

Süper akışkanlaştırıcıların Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Hal ve Sertleşmiş Özellikleri ile Maliyetine Etkisi

Murat TUYAN*, Gökhan YILMAZ**, Özge ANDIÇ ÇAKIR*

* Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir
** Draco Yapı Kimyasalları Ltd. Şti., İstanbul

Özet

Bu çalışmada, farklı süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımının kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) maliyeti, taze hal ve sertleşmiş özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, 5 farklı polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılarak KYB karışımları elde edilmiştir. Bu karışımlar üzerinde L-kutusu ve T_{50} süresi ile 0, 20 ve 40 dakika sonra çökme yayılma ve V-hunisi deneyleri uygulanmıştır. KYB karışımlarında 360 kg/m^3 CEM II B-M (L-W) 42.5 R tipi çimento ve 90 kg/m^3 C tipi uçucu kül kullanılmıştır. Karışımlar, çökme yayılma çapları 650 ± 20 mm olacak şekilde kimyasal katkı miktarının değiştirilmesi ile oluşturulmuştur. Ayrıca, beş farklı süperakışkanlaştırıcı katkı ile elde edilen betonların 1, 3, 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Kullanılan katkıların beton üretimindeki birim maliyetleri hesaplanmış ve kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, süperakışkanlaştırıcı katkı tipinin taze hal özelliklerini etkilediği; erken ve ileri yaşlarda KYB'nin basınç dayanımına kayda değer bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Süperakışkanlaştırıcı, kendiliğinden yerleşen beton, taze hal özellikleri, basınç dayanımı, maliyet analizi

1. Giriş

Betonu veya harcı karıştırmadan önce veya karıştırma esnasında çimento, agrega, su ve lif dışında katılan malzemeler genel olarak katkı olarak adlandırılmaktadır. Özellikle son elli yılda gelişmekte olan beton katkı endüstrisi sayesinde betonun hem taze hal hem de sertleşmiş özellikleri geliştirilebilmektedir [Mehta]. Günümüzde pek çok modern beton tasarımı katkı kullanılarak yapılmaktadır. Son dönemde kendiliğinden yerleşen beton, yüksek performanslı beton gibi özel betonlarda kullanılan en yaygın katkı su azaltıcı kimyasal katkıdır. Su azaltıcı katkılar çok çeşitli bileşenlerden oluşmakta olup, betonda belirli bir kıvam için gereken su miktarını azaltmak için kullanılmaktadır. Karışım suyu miktarını %5-11 oranında azaltan su azaltıcı katkılara akışkanlaştırıcı, %12 ve üzeri azaltan katkılar ise süperakışkanlaştırıcı olarak adlandırılmaktadır [TS EN 934-2]. Bu tür katkılar, yapılan beton dizaynına göre, belirli bir kıvamda karışım suyunu azaltarak yüksek performanslı bir beton üretimi sağladığı için su azaltıcı; aynı su/çimento oranında beton karışımına akışkanlık sağlayarak taze betonun kalıplara boşluksuz bir şekilde ve kolay yerleşmesini sağladığı için ise akışkanlaştırıcı/süperakışkanlaştırıcı olarak adlandırılmaktadır [Rixom].

Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkılar naftalin formaldehit sülfonat, melamin formaldehit sülfonat ve poliakrilat olmak üzere genel olarak üç temel kimyasal yapıya sahiptir. Poliakrilat esaslı kimyasal katkılar arasında son dönemde betonda kullanılan katkı türü ise polimer esaslı polikarboksilat grubudur [Rixom]. Polikarboksilat esaslı kimyasal katkılar 1980'li yıllarda Japonya'da keşfedilmiştir ve petrokimya ürünlerinin sentezlenmesiyle oluşturulmaktadır. Bu tip katkılar üç ana bölüme ayrılmaktadır. Bu bölümler şu şekildedir: Polietilen ana zincir, dallanmış yan zincirler (polioksietilen), adsorbe olmayı sağlayan karboksilik gruplar [6]. Polikarboksilat esaslı kimyasal katkılarının etki mekanizması temel olarak iki aşamadan oluşur. Katkının çimento tanelerini dağıtma (dispersion) özeliği hem elektrostatik hem de sterik itkidenden kaynaklanmaktadır. Karboksilat grubu elektrostatik itkiyi sağlarken, eter grubu ise sterik itkidenden kaynaklı dağılmayı sağlamaktadır. Elektrostatik itki polikarboksilat esaslı katkılar dışındaki diğer katkı türlerinde de görülen bir mekanizmadır. Sterik itki ise polikarboksilat esaslı katkılara özgü bir özelliktir ve diğer katkılara göre daha yüksek oranda su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı özeliği ve ayrıca daha uzun süre kıvam koruma sağlamaktadır [1-3]. Polikarboksilat esaslı kimyasal katkılarının özelliklerini (ana zincir uzunluğu, yan zincir uzunluğu, yan zincir sayısı, molekül ağırlığı vb.) değiştirerek ihtiyaca uygun olarak katkı üretmek mümkün olmaktadır.

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), yoğun donatılı elemanlarda bile yerleştirme ve sıkıştırma işleminde vibratöre gerek kalmayan, kendi ağırlığı ile akıp kalıbı doldurabilen ve tamamen sıkışabilen çok akıcı kıvamlı özel bir betondur [EFNARC, 2005]. KYB'nin akıcı kıvamlı bir beton olmasından dolayı bu tür betonların taze hal ve reolojik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Taze hal özelliklerinde meydana gelebilecek bir olumsuzluk KYB'nin mekanik ve durabilite özelliklerini de olumsuz etkilemektedir [4-6]. Bu nedenle, KYB'nin kendiliğinden yerleşebilirlik mekanizmasını bilmek iyi bir tasarım yapmak için oldukça önemlidir. Kendiliğinden yerleşebilirlik için hem betonun harç fazının yüksek akıcılıkta olması hem de harç fazının iri agrega ile ayrılmadan donatılar arasından akması ve kalıplara yerleşmesi gerekmektedir. Bu mekanizmanın gerçekleşmesi için üç temel kriter belirlenmiştir. Bunlar; agrega miktarının sınırlanması, su/toz oranının düşük olması ve akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmasıdır. Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkılar KYB için temel bileşenlerden bir tanesi konumundadır. Kullanılacak akışkanlaştırıcı katkının seçimi bağlayıcı maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmalıdır. Süperakışkanlaştırıcı katkılarının KYB'de kullanımının amacı betonun istenilen akışkanlığa sahip olması içindir. Ayrıca taşıma ve yerleştirme için gereken zaman sürecinde taze betonun özelliklerini korumayı sağlamaktadır [Okamura ve Ozawa (1995)].

Yapılan çalışmada farklı polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı katkılarının KYB'nin taze hal ve dayanım özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, beş farklı polikarboksilat esaslı katkı ile oluşturulan karışımların çökme yayılma, V-hunisi, L-kutusu ile 20 ve 40 dakika sonra çökme yayılma ve V-hunisi değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, 1, 3, 7, 28, ve 56 günlük basınç dayanımları tayin edilmiştir. Ayrıca kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkılar arasında kullanma dozajına bağlı olarak maliyet kıyaslaması yapılmıştır.

2. Deneysel Çalışma

2.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada CEM II B-M (L/W) 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Ayrıca daha ekonomik bir beton üretmek amacıyla çimentonun yerine %20 oranında Soma Termik Santralinden alınan C tipi uçucu kül kullanılmıştır. Üretici firmalardan temin edilen çimento ve uçucu külün kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. CEM II B-M (L/W) 42.5 R tipi çimento ve uçucu külün kimyasal kompozisyonu

	Çimento (%)	Uçucu kül (%)
SiO ₂	20.52	32.80
Al ₂ O ₃	6.46	13.77
Fe ₂ O ₃	3.31	4.78
CaO	57.45	39.69
MgO	1.54	2.05
K ₂ O	0.88	1.18
Na ₂ O	0.44	0.40
SO ₃	3.13	4.22
Cl ⁻	0.01	0.0084
Serbest CaO	2.02	-
Kızdırma Kaybı	3.8	1.11

Deneysel çalışmada iki farklı tane boyutunda (0-4 mm ve 4-16 mm) kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Tablo 2’de kullanılan agregaların elek analizi sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 2. Karışımlarda kullanılan agregaların elek analizi sonuçları

Elek göz açıklığı, (mm)	Elek altı kümülatif yüzdesi, (%)	
	0-4 mm	4-16 mm
16	100	100
8	100	42
4	100	2
2	77	0
1	50	0
0.5	32	0
0.25	25	0
0.125	18	0
0.063	8	0

Agregaların doygun yüzey kuru özgül ağırlık ve su emme oranları, **TS EN 1097-6** [...]“Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini” standardına göre belirlenmiştir. Farklı tane boyutlarındaki agregaların bazı fiziksel özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega tane boyutu (mm)	Doygun yüzey kuru özgül ağırlık	Su emme oranı (%)	Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)
0-4	2.60	0.21	1740
4-16	2.65	0.67	1505

Beş farklı süperakışkanlaştırıcı katkıının üretici firmalardan temin edilen bazı özellikleri Tablo 4’de verilmiştir. A1, A2 ve A3 katkıları bir firmadan temin edilen, B ve C katkıları ise başka bir firmadan temin edilen katkılardır.

Tablo 4. Süperakışkanlaştırıcı katkıların özellikleri

Özellikler	A1	A2	A3	B	C
Tip	Hiper Akışkanlaştırıcı	Hiper Akışkanlaştırıcı	Hiper Akışkanlaştırıcı	Polikarboksilik Eter	Polikarboksilik Eter
Renk	Açık Kahverengi	Açık Kahverengi	Açık Kahverengi	Açık Kahverengi	Açık Yeşil
Yoğunluk (g/cm ³)	1.1	1.098	1.099	1.063-1.103	1.023-1.063
pH	6.23	6.07	5.86	-	-
Klorür içeriği (%)	0.0256	0.0217	0.0293	< 0.1	< 0.1
Alkali içeriği (%)	< 5	< 5	< 5	< 3	< 3
Üretici firmanın dozaj önerisi (%)	0.6-2.0	0.6-2.0	0.6-2.0	0.8-1.5	1.0-2.0

2.2 Karışımların Oranlarının Hesaplanması

Beş farklı süperakışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen KYB karışımlarında toplam 450 kg/m³ (360 kg/m³ çimento, 90 kg/m³ uçucu kül) bağlayıcı malzeme kullanılmıştır. Tüm karışımların su/bağlayıcı oranı 0.44 olacak şekilde sabit tutulmuştur. Karışım hesabında ince malzeme için 125 µm altında kalan malzeme filler olarak hesaba katılmıştır. Su/toz oranı ve iri agrega/toplam agrega oranı **EFNARC** standardına uygun olarak belirlenmiştir. KYB karışımları 650±20 mm çökme yayılma değeri olacak şekilde süperakışkanlaştırıcı katkı miktarının değiştirilmesi ile oluşturulmuştur. Üretilen KYB’lerin karışım oranları ve tasarım parametreleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Karışım oranları ve tasarım parametreleri

Bileşen	A1	A2	A3	B	C
Çimento (kg/m ³)	360	360	360	360	360
Uçucu kül (kg/m ³)	90	90	90	90	90
Filler (kg/m ³)	162	162	162	162	162
Su (kg/m ³)	200	200	200	200	200
0-4 mm kum (kg/m ³)	736	736	736	736	736
4-16 İri agrega (kg/m ³)	743	743	743	743	743
Kimyasal katkı (kg/m ³)	3.1	3.4	2.8	3.8	6.2
TOPLAM (kg/m ³)	2294	2294	2294	2295	2297
Su/bağlayıcı oranı	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
Su/toz oranı (hacimce)	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
İri agrega/toplam agrega	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

2.3 KYB Karışımlarının Hazırlanması

DeneySEL çalışma kapsamında üretilen KYB karışımları 45 dm³ kapasiteli laboratuvar tipi mikserde oluşturulmuştur. Öncelikle iri ve ince agrega mikserde dökülmüş ve kendi arasında karıştırılmıştır. Daha sonra ayrı bir kaptaki karıştırılan çimento ve uçucu kül karışıma eklenmiştir. Yaklaşık bir dakika kuru karıştırmadan sonra karışım suyunun yarısı karışıma ilave edilmiştir. Karışım suyunun geri kalan yarısı süperakışkanlaştırıcı katkı ile beraber karışıma katılmıştır. Hedef çökme yayılma değerine ulaşmayan karışımlara katkı ilave edilmiş ve 650±20 mm çökme yayılma değerine ulaşılmıştır. Her karışım tek bir mikserde hazırlanmış ve taze hal deneyleri yapıldıktan sonra basınç dayanımı tayini için 150 mm küp kalıplara doldurulmuştur. Kalıplara doldurma esnasında herhangi bir vibrasyon ya da şişleme işlemi gerçekleştirilmemiştir.

2.4 Yapılan Deneyler

Üretilen KYB'ler üzerinde sırasıyla çökme yayılma deneyi, T₅₀ süresi tayini, V-hunisi ve L-kutusu deneyi, EFNARC [1] kriterine uygun olarak yapılmıştır. Ayrıca karışımların zaman içinde kıvam kaybını gözlemlemek için karıştırmadan 20 ve 40 dakika sonra çökme yayılma ve V-hunisi değerleri ölçülmüştür. Farklı süperakışkanlaştırıcı katkılarla oluşturulan KYB'lerin dayanım gelişmesini belirlemek amacıyla 1, 3, 7, 28 ve 56 gün kütleme sonunda, her karışımdan üçer adet 150 mm küp numune üzerinde TS EN 12390-3 [13] standardına göre basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

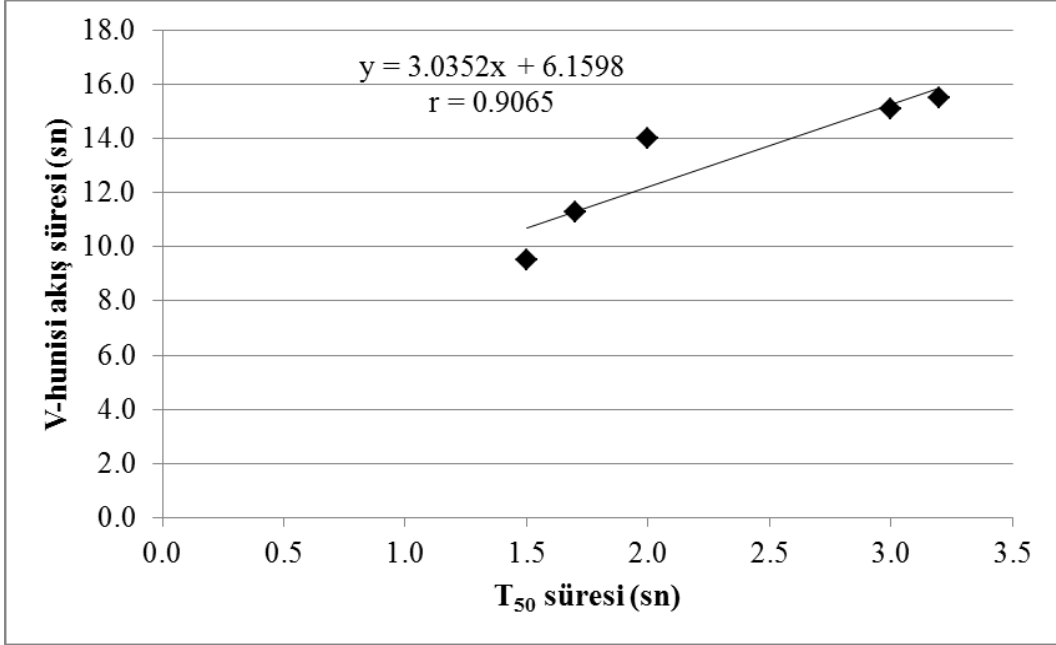
KYB karışımlarının belirlenen taze hal özellikleri Tablo 6'da verilmiştir. Aynı çökme yayılma değerini elde etmek için kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkı miktarları her karışım için farklılık göstermektedir. Süperakışkanlaştırıcı katkı miktarları bağlayıcı yüzdesinin 0.63 ila 1.38'i arasında değişmektedir. Aynı firmadan temin edilen A1, A2 ve A3 katkılarının kullanımı B ve C katkılarına göre nispeten daha düşük değerlerde kalmıştır. A1, A2, A3 ve B katkıları için üretici firmanın önerdiği katkı dozajının minimum değeri, yapılan deneylerde kullanılan miktarlara yakın çıkmıştır. C katkısında ise üretici firmanın minimum katkı dozajı %1 iken kullanılan katkı miktarı %1.38 olmuştur.

V-hunisi deney sonuçlarını incelendiğinde, KYB'nin akış sürelerinin farklı katkıları kullandıkça değiştiği görülmektedir. V-hunisi akış süresi KYB'nin viskozitesi ile ilişkilendirilmektedir [EFNARC]. V-hunisi akış süresi beş farklı karışım için 9.5 ila 15.5 saniye arasında değişmiştir. En yüksek V-hunisi akış süresi (15.5 sn) A3 karışımı iken, en düşük akış süresi C karışımına aittir. EFNARC standardına göre tüm karışımların V-hunisi akış süresi 8 saniyenin üstünde olduğu için tüm karışımlar VS2/VF2 sınıfına girmektedir. Beklendiği gibi, betonda katkı kullanımının artmasıyla genel olarak betonun viskozitesi azalmaktadır. Yapılan deneylerde de farklı katkı kullanımına rağmen kullanılan katkı miktarı arttıkça KYB karışımlarının viskozitesinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Tablo 6. KYB karışımlarının taze hal deney sonuçları

Taze hal özellikleri	A1	A2	A3	B	C
Süperakışkanlaştırıcı (%)	0.68	0.75	0.63	0.83	1.38
Çökme yayılma (mm)	670	650	640	635	630
T ₅₀ (sn)	3.0	1.7	3.2	2.0	1.5
V-hunisi (sn)	15.1	11.3	15.5	14.0	9.5
L-kutusu (20 cm) (sn)	2.3	1.7	3.2	2.4	1.4
L-kutusu (40 cm) (sn)	5.3	3.6	8.2	4.1	3.4
L-kutusu (H2/H1)	0.61	0.72	0.65	0.78	0.36
20 dak. çökme yayılma (mm)	440	430	420	475	455
20 dak. V-hunisi (sn)	26.2	24.1	24.5	23.1	18.9
40 dak. çökme yayılma (mm)	< 400	< 400	< 400	< 400	< 400
40 dak. V-hunisi (sn)	102	62	70	53	Tıkanı

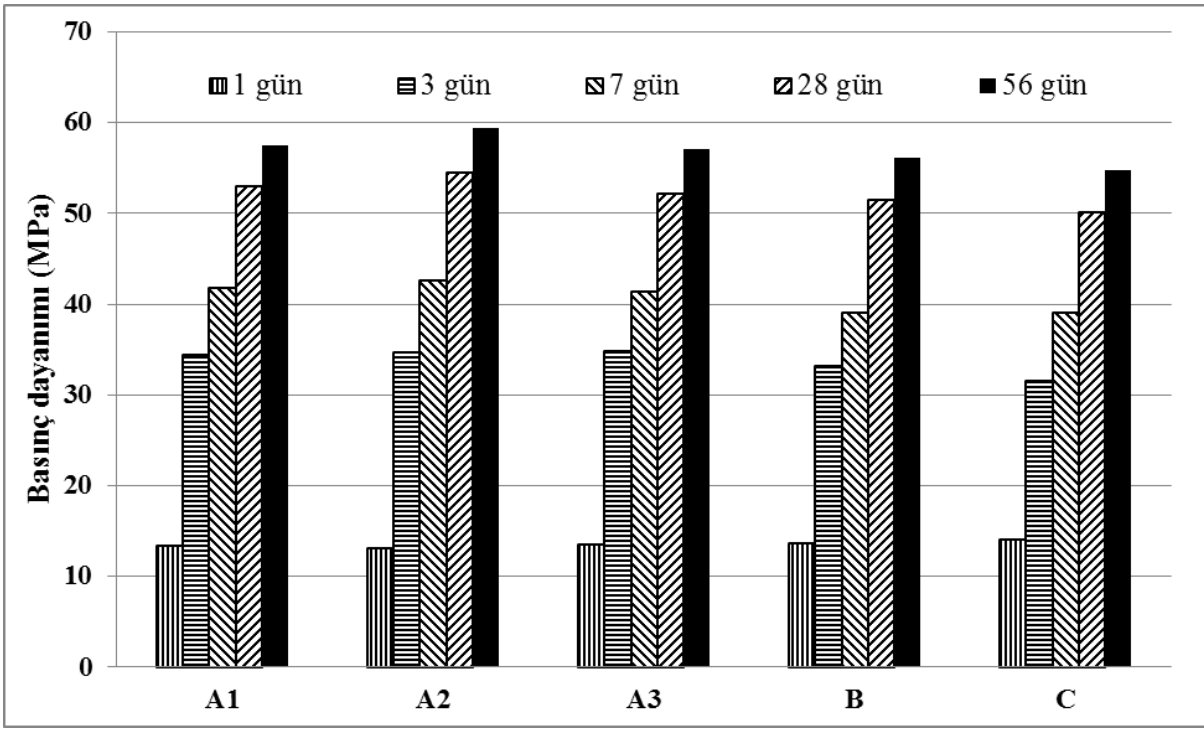
T_{50} süresi ile V-hunisi akış süresi arasındaki ilişki Şekil 1’de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi, karışımların T_{50} süresi ile V-hunisi akış süresi arasında doğrusala yakın pozitif bir ilişki vardır. T_{50} süresi ve V-hunisi akış süresi KYB karışımlarının viskozitesi ile ilişkili olduğu için iki taze hal özeliği arasında doğrusal bir ilişki olması beklenebilir.



Şekil 1. T_{50} süresi ile V-hunisi akış süresi arasındaki ilişki

KYB karışımlarının donatılar arası geçiş yeteneğini ölçen L-kutusu deney sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Karışımların T_{50} süresi ve V-hunisi akış süresi ile L-kutusu akış süreleri arasında doğrusal bir ilişki vardır. KYB’ler geçiş yeteneği açısından incelendiğinde tüm karışımların H2/H1 oranı 0.80’den küçük olduğu için EFNARC standardına göre geçiş yeteneklerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Geçiş yeteneği en yüksek olan karışım ise B katkısı ile üretilen karışımdır.

Karışımların 20 ve 40 dakika sonra çökme yayılma ve V-hunisi akış sürelerine bakıldığında, karışımların ilk anda çökme yayılma değerleri 650 ± 20 mm iken, 20 dakika sonunda tüm karışımlarda çökme yayılma değeri 420 ila 475 mm arasına düşmüştür. 20 dakika sonunda en fazla kıvam kaybı A3 katkısı içeren karışımda meydana gelmiştir. Kıvam koruması en iyi olan karışım ise B katkısı içeren karışımdır. 20 dakika sonunda V-hunisi akış süreleri 18.9 ila 26.2 saniye arasında değişmektedir. 20 dakika sonunda akış süresi en fazla olan karışım A1, en az olan karışım ise C katkısı içeren karışımdır. 40 dakika sonunda tüm karışımların çökme yayılma değerleri 400 mm’nin altında kalmış ve yayılma göstermemiştir. 40 dakika sonunda V-hunisi akış sürelerinde ise en iyi performansı (53 sn) B katkısı göstermiştir. V-hunisi akış süreleri A2 katkısı için 62 saniye, A3 katkısı için 70 saniye, A1 katkısı için 102 saniye ölçülmüştür. C katkısı ile üretilen karışımdan ise beton akmadığı ve huni tıkanıdığı için akış süresi değeri alınamamıştır.



Şekil 2. KYB'lerin basınç dayanımı sonuçları

KYB numunelerinin 1, 3, 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımı sonuçları Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, farklı süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile KYB'lerin hem erken yaş hem de ileri yaşta basınç dayanımlarında önemli bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Özellikle süperakışkanlaştırıcı katkıların yan etkilerinden olan hava sürüklenme ve priz süresini değiştirme gibi özelliklerin değişmesiyle erken yaştaki dayanımlar etkilenebilmektedir [Rixom]. Bu çalışmada kullanılan farklı süperakışkanlaştırıcılar arasında özellikle erken yaşta böyle bir değişim gözlemlenmemiştir. 28 ve 56 günlük dayanımlarda ise A2 katkısı içeren karışım ile C katkısı içeren karışım arasında yaklaşık %8'lik bir değişim bulunmaktadır. Ancak bu değişim de betonun heterojen yapısı göz önüne alındığında kayda değer değildir.

Tablo 7'de bu çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkıların birim maliyeti ile aynı çökme yayılma değerine ulaşmak için kullanılan katkı dozajları ve bu katkıların 1 m³ beton üretimindeki maliyetini gösterilmektedir. 1 m³ maliyetler göz önüne alındığında, tüm süperakışkanlaştırıcı katkıları arasında A3 katkısının en ekonomik olduğu görülmektedir. Daha sonra sırasıyla A1, A2 ve B katkılarının fiyat performansı A3 katkısına göre daha düşüktür. En yüksek maliyete sahip katkı ise C katkısıdır.

Kullanılacak katkının seçiminde maliyet önemli bir parametre olmasına rağmen, sadece maliyete bakarak bir seçim yapmak yerine, amacına uygun ve istenilen taze hal ve sertleşmiş özellikler dikkate alınarak katkı seçimi yapılması gerekmektedir.

Tablo 7. Kullanılan katkıların dozajlarına göre maliyet değerlendirmesi

	A1	A2	A3	B	C
Katkı miktarı (kg/m ³)	3.1	3.4	2.8	3.8	6.2
Birim maliyet (TL)	2.27	2.27	2.27	2.51	2.51
1 m ³ maliyeti (TL)	7.04	7.72	6.36	9.54	15.56

4. Sonuçlar

Farklı süperakışkanlaştırıcı katkıların taze hal ve sertleşmiş özellikleri ile maliyetini araştırmak için yapılan bu deneysel çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir;

- Farklı katkı üreticilerinden elde edilen polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı katkıları KYB'nin taze hal özelliklerini genel olarak etkilemiştir.
- Beş farklı süperakışkanlaştırıcı katkının V-hunisi akış süreleri 9.5 – 15.5 saniye arasında değişiklik göstermiştir. Kullanılan katkıların dozajı ve özelliklerinin değişimi bu sonuca neden olmaktadır.
- Tüm karışımların geçiş yetenekleri EFNARC standardının belirlediği sınırları geçememiştir. Tüm karışımlar için kullanılan katkı dozajlarında KYB karışımlarının geçiş yetenekleri düşük çıkmıştır.
- Tüm karışımlarda çökme yayılma değeri ilk anda 650±20 mm iken, 20 dakika sonunda bu değer 420-475 mm'ye düşmüştür. 20 dakika sonunda kıvam koruması en iyi olan karışım B karışımıdır. 40 dakika sonunda ise tüm karışımlar 400 mm'nin altında çökme yayılma değeri göstermiştir.
- 20 ve 40 dakika sonunda tüm karışımların V-hunisi akış sürelerinde bir artış gözlemlenmiştir. 40 dakika sonunda en hızlı akış süresi B karışımına aittir. C karışımında ise 40 dakika sonunda beton huniden akmadığı için tıkanma olmuş ve değer ölçülememiştir.
- KYB numunelerinin 1, 3, 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımı sonuçları ele alındığında, farklı süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile KYB'lerin hem erken yaş hem de ileri yaşta basınç dayanımlarında kayda değer bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir.
- Deneysel çalışmada kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılan dozajlara bağlı olarak 1 m³ beton için katkı maliyetleri karşılaştırıldığında en düşük maliyetli katkının 6.36 TL ile en düşük dozajda kullanılan A3 katkısı olduğu, en yüksek maliyetli katkının ise 15.56 TL ile en yüksek dozajda kullanılan C katkısı olduğu belirlenmiştir.

Teşekkür

Yazarlar çimento temini için Çimentoş Çimento San. Tic. A.Ş.'ne teşekkür eder.

Referanslar

- [1] Ohta A, Sugiyama T, Tanaka Y. Fluidizing mechanism and application of polycarboxylate-based superplasticizers. In: 5th CANMET/ACI sp 173-19; 1997. p. 359-78.
- [2] Uchikawa H, Hanehara S, Sawaki D. The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in fresh paste prepared with organic admixture. Cem Concr Res 1997;27:37-50.
- [3] Yamada K, Takahashi T, Hanehara S, Matsuhisa M. Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer. Cem Concr Res 2000;30:197-207.
- [4] Okamura H, Ozawa K. Mix-design for self-compacting concrete. Concrete Library of JSCE, 1995;25:107-20.
- [5] Khayat K.H. Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete. ACI Mater J 1999;96(3):346-53.
- [6] Okamura H, Ouchi M. Self-compacting concrete, J Adv Concr Technol 2003;1(1):5-15.