

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA ÇELİK VE POLİPROPİLEN LİF KULLANIMININ AKIŞKANLIK PARAMETRELERİ VE BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

THE EFFECTS OF THE STEEL AND POLYPROPYLEN FIBER USED IN SELF COMPACTED CONCRETE ON WORKABILITY AND COMPRESION STRENGTH

Serkan Subaşı, Ercan Özgan, M.Mevlüt Uzunoglu
Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü,
Düzce

Mustafa Çullu
Hacettepe Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., İnşaat Programı, Polatlı,
Ankara

İlker Tekin
Muğla Üniversitesi, Yatağan M.Y.O., İnşaat Programı,
Muğla

Özet

Bu araştırmanın amacı; kendiliğinden yerleşen beton karışımı içerisinde çelik lif ve polipropilen lif kullanımının beton işlenebilirliğine ve basınç dayanımına etkisinin belirlenmesidir.

Bu amaçla hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton karışımı içerisine çelik lif, polipropilen lif ve çelik+polipropilen lif katılarak çeşitli lif katkılı karışımlar elde edilmiştir. Karışımda süper akışkanlaştırıcının yanında uçucu kül ve taş unu da kullanılmıştır. Akışkanlık parametrelerini tespit etmek amacıyla V hunisi ve yayılma çapını belirlemek için çökme hunisi kullanılmıştır. Ayrıca bütün beton karışımlarından 15x15x15 cm'lik küp numuneler alınarak preste basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

Sonuç olarak; referans alınan katkısız kendiliğinden yerleşen beton karışımının, içerisine katılan çelik lif ve polipropilen lifin V-hunisi akma süresini arttırdığı, yayılma çapında azalmaya neden olduğu diğer bir ifadeyle beton işlenebilirliğini azalttığı görülmüştür. Basınç dayanımlarının ise Polipropilen katkılı betonda %20, çelik lif katkılı betonda %32, çelik+polipropilen katkılı betonda ise %56 oranında arttığı belirlenmiştir.

Abstract

In the presented study, the effects of the steel and polypropylene fiber used in self compacted concrete on workability and compression strength were researched. For this aim, different mix designs were prepared by adding steel fiber, polypropylene fiber and steel + polypropylene fibers into the self compacted concrete. In the mix design the super plasticizers, fly ash and the filler were used. To determine the flow parameters and the diameter of the spread V funnel and the slump cone were used respectively. Also, the cube samples with 15x15x15 cm were taken out from the concrete mixes and the compressive strength were determined for these samples.

As a result, it was seen that the adding of the steel and polypropylene fibers into the self compacted concrete has increased the V funnel flow time and decreased the workability of the concrete. The addition of the polypropylene, steel and steel + polypropylene fibers into the self compacted concrete has increased the compressive strength 20%, 32% and 56% respectively.

1. GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) vibrasyona gerek duymadan istenilen yere yerleşebilen, yüksek işlenebilirliğe sahip, terleme ve ayrışma probleminin yaşanmadığı, homojenliği yüksek betonlardır [1]. Dayanım ve dayanıklılık özellikleri bakımından normal betona göre KYB daha avantajlıdır [2].

Vibrasyon gerektirmediği için gürültü kirliliğinin ortadan kaldırılması, işçiliğin azaltılması, daha hızlı üretime olanak sağlamasının yanında iri agreganın hacminin sınırlandırılması, en büyük agreganın boyutunun azaltılması ve etkin bir süperakışkanlaştırıcı kullanılmasıyla akıcılık kazanıp sık donatılar arasından geçerek dar kesitlerde çalışma imkânı ve istenilen kalıpta boşluksuz beton üretimi sağlamaktadır [3,4]. Bileşimlerinde kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkı ile düşük su/çimento oranında hem yüksek dayanıma hem de üstün durabiliteye sahip olması nedeniyle KYB'lar yüksek performanslı betonlar sınıfına girebilmektedir [5,6].

Polikarboksilat eter esaslı süperakışkanlaştırıcıların geliştirilmesi ile KYB özelliğinin temelini oluşturan düşük su/bağlayıcı oranında yüksek işlenebilirlikte beton üretmek mümkün olması ile KYB üretiminde büyük gelişme sağlanmıştır. Yeni nesil süperakışkanlaştırıcı olarak adlandırılan bu katkıların geleneksel süperakışkanlaştırıcıların elektrostatik etkisinin yanında uzun polimer zincirleri ile sterik etki de yaratarak çimento tanelerini birbirinden ayırıp betonda işlenebilirliği arttırmaktadır [3,7]. KYB'larda yüksek işlenebilirlik süperakışkanlaştırıcılarla sağlanırken ayrışmaya (segregasyona) karşı direnç sağlamak ve betonun kararlılığını (stabilitesini) korumak amacıyla viskozite artırıcı katkı kullanımı ve/veya ince malzeme miktarını artırılması uygulanan yöntemlerdir. İnce malzeme 0,125 mm den küçük dane çaplı malzeme olarak tanımlanır ve çimento, kırma kum, tabii kum ve bunun yanında mikrofiller malzemeler bu tanıma girer. Mikrofiller malzeme olarak genelde uçucu kül, silis dumanı tercih edilir. Böylece iri agregalar arası mesafe doldurularak içsel sürtünmeler azaltılıp betonun akıcılığının artmasıyla reolojik özellikler olumlu yönde etkilenmektedir [3,5,8]

Gevrek bir malzeme olan betona karışım sırasında lif ilave edilmesiyle daha sünek bir yapı oluşturularak betonun bazı mekanik özelliklerinde iyileşme beklenir. Lifler; tipi, boyutu, narinlik oranı (boy/çap), geometrisi, miktarı, çekme dayanımı, yüzey özellikleri ve lif-matris aderansı gibi birçok parametreye bağlı olarak betonda dayanımı, çatlak kontrolünü, şekil değiştirme kapasitesini, darbe dayanımını ve durabiliteyi artırır. Sentetik lif çeşidi olan polipropilen lifler ise özellikle rötre çatlaklarının önlenip durabilitenin artırılması amacıyla kullanılır. Betonun yangına karşı dayanımını da arttırdığı da bilinmektedir. Betonun mekanik özelliklerini iyileştirip yüksek deformasyon değerlerinde betonun taşıma kapasitesini koruyarak enerji yutma kapasitesini arttıran çelik liflerden ise beklenen performans lif boyu, narinlik oranına, lif geometrisine, dayanımına ve lif- matris aderansına büyük ölçüde bağlıdır [9]. KYB'larda su/bağlayıcı oranının düşük olması, terlemeyi önleyici katkı kullanılması ve uçucu kül veya silis dumanı kullanılarak ince malzeme miktarının artırılması ve böylece terlemenin neredeyse tamamen yok olması betonu plastik rötreye karşı hassas bir duruma getirmektedir. Bu nedenle oluşabilecek plastik rötre çatlaklarını önlemek amacıyla çok az miktarda da olsa polipropilen lif kullanılması çatlakları önlemede ve betonun durabilitesinin artması yönünde önemli yararlar sağlamaktadır [10].

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen beton karışımı içerisinde çelik lif ve polipropilen lif kullanımının beton işlenebilirlik parametrelerine ve basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır.

2. KULLANILAN MALZEMELER VE DENEY YÖNTEMLERİ

2.1. Malzemeler

2.1.1. Agregalar

Beton üretiminde Düzce iline ait Küçük Melen Deresi'nden temin edilen ve üç farklı boyutta kırılmış olan agregalar kullanılmıştır. Kullanılan agregaların elek analizi deney sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Agregalar elek analizi

Agrega cinsi	Elek Göz Boyutları								Elekten Geçen %
	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25	
Taş unu	100	100	100	100	74	58	44	21.6	
0-5 Kırma kum	100	100	100	99	74	59	38	11.0	
5-15 Kırma Çakıl	100	100	86	14	0.3	0.2	0.1	0	
15-25 Kırma Çakıl	100	62	0.5	0.1	0	0	0	0	

2.1.2. Çimento

Beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak Lafarge Aslan firmasına ait Portland çimentosu PÇ 42,5 kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çimento Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kimyasal kompozisyon	
SiO ₂ (%)	20,32
Al ₂ O ₃ (%)	5,59
Fe ₂ O ₃ (%)	3,09
CaO (%)	62,50
MgO (%)	1,74
SO ₃ (%)	3,29
Na ₂ O (%)	0,34
K ₂ O (%)	0,91
Kızdırma kaybı (%)	1,18
Çözünmeyen kalıntı (%)	0,31
S.CaO (%)	0,93
Fiziksel özellikler	
Priz başlangıcı (sa/dk)	01:58
Priz sonu (sa/dk)	02:57
Hacim sabitliği (mm)	2
Toplam	
Özgül yüzey (cm ² /g)	3172
Mekanik özellikler	
Basınç dayanımı (MPa)	
2. Gün	30,8
7. Gün	39,5
28.Gün	56,0

2.1.3. Kimyasal katkı

Hazırlanan beton karışımında kimyasal katkı olarak süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcıya ait özellikler Çizelge 3'te kullanılmıştır.

Çizelge 3. Süperakışkanlaştırıcının özellikleri

Süper Akışkanlaştırıcı / Yüksek Dayanımlı Beton İçin			
Teknik Özellikler			
Görünüm :	Sıvı	Yoğunluk :	1,22 ± 1
Renk :	Kahverengi	pH	6 ± 1
Katı madde:	%42,5 ± 1		
Dozaj :	100 kg çimento için 0,8 kg ile 3 kg arasındadır. Genelde kullanma ,dozajı, karışım içerisindeki çimento ağırlığının % 1,2' si dolayındadır.		

2.1.4. Uçucu kül

Beton karışım içerisine puzolanik katkı malzemesi olarak Orhaneli termik santralinden elde edilen uçucu kül çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çizelge 4'te uçucu küle ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4. Uçucu küllün kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşenleri	Miktarı %	Kimyasal bileşenleri	Miktarı %
SiO ₂	48,53	K ₂ O	2,51
Al ₂ O ₃	24,61	Na ₂ O	0,35
Fe ₂ O ₃	7,59	KK	1,69
S+A+F	80,73	Cl ⁻	0,005
CaO	9,48	Serb. CaO	0,11
MgO	2,28	Reak. SiO ₂	34,06
SO ₃	2,48	Reak. CaO	7,58

2.1.5. Çelik ve polipropilen lif

Çalışmada Beksa firması tarafından üretilmiş olan Dramix RC 65/60 BN 0.9 mm çapında ve 60 mm boyundaki çelik lif ile Duomix polipropilen lif kullanılmıştır. Liflere ait teknik özellikler Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 5. Kullanılan liflerin teknik özellikleri

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10^{3*} MPa)	Maksimum Uzama (%)	Özgül Kütle (g/cm^3)
Çelik	276 - 2760	200	0,5 - 35	7,8
Polipropilen	552 - 759	3,5	25	0,90

2.1.6. Karışım suyu

Yapılan bu deneysel çalışmada Düzce Belediyesi şehir şebekesinden elde edilen içme suyu kullanılmıştır. Kullanılan karışım suyunun kimyasal bileşimi açısından kullanılabilir seviyede olduğu tespit edilmiştir. Karışım suyu pH değeri açısından karışım içerisinde kullanmaya uygundur.

2.2. Deney Yöntemleri

2.2.1. Beton karışımının hazırlanması

Beton karışım hesabı C20 beton sınıfına göre yapılmıştır. Hazırlanan 1 m³ katkısız karışıma girecek olan malzemelere ait bilgiler Çizelge 6’ da verilmiştir. Su/çimento oranı 0,60 olarak alınmıştır.

Çizelge 6. 1 m³ Beton karışım miktarı ve özellikleri

Malzeme	Özellikleri	Miktarı
0-5 Agrega	Kırma kum	1028 kg
5-15 Agrega	Kırma taş	421 kg
15-25 Agrega	Kırma taş	421 kg
Çimento	PÇ 42,5 Lafarge Aslan	300 kg
Su	Düzce şehir şebeke suyu	180 kg
Süper akışkanlaştırıcı		%1,2
Taşunu		%8,8
Uçucu kül ikamesi	Orhaneli Uçucu külü	%10

2.2.2. Numunelerinin hazırlanması ve dökümü

Belirlenen karışım miktarının homojen olacak şekilde karışımları yapılarak 3 adet 15x15x15 cm boyutlarındaki küp numunelere dökümleri yapıldı. Hazırlanan küp numuneler katkısız KYB beton, KYB beton + çelik lif katkılı beton, KYB beton + polipropilen lif katkılı beton ve KYB beton + çelik lif + polipropilen lifli beton numunelerinden oluşmaktadır. Hazırlanan numunelere belirtilen standartlara göre %1,2 oranında süperakışkanlaştırıcı, %10 oranında uçucu kül ve %8,8 oranında da taş unu ilave edildi. Ayrıca belirtilen karışım oranlarına göre çelik lif %0,5 ile %2 oranlarında,

polipropilen lif ise %0,5 oranında katıldı. Bu işlemlerden sonra betona katılan katkıların sonucunda, betonun göstereceği akışkanlık parametreleri tespit edildi.

Numunelerin kalıp içerisine dökümü tamamlandıktan sonra 24 saat kalıbın içerisinde bekletilerek prizini alması sağlandı. Daha sonra kalıplar dikkatli bir şekilde sökülerek 20 °C’ deki kür havuzuna konuldu. Kür havuzunda 28 gün bekletilen küp numuneler daha sonra basınç dayanımı testine tabi tutuldu. Aşağıdaki çizelgede 4 adet 15x15x15 cm lik küp kalıp için hazırlanan katkılı ve katkısız KYB beton karışım miktarları görülmektedir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Katkılı ve katkısız KYB beton karışım miktarları

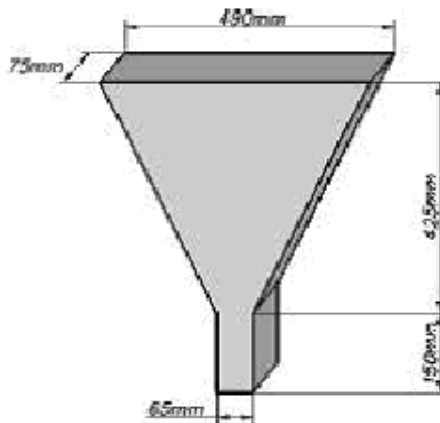
Karışım Malzemeleri	KYB BETON KARIŞIMLARI			
	Katkısız KYB Karışım	KYB + Çelik Lifli (% 2) Karışım	KYB+ Polipropilen Lifli (%0,5) Karışım	KYB+Çelik Lif (% 0,5) + Polipropilen Lifli (% 0,5) Karışım
Çimento (kg)	3,5928	3,5928	3,5928	3,5928
Su (lt)	2,77	2,77	2,77	2,77
Kum (İnce Agregası) (kg)	13,878	13,878	13,878	13,878
İri Agregası(5-15) (kg)	11,368	11,368	11,368	11,368
Uçucu Kül (kg)	0,2432	0,2432	0,2432	0,2432
Taş Unu (kg)	0,214	0,214	0,214	0,214
Süper Akışkanlaştırıcı (kg)	0,043	0,043	0,043	0,043
Çelik Lif (kg)	-	2,106	-	0,5265
Polipropilen Lif (kg)	-	-	0,06075	0,06075

2.2.3. Yayılma deneyi

Çökme hunisi KYB ile doldurularak kendi ağırlığı ile seviyelenmesi beklenmiş ve Çökme hunisi çekildiğinde dairesel olarak yayılan KYB’nun ortalama çapı ölçülmüştür. Deney aparatı olarak çökme (çökme) hunisi ve 80x80 cm boyutlarında bir tabla kullanılmıştır[4].

2.2.4. V-Hunisi deneyi

Bu deney kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içermektedir. V hunisi 400x575 mm boyutlarındadır. Huni yaklaşık 12 litre betonla doldurularak betonun huniden boşalması için geçen zaman ölçülmüştür. Deneyde kullanılan V hunisine ait ölçüler Şekil 1 de verilmiştir[4].



Şekil 1. Deneyde kullanılan V hunisi ölçüleri

2.2.5. Basınç dayanımı

Akışkanlık parametreleri belirlenen betonlar küp kalıplara yerleştirilmiştir. 28 günlük kür işleminden sonra TS EN 12309-3'te belirtilen esaslara uygun olarak KYB'nin basınç dayanımları beton presinde tespit edilmiştir (Şekil 2) [11].



Şekil 2. Beton basınç dayanımı deneyi

3. DENEYSEL BULGULAR

3.1. V Hunisi Akışkanlık Parametreleri

V hunisinden geçirilen beton karışımlarına ait akışkanlık değerleri Çizelge 8'de verilmiştir. Her bir karışım V hunisinden üç kez geçirilmiştir. Ortalama akışkanlık süreleri sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler saniye olarak ölçülmüştür.

Çizelge 8. Katkılı ve katkısız V hunisi akışkanlık değerleri

Karışım Özellikleri	Numune Adedi	Ortalama Akma Süresi (sn)	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum	Maksimum
Referans	3	7,00	1,00	0,58	6	8
Çelik Lif	3	15,00	0,50	0,29	15	16
Poly.Lif	3	12,00	1,00	0,58	11	13
Çelik+Poly.	3	17,00	1,00	0,58	16	18

Deney sonucunda elde edilen veriler üzerinde V hunisi akışkanlık testine tabi tutulan numune karışımları arasında gerçekleştirilen varyans analizlerine göre akışkanlık değerleri bakımından grup ortalamalarının istatistiki anlamda birbirinden farklı olduğu görülmüştür (Çizelge 9). Buna göre lif katkı miktarına bağlı olarak akışkanlık sürelerinin değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 9. V hunisi akışkanlık değerlerine ait varyans analizi sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi (p)
Gruplar Arası	170,25	3	56,750	69,846	0,000*
Gruplar İçi	6,500	8	0,813		
Toplam	176,750	11			

* Gruplar arasında $p \leq 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark vardır.

Bu farklılığın hangi beton karışımından kaynaklandığını tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 10’ da görülmektedir.

Çizelge 10. V hunisi değerlerine ait Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

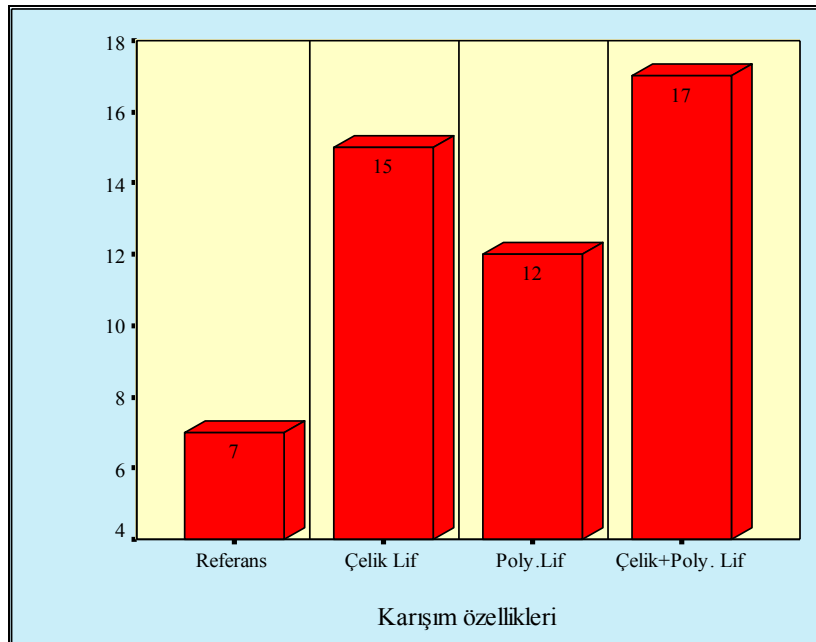
Karışım Özellikleri	Numune Adedi	Farklı Olan Gruplar Akma Süresi (sn)			
		1	2	3	4
Referans	3	7,00			
Poly. Lif	3		12,00		
Çelik Lif	3			15,00	
Çelik+ Poly.	3				17,00

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre;

- V hunisi ile yapılan akışkanlık testinde tüm numune karışımlarının akışkanlık sürelerinin birbirinden farklı olduğu,
- Lif katkısız olarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton karışımının akışkanlık süresinin en küçük değere, çelik lif + polipropilen lifin aynı anda katılması durumunda en büyük değere sahip olduğu,
- Katkısız olarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton karışımının akma süresinin içerisine polipropilen lif katıldığında %85,7 oranında arttığı,
- Katkısız olarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton karışımının akma süresinin içerisine çelik lif katıldığında %107,1 oranında arttığı,
- Katkısız olarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton karışımının akma süresinin içerisine polipropilen lif + çelik lif aynı anda katıldığında %121,4 oranında arttığı,

görülmektedir.

Lif katkılı ve katkısız olarak hazırlanan karışımlara ait akışkanlık süreleri Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 3. Lif katkısız ve katkılı olarak hazırlanan karışımların V hunisinden geçiş sürelerini gösteren grafik

3.2. Çökme Hunisi İle Belirlenen Yayılma Çapı Değerleri

Hazırlanan karışımların çökme hunisi yayılma değerlerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 11’de verilmiştir.

Çizelge 11. Lif katkılı ve katkısız karışımların yayılma çapı değerleri

Karışım Özellikleri	Numune Adedi	Ortalama Yayılma Çapı (mm)	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum	Maksimum
Referans	3	700,66	5,51	3,18	690	712
Çelik Lif	3	604	5,29	3,06	596	616
Poly.Lif	3	660	4,00	2,31	652	668
Çelik+Poly.	3	580,66	3,51	2,03	574	588

Yayılma çapı değerleri bakımından karışımlar arasında gerçekleştirilen varyans analizi sonucunda gruplar arasında istatistiksel açıdan fark görülmüştür (Çizelge 12). Buna göre yayılma çapı değerlerinin beton karışım türlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

Çizelge 12. Yayılma çapı değerlerine ait varyans analiz sonuçları

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi (p)
Gruplar arası	6632,333	3	2210,778	102,036	0,000*
Gruplar içi	173,333	8	21,667		
Toplam	6805,667	11			

* Gruplar arasında $p \leq 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark vardır.

Yayılma çapı değerlerindeki farklılığın hangi beton karışımından kaynaklandığını tespit etmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 13).

Çizelge 13. Çökme hunisi ile belirlenen yayılma çapı değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları

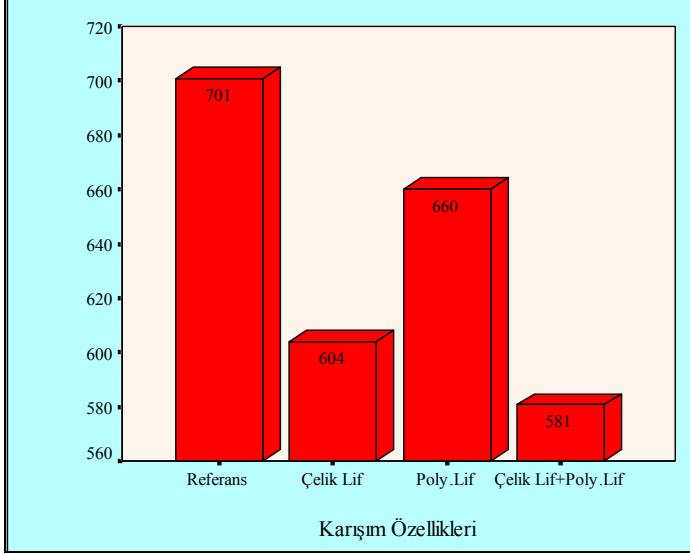
Karışım Özellikleri	Numune adedi	Farklı Olan Gruplar Yayılma Çapı (mm)			
		1	2	3	4
Çelik+Poly.	3	580			
Çelik Lif	3		604		
Poly. Lif	3			660	
Referans	3				700

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre;

- Tüm numune karışımlarının yayılma çaplarının birbirinden farklı olduğu,
- Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışımının yayılma çapının en büyük değere, hazırlanan bu karışım içerisine çelik lif + polipropilen lif katılması durumunda en küçük değere sahip olduğu,
- Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışımının yayılma çapının, içerisine polipropilen lif katıldığında %5,7 oranında azaldığı,
- Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışımının yayılma çapının, içerisine çelik lif katıldığında %14,3 oranında azaldığı,

➤ Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışımının yayılma çapının, içerisine polipropilen lif + çelik lif aynı anda katıldığında %17,1 oranında azaldığı, görülmektedir.

Aşağıda katkılı ve katkısız olarak hazırlanan karışım numunelerinin yayılma çapı değerlerine ait grafik Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Lif katkısız ve katkılı olarak hazırlanan yayılma çaplarını gösteren grafik

3.3. Küp Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri

Hazırlanan KYB karışımlarının basınç dayanımı sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 14'te verilmiştir.

Çizelge 14. Katkılı ve katkısız küp numunelerin basınç dayanımı değerleri

Karışım Özellikleri	Numune Adedi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Standart Sapma	Standart Hata	Minimum	Maksimum
Referans	3	25,6067	0,4219	0,2436	25,12	25,87
Çelik Lif	3	33,3767	0,3955	0,2284	33,06	33,82
Poly.Lif	3	30,5067	0,3691	0,2131	30,11	30,84
Çelik+Poly.	3	39,7667	0,3083	0,1780	39,42	40,01
Toplam	12	32,3142	5,3590	1,5470	25,12	40,01

Basınç dayanımı üzerinde beton karışımları arasında gerçekleştirilen varyans analizine göre grup ortalamaları arasında istatistiki anlamda fark olduğu görülmüştür (Çizelge 15). Buna göre basınç dayanımı değerlerinin beton karışım türlerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

Çizelge 15. Basınç dayanımı değerlerine ait varyans analiz sonucu

Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması	F-Testi	Anlamlılık Düzeyi (p)
Gruplar arası	314,779	3	104,926	741,878	0,000*
Gruplar içi	1,131	8	0,141		
Toplam	315,910	11			

*Gruplar arasında $p \leq 0,05$ anlamlılık düzeyinde fark vardır.

Basınç dayanım değerlerindeki farklılığın hangi beton karışımlarından kaynaklandığını tespit etmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır (Çizelge 16).

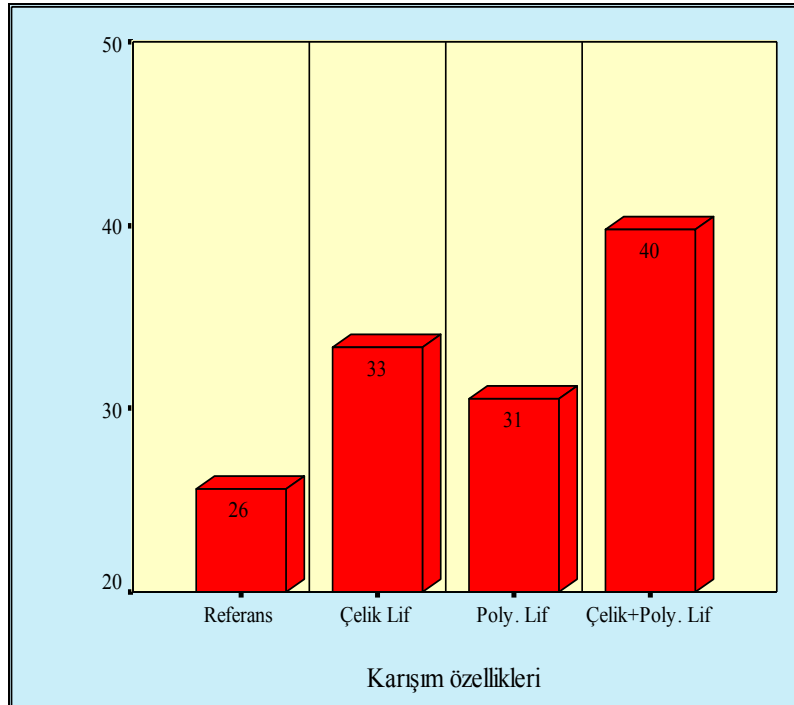
Çizelge 16. Basınç dayanımı değerlerine ait çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Karışım Özellikleri	Numune adedi	Farklı Olan Gruplar Basınç Dayanımı (Mpa)			
		1	2	3	4
Referans	3	25,6067			
Poly. Lif	3		30,5067		
Çelik Lif	3			33,3767	
Çelik+Poly.	3				39,7667
Ortalama.		1,000	1,000	1,000	1,000

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre;

- Tüm numune karışımlarının basınç dayanımlarının birbirinden farklı olduğu,
 - Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışımının, en küçük, çelik lif+polipropilen lif katkılı karışımın ise en büyük basınç dayanımına sahip olduğu,
 - Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışım numunesinin, içerisine polipropilen lif katıldığında dayanımını %20 oranında arttırdığı,
 - Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışım numunesinin, içerisine çelik lif katıldığında dayanımının %32 oranında arttığı,
 - Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışım numunesinin, içerisine polipropilen lif + çelik lif aynı anda katıldığında dayanımın %56 oranında arttığı,
- görülmektedir.

Lif katkılı ve katkısız olarak hazırlanan karışımların basınç dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Lif katkısız ve katkılı olarak hazırlanan karışımların basınç dayanımlarını gösteren grafik

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Lif katkısız, çelik lif, polipropilen lif ve çelik+polipropilen lif katkılı olarak üretilen kendiliğinden yerleşen beton karışımları üzerinde V hunisi ve yayılma çapı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler üzerinde istatistiksel değerlendirmeler yapılmıştır. Gerçekleştirilen analiz ve değerlendirmeler sonucunda;

- V hunisi ile yapılan akışkanlık testinde tüm numune karışımlarının akışkanlık sürelerinin birbirinden farklı olduğu,
- Lif katkısız olarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton karışımının akışkanlık süresinin en küçük değere, çelik lif + polipropilen lifin aynı anda katılması durumunda en büyük değere sahip olduğu,
- Katkısız olarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton karışımının akma süresinin içerisine polipropilen lif + çelik lif aynı anda katıldığında %121,4 oranında arttığı,
- Tüm numune karışımlarının yayılma çaplarının birbirinden farklı olduğu,
- Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışımının yayılma çapının en büyük değere, hazırlanan bu karışım içerisine çelik lif + polipropilen lif katılması durumunda en küçük değere sahip olduğu,
- Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışımının yayılma çapının, içerisine polipropilen lif + çelik lif aynı anda katıldığında %17,1 oranında azaldığı,
- Tüm numune karışımlarının basınç dayanımlarının birbirinden farklı olduğu,
- Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışımının, en küçük, çelik lif + polipropilen lif katkılı karışımın ise en büyük basınç dayanımına sahip olduğu,
- Lif katkısız olarak hazırlanan KYB karışım numunesinin, içerisine polipropilen lif + çelik lif aynı anda katıldığında dayanımın %56 oranında arttığı,

görülmüştür.

Sonuç olarak; lif katkılı kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik parametrelerinin, lif katkısız olarak üretilen betonlara göre düşük değerler aldığı, polipropilen lif katkısının çelik life göre beton işlenebilirliğini daha az etkilediği, çelik ve polipropilen lif katkılı KYB de ise en düşük işlenebilirlik değerlerinin gözlemlendiği, işlenebilirlikle ters orantılı olarak basınç dayanımı değerlerinin ise arttığı görülmüştür.

Kaynaklar

- [1]. Grünwald, S., Walraven, J. C., (2001) Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete., Cement and Concrete Research 31 (12): 1793-1798 Dec. 2001.
- [2]. Felekoğlu, B., Önal, O., Özden, G., (2005) Kendiliğinden Yerleşen Betonların Boşluk Yapısının Normal Betonla Karşılaştırılması, 6. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul Skarendahl, A., Petersson, O., (2000) Self Compacting Concrete, State-of-the- Art Report of RILEM Technical Committee 174-KYB
- [3]. Gaimster, R. and Dixon, N., 2003. Self-Compacting Concrete, in Advanced Concrete Technology.

- [4]. Okamura, H., Ouchi, M., (2003) Self Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, Japan Concrete Institute.
- [5]. Özkul, M.,H., 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, 52, 64-71.
- [6]. Sağlam, R.,A., Parlak, N., Doğan, A., Ü. ve Özkul, M.,H., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Çimento Katkı Uyumu, 6.Ulusan Beton Kongresi, İTÜ, İstanbul, 16-17-18 Kasım 2005, s. 213-224.
- [7]. Ramyar, K., (2007) Portland Çimentosu – Süper akışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi.
- [8]. Okamura, H., 1997. Self Compacting High Performance Concrete, Concrete International, V.19, No:7, 50-54.
- [9]. ACI 544.1R-96, 1996. State of the Art Report On Fibre Reinforced Concrete.
- [10]. Alkan G., 2004. Polipropilen Lifli Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [11]. TS EN 12390-3, 2003, Beton-Sertleşmiş Beton Deneylei- Bölüm 3: deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.