

Lif Kullanılan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi

Serkan SUBAŞI, Mehmet EMİROĞLU

Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Konuralp, Düzce
serkansubasi@duzce.edu.tr

(Geliş/Received: 07.04.2007; Kabul/Accepted: 16.07.2008)

Özet: Bu çalışmada, farklı oranlarda çelik ve polipropilen lif kullanımının kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik parametreleri ve basınç dayanımları üzerine olan etkileri ile aralarındaki ilişki araştırılmıştır. Bu amaçla bir seri lif katkısız kendiliğinden yerleşen beton karışımı hazırlandıktan sonra karışım içerisine çelik lif, polipropilen lif ve çelik+polipropilen lif ilave edilerek farklı karışım özelliklerine sahip kendiliğinden yerleşen betonlar elde edilmiştir. Taze beton işlenebilirlik parametrelerini tespit etmek amacıyla çökme hunisi ile yayılma çapı ve V hunisi ile akma süreleri her bir karışım oranı için ayrı ayrı belirlenmiştir. İşlenebilirlik parametreleri belirlenen karışımlardan 15x15x15 cm³lük küp numuneler alınarak basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, kendiliğinden yerleşen beton karışımları içerisinde çelik lif ve polipropilen lif kullanımı ile taze beton işlenebilirlik parametrelerinin azaldığı, basınç dayanımlarının ise ters orantılı olarak arttığı, lif katkılı kendiliğinden yerleşen betonlarda akma süresi ve yayılma çapı ile basınç dayanımı değerleri arasında yüksek oranda ilişkinin bulunduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton, İşlenebilirlik, Çelik lif, Polipropilen lif, Regresyon analizi

Correlation Analysis between Workability and Compressive Strength of Self-Consolidating Concrete Prepared Using Fiber

Abstract: In this study, the effects of use of different amount of the steel and polypropylene fibers on workability parameters and compressive strength of self consolidating concretes were investigated. For this reason, a reference (without fiber) self-consolidating concrete mix design was prepared and then self consolidating concrete mixes having different mixture components, including steel fiber, polypropylene fiber and steel+ polypropylene fiber were obtained. For the purpose of determining fresh concrete workability parameters the spread test (slump flow) and V funnel test were separately determined for all groups of the mixtures. 15 x 15 x 15 cm cubic samples whose workability parameters were determined before, were preformed to compressive strength test. As a result, it is seen that using steel fiber and polypropylene fiber in the self consolidating concrete fresh concrete workability parameters were decreased, although compressive strength was inverse proportionally increased and it is observed that there is a good correlation between compressive strength and slump flow, V-funnel values in self consolidating concretes including fibers.

Keywords: Self-consolidating concrete, Workability, Steel fiber, Polypropylene fiber, Regression Analysis.

1. Giriş

Düşük su/çimento oranına bağlı olarak yüksek dayanıklılığa sahip beton şeklinde tanımlanan Yüksek Performanslı Betonların bir çeşidi de Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB)'dur. İlk olarak 1986 yılında Japonya'daki Tokyo Üniversitesi'nde geliştirilen KYB bu zamandan beri birçok büyük projede başarıyla uygulanmaktadır. KYB kendi ağırlığının etkisiyle akabilen, içinde sık ve yoğun donatı ağı bulunan bir kalıba dahi vibrasyona ihtiyaç duymadan yayılan, kalıbı tamamen dolduran ve

bu esnada homojen yapısı bozulmayan betondur [1]. KYB'nin ilk olarak Japonya'da vibrasyon gerektirmeden ve ayrışma yapmadan kalıba yerleşmeye imkân sağlamak üzere geliştirildiği bilinmektedir [2].

KYB'nin ortaya çıkışının en önemli nedeni, taze betonun kalıba homojen, boşluksuz ve ayrışma yapmadan yerleştirilmesinde gerekli teknik yeterliliğe sahip yetişmiş eleman eksikliğinin karşılanmasıdır. KYB kendiliğinden yerleşme yeteneği sayesinde, inşaat çalışmalarının kalitesinden bağımsız olarak dayanıklı beton yapılar yapmayı mümkün kılar.

Geleneksel betona oranla daha fazla çimento, kimyasal katkı ve taş unu gerektirdiği için KYB'nin ilk maliyeti oldukça yüksektir. Ancak vibratör kullanımını ortadan kaldırması ve yüksek basınç dayanımı ve dayanıklılığa sahip olması makro ölçekte KYB'yi ekonomik bir uygulama yapmaktadır [2]. KYB kullanımının, inşaat hızını artırması, işçi sayısını azaltması, taze betonun kalıba daha kolay yerleşmesini sağlaması, taşıyıcı eleman dayanıklılığını artırması, betonarme elemanın şekil ve boyut tasarımında serbestlik sağlaması ve vibratör kullanımı gerektirmemesi ayrıca şantiyelerde titreşim ve gürültü kirliliğini azaltması gibi avantajları vardır [3]. Taze halde kendi ağırlığı altında kalıp içinde akıp kalıbı doldurma, donatı ağı arasından geçme, kendi ağırlığı altında akarken homojenliğini muhafaza etme ve segregasyona uğramama gibi özellikler KYB'lerin işlenebilirlik parametreleri arasında yer almaktadır [1].

Polikarboksilat eter esaslı süperakışkanlaştırıcıların geliştirilmesi ile KYB özelliğinin temelini oluşturan düşük su/bağlayıcı oranında yüksek işlenebilirlikte beton üretiminin mümkün olması ile KYB üretiminde büyük gelişme sağlanmıştır. Yeni nesil süperakışkanlaştırıcı olarak adlandırılan bu katkılar geleneksel süperakışkanlaştırıcıların elektrostatik etkisinin yanında uzun polimer zincirleri ile sterik etki de yaratarak çimento tanelerini birbirinden ayırıp betonda işlenebilirliği arttırmaktadır [4,5]. KYB'larda yüksek işlenebilirlik süperakışkanlaştırıcılarla sağlanırken ayrışmaya (segregasyona) karşı direnç sağlamak ve betonun kararlılığını (stabilitesini) korumak amacıyla viskozite arttırıcı katkı kullanımı ve/veya ince malzeme miktarını arttırılması uygulanan yöntemlerdir [1, 4, 6].

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 arttırır. Sentetik lif çeşidi olan polipropilen (PP) lifler ise özellikle rötre çatlaklarının önlenip durabilitenin arttırılması amacıyla kullanılır. PP lif katkısının betonun yangına karşı dayanımını 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 [7]. KYB'lerde su/bağlayıcı oranının düşük olması, terlemeyi önleyici katkı kullanılması ve uçucu kül veya silis dumanı kullanılarak ince malzeme miktarının arttırılması 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 [8].

Bu çalışmada kendiliğinden yerleşen beton karışımı içerisinde çelik lif ve polipropilen lif kullanılarak elde edilen betonların işlenebilirlik parametrelerinin beton basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

KYB karışımlarının tamamında (0-2 mm) taş unu, (0-5 mm) kırma kum, (5-20 mm) kırma çakıl kullanılmıştır. Agregalar Düzce Melen deresinden temin edilmiştir. Beton karışımlarında kullanılan taş unu, kırma kum ve kırma çakıla ait elek analizi değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Agrega elek analizi

Elekten Geçen (%)	Agrega sınıfı	Elek Çapı (mm)							
		20	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
	15-20 Kırma Çakıl	100	62	0.5	0.1	0	0	0	0

Bağlayıcı olarak kullanılan Bolu Lafarge Aslan Çimento Fabrikasının ürettiği CEM I 42.5 R çimentoya ve Orhaneli Termik

Santralinden elde edilen F tipi uçucu küle ait analiz sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Uçucu kül ve çimentoya ait analiz sonuçları

Çimento		Uçucu Kül	
Kimyasal Kompozisyon (%)		Kimyasal Kompozisyon (%)	
SiO ₂	20,32	SiO ₂	48,53
Al ₂ O ₃	5,59	Al ₂ O ₃	24,61
Fe ₂ O ₃	3,09	Fe ₂ O ₃	7,59
CaO	62,50	S+A+F	80,73
MgO	1,74	CaO	9,48
SO ₃	3,29	MgO	2,28
Na ₂ O	0,34	SO ₃	2,48
K ₂ O	0,91	K ₂ O	2,51
Kızdırma kaybı	1,18	Na ₂ O	0,35
Çözünmeyen kalıntı	0,31	Kızdırma Kaybı	1,69
Serb. CaO	0,93	Cl ⁻	0,005
Fiziksel Özellikler		Serb. CaO	0,11
Priz başlangıcı (sa/dk)	01:58	Reak. SiO ₂	34,06
Priz sonu (sa/dk)	02:57	Reak. CaO	7,58
Hacim sabitliği (mm Toplam)	2		
Özgül yüzey (cm ² /g)	3172		
Mekanik Özellikler			
(Basınç Dayanımı (MPa))			
2. Gün	30,8		
7. Gün	39,5		
28.Gün	56,0		

KYB üretimi sırasında akışkanlaştırıcı olarak ASTM C 494 Tip G süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Lif katkılı KYB karışımları içerisinde BEKSA firması tarafından üretilmiş olan Dramix

RC 65/60 BN (0.9 mm çapında ve 60 mm boyunda) çelik lifler ve Duomix marka polipropilen lifler katılmıştır. Deneylerde kullanılan çelik lif ve polipropilen liflere ait teknik özellikler Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. 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

2.2. Metot

2.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Bu çalışmada, TS 802 ve Japon İnşaat Mühendisleri Topluluğu'nun belirttiği metotlar göz önüne alınarak C20 dayanım sınıfına göre

KYB karışım hesapları yapılmıştır [9, 10]. Çalışmada lif katkı ve katkısız olarak hazırlanan KYB karışımlarına ait özellikler Tablo 4'te verilmiştir. Karışım içerisinde çimento ağırlığının % 1,2'si oranında süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Tablo 4. KYB karışım oranları (1 m³)

Beton Bileşenleri	Beton Serileri ve Kodları			
	Referans (REF)	% 2 Çelik Lif Katkılı (ÇL)	% 0,5 Polip. Lif Katkılı (PL)	% 0,5 Çelik Lif + % 0,5 Polipropilen Lif Katkılı (ÇPL)
Agrega 0-5 mm (kg)	950	950	950	950
5-15 mm (kg)	380	380	380	380
15-20 mm (kg)	380	380	380	380
Taşunu (kg)	190	190	190	190
Su (kg)	180	180	180	180
Çimento (kg)	360	360	360	360
Uçucu Kül (kg)	40	40	40	40
Süperakışk. (kg)	4,32	4,32	4,32	4,32
Çelik Lif (kg)	-	156	4,5	39
Polipropilen Lif (kg)	-	-	-	4,5

Tablo 4'de verilen karışım oranlarına göre Referans (REF), % 2 Çelik lif katkı (ÇL), %0,5 Polipropilen lif katkı (PL) ve %0,5 çelik lif+%0,5 polipropilen lif katkı (ÇL+PL) olmak üzere toplam dört farklı kendiliğinden yerleşen beton karışımı hazırlanmıştır. Karışım oranları belirlenen lif katkı ve lif katkısız KYB numuneleri üzerinde taze halde işlenebilirlik parametreleri belirlenmiştir.

2.2.2. Çökme hunisi ile yayılma çapı deneyi

KYB'nin yayılma hızını belirlemek amacıyla, çökme (slump) deneyinin bir modifikasyonu olan çökme sonrası yayılma çapı deneyi yapılmıştır. Kesik koni şeklindeki Abram's hunisi 80x80 cm boyutundaki yayılma tablası üzerine yerleştirilmiştir ve her seri KYB

karışımları ayrı ayrı sıkıştırma yapılmaksızın huni içerisine doldurulmuştur. Tamamen karışımla dolan huni yukarı doğru yatay ekseninde dikkatlice çekilerek betonun yayılma tablasında yayılmasını tamamlaması beklenmiş ve yayılma çapı (mm) tespit edilmiştir [4].

2.2.3. V-Hunisi deneyi

Bu deney KYB karışımlarının viskozitelerini belirlemek amacıyla özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından betonun kendi ağırlığı ile tamamen boşalma süresinin ölçülmesini içermektedir. Lif katkı ve lif katkısız taze haldeki KYB karışımları Şekil 1'de görülen V hunisi içerisine ayrı ayrı doldurulmuş ve KYB karışımlarının huniden boşalma süreleri (sn) kaydedilmiştir [4].



Şekil 1. Deneide kullanılan V hunisi

2.2.4. Basınç Dayanımı Deneyi

Taze beton işlenebilirlik parametreleri tespit edilen numuneler 15x15x15 cm küp kalıplar içerisinde yerleştirilerek 24 saat kalıp içerisinde bekletilmiş ve prizini alması sağlanmıştır. 24 saat sonunda numuneler kalıplardan dikkatli bir

şekilde çıkarılarak 20 ± 2 °C' deki kür havuzunda 28 günlük dayanımını almak üzere bekletilmiştir. Kür havuzunda 28 gün bekletilen küp numuneler havuzdan çıkarılarak kurutulmuş ve basınç presinde 0,5 MPa/s yükleme hızı altında basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3'te belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. (Şekil 2) [11].



Şekil 2. Beton basınç dayanımı deneyi

3. Bulgular ve Tartışma

Deneyisel çalışmalar neticesinde elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Tablo 5'te verilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde KYB

serilerini karşılaştırmak amacıyla varyans analizi gerçekleştirilmiştir (Tablo 6). Varyans analizi ile KYB'ler arasında fark olup olmadığı belirlenirken, farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 5. Deneysel sonuçlara ait açıklayıcı istatistikler

Yapılan Deneysel	Beton türü	Numune Adedi	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	95% Güven Aralığında		Minimum	Maksimum
						Alt sınır	Üst Sınır		
Yayılma Çapı (mm)	REF	3	700,67	11,02	6,36	673,30	728,03	690	712
	ÇL	3	604,00	10,58	6,11	577,71	630,29	596	616
	PL	3	660,00	8,00	4,62	640,13	679,87	652	668
	ÇPL	3	580,67	7,02	4,06	563,22	598,12	574	588
	Total	12	636,33	49,75	14,36	604,73	667,94	574	712
V Hunisi Akma Süresi (sn)	REF	3	7,00	1,00	0,58	4,52	9,48	6	8
	ÇL	3	15,00	0,50	0,29	13,76	16,24	15	16
	PL	3	12,00	1,00	0,58	9,52	14,48	11	13
	ÇPL	3	17,00	1,00	0,58	14,52	19,48	16	18
	Total	12	12,75	4,01	1,16	10,20	15,30	6	18
Basınç Dayanımı (MPa)	REF	3	25,61	0,42	0,24	24,56	26,66	25,12	25,87
	ÇL	3	33,38	0,40	0,23	32,39	34,36	33,06	33,82
	PL	3	30,51	0,37	0,21	29,59	31,42	30,11	30,84
	ÇPL	3	39,77	0,31	0,18	39,00	40,53	39,42	40,01
	Total	12	32,31	5,36	1,55	28,91	35,72	25,12	40,01

Tablo 6. Deneysel sonuçlara ait Varyans analizi sonuçları

	Varyansın Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestli	Karelerin	F Testi	Anlamlılık Düzeyi (p<0,05)
			k Derecesi	Ortalaması		
Yayılma Çapı (mm)	Gruplar Arası	26529,33	3,00	8843,11	102,04	0,00
	Grup İçi	693,33	8,00	86,67		
	Toplam	27222,67	11,00			
V Hunisi Akma Süresi (sn)	Gruplar Arası	170,25	3,00	56,75	69,85	0,00
	Grup İçi	6,50	8,00	0,81		
	Toplam	176,75	11,00			
Basınç Dayanımı (MPa)	Gruplar Arası	314,78	3,00	104,93	741,88	0,00
	Grup İçi	1,13	8,00	0,14		
	Toplam	315,91	11,00			

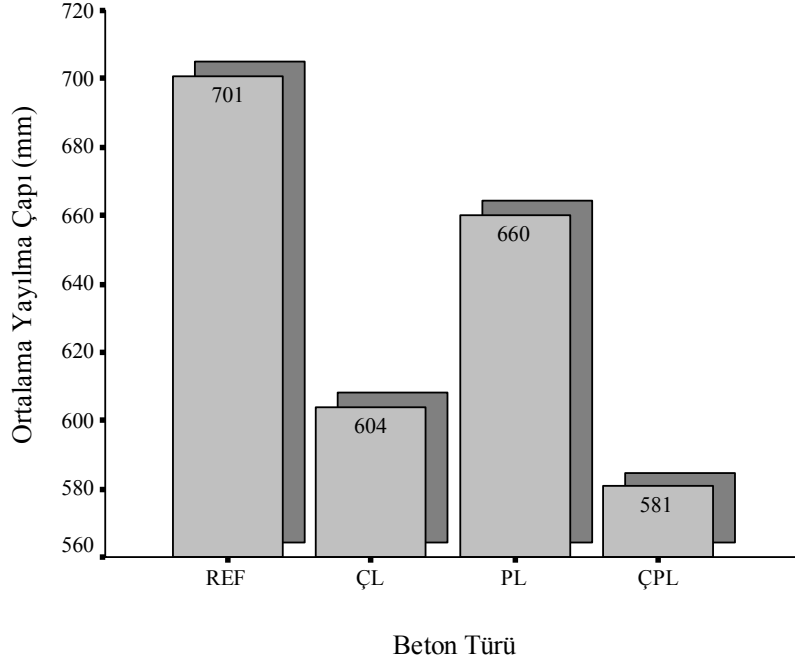
Tablo 7. Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları

Deneysel Türü	Beton Türü	Numune Adedi	Farklı olan gruplar (p<0,05)			
			1	2	3	4
Yayılma Çapı (mm)	ÇPL	3	580,67			
	ÇL	3		604,00		
	PL	3			660,00	
	REF	3				700,67
V Hunisi Akma Süresi (sn)	REF	3	7			
	PL	3		12		
	ÇL	3			15	
	ÇPL	3				17
Basınç Dayanımı (MPa)	REF	3	25,61			
	PL	3		30,51		
	ÇL	3			33,38	
	ÇPL	3				39,77

3.1. Yayılma Çapı

Elde edilen çökme hunisi yayılma çapı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 5’te verilmiştir. Ayrıca ortalama yayılma çapı değerlerine ait grafik Şekil 2’de görülmektedir.

Veriler üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre beton KYB türleri arasında istatistikî anlamda fark olduğu ($p \leq 0,05$) görülmüştür. Diğer bir ifadeyle lif katkı miktarı ve türüne bağlı olarak KYB’nin yayılma çapı değerlerinin değiştiği görülmüştür.

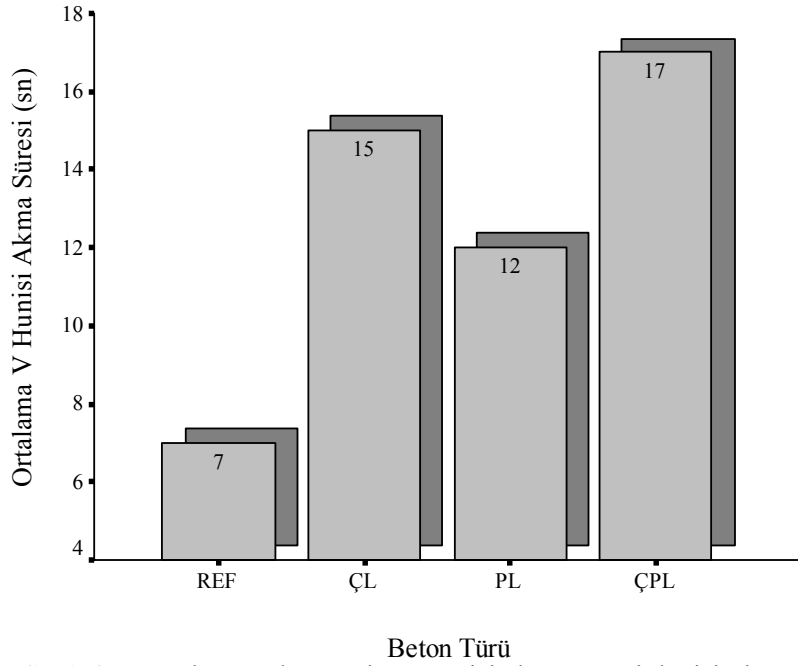


Şekil 2. KYB karışımlarına ait çökme hunisi yayılma çapı değişimi

Şekil 2’de KYB karışımları içerisinde çelik lif kullanımının, çökme hunisi yayılma çapı değerlerini azalttığı görülmektedir. Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre; Tüm KYB karışımlarının yayılma çaplarının birbirinden farklı olduğu, REF karışımının yayılma çapının en büyük, ÇPL karışımının ise en küçük değere sahip olduğu, yayılma çapı değerlerinin KYB karışımı içerisine çelik lif kullanımı ile % 13,8, polipropilen lif kullanımı ile %5,85, çelik ve polipropilen lifin birlikte kullanımı ile de %17,1 oranında azaldığı görülmüştür.

3.2. V Hunisi Akma Süresi

Elde edilen V hunisi akma süresi değerlerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 5’te verilmiştir. Ayrıca ortalama V hunisi akma süresi değerlerine ait grafik Şekil 3’te görülmektedir. Veriler üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre KYB türleri arasında istatistikî anlamda fark olduğu ($p \leq 0,05$) görülmüştür. Diğer bir ifadeyle lif katkı miktarı ve türüne bağlı olarak KYB’nin V hunisi akma süresi değerlerinin değiştiği görülmüştür.

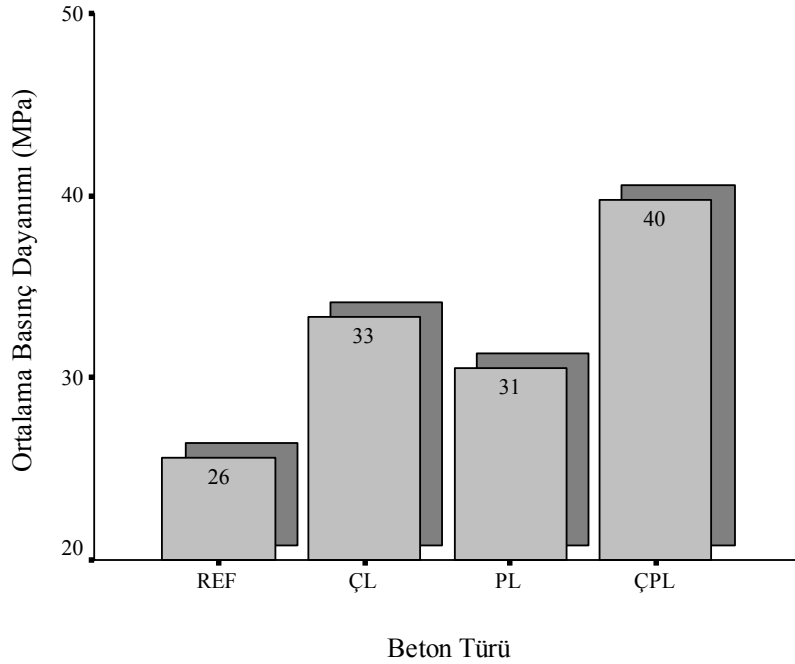


Şekil 3. KYB karışımlarına ait V Hunisi akma süresi değişimi

Şekil 3'te KYB karışımları içerisinde çelik lif kullanımının, V hunisi akma süresi değerlerini artırdığı görülmektedir. Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre; tüm KYB karışımlarının yayılma çaplarının birbirinden farklı olduğu, REF karışımının V hunisi akma süresinin en küçük, ÇPL karışımının ise en büyük değere sahip olduğu, V hunisi akma süresi değerlerinin KYB karışımı içerisine çelik lif kullanımı ile %114, polipropilen lif kullanımı ile %71, çelik ve polipropilen lifin birlikte kullanımı ile de %143 oranında arttığı görülmüştür.

3.3. Basınç Dayanımı

Elde edilen basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 4'te görülmektedir. Veriler üzerinde gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre beton KYB türleri arasında istatistikî anlamda fark olduğu ($p \leq 0,05$) görülmüştür. Diğer bir ifadeyle lif katkı miktarı ve türüne bağlı olarak KYB'nin basınç dayanımı değerlerinin değiştiği görülmüştür.



Şekil 4. KYB karışımlarına ait 28 günlük basınç dayanımı değişimi

Çelik lif ve polipropilen lif kullanımı kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirlik parametrelerini azaltmasına rağmen, 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin, %0,2 çelik lif kullanımıyla %26,9, %0,5 polipropilen lif kullanımıyla %19,2 ve %0,5 çelik lif+%0,5 polipropilen lif kullanımıyla da %53,85 oranında artırdığı gözlenmiştir.

Şekil 4'te KYB karışımları içerisinde çelik lif kullanımının, basınç dayanımı değerlerini artırdığı görülmektedir. Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma sonuçlarına göre; tüm KYB karışımlarının basınç dayanımlarının birbirinden farklı olduğu, REF karışımının basınç dayanımının en küçük, ÇPL karışımının ise en büyük değere sahip olduğu, basınç dayanımı değerlerinin KYB karışımı içerisinde çelik lif kullanımı ile %26,9, polipropilen lif kullanımı ile %19,2, çelik ve polipropilen lifin birlikte kullanımı ile de %53,85 oranında arttığı görülmüştür.

3.4. V Hunisi Akma Süresi-Basınç Dayanımı İlişkisi

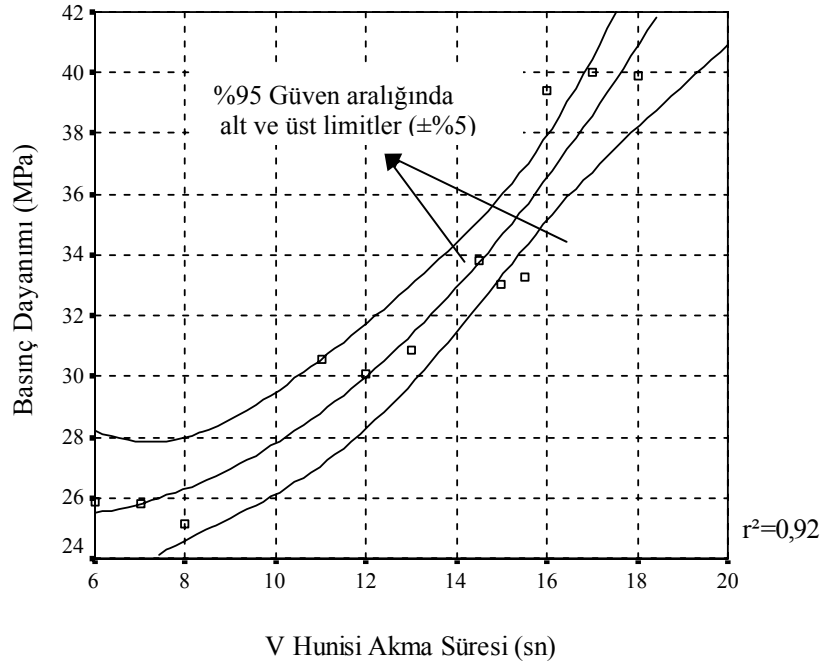
Akma süresi değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen regresyon analizinde akma süresi ile basınç dayanımı arasında 2. dereceden $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$ model denklemi ile ifade edilebilen bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Model denkleminde;
 $Y =$ Basınç Dayanımı (MPa),
 $b_i =$ Regresyon analizi katsayıları,
 $X = V$ hunisi akma süresini (sn) ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Regresyon analizi akma süresi ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi ifade eden denklem $Y = 27,308 - 0,830X + 0,088X^2$ olarak bulunmuştur.

Tablo 8. Akma süresi ile basınç dayanımı arasında gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları

<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Pearson Korelasyon Katsayısı (R)	0.961				
Regresyon Katsayısı (R ²)	0.924				
Düzeltilmiş R ²	0.907				
Tahminin Standart Hatası	1,634				
<i>Varyans Analizi</i>					
<i>Varyansın Kaynağı</i>	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Kareler Toplamı</i>	<i>Kareler Ortalaması</i>	<i>F Testi</i>	<i>Anlamlılık Düzeyi</i>
Regresyon	2	291,893	145,947	54,692	0,000
Rezidüel	9	24,017	2,669		
Toplam	11	315,910			
<i>Regresyon analizi</i>					
<i>Kaynak</i>	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>T İstatistiği</i>	<i>Anlamlılık Düzeyi</i>	
B1	-0,830	0,920	-0,621	0,391	
B2	0,088	0,038		0,048	
Sabit	27,308	5,076	1,573	0,000	

Ayrıca akma süresi ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi ifade eden grafik Şekil 5’de görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde akma süresi artışına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinin arttığı, akma süresi ile basınç dayanımı arasında doğru orantılı bir ilişkinin olduğu ve bu ilişkinin $r^2=0,92$ yüksek bir değer ile ifade edildiği görülmüştür. Akma süresi uzadıkça basınç dayanımı değerlerinin artmasının temel nedeninin, KYB karışımı içerisinde lif katılması olduğu düşünülmektedir.

**Şekil 5.** KYB karışımları için V hunisi akma süresi-basınç dayanımı ilişkisi

3.5. Çökme Hunisi Yayılma Çapı-Basınç Dayanımı İlişkisi

Çökme hunisi ile yayılma çapı değerleri ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen regresyon analizinde KYB'lerin yayılma çapı ile basınç dayanımı arasında 2. dereceden $Y = b_0 + b_1Z + b_2Z^2$ model denklemi ile ifade edilebilen bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Model denkleminde;

Y = Basınç Dayanımı (MPa),
 b_i = Regresyon analizi katsayıları,
 Z = Çökme hunisi yayılma çapını (sn) ifade etmektedir.

Gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. Regresyon analizi akma süresi ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi ifade eden denklem $Y = 204,666 - 0,439Z + 0,0003Z^2$ olarak bulunmuştur.

Tablo 9. Akma süresi ile basınç dayanımı arasında gerçekleştirilen regresyon analizi sonuçları

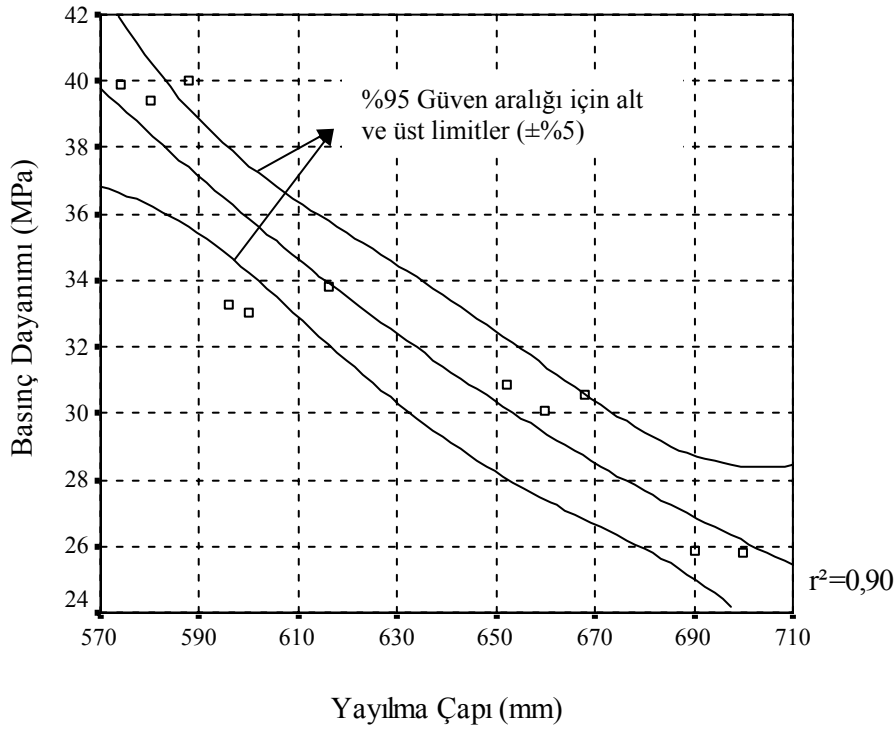
<i>Regresyon İstatistikleri</i>					
Pearson Korelasyon Katsayısı (R)		0,949			
Regresyon Katsayısı (R ²)		0,900			
Düzeltilmiş R ²		0,878			
Tahminin Standart Hatası		1,871			

<i>Varyans Analizi</i>					
<i>Varyansın Kaynağı</i>	<i>Serbestlik Derecesi</i>	<i>Kareler Toplamı</i>	<i>Kareler Ortalaması</i>	<i>F Testi</i>	<i>Anlamlılık Düzeyi</i>
Regresyon	2	284,406	142,203	40,624	0,000
Rezidüel	9	31,505	3,501		
Toplam	11	315,910			

<i>Regresyon analizi</i>				
<i>Kaynak</i>	<i>Katsayılar</i>	<i>Standart Hata</i>	<i>T İstatistiği</i>	<i>Anlamlılık Düzeyi</i>
B1	-0,439	0,436	-1,007	0,340
B2	0,0003	0,000340	0,774	0,459
Sabit	204,666	139,132	1,471	0,175

Ayrıca yayılma çapı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi ifade eden grafik Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 6 incelendiğinde yayılma çapı artışına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinin azaldığı, yayılma çapı ile basınç

dayanımı arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu ve bu ilişkinin $r^2=0,92$ yüksek bir değer ile ifade edildiği görülmüştür. KYB'lerin yayılma çaplarındaki azalmanın KYB karışımları içerisinde lif kullanımından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6. KYB karışımları için çökme hunisi yayılma çapı-basınç dayanımı ilişkisi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, lif katkısız, çelik lif katkılı, polipropilen lif katkılı ve çelik lif+polipropilen lif katkılı olarak üretilen kendiliğinden yerleşen beton karışımları üzerinde V hunisi akma süresi, çökme hunisi ile yayılma çapı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler üzerinde istatistiksel değerlendirmeler yapılarak lif katkılı ve lif katkısız kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik parametreleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki regresyon analizleri yapılarak modellenmiştir. Gerçekleştirilen analiz ve değerlendirmeler sonucunda;

- Yayılma çapı değerlerinin tüm KYB karışımlarında birbirinden farklı olduğu,
- Lif katkısız KYB karışımının yayılma çapının en büyük değere, çelik lif+polipropilen lif katkılı KYB'nin ise en küçük değere sahip olduğu,
- Çelik lif+polipropilen lif katkılı KYB karışımının lif katkısız KYB karışımına göre yayılma çapı değerlerinin %17,1 oranında azaldığı,
- V hunisi ile yapılan işlenebilirlik testinde tüm numune karışımlarının akma sürelerinin birbirinden farklı olduğu,
- Lif katkısız KYB karışımının V hunisi akma süresinin en küçük değere, çelik lif+polipropilen lif katkılı KYB karışımının ise en büyük değere sahip olduğu,
- Çelik lif+polipropilen lif katkılı KYB karışımının lif katkısız KYB karışımına göre V hunisi akma süresi değerlerinin %121,4 oranında arttığı,
- Basınç dayanımlarının tüm KYB karışımlarında birbirinden farklı olduğu,
- Lif katkısız KYB karışımının basınç dayanımının en küçük, çelik lif+polipropilen lif katkılı KYB karışımının ise en büyük değere sahip olduğu,
- Çelik lif+polipropilen lif katkılı KYB karışımının lif katkısız KYB karışımına

göre basınç dayanımı değerlerinin%53,9 oranında arttığı,

- Akma süresi ve yayılma çapı değerleri ile basınç dayanımı arasında 2. dereceden bir denklemle ifade edilebilen bir ilişkinin olduğu,
- Akma süresi ile basınç dayanımı arasında doğru orantılı, yayılma çapı ile basınç dayanımı arasında ise ters orantılı bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, kendiliğinden yerleşen beton karışımları içerisinde çelik lif ve polipropilen lif kullanımının taze beton işlenebilirlik

parametrelerini etkilediği, özellikle çelik lif kullanımı ile karışımların işlenebilirlik parametrelerinin polipropilen lif kullanımına oranla daha fazla azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte polipropilen lif kullanımının kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirlik parametrelerini az da olsa düşürmesine rağmen basınç dayanımında ise %19,2 oranında bir artışa neden olduğu, lif katkılı kendiliğinden yerleşen betonlarda akma süresi ve yayılma çapı ile basınç dayanımı değerleri arasında iyi bir ilişki olduğu görülmüştür.

5. Kaynaklar

1. Özkul, M. H. (2002). Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, *Hazır Beton Dergisi*, **52**, 64-71.
2. Yanar, T. M., (2007). Effect of mineral admixtures on the properties of self compacting concrete. MsC Thesis, Gaziantep University Graduate School of Natural & Applied Sciences, 145p.
3. Walraven, J., (1999). The Evolution of Concrete, Structural Concrete, *Journal of fib*, **1** (1), 3-11.
4. Walraven, J., (2002), Betonun Evrimi, *Hazır Beton Dergisi*, Temmuz-Ağustos, 26-30.
5. Gaimster, R. and Dixon, N., (2004). Self-Compacting Concrete, *Advanced Concrete Technology Process*, Newman, J. And Choo, B.S., Elsevier, 9/1-9/23.
6. Ramyar, K., (2007). Portland Çimentosu – Süperakışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, 197-212.
7. Okamura, H. and Ouchi, M., (2003). Self compacting concrete, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Japan Concrete Institute, **1** (1), 5-15.
8. ACI Committee 544, (1982). State of the art report on Fibre Reinforced Concrete, ACI 544 IR-82, *Concr. Int.* **4**, 9-30.
9. Şengül, C., Akkaya, Y., Erenoğlu, T. ve Taşdemir, M.A., (2005). Kendiliğinden Yerleşen Çelik Tel Donatılı Betonların Üretimi ve Mekanik Davranışı, *6. Ulusal Beton Kongresi*, 16-18 Kasım, İstanbul, 295-305.
10. TS 802, (1985). Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
11. JSCE (1999). Recommendation for Self Compacted Concrete, Tokyo: Japan Society of Civil Engineers Concrete Engineering.
12. TS EN 12390-3, (2003). Beton – Sertleşmiş Beton Deneyle, Bölüm 5: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.