

ICCP04-130104-09-237

Farklı bölgelerde üretilen PKÇ/B 32.5 R çimentosunun, betonarme yapılardaki donatı korozyonuna etkisi

Keleştemur, O.*, Aksoy, M.** , Yıldız, S.*

*Fırat Üniv. Tek. Eğt. Fak. Yapı Eğt. Böl., Elazığ, Türkiye.

**Fırat Üniv. Müh. Fak. Met.ve Malz. Müh. Böl., Elazığ, Türkiye.

Özet

Birçok araştırmacı tarafından gerçek beton örnekleri üzerinde yapılan çalışmalarda, genellikle değişik klorür iyonu konsantrasyonlarında beton içindeki çeliğin korozyon hızı belirlenmiş ve klorür iyonlarının korozyona neden olan sınır değeri tayin edilmiştir. Bu çalışmada ise, farklı çimento fabrikalardan alınan, PKÇ/B 32.5R türü çimentonun, korozyon hızı üzerine etkisi araştırılmıştır. Korozif bir ortam oluşturmak amacıyla beton numunelerin karışım suyuna, deniz suyu ortamını sağlayabilmek için % 3 oranında NaCl ilave edilerek deneyler yapılmıştır. Beton numunelerinin karışım oranları TS 802'ye uygun olarak hazırlanmış olup bütün numunelerde, aynı malzeme ve malzeme miktarı kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerdeki tek farklılık, farklı bölgelerdeki fabrikalarda üretilmiş olan PKÇ/B 32.5 R türü çimentosudur. Yapılmış olan bu çalışmada ilk olarak beton numuneler içerisindeki elektrot potansiyellerinin zamana karşı değişimi 90 gün süresince her gün Cu/CuSO₄ Referans Elektrotu ile tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, beton numunelere galvanostatik yöntem uygulanarak elektrotların korozyon hızları ayrı ayrı tespit edilerek, farklı bölgelerdeki fabrikalardan elde edilen çimentolardan üretilen numunelerin içerisindeki donatıların korozyon hızlarında farklılık olduğu gözlenmiştir. PKÇ/B 32.5 R çimentosunun oksit kompozisyonundaki farklılığın korozyon hızına etkisi yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Çimento, Beton, Betonarme, Çelik.

The effect of cements, PKÇ/B 32.5 R, produced in various areas on the corrosion of reinforced concrete structures

Abstract

The corrosion rate of steel in the concrete structures has been determined for various chlorine ion concentrations in the studies done on the real concrete samples by many researchers, and the limit value of chlorine ions causing the corrosion has been established. However, in this study, the corrosion rate has been studied for PKÇ/B 32,5 R cement which has been taken from various factories. 3% NaCl which was base for seawater was added into the solution water of the concrete mortar for the sake of creating corrosive environment and then tests have been carried out. The mixture rate of concrete samples has been prepared according to TS 802 and the same type and same amount of materials have been used for the samples. The unique difference between samples was PKÇ/B 32.5 types cement on various producing center.

In this study, in the first step, the changes in the electrot potential versus time for the concrete samples were determined for 90 days by taking measurement every day and using Cu/CuSO₄ reference electrot. In the second step of the study, the corrosion rate of electrots has been determined separately by applying galvanostatic method to the concrete samples, and the effect of various oxide compositions in the cement on the corrosion rate has been interpreted.

Keywords: Corrosion, Cement, Concrete, Reinforced Concrete, Steel.

1. Giriş

İnşaat malzemelerinin başında gelen ve her çeşit yapıda kolaylıkla kullanılabilen beton, dış etkilere karşı fiziksel ve kimyasal olarak oldukça dayanıklıdır. Basınca karşı dayanımı çok yüksek olan betonun, çekmeye karşı düşük olan dayanımını artırmak üzere çelik takviye kullanılmaktadır. Pratikte "inşaat demiri" olarak bilinen bu demirler aslında yumuşak çelik çubuklardır.

Betonarme demiri olarak kullanılmakta olan yumuşak çelikler atmosferde ve sulu ortamlarda korozyona karşı dayanıksız bir metaldir. Buna rağmen betonarme demirleri beton içinde korozyona uğramadan uzun süre dayanır. Bunun nedeni, betonun yüksek alkali özelliğe sahip olmasıdır. Alkali ortamlarda demir yüzeyinde pasif bir oksit filmi oluşarak korozyon hızını azaltır. Diğer taraftan beton, poroz yapıda olmasına rağmen geçirgenliği düşük bir malzemedir. Bu nedenle betonarme demirlerinin korozyonuna neden olan bileşiklerin (oksijen, su ve klorür) çevreden beton içine girmesi ve demire kadar ulaşması güçleşir. Betonun özellikle kuru halde iken elektriksel iletkenliği de oldukça düşüktür. Yani

beton rezistivitesi yüksek bir elektrolit gibi davranır. Bunun sonucu olarak betonarme demirlerinin pratik olarak korozyona uğramayacağı söylenebilir (Scott, 1965; ACI Committe Report, 1985; Halvorsen, 1993).

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 demirlerinin pasifleşmesine engel olur. Aynı olay, sertleşmiş bir beton bünyesine sonradan zararlı iyonların girmesi halinde de kendini gösterir. Daha önce pasif hale gelmiş olan betonarme demirlerinin üzerinde bulunan pasif tabaka yer yer bozulur ve bu bölgede pitting tipi korozyon olayı başlar (Hausmann, 1964; Boyd and Tripler, 1968; Mozer, 1969).

Betonarme demirlerinin korozyonu sonucu yalnız demir 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 (Lewis and Copenhagen, 1959).

Literatürde betonarme demirlerinin korozyonu üzerine etki yapan faktörler konusunda pek çok araştırma yapılmıştır. Gerçek beton örnekleri üzerinde veya eşdeğer alkali çözelti içerisinde yapılan çalışmalarda, genellikle klorür iyonu konsantrasyonlarında çeliğin korozyon hızı belirlenmiş ve klorür iyonlarının korozyona neden olan minimum sınır değeri tayin edilmiştir. Betonarme donatısının korozyonu üzerine çimentoların etkisi ile ilgili araştırmalarda ise, farklı türden çimentolar karşılaştırılarak bunların donatı korozyonuna etkileri incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada, farklı türden çimentolar kullanmak yerine piyasada yaygın olarak kullanılan PKÇ/B 32,5 R türü çimentosunun betonarme donatısının korozyonu üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, çimento hammaddesinin oksit kompozisyonunda meydana gelen küçük değişikliklerin korozyon hızı üzerindeki etkilerini belirlemektir. Bu nedenle farklı bölgelerden alınan PKÇ/B 32,5 R çimentosu ile hazırlanan deney numuneleri üzerinde, 90 gün süresince açık devre yarı hücre potansiyelleri elde edilmiş ve ardından da galvanostatik yöntem ile korozyon akımları tespit edilmiştir. Deneyler sonunda görülmüştür ki, PKÇ/B 32,5 R çimentosunun üretiminde kullanılan hammadde farklılığının, oksit bileşenlerinde değişikliğe neden olmasından dolayı korozyon hızlarını da farklı yönde etkilemiştir.

2. Deney Çalışmaları

Farklı bölgelerde yer alan beş ayrı ildeki fabrikalardan alınan PKÇ/B 32,5 R türü çimentosunun betonarme demirlerinin korozyonuna etkisi 15 adet beton numunesi üzerinde incelenmiştir. Deneyler iki aşama halinde yapılmıştır. İlk aşamada, çeliğin beton içerisindeki zamana karşı korozyon potansiyeli incelenmiştir. İkinci aşamada ise beton içerisindeki çeliğin anodik ve katodik polarizasyon değerleri elde edilerek, katodik polarizasyon eğrileri yardımıyla korozyon akımları tespit edilmiştir.

Numuneler hazırlanırken, çimento dozajı, su/çimento oranı, agrega miktarı, korozif bir ortam oluşturmak amacıyla katılan NaCl miktarı sabit tutulmuştur. Beş grup beton numunesine, ticari açıdan sakıncalar doğurmaması için çimentoların alındığı fabrika isimlerini vermek yerine numuneler A, B, C, D ve E numuneleri şeklinde isimler verilerek deneyler yapılmıştır. Sırasıyla, bu numunelerin hazırlandığı farklı fabrikalardan temin edilen PKÇ/B 32,5 R çimentolarına ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 2.'de verilmiştir. Analizler, üretici fabrikalardan alınmıştır.

Tablo 2: Çimentolara (PKÇ/B 32,5 R) ait kimyasal analiz sonuçları

Bileşenler	Çimentoların Bileşen Miktarları (%)				
	A	B	C	D	E
Silisyum dioksit (SiO_2)	29.12	27.74	23.51	27.08	23.45
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	8.63	7.27	6.15	6.24	8.55
Demir oksit (Fe_2O_3)	6.00	3.96	4.00	5.01	7.50
Kalsiyum oksit (CaO)	43.85	49.97	58.51	52.54	50.82
Mağnezyum oksit (MgO)	3.74	2.85	2.27	4.38	3.61
Kükürt trioksit (SO_3)	2.14	2.21	2.37	2.81	2.92
Klorür (Cl)	0.006	0.0102	0.10	-	-
Kızdırma kaybı (K.K.)	2.50	4.99	2.04	1.17	2.43
Tayin edilemeyen (T.E.)	4.02	-	-	0.71	0.25
Erimez kalıntı (E.K)	-	-	12.46	13.03	14.74
Serbest Kireç (s.CaO)	1.57	1.06	0.55	1.28	-
Toplam katkı miktarı	30.00	28.99	24.49	29.01	24.38

TS 802'ye uygun olarak hazırlanan, beton numunelerinin karışım oranları, Tablo 3.'de verilmiştir.

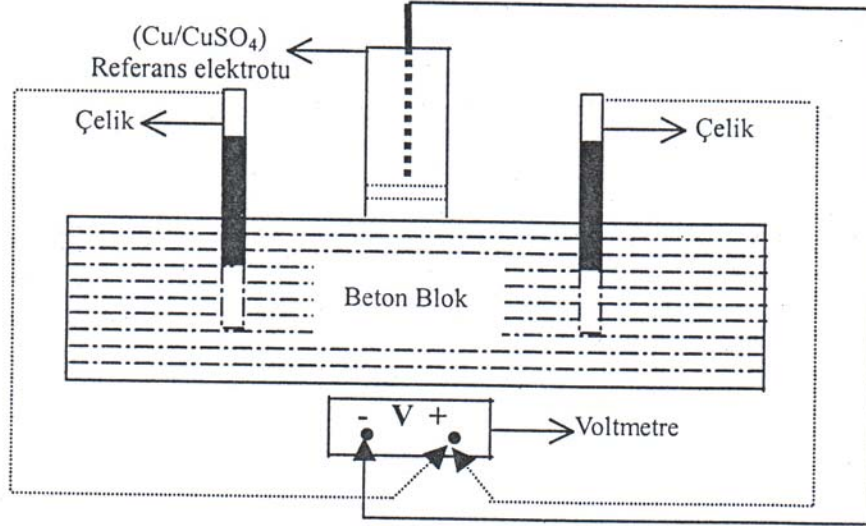
Tablo 3: TS 802'ye uygun olarak hazırlanan beton karışım miktarları

Kalıp Ebadı : 10cm x 10cm x 20cm (2 dm ³)	
PKÇ/B 32,5 R Çimento miktarı (gr)	920
Kum (0-4 mm) miktarı (gr)	1800
Çakıl (4-8 mm) miktarı (gr)	1700
Su miktarı (gr)	533.5
Sodyum Klorür (NaCl) miktarı (gr)	16.5
Su/Çimento oranı	0.60

3. Deney Yöntemi ve Sonuçlar

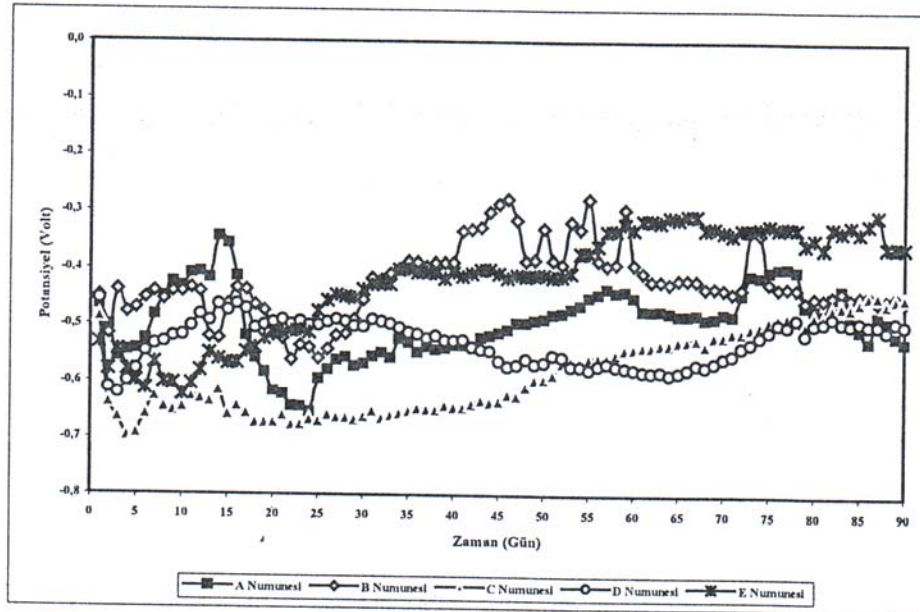
3.1. Korozyon Potansiyeli Ölçümleri

Korozyon potansiyeli ölçümlerinde, referans elektrot olarak doygun Bakır/Bakır Sülfat (Cu/CuSO_4) referans elektrotu kullanılmıştır. Korozyon potansiyelleri, ASTM-C-876-91'e uygun olarak 90 gün boyunca her gün ölçülmüştür. Korozyon potansiyellerinin zamana göre değişimleri, çeliğin aktif veya pasif halde bulunduğunu belirlemek üzere grafiğe geçirilmiştir. Cu/CuSO_4 referans elektrotu yardımıyla açık devre yarı hücre potansiyellerinin tespit edilmesi, Şekil 2.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2: Cu/CuSO₄ referans elektrodu ile beton içerisindeki elektrodun korozyon potansiyeli ölçümü

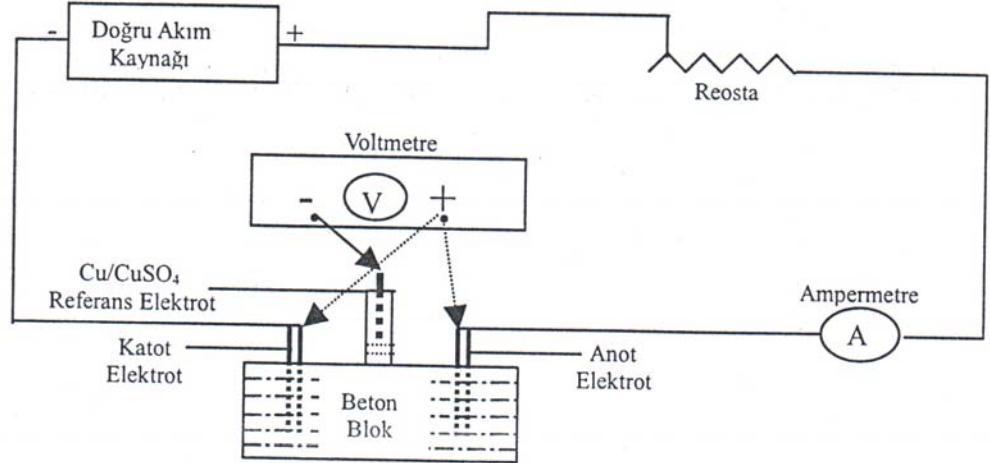
Bu yöntem ile, zamana karşı yapılan potansiyel ölçümlerinde, beton örnekleri içindeki inşaat demirlerinin, korozyonu kalitatif olarak incelenmektedir. ASTM-C-876-91 standardına göre elde edilen sonuçlar, grafiksel olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, tüm beton numuneleri içerisindeki çeliğin, pozitif yöndeki potansiyel artışı, çok düşük kalarak, korozyon açısından aktif bölgede kaldığı Şekil 3'den net olarak görülmektedir.



Şekil 3: Çeliğin korozyon potansiyeli değerinin 5 ayrı beton numune içerisinde zamana göre değişimi

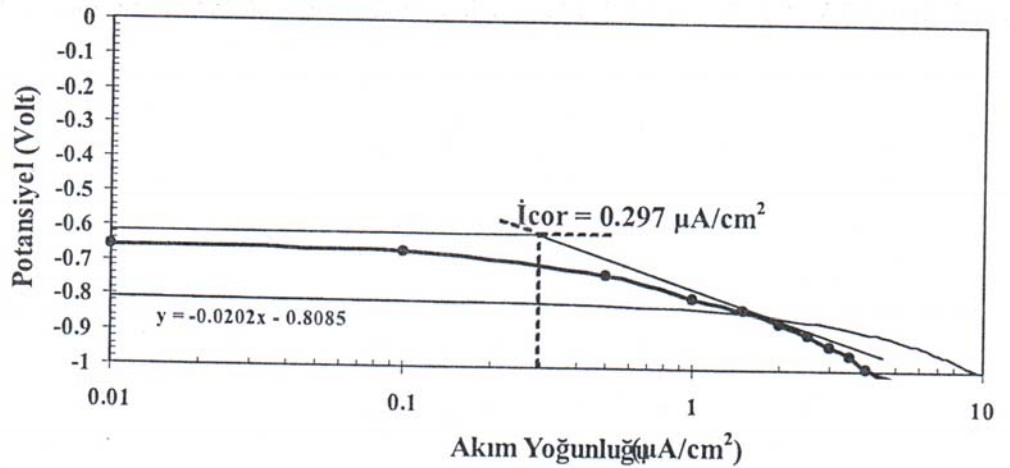
3.2. Çeliğin Beton İçindeki Anodik ve Katodik Polarizasyon Ölçümleri

Çeliğin beton içerisindeki denge potansiyelinin tespit edilme deneyi, 90 gün süresince yapılmıştır. Daha sonra, aynı beton bloklar anodik ve katodik polarizasyon deneylerinde kullanılmıştır. Polarizasyon deneyi galvanostatik yöntemle yapılmıştır. Galvanostatik yöntemin uygulanması için kullanılan deney düzeneği Şekil 4.'de şematik olarak gösterilmektedir.

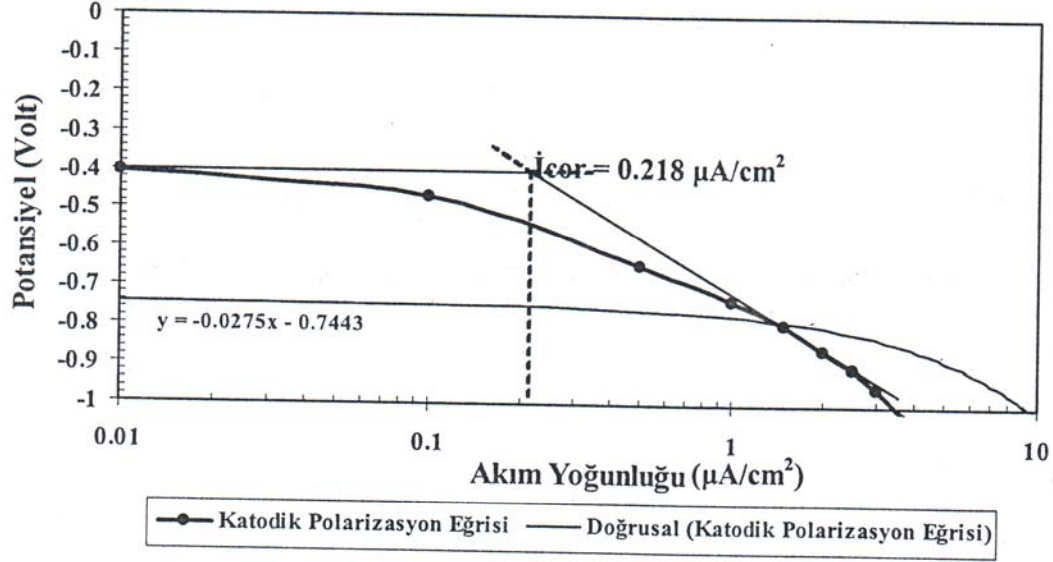


Şekil 4: Galvanostatik yöntemle yapılan polarizasyon ölçümünün şematik görünüşü

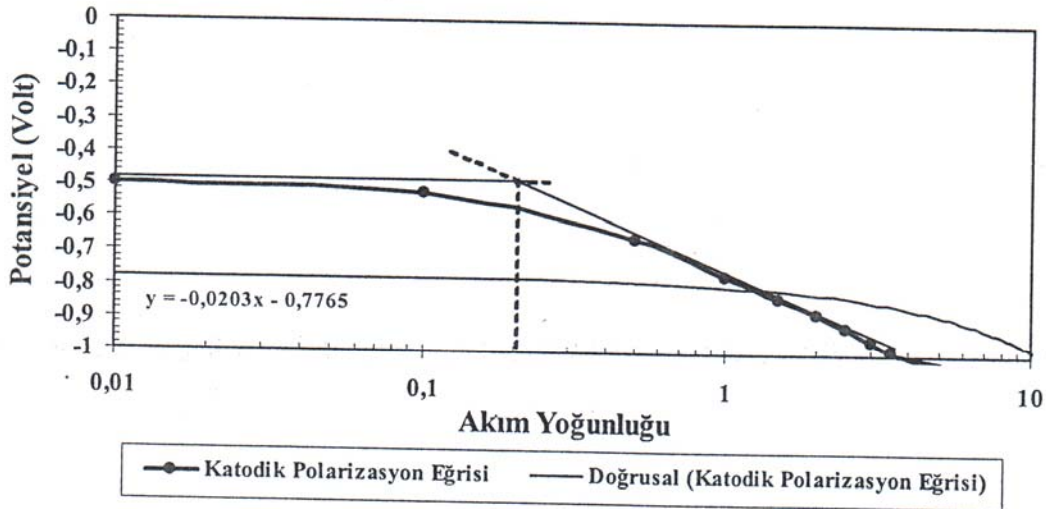
Ölçümlerde, anot ve katot elektrotlarda, deney süresince akım yoğunluğu eşit kalacak şekilde, dış akım uygulanmıştır. Her iki elektrotun anodik ve katodik polarizasyon değerleri aynı anda okunmuştur. Dış akım uygulamasına, $0.01 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'den başlanarak $25 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'ye kadar artırılmış ve tafel bölgesinin oluşması sağlanmıştır. Bu tafel bölgesi korozyon potansiyeline ekstrapolasyon yapılarak korozyon akımları tespit edilmiştir. Her numune için ayrı ayrı elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 5., 6., 7., 8. ve 9.'da gösterilmiştir.



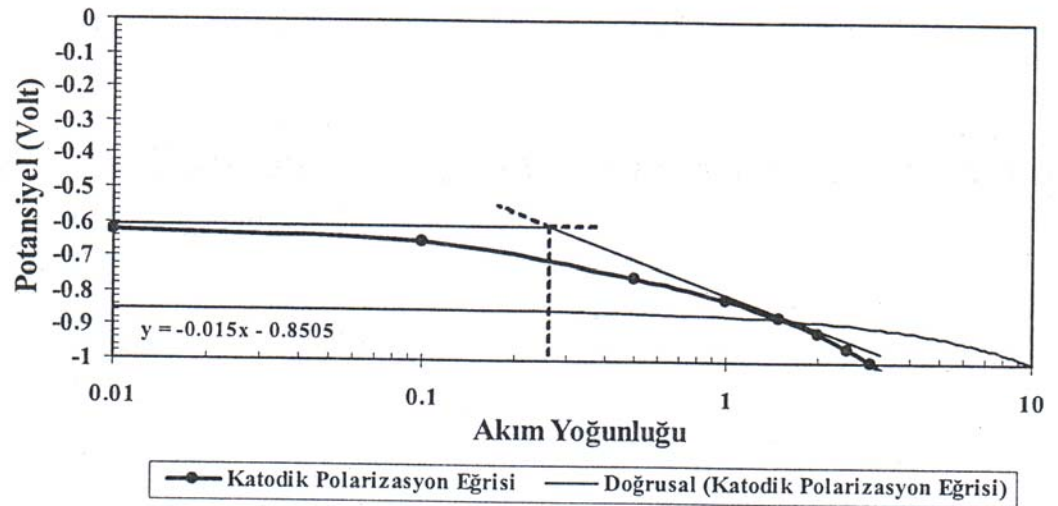
Şekil 5: A numunesinin katodik polarizasyon eğrisine göre korozyon akımının tespiti



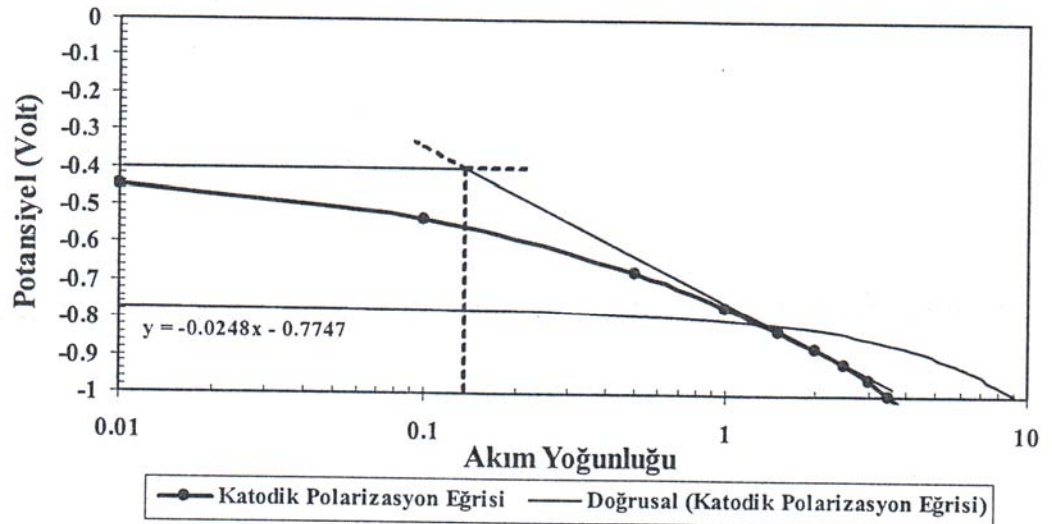
Şekil 6: B numunesinin katodik polarizasyon eğrisine göre korozyon akımının Tespiti



Şekil 7: C numunesinin katodik polarizasyon eğrisine göre korozyon akımının tespiti



Şekil 8: D numunesinin katodik polarizasyon eğrisine göre korozyon akımının tespiti

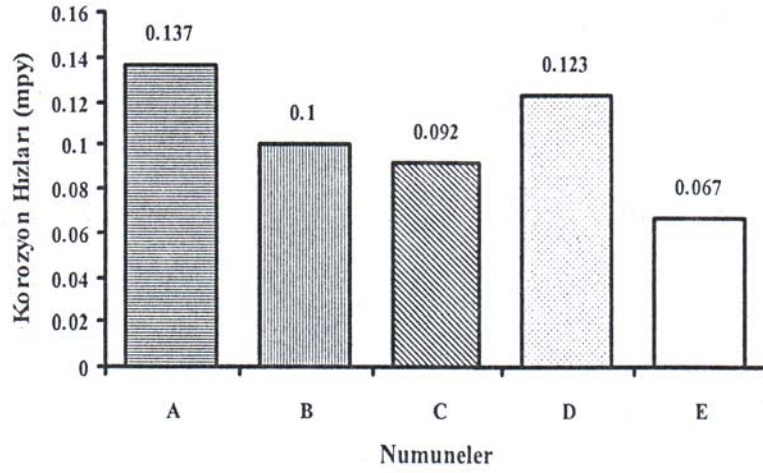


Şekil 9: E numunesinin katodik polarizasyon eğrisine göre korozyon akımının tespiti

3.3. Numunelerin Korozyon Hızları

Şekil 5., 6., 7., 8. ve 9.'dan elde edilen numunelere ait akım yoğunluklarından yararlanılarak elde edilen korozyon hızları (Yalçın ve Koç, 1998) Şekil 10'da gösterilmiştir.

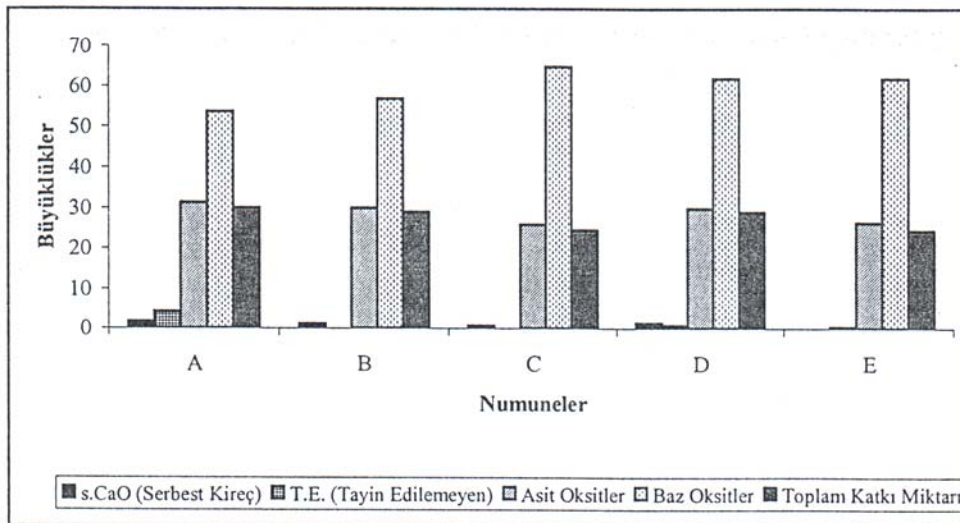
Buna göre A numunesinde en yüksek, E numunesinde ise en düşük korozyon hızları bulunmuştur.



Şekil 10: Numunelere ait korozyon hızları

Tablo 4: Numunelere ait s.CaO, tayin edilemeyen, asit oksit, baz oksit ve toplam katkı miktarları

	A Numunesi	B Numunesi	C Numunesi	D Numunesi	E Numunesi
s.CaO, (%)	1.57	1.06	0.55	1.28	-
T.E., (%)	4.02	-	-	0.71	0.25
Asit Oksit, (%)	31.26	29.95	25.88	29.89	26.37
Baz oksit, (%)	53.59	56.78	64.78	61.93	61.93
Toplam Katkı Miktarı, (%)	30.00	28.99	24.49	29.01	24.38



Şekil 11: Numunelere ait sCaO, tayin edilemeyen, asit oksit, baz oksit ve toplam katkı miktarlarını bir arada gösteren grafik

3.4. Sonuçların Tartışılması

Üzerinde çalışılan, PKÇ/B 32.5 R çimentosundan hazırlanan numunelerin içerisine yerleştirilen çelik çubukların, korozyon hızlarının, yaklaşık olarak benzer değerlerde elde edilmesi gerekirken, Şekil 10'da görüleceği gibi, 90. gün sonunda, A numunesinin korozyon hızının en yüksek, E numunesinin ise en düşük olduğu bulunmuştur. Ayrıca, B ve C, A ve D numunelerinin korozyon hızları yaklaşık değerlerde olduğu Şekil 10 dan anlaşılmaktadır. Elde edilen bu sonuçları, Şekil 3'de verilen açık devre korozyon potansiyeli değişimleri doğrulamaktadır. Bu eğriye göre, bütün numuneler deneyin başlangıcındaki günlerde aktif bölgede bulunmaktadır. 90. günde E numunesi pasif bölgede iken, diğer numuneler aktif bölgede kalmışlardır. Ara günlerde ise, bütün numunelerde pasifleşmeye doğru bir eğilim gözlenmektedir. Su/Çimento oranının 0.60 seçilmiş olması, numunelerin deney süresince ıslak bezlerle kür edilmesi ve karışım suyunun %3 oranında NaCl içermesi bu sonucun çıkmasında en büyük etken olmaktadır.

4. Genel Sonuçlar ve Öneriler

1. A numunesinde, çimento bünyesinde tayin edilemeyen bileşiklerin miktarı % 4.02'dir. Tayin edilemeyen bileşiklerin çimento bünyesinde % 1'den fazla olmaması istenmektedir.
2. A numunesinde, çimento bünyesinde yer alan serbest kireç miktarı %1.57'dir. Halbuki, çimento bünyesinde serbest kireç miktarı için olması gereken değer en fazla % 1.0'dir.
3. A numunesinde bulunan asit oksit miktarının fazla, baz oksit miktarının düşük olmasından dolayı pH değeri daha düşüktür. Bu durum, korozyon hızını artıracaktır.
4. Çimento içerisindeki toplam katkı miktarının artmasıyla birlikte, korozyon hızının da artış gösterdiği deneyler sonucunda belirlenmiştir.

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular ışığında aşağıdaki öneriler yapılmıştır:

1. Yapılan deneysel çalışma neticesinde, aynı tür çimento ile hazırlanan beton numuneler içerisindeki donatıların korozyon hızlarının farklılık göstermesi, çimento hammaddesinin farklılığından kaynaklandığı sonucuna bağlanmıştır. Deprem haritasına göre, %92'si deprem kuşağı içerisinde bulunan ülkemizde yapı güvenliği büyük önem taşımaktadır. Betonarme yapılar içerisinde ki donatıların korozyona uğraması yapının tamamı için bir tehlike oluşturmakta ve üzücü sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle günümüz yapılarının inşasında yaygın olarak kullanılan, PKÇ/B 32,5 R çimento türü için en uygun hammadde kaynağı tespit edilip, bu çimento türünün kalitesi daha da artırılarak betonarme donatısının korozyonuna olan etkisi en az seviyeye indirilebilir.
2. Benzer araştırmaların tüm bölgelerde uygulanmasıyla, Türkiye genelinde üretim yapan fabrikalarda hammadde kaynağı ve kimyasal bileşenler yönünden bir standardizasyon sağlanması yönünde tedbir alınmalı, çimento üreticileri bu konuda uyarılmalıdır.

Kaynaklar

1. ACI Journal Committee Report, **Corrosion of Metals in Concrete**, Ame. Concrete Inst., ACI 222 R-85, 3, Detroit, 1985.
2. Arup, H., **The Mechanisms of the Protection of Steel by Concrete in Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction**, A. P. Crane, Ed., Ellis Harwood, Ltd., p. 393, 1983.
3. Doruk, M., **Korozyon ve Önlenmesi**, ODTU Mühendislik Fakültesi, Yayın No:70, Ankara, 1982.
4. Halvorsen, G.T., **Protecting Rebar in Concrete**, Materials Performance, August, 31-33, 1993.
5. Hausman, D.A., **Electrochemical Behaviour of Steel in Concrete**, ACI Journal, 61, (2), February, 170-187, 1964.
6. Lewis, D.A. and Copenhagen, W. J., **Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete in Marine Atmospheres**, Corrosion-Nace, Vol-15, July, 1959.
7. Neville, A. M., **Properties of Concrete**, Pitman Publishing Corporation, Newyork, 1972.
8. Scott, G. N., **Corrosion Protection Properties of Portland Cement Concrete**, J. Am. Water Works Assoc., 57, 1038, 1965.
9. Stratfull, R. F., **Half-Cell Potentials and the Corrosion of Steel in Concrete**, Highway Research Record 433, p.12, 1973.
10. TS 19, **Çimento-Portland Çimentoları**, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan, Ankara, 1992.
11. TS 802, **Beton Karışım Hesap Esasları**, Türk Standartları Enstitüsü, Ocak, Ankara, 1985.
12. TS 12143, **Çimento-Portland Kompoze**, Türk Standartları Enstitüsü, Mart, Ankara, 1997.
13. Üneri, S., **Korozyon ve Önlenmesi**, Korozyon Derneği, Poyraz Ofset, Ankara, 1998.
14. Yalçın, H. ve Koç, T., **Mühendisler için Korozyon**, Türk Mühendisler ve Mimarlar Birliği Odası, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 1998.
15. Yalçın, H. ve Koç, T., **Katodik Koruma**, Palme Yayın Dağıtım, Ankara, 1999.

