüksek Dayanımlı Betonlarda Yarma Dayanımı– Basınç Dayanımı İlişkisine Etkisi, 2007, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ünal, O.**, 1994, Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Wang, Y., Li, V. and C., Backer, S.**, 1990, Tensile properties of synthetic fiber reinforced mortar, Cement and Concrete Composites, Volume 12, Issue 1, 29-40pp.
- Yalçinkaya, Ç.**, 2009, Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite ve Mikron Yapı Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yardımcı, M. Y.**, 2007, Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yerlikaya, M.**, 1998, Çelik teller ile donatılmış beton elemanların düşey yük altında davranışları, Hazır Beton Dergisi, Eylül-Ekim, 72-73s.
- Yetgin, Ş., Çavdar, Ö. and Çavdar, A.**, 2008, The effects of the fiber contents on the mechanical properties of the adobes, Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 3, 222-227pp.
- Yiğiter, H.**, 2002, Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Zhang, P. and Li, Q.**, 2013, Effect of polypropylene fiber on durability of concrete composite containing fly ash and silica fume, Composites: Part B, 1587–1594pp.

ÖZGEÇMİŞ

Babak ABBASPOURSANI AHARI 1988 yılında İRAN’da Marand Şehirinde doğdu. Lise eğitimini Tahran’ın “Allameh Tabatabaie” Okulunda tamamladı. Lise öğrencisi iken 2002 ve 2003 yıllarında sırasıyla Tahran okullar arası ve ulusal matematik olimpiyatlarında 1. ve 9. sırada yer aldı. 2006 yılında Tebriz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde başladığı lisans eğitimini 2010 yılında tamamladı. 2011 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.