

UÇUCU KÜL KATKISININ BETONARME DEMİRLERİNİN KOROZYONU ÜZERİNE ETKİSİ

Abdurrahman ASAN*

Gazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

Hayri YALÇIN

*Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü,
Ankara, TÜRKİYE*

ÖZET

Betonarme demirlerinin korozyonu üzerine uçucu kül katkısının etkilerini incelemek üzere, biri normal portland çimentosu ile diğeri çimento yerine %30 oranında uçucu kül katılarak hazırlanmış çeşitli klorür konsantrasyonlardaki iki grup beton numunesi üzerinde betonarme demirlerinin korozyon hızları tayin edilmiştir. Korozyon hızı deneyleri klorür katılmış ve katılmamış beton numuneleri arasındaki galvanik akım ölçülerek yapılmıştır. Ayrıca 180 gün süre ile betonarme demirlerinin korozyon potansiyelleri ölçülmüştür. Deneyler sonunda normal betonlarda 1.5 kg/m^3 'den daha yüksek klorür konsantrasyonlarda betonarme demirlerinin pasifleşmesinin bozulduğu, bu değer $\%30$ oranında uçucu kül katılması ile 2.5 kg/m^3 değerine yükseldiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, betonarme demirleri, uçucu kül.

EFFECT OF FLY ASHES ON THE CORROSION OF REINFORCING STEELS

ABSTRACT

In order to determine the effect of fly ashes on the corrosion of reinforcing steel, two groups of concrete samples with different chloride ion concentrations were prepared. The former concrete block was prepared from normal Portland cement without any addition. The latter concrete block was prepared by adding 30 % fly ashes instead of concrete. Then, corrosion rates of reinforcing steels were measured. The corrosion rates were measured according to the galvanic current method between the former concrete block (prepared from the Portland cement) and the latter concrete block (with 30 % fly ashes and varied chloride ions). The corrosion potentials have been measured by applying ASTM C-876 method for 180 days. As a result of these experiments, it is found that, above the 1.5 kg/m^3 chloride ions concentration, the reinforcing steels in the normal concrete has lost their passive form. But, when 30 % fly ashes were added to the concrete content, this chloride ions concentration limit (causing to reinforcing steel corrosion) has increased from 1.5 kg/m^3 to 2.5 kg/m^3 .

Keywords: Corrosion, reinforcing steels, fly ashes.

1. GİRİŞ

Beton yüksek alkali özelliği nedeniyle betonarme demirlerini korozyondan korur. İçinde klorür iyonu bulunmayan betonlar içinde betonarme demirleri pasif halde bulunur. Beton içinde, çimento ağırlığının % 0.30'undan fazla (1.0 kgCl/Lm³ beton) klorür iyonu bulunması halinde betonarme demirlerinin pasif hali bozulur. Ancak beton pH değeri azaldıkça daha düşük klorür konsantrasyonlarının pasifliğin bozulmasına karşı daha etkili olduğu belirlenmiştir (1,2). Yapılan araştırmalar, klorür konsantrasyonunun beton pH değeri ile birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymuştur. Her hangi bir nedenle beton pH değeri düşerse, klorür konsantrasyonu düşük dahi olsa etkili olacağı ileri sürmüştür (Cl⁻/OH⁻) molar oranı 0.60'dan küçük olduğu zaman betonarme demirleri pasif halini korumaktadır (3). Normal portland çimentosu ile yapılmış olan betonlar için zararlı klorür konsantrasyonları aşağıdaki şekilde verilmiştir (4).

Çizelge 1 Beton içindeki zararlı toplam klorür derişimleri

Çimento ağırlığının yüzdesi olarak % Cl	1m ³ betondaki klorür derişimi (kg Cl/1 m ³ beton)	Betonarme demirlerinin durumu
% Cl ≤ %0.4	< 1.2 kg Cl/1 m ³	Pasif
0.4 < %CL < 1.0	(1.2 -3.0) kg Cl/1m ³	Aktif
1.0 ≤ %Cl	3.0 kg Cl/1m ³ <	Şiddetli Korozyon

Klorür iyonunun beton bünyesine başlangıçta beton yapımı sırasında mı, yoksa sonradan çevreden difüzlendiği olduğu da büyük önem taşır. Bu iki yolla beton içine girmiş olan klorür iyonunun korozyon açısından etkisi farklıdır. Karışım malzemeleri ile (su, agrega veya katkı maddeler) beton bünyesine giren klorür iyonlarının, bir kısmı, betonun hidrotasyonu sırasında, klinker bileşiklerinden trikalsiyum alüminat (C₃A) ile birleşerek az çözünen bir tuz 3CaO.Al₂O₃.xH₂O (Friedel tuzu) oluşturur. Böylece klorürün bir kısmı bağlanmış olur. Beton bünyesine sonradan difüzlendiği klorür iyonları bu reaksiyona katılmadıkları için korozyon açısından daha etkilidir (5-9).

Beton yapımında normal portland çimentosu yerine puzolanlı çimentoların kullanılması halinde betonarme demirlerinin korozyondan nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır (10-13).

Genel olarak puzolan katkı betonu daha geçirimsiz hale getirmektedir. Bunun sonucu olarak beton bünyesine çevreden oksijen karbondioksit ve klorür iyonu gibi betonarme demirlerinin korozyon hızını artırıcı bileşenlerin girmesini gerçekleştirmektedir. Bu durum puzolanların, beton içine sonradan difüzlendiği klorür iyonlarının zararlı etkilerini ve karbonasyon olayını azaltıcı rol oynaması beklenebilir (14-16). Ancak başlangıçta beton içinde bulunan klorür iyonları üzerine puzolan katkısının nasıl bir etki yapmış olduğu henüz tam olarak açıklanamamıştır.

Bu çalışmada beton içine karışım suyu ile birlikte değişik oranlarda klorür iyonunun (NaCl) katılarak, normal betonlarda ve uçucu kül katılmış betonlarda klorür iyonunun betonarme demirlerinin korozyon hızı üzerine etkileri incelenmiştir.

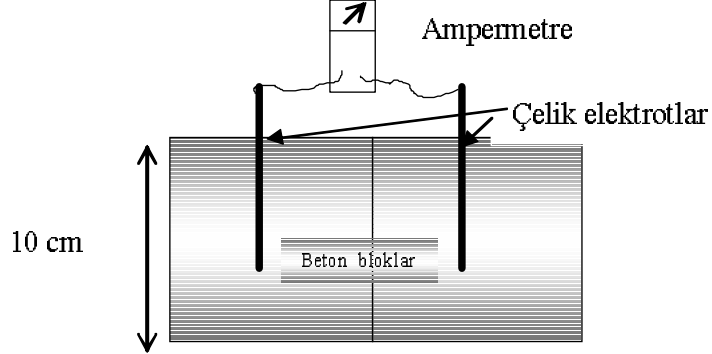
2. MATERYAL VE METOT

Beton içinde daldırılmış olan çeliklerin korozyon hızları Jang ve Iwasaki tarafından geliştirilmiş olan "Galvanik Akım Yöntemi" ile ölçülmüştür (17). Bu yöntem farklı özellikte elektrolit içine daldırılmış olan elektrotlar arasında oluşan galvanik akımın duyarlı bir ampermetre ile ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır.

Deney sonunda klorür iyonu içeren beton blok ile klorür içermeyen beton blok içinde bulunan betonarme demirleri arasındaki galvanik akım ölçülerek betonarme demirlerinin pasifliğinin klorür etkisi ile ne derece bozulduğu hakkında da fikir edinilmiştir.

2.1. Beton Blokların Hazırlanması

Deneyde 10cm x 10cm x 10 cm boyutlarında yapışık konumda beton bloklar hazırlanmıştır. Daha önce hazırlanmış olan çelik elektrotlar bu beton bloklar içine yerleştirilmiştir. Bloklardan biri normal bileşimde diğeri klorür iyonu içermektedir.



Şekil 1. Yapışık konumdaki beton bloklar

Beton blokların hazırlanmasında kullanılan çimentonun mineralojik bileşimi ve beton karışım oranları Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 2. Beton karışım oranları

Çimento	1 kg
Kum	2 kg
Çakıl	3 kg
Su	0,6 kg
Su/Çimento	0,60
Klorür	Değişik

*B grubu betonlarda çimento içine %30 oranında uçucu kül katılmıştır.

Çizelge 3. Çimentonun mineralojik bileşimi

C ₃ S	39,3
C ₂ S	20,6
C ₃ A	10,3
C ₄ AF	8,5
MgO	2,45
Serbest CaO	0,47
K ₂ O+Na ₂ O	2,22
SO ₃	3,18
Çözünmeyen kalıntı	13,0

2.2. Elektrotlar

Elektrot olarak 8mm çapında yumuşak çelik çubuklar (inşaat demiri) kullanılmıştır. Çubukların bir ucundan 10 cm²'lik bir yüzey alanı torna edilerek temizlenmiştir. Geri kalan bölgeler epoksi boya kapatılmıştır.

2.3. Beton Blok Bileşimleri

Deneyler için iki grupta 12 adet beton blok numunesi hazırlanmıştır.

A Grubu Beton Bloklar: Bu gruptaki yapışık bloklardan birinde normal beton kullanılmış diğerine

ise değişik oranlarda sodyum klorür katılmıştır.

B Grubu Beton Bloklar: Bu gruptaki beton blokların yapımında çimento içine %30 oranında Tunçbilek Termik Santrali elektro filtre altı uçucu külü kullanılmıştır. Ayrıca bloklardan birine A grubunda belirtilen oranlarda NaCl katılmıştır. Her iki gruptaki beton blokların bileşimi Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 4. Beton blokların bileşimi.

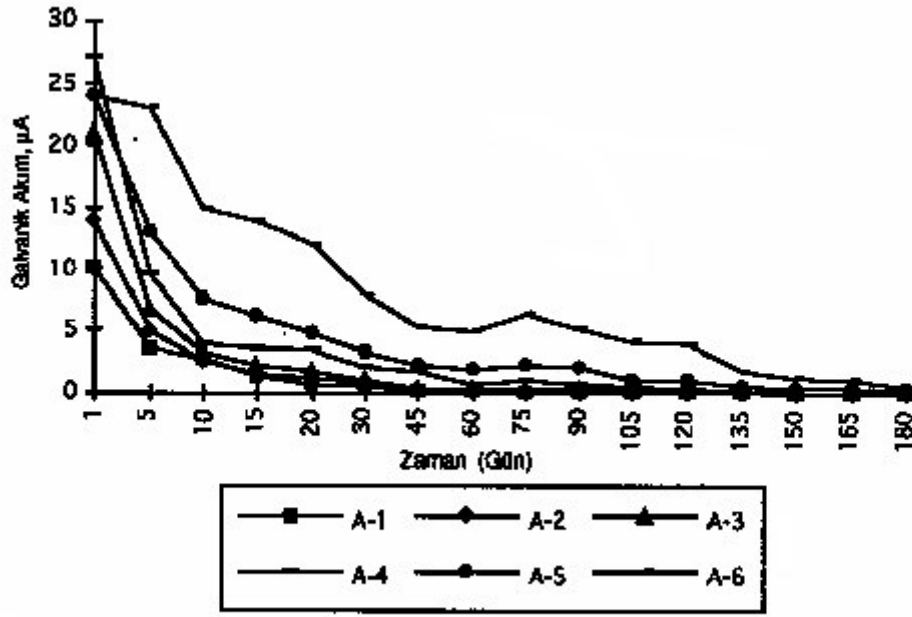
Numune	Sol Blok	Sağ Blok
A-1	Normal Beton	Normal Beton + 0.5 kg Cl /m ³
A-2	Normal Beton	Normal Beton + 1.5 kg Cl /m ³
A-3	Normal Beton	Normal Beton + 2.5 kg Cl /m ³
A-4	Normal Beton	Normal Beton + 5.0 kg Cl /m ³
A-5	Normal Beton	Normal Beton + 100 kg Cl /m ³
A-6	Normal Beton	Normal Beton + 15 kg Cl /m ³
B-1	%30 uçucu kül katkılı beton	%30 uçucu kül katkılı beton + 0.5 kg Cl /m ³
B-2	%30 uçucu kül katkılı beton	%30 uçucu kül katkılı beton + 1.5 kg Cl /m ³
B-3	%30 uçucu kül katkılı beton	%30 uçucu kül katkılı beton + 2.5 kg Cl /m ³
B-4	%30 uçucu kül katkılı beton	%30 uçucu kül katkılı beton + 5.0 kg Cl /m ³
B-5	%30 uçucu kül katkılı beton	%30 uçucu kül katkılı beton + 10 kg Cl /m ³
B-6	%30 uçucu kül katkılı beton	%30 uçucu kül katkılı beton + 15 kg Cl /m ³

Çizelge 5. Galvanik akım ölçüleri

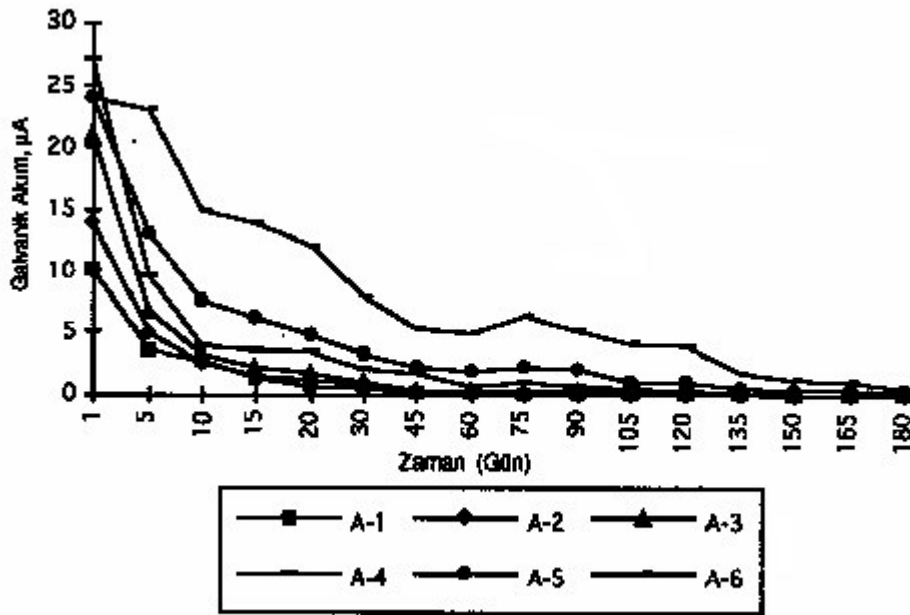
Gün	(A) Grubu Numuneler						(B) Grubu Numuneler					
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
1	10	14	21	27	24	24	12	13	13	19	18	20
5	3.5	4.9	6.6	0.5	13	23	5.9	9.1	0.8	9.7	13	18
10	2.0	2.5	3.1	3.6	7.5	15	2.1	3.0	3.5	5.8	9.9	15
15	1.3	1.4	2.1	3.5	6.1	14	0.9	1.8	2.0	3.9	5.9	8.2
20	0.7	1.1	1.6	3.4	4.7	12	0.7	1.4	1.9	2.1	4.3	7.1
30	0.5	0.8	0.9	1.9	3.2	7.8	0.6		1.6	1.6	2.7	4.8
45	0.1	0.1	0.3	1.6	2.2	5.3	0.4	0.8	1.2	1.8	1.9	4.1
60	0.1	0.1	0.2	0.7	1.8	4.9	0.3	0.7	1.1	1.4	1.6	3.3
75	0	0.1	0.3	0.9	2.1	6.3	0.2	0.4	0.8	1.1	1.4	5.0
90	-	0.1	0.2	0.7	1.9	5	0.1	0.2	0.5	1.0	1.0	4.1
105	-	0	0.2	0.5	0.9	4.1	0	0.1	0.4	0.9	1.1	3.2
120	-	-	0.1	0.3	1.0	8.9	-	0.1	0.2	0.6	0.9	2.9
135	-	-	0.1	0.1	0.5	1.7	-	0	0.1	0.4	0.5	1.1
150	-	-	0	0	0.3	1.2	-	-	0	0.2	0.3	0.8
165	-	-	-	-	0.2	0.9	-	-	-	0.1	0.1	0.9
180	-	-	-	-	0.2	0.4	-	-	-	0	0.1	0.6

Çizelge 6. Korozyon potansiyeli ölçümleri, mV

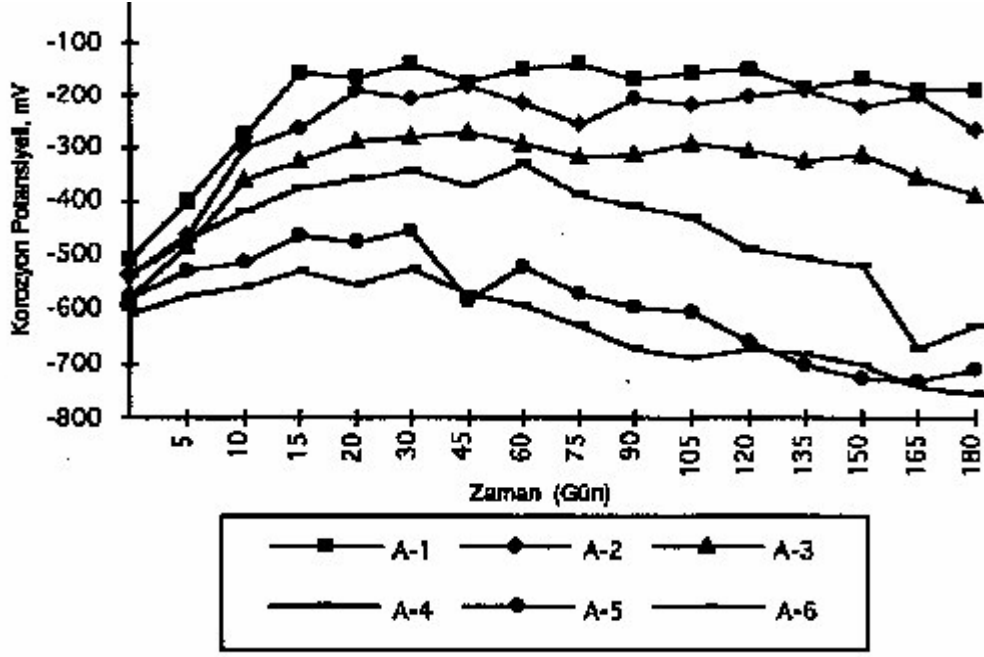
Gün	(A) Grubu Numuneler						(B) Grubu Numuneler					
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
1	500	-587	-578	-540	-561	-607	-510	-547	-551	-581	-585	-525
5	-402	-468	486	470	582	574	382	475	-495	-584	-565	-570
10	-279	308	359	-420	-514	-561	-240	-366	-392	-508	-549	-565
15	-156	-265	-328	-375	-465	581	-172	381	-333	-443	-500	-535
20	-160	-192	-290	-382	-175	-559	-190	-243	-208	-433	490	525
30	-140	-205	-263	-344	-457	-526	-100	-271	-280	-411	-477	-522
45	-174	-180	-272	-371	-564	-570	-105	-198	-265	-401	-459	-516
60	150	-216	-295	-331	-520	-594	-95	-177	-240	-371	-456	-51-
75	-141	256	330	-300	-570	-530	-140	-180	-213	-340	-482	-542
90	171	207	315	410	-515	-570	-169	-170	-200	-301	-501	-502
105	-156	-218	-295	-480	603	696	135	-160	-210	-385	-520	-538
120	-150	-201	-305	-480	-660	-672	-185	-187	190	390	527	670
135	-186	-96	-328	-505	-701	680	121	158	-170	-411	-500	-598
150	-171	-225	-316	-605	-725	-700	-146	-180	195	402	490	672
165	-180	-203	-355	-875	-780	-710	-160	-180	-305	-433	525	660
180	-190	-270	-390	-630	-710	-708	-170	-196	-310	-448	510	550



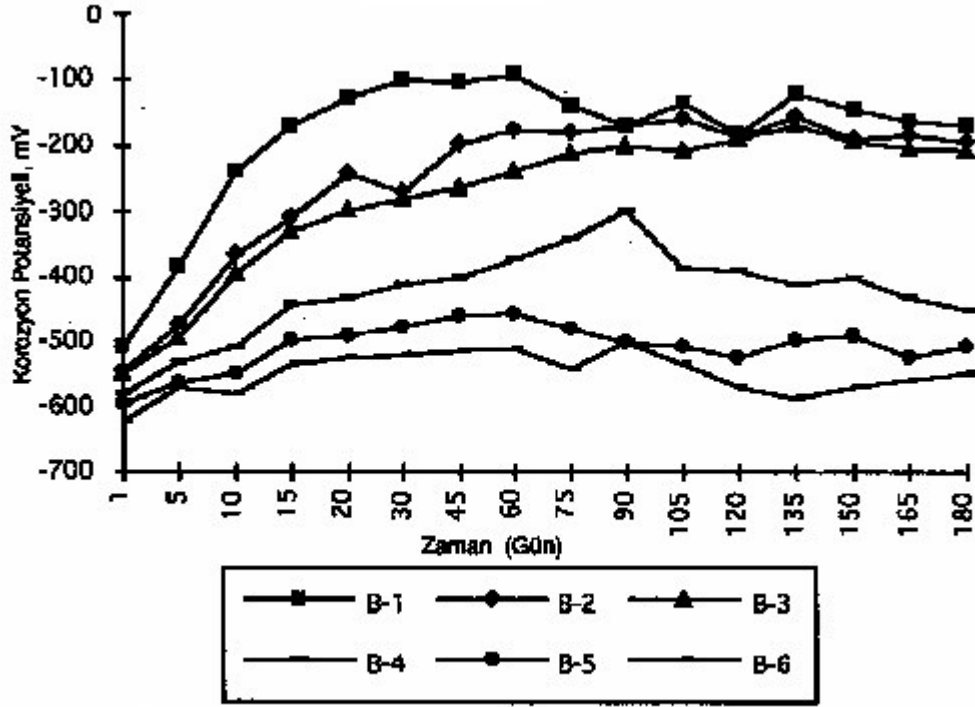
Şekil 2. Normal betonlarda (Klorlü/Klorsüz) Galvanik akımın zaman göre değişimi



Şekil 3. %30 Uçucu kül katılmış betonlarda (Klorlü/Klorsüz) Galvanik akımın zamana göre değişimi



Şekil 4. Klorür normal betonlarda korozyon potansiyelinin zaman göre değişimi



Şekil 5. Klorür katkılı uçucu küllü betonlarda korozyon potansiyelinin zaman göre değişimi

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Galvanik akım ölçümleri ile elde edilen değerler uçucu kül katkısının betonarme demirlerinin korozyonu üzerine etkisi hakkında kesin bir fikir vermemiştir. Dökümden hemen sonraki günlerde bütün beton bloklarda yüksek galvanik akım değerleri ölçülmüş, fakat ilk iki ay sonunda galvanik akımın değerleri sifıra yaklaşmıştır. Beton elektriksel direncinin yüksekliği göz önüne alınarak 1 A'den daha küçük akımların değerlendirilmesinden kaçınılmıştır. Buna rağmen beton içine katılan tuz konsantrasyonuna paralel olarak galvanik akım değerlerinin de artmakta olduğu açıkça belirlenmiştir (13-15).

Korozyon potansiyeli değerleri, uçucu kül katkısının betonarme demirlerinin korozyonuna azaltıcı yönde etki yapmakta olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Her ne kadar korozyon potansiyeli değerleri ile korozyon hızı hakkında kantitatif sonuçlara varmak mümkün değilse de betonarme demirlerinin aktif veya pasif halde oluşları net olarak anlaşılabilir. 180 gün süre ile ölçülmüş olan korozyon potansiyeli değerleri, normal betonlarda (A-1) ve (A-2) numunelerinde ($0.5 \text{ kg Cl}^-/\text{m}^3$ ve $1.5 \text{ kg Cl}^-/\text{m}^3$ konsantrasyonunda klorür içeren betonlar) betonarme demirlerinin pasif bölgede kaldığını göstermiştir. Uçucu kül katılmış olan betonlarda, içinde $2.5 \text{ kg Cl}^-/\text{m}^3$ konsantrasyonunda klorür bulunan B-3 numunesinde yaklaşık üç ay sonunda pasif hale geldiği belirlenmiştir.

Uçucu kül etkisinin geç başlaması puzolanik reaksiyon hızlarının normal sıcaklarda düşük hızda olması ile açıklanabilir. Puzolanik reaksiyonlar sonucu beton zamanla daha geçirimsiz bir yapı kazanır. Bunun sonucu olarak elektrot yüzeylerine oksijen ve klorür iyonları difüzyonu güçleşir. Betonarme demirlerinin korozyon hızı azalır.

Uçucu kül katılmış betonlarda gözlenen dikkat çekici diğer bir husus da dökümden sonraki ilk günlerde betonarme demirlerinin normal betonlara göre daha aktif hale gelmesidir. Bu durum, uçucu kül katkısının çimentonun hidratasyonu sırasında ortamda pH derecesini düşürücü etkisinden kaynaklanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. ACI Committee Report 222 R-85, "Corrosion of metals in concrete", *ACI Journal*, 3-13 (1985).
2. Rausman, D. A., "Steel corrosion in concrete, materials protection", 6(11): 19-23 (1967).
3. Hussain. S. E., AL Gahtani. S. A., Rasheeducafar, "Chloride threshold for corrosion of reinforcement in concrete" *ACI Materials Journal*, 534-538 (1996).
4. Page. C. L. and Treadaway, K. W. J., "Aspect of the electrochemistry of steel in concrete", 297: 109-115 (1982).
5. Rozenbero. A. M.. "Study of the mechanism through wich calcium chloride accelerates the set of portland cement", *Ad Journal, Proceedings*, 61(10): 1261-1270 (1964).
6. Koç T., Yalçın H., "Çelik boruların yer altı korozyonu" *Doğa Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, TÜBİTAK*, 10(2): 128 (1986).
7. Verbeck, G. J., "Mechanism of corrosion of steel in concrete corrosion of metals in concrete", *ACI Publicaion*, 49: 21-38 (1975).
8. Koç T., Yalçın H., "Yer altı çelik boru hatlarının katodik koruma sistemlerinde akım ihtiyacının belirlenmesi" *Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 16: 339-343 (1992)
9. Mehta, P.K., "Effect of cement composition on corrosion of reinforcing steel in concrete. Chloride corrosion of steel in concrete" *ASTM STP*, 629: 12-19 (1977).
10. Yalçın H., Koç T., Pamuk V. "Hydrogen and bromine production from concentrated sea- water", *Int. J. Hydrogen Energy*, 22(10-11): 967-970 (1997).
11. Avcı. E., "Betonarme yapılarıdaki çeliklerin korozyonuna puzolanların etkisi", *I. Korozyon Sempozyumu*, 345 - 353, Ankara (1988).
12. Koç T., Yalçın s., "Betonarme demirlerinin korozyonu ve önlemleri", *Çimento ve Beton Dünyası*, 17-23 (1996).
13. Lane, R.O., Besti, J.F., " Properties and use of fly ash in portland cement concrete concrete tnt", 52-81 (1992).

14. K., "Betonarme demirlerinin korozyonu ve katodik koruması 1", *Tüdev İş Dünyası*, 2: 39-43 (1998).
15. Koç T., "Betonarme demirlerinin korozyonu ve katodik koruması 2", *Tüdev İş Dünyası*, 3: 1-12 (1998).
16. Page. C.L., Short., N.R. and Eltarras, A., "Diffusion of chloride ions in hardened cement pastes", *Cement and Concrete Research*, 11(3): 395-406 (1981).
17. Jang., W. and Iwasaki, I., "Rebar corrosion under simulated concrete conditions using galvanic current measurements", *Corrosion - NACE*, 47(11): 875-883 (1991).
18. Koç T., Yalçın H., "Mühendisler için korozyon", *Kimya mühendisleri odası*, ISBN 975-395-269-4, Ankara (1998).
19. Standard test method for Half Cell Potential of Reinforcing Steel in Concrete., *ASTMC* - 876-91.
20. Asan. A., "Galvanik akım metodu kullanarak klorür iyonları, asetat iyonları ve uçucu külün beton içindeki çeliğin korozyonu üzerindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *G.U. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1996).
21. Koç T., Yalçın H., Katodik Koruma, *Palme Yayınevi*, ISBN 975-7477-51-6 (1996).

Geliş Tarihi:26.06.2002

Kabul Tarihi:11.11.2002