

Styropor Katkısının Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine Etkisi

Oğuzhan KELEŞTEMUR, Servet YILDIZ
Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

ÖZET

Bu çalışmada; beton karışımına, agrega ile hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirecek şekilde styropor ilave edilerek elde edilen betonlardaki, donatı korozyonu araştırılmıştır. Deneyle, korozif bir ortam oluşturmak amacıyla beton numunelerin karışım suyuna, deniz suyu ortamını sağlayabilmek için % 3 oranında NaCl ilave edilerek yapılmıştır. Korozyon hızı deneyleri, klorür katılmış ve katılmamış beton numuneleri arasındaki galvanik akım ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Beton numuneler içerisindeki elektrot potansiyellerinin zamana karşı değişimi 90 gün süresince her gün Cu/CuSO₄ referans elektrotu ile ölçülmüştür. Sonuç olarak, styropor oranındaki artışa bağlı olarak, beton numunelerinin basınç dayanımlarında azalma, betonarme demirlerinin korozyon hızlarında ise artış meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Korozyon, Styropor, Betonarme, Çelik.

The Effect of Styrofoam on the Corrosion of Steel Reinforced Concrete

ABSTRACT

In this study, the corrosion of steel reinforced into the concrete samples and obtained with the addition of styrofoam which was replacing 5, 10 and 15% of the aggregate volume in the concrete structure was investigated. 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 the tests have been carried out. 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 steels reinforced into the concrete increased and compressive strength of concrete samples decreased with the increasing of the portion of styrofoam.

Key Words: Corrosion, Styrofoam, Reinforced concrete, Steel.

1. GİRİŞ

Çağımızın en önemli yapı malzemesi olan beton doğal bir malzeme olmayıp, şantiyelerde çimento + agrega + su karışımı ile üretilen kompozit bir malzemedir. Bu nedenle en iyi üretim yöntemi ve işçilik sağlansa bile, beton içinde daima bir miktar boşluk kalabilir. Bütün yapı malzemelerinde olduğu gibi, betonda da arandığı en önemli özellik yüksek bir mekanik mukavemete sahip olması ve bu mukavemetini zamanla kaybetmemesidir.

Betonun mekanik dayanımları arasında değeri en büyük olan basınç dayanımıdır (1). Basınç dayanımı yüksek olan betonun kompasitesi, sertliği, su geçirmezliği, dış etkilere dayanıklılığı artmakta, aşınması ise azalmaktadır. Beton üzerinde yapılan bir çok çalışmada bu malzemenin bazı özellikleri ile basınç dayanımı arasındaki bağıntılar araştırılmış ve betonun çeşitli mekanik özelliklerinin, basınç dayanımı ile aynı yönde değiştiği sonucuna varılmıştır (2). Basınç dayanımı betonun diğer pozitif özellikleriyle paralellik göstermektedir.

Betonun mekanik mukavemeti bakımından ilginç bir özelliği, çekme veya eğilme mukavemetlerinin, basınç mukavemetine göre çok küçük olmasıdır. Betonun

bu dezavantajını gidermek üzere, betonarme demiri kullanılması yoluna gidilmiştir (3).

Bilindiği gibi beton inşaat mühendisliğinde her türlü konstrüksiyon da çok yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Özellikle ölü yük değerinin toplam yüke oranının büyük olduğu köprü gibi büyük açıklıklı konstrüksiyonlar da birim ağırlığın fonksiyonu daha çok önem kazanmaktadır. Taşıyıcı elamanlara gelen yüklerin fazlalığından dolayı yapının önemli derecede depremden etkilendiği bilinen bir gerçektir. Bu etkiyi minimum seviyeye indirmek üzere, taşıyıcı elamanlara gelen yükleri azaltmak için daha hafif malzemeler kullanılmalıdır. Bu nedenle günümüzde, betonun birim ağırlığının azaltılarak konut yapımında hafif beton kullanılması önem kazanmıştır (4).

Hafif betonlar yapımlarına göre; yapay yada doğal hafif agregalı, çimento hamurunun genişletilmesi suretiyle elde edilen hücreli yada gaz beton olarak sınıflandırıldığı gibi kullanım amacına göre yalıtım betonu ve taşıyıcı beton olarak da sınıflandırılmaktadır (5).

1950'li yıllara kadar mühendislerde beton içinde bulunan çeliğin korozyona uğramayacağı görüşü hakim olmuştur. Ancak sonraki yıllarda çevre kirlenmesinin,

özellikle otoyollarda buzlanmaya karşı tuz kullanımının artması ile birlikte betonarme demirlerinin korozyonu sonucu betonun çatladığı ve hatta parçalanarak dağıldığı görülmüştür. Karbonasyon olayının da etkisi ile betonarme demirlerinin korozyonu günümüzde bütün beton yapıların en büyük sorunu haline gelmiştir.

Yapılan araştırmalar betonarme demirlerinin korozyonuna başlıca beton bünyesine giren klorür tuzlarının neden olduğunu ortaya koymuştur. Klorürün betona ve betonarme demirine difüzyonu, betondaki mevcut klorür iyonları miktarına bağlı olan belirli bir süre içerisinde gerçekleşir. Bu süre zarfında beton, klorür iyonlarına doyduktan sonra betonarme demirindeki korozyona belirgin bir şekilde katkıda bulunur. Klorürlü ortamda bekleme süresi içinde korozyonun belirgin olarak hızlandığı süre, betonun mukavemeti ve kullanım süresi açısından oldukça önemlidir (6). Eğer beton içinde %0,4'den fazla klorür iyonu bulunursa, söz konusu betonarme yapının ömrünün %80 oranında azaldığı ileri sürülmüştür (3). Gerçekten şiddetli korozif ortamda bulunan birçok betonarme yapı, korozyon etkisi ile yaklaşık 20 yıl içinde kullanılmaz hale gelmiştir (3).

Bu çalışmada, korozif bir ortam oluşturmak amacıyla beton numunelerin karışım suyuna, deniz suyu ortamını sağlayabilmek için %3 oranında NaCl ilave edilerek, değişik oranlarda styropor katılmış betonlarda ki styropor katkısının betonarme demirlerinin korozyonu üzerine etkileri incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Betonun birim ağırlığını azaltmak amacıyla kullanılan styropor katkısının betonarme demirlerinin korozyonu üzerine etkisi, 20 adet beton numunesi üzerinde incelenmiştir. Beton içine daldırılmış olan çeliklerin korozyon hızları Jang ve Iwasaki tarafından geliştirilmiş olan "Galvanik Akım Yöntemi" ile ölçülmüştür (7). Bu yöntem farklı özellikte elektrolit içine daldırılmış olan elektrotlar arasında oluşan galvanik akımın duyarlı bir ampermetre ile ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır.

Ayrıca betonarme demirlerinin aktif yada pasif halde bulunduğunu belirlemek üzere korozyon potansiyelleri ASTM-C-876-91 standardına uygun olarak 90 gün boyunca her gün Cu/CuSO₄ referans elektrodu ile 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

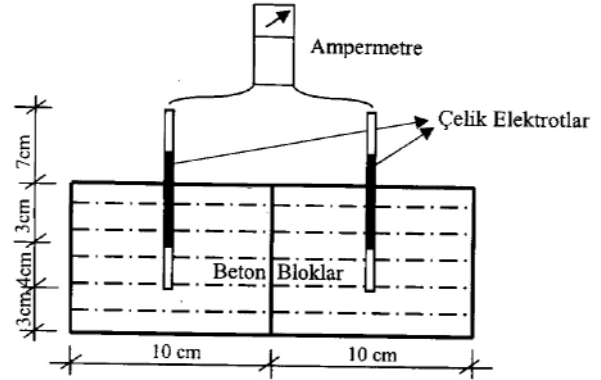
Element	Karbon (C)	Mangan (Mn)	Silisyum (Si)	Fosfor (P)	Kükürt (S)
Ağırlıkça, %	0,100	0,249	0,051	0,005	0,044

Tablo 1'de ağırlıkça analizi verilen çelik çubuklardan 8 mm. çapında, 14 cm. uzunluğunda, 40 adet ke-

silmiş ve 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 dışı açılarak bu vidalara kablolar bağlanmıştır. Elektrotların geriye kalan bölgeleri ise, önce epoksi reçinesi ile sonrada polietilen sargı ile kapatılarak dış etkilere karşı korunmuştur.

2.2. Beton blokların Hazırlanması

Deneyisel çalışma için, 10cm x 10cm x 10cm boyutlarında yapışık konumda beton bloklar hazırlanmıştır. Daha önce hazırlanmış olan çelik elektrotlar bu beton bloklar içine yerleştirilmiştir. Bloklardan biri normal bileşimde, diğeri karışım suyunun %3'ü oranında NaCl içermektedir.



Şekil 1. Yapışık konumdaki beton bloklar

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

2.3. Beton Blok Bileşimleri

Deneyler için B, B05, B10 ve B15 şeklinde adlandırılan toplam 20 adet beton blok numunesi hazırlanmıştır.

B Numunesi : Bu gruptaki yapışık beton bloklardan birinde normal beton kullanılmış, diğerine ise karışım suyunun %3'ü oranında NaCl katılmıştır.

B05 Numunesi : Bu gruptaki beton blokların yapımında, agrega ile hacimce %5 oranında styropor yer değiştirilmiştir. Ayrıca bloklardan birine yine karışım suyunun %3'ü oranında NaCl katılmıştır.

B10 Numunesi : Bu gruptaki beton blokların yapımında, agrega ile hacimce %10 oranında styropor yer değiştirilmiştir. Ayrıca bloklardan birine yine karışım suyunun %3'ü oranında NaCl katılmıştır.

B15 Numunesi : Bu gruptaki beton blokların yapımında, agrega ile hacimce %15 oranında styropor yer değiştirilmiştir. Bu grupta da, yine bloklardan birine karışım suyunun %3'ü oranında NaCl katılmıştır.

B, B05, B10 ve B15 beton numunelerine ait bileşimler Tablo 2.'de, 10cm x 10cm x 10cm'lik beton numunelerin karışım oranları ise Tablo 3.'de verilmiştir.

Beton blokların hazırlanmasında kullanılan Elazığ Altınova Çimento Fabrikası A.Ş.'nin üretmiş olduğu

Çalışmada kullanılan styropor malzemesine dair üretici firmanın belirlemiş olduğu bazı değerler şunlardır; yoğunluk 0.024 kg/dm³, basınç dayanımı 0.15 N/mm², çekme dayanımı 0.30 N/mm², E-Modülü 1.70 N/mm², tamamen suya batmış durumda su alma durumu (1 yıl) hacimce % 4.1'dir.

2.4. Basınç Dayanımı Deneyi

Korozyon deneylerine ilave olarak hazırlanan beton numuneler, 28 gün sonunda üniversal test cihazı

Tablo 2. Beton blokların bileşimi

Numune	Sol Blok	Sağ Blok
B Num.	Normal Beton	Normal Beton + 7,41 kg Cl/m ³
B05 Num.	Normal Beton + %5 Styropor	Normal Beton + %5 Styropor + 7,41 kg Cl/m ³
B10 Num.	Normal Beton + %10 Styropor	Normal Beton + %10 Styropor + 7,41 kg Cl/m ³
B15 Num.	Normal Beton + %15 Styropor	Normal Beton + %15 Styropor + 7,41 kg Cl/m ³

Tablo 3. Numunelere ait karışım oranları

	B Numunesi	B05 Numunesi	B10 Numunesi	B15 Numunesi
Çimento, kg	0,465	0,465	0,465	0,465
Kum(0-4 mm), kg	0,907	0,862	0,816	0,771
Çakıl(4-8 mm), kg	0,863	0,863	0,863	0,863
Su, kg	0,247	0,247	0,247	0,247
Styropor, kg	-	0,00075	0,00150	0,00225
NaCl, kg Cl/m ³	7,41	7,41	7,41	7,41
Su/Çimento	0,53	0,53	0,53	0,53

PÇ 42,5 çimentosunun minerolojik bileşimi Tablo 4.'de, styropor (polistren sert köpük) malzemesine dair genel özellikler ise Tablo 5.'de verilmiştir. Kullanılan çimento dozajı, 300 kg/m³tür. Karışım suyu olarak içme suyu kullanılmıştır.

Tablo 4. Çimentonun 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

ile basınç deneyine tabi tutularak elde edilen sonuçlar numunelerin korozyon hızları ile birlikte yorumlanmıştır. Deney esnasında, yükleme hızı 3,00 KN/S olarak alınmıştır.

2.5. 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 potansiyellerinin zamana göre değişimleri, çeliğin aktif veya pasif halde bulunduğunu belirlemek üzere grafiğe geçirilmiştir. Bu yöntem ile, zamana karşı yapılan potansiyel ölçümlerinde, beton

Tablo 5. Styropor'un genel özellikleri

Teknik Özellikler	İlgili Standart	Birim	Oran			
Yoğunluk	DIN 53420	kg/dm ³	0,015	0,020	0,030	
Basınç Dayanımı	DIN 53421	N/mm ²	0,07-0,12	0,12-0,16	0,18-0,26	
Çekme Dayanımı	DIN 53430	N/mm ²	0,15-0,23	0,25-0,32	0,37-0,52	
Makaslama Dayanımı	DIN 53427	N/mm ²	0,09-0,12	0,12-0,15	0,19-0,22	
Bükülme Dayanımı	DIN 53423	N/mm ²	0,16-0,21	0,25-0,30	0,42-0,50	
E-Modülü	-	N/mm ²	0,6-1,25	1,0-1,75	1,8-3,1	
Isısal Uzama Katsayısı	-	1/K	5-7.10 ⁻⁵	5-7.10 ⁻⁵	5-7.10 ⁻⁵	
Özgül Isı Kapasitesi	DIN 4108	J / (kg.k)	1500	1500	1500	
Su Buhar Geçirgenliği	DIN 53429	g / m ² .d	40	35	20	
Buhar Difzyon Direnç Katsayısı, (μ)	DIN 4108	1	20/50	30/70	40/100	
Tamamen Suya Batmış Durumda Su Alma Durumu	7 Gün	DIN 53428	Hacim, %	3,0	2,3	2,0
	1 Yıl		Hacim, %	5,0	4,0	3,5

örnekleri içindeki inşaat demirlerinin, korozyonu kalitatif olarak incelenmektedir.

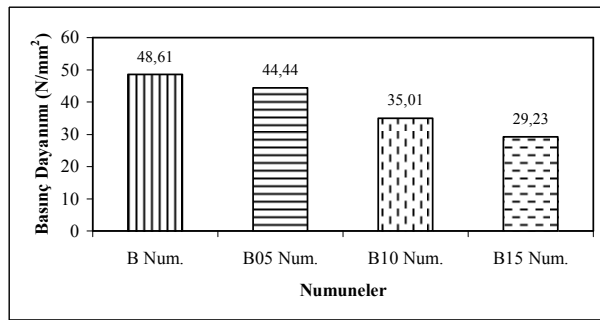
2.6. Galvanik Akım Ölçümleri

Bu ölçümlerde B, B05, B10 ve B15 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.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Beton numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyleri ile elde edilen sonuçlar Şekil 2.’de gösterilmiştir.

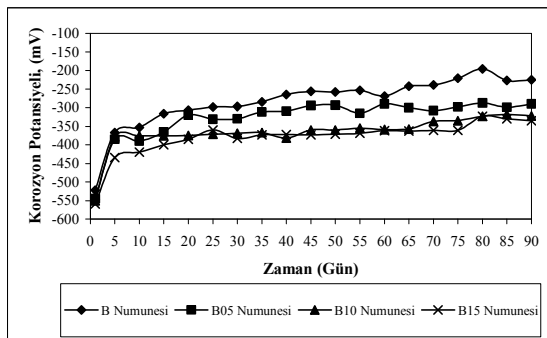


Şekil 2. Numunelerin styropor oranına bağlı olarak basınç dayanımı değişimi

Yapılan basınç dayanımı deneyleri neticesinde, normal betonunun basınç dayanımı 48,61 N/mm² olarak belirlenmiştir. Beton numunelerde styropor oranının artması ile birlikte beklenildiği gibi, basınç dayanımlarında azalmaların meydana geldiği Şekil 2’den açık bir şekilde görülmektedir. Ani basınç azalması %21,22’lik bir azalma ile B10 numunesinde gözlenmiştir.

3.2. Korozyon Potansiyeli Ölçüm Sonuçları

ASTM-C-876-91 standardına göre elde edilen korozyon potansiyeli değerleri Tablo 6.’da çizelge halinde, Şekil 3.’de ise grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 3. Numunelerdeki korozyon potansiyelinin zamana göre değişimi

Tablo 6. Numunelerin korozyon potansiyeli değerleri

Numunelerin Korozyon Potansiyeli Değerleri, (mV)				
Gün	B	B05	B10	B15
1	-522	-545	-550	-559
5	-367	-385	-378	-434
10	-353	-390	-376	-420
15	-316	-365	-376	-400
20	-307	-320	-375	-385
25	-298	-331	-371	-360
30	-297	-330	-369	-383
35	-284	-312	-367	-373
40	-264	-309	-382	-372
45	-256	-294	-360	-373
50	-258	-293	-360	-371
55	-253	-315	-355	-369
60	-269	-290	-359	-362
65	-242	-300	-357	-363
70	-239	-308	-337	-361
75	-221	-298	-335	-361
80	-195	-287	-323	-323
85	-227	-299	-318	-330
90	-225	-290	-322	-335

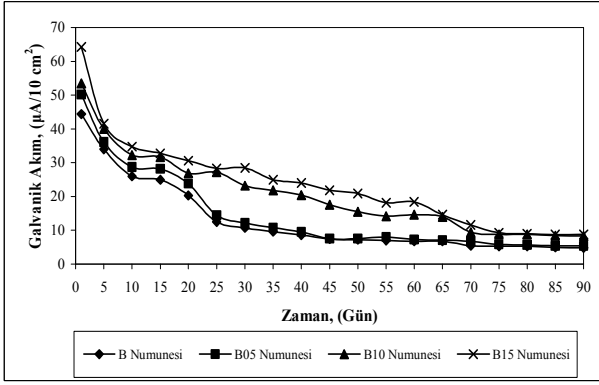
Korozyon potansiyeli ölçümleri, styropor oranına bağlı olarak betonarme demirlerinin korozyon hızlarında artış meydana geldiğini açıkça ortaya koymuştur. Çalışma sonucu elde edilen korozyon potansiyeli değerleri, B ve B05 numunelerinde betonarme demirlerinin pasif bölgede kaldığını, B10 ve B15 numunelerinde ise aktif bölgede kaldığını göstermiştir.

3.3. Galvanik Akım Ölçüm Sonuçları

Galvanik akım ölçümleri neticesinde elde edilen değerler Tablo 7.’de çizelge halinde, Şekil 4.’de ise grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 7. Numunelerin galvanik akım değerleri

Numunelerdeki Galvanik Akım Değerleri, (µA/10 cm ²)				
Gün	B	B05	B10	B15
1	44.4	50.2	53.5	64.3
5	34.0	36.1	40.0	41.6
10	26.0	28.7	32.3	34.8
15	25.0	28.2	31.7	32.8
20	20.3	23.8	26.9	30.6
25	12.5	14.4	27.2	28.3
30	10.7	12.2	23.2	28.5
35	9.6	10.8	21.8	25.0
40	8.6	9.5	20.4	24.0
45	7.4	7.5	17.6	21.9
50	7.2	7.5	15.5	20.9
55	7.0	8.0	14.2	18.2
60	6.7	7.3	14.6	18.4
65	6.8	7.1	14.0	14.6
70	5.4	6.7	9.4	11.6
75	5.3	5.8	8.8	9.3
80	5.3	5.7	8.8	9.0
85	5.0	5.4	8.4	8.7
90	4.8	5.4	8.3	8.8



Şekil 4. Numunelerdeki galvanik akımın zamana göre değişimi

Galvanik akım ölçümleri neticesinde elde edilen değerler, korozyon potansiyeli değerlerini desteklemiştir. Galvanik akım ölçümleri ile beton içine katılan styropor oranına bağlı olarak galvanik akım değerlerinin de artmakta olduğu açıkça belirlenmiştir. Galvanik akım değerlerinde ki ani artışın olduğu numune B10 numunesidir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma neticesinde elde edilen değerlere göre, beton numunelerin basınç dayanımları ile betonarme demirlerinin korozyon hızı değerleri benzer değişimler göstermiştir. Basınç dayanımında olduğu gibi korozyon hızlarında da ani değişim %10 styropor katkılı numuneden sonra meydana gelmiştir.

Sonuç olarak, betonun birim ağırlığını azaltmak amacıyla kullanılan styropor katkısı için maksimum miktarın %5 olacağı, bu değerden fazla miktarda styropor'un kullanılması durumunda ise betonun basınç dayanımında önemli miktarda azalmalar, betonarme demirlerinin korozyon hızlarında ise önemli ölçüde artış meydana geleceği belirlenmiştir.

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular ışığında ileride yapılacak çalışmalara ışık tutması bakımından aşağıdaki öneri yapılmıştır

Yapılan çalışma neticesinde, styroporun betonarme yapılar için tek başına uygulanabilecek bir katkı maddesi olmadığı sonucuna varılmıştır. Bundan dolayı, styropor'un betonla aderansını artırabilecek başka aracı katkı maddeleri ile birlikte kullanılarak çalışmaların devam ettirilmesi önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Uluata, A., R., Yapı Malzemesi Olarak Beton Ders Notları, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Kültürteknik Bölümü, Erzurum, 1979.
2. Postacıoğlu, B., Yapı Malzemeleri Dersleri, İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı:1011, İstanbul,1975.
3. Yalçın, H., Koç, T., Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Önlenmesi, CMS Kongre Yönetim sistemleri Uluslar arası Organizasyon Yayıncılık Bilişim Hizmetleri Limited Şirketi, Ankara, 2004.
4. Argunhan, E., Pomza Taşı ile Üretilen Taşıyıcı Hafif Betonarme Elemanların Özelliklerine Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Maddesinin Etkisinin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1984.
5. Kaya, A., Styropor Kullanılarak Elde Edilen Hafif Betonun Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2002.
6. Asan, A., Galvanik Akım Metodu Kullanarak Klorür İyonları, Asetat İyonları ve Uçucu Külün, Beton İçindeki Çeliğin Korozyonu Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 1996
7. Jang, W., Iwasaki, I., Rebar Corrosion Under Simulated Concrete Conditions Using Galvanic Current Measurements, Corrosion-Nace, 47(11): 875-883, 1991.
8. ACI Journal Committee Report, Corrosion of Metals in Concrete, Ame. Concrete Inst., ACI 222 R-85, 3,Detroit, 1985.
9. Asan, A., Yalçın, H., Uçucu Kül Katkısının Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 16(1): 47-54, 2003.
10. Doruk, M., Korozyon ve Önlenmesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Müh. Fak., Yayın No:70, Ankara, 1982.
11. Stratfull, R. F., Half-Cell Potentials and the Corrosion of Steel in Concrete, Highway Research Record 433, p.12, 1973.
12. TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
13. TS 2511, "Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları", TSE, Ankara, 1977.
14. TS 3114, "Beton Basınç Mukavemeti Tayini", TSE, Ankara, 1990.
15. Yalçın, H., Koç, T., Katodik Koruma, Palme Yayın Dağıtım, Ankara, 1999.
16. Yalçın, H., Koç, T., Mühendisler için Korozyon, Türk Mühendisler ve Mimarlar Birliği Odası, Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 1998.
17. Üneri, S., Korozyon ve Önlenmesi, Korozyon Derneği, Poyraz Ofset, Ankara, 1998.