



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Diatomit ve Zeolit İkameli Beton İçerisindeki Donatı Korozyonunun Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) Yöntemi ile İncelenmesi

Hüsnü GERENGİ^{a,*}, Yılmaz KOÇAK^b, Mine KURTAY^a, Hatice DURGUN^a

^a Korozyon Araştırma Lab., Makine Müh.Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b İnşaat Teknolojisi Bölümü, Kütahya Teknik Bilimler MYO, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: husnugerengi@duzce.edu.tr

ÖZET

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin uygun oranlarda karıştırılması ile üretilen, başlangıçta plastik kıvamlı olup zamanla çimentonun hidrasyonu sonucu sertleşen yapı malzemesidir. Betonarme yapıların en önemli dezavantajı donatı korozyonudur. Donatıda meydana gelen korozyon, kesit kayıplarının yanında donatı-beton aderansında da zamanla azalmaya neden olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, katkı malzemesiz (referans), %20 zeolit ve %20 diatomit ikameli beton numuneler içerisindeki nervürlü donatının, sanayide en çok kullanılan 0.5 M H₂SO₄ ve 1 M HCl asit içerisindeki korozyon mekanizmasındaki farklılığı ortaya koymaktır. Ölçümler Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda %20 zeolit ikameli beton numunelerindeki beton ve donatı dirençlerinin, %20 diatomit ikameli ve referans betona göre daha fazla olduğu, dolayısı ile daha az korozyona uğradığı saptanmıştır. Ayrıca, beton numunelerin ve içerilerindeki donatılarının HCl ortamına kıyasla H₂SO₄ ortamında daha çok fiziksel ve elektrokimyasal değişime uğradığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Zeolit, Diatomit, HCl, H₂SO₄

Investigation Corrosion of Reinforcement in Diatomite and Zeolite Substituted Concrete with Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) Method

ABSTRACT

Concrete; is a building material that is produced by mixing of cement, aggregates, water and additives in appropriate proportions and that is plastic consistency initially but hardens in time because of hydration of cement. One of the major disadvantages of reinforced concrete structures is the corrosion of the steel reinforcement. Corrosion occurring in the reinforcement, over time, leads to reduction of the steel-concrete bond and to section losses. The aim of this study was to reveal the corrosion mechanism in ribbed reinforcement within additive-free (reference), 20% zeolite-doped and 20% diatomite-doped concrete samples, through exposure to 0.5 M H₂SO₄ and 1 M HCl, the most commonly used acids in industry. Measurements were carried out using Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). Results of the experiments showed that the resistance of the 20% zeolite concrete sample and reinforcement was greater than that of the 20% diatomite and the

reference concrete samples and accordingly, the 20% zeolite sample was found to have undergone less corrosion. In addition, more physical and electrochemical changes were seen in the concrete samples and reinforcement in the H₂SO₄ medium compared to the HCl.aaaaa.

Keywords: Corrosion, Zeolite, Diatomite, HCl, H₂SO₄

I. GİRİŞ

KOROZYON, açık atmosferde metal ve alaşımlarının özelliğini kaybederek kullanılamaz hale gelmesi olarak tanımlanırken, inşaat sektöründe donatının paslanarak mukavemetini yitirmesi olarak ifade edilmektedir [1]. Betonarme elemanlarda büyük bir problem teşkil eden korozyon, yapının güvenliğini hiç şüphesiz tehdit eden ve hatta sona erdiren bir durumdur [2-4].

Donatı üzerinde oluşan korozyon ürünleri, donatıda hacim büyümesine neden olduğu için betonda iç gerilmeler oluşmaktadır. Korozyon, başlangıçta donatı ile beton ara yüzündeki boşlukları doldurmak suretiyle aderans dayanımında bir miktar artışa; ancak olayın devamında ise arayüz bölgesinde aderans kayıplarına neden olmaktadır. Korozyon olayı sonucunda da beton çatlamakta, hatta parçalanabilmektedir. Bu durum bütün yapı için tamiri mümkün olmayan son derece tehlikeli bir sonuç doğurmaktadır. Özellikle köprü, viyadük gibi yapılarda korozyon nedeniyle maddi zararların yanında yaşam tehlikesi de söz konusu olmaktadır [5].

Donatı korozyonunda betonun geçirimsizliği önemli rol oynamaktadır. Betonun geçirimsizliğinin az olması, su ve zararlı maddelerin beton içerisine sızmasını engelleyeceği için hem betonun hem de donatının hasar görmesini güçleştirecektir [6].

Atmosferdeki karbondioksit, klorid iyonları ve betonun servis hayatı boyunca maruz kaldığı kimyasal saldırılar gibi agresif faktörler donatıda meydana gelen korozyonun en önemli nedenidir [7]. Sıradan Portland çimentosunda bu zararlı etkiler, katkı malzemesi kullanılarak azaltılabilmektedir [8]. Aşındırıcı korozif ortamdaki betonun özellikleri, zeolit ve diatomit gibi katkıları kullanılarak geliştirilebilmektedir [9].

Doğal puzolan olan zeolitler, örneğin beton içinde uçucu kül ve silis dumanı gibi Ca(OH)₂ ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalar, zeolit ile hazırlanan çimento hamuru örneklerinde gözenekliliğin zaman içinde azaldığını ve zeolit olumlu fiziksel ve mekanik özelliklerine ilave olarak, beton dayanıklılığını etkileyen bir faktör olduğunu göstermiştir [10-12].

Önemli bir cevher olan diatomit, amorf silis, kristobalit ve atık minerallerin küçük miktarlarını ihtiva eden bir puzolanik maddedir [13]. Diatomit, saf, kumlu, milli, killi, kireçli, marnlı, tüflü tiplerde gelişebilmektedir. Çimento katkı maddesi olarak kullanılan diatomit ile ilgili araştırmalar son zamanlarda popüler olmuştur [14-15]. Yapılan araştırmalar diatomit ikameli çimentoların dayanım gücünü arttırdığını kanıtlamıştır [16-17].

Betonun bulunduğu ortamın, donatı korozyonu için son derece belirleyici bir faktör olduğu bilinmektedir. Sanayide ilaç, petrol, kimya, boya, kâğıt, tekstil endüstrilerinde ve özellikle gıda sektöründe çok fazla kullanılan hidroklorik asidin ve hava kirliliğinin artmasına bağlı olarak oluşan

asit yağmurlarının [18-19], betonarme yapılara oldukça zarar verdiği bilinmektedir [20]. Yeraltı sularından gelen sülfürik asit, kimyasal tesislerde, endüstriyel zeminlerde, kimyasal tesis yakınlarındaki yapıların bodrum duvarlarında kayda değer korozif etkiye bulunabilmektedir [21].

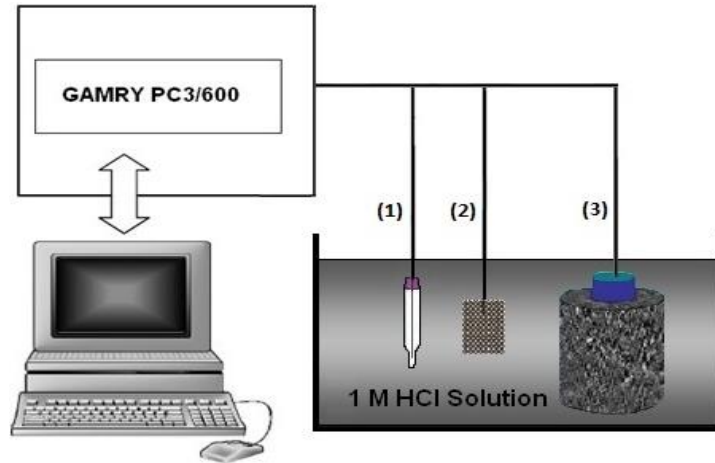
Bu çalışmanın amacı, daha önce ayrıntılı olarak korozyon mekanizmasını incelediğimiz katkı malzemesiz (referans), %20 zeolit ve %20 diatomit ikameli beton numuneler içerisindeki nervürlü donatının, sanayide en çok kullanılan 0.5 M H₂SO₄ ve 1 M HCl ortamlarında oluşan [22-23] sistemler arasındaki temel farklılığı ortaya koymaktır. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yöntemi kullanılarak seçilen bu iki ortamın beton numunelere etkisi kıyaslanarak, sonuçları tartışılmıştır.

II. MALZEME veya YÖNTEM

A. ELEKTROKİMYASAL EMPEDANS SPEKTROSKOPİSİ (EIS) YÖNTEMİ

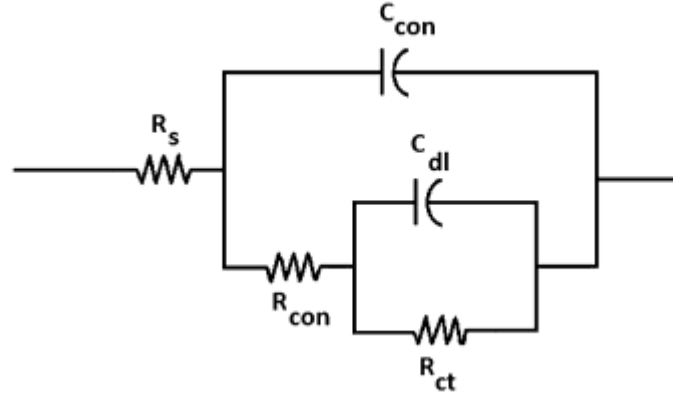
Alternatif akım (AC) ile çalışan EIS, sistemin elektrokimyasal yapısı hakkında geniş bilgi verdiği için 30 yıldan beri korozyon hızı ölçümlerinde hemen hemen her sektörde başarıyla kullanılan bir yöntemdir [24]. Son zamanlarda beton içerisindeki donatının korozyon hızının belirlenmesinde yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir [25-27]. EIS yöntemi, doğru akım kaynakları kullanılarak yapılan elektrokimyasal ölçümlere nazaran çalışma elektrotuna çok daha az zarar verdiği için [28], aynı numune EIS ölçümlerinde defalarca kullanılabilir [29]. EIS yöntemi, belirlenen frekans aralığı içerisindeki metal/solüsyon ara yüzünün elektriksel tepkisini ölçerek, korozyon mekanizmasının değerlendirilmesi için gerekli elektrokimyasal parametrelerin uygun bir eşdeğer devre ile belirlenmesini sağlamaktadır [30].

%20 diatomit, %20 zeolit ikameli ve referans (katkısız) olmak üzere hazırlanan üç farklı bileşime sahip beton numunelerin içerisindeki donatının korozyon mekanizması 1 M HCl için 240 gün boyunca 10 gün periyotla ve 0.5 M H₂SO₄ için 160 gün boyunca 15 gün periyotla EIS yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. HCl ortamında 160 gün sonunda elektrokimyasal değişimlerin iyice azaldığı gözlemlendiği için, H₂SO₄ ortamında yapılan deneylerden farklı olarak EIS ölçümleri 80 gün daha uzatılarak 240 gün boyunca yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 1’de gösterilmiştir. Üçlü elektrot sisteminde çalışma elektrotu olarak nervürlü inşaat demiri, referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrotu ve karşı elektrot olarak Pt tel kullanılmıştır [31].



Şekil 1. Deney düzeneği: (1) Ag/AgCl elektrot, (2) Pt tel, (3) Çalışma elektrotu

Beton numuneler içerisine konulan çeliğin korozyon potansiyeli GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA sisteminde 0.01-100 kHz frekans aralığında yapılmıştır. Empedans analizleri için ZsimpWin 3.21 yazılımı kullanılmış ve direnç değerleri $R(C(R(CR)))$ devre modeli kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 2). Elektrik devresinde R_{ct} yük transfer direncini, C_{dl} difüzyon kapasitansını, C_{con} beton kapasitansını, R_{con} ise betonun direncini göstermektedir. R_s (yüzey direnci) betonun dış yüzeyinde ölçülen potansiyel noktasıdır [32].



Şekil 2. $R(C(R(CR)))$ devresi

B. ÇALIŞMA ELEKTROTUNUN HAZIRLANMASI

Deneysel çalışmalarda kullanılan nervürlü inşaat demiri numunesinin bileşimi Tablo 1’de verilmiştir. Beton numunelerinin beton sınıfı C30’dur. Beton numunelerin hazırlanmasında kullanılan malzemelere ait karışım tasarımları Tablo 2’de, kimyasal bileşim ve bazı fiziksel özellikleri ise Tablo 3’te verilmiştir. Kimyasal analizler Bolu Çimento Fabrikasında yapılmıştır. %20 diatomit, %20 zeolit ikameli ve katkısız referans olmak üzere üç farklı türde hazırlanan beton numunelerinin ikame katkı oranları Tablo 4’te gösterilmiştir. Her numunenin toplam kesit alanı 94.2 cm^2 ’ye eşittir.

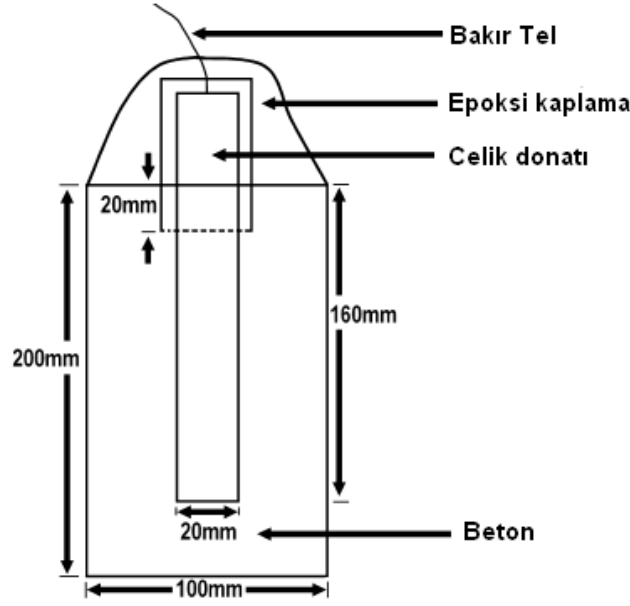
Deney numuneleri TS EN 197-1 [33] standardına uygun olarak ve CEM I 42.5 R [34] Portland çimento kullanılarak hazırlanmıştır. Donatı, Şekil 3’de gösterildiği üzere beton içerisine yerleştirilmiştir [35]. Diatomit Kütahya Bölgesinden, zeolit ise Balıkesir Bölgesinden temin edilmiş ve karışımda Düzce Bölgesine ait kuyu suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Deneyde kullanılan nervürlü inşaat demiri numunesinin bileşimi

Element	Karbon (C)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)	Fosfor (P)	Kükürt (S)	Nikel (Ni)	Krom (Cr)	Molibden (Mo)	Kalay (Sn)	Demir (Fe)
Ağırlıkça (%)	0.36	0.23	0.20	0.61	0.025	0.11	0.12	0.01	0.02	98.315

Tablo 2. Deney numunesi karışımlarının ikame katkı oranları

Numunenin Adı	Referans	Diatomit	Zeolit
Bileşenler	100% Referans	80% Referans 20% Saf Diatomit	80% Referans 20% Saf Zeolit



Şekil 3. Beton içerisindeki donatının şematik gösterimi

Tablo 3. Üç tip beton bileşenin kimyasal yapısı ve fiziksel özellikleri

	Kimyasal Bileşenleri			Fiziksel Özellikleri			
	Referans	Diatomit	Zeolit	Referans	Diatomit	Zeolit	
SiO ₂	18.68	79.56	68.85	Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.17	2.28	2.18
Al ₂ O ₃	4.67	6.54	11.71	90 µm Elek analizleri	4.08	9.80	17.60
				(%)			
Fe ₂ O ₃	3.53	2.76	1.29	45 µm Elek analizleri	–	28.60	35.80
				(%)			
CaO	64.56	2.45	3.97				
MgO	0.98	0.79	1.06				
SO ₃	3.00	0.48	0.18				
Na ₂ O	0.14	2.63	0.29				
K ₂ O	0.73	0.69	2.19				
Özgür kireç	1.74	-	-				
Çözünmeyen kalıntı	0.50	75.98	37.32				

Tablo 4. Her bir beton grubu için $1m^3$ karışıma giren malzeme miktarı

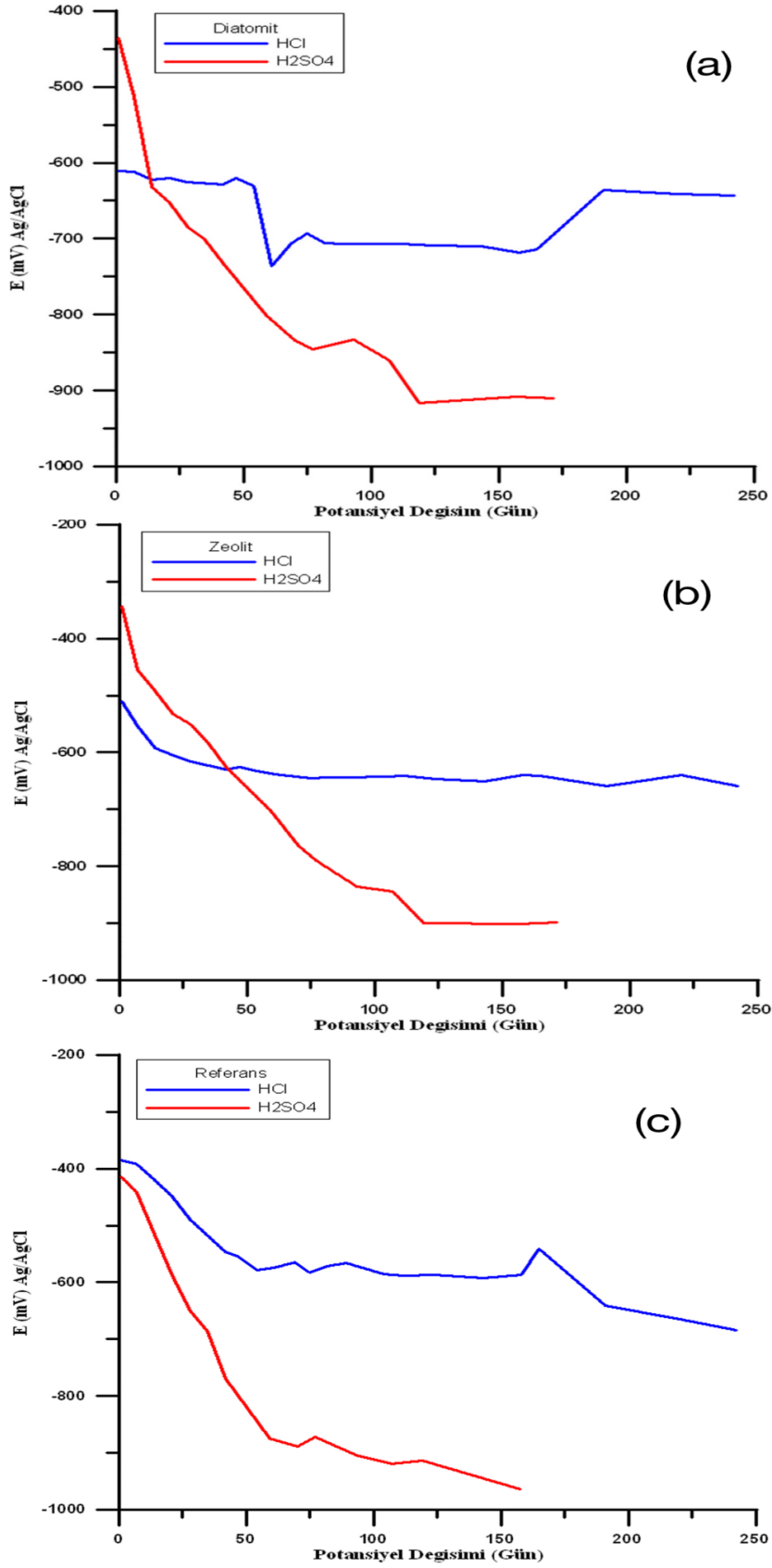
Malzeme Adı	Özgül Ağırlık g/cm^3	PÇ (kg)	20D (kg)	20Z (kg)	
Agrega	0-4	2.66	833	831	843
	4-19	2.69	586	593	602
	19-30	2.70	428	433	439
Toplam agrega		1846	1857	1884	
PÇ	3.17	400	320	320	
Diatomit	2.28	-	80	-	
Zeolit	2.18	-	-	80	
HAK	1.184	4.800	4.320	4.320	
Su	1	139.7	139.7	139.7	
Toplam malzeme		2391	2401	2428	

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Zeolit, diatomit ve referans ikameli betonlar, 0.5 M H_2SO_4 asit içerisinde 160 gün boyunca 15 günlük periyotlarla ve 1 M HCl asit içerisinde 240 gün boyunca 10 günlük periyotlarla deneye tabi tutulmuştur. 160 ve 240 gün sonunda beton ve içerisindeki donatının dirençleri ölçülmüş ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Şekil 4. (a), (b) ve (c)'de görüldüğü üzere üç farklı bileşime sahip numunelerin 1 M HCl ve 0.5 M H_2SO_4 ortamlarında gösterdikleri tepki birbirinden farklıdır. 0.5 M H_2SO_4 ortamında ölçülen donatının korozyon potansiyelindeki (E) değişiminin 1 M HCl ortamından çok daha fazla olduğu görülmektedir. 0.5 M H_2SO_4 ortamında ölçülen donatının potansiyeli için; diatomit ikameli numunede -435 mV'tan -910 mV'a, zeolit ikameli numunede -343 mV'tan -898 mV'a, referans numunede ise -414 mV'tan -963 mV'a düşüş söz konusudur. Ortalama potansiyel azalması 400 mV kadardır.

1 M HCl ortamında ölçülen donatının potansiyeli; diatomit ikameli numunede -611 mV'tan -643 mV'a, zeolit ikameli numunede -511 mV'tan -659 mV'a, referans numunede ise -385 mV'tan -685 mV'a düşmüştür. 1 M HCl ortamı için ortalama potansiyel kaybı 160 mV ile 0.5 M H_2SO_4 ortamına göre daha azdır. ASTM C876-09 standartlarına göre çalışma elektrotlarının ölçülen potansiyel değeri -225 mV'dan daha düşük olursa %90 ihtimalle çalışma elektrodu korozyona uğramaktadır [36]. Bu standarda göre seçtiğimiz her iki ortamda donatılar korozyona uğramaktadır. Fakat 1 M HCl ortamına kıyasla, 0.5 M H_2SO_4 ortamındaki çalışma elektrotlarımız daha çok korozyona uğramıştır.



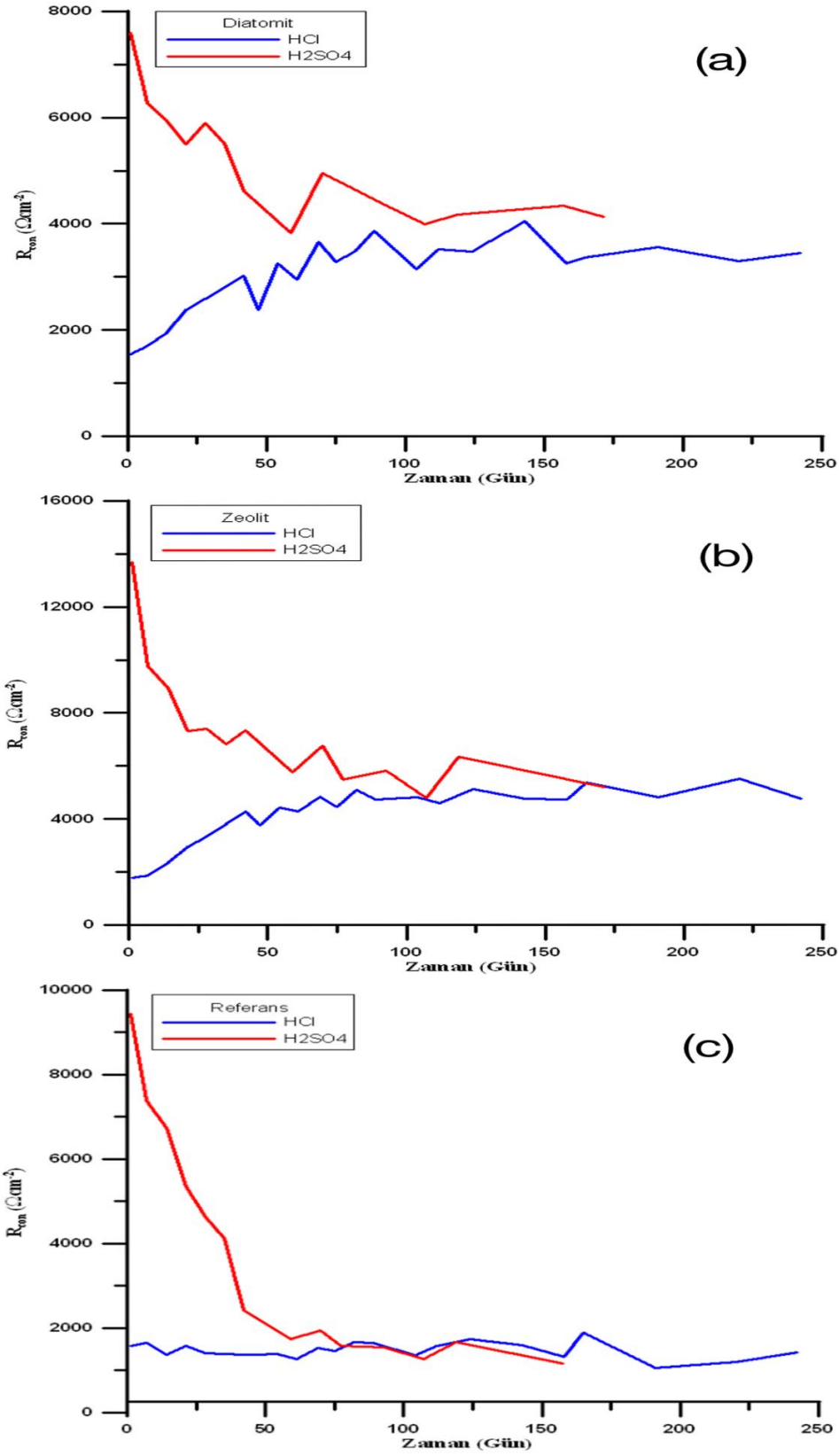
Şekil 4. (a), (b) ve (c) HCl ve H₂SO₄ ortamlarında diatomit, zeolit ve referans ikameli beton numunelerdeki donatının zamanla ölçülen korozyon potansiyeli değerlerindeki değişim.

Şekil 4 (c)'de görüldüğü üzere referans numuneler, diatomit ve zeolit ikameli numunelere kıyasla ortamdan daha çok etkilenmiştir. Başlangıç potansiyelleri ile deney sonunda ölçülen potansiyeller arasındaki fark H_2SO_4 ortamında yaklaşık 550 mV iken, HCl ortamında bu fark 300 mV olarak ölçülmüştür. Potansiyel değişiminin, H_2SO_4 ortamında 150. günün sonunda bile hala değişken olduğu görülmektedir. Bu değişim korozyon sürecinin H_2SO_4 ortamındaki donatılar için aktif olarak devam ettiğinin bir kanıtıdır. HCl ortamında ise katkı malzemelerinin etkisi belirgin bir şekilde görülmesine rağmen H_2SO_4 ortamına kıyasla daha stabildir (durağandır). Deneye başladıktan yaklaşık 50 gün sonra ölçülen potansiyel değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu veri metal yüzeyinde pasif film oluşumunun bir göstergesidir. HCl ortamında, metal yüzeyinde oluşan pasif film donatıyı korozyona karşı korumuştur.

Beton numunelerinin dirençlerindeki (R_{con}) değişim, korozyon potansiyelindeki (E) değişimi destekler niteliktedir. Şekil 5. (a), (b) ve (c)'de diatomit ile zeolit ikameli ve referans beton numunelerin 0.5 M H_2SO_4 ortamındaki dirençlerinin çok hızlı bir şekilde düştüğü görülmektedir. H_2SO_4 ortamında diatomit ikameli betonun direnci $7588 \Omega.cm^2$ 'den $4134 \Omega.cm^2$ 'ye, zeolit ikameli betonun direnci $13682 \Omega.cm^2$ 'den $5200 \Omega.cm^2$ 'ye ve referans numunenin direnci $9439 \Omega.cm^2$ 'den $1159 \Omega.cm^2$ 'ye düşmüştür. Bu üç numunede ölçülen ortalama direnç kaybı $6740 \Omega.cm^2$ 'dir.

1 M HCl ortamında ise bu değişim pozitif yöndedir. Diatomit ikameli betonun direnci $1539 \Omega.cm^2$ 'den $3455 \Omega.cm^2$ 'ye, zeolit ikameli betonun direnci $1786 \Omega.cm^2$ 'den $4781 \Omega.cm^2$ 'ye artarken sadece referans numunenin direncinde $1572 \Omega.cm^2$ 'den $1422 \Omega.cm^2$ 'ye doğru bir düşüşün olduğu gözlemlenmiştir. Yaklaşık $150 \Omega.cm^2$ olarak ölçülen bu düşüş, elektrokimyasal ölçümlerde anlamlı bir değişim değildir [37].

Korozyon potansiyeli (E) ve beton direnci (R_{con}) değerlerindeki değişim, ortamın ve numunelerin türüne bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Tüm bu değişimler korozyon potansiyelleri ölçümlerinde de belirtildiği üzere, HCl ortamında donatıda meydana gelen pasif filmi desteklemektedir. Şekil 4 ve Şekil 5'te ortaya çıkan bu korelasyon H_2SO_4 ortamının beton numuneler için HCl ortamına göre daha agresif olduğunun kanıtıdır. Numunelerin deney ortamlarına konulduktan sonra daha çok etkilendiği fakat belli bir süre sonra bu etkinin azalarak stabil hale geldiği görülmüştür. Bunun sebebi, donatı ile çözeltili arasında meydana gelen reaksiyonların başlangıçta çok daha hızlı olmasıdır. Zaman geçtikçe donatı yüzeyinde HCl ortamında olduğu gibi pasif film veya H_2SO_4 ortamındaki gibi korozyon ürünleri oluşarak etkileşimin azalmasıdır.



Şekil 5. (a), (b) ve (c) HCl ve H_2SO_4 ortamlarında referans, diatomit ve zeolit ikameli beton numunelerinin zamanla ölçülen direnç değerlerindeki değişimi

IV. SONUÇ

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) yöntemi kullanılarak yapılan çalışma sonucunda elde edilen bulgular ayrıntılı olarak ele alınmış ve aşağıda maddeler halinde sunulmuştur. Buna göre;

- Betondaki gözeneklerin ve kimyasal dağılımın sadece paslanmanın ilk aşamalarında etkide bulunduğu,
- Son zamanlarda, çevre kirliliğinden ortaya çıkan asit yağmurlarının inşaat demirlerini tahrip etmesinin; betondaki paslanmaların başlıca sebeplerinden biri olduğu,
- Betonda bulunan karbondioksit, sülfatlar ve kloritlerin, asit yağmurlarından etkilenerek, beton üzerinde kimyasal bozunmalara yol açtığı ve bu bozunmaların korozyon mekanizmasını hızlandırdığı,
- 1 M HCl ve 0.5 M H₂SO₄ asit içerisindeki korozyon davranışlarının farklı olduğu,
- Kullanılan zeolit ve diatomit katkılarının beton gözenekliliğini zaman içerisinde azalttığı ve bu sebepten donatı korozyonunun referans numuneye göre daha az meydana geldiği,
- 1 M HCl ve 0.5 M H₂SO₄ asit ortamında zeolit ikameli beton içerisindeki donatının, diatomit ikameli ve referans numuneye göre daha az korozyona uğradığı,
- Yapılan EIS ölçümlerinden elde edilen elektriksel parametrelerin (R_{con} ve E) birbiriyle uyumlu ve destekler nitelikte olduğu,
- Beton numunelerin ve içerisindeki donatıların 1 M HCl ortamına kıyasla 0.5 M H₂SO₄ ortamında daha çok fiziksel ve elektrokimyasal değişime uğradıkları tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2012.26.HD.037). Değerli katkılarından dolayı Uzman Sedat Kaya ve Sibel Kapoğlu'na çok teşekkür ediyoruz.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Gerengi, M. Kurtay, H. Durgun, *Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatının 1 M HCl çözeltisi içerisindeki korozyonu*, **2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu**, Ankara-Türkiye, (2015), 221.
- [2] I. Çil *D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi* **8(1)** (2006) 59.
- [3] A. Cheng, R. Huang, J.K. Wu, C.H.Chen *Mater. Chem. Phys.* **93(2-3)** (2005) 404.
- [4] O.O. Akinyemi, O.J. Alamu *Pac. J. Sci. Technol.* **10(1)** (2009) 462.
- [5] P. Hoşhan, *Beton içindeki çeliğin korozyonunun üç elektrot yöntemi ile incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara-Türkiye, (1994).

- [6] M.H. Özkul, Ü.A. Doğan, A. İlki, *Beton bileşim ve geçirimsizlik özelliklerinin donatı korozyonu üzerine etkisi*, TÜBİTAK MAG Proje, 104I022, (2006) 1-35.
- [7] A. Poursaeed, A. Laurent, C.M. Hansson, *Cem. Concr. Res.* **40(3)** (2010) 426.
- [8] SH. Tae *Constr. Build. Mater.* **35** (2012) 270.
- [9] C. Karakurt, I.B. Topcu *Constr. Build. Mater.* **25(4)** (2011) 1789.
- [10] C. Karakurt, I.B. Topçu *Constr. Build. Mater.* **35** (2012) 906
- [11] M. Valipour, F. Pargar, M. Shekarchi, S. Khani *Constr. Build. Mater.* **41** (2013) 879.
- [12] M. Valipour, F. Pargar, M. Shekarchi, S. Khani, M. Moradian *Constr. Build. Mater.* **46** (2013) 63.
- [13] A. Ergun *Constr. Build. Mater.* **25(2)** (2011) 806.
- [14] S. Xu, J. Wang, Q. Ma, X. Zhao, T. Zhang *Constr. Build. Mater.* **73** (2014) 33.
- [15] T. Yi-qiu, Z. Lei, Z. Xing-you *Constr. Build. Mater.* **36** (2012) 787.
- [16] N. Degirmenci, A. Yilmaz *Constr. Build. Mater.* **23(1)** (2009) 284.
- [17] B. Yılmaz, N. Ediz *Cem. Concr. Compos.* **30(3)** (2008) 202.
- [18] H. Gerengi, G. Bereket, M. Kurtay (2015) *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* **58** (2016) 509.
- [19] H. Gerengi, P. Slepski, E. Ozgan, M. Kurtay *Mater. Corros.* **66(3)** (2015) 233.
- [20] P. Huang, Y. Bao, Yao *Cem. Concr. Res.*, **35(3)** (2005) 584.
- [21] M.T. Bassuoni, M.L.Nehdi *Cem. Concr. Res.* **37(7)** (2007) 1070.
- [22] H. Gerengi, Y. Kocak, A. Jażdżewska, M. Kurtay, H. Durgun, *Constr. Build. Mater.* **49** (2013) 471.
- [23] H. Gerengi, M. Kurtay, H. Durgun *Results in Physics*, **5** (2015) 148.
- [24] N.D. Cogger, N.J. Evans An Introduction To Electrochemical Impedance Measurement Technique Report, No.6, *Solartron Instrument* (1999).
- [25] J. Sobhani, M. Najimi *Constr. Build. Mater.* **47** (2013) 910.
- [26] M.O.G.P. Bragança, K.F. Portella, M.M. Bonato, C.E.B. Marino *Constr. Build. Mater.* **68** (2014) 650.
- [27] M. Ismail, M. Ohtsu *Constr. Build. Mater.* **20** (2006) 458.
- [28] G. Bereket, H. Gerengi, *How truly electrochemical measurements are evaluated in corrosion researches?*, **XIII. International Corrosion Symposium**, Elazığ-Türkiye, (2014) 201.
- [29] H. Gerengi, C. Akcay, E. Ozgan, I. Arslan *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University* **3(1)** (2012) 5.
- [30] Techniques for Monitoring Corrosion and Related Parameters in Field Applications, Item No. 24203; *NACE International Publication 3T199*, (1999) 1.
- [31] H. Durgun, *Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatı korozyonunun elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemi ile incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce-Türkiye, (2015).
- [32] A.A. Gurten, K. Kayakirilmaz, M. Erbil *Constr. Build. Mater.* **21(3)** (2007) 669.
- [33] TSE, *Çimento - Bölüm 1: Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Ankara, (2002).
- [34] E. Tkaczewska, R. Mroz, G. Łoj *Constr. Build. Mater.* **28(1)** (2012) 633.
- [35] R. Huang, W.D. Yeih, J.J. Chang *J. Mar. Sci. Technol.* **2(1)** (1994) 53.
- [36] Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, *ASTM C876 - 09*, (2009).
- [37] I. Uygur, H. Gerengi, Y. Arslan, M. Kurtay *Mater. Res* **18(3)** (2015) 569.