

## FARKLI KARIŞIM ORANLARINA SAHİP POLİPROPİLEN LİFLİ BETONLARIN DAYANIM VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

Merve Açıkgenç\*, Ufuk Arazsu, Kürşat Esat Alyamaç

**Özet:** Beton, çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi çok düşük olan gevrek yapıdaki bir malzemedir. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde, beton içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu, betonun zayıf özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada, polipropilen lifler beton içerisine hacimce %1 ve %2 oranlarında eklenerek, bunların betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine yaptığı etkiler araştırılmıştır. Plastik ve akıcı kıvama sahip, 300, 350 ve 400 dozlu polipropilen lifli beton karışımlar tasarlanmıştır. Beton basınç dayanımları için 150x150x150 mm standart küp numuneler, eğilme-çekme dayanımları için 100x100x500 mm kiriş numuneler ve durabilite deneyleri için 100x100x100 mm küp numuneler üretilmiştir. Lif oranı arttıkça betonun dayanım özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, polipropilen lifin, betonun aşınma dayanımı ve kılcal su emme özelliklerini de olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, taze beton özellikleri ve karışım oranları değişikçe polipropilen lifin, betonun dayanım ve durabilite özellikleri üzerinde farklı etkisi olduğu ortaya çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen Lif, Lifli Beton, Dayanım, Aşınma dayanımı, Kılcal su emme.

## STRENGTH AND DURABILITY PROPERTIES OF POLYPROPYLENE FIBER-REINFORCED CONCRETE WITH DIFFERENT MIXTURE PROPORTIONS

**Abstract:** The concrete is a brittle material which has low tensile strength and tensile strain capacity. These weak points of concrete can be fixed by using fibers made of different materials with high technical specifications in concrete. In this study, polypropylene fibers were used in concrete by adding the rate of 1% and 2% by volume. And, the fresh and hardened properties of polypropylene fiber-reinforced concrete were investigated. Polypropylene fiber reinforced concrete mixes with plastic and fluid consistency were designed with 300, 350 and 400 dosage of cement. And, 150x150x150 mm cube specimens for compressive strength, 100x100x500 mm beam specimens for tensile strength in bending and 100x100x100 mm cube specimens for durability tests were produced. It was observed that as the rates of fibers were increased, the strength properties of concrete increased. Likewise, capillary water absorption and abrasion resistance properties of concrete were also positively affected by polypropylene fibers. Result of these, as the properties of fresh concrete and concrete mixture proportions were changed, polypropylene fibers had different influence on strength and durability.

**Key Words:** Polypropylene Fiber, Fiber-Reinforced Concrete, Strength, Capillary Water Absorption, Abrasion Resistance.

### 1. Giriş

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 dezavantajı çekme dayanımının ihmal edilebilecek kadar düşük olmasıdır. Bunun yanında kullanım alanı veya kullanılan yapıya göre betondan farklı performanslar beklenmektedir. Bu beklentiler

\* Firat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü/ELAZIĞ. E-posta: [merveacikgenc@firat.edu.tr](mailto:merveacikgenc@firat.edu.tr)

ancak özel betonlarla karşılanabilmektedir. Bu özel beton türlerinden biri olan lifli beton ise beton ve çimentolu malzemelerde çeşitli özelliklerde liflerin kullanımı esasına dayanmaktadır (Arazsu, 2012).

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. 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 (Yardımcı, 2007). Bu çalışmada kullanılan 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 üretimi ucuz olan bir plastik olduğunu da söylemek mümkündür. Beton veya sıvada polipropilen lifli betonun en önemli etkisi, beton dökümünden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzülmeden dolayı oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Sertleşme, prizlenmenin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzülmeden dolayı meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzülme esas itibarıyla su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve buharlaşmanın tabii bir sonucudur. Polipropilen lifler çelik liflere nazaran betonun mekanik mukavemetlerini arttırmada çok etkili olmazlar. Yine de azda olsa betona enerji yutma özelliği kazandırır ve özellikle plastik rötrede çok etkili olurlar. Özellikle çok güçlü olmayan büzülmelelere 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 büzülmelerinden dolayı oluşacak çatlakların azaltılmasında çelik lifler malzemeye belirli bir dayanıklılık ve tokluk vererek betonun mukavemetini önemli ölçüde arttırmalar (Arazsu, 2012; Bekaert, 1998).

Bu çalışmada, iki tip polipropilen lif kullanılarak üretilen betonların taze ve sertleşmiş özellikleri araştırılmıştır. Farklı çimento miktarlarına, su/çimento oranlarına ve lif oranlarına sahip 21 adet lifli beton karışımı tasarlanmıştır. Bu betonların çökme miktarları ölçüldükten sonra, üretilen 28 günlük küp ve kiriş numuneleri üzerinde basınç ve üç noktalı eğilme deneyi yapılarak dayanım özellikleri saptanmıştır. Daha sonra polipropilen lifli betonun durabilite özellikleri hakkında bir fikir vermesi amacıyla 28 günlük beton numunelerin kapiler su emme değerleri ve aşınma dayanımları saptanmaya çalışılmıştır.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada, polipropilen lifli betonların taze ve sertleşmiş özellikleri tespit edilmiş ve bu özellikler arasındaki ilişki grafiklerle ortaya koyulmuştur.

## 2.1. Malzeme Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan polipropilen lifli beton karışımlarının tümünde CEM I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Çimentonun özellikleri Tablo 1’ de görülmektedir.

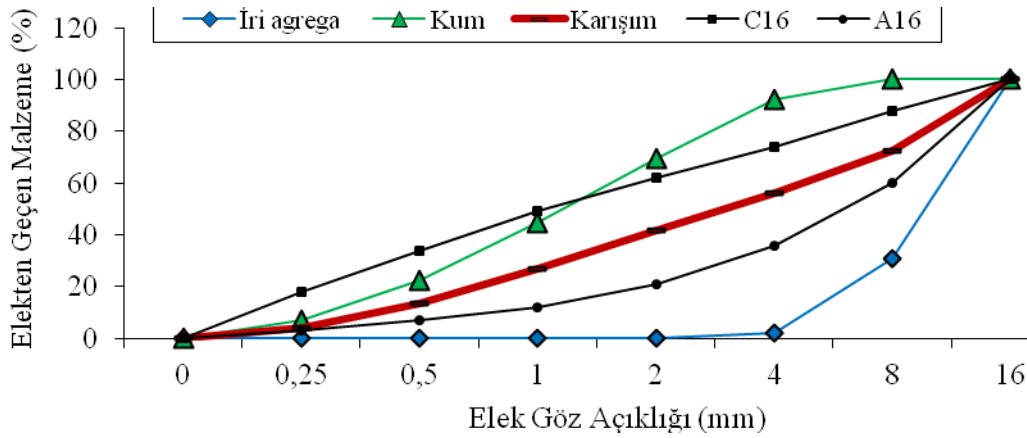
**Tablo 1.** CEM I 42.5 N çimentonun özellikleri

Kimyasal Özellik	CEM I 42.5 N	Fiziksel Özellik	CEM I 42.5 N
SiO <sub>2</sub> (%)	19.45	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5.34	Priz başı (dk)	185
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.03	Priz sonu (dk)	260
CaO (%)	62.62	İncelik (cm <sup>2</sup> /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

Elazığ ilinden elde edilen en büyük tane çapı ( $d_{max}$ ) 16 mm, nehir agregası kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 2,64 gr/cm<sup>3</sup> çakıl ve 2,68 gr/cm<sup>3</sup> kumun, su emme miktarları sırasıyla %1,3 ve %1,8’ dir. Kullanılan agreganın granülometrisi Şekil 1’ de verilmiştir.

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

Toplam 21 seriden oluşan lifli beton karışımlarının, 15 tanesinde yoğunluğu 1,15~1.19 gr/cm<sup>3</sup> olan Sikament FNN süper akışkanlaştırıcı (SA) beton katkısı kullanılmıştır. Geri kalan 6 karışım ise kimyasal katkı olmadan üretilmiştir.



**Şekil 1.** Agreg granülometrisi

Çalışmada iki tip polipropilen lif kullanılmıştır. Şekil 2.a’ da görülen lif A tipi, Şekil 2.b’ deki ise B tipi olarak isimlendirilmiştir. A tipi lif yumuşak ve küme halinde bulunmaktadır. B tipi lif ise serttir ve plastik donatı gibidir. Bu liflerin teknik özellikleri Tablo 2’ de verilmiştir.

**Tablo 2.** Polipropilen liflerin teknik özellikleri

Özellikler	A tipi lif	B tipi lif
Şekil	Stable fiber	monofilament
Boyut (mm)	15	45
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	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



(a) A Tipi



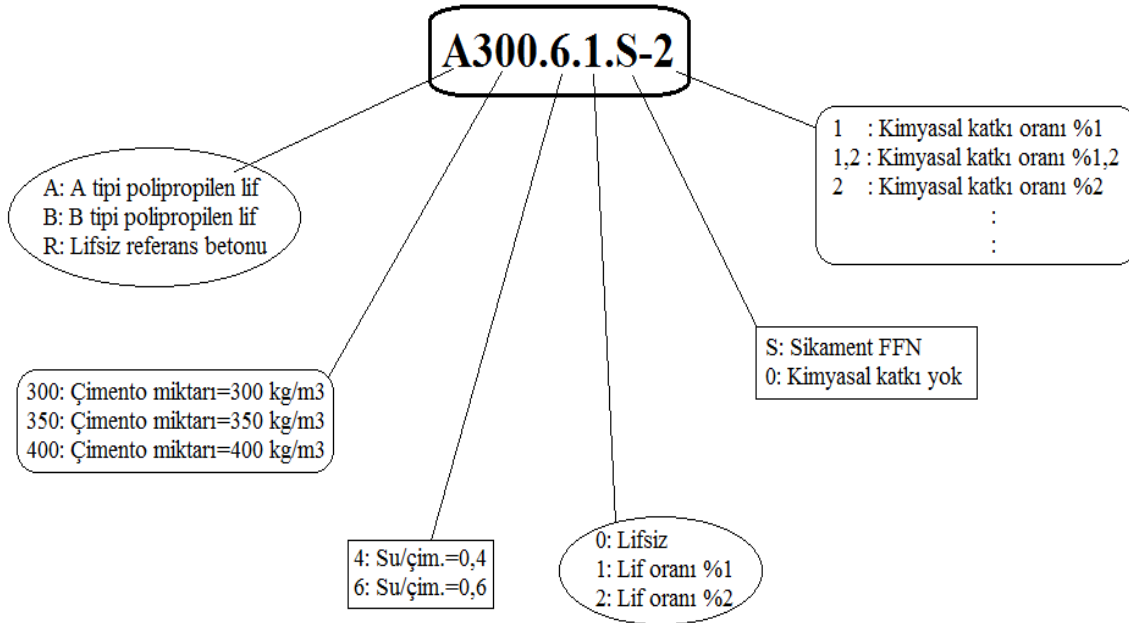
(b) B Tipi

**Şekil 2.** Polipropilen lifler

Kullanılan lif tiplerinden 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 için lif oranının beton özellikleri üzerindeki etkisini ölçmektir.

## 2.2. Deney Serileri ve Karışım Oranları

Çalışmada, karışım oranları su/çimento oranı, çimento dozajı, lif oranı ve tipi ve kimyasal katkı miktarı bakımından farklılıklar gösteren toplam 21 adet beton karışımı oluşturulmuştur. Su/çimento oranı 0,4 ve 0,6 iken, çimento miktarı 300, 350 ve 400 kg/m<sup>3</sup> olarak değiştirilmiştir. Lif oranı ise beton hacminin %0, 1 ve 2' si olarak belirlenmiştir. Karışım oranları Tablo 3' de verilmiştir. Serilerin isimlendirilmesinde kullanılan kodlama ise Şekil 3' de ifade edilmiştir.



Şekil 3. Deney serilerinin isimlendirilmesi

Tablo 3. Beton karışım miktarları

Seri Adı	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Su/Çim.	Kum (kg/m <sup>3</sup> )	Çakıl (kg/m <sup>3</sup> )	SA (%)	Lif Tipi	Lif (%)
R300.6.0.0	300	0,6	944	930	0	Lifsiz	0
R300.6.0.S-2,5	300	0,6	944	930	2,5	Lifsiz	0
A300.6.1.S-2	300	0,6	943	929	2	A	1
A300.6.2.S-1,5	300	0,6	941	927	1,5	A	2
B300.6.1.S-1,5	300	0,6	943	929	1,5	B	1
R400.6.0.0	400	0,6	821	809	0	Lifsiz	0
A400.6.1.0	400	0,6	820	807	0	A	1
A400.6.2.0	400	0,6	818	806	0	A	2
B400.6.1.0	400	0,6	820	807	0	B	1
A350.6.2.0	350	0,6	880	867	0	A	2
R400.4.0.S-2	400	0,4	928	914	2	Lifsiz	0
A400.4.1.S-2	400	0,4	927	913	2	A	1
A400.4.2.S-2	400	0,4	926	912	2	A	2
B400.4.1.S-2	400	0,4	927	913	2	B	1
R350.4.0.S-2	350	0,4	976	962	2	Lifsiz	0
A350.4.1.S-2	350	0,4	975	960	2	A	1
A350.4.2.S-2	350	0,4	974	959	2	A	2
R300.4.0.S-2,5	300	0,4	1024	1009	2,5	Lifsiz	0
A300.4.1.S-3	300	0,4	1023	1008	3	A	1
A300.4.2.S-3	300	0,4	1022	1007	3	A	2
B300.4.1.S-3	300	0,4	1023	1008	3	B	1

### 3. Deneyler ve Sonuçların Değerlendirilmesi

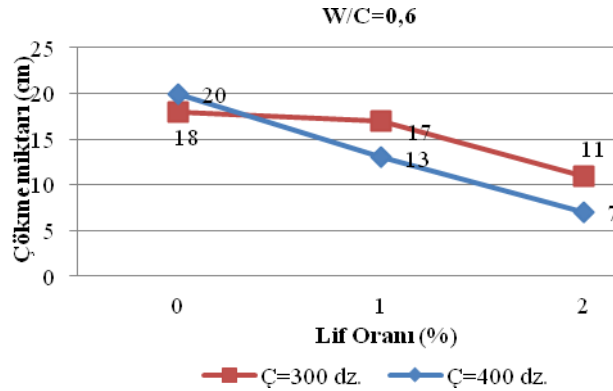
Tasarlanan deney serileri, standart 150×150×150 mm küp, 100×100×100 mm küp ve 100×100×500 mm boyutlarında kiriş numunelerden oluşmaktadır. Standart küp numuneler yardımıyla 28 günlük basınç dayanım değeri tespit edilmiştir. Kiriş numuneler yardımıyla 28 günlük eğilme-çekme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca 28 günlük 100 mm arıtlı küpler yardımıyla kılcal su emme ve aşınma dayanıklılık özellikleri belirlenmiş ve polipropilen lifli betonların durabilite özellikleri hakkında bir fikir vermesi ileride yapılacak çalışmalara bir öngörü oluşturması amaçlanmıştır.

#### 3.1. Çökme (Slump) Deneyi

Taze beton üzerinde yapılan bu deney, TS EN 12350–2 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.

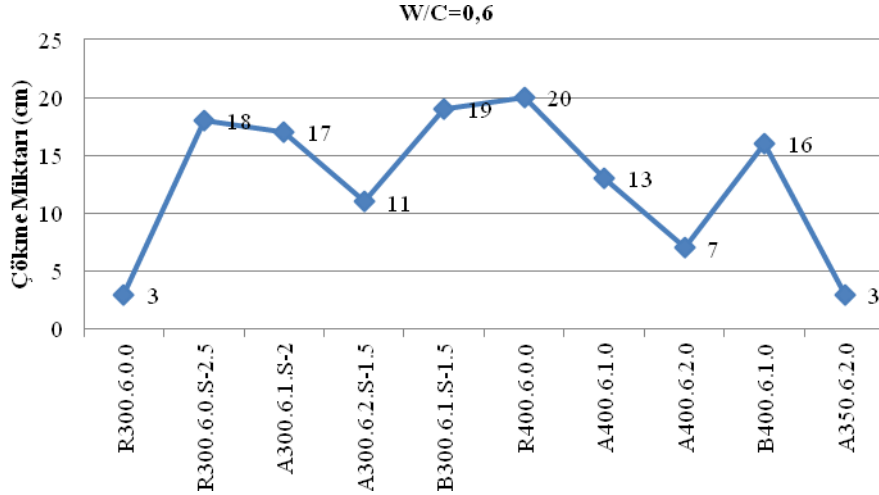
Lif oranı arttıkça çökmenin azalması beklenen bir sonuçtur. Ancak bu azalmaya çimento miktarı, su/çimento oranı ve kimyasal katkı oranının ne ölçüde etkili olduğunun belirlenmesi deney sonuçları ile mümkündür.

Şekil 4' de su/çimento oranı 0.60 olan farklı karışımlara sahip serilerde A tipi polipropilen lif ile üretilmiş taze betonun çökme miktarı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Ç harfi çimento dozajını belirtmektedir. Ç=300, çimento miktarının 1 m<sup>3</sup> için 300 kg olduğunu göstermektedir. Lif oranı arttıkça çökmenin azaldığı görülmektedir. Çökme miktarlarındaki azalmanın belirli bir oranda olmamasının sebebi kimyasal katkı tür ve oranlarıdır.



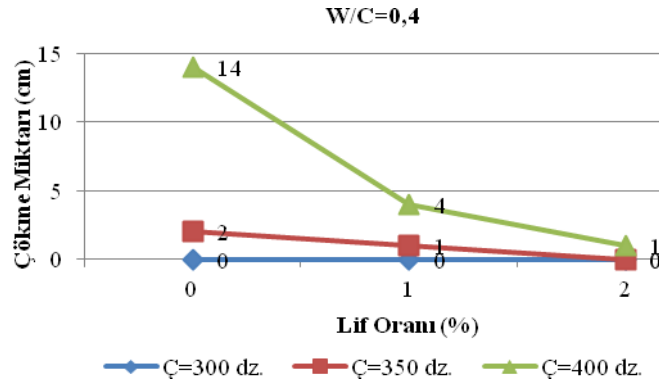
Şekil 4. Su/çim. oranı 0.60 olan karışımlar için çökme miktarı-lif oranı ilişkisi

Şekil 5' de ise su/çimento oranı 0,6 olan bütün karışımların çökme miktarları grafik olarak verilmiştir. Bu grafiğe göre A tipi lif, B tipi lif ile karşılaştırıldığında çökmeyi daha çok düşürmüştür. Buna örnek olarak A400.6.1.0 ve B400.6.1.0 karışımları verilebilir.

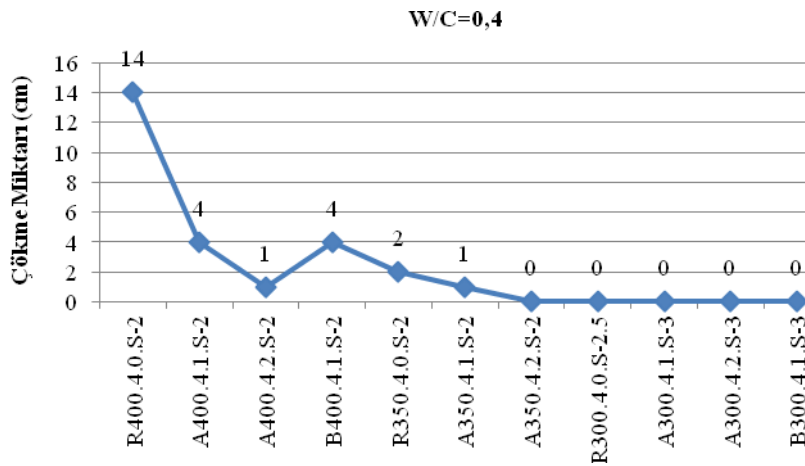


**Şekil 5.** Su/çim. oranı 0,6 olan karışımların çökme miktarları

Şekil 6' da W/C oranı 0.40 olan farklı karışımlara sahip serilerde taze betonun çökme miktarı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 7' de ise 0,4 su/çimento oranına sahip bütün karışımların çökme miktarı grafiği görülmektedir. W/C oranı düşük olduğundan kuru kıvamlı betonlar elde edilmiştir.



**Şekil 6.** Su/çim. oranı 0,4 olan karışımlar için çökme miktarı-lif oranı ilişkisi



**Şekil 7.** Su/çim. oranı 0,4 olan karışımların çökme miktarları

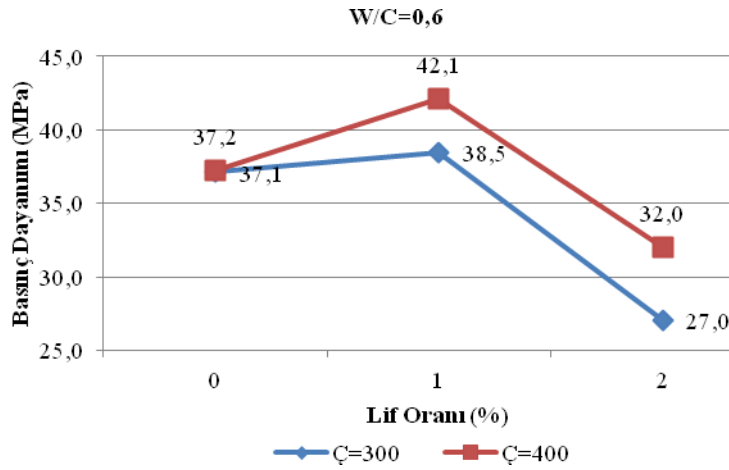
Şekil 5 ve 7 incelendiğinde referans betonlarının çökme miktarlarının, lifli betonların çökme miktarlarından yüksek olduğu görülür. Aynı karışım miktarlarına sahip sadece lif tipi farklı

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.

### 3.2. Basınç Deneyi

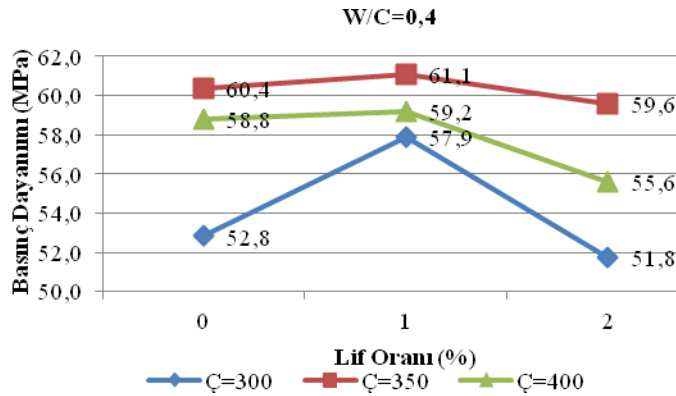
TS EN 12390-3 standardına uygun olarak 28 günlük numunelerin basınç dayanımları belirlenmiştir. Lif oranı ile basınç dayanımı arasında değişken bir ilişki bulunmaktadır. Bir optimum değere kadar lif oranı arttıkça basınç dayanımı artar. Ancak optimum değerden sonra lif oranı arttıkça basınç dayanımı azalır. Bu durum üzerinde lif tipi ve birçok malzeme parametresi etkindir.

Şekil 8' de su/çimento oranı 0.60 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun basınç dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Lif oranı arttıkça basınç dayanımlarındaki önce artma ve daha sonraki azalma optimum lif oranı hakkında fikir vermektedir.



Şekil 8. Su/çim. oranı 0,6 olan karışımlar için basınç dayanımı-lif oranı ilişkisi

Şekil 9' da su/çimento oranı 0.40 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun basınç dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Bu karışımların su/çimento oranı düşük olduğundan basınç dayanımları da genel olarak fazladır. Beklenen bu sonuç verilerin doğruluğunu destekler niteliktedir.

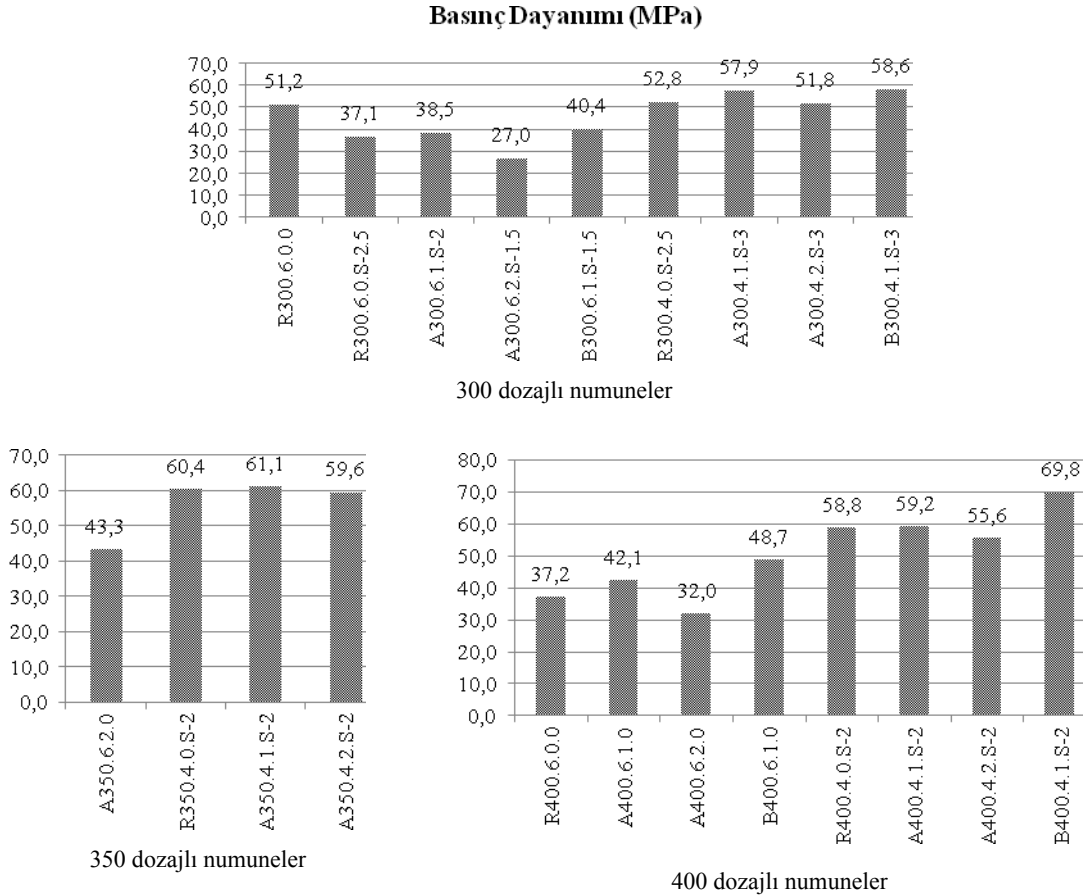


Şekil 9. W/C oranı 0,40 olan karışımlar için basınç dayanımı-lif oranı ilişkisi



W/C oranı 0,4 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 10' da ise numunelerin basınç dayanımları, çimento dozajına göre sınıflandırılarak verilmiştir.



**Şekil 10.** 300, 350 ve 400 dozajlı beton numunelerin basınç dayanımları

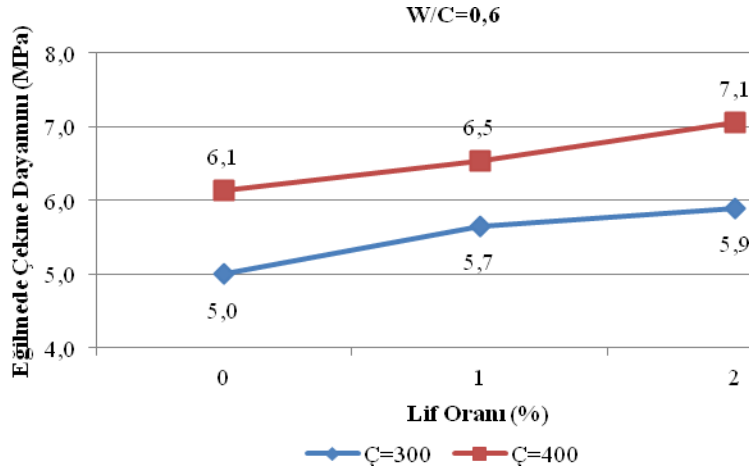
Tüm karışım özellikleri aynı sadece lif tipi farklı karışımlara dikkat edilirse B tipi lif kullanılan betonların basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu görülecektir. A400.4.1.S-2 ve B400.4.1.S-2 serileri bu sonuç için örnektir. Ancak B tipi lif homojen dağılmadığından %2 oranında kullanılamamıştır.

### 3.3. Eğilmede Çekme Deneyi

TS EN 12390-5 standardına uygun olarak 28 günlük numunelerin eğilmede çekme dayanımları saptanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi, 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.

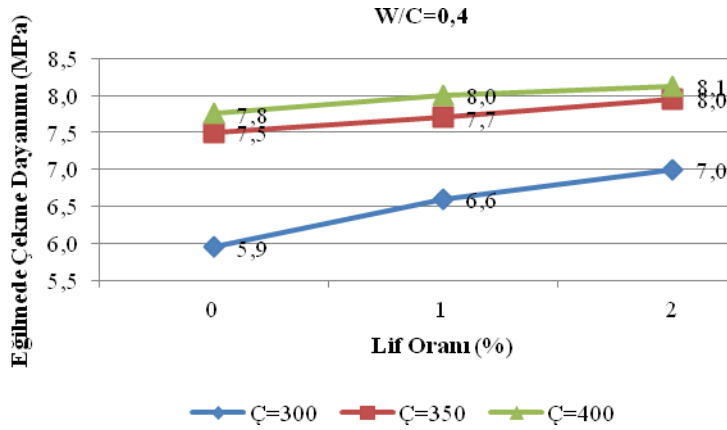
Şekil 11' de su/çimento oranı 0.60 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun eğilme-çekme dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Burada lif oranının artan değerinde dayanım da artmıştır. Fakat lif oranı arttıkça eğilme-çekme dayanımlarındaki artma

sınırlıdır çünkü fazla lif beton içerisinde topaklanmakta ve homojen karışmamaktadır. Aynı durum basınç dayanımında da karşımıza çıkmıştır.



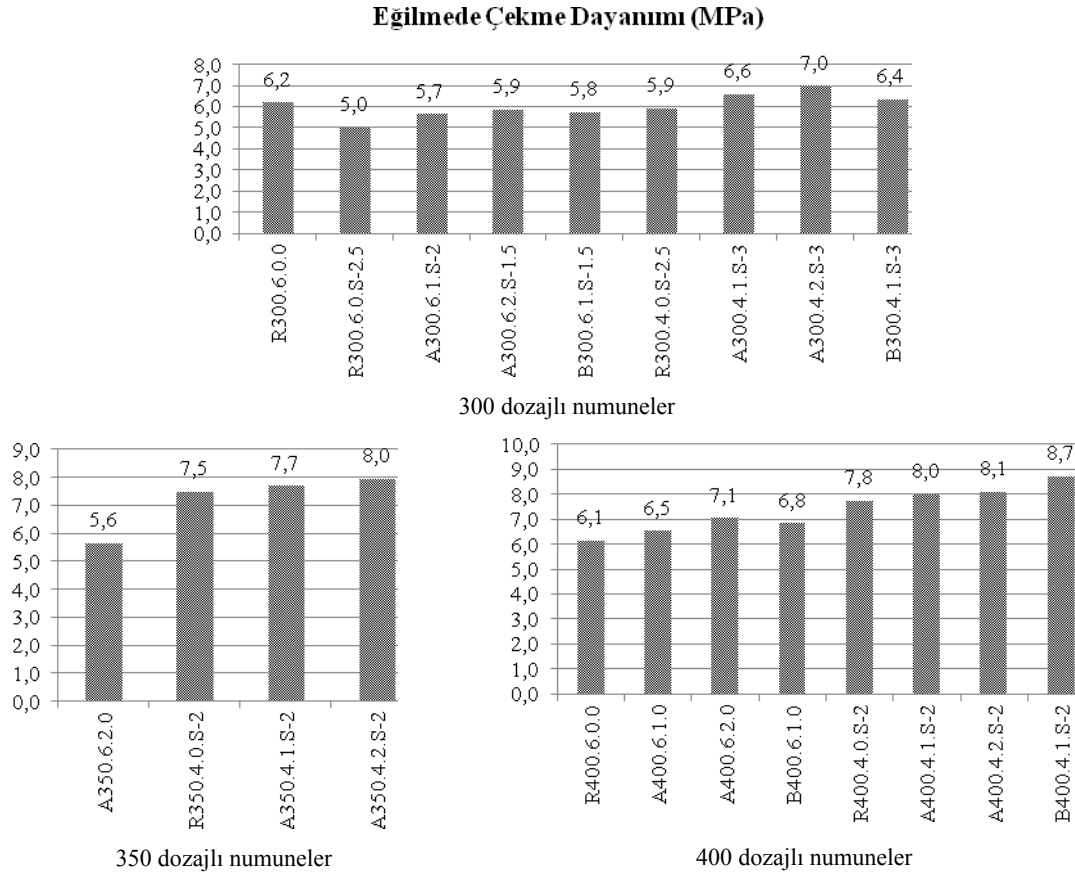
Şekil 11. Su/çim. oranı 0.60 olan karışımlar için eğilme-çekme dayanımı-lif oranı ilişkisi

Şekil 12’ de su/çimento oranı 0.40 olan farklı karışımlara sahip serilerde betonun eğilme-çekme dayanımı ile lif oranı arasındaki ilişki görülmektedir. W/C oranı 0.40 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 12. Su/çim. oranı 0.40 olan karışımlar için eğilme-çekme dayanımı-lif oranı ilişkisi

Şekil 13’ de numunelerin eğilmede çekme dayanımları, çimento dozajına göre sınıflandırılarak verilmiştir.



**Şekil 13.** 300, 350 ve 400 dozajlı beton numunelerinin eğilmede 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. Bunun sebebi B tipi lifin çekme dayanımı değerinin A tipi lifinkinden büyük olmasıdır. Ayrıca B tipi lif uzun boyu ve dalgalı şekli sayesinde beton içerisinde daha iyi tutunmuştur. Malesef B tipi lif homojen dağılmadığından %2 oranında kullanılamamıştır.

### 3.4. Kapiler Su Emme Deneyi

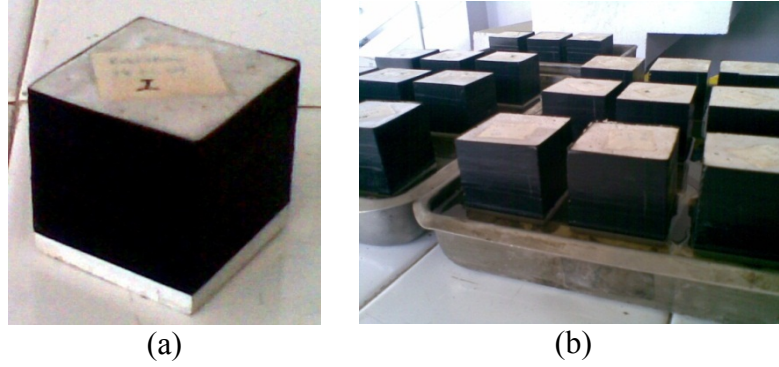
Betonların kapiler su emme katsayıları 28 gün suda kür edilen 100 mm ayrıtlı küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar  $105^{\circ}\text{C} \pm 5'$  de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Yan yüzeyleri izole edilen numuneler, saf su içerisine 5 mm batacak şekilde yerleştirilmiş (Şekil 14) ve belirli sürelerde kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kapiler su emme değerleri bulunmuştur. Kapiler su emme deneyi, TS 4045 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kapilarite katsayılarının hesaplanmasında,

$$\frac{Q}{A} = k\sqrt{t} \quad (1)$$

eşitliği kullanılmıştır. Burada,

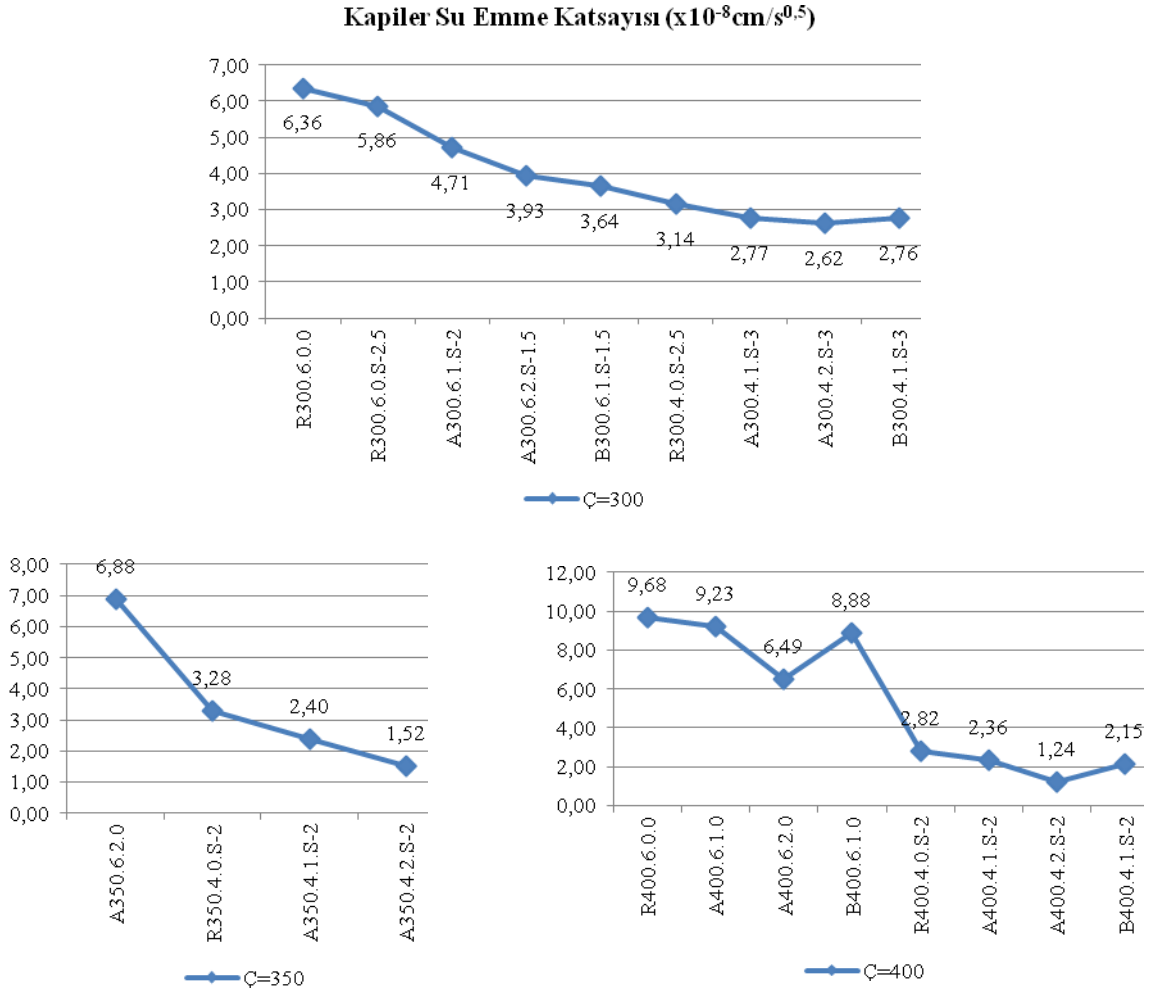
- $k$  : Kapilarite katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ),  
 $A$  : Su ile temas eden alan ( $\text{cm}^2$ ),

$t$  : Geçen zaman (s),  
 $Q$  : Emilen su miktarı (cm<sup>3</sup>)'dır.



**Şekil 14.** Kapiler Su Emme Deneyi: (a) yan yüzeyleri izole edilmiş numune, (b) Kapiler su emme deney düzeneği

Numunelerin kapilarite katsayıları yardımıyla her bir numune için bir kapilarite eğrisi elde edilmiştir. Her numune için bu eğriler, en küçük kareler yönteminden yararlanılarak tek bir sayı ile ifade edilmiştir (Şekil 15).

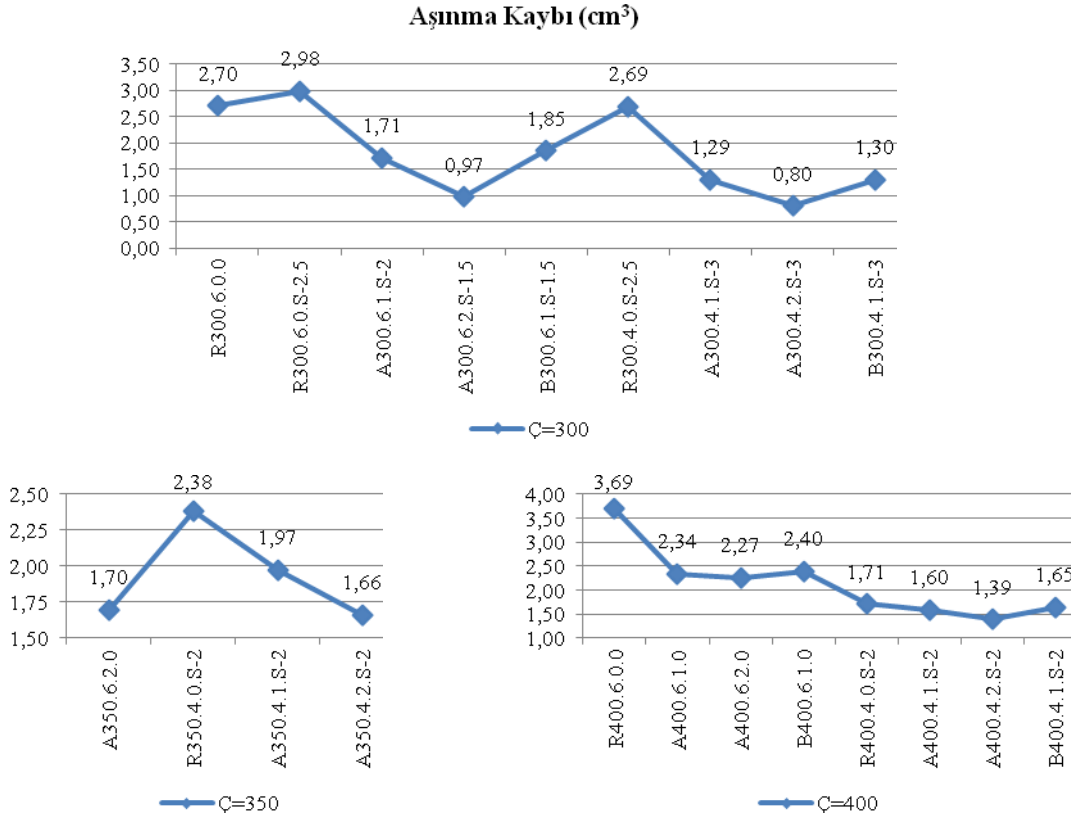


### Şekil 15. Kapiler su emme deneyi sonuçları

Lif oranı arttıkça kapiler su emme katsayısının küçüldüğü yani su emme miktarının azaldığı görülmektedir. Ancak grafiklerin  $10^{-8}$  mertebesinde olduğu göz önünde bulundurulursa bu azalma miktarının oldukça küçük olduğu görülür.

### 3.5. Böhme Aşınma Deneyi

Deney Böhme Aşındırma Cihazı kullanılarak TS EN 14157 standardına uygun olarak yapılmıştır. Numuneler,  $71 \pm 1,5$  mm ayrıtlı küp şeklinde kesilip taban alanı  $50 \text{ cm}^2$  olacak şekilde düzenlenmiştir. Deneyde dönel disk üzerine yerleştirilen beton numune, sürtünme şeridi üzerinde aşındırıcı zımpara tozu ile aşındırılmıştır. Sistem 22 devir de bir durdurularak sürtünme şeridi üzerindeki toz temizlenip yenilenmiş ve beton numune düşey eksen etrafında çevrilerek aşındırma işlemi uygulanmıştır. Bu şekilde her bir beton numune için 20 kez 22 devir toplamda 440 devir yaptırılmıştır. Deney sonunda numunelerin aşınma miktarı hacim kaybı cinsinden belirlenmiştir (Şekil 16). Grafikler genel anlamda numunelerin aşınma dayanımı hakkında fikir vermektedir.



Şekil 16. Böhme aşınma deneyi sonuçları

## 4. Sonuçlar

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. Polipropilen lifler, akıcı kıvamlı betonlarda çökme miktarını azaltmışlardır. Bu durum işlenebilirliğe olumsuz bir etki gibi görülsede bile taze betonun kohezyonu açısından önemli bir

özelliğidir. Ayrıca polipropilen lifler betonun mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemişlerdir. Özellikle betonun eğilmede çekme dayanımını artırıcı özelliklerinden dolayı polipropilen lifler çekme dayanımının önemli olduğu taşıyıcı elemanlarda kullanılabilir.

### **Kaynaklar**

- Arazsu, U. (2012). Polipropilen Lifli Betonların Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 63s., Elazığ.
- BEKAERT, 1998. Duomix Hakkında Genel Bilgiler Kılavuzu. Bekaert, Belgium.
- 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, Turkey.
- TS EN 12350-2 (2002). Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- TS EN 12390-3 (2003). Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- TS EN 12390-5 (2002). Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- TS 4045 (1984). Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- TS EN 14157 (2005). Doğal Taş – Aşınma Direncinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- Yardımcı, M.Y. (2007). Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması Ve Optimum Tasarımı. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.