

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLARIN
TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ufuk ARAZSU

(092115109)

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25 Haziran 2012

HAZİRAN-2012

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLARIN
TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİ

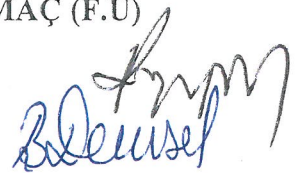
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ufuk ARAZSU

(092115109)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Haziran 2012
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Temmuz 2012

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ragıp İNCE (F.Ü)
Doç. Dr. Bahar DEMİREL (F.Ü)



TEMMUZ-2012

ÖNSÖZ

Bilgi ve ilgisi ile yüksek lisansım boyunca beni destekleyen, takıldığım her noktada yanımda olan, yüksek motivasyon ve azmi ile sürekli güç bulduğum danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a, lisans eğitimimde bana yapı malzemesi dersini sevdiren Prof.Dr. Ragıp İNCE Hocama, deneylerimde sürekli yanımda olan laboratuvar teknisyeni Seyfettin ÇİÇEK'e ve gerek deneylerimde gerekse tezimin yazımı sırasında değerli vakitlerini bana ayıran Arş.Gör. Merve AÇIKGENÇ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneyler yapılırken yine yardımlarını esirgemeyen arkadaşım ve meslektaşım Volkan AYERDEM'e, lifler konusunda verdikleri destekten dolayı Atlas1 şirketine ve çalışanlarına minnettarım.

Tezimi MF.11.22 nolu proje ile destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinasyon Birimine (FÜBAP) teşekkür ederim.

Varlıkları ile güç bulduğum, hayattaki en büyük desteklerim anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ufuk ARAZSU
ELAZIĞ - 2012

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. LİFLİ BETONLAR.....	3
2.1 Lif Nedir?.....	3
2.2 Geçmişten Günümüze Lifli Betonlar.....	4
2.3 Lifli Betonun Önemi.....	6
2.4 Lif Çeşitleri.....	7
2.4.1 Metalik Lifler.....	7
2.4.2 Polimerik Lifler.....	10
2.4.3 Mineral Lifler.....	11
2.4.4 Doğal Olarak Oluşan Lifler.....	12
3. POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLAR.....	13
3.1 Polipropilen Lif.....	13
3.2 Polipropilen Liflerin Sınıflandırılması.....	13
3.3 Polipropilen Liflerin Performansları.....	13
3.4 Polipropilen Liflerin Betona Katılımı ve Kullanım Oranları.....	15
3.5 Polipropilen Lifli Betonun Teknik Özellikleri.....	16
3.6 Polipropilen Liflerin Kullanım Alanları.....	17
3.6.1 Bitüm İşlerinde.....	17
3.6.2 Taşıyıcı Sistemlerde.....	17
3.6.3 Saha Betonu ve Şap İşlerinde.....	18
3.6.4 Su Yapılarında.....	19
3.6.5 Püskürtme Sıva ve Betonlarda.....	19
3.6.6 Boya ve Mimari Uygulamalarda.....	19
3.6.7 Toz Ürünlerde.....	20
3.6.8 Sıvalarda.....	20
4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
4.1 Kullanılan Malzemeler.....	21
4.1.1 Çimento.....	21
4.1.2 Agregat.....	22
4.1.3 Karışım ve Karma Suyu.....	22
4.1.4 Kimyasal Katkı.....	23
4.1.5 Polipropilen Lifler.....	23
4.2 Karışım Oranları.....	24
4.3 Deneyler.....	27
4.3.1 Çökme (Slump) Deneyi.....	29

4.3.2	Basınç Deneyi.....	29
4.3.3	Yarma Deneyi.....	30
4.3.4	Eğilme-Çekme Deneyi.....	31
4.3.5	Kapiler Su Emme Deneyi.....	31
4.3.6	Böhme Aşınma Deneyi.....	32
5	DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	34
5.1	Çökme (Slump) Deneyi.....	34
5.2	Basınç Dayanımı	38
5.3	Yarma Dayanımı.....	42
5.4	Eğilme-Çekme Dayanımı.....	47
5.5	Kapiler Su Emme.....	51
5.6	Böhme Aşınma.....	53
5.7	Pratik Karışım Tasarımı Grafiği.....	56
6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
	KAYNAKLAR.....	60
	ÖZGEÇMİŞ.....	63

ÖZET

Bu tez çalışmasında, farklı karışımlara sahip polipropilen lifli betonların taze ve sertleşmiş beton özellikleri araştırılmıştır. Daha önce literatürde yapılmış bu tür araştırmalara rastlanılmaktadır ancak bu çalışmanın amacı hem literatürdeki çalışmalardan faydalanarak hem de tez çalışması kapsamındaki deneysel çalışmalar yardımıyla pratik bir beton karışım dizaynı elde etmektir.

Beton konusunda deneysel çalışma yapan araştırmacıların en çok zorlandığı ve vakit kaybettiği konulardan biri beton karışımlarına karar vermektir. Uygun karışımın bulunması birçok deneme karışımı tasarımını ve dökümünü gerektirmektedir. Bu çalışmada hedeflenen grafik tabanlı ön dizayn metodu yardımıyla, araştırmacıların ve uygulamacıların iş yükünün azaltılacağı hedeflenmektedir.

Pratik bir ön karışım dizaynı geliştirmek amacıyla, farklı karışımlara sahip beton numuneler üretilmiştir. Her beton numune serisinde 150×150×150 mm boyutlarında standart küp, 100×100×500 mm boyutlarında kiriş ve 100×100×100 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir.

Sonuç olarak, her bir serinin taze ve sertleşmiş beton özellikleri belirlenmiştir. Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin sayısal değerlerinden ve literatürdeki çalışmalardan faydalanılarak, grafik tabanlı bir abak geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen lifli betonlar, beton karışım tasarımı, basınç dayanımı, çekme dayanımı

SUMMARY

Polypropylene Fiber Concrete Fresh And Hardened Concrete Properties

In this study, polypropylene fiber concrete with different mixtures of fresh and hardened concrete properties were investigated. Encountered in this type of research done previously in the literature, but studies in the literature, this study by taking advantage of both by experimental studies, as well as within the scope of the thesis is to obtain a practical design of concrete mix.

Concrete experimental researchers who are working on the hardest and one of the subjects had lost time to decide on concrete mixtures. Breakdown requires a lot of trial design and the presence of a mixture of the appropriate mixture. Targeted in this study with the help of a graphical method of pre-designed, aimed to reduce the workload of researchers and practitioners.

Pre-mixed to develop a practical design, with a different concrete mixtures, the samples produced. Each sample series 150×150×150 mm concrete cube sized standard, 100×100×500 mm beams and 100 mm cube specimens were produced.

As a result, each series of fresh and hardened concrete were determined. The numerical values of fresh and hardened concrete properties and making use of the literature studies, developed a graphical Abak.

Key Words: Polypropylene fiber reinforced concrete, concrete mix design, compressive strength, tensile strength

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 4.1 Agrega granülometrisi.....	22
Şekil 4.2 A tipi polipropilen lif.....	23
Şekil 4.3 B tipi polipropilen lif.....	24
Şekil 4.4 Deney serilerinin isimlendirilmesi.....	25
Şekil 4.5 Deney kalıpları.....	27
Şekil 4.6 Dökülmüş beton numuneler.....	28
Şekil 4.7 Kalıptan çıkarılan beton numuneler.....	28
Şekil 4.8 Çökme deneyinin yapılışı.....	29
Şekil 4.9 Basınç dayanımı deney sistemi.....	30
Şekil 4.10 Yarma dayanımı deney sistemi.....	30
Şekil 4.11 Eğilme-çekme dayanımı deney sistemi.....	31
Şekil 4.12 Kapiler Su Emme Deneyi: (a) yan yüzeyleri izole edilmiş numune, (b) Kapiler su emme deney düzeneği.....	32
Şekil 4.13 Böhme aşınma deney düzeneği ve numuneler.....	33
Şekil 5.1 W/C oranı 0.60 olan karışımlar için çökme miktarı-lif oranı ilişkisi.....	34
Şekil 5.2 W/C oranı 0.50 olan karışımlar için çökme miktarı-lif oranı ilişkisi.....	35
Şekil 5.3 W/C oranı 0.40 olan karışımlar için çökme miktarı-lif oranı ilişkisi.....	35
Şekil 5.4 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin çökme miktarları.....	36
Şekil 5.5 300 dozajlı beton numunelerin çökme miktarları.....	36
Şekil 5.6 350 dozajlı beton numunelerin çökme miktarları.....	37
Şekil 5.7 400 dozajlı beton numunelerin çökme miktarları.....	37
Şekil 5.8 W/C oranı 0.60 olan karışımlar için basınç dayanımı-lif oranı ilişkisi.....	38
Şekil 5.9 W/C oranı 0.50 olan karışımlar için basınç dayanımı-lif oranı ilişkisi.....	39
Şekil 5.10 W/C oranı 0.40 olan karışımlar için basınç dayanımı-lif oranı ilişkisi.....	39
Şekil 5.11 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin basınç dayanımları.....	40
Şekil 5.12 300 dozajlı beton numunelerin basınç dayanımları.....	41
Şekil 5.13 350 dozajlı beton numunelerin basınç dayanımları.....	41
Şekil 5.14 400 dozajlı beton numunelerin basınç dayanımları.....	42
Şekil 5.15 W/C oranı 0.60 olan karışımlar için yarma dayanımı-lif oranı ilişkisi.....	43
Şekil 5.16 W/C oranı 0.50 olan karışımlar için yarma dayanımı-lif oranı ilişkisi.....	43

Şekil 5.17 W/C oranı 0.40 olan karışımlar için yarma dayanımı-lif oranı ilişkisi.....	44
Şekil 5.18 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin yarma dayanımları.....	45
Şekil 5.19 300 dozajlı beton numunelerin yarma dayanımları.....	45
Şekil 5.20 350 dozajlı beton numunelerin yarma dayanımları.....	46
Şekil 5.21 400 dozajlı beton numunelerin yarma dayanımları.....	46
Şekil 5.22 W/C oranı 0.60 olan karışımlar için eğilme-çekme dayanımı-lif oranı ilişkisi..	47
Şekil 5.23 W/C oranı 0.50 olan karışımlar için eğilme-çekme dayanımı-lif oranı ilişkisi..	48
Şekil 5.24 W/C oranı 0.40 olan karışımlar için eğilme-çekme dayanımı-lif oranı ilişkisi..	48
Şekil 5.25 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin eğilme-çekme dayanımları.....	49
Şekil 5.26 300 dozajlı beton numunelerin eğilme-çekme dayanımları.....	49
Şekil 5.27 350 dozajlı beton numunelerin eğilme-çekme dayanımları.....	50
Şekil 5.28 400 dozajlı beton numunelerin eğilme-çekme dayanımları.....	50
Şekil 5.29 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin kapiler su emme katsayıları....	51
Şekil 5.30 300 dozajlı beton numunelerin kapiler su emme katsayıları.....	52
Şekil 5.31 350 dozajlı beton numunelerin kapiler su emme katsayıları.....	52
Şekil 5.32 400 dozajlı beton numunelerin kapiler su emme katsayıları.....	53
Şekil 5.33 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin aşınma kayıpları.....	54
Şekil 5.34 300 dozajlı beton numunelerin aşınma kayıpları.....	54
Şekil 5.35 350 dozajlı beton numunelerin aşınma kayıpları.....	55
Şekil 5.36 400 dozajlı beton numunelerin aşınma kayıpları.....	55
Şekil 5.37 Kendiliğinden yerleşen beton ön karışım tasarım monogramı.....	56
Şekil 5.38 Agrega/çimento oranı-çimento miktarı arasındaki ilişki.....	57
Şekil 5.39 Lifli beton ön karışım tasarım monogramı.....	58

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Liflerin tipik özellikleri.....	3
Tablo 3.1. Polipropilen liflerin teknik özellikleri.....	14
Tablo 3.2 Polipropilen lif kullanım dozajları.....	15
Tablo 4.1 CEM I 42.5 N çimentonun özellikleri.	21
Tablo 4.2 Agregaların fiziksel özellikleri.....	22
Tablo 4.3 Kimyasal katkıların teknik özellikleri.....	23
Tablo 4.4 Polipropilen liflerin teknik özellikleri.....	24
Tablo 4.5 Beton karışım miktarları.....	26

SEMBOLLER LİSTESİ

K	: Kapilarite katsayısı (cm^2/s),
A	: Su ile temas eden alan (cm^2),
t	: Geçen zaman (s),
Q	: Emilen su miktarı (cm^3)'dır.
d	: Aşınma kaybı değeri (cm)
d_0	: Aşındırmadan önceki ortalama kalınlık (cm)
d_1	: Aşındırmadan sonraki ortalama kalınlık (cm)
ΔV	: Aşınma kaybı değeri (cm^3)
V_0	: Numunenin aşındırmadan önceki hacmi (cm^3)
V_1	: Numunenin aşındırmadan sonraki hacmi (cm^3)

1. GİRİŞ

Beton yüzyılı aşkın süredir tüm dünyada yapı malzemesi olarak kullanılmakta ve her geçen gün kullanım alanları artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Portland çimentosunun imal edilmesiyle inşaat hayatına başlayan beton sektörü her gün gelişmektedir. Betonun en büyük zafiyeti çekme dayanımının ihmal edilebilecek kadar düşük olmasıdır. Bunun yanında kullanım alanı veya kullanılan yapıya göre betondan farklı performanslar beklenmektedir. Bu beklentiler ancak özel betonlarla karşılanabilmektedir.

Özel betonlar, farklı ihtiyaçlardan dolayı farklı yöntemlerle üretilirler. Betonun içine belli oranlarda katılan lifler, betonun çekme dayanımını artırır, agrega çeşidi, miktarı ve cinsi değiştirilerek ağır ve hafif betonlar üretilirler, yüksek dayanımlı çimentolar veya puzzolanlar kullanılarak yüksek dayanımlı betonlar üretilirler. Özel beton çeşitlerini ihtiyaca göre artırmak teknolojinin de desteğiyle mümkündür [1].

Yapı malzemeleri alanında son yıllarda yapılan çalışmaların bir sonucu olarak önemli bir yenilik meydana gelmiştir. Lifli beton teknolojisi adı verilen bu çalışmalar, beton ve çimentolu malzemelerde çeşitli özelliklerde liflerin kullanımını esas almaktadır. Yapı malzemelerinde liflerin kullanılması aslında son yıllarda bulunan yeni bir kavram değildir ve birçok tarihi yapıda çeşitli organik liflerin kullanıldığı bilinmektedir. Ancak, son yıllarda gelişen teknoloji sonucunda yüksek performanslı lifler ortaya çıkmış ve bu liflerin çimentolu kompozitlerde kullanımı da giderek yaygınlaşmıştır [2].

Beton gibi çimento esaslı malzemeler çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi çok düşük gevrek yapıdaki malzemelerdir. Geleneksel beton tipik olarak; yorulma dayanımı, kavitasyon ve aşınma dayanımı, çekme dayanımı, deformasyon kapasitesi, kayma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından zayıf performans gösterir. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde beton içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu betonun yukarıdaki zayıf özellikleri iyileştirilerek beton gibi malzemelere olan ilginin artmasına neden olmuştur [3-4]. Böylece betonda da polipropilen lif, karbon lif, plastik-cam bazlı lif ve çelik lifler kullanılmaya başlanmıştır. İnşaat Mühendisliği alanında, sağladığı avantajlar bakımından lifli betonların önemi hızla artmaktadır ve kompozitlerin özelliklerini geliştirmek adına önemli adımlar atılmıştır [5-6].

Polipropilen malzeme olarak termoplastiklerin içinde yer alan ve oldukça hafif bir polimerdir. Günlük hayatta kullanılan plastiklerin hemen hemen yarısının hammaddesini

oluşturur. Bu açıdan da bakılacak olursa çok dayanıklı ve kaliteli olan polipropilenin, polietilenle kıyaslandığında üretimi daha ucuz olan bir plastik olduğunu da söylemek mümkündür. Ayrıca, bilimsel çalışmalarda ve günlük hayatta kullandığımız ürünlerde polipropilenin polietilenin yerini almaya başladığı söylenebilir.

Polipropilen hammadde olarak hem dayanıklılık ve elastiklik beklenen ürünlerin üretiminde hem de çeşitli şekillerde ve oranlarda başka malzemelerin içerisine katılarak kullanılmaktadır. Malzemeyi inşaat mühendisliği ve uygulamaları bakımından ele alınacak olursa gerek polipropilen ürünler olarak gerekse genel mühendislik malzemeleriyle birlikte kullanılmak suretiyle çok geniş bir kullanım alanına sahip olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, farklı karışımlara sahip polipropilen lifli betonların taze ve sertleşmiş beton özellikleri araştırılmıştır. Daha önce literatürde yapılmış bu tür araştırmalara rastlanılmaktadır Ancak bu çalışmanın amacı hem literatürdeki çalışmalardan faydalanarak hem de tez çalışması kapsamındaki deneysel çalışmalar yardımıyla pratik bir beton karışım dizaynı elde etmektir.

Beton konusunda deneysel çalışma yapan araştırmacıların en çok zorlandığı ve vakit kaybettiği konulardan biri beton karışımlarına karar vermektir. Uygun karışımın bulunması birçok deneme karışımı tasarımı ve dökümünü gerektirmektedir. Bu çalışmada hedeflenen grafik tabanlı ön dizayn metodu yardımıyla, araştırmacıların ve uygulamacıların iş yükünün azaltılacağı hedeflenmektedir.

Pratik bir ön karışım dizaynı geliştirmek amacıyla, farklı karışımlara sahip beton numuneler üretilmiştir. Her beton numune serisinde 150×150×150 mm boyutlarında standart küp, 100×100×500 mm boyutlarında kiriş ve 100×100×100 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir.

Sonuç olarak, her bir serinin taze ve sertleşmiş beton özellikleri belirlenmiştir. Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin sayısal değerlerinden ve literatürdeki çalışmalardan faydalanılarak, grafik tabanlı bir abak geliştirilmiştir.

2. LİFLİ BETONLAR

Dünyada ve ülkemizde lifli beton kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Lifli betonlar genel olarak bu bölümde tanıtılmıştır.

2.1. Lif Nedir?

Lifler çeşitli şekillerde ve boyutlarda çelik, plastik, cam ve doğal malzemelerden üretilen, uzunluğu, bükülebilirliği, esnekliği ve dayanıklılığı olan malzemedir (Tablo 2.1). Genel olarak doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır. Hayvan, bitki, mineral gibi doğal kaynaklardan elde edildiği biçimi ile doğrudan kullanılabilen maddeler doğal liflerdir. Yapay lifler, aranan belirli özellikleri taşıyacak biçimde özel olarak geliştirilen ve bu amaçla insan yapısı olarak üretilen maddelerdir [7].

Bir lifi tanımlamak için kullanılan en uygun parametre onun narinliğidir. Doğal malzemelerden lif üretimi; mesela pamuk, kenevir, amyant vs. geniş kullanım alanı sağlarlar [8].

Tablo 2.1. Liflerin tipik özellikleri

Liflerin tipik özellikleri Lif çeşidi	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Max. Uzama Oranı (%)	Özgül ağırlık (gr/cm ³)
Amyant	207-414	2.07	25-45	1.1
Pamuk	552-966	82.8-138	~0.6	3.2
Cam	414-690	4.83	3-10	15
Naylon(yüksek kararlı)	1035-3795	69	1.5-3.5	2.5
Polyester	724.5-862.5	8.28	11-13	1.4
Polipropilen	552-759	3.45	~25	0.90
Çelik	276-2760	200.1	0.5-35	7.8

Lifleri tanımlayan en önemli öge lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özelliklerdir. Özetlersek; Narinlik oranı (lif uzunluğu / lif çapı), geometrik yapı, lifin çekme gerilmesi [9].

2.2. Geçmişten Günümüze Lifli Betonlar

İlk insanların saman çöpü, keçi kılı ve insan saçı kullanarak tuğla ve harcı kuvvetlendirme çabaları, yapı malzemelerinin doğasını geliştirmeye yönelik girişimlerin oldukça eskilere gittiğini göstermektedir. Gerçekte, lifli betonlara esin kaynağı olan saman takviyeli kıl harcı (kerpiç) 4500 yıl öncesinden beri yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yapı malzemelerinin sürekli donatılarla kullanılması, ancak betonarme betonu kadar eskidir [10].

Roma Collosium inşaatı sırasında o devrin sıvası olarak adlandırabileceğimiz balçık karışımlarına çeşitli hayvanlara ait kuyruk ve yele kıllarının ilave edildiğini biliyoruz. Türk Mimarisinde Mimar Sinan Usta'nın yapılarında kullandığı Horasan Harcı da içerisinde saman gibi doğal lifler içermekteydi.

Basit bir çimento, agrega ve su karışımı olan beton, İkinci Dünya Savaşı yıllarına kadar büyük bir değişim göstermemiştir. Uzun yıllar boyunca da betonda görülen çatlaklar ürünün doğasından kaynaklandığı düşünülerek dikkate alınmadı. Ancak bu çatlakların dayandığı tek neden, çok özel bir dönemde betonun, iç bünyesinde oluşan gerilmeleri taşıyacak dayanımının yeterli olmaması idi [11-12].

1960'lı yılların başında Amerikan Silahlı Kuvvetleri Mühendisleri Birliği, betonda oluşan çökme ve büzülme çatlamlarına yönelik bir araştırma programı başlatmıştır. Betonda yapısal olmayan çökme ve büzülme çatlaklarının azaltılması için kullanılan geleneksel yöntemler, yüzeyin bir sıvı kür malzemesi ya da bir örtü kullanılarak kapatılmasını kapsamaktadır, ancak bu önlemler çatlakların kılcal olmasını sağlıyor, yine de betona yük bindiğinde çatlakların genişlemesini önlemiyordu. Araştırma programının sonunda “plastik büzülme çatlaklarının, betonun tasarlandığı mukavemet değerine ulaşıncaya kadar maruz kaldığı dinamik iç gerilmelerden kaynaklandığı” sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen bir diğer sonuç “beton içerisine konulacak liflerin betonun balistik, enerji sönmüleme ve darbe dayanımını arttırdığı” şeklinde olmuştur [11].

Lifli betonlar üzerindeki çalışmalar, 1963'lü yıllarda beton içerisine cam liflerin katılmasıyla devam etmiştir. Daha sonraları farklı lif tipleri kullanılarak beton mukavemeti üzerine liflerin etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; beton içerisinde süresiz dağılım bulunan liflerin genellikle betonda oluşan çatlakları en aza indirerek lifli betonun şekil değiştirme özelliğini arttırmakta olduğu görülmüştür [13].

Günümüzdeki bilinen şekle sahip lif patentleri 1927’de ABD’de G. Martin tarafından, 1939’da İngiltere’de Zitkeviç ve yine İngiltere’de 1943’de G. Constantinesco tarafından alınmıştır. 1960’ların başlarında günümüzde bilinen anlamıyla çelik liflerin betonda kullanımına yönelik çalışmalar başlamıştır. Günümüzde geleneksel çelik teller endüstriyel zemin betonları ve tünel uygulamalarında kullanıldığı gibi yağmur suyu kolektörleri, atık su tankları, atık madde tankları, cephe ve bölme duvar elemanları, kanalizasyon boruları, tünel segmanları gibi prefabrike elemanların üretiminde de kullanılmaktadır.[14]

Lifli beton içerisinde rastgele dağıtılmış lifler bulunan ince veya ince ve iri agrega kullanılan, çimentolardan yapılmış kompozit bir malzemedir[15]. Lifler çelik, plastik, cam ve doğal malzemelerden çeşitli şekillerde ve büyüklüklerde üretilmektedir. Lifler betona karıştırıcı içerisinde eklenirler. Liflerin boyutu genellikle ‘narinlik oranı’ olarak tanımlanır. Narinlik oranı; lifin uzunluğunun, çapına oranıdır. Bu oran genellikle 6.4 –7.6 mm arasında değişen lif uzunlukları için 30 ile 150 arasında değerler alırlar . Liflerin betona karıştırma ve kontrol kuralları TS 10514’ de tanımlanmaktadır.

Lifli beton; Hidrolik çimento, agrega ve beton içerisinde çoğunlukla süresiz dağılı liflerin suyla karıştırılmasından meydana gelen bir yapıya sahiptir. Hidrolik çimento ve liflerden oluşan birleşime de “Lifli Beton ” adı verilmektedir. [13]

Belirli özellikleri olan liflerle homojen olarak takviye edilmiş lifli beton, ilk görünüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans ile geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir.

Lifli beton liflerin beton içerisinde gelişigüzel dağılmasına rağmen yük altında homojen bir davranış gösterir. Betonu takviye amacıyla kullanılan ve değişik şekil ve büyüklüklerde olan lifler genel olarak cam, çelik, polipropilen ve organik polimerlerden üretilmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda çimentolu sistemlerin içine konulan liflerin başlıca rolünün, betonda oluşan çatlakların matris içinde ilerlemelerini yavaşlatması olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle, malzemenin maksimum çatlak deformasyonu lif içermeyen herhangi bir betona göre önemli bir artış gösterir. Maksimum yükten sonra, lifli betonlarda, artan deformasyon sonucunda yükün azalma hızı normal betonlara göre çok daha yavaştır. Dolayısı ile liflerin matristen ayrılması ve uzamaları nedeni ile emilen enerji lifli betonlarda oldukça fazladır [9].

Tek eksenli basınç dayanımında da belirli bir artış görülür. Lifli betonların sünekliği ve tokluğunda lifsiz betonlara göre önemli artışlar sağlandığı da bilinmektedir. Lifli betonlarda beton bileşimine giren parametreler içerisinde beton özelliklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler narinlik oranı ile lif miktarıdır.

Lifli betonun üretilmesinde karıştırma ve yerleşme gibi aşamalarda lifin narinlik oranı önemli olmaktadır. Genellikle beton karışımlarında kullanılan çelik liflerin narinlik oranı 50 ile 100 arasında değişmektedir. Bu oran ne kadar büyük olursa karışım içerisinde topaklanmanın oluşması ve liflerin homojen dağılmadığı yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Karışıma katılan lif miktarı da betonun işlenebilme özelliğini önemli ölçüde etkilemektedir.

Genellikle beton karışımlarında en uygun lif yüzdeleri toplam beton hacminin % 0.5 ile 2.5 arasında değişmektedir. Beton bileşimine katılan liflerin çeşidi ne olursa olsun liflerin homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonrada bozulmaması gerekmektedir [12-13].

2.3. Lifli Betonun Önemi

Lifli betonun inşaat mühendisliği açısından önemini genel olarak aşağıdaki maddelerle ifade edebiliriz:

- Dinamik yükleme veya çarpma mukavemetini arttırmak malzemenin dökülmesini, parçalanmasını, dağılmasını önlemek,
- Yapıdaki çekme, eğilme kuvvetinin birlikte oluşturduğu gerilmeden dolayı ve zor kesit tesirlerine karşı yapı elemanı, çelik donatı ve lif ile kuvvetlendirilerek dayanımı büyük ölçüde arttırabilmek,
- Düktilitesi normal betona göre oldukça yüksektir. Bu sebepten çarpma etkisi titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı normal betona göre dayanıklıdır,
- Basınç duktilitesi gösterir, yani taşıma gücüne eriştiği halde yük taşıma özelliği vardır,
- Kesme, burulma ve yorgunluğa karşı mukavemeti fazladır. Çatlamalar, dökülme, parçalanma ve dağılmalar azalır. Basınç mukavemetinde de belirli bir artış görülür

[16]. Lifli betonun bu üstün nitelikleri kesit derinliklerinin azaltılmasını mümkün kılarak malzemedan tasarruf sağlar. Genellikle donatıya gerek bile kalmaz [17].

2.4. Lif Çeşitleri

Lifler, üretildikleri malzemelerin farklı özelliklerinden dolayı çok çeşitli olabilmektedir. Genel olarak lifleri su dört sınıf altında toplamak mümkündür;

- Metalik lifler (Çelik vb.),
- Polimerik lifler (Karbon, polietilen, polipropilen vb.),
- Mineral lifler (Cam vb.),
- Doğal olarak oluşan lifler (Selüloz vb.) [18]

2.4.1. Metalik Lifler

Lifli betonlarda kullanılan metalik liflerin en yaygın olanı çelik liflerdir. Elastisite modülleri ve dayanımları yüksek olup, sünek davranış gösteren bu lifler, karbon çeliği veya paslanmaz çelikten üretilirler.

Genel olarak beton yorulma dayanımını, aşınma dayanımını, çekme dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımını ve enerji emme kapasitesi bakımından zayıf bir malzemedir. Betonun bu özelliklerini belirgin olarak artırmak amacı ile lifli betonların farklı alanlarda kullanılma ihtiyacının artması ile beton teknolojisinde yeni araştırmaların yapılmasına neden olmaktadır. Özellikle kompozit malzeme teorilerinin pratikte yaşanan teknolojik gelişmelerle ve yeni malzemelerin betonda kullanılmasını hedeflenmektedir. Bu malzemelerden biride beton karışımlarına katılan farklı boyutlardaki çelik liflerdir.

Beton içerisindeki çelik lifi, betonun yapısını değiştiren ve ona plastik davranış özelliği kazandıran bir malzeme olarak nitelendirebiliriz. Çelik lifli betonun özelliği, onun arttırılmış plastik davranışı ve enerji yutma yeteneğidir.[19]

Çelik lif donatılı betonlar, 60'lı yılların başında geliştirildi ve lif tipleri üzerinde yıllar boyu süregelen araştırmalar ve uygulamalar, bu malzemeyi dünya çapında çeşitli uygulamalarda bilinen bir teknoloji haline getirdi. Günümüzde halen, dizayn ve hesap metotları geliştirilmektedir. Çelik lif donatılı betonlar için ilk uygulama alanlarından biri, elastik zemine oturan beton plaklar oldu. Bugün milyonlarca metrekare çelik lif donatılı

zemin betonu dökülmektedir. Mikro çatlaklar arasında köprü görevini gördükleri ve gerilmeleri geniş bir alana transfer ettikleri için çelik lifler, kırılğan beton yapısını esnek ve dayanıklı hale getirmektedir. Sonuçta, gerilmelerin beton içindeki dağılımı değişmekte, yük taşıma kapasitesi belirgin bir şekilde artmaktadır. Tutkallı çelik lifler kolayca betona katılmakta ve homojen dağılmaktadır.[20-21]

Basınç etkisi altında mekanik davranışları elverişli olan yapı malzemelerinin, çekme ve eğilme etkisi altındaki davranışları çoğu zaman yeterli olmamaktadır. Bu malzemelerin elverişli olmayan mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için beton içerisine karıştırılan çelik liflerin yapısı çekme özelliğine karşı bir düzeltme ve kullanım özelliği sağlamaktadır. Çelik lifli betonların üretilmesindeki ana amaç; malzeme tokluğu, darbe yüklerine karşı direnci, eğilme dayanımı gibi özelliklerin artırılmasına yöneliktir. Çelik lif donatılı betonları karakterize eden en önemli özellikleri, tokluk ve dinamik yüklere dayanımıdır. Başka bir deyişle, betonun enerji yutma kapasitesindeki büyük artıştır. Basınç ve eğilme-çekme gerilmeleri çelik liflerin rolünden ziyade beton kalitesine, tokluk ise çelik liflerin performansına bağlıdır.[22]

Beton içerisine çelik liflerin katılmasıyla işlenebilirlik özelliklerinde bazı değişiklikler gözlenir. Şimdiye kadar yapılan tüm çalışmalarda betona katılan çelik lif ilavesinin işlenebilirlikte önemli derecede azalmalara yol açtığını tespit edilmiştir. Bu azalma üzerindeki en önemli iki faktör, karışımdaki lif hacmi ve narinlik diye tanımlanan lifin uzunluk/çap oranıdır. Yine çalışmalar göstermiştir ki çelik lif ile güçlendirilmiş betonların işlenebilirliğinin ölçümünde slump yönteminin pek kullanılmadığını ve en uygun yöntemlerin ters çevrilmiş koni ve Ve-be yöntemleri olduğunu göstermektedir. Çelik lif miktarının beton içerisinde artması ile işlenebilirlikte azalmalar meydana gelmektedir. Ayrıca narinlik oranının artması da yani çelik lif performansının artması ile de işlenebilirlik zorlaşmaktadır. Çelik lif tipi ve geometrik şekli işlenebilirliği olumlu ya da olumsuz etkileyebilmektedir.

Çelik lif donatılı betonların karakterize eden en önemli özelliklerden biri, onun tokluğudur, başka bir deyişle, enerji yutma kapasitesidir. Tokluk, beton içindeki çelik liflerin rolüne bağlıdır ve lifli betonların işlevselliği değerlendirilirken esas alınan bir parametredir. Bu özellik çelik lifli betonun lif miktarı, narinlik oranı, lif boyu, lif geometrisi ile yükleme hızı ve numune boyutları gibi faktörlerden etkilenir. Bu sözünü ettiğimiz, enerji yutma kapasitesinin ölçümü ASTM 1018 USA ve TS 10515 standartlarında belirtilmiş ve yük-deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile

bulunur. Betondaki lif içeriğinin artması, lif boyunun ve narinlik oranının büyümesi ile betonun tokluğu da artmaktadır.

Çelik liflerin yüksek çekme dayanımlarından dolayı çelik lifli betonların eğilme dayanımları normal betonlara göre %50-100 arasında artış göstermektedir. Betonda ilk çatlaktan sonra çelik liflerin çatlak sonlarından gerilme transferi ve dağılımı yapması sebebiyle yük ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artar ve maksimum eğilme dayanımı lifsiz betona göre daha fazla olur. Fakat çelik lifli betonların basınç dayanımları, çelik liflerin beton içerisinde gelişi güzel dağılmasından dolayı her zaman olumlu etkilememektedir. Basınç dayanımlarında artışlar görülebileceği gibi bazen de basınç dayanımı kayıpları ortaya çıkabilmektedir. Basınç ve eğilme-çekme gerilmeleri, çelik liflerin rolünden ziyade, beton kalitesine bağlıdır. Diğer özellikleri ise, homojen dağılmış lif donatıya bağlı olarak etkili bir çatlak kontrolü, artan darbe, yorulma ve aşınma dayanımıdır. Tokluktan sonra çelik liflerin önemli derecede performans artışı sağladığı özellik betonların darbe dayanımlarıdır. Çelik lifler darbe aşınmasının neden olduğu mikrokırılma çatlaklarını kontrol ederek betonların aşınma hasarlarını azaltmaktadır. Ayrıca çelik lifler beton kaplamaların yüzeylerinin pullanmasını önleyici etki yapmaktadır.

Hacimsel büzülme anlamına gelen rötre betonda termik, plastik, kuruma ve karbonatlaşma olarak dört farklı rötre oluşumunun betonda değişik priz süreçlerinde farklı nedenlerle meydana gelen çatlakların artarak ve büyüyerek çoğalmasından kaynaklanır. Bu nedenle priz süreci ve daha sonraki süreçte ortaya çıkan çekme gerilmelerini beton matrisinde alabilecek ve gerilmeyi çatlak olmayan bölgelere aktarıp dağıtacak liflere ihtiyaç vardır. Kritik yapılarda ve güçlü büzölmelerin olabileceği yerlerde çelik lifler kullanılmaktadır. Lif miktarının, narinlik oranının ve lif uzunluğunun artması ile rötrede azalmalar meydana gelmektedir.

Tutkallı demetler halinde bulunan çelik liflerin karışım esnasında tek tek tanelere ayırlamamasından dolayı beton içerisinde kalması sonucu betonda boşlukların doğmasından dolayı çelik lifli betonlarda boşluk oranının artması sorunu vardır. Bu şekilde boşluklu betonlar geçirgenliği de olumsuz etkilemektedirler. Geçirgenliğin artması da çelik lifin korozyona uğramasına ya da kimyasal reaksiyonlar sonucu bozulmaları arttırabilecektir. Lifli betonlarda iyi bir karışım, iyi yerleştirme, iyi bir sıkıştırma ve iyi bir bakım sonucu çelik lifli betonlarda dayanıklılık sorunu önlenebilecektir.

Çelik liflerin betonların donma-çözölme direncine etkisi önemli düzeyde değildir. Buna karşılık çelik lifler mikro çatlak oluşumunu ve yayılmasını geciktirir. Buna bağlı

olarak donma-çözülme esnasında betonun göçme ve hasar görmesini yavaşlatır. Göçme modundaki bu iyileşme çelik lifin çatlak köprüleme etkisine ve çatlak tutma becerisine bağlı olmaktadır. Dolayısıyla çelik lif donatılı betonların donma-çözülme etkisinde kütle kaybı normal betonlardakine benzer olmaktadır. Çelik lifler genel olarak betonların aşınma, erozyon ve kavitasyon dirençlerini ise artırmaktadır.

Çelik lif katkılı betonlar son yıllarda; dayanıma olan olumlu etkileri ve enerji yutma kapasitelerinin fazla olması nedeniyle yaygın olarak uygulama alanı bulduğu kullanım alanları aşağıda özetlenmiştir [23].

Dayanıklılığın ve çarpma rijitliğinin yüksek olduğu fabrika zemini, dersiz zemin, ağır yüklü stok sahası, süper düzgün zemin, soğuk hava deposu yapılarının inşasına imkân verir. Ayrıca yük taşıma kapasitelerinin yüksek olması, çatlak kontrolü sağlaması, dinamik ve ani yüklemelere karşı yüksek direnç göstermesinden dolayı endüstriyel yapıların zeminlerinde kullanılmaktadır.

Sünekliğinin yüksek olması depreme dayanıklı konut yapılarında, endüstriyel ve nükleer atık depolanan yapılarda, koruma ve savunma amaçlı depo ve silolarda, güç santralinin yapımında enerji yutma kapasitesinin yüksek olması nedeniyle kullanılmaktadırlar. Geleneksel betonlara göre çelik liflerle güçlendirilmiş betonlar parçalanmama dayanıklılığına da sahiptirler. Çelik lifler, beton dağılmadan önce büyük miktarda enerji emme kapasitesine sahip olmaları nedeniyle küçük çatlakları bir arada tutarlar.

Maden tavan destekleri, tünel içi kaplama, tünel segmanları, püskürtme beton, istinat duvarları, şev stabilitesinde kenar ve köşelerde oluşan hasarları en aza indirmek, onarım maliyetini azaltmak üretimde verimlilik için çekme donatısı kullanılmadan yüksek dayanımlı beton elde edilir.

Havaalanı, karayolu, benzin istasyonu ve liman zeminleri gibi yol kaplamalarında aşınma ve çekme dayanımının yüksek olmasından dolayı dayanımı ve dayanıklılığı yüksek beton elde edilir [23].

2.4.2. Polimerik Lifler

Polimerik lifleri doğal ve sentetik olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Doğal polimerik lifler, pamuk, sisal, hint keneviri gibi bitkisel kökenli ya da yün, deri gibi

hayvansal kökenli liflerdir. Sentetik polimerik liflerin başlıcaları ise polipropilen, naylon, polietilen, aramid, karbon ve perlon'dur [24].

Çimento esaslı malzemelerin takviyesinde en yaygın olarak kullanılan polimerik lifler, polipropilen liflerdir. Çekme dayanımları yüksek olan bu liflerin, elastisite modülleri düşüktür. Bu liflerin betonda kullanım miktarları oldukça düşüktür. Bu tez çalışmasında kullanılan polipropilen lifler Bölüm 3 de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

2.4.3. Mineral Lifler

En bilineni cam lifler olup, sertlik, dayanıklılık ve diğer malzemelerle fazla tepkimeye girmeme gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadırlar. Esnek, hafif ve pahalı olmayan bu malzemeler genelde çimento hamuruna veya harç karışımlarına katılarak kullanılır. İri agregalı betonda pek kullanılmaz [24]. Mineral liflerin elastisite modülleri ve çekme dayanımları yüksek olup, gevrek davranış gösterirler

Cam lifler son 25 yılda büyük bir gelişme göstermiştir. İlk zamanlardaki cam lifler başarılı değillerdi çünkü portland çimentodaki alkaliler lifleri etkiliyor ve zarar veriyorlardı. Bundan dolayı cam lifler çimentoların hidrasyonu sonucu oluşan alkali miktarına bağlı olarak geliştirildi. Genellikle 100 ile 400 arasında tek liflerden oluşan doğranmış halatlar şeklinde bulunurlar [25].

Cam lifler çok hassas oldukları için beton yerine harç ile daha iyi bir uyum sağlarlar. Buna bağlı olarak aşınma dayanımı dezavantajıdır [26].

- Prekas elemanın özelliğine göre 10-15 mm kesit kalınlığında üretilmektedir.
- Üretiminde kullanılan kimyasal katkıları sayesinde yüksek performanslı beton elde edilir.
- Porozitesi düşük olduğundan su emmesi düşüktür. Donma çözülme dayanımı yüksektir. Asitlerden etkilenmez.
- Geçirimsiz beton elde edildiğinden donatı korozyonunu geciktirir.
- Ön cephe kaplamalarında, ateşe dayanıklı yapılarda, Prekast sistemlerde vb. kullanılır.

2.4.4. Doğal Olarak Oluşan Lifler

Bu liflerin en önemli özellikleri kolayca elde edilebilmeleridir. Ancak bu liflerin alkali ortamda parçalanma eğiliminde olmaları bir sorundur. Bilinen en eski doğal lifler saman ve at yelesi olup Portland çimentosuyla kullanılan diğer doğal lifler ise bambu, Hindistan cevizi, sisal, şeker kamışı ve ahşap gibi liflerden oluşmaktadır [24].

3. POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLAR

3.1. Polipropilen Lif

Polipropilen lif insanlık tarihi kadar eski olan doğal mikro donatı saman ve hayvan kılları kullanımının günümüz teknolojisine uyumlaştırılmış halidir. Polipropilen lif beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen elyafları %100 polipropilen esaslı olup, kullanımında ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun ve sıvanın kalitesini artırmak için kullanılan çürümeyen bir üründür. Polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonucu veren ve en yaygın kullanılan polipropilen liflerdir. Polipropilen lif betonun içinde üç boyutlu bir mikro donatı ağı oluşturarak, betonda doğal olarak varlığı kabullenilen eksiklik ve zaafı azaltıp betonun bazı özelliklerini iyileştirebilirler. Polipropilen lifleri hasır demir, metal elyaf ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemleri ile karşılaştırıldığında en hafif mikro donatı sistemidir. Metrekare başına ağırlığı 90 gram ila 200 gram arasındadır. Bu nedenle yapıya diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı vermezler [27].

3.2. Polipropilen Liflerin Sınıflandırılması

Polipropilen elyafları %100 homo-polipropilenden F ve M olmak üzere iki tipte imal edilmektedir. F-fibrilize elyafları, M-multifilament elyafları temsil etmektedir. M tipi elyaflar çok ince olup şap yüzeyinde gözükmeklerinden iç mekan şapları için iyi sonuçlar sağlarlar. F tipi lifler ise endüstriyel zemin uygulamalarında ve ağır hizmet zeminlerinde durabilite ve tokluk aranan şap ve betonlar için daha uygundur. Polipropilen lif tipleri ve teknik özellikleri Tablo 3.1 de gösterilmiştir [28].

3.3. Polipropilen Liflerin Performansları

Polipropilen lifler kimyasal olarak durağan ve alkali ortamlara dayanıklıdır. Her tip portland çimentosu ile beraber kullanılabilirler. Organik çözücülere ve hidrokarbonlara dirençli olmalarından dolayı petrol ürünlerinin bulunduğu benzin istasyonlarında rahatlıkla kullanılır. Elektriksel ve manyetik alanlardan etkilenmezler ve ısı geçirgenliği son derece düşüktür. Termal uzaması ihmal edilebilir. Yerden ısıtma sistemlerinin koruma şaplarında

kullanılırlar. Kayda değer su emişleri olmadığından betonun su/çimento oranını etkilemezler.

Tablo 3.1. Polipropilen liflerin teknik özellikleri [28]

Tip	Fibrilize	Multifilament	Fibrilize
Polipropilen (%)	100	100	92
Ürün Tipi	Standard F	Standard M	Paint
Yoğunluk (kg/lt)	0.91	0.91	1.00
Kesit	Karesel	Yuvarlak	Karesel
Kalınlık	36	18	-
Renk	Transparent	Transparent	Renkli
Görünüm	Visible	Invisible	Visible
Gerilme Dayanımı (N/mm ²)	500	700	500
Young Modülü (N/mm ²)	7161.20	7161.20	7161.20
Uzama (%)	Max 10	Min 100	-
Uzunluk (mm)	3-6-9-12-15-19-25-31-37-46-51		

Oksitleyiciler ve asitler ile reaksiyon vermezler ayrıca paslanmaz ve çürümezler. Polipropilenler kılcal çatlamları ve beton geçirgenliğini azaltır, sıkıştırma faktörünü yükseltirler. Asit, alkali ve tuzlara karşı dirençli bir tali donatıdır. Plastik rötre çatlaklarını, beton yüzeyindeki göllenmeyi ve su geçirimini azaltır. Aşınma direncini sağlar. Köşe ve derz kırılmasını azaltırlar. Polipropilenler şap betonlarının uzak mesafelere ve yüksek kotlara pompalanabilirlik yeteneğini arttırır. Pompa basıncını düşürerek enerji tasarrufu sağlarken, aynı zamanda kauçuk parçaların hasar görmesini engeller. Betonun saçılmasını ve ayrışmasını engeller. Betonun pompa ucundan homojen, yoğun, sürekli ve tutunganlığı yüksek bir şekilde akmasını sağlarlar.

Polipropilen ile donatılandırılmış şap betonlarında, yerleştirme ve masterlama sonrasında beton yüzeyinde su gölcükleri oluşmaz. Bu gölcükler betonun ayrıştığı ve dayanıklılığın ortadan kalkmasının bir göstergesi olup, çatlamaya, tozumaya, ufalanmaya ve pullanmaya yol açar. Polipropilenler plastik şap betonu içindeki agregaların yerçekimi etkisi dibe çökmesini engeller ve beton yüzeyinde çimento pastası oluşumuna izin vermezler.

Polipropilen şap betonda mikro çatlakları ve kapileriteyi azalttığından sıvı geçirgenliği düşer. Bu sayede donma çözülme çevrimine direnç kazanır. Bu özellik dış mekan şapları ile havaalanı taksi yolları, otoparklar, yürüme yolları ve benzin istasyonları için yaşamsal önem taşımaktadır. Polipropilen atmosfer etkilerine dirençlidir. Dış mekan, çatı, teras ve benzeri koruma ve tesviye şaplarında da kullanılırlar.

3.4. Polipropilen Liflerin Betona Katılışı ve Kullanım Oranları

ASTM C 1116 (2000) [29] standardına göre %100 saf polipropilen ham maddesi kullanılarak üretilen lifler hacimce %0.1=1 litre varlığı 1 m³ beton için yeterlidir. Polipropilen maddesinin yoğunluğu 0.9 kg/litre olduğundan tavsiye edilen lif miktarı en az 0.9 kg/litre olmalıdır. Bu oranların %0.05 ila %2 arasında ve hatta %5'e kadar çıkabilir. Portland çimentolu agregalarına göre uygulamalar betonlar ve harçlar olmak üzere iki gruptur. İçerdiği özel katkıları sayesinde beton içerisinde topaklanmadan beton santralinde, transmikserde, betoniyerde, şap pompasında, püskürtme makinesinde, mekanik karıştırma işleminin olduğu her tür makine de kolayca katılabilir.

Polipropilen lifler su emmezler, bu nedenle beton ve harçların su çimento oranını etkilemediğinden yeni bir karışım dizaynı ya da karışım oranlarında bir değişiklik gerektirmez. Beş dakika yüksek devirde karıştırıldıktan sonra, polipropilen demetleri çözülür ve binlerce elyaf lif, betonun her tarafına homojen bir şekilde dağılır. Polipropilen lifli betonu yerleştirmekte kolay ve ekonomiktir. Fazla karıştırmanın liflerin performansına bir mahsuru yoktur. Yüksek aşınma direnci ve mikro donatı yoğunluğu gereken yerlerde polipropilen lif dozajı hacimce %0.2 ye kadar artırılabilir. Polipropilen sıva ve harç betonu için ton başına 2 kg ilave edilir. Özel amaçlı yapıştırıcılar, tamir harçları, derz dolguları için bu oran 5 kg düzeyine kadar çıkarılır. Kuru karışıma ilave edilecek polipropilen lifler homojen ve topaklanmadan kolaylıkla dağılır. Lif miktarı ve uzunluğu ihtiyaca göre değişim gösterebilir. Polipropilenler için tavsiye edilen kullanım dozajları Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.2 Polipropilen lif kullanım dozajları

Polipropilen	İç Mekan	Dış Mekan	Ağır Hizmet
Elyaf Tipi	M	F	F
Minimum Dozaj (gr/m ³)	600	900	1800
Full Etki (gr/m ³)	1200	2700	3600
Uzunluk (mm)	6-9-12-15	6-9-12-1	5-19-25

3.5. Polipropilen Lifli Betonun Teknik Özellikleri

Beton veya sıvada polipropilen lifli betonun en önemli etkisi, sermeden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzölmelerden dolayı oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Sertleşme prizlenmenin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzölmelerden dolayı meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzölme esas itibariyle su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve buharlaşmanın tabii bir sonucudur.[30]

Polipropilen lifler,

- Büzölme gerilmelerine karşı bir direnç meydana getirirler,
- Büzölmeden dolayı oluşacak çatlak tehlikesini asgari düzeye indirirler,
- Beton içinde homojen olarak dağılırlar,
- Kg başına yüzey alanı çok geniştirler,
- Betona çok iyi şekilde yapışırlar,
- Elastisite modülü değeri plastik haldeki betona oranla oldukça yüksektirler,
- Polipropilen lifler sertleşmiş betonda dayanım artırıcı bir etki yaratmazlar,
- Etkileri betonun plastiklik safhasında geçerlidir ve bir nevi katkı malzemesi görevi görürler.

Polipropilen lifler çelik liflere nazaran betonun mekanik mukavemetlerini arttırmada çok etkili olmazlar. Yinede azda olsa betona enerji yutma özelliğı kazandırır ve özellikle plastik rötrede çok etkili olurlar. Özellikle çok güçlü olmayan büzölmelere karşı polipropilen lifler tercih edilmektedirler. Polipropilen liflerin fonksiyonu betonun yumuşak, plastik safhasıyla sınırlı iken, çelik liflerin mukavemet artırıcı etkisi beton prizini alıp sertleştikten sonra da belirgin şekilde devam eder. Betonun plastik safhasında çelik liflerin çatlak önleyici ve sınırlayıcı etkisi de mevcuttur. Ancak, betonda mükemmel şekilde dağılmış olan polipropilen liflerin etkisine göre zayıftır. Bununla birlikte sertleşmiş betonda uzun dönemde kuruma büzölmelerinden dolayı oluşacak çatlakların azaltılmasında çelik lifler malzemeye belirli bir dayanıklılık ve tokluk vererek betonun mukavemetini önemli ölçüde arttırır.[30]

Plastik sıva ve betondaki rötre ve büzölme çatlaklarını azaltır, segregasyonu azaltır, betona tokluk kazandırır ve geçirimsizleştirir, betonun darbeye karşı dayanımını artırır, betonun aşınma mukavemetini artırır, asit ve bazlardan etkilenmez. Polipropilen lifler

donatının korozyonunu ve paslanmasını geciktirir, betonun dağılmasını önler. Yapılar depremde az hasar görür ve çökme riski azalır, betonun tutunganlığı artar, kayar kalıplarda betonun şişmesini önler, yorulma dayanımını kazandırır ve beton hizmet ömrünü artırır, aşındırıcı kimyasallara karşı dayanımı artırır, yüzey tozumasını ve pullanmasını engeller.

3.6. Polipropilen Liflerin Kullanım Alanları

Fibrilize standard F tipi polipropilen lifler beton, prefabrikasyon, şap, püskürtme sıva, harç ve kaplama, multiflament standard M tipi polipropilenler şap, kaplama, püskürtme sıva, harç, prefabrikasyon ve alçı, fibrilize paint ise boya, bitüm ve alçı işlerinde kullanılması tavsiye edilmektedir. Polipropilen liflerin başlıca kullanım alanları aşağıda belirtilmektedir [23].

3.6.1. Bitüm İşlerinde

Polipropilen lifler, çoğu standart soğuk ve sıcak karışım formüllerine uyumlu olması, yüzey tutunmasını arttırması, aşınma ve yırtılmayı azaltması, kullanım kolaylığı ve fiyat avantajı, soğuk havalara karşı dayanımı yüksek oluşu, onarım ömrünü 3 veya 5 kat arttırabilmesi ve yollarda zamanla meydana gelebilecek dalgalanmaları önleyebilmesinden dolayı otoyollarda, anayollarda, köprü ayakları, park, havaalanı ve yürüyüş yollarında kullanılırlar. Ayrıca kısa uzunluktaki polipropilen lifler, asfalt onarım uygulamaları için üç boyutlu tasarlanmış ve iyileştirilmiş asfalt hamurunun yapışkan ve bağlayıcı güçlerini desteklerler.

3.6.2. Taşıyıcı Sistemlerde

Deprem, aşırı ani yük binmesi, korozyon, yangın gibi dış etkenlerden betonun patlayıp dağılması ve yalnız kalan çelik donatının tek başına basınca dayanamayarak yapının çökmesi ile sonuçlanan sürece maruz kaldıkları bilinen bir gerçektir.

Polipropilenler betonun dayanıklılığını arttırır ve yıllara meydan okuyan sağlam yapılar, polipropilen lifli beton ile mümkün olabilir. Polipropilen lif beton içinde homojen şekilde dağılırlar. Beton içinde mükemmel dağılan polipropilen lifleri agrega ve karışımı, mükemmel şekilde birbirlerine tutunmasını sağlayarak betonun dayanıklılığını arttırmış

olur. Böylelikle saydığımız dış kuvvetlerden beton patlamasını ve dağılmasını engelleyerek yapının ayakta kalmaya devam etmesini sağlarlar. Bina tahliyesi için zaman kazandırır.

Yangınlarda yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonlar ısınınca iç basınca maruz kalırlar. Bu basınç tahliye olamaz ve betonu patlatır. Patlayan betonun mukavemeti kalmaz ve yalnız kalan çelik donatı çöker. Polipropilen lifleri beton içinde 160°'de erir ve 250°'de yok olur. Bu sayede beton içinde kanallar oluşur ve beton içinde oluşan buhar, basınç oluşturmada kanalcıklar yoluyla tahliye olur.

Dolayısıyla beton patlamaz. Polipropilen lifler beton içinde mükemmel dağıldığı için, betonda oluşan rötre çatlaklarını %80-100 azaltırlar. Çatlaklar gözle görülemeyen mikro çatlaklar kadar olur. Sıkıştırma (kompaktlık) faktörünü yükseltirler. Asit, alkali ve tuzlara dirençli olduklarından arıtma tesislerinde uygulanabilirler.

3.6.3. Saha Beton ve Şap İşlerinde

Endüstriyel yüzey ve ağır yüklere maruz kalan zeminlerde polipropilen lifler kırılma, çatlama, aşınma problemlerini çözerken çarpma ve parçalanma dayanımı yüksek betonlarla tesis ömrünü ve kalitesini arttırırlar. Tersane ve limanlarda deniz suyuna karşı ekstra koruma sağlarlar. F fibrilize elyaflar ağır hizmet zeminlerinde durabilite ve tokluk aranan şaplar için uygundur. Multiflament polipropilen elyaflar çok ince olup şap yüzeyinde gözükmediklerinden iç mekân şapları için iyi sonuç verirler.

Benzin istasyonları ve petrokimya depolama tesislerinde bulunan saha betonları aşırı trafik, ağır yükler ve kimyasallara maruz kalır. Betonun aşınması, ömründen kısılması, dayanıklılığın azalması kırık ve çatlaklara sebep olunmaması için polipropilen lifler ekonomik ve uzun ömürlü çözümlerdir. Beton yollar 30–40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilmiştir. Beton yollar tüm hizmet ömürleri boyunca çok az miktarda bakım gerektirirler. Periyodik olarak yapılması istenen ve gereken bakım yaklaşık 4-5 yılda bir derz dolguların yenilenmesidir. Çimento fabrikaları tüm yurt çapında yayıldığı için çimento taşıma ücreti asfalta göre daha az düzeydedir. Polipropilen beton yollarda kullanıldığında yolda meydana gelecek dalgalanmaları önler. Kılcal çatlakları ve beton geçirgenliğini azaltır.

3.6.4. Su Yapılarında

Polipropilen lifler çatlak ve yarıklardan kurtulmak, suyun aşındırıcı etkisine dayanmak, şevlerde oluşan derin yarık ve kopmaları önlemek, kenarlarda ve derzlerde oluşacak kırıkları önlemek, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, oturma ve çökmeleri önlemek, homojen, boşluksuz tok bir yapı elde etmek, malzemenin su emmesini önlemek amacıyla su yapılarında kullanılırlar.

Beton boru ve elemanlarında ise, kenar köşe kırıklarını engellemek, erken kalıp almada oluşan kopmaların önüne geçmek, rötre çatlaklarını engellemek, yükleme, taşıma ve depolama kayıplarını azaltmak, eleman ömrünü uzatmak, boşluksuz ve su geçirimi düşük bir yapı sağlamak ve kimyasallara karşı dayanımı arttırmak amacıyla kullanılırlar.

3.6.5. Püskürtme Sıva ve Betonlarda

Püskürtme sıva ve beton (shotcrete) uygulamalarında çelik hasır her zaman iyi sonuç vermeyebilir. Polipropilen lif kullanmak, geri düşmeyi azaltarak kaliteyi artırır ve malzeme israfını önler. Oluşturduğumuz tabaka sürekli, çatlaksız ve yarıksız olur. Tutunma kabiliyeti yüksek ve geçirimsiz bir yapı elde edilebilir. Özellikle büyük kot farklarında çalışmayı kolaylaştırır, kimyasallara karşı dayanım sağlar. Betonunuzu ve içindeki donatıyı korozyona karşı korunmasına yardımcı olurlar. Uygulamada oluşan çatlak ve yarıklar yapının ömrünü kısaltır. Buralardan sızan sular ek maliyetlere ve iş zorluğuna sebep olur. Bu etki zaman zaman yapının zarar görmesine ve yeniden inşa edilmesine sebep olabilir.

3.6.6. Boya ve Mimari Uygulamalarda

Dış cephe boyalarında polipropilen elyaf kullanılması ufalanmayı ve boyanın daha pürüzsüz olmasını sağlar. Su yalıtımında riskli olarak kabul edilen bölgeler için geliştirilmiş polipropilen mikro elyafları kullanılabilir. Boyanın, güneş ışınlarına maruz kaldığı bölgelerde hızla solduğu, soyulduğu ve çatladığı görülür. Güneş, yağmur, rutubet gibi olumsuz hava koşullarına karşı polipropilen kullanılabilir. Çatılar, temeller, bodrum duvarları, köşe birleşim noktaları polipropilen elyaf ile su geçirimsiz hale getirilebilir.

Kartonpiyer uygulamalarında polipropilen tercih edilir. Polipropilen elyaf kartonpiyerde çatlamayı önler, daha dayanıklı olmasını sağlar. Mimari yapılarda alçı, korkuluklarda, kartonpiyer uygulamalarında mimarlar için polipropilen elyaf kullanmak vazgeçilmez bir alternatif oluşturmaktadır. Pencere ve köşebent uygulamalarında polipropilen kullanımı malzemenin daha dayanıklı olmasını sağlar.

Parke taşlarında kullanılan polipropilen homojen ve topaklanmadan kolaylıkla dağılır ve dayanıklılığı artar. Ayrıca parke taşlarında tutunmayı artırır, yüzey direncini ve aşınmayı engeller.

3.6.7. Toz Ürünlerde

Polipropilen hazır beton harcı, hazır şaplar, hazır sıvalar, yapıştırma harcı, tesviye harcı, yüzey sertleştirici ve püskürtme harcı gibi toz ürünlerin iş arkadaşısıdır. Aşınma, tozlanma, çatlama, ufalanma sorunlarını engellemek amacıyla tesviye harçlarında yüzey direncini arttırırlar.

Beton yapılarından kopan parçaların tamiri sorun oluşturur. Tamir harçları yüzeye tutunmakta zorlanır. Polipropilen tutunganlığı arttırarak harcı betona adapte eder. Yapıştırma harçlarında tutunmayı ve kopma dayanımını arttırır. Hazır beton harçlarının dayanıklılığını arttırır.

3.6.8. Sıvalarda

Sıvaların uzun ömürlü olması için mikro donatı kullanma fikri çok uzun yıllardır vardır. Eskinin saman ve hayvan kılları gibi malzemelerin yerini organik olmayan, betona zarar vermeyen polipropilen lifler almaktadır. İlaç, gıda ve spor tesislerinde çatlaksız, boşluksuz, tozumasız ve hijyenik yüzeyler elde etmenize yardımcı olur. Beton ve içinde bulunan donatıyı kimyasalların korozyon etkisinden donma çözülme sonucu oluşan yıpranmadan korur. Kenar ve köşelerin dayanımını arttırır, parçalanmayı ve dökülmeyi önler.

Polipropilen kullanımı işçiliği kolaylaştırır, geri düşme ve sıçrama kaybını azaltır. Tutunmayı arttırır, çatlak ve yarıklarda rötuş yapma ihtiyacını kaldırır. Dış yüklerin açtığı yapısal çatlakların önlenmesi, yapıların taşıma gücünün artırılması, sünmenin azaltılması, taşıyıcı donatının miktarının azaltılması, kırılgan kolon ve döşemelerin kesitlerinin inceltmesi, beton bakımı ve kür maddesi kullanımı yerine ve bu amaçlarla kullanılamazlar.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında amaç, polipropilen lifli betonların taze ve sertleşmiş özelliklerini tespit etmek ve bu özellikler arasındaki ilişkiyi pratik bir grafikte ifade etmektir. Bu amaçla kullanılan deney malzemeleri, yapılan deneyler ve metodları bu bölümde ifade edilmiştir. Deney serilerinin hazırlanması, dökülmesi ve deneylerin uygulanması işlemleri Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

4.1. Kullanılan Malzemeler

Agrega, çimento, su, kimyasal katkı ve polipropilen lif kullanılarak elde edilen beton numunelerin malzeme özellikleri bu bölümde verilmiştir.

4.1.1. Çimento

Deneysel çalışmaların tamamında Elazığ Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 42.5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.1 de verilmiştir. Her deneyin amacına uygun olarak hesaplanan numune sayısına yetecek kadar çimento fabrikadan bir seferde satın alınmıştır. Böylece çimentonun özelliklerinde meydana gelebilecek standart değişimlerin önüne geçilmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.1 CEM I 42.5 N çimentonun özellikleri.

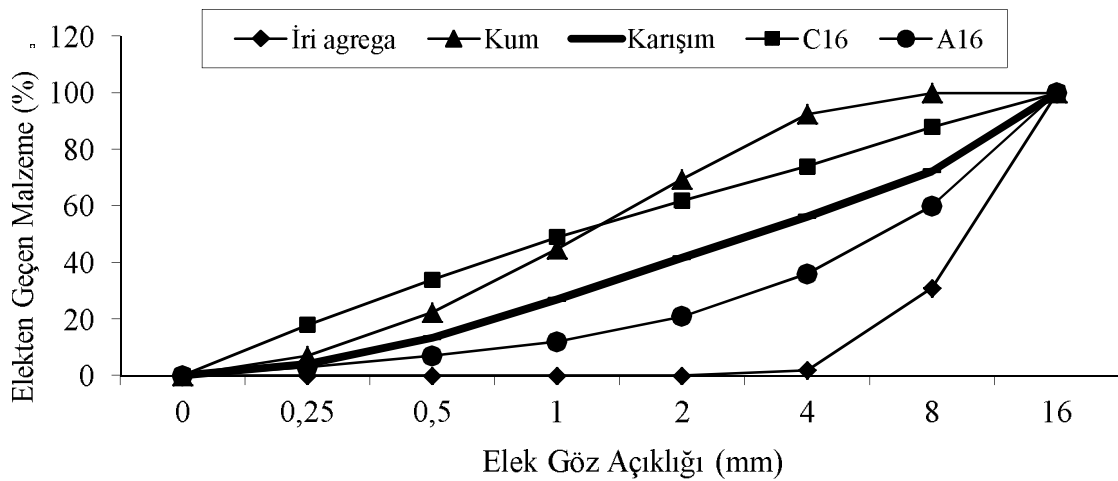
Özellik	CEM I 42.5 N	Özellik	CEM I 42.5 N
SiO ₂ (%)	19.45	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.14
Al ₂ O ₃ (%)	5.34	Priz başı (dk)	185
Fe ₂ O ₃ (%)	4.03	Priz sonu (dk)	260
CaO (%)	62.62	İncelik (cm ² /g)	3594
Cl (%)	0.008	Basınç dayanımı, 3 gün	24.4
Ç. Kalıntı (%)	0.64	7 gün	38.1
K. Kaybı (%)	3.52	28 gün (MPa)	49.1

4.1.2. Agregat

Deneaylerin tamamında Elazığ İli Palu İlçesi'nden elde edilen en büyük dane çapı (d_{max}) 16 mm olan nehir agregası kullanılmıştır. Çakıl ve kumun fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 4.2 de, granülometrisi ise Şekil 4.1 de verilmiştir.

Tablo 4.2 Agregaların fiziksel özellikleri.

Özgöl ağırlık (gr/cm ³)	Los Angeles Aşınma [139] (500 devir) (%)	Donma-çözölme kaybı [140] (%)	Kil miktarı (%)	Su emme miktarı (%)
2.68 (Kum)	13	9	--	1.8
2.64 (Çakıl)	--	--	3	1.3



Şekil 4.1 Agregat granülometrisi.

4.1.3. Karışım ve Karma Suyu

Deneysel çalışmaların tamamında TS EN 1008'e [31] uygun Elazığ İli şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Karma suları herhangi bir depoda bekletilmeden, içme suyu şebekesinden alındığı anda kullanılmıştır.

4.1.4. Kimyasal Katkı

Deneysel çalışmalar toplam 40 seriden oluşmaktadır. İlk 13 seride CHRYSO Fluid HP 359 süper akışkanlaştırıcı beton katkısı, diğer serilerde ise Sikament FFN süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. bu çalışmada kullanılan kimyasal katkıların teknik özellikleri Tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3 Kimyasal katkıların teknik özellikleri

Teknik Özellikler	CHRYSO Fluid HP 359	Sikament FFN
Görünüm	Sıvı	Sıvı
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.075±0.02	1.15-1.19
Renk	Açık kahverengi	Kahverengi
pH	5±1	7-11
Klorür içeriği (%)	<0.1	<0.1

4.1.5. Polipropilen Lifler

Bu çalışmada, iki farklı tip lif kullanılmıştır. Şekil 4.2 de görülen lif A tipi olarak Şekil 4.3 de görülen ise B tipi olarak anılacaktır. A tipi lif yumuşak ve küme halinde bulunmaktadır. B tipi lif ise serttir ve plastik donatı gibidir. Bu liflerin teknik özellikleri Tablo 4.4 de verilmiştir.



Şekil 4.2 A tipi polipropilen lif



Şekil 4.3 B tipi polipropilen lif

Tablo 4.4 Polipropilen liflerin teknik özellikleri

Özellikler	A tipi lif	B tipi lif
Şekil	Stable fiber	monofilament
Boyut (mm)	15	45
Özgül ağırlık (g/cm ³)	0.92	0.91
Elastisite modülü (GPa)	3.15	3.5
Çekme dayanımı (MPa)	620	724
En büyük uzama (%)	22	15
Elektrik geçirgenliği	Düşük	Düşük
Erime noktası (°C)	160	164
Yanma noktası (°C)	590	550
Isıl iletkenlik	Düşük	Düşük
Alkalilere direnci	Yüksek	Yüksek
Asitlere direnci	Yüksek	Yüksek
Tuzlara direnci	Yüksek	Yüksek

4.2. Karışım Oranları

Literatür çalışmaları incelendiğinde deney karışımlarının su/çimento (W/C) oranlarının, genellikle 0.4 ile 0.6 arasında seçildiği dikkat çekmektedir. Uygulama miktarlarının da bu değerler arasında olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, 0.4, 0.5 ve 0.6 olmak üzere üç çeşit W/C oranı seçilmiştir.

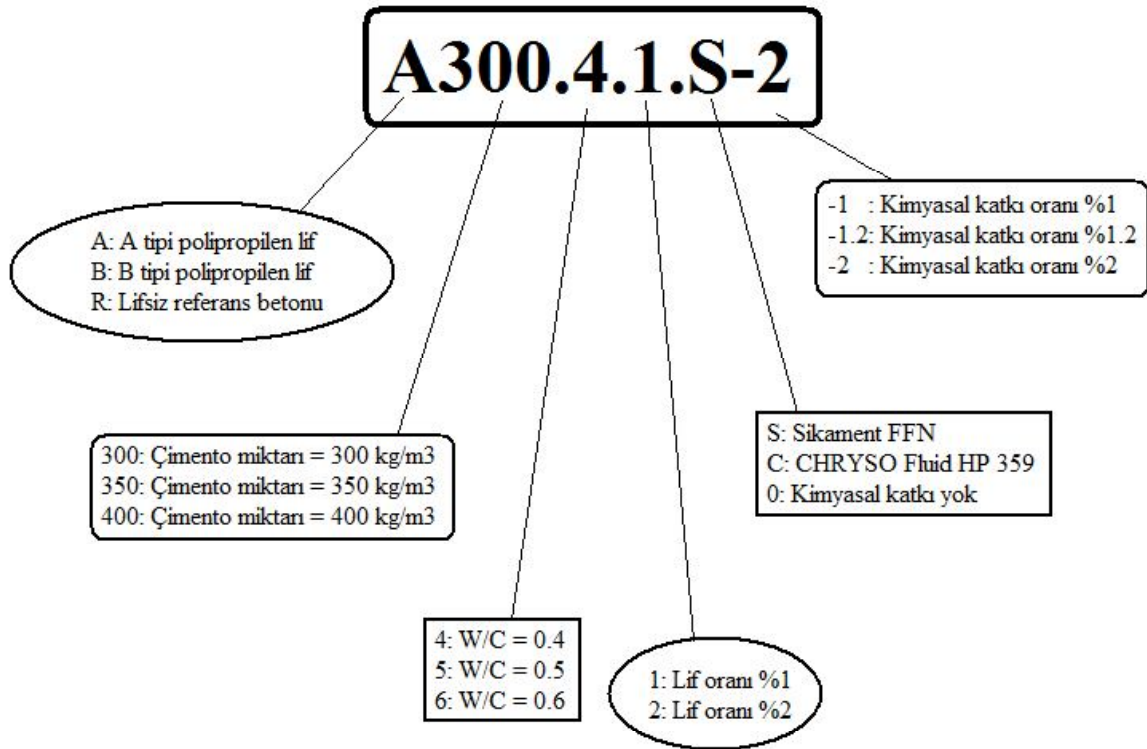
Çimento miktarı betonun dayanım özellikleri üzerinde doğrudan etkilidir. Dolayısıyla lifli betonların çimento miktarı değiştikçe dayanım özelliklerinin değişim aralığını belirlemek gereklidir. Bu amaçla, 300 – 350 ve 400 dozlu (kg/m³) karışımlar tasarlanmıştır.

Bu tez çalışmasının amacına uygun pratik, yaklaşık ve genel bir karışım tasarım grafiği oluşturmak için iki farklı kimyasal katkı kullanılmıştır. Böylece uygun bir istatistik dağılım elde edilmeye çalışılmıştır. Kimyasal katkı miktarları çimento ağırlığının %'si olarak ifade edilmiştir.

İki tip polipropilen lif kullanılmıştır. A tipi uygulamada en çok kullanılan polipropilen lif çeşididir. B tipi sadece karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Böylece B tipi lif kullanılmayan karışımlar içinde bir fikir sahibi olmak amaçlanmaktadır. Ancak asıl amaç, A tipi polipropilen lif kullanılan betonlar kullanılarak bir karışım dizaynı elde etmektir. Lifler beton hacminin %1 ve %2 oranları ile kullanılmıştır.

Yukarıda bahsedilen karışım oranlarındaki bu farklılıklar, taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde ortaya çıkacaktır. Girdiler ve sonuçlar aynı grafikte buluşturularak, pratik bir polipropilen lifli beton karışım tasarımı önerilecektir.

Karışım oranları Tablo 4.5 de verilmiştir. İsimlendirme ise karışım oranları dikkate alınarak yapılmıştır. Şekil 4.4 de örnek isimlendirme ve anlamları ifade edilmiştir.



Şekil 4.4 Deney serilerinin isimlendirilmesi

Tablo 4.5 Beton karışım miktarları

Seri Adı	Çimento (kg/m ³)	W/C	Kum (kg/m ³)	Çakıl (kg/m ³)	K.Katkı Tipi	K. Katkı (%)	Lif Tipi	Lif (%)
R300.6.0.0	300	0.6	944	930	Katkısız	0	Lifsiz	-
R300.6.0.C-1.2	300	0.6	944	930	Chryso	1.2	Lifsiz	-
A300.6.1.C-2	300	0.6	943	929	Chryso	2	A	1
A300.6.2.C-2	300	0.6	941	927	Chryso	2	A	2
A300.6.3.C-2	300	0.6	940	925	Chryso	2	A	3
B300.6.1.C-2	300	0.6	943	929	Chryso	2	B	1
R300.5.0.C-2	300	0.5	984	970	Chryso	2	Lifsiz	-
A300.5.1.C-2	300	0.5	983	968	Chryso	2	A	1
A300.5.2.C-2	300	0.5	982	967	Chryso	2	A	2
A300.5.3.C-2	300	0.5	981	966	Chryso	2	A	3
B300.5.2.C-2	300	0.5	982	967	Chryso	2	B	2
R400.5.0.C-2	400	0.5	875	862	Chryso	2	Lifsiz	-
A400.5.1.C-2	400	0.5	873	860	Chryso	2	A	1
R300.6.0.S-2.5	300	0.6	944	930	Sikament	2.5	Lifsiz	-
A300.6.1.S-2	300	0.6	943	929	Sikament	2	A	1
A300.6.2.S-1.5	300	0.6	941	927	Sikament	1.5	A	2
B300.6.1.S-1.5	300	0.6	943	929	Sikament	1.5	B	1
R400.4.0.S-2	400	0.4	928	914	Sikament	2	Lifsiz	-
A400.4.1.S-2	400	0.4	927	913	Sikament	2	A	1
A400.4.2.S-2	400	0.4	926	912	Sikament	2	A	2
B400.4.1.S-2	400	0.4	927	913	Sikament	2	B	1
R400.5.0.S-1.2	400	0.5	875	861	Sikament	1.2	Lifsiz	-
A400.5.1.S-1.2	400	0.5	874	860	Sikament	1.2	A	1
A400.5.2.S-1.2	400	0.5	873	859	Sikament	1.2	A	2
R400.6.0.0	400	0.6	821	809	Katkısız	0	Lifsiz	-
A400.6.1.0	400	0.6	820	807	Katkısız	0	A	1
A400.6.2.0	400	0.6	818	806	Katkısız	0	A	2
B400.6.1.0	400	0.6	820	807	Katkısız	0	B	1
R350.4.0.S-2	350	0.4	976	962	Sikament	2	Lifsiz	-
A350.4.1.S-2	350	0.4	975	960	Sikament	2	A	1
A350.4.2.S-2	350	0.4	974	959	Sikament	2	A	2
B350.5.1.S-1.2	350	0.5	928	914	Sikament	1.2	B	1
A350.6.2.0	350	0.6	880	867	Katkısız	0	A	2
R300.4.0.S-2.5	300	0.4	1024	1009	Sikament	2.5	Lifsiz	-
A300.4.1.S-3	300	0.4	1023	1008	Sikament	3	A	1
A300.4.2.S-3	300	0.4	1022	1007	Sikament	3	A	2
B300.4.1.S-3	300	0.4	1023	1008	Sikament	3	B	1
R300.5.0.S-2.5	300	0.5	984	970	Sikament	2.5	Lifsiz	-
A300.5.1.S-2.5	300	0.5	983	968	Sikament	2.5	A	1
A300.5.2.S-2.5	300	0.5	982	967	Sikament	2.5	A	2

4.3. Deneyler

Tasarlanan deney serileri, 6 adet standart 150×150×150 mm küp, 3 adet 100×100×100 mm küp ve 100×100×500 mm boyutlarında kiriş numunelerden oluşmaktadır. Standart küp numuneler yardımıyla basınç ve yarma dayanım değerlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Kiriş numuneler yardımıyla eğilme-çekme dayanımlarının belirlenmesi ve 100 mm.lik küpler yardımıyla kılcal su emme ve aşınma dayanıklılık özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Standart küp numuneler için kompozit malzemeden üretilmiş hazır kalıplar kullanılmıştır. Kiriş ve diğer küp kalıplar EPS malzeme kullanılarak laboratuarda üretilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Deney kalıpları

Her bir seri tek bir harmanda hazırlanmış ve kalıplara masa vibratörü yardımıyla yerleştirilmiştir (Şekil 4.6). Taze betonun çökme miktarı ölçülmüştür. EPS den üretilen her

kalıpla en fazla üç döküm yapılmıştır. Bu şekilde kalıpların yıpranmasından kaynaklanan numune boyut değişiminin önüne geçilmiştir.



Şekil 4.6 Dökülmüş beton numuneler

Dökülen numuneler en az 24 saat kalıpta bekledikten sonra kalıptan çıkarılarak (Şekil 4.7), kür havuzuna yerleştirilmişlerdir. 28 gün, 23 °C suda kür edilmişlerdir.



Şekil 4.7 Kalıptan çıkarılan beton numuneler

4.3.1. Çökme (Slump) Deneyi

Taze beton üzerinde yapılan bu deney, TS EN 12350-2 [32] Taze Beton Deneyleri Çökme Deneyi'nde verilen şekilde uygulanmıştır. Taze beton ters huni şekilli kaba üç tabaka halinde doldurularak 25'er kez şişlenmiş ve sıkışması sağlanmıştır. Daha sonra ters huni dik şekilde yukarı doğru çekilerek betonda meydana gelen çökme cetvel vasıtasıyla ölçülmüştür (Şekil 4.8). Kontrol numuneleri için üretilen betonda meydana gelen çökme değerleri ile polipropilen lif içeren betonlarda meydana gelen çökme değerleri karşılaştırılarak polipropilen liflerin betonun işlenebilme özelliğine nasıl bir etki yaptığı araştırılmıştır. Her bir çevrim kalıplara doldurulmadan önce slump değeri ölçülmüştür.

Sabit bir çökme hedeflenmemiştir. Çünkü bu çalışmanın amacı aynı zamanda farklı işlenebilirlik özelliklerine sahip karışımları tespit etmektir.



Şekil 4.8 Çökme deneyinin yapılışı

4.3.2. Basınç Deneyi

TS EN 12390-3 [33] Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini adlı standartta belirtilen basınç deneyleri uygulanmıştır ve numuneler 200 ton yük kapasiteli pres ile kırılmıştır (Şekil 4.9). Küp numuneler yardımıyla basınç dayanımı belirlenmiştir.



Şekil 4.9 Basınç dayanımı deney sistemi

4.3.3. Yarma Deneyi

TS EN 12390-6 [34] Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini'nde anlatıldığı gibi standart küp numuneler yarma deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 4.10). Deney sonucundan elde edilen P kırılma yükleri ve a standart küpün bir boyutu kullanılarak denklem 4.1 yardımıyla yarma dayanımları hesaplanmıştır.

$$f_t = \frac{2P}{\pi a^2} \quad (4.1)$$



Şekil 4.10 Yarma dayanımı deney sistemi

4.3.4. Eğilme-Çekme Deneyi

Küp numuneler ile yapılan deneylerin ardından eğilme-çekme deneyi TS EN 12390-5 [35] Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini isimli standartta belirtildiği gibi yapılmıştır. Üç noktalı eğilme deneyine tabi tutulan kiriş numunelerin P kırılma yükleri, L mesnetler arası mesafe, b kesit genişliği ve h numune kesit yüksekliği olmak üzere denklem 4.2 yardımıyla eğilme-çekme dayanımları tespit edilmiştir. deneyin yapılışı Şekil 4.11 de verilmiştir.

$$f_t = \frac{M}{W} = \frac{\frac{PL}{4}}{\frac{bh^2}{6}} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (4.2)$$



Şekil 4.11 Eğilme-çekme dayanımı deney sistemi

4.3.5 Kapiler Su Emme Deneyi

Betonların kapiler su emme katsayıları 28 gün suda kür edilen 100 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar 105 °C ± 5'de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Yan yüzeyleri izole edilen numuneler, saf su içerisine 5 mm

batacak şekilde yerleştirilmiş (Şekil 4.12) ve 5, 10, 20, 30, 60 dakikalık ve 3, 6, 24 saatlik sürelerde, numunelerin yüzeylerindeki serbest su, nemli bir bez ile silinerek, 0.01 g hassasiyetli bir tartı ile kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kapiler su emme değerleri bulunmuştur. Kapiler su emme deneyi, TS 4045 [36] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Kapilarite katsayılarının hesaplanmasında denklem 4.3 kullanılmıştır.

$$\frac{cm^2}{cm^2} \leftarrow \frac{Q}{A} = k \sqrt{t} \rightarrow sn \quad (4.3)$$



(a)



(b)

Şekil 4.12 Kapiler Su Emme Deneyi: (a) yan yüzeyleri izole edilmiş numune, (b) Kapiler su emme deney düzeneği.

4.3.6. Böhme Aşınma Deneyi

Betonun aşınma direncinin belirlenmesinde Böhme Aşındırma Cihazı kullanılmıştır. Cihaz düzeneği, 750 mm çaplı döner aşındırıcı disk ve disk üzerinde numuneye 294±3 N düşey yük uygulayan çelik bir maniveladan oluşmaktadır. Döner diskin üzerinde, düşey dönme eksenine 120 mm -320 mm uzaklıkta, halka biçiminde 200 mm genişliğinde dökme demirden yapılmış sürtünme şeridi bulunmaktadır (Şekil 4.13).

Deneye tabi tutulacak beton numuneler TS EN 14157'e [37] uygun olarak 71±1,5 mm ayrıtlı küp şeklinde kesilip taban alanı 50 cm² olacak şekilde düzenlenmiştir. Deneyde dönel disk üzerine yerleştirilen beton numunenin sürtünme şeridi üzerine 20±0,5 gr ağırlığında aşındırıcı zımpara tozu serpilir. Sistem 22 devir de bir durdurularak sürtünme şeridi üzerindeki toz temizlenip

yenilenir ve beton numune düşey eksenini etrafında çevrilerek (karşılıklı yüzeylere) aşındırma işlemi uygulanır. Bu şekilde her bir beton numune için 20 kez 22 devir (her yüzeye 5'er kez) toplamda 440 devir yaptırılır. Deney sonunda numunelerin aşınma miktarı iki şekilde belirlenir. Numunelerin aşınma miktarı kalınlık cinsinden belirlenecekse deneye başlanmadan önce numunelerin kalınlığı 9 farklı noktadan ölçülür, aşındırma sonucunda numune yüzeyleri temizlenerek daha önceden belirlenen 9 farklı yerden 0.01mm hassasiyet ile boyutlar ölçülür. Bu ölçümlerin ortalamaları kullanılarak aşınma kaybı denklem 4.4 yardımıyla bulunur.

$$d = d_0 - d_1 \quad (4.4)$$

Aşınma kaybı hacim azalması yolu ile bulunacaksa, deney öncesinde numunenin suya doymun hale gelmesi sağlanarak havada ve su içindeki ağırlığı 0,01 gr hassasiyetle ölçülür. Aşındırmadan sonra da yine suya doymun numunenin havadaki ve su içindeki ağırlığı ölçülerek numunelerin aşındırma öncesi ve sonrasındaki hacimleri belirlenir. Meydana gelen hacim farkı denklem 4.5 yardımıyla hesaplanır.

$$\Delta V = V_0 - V_1 \quad (4.5)$$



Şekil 4.13 Böhme aşınma deney düzeneği ve numuneler

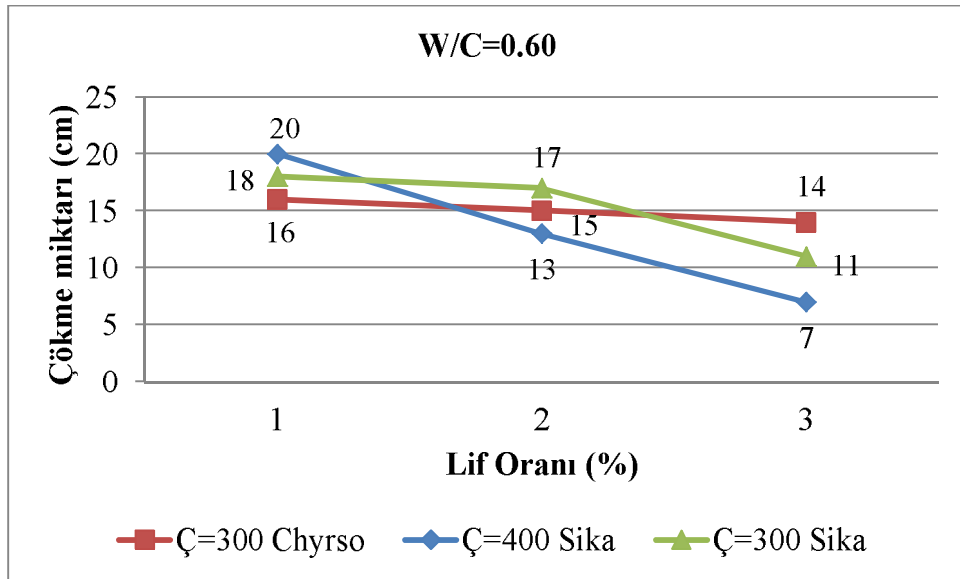
5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Öncelikle deney sonuçları taze ve sertleşmiş beton özellikleri olmak üzere iki bölümde incelenmiştir. Bunun sebebi karışım oranları grafiği oluşturulurken hem taze beton hem de sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenecek olmasıdır. Sonuçlar grafikler halinde incelenmeye çalışılmıştır böylece görsellikten faydalanılarak, sonuçların daha net ortaya koyması amaçlanmıştır.

5.1. Çökme (Slump) Deneyi

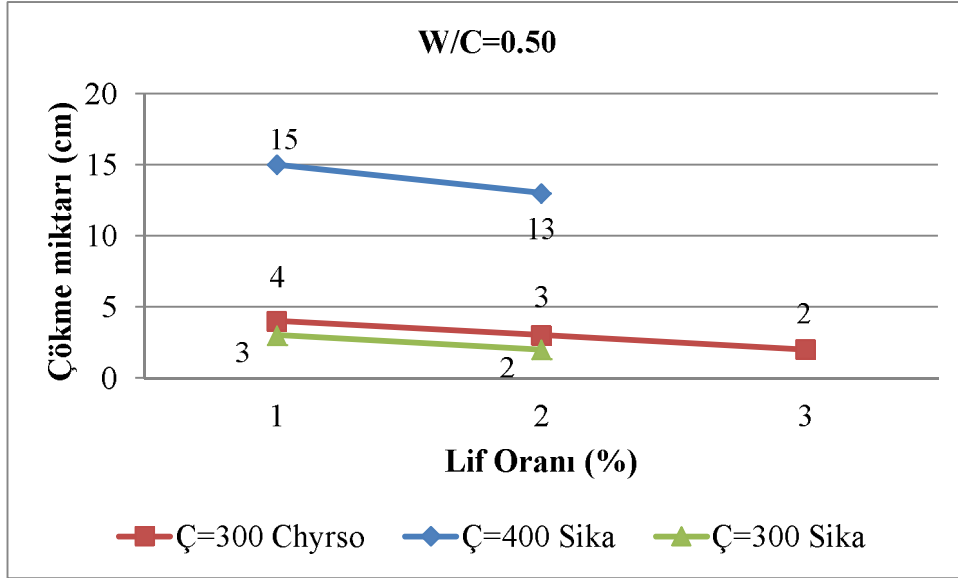
Çökme deneyi sonuçları aslında genel anlamda tahmin edilmektedir. Lif oranı arttıkça çökmenin azalması beklenen bir sonuçtur. Ancak bu azalmaya çimento miktarı, W/C oranı ve kimyasal katkı oranının ne ölçüde etkili olduğunun belirlenmesi deney sonuçları ile mümkündür.

Şekil 5.1 de su/çimento oranı 0.60 olan farklı karışımlara sahip serilerde taze betonun çökme miktarı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Ç harfi çimento kelimesini temsil etmektedir. Ç=300, çimento miktarının 1 m³ için 300 kg olduğunu göstermektedir. Lif oranı arttıkça çökmenin azaldığı görülmektedir. Çökme miktarlarındaki azalmanın belirli bir oranda olmamasının sebebi kimyasal katkı tür ve oranlarıdır. %3 lif kullanımında ise topaklaşmalar görülmüştür ve kullanımı azaltılmıştır.



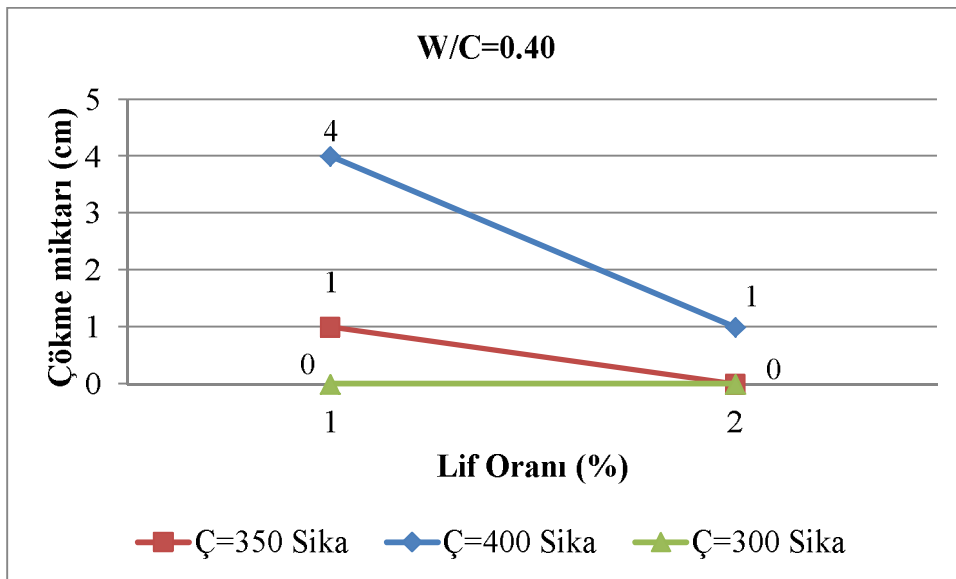
Şekil 5.1 W/C oranı 0.60 olan karışımlar için çökme miktarı-lif oranı ilişkisi

Şekil 5.2 de W/C oranı 0.50 olan farklı karışımlara sahip serilerde taze betonun çökme miktarı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Çökme miktarı büyük, akıcı betonlarda lif miktarı arttıkça çökme miktarındaki azalma daha büyük olmaktadır.



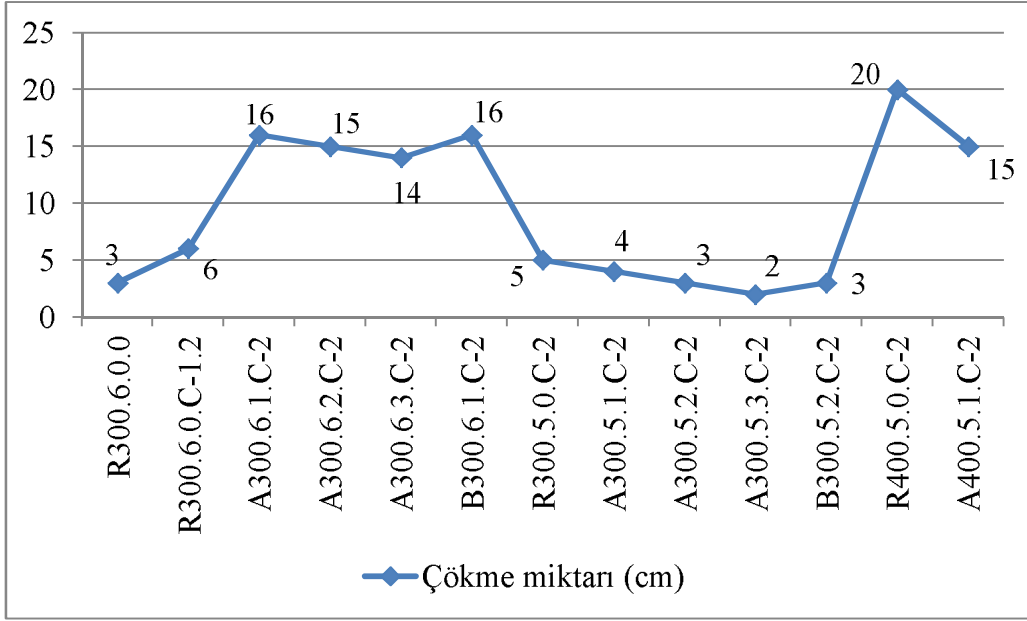
Şekil 5.2 W/C oranı 0.50 olan karışımlar için çökme miktarı-lif oranı ilişkisi

Şekil 5.3 de W/C oranı 0.40 olan farklı karışımlara sahip serilerde taze betonun çökme miktarı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. W/C oranı düşük olduğundan kuru kıvamlı betonlar elde edilmiştir. Kimyasal katkı türü değiştirilmemiştir. Çünkü bu çalışmanın bir amacı da farklı işlenebilme özelliklerine sahip betonlar elde etmektir.



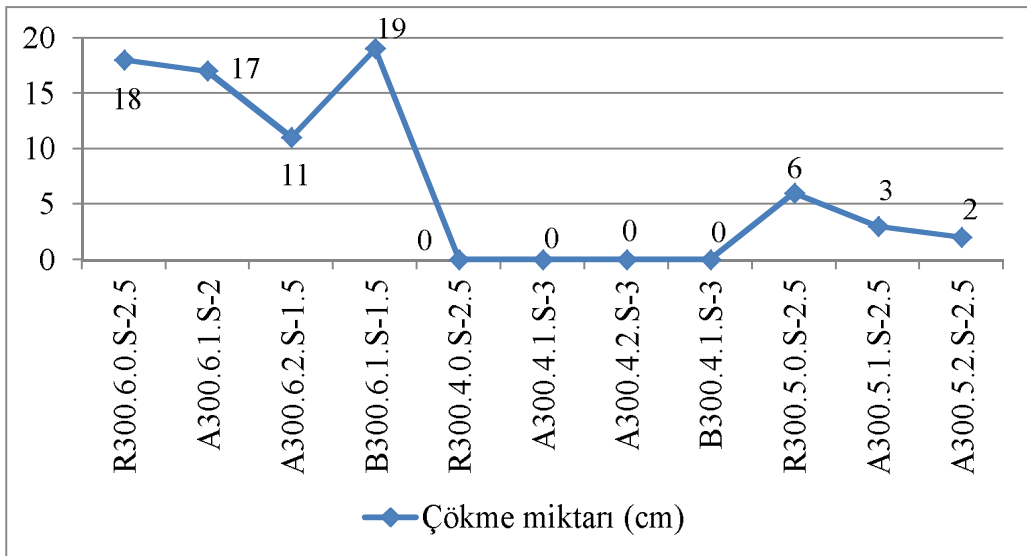
Şekil 5.3 W/C oranı 0.40 olan karışımlar için çökme miktarı-lif oranı ilişkisi

Chyrso kimyasal katkısı kullanılarak üretilen referans ve lifli betonların tamamının çökme miktarı ile lif oranı arasındaki ilişki Şekil 5.4 de görülmektedir. Karışım oranları farklılaştırılarak hedeflenen grafik tabanlı karışım dizaynı için veri üretimi hedeflenmiştir.

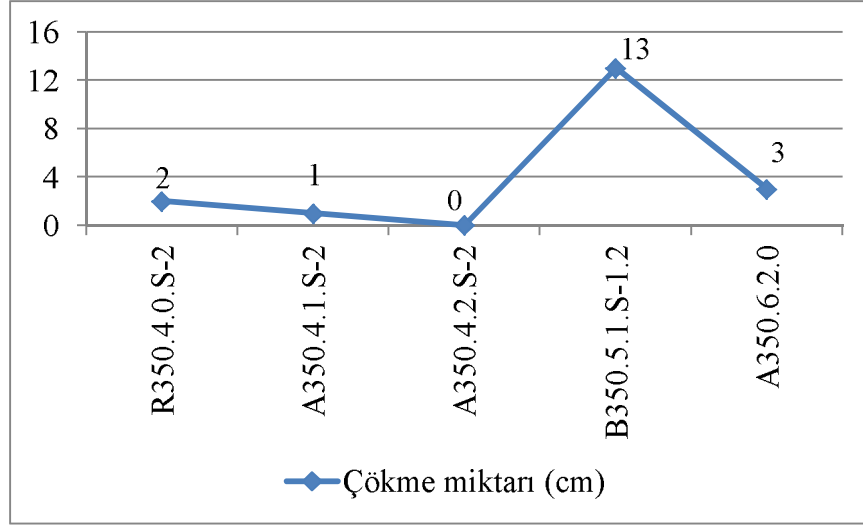


Şekil 5.4 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin çökme miktarları

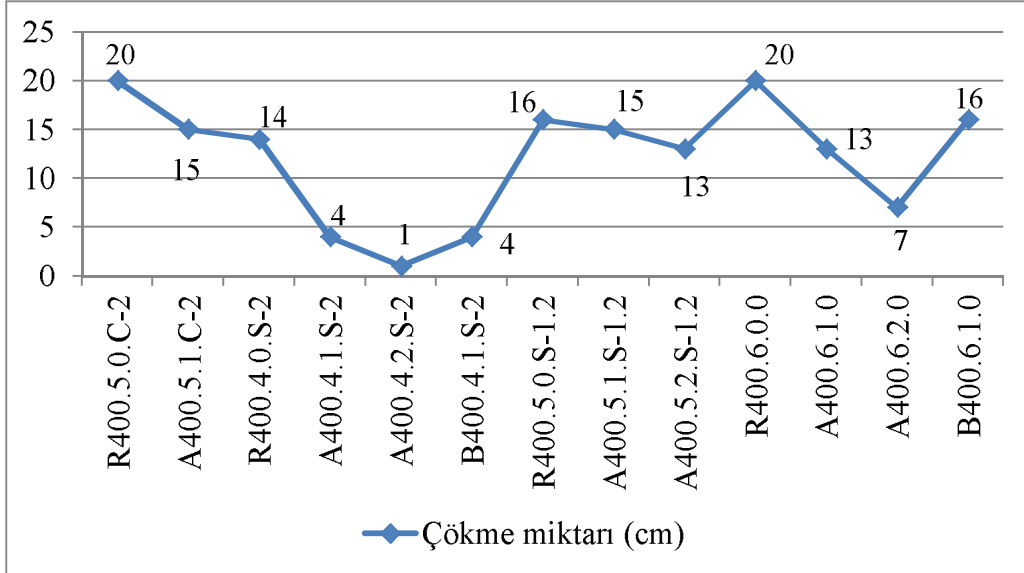
Şekil 5.4 de görülen 13 serinin dışındaki kimyasal katkı kullanılan tüm numunelerde sikament kullanılmıştır. Geriye kalan seriler ise çimento dozajları dikkate alınarak gruplandırılmıştır (Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7).



Şekil 5.5 300 dozajlı beton numunelerin çökme miktarları



Şekil 5.6 350 dozajlı beton numunelerin çökme miktarları



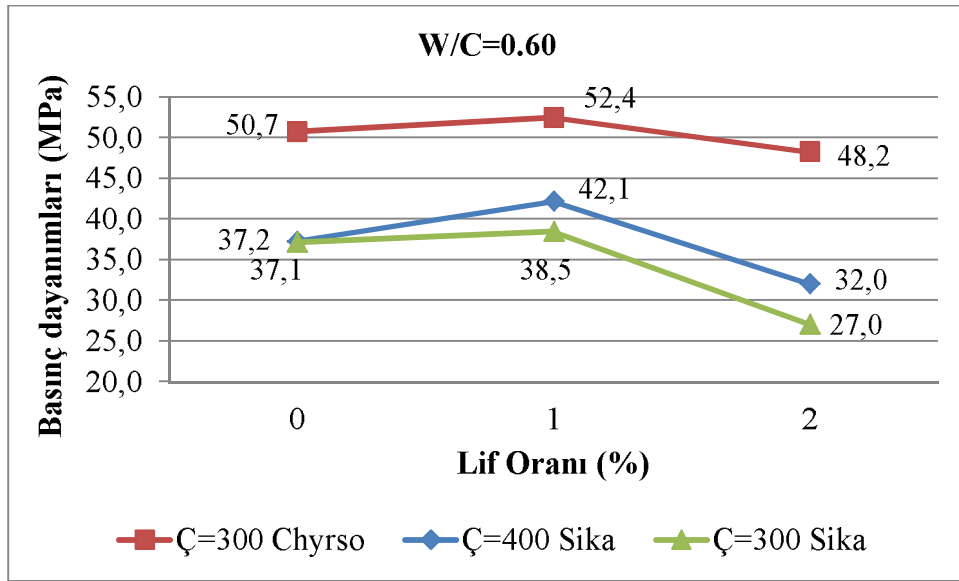
Şekil 5.7 400 dozajlı beton numunelerin çökme miktarları

Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7 dikkatle incelenirse referans betonların çökme miktarlarının lifli betonlardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı karışım miktarlarına sahip sadece lif tipi farklı karışımların ise çökme miktarları birbirine eşit kabul edilebilecek miktarda yakınlık göstermektedir. Örnek olarak, A400.4.1.S-2 ile B400.4.1.S-2 serilerinin çökme miktarları 4 cm.dir.

5.2. Basınç Dayanımı

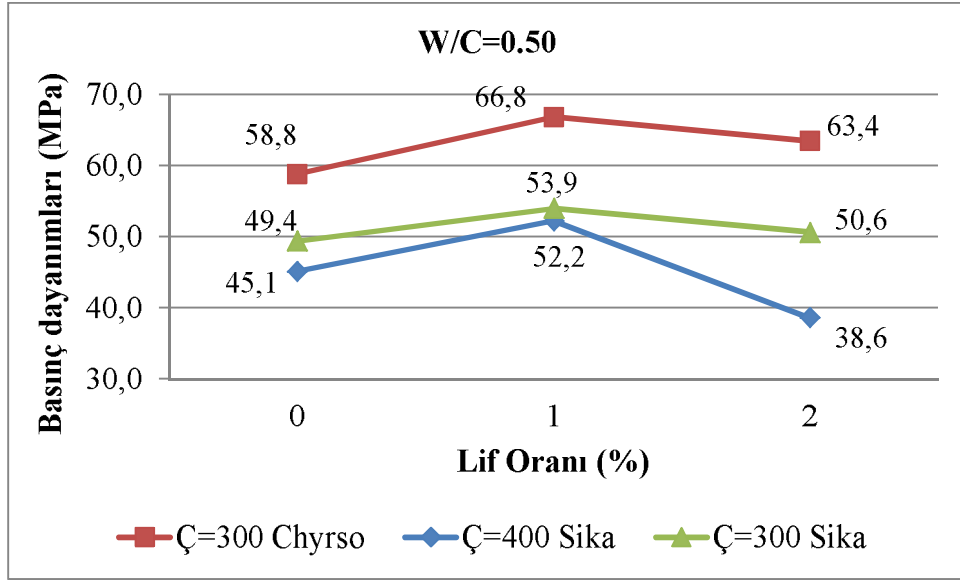
Lif oranı ile basınç dayanımı arasında değişken bir ilişki bulunmaktadır. Bir optimum değere kadar lif oranı arttıkça basınç dayanımı artar. Ancak optimum değerden sonra lif oranı arttıkça basınç dayanımı azalır. Bu durum üzerinde lif tipi ve birçok malzeme parametresi etkindir.

Şekil 5.8 de su/çimento oranı 0.60 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun basınç dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Ç harfi çimento kelimesini temsil etmektedir. Örneğin Ç=300, çimento miktarının 1 m³ için 300 kg olduğunu göstermektedir. Lif oranı arttıkça basınç dayanımlarındaki önce artma ve daha sonraki azalma optimum lif oranı hakkında fikir vermektedir.



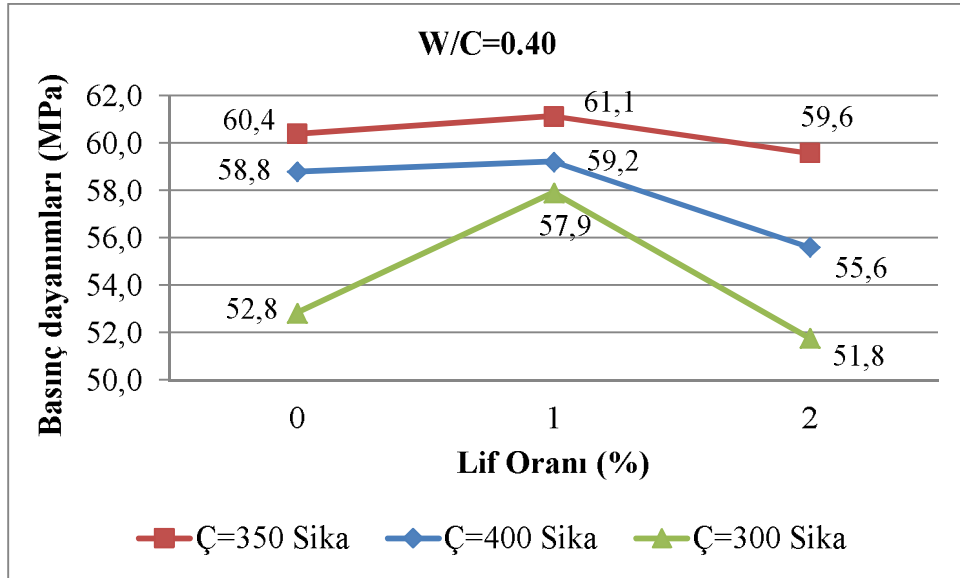
Şekil 5.8 W/C oranı 0.60 olan karışımlar için basınç dayanımı-lif oranı ilişkisi

Şekil 5.9 da su/çimento oranı 0.50 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun basınç dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. W/C oranı 0.50 olan serilerde de yine %1 lif oranında basınç dayanımında referans yani lifsiz betona oranla artış görülmüş ancak lif oranı %2'ye çıktığında basınç dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Hatta çimento dozajı 400 kg olan serilerde bu azalma daha fazladır. %2 polipropilen lif kullanılan betonların basınç dayanımları referans betonun basınç dayanımından daha küçük çıkmıştır.



Şekil 5.9 W/C oranı 0.50 olan karışımlar için basınç dayanımı-lif oranı ilişkisi

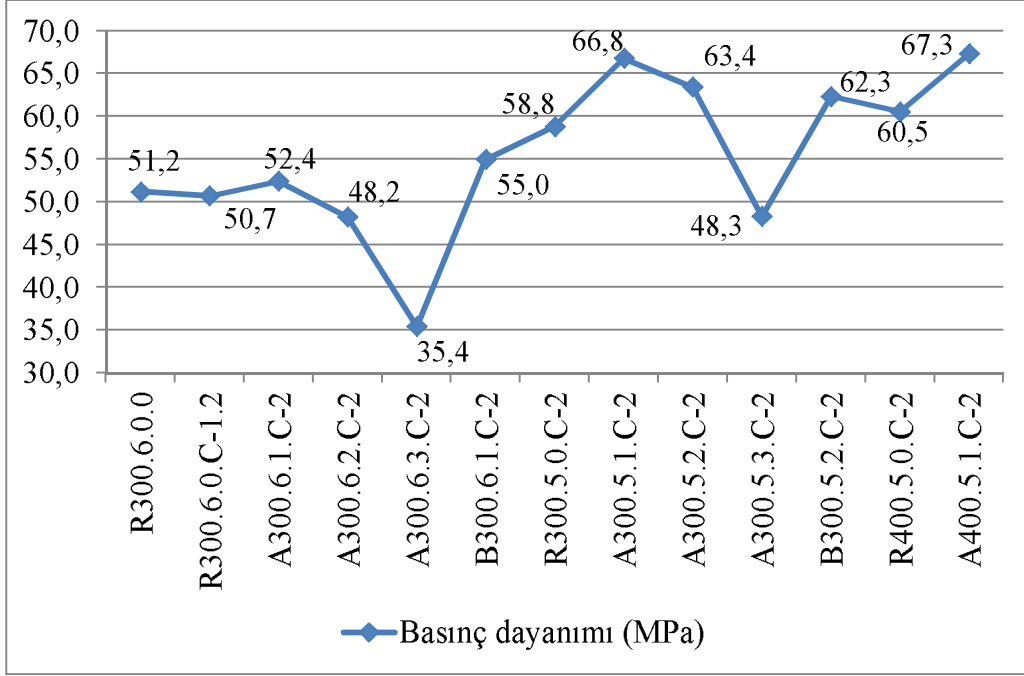
Şekil 5.10 da su/çimento oranı 0.40 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun basınç dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 5.10 W/C oranı 0.40 olan karışımlar için basınç dayanımı-lif oranı ilişkisi

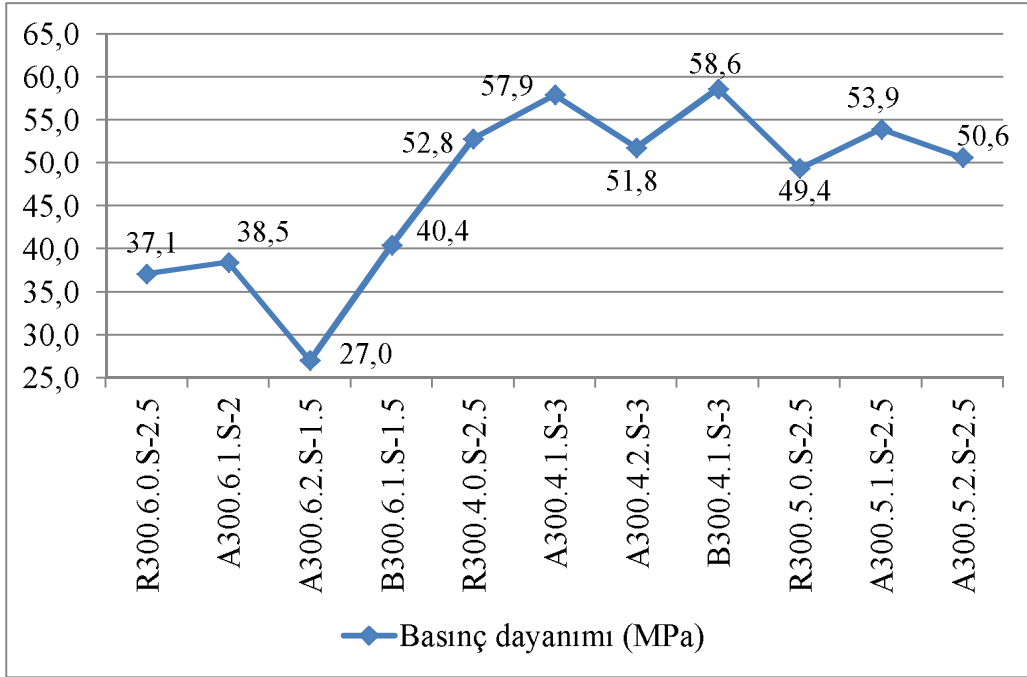
Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 incelendiğinde W/C oranı azaldıkça basınç dayanımlarının arttığı görülecektir. Beklenen bu sonuç verilerin doğruluğunu destekler

niteliktedir. Chyrso kimyasal katkısı kullanılarak üretilen referans ve lifli betonların tamamının basınç dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki Şekil 5.11 de görülmektedir.

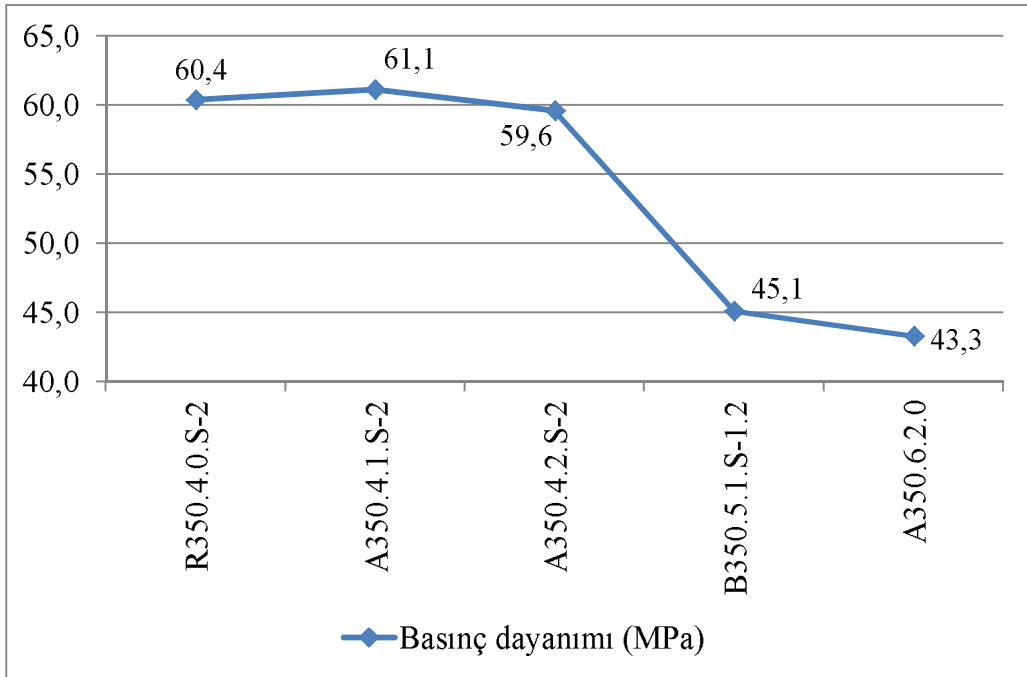


Şekil 5.11 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin basınç dayanımları

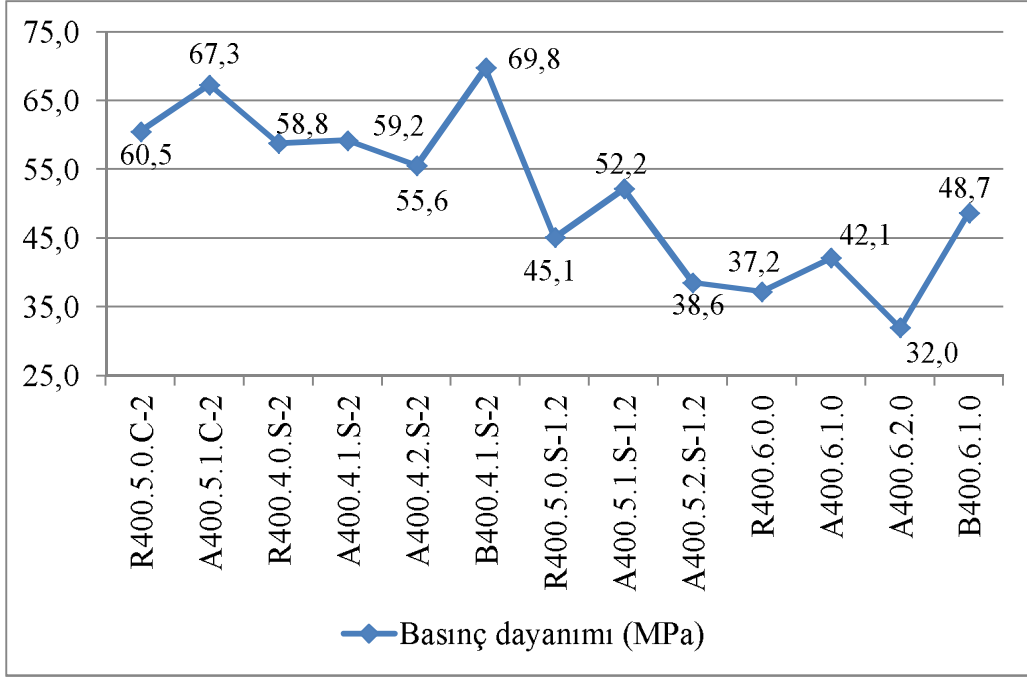
Şekil 5.11 de görülen 13 serinin dışındaki kimyasal katkı kullanılan tün numunelerde sikament kullanılmıştır. Geriye kalan seriler ise çimento dozajları dikkate alınarak gruplandırılmıştır (Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14).



Şekil 5.12 300 dozajlı beton numunelerin basınç dayanımları



Şekil 5.13 350 dozajlı beton numunelerin basınç dayanımları



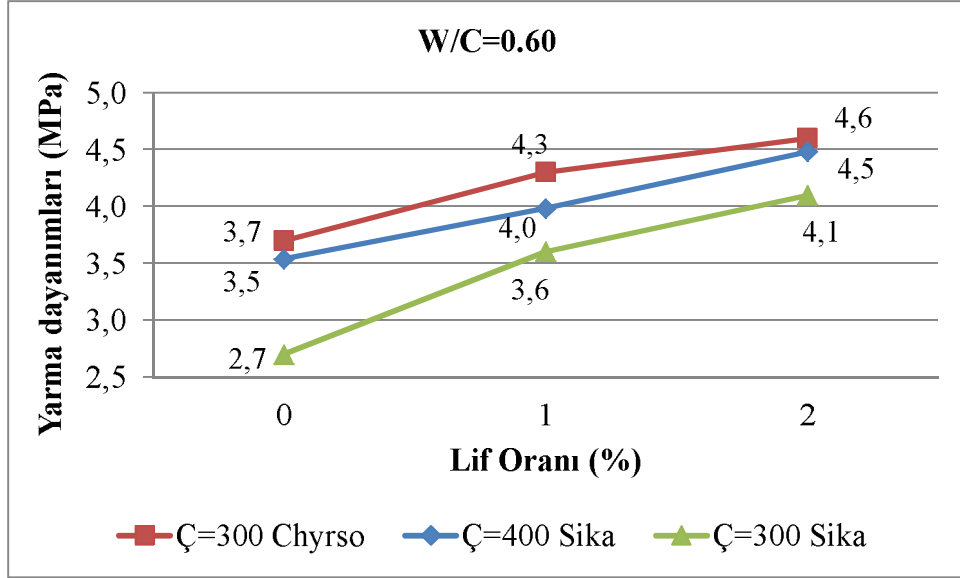
Şekil 5.14 400 dozajlı beton numunelerin basınç dayanımları

Tüm karışım özellikleri aynı sadece lif tipi farklı karışımlara dikkat edilirse B tipi lif kullanılan betonların basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu görülecektir. A400.4.1.S-2 ve B400.4.1.S-2 serileri bu sonuç için örnektir. Ancak B tipi lif homojen dağılmadığından %2 oranında kullanılamamıştır.

5.3. Yarma Dayanımı

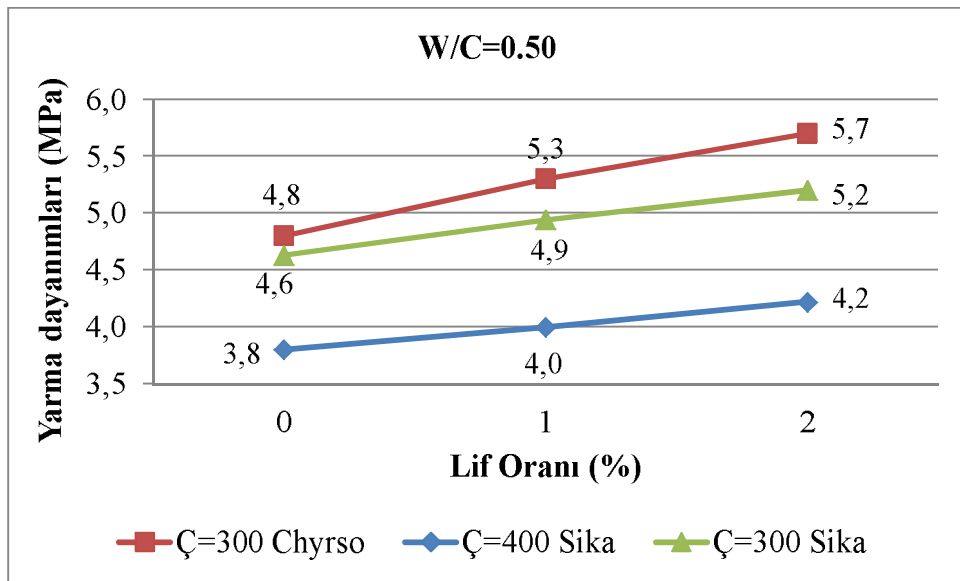
Lif oranı ile yarma dayanımı arasında değişken bir ilişki bulunmaktadır. Bir optimum değere kadar lif oranı arttıkça yarma dayanımı artar. Ancak optimum değerden sonra lif oranı arttıkça yarma dayanımı azalır. Bu durum üzerinde lif tipi ve birçok malzeme parametresi etkindir.

Şekil 5.15 de su/çimento oranı 0.60 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun yarma dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Ç harfi çimento kelimesini temsil etmektedir. Örneğin Ç=300, çimento miktarının 1 m³ için 300 kg olduğunu göstermektedir. Lif oranı arttıkça yarma dayanımlarındaki önce artma ve daha sonraki azalma optimum lif oranı hakkında fikir vermektedir.



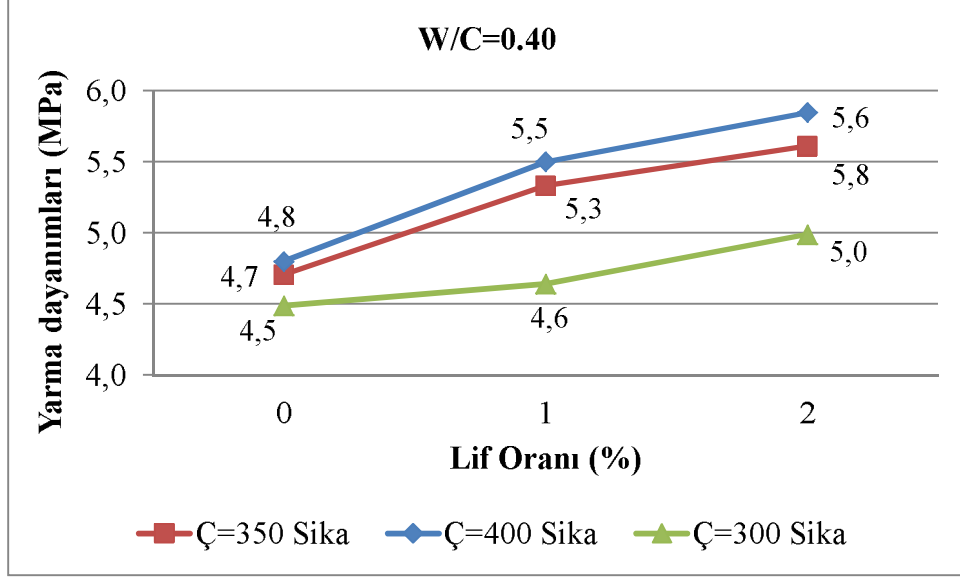
Şekil 5.15 W/C oranı 0.60 olan karışımlar için yarma dayanımı-lif oranı ilişkisi

Şekil 5.16 da su/çimento oranı 0.50 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun yarma dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. W/C oranı 0.50 olan serilerde de hem %1 lif oranında hem de %2 lif oranında yarma dayanımında referans yani lifsiz betona oranla artış görülmüştür. Basınç dayanımlarının aksine yarma dayanımları lif oranı arttıkça %2 lif oranında da artış görülmüştür. Yarma dayanımlarındaki bu artış lifin betonda kullanım amacını da desteklemektedir. Lif kendisinden beklenen performansı göstermiş ve betonun çekme dayanımının artmasını sağlamıştır.



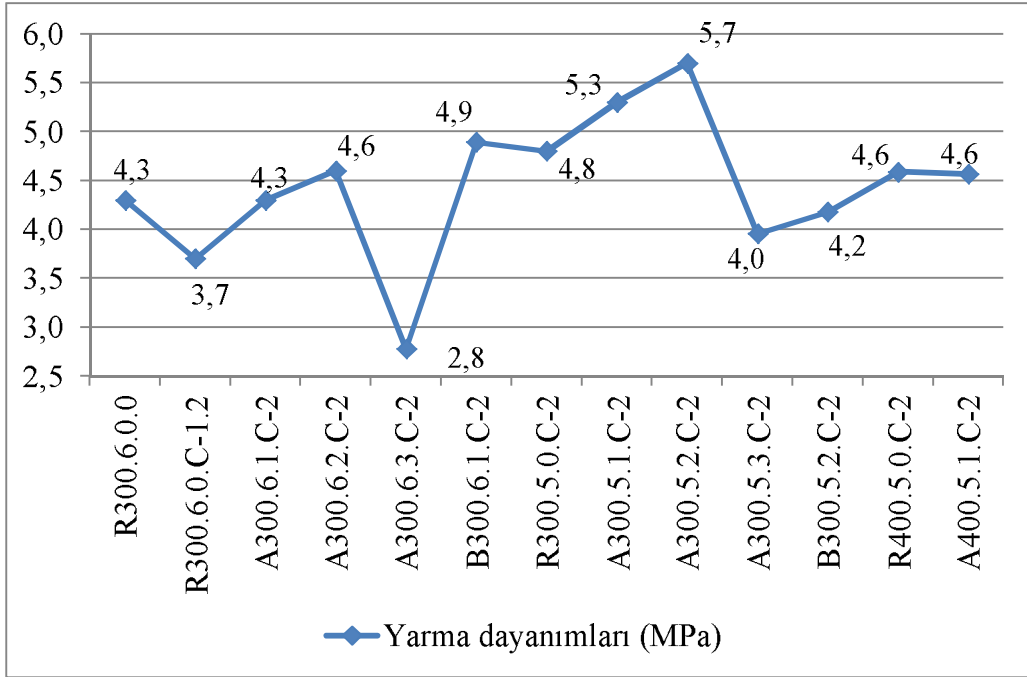
Şekil 5.16 W/C oranı 0.50 olan karışımlar için yarma dayanımı-lif oranı ilişkisi

Şekil 5.17 de su/çimento oranı 0.40 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun basınç dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir.



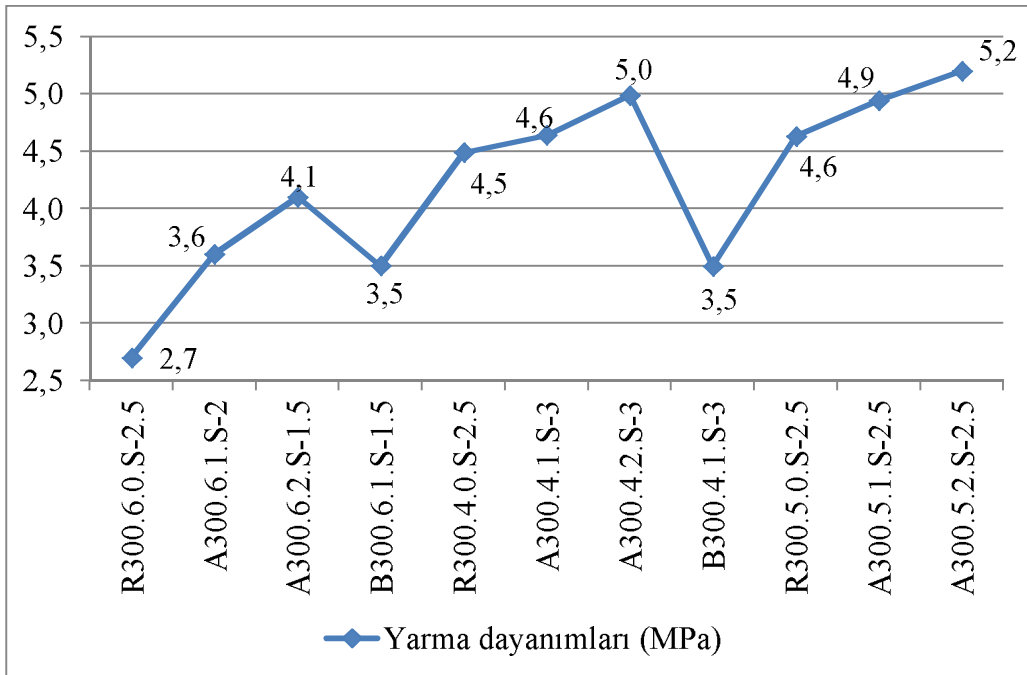
Şekil 5.17 W/C oranı 0.40 olan karışımlar için yarma dayanımı-lif oranı ilişkisi

Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17 incelendiğinde W/C oranı azaldıkça yarma dayanımlarının arttığı görülecektir. Beklenen bu sonuç verilerin doğruluğunu destekler niteliktedir. Chyrso kimyasal katkısı kullanılarak üretilen referans ve lifli betonların tamamının yarma dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki Şekil 5.18 de görülmektedir.

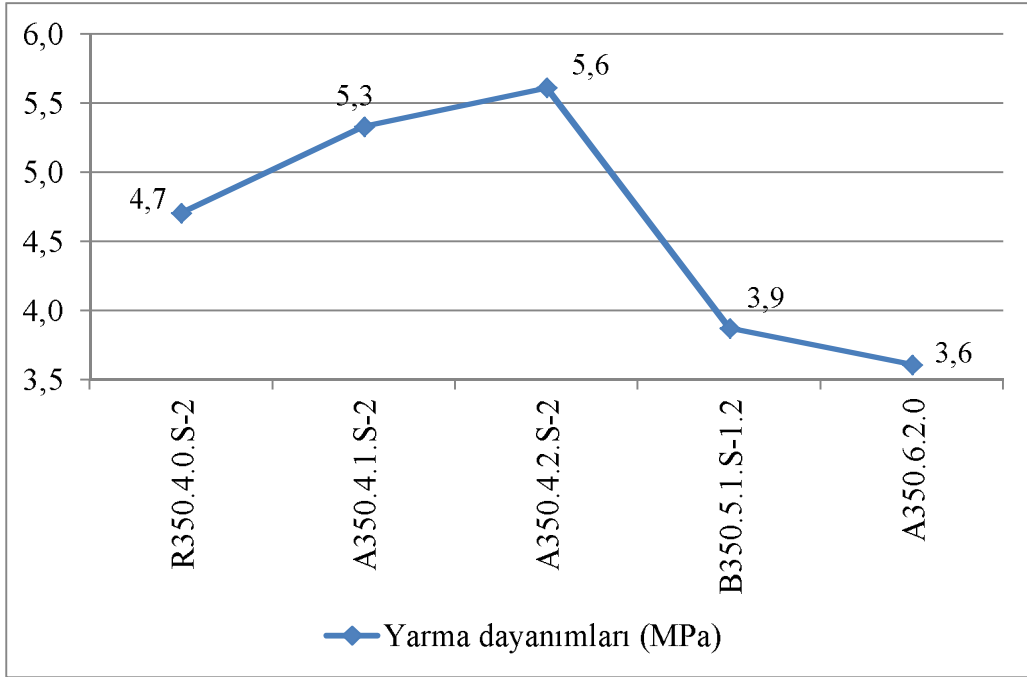


Şekil 5.18 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin yarma dayanımları

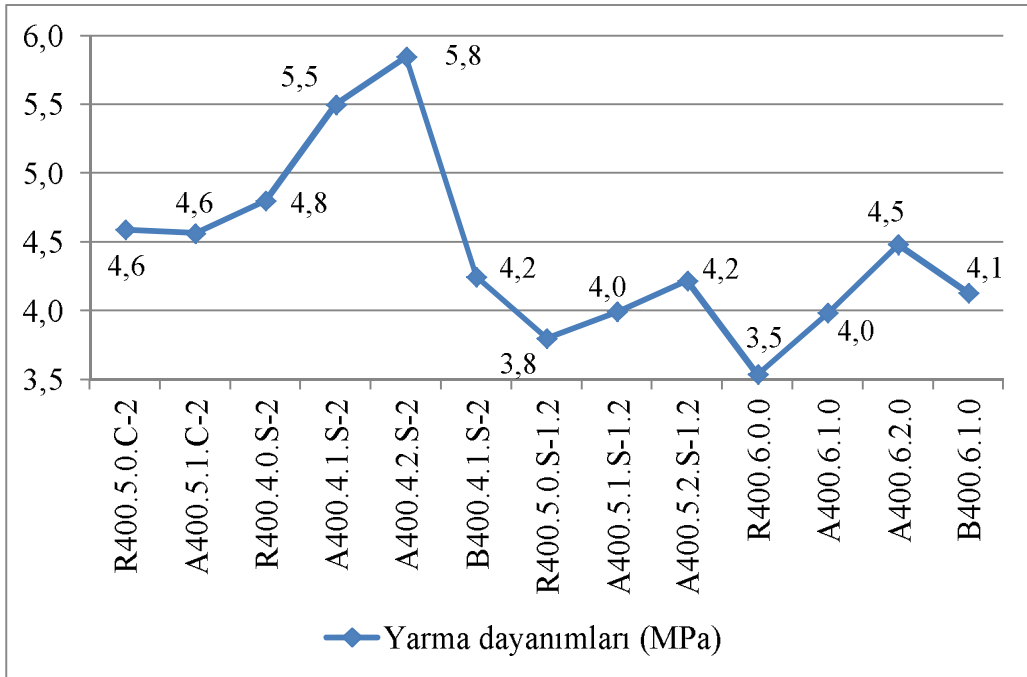
Şekil 5.18 de görülen 13 serinin dışındaki kimyasal katkı kullanılan tün numunelerde sikament kullanılmıştır. Geriye kalan seriler ise çimento dozajları dikkate alınarak gruplandırılmıştır (Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21).



Şekil 5.19 300 dozajlı beton numunelerin yarma dayanımları



Şekil 5.20 350 dozajlı beton numunelerin yarma dayanımları



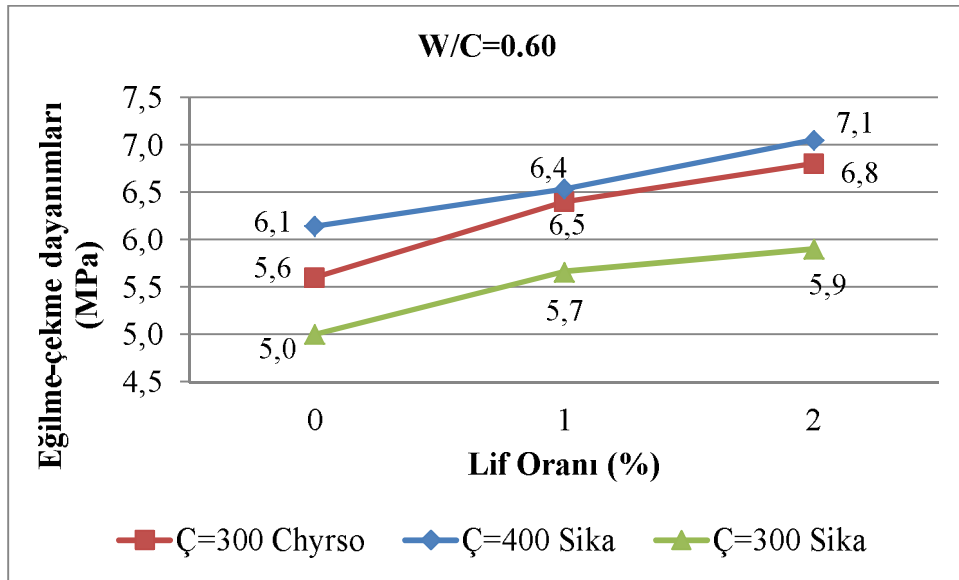
Şekil 5.21 400 dozajlı beton numunelerin yarma dayanımları

Tüm karışım özellikleri aynı sadece lif tipi farklı karışımlara dikkat edilirse A tipi lif kullanılan betonların, basınç dayanımlarının aksine yarma dayanımlarının daha yüksek olduğu görülecektir. A400.4.1.S-2 ve B400.4.1.S-2 serileri bu sonuç için örnektir. Ancak B tipi lif homojen dağılmadığından %2 oranında kullanılamamıştır.

5.4. Eğilme-Çekme Dayanımı

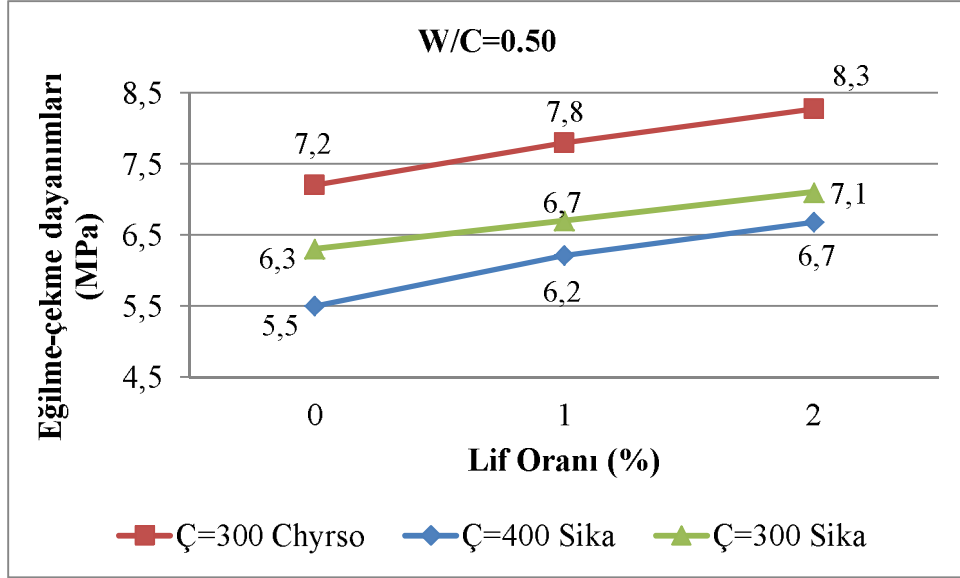
Lif oranı ile eğilme-çekme dayanımı arasında değişken bir ilişki bulunmaktadır. Bir optimum değere kadar lif oranı arttıkça eğilme-çekme dayanımı artar. Ancak optimum değerden sonra lif oranı arttıkça eğilme-çekme dayanımı azalır. Bu durum üzerinde lif tipi ve birçok malzeme parametresi etkindir.

Şekil 5.22 de su/çimento oranı 0.60 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun eğilme-çekme dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Ç harfi çimento kelimesini temsil etmektedir. Örneğin Ç=300, çimento miktarının 1 m³ için 300 kg olduğunu göstermektedir. Lif oranı arttıkça eğilme-çekme dayanımlarındaki artma sınırlıdır. Çünkü fazla lif beton içerisinde topaklanmakta ve homojen karışmamaktadır.



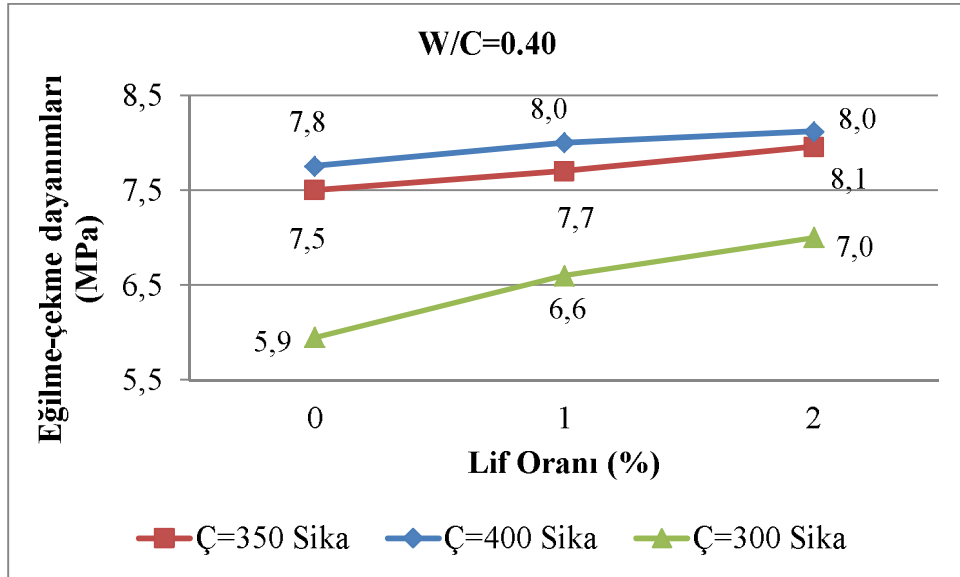
Şekil 5.22 W/C oranı 0.60 olan karışımlar için eğilme-çekme dayanımı-lif oranı ilişkisi

Şekil 5.23 da su/çimento oranı 0.50 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun eğilme-çekme dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. W/C oranı 0.50 olan serilerde de hem %1 lif oranında hem de %2 lif oranında eğilme-çekme dayanımında referans yani lifsiz betona oranla artış görülmüştür. Basınç dayanımlarının aksine eğilme-çekme dayanımları lif oranı arttıkça, %2 lif oranında da artış görülmüştür. Eğilme-çekme dayanımlarındaki bu artış lifin betonda kullanım amacını da desteklemektedir. Lif kendisinden beklenen performansı göstermiş ve betonun çekme dayanımının artmasını sağlamıştır.



Şekil 5.23 W/C oranı 0.50 olan karışımlar için eğilme-çekme dayanımı-lif oranı ilişkisi

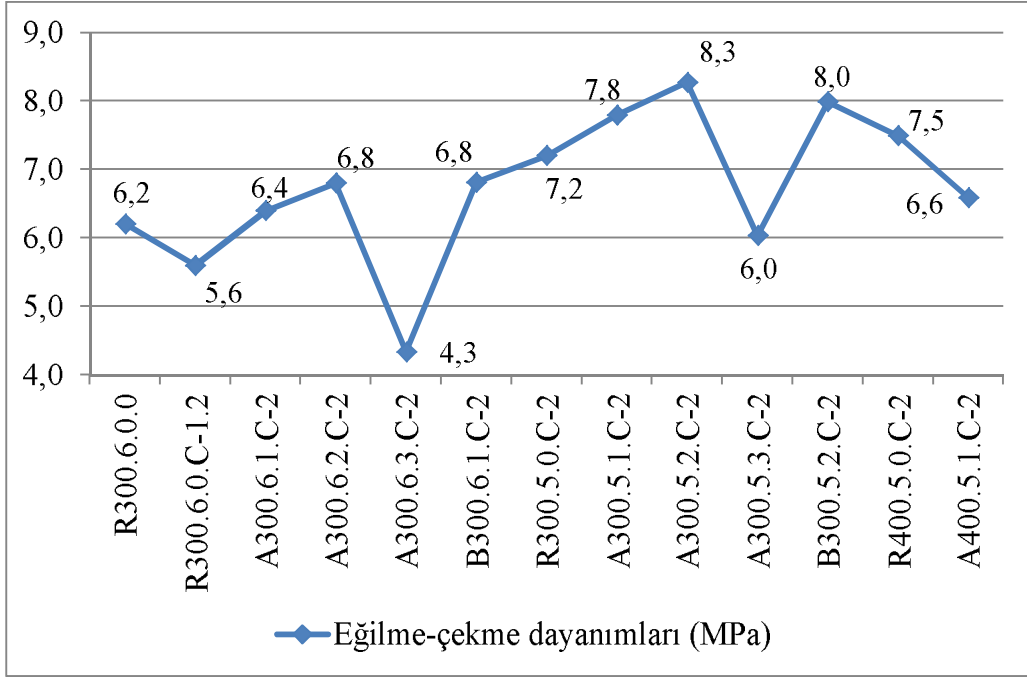
Şekil 5.24 de su/çimento oranı 0.40 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun basınç dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 5.24 W/C oranı 0.40 olan karışımlar için eğilme-çekme dayanımı-lif oranı ilişkisi

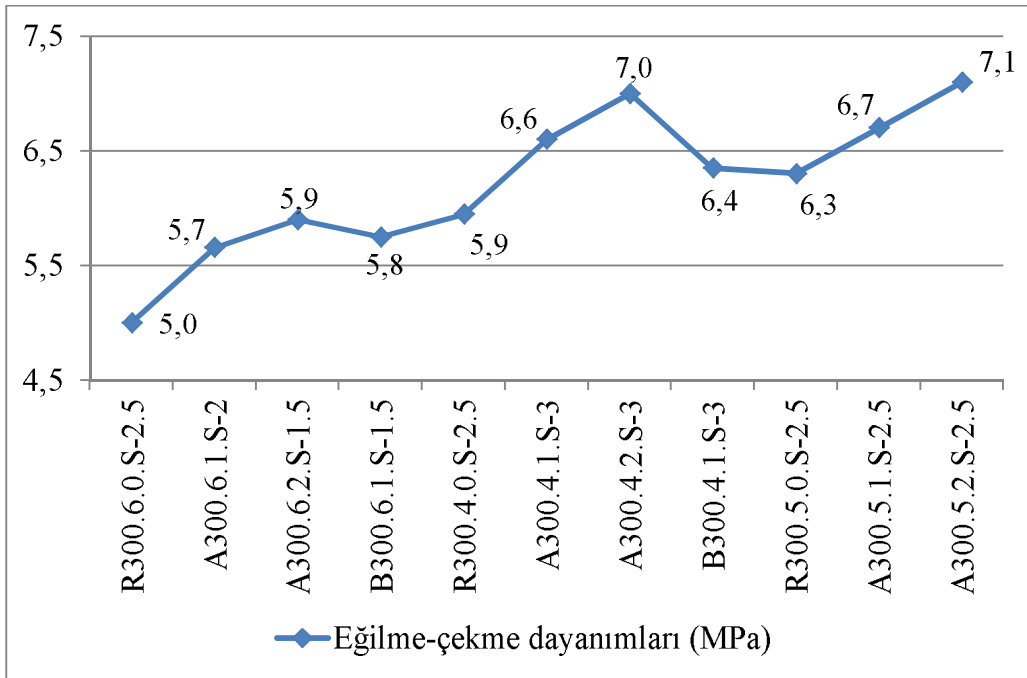
Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24 incelendiğinde W/C oranı azaldıkça eğilme-çekme dayanımlarının arttığı görülecektir. Beklenen bu sonuç verilerin doğruluğunu destekler niteliktedir. Chyrso kimyasal katkısı kullanılarak üretilen referans ve lifli

betonların tamamının eğilme-çekme dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki Şekil 5.25 de görülmektedir.

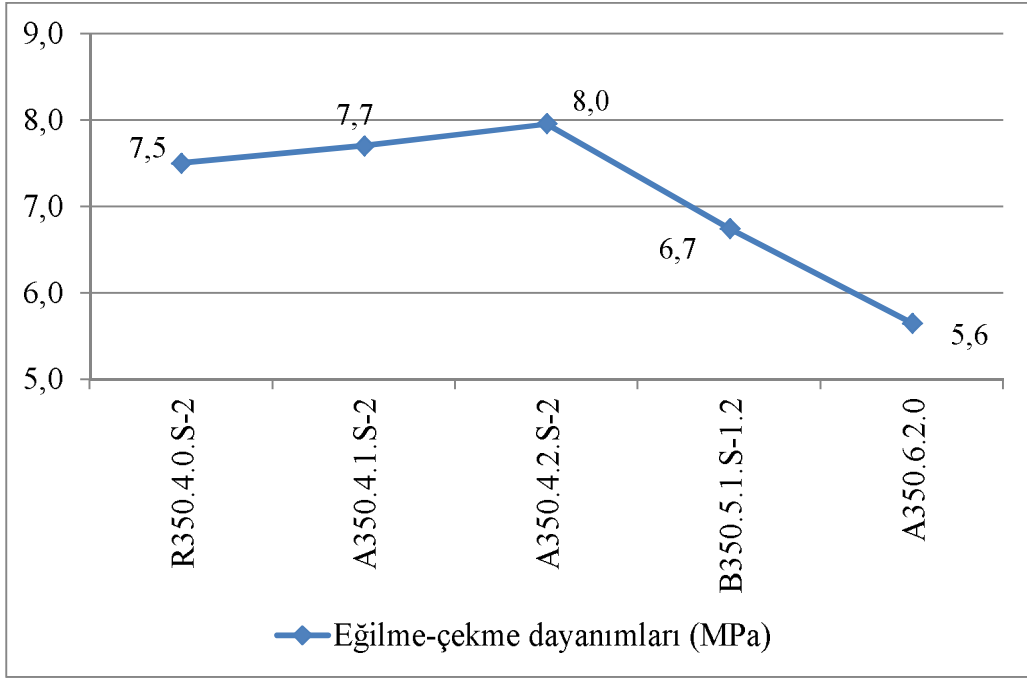


Şekil 5.25 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin eğilme-çekme dayanımları

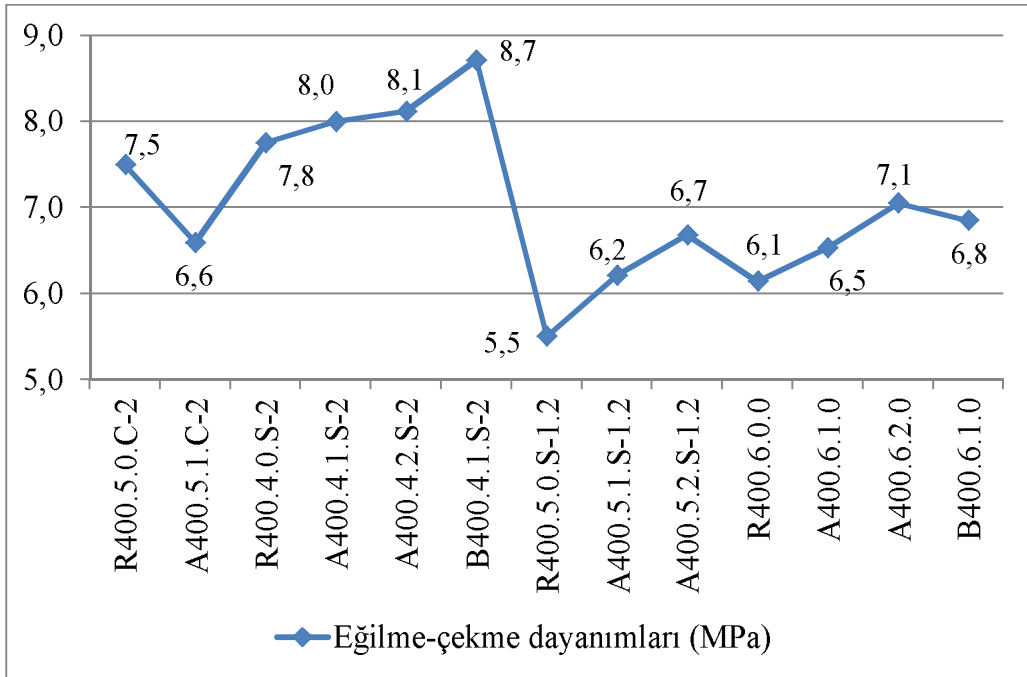
Şekil 5.25 de görülen 13 serinin dışındaki kimyasal katkı kullanılan tün numunelerde sikament kullanılmıştır. Geriye kalan seriler ise çimento dozajları dikkate alınarak gruplandırılmıştır (Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28).



Şekil 5.26 300 dozajlı beton numunelerin eğilme-çekme dayanımları



Şekil 5.27 350 dozajlı beton numunelerin eğilme-çekme dayanımları



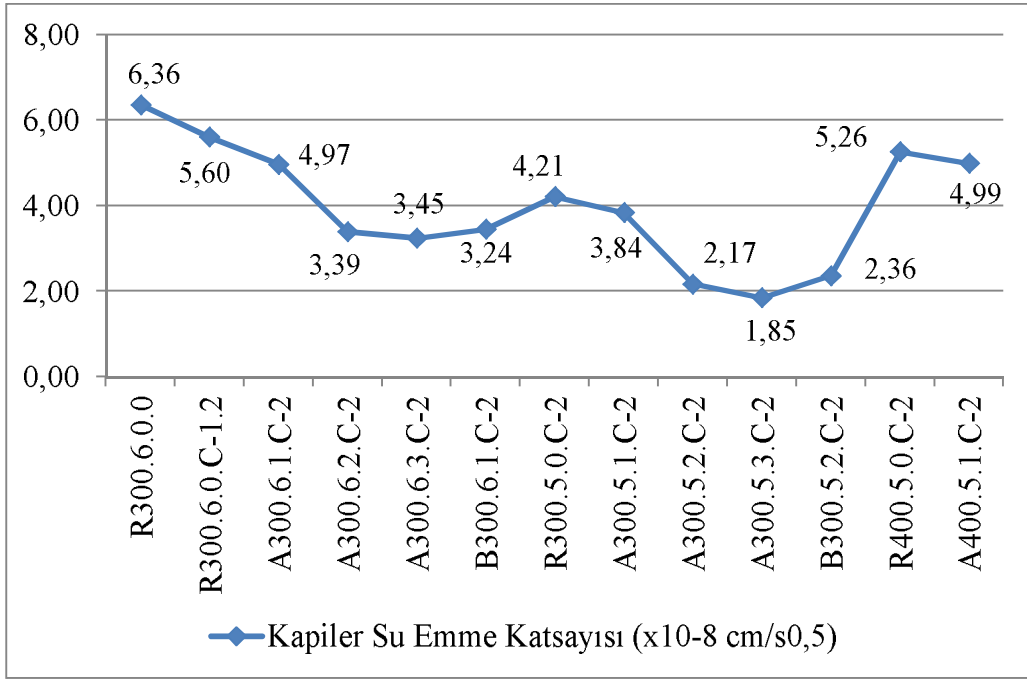
Şekil 5.28 400 dozajlı beton numunelerin eğilme-çekme dayanımları

Tüm karışım özellikleri aynı sadece lif tipi farklı karışımlara dikkat edilirse B tipi lif kullanılan betonların, basınç dayanımlarının gibi eğilme-çekme dayanımlarının daha

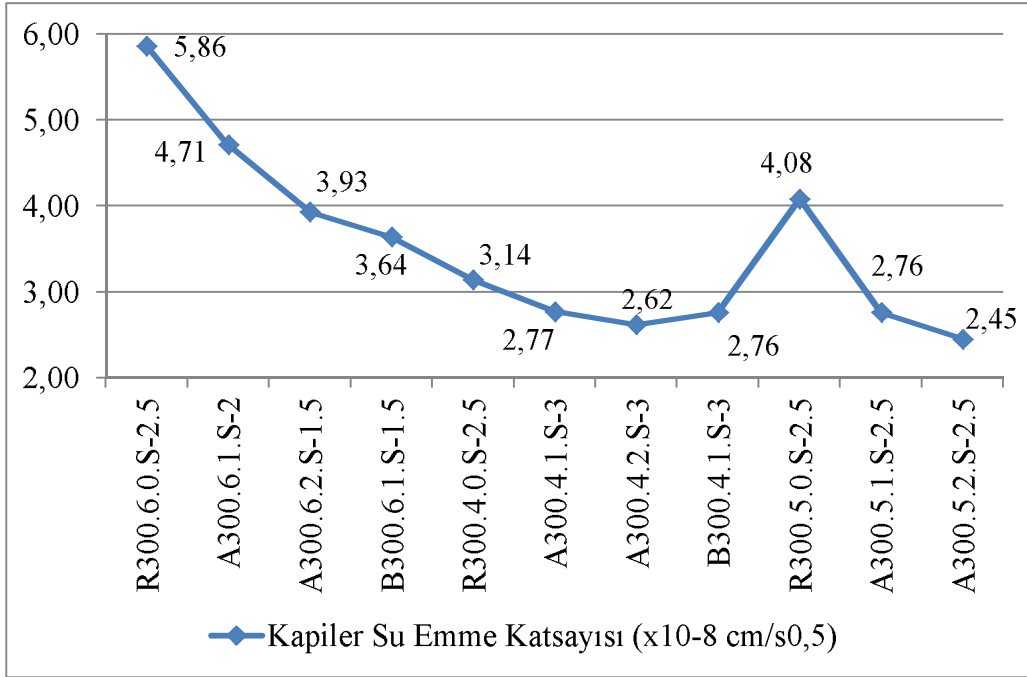
yüksek olduğu görülecektir. A400.4.1.S-2 ve B400.4.1.S-2 serileri bu sonuç için örnektir. Ancak B tipi lif homojen dağılmadığından %2 oranında kullanılamamıştır.

5.5. Kapiler Su Emme

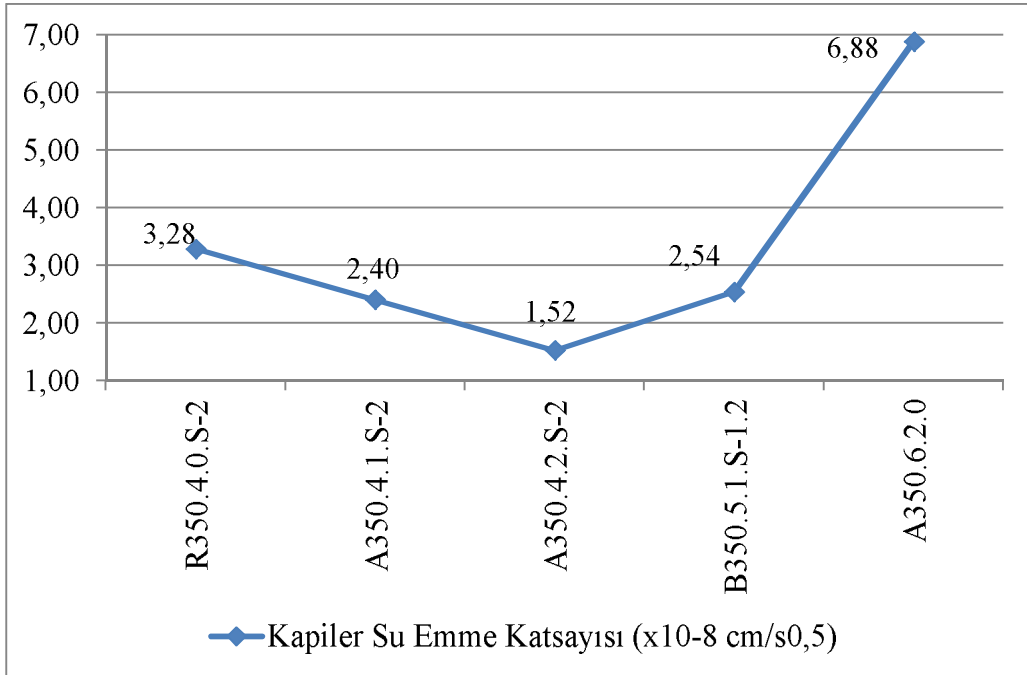
Kapiler su emme deney sonuçları Şekil 5.29, Şekil 5.30, Şekil 5.32 ve Şekil 5.32 de verilmiştir.



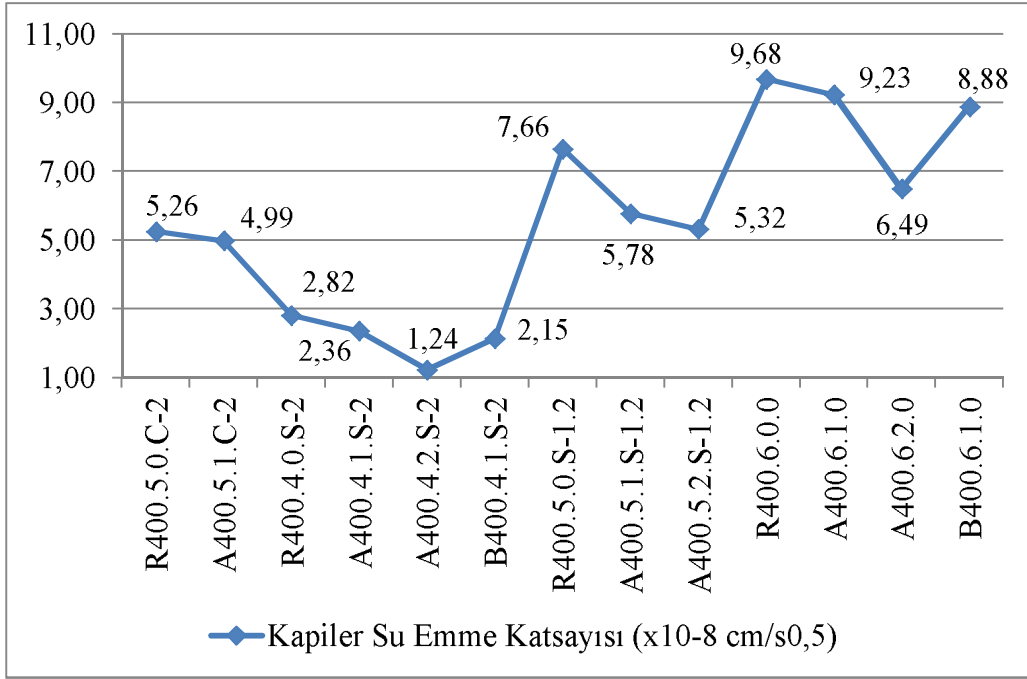
Şekil 5.29 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin kapiler su emme katsayıları



Şekil 5.30 300 dozajlı beton numunelerinin kapiler su emme katsayıları



Şekil 5.31 350 dozajlı beton numunelerinin kapiler su emme katsayıları

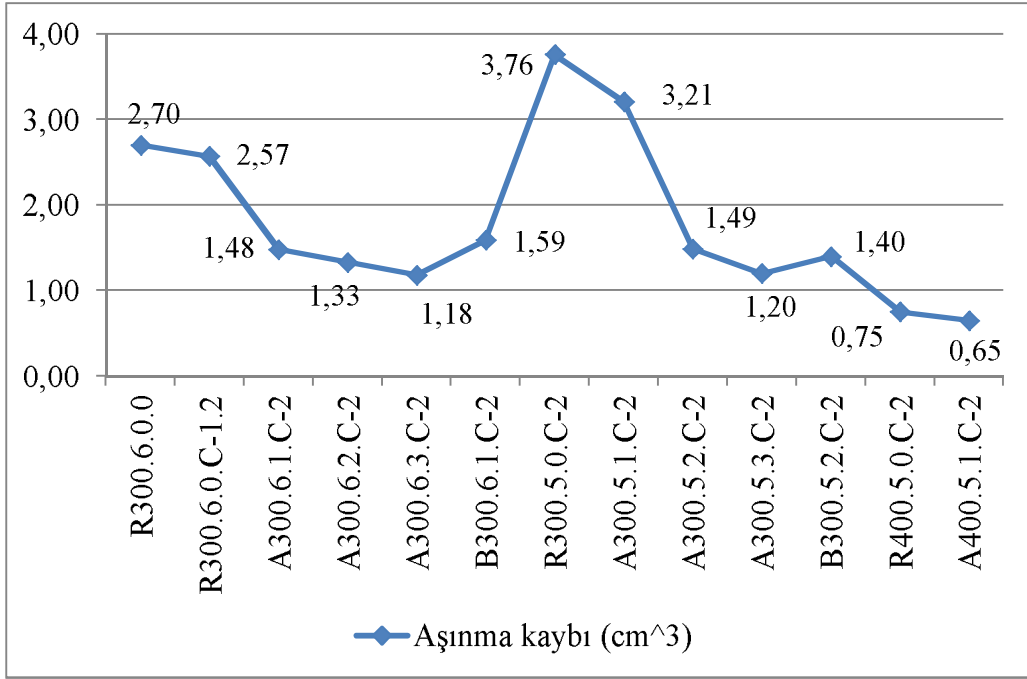


Şekil 5.32 400 dozajlı beton numunelerin kapiler su emme katsayıları

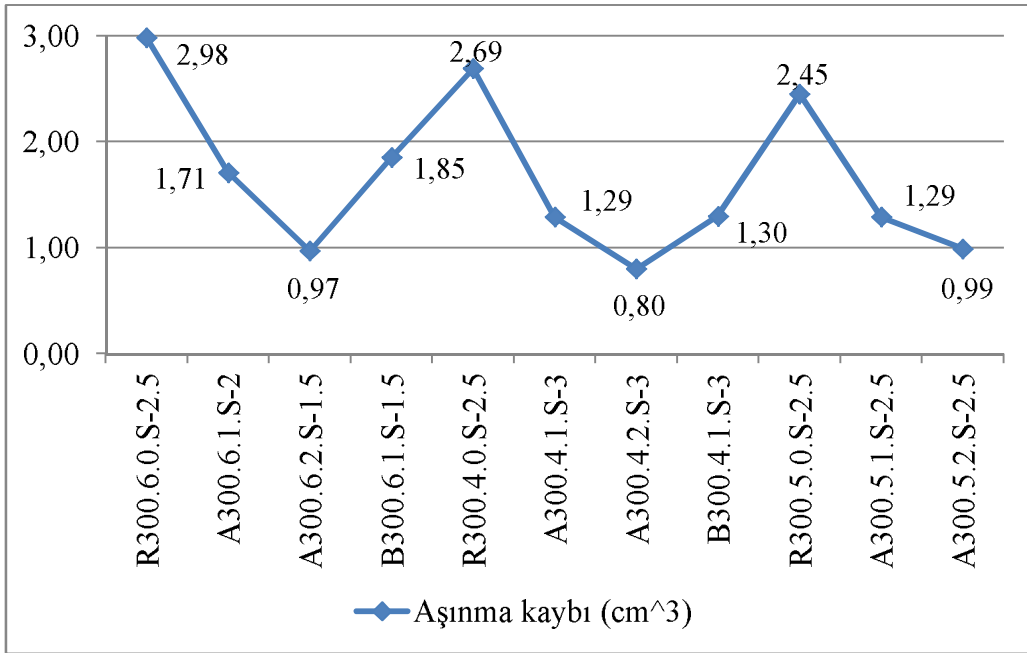
Lif oranı arttıkça kapiler su emme katsayısının küçüldüğü yani su emme miktarının azaldığı görülmektedir. Ancak bu azalma miktarı oldukça küçüktür.

5.6. Böhme Aşınma

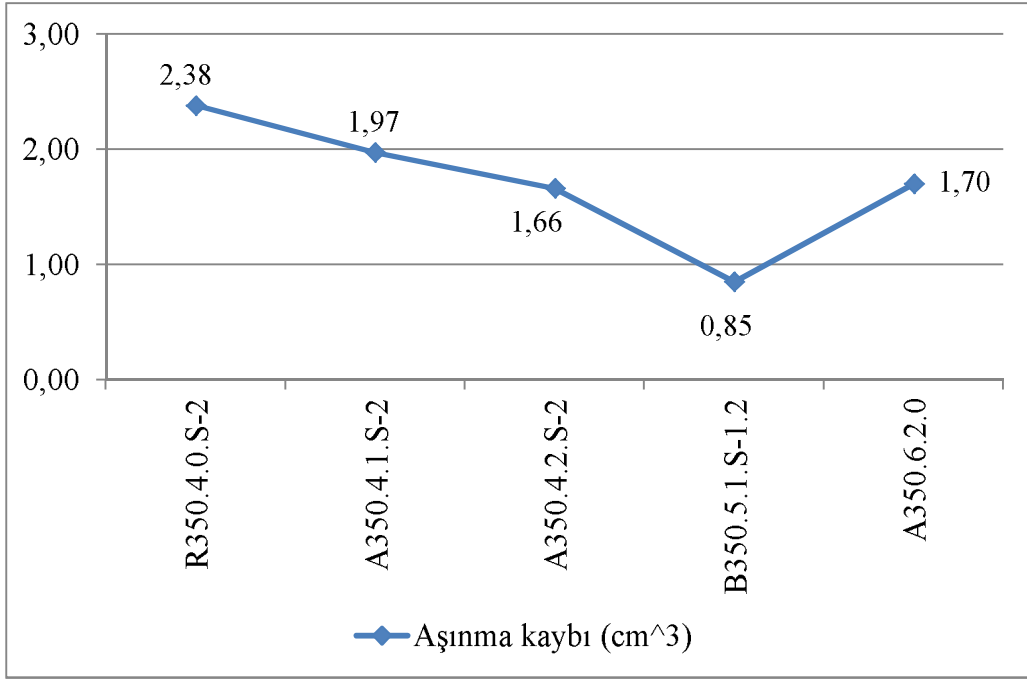
Böhme aşınma deneyi sonuçları aşınma kaybı (cm³) olarak Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35 ve Şekil 5.36 da verilmiştir. Grafikler genel anlamda fikir vermektedir. Ancak çok kesin sonuçlar çıkarılamamıştır.



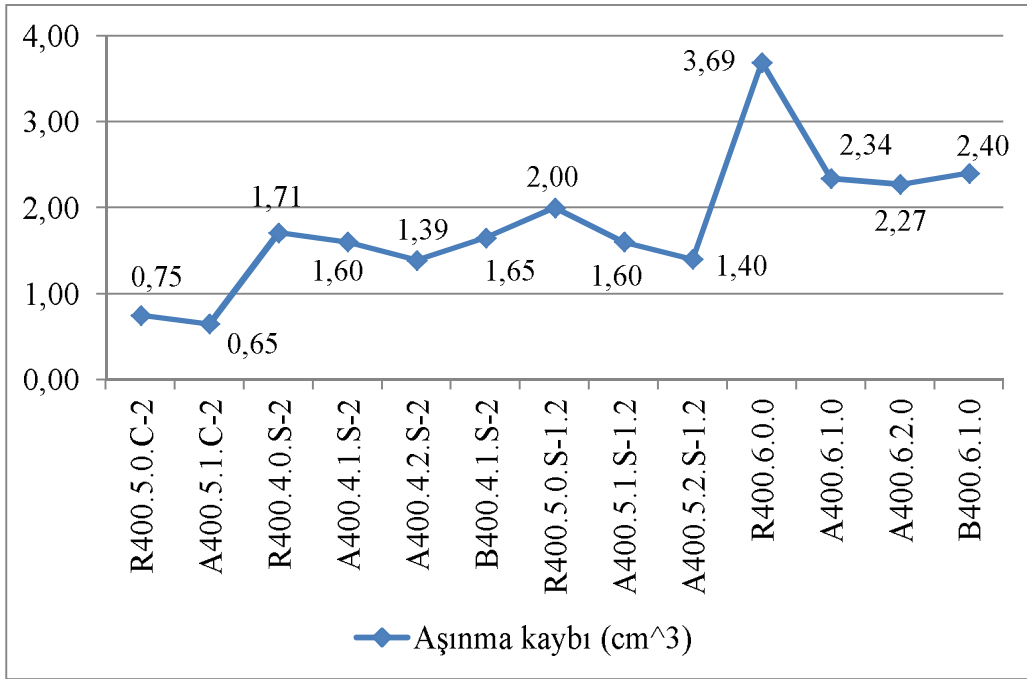
Şekil 5.33 Chyrso kimyasal katkısı ile üretilmiş serilerin aşınma kayıpları



Şekil 5.34 300 dozajlı beton numunelerinin aşınma kayıpları



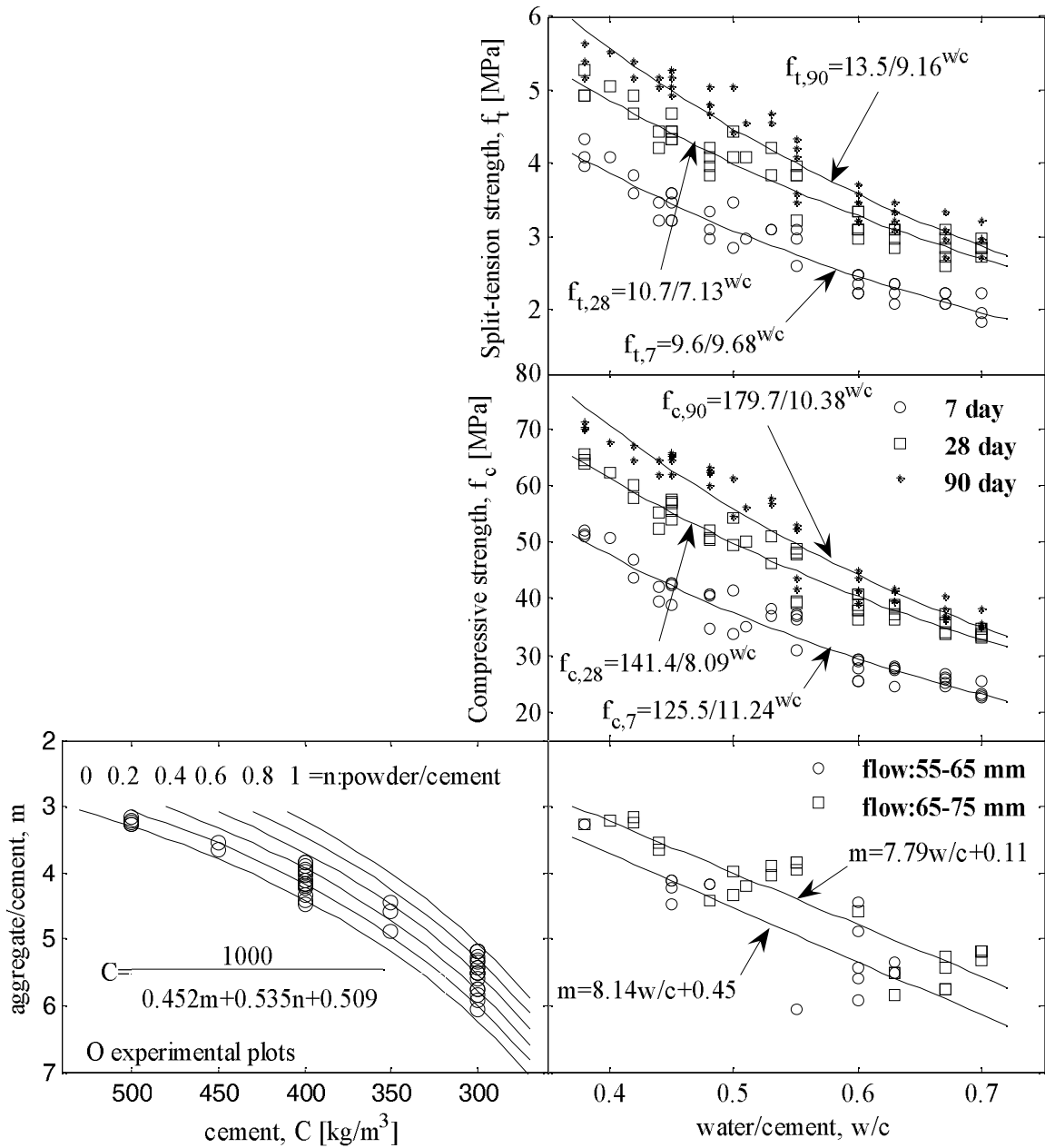
Şekil 5.35 350 dozajlı beton numunelerin aşınma kayıpları



Şekil 5.36 400 dozajlı beton numunelerin aşınma kayıpları

5.7. Pratik Karışım Tasarımı Grafiği

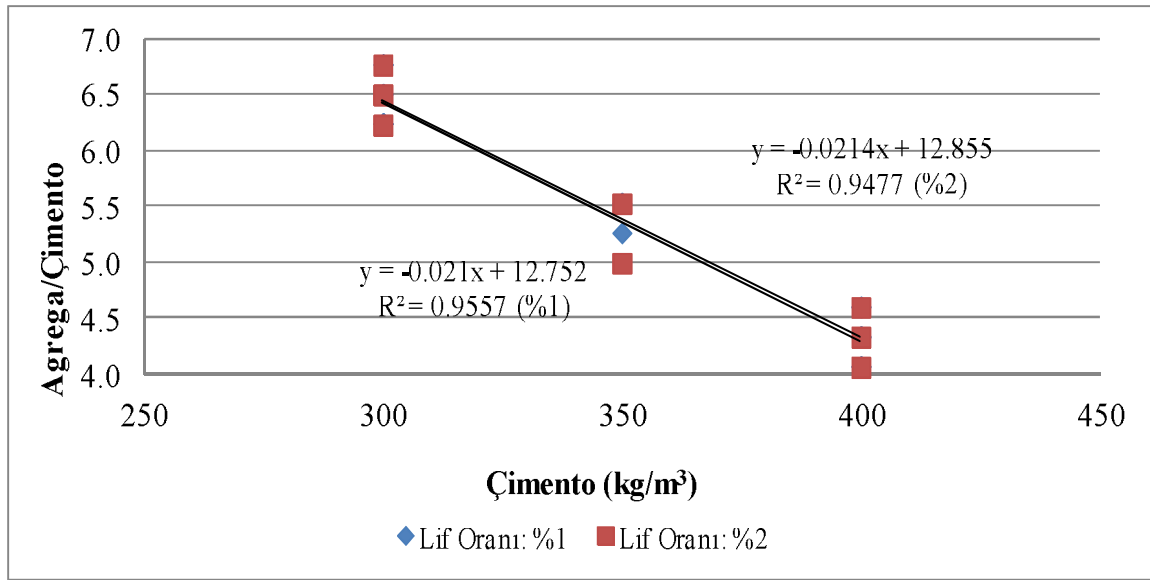
Son yıllarda bilimsel çalışmalarda sadece sonuçların verilmediği sonuçların grafik hale getirilerek incelendiği görülmektedir. Hatta günümüzde bu grafikler yorumlanarak sonuçlar monogramlar halinde ortaya konulmaktadır. Bu çalışmada hedeflenen sonuç, özel beton türlerinden kendiliğinden yerleşen beton içinde geliştirilmiştir ve literatürde mevcuttur. Şekil 5.37 de verilen bu monogram ilgili makaleden aynen alınmıştır.



Şekil 5.37 Kendiliğinden yerleşen beton ön karışım tasarım monogramı

Şekil 5.37 deki monogram yardımıyla istenilen taze ve sertleşmiş özelliklere sahip bir karışım tasarımı pratik bir şekilde elde edilmektedir. Bu tez çalışmasında elde edilen deneysel veri sayısı ön tasarım için yeterli olmaktadır.

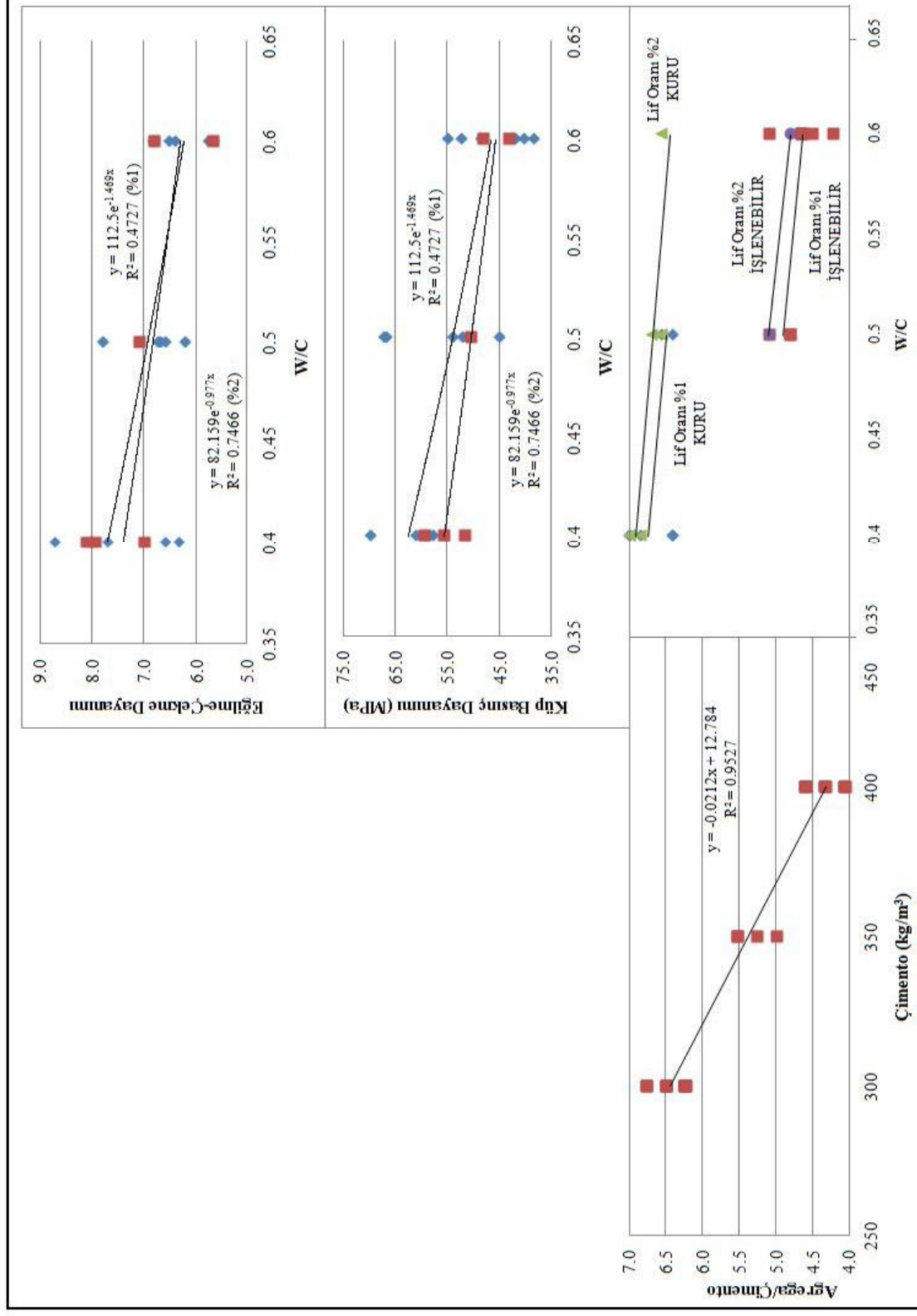
Agrega/çimento oranı ile çimento miktarı arasında bir oran vardır. Lif oranları da dikkate alınarak elde edilen grafik Şekil 5.38 de verilmiştir. Dikkat edilirse lif oranlarının değişimi sonucu adeta etkilememektedir. Bu nedenle karışım tasarımı monogramın da tek bir eğri kullanılmıştır.



Şekil 5.38 Agregasyon/çimento oranı-çimento miktarı arasındaki ilişki

Lifli betonların taze beton özellikleri kuru ve işlenebilir olarak sınıflandırılmıştır. Lif oranı ve W/C oranı değiştiğinde, taze betonun çökme değerleri de değişmektedir. Monogram hazırlanırken standart sapmayı aşırı etkileyen değerler kullanılmamıştır ve monogramda sadece lif kullanılmış deney serilerinin verileri kullanılmıştır. Şekil 5.39 da verilen monogram yardımıyla A tipi lif kullanılmış lifli betonların ön karışım tasarımları planlanabilir. Bu monogram sayesinde araştırmacıların ve uygulamacıların laboratuvar iş yüklerinin azalacağı ve zaman kazanacakları düşünülmektedir.

Monogram hem karışıma girecek malzeme miktarlarının yaklaşık tespiti için hem de hedeflenen taze beton ve dayanım özelliklerinin ön görülmesi için kullanılabilir.



Şekil 5.39 Lifli beton ön karışım tasarım monogramı

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneylerden elde edilen genel sonuçlar literatür tarafından desteklenmektedir. Bu çalışma ile birçok parametreye bağlı lifli beton karışım tasarımı genel olarak incelenmiştir. Birden fazla polipropilen lif kullanılması ise genel bir kanaat oluşmasını sağlamıştır.

Betonun basınç dayanımı yanında çekme dayanımının oldukça küçük olması, betonun zayıf yönlerinden birini teşkil etmektedir. Polipropilen lif sayesinde belirli bir orana kadar çekme dayanımında artış sağlanabilmektedir. Bu durum özellikle titreşime maruz betonlarda büyük artılar sağlayacaktır.

Araştırmacıların en çok zorlandığı konulardan biri deneme karışımlarıdır. Uzun zaman alan bu çalışmalar kaçınılmazdır. Bu tez çalışmasında geliştirilen grafiklerin araştırmacılara polipropilen lifli beton karışım tasarımı büyük kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

Ayrıca çelik lifler ve polipropilen lifler yine birlikte kullanılarak beton içerisinde homojen bir dağılımın nasıl elde edilebileceği hakkında bir çalışma yapmak da mümkündür. Lifler beton karışımı içerisine eklendikten sonra elde edilen numuneler üzerinde mekanik deneyler yapılabilir. Çelik liflerle birlikte kullanılacak polipropilen liflerin betonun çekme dayanımını daha da arttırabileceği düşünülmektedir.

Monogram tabanlı karışım tasarımının en büyük özelliği, karışım miktarlarının, taze beton özelliklerinin ve sertleşmiş beton özelliklerinin aynı anda görülebilmesidir. Bu sayede istenirse kullanacak karışımla elde edilecek betonun taze ve sertleşmiş özellikleri öngörülür veya istenirse hedeflenen taze ve sertleşmiş beton özelliklerini sağlayacak karışım oranları bulunabilir. Ancak monogramın ön karışımlar için üretildiği unutulmamalıdır. Kesin karışımlara yine deneme numuneleriyle ulaşılabacaktır. Monogram sayesinde deneme karışımlarının sayısı çok büyük oranda azalacaktır.

Sonuç olarak polipropilen lifler işlenebilme özelliği dışında, beton özelliklerinde olumsuz bir etki yapmamıştır. Aksine betonun mekanik birçok özelliğini olumlu yönde etkileyerek birçok avantaj sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

1. **Neville, A. M.**, 1995, Properties of concrete, fourth ed, London, Longman.
2. **Mert Yücel Yardımcı**, Çelik Lifli kendiliğinden yerleşen betonların jeolojik, mekanik, kırılma parametrelerinin araştırılması ve optimum tasarımı, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü , İzmir,.
3. **Do, M.T., Cahaal O. Aitcin P.C.**, Fatigue Behavior of High Performance Concrete,ASCE JM, 96-111, 1993
4. **Singh, S. P. And Kaushik, S. K.**, Fatiyve Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete in Flexure, Cement and Concrete Composites, 25, 2003.
5. **Ezeldin A.S. and Shiah T. W.**, Analytical Immediate and Long-Term Deflections of Fiber-Reinforced Concrete Beams, Journal Structural Engineering, 121, 1995.
6. **Aydın, A.B. ve Sanacık, E.**, Yapı Sektörü-Çevre İlişkisi Bağlamında Çimento ve Beton Üretiminin Çevresel Etkilerinin İrdelenmesi (The Evaluation of Cement and Concrete Production within the Context of Building Sector-Environment Relationship), 4th International Advanced Technologies Symposium, Selçuk University, Technical Education Faculty, Konya, 1057-1062, 2005.
7. **Turker, S., Balanlı, A.**, 1992, Yapı Malzemeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
8. **Hoff, G. C.**, Fiber Reinforced Concrete International Symposium, 1984, American Concrete Institute, Detroit, 411-440.
9. **Barış DURMAZ**, Bölgesel Basınca Maruz Lifli Betonlarda Yatak Mukavemeti Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
10. **Arslan, A.**, (1993). Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 369, s. 29-33.
11. **Erbaş, M.**, (1999). Lif Donatılı Betonlar, Hazır Beton Dergisi, Ocak-Şubat, s. 68-71.

12. **Yiğiter, H.**, (2002). Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
13. **Ünal, O.**, (1994). Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
14. **Çağlar YALÇINKAYA**, Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
15. **U. S Army Corps Engineers**, 1994, Standart Practice For Civil Works Strucrets, Washington DC 20314-1000,10-9-10-10
16. **Murat Şahin**, Betonla Uyumlu Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
17. **Galip Ş. Gündoğdu** ,Yurtta ve Dünyada Teknik, Lifli Beton, , 1974
18. **Şengül, C.**, Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/Malzeme Oranı İle Lif Dayanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
19. **Şimşek, O.**, 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara 247.
20. **YERLİKAYA, M.**, Çelik Tel Donatılı Zemin Betonların Tasarım ve Yapım İlkeleri
21. <http://www.beksa.com.tr>
22. **YERLİKAYA, M.**, Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları, Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s. 302-304.
23. **Okan Karahan**, Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
24. **Dilek Avar**, Kayma Lifli Betonların Mekanik Davranışına Buhar Kürü Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

25. **Mindess, S., Young J. F.**, 1981, Concrete, Prenticeldall, inc, Englemood Cliffs, New Jersey 07632, 628-643
26. <http://wbt.bme.hu/phydsymp/2ndphd/proceedings/materschlggr.pdf>
27. **Sancak, E., Şimşek O.**, Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21 (3), 443-450, 2006.
28. **ASTM C. 1116/C.1116M-109**, Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete
29. **ASTM C 1116-00**, 2000. Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shocrete. Annual Book ASTM Standards, 4 (04.02)
30. **Bekaert**, 1998. Duomix Hakkında Genel Bilgiler Kılavuzu, Bekaert, Belgium.
31. **TS EN 1008**, 2003. Beton-Koruma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun Beton Koruma Suyu olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
32. **TS EN 12350-2**, 2002. Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
33. **TS EN 12390-3**, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
34. **TS EN 12390-6**, 2002. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
35. **TS EN 12390-5**, 2002. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
36. **TS 4045**, 1984. Tezde Yapı Malzemelerinde Kapılar Su Emme Tayini, TSE, Ankara
37. **TS EN 14157**, 2005. Doğal Taş – Aşınma Direncinin Tayini . Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1987’de Kırşehir’de doğdu. İlk, orta ve Lise öğrenimini Elazığ’da tamamladı. 2005 yılında Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Birkaç özel firmada mühendis olarak çalışmıştır.