

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON VE KATKI- ÇİMENTO UYUMU

SELF-COMPACTING CONCRETE AND COMPATIBILITY OF CEMENT AND ADMIXTURE

Ali Raif Sağlam, Nazmiye Parlak

Sika Yapı Kimyasalları,
İstanbul

Ü. Anıl DOĞAN, M. Hulusi Özkul

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi
İstanbul

Özet

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) özellikle hazır-beton sektörü, onarım-güçlendirme işleri ve prefabrike sektörü başta olmak üzere inşaatın değişik dallarında giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Vibratör gerektirmeden kolay yerleşebilmesi, yüksek ayrışma direncine sahip oluşu, yüksek dayanıklılık özelliği gibi nedenlerle yüksek başarılı (performanslı) beton üretimine olanak veren KYB, ülkemizde de tanınmaya ve kullanılmaya başlamıştır. KYB'un bileşimi, etkin bir süperakışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı kullanımı, su/bağlayıcı oranı, maksimum agrega boyutu, kum/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterir. Ayrıca bu betonlarda çimento-süperakışkanlaştırıcı katkı uyumu ayrı bir önem taşır. Bu çalışmada KYB'ların genel özellikleri, bileşim özellikleri ve çalışma mekanizması gibi konulara değinilmiş, ayrıca hazır beton ve prefabrike sanayiinde kullanılan farklı katkıların farklı çimentolarla uyumları incelenmiştir.

Abstract

Self-compacting concrete (SCC) finds many application fields in civil engineering, especially in ready-mixed concrete, repairing-retrofitting and precast industry. Easy placing and compacting without any vibration, high segregation resistance and durability properties, result in the production of high performance concretes. Recently, SCC has become well known and found application in Turkey. SCC design deviates from those of traditional concretes with respect to not only an effective superplasticizer requirement but also other parameters, such as total fine material, viscosity enhancing agent, water/binder ratio, max. aggregate size, sand/total aggregate ratio and total coarse aggregate content. It is also important to have both cement and superplasticizer to become in compatibility. In this study the general properties and working mechanism of

SCC are discussed and the incompatibility observed between some cement types and superplasticizers used in both ready-mixed concrete and precast industry are investigated.

1.GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kendi ağırlığı ile, herhangi bir vibrasyon gerektirmeksizin ve ayrılmaya uğramadan kalıbı doldurabilir KYB'un en yaygın kullanım alanı olarak donatıların çok yoğun olduğu ve vibratörlerin ulaşamadığı elemanların üretimi sayılabilir. Yüksek perdelerin üretiminde ve betonarme yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde KYB kullanılmasına başlanmıştır. Son yıllarda ise KYB'un yeni bir kullanım alanı olarak prefabrik sektörü öne çıkmıştır [1]. Bu son kullanım alanında vibratör gereksinimini ortadan kaldırdığı için gürültünün zararlı etkilerinden korunmak olanağını da doğurmuştur. Aynı nedenle yerleşim bölgelerinde, gece üretim yapılması gereken durumlarda KYB kullanılabilir. KYB'un diğer bir yararı işçiliği azaltırken yapım hızını artırmasıdır. Bir yapıda döşeme ve düşey elemanların üretiminin geleneksel betonla üretime göre KYB kullanılması durumunda 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir [2]. Ancak KYB'un tüm inşaatlarda yaygın olarak kullanılmasına henüz geçilememiştir. Bu durumun en önemli nedeni olarak söz konusu betonların maliyetlerinin henüz istenilen düzeylere indirilememiş olması sayılabilir. Ancak dürabiliteye verilecek önemle birlikte, KYB kullanımının yapının ömrüne getireceği katkılar, bakım ve onarım harcamalarındaki azalmalar, yapım süresinin kısalması ve işçiliğin azalması, gürültü faktörünün düşürülmesi gibi avantajlar göz önüne alındığında zaman içinde yaygınlaşması beklenir.

1.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri

KYB'nun üstün davranış özelliklerini sağlayabilmek için yüksek akıcılıkta olması, yüksek ayrışma direnci ve şekil değiştirme yeteneğine sahip olması gereklidir.

Yüksek akıcılık, üstün akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları (süperakışkanlaştırıcılar) yardımı ile sağlanırken betonun kararlılığı (ayrışma direnci), ince malzeme miktarını yüksek tutmakla ve/veya viskozite artırıcı maddeler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. KYB'un sadece doldurma özelliğine sahip olması yetmemekte, aynı zamanda donatılar arasından kolayca geçebilir özellikte olması da gerekmektedir. Betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin küçük olması gerekir. Bu özelliğin su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta, yani ayrışma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ayrışmanın göstergesi olan viskozite özelliği çok küçülmemelidir.

KYB'ların bu özelliklerini düşük su/ince malzeme oranlarında sağladıkları görülmekte, ince maddenin bağlayıcı özellikte seçilmesi durumunda hem dayanım hem de dayanıklılıkları yüksek olmaktadır; bu nedenle yüksek performanslı (performanslı) betonlar sınıfına sokulabilmektedir. Ayrışma dirençlerinin yüksek oluşu KYB'lara su altında kullanılma olanağı vermektedir. Öte yandan bu betonlarda "top bar effect" olarak adlandırılan, bir yatay yapı elemanında (kiriş gibi) kesitin üst kenarına yakın çelik çubukların alt kenara yakın olanlara göre daha düşük aderansa sahip olma özelliğini göstermedikleri anlaşılmıştır. KYB, düzgün yüzey elde edilmesine olanak vermeleri ve

üretim sırasında vibratör gerektirmemeleri nedeniyle prefabrike eleman endüstrisinde de kullanılmaları yaygınlaşmaktadır.

1.2. Kendiliğinden Yerleşen Betona Giren Malzemeler

Geleneksel betonda kullanılan Normal Portland Çimentoları KYB üretiminde de kullanılabilir. Ancak bazı çimentolarla KYB üretimi daha başarılı olabilmektedir. Bu konuda yapılan bir çalışmada [3] TÇ 32,5 ve PZÇ 32,5 çimentolarının kendiliğinden yerleşen beton katkılarının ilk kuşak türleri ile uyumsuzluk gösterdiği görülmüştür. Ancak bu katkıların üzerinde çok hızlı gelişmeler gerçekleşmekte ve bu uyum sorunu azaltılmaktadır. Süperakışkanlaştırıcı olarak yüksek oranda su kesici özelliğe sahip ve molekül ağırlığı optimize edilmiş bir kimyasal katkı kullanılabilir. Bu amaçla polikarboksilat veya naftalin esaslı polimerler yaygın kullanılan katkılardır [4,5]. İnce madde olarak 100 mikrondan ince taneler düşünülmelidir. Bu amaçla uçucu kül, taş unu [5,6], cüruf (öğütülmüş), silis dumanı kullanılabilir. KYB'ların ayrışma direnci viskozite artırıcı katkıları (VAK) ile de artırılabilir. Bu maddeler taze betonun vizkozitesini artırarak ayrışmayı (terleme dahil) azaltan, betonun kararlılığının bozulmamasını sağlayan ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalmasını gerçekleştiren maddelerdir. VAK'lar nişasta ve doğal zamk (sakız) gibi doğal, ayrılmış nişasta, selüloz eter türevleri (hidroksipropil metil selüloz gibi) yarı sentetik, ve etilen kökenli (polietilen oksit gibi) ve vinil kökenli (polivinil alkol gibi) sentetik polimerler olabilirler [7].

Geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB'da da kullanılabilir, ancak maksimum agrega boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür ve genellikle 20 mm'nin altında kalır. Ayrıca geleneksel betondan farklı olarak kum oranı artmış, buna karşılık iri agrega miktarı azaltılmıştır.

1.3. Deney Yöntemleri

1.3.1.Çökme Yayılma Deneyi

Alman Standardı DIN 1048'de yer alan çökme konisi kullanılabileceği gibi klasik çökme konisinden (düz ya da ters konumda) de yararlanılabilir (Şekil 1.).Bu deney ile betonun 50 cm çaplı daireye ulaşmaya kadar geçen süre ölçülerek yayılma hızı belirlenebilir. Ayrıca toplam yayılma süresi ve miktarı (çap olarak) ölçülebilir.

1.3.2.V-Huni Akış Deneyi

Bu deney betonun dar bir aralıktan geçiş yeteneğini ve viskozitesini ölçmeye yöneliktir. Huni taze beton ile doldurulduktan sonra alt uçtaki kapak açılarak akış başlatılır. Üstten bakıldığında alttan ışık geçmeye başladığı ana kadar geçen süre ölçülür (Şekil 2.).

1.3.3. L – Şeklinde Kutu Deneyi

Bu alet kare kesitli kutu şeklinde bir bölüm ile bunun önünde yer alan bir yatay platformdan oluşmaktadır (Şekil 3.). Kutunun alt kısmında bulunan açıklığa 12 mm çaplı ve 34 mm aralıklı 3 adet çelik çubuk (donatı) yerleştirilmiştir. Başlangıçta açıklık bir kapak ile kapatılmıştır. Kutu taze beton ile doldurulduktan sonra, kapak yukarıya çekilir ve beton donatılar arasından geçerek platform üzerinde akmaya başlar. 200 mm ve 400 mm lik uzaklıklara ulaşma süreleri ayrı-ayrı ölçülür. Ayrıca betonun kutu içinde kalan bölümünün ve en uçtaki (platformda) bölümünün yükseklikleri ölçülür. Bu deney

etkileri incelenmiştir. Seçilen 3 farklı çimento ve tek tip uçucu kül kullanılarak betonlar üretilmiş ve hazır beton ve prefabrik sektörleri için geliştirilen katkılarla aralarındaki çimento-katkı uyumları incelenmiştir.

2.DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1.Malzemeler

2.1.1. Agregalar

İnce malzeme olarak doğal kum (öz. ağı. =2,63 kg/dm³) ve kırma kum (öz. ağı. =2,62 kg/dm³), ve iri agrega olarak en büyük tane boyutu 20 mm olan kalker esaslı 1 nolu kırmataş (öz. ağı. =2,70 kg/dm³) kullanılmıştır. Agrega karışımına, doğal kum, kırma kum ve 1 nolu kırmataş sırasıyla %30, %30 ve %40 oranlarında katılmışlardır.

2.1.2. Çimentolar

Tüm deneylerde, PÇ 42,5 sınıfında (CEM I, TS-EN 197-1) üç farklı fabrikanın ürünü olan ve C1,C2 ve C3 ile gösterilen Normal Portland çimentoları kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

	C1	C2	C3	TS 19	Uçucu Kül
Kimyasal Bileşim (%)					
Al ₂ O ₃	4,16		4,73		14,15
MgO	1,08	1,65	0,92	< %5	1,33
K ₂ O		0,62	0,81		
SO ₃	2,74	2,98	2,56	< %3,5	0,56
Çözünmez Kalıntı	0,71		0,49	< % 1,5	
Kızdırma Kaybı	2,41	1,95	1,39	< %4	
Serbest CaO	1,07	0,73	1,2		
Mineralojik Bileşim (%)					
C ₃ S	55,19	54,60	60,57		
C ₃ A	4,92	8,49	6,26		
Fiziksel Özellikler					
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3569	3290	3560	>2800	3521
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,18	3,17	3,13		1,99
Priz Başlama ve	03:11	03:00	02:30	>01:00	
Sona Erme (sa:dak)	04:43	03:30	03:45	<10:00	
Dayanım (28 Gün, MPa)	57,0	54,9	54,5	>42,5	

2.1.3. Uçucu kül

Tunçbilek uçucu külü tüm deneylerde betona katılmıştır. Çimentoların ve kullanılan uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1. de gösterilmiştir.

2.1.4. Kimyasal Katkılar

Deneylerde kullanılan katkıların kimyasal özellikleri Tablo 2. de verilmiştir. Tüm kimyasal katkıları, çimento ağırlığının %1,2'si oranında kullanılmıştır. Kullanılan katkıları polikarboksilat esaslıdır.

Bu çalışmada, farklı kaynaklardan edinilen kendiliğinden yerleşen beton katkılarının taze ve sertleşmiş beton üzerine etkisi ve farklı tip çimentolarla nasıl davrandığı incelendiği için, katkıların kimyasal yapıları üzerinde durulmamıştır.

Beton deneylerinde, bazı katkıların seyreltilmiş çözeltileri, bazılarının birbiri ile karışımı, bazılarının da modifiye edilmemiş şekli kullanılmıştır. Modifiye edilmemiş polimer, üreticisinden temin edilen hali ile seyreltilmeden, birbiri ile karıştırılmadan veya herhangi bir özelliği değiştirilmeden kullanılan polimer anlamındadır. Polimerlerin tanımları üreticilerin beyanına göre yapılmıştır.

Tablo 2. Kimyasal Katkıların Özellikleri

	Viskozite (cp)	Katı Madde (%)	Yorum	Önerilen Uygulama Alanı (°)
A1	26	30,73	Modifiye edilmemiş	Prefabrik
A2	110	33,62	Modifiye edilmemiş	Hazır Beton + Prefabrik
A3	62	40,00	Modifiye edilmemiş	Hazır Beton
A4	84	39,53	Modifiye edilmemiş	Hazır Beton
A5	74	39,65	Modifiye edilmemiş	Hazır Beton
A6	51	29,73	A2+A3 'ün (1:1) karışımı	Hazır Beton
A7	22	38,94	İki farklı polimer karışımı	Prefabrik
A8	23	20,02	A9'un seyreltilmiş hali	Hazır Beton
A9	132	35,47	Modifiye edilmemiş	Hazır Beton + Prefabrik
A10	34	18,00	A9'un seyreltilmiş hali	Hazır Beton
A11	75	37,35	Modifiye edilmemiş	Prefabrik
A12	28	34,53	Modifiye edilmemiş	Hazır Beton
A13	25	59,56	Modifiye edilmemiş	Prefabrik

(°) Üretici firmanın önerisidir.

2.2. Beton Karışım Hesabı

Tüm karışımlarda çimento dozajı 350 kg/m^3 , Tunçbilek uçucu külü 200 kg/m^3 ve katkı dozajı (çimento ağırlığına göre) % 1,2 olarak seçilmiştir. Beton karışım hesabında esas olarak değişken su miktarları ile benzer kıvamda beton üretimi (çökme – yayılma $>60 \text{ cm}$ ve 50 cm 'ye yayılma süresi $<6 \text{ s}$) amaçlanmıştır. Üretilen betonların su/çimento oranları Tablo 3'te gösterilmiştir.

2.3. Deney Programı

Prefabriğe veya hazır beton uygulama alanlarına göre, kendiliğinden yerleşen betonlardan beklenen özellikler değişeceğinden, katkıların beton deneyleri iki ayrı grup halinde yapılmıştır. İlk seride betonun prefabriğe eleman üretiminde kullanımı esas alınarak, katkıların üretilecek betonların erken yaşlarındaki dayanımlarını (1 günlük) yükseltme yetenekleri ana parametre olarak seçilmiştir. İkinci seride ise hazır beton üretiminde kullanım temel alınmış ve betonun yayılma özellikleri ve zamanla değişimi ana parametre olarak seçilmiştir.

2.4. Deney Yöntemleri

2.4.1. Taze Beton Deneyleri

Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların akıcılık özellikleri, Abrams konisi ile yapılan çökme-yayılma deneyinde yayılma çapı (D) ölçülerek belirlenmiştir. Bu deneyde aynı zamanda, betonun 50 cm yayılma yapmasına kadar geçen süre (t_{50}) de gözlemlenerek yayılma hızı hakkında bilgi edinilmiştir. Deneyler beton üretiminden yaklaşık 6 dakika sonra (ani), 30 ve 60. dakikalarda yapılmıştır.

Üretilen betonların hava içerikleri ve birim ağırlıkları TS EN 12350-6-7'ye uygun olarak ölçülmüştür.

2.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretilen betonlardan alınan 15 cm 'lik küp şeklindeki numuneler 1 gün laboratuvar ortamında saklandıktan sonra kalıplarından çıkarılmış, ve deney gününe kadar 20 ± 2 °C de su içinde saklanmışlardır. Numuneler üzerinde 1, 3 ve 7. günlerde basınç deneyi uygulanmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Taze beton her iki seri için yapılan deneylerin sonuçları Tablo 3. de verilmiştir. Bu tabloların incelenmesi sonucu aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

3.1 Hazır Beton Serisi Deney Sonuçları

3.1.1. Taze Beton Deney Sonuçları

a) C2 çimentosu ve uçucu kül kullanılarak üretilen seride, 6.dakikada (ani) ölçülen çökme yayılma deneyinde denenen 9 katkıdan 7 tanesinin (A2,A3,A4,A5,A6,A9,A12) 60 cm veya üstü toplam yayılma değerini sağladığı, 30. ve 60. dakikalarda 5 katkının (A3,A4,A5,A9,A12), bu değeri sağlamaya devam ettiği görülmüştür. (Tablo 4)

b) Beton üretiminden 6 dakika sonra gerçekleştirilen (ani) 50 cm çapındaki alana yayılma süresi ölçümlerinde ise denenen katkılardan 4 tanesinin (A3,A4,A5,A6) 6 s den daha küçük olması gereken bu süreyi sağladıkları belirlenmiştir. 30. dakikada yapılan deneyde ise bu koşulu sağlayan katkıların sayısı 3'e düşmüştür (A3,A4,A5). 60.dakikada istenilen hıza ulaşan katkıların sayısı sadece 2'dir (A3, A4). Bu sonuçlara göre, 60. dakikada çökme-yayılma ve yayılma hızı sınırlarını sağlayan katkı sayısı 2'dir (A3 ve A4).

c) Üretilen betonların W/B oranları, 0,26 ila 0,35 aralığında değişmiş, denenen katkılardan 7 tanesinin (A3,A4,A5,A6,A8,A10,A12) % 3'den fazla hava sürüklediği görülmüştür.

3.1.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

1 Günlük dayanımların 0,6-22,5 MPa, 3 günlük dayanımların 26,0-50,2 MPa, ve 7 günlük dayanımların 37,1-59,6 MPa arasında değiştiği görülmüştür (Tablo 4 ve Şekil 1). C2 çimentosu ile kullanılan A12 katkısının geciktirici etki yaptığı ve 1 günlük dayanımların çok düşük değerde kaldığı görülmektedir. Buna karşılık, 3 katkı (A6, A8, ve A9) ile yapılan karışımlarda 1 günlük dayanımların 20 MPa'nın üzerinde kaldığı, geri kalan katkıların ise 15,4 MPa'nın üzerinde dayanıma sahip oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 5).

Tablo 3. Hazır Beton Serisi Karışımların Taze Beton Özellikleri

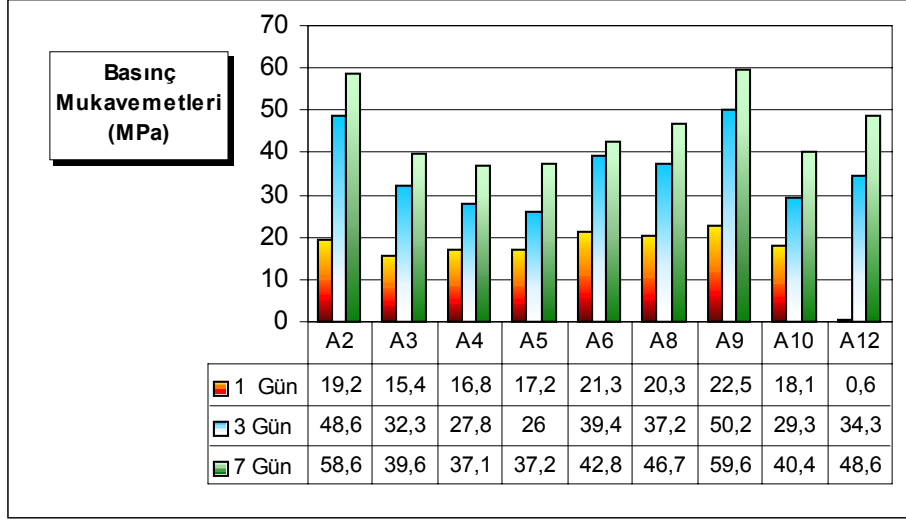
Seri	Kar. No	Katkı	Çim.	W/B	T ₅₀ / T _f / D			Hava (%)	Birim Ağırlık
					0'	30'	60'		
HB	425	A2	C2	0,29	7/36/77	7/42/75	7/45/73	1,1	2378
	528	A3	C2	0,26	5/40/75	4/38/75	6/33/70	>7	2110
	530	A4	C2	0,35	4/15/64	4/33/75	4/40/72	>7	2112
	531	A5	C2	0,33	6/45/74	6/42/73	9/24/60	>7	2169
	434	A6	C2	0,29	6/46/74	13/52	22/29	3,9	2334
	431	A8	C2	0,33	7/44			3,8	2315
	424	A9	C2	0,29	9/49/77	7/57/76	8/48/75	0,8	2381
	432	A10	C2	0,33	5/44			>7	2205
	430	A12	C2	0,30	9/30/61	9/43		3,4	2346
P	496	A1	C1	0,32	9/24/60	11/19/56	12/46	3,6	2306
	493	A2	C1	0,30	9/36/65	12/29/61	15/29/57	3,2	2326
	498	A7	C1	0,33	12/30			3,7	2315
	494	A9	C1	0,30	9/37/67	9/43/65	11/39/63	2,4	2359
	495	A11	C1	0,32	8/27/61	11/19/53	15/44	2,9	2326
	497	A13	C1	0,33	12/52	16/31		>7	2221
	427	A1	C2	0,30	6/32/73	7/20/60	12/52	3,5	2349
	425	A2	C2	0,29	7/36/77	7/42/75	7/45/73	0,8	2378
	429	A7	C2	0,32	8/54	8/54		>7	2219
	424	A9	C2	0,29	9/49/77	7/57/76	8/48/75	0,8	2381
	426	A11	C2	0,29	8/41/73	8/34/66	10/23/59	3,6	2341
	428	A13	C2	0,30	6/12/62	9/42		>7	2135
	421	A1	C3	0,32	5/14/57	16/52	10/48	4,1	2315
	419	A2	C3	0,29	8/49/74	9/52/68	15/48	1,4	2365
	423	A7	C3	0,33	9/49			3,7	2318
	418	A9	C3	0,29	7/50/71	8/51/74	9/54/69	0,9	2339
	420	A11	C3	0,29	9/47/71	12/30/57	16/46	2,7	2354
	422	A13	C3	0,32	5/17/57	11/45		>7	2047

T₅₀: 50 cm' ye yayılma süresi (s), T_f: Toplam yayılma süresi (s), D: çökme-yayılma miktarı (cm), H: Hazır Beton, P: Prefabrik

Tablo 4. Hazır Beton Serisi Karışımlarının Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri

		Katkı Kodu
D >60cm	Ani	A2 ^x ,A3,A4,A5,A6,A9,A12
	30'	A2, A3, A4, A5, A9
	60'	A2, A3, A4, A5, A9
T ₅₀ <6s	Ani	A3,A4,A5,A6
	30'	A3, A4,A5
	60'	A3, A4
W/B Aralığı		0,26-0,35
Dayanım Aralığı (N/ mm ²)	1 Gün	0,6-22,5
	3 Gün	26,0-50,2
	7 Gün	37,1-59,6

^x: Özelliği sağlayan katkılar



Şekil 5. C2 çimentosu ile yapılan hazır beton serisi basınç dayanımı deney sonuçları

3.2 Prefabrik Serisi Deney Sonuçları

3.2.1. Taze Beton Deney Sonuçları

C1 Çimentosu ile yapılan deneyler

a) Tablo 6 incelendiğinde, C1 çimentosu (ve uçucu kül) kullanılarak üretilen seride, 6.dakikada ölçülen çökme yayılma deneyinde denenen 6 katkıdan 4 tanesinin (A1, A2, A9, ve A11) 60cm veya üzerinde toplam yayılma değerini sağladığı, 30. dakikada ise ancak 2 katkının (A2, A9) ve 60. dakikada ise ancak 1 katkının (A9) bu değeri sağlayabildiği görülmüştür (Tablo 5).

b) 50 cm çapındaki alana yayılma süresi ölçümlerinde ise denenen katılardan hiçbirinin 6 s den daha küçük olması gereken bu süreyi sağlayamadıkları belirlenmiştir. Bu durumda denenen katkıların C1 çimentosu ile uyumsuzluk gösterdikleri söylenebilir.

c) Üretilen karışımların W/B oranları 0,30-0,33 olarak gerçekleşmiş, denenen katılardan bir tanesinin (A13) % 4'den fazla hava sürüklediği görülmüştür.

C2 Çimentosu ile yapılan deneyler

a) C2 çimentosu ve uçucu kül kullanılarak üretilen seride, 6.dakikada ölçülen çökme yayılma deneyinde denenen 6 katkıdan 5 tanesinin (A1, A2, A9, A11, A13) 60cm veya üstü toplam yayılma değerini sağladığı, 30. dakikada 4 katkının (A1, A2, A9, A11), 60. dakikada ise 2 katkının (A2, A9) bu değeri sağlamayı sürdürdüğü görülmüştür.

b) 50 cm çapındaki alana yayılma süresi ölçümlerinde ise denenen katılardan iki tanesinin (A1,A13) 6 s den daha küçük olması gereken bu süreyi sağladıkları belirlenmiştir.

c) Üretilen karışımlarda W/B oranları 0,29 ila 0,32 arasında değişmiş, denenen katılardan iki tanesinin (A7, A13) %4'ün üzerinde hava sürüklediği görülmüştür.

C3 Çimentosu ile yapılan deneyler

a) C3 çimentosu ve uçucu kül kullanılarak üretilen seride, 6.dakikada ölçülen çökme yayılma deneyinde denenen 6 katkıdan sadece 3 tanesi (A2,A9,A11), 60cm veya üstü toplam yayılma değerini sağlarken, 30. dakikada bu sayı 2'ye (A2, A9), 60. dakikada ise 1'e (A9) düşmüştür.

b) 50 cm çapındaki alana yayılma süresi ölçümlerinde ise denenen katkılardan iki tanesinin (A1,A13) 6 s den daha küçük olması gereken bu süreyi sağladıkları belirlenmiştir.

c) Üretilen karışımların W/B oranları 0,29 ila 0,33 arasında değişmiş, denenen katkılardan bir tanesinin (A13), %7'den fazla oranda hava sürüklediği görülmüştür.

3.2.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

C1 Çimentosu ile yapılan deneyler

1 Günlük dayanımların 9,7-15,2 MPa, 3 günlük dayanımların 29,1-43,5 MPa, ve 7 günlük dayanımların 37,0-55,3 MPa arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 6.).

C2 Çimentosu ile yapılan deneyler

1 Günlük dayanımların 6,1-22,5 MPa, 3 günlük dayanımların 24,9-50,2 MPa, 7 günlük dayanımların 33,0-59,6 MPa arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 7.).

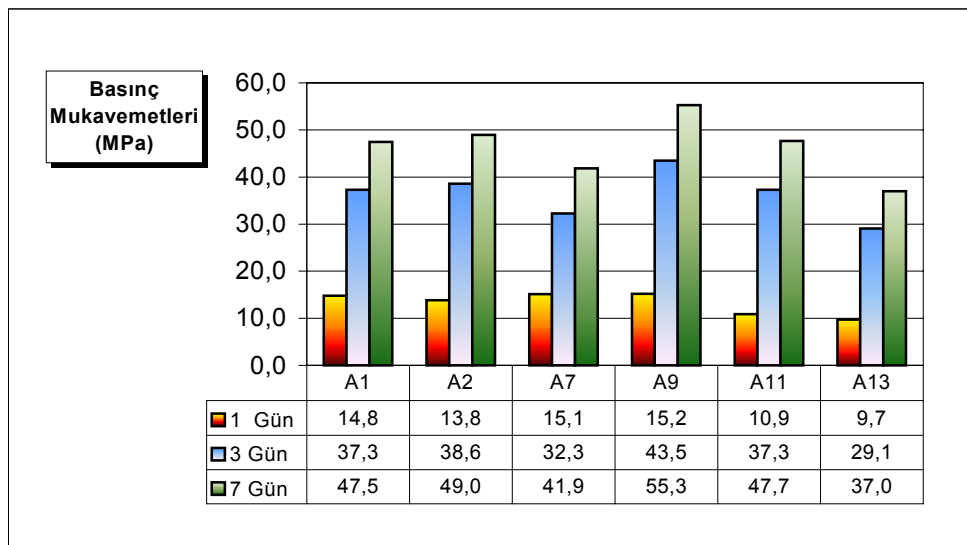
C3 Çimentosu ile yapılan deneyler

1 Günlük dayanımların 15,0-30,4 MPa, 3 günlük dayanımların 24,8-54,5 MPa, 7 günlük dayanımların 28,8-55,3 MPa arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 8.).

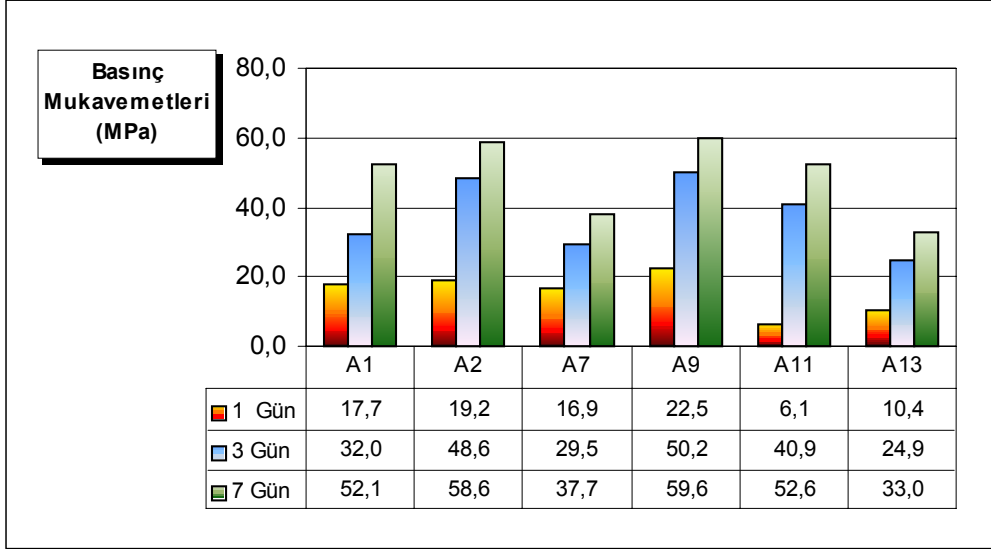
Tablo 5. Prefabrik Serisi Karışımlarının Özellikleri

Çimento Cinsi		C1	C2	C3
D >60cm	Ani	A1 ^x ,A2, A9,A11	A1,A2,A9, A11, A13	A2, A9,A11
	30°	A2,A9	A1,A2, A9, A11	A2 ,A9
	60°	A9	A2, A9	A9
T ₅₀ <6s	<6s	0	A1,A13	A1,A13
W/B Aralığı		0,29	0,29-0,32	0,29-0,33
Dayanım Aralığı (N/ mm ²)	1 Gün	9,7-15,2	6,1-22,5	15,0-30,4
	3 Gün	29,1-43,5	24,9-50,2	24,8-54,5
	7 Gün	37,0-55,3	33,0-59,6	28,8-55,3

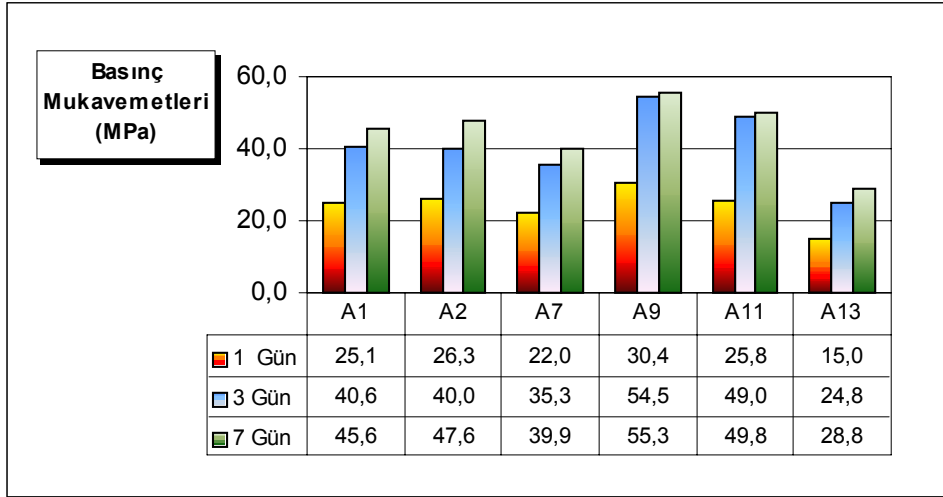
^x : Özelliği sağlayan katkılar



Şekil 6 . C1 çimentosu ile yapılan prefabrik serisi basınç dayanımı ve deney sonuçları



Şekil 7. C2 çimentosu ile yapılan prefabrik serisi basınç dayanımı deney sonuçları



Şekil 8. C3 çimentosu ile yapılan prefabrik serisi basınç dayanımı deney sonuçları

4. GENEL SONUÇLAR

- 1) Hazır beton sektörü için geliştirilen 9 adet KYB katkısından 5 tanesinin denenen çimento (C2) ile 1 saat sonunda istenilen minimum 60 cm yayılmayı sağladığı, yayılma hızları temel alındığında ise, aynı süre sonunda istenilen hızı sağlayabilen katkı sayısının 2'ye indiği görülmüştür.
- 2) Prefabrike sektörü için geliştirilen 6 adet KYB katkıları göz önüne alındığında, 1 saat sonunda istenilen yayılmayı sağlayan katkı sayısının C1 çimentosu için 1, C2 çimentosu için 2 ve C3 çimentosu için 1 tane olduğu anlaşılmıştır. Yayılma hızları temel alındığında ise, istenilen yayılma hızının C1 ve C2 çimentoları için aynı 2 katkı tarafından sağlandığı gözlenmiştir.
- 3) Denenen betonların 1 günlük dayanımlarının hem çimento, hem de katkı cinsinden etkilendiği, ayrıca bazı çimento ve katkıların birlikte kullanılmaları durumunda büyük miktarda hava sürüklendiği ve bunun da dayanımları etkilediği belirlenmiştir.

4) Taze beton özellikleri ve dayanımlar açısından çimento-katkı etkileşmesinin önemli olduğu, bu nedenle uygulamaya geçmeden önce çimento-katkı uyum deneylerinin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

[1] Özkul, M. H., Sağlam, A. R., Parlak, N., Doğan, A., Mutlu, M., Manzak, O., The Usage of Self-Compacting Concrete in Precast Industry, *17th Int. congress of the Precast Concrete Industry, BIBM 2002*, Istanbul.

[2] Semioli, W. J., Self-Placing Concrete, *Concrete International*, Vol. 23, No. 12, 69-72, 2002.

[3] Özkul, M. H., Çimento cinsinin kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisi, Yayınlanmamış çalışma.

[4] Okazawa, S., Umezawa, K., Tanaka, Y., A New Polycarboxylate Based Polymer: Physical Properties of Concrete, *Concrete 2000*, Ed. By R. K. Dhir, M. R. Jones, 1813-1824, 2000.

[5] Ghezal, A., Khayat, H., Optimizing Self-Consolidating Concrete with Limestone Filler by Using Statistical Factorial Design Method, *ACI Materials J.*, Vol. 99, No.3, 264-272, 2002.

[6] Özkul, M. H., Doğan, Ü. A., Çavdar, Z., Sağlam, A. R., Parlak, N., Properties of Fresh and Hardened Concretes Prepared by New Generation Superplasticizers, *Creating with Concrete*, Ed. By R. K. Dhir, Proc. Int. Conf., Dundee, 467-474, 1999.

[7] Kawai, T., Non-Dispersible Underwater Concrete Using Polymers, Marine Concrete, *Int. Conf. On Polymers in Concrete*, 7, England, 1987.

[8] Ozkul, M.H., Doğan, Ü. A., Çavdar, Z., Sağlam, A. R., Parlak, N., “Properties of Fresh and Hardened Concretes Prepared by New Generation Superplasticizers” *Creating with Concrete*, Proc.Int.Conference, Dundee, U.K., 467-74, (1999)

[9] Doğan, Ü.A., “Yeni Kuşak Süperakışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi”, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.

[10] Ozkul, M.H., Doğan, Ü. A., Çavdar, Z., Sağlam, A. R., Parlak, N., “Effects of Self Compacting Concrete Admixtures on Fresh and Hardened Concrete Properties”, *2nd Int. Symp. on Cement and Concrete Technology in the 2000's*, Vol.1, pp.493-502, Sept.6-10, (2000)

[11] Demirtaş, M.,”Yüksek Akışkanlığa Sahip Betonlarda (Kendiliğinden Yerleşen Betonlar) Bileşimin Taze ve Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi“, Y.Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.

[12] Sağlam, A. R., Kendiliğinden Yerleşen Taze Betonun Reolojisi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.