

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALÜMİNYUM ELOKSAL ÇAMURUNUN HAZIR BETON KATKI MALZEMESİ
OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

ALPER YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ZEKİ ÇİZMECİOĞLU**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALÜMİNYUM ELOKSAL ÇAMURUNUN HAZIR BETON KATKI MALZEMESİ OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Alper Yılmaz tarafından hazırlanan tez çalışması 26.10.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet EKERİM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ülker BEKER
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU' a, en derin saygılarımla teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaları beraber yürüttüğümüz, Metalurji ve Malzeme Yüksek Mühendisi Özlem Aydın' a, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşım, Arş. Gör. Çağlar Yüksel' e ve deneysel çalışmaların yapılmasını sağlayan İSTON A.Ş. Ar-Ge çalışanlarına teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca en büyük destekçilerim olan, yüksek lisans çalışmamda da maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme, tanıdığım günden beri desteğini hissettiğim ve yaşamım boyunca yanımda olmasını istediğim sevgili Canan Öztürk' e sevgi ve minnet duygularıyla sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran, 2011

Alper YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	Vii
ÇİZELGE LİSTESİ	Viii
ÖZET	ix
ABSTRACT.....	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	13
1.1 Literatür Özeti	13
1.2 Tezin Amacı	13
1.3 Hipotez.....	14
BÖLÜM 2	
ELOKSAL İŞLEMİ	15
2.1 Alüminyum Eloksal (Anodizasyon) İşlemi	16
2.1.1 Mekanik Ön işlemler	16
2.1.2 Kimyasal Ön işlemler.....	16
2.1.2.1 Yağ Alma.....	16
2.1.2.2 Matlaştırma	17
2.1.2.3 Kistik Jenerasyonu	18
2.1.2.4 Parlatma (Polisaj)	18
2.1.2.5 Temizleme (Desmut)	18
2.2 Eloksal Tabakasının Yapısı	19
2.2.1 Eloksal Tabakasının Genel Özellikleri.....	20
2.3 Eloksal İşlemleri	20
2.4 Mimari ve Parlak Eloksal.....	21
2.5 Renkli Eloksal Yapılması.....	22
2.6 Eloksal Çamuru	25
2.6.1 Eloksal Çamurunun Özellikleri	26

BÖLÜM 3

HAZIR BETON	27
3.1 Hazır Betonun Sınıflandırılması	29
3.2 Betonun Bileşenleri	29
3.2.1 Agregalar	29
3.2.2 Çimento	30
3.2.3 Katkılar	31
3.2.3.1 Kimyasal Katkılar	31
3.2.3.2 Mineral Katkılar	32
3.2.4 Karışım Suyu	32
3.3 Hazır Beton Üretim Şekli	33
3.4 Hazır Beton Üretim Süreci	34
3.5 Beton Sınıfları	35
3.5.1 Beton Dayanım Sınıfları	35
3.5.2 Beton Kıvam Sınıfları	36

BÖLÜM 4

ÇİMENTO	37
4.1 Çimentonun Genel Tanımı ve Sınıflandırılması	39
4.1.1 Orjinal Portland Çimentosu	40
4.3.1.1 Portland Çimentosunun Hidrasyonu	44
4.1.2 Pozolanlı Çimentolar	48
4.1.3 Çürük Çimentolar	48
4.1.4 Alüminli Çimentolar	49
4.1.5 Mühtelif Çimentolar	49
4.2 Çimento Test Metodları	50

BÖLÜM 5

KOROZYON	52
5.1 Betonun Korozyonu	52
5.2 Çelik Donatının Korozyonu	53

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
6.1 Malzemeler	60
6.1.1 Portland Çimentosu	60
6.1.2 Eloksal Çamuru	61
6.3 Basma Dayanımı Deneyi	63
6.4 Aderans Dayanımı Deneyi	64
6.5 Korozyon Deneyleri	65
6.6 Mikroyapı İncelemeleri	66

BÖLÜM 7

DENEYLERİN SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRMELER.....	67
7.1 Basma Dayanım Deneyi Sonuçları.....	67
7.2 Aderans Dayanım Deneyi Sonuçları	69
7.3 Korozyon Deneyleri Sonuçları	71
7.3.1 Korozyon Potansiyeli Değerlerinin Sonuçları.....	71
7.3.2 Korozyon Akım Yoğunluğu Değerlerinin Sonuçları.....	75
7.4 Mikroyapı İncelemeleri	81

BÖLÜM 8

SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Tipik bir eloksal tesisinin basitleştirilmiş işlem şeması.....	16
Şekil 2. 2	Eloksal tabakasının yapısı	19
Şekil 2. 3	Eloksal tabakasının tespit (sealing) işlemi öncesi ve sonrası.....	23
Şekil 2. 4	Alüminyum eloksal tesisi	24
Şekil 2. 5	Eloksal Çamuru	26
Şekil 4. 1	Çimento üretim aşamaları	42
Şekil 4. 2	Portland çimentosunun hidrasyon mekanizması	47
Şekil 5. 1	Beton içerisindeki çeliğin korozyon hücresi	55
Şekil 5. 2	Bir liman işletmesinin korozyona uğramış yapıları.....	56
Şekil 5. 3	(a) Donatıda korozyon gelişmemiş bir betonarme eleman kesiti ve (b) eşdeğer elektrik devresi	58
Şekil 5. 4	(a) Donatısı korozyona maruz kalmış bir betonarme eleman kesiti ve (b) eşdeğer elektrik devresi.....	58
Şekil 6. 1	Sodyum klorür çözeltisi içerisinde bekleyen lolipop numuneler	62
Şekil 6. 2	Beton pres makinesi	64
Şekil 6. 3	Bakır-Bakır Sülfat Yarı Hücre Devresi.....	65
Şekil 6. 4	Gecor 8 korozyon hızı ölçüm cihazı	66
Şekil 7. 1	Orijinal portland çimentyosu ve eloksal çamuru katkılı betonların zamana bağlı basma dayanımları	68
Şekil 7. 2	Eloksal çamuru miktarına göre basma dayanımlarındaki değişim.	68
Şekil 7. 3	Katkısız ve eloksal çamuru katkılı numunelerin basınç dayanımları.....	69
Şekil 7. 4	Eloksal çamuru miktarının aderans dayanımı üzerindeki etkisi	70
Şekil 7. 5	Eloksal çamuru miktarına bağlı yarı hücre potansiyeli değişimleri	73
Şekil 7. 6	Eloksal çamuru katkılı numunelerinin potansiyeli değişimleri.....	74
Şekil 7. 7	Eloksal çamuru katkılı numunelerin akım yoğunluğu değişimleri.....	78
Şekil 7. 8	Numunelerin zamana bağlı korozyon akım yoğunluğu değişimleri	78
Şekil 7. 9	Eloksal çamuru katkılı numunenin optik mikroskop görüntüsü.....	81
Şekil 7. 10	Katkısız kontrol numunesinin optik mikroskop görüntüsü 1.....	82
Şekil 7. 11	Katkısız kontrol numunesinin optik mikroskop görüntüsü 2.....	82

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	Çeşitli eloksal elektrolitleri ile elde edilen tabakaların kalınlıkları.....	20
Çizelge 2. 2	Eloksal çamurunun bileşimi ve yaklaşık olarak bulunma yüzdeleri	25
Çizelge 3. 1	Hazır beton dayanım sınıfları	35
Çizelge 3. 2	Hazır beton kıvam sınıfları.....	36
Çizelge 4. 1	Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler ve Miktarları	43
Çizelge 4. 2	Çimentonun Ana Bileşenleri.....	43
Çizelge 6. 1	Portland çimentosunun kimyasal analizi.....	60
Çizelge 6. 2	Eloksal çamurunun kimyasal analizi	61
Çizelge 6. 3	Şahit beton karışım reçetesi.....	61
Çizelge 6. 4	Sanayi tuzunun fiziksel ve kimyasal özellikleri	63
Çizelge 7. 1	OPÇ ile eloksal çamuru katkılı numunelerin basınç dayanımları	66
Çizelge 7. 2	Eloksal çamuru katkılı ve katkısız numunelerin aderans dayanımları.....	69
Çizelge 7. 3	Eloksal çamuru katkılı numunelerin korozyon potansiyel değerleri.....	72
Çizelge 7. 4	ASTM C 876'ya göre potansiyel kriterleri.....	75
Çizelge 7. 5	Eloksal çamurlu numunelerin korozyon akım yoğunluğu değerleri	76
Çizelge 7. 6	Korozyon akım yoğunluğu değerlerinin sınıflandırılması.....	79

ALÜMİNYUM ELOKSAL ÇAMURUNUN HAZIR BETON İÇERİSİNE KATILARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Alper YILMAZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Alüminyum eloksal (anodik oksidasyon) işlemi metal yüzeyinin korozyona ve aşınmaya karşı dirençli olması için uygulanan yüzey işlemidir. Alüminyum eloksal işleminde tesis atıklarının büyük bölümünü eloksal çamuru oluşturur. Eloksal çamuru, yüksek Al metal içeriği nedeniyle değerlendirilmeye uygun bir atıktır ve bu sayede çamur içerisinde ihtiva eden Al ve Al bazlı bileşikler çamur içeriğinin zarar vermeyeceği uygun alanlarda kullanılarak değerlendirilebilir.

Hazır beton ve çimento sanayi eloksal çamurunun değerlendirilmesi bakımından uygun bir alan olmuş ve bazı araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda beton içerisine katılan eloksal çamuru, çimentonun bileşimine uygun bileşime sahip olmalı ve katkı oranı çok iyi ayarlanmalıdır. Böylece betonun bazı değerlerinde yükselme ve iyileşme gözlemlenebilir.

Bu tez çalışmada eloksal çamuru beton içerisine belirli oranlarda karıştırılmış ve %2, %3, %4, %5 ve %6 karışım oranına sahip olan numunelerin; mekanik özellikleri, korozyon direnci ve mikro yapıları incelenerek araştırılmıştır. 28 gün sonunda 45,3 MPa maksimum basma dayanımını veren numune, çimento ikame oranının %5'i kadar eloksal çamuru içeren E₅ numunesidir. Eloksal çamuru katkısı numunelerin aderans dayanımlarının artmasına sebep olmuştur ve en iyi aderans dayanımını 28 gün sonunda 4,62 Mpa ile %6 eloksal çamuru içeren E₆ vermiştir. Hızlandırılmış korozyon deneyine tabi tutulan numunelerinin 90. gün sonunda, kontrol numunelerine göre daha az

korozyona uğradığı tespit edilmiş, %5 ve %6 eloksal çamuru içeren numunelerin diğer numunelere göre korozyona karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir ve mikroyapı incelemeleri de bu sonucu doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Eloksal çamuru, hazır beton, basma dayanımı, donatı korozyonu

ABSTRACT

EVALUATION ANODISING SLUDGE BY PARTICIPATING IN READY-MIXED CONCRETE

Alper YILMAZ

Department of Metallurgy and Materials Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Aluminum anodizing (anodic oxidation) process, the metal surface against corrosion and wear resistant surface applied to the process. Anodized aluminum anodizing sludge creates a large part of the process plant tailings. Anodizing sludge, due to the high content of Al metal in a proper evaluation of the sludge is the waste and thus containing Al and Al-based compounds can be evaluated using the mud content will not harm the appropriate areas.

Ready-mixed concrete and cement industry has been done a field for anodizing sludge evaluation, and has been some research . Anodising sludge as a result of participating in this research into concrete, cement composition and the rate of contribution should be a very good set with the appropriate composition. Advancement and improvement in some of the values observed in the concrete.

This thesis study, anodic oxidation and sludge in concrete mixed with certain proportions of 2%, 3%, 4%, 5% and 6% of the samples with the mixture ratio, mechanical properties, corrosion resistance and micro-structures were investigated by examining the. The maximum compressive strength of 45.3 MPa after 28 days, up to 5% of the anodising sludge containing cement replacement rate, gave E5. adhesion strength of the samples led to an increase in the contribution of anodizing sludge. The best adhesion strength of 4.62 MPa after 28 days with anodizing sludge containing 6%, E6 has. Samples subjected to accelerated corrosion experiment after 90 days, less subject to corrosion than the control samples were identified, containing 5% and 6%

anodizing sludge samples were found to be more resistant to corrosion than the other samples, and microstructural studies have confirmed this result.

Key words: Anodizing sludge, ready-mixed concrete, compressive strength, corrosion of reinforcement

1.1 Literatür Özeti

Alüminyumun yüzeyinde oksit (Al_2O_3) oluşumuyla metalin korozyona karşı dayanımı artmaktadır. Bu korozyon dayancını sağlamak için eloksal işlemi yapılmaktadır. Alüminyum anodize işlemi su bazlı kimyasallar kullanarak gerçekleştirilir, bu kimyasalların alüminyum yüzey ile teması sonucunda gerçekleşen reaksiyonlar banyoların kirlenmesine sebep verir ve tesis atıkları oluşur. Bu atıkların en büyük bölümünü eloksal çamuru oluşturur. Bu çamurun içersinde eloksal işlemi sırasında alüminyum yüzeyinden kopan alüminyum esaslı ticari değeri olan partiküller ve bileşikler bulunmaktadır ve bu atığın değerlendirilmesini önemli kılar.

Eloksal çamurunun geri dönüşümü için farklı uygulamalar denemiş ve pek çok girişimde bulunulmuştur. Eloksal çamuru sodyum alüminat ve alüminyum sülfat ana kimyasallarını bünyesinde barındırmaktadır. Bu yüzden sodyum alüminat ve alüminyum sülfat eloksal çamurundan elde edilebilir. Ayrıca eloksal çamuru kağıt üretiminde yapıştırıcı olarak ve su arıtma işlemlerinde çöktürücü (kaagülant) olarak da kullanılabilir.[1] Eloksal çamurunun yaklaşık olarak %20'si bu tür uygulamalar sayesinde tüketilebilmektedir. Ancak bu tür uygulamalar sayesinde genelde mekanik özellikleri düşük su absorpsiyonu yüksek olan kalitesi düşük sahte malzemelerin oluşturulduğu da ileri sürülmüştür. Diğer bir taraftan da beton, cam ve seramik gibi çeşitli matris malzemelere bu atıkların eklenebileceği de öne sürülmüş ve bu atıklar için daha yeni ve daha başarılı geri dönüşüm yolları ortaya atılmıştır. Bu tür değerlendirme çalışmalarında eloksal çamurun içindeki alümina Al_2O_3 ana bileşik olarak kullanılmıştır

[2]. Bu çalışmada alüminyum eloksal işlem atığı olan eloksal çamurunun çimento ve harç içerisine karıştırılarak betona kazandırdığı ve kaybettirdiği değerler incelenecektir.

1.2 Tezin Amacı

Eloksal çamuru içerisinde hatırı sayılır derecede alüminyum metali bulundurur ve bu atığın değerlendirilmesini önemli kılar. Bu eloksal çamuru pek çok ülkede problem oluşturmaktadır. Bu çamurun karmaşık bir yapısı vardır ve bertaraf edilmesi zordur. Günümüzde bu çamurun karada bertaraf edilmesi yaygın bir uygulamadır. Fakat bu işlemin de maliyeti giderek artmaktadır. Aynı zamanda bu durum büyük bir çevre sorunu teşkil etmektedir ki bunun için acilen çözümler üretmek gerekmektedir. Bu çalışmada alüminyum eloksal işlem atığı olan eloksal çamurunun çimento içerisine karıştırılarak betona kazandırdığı ve/veya kaybettirdiği değerler incelenecektir.

1.3 Hipotez

Dünyada, alümina içeren malzemelerin kullanımı giderek artmaktadır ve alümina çimento üretimi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Alümina çimento yanmış boksit ve kireçtaşıdan elde edilir. Bu çimento hızlı sertleşme, yüksek dayanıklılık, yüksek sülfat direnci gibi bazı avantajlara sahiptir, bunun dışında tek dezavantajı yüksek hidrasyon ısıdır. Alüminyumun çimentoya kattığı bu avantajlar ışığında eloksal çamurunun beton içerisine katılabileceği ön görülmüştür.

BÖLÜM 2

ELOKSAL İŞLEMİ

Eloksal, alüminyum için çok özel bir yüzey kaplamadır; elektrokimyasal bir proses ile yapılır. Kullanılan elektrolit, genelde asidik bir çözeltidir. Kaplanacak alüminyum, elektroliz işleminin anotudur. Belirli ve kontrol edilen bir akım (genellikle doğru akım DA) yoğunluğu, kaplanacak alüminyum (iş parçası) ile uygun bir katot arasında, yine belirli bir süre için geçirilir. Bu süre, oluşacak eloksal tabakasının özellik ve kalınlığına göre belirlenir. Proses sırasında ısı ortaya çıkar ve elektrolitin sıcaklığını sabit tutmak için bu ısının işlem ortamından alınması (elektrolitin soğutulması) gerekir. Kaliteli bir eloksal elde etmek için iş parçasının metalurjik yapısının kaliteli olması ve eloksal tesisinin gerekli mühendislik kriterlerine göre dizayn edilmiş olması gerektiği unutulmamalıdır[1].

Eloksal kaplama alüminyum ürünlere uygulanan en önemli yüzey işlemlerinden birisidir. Eloksal işlemi, 1930'lu yıllardan beri gerek dekoratif, gerekse endüstriyel uygulamalar için kullanılmaktadır.

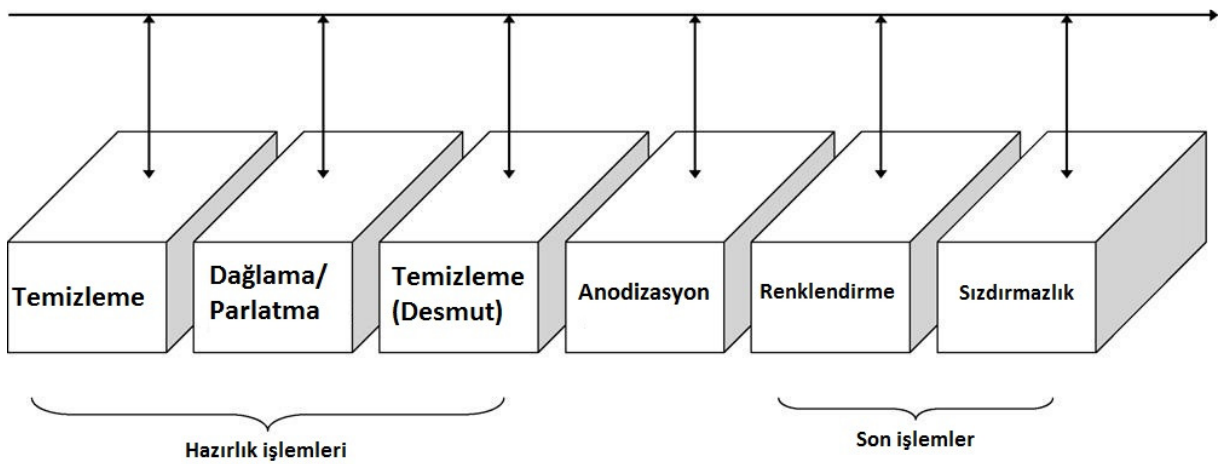
Mimari uygulamalar için eloksal tabakasının renklendirilmesi amacı ile birçok çalışmalar yapılmış ve prosesler geliştirilmiştir. Bu proseslerin çoğu, eloksal tabakasının gözenekli (poröz) yapısının, renk verici pigmentleri barındırması esasına dayanmaktadır[2].

Eloksal yapabilmek için öncelikle alüminyum malzemeye ihtiyaç vardır. Bu malzeme profil, levha, ya da aksesuar şeklinde olabilir. Alüminyum dışında başka metallere eloksallama yapılamaz. Sülfürik asitli elektroliz yöntemiyle sadece alüminyum ve

alaşımları eloksallanabilir. Günde ortalama 15 ton civarında bir eloksal üretimi için yaklaşık 50 ton suya ihtiyaç vardır. Bunların yanı sıra sülfürik asit, kostik, nitrik asit, kalay sülfat gibi kimyasallara da ihtiyaç duyulur. Buhar ve elektrik enerjisi de eloksallama işlemi için gerekli unsurlardandır[1].

2.1 Alüminyum Eloksal (Anodik Oksidasyon) İşlemi

Yüzey işlemleri, ürünün estetik görünümünü iyileştirmek ve/veya korozyon ve aşınmaya karşı direncini arttırmak için yapılır. Şekil 2.1’ de alüminyum eloksal tesisinin işlem şeması verilmiştir.



Şekil 2. 1 Tipik bir eloksal tesisinin basitleştirilmiş işlem şeması [1]

Birçok yüzey işlem prosesi öncesinde, yüzeyi hazırlamak amacı ile yüzey ön işlemleri (yüzey hazırlama) uygulanır. Yüzey ön işlemleri ile yüzeyin dekoratif görünümü değiştirilebileceği gibi, esas yüzey işleme oluşturulacak tabakanın iyi tutunması için yüzeyin tutunma kabiliyeti geliştirilebilir[2].

2.1.1 Mekanik Ön işlemler

Mekanik işlemler arasında polisaj (parlatma), satinaj, çapak alma veya kumlama gibi işlemler sayılabilir. Çapak alma ve kumlama gibi işlemler daha ziyade küçük parçalar için uygulanır. Polisaj ve satinaj işlemleri ise genellikle profillere uygulanır. Satinaj

işlemi sonucunda özellikle ekstrüzyon çizgilerini kamufle etme ve/veya kimyasal matlaştırmayı kolaylaştırmaya yönelik, kullanılan fırça tellerinin kalınlığına bağlı olarak, hafif çizgiler oluşturulur. Polisaj işlemi sonucunda parlak bir yüzey elde edilir[1].

2.1.2 Kimyasal Önişlemler

Kimyasal önişlemler, sonuçta istenen yüzey kalitesine göre seçilir. Sonuçta mat yüzey elde etmek için sodyum-hidroksit içeren eriyiklerde dağlama (kostikleme) yapılırken, parlak yüzey eldesi için de asit içeren eriyiklerle kimyasal daldırma veya elektrokimyasal parlatma metotları kullanılır[2]. Parlatma için kullanılan eriyiklerde, fosforik, sülfürik, nitrik, kromik asitlerin tamamı veya birkaçı bulunabilir. Kimyasal önişlemler, birkaç etaptan oluşur. Matlaştırmaya yönelik kostikleme veya parlatma işlemlerinden önce, yüzeye aşındırıcı tesirde bulunmayan bir temizleyici (yağ alma) işlem uygulanır. Kostikleme veya parlatma işlemini ise, yüzeyde oluşacak reaksiyon kalıntılarını temizlemeye yönelik bir asitle temizleme işlemi takip eder.

2.1.2.1 Yağ alma

Genellikle, yağ alma eriyikleri, su-esaslı eriyikler olup, karbonat, fosfat, ıslatıcı ajan ve bazen de bir kompleks yapıcı içeren bazik eriyiklerdir. Alternatif olarak, sülfürik veya fosforik asit ve bazı ilave kimyasallar içeren asidik bir eriyik de olabilir. Oda sıcaklığında çalışan, bazı hidrokarbon eriticiler içeren organik esaslıyağ alıcılar, özellikle mekanik yöntemle parlatılmış yüzeylerdeki polisaj cilasını temizlemekte yetersiz kalırlar[2].

2.1.2.2 Matlaştırma

Alüminyum yüzeyinin matlaştırılması için genelde sud-kostik içeren eriyikler kullanılır ve bu işleme "kostikleme" denir. Kostik banyosu, 60 °C civarında çalışır[1].

Reaksiyon sonucunda, yüzey alanının her metrekaresinden 80-120 gr alüminyum çözünerek eriyiğe geçer. Eriyiğe geçen alüminyum denge konsantrasyonunu aştığında, banyo dibine çökelir. Kostik banyolarında, alüminyum konsantrasyonu önemlidir ve kontrol edilmelidir[2].

2.1.2.3 Kostik Rejenerasyonu

Kostik banyosunda eriyen alüminyum eriyikten temizlenir ve böylece eriyik içindeki sud-kostiği geri kazanılır. Rejenerasyon işleminde, kostik eriyiği; kostik banyosu ile kristalizatör arasında kapalı devre dolaşır. Kristalizatör, bir çeşit depo olup, eriyik içindeki alüminyumun, alümina-tri-hidrat olarak çöktürüldüğü yerdir. Bu çökelti içindeki su giderilerek, %90 oranında katı atık elde edilebilir[3].

Kostiğin bu şekilde geri kazanımı ile elde edilen faydalar şunlardır:

- Matlaştırma işleminde kullanılan sud-kostik tasarrufu,
- Atık su arıtım giderlerinden tasarruf,
- Ticari değeri olan bir katı atıktır.

2.1.2.4 Polisaj (Parlatma)

Parlatma iki metotla yapılabilir: "Kimyasal parlatma", veya "Elektrokimyasal parlatma". Kimyasal parlatmada en parlak yüzey alüminyumun önce mekanik polisaj işleminden geçirilmesi, sonra da 100 °C civarında çalışan ve fosforik, sülfürik, nitrik asit içeren eriyiklere (banyo), daldırılması ile elde edilir.

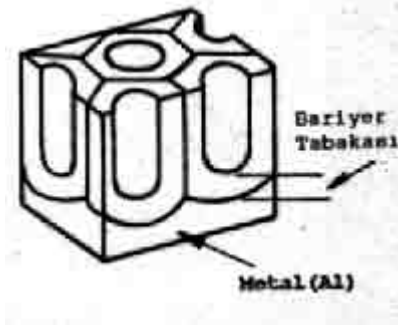
Elektro-kimyasal parlatma ise kimyasal parlatma banyosuna elektrik akımı (DC, doğru akım) verilerek yapılır. Bu banyolar; fosforik, kromik, sülfürik ve nitrik asitlerin karışımlarından hazırlanır[2].

2.1.2.5 Temizleme

Kostikle yapılan matlaştırma veya kimyasal parlatma işlemleri sonucunda, alüminyum yüzeyinde bir çamur tabakası (reaksiyon ürünü) oluşur. Bunun temizlenmesi için, asidik bir banyo kullanılır. Bu amaçla en yaygın kullanılan banyo, oda sıcaklığında çalışan ve hacimsel olarak %30-50 konsantrasyonda nitrik asit içeren banyodur[3].

2.2 Eloksal Tabakasının Yapısı

Eloksal tabakası, alüminyuma entegre bir tabaka olarak oluşur ve metal/oksit ara kesitinde oluşan bölümüne özel olarak baraj tabakası (barrier layer) adı verilir. Eloksal tabakasının gözenekli yapısı, bu baraj tabakasının üstünde büyür. Şekil 2.2' de eloksal tabakasının şematik üç boyutlu kesiti görülmektedir[3].



Şekil 2. 2 Eloksal tabakasının yapısı[3].

Genel olarak, gözenek çapı, hücre boyutları ve baraj tabakası; uygulanan voltajla doğru orantılıdır. Uygulanan her volt için gözenek çapı ve baraj tabakası 10 Angström, hücre boyutu ise 30 Angström büyür.

Eloksal tabakasının kalınlığı, amper-dakika miktarına bağlı olarak artar ve 1 ila 100 mikron arasında değişen kalınlıklar elde edilebilir. Tabaka kalınlığı; kullanılan elektrolit, sıcaklık ve uygulanan akıma göre değişir. Eğer eloksali prosesi oluşan tabakayı eritmeyen bir çözeltide (örneğin Borik asit) yapıyorsa, tabaka gözeneksiz bir yapı gösterir, ayrıca kalınlığı da uygulanan voltaja bağlı olur. Bu tip eloksala "baraj eloksali" adı verilir (Barrier Layer Film)[3].

2.2.1 Eloksal Tabakasının Genel Özellikleri

Eloksal tabakasının alüminyuma tutunması, alüminyum ile bütünleşerek oluşmasından dolayı mükemmel sonuç verir. Eloksal tabakası çok sert (Al_2O_3 =Korundum) ve böylece aşınmaya karşı çok dayanıklı olduğundan, alüminyuma üstün özellikler kazandırır. Tespit işlemi tamamlanmış bir eloksali tabakası çeşitli asit ve diğer kimyasallara karşı dayanıklı olduğundan, birçok ortamda alüminyum korozyona karşı korur. Eloksal tabakasının şeffaf yapısı, alüminyumun metalik görünümünü ortaya çıkarır, ve bu özellik sayesinde alüminyum yüzeyine parlak veya mat görünüm verecek çeşitli mekanik veya kimyasal işlemler uygulanabilir. Eloksal tabakası, elektrik yalıtkanıdır.

Eloksal tabakası, alkali kimyasallardan olumsuz etkilenir. Bu nedenle, alkali ortamda, eloksallı yüzey üzerine korunma için özel bant veya kendiliğinden soyulabilen lake

kaplama ile koruyucu film uygulanır. Bu durum, özellikle, mimari uygulamalarda önem kazanır. İnşaat sahasında, eloksallı alüminyumun kireç, harç veya çimento ile temas etmemesi için gerekli önlem alınmalıdır. İnşaat bittikten sonra, eloksallı alüminyum üzerindeki koruyucu film çıkarılır[4].

2.3 Eloksal İşlemleri

Alüminyum üzerine, istenilen özelliklere göre, çeşitli elektrolitler kullanılarak, farklı eloksal (anodik oksidasyon) tabakaları oluşturulur. Endüstride kullanılan çeşitli eloksal elektrolitleri ile elde edilen tabakaların kalınlıkları Çizelge 2.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1 Çeşitli eloksal elektrolitleri ile elde edilen tabakaların kalınlıkları[4].

Elektrolit Asidi	Konsantr. g/l	Sıcaklık, °C	Akım Y. A/dm ²	Voltaj, V	Tabaka Kalınlığı mikron
Sülfürik	150/200	18/20	1,0 / 2,0	12/22	5/30
Sülfürik	180/400	-5/+5	1,5 / 3,0	15/70	25/125
Sülfürik/Okzalik	160/180	10/20	1,2 / 2,0	12/25	5/35
Kromik	30/100	25/55	0,1 / 1,0	30/70	2/8
Sulfosali- silik	60/70	18/25	2,0 / 3,0	35/75	15/35
Fosforik	120/250	20/30	1,0 / 2,0	30/120	1/30
Borik	40/50	70/100	1,0	50/5000	0,5'e kadar
Tartarik	20/40	70/80	2,0	120/150	0,16'ya kadar

2.4 Mimari ve Parlak Eloksal

Alüminyum mimari ve dekoratif eloksal işleminde sülfürik asit elektroliti kullanılır. Tipik bir eloksal banyosunda, 160/170 g/l H₂SO₄ bulunur ve 18/20 °C arasında 1,5 A/dm²

doğru akım uygulanır. Banyonun konsantrasyonuna, sıcaklığına ve alüminyum bileşimine bağlı olarak voltaj 17-19V arasında değişir. Tabaka oluşma hızı, dakikada 0,5 mikrondur. Mimari uygulamalarda, istenen eloksal tabakası kalınlığı, bina dışında 20-25 mikron, bina içinde 10-15 mikrondur.

Eloksal tabakası oluşurken, elektrolite alüminyum geçer. Tipik olarak, alüminyumun elektrolitte erime hızı 0,6g/mikron/m²'dir. Eloksal banyosunda bulunan alüminyum miktarı 5-15g/l arasında bulunmalıdır. Daha yüksek konsantrasyonlarda eloksal işlemi için gerekli voltaj yükselerek enerji sarfiyatının artmasına ve banyonun ısınmasına neden olur. Daha düşük değerlerde de elektrolitin iletkenlik değeri azalır. Yüksek Al(+3) değeri, parlak eloksal eldesini de zorlaştırır.

Eloksal banyosundaki Al⁺³ miktarının kontrolü, banyodan dışarı elektrolit alınarak temiz elektrolit verilmesi ile yapılabilirse de, bu işlem iyi sonuç vermez. Daha hassas kontrol için, iyon değiştirici veya osmoz metodu ile çalışan asit temizleme üniteleri kullanılır.

Parlak eloksal ise daha yüksek konsantrasyon ve sıcaklıklarda yapılır. Akım yoğunluğu ise daha düşük seçilir. Tipik bir parlak eloksal, 175-185 g/l H₂SO₄, 22-25 °C, 1,0 A/dm², 15V şartlarında yapılır. Bu sayede daha şeffaf tabaka elde edilir. Bununla beraber, parlak eloksal için alüminyumun kimyasal bileşiminin çok önemli olduğu unutulmamalıdır. Alüminyum içinde bulunan empüriteler, belli limitlerin altında bulunmalıdır. Özellikle, AlMgSi0,5 (AA6063) alaşımında, Fe oranı %0,18'in altında bulunmalıdır. (Tercihen Fe: %0,10-0,15). Eloksal kalınlığı arttıkça, parlak görünüm azalır. Tabaka kalınlığı, kullanma yerine göre seçilmelidir.

Eloksal'ın uygulama amaçlarından birisi de mimari amaçla kullanılacak alüminyum ürünlerin elektrostatik boyama öncesinde kromlu (kromatlama) veya kromsuz kimyasal dönüşüm kaplamalarının yerine kullanılacak bir primer tabaka oluşturmaktır. Bu durumda ise şu parametreler kullanılabilir: Sülfürik asit 160-200 g/l, sıcaklık 25° C, akım yoğunluğu 1,2-1,5 A/dm² , ve 50° C sıcaklıktaki deiyonize su ile son yıkama. Eloksal sonrasında tespit işlemi yapılmadan alüminyum elektrostatik boyamaya verilir.

Genel olarak eloksal işleminde ürün üzerinde oluşan eloksal tabakasının homojen kalınlıkta olması için iş parçasının eloksal askılarına bağlanmasında özellikle dikkat edilmelidir. Alüminyum iş parçaları alüminyum veya titanyum askılara sıkıca irtibatlanması ile iş parçaları ile askılar arasındaki elektriksel kontağın işlemin başından sonuna kadar mükemmel olması hedeflenir. Böylece eloksal kaplamasının oluşması için gereken elektrik akımı, iş parçasının her yanında düzgün dağılarak her yerde düzgün kalınlıkta eloksal tabakası oluşmasını sağlar. İş parçalarının eloksal askılarına sıkıca irtibatlanmaları için sıcaklığa ve aside dayanıklı özel penseler ve U-klemp'ler geliştirilmiştir[4].

2.5 Eloksal Tabakasının Renklendirilmesi

Eloksal tabakasının renklendirilebilme özelliği, alüminyum ürünlerinin yaygınlaşmasını sağlamıştır. İlk önce, sülfürik asitle yapılan eloksal tabakalarının gözenekli (poröz) yapısına, organik veya inorganik boyalar ile uygulama yapılmıştır (Daldırma boyama). Bu boyaların U.V. (morötesi) ışınlara dayanımı sınırlı olduğundan, özellikle mimari uygulamalarda renkli eloksallı alüminyum ürünlerin güneş ışınlarına dayanıklı olması için; integral eloksal (renklendirme), iki-etaplı elektrolitik renklendirme gibi prosesler geliştirilmiştir[4].

İntegral eloksal, güneşe dayanıklı, uzun ömürlü, gri ve siyah renklerde elde edilmiştir. Ancak, eloksal işletme şartlarının hassas kontrolü, yüksek enerji sarfı gibi maliyeti yükseltici faktörler nedeniyle, yerini "iki-etaplı" renklendirme işlemlerine bırakmıştır.

İki-etaplı elektrolitik renklendirmenin esası, eloksal tabakasının gözeneklerine metal iyonlarının pigment görevi görecektir. Bu sayede, açık bronzdan koyu bronz ve siyah renge kadar geniş bir yelpazede çeşitli renkler elde edilir. İki etaplı renklendirme, Japonya'da Dr. Asada tarafından keşfedilmiş ve daha sonra, kalay esaslı elektrolitlerin geliştirilmesi ile "iki-etaplı" renklendirme, tüm dünyada yaygınlaşmıştır.

Daldırma boyama ile elektrolitik renklendirmenin birlikte kullanılması ile daha çeşitli renkler elde edilmesi mümkün olmakla birlikte, prosesin hassas kontrolü renk uyumunu zorlaştırmaktadır.

Elektrolitik renklendirmenin günümüzdeki son aşaması interferans renklendirme adı verilen ve mavi-gri renklerin de kapsandığı çeşitli renklerin elde edildiği prosestir. Bu yöntemde de, renk uyumu için eloksal ve renklendirme parametrelerinin çok hassas kontrolü gerekmektedir.

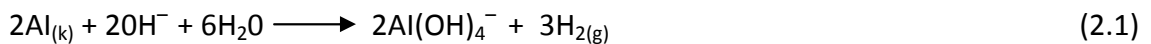
Aşağıda alüminyum alaşımlarındaki bazı elementlerin yüzey görünümüne etkileri verilmiştir:

- Si : %0.20 - %0.60'dan fazla olursa oksit tabakasının renk tonu bulanık olur, ayrıca sert ve minik pütürler oluşur.
- Mg: %0.45 - %0.90
- Mn: %0.05 - %0.10 Şeffaf, parlak renkleri olumsuz yönde etkiler.
- Cu: %0.10 Kül rengi ve mavi tonlara kaçış yaratır.
- Fe: %0.15 – 0.30 Saydam tabakayı paslı gibi gösterir.

2.6 Eloksal Çamuru

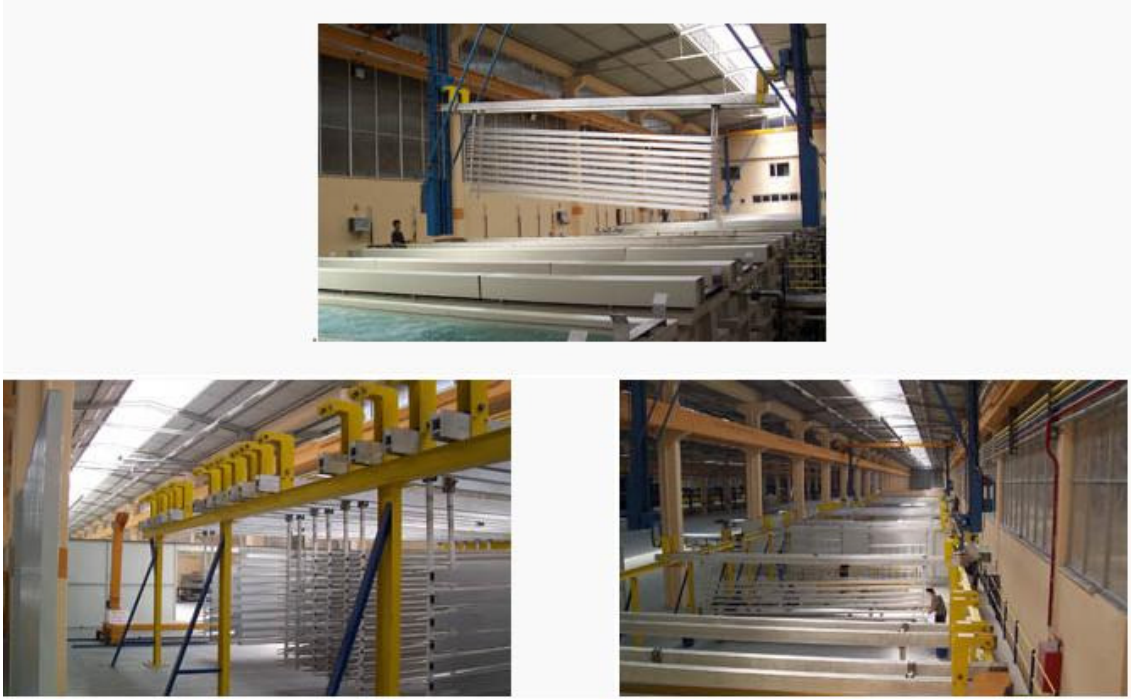
Elektroliz metoduyla alüminyum profil veya metal levhaların sınırlı oksidasyonu proseslerinde elektrolit çözelti içinde oluşan alüminyum oksit ve/veya alüminyum hidroksit çamuru, bazı alüminyum bileşiklerinin üretiminde kullanılabilmekte ise de genel olarak sodyum, silisyum gibi bazı safsızlıklar içermesi sebebiyle ekonomik olarak kullanılamamaktadır, özellikle alüminyum levhaların elektrolitik yöntemle sınırlı oksidasyonu (eloksal) proseslerinde ele geçen anot çamuru, ilgili endüstride eloksal atığı veya kısaca eloksal olarak adlandırılmaktadır.

Özellikle kostik (NaOH) havuzlarındaki kostik, alüminyum ile reaksiyona girerek Al(OH)_4^- oluşturur. Buradan atığın Al içerdiği tespit edilir. Bu zararı önlemek üzere inhibitör görevi gören katkı maddeleri ilave edilir. Ancak yine de kostik ile alüminyumun reaksiyonu engellenemez. Reaksiyonlar aşağıdaki şekilde gerçekleşir[5].





Eloksal atıkları alüminyum ürünlerin elektrolit bir çözelti içerisinde sınırlı oksidasyonu sırasında oluşur. Şekil 2.4’ de alüminyum eloksal tesisi ve eloksal banyoları görülmektedir. Tesis atığı olan eloksal çamuru bu banyoların içerisinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu oluşmaktadır. Eloksal atıkları genel olarak alüminyum oksit, alüminyum hidroksit ve sodyum, silisyum, magnezyum ve kalsiyum gibi bazı maddelerin bir karışımıdır. Eloksal atıkları bazı değerli alüminyum bileşiklerinin üretiminde kullanılmıştır fakat içerisinde sodyum, silisyum gibi bazı emrüteleri barındırdığından direkt olarak endüstriyel uygulamalarda kullanımı uygun bulunamamıştır [3].



Şekil 2. 4 Alüminyum eloksal tesisi

Alüminyum ekosal işlem atıkları büyük bölümü eloksal çamuru oluşturmaktadır. Eloksal tesislerinde oluşan atıklar iki gruba ayrılır; kimyasal banyolardan gelen yoğun çözelti ve yıkama suları. Bu atıkların hepsi bir tank içerisinde karıştırılır, nötralize edilir, pıhtılaştırılır (topaklaştırılır) ve çöktürme işlemi yapılır. Elde edilen son ürün (atık ürün) eloksal çamurudur. Bu çamur değişik kompozisyonlara sahip olabilir fakat üç temel

bileşen içerir: alüminyum hidroksit, oksihidroksitler ve bazik sülfatlar (alüminyum sülfat) [3].

Bilinmektedir ki, aşındırma ve eloksal işlemlerinde alüminyum hidroksit çamuru büyük miktarlarda oluşur. Örneğin, 90 m² anodize yüzey alanına sahip 181 gr' lık anodize hattı 191 gr alüminyum konvansiyonel arıtma sisteminde hidroksit çamuru oluşturur.

0,454 kg Alüminyum işleme alüminyum arıtma sisteminde 0,454 kg hidroksit çamuru oluşturur [5].

Bunla beraber dünyada çok sayıda eloksal tesisinde geri kazanma esaslı arıtım yöntemi kullanılarak kimyasal banyoların kullanım süresi uzatılarak arıtma maliyeti düşürülmekte ve beraberinde işletmede üretim kalitesi üniform işletme yapısı nedeniyle artmaktadır. Ve beraberinde katı atık ve sıvı atık miktarı önemli bir oranda azalmaktadır. Asit ve kostik geri kazanılmaktadır.

2.6.1 Eloksal Çamurunun Fiziksel ve Kimyasal Yapısı

Eloksal tesislerinde oluşan atıklar iki gruba ayrılır; kimyasal banyolardan gelen yoğun çözelti ve yıkama suları. Bu atıkların hepsi bir tank içerisinde karıştırılır, nötrale edilir, pıhtılaştırılır (topaklaştırılır) ve çöktürme işlemi yapılır. Elde edilen son ürün (atık ürün) eloksal çamurudur. Çizelge 2.2' de eloksal çamurunun bileşimi ve yaklaşık olarak bulunma yüzdeleri görülmektedir. Bu çamur değişik kompozisyonlara sahip olabilir fakat üç temel bileşen içerir: alüminyum hidroksit, oksihidroksitler ve bazik sülfatlar (alüminyum sülfat).

Çizelge 2.2 Eloksal çamurunun bileşimi ve yaklaşık olarak bulunma yüzdeleri

Bileşenler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
%	0,5-1	50-60	0,2-1	1-2	1-4	5-8

Eloksal çamuru yüksek su içeriğine sahiptir ve jelsi bir yapısı vardır. Çamur içerisinde %80 oranında nem barındırır[1]. Bazı ham maddelerle homojen karışımlar yapmak zordur. Genellikle karıştırma işlemi yapılmadan önce eloksal çamuru ön kurutma işlemine tabi tutulmalıdır ki çamurun sertliği ve yoğunluğu artsın. Eloksal çamuru su ile

karıştırıldığında kolayca çözünür ve homojen bir karışım oluşturur, bu sayede kurutma yapılmadan da su ile birlikte kullanılabilir.



Şekil 2.5 Eloxal çamuru

Eloxal çamurunun rengi aşındırma işlemi sırasında kullanılan aside ve diğer işlemlerde kullanılan kimyasallara göre farklılık gösterebilir. Örneğin; siyah yada Şekil 2.5' de görüldüğü gibi beyaza yakın sarımtırak renkte olabilir.

BÖLÜM 3

HAZIR BETON

Hazır Beton; Agregat (ince ve kaba agregat) çimento ile suyun, kimyasal ve mineral katkı maddeleri ilave edilerek veya edilmeden, homojen olarak üretim teknolojisine uygun karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşarak sertleşerek mukavemet kazanan ve tüketiciye “taze beton” olarak teslim edilen önemli bir yapı malzemesidir[6].

Betonun mutlak hacmi %70 oranında agregat (kum, çakıl, mıcır), %10 oranında çimento, %20 oranında su ile oluşmaktadır. Gerektiğinde, çimento ağırlığının %5'den fazla olmamak kaydıyla, katkı malzemesi ilave edilmektedir.

Hazır betonun kalitesini belirleyen beş temel aşama söz konusudur. Bunlar;

1- Tasarım

2- Üretim

3- Taşıma

4- Yerleştirme

5- Bakım ve Kür

Bunlardan ilk üç aşama hazır beton üreticisi, son iki aşama ise tüketici tarafından yerine getirilmektedir.

Hazır Beton Sanayinde asmolon, beton direk, travers, prekast yapı elemanları, üretilmekte olup, hazır betonun yüksek katlı binalardan, barajlara, prefabrikasyondan metro inşaatlarına kadar çok geniş bir kullanım alanı vardır. Hazır beton konvansiyonel betona göre işçilikten ve zamandan tasarruf sağlayıp, çağdaş bir çalışma imkanı sunmaktadır.

Betonunun günümüzde en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanılmasında en önemli etkenler şunlardır;

- Ucuzluğu,
- Bilgisayar kontrollü santraller, transmikseler, pompalar vb. ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması,
- Şekil verilebilme kolaylığı,
- Çelik donatı ile çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi,
- Yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması,
- Fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı (uzun ömür, bakım kolaylığı),
- Hafif agrega ile hafifletilmesi ve pigmentlerle renklendirilmesidir.

Hazır betonda aranan temel özellikleri iki grupta sınıflandırmak mümkündür:

a) Taze Betonda:

- İşlenebilme özelliği, uygun kıvam,
- Taze betonun sıcaklığı,
- Agregada maksimum tane büyüklüğü,
- Homojenlik, kıvam kaybı, hava miktarı,
- Birim ağırlık,

b) Sertleşmiş Betonda:

- Dayanım (basınç, çekme, eğilme, yarıma mukavemetleri),
- Dış etkenlere karşı dayanıklılık (geçirimsizlik, aşınmaya dayanıklılık),
- Donma ve çözölmeye dayanıklılık,
- Hafiflik veya ağırlık,
- Isı, ses yalıtımı ve estetik (Brüt betonda dış görünüş),

- Ekonomi

3.1 Hazır Betonun Sınıflandırılması

TS EN 206-1'e göre hazır beton üç sınıfa ayrılmıştır.

Normal Beton: Etüv kurusu durumundaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu) 2000 kg/m³'den büyük, 2600 kg/m³'den küçük olan beton,

Ağır Beton: Etüv kurusu durumundaki birim hacim kütlesi (yoğunluğu), 2600 kg/m³'den daha büyük olan beton,

Hafif Beton: Etüv kurusu durumundaki birim hacim kütlesi (yoğunlu), 800 kg/m³'den büyük, 200 kg/m³'den küçük olan betondur. Hafif betonda kullanılan agreganın bir kısmı veya tamamı hafif agregası olarak imal edilmektedir.

Temel yapı malzemesi olarak kullanımı giderek yaygınlaşan hazır betonun yapısal özellikleri de sürekli geliştirilmekte, üniversitelerde ve tesis laboratuvarlarında yeni çalışmalar yapılmaktadır. Yüksek nitelikli çimento üretimi, yeni geliştirilen kimyasal katkıları, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, transmikserler ve beton pompaları ile yüksek kapasiteli araç üretimleri beton endüstrisinin ilerlemesini hızlandırarak daha modern ve dayanıklı yapıların oluşumunu sağlamaktadır[6].

3.2 Betonun Bileşenleri

Betonu oluşturan hammaddeler çimento, su, agregası (kum, çakıl, kırma taş), kimyasal katkıları ile mineral katkılarıdır. Kimyasal katkıları (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz vb. olup, mineral katkıları ise taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı olup betonun performansını istediğimiz yönde iyileştiren çağdaş teknoloji unsurlarıdır[7]. Çimento ile suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılaşarak agregası tanelerini (kum, çakıl, kırma taş) bağlar, yapıştırır ve böylece betonun mukavemet kazanmasına imkan verir.

3.2.1 Agregası

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerin genel adı agregasıdır. Beton içinde hacimsel olarak % 60-75 civarında yer işgal eden agregası

önemli bir bileşendir[7]. Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum gibi) ve kaba (çakıl kırmataş... gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620 standardına uygun olmalıdır.

Agregaların beton içerisinde rolünün çok büyük olması sebebi ile betonda kullanılacak agregaların yapısı, granülometrisi, sertliği betonu direk olarak etkilemektedir.

Agregalarda aranan en önemli özellikler ise şunlardır:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür... gibi),
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir.

3.2.2 Çimento

Su ile ıslatıldığında hidrasyon olayı sonucu sertleşen ve bir daha yumuşamayan hidrolik bir bağlayıcıdır. Yaklaşık % 70 kalker, % 30 kil ve gerekiyorsa demir cevheri karışımı, 1400 - 1500 C° de döner fırınlarda pişirilir ve erken priz yapmasını önlemek için % 2 - 6 oranında jips (alçı taşı) ilave edilerek çimento elde edilir[8].

Katkılı çimento üretiminde; klinker ve alçı taşı dışında, çimento tipine göre tek veya birkaçı bir arada olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. katılır. Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşen olmasına rağmen, beton bileşenleri içinde en önemlisidir. En çok kullanılan çimento tipleri Portland Kompoze Çimento, Katkılı Çimento, Cürufu Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento olup, bunun dışında özel amaçlar için Beyaz Portland Çimentosu ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır[9].

Normal betonda agrega taneleri en sağlam unsur olduğundan diğer iki unsur (çimento hamuru ve aderans) mukavemeti belirlemektedir. Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento oranına da bağlıdır.

Hazır betonda kullanılacak çimentolar yapıların özellikleri dikkate alınarak belirlenmeli ve TS EN 197 - 1 standardına uygunluğu kanıtlanmalıdır. Bölüm 4' de çimento hakkında daha geniş çaplı bilgiler yer almaktadır.

3.2.3 Katkılar

Betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim sırasında veya dökümden önce transmiklere az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayırmak mümkündür[9].

3.2.3.1 Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkıların en önemlileri;

a) Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar):

Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar.

b) Priz Geciktiriciler:

Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan ve sıcak hava da dökülen betonlarda oldukça yaygın kullanılmaktadır.

c) Priz Hızlandırıcılar:

Priz geciktiricilerin aksine, bu katkıları betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

d) Antifrizler:

Suyun donmasını zorlaştırır ve don neticesi çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamaya engel olurlar. Bu katkıların betondaki miktarı hava sıcaklığına göre ayarlanabilmektedir.

e) Hava Sürükleyici Katkılar:

Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direnci ile işlenebilirliğini artırmaktadır.

f) Su Geçirimsizlik Katkıları:

Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır. Ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılmaktadır. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir. Kimyasal katkılar, yukarıda bahsedilen etkilerinden dolayı bütün inşaat sektöründe hazır betonun kullanımında ve üretiminde önem arz etmektedir.

3.2.3.2 Mineral Katkılar

Çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, taş unu vb. çeşitli maddelere 'Mineral Katkı' adı verilir. Mineral katkılar tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar, ancak birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar[10]. Mineral katkılardan yüksek dayanımlı beton üretiminde de yararlanılmaktadır.

3.2.4 Karışım Suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

- 1.Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek
- 2.Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlenin sertleşmesini sağlamak

Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamakta, boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb. zararlı etkenler) beton ve donatıya zarar vererek betonun ömrünü kısaltmaktadır.

3.3 Hazır Beton Üretim Şekli

Hazır beton üretiminde iki ana hedef vardır;

- 1.Betonun istenilen özelliklere (gerekli kaliteye) sahip olması,
- 2.İstenilen kalitedeki betonun en ekonomik tarzda üretilmiş olmasıdır.

Bilgisayar kontrolüyle istenilen oranlarda biraraya getirilen malzemelerin, beton santralinde veya mikserde karıştırılmasıyla üretilen ve tüketiciye 'taze beton' olarak teslim edilen hazır beton üretiminin su ölçme ve karıştırma işlemlerinin santralde veya transmikserde yapılmasına göre iki farklı şekli bulunmaktadır[10].

- Kuru Sistem
- Yaş Sistem

Kuru Karışımli Hazır Beton, agrega ve çimentosu beton santralinde ölçülüp santralde veya transmikserde karıştırılan, suyu ve varsa kimyasal katkısı ise teslim yerinde ölçülüp karıştırılarak ilave edilen betondur. Kuru karışımli hazır betonda şantiyede karışma verilen su miktarına (formülde öngörülenden daha fazla olmamasına) ve karıştırma süresine (homojen bir karışım için yeterli süre) özel itina gösterilmesi gerekmektedir.

Yaş Karışımli Hazır Beton, ise su dahil tüm bileşenleri beton santralinde ölçülen ve karıştırılan hazır beton olup, en geç iki saat içinde kalıba dökülmesi gerekmektedir.

Her iki sistemde de üretim tesisine getirilen mıcır ve kum boyutlarına göre ayrı ayrı sınıflandırılarak, yıldız veya bunker tipi depolarda stoklanır. Çimento ve katkıları ise özel imal edilmiş silo ve tanklarda stoklanır.

Beton cinsine göre hammaddelerin kullanım miktarları bilimsel yöntemlerle saptanır ve ilgili veriler otomasyon sistemindeki bilgisayara yüklenir. Üretim bu bilgisayarlar aracılığı ile gerçekleştirilerek hata oranı sıfırlanır. Bilimsel metotlar kullanılarak oluşturulan beton, bileşim formüllerine göre üretim santrallerinde özel pan mikserlerle karıştırılır ve transmikserlere yüklenerek döküm yapılacağı alana gönderilir.

3.4 Hazır Betonun Üretim Süreci

Hazır betonun üretiminde kullanılacak, malzemelerin (çimento, agrega, su, katkı) kalitelerini ve birbirlerine uyumunu incelemek için ilk aşamada laboratuvar deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerden geçen malzemelerde zamanla olumsuz değişiklikler meydana gelmesinin önlenmesi için sürekli kalite denetimi yapılmalıdır[11].

Betonu oluşturan bileşen malzemelerinin ölçme ve karıştırma ünitelerinden oluşan Hazır Beton Tesislerinin çalışma prensiplerinden dolayı hassas bir şekilde bilgisayar kontrolü ile homojen, hızlı ve kaliteli beton üretimi gerçekleştirilir.

İstenilen özellikteki betonun üretilmesi için:

- Standartlara uygun kaliteye sahip yeterli miktardaki malzemelerin önceden depo edilmiş olması,
- Beton karışımına girecek malzemelerin hassas olarak ölçülerek kullanılmaları,
- Karılma işleminin uygun tarzda ve yeterli süre içerisinde yapılması gerekmektedir.

Betonun karılma süresi; bütün malzemelerinin santral mikseri içerisine yerleştirilerek karılma işleminin başladığı andan, işleminin sona erdiği ana kadar geçen süre olarak tanımlanır.

Hazır betonun üretim süreci, santral operatörünün üretilcek betonu tanımlayan formülün numarasını belirleyip, bilgisayar sistemini işletmesiyle başlar. İlk komuttan sonra, ayrı bölmelerde stoklanmış bulunan agrega, çimento ve su aynı anda tartılır. Daha sonra tartılmış agrega bant veya kovayla taşınarak mikser kazanına aktarılır. Bu sırada çimento, su ve formülde varsa kimyasal katkı maddesi de kazana aktarılarak karıştırılır.

Bir harman betonun hacmi santralden santrale değişmekle birlikte, genellikle 1 - 3 m³'tür. TS 11222 Beton - Hazır Beton Standardı'na göre, 1 m³ ve altındaki harmanlar için karıştırma süresi en az 45 saniye, ek her 0,5 m³ için ek 15 saniyedir. Yeterince karıştırılmış olan harman, transmiksere boşaltılarak, dolum tamamlanıncaya kadar aynı işlem devam eder.

3.5 Beton Sınıfları

3.5.1 Basınç Dayanım Sınıfları

Betonun basınç mukavemeti, standart kür koşullarında saklanmış ($20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ kirece doygun su içerisinde), 28 günlük silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küp (15 cm kenarlı) numuneler üzerinde ölçülür[12].

Hazır beton tesislerinde TS 11222 ve TS EN 206-1 standardına uygun olarak normal ve yüksek dayanımlı betonlar üretilmektedir. Basınç dayanımı sınıfları, karşılığı silindir ve küp mukavemetleri ise Çizelge 3. 1’ de özetlenmiştir.

Çizelge 3. 1 Hazır beton basınç dayanım sınıfları[12].

Basınç Dayanımı Sınıfı	F_{ck}, silindir (N/mm^2)	F_{ck}, küp (N/mm^2)
C 14	14	16
C 16	16	20
C 18	18	22
C 20	20	25
C 25	25	30
C 30	30	37
C 35	35	45
C 40	40	50
C 45	45	55
C 50	50	60
C 55	55	67
C 60	60	75
C 70	70	85
C 80	80	95
C 90	90	105
C 100	100	115

3.5.2 Kıvam Sınıfları

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Kıvam, betonun kullanım yerine (kalıp geometrisi, demir sıklığı, eğim), betonu yerleştirme, sıkıştırma, mastarlama imkânlarına ve işçiliğine, şantiyede beton iletim imkânlarına (pompa, kova) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Hazır Beton Standardı TS 11222 de 5 kıvam bulunmaktadır. K1, K2, K3, K4 ve K5 sembolleri ile tanımlanan bu kıvamlar çökme (slump) konisi deneyi ile ölçülmektedir ve standart değerleri Çizelge 3. 2' deki gibidir[12].

Hazır betonda şantiye teslimi kıvam, taşıma süresi ve beton sıcaklığına bağlıdır. Taşıma süresi kıvamı etkilemekte, süre uzadıkça ve hava sıcaklığı yükseldikçe santralden şantiyeye kıvam kaybı artmaktadır. Bu kıvam kaybının betona su verilerek dengelenmesi ise mukavemeti düşürmektedir.

Çizelge 3. 2 Hazır beton kıvam sınıfları[12].

Kıvam Sınıfı	Çökme (mm)
K1	0 £ çökme<50
K2	50 £ çökme<100
K3	100 £ çökme<160
K4	160 £ çökme<220
K5	220 £ çökme

Slump (Çökme) Deneyi yapılırken;

- Slump hunisi düz bir zemine konularak, üç eşit kademedede doldurulup, her kademedede 25 kez standart şişleme çubuğuyla şişlenir.
- Huni tamamen dolunca üst yüzeyi mala ile düzlenerek huni yavaşça yukarı doğru kaldırılır; bu sırada taze beton kendi ağırlığıyla çöker.
- Şişleme çubuğu huninin üzerine konur ve çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçülür. Bu uzunluk, taze betonun çökme (slump) değeri olarak adlandırılmaktadır.

BÖLÜM 4

ÇİMENTO

Günümüzde inşaat sektörünün temel yapı malzemesi betondur. Taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanılan betonun ana bileşeni olan çimento, fonksiyonu gereği beton için tek alternatif olma özelliğini sürdürmektedir.

Çimento bir altyapı malzemesidir. Bu bakımdan gelişmekte olan ülkeler için vazgeçilmez bir stratejik malzeme durumundadır. Halen yerini alabilecek özellikte başka bir malzemenin bulunmaması nedeniyle inşaat sektöründe çok yüksek oranda kullanılmaktadır. Dolayısıyla ülke düzeyinde ekonomik kalkınmaya olan katkısı küçümsenmeyecek derecede büyüktür.

Önceleri tek tip çimento kullanılırken günümüzde ihtiyaçlara cevap verebilecek çok değişik tipte çimentolar kullanılabilmektedir. Bu durum yalnızca teknik yarar sağlamakla kalmayıp maliyet açısından da ülke ekonomisi için son derece fayda sağlamaktadır [5].

Katkı maddeleri, belirli çimentolama işlemlerinde arzulanan amaçlara tam uyan özelliklerinden dolayı çimento hamurlarında artan bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Bu maddelerin kullanılmasıyla, çimentoların sertleşmesini hızlandırmak, beton üretiminde daha az su kullanarak mukavemeti artırmak, soğuk havalarda beton dökmek, dış etkilere daha dayanıklı betonlar üretmek gibi olumlu sonuçlar elde edilmektedir.

Katkı maddeleri kullanarak çimento kalitesini artırmak, enerji tasarrufu sağlayarak maliyeti azaltmak ve kapasiteyi yükseltmek mümkündür. Günümüzde beton üretim piyasasında pek çok çeşit katkı maddesi kullanılmaktadır.

- Öğütmede kullanılan katkı maddeleri:

Bu tip katkı maddeleri çimentonun öğütülmesi esnasında akışkanlığını artırarak ürünün kalitesini ve üretim kapasitesini artırır.

Genelde öğütme katkıları, öğütülmüş partiküller üzerinde toplanan statik elektriği nötralize edip, çimentonun akışkanlığını sağlayarak öğütme ve paketlemeye hız kazandırır; aşınmaları önler ve silolarda korunma safhasında faydalı olur.

- Kaliteyi Geliştirici Maddeler:

Yüksek kaliteli klinker üretimi, özellikle yüksek fırın cürufu, tras gibi katkılarla üretilen katkılı çimentolar için üretilen bu tip kimyasal katkı maddeleri, öğütmeyi kolaylaştırıcı, çimento kalitesinde bozulma olmadan yüksek oranda mineral katkı maddesi kullanmayı sağlayıcı ve çimentonun özelliklerini iyileştirici vasıflara sahiptirler.

- Hava Girişini Sağlayan Katkılar:

Firmalarca geniş bir spektrumda üretilen hava katkı maddeleri, genel olarak kalker ve Portland çimentosunu yumuşatmak için kullanılır. Aynı zamanda bu maddeler, çimento karışımlarının suyu tutma yeteneğini de düzenler veya artırır [8].

Çimentoların veya betonların belirli bir özelliğini daha iyi bir duruma getirmek amacıyla kullanılan katkı maddeleri ile istenilen hedeflere ulaşılırken diğer bazı özelliklerde istenmeyen değişmelere neden olabilmektedir. Böyle bir durumun meydana gelip gelmediğini anlamak için aynı şartlar altında katkı maddesi kullanarak ve kullanmayarak çimentolar üzerinde en azından kıvam, piriz, hacim genleşmesi ve mukavemet deneyleri yapılmalıdır.

Katkılı ve katkısız numunelerde yapılan bu çalışmalarla elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak kullanılan katkı maddesinin çimentonun diğer özellikleri üzerinde beklenmeyen ve istenmeyen bir etki yapıp yapmadığı araştırılır [12].

4.1 Çimento Geneli Tanımı ve Sınıflandırılması

Çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin bir araya getirilmesinden oluşan "beton", çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en yaygın ve en popüler malzeme durumundadır. Bağlayıcı malzemelerin kullanımı tarih öncesinde, muhtemelen ateşin bulunmasından hemen sonra, kireç ve alçı ile başlamıştır. Kireç ve alçı milattan önceki ve sonraki tarihlerde eski Mısırlılar ve Romalılar döneminde geniş kullanım alanları bulmuştur. Yaklaşık 2000 yıl önce Romalılar söndürülmüş kireci volkanik küllerle ve sonraları pişirilmiş tuğladan elde edilen tozlarla karıştırarak bugünkü çimento özelliklerine benzer özelliklere sahip bir hidrolik bağlayıcı kullanmaya başlamışlardır. Ortaçağ döneminde büyük eserlerin yapılmasında bir durgunluk gözlenmiş ve bağlayıcı maddeler ile ilgili ciddi bir gelişme kaydedilmemiştir.

1824 yılında, İngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası hazırladığı ince taneli kil ve kalker karışımını pişirerek ve daha sonra da öğütürerek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir. Bu ürüne su ve kum karıştırılması ile hazırlanan karışımın zamanla (sertleşmesi sonucu) İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşları özelliğine benzer bir maddeye dönüştüğünü gören Joseph Aspdin, elde ettiği bu bağlayıcı için "Portland Çimentosu" adı altında patent almıştır. Joseph Aspdin tarafından üretilen bağlayıcı, üretim sırasında yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilmediği için bugün kullanılmakta olan Portland çimentosunun özelliklerine tamamen sahip değildir. Kil ve kalker karışımını hammadde olarak yeterince yüksek sıcaklıklara kadar pişirilmesi ve takiben öğütülmesi ile çimento üretimi ilk olarak, 1845 yılında, Isaac Johnson isimli bir İngiliz tarafından gerçekleştirilmiştir [10].

Kullanım amaçlarına ve sahip oldukları özelliklere göre üretilmekte olan çimento türleri aşağıda verildiği gibi belirli adlarla tanınmaktadır [12].

1. Portland çimentoları
2. Pozolanlı çimentolar

- 2.1. Uçucu küllü çimento
- 2.2. Traslı çimento
- 3. Cüruf çimentoları
 - 3.1. Kireç esaslı cüruf çimentosu
 - 3.2. Demir Portland çimentosu
 - 3.3. Yüksek fırın Portland çimentosu
 - 3.4. Sülfatlı cüruf çimentosu
- 4. Alüminli çimento
- 5. Petrol kuyusu çimentosu
- 6. Muhtelif çimentolar
 - 6.1. Beyaz çimento
 - 6.2. Renkli çimento
 - 6.3. Harç çimentosu
 - 6.4. Hidrofob çimentolar

4.1.1 Orjinal Portland Çimentosu (OPÇ)

Portland çimentosu klinkerinin ve buna bağılı olarak Portland çimentosunun üretiminde kullanılan iki ana hammadde vardır:

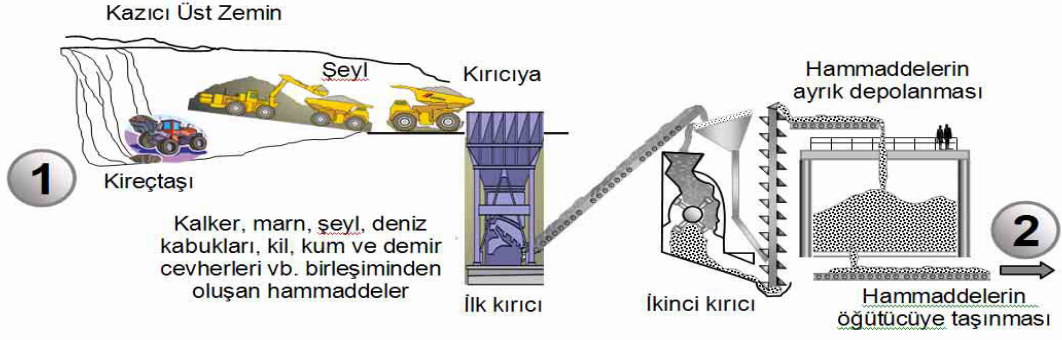
- Kalkerli malzemeler: Kireçtaşı, marn gibi,
- Killi malzemeler: İçerisinde önemli miktarda silis bulunan kil, şist kum gibi.

İnce bir şekilde öğütölerek uygun oranlarda bir araya getirilen kalkerli ve killi hammadde karışımı, eksenı etrafında yavaşça döndüğü için döner fırın adı verilen ve yaklaşık %3-4 eğimle yatay olarak yerleştirilmiş silindir şeklindeki fırınlarda, 1350-1450 °C civarında pişirilir[13].

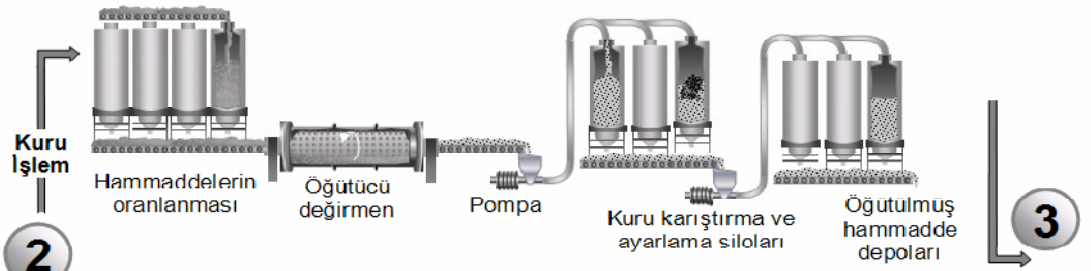
Çimento üretim teknolojisi "kuru sistem" ve "yaş sistem" olmak üzere iki türdür. Killi ve kalkerli malzemenin kuru durumda ve öğütülerek hazırlanıp kullanıldığı kuru sistemde, hammadde yaklaşık 800-900 °C'a kadar ön ısıtıcılarda işlem gördükten sonra fırına girmektedir. Yaş sistemde ise kil ve kalkerli ince malzemenin su ile karıştırılmasıyla elde edilen çamur bir döner fırına beslenir. Fırının üst kısmında 100 °C civarında hammaddelerde bulunan serbest su buharlaşır; 500-600 °C sıcaklıkta killi maddeler oksitlere ayrışır; hammaddelerin içerisinde magnezyum karbonat ($MgCO_3$) bulunduğu takdirde, 600-700 °C de ayrışarak MgO haline dönüşür; 900 °C civarında kalker ($CaCO_3$) yapısındaki karbondioksitten kurtularak sönmemiş kireç (CaO) haline dönüşür; 900-1200 °C arasında kireç, silis ve alümina arasında kimyasal reaksiyonlar başlar. Oksitlerin eriyik haline dönüşmeye başlamasından sonra 1280 °C ve daha yukarı sıcaklıklarda çimento bileşenleri meydana gelir[12].

Yaklaşık olarak 1350-1450 °C sıcaklıkta pişirilmeye takiben çimento bileşenlerini içeren ve klinker adı verilen ürün elde edilir. Döner fırından çıkan klinker soğutulur ve ince bir şekilde öğütülür. Klinkerin öğütülmesi esnasında küçük bir miktar (%3-%6) alçıtaşı ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) eklenir. Şekil 4.1' de çimento üretim aşamaları şematik olarak görülmektedir. Elde edilen ürüne "Portland Çimentosu" adı verilir [4].

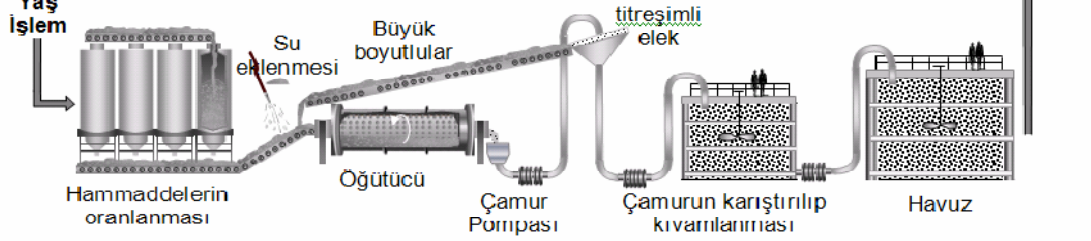
Kayaların Kırılıp İstenen Boyuta İndirilip Depolanması



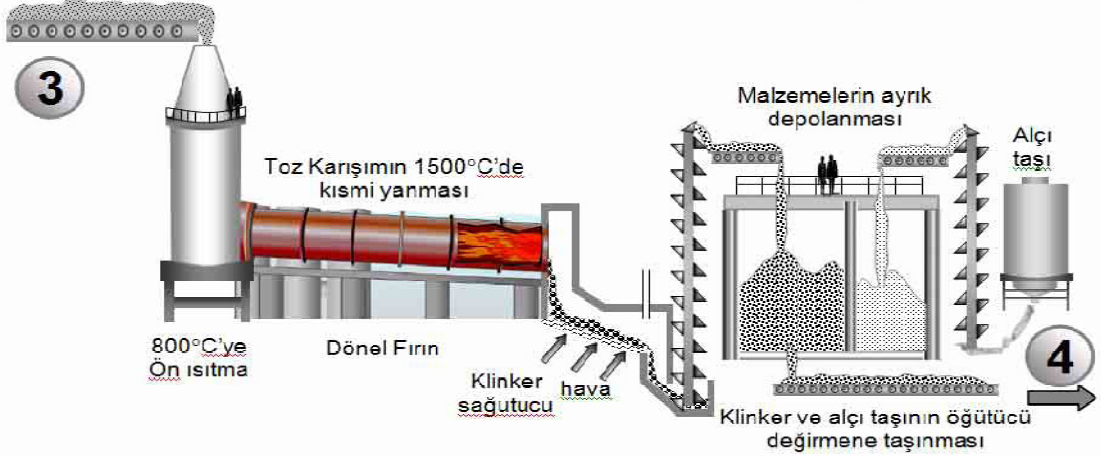
Hammaddelerin Toz Haline Getirilip Karıştırılması



Hammaddelerin Su ile karıştırılıp Ayarlanması



Ham Karışımı Çimento Klinkerine Dönüştüren Yakma İşlemi



Şekil 4. 1 Çimento üretim aşamaları

Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve yaklaşık olarak miktarları Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Portland Çimentosunu Oluşturan Oksitler ve Miktarları[13].

BİLEŞEN	SEMBOLÜ	ÇİMENTO KİMYASINA GÖRE SEMBOLÜ	MİKTARI %
Kireç	CaO	C	60-67
Silis	SiO ₂	S	17-25
Alümina	Al ₂ O ₃	A	3-8
Demir Oksit	Fe ₂ O ₃	F	0,5-6
Kükürt Trioksit	SO ₃	S	1-3
Magnezyum Oksit	MgO	M	0,1-4
Alkaliler	Na ₂ O+K ₂ O	N+K	0,2-1,3

Çizelge 4.1' de görüldüğü gibi, en yüksek miktarlar sırasıyla, kireç, silis, alümina ve demir okside aittir. Özellikle kireç ve silisin payı yaklaşık olarak %80-90 mertebesinde. Kireç genellikle kalkerli hammaddelerden, silis ve alümina ise killi hammaddelerden kaynaklanır. Demir oksit, killi veya kalkerli maddelerin yapısında bulunmaktadır [4].

Döner fırındaki kimyasal reaksiyonlar sonunda klinkerin ve buna bağlı olarak Portland çimentosunun yapısında dört ana bileşen meydana gelmektedir. Bu bileşenlerin isimleri ve çimento kimyasına göre sembolleri Çizelge 4.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2 Çimentonun Ana Bileşenleri[13].

ANA BİLEŞENLER	FORMÜLÜ	SEMBOLÜ
Dikalsiyum Silikat (Belit)	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Trikalsiyum Silikat (Alit)	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Trikalsiyum Alüminat (Celit)	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsiyum Alümino-Ferit (Brown-Milleht)	4CaO.Al ₂ O ₃	C ₄ AF

Portland çimentoları ana bileşenleri arasında yer alan trikalsiyum silikat (C₃S) ve dikalsiyum silikat (C₂S) uzun vadede (28 gün ve daha sonrasında) çimentonun bağlayıcılığının yüksek olmasını sağlarlar. C₂S'in çimentonun bağlayıcılık özelliğine

katkısı ilk günlerde az, daha sonraları çok yüksektir. C_3S bileşeni ise, hem ilk zamanlarda hem de uzun vadede çimentonun bağlayıcılık özelliğini artırmaktadır [7].

Çimentoya bağlayıcılık kazandıran kalsiyum silikat hidratlar (C-S-H), C_3S ve C_2S bileşenlerinin hidrasyonu sonunda oluşmaktadır. Çimentolardaki kalsiyum silikatların miktarının %70-80 arasında olması istenir.

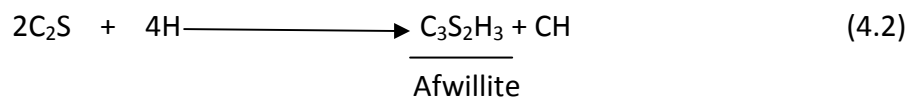
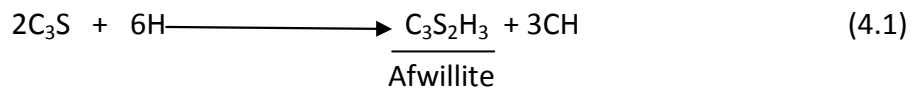
Trikalsiyum alüminat (C_3A), çimentonun su ile karışımından itibaren ani sertleşmeye sebep olarak çimento-su hamurunun işlenmesini güçleştirir. Bu yüzden çimento içine hızlı sertleşmeyi önlemek üzere bir miktar alçı taşı ilave edilir [10].

Tetrakalsiyum alümino-ferrit (C_4AF), C_3S ve C_2S 'tan hızlı, C_3A 'tan daha yavaş bir hidrasyonla dayanıma katkıda bulunur.

4.1.1.1 Portland Çimentosu Hidrasyonu

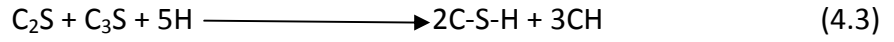
Portland çimentosu ile suyun etkileşerek kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi olayına "çimentonun hidrasyonu veya hidratasyonu" denilmektedir. Çimento ve suyun birleşmesiyle çimentoda bir dizi ve çok karmaşık kimyasal olaylar oluşur. Hidrasyonla ele geçen en önemli bileşik kalsiyum silikat hidratlardır. Yapıları tabii tobermorit mineralinin yapısına benzediği için çoğu kez tobermoritler olarak adlandırılırlar.

Portland çimentosunun hidrasyonu sonucu oluşan kalsiyum silikat hidrat jeli betondaki agregayı birbirine bağlar. Bu bağlanış, çimentonun bileşim ve inceliğine, su/çimento oranına, zaman ve sıcaklığa, agrega türüne ve miktarına, harcın karıştırma süresine, betonun sertleşirken içinde bulunduğu hava şartlarına ve katkı maddelerine bağlı olacaktır. Portland çimentosu bileşenlerinden C_3S ve C_2S 'in hidrasyon reaksiyonları [10] dan aşağıdaki gibidir:

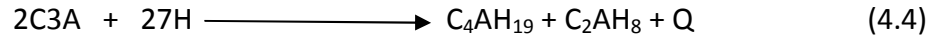


Her iki reaksiyonla oluşan kalsiyum silikat hidratlar (tobermoritler) tam hidrasyonda kararlı ürün olan afwillite'e dönüşürler.

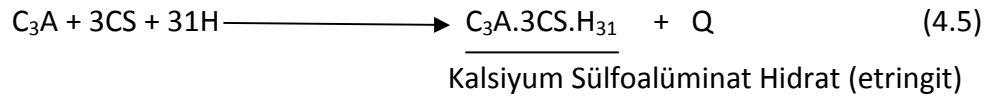
Her iki bileşenin hidrasyonu ile kalsiyum silikat hidrat jeli oluşumu aşağıdaki gibi de gösterilebilir.



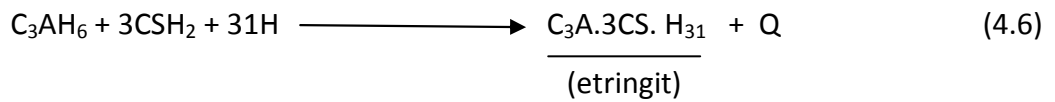
Portland çimentosu bileşenlerinden C_3A ortamda hiç alçı taşı olmadığı zaman su ile çok hızlı olarak birleşir ve oluşan kalsiyum alüminat hidratlar tam hidrasyonla C_3AH_6 kararlı ürününe dönüşür [16].



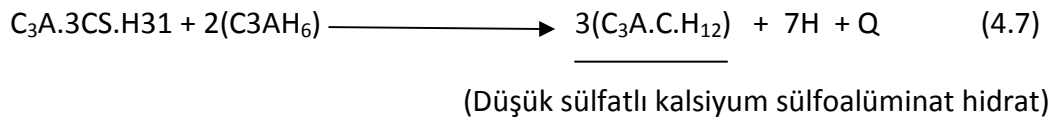
Bu çok hızlı reaksiyon sebebiyle kısa zamanda sertleşen çimento hamurunun işlenmesi güçleşir. Bu yüzden Portland çimentosuna C_3A 'ın ani hidrasyonunu önlemek üzere alçı taşı ilave edilir. Reaksiyon aşağıdaki şekilde gerçekleşir ve C_3A 'nın ani hidrasyonu geciktirilmiş olur [9].



ve



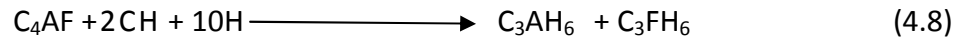
Eğer ortamdaki C_3A çok fazla veya SO_3 az ise reaksiyon;



şeklinde gerçekleşir. Bu son reaksiyona "Alüminat Reaksiyonu" denir [15].

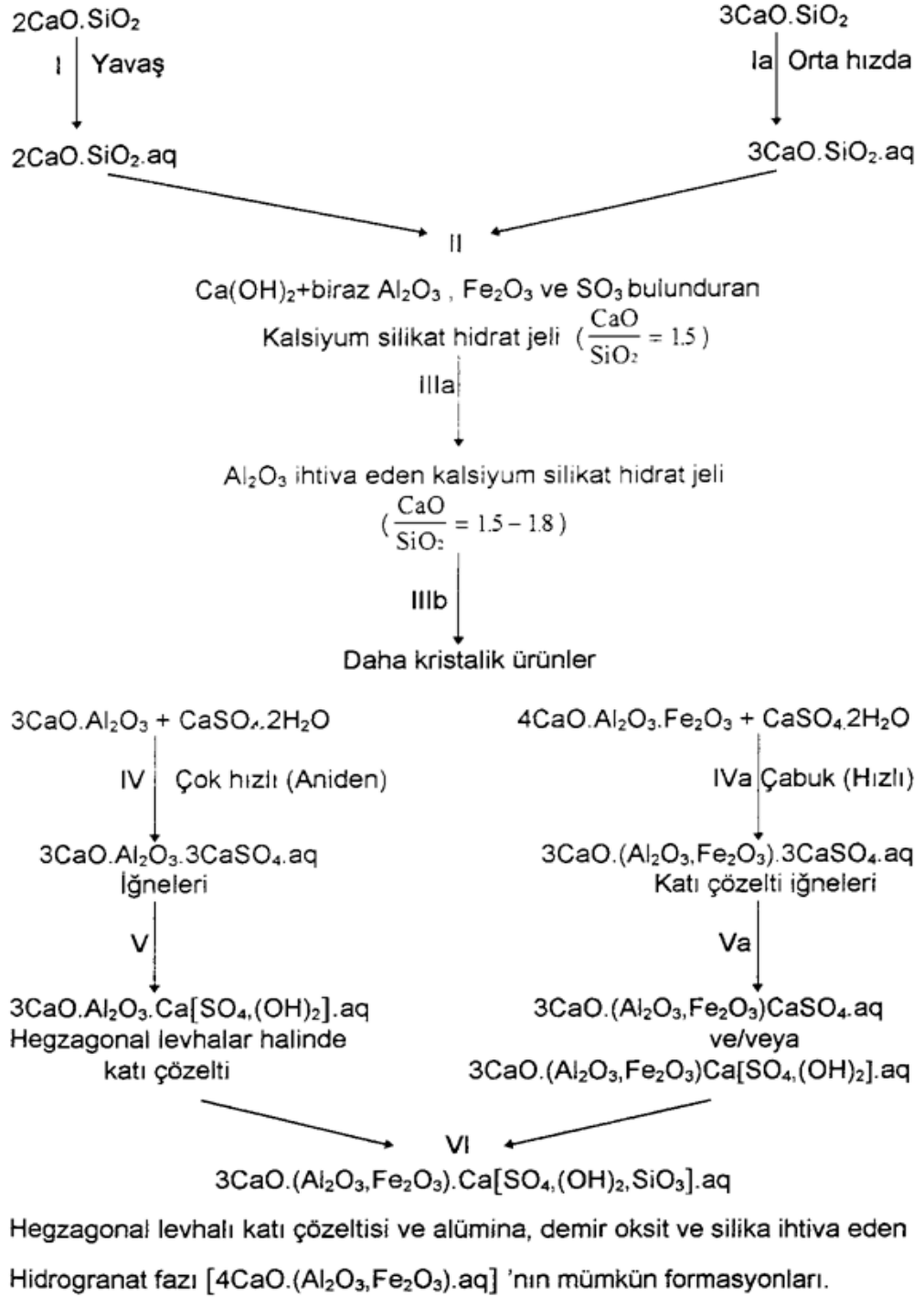
Trikalsiyum alüminat (C_3A) çok hızlı reaksiyona girmekte ve yüksek miktarda hidrasyon ısıyı açığa çıkarmaktadır. Ayrıca, bu bileşenin çimento dayanımına olumlu bir katkısı da yoktur. C_3A bileşenin su ile birleştiğinde çok hızlı reaksiyon yapmasını ve ani katılaşmayı (ani pirizi) önleyebilmek amacıyla çimentoda bir miktar alçı taşı kullanılmaktadır. Alçı taşı ile reaksiyona giren C_3A daha yavaş hareket etmekte ve bağlayıcılık özelliği kazandıran kalsiyum silikatların hidrasyonu daha sağlıklı olmaktadır. Ancak, alçı taşı miktarı çok fazla olduğu takdirde alçı taşının içerisindeki sülfat ile C_3A reaksiyonu sonucunda kalsiyum sülfoalüminat (etringit'in) oluşmasına yol açmaktadır [14]. Bu ürün çok büyük miktarda genleşme kapasitesine sahiptir. Oluşmaları çok yavaş seyrettiğinden, o arada sertleşmiş olan betonda böyle büyük bir genleşme kırılmalarına yol açmaktadır. Çimentoya katılan alçı taşı miktarı çok yüksek olmasa dahi, deniz suyu veya diğer yüksek sülfatlı ortamlarda kullanılan betondaki çimento, sülfat etkisine maruzdur. Eğer C_3A miktarı yüksek ise sülfatlı 1 ortamlarda C_3A ve sülfat, yukarıda bahsedilen kalsiyum sülfoalüminat'ın (etringit'in) oluşmasına ve sertleşmiş betonun çatlayıp kırılmasına yol açar. O bakımdan, sülfata dayanıklı çimentolarda C_3A oranı en çok %5 olarak sınırlandırılmaktadır [14].

Tetrakalsiyum alümino-ferrit'in (C_4AF) hidrasyonu da aşağıda verildiği gibi gerçekleşir.



C_4AF 'nin su ve alçı ile birleşmesi sonucunda ortaya çıkan özellikler C_3A 'nın sonuçlarına benzer fakat daha az etkilidir. Ancak C_4AF 'nin çimentodaki oranı çok küçük olduğundan sonuç üzerindeki rolü büyük değildir. Kısaca denilebilir ki, C_3A ve C_4AF bileşenleri, uygun miktarda alçı ile kullanıldıklarında, çimentonun bağlayıcılık özelliğini ilk zamanlarda bir miktar etkilerler. Ancak, çimento ve betonun esas bağlayıcılık değeri C_3S ve C_2S bileşenleri tarafından sağlanmaktadır.

Bileşenleri açısından incelenen Portland çimentosu hidrasyonu bir bütün olarak Şekil 4.2' de verilen mekanizmaya göre yürür [10].



Şekil 4. 2 Portland çimentosunun hidrasyon mekanizması [10]

Şekle bakılırsa bazı safhaların kesin olmadığı görülür. I, Ia, IV ve IVa kademeleri ilk hidrasyon periyoduna (pirizlenme) aittir. V ve Va safhaları, 24 saat ve daha erken zamanlarda sülfatın tamamının kullanılmasından sonra başlar. IIIb ve VI safhaları daha sonra ve oldukça yavaş gerçekleşir (Sertleşme ve Katılaşma). Bu safhalarda bazı üst

üste gelmeler de söz konusudur. Bundan başka atmosferik CO₂ veya çimento içindeki karbonattan dolayı reaksiyonun erken safhalarında hidrate kalsiyum karboalüminatlar da oluşabilir [3].

4.1.2 Puzolanlı Çimentolar

Tek başına bağlayıcı özellik göstermediği halde kireç veya çimento ortamında bağlayıcılık özelliğine sahip maddelere puzolan adı verilmektedir.

Puzolanlı çimentoların kullanımında birtakım avantajlar vardır. Bunlar:

- Kimyasal korozyon etkilere karşı dirençlerinde önemli bir artış vardır. Bundan dolayı puzolanlı çimentolar her türlü zararlı suların etkisine, karıştırıldığı çimentodan çok daha fazla dayanıklıdır.
- Puzolanlı çimentolarda prizlenme esnasında açığa çıkan ısı miktarı, çimentoda meydana gelenden çok daha azdır. Bu nedenle bu çimentolar baraj inşaatında kullanılmaya elverişlidir.
- Puzolanlı çimentoları kullanmakla, hidrasyon sonucu açığa çıkan kalsiyum hidroksit tüketileceği için geçirimsizliği daha az olan harç ve beton üretmek mümkündür. Dolayısıyla donmaya karşı daha dayanıklıdır.

Ülkemizde puzolanlı çimento olarak "traslı çimento", "katkılı Portland çimentosu" ve "uçucu küllü çimento" üretilmektedir [12].

4.1.3 Cüruf Çimentoları

Cürufu oluşturan maddeler çimentoda bulunan kireç, silis ve alüminadır. Bileşiminden de kolaylıkla görülmektedir ki cürufu çimento üretiminin ham maddesi olarak kullanmak mümkündür. Bu durumda cüruf kilin yerini tutmaktadır. Cüruf ayrıca agrega beton üretiminde kullanılabilir. Bu durumda, özellikle yol yapımında gayet iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu maddenin üçüncü tür bir kullanma şekli vardır ki o da

bir bağlayıcı madde karıştırılarak hidrolik bağlayıcı gibi kullanılmasıdır. Diğer bir ifadeyle, cürufu kirece ve daha ziyade Portland çimentosuna karıştırmakla "cüruf çimentoları" denilen geniş bir bağlayıcı madde grubu elde edilir [12].

4.1.4 Alüminli Çimento

Bu çimentolar boksit ile kalkerin bir fırında ergitilinceye kadar pişirilmesi sonunda elde edilir. Boksit denilen doğal malzemenin içinde %50'den fazla alümina bulunmasından dolayı bu çimentoların içinde bulunan alümina miktarı %30'dan fazladır.

Bu çimento türünde özellikle Ca(OH)_2 'in meydana gelmemesi çok önemlidir. Bu bakımdan Portland tipi çimentolarından tamamen ayrılmaktadır[15].

Alüminli çimento; çok çabuk dayanım kazanması, asitli sulara karşı dayanımının yüksek olması gibi avantajlar yanında hidrasyon ısısının çok yüksek olması gibi dezavantajlara da sahiptir.

4.1.5 Muhtelif Çimentolar

- a) Beyaz Çimento: Demir oksidi çok az miktarda bulunduran bir Portland çimentosudur. Fe_2O_3 'ün çok az miktarda olmasından dolayı rengi beyaz olan bu çimento özellikle mimari ve estetik amaçlar için kullanılır.
- b) Renkli Çimentolar: Bu çimentolar beyaz çimentoya %1-5 arasında daha ziyade metal oksitlerinden ibaret olan öğütülmüş pigmentlerin ilave edilmesi ile elde edilir.
- c) Harç Çimentosu: Harç çimentosu, ağırlıkça en az %40 Portland çimentosu klinkeri ile en çok %60 puzolanik madde (doğal puzolan-tras veya uçucu kül) karışımının küçük bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucunda elde edilir.
- d) Hidrofob Çimentolar: Bu çimentolar, klinkere oleik asit gibi hidrofob maddelerin ilave edilmesi ve sonra öğütülmesi sonunda elde edilir [12].

4.2 Çimento Test Metotları

Çimento test metotlarını Fiziksel ve Mekanik Analizler, Kimyasal Analizler, Tarayıcı Elektron Mikroskopu Analizleri, DTA-TG Analizleri ve X-ışınları difraksiyon analizleri şeklinde gruplandırabiliriz.

- Fiziksel ve Mekanik Testler:

- Dayanım

Eğilme ve basınç dayanımı

- İncelik

Özgöl yüzey (Blaine aleti ile)

- Priz süresi

Priz başlangıcı

Priz sonu

- Dayanıklılık

Le Chatelier aleti ile hacim genleşmesi

- Kimyasal Testler:

-SO₃ miktarı

-MgO miktarı

-Kızdırma kaybı miktarı

-Çözünmeyen kalıntı miktarı

-Klorür iyonundan arınmışlık

-Hidrasyon ısı

- Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) ile numuneler ikincil elektron modunda mikroyapısal olarak incelenmektedir. Bu işlem için altın veya grafitle kaplanmış numuneler elektron ile bombardıman edilerek, elektron dağılımından hareketle fotoğrafları çekilir. Çekilen fotoğraflar incelenerek yapı hakkında sonuçlar çıkarılır [16].

- X-ışınları difraksiyon analizleri ile çimento pasta numunelerinin mineralojik yapısı aydınlatılmaktadır. Yapı içerisinde meydana gelen kristal tabakalar arası uzaklığın Bragg Denklemi yardımıyla tayini esasına dayanır. Her bir kristal türü için belirli açıdan

elde edilen yansımalarla mikroyapı hakkında bilgi edinilir [16].

- DTA-TG analizlerinde ise belli bir ısıtma hızıyla ısıtılan hidrate çimento örnekleri ağırlık (TG) ve reaksiyon ısısı (DTA) değişimi takip edilerek yapı hakkında bilgi edinilir.

BÖLÜM 5

DONATI KOROZYONU

Evrende yaratılmış hiçbir canlı veya cansız varlık mükemmel dayanıklı değildir. Malzemeler de bu doğal kurala uyarlar. Dayanıklı bir beton veya betonarme yapı çevresinin etkisinde ilk şeklini, niteliklerini ve hizmet görme yeteneğini uzun süre kaybetmeyen betondur. Servis ömrü diye tanımladığımız bu süre sonunda beton yapının kullanımı güvenli veya ekonomik olmaktan çıkar, yani betonun güvenlik gerilmesi servis gerilmesinin altına düşer veya onarım ve bakım masrafları yeniden bakım maliyetinin üstüne çıkar.

Günümüzde betonun kullanıldığı ortamlar giderek daha çok hasara yol açan boyutlara ulaşmıştır. Beton gaz tankları, nükleer santrallerin yüksek basınç depoları, açık deniz petrol platformları, iskele ve rıhtım betonları gibi. Bu özel durumlarda yeterli servis ömrüne sahip betonlar üretmek çok itinalı ve bilgi birikimli bir teknoloji ile mümkündür. Klasik yapılar (köprü, yol, konut, baraj) da dayanıklılık problemi belki bu düzeyde itina ve bilgi gerektirmez. Ancak ulusların harcamalarında büyük önem taşır. Gelişmiş sanayi ülkelerinin inşaat yatırımlarının % 40'ı bakım ve onarıma sarf olunmaktadır[17].

5.1 Betonun Korozyonu

Betonun korozyonuna çoğunlukla dış ortamdaki agresif ögeler neden olurlar. Bunun yanında betonu oluşturan bileşenlerin de bazı durumlarda tepkimelere girişmesi olasıdır. Alkali-Agrega reaktivitesi gibi.

Bu tür iç korozyon olayları dış ortama bağılı olarak şiddetlenebilir.

Betonun doğal kimyasal zararlara karşı dayanıklı olması, fizikokimyasal dış etkenler sonucu niteliklerini kaybetmemesi gerekir. Bunun için yeterli kimyasal dayanıma (dayanıklılığa) sahip bulunması istenir.

Bu dayanımdan şunu anlıyoruz. Çimentoyla yapılmış herhangi bir elemanın çimentoyla yapmış olduğu reaksiyon sonucunda zamanla mukavemeti artacağına azalıyor.

Beton çeşitli zararlı etkiler altında bir takım kimyasal reaksiyonlar nedeniyle sahip olduğu mukavemeti zamanla kaybedebilir. Bu durumda yapı betonun maruz kaldığı kuvvetlere dayanamamanın bir sonucu olarak, kısmen veya tamamen yıkılır veya kullanılamaz hale gelir.

Fiziko-kimyasal bir süreç olan Karbonatlaşma ise ortamın alkalinitesini düşürerek koruyucu oksit tabakasının tahrip olmasına neden olur. Betonun alkalinitesi, hidrate olmuş çimentonun içerdiği Ca(OH)_2 ile sağlanır ve pH 12 civarındadır. Ancak Ca(OH)_2 zamanla havadaki CO_2 ile reaksiyona girerek CaCO_3 'e dönüşür ve pH 8'in altına düşebilir. Atmosferdeki miktarı hacimce %0.03 olan CO_2 'nin kırsal bölgelerde bile karbonatlaşmaya olan etkisi söz konusudur. CO_2 konsantrasyonu arttıkça karbonatlaşma oranı artmaktadır. Karbonatlaşma derinliğinin bir kaç mm ile sınırlı olduğu bilinmesine karşın kusurlu betonda, herhangi bir mekanik zorlama olmaksızın çatlaklar oluştuğundan, karbonatlaşma derinliğinin 10cm'den fazla olduğu tespit edilmiştir[22].

5.2 Çelik Donatı Korozyonu

Mühendislik alanlarında en yaygın biçimde kullanılan metal çeliktir. Mekanik özellikleri yönünden çok nitelikli olan bu malzemenin en büyük kusuru korozyona dayanıklılığının çok düşük olmasıdır. Çelik, rutubetli ve yeterince oksijen içeren ortamlarda derhal korozyona uğrar. Halk dilinde paslanma olarak bilinen korozyon, elektrokimyasal etki sonucu malzemede oluşan kütle kaybıdır. Betonarme elemanlarda korozyon, betonun ve/veya beton içine gömülü çelik donatının fiziko-kimyasal çevresel dış etkenler sonucu niteliklerini kaybetmeleri olarak da tanımlanabilir. Karmaşık bir olay olmasından dolayı

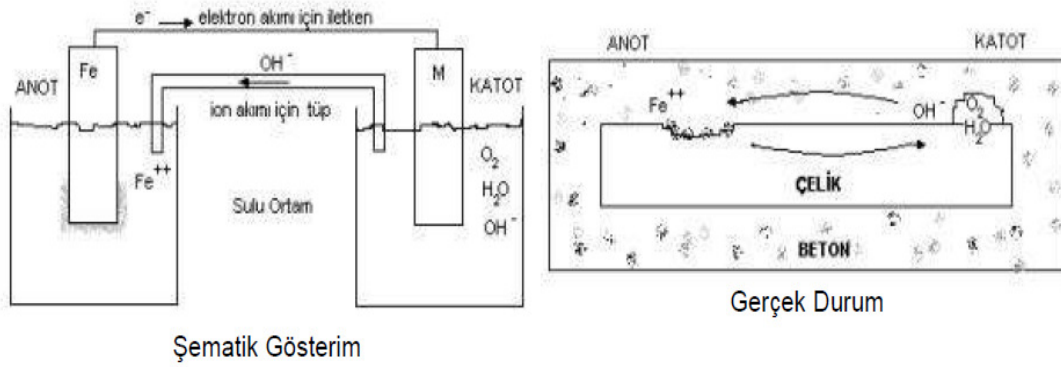
bütünüyle engellenmesi mümkün olmayan korozyon, ancak alınacak önlemlerle en aza indirilebilir.

Betonarme elemanların korozyonunda betonun ve çeliğin korozyon süreçleri birbirlerinin etkisindedir ve her iki süreç birleşerek yapı elemanlarının daha yoğun ve hızlı bir biçimde yıpranmasına yol açar.

Beton içerisindeki serbest klorür miktarı, betonun geçirimliliğine, yüzeyde oluşan çatlakların varlığına, beton üretiminde kullanılan bağlayıcının tipine, miktarına, su/çimento oranına ve ortamdaki klorür iyonlarının katyonlarına bağlı olarak değişir. Örneğin çözeltideki NaCl, beton içerisindeki Ca(OH)_2 ile reaksiyona girerek CaCl_2 ü oluşturur, doygun kalsiyum hidroksit çözeltisinde %0,035 gibi çok küçük oranlarda CaCl_2 'nin bulunması koruyucu pasivasyon tabakasının bozulup tahrip olması için yeterlidir. Başlangıçta beton içine giren klorür iyonlarının etkisiyle oluşan CaCl_2 , çimento hidratasyon reaksiyonu sırasında çimento klinker bileşiklerinden trikalsiyum alüminat (C_3A) ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen bir bileşik olan Friedel tuzunu ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) oluşturur[26]. Bu sayede ortamdaki serbest Cl^- konsantrasyonu azalmış olur. Bu nedenle bağlayıcı tipi ve miktarının serbest Cl^- konsantrasyonu üzerindeki etkisi oldukça fazladır. C_3A oranı %2,04 gibi çok düşük olan çimentolarda bile Cl^- iyonunun bağlandığı, C_3A oranının artması ile serbest klorür miktarının azaldığı bilinmektedir. Yüksek fırın cürufu katkılı çimento hamurunun klorür bağlama kapasitesindeki artışın nedeni, bu çimentoların yüksek oranda alüminat içermesi ve bunun sonucu olarak daha fazla Friedel Tuzu oluşumu ile açıklanmaktadır[27].

Elektro-Kimyasal bir olay olan paslanma ya da korozyon hava ve suyun birlikte çeliğe ulaşmaları ile mümkündür. Metaller, kendi iyonlarını içeren eriyik içine daldırılarak yarım hücre oluşturur. Metal atomları sulu ortamda elektron kaybederek, yani okside olarak iyon haline geçer ve eriğe karışır. Bu reaksiyona anot reaksiyonu denir. Eriyik içine başka bir metal daldırılırsa bir tam hücre oluşur. Anot reaksiyonunda ortaya çıkan elektronların sarf edilerek birikmesini önleyen reaksiyona da katot reaksiyonu denir. Olayın sürekliliği için anot reaksiyonunun katot reaksiyonu ile tamamlanması gerekir.

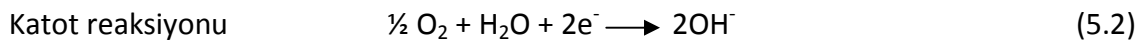
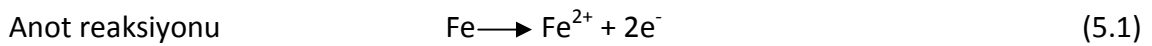
Bu korozyon pilinin sürekli çalışabilmesi, ancak anot ve katot un elektron akışını sağlayan bir iletkenle bağlanması ve elektrolitik bir ortam oluşturulması ile mümkündür. Şekil 5.1’ de çelik korozyon hücresi şematik ve gerçek durum itibari ile gösterilmiştir.



Şekil 5. 1 Beton içerisindeki çeliğin korozyon hücresi[19].

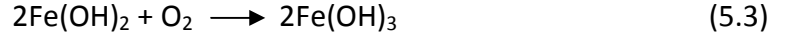
Akım devresi OH⁻ iyonlarının anoda iletilmesi ile kapanmaktadır. Anot reaksiyonunda meydana gelen metal iyonu, bulunduğu sulu ortam içinde çözülür ve bir korozyon ürünü meydana getirir. Böylece anot olan metalde, bir malzeme kaybı, yani bir hasar oluşur[19].

Çeliklerde bu oksidasyon olayı ortamın pH değişmesiyle daha karmaşık biçimler alır. Oksidasyon difüzyonunun pek mümkün olmadığı bazı su altı betonlarında klor iyonlarının varlığı pH değerini düşük değerlere indirgeyerek korozyonu kolaylaştırır. Beton içindeki çelik donatının korozyonu ortamın pH değerlerine bağlı olarak aşağıda gösterilen anot reaksiyonları şeklinde de oluşabilir.



Katottan gelen OH⁻ iyonları anottaki Fe²⁺ iyonları ile birleşerek anot çevresinde kısmen suda çözünebilen Fe(OH)₂ demir hidroksite dönüşür.

Daha sonra Fe(OH)₂ çevresinde oksijen veya su varsa, kararlı ve çözünemeyen bir oksit olan Fe(OH)₃'e dönüşür.



Yukarıdaki demir oksit büyük hacim genişmesi meydana getiren sarı renkli boşluklu bir cisimdir.

Betonun geçirimli olması, kimyasal, fiziksel veya mekanik etkiler ile çatlaması ve parça atması, su ve/veya agresif (kimyasal zararlı) çözeltilerin donatıya daha kolay ulaşmasına ve donatı korozyonuna neden olur. Korozyona uğrayan donatı yüzeyindeki pas ürününde meydana gelen hacim artışı, çekme dayanımı düşük ve gevrek bir malzeme olan betonun çatlamasının ve parça atmasının önemli nedenlerinden biridir.

Atmosfer etkisinde kalan demir yüzeyinde oluşan demir oksit veya demir hidroksit tabakasının bünyeden ayrılması, kütlede ihmal edilebilecek düzeyde ağırlık kaybına neden olur. Bu kayıplardan dolayı oluşan hacim artışı %500'lere kadar ulaşabilir. Bu olay nedeni ile meydana gelen hasarlar hafif şekilde olmayabilir, yapının göçmesi şeklinde de ortaya çıkabilir. Şekil 5.2' de bir liman tesisinin korozyona uğramış betonarme yapıları görülmektedir[20].



Şekil 5. 2 Bir liman işletmesinin korozyona uğramış yapıları

Korozyon nedeni ile metal veya alaşımın fiziksel, kimyasal veya elektriksel özelliğinin istenmeyen değişikliklere uğraması önemli maddi kayıplara yol açar.

Korozyon belirtileri gözle görülmeye başlamış ise, durum zaten vahim bir hal almış demektir. Bu, betonarmede herhangi bir sebepten, herhangi bir yolla donatının ileri derecede korozyona uğramış olduğunu, donatılarda meydana gelen paslanmanın, hacim genişlemesi neticesinde beton kabuk tabakasını patlattığını dolayısıyla betonarme elemanın kendinden beklenen taşıma görevini yerine getiremeyecek durumda olduğunun bir göstergesidir.

Eğer bir yapıda, bütün betonarme elemanlar bu duruma gelmiş ise, bu binanın üstünkörü yapılan “takviye” ve “tadilat” projesi ve uygulamalarıyla gerçekten güvenilir bir yapı haline geleceği kuşkuludur[29].

Beton kalitesinin kontrolünün yanı sıra, bina bu duruma gelmeden önce korozyonun başlayıp başlamadığını, başlamış ise ne derecede olduğunu saptamak zorunludur. Tüm pas payının kaldırılıp, donatıdaki pas tabakasının ölçümü oldukça zahmetli ve tahribatlı bir yöntemdir. Tahribatsız kontrol yöntemleri arasında en çok kullanılan elektriksel büyüklüklerin ölçümleri esas alınarak yapılan incelemelerdir.

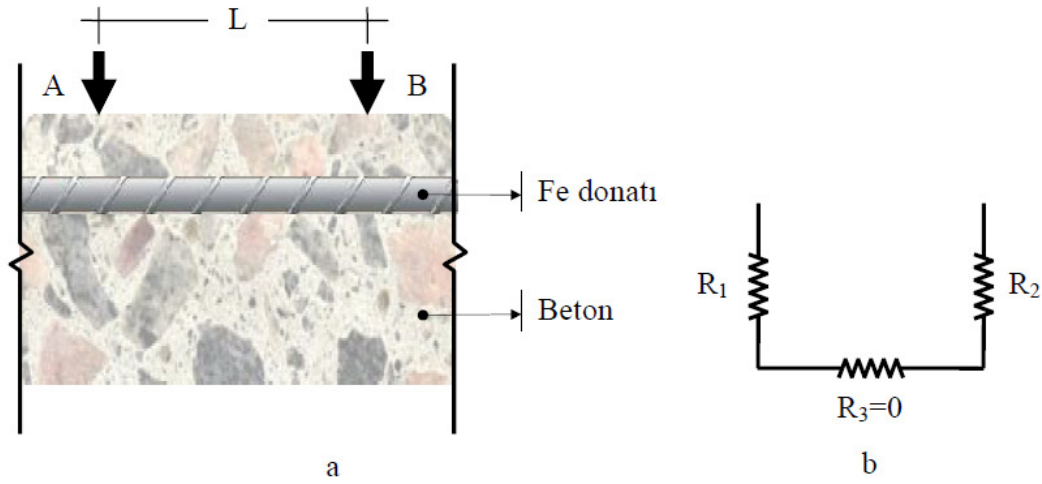
Bu konuda çalışma ve araştırma sayısı oldukça fazladır. Özellikle, yurtdışında beton tabakasının zarara uğratılmadığı, elektrik ve manyetik uygulamalar denenmektedir.

Bu tür korozyon ölçüm cihazları çok yüksek ücretlerle satılmakta, çoğu zaman da prospektüslerinde vaat edilen ölçümleri doğru olarak gerçekleştirememektedir. Ancak, ülkemiz koşullarında daha düşük maliyetle oluşturulabilecek bir deney seti ile beton örtü tabakası kaldırılmaksızın ölçüm yapılabilir. Bu konu biraz daha açılırsa, aşağıda sıralanan fiziksel gerçeklere dayanarak bir düzenek hazırlamak mümkündür. Bunlar;

1. Kuru beton iyi bir elektrik iletkeni değildir. Elektrik akımının geçişine önemli bir direnç gösterir.
2. Çelik donatı iyi bir iletkenidir. Elektrik akımını önemli bir direnç göstermeden geçirir.

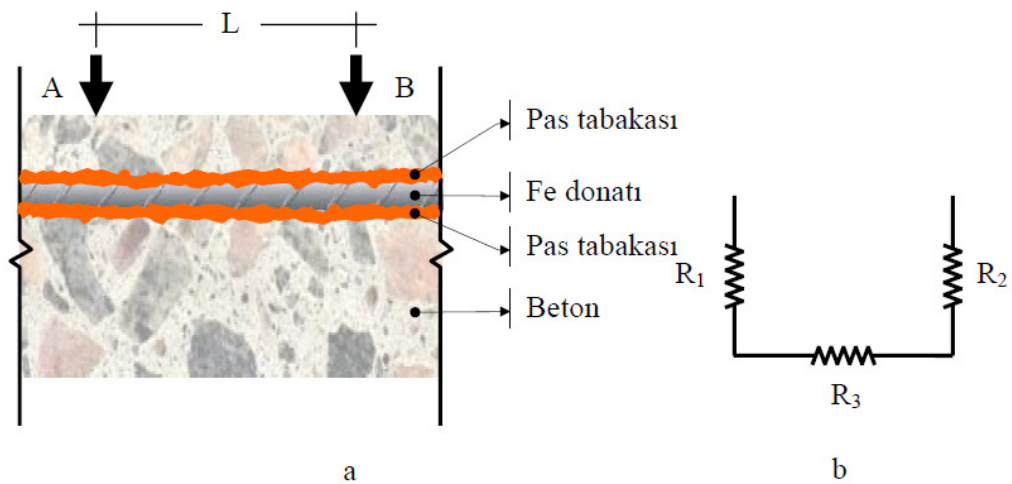
Şekil 5.3’ deki bir betonarme eleman kesitine bakıldığında eşdeğer elektrik devresi görülmektedir. Aralarında L mesafesi olan iki noktadan direnç ölçümü yapılırsa, üç direncin toplam değeri bulunmuş olur. Birincisi beton yüzeyinden donatıya kadar olan R_1 direnci, ikincisi L uzunluğundaki demir donatının direnci R_2 (ki paslanmamış bir

donatıda sıfıra yakındır), üçüncüsü donatıdan beton yüzeyindeki B noktasına kadar olan R_3 direncidir. Toplam direnç bu durumda $\Sigma R_{\text{temiz}} = R_1 + R_2 + R_3$ olacaktır.



Şekil 5. 3 (a) Donatıda korozyon gelişmemiş bir betonarme eleman kesiti ve (b) eşdeğer elektrik devresi[23].

Şimdi içindeki donatısı korozyona uğramış Şekil 5.4' deki bir betonarme kesiti incelensin. Gene aralarında L mesafesi olan A ve B noktaları arasındaki direnç sayısı üç gibi görülüyor. Birincisi beton yüzeyinden donatıya kadar olan R_1 direnci, ikincisi donatıdan direnci olan R_2 direnci, üçüncüsü ise donatıdan yüzeye kadar olan R_3 direncidir. Toplam direnç gene $\Sigma R_{\text{korozyonlu}} = R_1 + R_2 + R_3$ olacaktır.



Şekil 5. 4 (a) Donatısı korozyona maruz kalmış bir betonarme eleman kesiti ve (b) eşdeğer elektrik devresi[23]

Donatının korozyona uğramış olduğu ikinci Őekildeki toplam direnç, donatının temiz olduğu birinci Őekildeki toplam dirençten çok daha büyük olacaktır. Çünkü bütün metaloksitler iyi birer yalıtıcıdır. Bu yüzden birinci Şekilde sıfıra yakın olan R_2 donatı direnci, Şekil 5.4' de hatırı sayılır derecede büyük çıkacaktır. Bu direnç farklılığının değerlendirilmesi ile donatıdaki korozyon miktarının belirlenmesi mümkün olabilir[23].

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, eloksal çamurunun (eloksalin) çimentolar için uygun bir katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırıldı. Bu amaçla rafine edilerek safsızlıklarından kurtarılan eloksal, Portland çimentosu ile değişik oranlarda karıştırıldı. Çeşitli oranlarda eloksal içeren karışımların optimum karşım oranının tayini için basınç, aderans dayanımları ölçüldü ve korozyon ölçümleri yapıldı ayrıca bu testleri tamamlayıcı olarak mikroyapı incelemeleri yapıldı.

6.1 Malzemeler

6.1.1 Portland Çimentosu

Denemelerde kullanılan Portland çimentosu, İSTON A.Ş. tarafından Aslan Çimento A.Ş. (Oyak)' den temin edilmiş olup, özgül yüzeyi (incelik) $3400 \text{ cm}^2/\text{g}$, yoğunluğu 3.13 g/cm^3 , kızdırma kaybı %3,71'dir, kimyasal bileşimi Çizelge 6.1' de verilmektedir.

Çizelge 6. 1 Portland çimentosunun kimyasal analizi

BİLEŞEN	%
S.CaO	0,90
C ₃ A	8,50
C ₂ S	5,88
C ₃ S	64,33
MgO	1,53
SO ₃	3,25
Na ₂ O	0,12
K ₂ O	0,71

6.1.2 Eloksal Çamuru

Eloksal çamuru, İstanbul BURAK Alüminyum Fabrikası atık sahasından temin edilmiş olup kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.2’ de verilmektedir. Bu atık madde alüminyum oksit ve alüminyum hidroksit karışımı olup yanında bir miktar Na_2O , SiO_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve $\text{Mg}(\text{OH})_2$ gibi bazı safsızlıklar içermektedir.

Çizelge 6. 2 Eloksal çamurunun kimyasal analizi

BİLEŞEN	%
Al_2O_3	56,69
Fe_2O_3	0,46
SiO_2	0,98
CaO	1,30
MgO	3,35
Na_2O	7,30

6.2 Numunelerin Hazırlanması

Eloksal çamuru katkıli betonarme numuneler Çizelge 6.3’ de verilen reçeteye göre dökülmüş ve basma dayanım ölçümü için ayrı, donatı korozyon direnci ölçümü için ayrı olarak hazırlanan numuneler aynı reçete göre hazırlanmıştır.

Çizelge 6.3 Şahit beton karışım reçetesi

1 Metreküplük Karışım	Reçete Değeri	Toleranslar +/- %3	
		MAX.	MİN.
Çimento Miktarı (CEM I 42.5 R)	300 Kg	309 Kg	291 Kg
No 1 (Yıkanmamış)	806 Kg	827 Kg	779 Kg
Deniz Kumu (0-4 mm)	432 Kg	445 Kg	419 Kg
Taştuzu (Yıkanmış)	525 Kg	541 Kg	509 Kg
Kullanılan Su	263 Kg	271 Kg	255 Kg
Toplam	2323 Kg	2392 Kg	2253 Kg

Hazırlanan numunelerin her birine kullanılan eloksal çamuru miktarını simgeleyen isimler verilmiştir. Kullanılan çimento miktarı %2, %3, %4, %5 ve %6 oranında azaltılarak yerine aynı oranlarda eloksal çamuru ilavesi yapılmış ve numuneler sırasıyla eloksal miktarlarını simgeleyen E₂, E₃, E₄, E₅ ve E₆ isimleri verilmiştir. Numunelerin basınç dayanımlarının belirlenmesinde her isim için üçer adet küp numune ve üç adet katkısız (OPÇ) kontrol numunesi dökülmüştür. TS EN 206-1 / NİSAN 2002' ye göre hazırlanan küp numunelerin standart boyutları; 150X150X150 mm ve standart kesit alanları 225 cm²'dir.

Korozyon ölçümü için hazırlanan donatılı numuneler literatürde de geçen ismiyle lolipop numuneler olarak dökülmüş ve ASTM C-876' ya uygun olarak hazırlanmışlardır. Şekil 6.1' de görülen silindirik numunelerin çapı 7cm, yüksekliği 14cm'dir. Kullanılan nervürlü donatı çeliğinin çapı 10mm ve boyu 200mm'dir. Korozyon tayini için dökülen numuneler %2, %3, %4, %5 ve %6 eloksal çamuru katkılı olup, altışar adet eloksal katkılı lolipop numune ve 6 adette katkısız kontrol numunesi dökülmüştür. Numune hazırlama işlemlerinin tamamı İSTON A.Ş. ARGE laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Korozyon deneyleri için kullanılacak olan numunelerin bekletilmesi için sodyum klorür çözeltisi içeren tuz banyosu hazırlanmıştır ve kullanılan sanayi tuzunun bileşimi Çizelge 6.4' de verilmiştir.



Şekil 6. 1 Sodyum klorür çözeltisi içerisinde bekleyen lolipop numuneler.

Çizelge 6. 4 Sanayi tuzunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Sodyum Klorid (NaCl)	Min.	%98.4
Nem	Max.	%0,01
Sertlik (Kıvam)	Max.	20 AS
Ca	Max.	%0,2
Mg	Max.	%0,05
Asitte Çözünmeme	Max.	%0,1
Suda Çözünmeme	Max.	%0,2
Alkalileşmiş Suda Çözünürlük	Max.	%0,3
Sülfat (SO₄)	Max.	%0,2
Ph	Max.	%8,5-9
Demir	Max.	%4-6 mg/kg
Tane Oranı 0-3 mm		%95
Tane Oranı 4-5 mm		%5

Numuneler 28 gün laboratuvar şartlarında ve havada kürlendikten sonra 50 gr Cl⁻/litre su oranına sahip sodyum klorür (NaCl) çözeltisine konulmuştur. Bunun için 1litre suya 82,40 gr NaCl (sanayi tuzu) katılarak çözelti hazırlanmıştır.

6.3 Basma Dayanımı Deneyi

Eloksal çamuru katkılı E₂, E₃, E₄, E₅, E₆ küp numuneleri ile katkısız şahit numune olan OPÇ küp numunelerinin basınç dayanımları İston A.Ş. ar-ge laboratuvarında Dinç Makine beton pres makinesi ile TS EN 206-1 / NİSAN 2002' ye göre Şekil 6.2' deki gibi küp ölçülmüştür. 28. gün sonunda basma dayanımı en yüksek olan numune bu deney için optimum numune olarak seçilmiştir.



Şekil 6. 2 Beton pres makinesi

6.4 Aderans Dayanım Deneyi

Betonarmenin, betonla çeliğin beraber çalıştığı bir malzeme olduğu bilinmektedir. Beraber çalışma özelliğinin ancak çeliğin beton içerisinde kaymaması halinde mümkün olacağı açıktır. Kaymanın olmaması için de iki malzeme arasında bir bağ kuvveti meydana gelebilmeli ve bu kuvvet kalıcı olmalıdır. Deneylerle varlığı kanıtlanan bu bağ kuvvetine aderans denir[27].

%2, %3, %4, %5 ve %6 Eloksal çamuru katkılı olmak üzere üçer adet ve kontrol (müşahit) olmak üzere 3 adet numunenin aderans dayanımları ölçülmüştür.

Aderans gerilmesinin hesaplanmasında;

$$\tau = \frac{\text{Aderans Kuvveti}}{\pi \times \phi \times l} \quad (6.1)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Bu formülde;

τ = Aderans gerilmesi

ϕ =Donatı çapı

l = Aderans boyu (Betona gömülü donatı uzunluğu)[28].

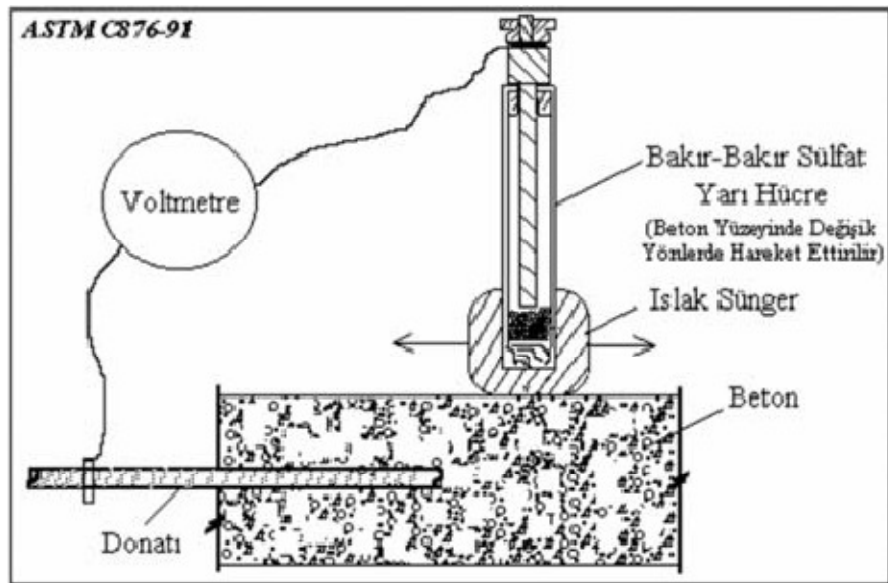
(Donatı çapı 10 mm ve donatının toplam uzunluğu 200 mm ve donatının beton içinde kalan uzunluğu 110 mm' dır).

6.5 Korozyon Deneyleri

Korozyon hasarının tespitinde yapının korozyona uğrama ihtimalinin çok arttığı aktif bölgelerin gösterildiği potansiyel haritalarından çok sık yararlanır. Bu deney metodunda donatı çeliğinin korozyon aktivitesini belirlemek amacıyla yerinde veya laboratuarda donatının elektriksel yarı hücre potansiyeli ölçülür.

Donatı korozyonunun saptanabilmesi için iki ayrı korozyon ölçüm tekniği kullanılmıştır. Bunlar; korozyon yarı hücre potansiyeli (mV) ölçümü ve korozyon akım yoğunluğu ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) ölçümleridir. Korozyon ölçüm deneylerinde %2, %3, %4, %5 ve %6 eloksal çamuru içeren lolipop numunelerin her birinden 3 adet ve bunların müşahiti olarak da 3 adet kontrol (K_1 , K_2 ve K_3) numuneleri kullanılmıştır.

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 30 günde bir ölçülmüştür. Ölçümlerde "Fluke 45 Dual Display Multimeter" cihazı kullanılmıştır. Ölçümler Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda Şekil 6.3' deki gibi yapılmıştır.



Şekil 6. 3 Bakır-Bakır Sülfat Yarı Hücre Devresi[26]

Korozyon akım yoğunluğu ölçümleri, Şekil 6.4' de görülen Gecor 8 korozyon hızı ölçüm cihazı ile 90 gün boyunca 30 günde bir ölçülmüştür. Ölçümler İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yapılmıştır.



Şekil 6. 4 Gecor 8 korozyon hızı ölçüm cihazı

6.6 Mikro Yapı İncelemeleri

Eloksal çamuru katkılı betonarme numunelerin 90 günlük hızlandırılmış korozyon şartlarına maruz bırakıldıktan sonra mikro yapı incelemeleri için numuneler hazırlanmıştır. Betonarme numuneler kesme sıvısıyla kesilmiştir. 180°C de bakalite alınmıştır ve sonra aşağıda belirtilen sıralama ile zımparalanmıştır ve polisaj yapılmıştır.

1. 125 mikron elmas diskle zımpara (SU) ---300 dev/dk. 35 N yük 300 sn.
2. 75 mikron elmas diskle zımpara (SU) ---300 dev/dk. 35 N yük 300 sn.
3. 15 mikron elmas diskle zımpara (SU) ---300 dev/dk. 35 N yük 300 sn.
4. 3 mikron mono kristalin elmas süspansiyon ile polisaj ----300 dev/dk. 35 N yük 600 sn.

Zımparalama ve polisaj işlemlerinden sonra numunelere %3'lük Nital ile dağlama yapılmıştır. Sadece birkaç numune ise hem dağlamalı hem de dağlama yapılmadan Olympus optik mikroskopuyla 200 büyütmede fotoğraflanmıştır ve incelenmiştir.

DENEYLERİN SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRMELER

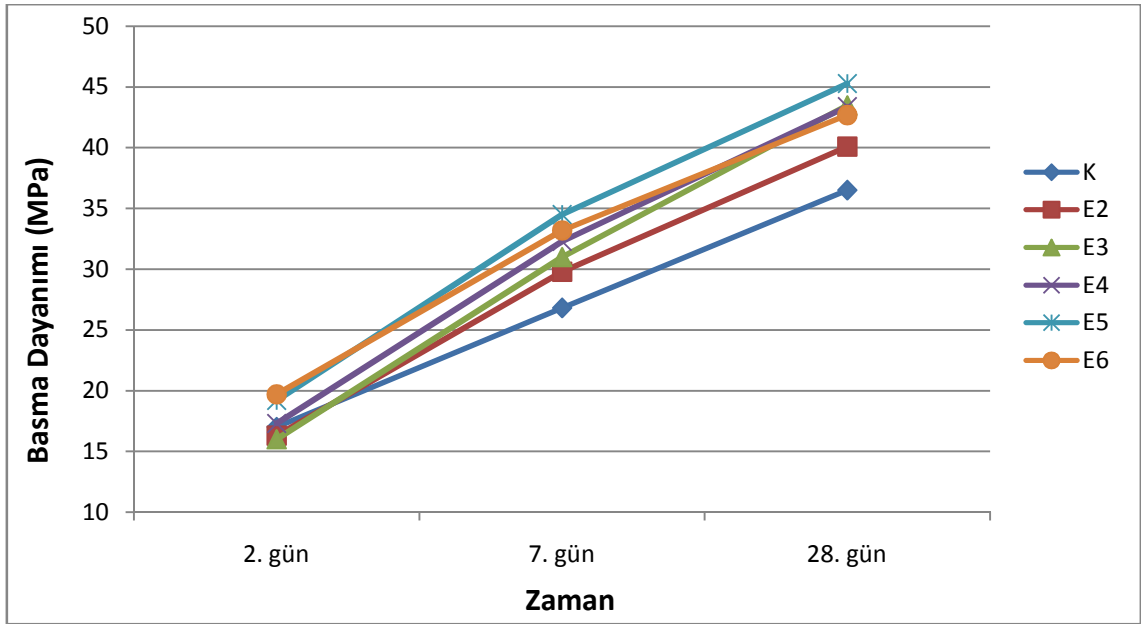
Deneysel çalışmaların sonuçları ve kaydedilen değerler birbirleriyle ilişkili olarak değerlendirilmiş ve yorumlanmışlardır.

7.1 Basma Dayanım Deneyi Sonuçları

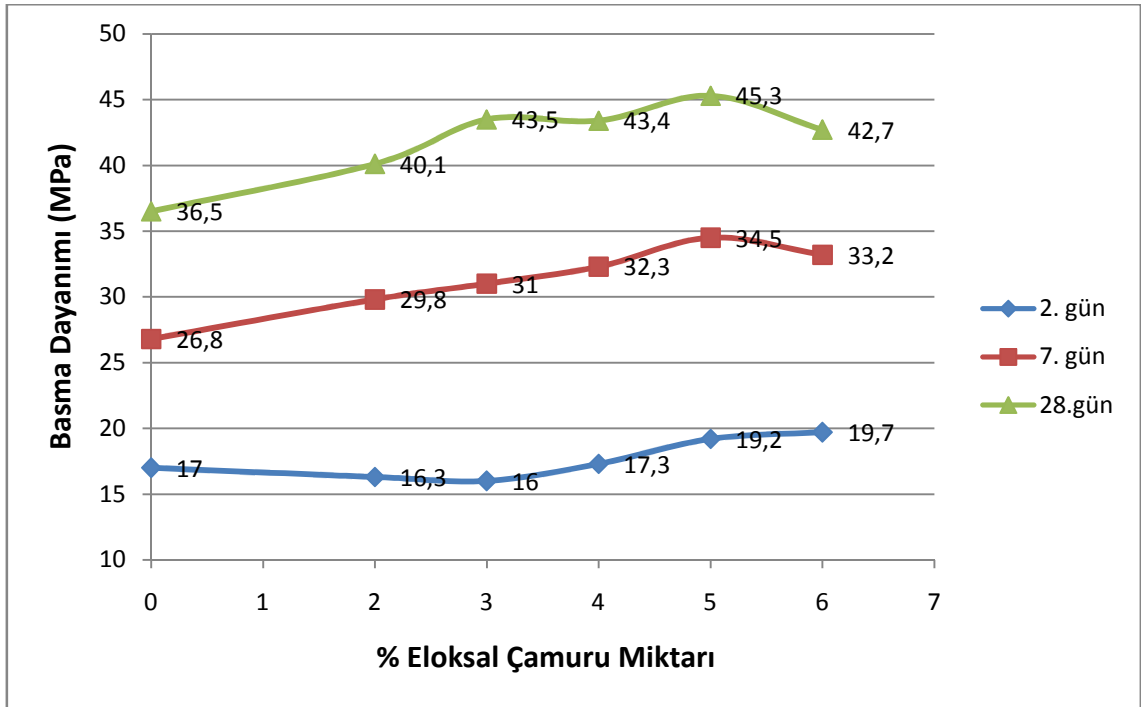
Numunelerin her biri için 2gün, 7gün ve 28günlük laboratuvar ortamındaki hava kürleri sonrasında basma dayanımları ölçülmüş ve Çizelge 7.1’ de numunelerin basma dayanım değerleri verilmiştir. Aynı zamanda bu değerler Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3’ deki grafikler üzerinde de görülmektedir.

Çizelge 7. 1 OPÇ ile eloksal çamuru katkılı numunelerin basınç dayanımları

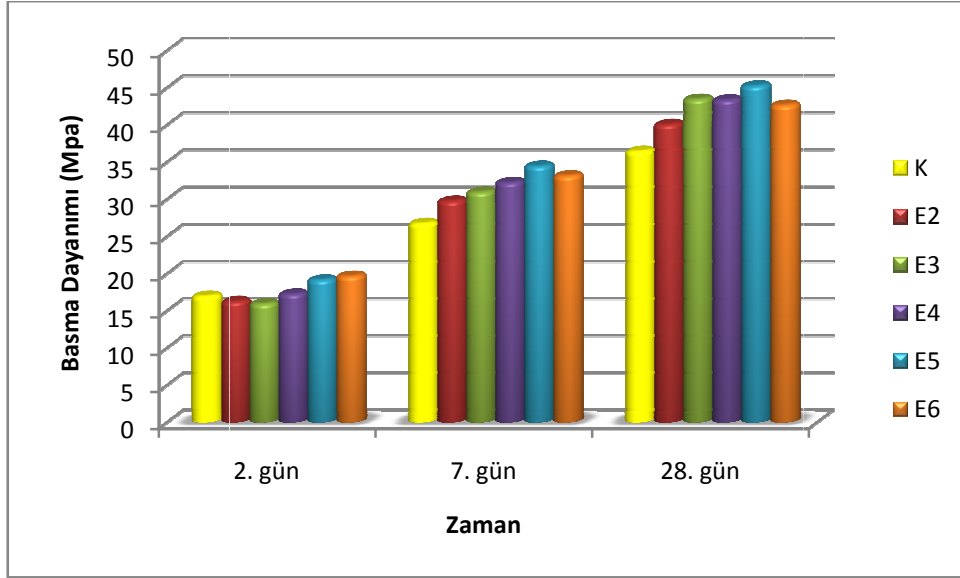
Numune Adı	Basma Dayanımı (MPa)		
	2. gün	7. gün	28. gün
OPÇ	17,0	26,8	38,5
E ₂	16,3	29,8	40,1
E ₃	16,0	31,0	43,5
E ₄	17,3	32,3	43,4
E ₅	19,2	34,5	45,3
E ₆	19,7	33,2	42,7



Şekil 7. 1 OPÇ ve eloksal çamuru katkılı betonların zamana bağlı basma dayanımları



Şekil 7. 2 Betonarme numunelerin eloksal çamuru miktarına göre basma dayanımlarındaki değişim.



Şekil 7. 3 Katkısız ve eloksal çamuru katkılı numunelerin basınç dayanımları

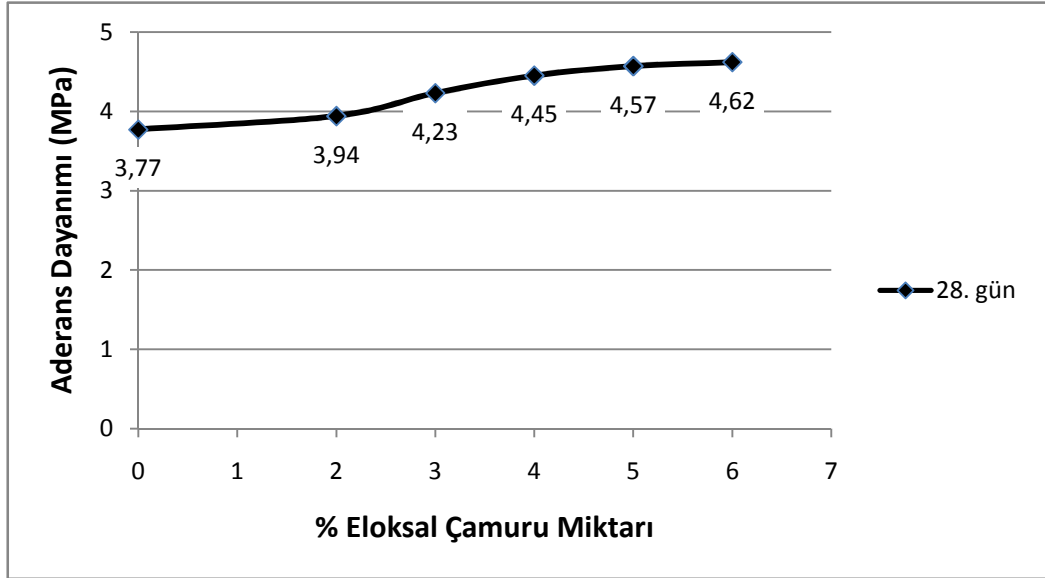
Portland çimentosu – eloksal çamuru karışımlarının basınç dayanımlarının hidrasyon mekanizması ilerledikçe arttığı görülmektedir. 2. gün hariç tüm periyotlarda E₅ karışımı en yüksek değerleri vermiştir. E₆ karışımı ise 2. günde E₅'ten çok fazla olmamak kaydıyla biraz daha yüksek dayanım vermiştir. Standartlarda çoğunlukla 28 günlük dayanımlar dikkate alındığından %95 OPÇ + %5 eloksal çamuru (E₅) karışımını basma dayanımı için "optimum karışım" olarak nitelendirmek mümkündür.

7.2 Aderans Dayanım Deneyi Sonuçları

Eloksal çamuru katkılı (E₂, E₃, E₄, E₅ ve E₆) olmak üzere her birinden 3 adet ve kontrol (K-müşahit) olmak üzere 3 adet numunenin aderans dayanımları ölçülmüştür.

Çizelge 7.2 Eloksal çamuru katkılı ve katkısız numunelerin aderans dayanımları

Numune Adı	Ortalama Aderans Kuvveti (kg)	Aderans Dayanımı (Mpa)
E ₂	1390	3,94
E ₃	1490	4,23
E ₄	1570	4,45
E ₅	1610	4,57
E ₆	1630	4,62
K	1330	3,77



Şekil 7. 4 Eloksal çamuru miktarının aderans dayanımı üzerindeki etkisi

Eloksal çamuru katkılı numunelerin ortalama aderans kuvvetleri ve kontrol numunelerin ortalama aderans kuvvetleri kg olarak ölçülmüştür. (6.1) eşitliğine göre hesaplanan aderans dayanımları Çizelge 7. 2 ve Şekil 7. 4' de görülmektedir.

Eloksal çamuru katkılı betonarme numunelerin aderans dayanımlarının kontrol numunesine oranla daha iyi değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Beton içerisindeki eloksal çamuru miktarı %2 den %6 ya doğru arttıkça aderans dayanımının da arttığı Şekil 7. 4' de görülmektedir. Bunun nedeni, eloksal çamurunun beton içerisindeki boşlukları doldurması ile açıklanabilir. Bu sayede, beton ile donatının temas ettiği yüzey alanı artmakta ve betonun, donatıya daha iyi yapıştığı görülmektedir.

E₅ numunesinin aderans dayanımı 4,57 MPa, E₆ numunesinin aderans dayanımı 4,62 MPa olarak hesaplanmıştır. %5 ve %6 eloksal çamuru katkılı bu numunelerin aderans dayanımlarının birbirlerine çok yakın olduğu Şekil 7. 4' de de görülmektedir. %5 - %6 eloksal çamuru katkılı numunelerin katkısız kontrol numunesine göre aderans dayanımındaki artış yaklaşık olarak %20' dir ve bu değer basma dayanımındaki artışla da örtüşmektedir. Basma ve aderans dayanımı deneylerine göre, beton içerisine %5-6 oranında katılan eloksal çamuru betonun basma ve aderans gibi mukavemet özelliklerini iyileştirerek betona dayanım kazandırdığı ortadadır.

7.3 Korozyon Deneyi Sonuçları

Korozyon deneylerinin sonuçlarını korozyon potansiyeli değerlerinin sonuçları ve korozyon akım yoğunluğu değerlerinin sonuçları olarak iki alt başlık altında irdelenmiştir.

7.3.1 Korozyon Potansiyeli Değerlerinin Sonuçları

Çimento katkı malzemesi olarak kullanılan eloksal çamuru, çimento ikame miktarının %2, %3, %4, %5 ve %6'sı oranında beton dökümü esnasında harca katılmıştır. Daha sonra dökülmüş olan lolipop (donatılı betonarme) numunelerin 28 günlük kür süresinin tamamlanması beklenmiştir. Kür süresi tamamlandıktan sonra numuneler 50 gr Cl/1 litre su içeren NaCl çözeltisine daldırılmıştır. Betonarme numunelerin, NaCl içeren çözeltiye daldırıldıkları günden başlanarak 90 gün süresince düzenli olarak yarı hücre potansiyel değerleri mV olarak ölçülmüştür. En az üçer numunenin ölçülen yarı hücre potansiyel değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Eloksal çamuru katkılı donatılı lolipop numunelerin 28 günlük laboratuar koşullarında hava kürü sonrası ölçülen yarı hücre potansiyel değerleri ve onların müşahiti olarak üretilen kontrol numunelerin 28 günlük laboratuar koşullarında hava kürü sonrası ölçülen korozyon yarı hücre potansiyel değerleri de ölçülmüştür.

Numuneler 28 günlük laboratuar koşullarında hava kürü sonrasında NaCl (Sodyum klorür) çözeltisi içeren banyolara alınmış ve 90. gün son olmak üzere her 30 günde bir yarı hücre potansiyel değerleri ölçülüp, her üç numune için tek bir ortalama değer hesaplanmıştır ve bu değerlerin tamamı Çizelge 7. 3' de verilmektedir.

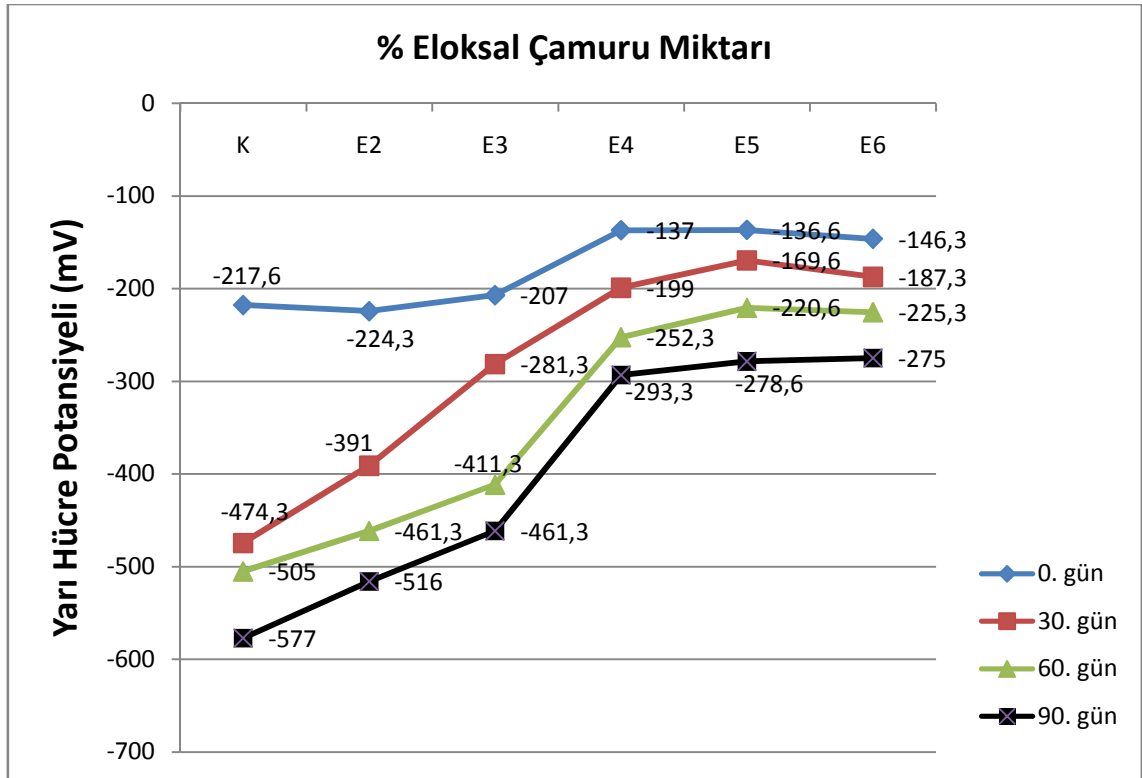
Çizelge 7. 3 Eloksal çamuru katkılı donatılı numunelerin yarı hücre potansiyel değerleri

Numune Adı	28 günlük hava kürü (mV)	NaCl Çözeltisi İçerisinde (mV)		
		30. gün	60. gün	90. gün
E ₂₁	-225	-401	-479	-512
E ₂₂	-237	-392	-460	-539
E ₂₃	-211	-380	-445	-497
E_{2-ort}	-224,3	-391,0	-461,3	-516,0
E ₃₁	-220	-379	-392	-467
E ₃₂	-203	-280	-430	-485
E ₃₃	-198	-285	-412	-432
E_{3-ort}	-207,0	-281,3	-411,3	-461,3
E ₄₁	-159	-230	-246	-298
E ₄₂	-112	-197	-244	-312
E ₄₃	-140	-170	-267	-270
E_{4-ort}	-137,0	-199,0	-252,3	-293,3
E ₅₁	-142	-206	-219	-290
E ₅₂	-132	-135	-241	-261
E ₅₃	-136	-168	-202	-285
E_{5-ort}	-136,6	-169,6	-220,6	-278,6
E ₆₁	-144	-198	-220	-300
E ₆₂	-157	-201	-245	-273
E ₆₃	-138	-163	-211	-255
E_{6-ort}	-146,3	-187,3	-225,3	-275,0
K ₁	-252	-490	-512	-586
K ₂	-186	-471	-500	-602
K ₃	-215	-462	-503	-543
K_{ort}	-217,6	-474,3	-505,0	-577,0

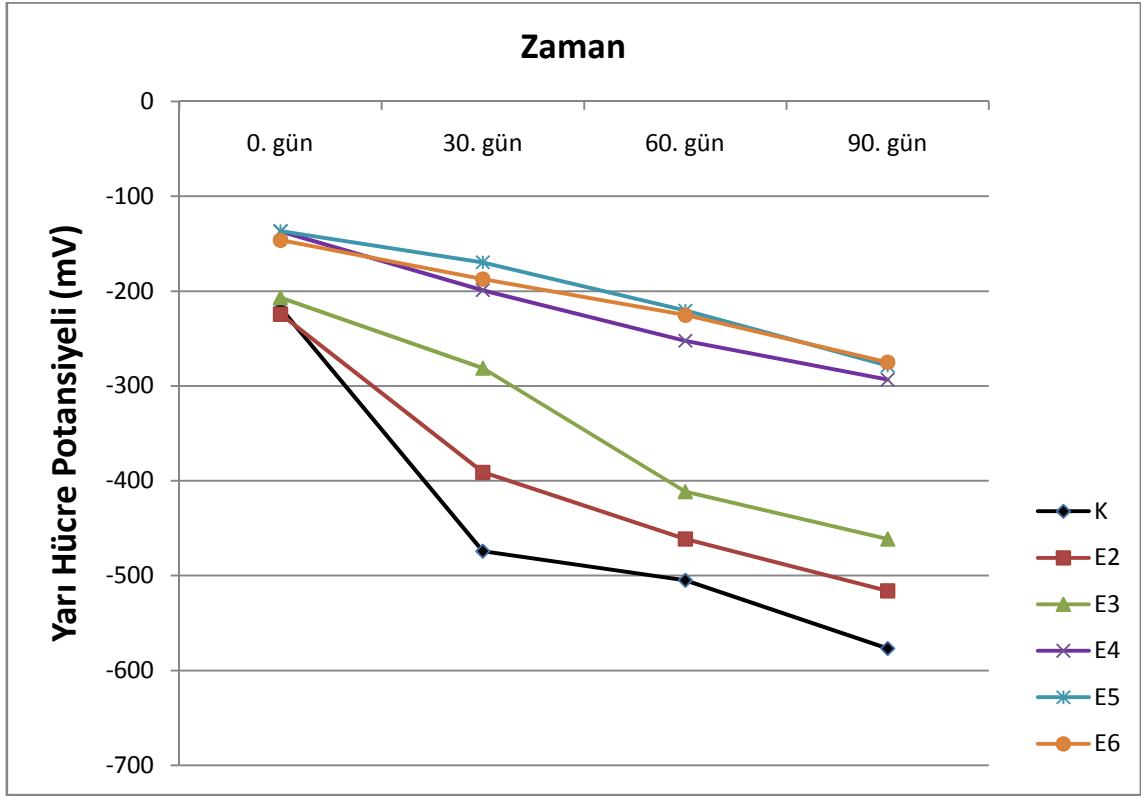
Numunelerin hepsinin tuzlu su çözeltisine konulduktan sonra yarı hücre potansiyel değerlerinin gün geçtikçe arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin E₆ numunesinin 0. günde ölçülen yarı hücre potansiyel değerleri ortalamaları -146,3 mV olarak ölçülmüş, tuzlu suda 90 gün bekletildikten sonra ise bu değer -275,0 mV' a düştüğü saptanmıştır. Numunelerin yarı hücre potansiyellerindeki bu düşüşün sebebi, gün geçtikçe klor iyonlarının beton içerisine doğru difüzyonu sunucunda beton içerisinde Cl⁻ iyonlarının

konsantrasyonunun artmasıdır. Bu sayede donatının korozyona uğraması kolaylaşmış ve yarı hücre potansiyel değerleri düşmüştür.

Eloksal çamuru katkıli numunelerde beton içerisindeki eloksal çamurunun ilave oranı arttıkça korozyon akım yoğunluğu alt sınırlarda seyretmiş ve en iyi sonuç E₅ ve E₆ numunelerinde elde edilmiştir. %5 ve %6 eloksal çamuru içeren bu numunelerde 90. Gün sonunda yarı hücre potansiyel değerleri sırasıyla -278,3 mV ve -275,0 mV olarak ölçülmüştür ve kontrol numunesine göre bu değerler daha iyi seviyede seyretmektedir. Eloksal çamuru katkıli betonarme numunelerle aynı zamanda dökülen, kürlenene ve NaCl çözeltisine daldırılan kontrol (müşahit) numunelerinin de çözeltiye daldırıldıkları günden başlanarak 90 gün süresince düzenli olarak yarı hücre potansiyel değerleri 0. günde -217,6 mV olarak belirlenmiştir. Kontrol numunelerinin 30. günde ölçülen yarı hücre korozyon potansiyel değer ortalamaları -474,3 mV olarak ve 60. günde ölçülen yarı hücre korozyon potansiyel değer ortalamaları -505,0 mV olarak belirlenmiştir. Yine aynı grup kontrol numunelerinin 90. günde ölçülen yarı hücre potansiyel değerleri ortalaması -577,0 mV olarak saptanmıştır. Şekil 7.5 ve Şekil 7.6' de ölçülen potansiyel değeri ortalamaları grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 7. 5 Eloksal çamuru katkıli ve katkısız numunelerin eloksal çamuru miktarına bağlı yarı hücre potansiyeli değişimleri



Şekil 7. 6 Eloksal çamuru katkılı ve katkısız numunelerin zamana bağlı yarı hücre potansiyeli değişimleri

Eloksal çamuru katkılı betonarme numunelerin 90. günün sonunda ölçülen yarı hücre potansiyel değerleri ortalamalarına bakıldığında E₅ ve E₆ numunelerinin potansiyel değerleri sırasıyla -278,6 mV ve -275 mV olarak ölçülmüş ve Çizelge 7.4' e göre donatılarda korozyonun henüz başlangıcını gösteren bölgede kalmaktadır. Eloksal çamuru katkılı numunelerin tamamı 90. Gün sonunda katkısız kontrol numunesine nazaran Cl⁻ iyonlarından daha az etkilenmişlerdir. Beton içerisindeki eloksal çamuru miktarındaki artış, donatının korozyona uğramasını engelleyici yönde olumlu etkiler yapmıştır.

Betona katılan eloksal çamuru esaslı katkının çok küçük partikül boyutunun beton boşluklarını doldurmasını ve içeri su ve klor gibi agresif iyonların ve oksijenin girişini azaltıcı yönde etki yapmasını sağlar. Daha önemlisi de eloksal çamurunun Cl⁻ iyonlarını bağlayıcı özelliğe sahip olduğu da söylemek mümkündür. Eloksal çamuru bünyesinde bulunan alümina sayesinde beton içerisinde daha fazla Friedel Tuzu oluşmuş ve klor iyonları oluşan bu yapı içerisinde hapsolarak donatıya vereceği zarar önlenmiştir. Bu

şekilde de betona yapılan eloksallı çamuru katkı çelik donatı yüzeyinde korozyonun oluşumunu geciktirici ya da engelleyici vazife gördüğü görülmektedir.

Çizelge 7. 4 ASTM C 876'ya göre potansiyel kriterleri[30]

Yarı-hücre potansiyel değerleri (mV)	Korozyon Olasılığı
$E < -350$	%90 güvenirlikle donatının korozyona uğrama olasılığı vardır
$-350 < E < -200$	Belirsizlik vardır, kesin bir şey söylenemez
$-200 < E$	%90 güvenirlikle korozyon yoktur

Yarı hücre potansiyel değeri önceden de belirtildiği gibi sadece donatıdan çözünen iyon konsantrasyonuna bağlı olmayıp pek çok faktörden de etkilenmektedir. Donatı çevresindeki oksijen eksikliğinin de potansiyel değerlerini negatif yöne kaydıracağına inanılır. Ancak bunun yanında eloksallı çamuru beton içerisinde homojen bir şekilde dağılmamış da olabilir bu sebeple paslanma çelik yüzeyinde her yerde aynı oranda olmayacaktır. Böylelikle yüzeyde paslanmanın artıp-azaldığı bölgeler oluşur. Bu etkenlerin ön plana çıkması sebebi ile beton katkı malzemesinin etkinliğini ve korozyon durumunu kesin olarak değerlendirmek için ayrıca korozyon akım ölçümleri ve mikro yapı incelemeleri de gerçekleştirilmiştir.

7.3.2 Korozyon Akım Yoğunluğu Değerlerinin Sonuçları

Eloksallı çamuru katkı maddeli betonarme numuneler döküldükten ve 28 günlük kür süresi tamamlandıktan sonra numuneler 50 gr Cl/1 litre su içeren NaCl çözeltisine daldırılmıştır. Betonarme numunelerin, daha önce ölçülen yarı hücre potansiyel değerleri ile karşılaştırma yapmak amacı ile NaCl içeren çözeltiye daldırıldıkları günden başlanarak düzenli olarak korozyon akım değerleri $\mu A/cm^2$ olarak ölçülmüştür.

Çimento ağırlığınca %2, %3, %4, %5 ve %6 oranında eloksallı çamuru katkılı donatılı lolipop numunelerin 28 günlük laboratuvar koşullarında hava kürü sonrası ölçülen korozyon akım değerleri ve müşahit olarak hazırlanan numunelerin 28 günlük

laboratuar koşullarında hava kürü sonrası ölçülen korozyon akım değerleri $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak tespit edilmiştir. Numuneler 28 günlük laboratuar koşullarında hava kürü sonrasında NaCl (Sodyum klorür) çözeltisi içeren banyolara alınmış ve 90. Gün son olmak üzere her 30 günde bir korozyon akım yoğunluğu değerleri ölçülmüş, her üç numune için tek bir ortalama değer hesaplanmıştır ve bu değerlerin tamamı Çizelge 7. 5' de verilmektedir.

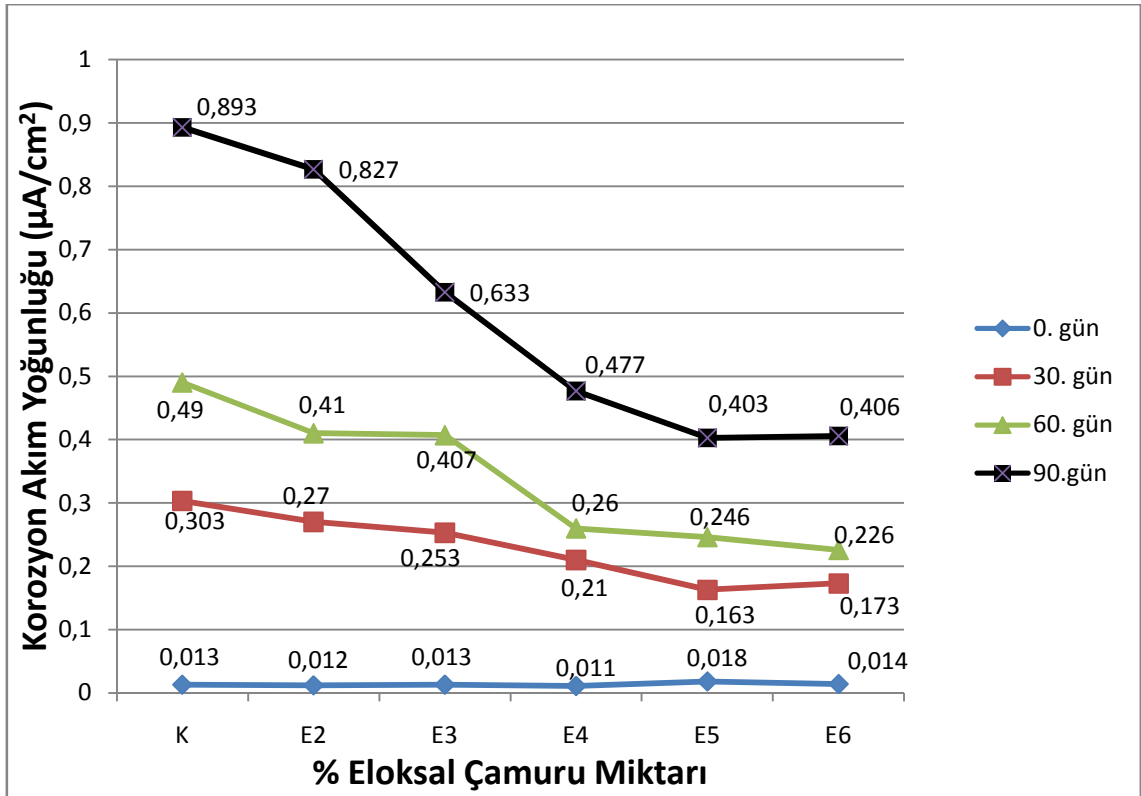
Çizelge 7. 5 Eloksal çamuru katkılı donatılı numunelerin korozyon akım yoğunluğu değerleri

Numune Adı	28 günlük hava kürü ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	NaCl Çözeltisi İçerisinde ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)		
		30. gün	60. gün	90. gün
E ₂₁	0,009	0,34	0,45	0,76
E ₂₂	0,012	0,19	0,41	0,88
E ₂₃	0,014	0,28	0,37	0,84
E_{2-ort}	0,012	0,270	0,410	0,827
E ₃₁	0,014	0,23	0,34	0,49
E ₃₂	0,011	0,28	0,40	0,76
E ₃₃	0,015	0,25	0,48	0,65
E_{3-ort}	0,013	0,253	0,407	0,633
E ₄₁	0,008	0,20	0,23	0,54
E ₄₂	0,011	0,24	0,30	0,43
E ₄₃	0,013	0,19	0,25	0,46
E_{4-ort}	0,011	0,210	0,260	0,477
E ₅₁	0,010	0,15	0,25	0,47
E ₅₂	0,015	0,17	0,29	0,33
E ₅₃	0,028	0,16	0,20	0,41
E_{5-ort}	0,018	0,163	0,246	0,403
E ₆₁	0,009	0,20	0,23	0,49
E ₆₂	0,017	0,18	0,21	0,29
E ₆₃	0,016	0,14	0,24	0,44
E_{6-ort}	0,014	0,173	0,226	0,406
K ₁	0,014	0,27	0,45	0,92
K ₂	0,015	0,35	0,49	0,95
K ₃	0,011	0,29	0,53	0,81
K_{ort}	0,013	0,303	0,490	0,893

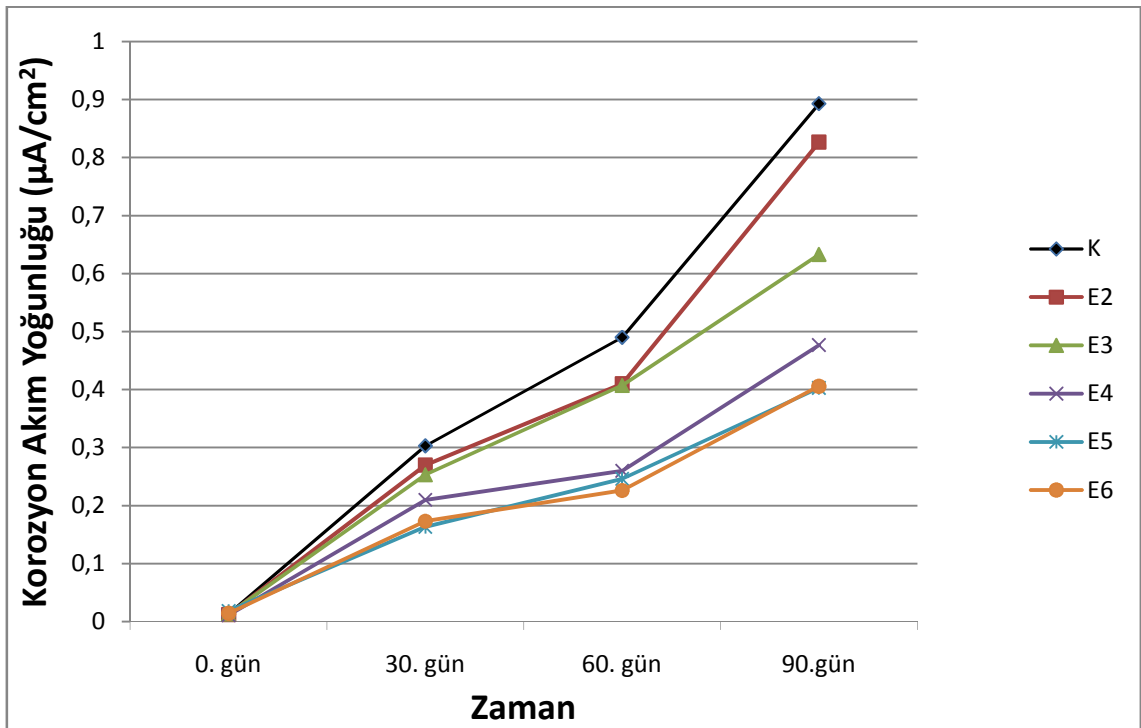
Numunelerin hepsinin tuzlu su çözeltisine konulduktan sonra korozyon akım değerlerinde gün geçtikçe arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin E₅ numunesinin 0. günde ölçülen korozyon akım değerleri ortalamaları 0,018 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak ölçülmüş, tuzlu suda 90 gün bekletildikten sonra ise bu değer 0,403 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 'ye çıktığı saptanmıştır. Numunelerin korozyon akım yoğunluğundaki bu artışın sebebi, gün geçtikçe klor iyonlarının beton içerisine doğru difüzyonu sunucunda beton içerisinde Cl⁻ iyonlarının konsantrasyonunun artmasıdır. Bu sayede donatının korozyona uğraması kolaylaşmış ve korozyon akım değerleri yüksek çıkmıştır.

Eloksal çamuru katkılı numunelerde beton içerisindeki eloksal çamurunun ilave oranı arttıkça korozyon akım yoğunluğu alt sınırlarda seyretmiş ve en iyi sonuç E₅ ve E₆ numunelerinde elde edilmiştir. %5 ve %6 eloksal çamuru içeren bu numunelerde 90. Gün sonunda korozyon akım yoğunluğu değerleri sırasıyla 0, 403 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ve 0,406 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak ölçülmüştür ve kontrol numunesine göre bu değerler yaklaşık olarak yarı yarıyadır.

Eloksal çamuru katkılı betonarme numunelerle aynı zamanda dökülen, kürlen ve NaCl çözeltisine daldırılan kontrol (müşahit) numunelerinin de çözeltiye daldırıldıkları günden başlanarak 90 gün süresince düzenli olarak korozyon akım değerleri ölçülmüştür. En az üçer adet kontrol numunesinin ölçülen korozyon akım değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Kontrol numunelerinin çözeltiye daldırılmadan hemen önce yani 0. günde ölçülen korozyon akım değerleri ortalamaları 0,013 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak belirlenmiştir. Kontrol numunelerinin 30. günde ölçülen korozyon akım değerleri ortalamaları 0,303 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak ve 60. günde ölçülen korozyon akım değerleri ortalamaları 0,490 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak belirlenmiştir. Yine aynı grup kontrol numunelerinin 90. gün ölçülen korozyon akım değerleri ortalamaları 0,893 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak saptanmıştır. Şekil 7.7 ve Şekil 7.8' de tüm numunelerin ölçülen korozyon akım yoğunluğu değeri ortalamaları grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 7. 7 Eloxal çamuru katkı ve katkısız numunelerin eloksal çamuru miktarına bağlı korozyon akım yoğunluğu değişimleri



Şekil 7. 8 Eloxal çamuru katkı ve katkısız numunelerin zamana bağlı korozyon akım yoğunluğu değişimleri

%5 ve %6 eloksal çamuru katkılı betonarme numunelerin 90. günün sonunda ölçülen 0,403 ve 0,406 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ lik korozyon akım değerlerine göre Çizelge 7.6' e bakıldığında, bu değerler donatılı betonarme yapılarda düşük korozyon varlığını gösteren bölgede kalmaktadır.

Çizelge 7. 6 Korozyon akım yoğunluğu değerlerinin sınıflandırılması[31]

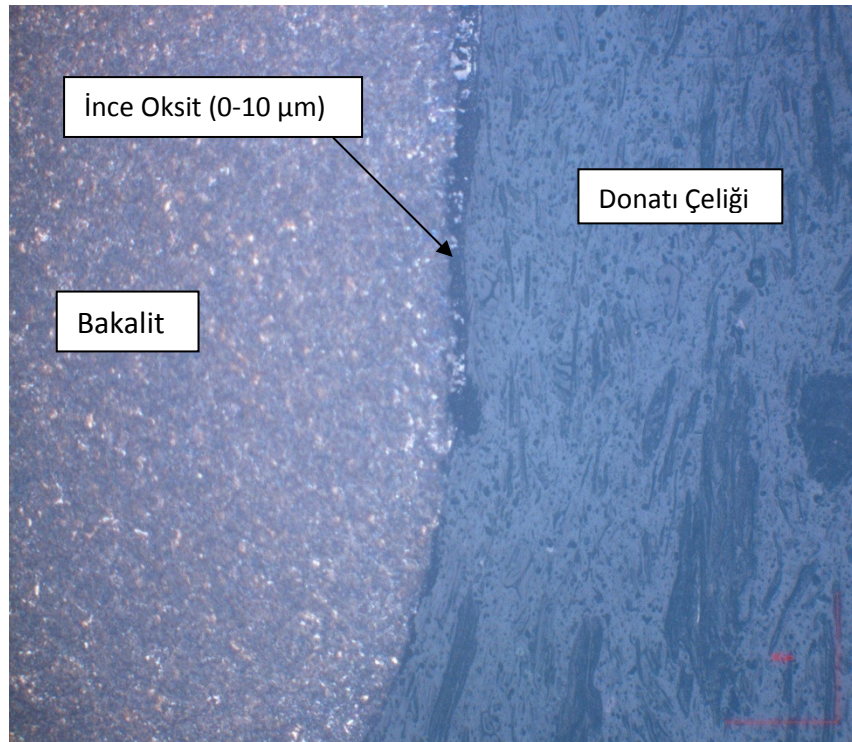
Korozyon akım yoğunluğu, I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Korozyon seviyesi
< 0,1	İhmal edilebilir
0,1 – 0,5	Düşük
0,5 – 1	Orta
> 1	Yüksek

Bunun nedeni yarı hücre potansiyel ölçüm değerleri yorumlarında da belirtildiği gibi eloksal çamuru beton harcına homojen bir şekilde karışmamış olması olabilir. Eloksal çamuru içerisinde az miktarda bulunan demir oksitler de katalitik etki yaparak düşük miktarlarda da olsa çeliğin farklı bölgelerde farklı oranlarda korozyona uğramasına neden olmuş olabilir. Ancak eloksal çamuru çok ince partiküllere sahip olduğundan betonun yoğunluğunu arttırarak ve beton gözenekleri arasındaki bağlantıları süreksizleştirerek dışarıdan suyun ve klor gibi bazı zararlı iyonların girişini zayıflatmaktadır. Daha da önemlisi, Al_2O_3 'nın CaO ile beraber çimentoya sağladığı olumlu bir etki Cl^- iyonlarını bağlama yeteneğine sahip olmasıdır. $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, Cl iyonları ile reaksiyona girerek Friedel Tuzu'nu ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) oluşturmuştur ve donatıyı zarara uğratacak Cl^- iyonlarının konsantrasyonu azalmıştır. Bu sayede de dış ortam kaynaklı korozyon oluşumunu uzun süre geciktirmekte ve engellemektedir. Ancak yapılan pek çok literatür araştırmasına göre 0,3 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ lik korozyon akım değerinin altındaki donatılar betonun dayanıklılığı açısından risk oluşturmamaktadır. Buna göre %5 ve %6 eloksal çamuru katkılı betonarme numunelerin 90. günün sonunda ölçülen 0,403 ve 0,406 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ lik korozyon akım değerleri hemen hemen betonlarda dayanıklılık için gerekli olan akım yoğunluğu sınır değerine kontrol

numunelerine oranla yakındır. Bu nedenle %5-6'lık eloksal çamuru katkılı betonarmelerde 90 günlük agresif şartlara maruz kalınmasında bile betonarmenin dayanıklılığı açısından bir tehlike olmadığı kabul edilebilir. Netice olarak eloksal çamuru katkısının beton donatı çeliğini agresif klor iyonlarına ve oksijene karşı koruduğunu ve kontrol numuneleri ile karşılaştırma yapıldığında etkinliğinin oldukça belirgin olduğu ve önlemsiz kontrol numunelerine göre daha uzun süre betonarme yapıyı korozyondan koruyabileceğini göstermektedir. Çünkü kontrol numunelerinde 30. günde ölçülen korozyon akım değerleri bu numunelerde korozyonun oluştuğunu göstermektedir ve kontrol numuneleri için 90. günün sonunda elde edilen $0,893 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ lik korozyon akım değerleri ortalaması orta şiddette korozyon bölgesine girmektedir.

7.4 Mikroyapı İncelemesi

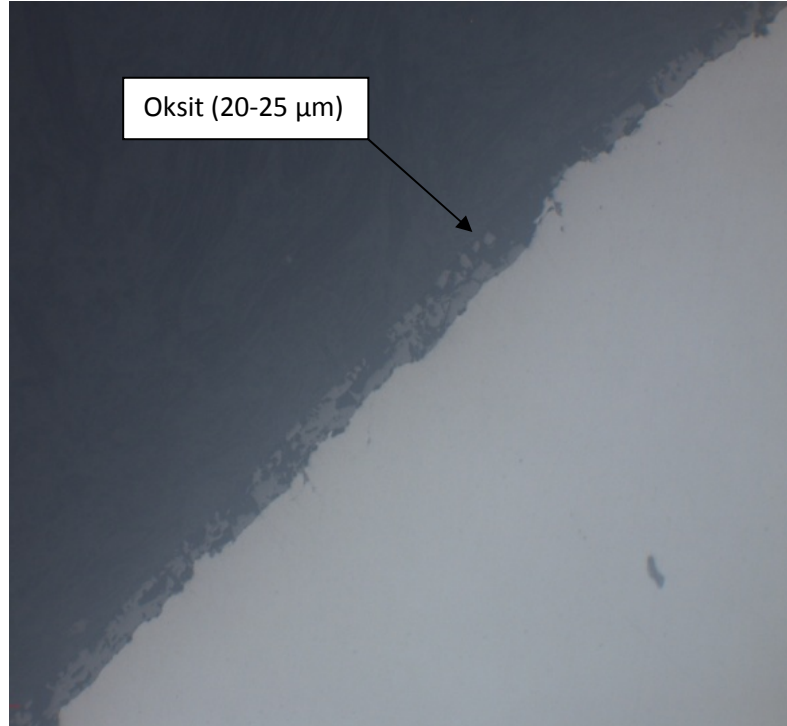
%5 eloksal çamuru katkılı betonarme numunelerin (E_5) 90 günlük hızlandırılmış korozyon şartlarına maruz bırakıldıktan sonra mikro yapı incelenmiş ve Şekil 7.9, Şekil 7.10 ve Şekil 7.11 de görüldüğü gibi fotoğraflanmıştır.



Şekil 7. 9 %5 Eloksal çamuru katkılı numunenin optik mikroskop görüntüsü (X200 ve dağlanmış)



Şekil 7. 10 Katkısız kontrol numunesinin (müşahit) optik mikroskop görüntüsü (X200 ve dağlanmış)



Şekil 7. 11 Katkısız kontrol numunesinin (müşahit) optik mikroskop görüntüsü (X200 ve dağlanmamış)

%5 eloksal çamuru katkılı betonarme numunelerin 90 Günlük hızlandırılmış korozyon şartlarına maruz bırakıldıktan sonra yapılan mikro yapı incelemelerinde çelik üzerinde ince 05-10 µm arası oksit tabakasına rastlanmıştır. Bu sonuç, eloksal çamuru katkılı numuneler için Gecor 8 korozyon hızı ölçüm cihazı ile 90. gün ölçülen 0,403 µA/cm²'lik ve donatılarda düşük korozyon varlığını gösteren korozyon akımı ölçüm değerlerini de doğrulamaktadır. Bunun nedeni eloksal çamuru beton içerisinde homojen bir şekilde dağılmamış olabilir ve donatıya temas eden eloksal çamuru donatının her yerinde eşit miktarda olmayabilir. Bu sebeple paslanma çelik yüzeyinde her yerde aynı oranda olmayacaktır. Böylelikle yüzeyde paslanmanın artıp-azaldığı bölgeler oluşur ve eloksal çamuru içerisinde az miktarda bulunan yüksek değerli demir oksitler ve klorürleri çeliğe temas ettikleri bölgelerde kısmen korozyona sebep olmuş olabilirler. Fakat kontrol numuneleri için yapılan mikro yapı incelemelerinde bu numuneler üzerinde 25-30 µm arası korozyon tabakasına rastlanması eloksal çamuru katkılı betonarme numuneleri beton yapının dış çevresinden gelebilecek agresif klor iyonlarına ve oksijene karşı kontrol numunelerine göre oldukça iyi bir şekilde koruduğunu ve kontrol numuneleri ile karşılaştırma yapıldığında etkinliğinin belirgin olduğunu bariz bir şekilde görülmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Portland çimentosu ikame oranına ağırlıkça %2 den %6'ya kadar değişen oranlarda eloksal çamuru ilave edilerek hazırlanan numunelerin basma dayanımlarının önemli ölçüde (%15-20) arttığı belirlendi. %5 eloksal çamuru içeren betonarme numunelerin 28 gün sonunda 45,3 MPa, katkısız numunenin ise 28 gün sonunda 38,5 Mpa basma mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçları TS EN 206-1 / NİSAN 2002' ye göre uygundur.
- Portland çimentosu ikame oranına ağırlıkça %2 den %6'ya kadar değişen oranlarda eloksal çamuru ilave edilerek hazırlanan numunelerin aderans dayanımlarının önemli ölçüde (%20) arttığı belirlendi. %6 eloksal çamuru içeren betonarme numunelerin 28 gün sonunda 4,62 MPa, katkısız numunenin ise 28 gün sonunda 3,77 MPa aderans dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Test sonuçları TS EN 206-1 / NİSAN 2002' ye göre uygundur.
- Eloksal çamuru içeren tüm karışımların basınç dayanımları ve aderans dayanımları kontrol karışımına oranla tüm periyotlarda oldukça yüksektir. Bu artış eloksal çamurunda bulunan alüminanın hidrogranat fazı oluşturarak dayanımlara katkı sağlaması ile açıklanabilir. Bu durum bize, eloksal çamurunun çimento hidrasyonuna olumlu katkı sağladığını göstermektedir.
- Hızlandırılmış korozyon deneyine tabi tutulan, eloksal çamuru içeren betonarme numunelerin 90 gün sonunda en yüksek korozyon potansiyeli değeri, %6 eloksal çamuru içeren E₆ numunesidir. %5 eloksal çamuru içeren E₅ numunesinin değeri bu değere çok yakındır.

- Hızlandırılmış korozyon deneyine tabi tutulan, eloksal çamuru içeren betonarme numunelerin 90 gün sonundaki en düşük iki korozyon akım yoğunluğu değeri %6 eloksal çamuru içeren E₆ numunesidir. %5 eloksal çamuru içeren E₅ numunesinin değeri bu değere çok yakındır.
- Eloksal çamuru içeren betonarme numunelerin korozyon ölçüm değerleri ASTM C 876-91' uygundur ve %5-6 eloksal çamuru içeren numuneler, kontrol numunelerine göre 90 gün sonunda korozyona karşı yaklaşık olarak 1,5-2 kat daha fazla dayanıklıdır.
- Kontrol numuneleri için yapılan mikro yapı incelemelerinde bu numuneler üzerinde 25-30 µm arası korozyon tabakasına rastlanmasına rağmen eloksal çamuru katkılı betonarme numunelerde bu değer 10-15 µm arasındadır. Eloksal çamurunun betonu, beton yapının dış çevresinden gelebilecek agresif klor iyonlarına ve oksijene karşı kontrol numunelerine göre oldukça iyi bir şekilde koruduğu anlaşılmıştır.
- Betonarme yapı elemanlarının beton malzemesinde mineral katkı olarak eloksal çamuru kullanımıyla, betondan beklenen fiziksel ve mekanik özellikler ile birlikte istenen dayanıklılık sağlanabilir.
- Agresif çevre koşullarına maruz kalacak betonarme sistemlerde, beton karışımlarında mineral katkı olarak eloksal çamuru kullanımı, donatıların korozyon gelişimine karşı ilave bir önlem olarak kullanılabilir.

Yukarıda bahsettiğimiz nedenlerden dolayı, özellikle yüksek dayanım gerektiren kullanım alanlarında eloksal çamuru beton karışımlar için uygun bir katkı maddesi olduğu; ürün birim maliyetinde önemli bir paya sahip olan öğütme, pişirme ve madencilik gibi işlemlere ihtiyaç duyulmadan doğrudan kullanılabileceği sonucuna ulaşıldı. Bu yolla hem eloksal çamurunun sebep olduğu çevre problemleri giderilmiş ve kaynak israfı önlenmiş hem de daha dayanıklı bir yapı malzemesi üretilmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Doğru, B., (2007). “Alüminyum yüzeyindeki oksit tabakasının borik asit sülfürik asit anodizing yöntemiyle geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi ,Çukurova Üni., FBE, Adana.
- [2] Viguri, J., Andreas, A., Ruiz, C., Irabien, A. ve Castro, F., (2001). “Cement-Waste and Clay-Waste derieved products from metal hydroxides wastes”, Environmental Characterization, Institution of Chemical Engineers, Trans IChemE, 79: B.
- [3] Jorge, M., Joa~o Silva, E. ve Fernando P., (2005). “Physical and chemical characterisation of metal finishing industrial wastes”, Journal of Environmental Management 75: 157–166.
- [4] Joel, H., (2006). “Compressive strength and microstructural properties of lightweight high-strength cement mortar reinforced with eloxal”, Materials and Design 27: 657–664.
- [5] Erdem, E., Günay, M.E. ve Donat, R., (2003). “Hydration and mechanical properties of Portland cement containing eloxal waste from aluminium industry”, Journal of Materials Processing Technology 136: 35–38.
- [6] Ulucaklı, T., Alüminyum profil yüzey işlemleri, <http://www.noktametal.com/eloksal.htm>, 21 Aralık 2010.
- [7] Álvarez-Ayuso, E., (2009). “Approaches for the treatment of waste streams of the aluminium anodising industry”, Journal of Hazardous Materials 164: 409–414.
- [8] İşgenç, M. F. ve Kınay E. H., (2005). “Türkiye’de Arıtma Çamurları”, I.Ulusal Arıtma Çamurlar Sempozyumu-AÇS, İzmir, 519-530
- [9] Çelik, Ö., (2004). Uçucu Kül Silis Dumanı ve Atık Çamur Katkılarının Çimento Dayanımına Etkileri, Beton 2004, Kongresi Bildirileri.
- [10] Yeğinobalı, A. ve Öztok, İ., (1997). “Silis Dumanı ve Uçucu Kül İçeren Taşıyıcı Bimsbetonları”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 3. Bildiriler Kitabı, Eskişehir, 73-93.
- [11] Erdoğan, Ş., Kurbetçi, Ş. ve Doğan, A., (1996), “Silis Dumanının Katkılı Çimento ile Kullanımı”, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 257-265.

- [12] Kuzel, H. J. ve Pöllmann, H., (1991). "Hydration of C_3A in the Presence of $Ca(OH)_2$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ and $CaCO_3$ ", Cement and Concrete Research, 21: 885-895.
- [13] Matusinovic, T. ve Vrbos, N., (1993). "Alkali Metal Salts As Set Accelerators For High Alumina Cement", Cement and Concrete Research, 23: 177-186.
- [14] Akman, S., (1990), Yapı Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- [15] Yılmaz B., Ediz N. ve Bentli İ., (2006). "Kütahya-Alayunt Bölgesi Killi Diatomitlerin Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması", D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 12: 64-67.
- [16] Topçu, İ.B. ve Boğa A.R., (2006). "Uçucu küllü betonlarda donatı korozyonunun hızlandırılmış yöntem ile araştırılması", 3. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul, Türkiye, 132-143.
- [17] Tulyaganov, D. U., Olhero, S. M. H., Ribeiro, M. J., Ferreira, J. M. F. ve Labrincha, J. A., (2002). "Mullite-Alumina Refractory Ceramics Obtained from Mixtures of Natural Common Materials and Recycled Al-Rich Anodizing Sludge, Journal of Materials Synthesis and Processing", 10: 6.
- [18] Arda, T. S., (1968), Betonarmede Aderans Konusunda Bir Derleme, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [19] Yaz, A. ve Ambalavanan, R., (1999). "Flexural behavior of reinforced concrete beams repaired with styrene-butadiene rubber latex, silica fume and methylcellulose repair formulations", Mag. Concr. Res., 113-120.
- [20] Oluokun, A. F. ve Haghayeghi, A. R., (1998). "Flexural behavior of reinforced concrete beams retrofitted or repaired with slurry infiltrated mat concrete", ACI Struct. J., 654- 664.
- [21] Souza, R. H. F. ve Appleton, J., (1997). "Flexural behavior of strengthened reinforced concrete beams", Mater Struct., 154-159.
- [22] Gorst, N. J. S. ve Clark L. A., (2003). "Effects of thaumasite on bond strength of reinforcement in concrete", Cem. and Conc. Comp., 1089-1094.
- [23] Özden, K., (1985), Betonarme Malzemesi ve Kesit Hesapları. Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [24] Ha, T., Muralidharan, S., Bae, J., Ha, Y., Lee, H. ve Park, K., (2007). "Accelerated Short-Term Techniques to Evaluate the Corrosion Performance of Steel in Fly Ash Blended Concrete", Building and Environment, 42: 78-85.
- [25] Yalçın H. ve Koç, T., (2004). "Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Önlenmesi", CMS Kongre Yönetim sistemleri Uluslar arası Organizasyon Yayıncılık Bilişim Hizmetleri Limited Şirketi, Ankara.
- [26] Bentur, A. ve Cohen M. D., (1991/92). "Microstructure and Properties of Expansive Cement Mortar with Silica Fume", Advances in Cement Research 4, 14: 47-55.
- [27] Hussain. S. E. ve Al Gahtani. S. A., (1996). "Chloride threshold for corrosion of reinforcement in concrete" ACI Materials Journal, 534-538.

- [28] Asan. A., (1996), Galvanik akım metodu kullanarak klorür iyonları, asetat iyonları ve uçucu külün beton içindeki çeliğin korozyonu üzerindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, G.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [29] B. Martin-Pérez, (1999). "Service Life Modelling Or R.C. Highway Structures Exposed To Chlorides", Thesis, Graduate Department of Civil Engineering, Un. Toronto.
- [30] TS-EN 206-1, (2002). Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [31] ASTM C876-91, (1999). Standard test method for half-cell potentials of uncoated reinforcing steel in concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Alper Yılmaz
Doğum Tarihi ve Yeri : 19.06.1984 / Eminönü, İSTANBUL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : alperylmz@hotmail.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Met. ve Malz. Müh.	YTÜ	2011
Lisans	Met. ve Malz. Müh.	YTÜ	2009
Lise	Fen	Eyüp Otakçılar Lisesi	2001

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008	Tin-Can Ambalaj A.Ş.	Stajyer
2005	Cemal Metal San. Tic. A.Ş.	Stajyer