

Normal Ve Silis Dumanı Katılarak Üretilen Betonlarda Donatı Korozyonuna Sodyum Klorür Etkisi

Oğuzhan KELEŞTEMUR ve Servet YILDIZ

Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğt. Böl., 23119, Elazığ
okelestemur@firat.edu.tr, syildiz@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, karışım suyunun %1, %2 ve %3'ü oranlarında sodyum klorür (NaCl) ilave edilerek hazırlanmış çeşitli klorür konsantrasyonlarındaki beton numuneler içerisinde yer alan çeliğin korozyonu araştırılmıştır. Ayrıca, değişik NaCl konsantrasyonlarına sahip bu betonlara, çimento hacminin %10'u oranında silis dumanı ilave edilerek betonarme çeliğinin korozyonunda meydana gelen değişim incelenmiştir. Korozyon hızı deneyleri, klorür katılmış ve katılmamış beton numuneleri arasındaki galvanik akım ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Beton numuneler içerisindeki elektrot potansiyellerinin zamana karşı değişimi de ASTM-C-876-91'e uygun olarak 90 gün süresince her gün Cu/CuSO₄ referans elektrotu ile tespit edilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde, NaCl oranındaki artışa bağlı olarak, betonarme çeliğinin korozyon hızında artış gözlenmiştir. Ancak, beton numunelere silis dumanı ilavesiyle betonarme çeliğinin korozyon hızının azaldığı, hatta kontrol numunesinden daha düşük seviyelere indiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Sodyum klorür, Silis dumanı, Betonarme, Çelik.

Effect of Sodium Chloride on Corrosion of Steel in Normal Concrete and Produced by Addition of Silica Fume

Abstract

In this study, the corrosion of reinforced steel into the concrete samples with various concentrations of NaCl and obtained with the addition of NaCl which 1, 2 and 3% of the mixing water volume in the concrete structure was investigated. Additionally, the change on the corrosion of steel in the concrete samples with the addition silica fume 10% in the cement volume was explored. The corrosion rates were measured according to the galvanic current method on the samples. The corrosion potentials have been measured by applying ASTM-C-876-91 method for 90 days and using Cu/CuSO₄ reference electrode. As a result of these experiments, it is found that the corrosion rate of steel in the concrete samples with various concentrations of NaCl has increased with the increasing of the portion of NaCl. However, the corrosion rate of steel in the samples has decreased with the addition of silica fume.

Key Words: Corrosion, Sodium chloride, Silica fume, Reinforced concrete, Steel.

1.Giriş

Çelik, hava ve su içinde hızla korozyona uğradığı halde, beton içinde bulunan çelik pasif haldedir veya korozyon hızı son derece düşüktür. Beton rutubetli ve gözenekli bir yapıda olmasına rağmen, beton içinde bulunan çeliğin korozyona uğramamasının başlıca nedeni

betonun alkali özellikte olması ile açıklanmaktadır. Betonun alkali özelliği, çimento hidratasyonu sırasında ortaya çıkan kalsiyum hidroksitten ileri gelmektedir. Diğer taraftan klinker içinde az miktarda bulunan alkali oksitlerde suda kolayca çözünerek potasyum ve sodyum hidroksitleri oluşturur. Bu hidroksitler beton boşluk suyunun doygun kalsiyum hidroksit çözeltisi haline gelmesini sağlar. Böylece beton boşluklarında bulunan suyun pH derecesi 12-13 arasında bir değere erişir. Bu çözelti ile temas halinde olan betonarme çelikleri kısa sürede pasifleşir [1].

Kirlenmemiş betonlar içinde bulunan betonarme çeliklerinde oluşan pasif tabaka oldukça sağlam bir film oluşturarak çelik yüzeyine zararlı iyonların temasını önler. Ancak beton karışımı sırasında kullanılan malzemeler ile birlikte (karışım suyu, kum, çimento v.b.) beton içine klorür iyonu ve diğer zararlı bileşikler girmiş ise, bu zararlı iyonlar betonarme çeliklerinin pasifleşmesine engel olur. Aynı olay, sertleşmiş bir beton bünyesine sonradan zararlı iyonların girmesi halinde de kendini gösterir. Daha önce pasif hale gelmiş olan betonarme çeliklerinin üzerinde bulunan pasif tabaka yer yer bozulur ve bu bölgede pitting tipi korozyon olayı başlar [2].

Betonarme çeliğinin korozyonu sonucu yalnız çelik çürümekle kalmaz, korozyon ürünlerinin meydana getirdiği hacim büyümesi nedeniyle betonda iç gerilmeler olur. Bunun sonucunda beton çatlar, hatta parçalanabilir. Bu durum yalnız korozyonun etkisinde kalmış olan bölge için değil, yapının tamamı için tehlikeli sonuçlar doğurabilir [3].

Betondaki çelik donatıların korozyonunu azaltıcı önlemlerin başında, geçirimsiz beton üretilmesi yer almaktadır. Bu amaçla beton içerisine ince taneli mineral katkılar ilave edilmektedir [4].

Bu çalışmada, karışım suyuna değişik oranlarda NaCl ilave edilerek hazırlanmış beton numuneler içerisinde yer alan çeliğin korozyon hızı incelenmiştir. Ayrıca, değişik NaCl konsantrasyonları içeren bu betonlara, geçirimsizliği artırmak amacıyla çimento hacminin %10'u oranında silis dumanı ilave edilerek, çeliğin korozyonunda meydana gelen değişim araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

NaCl'den kaynaklanan betonarme çeliğinin korozyonuna, silis dumanı katkısının etkisini incelemek üzere, iki grup halinde 30 adet beton numunesi hazırlanmıştır. Beton içine daldırılmış olan çeliklerin korozyon hızları, Jang ve Iwasaki tarafından geliştirilmiş olan "Galvanik Akım Yöntemi" ile ölçülmüştür [5]. Bu yöntem, farklı özellikte elektrolit içine daldırılmış olan elektrotlar arasında oluşan galvanik akımın duyarlı bir ampermetre ile ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır.

Ayrıca betonarme çeliklerinin aktif yada pasif halde bulunduğunu belirlemek üzere korozyon potansiyelleri ASTM-C-876-91'e uygun olarak 90 gün boyunca her gün ölçülerek grafiğe geçirilmiştir.

2.1. Elektrotların hazırlanması

Elektrot olarak inşaat sektöründe temel yapı malzemesi olan Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları üretimi, SAE1010 çelik çubuklar kullanılmıştır. Bu çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1.'de verilmiştir.

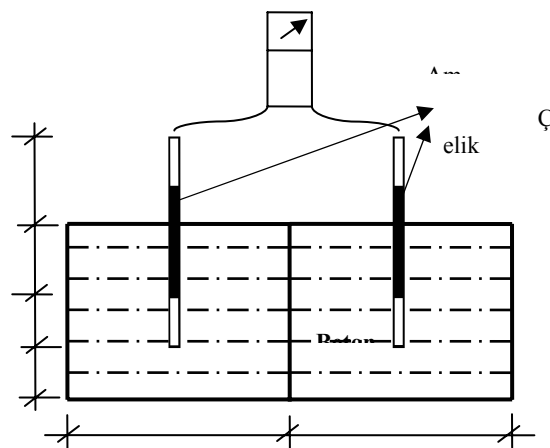
Tablo 1: Deneylerde kullanılan çeliğin ağırlıkça analizi

Element	Karbon (C)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)	Fosfor (P)	Kükürt (S)
Ağırlıkça, %	0,100	0,249	0,051	0,005	0,044

Tablo 1’de ağırlıkça analizi verilen çelik çubuklardan 8 mm. çapında, 14 cm. uzunluğunda, 60 adet kesilip, yüzeyleri mekanik olarak temizlenmiş ve son olarak 1200 meş’lik zımpara ile yüzeyler parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler, etil alkolle temizlenmiştir. Hazırlanan elektrotların, betona gömülecek olan uçlarında 10 cm²’lik yüzey alanı açık bırakılmıştır. Deney esnasında ölçümlerin kolayca yapılabilmesi için çelik elektrotların diğer ucuna vida dişi açılarak bu vidalara kablolar bağlanmıştır. Elektrotların geriye kalan bölgeleri ise, önce epoksi reçinesi sonrada polietilen sargı ile kapatılarak dış etkilere karşı korunmuştur.

2.2. Beton blokların hazırlanması

Deneysel çalışma için 10cm x 10cm x 10cm boyutlarında yapışık konumda beton bloklar hazırlanmıştır. Daha önce hazırlanmış olan çelik elektrotlar bu beton blokların içine yerleştirilmiştir. Bloklardan biri normal bileşimde diğeri ise farklı konsantrasyonlarda NaCl içermektedir. Yapışık konumda hazırlanan beton bloklar ve içerisine yerleştirilmiş olan inşaat çelikleri şematik olarak Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Yapışık konumdaki beton bloklar

Şekil 1’de yer alan elektrotlar üzerindeki siyah bölgeler koruma altına alınan bölgeleri ifade etmektedir. Kalıplara yerleştirilen beton numuneler laboratuvar ortamında 24 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Numuneler, iletkenliklerini yitirmeden daha hassas okumalar yapılabilmesi için, deney süresince %90 bağıl nemli ortamda bekletilmiştir.

2.3. Beton blok bileşimleri

Deneyler için A ve B olmak üzere iki grupta toplam 30 adet beton blok numunesi hazırlanmıştır.

A1 Grubu Beton Bloklar: Bu gruptaki yapışık bloklardan birinde normal beton kullanılmış, diğerine ise karışım suyunun %1’i oranında NaCl katılmıştır.

A2 Grubu Beton Bloklar: Bu gruptaki yapışık bloklardan birinde normal beton kullanılmış, diğerine ise karışım suyunun %2’si oranında NaCl katılmıştır.

A3 Grubu Beton Bloklar: Bu gruptaki yapışık beton blokların yapımında ise yine bloklardan birinde normal beton kullanılırken diğerine ise karışım suyunun %3’ü oranında NaCl katılmıştır.

B1 Grubu Beton Bloklar: Bu gruptaki yapışık beton blokların yapımında, A1 grubundakine benzer şekilde bloklardan birinde normal beton kullanılırken, diğerine ise karışım suyunun %1’i oranında NaCl ilave edilmiştir. Ancak, A1 grubundan farklı olarak bu grupta yapışık blokların her ikisine de çimento hacminin %10’u oranında silis dumanı ilave edilmiştir.

B2 Grubu Beton Bloklar: Bu gruptaki yapışık beton blokların yapımında, A2 grubuna benzer şekilde bloklardan birinde normal beton kullanılırken, diğerine ise karışım suyunun %2’i oranında NaCl ilave edilmiştir. Ancak, A2 grubundan farklı olarak bu grupta yapışık blokların her ikisine de çimento hacminin %10’u oranında silis dumanı katılmıştır.

B3 Grubu Beton Bloklar: Bu gruptaki yapışık beton blokların yapımında, A3 grubundakine benzer şekilde bloklardan birinde normal beton kullanılırken, diğerine ise karışım suyunun %3’i oranında NaCl ilave edilmiştir. Ancak, A3 grubundan farklı olarak bu grupta yapışık blokların her ikisine de çimento hacminin %10’u oranında silis dumanı katılmıştır.

Betonda silis dumanı kullanımı halinde, 1 m³ betonda her 1 kg. silis dumanı için 1 lt. su ilavesi önerilmektedir [6]. Buradan hareketle, katılan silis dumanı miktarınca su ilavesi yapılarak herhangi bir priz geciktiriciye gerek kalmadan yeterli priz süresi elde edilmiştir.

A ve B grubu numunelerine ait beton bileşimleri Tablo 2.’de verilmiştir. Beton blokların hazırlanmasında kullanılan Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş.’nin ürettiği PÇ 42,5 çimentosunun minerolojik bileşimi Tablo 3.’de, Antalya Eti Elektro Metalurji A.Ş.’den temin edilen silis dumanına ait minerolojik bileşim ise Tablo 4.’de verilmiştir.

Tablo 2. Yapışık konumdaki beton blokların bileşimi

Numune	Sol Blok	Sağ Blok
A1 Num.	Normal Beton	Normal Beton + 2,47 kg Cl ⁻ /m ³
A2 Num.	Normal Beton	Normal Beton + 4,94 kg Cl ⁻ /m ³
A3 Num.	Normal Beton	Normal Beton + 7,41 kg Cl ⁻ /m ³
B1 Num.	Normal Beton + %10 Silis Dumanı	Nor. Bet + %10 Silis Dumanı + 2,47 kg Cl ⁻ /m ³
B2 Num.	Normal Beton + %10 Silis Dumanı	Nor. Bet + %10 Silis Dumanı + 4,94 kg Cl ⁻ /m ³
B3 Num.	Normal Beton + %10 Silis Dumanı	Nor. Bet + %10 Silis Dumanı + 7,41 kg Cl ⁻ /m ³

Tablo 3. PÇ 42,5 Çimentosunun minerolojik bileşimi

Bileşenler	Bileşen Miktarları (%)
Silisyum dioksit (SiO ₂)	20,04
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	5,61
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	3,27
Kalsiyum oksit (CaO)	63,01
Mağnezyum oksit (MgO)	2,49
Kükürt trioksit (SO ₃)	2,26
Klorür (Cl)	0,006
Kızdırma kaybı (K.K.)	1,64
Tayin edilemeyen (T.E.)	1,68

Tablo 4. Silis dumanının minerolojik bileşimi

Bileşenler	Bileşen Miktarları (%)
Silisyum dioksit (SiO ₂)	91
Alüminyum oksit (Al ₂ O ₃)	0,58
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	0,24
Kalsiyum oksit (CaO)	0,71
Mağnezyum oksit (MgO)	0,33
Kükürt trioksit (SO ₃)	1,06
Klorür (Cl)	0,09
Kızdırma kaybı (K.K.)	1,84
Tayin edilemeyen (T.E.)	-

Her gruba ait 10cm x 10cm x 10cm’lik beton numunelerin karışım oranları Tablo 5.’de yer almaktadır. Karışımlarda kullanılan çimento dozajı 300 kg/m³’tür. Beton karışımında kullandığımız silis dumanının özgül ağırlığı 2.2 kg/dm³ olarak belirlenmiştir. Beton blokların hazırlanmasında, karışım suyu olarak içme suyu kullanılmıştır.

Tablo 5. Numunelere ait karışım oranları

	A1 Num.	A2 Num.	A3 Num.	B1 Num.	B2 Num.	B3 Num.
Çimento, kg	0,465	0,465	0,465	0,419	0,419	0,419
Kum(0-4 mm), kg	0,907	0,907	0,907	0,771	0,771	0,771
Çakıl(4-8 mm), kg	0,863	0,863	0,863	0,863	0,863	0,863
Su, kg	0,247	0,247	0,247	0,280	0,280	0,280
Silis Dumanı, kg	-	-	-	0,03278	0,03278	0,03278
NaCl, kg Cl/m ³	2,47	4,94	7,41	2,8	5,6	8,4
Su/Bağlayıcı	0,53	0,53	0,53	0,61	0,61	0,61

3. Deney Yöntemi ve Sonuçlar

3.1. Korozyon potansiyeli ölçümleri

Korozyon potansiyeli ölçümlerinde, referans elektrot olarak doygun Bakır/Bakır Sülfat (Cu/CuSO₄) referans elektrotu kullanılmıştır. Korozyon potansiyelleri, ASTM-C-876-91 standardına uygun olarak 90 gün boyunca her gün ölçülmüştür. Ölçümlerde “Fluke 45 Dual Display Multimeter” cihazı kullanılmıştır.

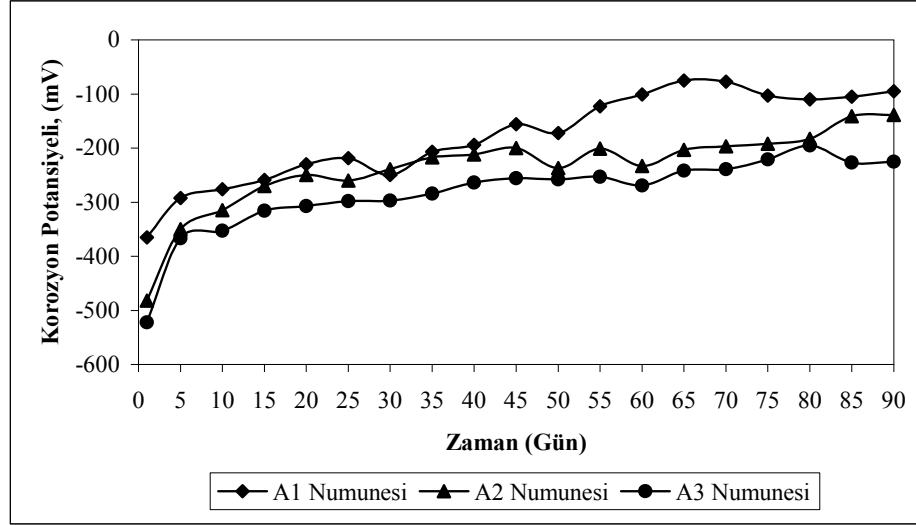
Korozyon potansiyeli ölçümleri sonucunda elde edilen değerler çizelge halinde Tablo 6’da, grafiksel olarak da Şekil 2 ve 3’de verilmiştir.

Tablo 6. Numunelerin korozyon potansiyeli değerleri, (mV)

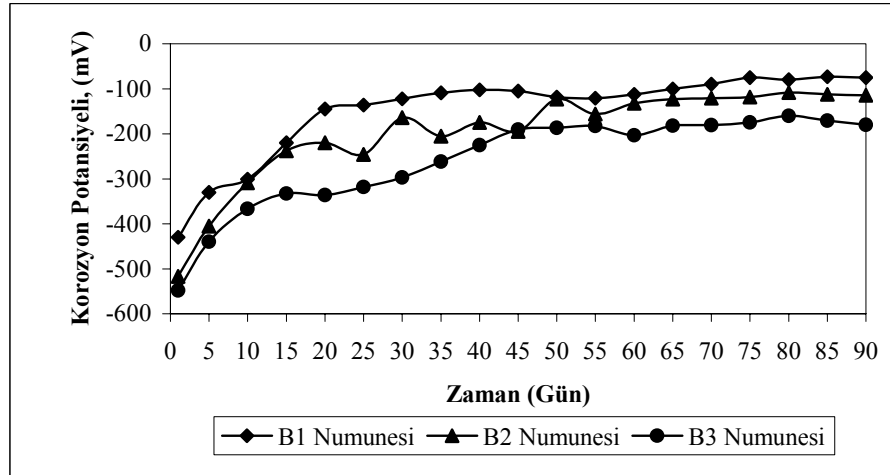
Gün	A1	A2	A3	B1	B2	B3
1	-365	-482	-522	-430	-517	-548
5	-292	-350	-367	-330	-405	-440
10	-276	-315	-353	-301	-309	-367
15	-259	-270	-316	-220	-238	-333
20	-230	-250	-307	-145	-220	-336
25	-219	-260	-298	-136	-246	-318
30	-250	-239	-297	-122	-164	-297
35	-207	-217	-284	-109	-205	-262
40	-194	-212	-264	-102	-175	-225
45	-156	-200	-256	-105	-195	-191
50	-172	-237	-258	-118	-123	-187
55	-123	-201	-253	-121	-156	-183
60	-101	-233	-269	-112	-132	-203
65	-75	-203	-242	-100	-123	-182
70	-77	-197	-239	-90	-121	-181
75	-103	-192	-221	-75	-118	-175
80	-110	-183	-195	-80	-108	-160
85	-105	-141	-227	-73	-112	-171
90	-95	-139	-225	-75	-114	-180

Korozyon potansiyellerinin zamana göre değişimleri, çeliğin aktif veya pasif halde bulunduğunu belirlemek üzere grafiğe geçirilmiştir.

Bu yöntem ile, zamana karşı yapılan potansiyel ölçümlerinde, beton örnekleri içindeki inşaat çeliklerinin korozyonu kalitatif olarak incelenmektedir.



Şekil .2 A numunelerindeki korozyon potansiyelinin zamana göre değişimi



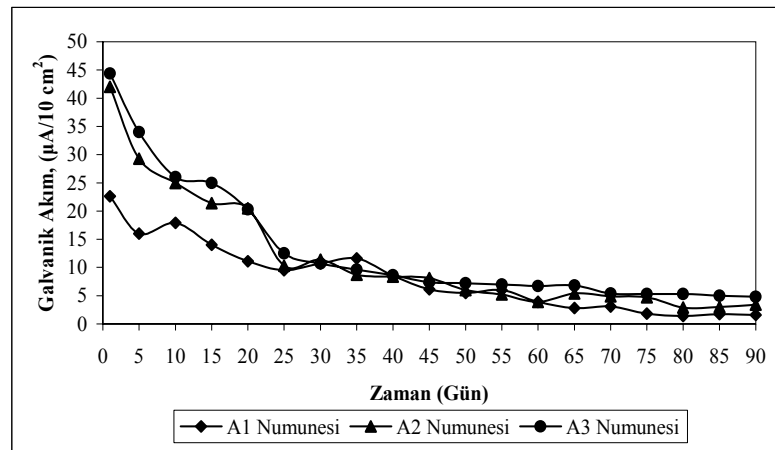
Şekil. 3 B numunelerindeki korozyon potansiyelinin zamana göre değişimi

3.2. Galvanik akım ölçümleri

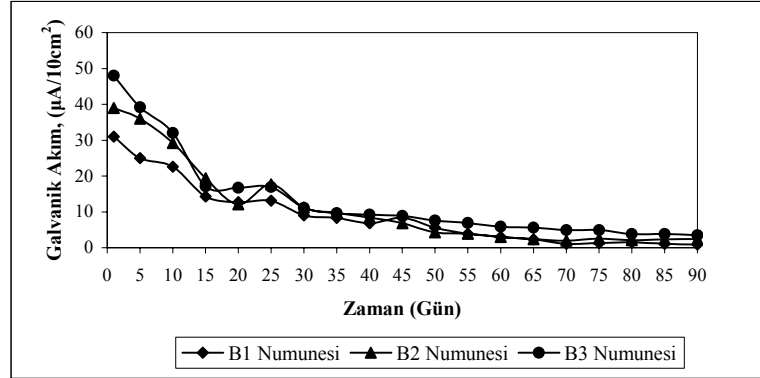
Bu ölçümlerde, A ve B grubu numunelerinin 90 gün süresince her gün galvanik akım değerleri okunmuştur. Bağlı korozyon hızları galvanik hücrelerden geçen galvanik akımın elektrot yüzey alanına bölünmesiyle belirlenmiştir. Ölçümlerde “Fluke 45 Dual Display Multimeter” cihazı kullanılmıştır. Elde edilen değerler çizelge halinde Tablo 7.’de, grafiksel olarak da Şekil 4. ve 5.’de verilmiştir.

Tablo.7 Numunelerin galvanik akım değerleri, ($\mu\text{A}/10\text{ cm}^2$)

Gün	A1	A2	A3	B1	B2	B3
1	22,6	42,0	44.4	31,0	39,0	48.0
5	16,0	29,3	34.0	25,0	36,0	39.2
10	17,9	25,0	26.0	22,6	29,2	32.0
15	14,0	21,4	25.0	14,3	19,4	17.1
20	11,1	20,5	20.3	12,7	12,1	16.7
25	9,5	10,3	12.5	13,1	17,7	16.9
30	10,7	11,4	10.7	9,0	11,2	11.1
35	11,6	8,7	9.6	8,3	9,7	9.6
40	8,5	8,4	8.6	6,8	8,4	9.2
45	6,1	8,1	7.4	8,3	6,8	8.9
50	5,5	6,0	7.2	5,6	4,3	7.6
55	6,0	5,2	7.0	3,9	3,9	6.9
60	3,9	3,9	6.7	3,0	3,0	5.9
65	2,8	5,4	6.8	2,3	2,4	5.6
70	3,1	4,9	5.4	1,1	2,0	4.9
75	1,8	4,7	5.3	1,3	2,5	4.9
80	1,4	2,9	5.3	1,5	2,1	3.8
85	1,7	3,0	5.0	1,1	2,3	3.8
90	1,6	3,4	4.8	0,9	2,4	3.5



Şekil.4 A numunelerindeki galvanik akımın zamana göre değişimi



Şekil.5 B numunelerindeki galvanik akımın zamana göre değişimi

4. Sonuçlar ve Tartışma

Zamana bağlı korozyon potansiyeli ölçümleri, beton karışım suyu ile birlikte betona değişik konsantrasyonlarda NaCl katılmasıyla betonarme çeliğinin korozyon potansiyellerinin daha pozitif değerlere kaydığını ancak, bu numunelere %10 oranında silis dumanı ilave edilmesi durumunda beton numunelerdeki çeliğin korozyon potansiyelinin artarak kontrol numunesinden daha büyük değerler aldığını açıkça göstermektedir. Korozyon potansiyeli negatif yönde en yüksek olan inşaat çeliklerinin, karışım suyunda %3 oranında NaCl bulunduran numunelerde ki çelikler olduğu deneyler neticesinde tespit edilmiştir. Her ne kadar korozyon potansiyeli değerleri ile korozyon hızı hakkında kantitatif sonuçlara varmak mümkün değilse de, betonarme çeliklerinin aktif yada pasif halde oluşları net olarak anlaşılabilmektedir.

Galvanik akım ölçümleri de korozyon potansiyeli değerlerini desteklemiştir. Galvanik akım ölçümleri neticesinde, beton numunelere karışım suyu ile birlikte NaCl katılması halinde, NaCl miktarına bağlı olarak betonarme çeliğinin galvanik akım değerlerinde artış meydana geldiği açıkça belirlenmiştir. Karışım suyunda %3 oranında NaCl bulunduran beton numunelerdeki inşaat çeliklerinde, diğer NaCl konsantrasyonlarına sahip numunelere oranla en yüksek galvanik akımın meydana geldiği “galvanik akım ölçümleri” ile de ispatlanmıştır. Ancak, NaCl içeren beton numunelerine %10 oranında silis dumanı ilave edilmesi durumunda bu numunelerdeki galvanik akım değerlerinin azalarak kontrol numunesinden daha düşük seviyelere indiği yapılan galvanik akım ölçümleri sonucunda belirlenmiştir.

Betonarme yapılardaki çeliğin NaCl’den kaynaklanan korozyona karşı direncini artırabilmek için mutlak surette ince taneli mineral katkı maddesi olan silis dumanı’nın kullanılması gerektiği yapılan çalışma neticesinde önerilmektedir.

Kaynaklar

1. H. Yalçın, T. Koç, “Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Önlenmesi”, CMS Kongre Yönetim sistemleri Uluslar arası Organizasyon Yayıncılık Bilişim Hizmetleri Limited Şirketi, Ankara, 2004.

2. D.A. Hausman, "Electrochemical Behaviour of Steel in Concrete", ACI Journal, 61, (2), February, 170-187, 1964.
3. D.A. Lewis and W.J. Copenhagen, "Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete in Marine Atmospheres", Corrosion-Nace, Vol-15, July, 1959.
4. T.Y. Erdoğan, "Beton", ODTU Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.Yayını, Ankara, 2003.
5. W. Jang, I. Iwasaki, "Rebar Corrosion Under Simulated Concrete Conditions Using Galvanic Current Measurements", Corrosion-Nace, 47(11): 875-883., 1991.
6. M.A. Yeğınobalı, "Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Endüstriyel Katı Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu", 18-19 Kasım 1993, Bildiriler Kitabı, 1993.
7. ACI Journal Committee Report, "Corrosion of Metals in Concrete", Ame. Concrete Inst., ACI 222 R-85, 3, Detroit, 1985.
8. A.R. Uluata, "Yapı Malzemesi Olarak Beton Ders Notları", Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Kültürteknik Bölümü, Erzurum, 1979.
9. Asan, "Galvanik Akım Metodu Kullanarak Klorür İyonları, Asetat İyonları ve Uçucu Külün, Beton İçindeki Çeliğin Korozyonu Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1996.
10. Asan, H. Yalçın, "Uçucu Kül Katkısının Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine Etkisi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16(1): 47-54., 2003.
11. Postacıoğlu, "Yapı Malzemeleri Dersleri", İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı:1011, İstanbul, 1975.
12. G.T. Halvorsen, "Protecting Rebar in Concrete", Materials Performance, August, 31-33, 1993.
13. G.N. Scott, "Corrosion Protection Properties of Portland Cement Concrete", J. Am. Water Works Assoc., 57, 1038., 1965.
14. H. Yalçın, T. Koç, "Mühendisler İçin Korozyon", Türk Mühendisler ve Mimarlar Birliği Odası, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 1998.
15. H. Yalçın, T. Koç, "Katodik Koruma", Palme Yayın Dağıtım, Ankara, 1999.
16. M. Doruk, "Korozyon ve Önlenmesi", Orta Doğu Teknik Üniversitesi Müh. Fak., Yayın No:70, Ankara, 1982.
17. S. Mindess, J.F. Young, "Concrete, Prentice-Hall", Inc., New Jersey., 1981.
18. S. Üneri, "Korozyon ve Önlenmesi", Korozyon Derneği, Poyraz Ofset, Ankara, 1998.
19. TS 802, "Beton Karışım Hesap Esasları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.