

# **POLİKARBOKSİLAT ESASLI KİMYASAL KATKILARIN BETON ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

**Ali Raif SAĞLAM**  
Dr. İnş. Yük.Müh.  
Teknik Servis Sorumlusu  
Sika Yapı  
Kimyasalları A.Ş.

**Nazmiye PARLAK**  
Kim. Müh.  
Ar-Ge K. Kont. Md.  
Sika Yapı  
Kimyasalları A.Ş.

**M.Hulusi ÖZKUL**  
Prof. Dr  
Yapı Malz. A.B.Dalı  
İTÜ İnşaat Fakültesi

## **ÖZET**

Özellikle kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimine olanak sağlamaları nedeni ile tanınan polikarboksilat esaslı katkıları, son yıllarda hazır beton ve prefabrik beton sektöründe geleneksel beton üretiminde de gittikçe artan bir oranda kullanılmaya başlanmıştır.

Son yıllarda beton teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak katkı sektöründe farklı amaçlar için farklı bileşimlerde katkıları, benzer şekilde çimento sektöründe de farklı çimentolar üretilmektedir. Bu nedenle, beton üretiminde kullanılan çok sayıdaki çimento ve katkıların uyumlu olmaları önem taşımaktadır. Bu çalışmada, farklı kimyasal yapı ve özelliklerdeki polikarboksilat esaslı katkıları, betona kazandırdıkları işlenebilirlik ömrü ve erken dayanım özellikleri temel alınarak beton sektöründe kullanımları açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla, polikarboksilat esaslı 6 farklı süperakışkanlaştırıcı katkı ve 3 farklı fabrikanın ürünü olan CEM I 42,5 ve bir adet CEM II 42,5 çimentoları (4 farklı çimento) kullanılarak üretilen çimento hamuru ve betonların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri belirlenmiş ve bu karışımlarda çimento-katkı uyumu incelenmiştir.

## **1.GİRİŞ**

Son yıllarda yurdumuzda hazır beton sektörünün gelişimine paralel olarak projelerde kullanılan beton sınıfları yükselmiştir. TS EN 206 Standardının uygulamaya konulması ile birlikte beton dayanımı yanında çevre etki

sınıflarının da göz önüne alınması zorunluluğu gelmektedir. Bu durum dayanıklılığa göre tasarım ilkesini ön plana çıkarmakta, ve daha düşük su/çimento oranlarında ve daha yüksek dayanımlı betonların üretimini zorunlu kılmaktadır; bu ise süper akışkanlaştırıcı katkıların (SA) kullanımını artırmaktadır.

Türkiye’de özellikle yaz aylarında hava sıcaklığının artmasının etkisi ile hazır beton sektöründe beton kıvamının korunmasında zorluklarla karşılaşmakta, çözüm olarak şantiyede akışkanlaştırıcı katkının betona yeniden katılması veya kontrolsüz şantiyelerde betona ilave su katılarak kıvam ayarlamaları denenmektedir. Birinci uygulamada ilave katkının miktarının iyi ayarlanması ve katkı katılmasından sonra betonun iyi bir şekilde karıştırılması gerekmektedir.

Öte yandan prefabrik sektöründe kullanılan betonlarda istenen temel özellik amaçlanan erken (saat mertebesinde) dayanıma olabildiğince az buhar kürü uygulayarak ulaştırılması ve betonu yerleştirme amacı ile kullanılan vibrasyon süresinin azaltılmasıdır.

Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkıları (SA) taze betonun işlenebilirliğini artırmak amacı ile kullanılırlar. TS EN 934-2 Standardına [1] göre bir akışkanlaştırıcı katkının SA sınıfına girebilmesi için eşit kıvamda kontrol betonuna göre en az %12 oranında su azaltması, eşit su/çimento oranında hazırlanan betonlarda ise başlangıç 30 mm olmak üzere çökme değerini en az 120 mm artırması gerekmektedir.

Melamin, naftalin ve linyosülfonat esaslı SA’lar dışında son yıllarda polikarboksilat esaslı SA’lar geliştirilmiştir. Tarağa benzer yapıda (graft) olan polikarboksilat polimerleri, bir ana omurga ve bu omurgaya karboksilik ve/veya sulfonik gibi iyonik gruplar ile polialkilenoksit gibi iyonik olmayan grupların yan zincir olarak bağlanmasıyla oluşur [2]. Bu omurganın uzunluğunun değişmesiyle, yan zincirleri oluşturan iyonik grupların içeriğinin, miktarının ve uzunluğunun değiştirilmesiyle farklı özellikte polikarboksilat polimeri geliştirmek mümkündür. Geleneksel SA’lar çimento taneleri üzerine birikerek aynı işaretli iyonlarla yükleyip iyonik itki ile akışkanlık sağlarken yeni kuşak SA’lar (karboksilat esaslı) bu itkinin yanı sıra doldurma etkisi (sterik etki) ile de akışkanlık sağlamaktadır. Yan zincirlerdeki iyonik grupların, iyonik kuvvetine, molekül yapısına ve ağırlığına göre, elektrostatik itme ve sterik etkiyi artırması beklenir.

Genel olarak kimyasal katkıların, özel olarak SA’ların bazı çimentolar ile uyumsuzluk gösterdiği bilinmektedir. Çimento-katkı uyumsuzluğu taze

betonun erken katılaşması ya da tam tersine priz sürelerindeki aşırı gecikme şeklinde gözlenebilir. Ayrıca uyumsuzluk nedeni ile katkı dozajı artırıldığında ayrışma ve aşırı terleme de oluşabilir. Uyumsuzluğa bağlı olarak hava sürüklenmiş betonlarda hava kabarcıklarının kararlılığı da bozulabilir [3].

Çimento-SA uyumsuzluğu çimentoya ve SA'ya bağlı etkenler olarak ikiye ayrılabilir. Çimentoya bağlı etkenler olarak  $C_3A$  içeriği, serbest kireç miktarı, alkali içeriği, çimento toplam yüzey alanı (inceliği), kalsiyum sülfatın tipi sayılabilir [4]. SA'ya bağlı etkenler içinde kimyasal bileşimi, molekül ağırlığı, beton karışımına katılış şekli ve sırası önem kazanmaktadır. Bunların dışında agrega tipi ve oranı, su/çimento oranı, sıcaklık ve kür koşullarının da uyum üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir [3].

Bonen ve Sarkar [5], polinaftalin sülfonat esaslı SA ile değişik tipteki çimentoları denemiş ve çimento inceliği,  $C_3A$  içeriği ve etrenjit oluşumu ile SA molekül ağırlığının SA'nın çimento taneleri üzerinde adsorbe olması, iyonsal dayanımın ise kıvam kaybı üzerinde etkili oldukları sonucuna varmışlardır.

Bhatty [6], ısıl analiz yöntemi kullanarak, sülfonlanmış melamin formaldehid esaslı SA'nın çimento bileşenlerinden olan  $C_3A$  ve  $C_3S$ 'in hidrasyonunu geciktirdiğini ve aynı zamanda  $C_3A$ 'nın sülfatlarla etrenjit oluşturduğu reaksiyonu hızlandırdığını belirtmiştir.

Melamin bazlı SA kullanılarak üretilen betonda 200 donma-çözülme çevrimi sonunda oluşan dayanım düşüklüğü ortaya çıkan hidrasyon ürünlerindeki bünye suyu miktarının yüksekliğine bağlanmıştır [4]. Aynı çalışmada SA'ların çimento hidrasyon ürünlerinin morfolojisini değiştirdikleri ve özellikle etrenjit kristallerinin boylarını ve kalınlıklarını etkilediği belirtilmiştir. Grierson ve Maharaj [7] linyosülfonatların hidrasyonu geciktirdiğini ve etrenjit morfolojisini değiştirdiğini gözlemişlerdir.

Agarwal ve diğ. [8] naftalin, melamin ve linyosülfonat esaslı SA'ları normal ve puzolanlı Portland çimentoları ile denemiş ve katkı üreticisinin önerdiği katkı oranlarında bile gecikme gözlendiğini kaydetmişlerdir.

Mäder ve diğ. [9] 3 farklı polikarboksilat esaslı polimeri SA olarak kullanmışlardır. Denenen SA'lardan birinci tipinin kuvvetli iyonik özellikte olduğu, hızlı bir şekilde çimento taneleri üzerine adsorbe oldukları ve buna bağlı olarak erken akıcılık özelliğinin yüksek olduğu belirtilmiştir. İkinci tipinde ise iyonik özellik daha düşük olduğundan başlangıçtaki akıcılık da düşük düzeyde kalmakta, ancak daha ileri sürelerde çimentonun hidrasyon ürünleri üzerine adsorbe olmaktadır. Son tip SA'da ise poliakrilik esaslı

polimer kullanılmış ve yan gruplar akrilik esterler üzerinden ana moleküle bağlanmıştır. Bu tip SA'lar başlangıçta akıcılık ve yayılma üzerine az etki yapmakla birlikte, zamanla bazik ortamda (çimento da böyle bir ortamdır) iyonik özellikleri artarak adsorbe olma potansiyelleri yükselir ve böylece uzun süreli işlenebilirlik sağlanmış olur.

Nkinamubanzi ve Aitcin [10] polisulfonat, polikarboksilat ve polifosfonat esaslı SA ve değişik oranlarda alkali ve sülfat içeren çimentolarla ürettikleri şerbetler (grout) üzerinde katkı doygunluk derecesi, ve betonlarda ise başlangıçtaki çökme, çökme koruma, ve diğer taze beton özelliklerini katkı-çimento uyumu açısından karşılaştırmışlardır. Polisulfonat esaslı SA'ların yüksek alkalili ve yeterli oranda çözünebilir sülfat içerikli çimentolarla uyumlu oldukları, buna karşılık polikarboksilat esaslı SA'ların çimentodaki alkali ve sülfat miktarına daha az duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Polifosfonat esaslı SA'da ise erken çökme daha düşük (160 mm) olmakla birlikte çok başarılı kıvam koruma özelliği gösterdiği belirtilmiştir.

## 2.AMAÇ

Kendiliğinden yerleşen betonlarda polikarboksilat esaslı SA'ların, yurdumuzda üretilen bazı çimentolarla uyumsuzluk gösterdiği belirlenmişti [11]. Polimerlerin beklenen davranışlarını gerçekleştirilme olasılıkları çimentonun tipi ile de ilgilidir. Bu çalışmada, betona çeşitli fonksiyonlar kazandırmak amacıyla geliştirilen polikarboksilat katkıların (6 farklı polimer) birbirlerine göre karşılaştırılmaları yapılırken, aynı polimerlerin farklı fabrika ürünü olan üç CEM I ve bir CEM II çimentosu ile uyum davranışları da ele alınmıştır.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 3.1.Malzemeler

#### 3.1.1. Agregalar

İnce malzeme olarak iki ayrı doğal kum (öz. ağı. = 2,62 ve 2,57 kg/dm<sup>3</sup>), kırma kum (öz. ağı. =2,66 kg/dm<sup>3</sup>), ve iri agrega olarak en büyük tane boyutu 20 mm olan 2 nolu kırmataş (öz. ağı. = 2,70 kg/dm<sup>3</sup>) ve 1 nolu kırmataş (öz. ağı. =2,70 kg/dm<sup>3</sup>) kullanılmıştır. Agrega karışımına, iki farklı doğal kum, kırma kum ve 1 nolu kırmataş sırasıyla % 10, % 15, % 25, % 25 ve % 25 oranlarında katılmışlardır.

Tablo 1. Çimentonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

	C1	C2	C3	C4	TS EN 197-1
Kimyasal Bileşim (%)					
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.23	5.05	5.45	4.73	
MgO	0.97	1.44	1.12	1.62	
K <sub>2</sub> O	0.57	0.59	0.80	0.58	
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.16	0.21	0.19	
Toplam Alkali	0.47	0.55	0.74	0.57	
SO <sub>3</sub>	2.44	2.36	2.71	2.28	< %3,5
CaO	64.17	63.33	63.64	61.48	
SiO <sub>2</sub>	20.39	19.42	20.18	19.98	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.65	2.72	3.42	2.69	
Kızdırma Kaybı	2.40	3.33	1.70	5.00	< % 5
Serbest Kireç	1.01	0.90	1.07	0.81	
Toplam	98.91	98.40	99.23	98.55	
Mineralojik Bileşim (%)					
C <sub>3</sub> S	61.52	61.98	52.08		
C <sub>2</sub> S	12.07	8.95	18.59		
C <sub>3</sub> A	5.03	8.78	8.66		
C <sub>4</sub> AF	11.11	8.28	10.41		

### 3.1.2. Çimentolar

Tüm deneylerde, üç adeti CEM I 42,5R ve bir adeti CEM II/A-M 42,5R sınıfında (TS-EN 197-1) üç farklı fabrikanın ürünü olan ve C1, C2, C3 ve C4 olarak gösterilen çimentolar kullanılmıştır (Tablo 1).

### 3.1.3. Kimyasal Katkılar

Deneylerde kullanılan katkıların tümü polikarboksilat esaslıdır ve özellikleri Tablo 2. de verilmiştir. Tüm kimyasal katkıları deneylerde çimento ağırlığına oranla kullanılmıştır. Beton deneylerinde, katkıların seyreltilmiş çözeltileri kullanılmış hava sürüklemelerinin önlenmesi için her birine eşit oranda köpük kesici ilave edilmiştir.

Tablo 2. Kimyasal Katkıların Özellikleri

Yapılan Testler	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6
Yoğunluk	1,0822	1,0812	1,0837	1,0870	1,0825	1,0830
pH	4,38	3,94	3,95	5,32	4,32	3,99
Katı Madde (%)	40,03	39,58	39,57	39,61	39,15	39,35

### 3.2. Deney Programı

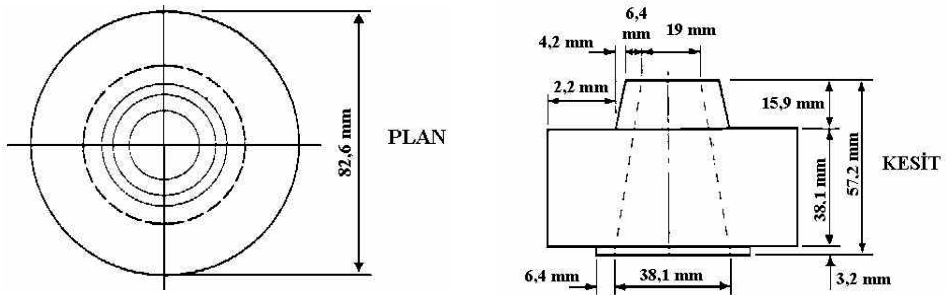
Polikarboksilat esaslı katkıların davranışları çimento hamuru ve beton üzerinde ele alınmıştır. Her seride 4 ayrı çimento ile 6 farklı katkı test edilmiş, aralarındaki çimento-katkı uyumları incelenmiştir. Deneylerde kullanılan yöntem aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.2.1. Çimento Hamuru Deneyleri

Çimento hamurlarında su/çimento oranı 0,35 ve katkı/çimento oranı %0,35 olarak kullanılmıştır. Hamurlar üzerinde boyutları Şekil 1.'de verilen Kantro mini slump konisi yardımı ile yapılan yayılma deneyinde, yayılma çapı (D) ölçülmüştür. Deneyler hamur üretiminden yaklaşık 5 dakika sonra (ani) ve 60. dakikalarda yapılmıştır.

#### 3.2.3. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretilen betonların işlenebilirlik özellikleri, TS EN 12350-2'de tanımlanan Abrams konisi ile yapılan çökme deneyinde belirlenmiştir. Deneyler beton üretiminden yaklaşık 6 dakika sonra (ani), 30 ve 60. dakikalarda yapılmıştır. Tüm karışımlarda çimento dozajı  $320 \text{ kg/m}^3$ , su/çimento oranı 0,45 ve katkı/çimento oranı % 1 olarak seçilmiştir. Beton deneylerinde esas olarak aynı su miktarları ile üretilen betonların kıvamlarının değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen betonların hava içerikleri ve birim ağırlıkları TS EN 12350-6 ve 7'ye uygun olarak ölçülmüştür. Üretilen betonlardan alınan 15 cm 'lik küp şeklindeki numuneler 1 gün laboratuvar ortamında saklandıktan sonra kalıplarından çıkarılmış, ve deney gününe kadar  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  de su içinde saklanmışlardır. Numuneler üzerinde 1 ve 7. günlerde basınç deneyi uygulanmıştır.



Şekil 1. Kantro Minislump Konisi

#### 4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Tablo 3 de betonlar üzerinde taze ve sertleşmiş halde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları verilmiştir. Aşağıda bu sonuçlar irdelenecektir.

##### 4.1. Taze Beton ve Çimento Hamuru Deney Sonuçları

Tablo 4 ve Şekil 1 de Tablo 3 den yararlanılarak betonlar üzerinde başlangıçta ölçülen çökme değerleri gösterilmiştir. Tablo 4 de en az 15 cm ve üzerinde çökme gösteren betonlar başarılı olarak tanımlanmıştır. SA5 katkısı dışındaki katkıların denenen çimentolarla başlangıç değerleri açısından genel olarak başarılı (SA4 katkısı C3 çimentosu ile 13,5 cm çökme vermiştir) oldukları görülmektedir. SA5 katkısı ise C3 ve C4 (CEM II) çimentoları ile başlangıçta düşük çökme değerleri sergilemiştir.

Tablo 5 ve Şekil 2 de verilen 30. dakikada yapılan çökme deneyi sonuçları incelendiğinde C1 ve C4 çimentolarının tüm katkı tiplerinde kıvamlarını korudukları, C3 çimentosunun ise SA1 dışındaki katkılarda fazla kıvam kaybına uğramadıkları anlaşılmaktadır. C3 ve C4 çimentolarının SA5 ile başlangıçta düşük olan kıvamlarının 30. dakikada sırası ile 21,5 ve 19,5 cm değerlerine çıktığı görülmektedir.

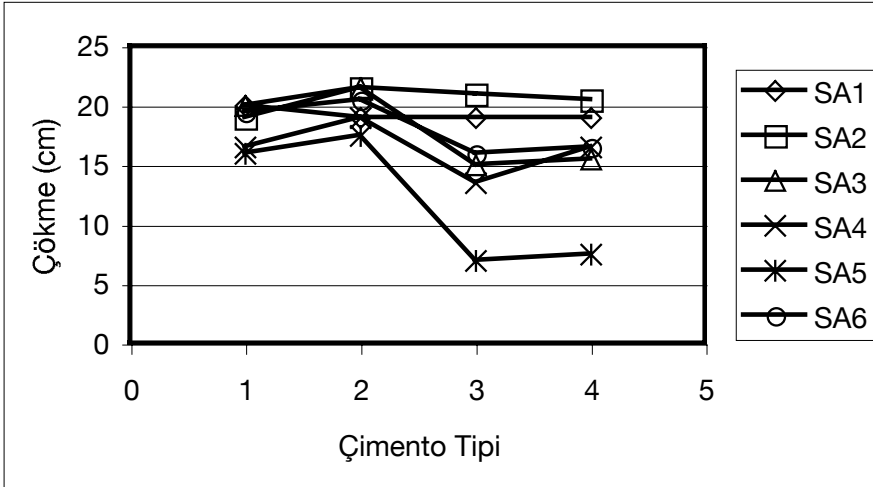
Tablo 3. Beton Deneyi Sonuçları

Katkı	Çökme (cm)			Çökme Kaybı	Hava (%)	T.H.B.Ağ. (kg/m <sup>3</sup> )		Dayanım (MPa)		Açıklama		
	5'	30'	60'			5'-60'	0'	5'	60'	1	7	0'
C1	SA1	20	20	5,5	14,5	1,5	2434	2326	17,5	44,9	var	yok
	SA2	19	21,5	18	1	1,8	2423	2345	18	43,9	var	yok
	SA3	20	18,5	16	4	2,8	2403	2299	15,9	43,7	yok	yok
	SA4	16,5	18	16	0,5	3	2397	2369	16,4	40,6	Yok	yok
	SA5	16	20,5	9	7	2,8	2405	2293	18	41,8	Yok	yok
	SA6	19,5	21	6,5	13	2,7	2412	2350	16	40,8	Yok	yok
C2	SA1	19	4	2	17	2,5	2405	2357	19,4	40,3	Var	yok
	SA2	21,5	13	9,5	12	2	2411	2382	17,5	40,9	Var	yok
	SA3	21,5	18	9,5	12	3,2	2395	2330	13	43,2	var	yok
	SA4	19	11	8,5	10,5	3,4	2386	2321	14,5	31	Yok	yok
	SA5	17,5	18	7	10,5	3,4	2388	2283	15,6	37	Yok	yok
	SA6	20,5	13	6,5	14	3	2397	2328	16,2	40,2	var	yok

C3	SA1	19	9	3,2	15,8	2,2	2402	2360	23,3	39,7	Yok	yok
	SA2	21	19,5	18	3	2,1	2424	2366	24,7	43,1	az var	yok
	SA3	15	16	16	-1	3,5	2394	2289	21,1	39,2	Yok	yok
	SA4	13,5	15,5	15,5	-2	3,5	2396	2290	22,3	38,5	Yok	yok
	SA5	7	21,5	18	-11	3,2	2407	2317	20,6	39,4	Yok	yok
	SA6	16	19,5	17	-1	3	2409	2256	20,5	41,7	Yok	yok
C4	SA1	19	17	6,5	12,5	2,2	2420	2390	19,4	45,4	Yok	yok
	SA2	20,5	19	16,5	4	1,8	2429	2379	18,4	39,8	Var	yok
	SA3	15,5	17,5	16	-0,5	3,1	2396	2344	16,5	42	Yok	yok
	SA4	16,5	15	13	3,5	3,1	2399	2362	18,3	39,9	Yok	yok
	SA5	7,5	19,5	14	-6,5	3,3	2400	2338	17,6	39,1	Yok	yok
	SA6	16,5	17	4	12,5	3,4	2398	2358	19,7	41,9	Yok	yok

Tablo 4. Betonlarda başlangıçtaki çökme değerleri (cm).

Çimento cinsi	Katkı cinsi						Başarılı katkı
	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	
C1	20	19	20	16,5	16	19,5	6/6
C2	19	21,5	21,5	19	17,5	20,5	6/6
C3	19	21	15	13,5	7	16	4/6
C4	19	20,5	15,5	16,5	7,5	16,5	5/6
Başarılı çimento	4/4	4/4	4/4	3/4	2/4	4/4	



Şekil 1. Başlangıçta ölçülen çökme değerlerinin çimento ve katkı cinsine bağlı değişimi.

60. dakikada gerçekleştirilen beton çökme deney sonuçları Tablo 6 ve Şekil 3 de verilmiştir. Bu süre sonunda SA1 katkısının hiçbir çimento ile kıvamını koruyamadığı, SA5 ve SA6'ların ise C3 çimentosu dışındaki çimentolarla

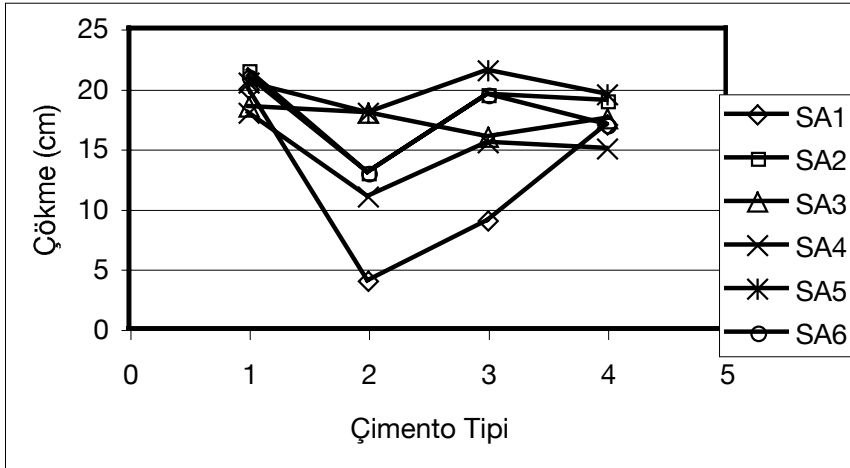


yüksek kıvam kaybına uğradıkları görülmektedir. SA1 ve SA2 katkıları ise bu sürenin sonunda sadece C2 çimentosu ile uyumsuzluk gösterip hızlı kıvam kaybına uğramıştır. SA4'ün C2 çimentosu yanında C4 çimentosu (CEM II) ile de çökme kaybı gösterdiği, ancak bu sonuncu çimento ile olan çökme değerinin 13 cm düzeyinde olduğu anlaşılmaktadır.

60. dakikadaki kıvam kayıpları çimento açısından ele alındığında ise en uyumlu çimento C3 çimentosu (başarı oranı 5/6) olurken, C2 çimentosunun en uyumsuz (0/6) olduğu ve denenen tüm katkı tiplerinde hızlı kıvam kaybına uğradığı gözlenmektedir. Bu çimento Tablo 1 de verilen kimyasal bileşimi açısından incelendiğinde denenen diğer CEM I çimentolarından alkaliler ve  $C_3A$  miktarları açısından fazla farklı olmadığı, ancak  $SO_3$  oranının küçük miktarda düşük kaldığı gözlenmektedir. C2 çimentosunun diğer iki CEM I çimentosundan belirgin biçimde farklı olduğu nokta ise kızdırma kaybının bu çimentoda daha fazla olmasıdır. Ancak, literatürde çimento-katkı uyumu açısından kızdırma kaybının etkisine değinilmemiştir.

Tablo 5. Betonlarda 30. dakika çökme değerleri (mm).

Çimento cinsi	Katkı cinsi						Başarılı katkı
	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	
C1	20	21,5	18,5	18	20,5	21	6/6
C2	4	13	18	11	18	13	2/6
C3	9	19,5	16	15,5	21,5	19,5	5/6
C4	17	19	17,5	15	19,5	17	6/6
Başarılı çimento	2/4	3/4	4/4	3/4	4/4	3/4	

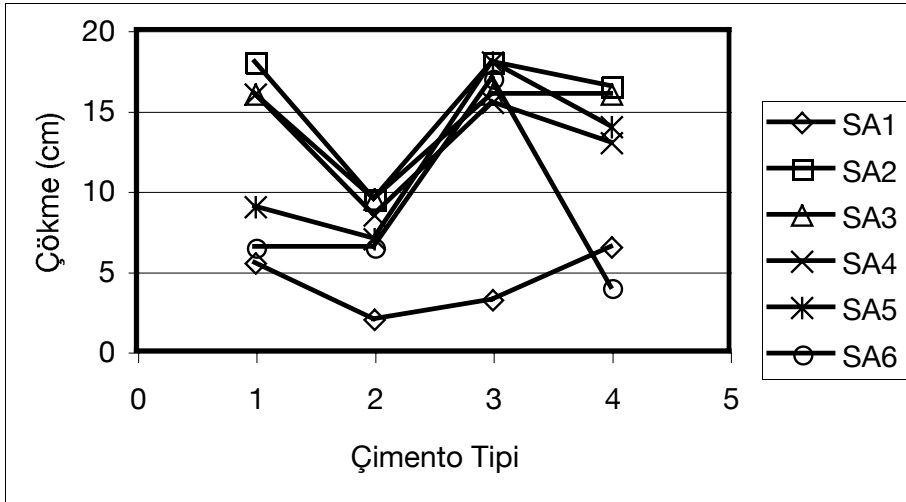


Şekil 2. 30. dakikada ölçülen çökme değerlerinin çimento ve katkı cinsine bağlı değişimi.

Tablo 3 den SA5'in C3 ve C4 çimentolu betonlarda başlangıçta 7 ve 7,5 cm lik çökme verirken, 30. dakikada bu değerlerin 21,5 ve 19,5 cm ye ulaştığı, 60. dakikada ise sırası ile 18 ve 14 cm de kaldığı anlaşılmaktadır. SA5'in C3 ve C4 çimentoları ile sonradan adsorbe olma özelliği nedeniyle uzun süre kıvam korudukları söylenebilir [9].

Tablo 6. Betonlarda 60. dakika çökme değerleri (mm).

Çimento cinsi	Katkı cinsi						Başarılı katkı
	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	
C1	5,5	18	16	16	9	6,5	3/6
C2	2	9,5	9,5	8,5	7	6,5	0/6
C3	3,2	18	16	15,5	18	17	5/6
C4	6,5	16,5	16	13	14	4	2/6
Başarılı çimento	0/4	3/4	3/4	2/4	1/4	1/4	



Şekil 3. 60. dakikada ölçülen çökme değerlerinin çimento ve katkı cinsine bağlı değişimi.

Süperakışkanlaştırıcı katkıların çimento taneleri ya da çimento hidratasyon ürünleri üzerine adsorbe olma süreleri kıvam ve kıvam koruma özelliklerini etkilemektedir. Çimento taneleri üzerine hızlı bir şekilde adsorbe olanlar başlangıçtaki akışkanlığı artırırken ileri sürelerde bu özelliklerini koruyamamaktadır [8]; SA1 katkısı tüm çimentolarla bu davranışı sergilemiştir. Bazı katkıların başlangıçta düşük adsorbe olma özellikleri nedeni ile düşük kıvam verdikleri, ancak ileri sürelerde hidratasyon ürünleri üzerine adsorbe olarak kıvamı artırdıkları bilinmektedir; SA5'in C3 ve C4 çimentoları ile bu şekilde davrandığı söylenebilir. Diğer bir tür katkıların ise açıklanan her iki

özelliği de bir arada gösterdikleri, bu nedenle hem başlangıçta hem de uzun süre sonra yüksek akışkanlık sergiledikleri anlaşılmaktadır. SA2, SA3 ve SA4 katkılarının C2 dışındaki çimentolarla genel olarak bu özellikte olduğu gözlenmiştir.

Çimento hamuru üzerinde elde edilen ve Tablo 7 de verilen deney sonuçları incelendiğinde betonlar üzerinde ölçülen sonuçları bire-bir yansıtmadığı görülmektedir. Örneğin C1 çimentosu hamuru tüm katkı ile 60. dakikanın sonunda da kıvam koruma özelliği sergilerken aynı çimento ile üretilen betonlarda 3 katkıda hızlı kıvam kaybı yaşanmıştır. Benzer şekilde, çimento hamuru sonuçlarına göre yüksek kıvam ve kıvam koruma açılardan C2 çimentosu C3 çimentosuna göre daha iyi durumda görünürken, beton sonuçlarına göre C2 çimentosunun hiçbir katkı ile başarılı olamadığı, C3 çimentosunun ise denenen 6 katkıdan 5'inde başarılı olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak katkı-çimento uyumunun çimento hamuru sonuçlarına dayanarak tahmin edilmesinin zor olduğu değerlendirilebilir.

Tablo 7. Çimento Hamuru Deney Sonuçları

Çimento	Katkı	Yayıma			Açıklama
		5' (mm)	60' (mm)	Fark (%)	
C1	SA1	171	180	105	Su kuma 5'az, 60' daha fazla.
	SA2	195	190	97	Su kuma var.Yayıma, şekil asimetrik
	SA3	165	167	101	Su kuma çok az.
	SA4	145	147	101	Su kuma yok
	SA5	120	150	125	Su kuma yok
	SA6	146	180	123	Su kuma 5' yok, 60' hafif var
C2	SA1	185	162	88	Su kuma 5' var, 60' yok
	SA2	185	170	92	Su kuma 5' var, 60'yok
	SA3	137	140	102	Su kuma 5'-60' yok
	SA4	124	125	101	Su kuma 5'-60' yok
	SA5	114	145	127	Su kuma 5'-60' yok
	SA6	137	140	102	Su kuma 5'-60' yok
C3	SA1	120	140	117	Su kuma 5'-60' yok
	SA2	123	125	102	Su kuma 5'-60' yok
	SA3	100	110	110	Su kuma 5'-60' yok
	SA4	95	95	100	Su kuma 5'-60' yok. Karıştırıcı izi kalıyor
	5	70	121	173	Su kuma 5'-60' yok. Karıştırıcı izi kalıyor
	K6	107	132	123	Su kuma 5'-60' yok. Karıştırıcı izi kalıyor

C4	K1	125	121	97	Su kusma 5'-60' yok
	K2	143	148	103	Su kusma 5'-60' yok
	K3	110	117	106	Su kusma 5'-60' yok
	K4	104	112	108	Su kusma 5'-60' yok
	K5	93	117	126	Su kusma 5'-60' yok
	K6	110	117	106	Su kusma 5'-60' yok

#### 4.2. Sertleşmiş Beton Deneyi Sonuçları

Betonların 1 ve 7 günlük basınç dayanımları Tablo 3 de toplu olarak gösterilmiştir. Genel olarak sonuçların  $\pm$  %10 oranında birbirlerinden fark ettikleri gözlenmektedir. En düşük 1 günlük dayanımları SA3, SA4 ve SA5 katkıları C2 çimentosu ile vermişlerdir. C2 çimentosu, önceki bölümde belirtildiği üzere, taze betonun kıvam deneylerinde de uyumsuzluk göstermişti. Aynı katkıların aynı çimento (C2) ile 7 günlük dayanımları incelendiğinde SA3 ve SA5 katkılı betonların diğer katkı-çimento kombinasyonları arasında en düşük dayanımı verdiği, SA4 katkısının ise 7. günde toparlayarak diğer katkılarla arasındaki farkı kapattığı belirlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

- 1) Denenen bazı çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkıları arasında çimento-katkı uyumsuzluğuna rastlanmıştır. Taze betonda bu uyumsuzluk genel olarak hızlı kıvam kaybı şeklinde ortaya çıkmıştır.
- 2) Denenen 3 CEM I ve bir CEM II çimentosu arasında bir CEM I çimentosunun (C2) denenen 6 SA ile de uyumsuzluk gösterdiği ve 60. dakikada bu çimento ile üretilen tüm betonların çökme değerlerini 10 cm nin altına indirdiği belirlenmiştir. Bu çimentonun bileşiminin genel olarak diğer iki CEM I çimentosuna benzediği, ancak kızdırma kaybının daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.
- 3) Denenen CEM II çimentosunun diğer başarılı iki CEM I çimentosundan farklı davranmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle CEM II çimentolarının da polikarboksilat esaslı katkıları ile başarılı şekilde kullanılabilirler değerlendirilmesi yapılabilir.
- 4) Sertleşmiş betondaki çimento-katkı uyumsuzluğu 1 ve 7 günlük dayanımlarda düşük değerler elde edilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır. Yine C2 çimentosu üç katkı ile uyumsuzluk göstermiştir; ancak diğer betonlara göre dayanımdaki farklar % 20 yi aşmamıştır.
- 5) Betonun yüksek kıvam ve ileri sürelerde kıvam koruma özelliklerini çimento hamuru üzerinde kıvam deneyi yaparak belirlemek tüm

denenen çimento-katkı kombinasyonları için olası görülmemektedir. Genel olarak çimento hamuru ile beton deneyleri arasında belirgin bir ilişki elde edilememiştir.

### Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan çimentoların analizlerinin yapılmasını sağlayan Sn. Halim Tekkeşin şahsında Nuh Çimento San. Tic. A.Ş.'ye ve çalışmanın hayata geçirilmesinde emeği geçen Sika Teknik Departman laboratuvarı teknisyeni Sn. Ufuk Erbay ve laboratuvar çalışanı Sn. Mehmet Zor'a teşekkür ederiz.

### KAYNAKLAR

- [1] TS EN 934-2 Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet için Bölüm 2: Beton Katkıları-Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, TSE, Ankara, Mart 2002.
- [2] Schober, I., Maeder, U., "Compatibility of Polycarboxylate Superplasticizers with Cements and Cementitious Blends", Seventh CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, (2003).
- [3] Bedard, C., Mailvaganam, N.P., The Use of Chemical Admixtures in Concrete. Part I: Admixture-Cement Compatibility, J. Perform. Constr. Facil., 19 (4) ASCE, 263-266 (2005).
- [4] Grabiec, A. M., Contribution to the Knowledge of Melamine Superplasticizer Effect on Some Characteristics of Concrete after Long Periods of Hardening, Cem. Concr. Res., 29, 699-704 (1999).
- [5] Bonen, D., Sarkar, S.L., The Superplasticizer Adsorption Capacity of Cement Pastes, Pore Solution Composition, and Parameters Affecting Flow Loss, Cem. Concr. Res., 25 (7), 1423-1434 (1995).
- [6] Bhatti, J. I., A Review of Application of Thermal Analysis to Cement-Admixture Systems, Thermochimica Acta, 189, 313-350 (1991).
- [7] Grierson, L.H., Knight, J.C., Maharaj, R., The Role of Calcium Ions and Lignosulphonate Plasticiser in the Hydration of Cement, Cem. Concr. Res., 35, 631-636 (2005).

- [8] Agarwal, S.K., Masood, I., Malhotra, S.K., Compatibility of superplasticizers with Different Cements, *Const. Build. Mat.*, 14, 253-59 (2000).
- [9] Mader, U., Schober, I., Wombacher, F., Ludirdja, D., Polycarboxylate Polymers and Blends in Different Cements, *Cem. Concr. Aggr.*, 26 (2), 110-114 (2004).
- [10] Nkinamubanzi, P.-C., Aitcin, P.-C., Cement and Superplasticizer Combinations: Compatibility and Robustness, *Cem. Concr. Aggr.*, 26 (2), 102-109 (2004).
- [11] Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, Ü.A., Özkul, M.H., "Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Çimento-Katkı Uyumu", *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, T. H. B. B., 213-224 (2004).