

Sülfatın beton ve betonarme elemanlara olumsuz etkisi

Murat DOĞRUYOL¹, Halim KARAŞİN^{*2}

¹ Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Şırnak

² Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Diyarbakır

Özet

Zemin ile temas halinde olan beton ve betonarme yapılarda zamanla oluşan bozulmaların sebeplerinden biri sülfat etkisidir. Yüksek yoğunlukta sülfat iyonlarına maruz kalan beton tamamen tahrip olabilmektedir. Bu amaçla sülfat yoğunluğu yüksek toprakların sülfat oranı TS 12457-4 Standartlarına karşılaştırılarak incelendi. Yüksek oranda sülfatın betonun dayanım ve dayanıklılığına etkisini görebilmek için numuneler ASTM C 1012'ye uygun şekilde hazırlanmış 150 g/l Na₂SO₄ çözeltisinde 5 ay süreyle bekletilmiştir. Aynı zamanda sülfatın etkisini araştırmak için bu numuneler 28 günlük su kürü ile dayanım kazanmış numunelerle karşılaştırıldı. Sülfat etkisine maruz beton numunelerin belli aralıklarla yüzey sertlikleri ve basınç dayanımları ölçüldü. Aynı zamanda numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri ve yüzey bozulmalar periyodik olarak gözlemlendi. Netice olarak sülfatın beton ve betonarme elemanlarda dayanım ve dayanıklılığı düşürdüğü tespit edilmiştir. Sülfata maruz beton ve betonarme elemanlarda dayanıklılığı artırmak için çimento yerine belirli oranlarda puzolanların (uçucu kül, yüksek fırın cürufu) kullanılmasından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu çerçevede Çimento yerine puzolanların kullanımının erken dayanımları düşürdüğü tespit edilmiştir. Ancak bu etkinin ilerleyen yaşlarda büyük oranda kaybolduğu görülmekte ve sülfat etkisine maruz katkısız numuneden daha yüksek dayanıma ulaştığı tespit edilmiştir. Sülfat etkisine maruz kalabilecek beton ve betonarme yapılarda, dayanım ve dayanıklılığı arttırmak amacı ile portland çimentosunu beton karışımından azaltılarak yerine termik santral ve demir-çelik fabrikalarının atık maddesi olarak açığa çıkan mineral katkı maddeleri olarak bilinen uçucu kül ve yüksek fırın cürufun kullanılması neticesinde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Çimentonun ekonomik tasarrufunun yanı sıra atık maddelerin geri dönüşümünün sağlanması çevresel denge açısından da büyük bir önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sülfat etkisi, beton basınç değeri, betondaki bozulma, dayanıklılık

The negative effect of sulfate to the concrete and reinforced concrete elements

Extended abstract

One of the reasons deteriorations constitute at the concrete and reinforced concrete structures in the time is the effect of sulfate. Naturally occurring sulfates in soils and groundwater, after a series of chemical processes, may lead to durability problems causing expansion and disintegration of the hardened concrete. Concrete that expose to sulfate ions at high-density may destroy completely. Effect of fly ashes (FA) and blast furnace slag (BFS) on properties of superplasticizer (SP) added concrete was investigated against sulfate effect. FA and BFS were added to Portland cement (PÇ 42,5) 20 % by weight of the cement. FA and BFS replacement concretes were compared with each other as well as with Portland cement concrete. 15 cm cube specimens were prepared with produced concrete and cured at 7, 28, 90 and 150 days. For this purpose, high density sulfate of soils were examined by comparing the ratio of TS 12457-4 Standards. In this study, pozzolanic additions were added to changing in ratio 20 % by weight of the (PÇ. 42.5) portland cement. The 0.56 water/cement ratio and 300kg/m³ cement dosage are selected as reference. A control concrete sample is also produced having the same dosage. The performance of mineral additives concrete was obtained both in the sulphate and water cures. In this context, three series of concrete samples was produced; in two concrete samples series the certain ratio of fly

ash and granulated blast furnace slag was used as additives, and one series of sample was used without additives. In order to see the effect strength and durability of concrete at high-rate sulfate, concrete samples were rested in a solution of Na₂SO₄(150 g / l) in accordance with ASTM C 1012. One group of specimens was kept continuously in sodium sulphate solution with concentration of 150 g/l for 5 months.. The other group samples were rested in water and compressive strengths are presented as a comparatively. At the end of each curing period, a total of 3 specimens were tested for each concrete property. Surface hardness and compressive strength of Concrete samples exposed to Sulphate effect were measured regularly. At the same time, the surface distortions and changes of weight of the samples were observed periodically. As a result, sulfate is determined to decrease upon the strength and durability of concrete structures. Moreover, The results showed that use of %20 FA(Fly Ash) as replacement of portland cement increased the strength properties of concrete samples. Economical benefit can be achieved by using pozzolanic additions in the concrete mixture. As a conclusion use of such additions, waste materials, provide both durable and economic concrete structures and ecologic balance for.

Keywords: Sulphate effect, concrete compressive strength, deterioration of concrete, durability

Giriş

Sülfat etkisine bağlı sülfat korozyonu beton ve betonarme yapılarda bozulmalar meydana getirir. Meydana gelen bozulmalar yapılarda dayanım ve durabiliteye olumsuz etkiler. Sülfat; yer altı suyu, kanalizasyon suları, yağmur suyu, deniz suyu ve toprakla temas ederek beton ve betonarme yapıları olumsuz etkiler. Sülfatın betona etkisi, hidrate Portland çimentosu ile sülfat iyonları arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar yoluyla olur (Al-Amoudi, 1997; Neville, 2004; Nehdi ve Hayek, 2005). Sülfatın şiddetinin etkisini, betonun geçirimsizliği, betonda kullanılan çimentonun cinsi belirlemektedir. Sülfat dayanıklılığını arttırmak için sülfata dayanıklı çimento ile birlikte uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi puzolanik katkılar kullanılabilir (Karasın ve Dogruyol 2010).

Amaç

Çalışmanın amacı sülfat değerlerinin standart değerlerle karşılaştırarak sülfatın beton veya betonarme yapılarda dayanım ve durabiliteye etkisini görmektir. Bu amaçla Siirt ilinin bazı semtlerinden ait toprak numunelerinin sülfat değerleri belirlenmiştir.

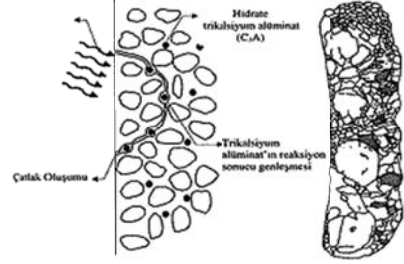
Önem

Sülfat etkisine maruz kalabilecek beton ve betonarme yapılarda dayanım ve dayanıklılığı arttırmak sülfatın betonda olumsuz etki yaratan portland çimentosunu beton karışımından azaltarak yerine termik santral ve demir-çelik fabrikalarının atık malzemesi olarak açığa çıkan mineral katkı malzemeler olarak bilinen uçucu kül ve yüksek fırın cürufunu kullanarak hem ekonomik hem de geri dönüşüm malzemeleri kullanıldığı için çevreyi daha az kirleten beton elde etmektir.

Deneyel Çalışma

Topraktan, yer altı suyundan, deniz suyundan, yağmur suyundan ve atık sulardan gelen sülfat iyonları beton yüzeyinden nüfuz ederek çimentodaki $3CaO \cdot Al_2O_3$ (C_3A) ile reaksiyonu sonucu yan ürünler oluşturmakta ve bu yan ürünlerle oluşan boşluk betonun dayanımını düşürmektedir. Sülfat iyonlarının beton etkisiyle

bozulması Baradan ve arkadaşlarının (2002) yılındaki çalışmalarında Şekil 1'de gibi gösterilmiştir.



Şekil 1. Sülfatın betona teması

Dış kaynaktan betona giren sodyum sülfat hidratasyon ürünleriyle reaksiyona girerek betonda alçıtışı ve etrenjit oluşturur.

Sülfat etkisini azaltmak için yapılması gerekenler

Amerikan Standardı ASTM Tip V olarak sınıflandırdığı Sülfata dayanıklı çimento, sülfatla reaksiyona giren C_3A miktarı en az olanıdır. Çimentodaki C_3A miktarını belli bir oranın ($< \%5$) altında olan sülfata dayanıklı çimento kullanılabilir.

Betonun geçirimsizliğini sağlayarak sülfatın betona sızmasını engellemek gerekir. Bu sebeple betonunun su/çimento oranının 0.45–0.50 arasında tutulması beton basınç dayanımını artırır. Monteiro vd. diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, betonun sülfat saldırısından zarar görmemesi için kritik bir bölgenin bulunduğu, çimentonun C_3A miktarının $\%8$ 'den az, su/çimento oranının 0.45'in altında olması halinde 40 yıllık maruz kalma süresinde hasar oluşmadığı, çimento yerine $\%25$ ve $\%45$ uçucu kül kullanımının gelişmeleri azalttığı belirtilmektedir. (Monteiro ve Kurtis, 2003)

Arazi Araştırmaları Çalışma Yöntemi

İnceleme alanı çoğunlukla toprak örtü türü zeminle örtülüdür. Bu nedenle temel formasyonların özellikleri inceleme alanı civarında bulunan mostralarda araştırılmıştır. Bu amaçla, ayrıca önceki incelemelerden, yol yarmalarından, temel kazılarında, açılmış su ve temel sondaj kuyularına ait verilerden faydalanılmıştır. Siirt iline ait semtlerin sülfat oranları TS12457-4 Standartlarına göre karşılaştırılması Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Sülfat parametrelerinin TS 12457-4 Standartlarına göre karşılaştırılması

Analiz Edilen Noktalar	Parametreler		TS 12457-4 Standartları	
	Sülfat (mg/l)	Klorür (mg/l)	Sülfat (mg/l) Max 15	Klorür (mg/l) Max 25
Tillo-1	10,1	7	Uygun	Uygun
Yeni Mah.	9,8	5	Uygun	Uygun
9051 Çakmak Mah.	10,5	10	Uygun	Uygun
8653 Çakmak Mah.	13,8	15	Uygun	Uygun
Şeyh Zeynep	12,3	22	Uygun	Uygun
9313/1 Çakmak Mah.	15,1	12	Uygun Değil	Uygun
STP 3	10,4	7	Uygun	Uygun
STP 15	10,2	5	Uygun	Uygun
STP 30	15,4	10	Uygun Değil	Uygun
SBH 2	13,8	15	Uygun	Uygun

Siirt ili ve çevresinde alınan numunelerin sülfat oranları TS EN 12457-4 Standartlarının sınırlarına yakın veya fazla olduğu tespit edilmiştir.

Karayolları tarafından 18 yıl önce yapılan yer üstü drenaj hendek betonu, sanat yapıları gibi beton ve betonarme yapılarda zamanla pullanmalar ve dökülmeler Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Sülfattan zarar gören yapılar

Sodyum sülfat çözeltisinin hazırlanışı

ASTM C1012’ye göre 50 g/l’lik sodyum sülfat çözeltisi kullanılmalıdır. Ancak, daha önce yapılan çalışmada söz konusu çözeltinin, hazırlanan karışımların sülfat dayanıklılığı açısından farklılıklarını ortaya koymada yetersiz kaldığı gözlenmiştir (Tosun vd. 2003). Bu nedenle hazırlanan 150x150x150 mm boyutlu küp numuneler, 150 g/l’lik sodyum sülfat çözeltisinde 5 ay süreyle bekletilmiştir.

Çimento ve mineral katkıları

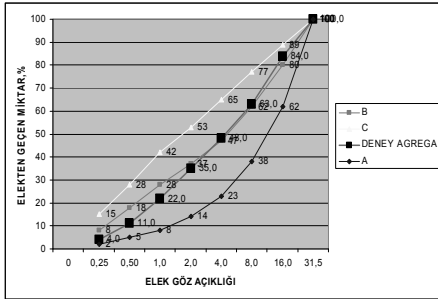
Deneyde kullanılan CEM I 42.5 çimentoyla kullanılan mineral katkı maddeleri uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC)’nin kimyasal bileşenleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kimyasal bileşenlerinin oranı

Bileşik Adı	UK	YFC	CEM I
	%		
SiO ₂	54.28	39.58	20.0
Al ₂ O ₃	23.58	11.13	5.82
Fe ₂ O ₃	8.80	0.86	3.62
CaO	5.00	36.07	61.61
MgO	1.31	7.27	1.42
SO ₃	0.53	0.4	2.80
K ₂ O	2.00	0.94	0.92
TiO ₂	1.48	0.85	-
MnO	0.07	1.17	-
Ba	0.17	1.09	-
S+A+F	86.66	51.57	
Kızdırma kaybı	1.72	0.34	2.8
Blaine (cm ² /gr)	2660	4574	3524

Kullanılan agrega dere agregası olup fiziksel özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Agrega numunesinin sahip olduğu gradasyonun uygunluğunu kontrol edebilmek için agreganın maksimum dane boyutu 31.5 mm olan agrega numunelerinin Türk standardına göre gradasyon sınır değerlerine uygunluğu Şekil 3’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Gradasyon eğrisiyle sınır değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 3. Dere agregasının fiziksel özellikleri

	Yüzde Geçen Miktar			Kimyasal Katkı
	Dere Çakıl (15-30)	Dere Çakıl (7-15)	Doğal Kum (0-5)	
31.5 (mm)	100	100	100	
16 (mm)	43.5	100	100	
8 (mm)	1.1	49.3	100	
4 (mm)	-	12.1	84.8	
2 (mm)	-	6.4	62.1	
1 (mm)	-	2.1	40.5	
0.5 (mm)	-	1.2	19.3	
0.25 (mm)	-	1.0	7.2	
Agrega oranları(%)	28	18	54	
Doğru yüzey kuru özgül ağırlığı	7.746	2.735	2.655	1.170–1.191
Su emmesi	1.2	1.4	1.7	
Los A. Aşınma	% 20 kayıp			

Kırmızı çizgiyle temsil edilen deney agregası sınır değerlerinin arasında olduğu görülmüştür. Bu durum agreganın deney agregası olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Sülfat etkisine karşı dayanımı artıran mineral katkı malzemelerinden Uçucu Külün beton karışımına 1 m³ için %20 çimentonun yerine kullanılarak eklenmiştir. Deney malzemelerinin 1 m³ beton karışım oranları tablo 4’te gösterilmiştir.

Deney Sonuçları

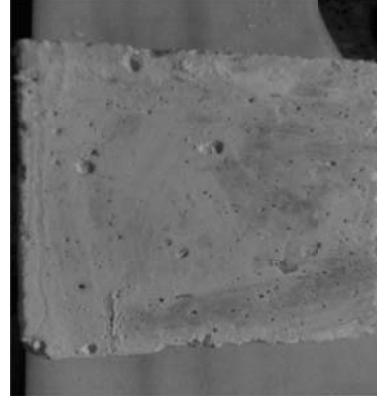
150 gün boyunca 150 g/l sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen 150x150x150 mm’lik küp numunelerin ağırlık değişimleri ve yüzeyel bozulmalar periyodik olarak gözlemlendi. Beton numunelerin basınç dayanımları, beton basınç deneyi ile belirlendi.

Sülfatın betondaki yıpratıcı özelliğini görebilmek için su küründe ve %15’lik sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin 28 günlük basınç dayanım değerleri karşılaştırılmıştır.

Sülfat küründe bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleri daha düşük çıkmıştır. Numunelerin 28 gündeki basınç dayanım değerleri Tablo 5 'te gösterilmiştir.

Tablo 4. 1 m³ betonun karışım oranları

	Beton numune	Uçucu Kül Katkılı numune
1 m ³		
SU	170 kg	170 kg
ÇİMENTO	300 kg	240 kg
UÇUCU KÜL (%20)	-	60 kg
ÇAKIL 15-30	348 kg	348 kg
ÇAKIL 7-15	544 kg	544 kg
KUM 0-5	1013 kg	1013 kg
KİMYASAL KATKI	1.8 kg	1.8 kg



Şekil 4. Sülfat etkisiyle bozulma oluşan beton

Sülfata maruz bırakılan betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm yüzeye yayılan beyaz lekeler, beton yüzeyinde çatlaklar ve köşelerinde dökülmelerdir(Arslan 2001). %15 'lik sülfat çözeltisinde 28 gün bekletilen beton numunede oluşan bozulmalar Fotograf 2.'de gösterilmiştir (Karaşin ve Doğruyol 2010).

Tablo 5. 28 günlük basınç dayanım değerleri

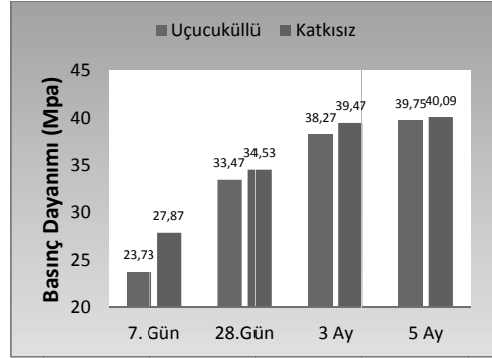
	Küp numunelerin 28 Günlük Basınç Dayanımı		
	Su küründe	%15 lik Sodyum Sülfatta	Değişim
	MPa = N/mm ²	MPa = N/mm ²	%
UÇUCU KÜL	33.75	33.46	-0.86
MİNERAL KATKISIZ	36.03	34.52	-4.37

TS EN 12390-3'e göre 3 kN/sn yükleme hızında hidrolik yük kontrollü preste kırılarak elde edilen basınç dayanımları Şekil 5' de gösterilmiştir (Karaşin ve Doğruyol, 2010).

Sonuç ve öneriler

Sülfat, betonda beyaz lekelenmeler ve yüzeysel bozulmalar oluşturmanın yanında basınç dayanımını da olumsuz etkilemektedir.

Yapılan çalışmada standart kür havuzunda ve %15'lik Sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin 28 gün sonundaki basınç dayanım değerlerinin karşılaştırılması neticesinde sülfat kürüne maruz kalan numunelerin basınç dayanım değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Beton basınç deney sonuçları

Çimento yerine puzolanların (Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu) kullanımı erken dayanımları düşürmüştür. Ancak bu etkinin ilerleyen yaşlarda büyük oranda kaybolduğu görülmekte ve sülfat etkisine maruz katkısız numuneden daha yüksek dayanıma ulaştığı tespit edilmiştir.

Çevre koşullarına dayanıklı beton üretebilmenin yolu katkı malzemelerinin kullanılması ile mümkündür. Bu katkı maddelerinin başında da mineral katkı maddeleri gelir. Türk Standartları'nda belirtilen normlara uymak kaydı ile üretilen ve bilinçli olarak yerli yerinde kullanılan mineral katkıları ile hazırlanan beton nispi olarak hem daha ucuz hem daha sağlam olacağı düşünülmektedir.

Kullanılan bu mineral katkıların demir-çelik fabrikalarının ve termik santrallerinden atık malzeme olduğu düşünüldüğünde bu puzolanik malzemelerin kullanılmasıyla 1 m³ C25 betonu üretiminde %20 oranında kullanılmasıyla yaklaşık 60 kg çimentonun ekonomik tasarrufunun yanı sıra atık malzemelerin geri dönüşümünün sağlanması da büyük bir önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- Arslan, M. (2001). Beton (Dökümü, Kalıpları, Kusurları ve Dayanıklılığı), Atlas Yayın Dağıtım, yayın no 3, 1.Baskı, İstanbul, Ağustos, 157
- Al-Amoudi O.S.B. (1997). *Sulfate attack and reinforcement corrosion in plain and blended cements exposed to sulfate environments*, Building and Environment, 33, 53- 61.
- Baradan, B. Yazıcı, H., Ün, H. (2002). *Betonarme yapılarda kalıcılık (Durabilite)*, DEÜ Müh. Fak. Yayınları, İzmir, s. 89–185
- Monteiro, P.J.M., Kurtis, K.E. (2003). *Time to Failure for Concrete Exposed to Severe Sulfate Attack*, Cement and Concrete Research, Vol. 33, p. 987- 993.
- Karasin A. ve Doğruyol M.(2010). *Sülfat Etkisi Optimum Puzolanik Katkı Kullanımı*, e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 1A0157, 6, (1), 348-357.
- Nehdi M. and M. Hayek (2005). *Behavior of blended cement mortars exposed to sulfate solutions cycling in relative humidity*. Cement and Concrete Research, 35, 731–742.
- Neville A. (2004). *The confused world of sulfate attack on concrete*. Cement and Concrete Research, 34, 1275–1296.
- Tosun K., Yazıcı H., Yiğiter H., Baradan B. (2003). *Uçucu Kül İçeren Çimento Harçlarının Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi*, V. Ulusal Beton Kongresi. İstanbul.
- TS EN 12457-4, (2004). Atıkların Nitelendirilmesi-Katıdan. Özütleme Analizi- Granül Katı.
- TS EN 12390-3 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini.