
KİMYASAL KATKI KÖKENİ, ÇİMENTO KOMPOZİSYONU VE ÇİMENTO DOZAJININ TAZE BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Ahmet Hilmi AYTAÇ
İnşaat Mühendisi
Dokuz Eylül
Üniversitesi
İzmir, Türkiye

Serdar AYDIN
İnşaat Yüksek
Mühendisi
Dokuz Eylül
Üniversitesi
İzmir, Türkiye

Kambiz RAMYAR
Doç. Dr.
Ege Üniversitesi
İzmir, Türkiye

İsmail ÇİL
Yrd. Doç. Dr.
Ege Üniversitesi
İzmir, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, üç farklı kimyasal kompozisyona sahip portland çimentosu ve üç farklı kökenli kimyasal katkı kullanılarak üretilen betonların, taze haldeki özellikleri belirlenerek, çimento-kimyasal katkı uyumu araştırılmıştır. Çalışmada, linyosülfonat esaslı normal akışkanlaştırıcı (LNA), naftalin esaslı süper akışkanlaştırıcı (NSA) ve polikarboksilat esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı (PSA) katkı kullanılmıştır.

Üretilen betonların çökme, hava içeriği ve birim hacim ağırlığı (BHA) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda katkı-çimento etkileşiminin, çimento ve katkının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanısıra, çimento dozajından da etkilendiği görülmüştür.

GİRİŞ

Beton teknolojisinde kimyasal katkı kullanımı, son yıllarda oldukça yaygın hale gelmiştir. Yapı endüstrisinde, farklı kompozisyona sahip kimyasal katkılar, ihtiyaçlar doğrultusunda hazırlanmakta ve tüketicinin kullanımına sunulmaktadır. Genel olarak en çok kullanılan kimyasal katkılar ise betonun işlenebilme yeteneğini arttıran akışkanlaştırıcı katkılardır [1]. Çimento hamurunun akışkanlığı ile kontrol edilen betonun kalitesi ve özellikleri ise, bu tip katkıların kullanılmasıyla iyileştirilebilir [2].

Jawed vd. [3], kimyasal katkı içermeyen, yüksek oranda alkali içeren çimentolarla hazırlanan betonların genellikle daha kötü reolojik davranış sergilediğini göstermiştir. Araştırmacılar, azalan alkali içeriğinin süper akışkanlaştırıcı katkıli karışımların işlenebilirliğini arttırdığını söylemiştir.

Tagnit-Hamou vd. [4] ve Nawa vd. [5], süper akışkanlaştırıcı katkıli çimento hamurlarında, çimento-süper akışkanlaştırıcı uyumsuzluğunun çimentodaki kalsiyum sülfat yetersizliğinin bir sonucu olduğunu ileri sürmüştür. Sülfatın varlığı viskoziteyi azaltmıştır. Bu durum sülfatın varlığı sebebiyle, C_3A ve C_4AF tarafından emilen katkı miktarının düşük olmasına bağlanmıştır. Bu nedenden dolayı, kalsiyum sülfatın varlığında silikat fazları daha iyi dağılır ve akışkanlık artar.

Boragafio ve Macias [6], süper akışkanlaştırıcı etkinliğinin $C_3A/CaSO_4$ oranına bağlı olduğunu, bu oranın yüksek olması durumunda akışkanlığın azaldığını bildirmiştir. C_3A+C_4AF miktarı fazla olan çimentolarda, katkının bu bileşenler tarafından emilmesi nedeniyle, C_3S ve C_2S bileşenleri tarafından emilen katkı miktarı göreceli olarak azalır. Bu nedenle, hamurun akışkanlık davranışı olumsuz etkilenir [7].

Süper akışkanlaştırıcılar kökenleri dolayısıyla birbirlerinden farklı etkiler gösterebileceği gibi, aynı kökenli süper akışkanlaştırıcılar da, moleküler ağırlık ve kimyasal kompozisyonlarındaki değişkenlikler nedeniyle farklı etkiler gösterebilir [7, 8].

Süper akışkanlaştırıcı kullanımıyla, farklı tipteki portland çimentolarında önemli oranda işlenebilirlik artışı meydana gelir. Örneğin, normal portland çimentosu, modifiye portland çimentosu ve sülfata dayanıklı çimento kullanılarak yapılan bir çalışmada, kontrol karışımlarında ortalama 76 mm çökme değeri elde edilmiştir. Bu karışımlara, çimento ağırlığının %1.5'i oranında sülfonik melamin formaldehit esaslı katkı katıldığında ise, sırasıyla 222, 216 ve 229 mm çökme değerlerine ulaşılmıştır [9].

İşlenebilirliği etkileyen bir diğer önemli faktör, karışımın çimento içeriğidir. Sülfonik melamin formaldehit esaslı katkı kullanımıyla, 237, 326 ve 415 kg/m³ çimento içeriği ile hazırlanan karışımlarda sırasıyla 203, 222 ve 254 mm çökme değerleri elde edilmiştir [9]. Bu, beklenen bir durumdur. Çünkü, katkısız bir karışımda dahi, çimento miktarının artmasıyla daha fazla akışkanlık gözlenir.

Süper akışkanlaştırıcı katkıların su kesme miktarı, çimento miktarına bağlı olarak değişir. Genel olarak, çimento miktarının artışıyla, katkının su kesme miktarı da artar [8].

Farklı tipteki katkıların su azaltma etkileri farklıdır. Hava sürükleyen süper akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin, çimento içeriği düşük olan karışımlarda, yüksek olanlara göre, su kesme açısından genellikle daha etkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca, bu katkıların hava sürükleyici etkisinin, düşük çimento dozajlarında arttığı görülmüştür [10]. Yapılan bir çalışmada ise, aynı miktarda su azaltabilmek için sülfonik naftalin formaldehit esaslı katkıya göre, daha fazla miktarda sülfonik melamin formaldehit esaslı katkı gerektiği rapor edilmiştir [8].

Çimento içeriğinin artması, özellikle inceliği yüksek çimentolar söz konusu ise, karışımın hava içeriğini azaltır. Ayrıca, çimento tipi, sürüklenmiş hava miktarını etkiler. Hollon vd., erken dayanım kazanan çimentoların, normal portland çimentolarına göre 1.5 kat daha fazla hava sürükleyici katkı gerektirdiğini söylemiştir [11].

AMAÇ

Bu çalışmada, kimyasal katkı kökeni, çimento kompozisyonu ve çimento dozajının, taze beton özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, A, B ve C olarak adlandırılan üç farklı kimyasal kompozisyona sahip portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoların kimyasal kompozisyonu ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentoların kimyasal kompozisyonu ve bazı fiziksel özellikleri

Bileşen (%)	Çimento			Bileşen	Çimento		
	A	B	C		A	B	C
SiO ₂	18.72	18.69	20.44	C ₃ S (%)	62.54	60.74	40.47
Al ₂ O ₃	5.00	5.91	6.22	C ₂ S (%)	6.47	7.75	28.06
Fe ₂ O ₃	3.49	2.42	3.22	C ₃ A (%)	7.32	11.57	11.03
CaO	63.12	63.51	61.51	C ₄ AF (%)	10.63	7.37	9.78
MgO	1.09	1.11	2.44	Özgül ağırlık	3.13	3.10	3.15
Na ₂ O	0.29	0.30	0.34	Özgül yüzey (m ² /kg)	380	366	320
K ₂ O	0.76	0.76	0.98				
SO ₃	2.95	2.80	1.50				
Cl ⁻	0.106	0.004	0.005				
Serbest CaO	1.27	1.14	0.98	Na ₂ O eşdeğer (%)	0.79	0.80	0.98
Kızdırma kaybı	3.56	4.08	2.14	C ₃ A/SO ₃	2.48	4.13	7.35
Çözünmeyen kalıntı	0.38	0.89	2.44	C ₃ A+C ₄ AF (%)	17.95	18.94	20.81

Kimyasal katkı olarak, linyosülfonat esaslı normal akışkanlaştırıcı (LNA), naftalin esaslı süper akışkanlaştırıcı (NSA) ve polikarboksilat esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı (PSA) katkı kullanılmıştır. Katkılar ile ilgili olarak üretici firmadan alınan bilgiler Tablo 2’de sunulmuştur. Agregada olarak, doğal kum, 0-5 mm ve 5-15 mm tané boyutlarında kırma kireçtaşı kullanılmıştır.

Tablo 2. Kimyasal katkıların özellikleri

Katkı	Katı madde (%)	pH	Yoğunluk (g/cm ³)	Viskozite (cps)
LNA	39.08	4.8	1.170	--
NSA	27.2	5.3	1.118	75
PSA	39.74	5.4	1.095	--

Her bir çimento ile 450 kg/m³ ve 550 kg/m³ dozajlı olmak üzere, ikisi katkısız, altısı katkılı, toplam 8 seri beton üretilmiştir. Beton karışımlarının hazırlanması esnasında öncelikle, agregalar ve çimento kuru olarak karıştırılmış, daha sonra

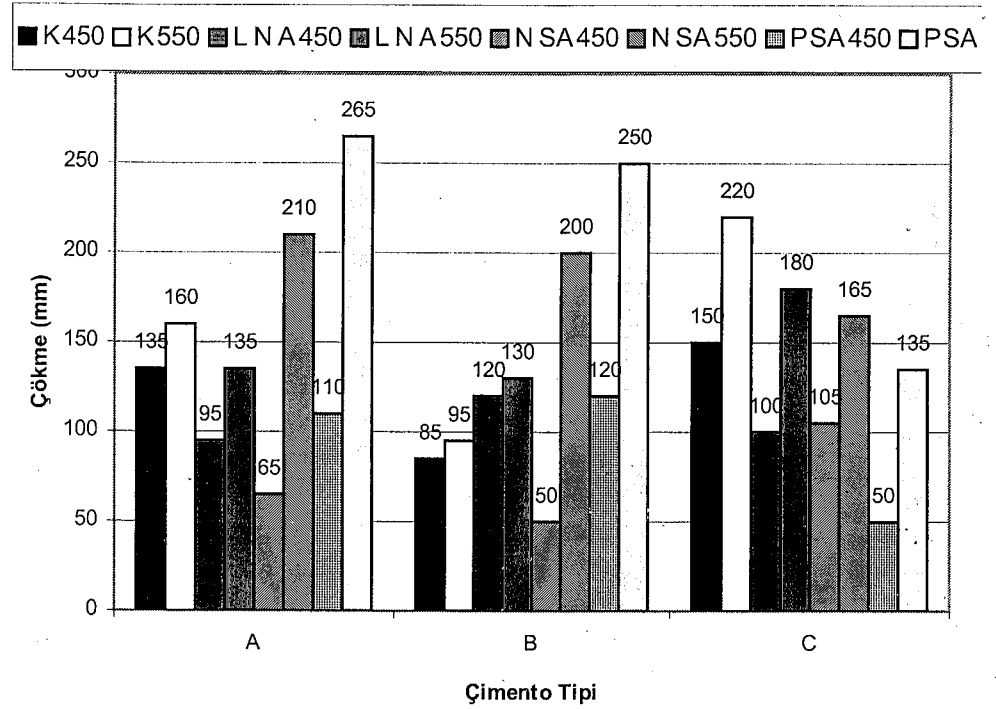
kimyasal katkı su ile karıştırılarak karışıma dahil edilmiştir. Karışımların tamamı 12 ± 1 °C sıcaklıkta hazırlanmıştır. Hazırlanan betonların karışım oranları Tablo 3’de verilmiştir. Karışımların üretilmesinde referans olarak, B çimentosu ile üretilen karışımlar seçilmiştir. Her iki dozaj için, bu çimento ile üretilen kontrol betonlarında 90 ± 10 mm çökme değeri hedef olarak seçilmiştir. Kimyasal katkı kullanım oranları, A çimentosu kullanılarak yapılan ön deneylerle belirlenmiştir. Bu oranlar, LNA katkısı için çimento ağırlığının %0.8’i, NSA için %1.3’ü ve PSA için ise %1.4’üdür.

Tablo 3. Karışım oranları

Karışım	S/Ç	Çim. (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Kum* (kg/m ³)	0-5* (kg/m ³)	5-15* (kg/m ³)	Katkı (%)	Su Kesme (%)
KONT. (450)	0.50	450	223	626	236	734	-	-
LNA (450)	0.44	450	197	652	246	765	0.8	11
NSA (450)	0.42	450	187	663	250	777	1.3	18
PSA (450)	0.36	450	160	690	260	809	1.4	33
KONT. (550)	0.44	550	244	572	216	671	-	-
LNA (550)	0.39	550	217	601	226	704	0.8	11
NSA (550)	0.37	550	205	612	231	718	1.3	18
PSA (550)	0.32	550	176	641	242	751	1.4	33

* Agrega ağırlıkları kuru yüzey doygun durum için verilmiştir.

Şekil 1’de tüm karışımların çökme değerleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, çimento dozajının 450 kg/m^3 ’ten 550 kg/m^3 ’e çıkarılması, karışımların tümünde işlenebilirliği arttırmıştır. Bu artış özellikle, naftalin ve polikarboksilat esaslı kimyasal katkı kullanılması durumunda oldukça fazla olmuştur. Bu durum, naftalin ve polikarboksilat esaslı katkıların kullanılması durumunda, su kesme kapasitesinin, çimento dozajı arttıkça daha fazla artacağına işaret eder.



Şekil 1. Hazırlanan karışımların çökme değerlerinin değişimi

C çimentosu içeren karışımlarda NSA tipi katkı kullanılması durumunda, dozajın artmasıyla çökme değerinde oluşan artışın, diğer çimentolarla üretilen betonlara kıyasla daha az olduğu görülmektedir. A ve B çimentolarında bu artış, sırasıyla %223 ve %300 iken, C çimentosunda %57'dir.

Gerek 450 kg/m^3 , gerekse 550 kg/m^3 dozajlı kontrol betonlarında en yüksek çökme değeri C çimentosu içeren betonlarda, en düşük çökme değeri ise B çimentosu içeren betonlarda elde edilmiştir. Tablo 1'de görüleceği üzere, özgül yüzey alanı en düşük olan çimento, C çimentosudur. Bu durum, inceliğin daha az olması sebebiyle, su ihtiyacının azalmasına ve hidrasyon reaksiyonlarının daha yavaş gerçekleşmiş olmasına bağlanabilir. Ancak, burada belirtilmesi gereken önemli bir husus, A çimentosunun en yüksek özgül yüzey alanına sahip olmasına rağmen en düşük çökme değerleri vermemiş olmasıdır. Tablo 1'de görüldüğü gibi, C çimentosu en yüksek toplam alkali içeriğine sahiptir. Alkali miktarının artmasıyla hidrasyon reaksiyonlarının hızlandığı bilindiğine göre, C çimentosunun daha az çökme vermesi beklenebilir. Kontrol karışımlarında bu durum geçerli olmamasına rağmen, katkı içeren karışımlarda elde edilen sonuçlar, bu durumu destekler niteliktedir. Bütün bu veriler ışığında, çimento inceliği ve toplam alkali miktarının

yanı sıra, çökme değerlerini etkileyen başka parametrelerin de olduğunu söylemek mümkündür.

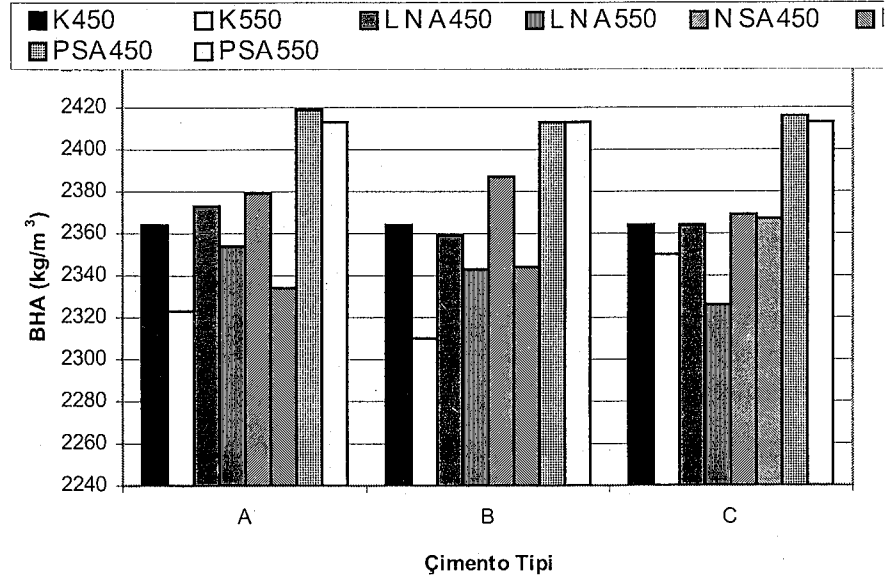
Her iki çimento dozajı için de, C çimentosu, katkı kullanımıyla diğer çimentolara kıyasla daha kötü bir davranış göstermiştir. Özellikle PSA tipi katkı kullanılan karışımlarda bu davranış çok daha belirgin hale gelmiştir. Tablo 1’de de görüleceği üzere C_3A/SO_3 oranı ve $(C_3A+C_4AF)\%$ değeri en yüksek olan çimento C çimentosudur. Bu değerlerin yüksek olması, emilen katkının daha fazla olması anlamına gelir. Dolayısıyla da C_3S ve C_2S bileşenlerinin yeterli derecede dağılması için gerekli olan akışkanlaştırıcı katkı miktarı azalır ve akışkanlık davranışı olumsuz etkilenir. C çimentosunun kimyasal katkılarla uyumsuz bir davranış göstermesi bu nedenlere bağlanabilir.

Kontrol betonlarında çimento dozajının artması, karışımların hava içeriğini bir miktar azaltmıştır. Kimyasal katkı kullanımı, genellikle hava içeriğini arttırmıştır. En düşük hava içeriği değerleri, kontrol betonun ardından, PSA katkılı betonlarda elde edilmiştir. LNA ve NSA katkılarının hava sürüklenme üzerindeki etkilerinin, bu çalışmada kullanılan katkı dozajları için benzer olduğu görülmüştür (Tablo 4).

Tablo 4. Hava içerikleri (%)

Karışım	450 kg/m ³			550 kg/m ³		
	A	B	C	A	B	C
KONTROL	2,1	2,2	2,0	2,0	2,0	1,5
LNA	2,9	3,6	3,6	2,4	3,9	4,3
NSA	3,1	3,2	3,8	3,3	3,9	3,5
PSA	3,2	3,3	3,1	1,5	2,4	2,9

Şekil 2’de, hazırlanan karışımların BHA’larının değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi, BHA genellikle katkının su kesme kabiliyeti arttıkça artmakta, çimento dozajı arttıkça azalmaktadır.



Şekil 2. Hazırlanan karışımların BHA değişimi

SONUÇ

Çimento dozajının artışı ile tüm katkıların performansı olumlu yönde artmıştır. Her iki dozda, A ve B çimentolarının genel olarak tüm katkılarla uyumluluk gösterdiği söylenebilir. Özellikle NSA ve PSA tipi katkı kullanımında, dozajın artırılması, bu iki çimento ile hazırlanan karışımların akışkanlık davranışı üzerinde çok daha fazla olumlu etki yapmıştır. Aynı su kesme oranları için, C çimentosu içeren katkılı karışımlarda, akışkanlığın A ve B çimentolarıyla hazırlanan katkılı karışımlara göre daha kötü olması, C çimentosunun C_3A/SO_3 oranının ve $(C_3A+C_4AF)\%$ değerlerinin yüksek olmasına bağlanmıştır. Çimento dozajının artırılması ve buna bağlı olarak karışımdaki katkı miktarının artması, C çimentosu ile hazırlanan karışımların akışkanlık davranışında biraz iyileşme sağlamıştır. Ancak çökme değerleri, yine de kontrol karışımlarının altında kalmıştır.

Genel olarak hem kontrol karışımlarında hem de katkılı karışımlarda, çimento dozajının artmasıyla akışkanlığın arttığı görülmüştür. Bu durum, katkılı karışımlarda, karışımdaki katkı miktarının artışına da bağlanabilir.

Birim hacim ağırlıklar, genellikle katkının su kesme kabiliyeti arttıkça artmıştır. Çimento dozajının artması durumunda ise azalma göstermiştir.

Karışımların hava içeriği, kontrol betonlarında çimento dozajının artması ile bir miktar azalmıştır.

Kimyasal katkı kullanımı, genellikle hava içeriğini arttırmıştır. Kontrol betonunun ardından, en düşük hava içeriği değerleri, PSA katkılı betonlarda elde edilmiştir. LNA ve NSA katkılarının hava sürüklenme üzerindeki etkilerinin, bu çalışmada kullanılan katkı dozajları için benzer olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan çimentoların temininde sağladıkları katkıdan dolayı, Çimentoaş, Batisöke ve Batıçim Batı Anadolu çimento fabrikalarına, kimyasal katkıların temininde sağladıkları katkıdan dolayı KONSAN firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Erdoğan S., "Compatibility of Superplasticizers with Cements Different in Composition", *Cem. Concr. Res.* 30, 2000, pp. 767-773.
2. Jiang S., Kim B.K., Aitcin P.C., "Importance of Adequate Soluble Alkali Content to Ensure Cement-Superplasticizer Compatibility", *Cem. Concr. Res.* 29, 1999, pp. 71-78.
3. Jawed I., Skalny J., "Alkalis in Cement: a Review", *Cem. Concr. Res.* 8, 1978, pp.37-51
4. Tagnit-Hamou A., Baalbaki M., and Aitcin P.C., "Calcium-Sulphate Optimization in Low Water/Cement Ratio Concrete for Rheological Purposes", *Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, V, 1992*, pp. 21-25.
5. Nawa T., Eguchi H., Fukaya Y., "Effect of Alkali-Sulfate on the Rheological Behaviour of Cement Paste Containing a Superplasticizer", *3rd International Conference on Superplasticizers, Ottawa, SP119-21, 1989*, pp. 405-424.
6. Boragafio J. R., Macias A., "Rheological Properties of Cement Mixes Containing Different Organic Dispersants", *Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, VI, 1992*, pp. 557-563.
7. Chandra S., Björnström J., "Influence of Cement and Superplasticizers Type and Dosage on the Fluidity of Cement Mortars-Part I", *Cem. Concr. Res.* 32, 2002, pp. 1605-1611.
8. Ramachandran V.S. (Ed.), *Concrete Admixtures Handbook*, Noyes Publications, New Jersey, USA, 1995.
9. Mailvaganam N. P., "Slump Loss in Flowing Concrete", *Superplasticizers in Concrete, Amer. Concr. Inst. SP-62, 1979*, pp. 389-403.
10. Vollick C. A., "Effect of Water-Reducing Admixtures and Set Retarding Admixtures on the Properties of Plastic Concrete", *ASTM Special Tech. Pub.*, 266, 1960, pp. 180-200.
11. Hollon G. W. and Prior M. E., "Factors Influencing Proportioning of Air Entrained Concrete", *Amer. Concr. Inst. SP-46: 11, 1974*.

