



**GEÇİRİMSİZLİK SAĞLAYAN BETON
KATKILARININ DONATI KOROZYONUNA
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERİÇ AĞACA

DANIŞMAN

Prof.Dr. TAYFUN UYGUNOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEÇİRİMSİZLİK SAĞLAYAN BETON KATKILARININ
DONATI KOROZYONUNA ETKİSİ

MERİÇ AĞACA

DANIŞMAN

Prof.Dr. TAYFUN UYGUNOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Meriç AĞACA tarafından hazırlanan “Geçirimsizlik Sağlayan Beton Katkılarının Donatı Korozyonuna Etkisi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 01/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

Başkan : Prof.Dr. Cengiz ÖZEL
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi,
Teknoloji Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../2019 tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

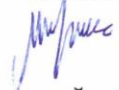
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01/07/2019


Meriç AĞACA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GEÇİRİMSİZLİK SAĞLAYAN BETON KATKILARININ DONATI KOROZYONUNA ETKİSİ

Meriç AĞACA

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

Kullanımı en yaygın yapı malzemesi olan betonda, özellikle son yıllarda yaşanan depremler sonrasında sadece dayanım (yük taşıma kapasitesi) standartlarının yeterli olmadığı görülmüştür. Betonun boşluklu yapısı sebebiyle sıvı veya gaz halde betonun iç yapısına etki eden maddelerin erken yaşlarda betonun basınç dayanımını etkileyecek mertebede bir zarara uğratmasada, ilerleyen yaşlarda betonun servis ömrünü hesaplanan değerden daha düşük seviyelere çekmektedir. Betonarme yapılarda fiziksel, mekanik veya kimyasal etkenlerden dolayı oluşan hasarlar, yapılarda doğrudan veya dolaylı yoldan donatı korozyonunun başlamasına neden olmaktadır. Betonarme yapılarda zamanla meydana gelen korozyon, donatıda kesit kaybı yaşanması, kopma mukavemetinde azalma, beton ve donatı arasındaki aderansın azalması, pas payı tabakasının hasar görmesi sonrasında dökülmesiyle beraber donatının açığa çıkmasıdır.

Korozyon oluşumuna karşı alınabilecek önlemlerden geçirimsiz kimyasal katkıları hakkında çalışma yapılmış olup iki adet yapısal geçirimsiz katkı yine iki adet de yüzeysel geçirimsiz katkı kullanılmıştır. Üretilen 9 seri numuneye basınç dayanımı, hızlı klor geçirimliği, elektriksel iletkenlik, hızlandırılmış korozyon deneyleri ve mineralojik ve morfolojik analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda üretilen tüm serilerde boşluk oranının azaldığı görülmüştür. Su itici özellikli geçirimsiz katkının

beton dayanımını bir miktar düşürdüğü gözlenmiştir. Bitüm esaslı yüzeysel geçirimsiz katkılarda en düşük kılcallık katsayı değeri saptanmıştır. Korozyona uğrama riski yapısal katkılarda %2 kullanımda düşük, çimento esaslı yüzeysel katkılarda orta ve bitüm esaslı katkılarda ihmal edilebilir düzeyde olduğu elde edilmiştir. Yüzeysel ve bitüm esaslı katkıların geçirimsiz beton uygulamalarında daha olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

2019, xi + 58 sayfa

Anahtar Kelimeler: Beton, Korozyon, Geçirimsiz Katkılar



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF IMPERMEABILITY PROVIDING CONCTRETE ADMIXTURES ON REINFORCEMENT CORROSION

Meriç AĞACA

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Tayfun UYGUNOĞLU

After the earthquakes in the recent years, it has been observed that, bearing capacity (load carrying capacity) standards of concrete, most commonly used construction material, are not sufficient. Even though the liquid or gaseous substances effecting the internal structure of concrete due to its cellular structure don't damage the concrete's compressive strength at an early age, those substances causes the service life of concrete be shorter than previously calculated. Damages due to physical, mechanical and chemical parameters in reinforced concrete structures causes the emergence of reinforcement corrosion implicitly or explicitly. Corrosion that occurs in concrete structures in time, is the revelation of reinforcement as a result of the loss of cross section in reinforcement, decrease in tensile strength of reinforcement, decrease in adherence between concrete and reinforcement, impairment of concrete cover and spalling of concrete immediately afterwards. After the study of impermeable admixtures which can be used as a measure to corrosion, two pieces of structural impermeable admixtures and two pieces of superficial impermeable admixtures were adopted. Compressive strength test, rapid chlorine permeability test, electrical conductivity test and accelerated corrosion test and mineralogical and morphological analyses were performed on 9 series of samples. At the end of the study, a decrease in voids ratio in all series was observed. Minimum capillarity coefficient value in bitumen based

superficial admixtures was determined. It was obtained that the risk of corrosion was %2 lower in structural admixtures and was on average in cement based superficial admixtures and was on a negligible level in bitumen based admixtures. More favourable results were obtained in water impermeable concrete applications of superficial and bitumen based admixtures.

2019, xi + 58 pages

Keywords: Concrete, Corrosion, Impermeability admixture



TEŐEKKÖR

Bu çalışmanın konu seçimi, deneysel çalışmaların planlanması, sonuçların değerlendirilmesi ve yazım aşamasında, sürecin her noktasında desteği ve katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tayfun UYGUNOğLU'a, eğitim hayatım boyunca desteklerinden dolayı aileme ve üzerimde büyük emekleri olan tüm öğretmenlerime teşekkür ederim.

Meriç AğACA

AFYONKARAHİSAR, 2019



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. YAPI MALZEMESİ OLARAK BETON	3
2.1 Betonun Bileşenleri	3
2.1.1 Agregası	3
2.1.2 Çimento	3
2.1.3 Su	4
2.1.4 Kimyasal Katkı	4
2.1.5 Mineral Katkı.....	4
2.2 Betonun Boşluk Yapısı ve Geçirimsizliği	4
2.2.1 Sertleşmiş Betonda Yer Alan Boşluklar	5
2.3 Beton Dayanıklılığı (Durabilite).....	6
2.3.1 Beton Dayanıklılığını Etkileyen Etkenler	7
2.3.1.1 Fiziksel Etkenler	7
2.3.1.2 Kimyasal Etkenler	8
2.4 Korozyon	10
2.4.1 Korozyon Mekanizması.....	11
2.4.2 Betona Gömülü Çeliğin Korozyonuna Etki Eden Faktörler.....	12
2.4.3 Betonarme Korozyonuna Karşı Alınacak Önlemler.....	13
3. GEÇİRİMSİZ KATKILAR.....	14
3.1 Yapısal Geçirimsiz Katkılar	14
3.2 Yüzeysel Geçirimsiz Katkılar.....	15
3.3 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar	16
4. MATERYAL ve METOT	19

4.1 Kullanılan Malzemeler	19
4.1.1 Çimento	19
4.1.2 Agregası	20
4.1.3 Su	20
4.1.4 Kimyasal Katkılar	21
4.1.5 Geçirimsiz Kimyasal Katkılar	21
4.2 Yapısal Geçirimsiz Betonların Hazırlanması	22
4.3 Yüzeysel Geçirimsiz Betonların Hazırlanması	25
4.4 Yapılan Deneyler	26
4.4.1 Su Emme, Birim Ağırlık ve Görünen Porozite	26
4.4.2 Ultrases Deneyi	27
4.4.3 Kılcal Su Emme Deneyi	28
4.4.4 Hızlandırılmış Korozyon Deneyi	28
4.4.5 Hızlı Klorür Geçirimsiliği Deneyi	29
4.4.6 Elektriksel Özdirenç	30
4.4.7 Basınç Dayanımı	31
4.4.8 Mineralojik ve Morfolojik Analizleri	32
5. BULGULAR ve TARTIŞMA	33
5.1 Su Emme, Birim Ağırlık ve Görünen Porozite	33
5.2 Ultrases	35
5.3 Kılcal Su Emme	38
5.4 Hızlandırılmış Korozyon	39
5.5 Hızlı Klorür Geçirimsiliği	44
5.6 Elektriksel Özdirenç	45
5.7 Basınç Dayanımı	46
5.8 Mikroyapı İncelemesi	49
6. SONUÇLAR	52
7. KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	58

18SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al_2O_3	Alüminyum Oksit
CaCO_3	Kalsiyum Karbonat
Ca(OH)_2	Kalsiyum Hidroksit
CaSO_4	Kalsiyum Sülfat
CO_2	Karbondioksit
Fe(OH)_2	Demir Hidroksit
kWh	Kilowattsaat
MW	Megawatt
SiO_2	Silisyum Dioksit
SO_3	Kükürt Trioksit
μm	Mikrometre

Kısaltmalar

BK	Yüzeyssel Bitüm Esaslı Katkılı Numune
ÇK	Yüzeyssel Çimento Esaslı Katkılı Numune
KK	Yapısal Kristalize Katkılı Numune
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SK	Yapısal Su İtici Katkılı Numune
Ş	Şahit Numune

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Çeşitli çevresel etki sınıflarında kullanılacak betonlar için, beton karışımı ve özellikleri için önerilen sınır değerler.....	7
Şekil 4.1	Üretimde kullanılan agregaların elek analizi.....	20
Şekil 5.1	Görünen porozite sonuçlarının serilere göre değişimi.....	33
Şekil 5.2	Su emme sonuçlarının serilere göre değişimi.....	34
Şekil 5.3	Birim hacim ağırlık sonuçlarının serilere göre değişimi.....	35
Şekil 5.4	Ultrases geçiş hızı 3 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.....	36
Şekil 5.5	Ultrases geçiş hızı 7 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.....	37
Şekil 5.6	Ultrases geçiş hızı 28 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.....	37
Şekil 5.7	Kılcallık katsayısının su geçirimsiz katkılı betonlardaki değişimi.....	39
Şekil 5.8	Su itici kimyasal katkılı betonlarda hasar başlangıç süresi.....	40
Şekil 5.9	Kristalize kimyasal katkılı betonlarda hasar başlangıç süresi.....	40
Şekil 5.10	Yüzeysel geçirimsizlik katkılı betonlarda hasar başlangıç süresi.....	41
Şekil 5.11	Hızlandırılmış korozyon geçirgenliği.....	42
Şekil 5.12	Hızlı klorür geçirimliliği sonuçlarının serilere göre değişimi.....	44
Şekil 5.13	Elektiriksel öz direnç 100khz sonuçlarının serilere göre değişimi.....	46
Şekil 5.14	Basınç dayanımı 3 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.....	47
Şekil 5.15	Basınç dayanımı 7 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.....	48
Şekil 5.16	Basınç dayanımı 28 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.....	48
Şekil 5.17	Katkısız betonların mikroyapı görüntüsü (x1000).....	49
Şekil 5.18	Su itici katkılı betonların mikroyapı görüntüsü (x1000).....	50
Şekil 5.19	Kristalize katkılı betonların mikroyapı görüntüsü (x1000).....	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1	CEM I 42.5 R Çimento raporu.	19
Çizelge 4.2	Agregaların fiziksel özellikleri.	20
Çizelge 4.3	Hiperakışkanlaştırıcı katkı özellikleri.	21
Çizelge 4.4	Su itici kimyasal katkının teknik özellikleri.	21
Çizelge 4.5	Kristalize kimyasal katkının teknik özellikler.	22
Çizelge 4.6	Çimento esaslı kimyasal katkının teknik özellikleri.	22
Çizelge 4.7	Bitüm esaslı kimyasal katkının teknik özellikleri.	22
Çizelge 4.8	Geçirimsiz betonlarda birim hacimde kullanılan malzemeler ve karışım oranları.	23
Çizelge 5.1	Ultrases geçiş hızı- Beton kalitesi.	38
Çizelge 5.2	Hızlı klor iyonu geçirimsizlik sınıfları (ASTM C1202).	45

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 4.1 Karıştırıcı mikser.	24
Resim 4.2 Vibratör masası.	24
Resim 4.3 Çimento esaslı yüzeysel katkı.	25
Resim 4.4 Bitüm esaslı yüzeysel katkı.	26
Resim 4.5 Ultrases cihazı.	27
Resim 4.6 Kılcal su emme deney düzeneği.	28
Resim 4.7 Hızlandırılmış korozyon cihazı.	29
Resim 4.8 Hızlı klor iyonu geçirimsizliği deney düzeneği.	30
Resim 4.9 Elektriksel özdirenç.	31
Resim 4.10 Beton test presi.	32
Resim 4.11 SEM cihazı.	32
Resim 5.1 Şahit numune ve su itici katkılı numunelerin korozyon hasarları.	43
Resim 5.2 Şahit numune ve kristalize katkılı numunelerin korozyon hasarları.	43
Resim 5.3 Şahit, çimento esaslı ve bitüm esaslı numunelerin korozyon hasarları.	43

1. GİRİŞ

Beton günümüzde en yaygın ve ulaşılabilir yapı malzemesidir. Başlıca nedenleri, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı, yüksek basınç dayanımlı olması, çelik ile beraber çekme dayanımını yükseltebilmesi (Lkhagva 2006), hammaddelerin kısmen yerel oluşu ve bu sayede maliyetinin düşük olması, başlangıçta plastik kıvamda olup şekil alabilme özelliği inşaat yapım aşamasında işçilik kolaylığı ve malzeme tasarrufu sağlamasıdır. Yapı tasarım ve statik hesaplar aşamasında öncelik olarak dayanım standartları gözönünde bulundurulmaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremler sonrasında yapılan tespitler ve kentsel dönüşüm kapsamında istenen yapı performans testleri sadece dayanım özelliğinin yeterli olmadığını, dayanıklılık (durabilite) özelliğinde bir o kadar önemli olduğunu göstermiştir. Durabilite, yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini servis ömürleri boyunca bozulmadan yerine getirmeleridir. Bozulmalar fiziksel, mekanik veya kimyasal yollarla meydana gelebilir. En sık karşılaşılan bozulma çelik donatı korozyonudur. Beton çelik donatı ile iyi aderans sağlamasının yanı sıra pH değeri 12.5-13 olması sayesinde çelik donatıyı korozyona karşı korur, ancak yeterli değildir. Betonun gözenekli ve boşluklu yapısına nufus eden zararlı kimyasal içeren sıvılar ve gazlar donatı korozyonu başlamasına neden olur. Korozyon ürünü olan pasın oluşturduğu hacimsel artış donatı etrafındaki betonda gerilmeler meydana getirmekte ve betonda çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Oluşan çatlaklar çelik donatı ve beton arasındaki aderansı azaltır. Yine donatı çevresinde çukurcuk korozyonu sebebiyle donatıda kesit kaybı yaşanır, hatta ileri safalarda donatılarda kopma meydana gelir ve donatıların çekme kapasitesini olumsuz yönde etkiler. Donatı korozyonunu önlemek için çeşitli yöntemler vardır. Geçirimsiz kimyasal katkıların kullanımı bu yöntemlerden bir tanesidir. Geçirimsiz katkılar beton içerisindeki boşlukları doldurarak veya beton yüzeyinde geçirimsiz bir tabaka oluşturarak su ve zararlı gaz girişine engel olurlar.

Bu tezde, betona üretim aşamasında eklenen veya sertleşmiş beton yüzeyine uygulanan geçirimsiz kimyasal katkıların donatı korozyonuna etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın birinci bölümünde tezin amacı ve kapsamı anlatılmıştır. İkinci bölümünde beton bileşenleri, betonun boşluklu yapısı, betonun servis ömrünü kısaltan bozulmalar ve

korozyon anlatılmıştır. Üçüncü bölümde korozyon önleyici geçirimsiz katkılar ve geçirimsiz kimyasal katkılar hakkında yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Dördüncü bölümde araştırma kapsamında üretilen beton serilerinin hammadde özellikleri ve geçirimsiz betonların taze ve sertleşmiş beton deneyleri hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde beton deneylerinden elde edilen veriler yorumlar ve tartışmalar yapılarak değerlendirilmiştir. Son bölümde ise çalışma sonuçları özetlenmiştir.



2. YAPI MALZEMESİ OLARAK BETON

Beton, çimento, agrega, su ve ihtiyaca göre kimyasal ve mineral katkı maddelerinin birlikte karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Bu malzemelerin karıştırılması izleyen ilk saatler içinde şekil verilebilir bir yapıda olan beton, zaman geçtikçe, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların hızlanmasıyla, katılaşp sertleşmektedir. Betonun şekil verilebilir haline “taze beton”, katılaşmasından sonraki haline ise “sertleşmiş beton” denir (Erdoğan 2015).

2.1 Betonun Bileşenleri

Betonun özellikleri betonu oluşturan hammaddelerin özelliklerine ve beton içerisinde kullanıldıkları miktara bağlıdır.

2.1.1 Agrega

Beton üretiminde kullanılan çakıl, kum, kırmataş gibi malzemelere verilen addır. Beton içerisindeki hacmi %60-%80 arasındadır. Agregalar tane boyutlarına göre ince ve iri olarak sınıflandırılır. Agregalarda aranan özellikler sert, dayanıklı ve boşluksuz yapıda olması, basınca ve aşınmaya karşı dayanımlı olmasıdır. Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemelidir. Yassı ve uzun şekilde olmamalı, kübik yapıda olmalıdır. Çimento ile zararlı reaksiyonlara girmemelidir (İnt.Kyn.1).

2.1.2 Çimento

Klinker, silisyum, kalsiyum, demir oksitler ve alüminyum içeren hammaddelerin (kalker, kil, marn ve demir cevheri gibi) belirli oranlarla karıştırılmasıyla elde edilen farin adlı karışımın sinterleşme sıcaklığına gelinceye kadar pişirilmesiyle elde edilir. Çimento, klinkerin % 3-6 oranında alçıtaşı (CaSO_4) ve katkı maddeleri eklenerek öğütülmesiyle oluşan hidrolik bağlayıcıdır (İncesu 2000).

2.1.3 Su

Suyun görevi betonun öncelikle işlenebilmesini devamında çimento ile beraber hidrasyon oluşmasını sağlamaktadır (Nebioğulları 2010). Beton içerisindeki hacmi %15-25 arasındadır. Betonda üretim suyu asit özelliği taşımamalı ($pH > 7$ olmalıdır), zararlı etkisi olacak oranda karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, madensel yağlar, organik maddeler ve endüstriyel atıklar içermemelidir (İnt.Kyn.2).

2.1.4 Kimyasal Katkı

Taze ve sertleşmiş betonun istenilen özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona çimento ağırlığının % 5'ini geçmemek üzere eklenen kimyasal maddelerdir. Betonun işlenebilirliğini karışım suyu miktarını yükseltmeden artırır, terleme ve ayrışmayı azaltır, priz süresini mevcut şartlara göre yavaşlatır veya hızlandırır, dayanım kazanma hızını erken yaşlarda artırır, hidrasyon ısı artışını yavaşlatır (İnt.Kyn.3).

2.1.5 Mineral Katkı

Yapay veya doğal kaynaklardan elde edilen toz haldeki malzemelerdir. Taze betonun işlenebilirliğini etkiler, terlemeyi azaltır, segregasyonu azaltır. Pozolanik özelliği olanlar çimento kullanım miktarını azaltır ve beton hammadde maliyetini düşürür. Hidrasyon ısısında azalma, beton dayanımda yavaş ama uzun vadede artış sağlar, su ve klorür geçirimsizliğinde azalma sağlar (İnt.Kyn.4).

2.2 Betonun Boşluk Yapısı ve Geçirimsizliği

Beton, boşuklu ve gözenekli yapısı nedeniyle servis ömrü süresince gazların, suyun ve zararlı maddelerin etkisine maruz kalmaktadır. Bu etki difüzyon, kapilerite ve yayınma yoluyla gerçekleşir. Beton üç fazdan oluşur; agrega, çimento hamuru ve agrega-çimento hamuru arayüzü. Agregaya, çimento hamuru ile kaplanmış durumda bulunduğu

için normalden az boşluk içermesi nedeniyle, betonun geçirirnililiği daha çok imento hamurunun geirirnililiğine bağlıdır (Baradan 2015). Betonda boşluk yapısı su/imento oranına, kullanılan hammaddelerin özelliklerine, kr koşullarına ve sıkıştırma gibi değişkenlere bağlıdır (Akman 1987). Beton yapısındaki boşluklar boyutlarına göre mikro, makro ve mezo boşluklar olarak adlandırılır. Çimento hamurundaki boşluklar ise sürüklenmiş hava boşlukları, kılcal boşluklar, tabakalar arası boşluklar ve jel boşluklar olarak boyutlandırılır.

2.2.1 Sertleşmiş Betonda Yer Alan Boşluklar

Çimento hidrasyonu neticesinde oluşan kalsiyum-slika-hidrat (C-S-H) jellerinde yapısal olarak yer alan çok küçük boşluklara jel boşlukları denir. Jel boşluklarındaki su çok düşük derecelerde (-78 C) donmaktadır ve serbest su gibi kolay hareket edememektedir. Bu boşluklar jel yapısının hacimce %28'ini oluşturmaktadır. Kapiler boşluklar, imento hamurundaki imento tanelerinin arasında gelişi güzel dağılım gösteren suyun oluşturduğu boşluklardır. Beton retimde kullanılan su/imento oranı arttıa kapiler boşlukların hacmi de artmaktadır ve betonun su emme kapasitesi de yüksek olmaktadır. Bu boşlukların içine dolan suların donması neticesinde soğuk havalarda oluşan donma-zlme etkisiyle büyük genleşmeler oluşmakta ve beton hasar görmektedir. Sürüklenmiş hava kabarcıkları ile oluşturulan boşluklar, hava sürükleyici katkılar kullanılarak imento hamurunun içerisine istenerek oluşturulan boşluklardır. Betondaki toplam boşluk hacminin %4 ile %8'i arasında yer kaplamaktadır ve donma zlme olaylarında betonu daha dayanıklı kalmasını sağlamaktadır. Bunun yanı sıra taze betonda işlenebilirliği arttırır, terlemeyi azaltır. Terleme nedeniyle oluşan boşluklar, yerleştirme işlemi tamamlanan betondaki suyun yzeyeye çıkma eğilimi göstermesiyle ve suyun bu hareketinin oluşturduğu kanallar beton prizini tamamladıktan sonra boşluklu yapı meydana getirmesiyle oluşur ve imento hamuru, agrega ve donatılar arasında aderansı azaltır. Hapsolmuş hava boşlukları, beton karılması ve dökümü işlemi yapılırken oluşan boşluklardır. Değişik şekil ve boyutlarda olabilirler. Geirirnililiği ve su emme kapasitesini arttırır. Agrega tanelerindeki boşluklar, agrega katı hacminin %0 ile %20'si arasında farklılık gösteren yapısal boşluklardır. Agrega boşluklarının boyutları ve miktarı dayanıma ve dayanıklılığa olumsuz yönde etki

etmektedir. Çimento hamurunun kuruyarak büzülmesi sonucunda içerisindeki suyun bir miktarını kaybeder ve büzülür. Ancak agregalar aynı oranda hacim değişikliği göstermediği için çimento hamurunun serbestçe büzülmesini kısıtlar ve bu durumda çatlaklar oluşur (Erdoğan 2015).

2.3 Beton Dayanıklılığı (Durabilite)

Yapıların ve yapı malzemelerinin işlevlerini servis ömürleri boyunca bozulmadan yerine getirmelerine durabilite, dayanıklılık veya kalıcılık adı verilir. Betonarme yapıların, çeşitli kimyasal ve fiziksel bozulmalar sonucunda kısa sürelerde işlevselliklerini yitirmeleri sadece ekonomik ve teknik bir problem olarak düşünülmemelidir, bu durum aynı zamanda kaynaklarımızın verimsiz kullanımına yol açar. Doğal kaynakların verimsiz kullanımı, çevresel ve ekolojik problemlere neden olur. En az bakım ve onarım gerektiren uzun ömürlü yapılar, belki başlangıç giderleri nispeten az olan fakat sık sık bakım gerektiren yapılara kıyasla daha ekonomiktirler. Örnek olarak su yalıtımı, yapım aşamasında ek maliyet gibi gözükse de uzun vadede birçok bakım onarım gerektiren hasar oluşumlarına engel olmaktadır

(Baradan ve Aydın 2013). Beton veya betonarme elemanların deprem veya aşırı yüklemenin etkisi dışında da zamanla bozulmaları söz konusudur. Bu nedenle son yıllarda, sadece tasarım yüklerini hesaplamanın yeterli olmadığını görülmüştür. Yükler açısından istenen dayanımı sağlayan kaliteli bir betonarme eleman bile tasarım aşamasında hesaba katılmamış şiddetli etkiler altında çok kısa sürede bozularak kullanılmaz hale gelebilmektedir. Örneğin sülfat etkisinde olan bir ortamda bulunan yapılar için çimento seçimi oldukça önemlidir. Birçok dayanıklılık probleminde belirleyici faktör suyun, su içinde taşınan zararlı maddelerin ve gazların beton bünyesine sızmasıdır. Kaliteli, geçirimsiz beton üretmek ilk ve en önemli önlem olarak düşünülür. Kaliteli beton üretmek için tasarım aşamasında yapının karşılaşması muhtemel etkilerin dikkate alınması, malzeme seçimi, suyun bir an önce yapıdan tahliyesini sağlamak, nemin yapı elemanı üzerinde yoğunlaşmasını önlemek için uygun derzler teşkil etmek ve yalıtım uygulamaları yapmak gerekmektedir. Betonun bulunduğu ortamın değerlendirilmesi için çevresel etki sınıflandırılması ve yıpratıcı

etkiye karşı dayanıklılığının sağlanması için beton karışımları için getirilen öneriler TS EN 206 (2014) standardında (Şekil 2.1) sunulmuştur (Baradan ve Yazıcı 2003).

Şekil 2.1 Çeşitli çevresel etki sınıflarında kullanılacak betonlar için, beton karışımı ve özellikleri için önerilen sınır değerler.

	Etki Sınıfları (Tablo 10.5)																	
	Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok	Karbonlaşma nedeniyle korozyon				Klorürün sebep olduğu korozyon						Donma/gözülme etkisi				ZARARLI KİMYASAL ORTAM ^c		
						Deniz suyu			Deniz suyu haricinde klorür									
		XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
X0																		
En büyük su/çimento oranı	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
En küçük dayanım sınıfı ^a	C 16/20 ^d	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
En az çimento içeriği (kg/m³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
En az hava içeriği (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^b	4,0 ^b	4,0 ^b	-	-	-
Diğer şartlar												Pr EN 12620:2000'e uygun donma/gözülme dayanıklılığına sahip agrega				Sülfatlara dayanıklı çimento		

^a Beton sınıfları 15/30 cm standart silindir ve 15 cm ayrıtlı küp örnek ile tanımlanmıştır.

^b Hava sürüklenmemiş betonda, beton performansı, ilgili etki sınıfı için donma/gözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla kıyas için uygun deney metoduna göre belirlenmelidir.

^c XA2 ve XA3 etki sınıfında baskın etkinin SO₄²⁻den kaynaklanması halinde sülfatlara dayanıklı çimento kullanılması zorunludur. Sülfatlara dayanıklılık bakımından çimentonun sınıflandırılması halinde orta ve yüksek dayanıklı olarak sınıflandırılan çimento XA2 etki sınıfında (uygulanabiliyorsa XA1 etki sınıfında) ve yüksek dayanıklı çimento ise XA3 etki sınıfında kullanılmalıdır.

^d Standartta verilen bu değerlerin yanlış olduğu, doğrusunun C16/20 olması gerektiği düşünülmektedir.

2.3.1 Beton Dayanıklılığını Etkileyen Etkenler

2.3.1.1 Fiziksel Etkenler

- Aşınma, Erozyon, Kaviteasyon

Aşınma, uzun zaman aralığında gerçekleşen mekanik ve fiziksel bir olaydır. Beton yüzeyinde tekrarlanan ovalama, yuvarlama ve sürtünme olayları sonucu betonun tahribatıdır. Üzerinde ağır ve yoğun trafik bulunan zincirli tekerlek kullanılan beton yollarda ve havaalanı pistlerinde görülür (Delikanlı 2001). Erozyon, parçacıklar bulunan sıvıların beton yüzeyine temas ederek abrasif yolla oluşturduğu aşınmadır. Katı maddelerin miktarı, şekli, sertliği ve suyun akış hızı etkinin şiddetini belirler. Kaviteasyon, su yapılarında görülen bir çeşit oyulmadır. Akan suyun statik basıncı,

sudaki buhar basıncından düşükse bu bölgede içi hava dolu kabarcıkları oluşur. Suyun statik basıncının yüksek olduğu bölgelere taşınan buhar su damlacıkları şeklinde yoğunlaşıp dibe çökme yapar. Beton yüzeyinde patlama etkisine benzer şekilde, oluşan basınç dalgaları ve su darbeleri devamlılığı halinde beton yüzeyinde oyulmalar oluşturur (Baradan 2015).

- Donma Çözülme Etkisi

Sertleşmiş betonda sıcaklığın yeterince düştüğü noktalarda beton içerisindeki su donar ve hacmi yaklaşık %9 oranında artar. Genleşme sırasında oluşan iç gerilmeler kılcal çatlaklar oluşturur ve beton içerisine doğru ilerler. Sıcaklığın yükselmesiyle beraber ortaya çıkan yeni çatlaklarda suya doygun hale gelir ve her donma aşamasında aynı olaylar tekrarlanır. Bir süre sonra beton yüzeyinde dökülmeler şeklinde hasar görülür (Doğan 2008).

- Yüksek Sıcaklık ve Yangın Etkisi

Beton kısa süren (birkaç saat) ve sıcaklık derecesi 600°C'yi geçmeyen yangınlarda donatılardan daha iyi bir dayanıklılık gösterir, sıcaklığın 800°C'ye yükselmesi halinde, hidratelerin içinde bulunan suyu kaybetmesi sonunda mukavemetteki azalma %80'e varabilir ki bu da yapının yıkılmasına yol açar (Uysal 2004).

2.3.1.2 Kimyasal Etkenler

- Sertleşmiş Çimento Bileşenlerinin Hidrolizi ve Yıkınması

Hidrate çimentonun katı fazını çözünmeyen kalsiyum hidratlar (CH) oluşturmaktadır. Gözenek suyu içerisinde pH'ı oldukça yüksek bu bileşenler kararlı durumdadır. Gözenek suyu içindeki Na^+ , K^+ ve $(\text{OH})^-$ iyonları betonun pH değerini 12.5 – 13.5 seviyesinde kalmasını sağlamaktadır. Beton asidik ortamla karşılaştığında kimyasal kararlılığını kaybeder. Teorik olarak pH'ı düşük sular çimento hidrate bileşenlerinin çözünmesine neden olur. Özellikle sülfat ve klor iyonları içeren yer altı suları, deniz

suyu, serbest CO₂ veya H⁺ iyonu içeren sular, endüstriyel atıkların karıştığı sular zararlı reaksiyonlara neden olabilir (Baradan 2015).

- **Asitlerin Etkisi**

Portland çimentosunun yüksek alkali yapısı betonu asit içeren kimyasallara karşı savunmasız durumda bırakmaktadır. Kimyasal saldırı çimento hidrasyon ürünlerinin ayrışmasıyla oluşan yeni ürünlerden eriyebilir olanların betondan ayrılması, eriyemez olanların ise betonu parçalaması şeklinde görülür. Asit reaksiyonlarının gelişimi asit tipine, maruz kalma süresine ve asit yoğunluğuna göre değişir (Baradan 2015).

- **Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)**

Betonun boşluk çözeltilisinde bulunan hidroksil ve alkali iyonlarının beton üretimde kullanılan agregaların yapısındaki reaktif silis ile reaksiyonuna alkali silis reaksiyonu (ASR) denir. Meydana gelen reaksiyon ile beraber betonda nem etkisi sonucunda genleşen alkali-silis jeli oluşur. Bu jellerin nem almasıyla oluşan genleşme sonucu betonda çekme gerilmeleri oluşur beraberinde çatlaklar meydana gelir. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının %7'si ile %11'i arasında olduğundan beton çatlatmaya başlar. ASR'yi etkileyen faktörler, agrega yapısal özellikleri, betonun alkali içeriği, ortamdaki nem durumu, sıcaklık, betonun geçirimsizliği, dış alkaliler ve buz çözücü tuzlardır. ASR sonucu oluşan hasarın beton basınç dayanımından ziyade elastisite modülünü ve çekme dayanımını etkilediği bilinmektedir. ASR hasarlarında, betonda oluşan genleşmeler ve çatlaklar, yüzeysel tortular, parça atmaları ve renk değişimleri oluşur (Ramyar 2013).

- **Karbonatlaşma**

Karbonatlaşma, atmosferdeki karbondioksit moleküllerinin konsantrasyon farkından dolayı beton içerisine girerek, ortamda bulunan suyla, içerideki alkali hidroksitlerle tepkimeye girmesidir. Karbondioksit suyla birleşerek karbonik asit oluşturur. CO₂ ancak bundan sonra Ca(OH)₂ ile tepkimeye girerek kalsiyum karbonatları (CaCO₃) meydana

getirir. Tamamen suya doygun olan beton karbondioksitin suda zayıf olan çözülme yeteneği nedeniyle nispeten çok daha az miktarda CO₂ girişi olacağından belirgin bir karbonatlaşma meydana gelmez. Karbonatlaşma sonucunda betonun pH değeri 13.5'ten 8 seviyelerine geriler. Karbonatlaşma hızı, betonun geçirimliliği ve çimento tipi ve/veya bağlayıcı kompozisyonuna bağlıdır (Doğan 2008).

- Sülfat Etkisi

Betonda biriken sülfat tuzlarının kristalleşmesi ve sülfat iyonlarının çimento hidratasyon ürünleriyle reaksiyonu sonucunda oluşan bozulmalardır. Sülfatın betonda, çimento hidratasyon ürünleriyle gerçekleştirdiği kimyasal reaksiyonlar neticesinde alçıtaşı, etrenjit ve tomasit gibi bağlayıcılık özelliği olmayan ürünler oluşur. Meydana gelen ürünler hacim artışı, akabinde çatlamlara yol açar. Bu çatlaklar betonun geçirimliliğini artırır. Bağlayıcılık özelliği gösteren maddelerin başka ürünlere dönüşmesi ve zararlı maddelerin beton içerisine girişinin hızlanması betonun servis ömrünü azaltır. Betonun sülfat etkisine karşı davranışı, betonun geçirimlilik özelliğine, su/çimento oranına, çimento tipine, sülfat katyon tipine, sülfat konsantrasyonuna, sülfata maruz kalma süresine bağlıdır (Erdoğan 2015).

2.4 Korozyon

Betonarme elemanlarının çekme ve eğilme gerilmeleri karşısında oluşabilecek çatlama ve kırılmaların önlenmesi için beton içerisine çelik çubuklar yerleştirilir. Çelik donatının en büyük dezavantajı zamanla paslanma da denilen korozyon olayına maruz kalmasıdır. Korozyon sözcüğü Latince'de, kemirmek anlamına gelen conrodere sözcüğünden türetilmiştir (Erdoğan 2015). Metalin kendi çevresindeki elektrokimyasal bir reaksiyon ile indirgenmesi olayına korozyon denir. Termodinamik kanunlarına göre yüksek enerjili durumdan düşük enerjili duruma geçiş için eğilim vardır. Bu eğilim nedeni ile metaller de indirgenirler ve korozyon süreci başlar (Yamaç 2010). Korozyon sonucu betonarme çeliğinde kesit kaybı, kopmalar, kimyasal bileşikler (pas) oluşur. Pas metale göre çok daha büyük hacim kaplaması nedeniyle beton bünyesinde içsel gerilmeler ve çatlamlara sebep olur (Eker 2009).

2.4.1 Korozyon Mekanizması

Korozyon olayının başlayıp devam edebilmesi için anodik reaksiyonlar, katodik reaksiyonlar, anodik ve katodik bölgeler arasında iyon transferi ve elektron akışı gereklidir. Ortamdaki nem ve oksijen, katodik reaksiyonlarda etkili olduğundan, bunların varlığı ve konsantrasyonları korozyon gelişiminde önem arz etmektedir. Diğer taraftan, bölgeler arasında iyon ve elektron transferi açısından ortamın elektrolitikliği korozyon olayında önemli bir etkidir.

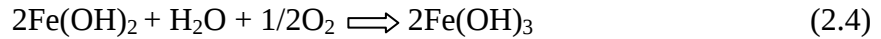
Anodik bölgede yer alan reaksiyonlar Denklem (2.1)'deki gibi olurken,



Katodik reaksiyon Denklem (2.2)'deki gibi, su ve oksijenin hidroksil iyonlarını oluşturduğu indirgenme işleminden oluşur.



Anodik ve katodik reaksiyon bölgeleri arasındaki elektrolitik ortamın görevi iyon transferidir. Elektron akışının sağlanması için de anodik ve katodik bölgeler arasında metalik bir bağlantı gerekmektedir. Anodik ve katodik reaksiyon ürünleri birleşerek korozyon ürünlerini meydana getirirler (Denklem (2.3) ve Denklem (2.4)).



Reaksiyon sonucu oluşan demirhidroksit ürünleri Fe_3O_4 , FeO , Fe_2O_3 , FeOOH gibi oksit ve oksihidroksitlere dönüşebilir. Oksijen varlığı, çevresel kirlilikler, metalin kompozisyonu, pH ve oluşan ürünlerin yüzeye yapışma karakterleri oksitlerin oluşmasında etkilidir (Yiğiter 2008).

2.4.2 Betona Gömülü Çeliğin Korozyonuna Etki Eden Faktörler

Karbonatlaşma, betonun içerisine giren karbondioksitin beton yapısındaki kalsiyum hidroksitle reaksiyona girmesi olayıdır. Sonucunda su ve kalsiyum karbonat oluşur. Betonda karbonatlaşma olayı sonrası kalsiyum miktarı azalır ve betonun pH değeri düşer, beton yüzeyinde başlayan karbonatlaşma beton geçirimsizliği arttıkça etki ettiği derinlik artar. Su/çimento oranı düşük ve kür işlemi iyi yapılmış betonlarda, karbonatlaşma etkisi yüzeyden içeri 25 mm sınırında kalır ve donatıyı korumak için bu derinlikte pas payı önlem olarak alınır (Erdoğan 2015). Nem önemli bir faktördür ve karbondioksit gaz fazında hızlı bir şekilde betona nufus eder ama karbonatlaşma sıvı fazda oluşur (Boğa 2010). Taze betonun pH değeri 12,5-13 arasındadır. Betonun alkali yapısının ana kaynağı, gözenek suyu içinde çözülmüş kireçtir. Çimento alkali oksitlerinin su ile reaksiyonundan oluşan alkali hidroksitler de diğer bir alkali kaynağıdır. Bu yüksek alkalite ortamında çelik çubuğun etrafı oksit bir tabakayla sarılır ve korozyona karşı korunur fakat beton içerisine sızan sulardaki tuzlar ve karbonatlaşma olayı ortamdaki pH seviyesini 9-10 değerlerinin altına düşürür. Çelik üzerindeki koruyucu oksit filmi (pasivasyon tabakası) hasar görür ve korozyon başlar (Erdoğan 2015). Klor İyonu Etkisi, klorür iyonları betonun içerisindeki çelik çubukların üzerindeki pasif oksit filminin kırılmasına, korozyonun daha kısa sürede başlamasına yol açmaktadır. Klorür iyonları donatıya temas ettiğinde pasif tabakayı gevşettikleri, yüzeydeki kararlı tabaka ile reaksiyona girerek kararsız klorür kompleksleri meydana getirdikleri düşünülmektedir. Pasif tabakadaki hasarlar çözünebilen bileşiklerin oluşmasında Cl/OH^- oranının 0.6 değerini aşması halinde belirginleşmektedir. Klorür iyonları, anot-katot iyonu akışını ortamın elektrolitliğini arttırarak ve elektriksel direncini azaltarak kolaylaştırırlar. Akım şiddetinin artışına bağlantılı olarak korozyon hızı da artar. Klorür iyonları metal yüzeyinde O_2 ve OH^- iyonlarına göre daha kolay toplanabilirler. Böylece anodik reaksiyonun kolaylıkla oluşmasını sağlarlar ve demirin iyonlaşmasını hızlandırılmasında katalizör görevi yapar. Ortamda demir ve OH^- iyonlarının bol miktarda bulunması nedeniyle klorür iyonları reaksiyon sonucu sürekli yenilenmekte ve donatıda sürekli bozulma oluşmaktadır. Klorür iyonları, beton karışım suyunda bulunabilecek tuzlarda, yüksek miktarda klorür içeren agregalarda, $CaCl_2$

içeren priz hızlandırıcı kimyasal katkı maddelerinde, klorür içeren mineral katkılarda bulunur (Boğa 2010).

2.4.3 Betonarme Korozyonuna Karşı Alınacak Önlemler

Betonarmenin korozyonunu önlemek için permeabilitesi düşük, yoğunluğu yeterli, düşük su/çimento oranlı beton üretilmeli ve yerleştirme sürecinde iyi işçilik ve vibrasyon uygulanmalıdır. Doğal puzolanlar, kalsine edilmiş kil, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı betonun pH'ını düşürmesine rağmen, betonun porozitesini ve geçirimliliğini azalttığı, serbest kirecin erimesini engellediği ve betonun performansını artırdığı için donatı korozyonunu sınırlandırmaktadır. Betonarme elemanlarda pas payı kalınlığı yeterli ve sürekli ise oksijen difüzyonu azalacağı için betondaki su miktarı fazla olsa bile korozyonun kritik sınırlara ulaşmasını önleyecektir. Hasar gören ve/veya anot durumuna gelmesi muhtemel donatıya doğru akım uygulanarak katoda dönüştürülür ve anodun potansiyeli katodik bölgeye kaydırılarak korozyonun durdurulması amaçlanır. Bu uygulamada, beton yüzeyini örten elektriksel iletkenliğe sahip iletken örtü malzemelerinden yararlanılır (Aköz ve Çakır 2013). Donatı yüzeylerinin epoksi reçinesi, asfalt veya sentetik lastik esaslı çok ince bir zar oluşturulur. Bu zar donatıların klor ve su ortamında korozyona karşı korur. Dikkat edilmesi gereken husus malzeme seçimi ve uygulama esnasında beton ile aderansın etkilenmemesidir. Bir diğer yöntem ise beton üretimde karışım suyuna katılarak veya sertleşmiş beton yüzeyine uygulanmak üzere sabun esaslı maddeler, petrol ürünleri, zift gibi su itici özelliğe sahip kimyasal katkıları ve kalsiyum nitrit, sodyum benzoat ve potasyum kromat gibi korozyon önleyici kimyasal katkıları kullanılmasıdır (Erdoğan 2015).

3. GEÇİRİMSİZ KATKILAR

Betonarme elamanlar servis ömrü boyunca suya maruz kalma ihtimali yüksektir. Yapılara su girişi yer altı suları olarak temel ve su basman seviyesinden, yağış suları olarak da çatı ve düşey yüzeylerden olmaktadır. En sık karşılaşılan bozulma olan çelik donatı korozyonun önlenmesi için betonarme elamanlara su girişine engel olunması yani geçirimsiz beton üretilmeli veya beton yüzeylerine yalıtım yapılmalıdır. Geçirimsiz beton çözümlerinde gelişen teknoloji ile beraber son yıllarda yaygın bir method kimyasal katkı kullanımıdır. Özellikle zemin su seviyesi yüksek, su yapıları veya derin temel gerektiren yapılarda geçirimsiz kimyasal katkıların kullanımında olumlu sonuçlar alınmaktadır. Geçirimsiz kimyasal katkılar yapısal ve yüzeysel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.1 Yapısal Geçirimsiz Katkılar

Beton üretimi esnasında hammaddelerle beraber karışıma girerek geçirimsizliğinin artırılması amacıyla sıvı veya toz haldeki yapı kimyasallarıdır. Sabun türevleri, bütüls-tearatlar, mineral yağ, asfalt emülsiyonları ve katbek asfaltları gibi, bazı petrol ürünleri su geçirimsizlik katkıları olarak kullanılmaktadır. Geçirimsiz katkıları beton içerisine su girişini iki farklı yolla engeller. Bunlardan ilki beton yapısında hidrofobik kaplayıcı etkisi oluşturmaktadır. Bazı sabun türevleri kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek suda çözünmeyen kalsiyum stearat oluşturur ve bu madde boşlukların yüzeyini kaplayarak su girişine engel olur. İkinci olarak boşlukların içini doldurarak, bitümlü emülsiyonlar boşluklarda kümelenerek tıkayıcı madde görevi yapar. Sabun türevli katkıları hem yağlayıcı hemde hava sürükleyici etkileri nedeniyle taze beton işlenebilirliğini artırır. Olumsuz etkisi ise sertleşmiş betonun basınç dayanımını düşürmesidir. Bütüls-tearatların hava sürükleyici etkileri olmamasına rağmen çok etkili su itici vazifesi görürler. Basınç dayanımına olumsuz yönde etki etmezler. Betonda su geçirimsiz katkısı olarak petrol yağları, çimento ağırlığının %5'i kadar kullanılmış ve dayanıma olumsuz etkileri belirlenmiştir. Nem koruyucu amaçla kullanılan baryum sülfat, kalsiyum ve magnezyum silikat, silika ve naftalin selüloz, kömür tozu, katran ve sodyum silikat dayanımı olumsuz etkilemiştir. Su geçirimsiz katkıları beton bünyesine

su girişini engellediği için donma-çözülme hasarlarını da azaltır. Aynı zamanda beton bünyesinden Ca(OH)_2 çıkışı azaldığı için yüzey görünümünde çiçeklenmeyi azaltır (Baradan 2015). Geçirimsiz kimyasal katkılar çimentonun ağırlığının %5' inden daha az miktarlarda karışıma ilave edilirler. Geçirimsiz kimyasal katkıların işlevlerini yerine getirmeleri için öncelikli olarak üretilen beton kalitesinin standartlara uygun olması gereklidir. Yerleştirme işlemi yapılarak vibratör kullanılmalı ve yüzey sonlama işçiliği eksiksiz yapılmalıdır. Son olarakta betona uygun kür uygulanmalıdır (Şimşek 2005).

3.2 Yüzeysel Geçirimsiz Katkılar

Dış ortamdan yapıya gelebilecek her türlü su kaynağı ile beton yüzeyi arasında geçirimsiz bir tabaka oluşturmak için kullanılan kimyasallardır. Çimento esaslı yüzeysel geçirimsiz katkılar, ürün tipine göre belirli oranlarda su veya özel sıvı ile karıştırılıp beton yüzeyine uygulanan malzemelerdir. Tek bileşenli olan tipleri toz halinde olup uygulamadan önce su ile karıştırılarak sürülebilir kıvama getirilir. İki bileşenli olan tipleri ise, toz bileşen ile birlikte ayrı kaplarda temin edilen sıvı bileşenden oluşur. Kristalize olan çimento esaslı malzemeler, betonun içindeki kimyasallar ile reaksiyona girerek kristal yapılar üretirler. Kristaller betonun yapısına nüfuz ederek betondaki kılcal boşlukları tıkar ve boşluk oranını azaltır. Kristalize olarak betona işlemenin yanı sıra yüzeyde esnek ve dayanıklı bir katman oluşturarak iki aşamalı koruma sağlarlar. Hem negatif hem de pozitif yönlerden uygulanabilirler. Başlıca kullanım alanları, içme suyu ve kullanma suyu depoları, yüzme havuzları, betondan imal kanallar, tüneller, sığınaklar ve tüm betonarme yapılardır. Çimento esaslı su geçirimsiz kimyasal katkılar sürülmeden önce uygulama yüzeyi kuru ise su ile nemlendirilmesi gereklidir. Bitüm esaslı yüzeysel geçirimsiz katkılar, bitümlü solüsyonlar ve emülsiyonlardan oluşur. Bu malzemeler çeşitli asbest, kömür katranı, asfalttan ve ham petrolün damıtılması sonucunda açığa çıkan atık ürünlerin kullanılması ile elde edilirler. Likit haldeki bitüm esaslı yalıtım malzemeleri normal sıcaklıkta akıcı halde bulunan asfaltdır. Kendi aralarında 3 gruba ayrılırlar. Asfalt solüsyonlar, bitümlü malzemenin seyreltme işlemi yapılarak sıvı hale getirilmesiyle elde edilir. Yaygın kullanımı astar beton, sıva, şap, gaz betondur. Metal elemanların toprak altında kalan yüzeyleri için de kullanılır. Uygulaması yüzeylere 3 kat halinde olur. Asfalt emülsiyonları, bitümlü malzemenin su

içerinde disperse edilmesi şeklinde oluşur. Uygulamada soğuk şekilde su ile seyreltilerek yüzeylere sürülür. Betonarme eleman yüzeylerinde uygulanır, metaller için kullanılmaz. Kreozot, zift esaslı bitümlü yalıtım malzemelerinde astar olarak kullanılır. Solisyon tipi bir malzeme olup, kömürden elde edilen ham katranın kaynatılmasıyla elde edilir. Yakıcı kokulu ve siyah renkli bir sıvıdır. Pasta halindeki bitüm esaslı yalıtım malzemeleri ise, bir veya iki komponentli bitüm esaslı malzemelerdir. İki komponentli olanında ikinci bileşen sertleştirici ve priz hızlandırıcı olarak karışıma girer. Beton, sıva, şap ve kuru veya hafif yüzeylerde kullanılır. Esnek yapısı uygulama kolaylığı sağlar (İnt.Kyn.5).

3.3 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Ertem vd. (2002) çimento esaslı yüzeysel geçirimsiz katkıları kristalleşerek betonun bünyesinde bulunan boşlukları ve çatlakları doldurabilme özelliği olmadığını gözlemlenmiştir. Esnek olmayan yapısı sebebiyle uygulama yapılan beton yüzeyiyle birlikte hareket edemeyip zaman içerisinde bünyesel çatlakların oluşmasına neden olur. Yalıtımın yapısında oluşabilecek en küçük hasar su girişine dolayısıyla malzemenin bozulmasına neden olur. Bu sebeple çimento esaslı su yalıtım malzemelerinin uzun dönem performansları düşüktür.

Tsai-Lung (2013) yaptığı çalışmada, kristalize özellikli su geçirimsiz katkıları çimentonun ağırlıkça %3, %5, %7 oranlarında karışıma ekleyip çekme, eğilme ve basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntülemesi yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında çimento ağırlığının %3 oranında kullanılan katkı maddesi ekli karışımın mekanik özellikleri en yüksek çıkmış olup, SEM görüntülemelerinde ise tüm karışımlarda çok sayıda iğne benzeri kristaller yapıları oluştuğu ve boşluklu yapıları doldurduğu gözlenmiştir.

Apay vd. (2016) yapılan çalışmada çimentonun ağırlıkça %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranlarında su itici katkıları kullanılarak hazırlanan karışımlara uygulanan basınç dayanımı ve su geçirimsizlik deneyler sonucunda en yüksek basınç dayanımı 36.1 N/mm² ve en yüksek su geçirimsizlik %2 kimyasal katkı içeren örnekte çıkmıştır.

García (2019), kristalize katkıların kullanılması çimento esaslı malzemeleri daha dayanıklı kıldığı ve gözenekleri doldurduğu gözlenmiştir. Kılcal kanallar ve mikro çatlaklarda su girişini engelleyen kristallerin oluşumu sayesinde sıvıların beton yapısına girmesi engellenir. Kristalize katkı oranları çimentonun ağırlıkça %1, %1.5 ve %2 olacak şekilde üretime girmiştir. 90 gün boyunca H_2SO_4 çözeltisinde bekletildikten sonra mekanik özellikler incelenmiştir. Asite maruz kaldıktan sonra, kristalize karışım oranı arttıkça, daha düşük kütle kaybı olmasının yanı sıra, kontrol numunesinden daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. Ancak, kristalize katkı oranı arttıkça kılcal su emiliminde önemli bir etki yaratmadığı gözlenmiştir.

Pazderka ve Hájková (2016) çalışmalarında kristalize özellikli katkıların su buhar geçişini %16-20 arasında engellediği tespit edilmiştir. Beton numunelerine uygulanan su geçirimsiz testlerinde kristalize katkının 12. günün sonunda beton yapısındaki boşlukları doldurmaya başladığı görülmüştür. Kristalize katkının beton basınç dayanımına %2 oranında etki ettiği görülmüştür.

Aghabaglou vd. (2019) Alkali miktarı % 10'nun altında, klorür içeriği %0.1'den düşük, pH değeri 10-11 arasında değişen sıvı halde 3 su geçirimsiz katkı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Kontrol numunesiyle 20 slump değerinde beton üretimi yapabilmek için çimento ağırlığının %1.3 bir süperakışkaltırıcı eklemek gerekirken, su geçirimsiz katkılı betonlarda bu oran %0.8 olarak hesaplanmıştır. Su geçirimsiz katkılarda 45 dk sonunda kıvam kaybı kontrol numunesine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Su emme, kılcalılık ve permalite sonuçlarına göre s/ç 0.6'dan düşük olan karışımlarda geçirimsiz katkıların daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Al-Kheetan vd. (2018) Klorür ve zararlı kimyasal maddelere karşı geçirimsiz özelliğini yükseltmek için hem kristalize özellikli hemde hidrofobik özellikli katkıları kullanılmıştır. Bu çalışmada, kristalize ve su itici kimyasal katkıları çimentonun ağırlıkça % 1, %2 ve % 3 oranlarında eklenmiştir. Üretilen karışımlarda yüksek yayılma olmasına rağmen, betonda hiçbir ayrışma gözlenmemiştir. Optimum performans, % 2 katkı içeren karışımlarda tespit edildi. % 2 hidrofobik katkı içeren karışım, % 2 kristalize katkı içeren karışımla karşılaştırıldığında, daha yüksek dayanım değerleri

görülmüştür. Ancak su geçirimsizliği deneylerinde, kristalize katkılı karışımlarda daha olumlu etkiler gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Pazderka (2017) Kristalize esaslı katkıların beton geçirimsiz kabiliyetinin yanı sıra basınç dayanımına olan etkileride araştırılmıştır. 28 günün sonunda yapılan basınç dayanım testlerinde çimento miktarının %2 oranında kristalize katkı katılan numunelerin katkısız numuneler ile sonuçlarının birbirine yakın olduğu, %1 oranında kristalize katkı ile üretilen numunelerin ise katkısız numunelere göre basınç dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu araştırmada kristalize katkının optimum düzeyi araştırılmıştır.

Yavuz (2011) polikarbosilik eter esaslı katkı maddesi ile beraber kullanılan modifiye lignin sülfonat esaslı su geçirimsizlik katkısının su/çimento oranını düşürmesinde etkili olduğu gözlenmiştir. Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılan betonların basınç dayanımı artmıştır. Su geçirimsizlik katkısı ile üretilen karışımlarda 28 günlük basınç dayanımlarında bir miktar düşme gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu durum söz konusu katkının betonda hava sürüklemesi neticesinde oluşmaktadır. TS EN 12390-8 (2010) standartında yer alan her türlü zararlı ortam koşullarında üretilen betonun geçirimsizlik özelliğini kaybetmemesi için su/çimento oranı en az 0.52 olması gerektiğini önermişlerdir.

Shiru vd. (2015) 3 farklı çimento tipi ile yapılan deneyler sadece süperakışkanlaştırıcı kullanılan numunelerin kristalize özellikli su geçirimsiz katkı kullanılan numunelerle kıyasla geçirgenliğinin daha fazla olduğu saptanmıştır. Kullanılan geçirimsiz katkı beton boşluklarında kristalize yapılar oluşturarak basınç dayanımına olumlu etkileri gözlemlendiği belirtilmiştir.

4. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde deneysel araştırmada kullanılan malzemeler, beton dizaynının oluşturulması, taze ve sertleşmiş beton deneyleri ayrıntılı olarak işlenmiştir. Çalışmada farklı kimyasal katkıların, farklı uygulamalarla betonun boşluklu yapısındaki etkileri ve geçirimsizlik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca donatı korozyonu üzerine deneyler yapılmıştır.

4.1 Kullanılan Malzemeler

4.1.1 Çimento

Afyon Çimento fabrikasında üretilen CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır (TS EN 197-1 2012). Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 CEM I 42.5 R Çimento raporu.

KİMYASAL ÖZELLİKLER				Elde Edilen Değerler	Ölçüm Belirsizliği	TS EN 197-1 Standart Değerler
Kızdırma Kaybı (%)				3.8	0.05	5
Çözünmeyen Kalıntı (%)				0.34	0.03	5
Kükürt Trioksit (SO ₃) (%)				3.09	0.04	4
Klorür (Cl ⁻) (%)				0.0092	0.001	0.1
FİZİKSEL ÖZELLİKLER						
Özgül Yüzey (cm ² /g)				4166		-
Yoğunluk (g/cm ³)				3.09		-
2	Günlük	Basınç	Dayanımı	33.4	0.5	20
(N/mm ²)						
7	Günlük	Basınç	Dayanımı	46.8		
(N/mm ²)						
28	Günlük	Basınç	Dayanımı	56.5	0.6	42.5-62.5
(N/mm ²)						
Priz Başlangıcı (dakika)				169	2	60
Priz Sonu (dakika)				251		
Hacim Genleşmesi (mm)				0.3	0.3	10

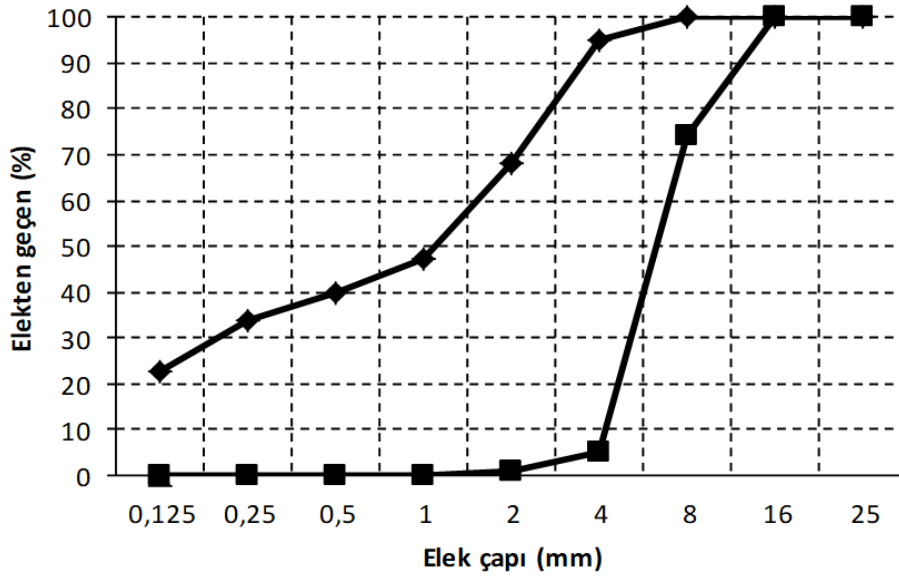
4.1.2 Agreg

Betonların üretiminde 0-4 mm ve 4-11.2 mm olmak üzere iki farklı agrega boyutu kullanılmıştır. Agregaların özellikleri Çizelge 4.2’de, agregalara ait elek analizi grafiği ise Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Agregaların fiziksel özellikleri.

Tane Boyutu (mm)	Nem oranı (%)	Su emme (%)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)
0 –4	1.72	1.564	2.630
4 –11.2	0.56	0.563	2.694

0-4 mm kırma kuma metilen mavisi testi uygulanmış ve sonuçları 0.75 çıkmıştır.



Şekil 4.1 Üretimde kullanılan agregaların elek analizi.

4.1.3 Su

Beton karışımında içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.1.4 Kimyasal Katkılar

Üretilen beton karışımlarında çimentonun ağırlıkça %1.54'ü oranında hiperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Hiperakışkanlaştırıcı katkının özellikleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Hiperakışkanlaştırıcı katkı özellikleri.

Özellik	Test Metodu	Sonuçlar	Standart Değerler	
Homojenlik	Görsel	Homojen	Homojen	
Renk	Görsel	Açık Kahverengi	Açık Kahverengi	
Yoğunluk 20 °C, g/cm ³	ISO 758	1.062	1.04	1.08
Katı Madde Yüzdesi, %	EN 480-8	22.02	20.5	24.5
Ph, (%10'luk Çözelti)	ISO 4316	4.64	2.5	6.5
Suda Çözünebilen Klor Yüzdesi, %	EN 480-10	0.0712	Max. 0.1	

4.1.5 Geçirimsiz Kimyasal Katkılar

Bu çalışma kapsamında üretilen betonlarda geçirimsiz özelliğini sağlamak üzere ikisi yapısal ve ikisi yüzeysel olmak üzere dört farklı katkı kullanılmıştır. Yapısal katkıları su itici ve kristalize geçirimsizlik sağlayan katkı grubundan iken, yüzeysel olanlar da çimento esaslı ve bitüm esaslı olarak seçilmiştir. Su itici, kristalize yapısal katkıları ile çimento esaslı sürme ve bitüm esaslı kimyasal katkıların karakteristik özellikleri sırasıyla Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4 Su itici kimyasal katkının teknik özellikleri.

Teknik Özellikleri	
Renk	Kahverengi
Yoğunluk (20 °C)	1.053-1.093 kg/lt
Klor İyon İçeriği (%)	< 0.10 ağırlıkça
Alkali İçeriği (%)	< 10 ağırlıkça
Korozyon Davranışı	BS EN934-1:2008, EK A-1 standartına uygundur bileşenler içerir.

Çizelge 4.5 Kristalize kimyasal katkının teknik özellikler.

Teknik Özellikleri	
Bağıl Yoğunluk	< 1.1 gr/cm ³
Katı Madde Miktarı	< %20
Ph	12.75 +/-%1
Suda Çözünebilir Klor	< %0.01
Toplam Klor	NPD
Kılcal Su Emme	7 gün< %50 - 28 gün< %60
Basınç Dayanımı	>50 N/mm ²
Taze Betondaki Hava Miktarı	<%2

Çizelge 4.6 Çimento esaslı kimyasal katkının teknik özellikleri.

Su Buhar Geçirgenlik Katsayısı	DIN 52615 u=60
Basınç Dayanımı (28 gün)	EN 196-1 27 N/mm ²
Eğilme Dayanımı (28 gün)	EN 196-1 10 N/mm ²
Çekme Mukavemeti (28 gün)	ASTM C190-85 2.4 N/mm ²
Klorid ve Sülfata Dayanımı	Dayanımlı
Taze Harç Karışım Yoğunluğu	1.884 gr/cm ³
Donma Süresi EN196-3	Başlangıç 355 dak Sonlanma 460 dak

Çizelge 4.7 Bitüm esaslı kimyasal katkının teknik özellikleri.

Renk	Kahverengi-Siyah
Ph	10.5(+/-1)
Yoğunluk	1.05 kg/lt
İlk kuruma süresi (dak)	480-600 (20 ⁰ C)
Tam kuruma süresi (dak)	4320 (20 ⁰ C)
İnceltici	Su
Uygulanacak zemin yüzey sıcaklığı	5-30 ⁰ C

4.2 Yapısal Geçirimsiz Betonların Hazırlanması

Geçirimsiz betonların hazırlanmasında yapılan elek analizi sonrasında kullanılacak agreganın granülometrisi çıkartılmış ve elde edilen değerler Dmax 16 grafiği baz alınarak 0-4 mm ve 4-11.2 mm agrega miktarları belirlenmiştir. Hedef basınç dayanımı C30/37 seçilmiştir, tüm karışımlarda bağlayıcı olarak çimento 390 kg kullanılmıştır. Üretilen betonların işlenebilirlik değerleri sabit tutulmaya çalışılmış olup, slump

değerinin 20 cm civarında olmasına karar verilmiştir. Yapılan denemeler sonrasında karışımda hedeflenen slump değerini elde etmek için hiperakışkanlaştırıcı katkı miktarı çimentonun ağırlıkça %1'i oranında seçilmiştir. Tüm serilerde su/çimento oranını sabit tutmak için yapısal su geçirimsizlik katkıların kullanım miktarı kadar karışım suyundan azaltma yapılmıştır. Geçirimsiz betonlarda birim hacimde kullanılan malzemeler ve miktarları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Geçirimsiz betonlarda birim hacimde kullanılan malzemeler ve karışım oranları.

	0-4 mm Agrega (kg)	4-11.2 mm Agrega (kg)	CEM I 42.5 R Çimento (kg)	Hiper Akışkanlaştırıcı (kg)	Su (lt)	SK Katkı (kg)	KK Katkı (kg)
Şahit (Ş)	825	1010	390	6	180	-	-
%1 SK	825	1010	390	6	176	3.9	
%2 SK	825	1010	390	6	172	7.8	
%3 SK	825	1010	390	6	168	11.7	
%1 KK	825	1010	390	6	176		3.9
%2 KK	825	1010	390	6	172		7.8
%3 KK	825	1010	390	6	168		11.7

Karışımlarda laboratuvar tipi mikser kullanılmıştır. Karışımların homojen halde üretmek için 20 dm³ partiler halinde her karışım için 5 dk boyunca karıştırma işlemi yapılmıştır. Önce agregalar ve çimento, mikserde 1 dk boyunca kuru karışım şeklinde karıştırılmıştır. Daha sonra, karışım suyu ile hiperakışkanlaştırıcı katkı ve üretilecek karışıma göre geçirimsiz kimyasal katkı karıştırıcıya eklenerek 4 dk daha karışıma devam edilmiştir. Karıştırıcı mikser Resim 4.1'de gösterilmiştir.



Resim 4.1 Karıştırıcı mikser.

Üretilen taze betonlarda slump testi yapılmıştır ve hedeflenen yaklaşık 20 cm değeri yakalanmıştır. Slump testi sonrası, üretilen her seriden 9 adet 15x15x15 cm boyutlu küp numune, 3 adet Ø10x20 cm boyutunda silindirik numune alınmıştır. Silindirik numunelerde kalıbın ortasına gelecek şekilde betonların içine Ø8 çapında inşaat demiri yerleştirilmiştir. İnşaat demirlerinin gömme boyları 15 cm olarak sabit tutulmuştur. Vibrasyon masasında 30 sn süre ile betonun kalıplara yerleştirilmesi sağlanmıştır. 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir, sonra numuneler kalıplarından çıkartılıp kür işlemini gerçekleştirmek üzere 20 ± 2 °C sıcaklıkta su bulunan havuza konulmuştur. Vibrasyon masası Resim 4.2’de gösterilmiştir.



Resim 4.2 Vibratör masası.

4.3 Yüzeysel Geçirimsiz Betonların Hazırlanması

Çimento esaslı yüzeysel geçirimsiz kimyasal katkı teknik özelliklerde belirtilen su içeriği ile harç olarak hazırlanmıştır. Karışım hazırlama aşamasında 3 lt sıvı kristalize katkı 6 lt su ile 400 dev/dk'da 2 dakika karıştırılmıştır. 2 dk sonunda 25 kg toz haldeki kristalize katkı eklenmiştir ve 400 dev/dk'da 3 dakika daha karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonunda homojen, topak oluşturmeyen ve sürülebilir kıvamda harç elde edilmiştir. 28 gün laboratuvar havuzunda kür işlemi tamamlanan şahit numuneler çıkartılmıştır. Numune yüzeyleri temizlenip herhangi bir serbest parçacık veya yağ, kir kalmamasına dikkat edilmiştir. Nemli haldeki numunelerin yüzeyine harç sürme işlemi fırça yardımıyla yapılmıştır. Harç, numune yüzeylerine iki kat uygulanıp, katlar arasında 3 saat beklenilmiştir. Çimento esaslı geçirimsiz katkı Resim 4.3'te gösterilmiştir.



Resim 4.3 Çimento esaslı yüzeysel katkı.

Bitüm esaslı yüzeysel geçirimsiz katkı laboratuvar havuzunda 28 gün kür işlemini tamamlanmış şahit numunelerin yüzeylerine sürme şeklinde uygulanmıştır. Yüzeylerde kırık, çatlak olmamasına dikkat edilip sonrasında her türlü kir, pas, toz, kalıp yağı ve kimyasallardan arındırılıp temizlenmiştir. Numune yüzeyleri kuru olmalı, bu sebeple kür havuzundan çıkartılan numuneler 72 saat dışarıda bekletilmiştir. Bitüm esaslı harç kıvamındaki kimyasal katkı bir kaba alınıp 200 dev/dk'da 5 dk karıştırılmıştır. Numune yüzeylerine 2 kat uygulanmıştır. Katlar arası 1 saat beklenip ve katlar birbirine dik

doğrultuda uygulama işlemi yapılmıştır. Bitüm esaslı geçirimsiz katkı Resim 4.4'te gösterilmiştir.



Resim 4.4 Bitüm esaslı yüzeysel katkı.

4.4 Yapılan Deneyler

Yapısal ve yüzeysel geçirimsiz katkılar kullanılarak üretilen numunelere başta korozyon oluşumuna karşı etkileri olmak üzere durabilite özelliklerine katkılarının araştırılması amacıyla aşağıda sıralanan deneyler uygulanmıştır.

4.4.1 Su Emme, Birim Ağırlık ve Görünen Porozite

Betonların ağırlıkça su emme miktarı, görünen porozite oranı ve birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla Denklem (4.1), Denklem (4.2) ve Denklem (4.3) ile belirlenmiştir.

$$Sa = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (4.1)$$

$$P = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 \quad (4.2)$$

$$Bd = \frac{W_1}{(W_3 - W_2)} \quad (4.3)$$

Denklemlerde W_1 , numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr); W_2 , numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr); W_3 , numunenin havadaki ağırlığı (gr); S_a , ağırlıkça emilen su emme miktarı (%); P , görünen porozite (%) ve B_d , birim hacim ağırlığı simgelemektedir (Baradan 2015).

4.4.2 Ultrases Deneyi

Ultrases deneyi ASTM C 597-16 (2009)'a uygun yapılmıştır. Şahit numune ve yapısal geçirimsiz katkılar kullanarak üretilen numuneler üzerinde yapılmıştır. Laboratuvar havuzunda 3, 7, 28 gün kür uygulanan 15 cm ayrıtlı küp numunelere uygulanmıştır. Ultrases geçiş hızı değerleri aşağıdaki Denklem (4.4) ile belirlenmiştir.

$$V=L/t \quad (4.4)$$

Denklemden, V , ultrases geçiş hızı (km/s); t , ses geçiş süresi (s) ve L : proplar arası mesafeyi (km) ifade etmektedir.



Resim 4.5 Ultrases cihazı.

4.4.3 Kılcal Su Emme Deneyi

Kılcal su emmenin tayini için 28 gün kür havuzunda bekleyen silindir numuneler çıkartılarak Ø10x5cm ölçülerinde kesilmiştir. Numuneler 80°C sıcaklıktaki etüvde 48 saat bekletilerek tamamen kuruması sağlanmıştır. Numunelerin yan yüzeylerinin su ile temasını kesmek için parafinle kaplanıp ve kuru ağırlığı belirlenmiştir. Daha sonra numunenin alt yüzü yaklaşık 0.5 cm seviyesinde su ile temas edecek şekilde yerleştirilmiş ve belirli aralıklarla ağırlıkları 0.1 gr hassasiyetinde elektronik terazi ile ölçülmüştür. Bu deney ASTM C1585-13 standartına bağlı kalınarak yapılmıştır. Kılcal su emme düzeneği Resim 4.6’da gösterilmiştir.

$$kt = Q^2/A^2 \quad (4.5)$$

Denklemden, Q, emilen su miktarı (cm³); A, su ile temas eden kesit alanı (cm²) ; t, geçen zaman (sn) ; k, kapilerite katsayısı (cm²/sn) ifade etmektedir.



Resim 4.6 Kılcal su emme deney düzeneği.

4.4.4 Hızlandırılmış Korozyon Deneyi

Deney her seriden bir adet silindir numune üzerinde uygulanmıştır. Kullanılan deney düzeneği, doğru akım kapasiteli bir güç kaynağı, bir veri toplama cihazı, içerisinde %4 konsantrasyonlu NaCl çözeltisi, iki adet paslanmaz çelik plaka bulunan bir plastik kap ve deney numunesinden oluşmaktadır. Güç kaynağının bir ucu (+) çözelti içine

yerleştirilmiş olan numunelerdeki donatılara, diğer ucu (-) da yine çözelti içindeki çelik plakalara ve buradan da veri toplama cihazına bağlanarak kapalı devre oluşturulmuştur. Devreye 50 volt gerilim uygulanarak betonlarda çatlak oluşumuna kadar devredeki akım değerleri kaydedilmiştir. Bu devrede donatı çubuğu anot, plakalar katod ve NaCl çözeltisi de elektrolit görevini görmektedir. Ayrıca bu sisteme 5 adet çözelti haznesi paralel olarak bağlanmış ve oluşturulan deney düzeneği ile 5 adet numuneye aynı anda deney yapılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneyi neticesinde, numunelerde oluşan hasar oluşumları ve hasar oluşum süreleri takip edilmiştir. Ayrıca hızlandırılmış korozyon düzeneğinde her bir hazneden geçen korozyon akımı değerleri her 20 dakikada bir veri toplama cihazı tarafından kaydedilmiş ve zamana bağlı korozyon akımı grafikleri çizilmiştir. (Boğa 2010) Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği Resim 4.7’de gösterilmiştir.



Resim 4.7 Hızlandırılmış korozyon cihazı.

4.4.5 Hızlı Klorür Geçirirliği Deneyi

Deney, ASTM C 1202-19’a göre deneyde çapı 100 mm, kalınlığı 50 mm olan silindirik numuneler kullanılmıştır. Numunelerin yan yüzeyleri elektrik iletmeyen parafin malzemesi ile kaplanıp alt taraftan suyla temas eden numuneler 3 saat boyunca desikatörde vakumlanmıştır. 3 saatin bitiminde numuneler tamamen su altında bırakılıp 1 saat daha vakum işlemi sağlanmıştır. 18 saat vakumsuz olarak su içerisinde ayrıca bekletilmişlerdir. Sudan çıkartılan numunelerin yerleştirildiği mekanizmanın üst hücreğine %3 sodyum klorür, alt hücreğine ise 0.3 sodyum hidroksit doldurulmuştur ve

veri toplama cihazıyla beraber kapalı devre sistemi kurulmuştur (Resim 4.8). 60 V sabit potansiyel fark pozitif uç NaOH olan hücreye ve negatif uç ise NaCl içeren hücreye uygulanmıştır. Elektrik akım değeri beşer dakika arayla toplamda 6 saat boyunca miliamper olarak kaydedilmiştir. Hızlı klorür geçirirliği düzeneği Resim 4.8’de gösterilmiştir.

$$Q= 900 (I_0+2I_{30}+2I_{60}+ +2I_{300}+2I_{330}+I_{360}) \quad (4.6)$$

Burada;

Q: Yük (coulomb)

I₀: Düzeneğe akım uygulandığı anda ölçülen akım (amper)

I_t: Düzeneğe akım uygulanmasından t dakika sonra ölçülen akım (amper)

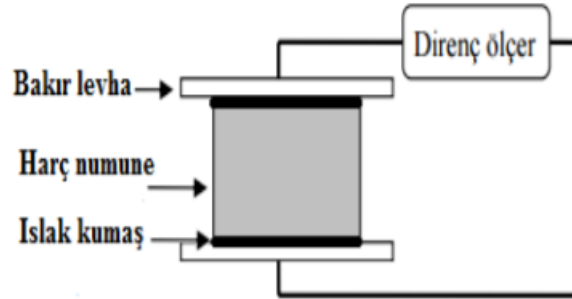


Resim 4.8 Hızlı klor iyonu geçirirliği deney düzeneği.

4.4.6 Elektriksel Özdirenç

Her seriden numuneler 72 saat etüvde bekletildikten sonra ASTM C1760-12 standardına uygun olarak direnç ölçer (ohm-metre) ile iki plakalı yöntem uygulanarak

elektriksel direnç değeri (R) ölçülmüştür (Resim 4.9). Her seriden üç tekrarlı ölçüm yapılarak aritmetik ortalama değeri baz alınmıştır.



Resim 4.9 Elektriksel özdirenç.

Direnç değerleri (R) ölçülen numunelerin elektriksel özdirenç değerleri de aşağıda verilen denklem (4.7) ile belirlenmiştir.

$$\delta = (R \times A) / L \quad (4.7)$$

Denklemde, δ , elektriksel özdirenç (kohm.m); R, direnç (kohm); A, numune yüzey alanı (m²) ve L, plakalar arası mesafeyi (m) simgelemektedir.

4.4.7 Basınç Dayanımı

Basınç dayanım deneyleri, TS EN 197-1 (2012) standartına uygun olarak 15 cm kenar uzunluğu olan küp numunelere yapılmıştır. Deney için AKÜ inşaat laboratuvarında bulunan 2000 kN kapasiteli beton presi kullanılmıştır. Deneyde küp numuneler presin iki çelik sıkıştırma tablası arasına alt tablanın üzerindeki dairenin içinde kalacak şekilde yerleştirilmiştir. 0.3 MPa/sn'lik sabit hızla yüklenmiş ve kırılma yükleri (Pk) belirlenmiştir. Numenin kırıldığı Pk kuvvetin yüzey alanına bölünmesi ile basınç dayanımı hesaplanmıştır. Resim 4.10'te basınç deneyinin yapılışı gösterilmiştir. Her bir seriden numunelerin 3, 7 ve 28 günlük kırılmaları yapılmıştır.



Resim 4.10 Beton test presi.

4.4.8 Mineralojik ve Morfolojik Analizleri

AKÜ Teknoloji Uygulama ve Araştırma laboratuvarında Bruker Marka D 8 Advance Model cihazıyla beton örneklerin XRD analizleri yapılmıştır. Resim 4.11’de gösterilen LEO 1430 VP model SEM cihazı ile de morfolojik analizler yapılmış ve numunelerin içyapı resimleri çekilmiştir.



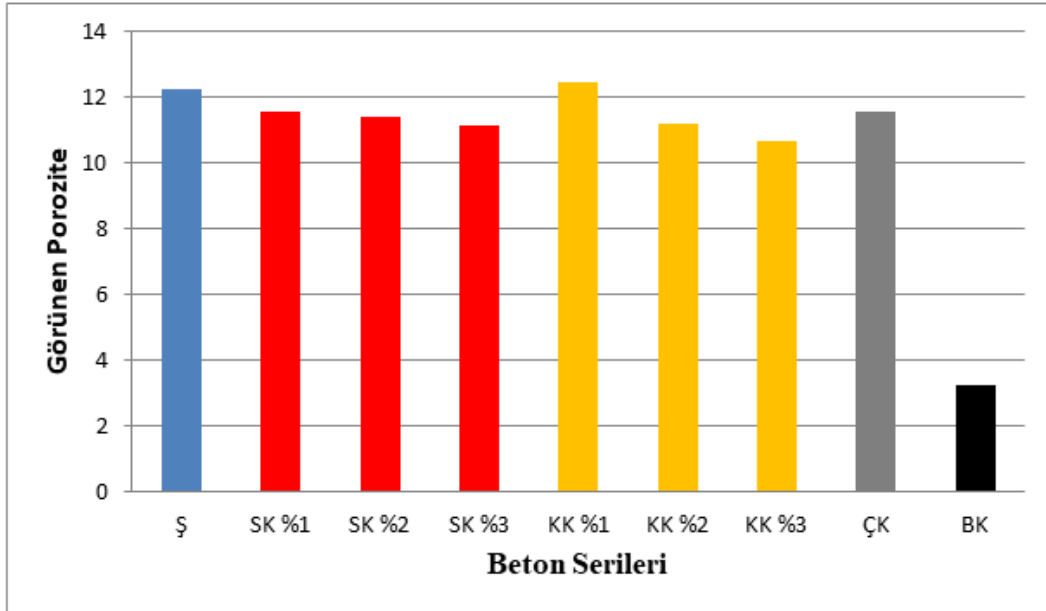
Resim 4.11 SEM cihazı.

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

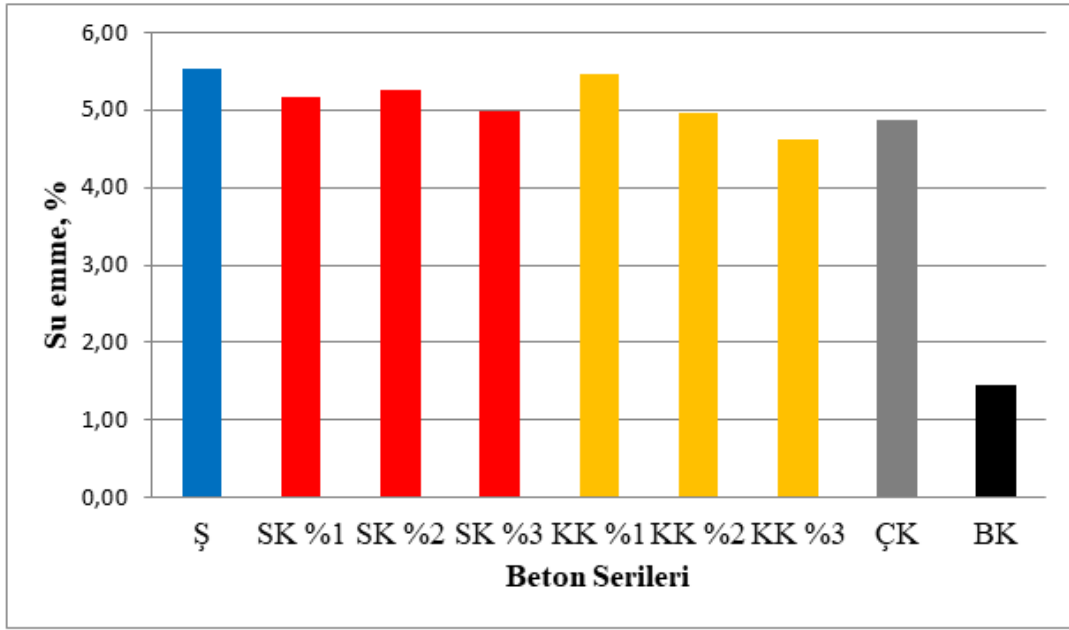
Beton içerisine geçirimsizlik sağlaması amacıyla ilave edilen veya yüzeyine uygulanan geçirimsizlik katkısının betondaki donatı korozyonuna etkisi deneysel olarak araştırılmış ve elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur

5.1 Su Emme, Birim Ağırlık ve Görünen Porozite

Su geçirimsizlik katkısı içeren betonların görünen boşluk oranları incelendiğinde (Şekil 5.1), şahit numuneye (Ş) göre tüm serilerin daha az boşluk içerdiği görülmektedir. Su geçirimsizliği sağlayan her iki yapısal (betonun içerisine katılan) katkı şahit betonun %12 olan boşluk oranını %10,5 oranına kadar azalmasını sağlamıştır. Diğer yandan, yüzeysel katkıların kullanılması durumunda, çimento esaslı olanlarda az bir azalma görülürken, bitümle kaplanmış betonlarda önemli derecede boşluk oranlarında azalma elde edilmiş olup, %3,5 oranına kadar düşürülmüştür.

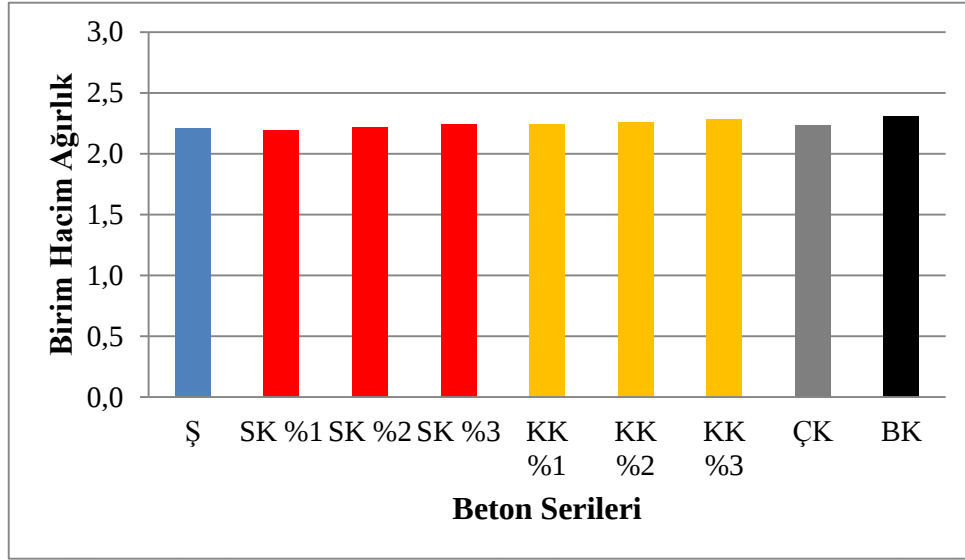


Şekil 5.1 Görünen porozite sonuçlarının serilere göre değişimi.



Şekil 5.2 Su emme sonuçlarının serilere göre değişimi.

Hem yapısal hem de yüzeysel su geçirimsizlik katkısı içeren betonların ağırlıkça su emme değerleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Şahit numune (Ş) ile karşılaştırıldığında, tüm katkı tiplerinin kullanıldığı betonların su emme değerlerinde azalma görülmektedir. Yapısal olarak kullanılan katkıları içerisinde kristalize ürün oluşturan katkı betonun su emme değerinin azaltılmasında su itici yapısal katkıya göre daha etkili olmuştur. Kristalize katkının kullanım oranı arttıkça beton içindeki boşlukların dolması ile daha az su emme oranına sahip hale gelmiştir. Yüzeysel katkıları incelendiğinde, bitüm esaslı olan (BK) katkı çimento esaslı (ÇK) olana göre daha etkili olmuştur. Tüm katkı grupları içerisinde ise yine yüzeysel bitüm esaslı katkı su emme değerinin azaltılmasında oldukça etkili olmuştur. Betonun %5.5 olan su emme oranını %1.5 değerine kadar azalmasını sağlamıştır.



Şekil 5.3 Birim hacim ağırlık sonuçlarının serilere göre değişimi.

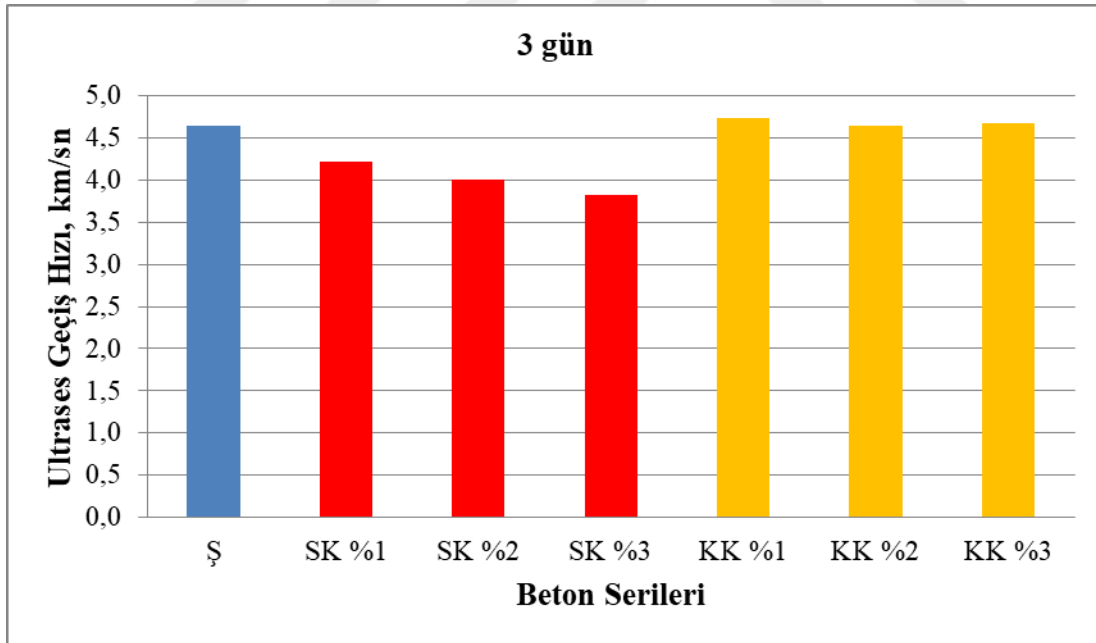
Betonların birim hacim ağırlıkları Şekil 5.3’de verilmiş olup, görüldüğü gibi şahit numuneye göre önemli bir değişim gözlenmemiştir. Sadece bitüm esaslı yüzeysel yalıtılmış betonların şahit betona göre bir miktar fazla birim ağırlığa sahip olduğu görülmekteyse de bu durum betonun yüzeyine birkaç kat halinde sürülen bitümden kaynaklanmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde birim ağırlığı yüksek olan numunelerin daha az boşuk oranı içermesi nedeniyle su emme oranlarının da düşük olduğu gözlenmiştir.

5.2 Ultrases

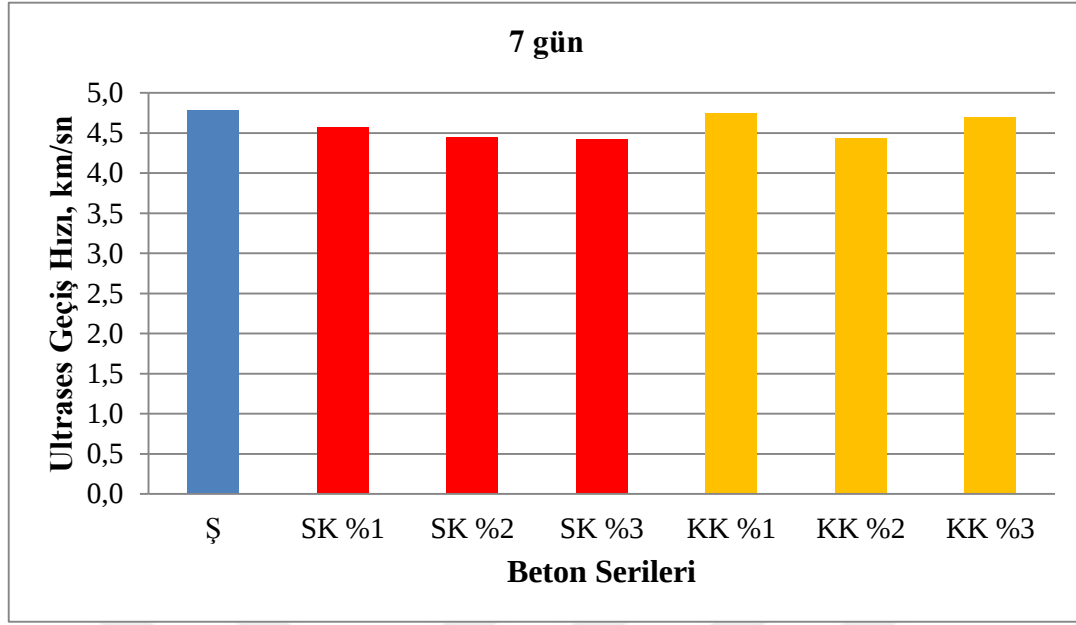
Beton içerisinde ses dalgalarının geçirilmesiyle elde edilen geçiş süresine bağlı olarak, betonda ultrases geçiş hızı ölçülmekte ve sesin geçiş hızına göre betonun doluluk oranına bağlı olarak dayanım gibi özellikleri hakkında tahminler yapılabilmektedir. Yoğunluğu fazla olan betonlarda ses dalgaları daha hızlı geçerken, içerisinde kısmen boşluk bulunan ve buna bağlı olarak da yoğunluğu az olan betonlardan daha yavaş geçmektedir. Yapısal su geçirimsizlik katkısı içeren betonların 3, 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleri sırasıyla Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da sunulmuştur. Tüm seriler için, numune yaşı arttıkça ultrases geçiş hızı değerleri artmaya başlamıştır. Örneğin, şahit betonlarda 3 günlük ultrases geçiş hızı değeri 4.6 km/sn iken, 7 ve 28

günlük betonlarda okunan değer sırasıyla yaklaşık 4.8 km/sn ve 4.9 km/sn değerine ulaşmıştır. Betondaki hidratasyon ürünleri beton yaşına bağlı olarak artıp, boşlukları doldurduğundan, betonun içinden ses dalgalarının geçiş süresini azaltmakta ve böylece geçiş hızının artmasına katkı sağlamıştır. Diğer bir ifadeyle, ses dalgaları dolu ortamdaki daha kısa sürede geçebilmiştir.

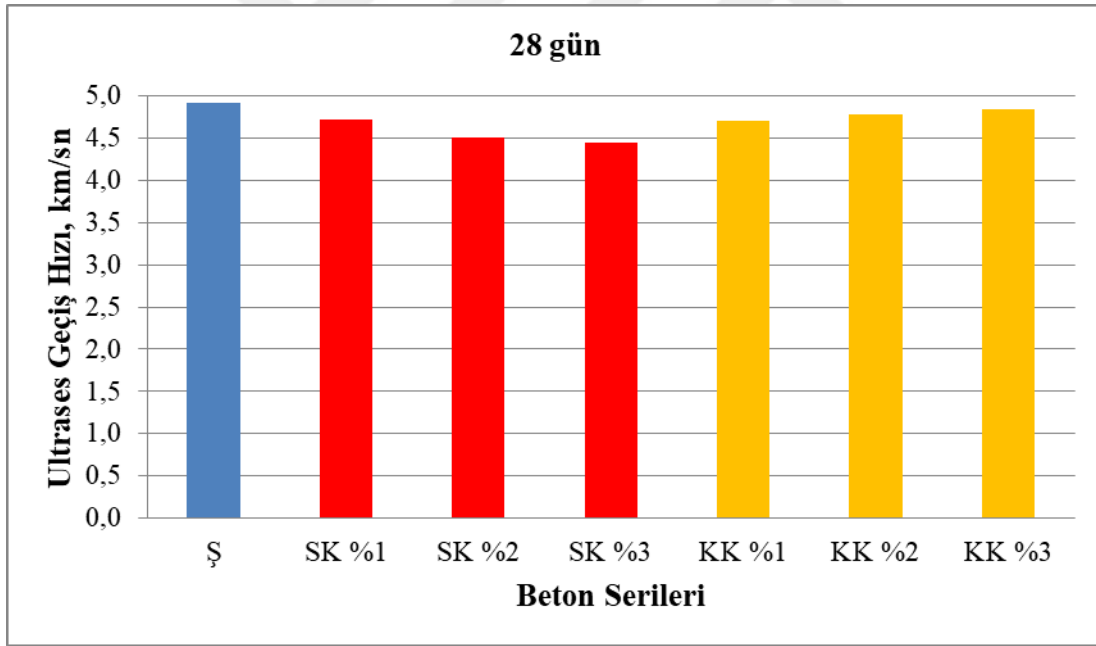
Her bir beton yaşında seriler kendi aralarında değerlendirildiğinde, en yüksek ultrases geçiş hızı değerleri şahit betonlarda ve kristalize katkı içeren betonlarda elde edilmiştir. Su iticilik sağlayan yapısal katkı içeren betonlarda, kimyasal katkının çimento tanesinin etrafını sarıp suyla temasını ilk zamanlarda geciktirdiğinden hidratasyon ürünlerinin hızlı gelişimini önlemiş ve bu nedenden dolayı da doluluk oranının artışı yavaşlatmıştır. Dolayısıyla, en düşük ultrases geçiş hızı su itici kimyasal katkıli betonlarda elde edilmiştir. Kristalize katkılarda ise, boşlukların kristalize ürünlerin doldurulmasıyla daha yoğun bir yapı elde edilerek ses geçişini hızlandırdığı görülmüştür.



Şekil 5.4 Ultrases geçiş hızı 3 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.



Şekil 5.5 Ultrases geçiş hızı 7 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.



Şekil 5.6 Ultrases geçiş hızı 28 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.

Ultrases geçiş hızlarına bağlı olarak bazı kaynaklarda betonun kalitesiyle ilişkili olarak Çizelge 5.1'deki sınıflandırmalar yapılmıştır. Buradaki sınıflandırmaya göre, 3 günlük betonlar bile sahip oldukları ultrases geçiş hızı değerinin 3.5 km/sn değerinin üzerinde olmasıyla beton kalitesi “iyi” olarak sınıflandırılabilir. Betonların 28 günlük ultrases

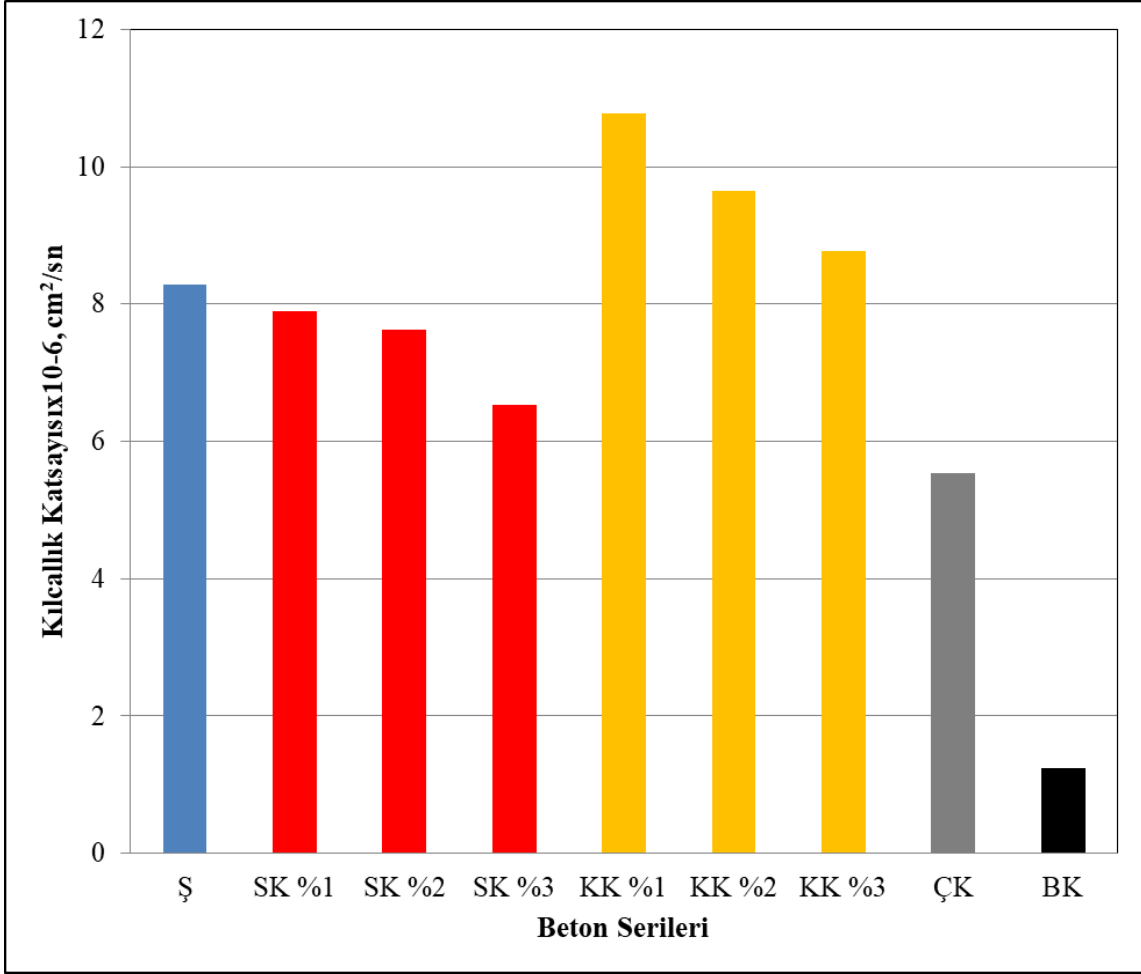
geçiş hızı değerleri açısından da, tüm serilerin değerleri 4.5 km/sn üzerinde olduğundan, beton kalitesi açısından mükemmel olarak sınıflandırılabilir.

Çizelge 5.1 Ultrases geçiş hızı- Beton kalitesi.

Ultrases geçiş hızı, km/sn	Beton kalitesi
>4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	Şüpheli
2,0-3,0	Zayıf
<2	Çok zayıf

5.3 Kılcal Su Emme

Atmosferik basınç altında betonların tabandan suyla temas etmeleri durumunda suyu bünyesine zamana bağlı olarak alabilme yeteneği olarak tanımlanabilecek kılcallık veya kapilerite katsayısının su geçirimsizlik katkı içeriğine bağlı olarak değişimi Şekil 5.7'de görülmektedir. Su itici katkı kullanımı ile şahit betona göre kılcallık kat sayıları azalmaya başladığı açıkça görülmektedir. Ancak kristalize katkı kullanımı ile başlangıçta yüksek olan kılcallık katsayısı katkı miktarının arttırılmasıyla azalmışsa da şahit betona göre yine yüksek değerde kalmıştır. Bunun nedeni, kristalize ürünlerin beton boşluklarında oluşarak bu boşlukların çaplarını küçültmesi ve bunun sonucu olarak da suyun boşluktaki hızını arttırmış olmasıdır. Yüzeysel geçirimsizlik katkılarından çimento esaslı olanlar şahit numuneye göre kılcallık katsayısının azalmasını sağlamışsa da, seriler içinde en düşük kılcallık katsayısı değeri bitüm kaplamalı betonlarda elde edilmiştir. Dolayısıyla, su geçirimsizlik katkısı olarak kılcallık katsayısının azaltılmasında en etkili katkı tipi yüzeysel bitüm esaslı katkının kullanımı olduğu görülmektedir.

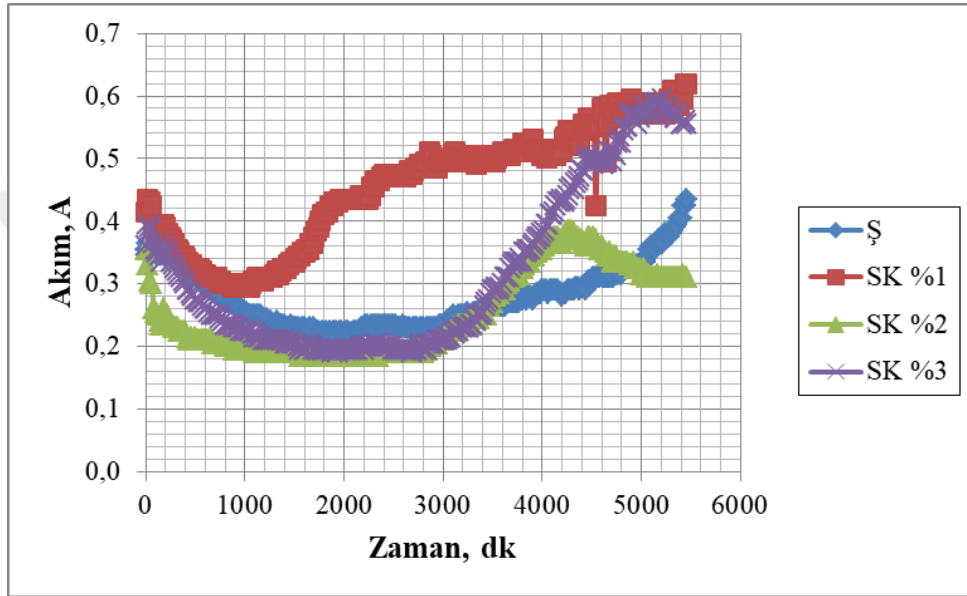


Şekil 5.7 Kılcallık katsayısının su geçirimsiz katkıli betonlardaki değişimi.

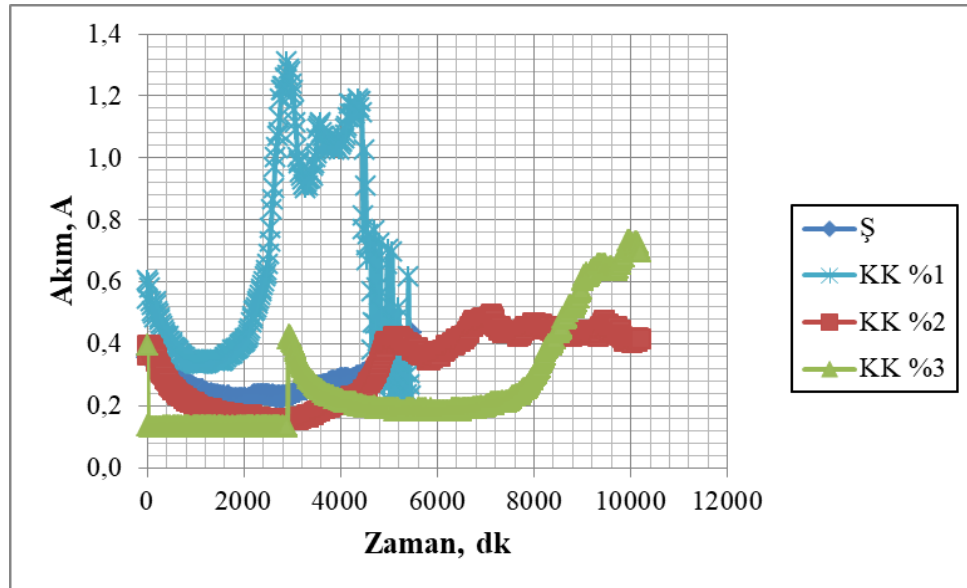
5.4 Hızlandırılmış Korozyon

Yapısal ve yüzeysel kimyasal katkıların betona uygulanması ile donatı korozyonuna etkisi, donatı içeren betonların hızlandırılmış korozyon deneyi ile belirlenmiştir. Bu deney kapsamında demir donatılı betonlara çözelti içerisinde uygulanan 50V gerilim altında geçen akım değerleri zamana bağlı kaydedilmiş ve grafik ortamına getirilerek su itici katkıli, kriztalize katkıli ve yüzeysel katkıli betonlar için sırasıyla Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Tüm serilerde başlangıçta bir akım değeri ile deney başlamış ve zamanla akımlar stabil hale gelmeye çalışmakta ve azalmaya başlamaktadır. İlk çekilen akım değerleri betonlardaki katkı tipi ve içeriklerine bağlı olarak 0.30-0.60 A arasında değerler almıştır. Şahit betonlar 0.35 A ile akım çekmeye başlamıştır. Yapısal katkı içerikleri her iki katkı tipi için %1 kullanıldığında deney başlangıcında şahit betonlardan daha fazla akım çekildiği görülmektedir. Bu akımların zamana bağlı olarak

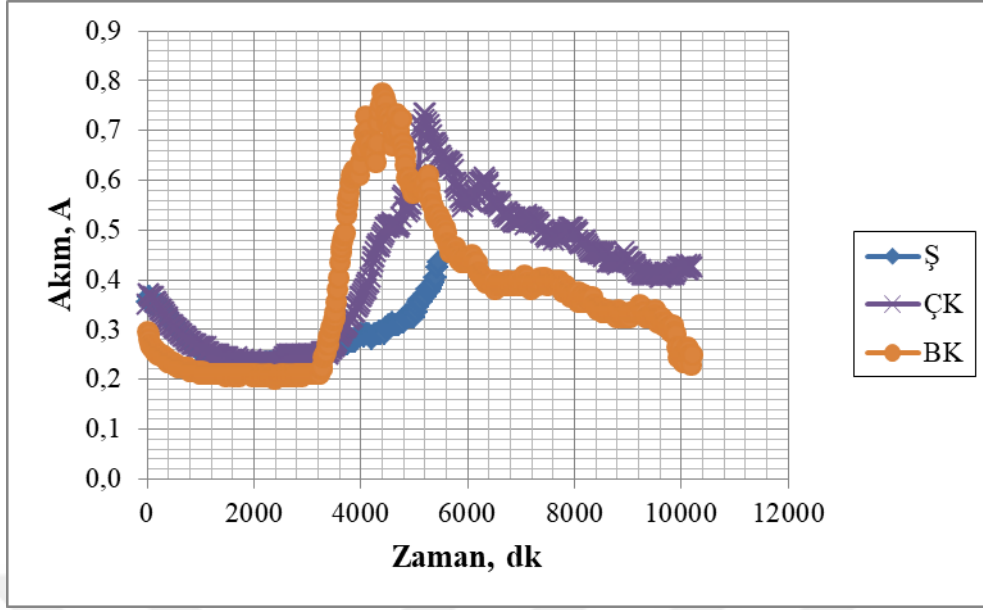
azaldıktan sonra tekrar artmaya başladıkları eğrilerin dönüm noktaları ise betonların çatladıkları ve korozyonun başladıkları yerdir. Betonlar çatladıktan sonra gerilim altında hızla donatılar korozyona uğramakta ve çekilen akımlar da artmaya başlamaktadır. Seriler içerisinde en fazla çekilen akım %1 kristalize katkılı betonlarda elde edilirken bu serileri bitüm ve çimento esaslı yüzeysel katkılı betonlar ile %1 ve %3 su itici katkılı seriler takip etmiştir.



Şekil 5.8 Su itici kimyasal katkılı betonlarda hasar başlangıç süresi.

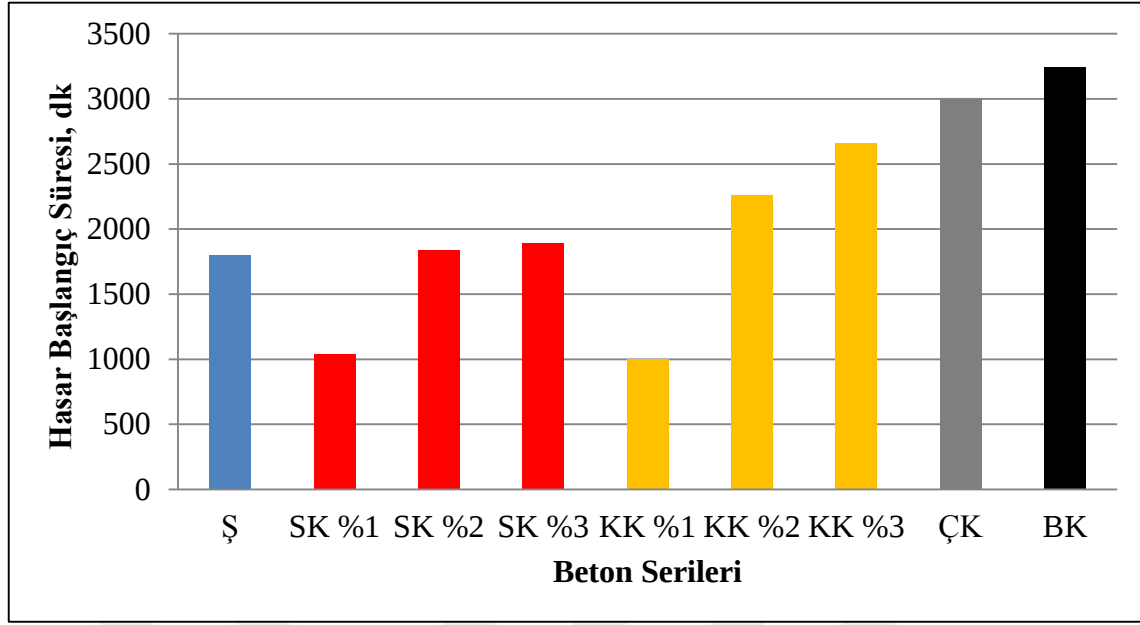


Şekil 5.9 Kristalize kimyasal katkılı betonlarda hasar başlangıç süresi.



Şekil 5.10 Yüzeysel geçirimsizlik katkılı betonlarda hasar başlangıç süresi.

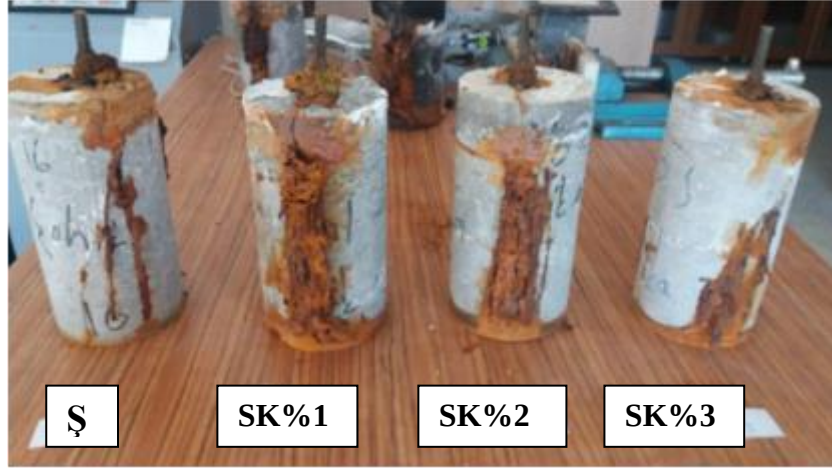
Hızlandırılmış korozyon deneyinde en önemli parametre eğrilerin artmaya başladığı yani betonların çatlayıp donatıların korozyona başladığı süredir. Bu süreler tüm seriler için karşılaştırmalı olarak Şekil 5.11'de sunulmuştur. Şahit betonların korozyona başlama süresi 1800 dk'dır. Yapısal katkılı betonlarda her iki katkı tipi için %1 oranında katkı katıldığında betonların korozyonu ters etki göstererek şahit numuneye göre daha kısa sürede (yaklaşık %45) korozyona başlamışlardır. Su itici katkılarda %2 ve %3 oranında kullanılmaları durumunda şahit betona göre az bir artışla yaklaşık 100 dk sonra korozyona başlamışlardır. Kristalize katkı kullanılması durumunda ise şahit serilere göre farkedilir bir artışla korozyona başlama süresi arttırılmıştır. Bu artış miktarı %2 ve %3 katkı kullanımı için sırasıyla yaklaşık %22 ve %45 oranındadır. Yüzeysel kaplamalı betonlar yapısal katkılı betonlara göre korozyon başlama süresi üzerinde daha etkili olmuşlardır. Yine şahit betona göre çimento esaslı malzemeyle kaplanmış betonlarda %67 oranında, bitüm esaslı malzemeyle kaplanmış betonlarda ise %78 oranında korozyona başlama süresi uzatılabilmektedir.



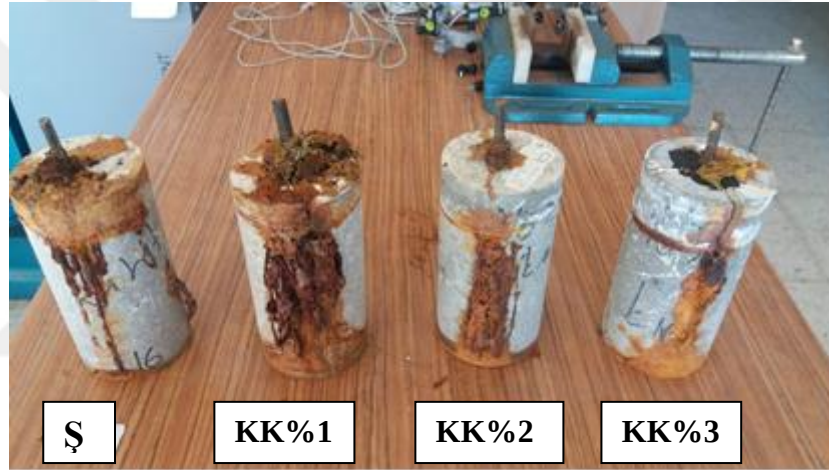
Şekil 5.11 Hızlandırılmış korozyon geçirgenliği.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ve bu tez çalışmasında kullanılan malzemelerle uygulanan su geçirimsizlik katkılarının etkileşimi sonucunda üretilen betonlar için yukarıdaki korozyona başlama süreleri örnek olarak verilecek olunursa, şahit betonun korozyona başlaması 50 yıl olarak kabul edilirse, aynı şartlarda %1 yapısal katkı kullanılması durumunda bu süre yaklaşık 28 yıla azalacaktır. Halbuki aynı kimyasal katkılar %2 ve %3 oranında kullanılmaları durumunda (teknik katalog değerleri), su itici katkı için 55 yıl gibi sürede gerçekleşmesi beklenirken, kristalize katkı kullanılması durumunda 75 yıl gibi sürede gerçekleşmesi beklenebilir. Yine aynı çevre koşulları altında çimento esaslı yüzeysel katkı uygulanırsa 84 yılda, bitüm esaslı yüzeysel katkı uygulanırsa da yaklaşık 89 yılda korozyona uğraması beklenmektedir. Dolayısıyla yapılar üzerinde tasarım aşamasında alınacak önlemler ile yapının servis ömrü uzatılarak bakım-onarım masrafları da azaltılabilecektir.

Deney sonucunda korozyona uğramış silindir numuneler Resim 5.1, 5.2, 5.3'te gösterilmiştir.



Resim 5.1 Şahit numune ve su itici katkılı numunelerin korozyon hasarları.



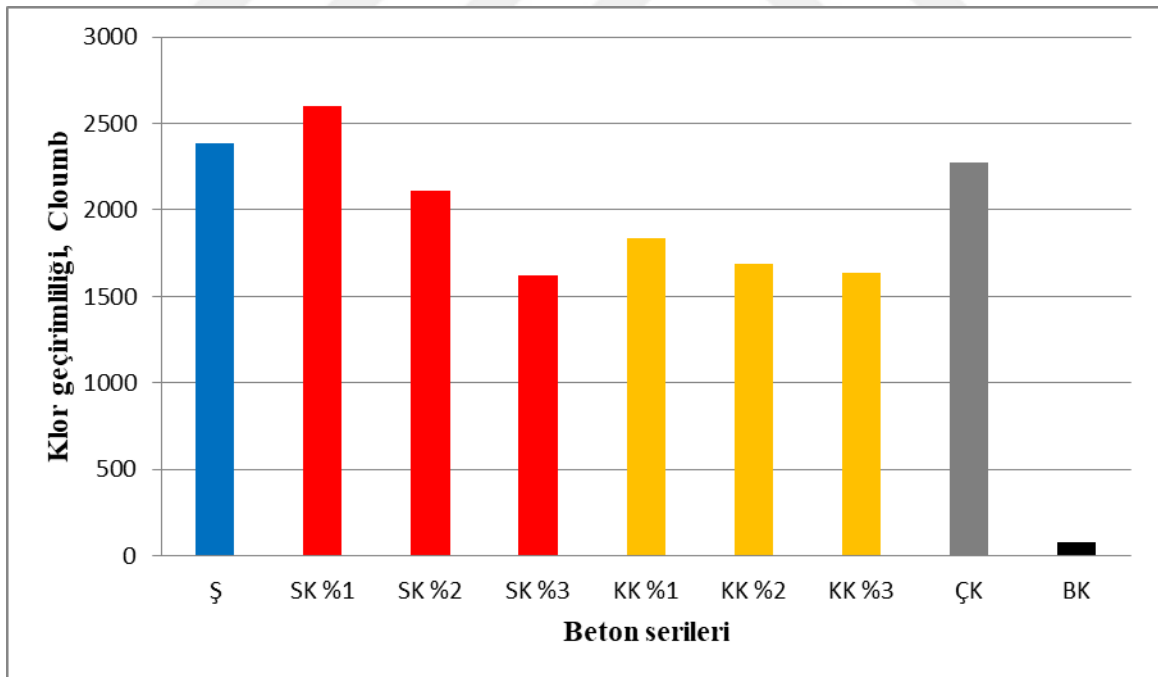
Resim 5.2 Şahit numune ve kristalize katkılı numunelerin korozyon hasarları.



Resim 5.3 Şahit, çimento esaslı ve bitüm esaslı numunelerin korozyon hasarları.

5.5 Hızlı Klorür Geçirirnililiği

Donatı korozyonu üzerinde en etkili faktörlerden birisi Cl^- iyonlarının varlığı ve beton içerisinde taşınım mekanizmalarıdır. Burada betonun klor iyon geçirirnililiği büyük önem taşımaktadır. Şekil 5.12'de çalışmada ele alınan beton serilerin hızlandırılmış klor iyon geçirirnililik değeri görülmektedir. Şahit betonların klor geçirirnililik değeri 2400 Cloumb değeriinde iken, su itici katkılı betonların %1 katkı içeriğinde bu değeri artış göstererek 2600 Cloumb değeriini almıştır. Katkının %2 ve üzerinde kullanılmasıyla 1600 Cloumb değeriine kadar azalmıştır. Kristalize katkılarda ise %1 kullanım oranındaki betonlarda 1800 Cloumb iken %2 ve üzerinde kullanıldıklarında 1600 Cloumb değeriine kadar azalmıştır. Çimento esaslı sürme katkılarda 2300 Cloumb değeriini almış iken bitüm esaslı sürme katkılı betonlarda tüm seriler arasında yaklaşık 90 Cloumb ile en düşük değeri sahip olmuşlardır. Dolayısıyla, seriler içerisinde klor geçirimsizliği sağlanması açısından en etkili katkı tipinin yüzeysel bitüm esaslı katkı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.12 Hızlı klorür geçirirnililiği sonuçlarının serilere göre değışımi.

Betonların hızlandırılmış klor geçirirnililik değeriine göre korozyon risk değeriendirmesi üzerine ASTM C 1202-19 tarafından bazı sınıflandırma değerieleri

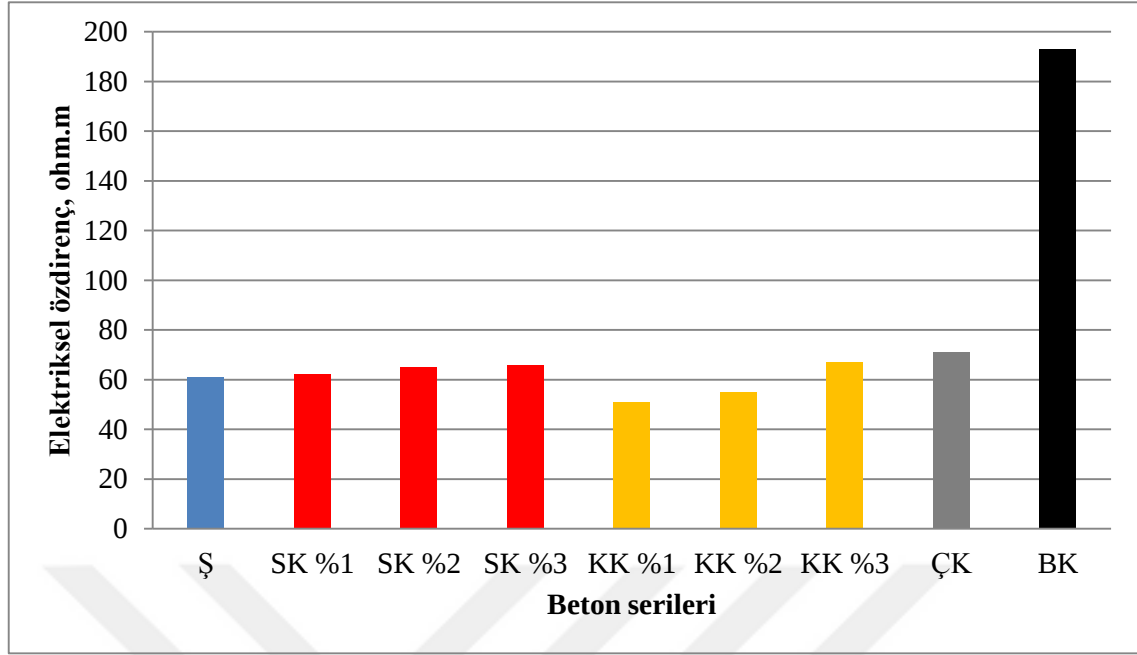
önerilmektedir (Çizelge 5.2). Bu sınıflandırma baz alınarak beton serileri değerlendirildiğinde, şahit betonların orta derecede korozyon riski taşıdığı görülecektir. Yapısal katkıların %2 ve üzerinde kullanılmaları durumunda betonlar düşük korozyon riski altında bulundukları önerilebilir. Yüzeysel katkılardan çimento esaslı katkı kullanılan betonlar orta derecede risk altındayken, bitüm esaslı olanların korozyona uğrama riski ihmal edilebilir düzeydedir. Bu sınıflandırma değerleri de korozyona başlama süreleri dikkate alındığında birbiriyle örtüşmektedir.

Çizelge 5.2 Hızlı klor iyonu geçirimsizlik sınıfları (ASTM C1202).

>4000 Yüksek
2000-4000 Orta
1000-2000 Düşük
100-1000 Çok Düşük
<100 İhmal Edilebilir

5.6 Elektriksel Özdirenç

Betonların içerisindeki donatıların korozyonu açısından etkili olan bir durum da betonların elektriksel iletkenlikleri veya diğer açıdan bakıldığında elektriksel özdirençleri olmaktadır. Betonların elektriksel özdirençleri ne kadar yüksek olursa elektriği iletmeleri o kadar zorlaşmakta, dolayısıyla beton içerisindeki klor iyonlarının varlığı ile donatı yüzeyindeki elektron akışının beton üzerinden gerçekleşmesi de o kadar azalmaktadır. Bunun tersi düşünüldüğünde, yani betonun elektriksel özdirenç değerinin azalması ile donatı yüzeyindeki elektron akışının betondaki klor iyonları vasıtasıyla gerçekleşmesi o kadar kolaylaşmakta ve korozyon süreci hızlanmaktadır. Su geçirimsizlik katkısı içeren betonların elektriksel özdirenç değerleri 100 kHz frekans etkisi altında ölçülerek Şekil 5.13'te karşılaştırılmıştır



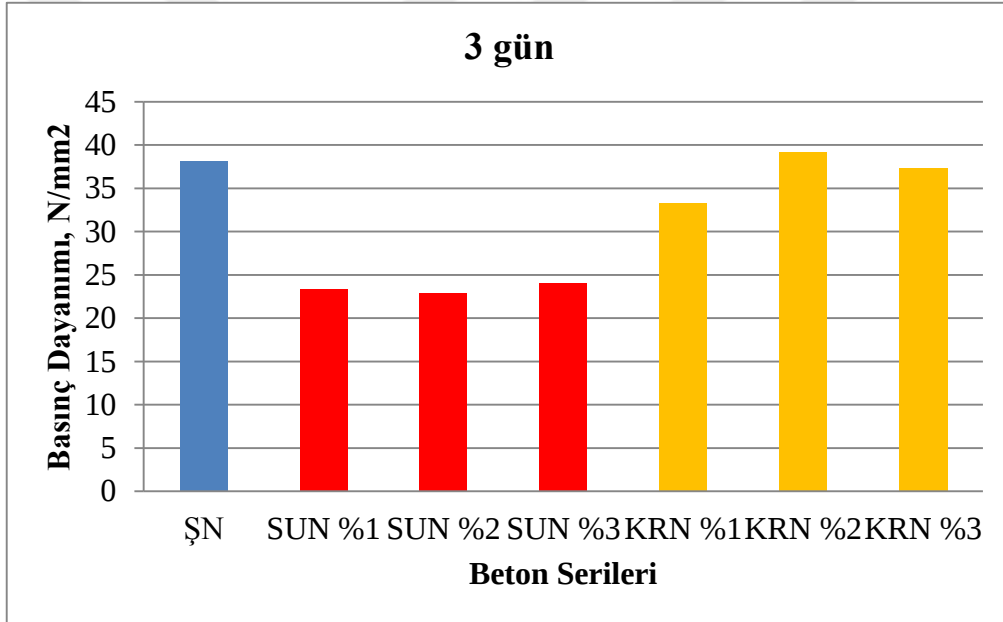
Şekil 5.13 Elektriksel özdirenç 100khz sonuçlarının serilere göre değişimi.

Şahit betonların elektriksel özdirenç değerleri 61 ohm.m değerinde iken su itici katkı kullanımıyla bu değerler artmaya başlamıştır. Dolayısıyla betonlar elektiksel olarak daha dirençli hale gelmeye başlamışlardır. Kristalize katkılarda ise şahit betona göre daha düşük elektriksel özdirenç değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Ancak %3 oranında kullanılmaları ile şahit serilerden daha yüksek değer almışlardır. Yüzeysel katkılarda da, her iki katkı tipinin kullanılmasıyla özdirenç değerleri artmakla birlikte etkili olan katkı tipi bitüm esaslı sürme katkısı olmuştur. Şahit betona göre 3 kattan fazla elektriksel özdirenç değerine sahiptirler. Klor geçirgenliği ile ilişkilendirildiğinde elektriksel özdirenci yüksek olan serilerin daha az klor iyonu geçirdiği görülecektir.

5.7 Basınç Dayanımı

Betonun içerisine ilave edilen kimyasal katkılar bir özeliği iyileştirirken başka bir özeliği olumsuz etkileyebilir. Betonların en önemli karakteristik özellikleri olan basınç dayanımları da katkıların tipi ve oranından etkilenmektedir. Su geçirimsizlik sağlaması amacıyla betona ilave edilen yapısal katkıların basınç dayanımına olan etkileri 3, 7 ve 28 günlerde deneysel olarak incelenmiş ve sırasıyla Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da sunulmuştur. Grafiklerde özellikle su itici katkı kullanımının beton

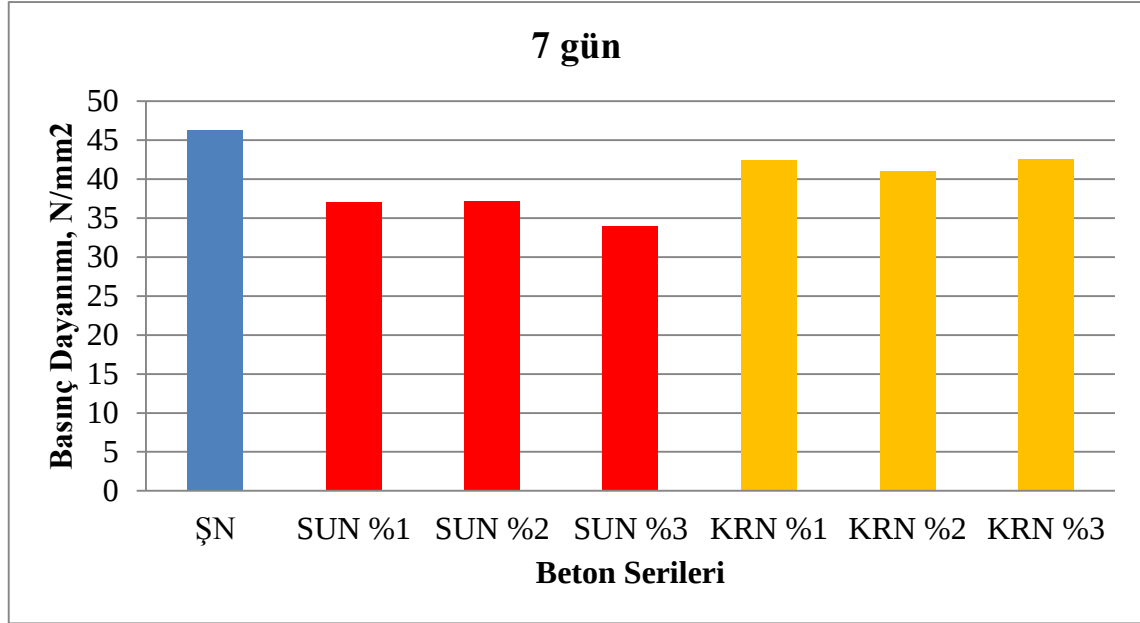
dayanımlarını şahit betona göre düşürdüğü görülmektedir. Su itici katkıların çimento tanesini sararak suyla hidrate olmasını kısmen de olsa önlediği ve bu nedenle de hidrate ürünlerin oluşmasını geciktirmesi nedeniyle özellikle erken yaşlarda basınç dayanımı değerlerinin azalmasına neden olmuşlardır. Şahit betonların 3 günlük basınç dayanımı değeri 38 MPa iken, su itici katkılı betonlarda en fazla 24 MPa değerine ulaşabilmiştir. Kristalize katkılı betonlarda ise %2 oranında katkı içeren betonlarda şahit ile aynı değere ulaşırken, diğer oranlarda şahite göre daha düşük değer almıştır. Kristalize katkının %1 oranında kullanımıyla 34 MPa, %3 oranında kullanımıyla da 36 MPa basınç dayanımı değerine ulaşılmıştır. Yüzeysel su geçirimsizlik uygulanmış betonların dayanım değerleri şahitle aynı olduğundan grafiklerde ayrıca gösterilmemiştir.



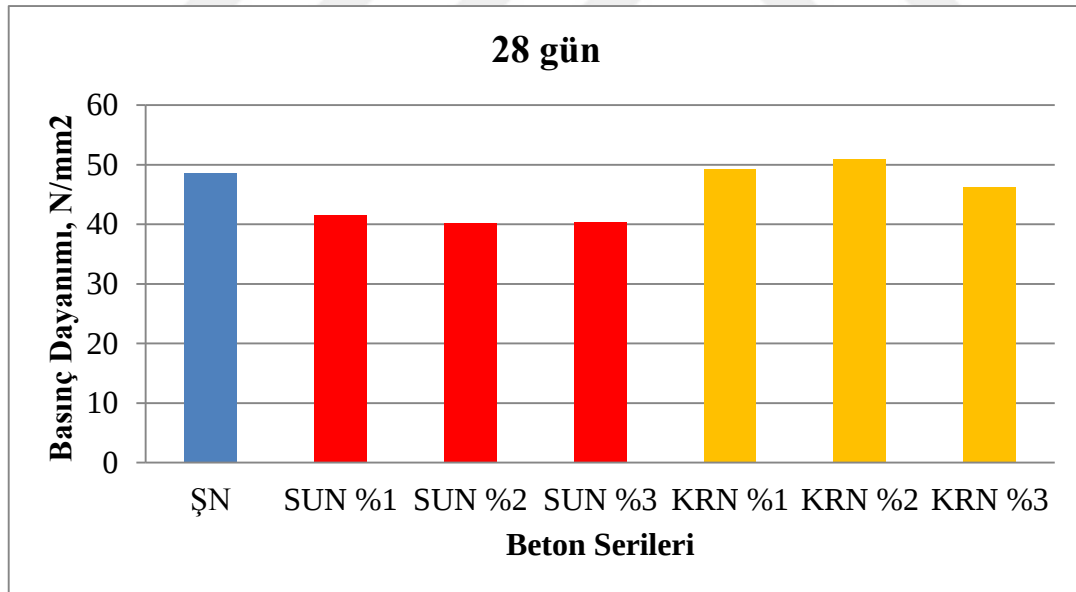
Şekil 5.14 Basınç dayanımı 3 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.

Üretilen betonların 7 günlük değerleri dayanım gelişimiyle şahit serilerde 46 MPa değerine ulaşmıştır. Aynı serilerin 28 günlük dayanımları 49 MPa'dır. Dolayısıyla, 28 güne göre dayanım gelişimi 3. günde %77 iken 7. güne yaklaşık %94 oranında olmuştur. Dayanım gelişimi üzerinde, beton dizaynında kullanılan hiper akışkanlaştırıcı katkı oldukça etkili olmuştur. Su itici katkılı betonlardaki dayanım gelişimi incelendiğinde, 28 günlük dayanımları 40 MPa olarak dikkate alındığında, 3. günde %60 iken, 7. günde yaklaşık %90 oranında olmuştur. Kristalize katkılı betonlarda ise 3.

günde yaklaşık %74 iken 7. günde yaklaşık %94 oranında dayanım gelişimi görülmüştür.



Şekil 5.15 Basınç dayanımı 7 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.



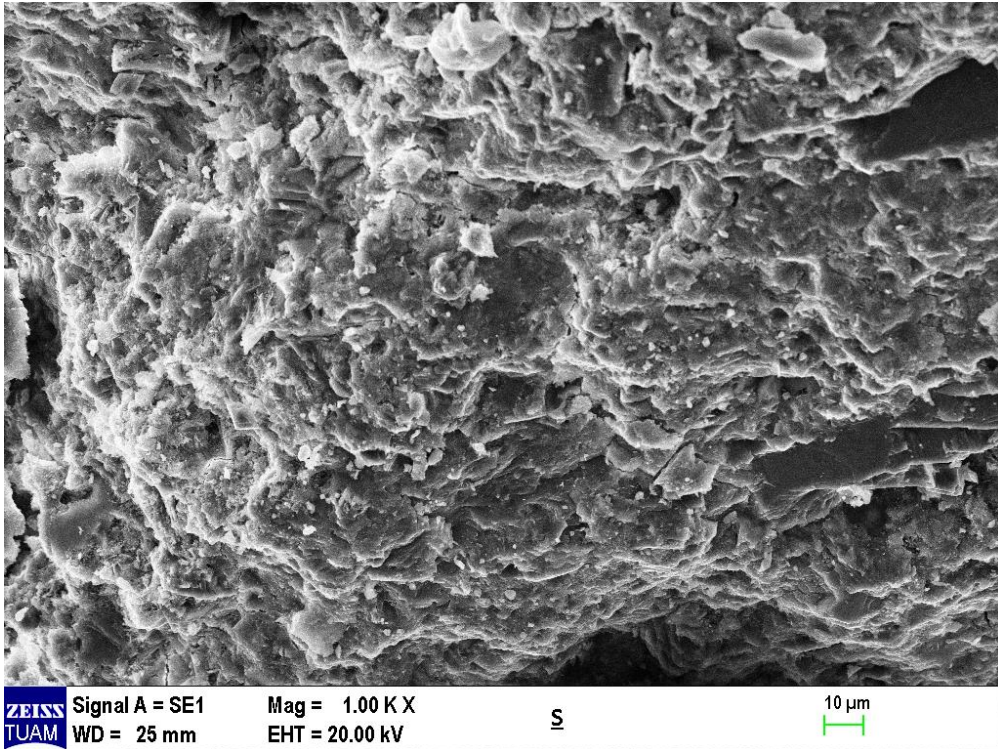
Şekil 5.16 Basınç dayanımı 28 gün sonuçlarının serilere göre değişimi.

Kristalize katkının %2 oranına kadar kullanımıyla beton basınç dayanımına etkisi 28. günde şahit serilere göre daha iyi olmuştur. Zamana bağlı olarak beton boşluklarında oluşan kristalize hidrate ürünleri beton dayanımına da olumlu etki sağlayarak şahit

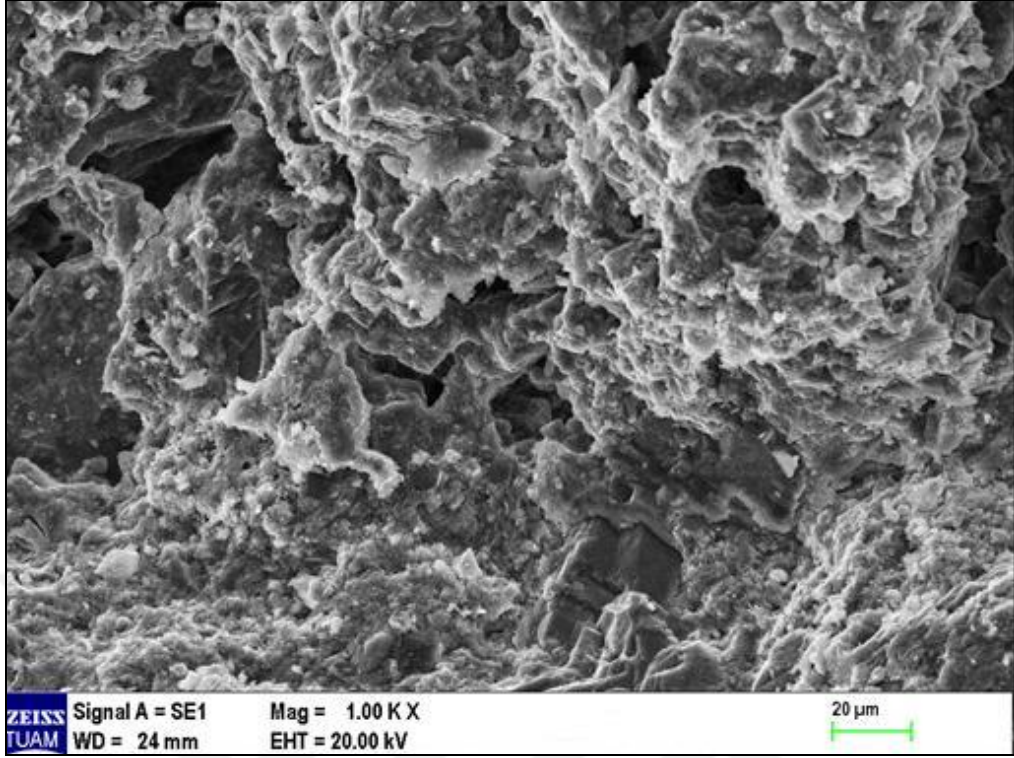
betona göre dayanım kazanımı sağlamıştır. Bu artış miktarı %4 kadar olduğu görülmektedir. Kristalize katkının %3 gibi oranda kullanımıyla basınç dayanı değeri az da olsa (1.0-1.5 MPa) düşmeye başlamıştır. Su itici katkıların 28 gündeki değerleri yine şahit betonlara göre daha düşük değerler almıştır. Sonuç olarak, su itici katkı kullanımıyla dayanım değerleri %18 oranında azalmaya neden olurken, kristalize katkı kullanımının basınç dayanımı değerlerini etkilemediği belirtilebilir

5.8 Mikroyapı İncelemesi

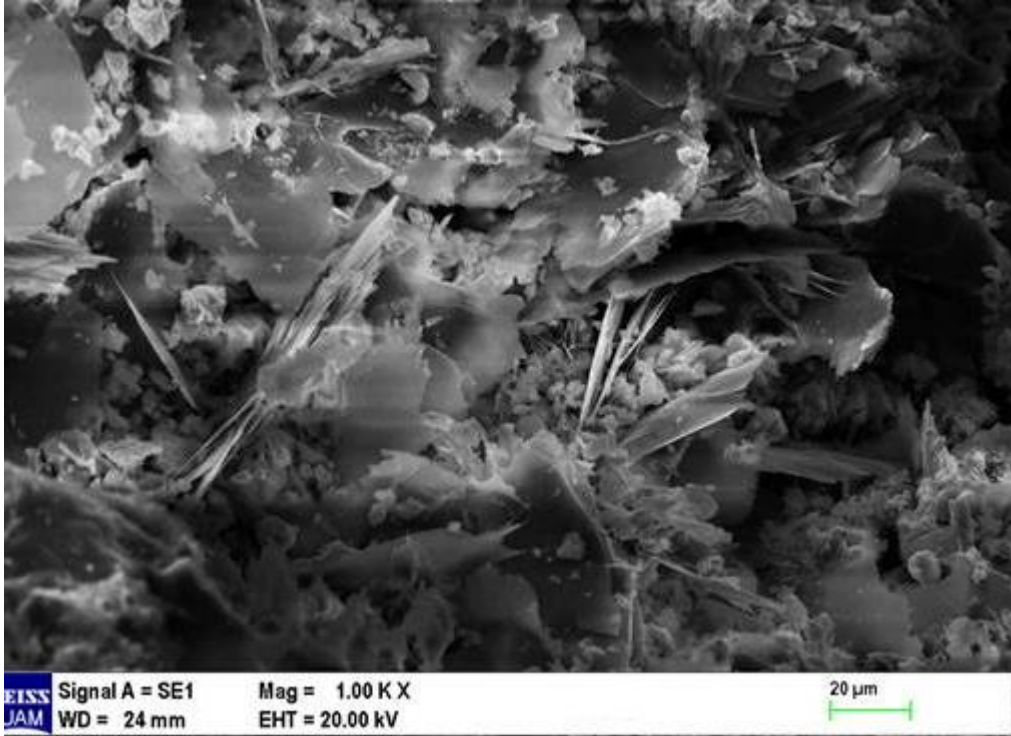
Çimento esaslı malzemelerin iç yapıları diğer karakteristik özellikleriyle ilişkili olarak incelenmektedir ve etkili olmaktadır. Şahit betonların iç yapıları incelendiğinde (Şekil 5.17), oldukça yoğun hidratasyon ürünlerinin olduğu açıkça görülebilir. Su itici katkı (%3) ve kristalize katkı (%3) içeren betonların mikroyapıları da sırasıyla Şekil 5.18 ve Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.17 Katkisız betonların mikroyapı görüntüsü (x1000).



Şekil 5.18 Su itici katkılı betonların mikroyapı görüntüsü (x1000).



Şekil 5.19 Kristalize katkılı betonların mikroyapı görüntüsü (x1000).

Su itici katkı içeren betonların iç yapısının şahit betonlar kadar yoğun olmadığı görülmektedir. Bunun yanısıra hidrate ürünlerin de şahit betondakiler kadar gelişemediği de görülmektedir. Diğer yandan, kristalize katkıli betonların iç yapısında kristalize ürünlerin oluştuğu da mikroyapı incelemesinden görülecektir.



6. SONUÇLAR

Su geçirimsizlik katkısının yapısal veya yüzeysel olarak betona uygulanması durumunda donatı korozyonuna etkisinin araştırıldığı bu deneysel çalışmada elde edilen bulgular aşağıdaki ifadelerle özetlenebilir.

- Tüm serilerin şahit numuneye göre daha az boşluk içerdiği görülmektedir. Su geçirimsizliği sağlayan her iki yapısal (betonun içerisine katılan) katkı şahit betonun %12 olan boşluk oranını %10.5 oranına kadar azalmasını sağlamıştır. Bitümle kaplanmış yüzeysel su geçirimsizlik uygulanmış betonlarda önemli derecede boşluk oranlarında azalma elde edilmiş olup, %3.5 oranına kadar azaltılabilmektedir.
- Yapısal olarak kullanılan katkıları içerisinde kristalize ürün oluşturan katkı, betonun su emme değerinin azaltılmasında su itici katkıya göre daha etkili olmuştur. Tüm katkı grupları içerisinde yüzeysel bitüm esaslı katkı su emme değerinin azaltılmasında oldukça etkili olup, betonun %5.5 olan su emme oranını %1.5 değerine kadar azalmasını sağlamıştır.
- Betonların birim hacim ağırlıklarında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Yaklaşık 2.2 kg/dm^3 civarında değerler almışlardır.
- En yüksek ultrases geçiş hızı değerleri şahit betonlarda ve kristalize katkı içeren betonlarda elde edilmiştir. En düşük ultrases geçiş hızı ise su itici kimyasal katkı betonlarda elde edilmiştir. Betonların 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleri dikkate alındığında, tüm serilerin değerleri 4.5 km/sn üzerinde olduğundan, beton kalitesi açısından mükemmel sınıfındadırlar.
- Kristalize ürünlerin beton boşluklarında oluşarak bu boşlukların çaplarını küçültmesi ve bunun sonucu olarak da suyun boşluktaki hızını arttırmış olmasından kapileriteyi arttırmışlardır. En düşük kılcallık katsayısı değeri bitüm kaplamalı betonlarda elde edilmiştir.

- Kristalize katkının %2 ve %3 oranında kullanımı için sırasıyla yaklaşık %22 ve %45 oranında korozyona başlama süresi uzatılmıştır. Çimento esaslı malzemeye kaplanmış betonlarda %67 oranında, bitüm esaslı malzemeye kaplanmış betonlarda ise %78 oranında korozyona başlama süresi uzatılabilmiştir.
- Şahit betonlar klor geçirimsizliği değerleri açısından orta derecede korozyon riski taşıdığı görülmüştür. Yapısal katkıların %2 ve üzerinde kullanılmaları durumunda betonlar düşük korozyon riski altında bulunmaktadır. Yüzeysel katkılardan çimento esaslı katkı kullanılan betonlar orta derecede risk altındayken, bitüm esaslı olanların korozyona uğrama riski ihmal edilebilir düzeyde elde edilmiştir.
- Su itici ve kristalize katkı kullanımıyla elektirksel özdirenç değerleri artmaya başlayıp, genelde şahitle yakın değerler almıştır. Kristalize katkı içeren betonların şahit betona göre daha düşük elektriksel özdirenç değerlerine sahip oldukları görülmüştür. En yüksek elektriksel özdirenç değeri bitüm esaslı yüzeysel uygulanan betonlarda elde edilmiştir.
- Betonda su itici katkı kullanımıyla çimento tanelerinin hidrate olmalarını yavaşlatması nedeniyle hem dayanım gelişimine hem de şahit betona göre düşük değerler almasına (%18 kadar) neden olmuştur. Kristalize katkılı betonlarda önemli bir olumsuz etki gözlenmemiştir. Aksine, %2 oranında kullanılması durumunda az da olsa dayanımda artış elde edilmiştir.
- Mikroyapı incelemelerine göre, yoğun bir hidrate ürün yapısına sahip olan şahit betonların, su itici katkı ilave edilmesiyle hidrate ürünlerin tam gelişemediği gözlenmiştir. Bu durum da özellikle dayanımı olumsuz etkilemiştir. Kristalize katkının kullanıldığı betonlarda da yoğun bir yapı ile kristalize ürünlerin de geliştiği görülmüştür.

Sonuç olarak, betonda su geçirimsizliği sağlamak amacıyla ilave edilen katkılardan su itici özelikte olanların beton dayanımını bir miktar düşürdüğü gözlenmiştir. Beton tasarımlarında gerekli beton sınıfını elde etmek için bu durumun gözönünde bulundurulması gerekmektedir. Yapısal katkılar içerisinde su itici yerine kristalize ürün oluşturan katkıların daha etkili olduğu görülmüştür. Yapısal ve yüzeysel katkıların karşılaştırılmasında ise, yüzeysel ve bitüm esaslı malzemelerin su geçirimsizlik sağlanmasında daha etkin sonuçlar vermesiyle beraber beton servis ömrü boyunca maruz kalabileceği fiziksel ve kimyasal etkiler yanı sıra delinme veya darbe gibi mekanik etkilere karşı koruma altına alınıp, olası hasarlarda en kısa sürede onarılmalıdır. Ayrıca, yapısal katkıların betona ilave edilen işlenebilirlik katkılarıyla (hiperakışkanlaştırıcı gibi) uyumu mutlaka laboratuvar ortamında denenmelidir.

7. KAYNAKLAR

- Akman, M.S. (1987). Yapı Malzemesi, İTÜ., İnşaat Fak., Matbaası, İstanbul.
- Aköz, F. Çakır, Ö. (2013). Betonarme Korozyonu, THBB Hazır Beton Kongresi, 21-23 Şubat, İstanbul.
- Al-Kheetan J.M. Rahman M.M. Chamberlain A.D. (2018). Structural Concrete; 19.
- Apay, A.C. Özgan, E. Turgay T. Kevser A. (2016). Construction and Building Materials.
- ASTM C1202 (2019). Standart test method for electrical indication concretes ability to resist chloride ion penetration.
- ASTM C1585 (2013). Standart test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic- cement concrete.
- ASTM C1760 (2012). Standart test method for bulk electrical conductivity of hardened concrete.
- ASTM C597 (2016). Standart test method for pulse velocity through concrete.
- Baradan, B. Yazıcı, H. Aydın, S. Aydın (2015). Beton. Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Baradan, B. Aydın, S. (2013). Beton Durabilitesi, THBB Hazır Beton Kongresi, 21-23 Şubat, İstanbul.
- Baradan, B. Yazıcı, H. (2003). Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426 Betonarme Yapılarda Durabilite ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler.
- Boğa, A.R. (2010). Yüksek Fırın Cürufu ve Korozyon İnhibitörü Kullanımının Beton İçerisindeki Donatı Korozyonuna ve Beton Özelliklerine Etkileri. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Delikanlı, F. (2001). Donatılı Betonda Korozyon Hasarı ve Giderilme Yolları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğan, Ü. A. (2008). Beton Bileşim Parametrelerinin Geçirimsizlik Özellikleri ve Gömülü Çelik Donatı Korozyonuna Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Eker, A.A. (2009). Beton İçindeki Çelik Korozyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi Malzeme Ders Notları.
- Erdoğan, T.Y. (2015). Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş. Ankara.
- Ertem, E. (2002). Yeraltı Su Seviyesi Altında Kalan Bodrum Kabuklarında Karsılaşan Yalıtım Problemleri; Çözümüne Uygun Uygulama Teknikleri ve Yalıtım Malzemelerinin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- İncesu, Y. (2000). Çimento Sektörü Raporu, Başbakanlık, Ankara.
- Lkhagva, T. (2006). Uçucu Küllerin Agregada Olarak Beton Üretiminde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Nebioğulları, M.A. (2010). Metakaolin, Yüksek Fırın Cürufu ve Uçucu Kül Katkısının Beton Hidratasyon Sıcaklığına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Pazderka and Hájková (2016). Crystalline Admixture and Their Effect on Selected Properties Of Concrete, *Acta Polytechnica*, **56**:306–311.
- Pazderka, J. (2017). The Crystalline Admixture Effect on Concrete and Cement Mortar Compressive Strength, *Key Engineering Materials*, **722**:87-91.
- Ramyar, K. (2013). Hazır Beton Kongresi Betonda Alkali-Silis Reaksiyonu.
- Shiru S. (2015). Experimental Investigations Of The Permeability Characteristics of Self Compacting Concrete Mixes Made With Varying Constituents. Yüksek Lisans Tezi, Near East University.
- TS EN 12390-8 (2010). Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliği Tayini, T.S.E. Ankara.
- TS EN 206 (2014). Çeşitli Çevresel Etki Sınıflarında Kullanılacak Betonlar için, Beton karışımı ve özellikleri için önerilen sınır değerler, TSE, Ankara.

TS EN 197-1 (2012). Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.

Ustabaş, İ. (2008). Sülfat Etkisine Maruz Mineral Katkılı Beton ve Harçların Performansının İncelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Uysal, A. (2004). Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yamaç, S. (2010). Silis Dumanı Katkılı Betonda Klorür Etkisinde Korozyon Oluşumu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst., İstanbul.

Yavuz, H.İ. (2011). Su Geçirimsiz Beton Tasarımı ve Örnek Uygulamalar. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon

Yiğiter, H. (2008). Betonarme Donatısında Klorid Korozyonu Gelişiminin Elektrokimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

İnternet Kaynakları

1) <https://agub.org.tr/beton-agregasi-nedir/> 1.3.2019

2) http://insaatmuh.cbu.edu.tr/db_images/file/yapi-malzemesi 1.3.2019

3) <http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/> yapı malzemesi 1.2.2019

4) <http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/> yapı malzemesi 1.2.2019

5) <http://www.intes.org.tr/content/Su-yalitimcisi-egitim-notu> 10.4.2019

“

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Meriç AĞACA
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar, 16.09.1984
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 533 5482984, mericagaca@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Anadolu Öğretmen Lisesi, (1999-2002)
Lisans : Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2002- 2009)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : İdeal İnşaat, (2011-2012)
Modern Beton, (2012-2017).
Oyak Beton, (2017- D.Ediyor.)