

## Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonarme Donatılarının Korozyon Performansı

Hanifi BİNİCİ\*  
Muhammed Yasin DURGUN\*\*

### ÖZ

Bu çalışmada bazaltik pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufu katkılı boyalarla kaplanan donatıların korozyon performansı incelenmiştir. Laboratuvar şartlarında bahsi geçen dört malzeme ile tek tek ve ikili, üçlü, dördü kombinasyonlar oluşturularak boyalar üretilmiş ve bu boyalarla donatılar kaplanmıştır. Boyalar ile kaplanmış donatılar beton içerisine gömülerek 1 yıl süreyle %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde bekletilmiştir. Bu süre sonunda donatılar betonlardan çıkarılarak kütle kayıpları ölçülmüştür. Aynı zamanda galvanik pil yöntemi ve hızlandırılmış korozyon deneyi uygulanarak donatıların korozyon performansı incelenmiştir. Sonuçlar, kolemanit ve barit katkısının korozyona dayanıklı boya üretiminde kullanılabilir malzemeler olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Barit, boya, donatı, kolemanit, korozyon, pomza, yüksek fırın cürufu

### ABSTRACT

#### Corrosion Performance of Steel Rebars Coated with Additive Containing Dyes

In this study, the corrosion performance of steel bars embed into concrete and mechanical properties of concretes coated with basaltic pumice, colemanite, barite and blast furnace slag dyes are investigated. In the study single, double, triple and quadruple combinations of these materials were used and the dyes are applied on the steel bars. The method of investigating the corrosion performance of the dyes is embedding the coated steel bars in to the concrete and curing them in the 3.5% salty water for one year and then calculating the mass lose of each steel bar. Furthermore, galvanic cell method and accelerated corrosion tests were also applied for testing the corrosion performance of the dyes. The results have shown that colemanite and barite added dyes are more resistant against corrosion and are useable materials for dye production.

**Keywords:** Barite, pumice, blast furnace slag, colemanite, corrosion, dye, rebar

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 21.01.2011 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2012 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş - hbinici@ksu.edu.tr

\*\* Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın - mydurgun@bartin.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Yapı malzemelerinin, yapı elemanlarının ve yapıların işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir. Farklı yapılarda farklı amaçlara hizmet için kullanılan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Betonun içerisine sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların oluşmasına neden olmaktadır. Betonun içerisindeki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına yol açan reaksiyonlar da kimyasal olaylar sonucunda yer almaktadır. Donma-çözünme, ısınma soğuma gibi olaylar betonun bozulmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır [1]. Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki donatılar paslanabilmekte, beton aşınabilmekte ve betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır.

Betonarme demiri olarak kullanılmakta olan çelik 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 özellikte olmasıdır. Beton gibi alkali ortamlarda metal yüzeyinde pasif bir film tabakası oluşur ve bu tabaka korozyon hızını azaltır [2]. Diğer taraftan beton içerisinde üretim şartlarına ve kullanılan malzemelere bağlı olarak çeşitli boşluklar oluşmaktadır. İyi sıkıştırılmış bir betonda geçirimsizlik düşüktür. Bu nedenle betonarme demirlerinin korozyonuna neden olan bileşiklerin (oksijen, su ve klorür) çevreden beton içine girmesi ve demire kadar ulaşması güçleşir. Ancak malzeme ve işçilik kusurları nedeniyle betonda oluşan boşluklar bu bileşiklerin iç kısımlara ulaşmasına neden olmaktadır.

Günümüzde korozyon, yapı elemanlarının servis ömürlerini etkileyen en önemli etkidir. Korozyon, donatılarda ve betonda birbirini takip eden kimyasal reaksiyonlar olarak ortaya çıkmaktadır. Betonarmede donatıyı paslanmaya karşı koruyan, betonun pH=13 civarında bulunan yüksek alkali düzeyidir. Bu yüksek alkali seviyesi düşmeye başladığı zaman beton artık içindeki donatıyı korozyona karşı koruyamaz hale gelir ve donatılar paslanmaya başlar. Paslanan donatının hacmi genişler ve betonarmede donatılara paralel çatlaklara sebep olur. Beton bir kere çatladıktan sonra, tamamen atmosferik etkilere maruz kalır ve yapı elemanı büyük bir hızla ömrünü doldurur [3].

Betonarme çeliklerinin uzun yıllar korunması ve korozyona uğramadan hizmet vermesi beklenir [4]. Özel olarak koruma önlemleri alınmamış metaller oksit bileşikleri oluşturmaya, bilinen ifadesi ile paslanmaya başlar [5]. Periyodik cetvelde hidrojenin yukarıda bulunan metaller asitler ile reaksiyon verir. Hidrojenin aşağısında bulunan metaller ancak oksitlenme ile birlikte asitlerden etkilenir. Bazılar hem asit hem de baz teşkil edebilen metallere aşındırıcı etki yaparlar [6].

Betonların dış etkenlerde korunması için birçok yöntem geliştirilmektedir. Reçine veya epoksi esaslı kaplamalar kullanılması bunlardan birisidir. Bir araştırmada beş farklı reçine ve akrilik malzemelerle beton yüzeyler kaplanmış ve beton örnekler sülfat etkisine maruz bırakılmıştır. Reçine esaslı kaplamaların daha dayanıklı ve geçirimsiz olduğu görülmüştür [7].

Başka bir çalışmada beton yüzeyleri akrilik esaslı malzemelerle kaplanmış, klor geçişi ve atmosferdeki CO<sub>2</sub> gazı geçirimi ölçülmüştür. Bunun için örnekler NaCl çözeltisinde

bekletilerek kuru ve ıslak döngü uygulanmıştır. Uzun bir deney süreci kaplamalı örneklerin kaplama yapılmayanlara göre çok daha geçirimsiz olduklarını ortaya koymuştur [8].

Daha önce yapılan çalışmalarda Osmaniye, Van ve Kayseri bölgesinden alınan pomzalarla kaplama malzemeleri üretilmiş ve bu boyalarla kaplanan donatıların korozyon performansı test edilmiştir. Yapılan korozyon deneylerin sonucunda pomzalı boyaların korozyona karşı koruma sağladığı tespit edilmiştir [9,10]. Aynı zamanda başka çalışmalarda ince öğütülmüş pomza ve silis dumanı, çimento ile çeşitli oranlarda yer değiştirilerek betonarme donatılarının korozyon değerleri ve fiziksel özellikleri üzerinde incelemeler yapılmıştır. Deney sonuçlarında pomza katkısıyla korozyon oranı artarken, silis dumanı katkısı ile korozyon hızının düşürüldüğü görülmüştür [11]. Yine başka çalışmalarda beton yüzeyi çimento esaslı ve polimer bazlı yalıtım malzemeleriyle kaplanmış ve korozyona karşı olumlu performansları tespit edilmiştir [12].

Granüle yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomzayı ayrı ayrı veya birlikte içeren ve üç yıl deniz suyu etkisine maruz kalan betonların deniz suyuna karşı dayanıklılığı araştırılmıştır. Test sonuçları yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza katkısının aşınma ve deniz suyuna karşı dayanıklılığı artırdığını göstermiştir [13]. Yüzde 80 fırın cürufu içeren örneğin deniz suyuna karşı dayanıklılığı referans betondan daha yüksek bulunmuştur. Bu iyileştirme katkıların deniz suyuna karşı dayanıklılığı ve örneklerin geçirgenliğinin azaltılması ile açıklanmıştır. Barit ise boya sanayinde beyazlatıcı pigment, dolgu malzemesi ve boya inceltici olarak kullanılarak daha kaliteli boyalar üretilmiştir [14]. Aynı zamanda barit agregalarının yüksek özgül ağırlığa sahip, boşluksuz, sağlam ve kaliteli bir yapısının olduğunu bilinmektedir [15].

Kolemanitin korozyona etkisiyle ilgili yapılan bir çalışmada, bir grup betonda kolemanit beton katkısı olarak kullanılmış, bir grup betonun karışım suyuna sodyum klorür karıştırılmış diğer bir grup beton ise sodyum klorür ortamına konulmuştur. Bu her üç grup beton serisi içinde galvanik akım yöntemiyle korozyon hızları ölçülmüş ve betonarme demirlerinin statik potansiyellerinde karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda kolemanitin beton katkısı olarak kullanılmasının betonarme demirlerinin pasif durumda kalma süresini uzattığı görülmüştür [16].

Korozyon kayıplarını mümkün olduğunca azaltmak amacıyla teknolojik olarak birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları paslanmaz çelik üretimi, inhibitör kullanımları, anodik koruma, katodik koruma ve yüzey kaplama yöntemleridir. Bu yöntemlerden en ucuzu ve uygulaması en kolay olanı yüzey kaplama yöntemidir [17]. Hem ekonomik bir yöntem olması hem de diğer yöntemler kadar etkili olması nedeniyle en yaygın olanıdır. Betonarme çelikleri üzerinde uygulaması da oldukça kolay olmaktadır.

Türkiye bor, barit, pomza rezervleri açısından zengin kaynaklara sahip bir ülkedir. Bu ürünlerde rekabet gücünün yüksek olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda sanayi atıkları ve sanayi yan ürünleri açısından da yüksek bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada ülkede bol miktarda bulunan bor, barit, pomza ve yüksek fırın cürufunun korozyona dayanıklı kaplama malzemesi üretilmesinde kullanımı araştırılmıştır.

## **2. MALZEME VE YÖNTEM**

### **2.1 Malzeme**

#### **2.1.1 Pomza**

Pomza oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçüğe kadar sayısız gözenek içerir [18]. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan hafif, suda uzun süre yüzebilen, permeabilitesi düşük ve yalıtımı oldukça yüksektir. Kimyasal olarak %75' e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Kayacın içerdiği SiO<sub>2</sub> oranı, kayaca abrasif özellik kazandırmaktadır. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşimi ise ateş ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. Ülkemiz yaygın pomza yataklarına sahiptir. Pomza rezervlerinin büyük çoğunluğu Doğu ve İç Anadolu bölgelerinde özellikle Bitlis, Van, Kayseri, Nevşehir ve Ağrı illerinde bulunur. Bunların yanı sıra Ege ve Akdeniz bölgelerinde de üretim yapılan rezervler vardır [9]. Türkiye'de pomza yatakları, Ürgüp Avanos ve Kayseri'nin Talas- Tomarza-Develi bölgesinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca Bitlis, Van, Ağrı, Kars, Ankara, Isparta ve Muğla illerinde bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan pomza Osmaniye-Tüysüz bölgesinden temin edilmiştir.

#### **2.1.2 Barit**

Baritin kimyasal formülü BaSO<sub>4</sub>, özgül ağırlığı 4.5 gr/cm<sup>3</sup> ağır agrega, mohs sertliği 2.5–3.5, kristal yapısı ortorombiktir. Renksiz, beyaz, bazen sarı ve gri olabilir. Barit, temiz, yumuşak, doğal olarak tepkisiz ve pahalı olmayan bir mineraldir. Türkiye dünya toplam barit rezervinin %2.1'ine sahiptir. Bu rezervler dövülmüş, ufalanmış veya ham, iyi kalitede barit içerir. Barit yatakları Konya, Kahramanmaraş, Muş, Antalya ve Kütahya'da yer alır. Türkiye dünya barit üretiminde 120 bin ton ve %1.7'lik pay ile sekizinci sırada yer almaktadır [14]. Çalışmada kullanılan barit Osmaniye- Bahçe bölgesinden temin edilmiştir.

#### **2.1.3 Kolemanit (Kristalize Bor)**

Kristalize bor, görünüm ve optik özellikleri bakımından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir [19]. Günümüzde Dünya bor rezervlerinin en fazla olduğu ülke %72 oranıyla Türkiye'dir. Önemli üretici ülkelerin üretimdeki payları sırasıyla, Türkiye %33, A.B.D. %28, Rusya %23 ve diğer ülkeler %16 düzeyindedir. Bu üretim hızıyla devam edilmesi halinde 40 yıl sonra Türkiye dışında hiçbir ülkede bor madeni bulunmayacaktır. Çalışmada kullanılan kolemanit Balıkesir Bigadiç bölgesinden temin edilmiştir.

#### **2.1.4 Yüksek Fırın Cürufu**

Büyük miktarda silis ve alümin içeren ve amorf yapıya sahip olan granüle yüksek fırın cürufları, öğütülerek çok ince taneli duruma getirilmeleri durumunda, puzolanik özellik göstermektedir [20]. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarının bağlayıcı olarak görev yaptıkları değişik kullanım tarzları mevcuttur. Beton üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir. Cürufun optimum inceliğe getirilmesi, değişik koşullarda kullanılacak beton karışımlarının hazırlanmasındaki esneklik gibi faktörler, cürufun ayrı

öğütülerek beton katkı olarak kullanımını daha avantajlı kılmaktadır [21]. Türkiye’de cürufun ayrıca öğütülerek beton katkı malzemesi olarak kullanılması son yıllarda artmıştır [22]. Çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılan puzolanın, reaksiyona gireceği kalsiyum hidroksit, ortama çimentonun hidratasyonu sonucu çıkmaktadır. Beton katkı maddesi olarak puzolanların olumlu etkileri arasında çimentodan tasarruf, işlenebilme, düşük hidratasyon ısı, geçirimsizlik ve dış etkenlere karşı dayanıklılık gibi özellikler sayılabilir [20].

Kullanılan Bazaltik Pomza (P), Barit (B), Kolemanit (K) ve Yüksek Fırın Cürufunun (Y) kimyasal içerikleri Tablo 1’de, fiziksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri

Bileşenler (%)	Pomza	Barit	Kolemanit	YFC
SiO <sub>2</sub>	41.41	1.23	4.0	37.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.97	0.30	0.4	10.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.41	0.06	0.08	0.95
CaO	13.73	0.12	26.00	35.86
MgO	7.76	0.3	3.00	7.38
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O		0.02	0.35	
SrSO		1.22	1.5	
BaSO <sub>4</sub>		95		
MnO		0.12		
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			40.00	
Kızdırma Kaybı			24.60	

Tablo 2. Pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufunun fiziksel özellikleri

	Barit	Pomza	Kolemanit	YFC
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	4.27	2.90	2.42	2.87
Mak. Dane Boyutu (μ)	25	25	25	25

### 2.1.5 Agregalar

Çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri TS EN 1097-6, TS EN 1097-2, TS 706 EN 12620’ye uygun olarak tespit edilmiş ve Tablo 3’te verilmiştir [23-25].

Tablo 3. Agregaların fiziksel özellikleri

Özellik	İnce Agregası	Orta Agregası	Kaba Agregası
Özgül Ağırlık	2.68	2.72	2.72
Sıkışık Birim Ağırlık	2.04	1.94	1.94
Gevşek Birim Ağırlık	1.84	1.69	1.69
Su Emme Kapasitesi (%)	1.20	0.65	0.65
İncelik Modülü	4.40	2.98	2.58
L.A Katsayısı	-	LA <sub>87</sub>	LA <sub>87</sub>

Kullanılan agregaların elek analizi sonuçları Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6’da verilmiştir [25].

Tablo 4. 0 – 4 Kumun elek analizi sonuçları

Elek (mm)	Elekten Geçen (%)	TS 706 EN 12620 [25]	
		Min. (%)	Mak. (%)
8	100.0	100	100
5.6	97.1	95	100
4	95.1	85	99
2	70.1	40	85
1	50.4	30	60
0.5	33.3	20	40
0.25	20.4	10	30
0.125	8.4	2	10
0.075	1.5	0	3
İncelik Modülü	4.24		

Tablo 5. 4 – 11,2 Agreganın elek analizi sonuçları

Elek (mm)	Elekten Geçen (%)	TS 706 EN 12620 [25]	
		Min. (%)	Mak. (%)
22.4	100.0	100	100
16	98.5	98	100
11.2	94.5	90	99
8	60.0	25	70
5.6	38.0	15	65
4	10.3	0	15
2	0.3	0	5
İncelik Modülü	2.98		

Tablo 6. 11,2 – 22,4 Agreganın elek analizi sonuçları

Elek (mm)	Elekten Geçen (%)	TS 706 EN 12620 [25]	
		Min. (%)	Mak. (%)
31.5	100.0	98	100
22.4	88.0	80	99
16	47.6	1025	70
11.2	6.7	0	20
5.6	0.0	0	5
İncelik Modülü	2.58		

### 2.1.6 Çimento

Deneyisel çalışmalarda CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal analizi Tablo 7. ve Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 7. Çimentonun kimyasal analizi

Bileşenler (%)	Çimento
SiO <sub>2</sub>	18.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.40
CaO	62.80
MgO	2.50
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	1.14
SO <sub>3</sub>	3.69
Serbest CaO	0.90
Kızdırma Kaybı	3.5

Tablo 8. Çimentonun fiziksel analizi

Çimento Tipi	Özgül Ağırlık (kg/cm <sup>3</sup> )	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	200 µ Elek Üzerinde Kalan (%)	90 µ Elek Üzerinde Kalan (%)
CEM I 42.5R	3.12	3250	0	2.5

### **2.1.7 Donatı Çelikleri**

Çalışmada donatı çeliği olarak S420 sınıfı nervürlü betonarme çeliği kullanılmıştır. Deneylede 10 ve 14 mm çaplarında donatı çelikleri kullanılmıştır. Donatı çeliğinin mekanik özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Tablo 9. ve Tablo 10.'da verilmiştir [26].

*Tablo 9. Donatı çeliğinin mekanik özellikleri*

<b>Mekanik Özellikler</b>	<b>Min. Akma Muk. (MPa)</b>	<b>Min. Çekme Muk. (MPa)</b>	<b>Çekme / Akma Muk. Oranı</b>	<b>Min. Kopma Uzaması (%)</b>
<b>S420</b>	<b>420</b>	<b>500</b>	<b>1.15</b>	<b>10</b>

*Tablo 10. Donatı çeliğinin kimyasal kompozisyonu*

<b>Bileşen</b>	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Cu</b>	<b>Mo</b>	<b>Sn</b>	<b>N</b>	<b>Pb</b>
<b>Miktar (%)</b>	0.2	0.19	0.7	0.021	0.024	0.09	0.1	0.53	0.016	0.022	0.0111	0.002

## **2.2 Yöntem**

### **2.2.1 Boyaların Hazırlanması**

Boyaların hazırlanmasında Adana'da bir boya fabrikasından alınan boya reçetesi ve boya hammaddeleri kullanılmıştır. Boyaların üretimi kıvamlaştırıcı, viskozite arttırıcı madde, biocide, su sertliğini giderici madde, köpük önleyici madde foamer, pH düzenleyici amonyak, renklendirici madde pigment (titan), dolgu maddesi olarak kalsit, talk gibi bileşenler kullanılmıştır. Karıştırma işlemi yapılırken yüksek devirde dönebilen (1000 – 1200 devir/dakika) betoniyeer kullanılmış ve homojen bir karışım elde edilmiştir. Karışım reçetesinde dolgu malzemesi kalsit 9400 g olarak görünürken bu miktar 4400 g'a düşürülmüş ve kalan 5000 g katkı malzemelerine ayrılmıştır ( 5000 g, her katkı için eşit miktarlara bölünmüştür). Boya bileşenleri Tablo 11.'de verilmiştir. Kuru öğütülmüş kalsit boya sektöründe dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Çeşitli boyutlarda öğütülerek boya imalatında kullanılmaktadır. Çalışmada dolgu malzemesi olan kalsitten azaltma yapılarak katkı malzemelerinin ikamesi yoluna gidilmiştir. Kalsit yerine ikame edilecek malzeme kalsitle aynı görevi görüp dolgu malzemesi olarak görev yapacağı gibi kalsitten farklı olarak korozyon önleme etkeni olarak görev yapması beklenmektedir.



Tablo 11. Boya bileşenleri

Madde	Miktar (g)	Yüzde (%)
Su	4200	21.00
Su Sertliğini Giderici Madde	30	0.15
Zehir	30	0.15
Islatıcı	30	0.15
Glikol	50	0.25
Amonyak	40	0.20
Peva	2800	14.00
Titan	2600	13.00
Pomza, YFC, Kolemanit, Barit (25 µ boyutunda)	5000	25.00
Kalsit (25 µ boyutunda)	4400	22.00
Aliminyumsilikat	250	1.25
Talk	400	2.00
Natrason	70	0.35
Tiner	100	0.50
<b>Toplam</b>	<b>20000</b>	<b>100</b>

### 2.2.2 Kütle Kaybı Deneyi

S420 tipi donatılar 6 cm boyutunda çubuklar şeklinde kesildikten sonra %3 hidroflorik asit çözeltisine konularak dış yüzeylerindeki her türlü pislik ve artuktan temizlenmiştir. Değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulduktan sonra her biri tartılarak ilk ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlıkları kaydedilen çelik çubuklar katkılı boyalar ile tamamen kaplanarak 24 saat kurumaya bırakılmıştır (Şekil 1.). Daha sonra 100x100x100 mm boyutlarındaki kalıplara 2 tabaka halinde beton dökülmüş ve her bir tabaka 25 defa şişlenerek sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Ardından özel bir başlık yardımıyla (Şekil 2.) betonun dört köşesine kaplanmış çelik çubuklar gömülmüştür. Hazırlanan donatılı betonlar 28 gün kür havuzunda kaldıktan sonra %3.5 NaCl çözeltisiyle dolu havuza yerleştirilmiş ve burada 180 ve 360 günlük süreler boyunca bekletilmişlerdir.

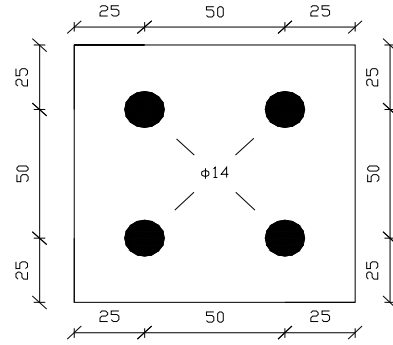
Bekleme süresini tamamlayan çelik çubuklar betondan çıkartılarak başlangıç ağırlığının bulunurken yapıldığı şekilde temizlenmiş ve son ağırlığı tartılmıştır. Bu değerler ilk ağırlığından çıkartılmış ve numunedeki kütle kaybı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar numunelerin korozyon oranlarını belirtmektedir. Donatı çubuklar C20 ve C30 olmak üzere

### *Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonarme Donatılarının Korozyon Performansı*

iki ayrı beton karışımına gömülmüş ve böylece beton sınıfının donatı korozyonu üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Beton karışımları TS 802'ye [27] göre hazırlanmıştır. Kullanılan karışım oranları Tablo 12.'de verilmiştir.



*Şekil 1. Bir grup katkı boyalar ile kaplanmış çelik çubuk*



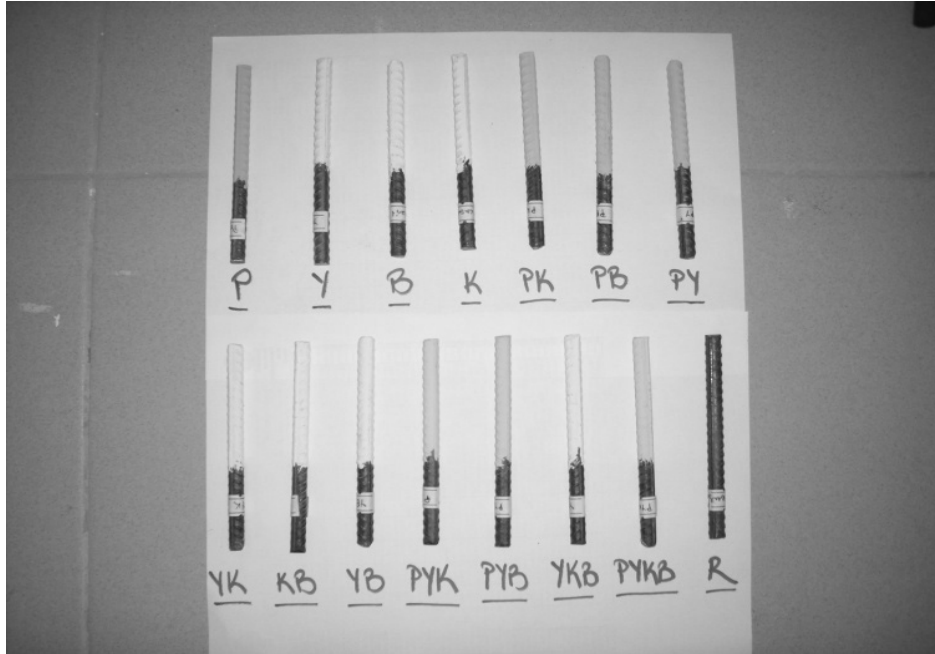
*Şekil 2. Kütle kaybı deneyi için donatı yerleştirilmesinde kullanılan özel numune başlığı*

Tablo 12. Beton karışım oranları

Malzeme (kg)	C20	C30
Su	211	200
Çimento	333	397
Kum	671	671
Kaba Agrega	1006	1006

### 2.2.3 Galvanik Pil Yöntemi

Galvanik pil deneyinin amacı basit bir galvanik pil oluşturularak örneklerin korozyon değerlerini büyükten küçüğe doğru sıralamaktır. Galvanik pil iki adet metalin bir elektrolit içerisine batırılarak bu elektrolit vasıtasıyla birbirlerine temas ettirilmesidir. Böylece bir akım oluşarak elektron alış verişi gelişmektedir. Elektron kaybeden numune korozyona başlamış demektir. İki metalin içyapı farklılığı dolayısıyla aralarında bir potansiyel fark oluşarak bir metal anot, diğer metal ise katot şeklinde davranmaya başlar. İki metal arasına bir voltmetre bağlanarak oluşan potansiyel fark kolayca ölçülmektedir. Bu amaçla 100 mm boyunda, 10 mm çapında 15 adet çelik donatı hazırlanmıştır. Bu donatılar, referans donatısı hariç, üretilen katkılı boyalar ile tek kat kaplanmış ve 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Deneyde kullanılacak çelik çubuklar Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Galvanik pil deneyi için hazırlanan çelik çubuklar

### *Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonarme Donatılarının Korozyon Performansı*

Numunelerin hazırlanmasından sonra bir kaptaki %3.5 NaCl çözeltisi homojen bir biçimde karıştırılarak elektrolit sıvı elde edilmiştir. Bu elektrolit sıvı içerisine iki adet bakır levha daldırılmış ve vakit geçirmeden biri anot diğeri de katot olacak şekilde voltmetreye bağlanmıştır. Voltmetrede "0.000" değeri okunmuş ve bu değer referans değer olarak kaydedilmiştir. Elektrolit sıvı olarak hazırlanan NaCl çözeltisi 15 ayrı plastik kaba eşit miktarda bölüştürülmüştür ve bu kapların içerisine çelik çubuklar bırakılmıştır. Daha sonra her bir çubuğun yanına bir bakır levha konulmuştur. Ardından sırasıyla voltmetrenin bir ucu çelik diğeri ucu bakır levhaya bağlanarak iki metal arasındaki potansiyel fark okunmuş ve kaydedilmiştir (Şekil 4.).



*Şekil 4. Galvanik pil deneyinin yapılışı*

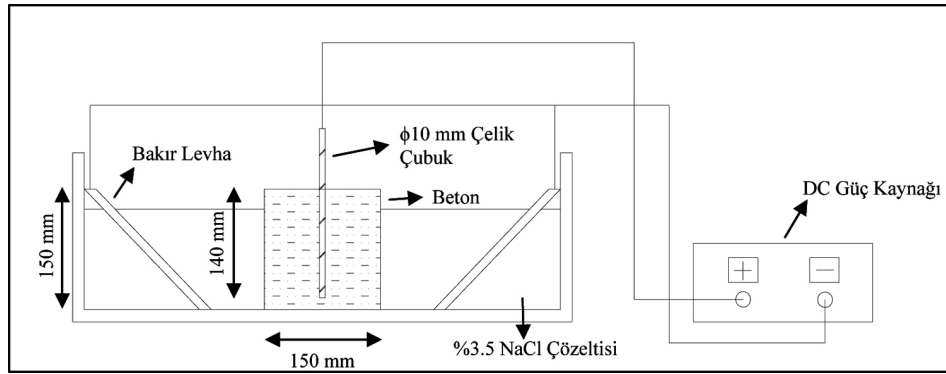
#### **2.2.4 Hızlandırılmış Korozyon Deneyi**

Beton içerisindeki donatının korozyon performansının incelenmesi amacıyla hızlandırılmış korozyon yönteminden yararlanılmıştır. 15 adet 160 mm boyunda 10 mm çapında donatı kesilmiş ve bu donatılar referans numunesi hariç katkı boyalar ile kaplanmıştır. 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra 100x100x100 mm'lik kalıplar yağlanarak içerisine 2 katman şeklinde C20 karışımına göre hazırlanmış beton dökülmüş ve 25 defa şişlenerek sıkıştırılmıştır.

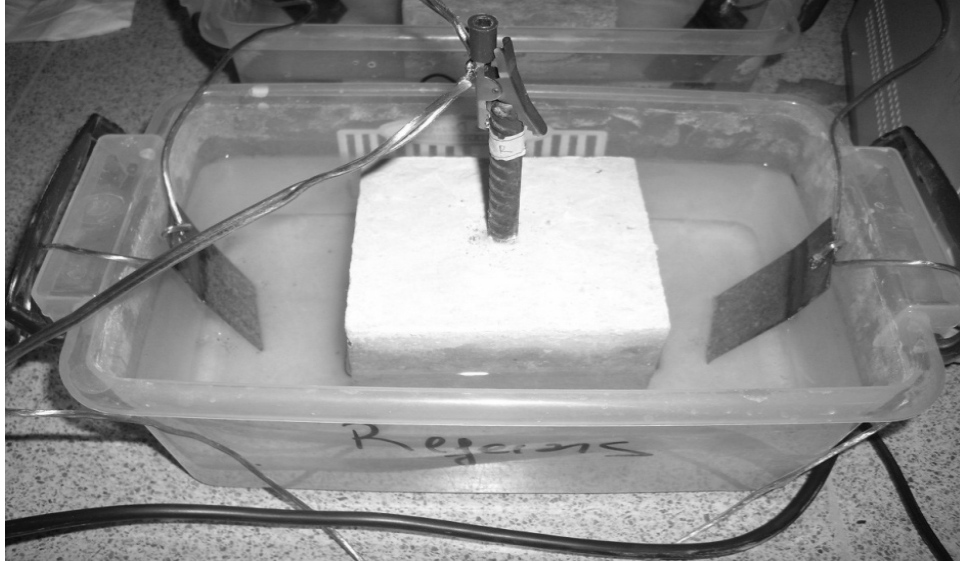
Kurumuş olan çelik çubuklar belirlenen ölçülere göre betonun tam ortasına alttan 10 mm paspayı kalacak şekilde yerleştirilmiştir. 24 saat sonra kalıptan sökülen numuneler 28 gün süreyle donatılar suyun dışarısında kalacak şekilde kür edilmiştir.

Deney düzeneğinin kurulması için önce %3.5 oranında NaCl çözeltisi homojen bir biçimde karıştırılmış ve plastik kaplara eşit olarak dağıtılmıştır. Her bir kabın içerisine 2 adet 100 mm boyunda ve 20 mm eninde bakır levhalar yerleştirilmiştir. Bu bakır levhalar birbirlerine

bakır kablo ile bağlanarak doğru akım kapasiteli güç kaynağının negatif kutbuna bağlanmıştır (karşıt elektrot). Her bir plastik kabın içine ortasına bir adet çelik çubuk gömülmüş beton örnek yerleştirilmiştir ve örneklerin içerisindeki çelik çubuklar uçlarından birbirlerine bakır kablo ile bağlanarak güç kaynağının pozitif kutbuna bağlanmıştır (çalışan elektrot). Böylece donatı çubuklarının anot, bakır levhaların katot ve NaCl çözeltisinin elektrolit olduğu bir devre oluşturulmuştur. Deney düzeneği Şekil 5 ve 6'da görülmektedir.



Şekil 5. Hızlandırılmış korozyon deneyi düzeneğinin şematik görünümü



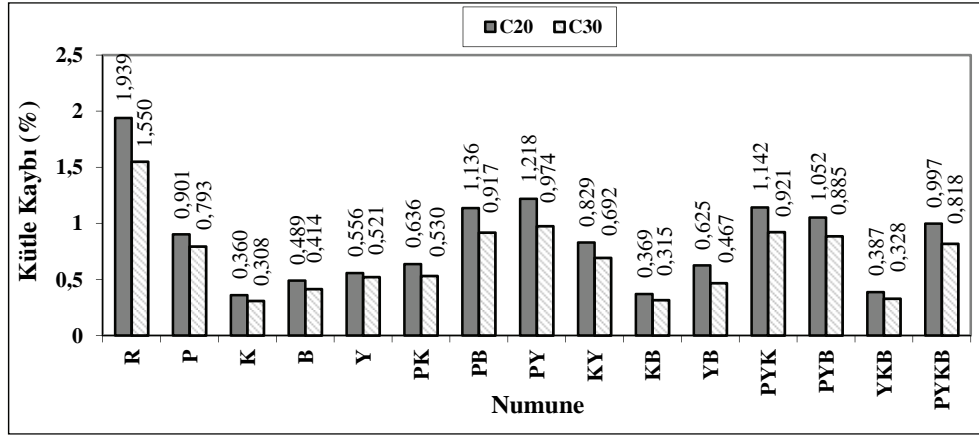
Şekil 6. Hızlandırılmış korozyon deneyi düzeneği

Düzenek hazır olduğunda sisteme sabit 30 volt gerilim uygulanmıştır. Gün içerisinde 4 defa doğru akım kaynağından ayrılarak her bir deney düzeneğinin ayrı ayrı çektiği akım miktarı kayda alınmıştır. Aynı zamanda korozyon ürünlerinin oluşumu ve betonlardaki çatlak oluşumu sürekli olarak kontrol edilmiş ve ilerlemeler kaydedilmiştir.

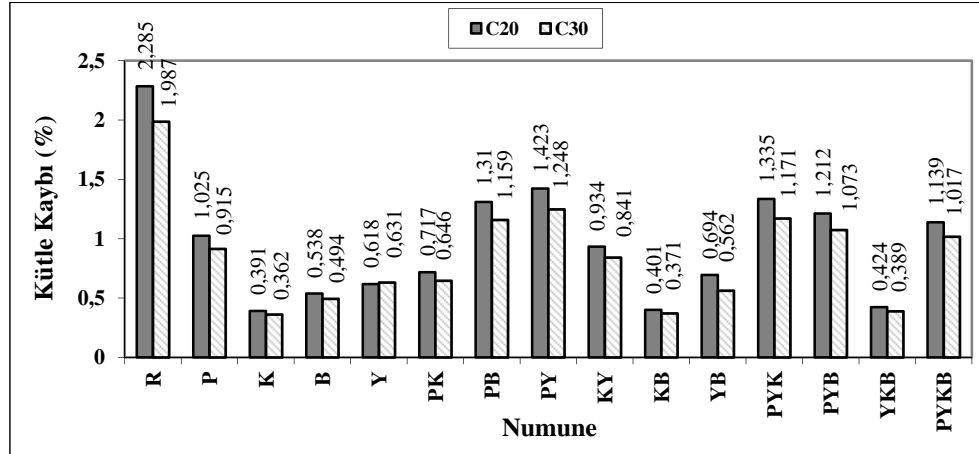
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Kütle Kaybı Deneyi Sonuçları

Kütle kaybı deneyinde 3 adet numunenin ortalamasının alınmasıyla elde edilen 180 günlük ve 360 günlük sonuçlar Şekil 7. ve Şekil 8.'de verilmiştir.



*Şekil 7. 180 günlük gömülü donatıların kütle kayıpları*



*Şekil 8. 360 günlük gömülü donatıların kütle kayıpları*

Hem 180 günlük hem de 360 günlük süreler sonunda en fazla korozyona uğrayan numune üzerinde hiçbir kaplama malzemesi bulunmayan referans numunesi olmuştur. Üzerinde hiç kaplama olmaması referans numunesini en aktif numune yapmıştır. Kaplanan numunelerden ise en fazla kütle kaybı değerini veren numune her iki süre için de (180 ve 360 gün) PY numunesi olmuştur. Genel itibariyle içerisinde pomza bulunun boyalar çok iyi performans gösterememiştir. Pomzanın kimyasal etkilere karşı koruyucu bir etkisi olmasına rağmen amorf yapısı ve içerisindeki yüksek boşluk oranı sebebiyle geçirimli bir yapı oluşturduğu düşünülmektedir; referans numunesine göre daha iyi sonuçlar verse de diğer boyalara oranla daha elverişsizdir. En yüksek korozyon dayanımı gösteren, yani en az kütle kaybına uğrayan numuneler ise K, KB ve B numuneleri olmuştur. Kolemanit katkısının daha önce yapılan çalışmalarda korozyon olayının pasif yönde kalmasına yardımcı olduğu bilinmektedir [16]. Aynı şekilde boya hammaddesi olarak kullanıldığında da donatı korozyonunu azaltmış olduğu görülmektedir. Barit ise dolgu maddesi ve pigment olarak kullanılmakta olduğundan [14] boyalara sıkı bir yapı katmaktadır. Bu sebeple geçirimliliği düşen boyalar daha iyi performans göstermektedirler.

180 ve 360 günlük sonuçlar incelendiğinde zamanın korozyon üzerine etkisi net bir biçimde görülebilmektedir. Tuzlu su ortamında 6 ay daha fazla bekleyen 360 günlük numuneler diğerlerine göre % 17.5 ile % 28 arasında değişen değerlerde daha fazla kütle kaybına uğramışlardır.

Beton sınıfının kütle kaybına etkisi incelendiğinde daha yüksek beton sınıfı olan C30'da korozyon olayının daha az olduğu görülmektedir. C20 betonuna gömülen numunelere göre en düşük K numunesinde % 0.041 ve en yüksek R numunesinde % 0.344 oranları arasında daha az kütle kaybına uğradığı görülmüştür. Bu durum aynı döküm, sıkıştırma ve kür şartlarında çimento dozajının artmasıyla birlikte içyapının daha sıkı olmasıyla açıklanabilir. Daha iyi bir içyapı, korozif etkilerin donatıya ulaşmasını engeller veya geciktirir.

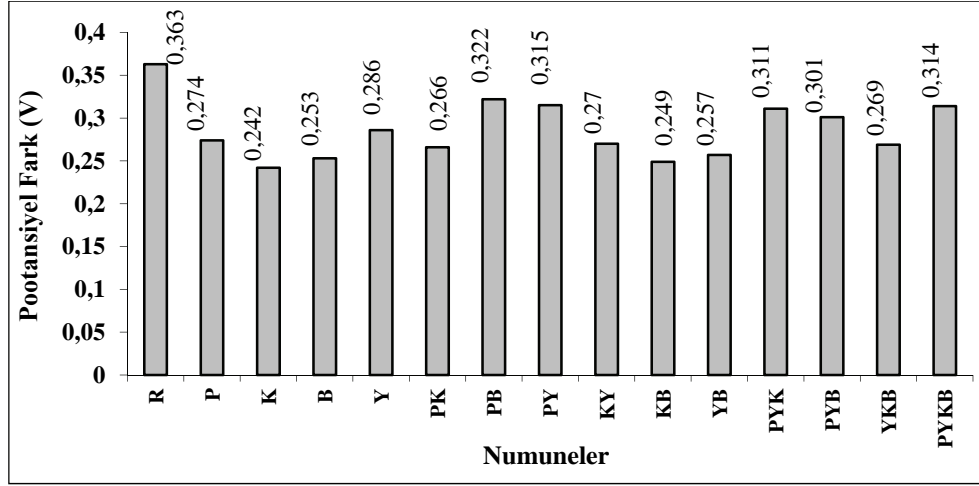
### **3.2 Galvanik PİL Yöntemi Sonuçları**

Basit bir galvanik pil üretilerek bir adet kaplanmış çelik çubuk ile bakır levha arasındaki potansiyel farkın ölçülmesine dayalı galvanik pil deneyine ait sonuçlar Şekil 9.'da verilmiştir.

Çelik numunelerin anot, bakır levhanın da katot gibi davranmış olduğu bu deneyde en yüksek sonuç dış yüzeyi hiçbir kaplama malzemesiyle kaplanmamış olan referans çubuğunda (R) görülmüştür. Elektrolit vasıtasıyla en fazla elektron kaybına uğrayan, dolayısıyla en fazla tahribata, yani korozyona uğrayan numune bu numunedir. En az potansiyel fark değeri veren numuneler ise sırasıyla K, KB, B, YB, PK, YKB, KY, P, Y, PYK, PYB, PY ve PB olmuştur. Kütle kaybı deneyinde sıralamaya benzer bir sıralama elde edilmiştir. Kolemanit katkılı boya ile kaplanan numune en az potansiyel fark veren numune olmuştur. Bu sonucu bor ve bor minerallerinin elektrik iletkenliğinin iyi olmamasına, elektron bakımından fakir olmalarına bağlanabilir. Daha sonra barit katkılı boyaların bunu takip ettiği görülmektedir. Barit katkısının boyada dolgu özelliği yapmasıyla daha sıkı yapı boyalar oluşmuş ve geçirgenliği düşürmüştür. Bu nedenle barit katkısı da genellikle potansiyel fark değerlerinin düşük çıkmasına neden olmuştur. Pomza ve yüksek fırın cürufu tek başlarına kullanıldıklarında daha başarılı sonuçlar vermişlerdir. Bu, pomza ve yüksek fırın cürufunun kimyasal etkilere karşı koruma sağlayabilen mineral katkıları olmalarında

### Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonarme Donatılarının Korozyon Performansı

ileri gelir. Puzolanlar genel olarak hidrasyon esnasında  $\text{Ca(OH)}_2$  ile reaksiyona girerek CSH jelleri oluşturur ve dayanıklılığı artırırlar. Dolayısıyla oranları düştükçe sonuçlar daha kötü olmuştur. Ayrıca pomzanın içerisindeki boşluk oranı boyalar için olumsuz etkiler doğurmuş olmaktadır ki pomza katkılı numuneler diğerlerine göre daha kötü sonuçlar vermektedirler.



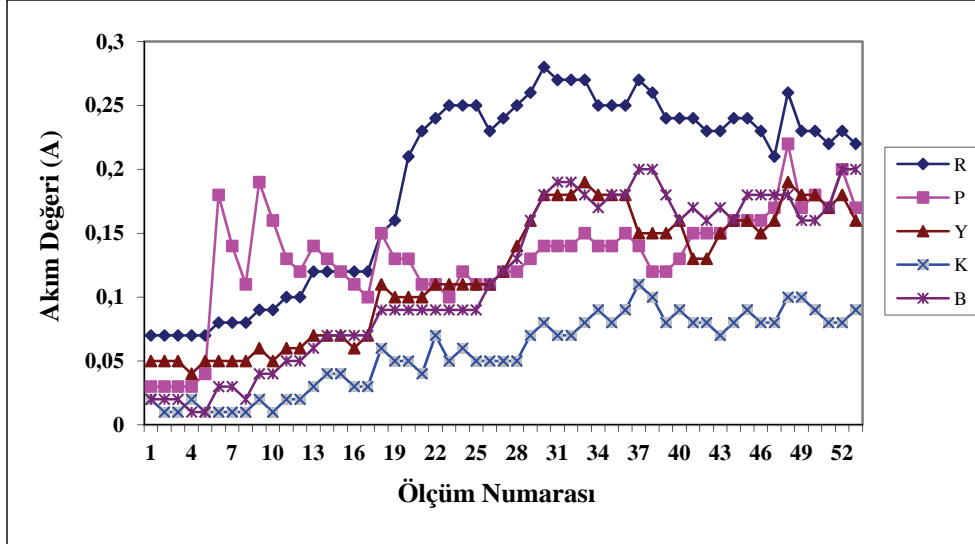
Şekil 9. Galvanik pil deneyinde elde edilen potansiyel fark değerleri

### 3.3 Hızlandırılmış Korozyon Deneyi

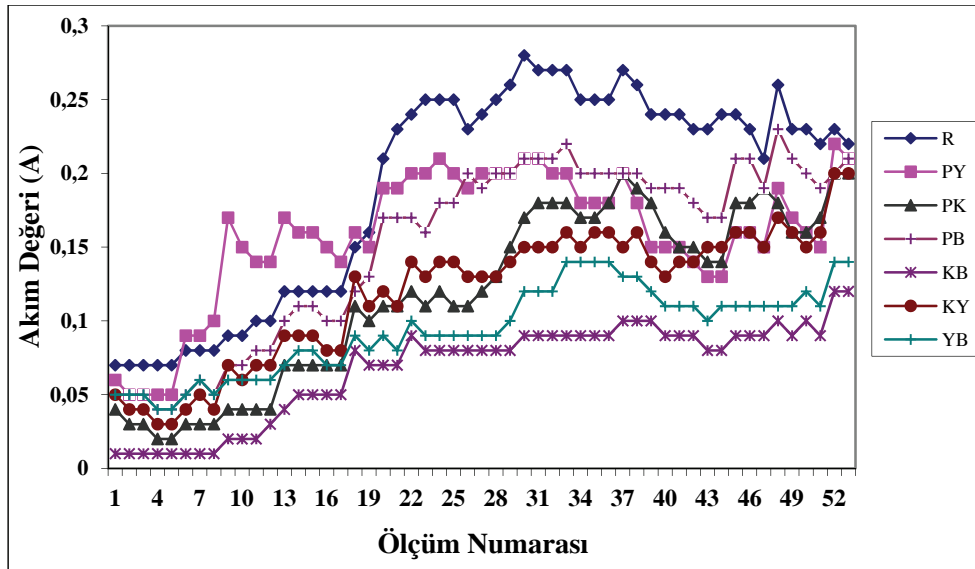
Hızlandırılmış korozyon deneyi tüm numuneler korozyona uğrayıp çatlak verene kadar devam ettirilmiştir. Deney 14 gün sürmüş ve toplam 53 ölçüm alınmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonuçları Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13.'de gösterilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde referans numunesi tüm numunelere göre hem başlangıç değeri olarak hem bitiş değeri olarak hem de tüm deney boyunca genel olarak en yüksek akımı çekmiştir. Akımı fazla çekmesi en yüksek korozyon değerinin referans numunesinde olduğunun bir göstergesidir. En düşük akımı çeken numune ise kolemanit katkılı kaplama malzemesi ile kaplanan numunedir. Başlangıç değerinden itibaren sürekli en düşük akımı çeken numune olarak seyretmiş ve deney sonunu en düşük akım çeken numune olarak bitirmiştir. Tüm değerlerin ortalaması alındığında en çok akım çeken referans numunesi deney boyunca yaklaşık ortalama 0.192 A akım çekmiş, en az akım çeken numune K ise deney boyunca yaklaşık ortalama 0.057 A akım çekmiştir. Bunu yine kolemanit katkısının ve barit katkısının birlikte olduğu numuneler takip etmiştir. K numunesinden sonra en az akım çeken numune ortalama 0.068 A ile KB olurken onu takip eden numune ise YB ve YKB olmuştur.



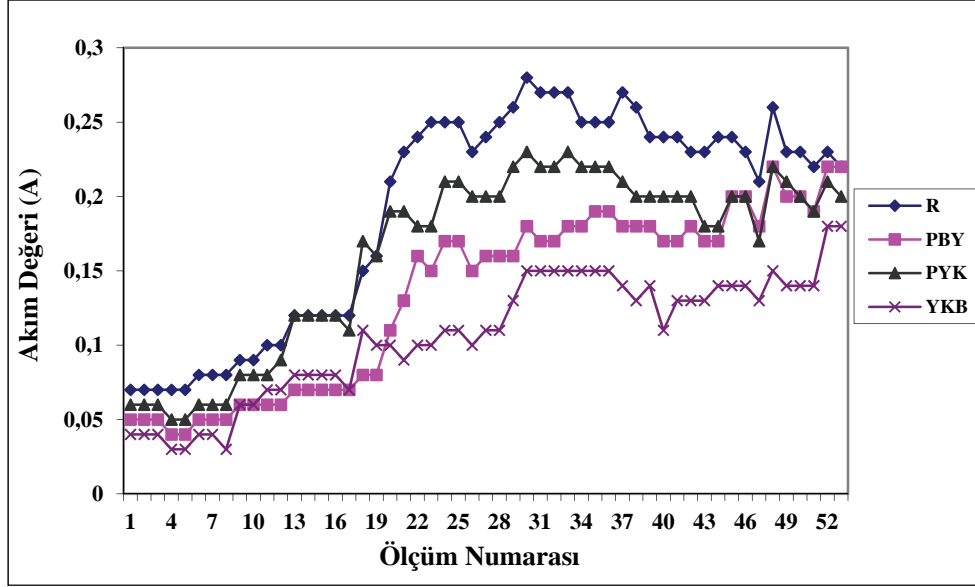


Şekil 10. Hızlandırılmış Korozyon Deneyinde R, P, Y, K ve B Numunelerinden Geçen Akımın Değişimi

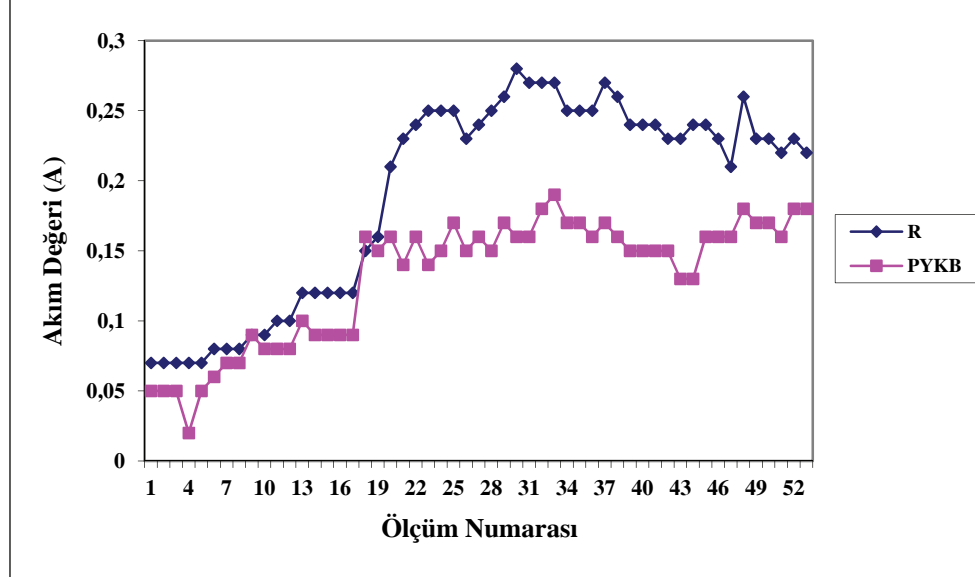


Şekil 11. Hızlandırılmış Korozyon Deneyinde R, PY, PK, PB, KB, KY ve YB Numunelerinden Geçen Akımın Değişimi

*Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonarme Donatılarının Korozyon Performansı*



*Şekil 12. Hızlandırılmış Korozyon Deneyinde R, PBY, PYK ve YKB Numunelerinden Geçen Akımın Değişimi*



*Şekil 13. Hızlandırılmış Korozyon Deneyinde R ve PYKB Numunelerinden Geçen Akımın Değişimi*

Kaplanmış numunelerden en çok akım çekenler ise PYK, PB ve PY olmuştur. Daha önceki deneylerde de tespit edildiği gibi pomza katkılı boyalar geçirimsizlik açısından gerekse elektriksel yalıtım açısından diğer boyalara göre daha zayıf olmuştur. Bu açıdan korozyon direnci açısından alt sıralarda bulunmaktadırlar. Kolemanit ve barit katkılı boyalar ise elektriksel iletkenliklerinin düşük olması ve sıkı bir boya yapısı oluşturmaları nedeniyle koruyuculuk açısından hep üst sıralarda yer almışlardır. Yüksek fırın cürufu ise tek başına kullanıldığında koruyuculuk açısından ortalama değerler verirken, kolemanit ve baritle birlikte olduğunda daha iyi sonuçlar vermiş, pomza ile birlikte olduğunda ise daha kötü sonuçlar vermiştir.

### **3.4 Ekonomik Değerlendirme**

Türkiye coğrafyasında bol bulunan malzemeler olması sebebiyle, bu malzemeleri temin etmek kolaydır. Maliyet olarak geneli itibariyle ekonomik malzemelerdir. Seri üretim durumunda boyaların üretileceği bölgeye göre nakliye maliyeti dışında aralarında çok büyük bir fark olmamaktadır. Kendi aralarında değerlendirildiklerinde en maliyetli olan boya kolemanit ile üretilen boya olmaktadır. Maliyeti en düşük boya ise barit ile üretilen boya olmaktadır. Bunun sebebi baritin ülkenin birçok yerinde bulunmasıdır. Üretim ve uygulama açısından katkısız boyalarla arasında hiçbir fark bulunmadığından, üretim ve uygulama aşamasında mali hiçbir külfeti bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra söz konusu malzemelere yeni kullanım alanları kazandırılması ile ekonomik katkı sağlanabilir.

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak kullanılan birçok korozyondan koruma yöntemi mevcuttur. Ancak bu yöntemler hem maliyetli hem de işçilik ve uygulanabilirlik açısından zahmetlidir. Bu yöntemler arasında üretim, uygulama ve maliyet açısından en uygun olanı çalışmamızda kullanmış olduğumuz yüzey kaplama yöntemidir. En az diğer yöntemler kadar koruyucu olup, 15-20 yıla kadar dayanım gösterebilen boyalar üretmek mümkündür [17].

## **4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME**

1. 180 ve 360 günlük %3.5 tuzlu su ortamında bekletilen numunelerde her iki beton sınıfı için de (C20 ve C30) kolemanit katkılı boyalarla kaplanan donatılar daha az kütle kaybına uğrarken, referans donatısı en fazla kütle kaybına uğrayan numune olmuştur. Kaplanmış donatılardan ise en düşük sonucu veren numune pomza kaplamalı numunelerdir.
2. Hem 180 hem de 360 günlük kütle kaybı sonuçlarına göre çimento dozajının artmasıyla kütle kaybının düşmüş olduğu yani korozyon seviyesinin azalmış olduğu görülmektedir.
3. Galvanik pil deneyine göre voltmetrede en fazla potansiyel fark değeri referans numunesinden alınmıştır. En düşük değer ise K boyasıyla kaplı olan numuneden alınmıştır. Kaplı numunelerden ise en yüksek potansiyel fark değeri veren numune ise pomza barit numunesi olmuştur.
4. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonuçlarına göre kolemanit ve barit içeren numuneler daha fazla korozyon dayanımı gösterirken yüksek fırın cürufu içeren numuneler ortalama değerler vermiştir. Pomza içeren numuneler ise daha alt sıralarda yer almakta ve daha çabuk korozyona uğramaktadırlar.

Elde edilen sonuçlara göre kolemanit katkısı ile üretilen boyanın korozyona karşı direnç sağlamada etkili bir kaplama malzemesi olduğu görülmüştür. Aynı zamanda barit katkısı ile kolemanit katkısının birlikte kullanılmasıyla da koruyucu özelliği yüksek olan boyalar üretilmiştir. Çeşitli korozyon deneyleriyle test edilen bu kaplama malzemeleri korozyona karşı direnç gösterebilmelerinin sebebi boya malzemesi olarak kullanılabilir olmaları ve korozyon oluşumuna yol açan etkilere karşı bir koruma oluşturmalarıyla ilişkilendirilmiştir. Türkiye'nin zengin yataklara sahip olduğu her iki malzeme de donatı korozyonuna karşı dayanım sağlama ve koruma oluşturmaktadır. Böylece ülkede bol miktarda bulunan kolemanit ve barit için çeşitli yeni kullanım alanları oluşabileceği görülmüştür.

### **Kaynaklar**

- [1] Öner A, Yıldız R, Betonun İç ve Dış Ortam Etkilerine Dayanıklılığı Üzerine Genel Bir Bakış, Kocaeli Teknik Bülten, Kocaeli, 2003.
- [2] Yıldız S, Keleştemur O, Farklı Bölgelerde Üretilen PKÇ/B 32,5 R Çimentosunun, Betonarme Yapılardaki Donatı Korozyon Potansiyeline Etkisi, F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(4), 757 – 764, 2004.
- [3] Çil İ, Betonarme Donatısında Elektriksel Yöntemlerle Korozyon Ölçümü, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1), 59 – 63, 2006.
- [4] Seyhan E. C., Korozyon Önleme Teknolojileri, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Denizli, 2006.
- [5] Yalçın H., Koç T., Mühendisler İçin Korozyon, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, Ankara, 1998.
- [6] Özdemir H. İ., Genel ve Anorganik Teknik Kimya, İstanbul Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 1981.
- [7] Al – Dulaija M., Maslehuddin M. M., Al – Zahrani A. M., Sharif E. A., Al – Juraifani S. and Al – Idi S. H., Performance Evaluation of Resin Based Surface Coatings. In: Deterioration and Repair of Reinforced Concrete in the Arabian Gulf, Proceedings of 6th ACI International Conference, Bahrain, 2000.
- [8] Swamy R. N., Suryavanshi A. K. and Tanikawa S., Protective Ability of an Acrylic Based Surface Coating System Against Chloride and Carbonation Penetration into Concrete. ACI Mater J. 12, 3, 95101–12, 1998.
- [9] Binici H., Kaplan H., Yaşarer F., Pomza Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonların Durabilitesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13 (1), 40 – 47, 2009.
- [10] Binici H., Zengin H., Zengin G., Yasarer F., The Use of Pumice as a Coating For The Reinforcement of Steel Against Corrosion and Concrete Abrasions, Corrosion Science, 50 (8), 2140 – 2148, 2008.

- [11] Kelestemur O., Demirel B., Corrosion Behaviour of Reinforcing Steel Embedded in Concrete Produced with Finely Ground Pumice and Silica Fume, *Construction and Building Materials*, 24, 1898 – 1905, 2010.
- [12] Al-Zahrani M. M., Al-Dulaijan S. U., Ibrahim M., Saricimen H., Sharif F. M., Effect of Waterproofing Coatings on Steel Reinforcement Corrosion and Physical Properties of Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 24, 127 – 137, 2002.
- [13] Binici H., Aksoğan O., Kaplan H., Görür E. B., Performance of Ground Blast Furnace Slag (GBS) and Ground Basaltic Pumice (GBP) Concrete Against Seawater Attack, *Construction and Building Materials*, 22, 1515 – 1526, 2008.
- [14] T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu Cilt I, Yayın No: DPT: 2421 – ÖİK: 480, 1996.
- [15] Osma Y., Barit ile Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 71 s., 2002.
- [16] Yalçın S., Kolemanitli Çimentoların Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine İnhibitif Etkisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 65 s., 1996.
- [17] Biçer A., Koç T., Alıcılar A., Arslan A., Ceyhan Bölge, Dört Yol İşletme Müdürlüğü Tesislerindeki Beton Korozyonu Raporu, Boru Hatları ile Petrol Taşıma A. Ş. Genel Müdürlüğü, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 1997.
- [18] Gündüz L., Saruşık A., Davraz M., Uğur İ., Çankıran O., Pomza Teknolojisi Cilt I, SDÜ Yayınları, Isparta, 258 s., 1998.
- [19] Uluköy A., Can A. Ç., Çeliklerin Borlanması, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (2), 189 – 198, 2006.
- [20] Binici H., PÇ-GYFC-Pomza Üçlü Karışımlarının Özellikleri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 289 s., 2002.
- [21] Öner, M., Yüksek Fırın Cürufalarının Çimento Üretiminde Kullanımında Öğütmeyle İlgili Parametrelerin Etkilerinin Belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Ankara, 23, 61 – 69, 2001.
- [22] Erdoğan Y. T., Beton, Metu Pres, Ankara, 478 – 512, 2003.
- [23] TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

*Katkılı Boyalarla Kaplanan Betonarme Donatılarının Korozyon Performansı*

- [24] TS EN 1097-2, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [25] TS 706 EN 12620, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [26] TS 708, Çelik – Betonarme İçin – Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [27] TS 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.