

MODİFİYE SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKI İLE BETONDA UÇUCU KÜL OPTİMİZASYONU

Özlem AKALIN
Katkı Tesis Şefi
NUH BETON A.Ş.
İstanbul, TÜRKİYE

Mehmet MUTLU
Kalite Güvence Müdürü
NUH BETON A.Ş.
İstanbul, TÜRKİYE

Emin ARCA
Kimya Mühendisliği
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
İstanbul, TÜRKİYE

ÖZET

Günümüzde hızla büyüyen inşaat sektöründe teknolojik gelişmeler de çok hızlı devam etmektedir. Kimyasal katkılar tüm beton sınıflarının tasarımlarında değişmez bileşen olarak yerini almıştır. Bir metre küp beton içinde, kimyasal katkıların bağlayıcı miktarının yüzdesi şeklinde kullanımı ek bir maliyet getiriyor gibi gözükse de, mühendislik açısından irdelendiğinde sağlanan fayda daha sonra oluşacak kalitesizlik maliyetlerini düşürmektedir. Beton tasarımı yapan mühendisler, varolan tüm imkanları optimum noktayı elde edecek şekilde kullanarak, hem müşteri memnuniyetini hem de uygun maliyeti temin eder.

Bu çalışmanın amacı ülkemiz koşullarında dökülen beton sınıflarını da göz önünde bulundurarak, mineral ve kimyasal katkıların kullanımıyla beton tasarımında optimum noktayı elde etmektir. Deney sistemi olarak C 30/37 sınıfı beton üzerinde farklı kökendeki süper-akışkanlaştırıcıların farklı orandaki bileşimleriyle, beton üzerinde deneyleri yapılmıştır. İkinci aşamada mineral katkının betona sağlayacağı faydalar ışığında, uçucu kül ilavesi ile kimyasal katkıların beton üzerindeki etkileri priz süresi, 1 gün, 7 gün ve 28 gün basınç dayanım testlerinde gözlenmiştir.

Çalışmanın sonucunda kullanılan malzemelere bağlı olarak, optimum

miktarlar elde edilmiş ve amaca uygun kimyasal katkı tasarımının teknik ve mali açıdan beton tasarımına fayda sağladığı görülmüştür.

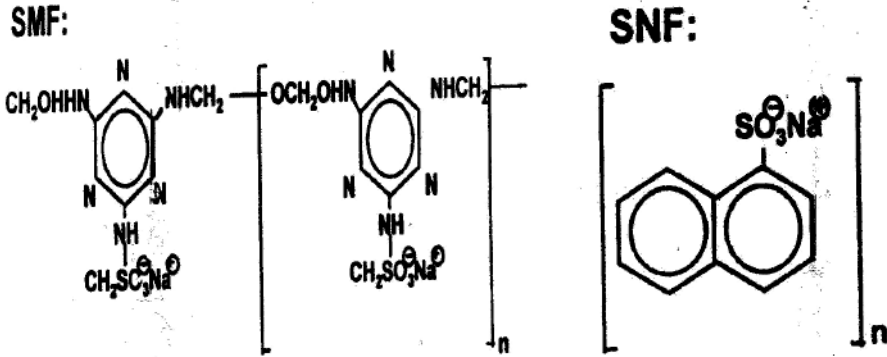
GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler daha hassas mühendislik yaklaşımlarını gerektirmekte ve alınan kararları doğrudan etkilemektedir. Hazır beton sektörü de dünyadaki gelişmelerle eş zamanlı olarak her geçen gün kendini yenilemektedir. Kaynakların en uygun miktarlarda ve karışım oranlarında kullanımı, çimento benzeri mineral katkıların ilave edilmesi beton tasarımında önem kazanmaktadır. Betonun kullanılacağı proje şartlarına bağlı olarak tasarlanan beton karışımlarında kimyasal katkı belirleyici olmaktadır. Erken dayanım, hızlı priz süresi, kıvam koruma, dayanım kaybetmeksizin kolay yerleşme özellikleri, kimyasal katkıların betona sağladığı önemli avantajlardır.

Dünyamızdaki doğal kaynakların gün geçtikçe tükenmesi bilim dünyasının üzerinde çalıştığı öncelikli konulardan birisidir. Geri dönüşüm ve alternatif kaynakların yanı sıra, atık malzemelerin girdi olarak çövrime girmesi gelecek yıllarda daha da önem kazanacaktır. Dünya çapında kömürden gelen kül 700 milyon ton olarak belirlenmiştir. Bunun % 70'ini ise uçucu kül oluşturmakta ve çimento benzeri sistemlerde mineral katkı olarak kullanıma uygun olmaktadır. Diğer bir sanayi atığı ise, yılda 100 milyon ton ile çürüftür ve kullanım miktarı dünya çapında 20 milyon tondan daha az miktarda rapor edilmektedir. Bu tür malzemelerin direkt olarak doğaya karışması toprak, hava ve yer altı sularının kirlenmesine neden olduğundan ve küçük oranlarda toksik metaller içerdiğinden istenmemektedir. Bununla beraber, beton içinde kullanılması bu tür atıkların değerlendirilmesi için en mantıklı çözüm olmaktadır şöyle ki; zararlı metaller çimentonun hidrasyona uğraması sonucunda hareket kabiliyetlerini kaybederler. Şu anda varolan uçucu külün sadece % 20'si çimento ve beton sektöründe tüketilmektedir. Uçucu küllerin kimyasal bileşimleri farklılıklar göstermektedir. Sadece kimyasal bileşimin uçucu kül seçiminde kriter olarak alınmaması, mineralojik ve granülometrik yapısının da (tanecik boyutu ve şekli) göz önünde bulundurulması gerektiği son yapılan çalışmalarda kanıtlanmıştır. Mineral katkı (çüruf, uçucu kül vb.) beton karışımlarında çimento benzeri malzemeler olarak, çimento yerine ikame edilerek tasarımlara girmektedir. Bunların kullanımı beton karışımlarında teknik açıdan, hem taze halde hem de sertleşmiş halde betona avantajlar kazandırmaktadır. Genel olarak, uçucu külün tane boyutu ve şekli taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde kimyasal kompozisyona göre daha etkili olmaktadır [1]. Diğer taraftan ekonomik olarak tasarımda maliyetlerin düşürülmesinde rol oynamaktadır. En önemli avantajı ise atık olarak doğaya

karışmaması ve girdi olarak beton üretiminde yer almasıdır. Bu yönüyle ele alındığında, çok yönlü tasarım ortaya çıkar. Bu alandaki mühendislik çalışmaları da kaynakların, ihtiyaçlar ve şartlar doğrultusunda en ekonomik çözümü elde edecek şekilde optimize edilmesini kapsamaktadır.

Süperakışkanlaştırıcı katkıları ilk olarak 1960'lı yıllarda keşfedilerek, artan kullanım miktarlarıyla günümüze kadar gelmişlerdir. Temel içerikleri suda çözünebilen sentetik sülfone edilmiş melamin formaldehit kondensesi (SMF) ve sülfone edilmiş naftalin formaldehit kondensesi (SNF)'dir. Polimer yapıları düzenli olarak tekrarlanan grubun oluşturduğu ana zincir ve buna bağlı negatif yüklü sülfone gruplarından oluşmaktadır. Süperakışkanlaştırıcılar betonun çimento hamurundaki parçacıkların topaklanmadan birbirinden uzaklaşmasına ve böylece akışkanlığın artmasına neden olurlar. Geçmişte, dağılma etkisi sadece aynı (negatif yüklü) elektrostatik yüklerin çimento parçacığı üzerinde yer alması ile açıklanıyordu. Çimento üzerinde yer alan ve topaklanmaya da neden olan elektrostatik çekici güçler, negatif yüklü anyonik polimerlerin sülfone gruplarının (SMF ya da SNF) çimento parçacığı üzerinde adsorplanmasıyla nötrlenmektedir. Çimento parçacıklarının dağılımı, polimer zincirinin diğer tarafında yer alan negatif yüklü (SO_3^-) gruplarının yarattığı elektriksel itme gücüyle sağlanmaktadır [2]. SMF ve SNF kimyasal yapıları Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Katkıların Polimer Yapıları

Hazır beton sektörü için, üretilen betonun zamana bağlı olarak kıvam kaybetmesi en ciddi problemdir. Özellikle sıcak hava koşullarında süperakışkanlaştırıcı katkıları, hazır betonun hızla kıvam kaybetmesine neden olmaktadır. Döküm yerinde betona su katılması ile yapılan müdahale ise betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini kötü yönde etkilemektedir. Beton tasarımda amaçlardan birisi de 1 saate kadar betonun kıvamını işlenebilir tutmaktır. Su çimento oranı azaldıkça kıvam kaybı

daha belirginleşir. Beton tasarımında uçucu kül kullanmak hidrasyon reaksiyonunun yavaşlamasına ve böylece kıvam kaybının da yavaşlamasına neden olmaktadır.

AMAÇ

Bu çalışmanın amacı, temel olarak ikinci nesil katkıları olarak bilinen SNF ve SMF kullanımını ile elde edilen süper-akışkanlaştırıcı kategorisindeki katkıların, uçucu kül ihtiva eden ve etmeyen C 30/37 sınıfı hazır beton tasarımında aynı dozajlarda kullanılarak, taze ve sertleşmiş beton özelliklerini karşılaştırmak ve optimum çözüme ulaşmaktır.

BETON TASARIMINDA KULLANILAN MALZEMELER

CEMI 42,5 R portland çimentosu kullanılarak, C 30/37 sınıfı beton tasarımı aynı su bağlayıcı oranında uçucu küllü ve uçucu külsüz olarak tasarlanmıştır. Çimentonun ve uçucu küllün kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada Çayırhan Termik Santrali'nden elde edilen uçucu kül kullanılmıştır.

Beton karışımlarında doğal ve kırma kum, 2-12 mm tane boyutunda ve 12-22 mm tane boyutunda , sırasıyla 1 no. ve 2 no. agregalar kullanılmıştır. Pompalanabilir beton elde edebilecek şekilde standarda uygun agrega bileşen oranları alınmıştır [3]. Agrega analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

İki farklı kimyasal kökene sahip, SNF ve SMF' nin % 40'luk solüsyonları deneylerde kullanılmıştır. Tablo 3'de Kimyasal Katkı Özellikleri yer almaktadır. SNF ve SMF bazlı polimerlerin farklı bileşim oranları tablolarda (NS-MS) şeklinde kısaltılarak verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun ve Uçucu Küllün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Bileşenler ve Özellikler	Çimento %	Uçucu Kül %
SiO ₂	20,76	49,2
Al ₂ O ₃	4,28	13,8
Fe ₂ O ₃	3,82	9,6
CaO	64,51	18,6
MgO	1,09	2,9
SO ₃	2,70	1,6
Na ₂ O + 0.658 K ₂ O	0,49	-
C ₂ S	58,82	-
C ₃ S	15,15	-
C ₂ A	4,88	-
C ₄ AF	11,62	-
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,23	2,24
İncelik (cm ² /gr)	3.181	2.106
İncelik 45 µm	-	48,5
Kızdırma Kaybı	-	0,46

Tablo 2. Agreganın Fiziksel Özellikleri

Özellikler	Kaba Agregası		İnce Agregası	
	No. 2	No. 1	Kırma Kum	Doğal
Özgül Ağırlık, gr/m ³	2,69	2,69	2,68	2,63
İncelik Modülü	-	-	3,79	1,87
Su Emme, %	0,45	0,46	1,10	1,05
Maks. tane çapı, mm	22	12	5	2

Tablo 3. Kimyasal Katkı Özellikleri

Katkılar (% Bileşim)	Yoğunluk (gr/ml)	Katı madde (%)	pH
100 NS-0 MS	1,18	39,3	7,4
75 NS- 25 MS	1,21	40,2	8,1
50 NS-50 MS	1,22	40,3	8,3
25 NS-75 MS	1,22	40,5	8,4
0 NS-100 MS	1,21	40,0	8,5

BETON TASARIMI

Beton karışımları iki seri halinde hazırlanmış olup, su bağlayıcı oranları uçucu külsüz ve uçucu küllü için sırasıyla 0,48 ve 0,49 'dur. Karışıma giren miktarlar Tablo 4'de verilmiştir. Bağlayıcı miktarının %1,3'ü kadar kimyasal katkı karışıma girmiştir ve her iki seride de bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. Böylece karışıma giren katkı miktarları da sabit kalmıştır. Karışımlar eşit kıvamda, 16 cm, ayarlanmıştır ve numuneler bu halde alınmıştır. Taze halde iken kıvam [4], hava miktarı [5], birim ağırlık [6] deneyleri yapılmıştır.

Kimyasal katkıların beton karışımlarına muadil olacak şekilde çimento harcında priz sürelerine bakılmıştır [7]. Priz süreleri, eşit kıvamda alınan numunelerin zamana karşı vicat iğnesinin batma derinliğinin ölçülmesi ile grafiğe aktarılmıştır. Uçucu küllü ve uçucu külsüz karışımların her bir katkı ile göstermiş olduğu priz süreleri Şekil 2 ve 3' de verilmiştir.

Tablo 4. Beton Karışım Oranları

Tasarım No	Çimento	Uçucu Kül	Su	No 2	No 1	Kırma	Doğal	Su/Bağlayıcı
I	350	0	167	511	471	486	405	0,48
II	315	70	167	530	494	401	393	0,49

TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI

Yukarıda belirtilen deney sistematığı sonucunda elde edilen veriler, Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'de yer almıştır. Standartlara uygun olarak yapılan deney yöntemleriyle taze betonun kıvamı, hava yüzdesi, birim ağırlığı tespit edilmiştir. Kıvamlar sabit tutulacak şekilde karışıma giren su miktarlarında katkı su azaltma performansına göre, farklılıklar olmuştur. 22 litre yapılan karışım sonucunda, kıvam ayarlanmasında artan su miktarları da tablolarda yer almıştır ve 1 metre küp beton karışımına göre düzeltilmiş, su bağlayıcı oranları kaydedilmiştir. Eşit çökme değerinde alınan beton numuneleri 1, 7 ve 28 gün basınç dayanım değerlerini elde etmek üzere test edilmiştir.

Tablo 5.1. C 30/37-Uçucu Külüz Karışımda Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri

Oranlar ->	100-0	75-25	50-50	25-75	0-100
	NS	NS-MS	NS-MS	NS-MS	MS
Artan Su (gr)	200	170	174	165	0
S/B (fili)	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47
Hava (%)	3,0	2,3	2,0	2,1	2,0
Birim Ağırlık (kg/m³)	2.380	2.400	2.400	2.400	2.420
Çökme (cm)	16	16	16	15	15
1 gün	18,3	17,0	17,2	16,8	14,0
7 gün	53,5	50,5	51,8	49,5	42,7
28 gün	60,9	62,8	56,3	59,5	54,1

Tablo 5.2. C 30/37-Uçucu Küllü Karışımda Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri

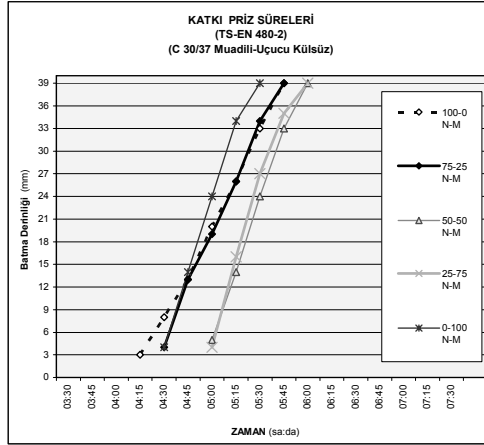
Oranlar ->	100-0	75-25	50-50	25-75	0-100
	NS	NS-MS	NS-MS	NS-MS	MS
Artan Su (gr)	200	250	237	120	140
S/B (fili)	0,47	0,46	0,46	0,49	0,48
Hava (%)	3,0	2,6	2,5	2,2	2,4
Birim Ağırlık (kg/m³)	2.380	2.380	2.386	2.390	2.393
Çökme (cm)	16	16	16	16	16
1 gün	14,0	15,4	15,2	14,5	11,7
7 gün	43,8	45,2	45,4	44,9	42,9
28 gün	57,0	57,4	54,0	56,1	53,8

Uçucu külüz karışım serisinde aynı su çimento oranında ve kıvamda, NS bazlı katkı yönünde su azaltma yeteneği artmıştır. Basınç dayanımına göre de 100 NS ve 75 NS-25 MS bazlı katkıları daha yüksek basınç dayanım

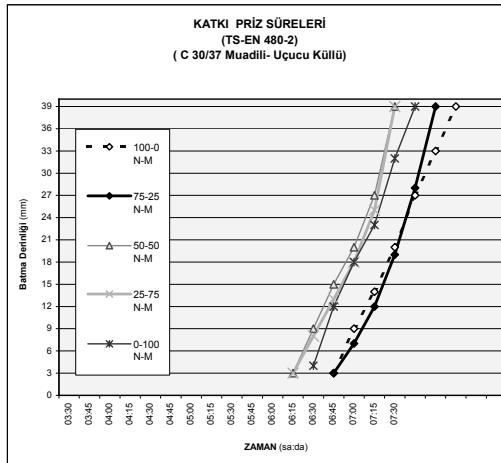
değerleri vermiştir. Bu serinin kendi içinde priz süreleri irdelendiğinde, 100 MS bazlı katkının priz başlangıç ve bitiş süreleri diğerlerine göre daha hızlı olmuştur.

Uçucu küllü karışım serisinde aynı su bağlayıcı oranında karışım tasarımı yapılmasına rağmen, katkılar uçucu külsüz seriye göre daha fazla kıvam artışı sağlamışlardır. Bu seride de basınç dayanımı açısından NS bazlı katkı daha iyi performans sergilemiştir. Bu serinin kendi içerisinde priz süreleri karşılaştırıldığında, 50 NS-50 MS ve 25 NS-75 MS bazlı katkıların daha önce prize başladığı ve bitirdiği görülmüştür.

Uçucu kül kullanımı, uçucu külsüz karışımlara göre priz sürelerinin ortalama 2 saat kadar geç başlayıp, bitmesine neden olmaktadır.



Şekil 2. Priz Süreleri – Uçucu Külsüz



Şekil 3. Priz Süreleri – Uçucu Küllü

SONUÇ

Literatürden de bilindiği gibi SMF bazlı katkıları prizi hızlandırmaktadır. Bu çalışmada da uçucu külsüz ve uçucu küllü karışımlarda SNF' ye göre hızlandırma etkisi gözlenmiştir.

SNF bazlı katkıları su azaltma performansı yönünden daha iyi sonuç vermektedirler. SMF ve SNF' lerin farklı birleşim oranlarıyla elde edilen karışımlarının sinerji yarattığı görülmüştür.

Farklı kimyasal yapıdaki katkıları, müşteri istekleri doğrultusunda tasarımda kullanılmalıdır.

Uçucu kül kullanımı katı atıkların yönetimi açısından fayda sağlarken, beton karışım maliyetlerini de düşürmektedir.

KAYNAKLAR

1. Malhotra V.M. and Mehta P.K., "High Performance, High Volume Fly Ash Concrete" Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada, 2005, pp 4 – 6.
2. Shonaka M., Kitagawa K., Satoh H., Izumi T. And Mizunuma T., 'Chemical Structures and Performance of New High Range Water Reducing and Air Entraining Agents', Fifth CANMET/ACI International Conference, Rome - Italy, 1997, 609 p.
3. Türk Standartları, Beton Agregaları (TS 706 EN 12620), TSE, 2003.
4. Türk Standartları, Taze Beton Kıvam Deneyi (Çökme Hunisi Metodu ile), (TS EN 12350-2), TSE, 2002.
5. Türk Standartları, Taze Beton Hava Miktarının Basınç Metodu ile Tayini, (TS EN 12350-7) TSE, 2007.
6. Türk Standartları, Taze Beton Yoğunluk Deneyi , (TS EN 12350-6), TSE, 2002.
7. Türk Standartları, Kimyasal Katkılar Priz Süresinin Tayini, (TS EN 480-2), TSE, 2001.