



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



KRİSTALİZE GEÇİRİMSİZLİK KATKISININ BETONUN MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Yüksek Lisans Tezi

Recep KAÇAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2025

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**KRİSTALİZE GEÇİRİMSİZLİK
KATKISININ BETONUN
MEKANİK VE DURABİLİTE
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Recep KAÇAR

Danışman : Prof. Dr. Gözde İnan SEZER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2025

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kristalize Geçirimsizlik Katkısının Betonun Mekanik ve Durabilite Özelliklerine Etkisi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

15 / 01 / 2025

Recep KAÇAR

ÖZET**KRİSTALİZE GEÇİRİMSİZLİK KATKISININ BETONUN
MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

KAÇAR, Recep

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gözde İnan Sezer

Ocak 2025, 113 sayfa

Dünyada uzun yıllardır yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden biri olan beton için geçirimsizlik özelliği betonun servis ömrünü belirleyen en önemli faktörlerden birisidir. Bu çalışmada yapısal su yalıtım uygulamalarında kullanılan ve kimyasal bir katkı olan kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkının betonun bazı mekanik ve durabilite özellikleri üzerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla üç farklı su/çimento oranlarında (0.50, 0.60, 0.70) hazırlanan beton karışımlarında çimento içeriğinin %1 ve %3'ü oranında kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkı kullanılarak farklı beton karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımları laboratuvar koşullarında 28 ve 56 gün standart küre tabi tutulmuştur. Numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı, hızlı klor iyon geçirimsizliği, basınçlı su geçirimsizliği ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca elde edilen deney sonuçlarından beton karışımlarının su emme ve porozite yüzdeleri hesaplanmıştır. Elde edilen deney sonuçları katkı içermeyen beton örnekleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde giriş, ikinci bölümünde beton ve su yalıtım uygulamaları ile ilgili genel bilgiler, üçüncü ve dördüncü bölümünde sırasıyla deneysel çalışma ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi, beşinci bölümünde sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar sözcükler: Beton, geçirimsizlik, kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkı, durabilite.

ABSTRACT**EFFECT OF CYRSTALLINE WATERPROOFING ADMIXTURE ON
MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF CONCRETE**

KAÇAR, Recep

MSc in Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Gözde Inan Sezer

January 2025, 113 pages

For concrete, which is one of the construction materials widely used in the world for many years, impermeability is one of the most important factors determining the service life of concrete. In this study, the effect of crystalline waterproofing admixture, which is a chemical admixture and used in structural waterproofing applications, on some mechanical and durability properties of concrete was investigated experimentally. For this purpose, different concrete mixtures were prepared by using crystalline permeability reducing admixture at 1% and 3% of the cement content in concrete mixtures prepared at three different water/cement ratios (0.50, 0.60, 0.70). The prepared concrete mixtures were subjected to standard curing for 28 and 56 days under laboratory conditions. Uniaxial compressive strength, rapid chloride ion permeability, pressurized water permeability and capillary water absorption tests were performed on the samples. In addition, water absorption and porosity percentages of concrete mixtures were calculated from the obtained test results. The obtained test results were evaluated comparatively with concrete samples without admixture.

In the first part of the study, the introduction is given, in the second part, general information about concrete and waterproofing applications, in the third and fourth parts, the experimental study and evaluation of the test results are presented, respectively, and in the fifth part, the results are presented.

Keywords: Concrete, impermeability, cyrstalline waterproofing admixture, durability.

ÖNSÖZ

Bu çalışma Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans bitirme tezi olarak hazırlanmıştır. Yapılan uzun araştırmalar, literatür taramaları ve deneysel çalışmalar olarak Sayın Prof. Dr. Gözde İnan Sezer'in büyük destekleri, bilgi birikimi ve deneyimleri ile "Kristalize Geçirimsizlik Katkısının Betonun Mekanik ve Durabilite Özelliklerine Etkisi" üzerine yapılan bir çalışmadır.

İnşaat sektöründe yaygın bir şekilde kimyasal katkı olarak beton yapılarda kullanılan kristalize geçirimsizlik katkısı yapılan detaylı literatür araştırmasından sonra laboratuvar koşullarında farklı su/çimento oranlarına sahip beton karışımları hazırlanarak çeşitli oranlarda beton içerisinde kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar üzerinde katkının betonun mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi farklı deney metotlarıyla test edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle kullanılan kristalize geçirimsizlik katkısının genel olarak beton matrisi içerisinde geçirimsizliği azalttığı ve betona olumlu yönde etkisi olduğu yapılan literatür araştırması ve deneysel çalışmalarla gözlemlenmiştir. Katkı kullanımı betonun çevresel etkilere karşı direnci olarak tanımlanan durabilitesini arttırmıştır.

Bu çalışmanın sonuçları, inşaat sektöründe faaliyet gösteren firmalar ve bu konu üzerinde çalışmalar yapan araştırmacılar için yararlı bir kaynak olabilir. Özellikle kimyasal katkı üreticilerinden bu konuda yapılan çalışmayı dikkate alarak katkının doğru kullanımı ve uygulama koşulları konusunda bilinçli davranmaları beklenmektedir.

İZMİR

RECEP KAÇAR

15/01/2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxii
1.GİRİŞ	1
1.1.Tezin Amacı ve Yöntemi	1
1.2.Tezin Kapsamı	4
2.GENEL BİLGİLER	5

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.1.Beton	5
2.1.1.Betonun yapısı ve bileşenleri	5
2.1.2.Betonun durabilitesi	12
2.1.3.Betonun geçirimsizliği	20
2.1.4.Kimyasal katkıları	21
2.1.5.Mineral katkıları	24
2.2.Su Yalıtımı ve Uygulamaları	27
2.2.1.Yüzeysel su yalıtımı ve uygulamaları	29
2.2.2.Yapısal su yalıtımı ve uygulamaları	37
2.2.3.Literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalar	38
3.DENEYSEL ÇALIŞMA	42
3.1.Kullanılan Malzemeler	42
3.1.1.Çimento	42
3.1.2.Agrega	42
3.1.3.Su	43

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.4.Akışkanlaştırıcı katkı	43
3.1.5.Kristalize geçirimsizlik katkısı	44
3.2.Karışımların Hazırlanması	44
3.3.Yapılan Deneyler	48
3.3.1.Tek eksenli basınç deneyi	48
3.3.2.Klor iyon geçirimliliği deneyi	49
3.3.3.Basınç altında su işleme derinliği deneyi	50
3.3.4.Su emme ve porozite hesabı	51
3.3.5.Kılcal su emme deneyi	51
4.DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	53
4.1.Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları	53
4.2.Klor İyon Geçirimliliği Deney Sonuçları	55
4.3.Basınçlı Su İşleme Derinliği Deney Sonuçları	57
4.4.Porozite ve Su Emme Sonuçları	58
4.5.Kılcal Su Emme Deney Sonuçları	62

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

4.6.İncelenen Özellikler Arası İlişkiler	63
5.GENEL SONUÇLAR	70
KAYNAKLAR DİZİNİ	72
TEŞEKKÜR	79
ÖZGEÇMİŞ	80
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1.Portland çimentosu üretim süreci.....	7
2.2.Çimento içerisinde C-S-H jelinin oluşumu.....	8
2.3.Çimento içerisinde CH oluşumu.....	9
2.4.Çimento içerisinde etrenjit oluşumu.....	9
2.5.Betonda aşınma örneği.....	14
2.6.Betonda erozyon örneği.....	14
2.7.Alkali agrega reaksiyonu sonucu çatlak örneği.....	15
2.8.Betonda harita şeklinde çatlak örneği.....	16
2.9.Sülfat etkisiyle betonda oluşan bozulma örneği.....	17
2.10.Sülfat etkisiyle oluşan bozulma örneği.....	18
2.11.Perde duvarında oluşan çiçeklenme.....	19
2.12.Betonarme bir yapıda oluşan korozyon örneği.....	20
2.13.Mineral katkıları.....	26
2.14.Yeraltı suyunun etkisiyle betonarme yapıda meydana gelen hasar.....	27
2.15.Sürme tip su yalıtım uygulaması.....	31
2.16.Çimento esaslı su yalıtımı uygulaması.....	32
2.17.Betonarme bir yapıda bitüm esaslı su yalıtımı uygulaması.....	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.18.Poliüretan esaslı su yalıtımı uygulaması.....	33
2.19.Akrilik reçine esaslı su yalıtımı uygulaması.....	34
2.20.Bitümlü membran uygulaması.....	35
2.21.Bohçalama sistemi uygulama yöntemi.....	35
2.22.Kaynak makinesiyle sentetik su yalıtım örtüsü uygulaması.....	36
2.23.HDPE esaslı su yalıtım örtüsü uygulaması.....	37
3.1.Üretimde kullanılan agregaların elek analizi.....	43
3.2.Taze betonun kalıplardaki son hali.....	46
3.3.Kalıptan çıkmış beton örnekler.....	47
3.4.Kür havuzuna yerleştirme.....	47
3.5.Doygun ağırlık tartım.....	48
3.6.Arşimet terazisi ile tartım.....	48
3.7.Numuneleri etüve koyma.....	48
3.8.Beton pres makinesi.....	49
3.9.Preslenmiş numune örneği.....	49
3.10.Beton kesim işlemi.....	49
3.11.Kesilen numuneler.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.12.Klor-iyon geçirimliliği test makinesi.....	50
3.13.Basınçlı su işleme makinesi.....	50
3.14.Su işleme derinlikleri numune görselleri.....	51
3.15.Kılcal su emme deney düzeneği.....	52
4.1.28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	53
4.2.56 günlük basınç dayanımı değerleri.....	53
4.3.28 günlük klor iyon geçirimliliği deney sonuçları.....	55
4.4.56 günlük klor iyon geçirimliliği deney sonuçları.....	55
4.5.28 günlük basınçlı su derinliği değerleri.....	57
4.6.56 günlük basınçlı su derinliği değerleri.....	57
4.7.28 günlük porozite değerleri.....	59
4.8.56 günlük porozite değerleri.....	59
4.9.28 günlük su emme değerleri.....	60
4.10.56 günlük su emme değerleri.....	61
4.11.28 günlük ilk okunan ve son okunan I değerleri.....	62
4.12.56 günlük ilk okunan ve son okunan I değerleri.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.13.28 günlük basınç dayanımı-porozite ilişkisi grafiği.....	64
4.14.56 günlük basınç dayanımı-porozite ilişkisi grafiği.....	64
4.15.28 günlük klor iyon geçirimliliği-porozite ilişkisi grafiği.....	65
4.16.56 günlük klor iyon geçirimliliği-porozite ilişkisi grafiği.....	65
4.17.28 günlük klor iyon geçirimliliği-basınçlı su işleme derinliği ilişkisi grafiği.....	66
4.18.56 günlük klor iyon geçirimliliği-basınçlı su işleme derinliği ilişkisi grafiği.....	66
4.19.28 günlük basınçlı su işleme derinliği-su emme ilişkisi grafiği.....	67
4.20.56 günlük basınçlı su işleme derinliği-su emme ilişkisi grafiği.....	67
4.21.28 günlük basınç dayanımı-son okunan I değeri ilişkisi grafiği.....	68
4.22.56 günlük basınç dayanımı-son okunan I değeri ilişkisi grafiği.....	68
4.23.28 günlük su emme-porozite ilişkisi grafiği.....	69
4.24.56 günlük su emme-porozite ilişkisi grafiği.....	69

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1.Portland çimentosu bileşenleri.....	7
3.1.Çimentonun özellikleri.....	42
3.2.Akışkanlaştırıcı katkı özellikleri.....	43
3.3.Kristalize geçirimsizlik katkısının özellikleri.....	44
3.4.Karışım oranları.....	44
3.5.Çalışmada hazırlanan örnekler.....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
%	Yüzde
cm	Santimetre
cm ²	Santimetre kare
cm ³	Santimetre küp
m ³	Metre küp
kg	Kilogram
g	Gram
°C	Santigrat
MPa	Megapascal
KPa	Kilopascal
kN	Kilonewton
Sn	Saniye
Lt	Litre
µm	Mikro metre
H ₂ O	Su
CaO	Kalsiyum oksit
SiO ₂	Silisyum dioksit

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ Kalsiyum hidroksit

Al_2O_3 Alüminyum oksit

Fe_2O_3 Demir oksit

MgO Magnezyum oksit

SO_3 Kükürt trioksit

K_2O Potasyum oksit

Na_2O Sodyum oksit

MOH Metal hidroksit

CaCO_3 Kalsiyum karbonat

MgCO_3 Magnezyum karbonat

Fe Demir

Cl^- Klor

$\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$ Etrenjit

R^2 Regresyon katsayısı

Kısaltmalar

CEM Çimento

SEM Taramalı elektron mikroskobu

ACI American Concrete Institute

ASTM American Society for Testing and Materials

TS EN	Türk Standartları Enstitüsü
USA	Amerika Birleşik Devletleri



1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı ve Yöntemi

Beton, özellikle yapı sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan yapı malzemelerinden birisidir. Betonun ucuz bir malzeme olması, kolay ulaşılabilir ve kolay üretilbilir olması betonu en çok tercih edilen yapı malzemesi yapmıştır. Temel olarak beton; çimento, su, agrega ve yardımcı kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen bir şekilde karıştırılması ile elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir. Beton içerisindeki bağlayıcı malzeme olan çimento, su ile reaksiyona girerek çimento hamurunu meydana getirir. Bu yapı başlangıçta plastik bir yapıdayken hidrasyon reaksiyonları devam ettikçe sertleşerek zamanla katı bir yapı haline gelmeye başlar (Neville, 2011; Mindness and Young, 1981).

Ülkemiz deprem kuşağında olan bir ülke olması sebebiyle sık sık yaşanan büyük afetlerle insanlarımız ciddi can ve mal kaybına uğramaktadırlar. Bu sebeple yapılarda beton kalitesi yapı güvenliği açısından oldukça önemlidir. Teknoloji ve bilimdeki gelişmeler her geçen gün beton teknolojisine ciddi katkı sağlamaktadır. Beton kullanım ömrü boyunca çeşitli çevresel etkilere maruz kalır. Betonun bu etkilere karşı servis ömrü boyunca gösterdiği dayanma kabiliyetine durabilite denir. Bir yapının maruz kalabileceği çevresel faktörlere karşı imalat aşamasında doğru malzeme seçimi yapılması, yapının servis ömrü boyunca sağlam ve güvenilir bir yapı olmasını sağlar (Yıldırım vd., 2003).

Betonun boşluklu ve gözenekli yapısı yapının durabilitesini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Geçirgenlik ve difüzyon etkisi dayanıklılık performansı açısından oldukça önemlidir. Betondaki fazla su buharlaştıktan sonra betonda çeşitli boşluklar oluşur ve bu gözenekli yapı betonun geçirgenliğini büyük oranda etkiler. Betonun yüksek geçirgenliğe sahip olması nemin ve havanın içerisine kolayca nüfuz etmesine izin verir. Betondaki bozulma süreçlerinin çoğunluğu, nem varlığında ve bozulmaya neden olan agresif kimyasalların betona girişi nedeniyle meydana gelir. Agresif maddeler genellikle betona su ile çözelti halinde girerler. Bu durum betonarme bir yapıda zamanla çeliğin korozyona uğramasına, betonda hacim genişlemesine ve betonun çatlamasına sebep olarak yapıda bozulmalara yol açar. Beton içerisindeki rutubetin hareket edebilme kabiliyeti; boşluk büyüklüğüne, boşluk dağılımına bağlıdır, dolayısıyla betonun geçirgenliğiyle doğrudan ilişkilidir. Betonun geçirimsizliğinin yüksek olması, malzemeyi sülfat saldırılarına, asitlere, karbonatlaşmaya, çiçeklenmeye, donma-çözülme, klor ataklarına, alkali silika

reaksiyonları sonucu oluşan bozulmalara karşı savunmasız hale getirir (Matar and Barhoun, 2020; Bhattacharjee, 2012).

Betonun geçirgenliğini etkileyen faktörler arasında betonun karışım oranı, ince malzeme miktarı, agrega geçirgenliği, maksimum agrega boyutu, agrega-çimento hamuru geçiş bölgesi, sıkıştırma, vibrasyon kullanımı ve uygun kür koşulları sayılabilir. Ayrıca unutulmamalıdır ki geçirgenliği etkileyen faktörler aynı zamanda betonun mukavemetini de etkiler (Woods, 1968). Betonda geçirgenliği azaltmak adına bazı kimyasal katkıları ve mineral katkıları kullanılmaktadır. Bu katkıları üzerine yapılan deneyler çalışmaları her geçen gün artmaktadır.

İnşaat sektöründe gelişen teknolojiyle birlikte kimyasal katkıların kullanımı kimyasal katkıları betonun ayrılmaz bir parçası haline getirmiştir. Beton katkı maddelerinin kullanılmasının sebebi betonun bazı özelliklerini değiştirerek betonun performansını iyileştirmektir. Bunlara betonun işlenebilirliğini arttırmak için, priz sürelerini değiştirmek için, betonun dayanımını, dayanıklılığını, donma-çözünme dayanıklılığını ve geçirimsizliğini arttırmak için kullanılan kimyasal katkıları örnek verebiliriz. Kimyasal katkıları kullanırken uygun kullanım oranlarına dikkat edilerek, laboratuvar çalışmalarıyla katkı kullanımı üzerinde araştırmalar yapılmalıdır. Fazla veya eksik dozajda kullanılan kimyasal katkıları zaman zaman betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerine negatif etkide bulunabilirler. Ayrıca bazı durumlarda iki ayrı kimyasal katkının kullanımı da betonda olumsuz etkilere yol açabilir (Topçu vd., 2006).

Betonun ayrılmaz bileşenlerinden biri de sudur. Beton yapımında kullanılan suyun önemi her geçen gün artmaktadır. Suyun olumlu etkilerinin yanında, eğer dikkat edilmezse yapıya ciddi zarar verebilecek, tamiri zora sokacak hasarlar meydana getirdiği bilinen bir gerçektir. Yapılara su yağmur, kar suları ve yeraltı suları ile girerek zararlara sebebiyet vermektedir. Beton için zararlı olabilecek kimyasallar da yapıları genellikle su ile girerler. Suyun betona nüfuz etmesi betonun içindeki boşlukları artırarak yapıya zarar verir ve hasarların artmasıyla birlikte betonun işlevselliğini kaybetmesiyle sonuçlanır. Yapının servis ömrünü uzatmak ve dayanımını arttırmak için suya karşı yapıların henüz imalat aşamasında alınan önlemler çok büyük önem arz etmektedir (Şimşek ve Akıncıtürk, 2006).

Suyun zararlı etkilerinden korunmak için betona su yalıtımı yapılması gerekmektedir. Yapılarda genellikle yapılan su yalıtım uygulamaları yapısal ve yüzey su yalıtım uygulamaları olarak ikiye ayrılır. Yüzey su yalıtım

uygulamalarında suyun bulunduğu ortam ile yapı arasında kalan yüzeye su yalıtım malzemeleri uygulanır. Sürme tip su yalıtım malzemeleri ve su yalıtım örtüleri yüzeysel su yalıtım uygulamalarına örnek oluştururlar. Yapısal su yalıtım uygulamalarında ise genellikle beton elemanların imalatları aşamasında betonun kalitesini arttırmak, su geçirimsizliğini arttırmak amacıyla toz ya da sıvı formda bulunan kimyasal katkıları kullanılır (Engin, 2013).

Beton imalatlarında düşük su/çimento oranına, doğru karışım oranına sahip ve düzgün sıkıştırılarak yerleştirilen, minimum poroziteye sahip betonun oluşturulması hem dayanımı yüksek hem de geçirimsizliği düşük olan çevresel etkilere karşı dirençli yapılar oluşturmamızı sağlar. Her ne kadar üretilen beton iyi sıkıştırılmış ve düşük su/çimento oranına sahip olsa da betonun içerisinde boşlukların oluşması kaçınılmazdır. Pratikte boşluksuz ideal bir beton üretmek yapılan deneyler sonucunda mümkün değildir. Bu yüzden betondaki su geçirimsizliğini minimize etmek için yapısal su yalıtım uygulamalarından olan geçirimsizlik katkıları kullanılmaktadır.

Yapısal su yalıtım uygulamalarında kullanılan toz ve sıvı halde bulunan katkıları hidrostatik olmayan ve hidrostatik koşullarda çalışabilen geçirimsizlik katkıları olarak ikiye ayrılır. Hidrofobik geçirimsizlik katkıları genellikle neme dayanıklı hidrostatik olmayan geçirimsizlik katkısı olarak isimlendirilir ve çalışma prensipleri fiziksel bir tıkaç etkisi oluşturarak su itici özellikle yüzeyin ıslanmamasını sağlamalarıdır. Kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkıları ise hidrofilik özellikli olup hidrostatik basınçlara karşı dayanıklıdır. Hidrofilik kristalize katkıları, çimento hidratasyonu ürünleri ile reaksiyona girerek suyu emer, kalsiyum silikat hidratların yoğunluğunu artırır, betonun gözeneklerinde çözünmez kristal birikintiler oluşturarak çimento hamuru ve agrega-çimento hamuru geçiş bölgesinde gözenekliliği azaltarak beton matrisine entegre olur ve suyun zararlı kimyasallarla birlikte betona nüfuz etmesini engellerler (Tibbets et al., 2021).

Bu çalışmada kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkı belirli oranlarda beton içerisinde kullanılarak farklı su/çimento oranlarında beton karışımları hazırlanmış ve numuneler üzerinde betonun mekanik ve durabilite özelliklerini belirleyen bazı deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları hazırlanan kontrol numuneleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

1.2. Tezin Kapsamı

Bu tez çalışması, inşaat sektöründe beton yapılarda katkı olarak kullanılan kristalize geçirimsizlik katkısının betonun mekanik ve durabilite özelliklerine etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Katkı kullanımıyla betonun geçirimsizliği üzerine olumlu etkilerinin elde edilebileceği yapılan çalışmalarla gözlemlenmiştir.

Yapılan tez çalışması toplamda beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, tezin amacı, yöntemi ve kapsamı hakkında bilgiler vermektedir.

Tezin ikinci bölümü olan genel bilgiler bölümü beton ve su yalıtımı uygulamaları olarak iki başlıkta ele alınmıştır. Beton bölümünde, beton hakkında detaylı bilgiler verilerek betonun yapısı ve bileşenleri, durabilitesi, geçirimsizliği ve betonda kullanılan kimyasal ve mineral katkıları konuları ele alınmıştır. Su yalıtımı uygulamaları ise sektörde yapılan uygulamalar detaylandırılmış ve son bölümünde tez konusu ile ilgili yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde deneysel çalışmada kullanılan materyaller ve çalışma kapsamında yapılacak olan deneyler hakkında bilgiler verilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde deney sonuçlarından elde edilen veriler açıklanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tezin son bölümü olan beşinci bölümünde yürütülen araştırmalar ve deneysel sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. BETON

2.1.1. Betonun Yapısı ve Bileşenleri

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkıların homojen bir şekilde karıştırılmasıyla elde edilen kompozit bir malzeme türüdür. Dünyada en yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin başında gelir. Dünyadaki her yıl ortalama beton tüketimi 55 milyar ton civarındadır. Dünyada sudan sonra en çok tüketilen ikinci maddedir. Birçok ülkede beton tüketiminin çelik tüketimine oranı on kat daha fazladır. Beton ve harç benzeri karışımlar tarihte çok eskiden beri insanlar tarafında yapılarda kullanılmıştır. Bunların örneklerini günümüzden 12.000 yıl önce inşa edilen Göbeklitepe'deki tapınak inşaatlarında, Mısır Piramitlerinde, Çin Seddi ve birçok tarihi yapıda görebilmekteyiz. Almanya'da 1903 yılında inşaat sektöründe bir yapı ustası çimento, kum ve agregayı belirli oranlarda su ile karıştırarak ürettiği betonla birlikte "Hazır Beton" kavramını literatüre kazandırmıştır. Her geçen gün teknolojinin gelişmesiyle beraber beton üzerinde yapılan çalışmalar devam etmekte ve bu sayede modern yapılar inşa edilebilmektedir (Türk ve Engin, 2024).

Betonun yapılarda çok fazla tercih edilmesinin birkaç nedeni vardır. Bunlardan biri betonun suya karşı mükemmel bir direnci olmasıdır. Beton, çelik veya ahşap gibi diğer yapı malzemelerine kıyasla ciddi bir bozulma olmadan suyun etkisine dayanma kabiliyetine sahiptir ve bu durum yapılarda çokça tercih edilmesini sağlamaktadır. Betonun yaygın kullanılan bir malzeme olmasının diğer bir sebebi yapısal elemanların beton ile birlikte istenilen şekil ve boyutlarda üretilebilmesidir. Yeni üretilen bir beton başlangıçta plastik kıvamlıdır ve kalıba istenilen şekilde yerleştirilebilir. Aradan geçen birkaç saat sonra sert bir kütle haline gelerek kalıptan çıkartılabilir. Betonun tercih edilmesinin bir diğer sebebi ise diğer malzemelere kıyasla en ucuz ve en kolay ulaşılabilen malzeme olmasıdır. Betonun yapısını oluşturan çimento ve agrega gibi malzemeler dünyanın çoğu bölgesinde ulaşılabilir malzemelerdir (Mehta and Monteiro, 2001).

Betonun hacminin ortalama %75'ini agrega, %10'unu çimento ve %15'ini su oluşturur. (Özdemir ve Altan, 2022) Agregalar, kum, çakıl, kırma taş gibi granül malzemelerden oluşan ve betonu oluşturmak için kullanılan malzemelerdir. 4 mm'den (milimetre) büyük agrega parçacıkları kaba agrega, küçük olanlar ise

agregalar ince agrega olarak tanımlanır. Çimento, su ile hidratasyona giren ve betonda bağlayıcılık görevi üstlenen ince toz bir malzemedir (ASTM C 125, 2009).

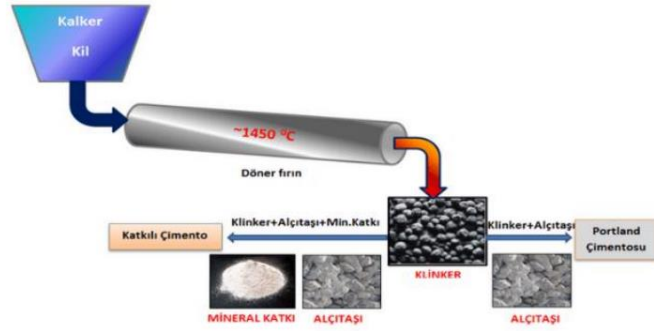
Betonların birim ağırlıklarına göre üç tip beton çeşidi vardır. Yapılarda en çok tercih edilen normal ağırlıklı betonlar genellikle 2400 kg/m^3 ağırlığında olan betonlardır. Ortalama 1800 kg/m^3 ağırlığından düşük olan betonlara hafif betonlar, yüksek yoğunluklu agregalar kullanılarak üretilen 3200 kg/m^3 ağırlığından yüksek betonlara ise ağır betonlar denir (Mehta and Monteiro, 2001).

Betonları basınç dayanımlarına göre derecelendirmek de mümkündür. Düşük dayanımlı betonlara 20 MPa'dan (megapascal) daha düşük basınç dayanımlı beton, 20 MPa ve 40 MPa arasında basınç dayanımına sahip betonlara orta dayanımlı beton, 40 MPa ve üzeri basınç dayanımlı betonlara ise yüksek dayanımlı beton denir (Mehta and Monteiro, 2001).

Beton yapısı gereği oldukça heterojen ve karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle beton yapısı üzerinde kesin modellemeler oluşturmak oldukça zordur. Betonun agrega, su, çimento gibi bileşenlerinin birbirleri arasında ilişkiler vardır. Betonun yapısı çimento hamuru, agrega ve çimento hamuru ile agrega arasındaki geçiş bölgesi olarak üç ayrı kısımda incelenebilir.

2.1.1.1. Çimento Hamuru

Çimento, hidrolik bağlayıcı özelliklere sahip, metalik olmayan, inorganik bir yapı malzemesi olarak tanımlanır. Kalker ve kilin döner fırınlarda ortalama 1400-1500 °C'de (santigrat) pişirilmesiyle birlikte klinker oluşur. Daha sonra klinker soğutulup, öğütülerek alçı taşı ile karıştırılarak normal Portland çimentosu üretimi gerçekleştirilir (Engin, 2014). Tipik bir portland çimento üretim süreci Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Portland çimentosu üretim süreci (Engin, 2014)

Portland çimentosu silikatlar ve alüminatlardan oluşan bir yapı malzemesidir (Tablo 2.1).

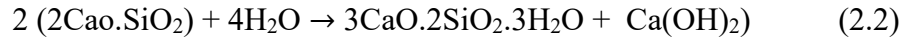
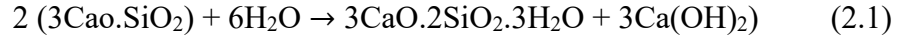
Tablo 2.1: Portland çimentosu bileşenleri (Engin, 2014)

Silikatlar		Alüminatlar	
$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$
Trikalsiyum silikat (C_3S)	Dikalsiyum silikat (C_2S)	Trikalsiyum alüminat (C_3A)	Tetrakalsiyum alüminoferrit (C_4AF)

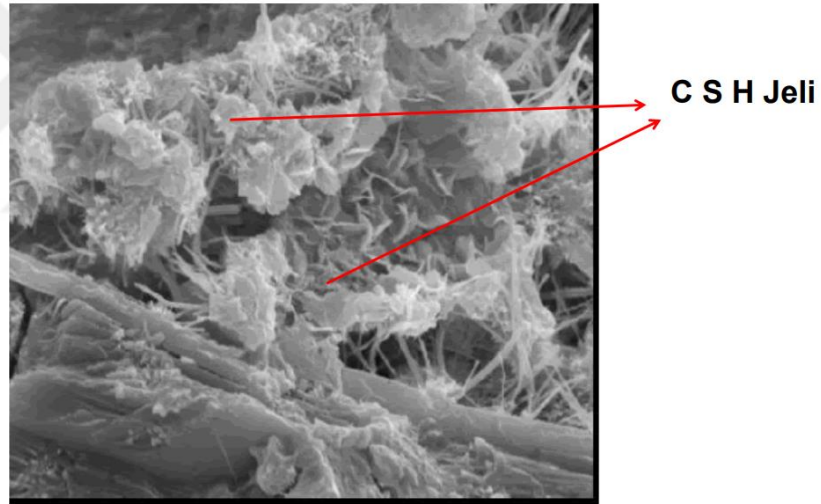
Bu bileşenlerden her birinin çimentonun özellikleri üzerine ayrı ayrı etkisi vardır. C_3S (trikalsiyum silikat), çimentonun priz sürelerini, erken ve nihai dayanımını etkiler. Bir çimentodaki C_3S yüzdesi arttıkça çimento erken dayanımı daha yüksek olur. C_3S ve C_2S (dikalsiyum silikat) çimentoya bağlayıcılık özelliğini kazandıran bileşenlerdir. C_3A (trikalsiyum alüminat) bileşeninin erken yaşlardaki dayanıma çok fazla bir etkisi yoktur, fakat çimentoda yüksek miktarda ısı artışına sebebiyet verir. C_4AF (tetrakalsiyum alüminoferrit) bileşeni çimento üretimindeki klinkerleşme sıcaklığını düşürür ve çimentoya rengini veren bir bileşendir (Neville, 2011).

Normal şartlarda çimentonun bağlayıcılık özelliği yoktur, bağlayıcılık özelliğini su ile karıştırıldığında gösterir. Portland çimentosu su ile karıştırıldığında kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Bu kimyasal reaksiyonlara çimentonun hidratasyonu ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan ürünlere ise hidratasyon ürünleri denir. Betonun priz alması ve sertleşmesi çimentonun su ile reaksiyona girmesi sayesinde gerçekleşir. Çimento hidratasyon reaksiyonları ekzotermik tepkimelerdir ve reaksiyonlar sonucunda ısı açığa çıkar (Taylor et al., 2019).

Çimento bileşenlerinden kalsiyum silikatlar olarak isimlendirilen C_3S ve C_2S bileşenlerinin su ile reaksiyonları sonucunda kalsiyum silikat hidratlar ve kalsiyum hidroksit ürünleri meydana gelir (Mehta and Monteiro, 2001). Tepkime reaksiyonları Denklem 2.1 ve Denklem 2.2’de aşağıda gösterilmiştir.

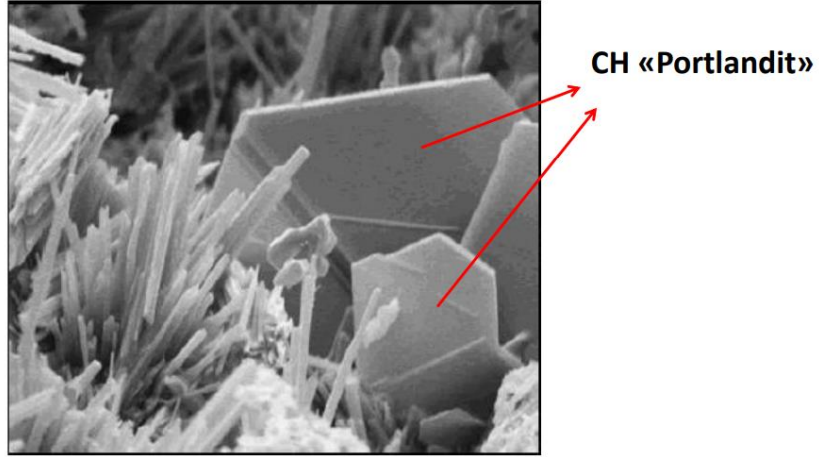


C-S-H (kalsiyum silikat hidratlar) hidrate olmuş çimento hacminin yaklaşık %50-60’ını oluştururlar. Bu yüzden çimento hamurunun özelliklerini belirleyen en önemli fazdır. Kalsiyum silikat hidratların morfolojisi zayıf kristalli liflerden oluşur. Çimento hamurunun kazandığı dayanım kalsiyum silikat hidrat jellerinin miktarına bağlıdır. Ayrıca agrega ile bağlar oluşturarak beton matrisini oluştururlar. Kalsiyum silikat hidrat jellerinin oluşumu Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Taylor et al., 2019).



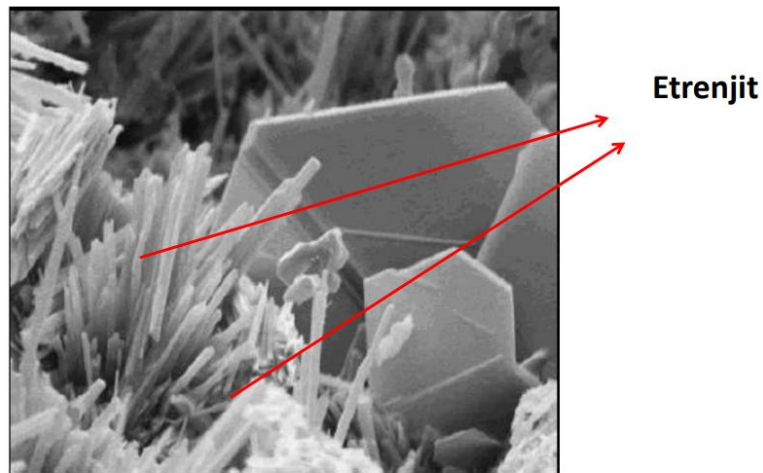
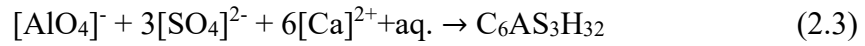
Şekil 2.2: Çimento içerisinde C-S-H jelinin oluşumu (Çimsa, 2013)

CH (kalsiyum hidroksit) betonun bazik bir malzeme olmasını sağlayan bir hidratasyon ürünüdür. Dayanıma katkıda bulunma potansiyelleri oldukça düşüktür. Hidrate olmuş çimento hacminin yaklaşık olarak %20-25’ini oluştururlar. Kalsiyum silikat hidratların aksine sabit bileşime sahip olan kristal yapıda olan bir malzemedir. Ayrıca kalsiyum silikat hidratlara kıyasla daha reaktif bir üründür. Bu özellikleri sebebiyle asitlere ve sülfatlara karşı kimyasal dayanıklılık üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptirler (Taylor et al., 2019). Kalsiyum hidroksitlerin oluşumu Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



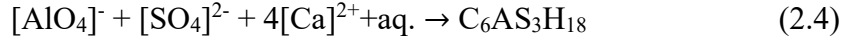
Şekil 2.3: Çimento içerisinde CH oluşumu (Çimsa, 2013)

Çimento bileşenlerinden C_3A alçı ile birlikte su ile reaksiyona girmesi sonucu etrenjit adı verilen hidratasyon ürünü açığa çıkar. Etrenjit oluşumu iğne şeklinde prizmatik kristaller şeklinde oluşur. Hidrate olmuş çimento hacminin yaklaşık olarak %15-20'sini oluştururlar. Çimentonun mukavemetini etkilemezler fakat çimentonun priz almasını etkilerler. Ayrıca betonda hacim genişmesine sebep olarak çatlamalara sebebiyet verebilir (Çimsa, 2013; Taylor et al., 2019). Hidratasyon reaksiyonu Denklem 2.3'te aşağıda gösterilmiştir. Çimento içerisinde etrenjit oluşumu Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Çimento içerisinde etrenjit oluşumu (Çimsa, 2013)

Çimentodaki alçı miktarı düşük olduğunda veya C₃A oranı yüksek olduğunda etrenjit kararsız bir hale gelerek tekrardan C₃A ile tepkimeye girmeye başlar. Bu reaksiyonlar sonucunda etrenjite benzer bir yapıda olan monosülfatlar oluşur. Monosülfatlar ince altıgen plakalar şeklinde kristalleşen ürünlerdir. (Taylor et al., 2019) Monosülfatların oluşma reaksiyonları Denklem 2.4'te aşağıda verilmiştir.



2.1.1.2. Agrega

Agregalar beton için çok önemli olan malzemelerdendir. Beton hacminin ortalama %70-80'ini oluştururlar. Genellikle kırma taş, doğal çakıl veya kumlardan elde edilen granül malzemelerdir. Agregalar genellikle ulaşılabilir ve ucuz malzemelerdir. Betona aşınma direnci kazandırırılar. Buna ek olarak su ile karmaşık kimyasal reaksiyonlara girmedikleri için beton için inert bir dolgu malzemesi olarak tanımlanırlar. Bu özelliklerinden dolayı çimentonun aksine betonun özelliklerine çok ciddi bir etkisi yoktur fakat betonun durabilitesinde oldukça etkilidir (Metha and Monteiro, 2001).

Agregalar genellikle özgül ağırlıklarına göre ağır, normal ve hafif ağırlıklı agregalar olarak sınıflandırılırlar. 2400-2800 kg/m³ birim hacim ağırlığına sahip agregalar normal agrega olarak tanımlanırlar. Kum, çakıl ve kırma taş gibi doğal mineral agregaların çoğu bu sınıfta olan agregalardır. Birim hacim ağırlığı 2400 kg/m³'ten küçük olan agregalara hafif ağırlıklı agregalar, 2800 kg/m³'den büyük olan agregalara ise ağır agregalar denir. Bu tip agregalar genellikle özel imalatlar için kullanılan agregalardır (Metha and Monteiro, 2001).

Beton imalatında kullanılan agregaların sert, güçlü ve kimyasal açıdan kararlı olmaları çok önemlidir. Yumuşak, gözenekli yapıdaki agregalar betonun mukavemeti ve aşınma direnci açısından zafiyetlere sebep olabilir. İmalat aşamasında bu tür agregalar kırılarak beton içeriğindeki ince agrega miktarını arttırarak betonun işlenebilirliğini düşürebilir. Ayrıca agrega yüzeyi yabancı maddelerden arındırılmış olmalıdır, aksi takdirde üzerinde bulunan ince malzemeler betonun su ihtiyacını arttıracak ve aderansı olumsuz etkileyecektir.

Agreganın şekli ve dokusu, boyut özellikleri, nem içeriği, özgül ağırlık ve birim ağırlıkları betonun işlenebilirliğini önemli ölçüde etkileyen faktörlerdendir. Genellikle beton imalatlarında istenilen ideal agrega şekli ve dokusu pürüzsüz bir

yüzeye sahip ve küre şekline yakın agregalardır. Keskin noktalara sahip köşeli agregalar ayrışma eğilimindedir ve betonun yüzey/hacim oranını arttıırırlar.

Beton üretiminde kullanılan çimento genellikle en pahalı bileşendir ve istenilen özelliklerde beton üretimi için optimum koşullarda çimento kullanılması beklenir. Agreganın boyut dağılımının derecelendirilmesi kullanılması gereken çimento miktarını de etkiler. Agregada parçacıkları arasındaki boşluklar ve agregaların toplam yüzey alanları çimento hamuruyla doldurulması gereken alanlar konusunda bilgi verir. Bu yüzden boyut dağılımının titizlikle ele alınması oldukça önemlidir. Agregaların boyutsal sınıflandırılması elek analizi ile belirlenir (Neville, 2011).

Kullanılan kaba agreganın en büyük boyutu beton imalatında kullanılması gereken çimento miktarını etkiler. En büyük agrega boyutu ne kadar büyük olursa çimento hamuru gereksinimi de o kadar düşük olur. Buna bağlı olarak su/çimento oranı da düşürülebildiğinden betonun mukavemetini de olumlu yönde etkiler. Ayrıca en büyük agrega boyutunun artışıyla çimento hamuruna olan gereksinimin azalmasıyla çimento hamurunun maruz kalacağı kimyasal ve fiziksel etkiler azalacak, dolayısıyla betonun durabilitesi artacaktır.

Agregaların gözenekli yapısı suyun agregaya emilimini artırır ve aynı zamanda agreganın yüzeyinde nem tabakası oluşturabilir. Bu yüzden beton imalatında kullanılan agreganın nem içeriğinin bilinmesi önemli bir faktördür. Agregada yüzeylerde nem tabakasının fazla bulunması betona fazladan su salacak ve betonun su/çimento oranını arttırarak betonun dayanımına negatif bir etkide bulunacaktır (Mehta and Monteiro, 2001).

2.1.1.3. Çimento Hamuru - Agregada Geçiş Bölgesi

Kaba agrega parçacıkları ile çimento hamuru arasındaki kalan bölgeye geçiş bölgesi denilir. Genellikle agrega etrafında tipik olarak 10-50 µm (mikron) kalınlığında bir kabuk olarak bulunur ve betonun diğer iki fazından daha zayıf özelliklere sahip olduğu için özellikle betonun mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Geçiş bölgesi betonun durabilitesini de önemli ölçüde etkiler.

Çimento hamuru ile aynı elementlerden oluşmasına rağmen geçiş bölgesinin yapısı ve özellikleri çimento hamurundan farklıdır. Bu bölgede van der Waals bağları etkilidir. Geçiş bölgesinin dayanımı da mevcut boşlukların hacmine ve

boyutuna bağlıdır. İlk aşamalarda zayıf olan geçiş bölgesi, zaman içerisinde beton matrisiyle aynı mukavemete hatta genellikle daha yüksek bir mukavemete sahip olurlar. Betonun geçiş bölgesindeki mukavemetin başlangıçta düşük olmasının ana sebeplerinden biri mikro çatlaklardır. Mikro çatlakların varlığı ise agregaların boyutuna, çimento içeriğine, betonun su/çimento oranına, dökülen yeni betonun sıkıştırma derecesine, kürlenme koşullarına, çevresel neme bağlıdır (Mehta and Monteiro, 2001).

2.1.2. Betonun Durabilitesi

Durabilite, betonun servis ömrü boyunca çevreden gelen fiziksel ve kimyasal etkilere karşı direnme kabiliyeti olarak tanımlanır (ACI Committee 201, 1997). Düzgün tasarlanıp imal edilen bir beton çevreden maruz kaldığı etkilere karşı kalitesini ve orijinal formunu koruyacaktır. Esasen hiçbir malzeme doğası gereği dayanıklı değildir. Çevresel etkilerle birlikte malzemelerin mikro yapıları zamana bağlı olarak malzemelerin özelliklerini değiştirebilir (Mehta and Monteiro, 2001).

Betonun, 1970’li yıllara kadar oldukça dayanıklı ve uzun ömürlü bir malzeme olduğu bilinmekteydi. Bu düşüncenin sebebinin betonun çimento hidratasyonu ile birlikte zamanla dayanımının artmasından dolayı olduğu söylenebilir. Fakat gelişen teknolojiyle birlikte beton üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda betonun zaman içerisinde dayanıklılığını kaybederek belli çevresel etkilerle bozulmalara uğradığını göstermiştir. Bunun üzerine betonun servis ömrüyle ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır (Baradan ve Aydın, 2013).

Beton, bileşenleri dolayısıyla çevresel etkilere karşı hassas bir malzemedir. Betonarme bir yapının üç ana bileşeninden olan agrega, çimento hamuru ve donatı çeliği kimyasal veya fiziksel birtakım reaksiyonlarla betonun bozulmasına ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığını kaybetmesine sebebiyet verebilir. Betonun dayanıklılığının tahmininde bulunmak oldukça zordur, çünkü betonda bozulmaların ortaya çıkması bazı durumlarda uzun yıllar içerisinde meydana gelebilir. Bu yüzden durabilite ile ilgili çalışmalar çoğunlukla kısa vadeli testler yapılarak uzun vadede betonun davranışını tahmin etme üzerine kuruludur.

Betonun dayanıklılığını kaybetmesine neden olan bazı kimyasal ve fiziksel etkiler vardır. Sülfat saldırıları, alkali agrega reaksiyonları, asit ve alkali saldırıları ve donatı çeliğinin hava ve suyla temas ederek korozyona uğraması kimyasal bozulmalara örnek olarak verilebilir. Donma çözülme etkisi, yüzey aşınması, don

ve yangın gibi aşırı sıcaklık değişimleri de betonun fiziksel bozulmalarına örnek olarak verilebilir (Woods, 1968).

Betonun yapılarda dayanıklılığını etkileyen faktörlerin en başında su ile betonun yapısındaki gözenekler ve çatlak oluşumları gelir. Beton için zararlı olabilecek malzemeler genellikle su ile taşınıp betonla etkileşime girerek bozulmalara neden olur. Su, doğada bulunan en çözücü malzemelerden biridir ve suyun küçük molekülleri betonun boşluklarına rahatça nüfuz edebilir. Bu yüzden beton için zararlı maddelerin birçoğu su ile yapının içine sızar. Bu nedenle bozulmaların önüne geçmek için betonun geçirimsiz yapısı oldukça önem arz eder. Beton içerisindeki agregalar genellikle az boşluk içerir ve etrafları çimento hamuru ile kaplıdır. Bu yüzden betonun geçirimsizliğini etkileyen fazlar çimento hamuru ve çimento hamuru ile agrega arasındaki geçiş bölgesidir. Bu fazlarda oluşan mikro ve makro çatlaklar betonu çevresel etkilere karşı savunmasız hale getirerek betonun servis ömrünü kısaltıp yapıda bozulmalara sebebiyet verebilir. İnşaat sektöründe toplam inşaat bütçesinin büyük bir kısmı bu bozulmaların onarım ve tamirâtı için kullanılır (Baradan ve Aydın, 2013).

2.1.2.1. Fiziksel Bozulmalar

Betonun yapısal bozulmaya uğramasının birçok sebebi vardır. Beton çevreden maruz kaldığı fiziksel ve mekanik etkilerle zarara uğrayabilir. Darbeler, aşınma, erozyon, kavitasyon, donma ve çözülme, yüksek sıcaklık gibi etkiler betonda fiziksel bozulmalara örnek verilebilir. Aşınma, beton yüzeyler üzerinde basınç sebebiyle meydana gelen kütle kaybı olarak tanımlanabilir. Yüzeylerde aşınmaya sebebiyet veren durumlar kazıma, çarpma veya kayma yoluyla meydana gelebilir. Erozyon, çoğunlukla hidrolik yapılarda meydana gelen yüzey aşınması olarak kavitasyon da hidrolik yapılardaki şiddetle akan su sebebiyle yüzeyde meydana gelen çökmeler ve oyulmalar olarak tanımlanabilir. Beton boşluklu bir yapıya sahiptir. Bu boşluklar su ile doludur ve düşük sıcaklıklarda boşluklardaki su donabilir. Donma olayları betonda genleşmeye sebebiyet vererek gerilmelere neden olarak betonun durabilitesini olumsuz etkileyebilir. Bu olaya donma ve çözülme olayı denir. Düşük sıcaklıkların verdiği zararlar gibi beton yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında da birtakım hacim genleşmeleri ile yapıya zarar verebilir. (Mehta and Monteiro, 2001; Al Jabari, 2022) Betonda aşınma örneği Şekil 2.5'te ve betonda erozyon örneği Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Betonda aşınma örneği (Concept Concrete WA, 2019)



Şekil 2.6: Betonda erozyon örneği (Erosion Resistance of Concrete, 2024)

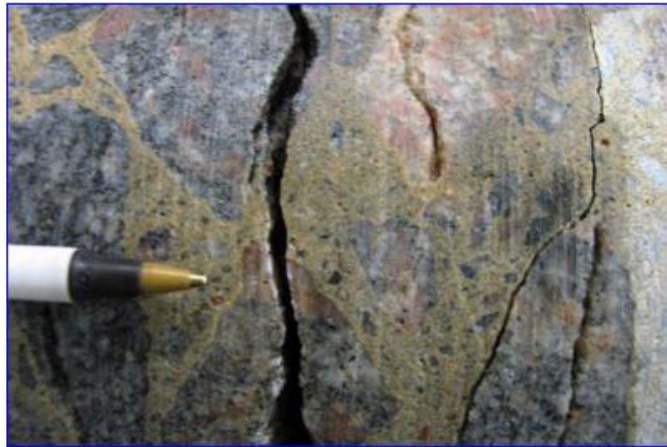
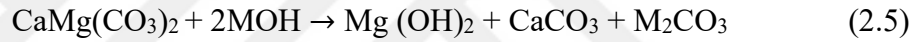
2.1.2.2. **Kimyasal Bozulmalar**

Beton yapısı ve bileşenleri gereği hassas ve çevreye duyarlı bir kompozit malzemedir. Bu yüzden çevresel birtakım etkilerle beton için zararlı maddelerin nüfuz etmesi ile birlikte bu maddeler beton bileşenleri ile reaksiyona girerek kimyasal bozulmalara sebebiyet verebilir. Alkali silika reaksiyonları, alkali karbonat reaksiyonları, sülfat atakları, karbonatlaşma, korozyon, magnezyum ve kalsiyum oksidin gecikmiş hidratasyonları betonda oluşacak kimyasal bozulmalara örnek verilebilir (Al Jabari, 2022).

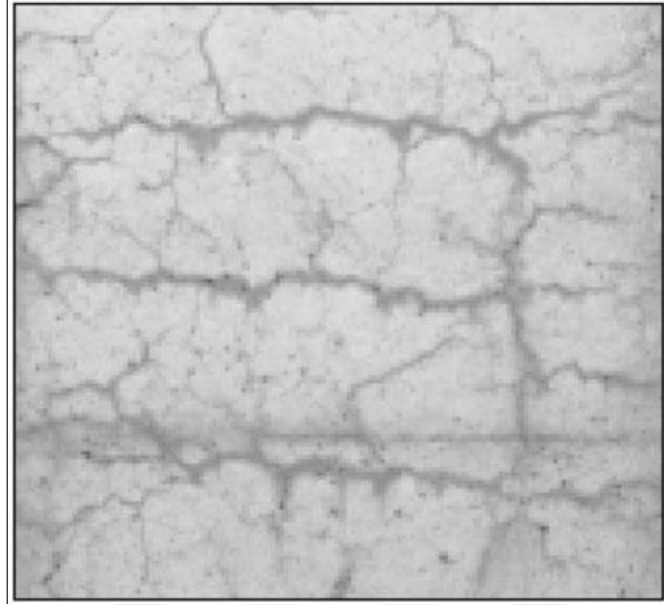
Alkali silika reaksiyonu genellikle silisli agregaların varlığından dolayı olur. Agregalarda bulunan aktif silislerle betondaki alkali OH^- (hidroksit) tepkimeye

girerek silikat jelleri oluştururlar ve bu jeller suyu emerek hacimleri artar. Hacim artışıyla meydana gelen basınç betonda çatlak oluşumlarına sebebiyet verir. Bu çatlamalar betonda genellikle 5 ile 10 yıl içerisinde gözle görünür hale gelir (Ratnam and Mahure, 2008).

Alkali karbonat reaksiyonları, bazı dolomit veya magnezyum içeren kireçtaşı agregaları ile betondaki hidroksit iyonları arasındaki tepkimelerden meydana gelir. Reaksiyonlar sonucu oluşan ürünler betonda alkali karbonat jeli oluşturarak hacim genleşmesi yaratır ve harita şeklinde çatlakların oluşumuna neden olurlar. Bu reaksiyonlar betonun toplam hacminde çok ciddi artışa sebebiyet vermez fakat reaktif agregaların bulunduğu noktalarda yerel genleşmelerle çatlaklara neden olabilir. Bu gibi durumların önüne geçmek için betonun bazı bileşenlerinde MgO (magnezyum oksit) oranı için limitler belirlenmiştir. Alkali karbonat reaksiyonu Denklem 2.5'te verilmiştir (Engin, 2022). Alkali agrega reaksiyonu sonucu betonda oluşan çatlak örneği şekil 2.7'de ve betonda oluşan harita şeklinde çatlak örneği şekil 2.8'de gösterilmiştir.



şekil 2.7: Alkali agrega reaksiyonu sonucu çatlak örneği (Ratnam and Mahure, 2008)



Şekil 2.8: Betonda harita şeklinde çatlak örneği (Ratnam and Mahure, 2008)

Sülfat atakları, betonda yaygın şekilde görülen bir bozulma şeklidir. En basit haliyle su içerisinde bulunan zararlı sülfat iyonları beton ile temas ettiğinde yapıda kimyasal ve aynı zamanda fiziksel bozulmalara sebep olur. Sülfat iyonlarının beton ile teması zaman zaman yeraltı sularından, deniz sularından, yağmur sularından ve atık sulardan olur. Bu sülfat iyonları potasyum, sodyum, magnezyum ve kalsiyum gibi bazı katyonlarla birlikte de bulunabilirler (Karaşin ve Doğruyol, 2011). Toprakların çoğu alçı şeklinde sülfat içerirler ve belli miktarlarda sülfat içeriğinde beton için tehdit oluşturmazlar (%0.01 ile 0.05 SO_4). Yüksek sülfat içerikleri yeraltı sularında daha çok magnezyum ve alkali sülfatlarda bulunur. Özellikle tarım topraklarının bulunduğu yeraltı sularında da amonyum sülfat bulunur ve bunlar da beton için oldukça zararlıdır (Mehta and Monteiro, 2001).

Betonda sülfat atakları iki şekilde gerçekleşir. Sülfat saldırısı betonun hacim genişmesi şeklinde gerçekleşebilir. Beton genişlemeye başladığında çatlamaya başlar ve betonun geçirgenliği yükselerek zararlı maddelerin betona nüfuzu hızlanır ve betonun durabilitesi olumsuz etkilenir. Sülfat saldırısı betonda kütle kaybı ve mukavemet kaybı olarak da gerçekleşebilir. Sülfat saldırısı ile çimento hidrasyon ürünlerinde bozulmalar olur ve bu durum betonun bozulmasına yol açar. Bu bozulmalar zamanla betonda ciddi yapısal hasarlara da sebebiyet verebilir.

Sülfat ataklarını etkileyen bazı faktörler vardır. Bu faktörler, sülfat içeriğinin miktarı ve hangi bileşenlerle birlikte bulunduğu, betonun geçirimsizliği ve kalitesi,

beton imalatında kullanılan çimentonun kalitesi ve cinsi, yeraltı su seviyelerinin yapı ile olan teması, toprağın gözenekli yapısı şeklinde sıralanabilir (Woods, 1968).

Betonda sülfat ataklarını engellemek için bazı önlemler alınmalıdır. Betonda kullanılan çimentonun cinsi oldukça önemlidir. Çimento içeriğinde öncelikle C_3A oranına bakarak sülfata dayanıklı çimento kullanılması gerekmektedir. C_3A içeren çimentolarda hidrasyon ürünleri olarak etrenjit ve monosülfatlar oluşmaktadır. Bu ürünler betonda hacim genleşmesi yaratarak çatlamalara sebebiyet verirler. Ayrıca kullanılan çimentonun C_3S içeriği de oldukça önemlidir. C_3S hidrasyona uğradığında bol miktarda CH ortaya çıkar ve bu ürünler sülfatlara karşı direnç gösteremeyerek betonda alçı oluşumuna neden olurlar. Betonda sülfatlara dayanıklı yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi reaktifliği daha düşük mineral katkıları kullanmak da sülfat saldırılarına karşı alınacak önlemlerden bir tanesidir. Geçirimliliği düşük beton imalatları da yapıyı sülfat ataklarına karşı korumak için alınacak önlemlerdendir. Düşük su/çimento oranında, uygun kürleme ve sıkıştırma işlemleriyle imal edilen betonlar sülfat ataklarına karşı daha dirençlidirler (Mindness and Young, 1981). Sülfat etkisiyle oluşan bozulma örnekleri Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9: Sülfat etkisiyle betonda oluşan bozulma örneği (Çimsa, 2024)



Şekil 2.10: Sülfat etkisiyle oluşan bozulma örneği (Çimsa, 2024)

Çimentonun hidratasyon ürünlerinden biri olan CH reaktif bir malzemedir ve asitlere karşı direnci oldukça sınırlıdır. CH zamanla havadaki CO₂ (karbondioksit) ile tepkimeye girerek nötr bir tuz olan kalsiyum karbonata dönüşür. Bu olaya betonun karbonatlaşması denir. Bu olay sonucunda sertleşmiş beton yüzeyinde beyaz lekeler oluşur ve buna betonda çiçeklenme adı verilir. Çiçeklenme etkisi betonda dayanıklılıktan ziyade betonun estetik görünümünde hasarlara yol açar. Betonda çiçeklenme olayı betonun geçirgenliğine ve beton yüzeyine sızan sudaki çözünmüş tuz miktarına bağlı olarak değişir. Bu olayın önüne geçmek için beton imalatında kullanılan çimentonun C₃S içeriği düşük olmalıdır ve düşük alkalili çimento kullanımı tercih edilmelidir. Ayrıca yapının suya karşı yalıtımının doğru bir şekilde yapılması da betonun karbonatlaşmasının önüne geçilmesindeki en önemli etkenlerden biridir (Hewlet, 2003; Engin, 2015). Betonda karbonatlaşma reaksiyonu denklem 2.6'da gösterilmiştir. Bir yapıda oluşan çiçeklenme örneği Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



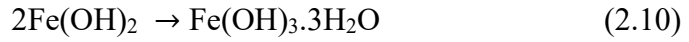
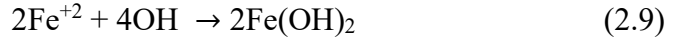


Şekil 2.11: Perde duvarında oluşan çiçeklenme (Engin, 2015)

Beton alkali bir malzemedir ve hidrasyon ürünleri ile birlikte betonun pH'ı (hidrojen potansiyeli) 13 mertebelerine kadar yükselir. Betonun alkali yapısı sayesinde betonarme bir yapıdaki donatı çeliğinin korozyona uğraması engellenir. Betonun alkali ortamda zaman içerisinde karbonatlaşma reaksiyonları gerçekleştirmesi ile oluşan kalsiyum karbonatla birlikte betonun pH'ı 9.5 mertebelerine gelerek betonun alkalinitesi bozulur ve bu durum donatı çeliğine zarar vererek korozyona neden olabilir (Baradan ve Aydın, 2013).

Beton yapılarda korozyon oluşumu betonun çatlamasına ve yüzeyinin kabuklaşarak parçalar halinde dökülmesine yol açarak yapısal hasarlara neden olur. Donatı çeliğinin korozyona uğraması elektrokimyasal tepkimeler sonucu oluşur. Betonarme yapılar gözenekli bir yapıdadır ve bünyesinde su bulundurlar. Bu durum yapıda elektrolitik bir ortamın oluşmasına sebebiyet verir ve iletken bir malzeme olan donatı çeliğiyle etkileşime girer. Bu etkileşimin başlamasıyla birlikte donatı çeliği anot bölümünden elektron vererek korozyonun başlamasına neden olur. Anot bölgesinden kopan elektronlar katot bölgesine geçiş yapar, bu bölge oksijen ve su içeriğinin fazla olduğu bir bölümdür. Katot bölgesine gelen elektronlar burada su ve oksijen ile tepkimeye girerek OH^- iyonları oluştururlar. Oluşan hidroksitler de serbest kalan demir iyonları ile bir dizi reaksiyona girerek donatı çeliğinin hacminin artmasına ve yapısının bozulmasına neden olurlar. Anot ve katot bölgelerinde gerçekleşen reaksiyonlar Denklem 2.7, Denklem 2.8,

Denklem 2.9 ve Denklem 2.10'da gösterilmiştir (Cilason vd., 1995). Betonda yapılarda oluşan korozyon örneği Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Betonarme bir yapıda oluşan korozyon oluşumu örneği (Akkurt, 2020)

2.1.3. Betonun Geçirimsizliği

Yaşam için su dünya üzerinde bulunan en önemli maddelerden biridir. Yapılar için de suyun hayati bir önemi vardır. Beton yaşam döngüsü boyunca su ile sürekli bir etkileşim halindedir. Beton için suyun belli işlevleri vardır. Çimentonun hidratasyonu için gerekli bir malzemedir ve bu süreçlerde plastikleştirici bir etkisi vardır. Zamanla beton içerisindeki su buharlaşarak betonun gözeneklerinde boşluklar yaratabilir ve bu gözenekler çevresel faktörlere direnç gösteremeyerek yapıda ciddi durabilite sorunlarına sebebiyet verebilir. Betonun geçirgenliği büyük ölçüde bu gözeneklere bağlıdır ve bu gözeneklerin boyutları, dağılımı, birbirleri ile olan bağlantıları ile şekilleri de betonun geçirgenliği üzerine büyük rol oynar (Neville, 2011).

Normal şartlarda çimento hidratasyonunun devam etmesiyle çimento hamurunun geçirgenliği azalır. Su ile dolu olan boşluklar zamanla hidratasyon ürünleri ile dolmaya başlar. Çimento hamurunun geçirgenliği hamurdaki çimento

oranına bağlıdır. Çimento hamurunda çimento miktarı ne kadar fazlaysa geçirgenliği o kadar az olacaktır, dolayısıyla su/çimento oranının düşük olması geçirgenlik için çok önemlidir. Su/çimento oranının yüksek, hidrasyon derecesinin düşük olduğu çimento hamurlarında geçirgenlik katsayısı yüksek olacaktır ve çok sayıda gözenek içerecektir (Mehta and Monteiro, 2001).

Beton için geçirgenlik, sıvı ve gazların beton içerisindeki yer değiştirebilme potansiyeli ile ilişkilendirilir. Betonun geçirgenliğinin çok düşük olması çevreden gelen fiziksel ve kimyasal saldırılara karşı yapıyı korur. Bu yüzden betonun durabilitesini etkileyen en önemli faktör olduğunu söylemek mümkündür (Engin, 2024). Betonun geçirgenliğini etkileyen belli başlı faktörler vardır. Yüksek su/çimento oranı betonun geçirgenliğini artırır. Beton içerisindeki çimento yeterli miktarda olmadığında hidrasyon tepkimeleri sonucu açığa çıkan jel boşlukların tamamını kapatamaz ve fazla olan su boşluklardan buharlaşarak uzaklaşır. Ayrıca beton imalatından sonraki kürlenme koşulları da betonun geçirgenliğini etkileyen faktörlerdendir. Betonun geçirgenliği belirleyen bir diğer faktör ise beton imalatında seçilen maksimum agrega boyutudur. İri agrega ve çimento hamuru arasında bulunan geçiş bölgesinin geçirimsizliği geçirgenlik katsayısını etkiler. Maksimum agrega boyutunun yüksek olması geçiş bölgesinde mikro çatlakların oluşumuna dolayısıyla geçirgenliğin yükselmesine neden olur (Mindness and Young 1981; Woods, 1968).

2.1.4. Kimyasal Katkılar

Beton bilindiği üzere inşaat sektöründe en çok kullanılan malzemelerden biridir. Günümüz teknolojisiyle birlikte beton üzerine sürekli araştırmalar devam etmekte ve bu araştırmalar beton teknolojisine katkı sağlamaktadır. Normal şartlarda beton, su, çimento ve agreganın homojen şekilde karıştırılmasıyla elde edilen bir kompozit malzemedir. Bu şekilde üretilen bir betonda çevresel koşullara ve kullanım amacına göre her zaman talep edildiği gibi bir imalat yapılamamaktadır. Bu yüzden inşaat sektöründe betonun kalitesini ve dayanıklılığını arttırmak, bazı özelliklerini değiştirerek istenilen özelliklerde performansını artırıp beton imalatını sağlamak ve/veya daha ucuz beton üretimi sağlamak amacıyla beton içerisinde kimyasal katkıları kullanılmaktadır (Topçu vd., 2006).

Kimyasal katkıları, beton üretimi sırasında betonun özelliklerini değiştirmek amacıyla belirli oranlarda karıştırılarak kullanılan malzemelerdir. Beton içerisinde

hangi dozajlarda kullanılması gerektiği istenilen özelliklerle ve katkıının betonun bileşenleri ile olan etkileşimine bağlı olarak değişir. Dünyada ve ülkemizde kimyasal katkı türlerini sınıflandıran ve uygun katkı sınıflarının doğru miktarları ile ilgili belirli sınırlar ortaya koyan standartlar mevcuttur. ASTM C 494'e (2013) göre kimyasal katkılar yedi tipte sınıflandırılmıştır. Ülkemizde ise kimyasal katkılarla ilgili TS EN 934-2 (2002) standardı Mart 2002 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Kimyasal katkı kullanımının başlıca amaçları, normal veya yüksek oranda su azaltmak, su geçirmezlik, priz hızlandırmak, priz geciktirmek, işlenebilirliği arttırmak ve hava sürüklemektir. Bu amaçlara yönelik olarak kullanılan bazı kimyasal katkılar bu amaçların birkaç tanesini aynı anda gerçekleştirebilirler (Erdoğan ve Erdoğan, 2005). Kimyasal katkı dozajlarının sınırlandırılmasının sebebi betonun özelliklerine negatif etkide bulunmasının önüne geçmek içindir. Beton imalatında kullanılan katkı performansının arttırılmak istendiği özelliğinin yanında zaman zaman betonun diğer özelliklerini de olumsuz etkileyebilir. Bu yüzden kimyasal katkıların öncelikle laboratuvar koşullarında incelenmesi ve denenmesi oldukça önemlidir (Topçu vd., 2006).

Kimyasal katkıların içeriklerine göre farklı kullanım amaçları vardır. Kimyasal katkılarda en yaygın olarak kullanılan kimyasallar lignosülfanatlar ve türevleri, hidroksil karbosilik asitler ve polimer esaslı maddelerdir. Beton imalatı sırasında beton karışımına eklenen katkılar kimyasal tepkimelerle betonun özelliklerini etkilerler ve su içerisinde erime özelliği gösterirler (Gandage, 2023).

Su azaltıcı katkıları yüksek oranda su azaltan ve normal miktarda su azaltan katkı türleri olarak ikiye ayırabiliriz. Su azaltıcı katkıların beton karışımında kullanılmasının sebepleri, sabit bir çökme değerinde betonun su ihtiyacını azaltmak ve belli bir su oranının belirlendiği beton tasarımında çökme değerini sabit tutmak şeklindedir. Normal oranda su azaltıcı katkılar, çimento ağırlığının %5'ini geçmeyecek kadar dozajlarda kullanılarak beton karışım suyunda %5 ile 11 arasında su azaltırlar. Yüksek oranda su azaltıcı katkılar ise beton karışım suyunda kıvam değişimi olmadan %12 ve üzerinde su azaltırlar. Su azaltıcı kimyasal katkı kullanımı daha düşük su/çimento oranında beton imalatı yapmaya olanak sağlar. Bu şekilde üretilen betonlarda daha yüksek dayanımlı betonlar üretilebilmektedir. Ayrıca su miktarının azalması beton içerisindeki gözenekleri azaltıp betonun su geçirimsizliğine de katkı sağlayarak yapının dayanıklılığını arttırmaktadır. Su azaltıcı katkı kullanımında uygun dozaj çok önemlidir. Çünkü fazla kullanılan katkı

miktarında betonun priz süresi uzayabilir ve düşük kıvamlı betonlarda yüzey düzeltme işleme zorlaşabilir (Erdoğan ve Erdoğan, 2005).

Priz geciktirici katkıları, taze dökülen bir betonun katı hale geçmesi için gereken sürenin uzatılması amacıyla kullanılır. Bu tip katılara genellikle yüksek hava sıcaklığının, düşük nemin ve rüzgarlı hava koşullarının bulunduğu ortamlarda ihtiyaç duyulur. Bu hava koşullarında beton karışım suyu hızlı bir şekilde buharlaşarak betonda kıvam kaybı yaratıp, beklenen süreden daha kısa bir zamanda priz almasına ve bu hızlı katılaşma durumu betonda çatlak oluşumlarına sebebiyet verebilir. Bu sorunların önüne geçmek adına priz geciktirici kimyasal katkıları kullanılmalıdır. Bu katkıların kullanımında da belirlenen dozajın üzerinde kullanımı betona zarar verebilir. Bazı priz geciktirici katkıları terlemeyi artırıp betonun ayrışmasına sebebiyet verebilirler (Gandage, 2023).

Priz hızlandırıcı katkıları, betonun ilk priz süresini kısaltarak daha erken yüksek dayanım kazanılmasını sağlarlar. Özellikle soğuk hava koşullarında, betonda meydana gelen hidrasyon reaksiyonları beklenenden daha yavaş bir şekilde gerçekleşir ve bu nedenle betonun priz süresi uzayabilmektedir. Bu tip katkıları beton yol yapımlarında trafiğin hızlıca açılması gereken durumlarda kullanılabilir. Ayrıca betonarme bir yapıda kalıpların hızlı sökülmesi gerek durumlarda da priz hızlandırıcı katılara ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu katkıları kullanırken dikkat edilmesi gereken en önemli konu betonun taşınma, yerleştirilme, sıkıştırma ve yüzey tesviye işlemlerinin düzgün bir şekilde organize edilmesidir (Pekmezci ve Atahan, 2014).

Hava sürükleyici katkıları, beton karışımları içerisinde donma çözölmeye karşı direnç oluşturmak amacıyla kullanılır. Bu katkıları taze betonda çok küçük boyutlu hava kabarcıklarının oluşmasını ve bu hava kabarcıklarının beton prizini aldıktan sonra da kalıcı bir şekilde beton matrisi içinde kalmasını sağlar. Beton soğuk iklim koşullarına maruz kaldığında beton matrisi içerisindeki kılcal boşluklardaki su donmaya başlayarak hacmi artar. Bu durum betonda iç gerilmeler oluşmasına neden olur. Daha sonra donan suyun çözölmesiyle beton donma çözölmeye döngüsüne girmeye başlar ve betonun çatlaması, yüzey bozuklukları gibi sorunlar meydana gelir. Beton içerisinde sürüklenmiş halde hava kabarcıklarının bulunması donma çözölmeye döngüsüyle meydana gelen hacim genleşmelerinin önüne geçer. Hava sürükleyici kimyasal katkıları kullanarak betonun dayanıklılığını, akıcılığını ve işlenebilirliğini artırıp betonda oluşacak terlemeyi azaltabiliriz. Bu tür katkıları kullanırken betonun su/çimento oranının uygun bir şekilde ayarlanması

gerekmektedir. Aksi takdirde bu katkıları beton içerisindeki hava kabarcıklarını arttırdığı için dayanıma olumsuz bir etkide bulunabilirler (Erdoğan ve Erdoğan, 2005).

2.1.5. Mineral Katkılar

Mineral katkıları, beton içerisinde betonun bazı özelliklerini değiştirerek performansını arttırmak ve betonu iyileştirmek amacıyla kullanılan ince malzemelerdir. Kullanım amaçları her ne kadar farklı olsa da genellikle betonun dayanımı ve dayanıklılığını arttırmak için kullanılırlar. Mineral katkıların çoğu betonun nihai dayanımını ve geçirimsizliğini arttırırlar. Bunun sebebi bu katkıların hidratasyon ürünlerinden biri olan CH ile ikincil tepkimelere girerek C-S-H oluşturmaları ve bu ürünlerin beton matrisindeki miktarını arttırmalarıdır (Türk ve Engin, 2024).

Mineral katkıları beton imalatı sırasında doğrudan karışıma ilave edilir ve bu katkıları genellikle çimento miktarı belli oranlarda azaltılarak çimento ikamesi olarak kullanılırlar. Mineral katkıların çoğu puzolanlardan oluşur ve betonda tek başına kullanıldıklarında bağlayıcılık özellikleri yoktur. Fakat çimento ile birlikte kullandıklarında betona bağlayıcılık özelliği kazandırarak betonun özelliklerinin iyileşmesine yardımcı olurlar (Mehta and Monteiro, 2001).

Mineral katkıları, sürdürülebilir ve daha ekonomik bir beton elde etmemiz için son derece faydalı ürünlerdir. Özellikle çimento sektöründe son yıllarda karbon ayak izinin küçültülmesi konusunda detaylı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda mineral katkıların çimentonun ikamesi olarak beton karışımlarında kullanılması da söz konusudur. Bilindiği üzere mineral katkıları atık maddelerden de üretilmektedir ve CO₂ emisyonunu azalttıkları için sürdürülebilirliğe ciddi etkileri vardır. Mineral katkıları düşük hidratasyon ısısı açığa çıkardıkları için termal çatlamaların oluşmasını önlerler. Ayrıca daha ince malzemeler olması sebebiyle dayanımın ve geçirimsizliğin artmasını sağlayarak betonu kimyasal saldırılara karşı daha dayanıklı hale getirirler (Türk ve Engin, 2024).

Puzolanik malzemeler doğal puzolanlar ve endüstriyel yan ürün malzemeleri olarak iki grupta incelenebilir. Doğal puzolanlar genellikle minerallerden ve volkanik kayalardan elde edilirler ve bünyelerinde silis, alüminyum silikatları bulundurlar. Volkanik küller, volkanik camlar, volkanik tüfler, diatomik topraklar, killeri ve şeyiller örnek olarak verilebilir. Endüstriyel yan ürünlerden elde edilen

puzolanlar ise günümüzde en yaygın olarak kullanılan mineral katkılardır. Uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, metakaolin yan ürünlerden elde edilen puzolanlara örnek olarak verilebilir (Mehta and Monteiro, 2001).

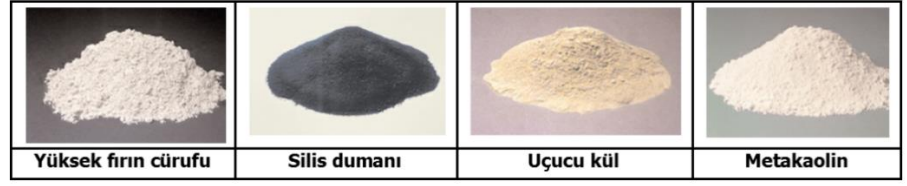
Uçucu küller, kömürün yanmasıyla ortaya çıkan ve genellikle termik santrallerin bacalarında biriken endüstriyel bir atık ürünüdür. Bu malzemeler silika, alümina ve demirden oluşan küresel parçacıklardır ve genellikle parçacık boyutları 35 μm 'dan azdır.

Yüksek fırın cürufu metalurji tesislerinden elde edilen atık bir üründür. Bu malzemeler yüksek fırınlarda demir üretimi sırasında açığa çıkan ve metalik olmayan bünyesinde kalsiyum, silikat ve alümina silikatları barındıran bir yan üründür. Yüzeyleri genellikle pürüzlü ve keskin kenarlıdır. Bu katkıların kullanımı betonun erken dayanım kazanmasında büyük rol oynarlar. Ayrıca bu katkıların sülfatlara, klor iyonlarına, karbonatlara, buz çözücü maddelere karşı oldukça dayanımı vardır ve betonun kimyasal saldırılara karşı direncine olumlu etkileri söz konusudur. İnce yapıları sayesinde geçirimsiz beton elde etmek mümkündür ve alkali silis reaksiyonlarıyla oluşan hacim genleşmelerinin azalmasına katkıda bulunurlar.

Silis dumanı, silikon ve ferrosilikon endüstrilerinden elde edilen bir atık malzemedir. Bu malzemeler normal portland çimentosu ile karşılaştırıldıklarında çok daha ince bir tanecik boyutuna sahiptirler ve bu özelliklerinden dolayı puzolanik özellikleri oldukça yüksektir. Beton içerisinde bağlayıcılığı, erken ve nihai dayanımı artırır. Ayrıca hidrasyon ısısın azaltma, aşınma direncini artırma, sülfatlara ve kimyasallara karşı direnç gösterme gibi avantajları da vardır. Bu malzemeler çok ince olduklarından dolayı betondaki su ihtiyacını oldukça arttırırlar ve su azaltıcı katkılarla kullanılması gerekmektedir.

Metakaolin, puzolanik bir malzemedir ve beton üretiminde kullanılır. Saf kaolinin 900°C'ye kadar ısıtılmasıyla üretilen amorf bir malzemedir ve orta incelikte bir parçacık yapısı vardır. Bu malzemeler hidrasyon sırasında CH ile reaksiyona girerek C-S-H oluştururlar ve betonun dayanım kazanmasına yardımcı olurlar. Beton yapısı içerisinde çimento tanecikleri arasındaki boşlukları doldurmaları ve hidrasyon ürünlerinden olan CH ile reaksiyona girmeleri geçirimsiz bir beton oluşturulmasına katkı sağlar. Ayrıca bu durum betonun daha yüksek dayanıma ve dayanıklılığa sahip olmasına pozitif etkide bulunur (Mehta and

Monteiro, 2001; Kaur et al., 2012; Kanamarlapudi et al., 2020). Mineral katkıları Şekil 2.13’te gösterilmiştir.



Şekil 2.13: Mineral katkıları (Engin, 2014)

2.2. SU YALITIMI VE UYGULAMALARI

Beton, yapı sektöründe en çok kullanılan malzemelerden biridir. Beton yapısı gereği boşluklu ve gözenekli bir yapıya sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı yaşam döngüsü boyunca çevresel birçok etkiye maruz kalabilir. Bu çevresel etkilere sülfat saldırıları, alkali agrega reaksiyonları, asit saldırıları, klor atakları, karbonatlaşma, donatı çeliğinin korozyona uğraması, donma çözülme etkisi, yüzey aşınması gibi örnekler verilebilir. Betonun servis ömrü boyunca bunlar gibi çevresel etkilere karşı gösterdiği dayanıma betonun durabilitesi denmektedir (Mehta and Monteiro, 2001).

Yaşam için su en önemli maddelerden biridir ve su olmadan yaşamın sürdürülebilir olması düşünülemez. Yapıları oluşturan beton için de su hayati bir öneme sahiptir ve özellikle betonun bileşenlerinden biri olan çimentonun bağlayıcılık kazanması ve hidrasyon reaksiyonlarının devam ederek betonun dayanım kazanması için suyun önemi bir yapı için çok fazladır (Neville, 2011; Şimşek ve Akıncıtürk, 2006). Suyun yapılar için olumsuz etkileri de vardır. Su, yapılara yağmur, kar ve yeraltı suları ile nüfuz ederek yapılar için tehdit oluşturacak birtakım hasarlara yol açabilmektedir (Şekil 2.14). Beton için tehdit oluşturacak birçok kimyasal ve fiziksel saldırı da betona su yolu ile nüfuz ederek meydana gelir. Bu yüzden bir betonun dayanıklılığı suyun zararlı maddelerle nüfuzuna karşı direnç gösterebilme kabiliyeti ile belirlenebilir (Şimşek, 2019).



Şekil 2.14: Yeraltı suyunun etkisiyle betonarme yapıda meydana gelen hasar (Şimşek ve Akıncıtürk, 2006)

Yapılara suyun nüfuz edebilmesi için üç şartın var olması gereklidir. Bunlardan biri kaynağı oluşturan suyun varlığı, diğeri yapıya nüfuz edecek bir

boşluk ve bu suyu itecek olan bir kuvvettir. Su yapılara yağmur suları ile, toprak seviyesi altında kalan bodrum gibi mahallere yeraltı sularıyla, yapı tarafından emilen nemin iç mekâna buhar difüzyonu yoluyla, gözenekli betonlardaki suyun alt kısımdan yukarı doğru kılcal etki ile ilerlemesiyle, yapı birleşim ve derz noktalarından, iç ve dış ortam sıcaklık farkından dolayı yoğuşma yoluyla nüfuz edebilir. Bu sebeplerden dolayı yapı kalitesini arttırmak, yapıların servis ömrünü uzatmak, ekonomik zararları azaltmak, estetik ve hijyen gibi amaçlarla yapıları dış etkilere karşı korumak gerekmektedir. Bu koruma yapılarda etkin bir şekilde su yalıtımı uygulamaları yapılarak sağlanabilmektedir (Türkeri vd., 2024).

Bilindiği üzere Türkiye deprem kuşağında yer alan bir ülkedir ve nüfusun büyük çoğunluğu deprem kuşağında yaşamını sürdürmektedir. Bu doğal afetler büyük yıkımlara sebebiyet vererek birçok insanın maddi ve manevi büyük kayıplar yaşamasına neden olmaktadır. Depremler meydana geldikten sonra yapılan kök neden analizlerinde binalarda hasarların oluşmasının bir sebebi de donatı çeliğinde zaman içerisinde meydana gelen korozyonlardır. Donatı çeliğinin korozyona uğraması donatı çeliğinin çapının azalmasına ve yapıların taşıma kapasitesinde ciddi bir azalmaya sebep olarak betonun zarar görmesine neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar korozyona uğrayan binaların 5 yıl içerisinde taşıma gücünde yarı yarıya bir azalma olabileceğini göstermektedir. Bu yıkıcı etkilerin önüne geçmek amacıyla binaları suya ve neme karşı korumak ve uygun yöntemlerle su yalıtım uygulamaları yapmak gerekmektedir (Kartal ve Üstündağ, 2016).

Su yalıtım uygulamaları farklı mekanlarda birbirinden farklı malzemeler ile yapılabilir. Özellikle su yalıtım malzemesinin yapı elemanındaki uygulandığı konum çok önemlidir. Yapılarda su yalıtım uygulamaları pozitif yönden yapılan su yalıtımı ve negatif yönden yapılan su yalıtımı olarak ikiye ayrılmaktadır. Pozitif yönden yapılan su yalıtım uygulamalarında su yalıtım malzemeleri suyun geldiği yönün yüzeyinde yapılmalıdır. Negatif yönden yapılan su yalıtım uygulamalarında ise suyun geldiği yönün ters yüzeyinde su yalıtım malzemeleri uygulanır. Pozitif yönden yapılan su yalıtım uygulamaları her zaman negatif yönden yapılan su yalıtım uygulamalarına göre çok daha sağlıklıdır. Çünkü pozitif su yalıtım uygulamalarında suyun yapıya direkt teması engellenir ve yapı zararlı etkilerden korunur. Negatif su yalıtım uygulamalarında sadece suyun iç ortama nüfuz etmesi engellenmiş olur. Fakat su yapıya kolaylıkla nüfuz edebilir bu da yapıları dış ortamdan gelecek olan tehlikeli maddelere karşı savunmasız hale getirebilir. Bu yüzden su yalıtım uygulamalarının suyun geldiği yönden yapılması tercih edilmelidir (İzoder, 2013).

Su yalıtım uygulamaları toprak altı yapı elemanlarında ve toprak üstü yapı elemanlarda yapılabilir. Doğru bir su yalıtım uygulaması binanın temelinden çatısına kadar olan tüm yapı elemanlarında yapının çevreden gelecek olan tüm zararlı maddelere karşı korunması ile yapılır. Su yalıtım malzemelerinin kullanıldığı alanlara örnekler aşağıda verilmiştir:

- Temeller ve toprak ile temas eden perde duvarlar
- Yapının dış duvarları
- Teraslar ve çatılar
- Balkonlar
- Tuvalet, banyo gibi ıslak hacimler
- Su depoları
- Havuzlar
- Kanallar, dereler ve oluklar
- Köprü ve viyadükler

Su yalıtımı, yapıları suyun ve suyla beraber yapılara girebilecek olan zararlı kimyasallardan korumak amacıyla yapılan uygulamalardır. Su yalıtım uygulamaları farklı şekillerde yapılabilir. Su yalıtımı yapılarak uygulanan yapı malzemelerinde gözenekleri ve boşlukları ortadan kaldırılabilir veya yapı elemanın yüzeyine gözeneksiz bir malzeme uygulanarak su yalıtımı sağlanabilir (Türkeri vd., 2024). Su yalıtım malzemeleri oldukça çeşitli ürünleri bünyesinde barındıran yelpazesi çok geniş olan bir malzeme grubudur. Su yalıtım malzemelerini işlevlerine ve kullanım amaçlarına göre yüzeysel su yalıtımı ve yapısal su yalıtımı olarak iki gruba ayırabiliriz.

2.2.1. Yüzeysel Su Yalıtımı ve Uygulamaları

Yüzeysel su yalıtımı, su kaynağının bulunduğu ortam ile yapıya nüfuz edecek olan yüzey arasında kalan yüzeylere uygulanarak yapılan su yalıtım uygulamalarıdır. Yapılardaki su sızdırmazlığını sağlamak amacıyla farklı yöntem ve kombinasyonlar kullanılabilir. Yüzeysel su yalıtım uygulamalarını temel olarak 3 ana grupta inceleyebiliriz. Bunlar sürme tipte uygulanan su yalıtım malzemeleri, örtü şeklinde bulunan bitüm esaslı malzemeler ve sentetik su yalıtım örtüleridir.

2.2.1.1. Sürme Su Yalıtım Malzemeleri

Sürme tip su yalıtım malzemelerinde su yalıtımı uygulanacak olan mahallerde malzemeler karıştırıcılar yardımı ile hazırlanır. Bu malzemeler uygun yüzey hazırlıklarından sonra yüzeye mala, rulo, fırça ile sürülerek veya özel makineler ile püskürtme yoluyla uygulanabilir (Kartal ve Üstündağ, 2016).

Bütün su yalıtım uygulamalarında yüzey hazırlığı hayati bir öneme sahiptir. Sürme tip su yalıtım malzemeleri genellikle beton, sıva, şap gibi sağlam yüzeylere yapılmalıdır. Uygulama yapılacak olan yüzey çimento kalıntılarından, gres, yağ, pas, boya gibi malzemelerin yüzeye tutunmasını engelleyecek maddelerden arındırılmalıdır. Yüzeylerdeki tij demirleri, kalıp izleri gibi çıkıntılar yapıdan uzaklaştırılarak tamir harçları ile düzeltme işlemleri yapılmalıdır. Ayrıca beton yüzeyde oluşan segregasyonlar, kuş gözleri gibi boşluklar çimento esaslı yapısal tamir harçları veya epoksi tamir harçları ile doldurulmalıdır. Daha sonra soğuk derzlerin olduğu bölgelerde tamir harçları ile onarım yapılmalıdır. Uygulama yapılacak olan köşe birleşim noktalarında düşey ve yatayda sürekliliği sağlamak adına pah uygulaması yapısal tamir harçları, epoksi tamir harçları veya özel olarak üretilen pah bantları ile yapılmalıdır. Pah uygulaması köşe ve birleşim noktalarında su yalıtımının etkili olması ve bu noktalardaki riskleri minimuma indirerek suyun yapı elemanlarına zarar vermesini engellemek amacıyla yapılır. Pah uygulamaları genellikle düşey ve yatayda 45 derecelik açılarla yapılır (İzoder, 2013).

Sürme tip su yalıtım malzemeleri genellikle sıvı ve toz malzemelerden oluşur. Bu malzemeler birbirine uygun şekilde karıştırılarak üretici firmaların önerdiği yöntemlerle uygun sarfiyatlarda kullanılmalıdır (Şekil 2.15). Sürme tip yalıtım malzemelerine çimento esaslı su yalıtım malzemeleri, bitüm esaslı su yalıtım malzemeleri, poliüretan esaslı su yalıtım malzemeleri, akrilik esaslı su yalıtım malzemeleri örnek olarak verilebilir (İzoder, 2013).



Şekil 2.15: Sürme tip su yalıtım uygulaması (Mapei, 2024)

Çimento esaslı su yalıtım malzemeleri, genellikle sıvı ve toz malzemelerden oluşan ve uygun şekilde karıştırılıp çoğunlukla fırça veya rulo yardımıyla sürülerek uygulanan malzemelerdir (Şekil 2.16). Tek bileşenli ve çift bileşenli olan çimento esaslı su yalıtım malzemeleri olarak ikiye ayrılırlar. Tek bileşenli malzemeler genellikle su ile karıştırılarak uygulanan malzemelerdir. Bu tip su yalıtım malzemeleri uygulanmadan önce uygulanacak olan yüzeyin göllenme olmadan nemlendirilmesi gerekmektedir. Bu uygulama malzemenin yüzeye aderansını arttıracaktır. Çimento esaslı su yalıtım malzemeleri kristalize ve kristalize olmayan su yalıtım malzemeleri olarak ikiye ayrılabilir. Kristalize su yalıtım malzemelerinin çalışma prensibi beton içerisindeki kimyasallar ile reaksiyona girerek kristalize yapılar üretir ve yapıya negatif veya pozitif yönden uygulanabilir. Kristalize olmayan çimento esaslı su yalıtım malzemeleri ise yapıya sadece pozitif yönden uygulanabilir (Jalal et al., 2018).



Şekil 2.16: Çimento esaslı su yalıtımı uygulaması (Mapei, 2024)

Bitüm esaslı su yalıtım malzemeleri, tek bileşenli veya çift bileşenli olan su yalıtım malzemeleridir. Çift bileşenli olan malzemelerde bir bileşen bitümden bir bileşen ise sertleştirici veya hızlandırıcı malzemeden oluşur. Genellikle toprak altı yapı elemanlarında ve pozitif yönden yapılan su yalıtım uygulamalarında kullanılırlar (Şekil 2.17). Bitüm esaslı su yalıtım malzemeleri kullanmadan önce uygun yüzey hazırlığı ve yapıya uygulanacak alana göre uygun astar kullanımı oldukça önemlidir. Bu malzemeler kürlendikten sonra oldukça esnek malzemeler olup yüzeye yapışarak aderans sağlarlar ve suya karşı yapıda bir bariyer oluştururlar (İzoder, 2013; Talib et al., 2015).



Şekil 2.17: Betonarme bir yapıda bitüm esaslı su yalıtımı uygulaması (Mapei, 2024).

Poliüretan esaslı su yalıtım malzemeleri, havanın nemi ile kürlenerek tek veya çift bileşenli çeşitleri olan su yalıtım malzemeleridir. Bu malzemeler genellikle UV (ultraviyole) ışınlarına karşı dayanıklıdır ve teras, çatı, otopark gibi mahallerin su yalıtım uygulamalarında kullanılabilir (Şekil 2.18). Bu malzemeler yapılara uygun bir astar ile uygulanmalıdır. Poliüretan esaslı malzemeler diğer su yalıtım malzemelerine kıyasla daha esnek bir yapıya sahiptirler ve bu yüzden yüksek çatlak köprüleme özellikleri vardır. Beton yüzeylere fırça, rulo, mala ile sürülerek veya özel püskürtme makinesi ile uygulanabilirler (Tsukagoshi et al., 2012).



Şekil 2.18: Poliüretan esaslı su yalıtımı uygulaması (Mapei, 2024)

Akrilik esaslı su yalıtım malzemeleri, genellikle akrilik kopolimer dispersiyon esaslı bir yapıdan oluşan su yalıtım malzemeleridir. Bu tür malzemeler akrilik malzemenin su ile seyreltilip astar olarak uygulanmasından sonra fırça veya rulo ile yüzeye uygulanırlar (Şekil 2.19). Özellikle ıslak hacimlerde, çatı oluklarında ve teraslarda uygulanırlar. Elastikiyeti yüksek ve çatlak köprüleme özelliklerine sahip malzemelerdir (İzoder, 2013).



Şekil 2.19: Akrilik reçine esaslı su yalıtımı uygulaması (Mapei, 2024)

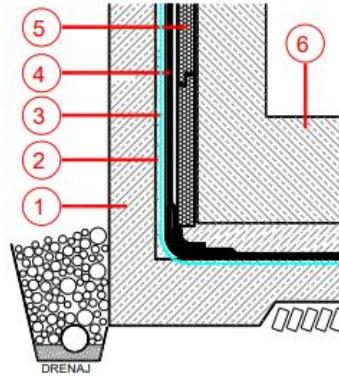
2.2.1.2. **Bitüm Esaslı Su Yalıtım Örtüleri**

Bitüm esaslı su yalıtım örtüleri genellikle bir taşıyıcı katmanın yüzeylerinin bitüm ile kaplanması sonucu üretilen su yalıtım malzemeleridir. Bu tip örtülerde taşıyıcı katman olarak polyester keçe veya cam tülü kullanılır. Bu malzemelerin en belirgin özellikleri esnek bir yapıya sahip olmaları ve çekme dayanımlarının yüksek olmasıdır. Örtülere performansını iyileştirmek amacıyla SBS (elastomerik bitüm) veya APP (plastomerik bitüm) termo plastik reçineler ilave edilir. Bu şekilde malzemelerin fiziksel ve kimyasal etkilere karşı direnci yükselmiş olup, yaşlanmaya karşı dirençli malzemeler haline gelirler. Bu tip örnekler yapıda temeller, çatılarda ve kanallarda kullanılabilirler.

Bitüm esaslı örtü tipi su yalıtımı uygulamaları sıcaklığın 5°C'in üzerinde olduğu iklim koşullarında uygulanır. Uygulanacak olan yüzeyin pürüzsüz, düzgün ve kuru olması son derece önemlidir. Bu tip su yalıtım uygulamalarında örtüler ek yerlerinden birbirine şaloma ile kaynatılmasıyla birleştirilir (Şekil 2.20). Temel altı uygulamalarında içten ve dıştan bohçalama yöntemiyle yapının yeryüzü ile teması kesilerek çevresel faktörlere karşı dirençli bir hale gelmesi sağlanır (İzoder 2013). Bohçalama yöntemiyle su yalıtımı uygulaması yöntemi Şekil 2.21'de gösterilmiştir.



Şekil 2.20: Bitümlü membran uygulaması (İzoder, 2013)



- 1- Dış Çanak Perde Betonu
- 2- Tesviye Sıvası
- 3- Astar
- 4- Polimer Bitümlü Örtü Katları (Polyester Keçe Taşıyıcılı)
- 5- Koruma Katman
- 6- Temel Betonu

Şekil 2.21: Bohçalama sistemi uygulama yöntemi (İzoder, 2013).

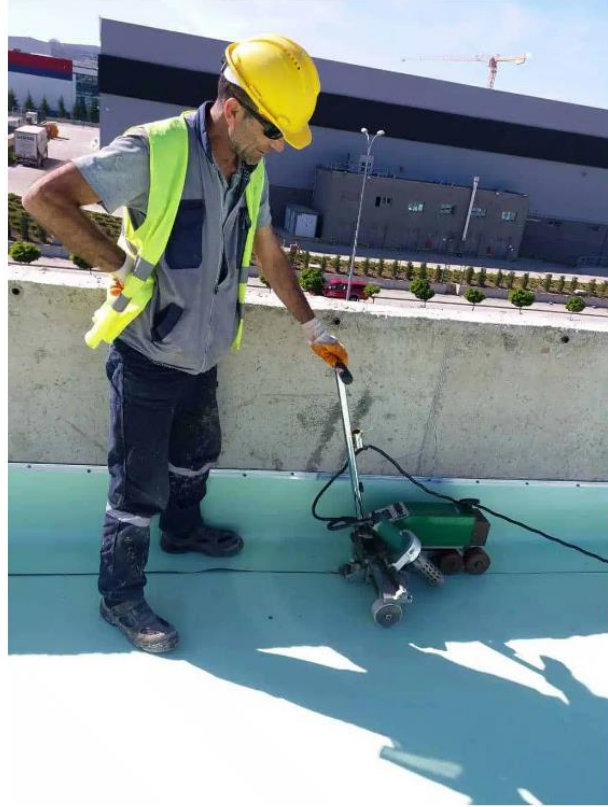
2.2.1.3. Sentetik Su Yalıtım Örtüleri

Sentetik su yalıtım örtüleri, kauçuk veya plastik hammaddelerden elde edilen genellikle 1.2 ile 2 mm kalınlığı arasında değişen, taşıyıcılı veya taşıyıcısız olarak üretilen su yalıtım malzemeleridir. Sentetik su yalıtım örtülerine örnekler aşağıda listelenmiştir:

- PVC (Poli Vinil Klorür)
- TPO (Termoplastik Poliolefin)
- EPDM (Etilen Propilen Dienmonomer)
- HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)

- FPO (Esnek Poliolefin)

Bu tip su yalıtım örtülerinin UV dayanımlı olan çeşitleri de mevcuttur. Bu yüzden güneş ışığına maruz kalan mahallerde de uygulanabilirler. Bu örtüler ek yerlerinden genellikle bir kaynak makinesiyle veya kendinden yapışkanlı ek yerleriyle birbirlerine birleştirilirler (Şekil 2.22). Özellikle yüksek su basıncına sahip yapılarda tek kat şeklinde uygulanabilirler. Serbest serim şeklinde uygulanıyor olması yapının alt katmanında meydana gelen deformasyonlardan malzemenin daha az zarar görmesini sağlayarak malzemenin yapıya geçirimsizlik sağlamasına katkıda bulunurlar (Şekil 2.23). Ayrıca yüksek mekanik ve kimyasal özellikleri sayesinde malzemenin zarar görme riski çok düşüktür ve bu yüzden agresif kimyasalların bulunduğu ortamlarda da kullanılabilirler (Şengün, 2020).



Şekil 2.22: Kaynak makinesiyle sentetik su yalıtım örtüsü uygulaması (Şengün, 2020)



Şekil 2.23: HDPE esaslı su yalıtım örtüsü uygulaması (Mapei, 2024)

2.2.2. Yapısal Su Yalıtımı ve Uygulamaları

Betona çevresel etkilerle zarar verebilecek maddeler genellikle su yoluyla taşınarak nüfuz ederler. Bu taşınma çoğunlukla betonda oluşan çatlaklardan ve gözeneklerden dolayı gerçekleşir ve betonda ciddi bozulmalara yol açarak betonun servis ömrünün kısılmasına sebep olabilir. Betonda oluşan çatlaklar suyun beton içerisinde hareket edebileceği akış yollarını birbirine bağlar ve betonun geçirgenliğini önemli ölçüde artırır. Bu yüzden beton üretiminde betonun geçirimsiz yapısı oldukça önem arz etmektedir. Su yoluyla betona zararlı maddelerin nüfuz etmesinin betonun dayanıklılığına ciddi oranda zarar verdiği beton üzerine yapılan birçok çalışmada görülmüştür (Tibbets et al., 2021).

Betonda oluşabilecek durabilite sorunlarına karşı suyun girişini engellemek amacıyla yapılan yapısal su yalıtım uygulamaları betonun dayanıklılığını arttırmaktadır. Yapısal su yalıtım uygulamaları genellikle taze betonda yapılan uygulamalardır. Yapısal su yalıtımı betonun kalitesini arttırarak sertleşmiş betonda suyun betona nüfuz etmesini önlemek amacıyla yapılır. Yapısal su yalıtım sistemlerinin birçok tipi vardır. Beton katkıları, tıkaç harçları, enjeksiyon reçineler ve su ile genişleyen bantlar yapısal su yalıtım uygulamalarına örneklerdir.

Tıkaç malzemeleri sertleşmiş betondaki su kaçaklarını ani olarak durdurmak amacıyla kullanılan ve hızlı priz alan malzemelerdir. Genellikle çimento esaslı malzemelerden üretilirler. Su tutucu ve su ile genişleyen bantlar ise beton imalatı sırasında kalıplar arasına yerleştirilerek beton sertleştikten sonra betona nüfuz eden suyun etkisiyle genişleyerek beton gözeneklerini tıkar ve suyun betona zarar

vermesini önlerler. Bu tip uygulamalar genellikle yapıların soğuk derz bölgelerinde yapılır (İzoder, 2013).

Yapısal su yalıtımı uygulamalarında en çok kullanılan malzemeler kimyasal beton katkılarıdır. Kimyasal katkılar taze veya sertleşmiş betona belli oranlarda karıştırılarak betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılırlar. Yapı sektöründe teknolojinin ilerlemesiyle birlikte geçirgenlik azaltıcı kimyasal katkı malzemeleri sektörde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin su/çimento oranının düşük olduğu betonlarda kullanılmasıyla birlikte betonun agresif ortamlarda dahi performansını sergilemesine ve çevreye karşı daha dirençli bir malzeme olmasına katkı sağlamaktadır (Tibbets et al., 2021). ACI Committee 212 (2010) geçirgenlik azaltıcı kimyasal katkıları hidrofobik su itici malzemeler, polimer malzemeler, ince bölünmüş katılar, hidrofobik gözenek tıkayıcı malzemeler ve kristalize malzemeler olmak üzere beş sınıfa ayırmıştır.

Geçirgenlik azaltıcı kimyasal katkılar genellikle toz ve sıvı halde bulunan malzemelerdir. Bu malzemeler beton üretiminde kullanılırken malzemenin kullanım dozajına özellikle dikkat edilmelidir. Üretici firmaların önerilerine göre ortalama çimento ağırlığının %0.5'i ile 2'si aralığında kullanılırlar. Ayrıca su/çimento oranının düşük olarak belirlenmesi de malzemenin beton matrisi içerisinde çalışmasını önemli ölçüde etkileyen faktörlerden biridir. Bu tip kimyasal katkıları hidrostatik koşullarda çalışabilen ve hidrostatik koşullarda çalışamayan malzemeler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Hidrofobik gözenek engelleyici kimyasal katkılar su itici özellik göstererek hidrostatik olmayan koşullarda çalışabilirler. Kristalize geçirimsizlik katkıları ise hidrofilik özellik göstererek hidrostatik koşullarda performans sergileyebilirler. Bu tip kimyasal katkılar çimento ve suyun reaksiyonlarıyla meydana gelen hidratasyon ürünleri ile reaksiyona girerek betonun gözeneklerinde kristal birikintiler oluşturarak suyun betona nüfuz etmesine engel olurlar ve beton matrisiyle bir bütün olarak çalışırlar. Geçirgenlik azaltıcı kimyasal katkıları yapıların temellerinde, perde duvarlarında, su depolarında, havuzlarda, barajlarda ve arıtma tesislerinde sıklıkla kullanılırlar (Vessalas et al., 2017; Şengün, 2020).

2.2.3. Literatürde Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Mardani vd. (2013), çalışmalarında farklı geçirgenlik azaltıcı katkıların betonun basınç dayanımı ve geçirimsizlik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarında 6 farklı su geçirgenlik azaltıcı katkıyı 0.50 ve 0.60 su/çimento

oranına sahip beton karışımlarında kullanmışlardır. Hazırlanan beton karışımlarının tek eksenli basınç dayanımları, su emme, kılcal su emme ve klor iyon geçirgenliği değerlerini belirlemişlerdir. Deney sonuçlarına göre geçirimsizlik azaltıcı katkıların betonların basınç dayanımlarını artırdığını ve geçirimsizlik özelliklerini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

Azarsa vd. (2020), çalışmalarında hidrostatik basınca maruz kalan yapılarda kristalize su yalıtım katkılarının çimentolu kompozit malzemelerde hidrasyon ürünlerini mikroyapısal ve kimyasal olarak karakterize etmek amacıyla SEM (taramalı elektron mikroskobu) ile araştırmalar yapmışlardır. Çalışmalarında 3 farklı kristalize su yalıtım katkısını normal portland çimentosu ve kalkerli çimento ile hazırladıkları harç numunelerine ilave etmişlerdir. Kullanılan su yalıtım katkılarının harç numunelerin mikroyapısal gelişimine, hidrasyon fazlarına, çimento matrisinin gözenekliliğine olan etkilerini araştırmışlardır. SEM cihazı kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda kristalize yalıtım katkıları içeren harç karışımları ile katkı içermeyen harç karışımların benzer morfolojiler ve hidrasyon aşamaları gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Fakat kalkerli çimento ile hazırlanan karışımlarda kristalize katkı türlerinden bir tanesinin kıyasla toplam ortalama gözeneklilikte yaklaşık %15 oranında bir azalma sağladığını tespit etmişlerdir.

Sümer (1994), çalışmasında harçlarda kılcal ve basınçlı su altındaki geçirimsizliğin su/çimento oranına bağlı olarak değişimini incelemiştir. Bu amaçla 4 farklı su/çimento oranlarına sahip harç numuneleri hazırlamış ve bu örnekler üzerinde taze halde birim ağırlık ve çökme, 28 günlük standart kür sonunda ise su emme, basınçlı su geçirimsizliği ve kılcal su emme deneyleri yapmıştır. 0.35 su/çimento oranı ile hazırlanan harç karışımlarının aşırı kuru kıvamlı olduğunu, tam sıkışmadığını, kalan boşluklar dolayısıyla kılcallık ve geçirimsizlik değerlerinin arttığını gözlemlemiştir. Su/çimento oranının eşik değerinin bu çalışmada 0.5 olduğunu vurgulamıştır. Bu eşik değerin üstünde olan su/çimento oranlarında harç karışımların boşluk hacmi, kılcal su emme ve basınçlı su geçirimsizlik özelliklerinin arttığı sonucuna varmıştır.

Şahin (2023), çalışmasında kristalize geçirimsizlik katkılarının betonun taşıma özellikleri üzerindeki etkisini incelenmiştir. Bu amaçla katı ve sıvı halde iki farklı kristalize geçirimsizlik katkısı kullanarak beton karışımları hazırlamıştır. Hazırlanan beton örnekler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı, kılcal geçirimsizlik, basınçlı su geçirimsizliği, klor iyon geçirimsizliği deneyleri yapmıştır. Çalışma sonucunda katkı kullanımıyla birlikte betonların basınç dayanımlarında fazla

değişim olmadığını tespit etmiştir. Ancak katkı kullanımının çatlak iyileştirmede pozitif etkisinin olduğunu ve genel olarak geçirimsizliği azaltma yönünde etki ettiğini vurgulamıştır.

Yıldırım vd. (2003), çalışmalarında geçirimsizlik sağlayan katkı türlerinin betonun geçirimsizlik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla 2 farklı dozajda beton üretmiş ve iki çeşit geçirimsizlik katkısı ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanmışlardır. Hazırlanan beton karışımlarında kılcal su emme, su emme ve basınçlı su geçirimsizliği deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda kullanılan geçirimsizlik katkılarının betonun her tür su geçirimsizliğini azalttığı sonucuna varmışlardır. Kullanılan katkılar arasındaki süperakışkanlaştırıcı katkının karışımların su/çimento oranını düşürdüğünü, basınç dayanımlarını arttırdığını, su emme, basınçlı su geçirgenliği ve kılcal su emme gibi geçirgenlik özelliklerini iyileştirdiğini dolayısıyla kullanılan katkılar içerisinde en etkili kimyasal katkı olduğunu tespit etmişlerdir.

Vessalas vd. (2017), çalışmalarında geçirgenlik azaltıcı katkıların su penetrasyonuna etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında hidrofobik su iticilerin ve kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkıların farklı su/çimento oranı ile normal portland çimentosu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi bağlayıcıları kullanarak hazırladıkları beton karışımlarındaki etkisini değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda su/çimento oranının ve çimento türünün geçirgenlik azaltıcı katkılara kıyasla daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca hidrofobik su iticilerin ve kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkıların da beton numunelerde hem hidrostatik hem de hidrostatik olmayan koşullarda su nüfuzunun azaltılmasında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Katkı verimliliklerinin kullanılan çimento türüne ve su/çimento oranına bağlı olarak değiştiği sonucuna varmışlardır.

Azarsa vd. (2018), çalışmalarında kristalize su yalıtım katkılarının betonun geçirgenliği üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla kristalize su yalıtım katkı maddeleri kullanılarak beton karışımları hazırlamış ve hazırlanan numuneler üzerinde su nüfuz derinliği ve hızlı klorür geçirgenliği deneyleri yapmışlardır. Kristalize katkı ilavesinin su nüfuz derinliği ve geçirgenlik özellikleri üzerinde kayda değer etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca beton karışımlarının mikro yapısını taramalı elektron mikroskobu ile incelemiş ve gözeneklerde bunları tıkayan iğne şeklinde kristallerin büyüdüğünü gözlemlemişlerdir. Hızlı klorür geçirgenliği deneyinde geçen elektrik yükünün kristal katkılarla üretilen betonlarda daha düşük klorür geçirgenliğine sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Hidayat vd. (2018) çalışmalarında karıştırma yöntemleri ve karıştırıcı hızının kristalize yalıtım katkısı içeren beton basınç dayanımına etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla hazırlanan beton karışımlarında kristalize katkı oranını çimento ağırlığının %0.8'i olarak seçmişlerdir. Beton karıştırma işlemini manuel alet ve beton karıştırıcı kullanarak iki şekilde yapmışlardır. Çalışma sonucunda 25 devir/dakika hızda karıştırılan kristalize katkı ilavesi ile üretilen beton karışımında kontrol numunesine kıyasla beton dayanımının yaklaşık olarak %5.8 artış gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Ancak 35 devir/dakika ve 50 devir/dakika karıştırma hızlarında basınç dayanımında düşüş olduğunu tespit etmişlerdir. Beton karışımına çimento ağırlığının %0.8'i kadar kristalize katkı eklenmesinin betonun basınç dayanımını normal betona göre yaklaşık %3.3-5.8 artırabileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca beton karışımına kristalize katkının geciktirilerek ilave edilmesinin betonun basınç dayanımı üzerinde etkili olmadığını gözlemlemişlerdir.

Matar ve Barhoun (2020), çalışmalarında su yalıtım katkısının geri dönüştürülmüş agregalı betonun basınç dayanımı ve geçirgenliğine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada geri dönüştürülmüş beton agregalar ve doğal agregalar su yalıtım katkısı ve akışkanlaştırıcı kullanarak dört adet beton karışımı üretmişlerdir. Su yalıtım katkısı kullanılan karışımlarda katkı içeriğini çimento ağırlığının %1'i oranında seçmişlerdir. Hazırlanan numuneler üzerinde basınç dayanımı, klor iyon geçirgenliği ve basınçlı su geçirgenliği deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda su yalıtım katkısı kullanımının hem geri dönüştürülmüş hem de doğal agregalı karışımlarda işlenebilirliği arttırdığını tespit etmişlerdir. Su yalıtım katkısının kullanılmasına bakılmaksızın geri dönüştürülmüş beton agregalı beton karışımların daha düşük basınç dayanımı gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Su yalıtım katkısının karışımlara ilave edilmesinin betonun basınç dayanımının zamanla gelişimi konusunda olumlu sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Geri dönüştürülmüş beton agregalı karışımlarda klor iyon geçirgenliliği doğal agregalı karışımlara kıyasla daha yüksek, su yalıtım katkısının kullanılması ile ise geri dönüştürülmüş beton agregalı karışımların klor iyon geçirgenliğinin orta düzeyde olmasına sebebiyet verdiğini vurgulamışlardır. Sonuç olarak su yalıtım katkısının kullanımının çimento matrisindeki gözenekliliğin azalmasına ve betonun geçirgenliğinin azalmasına olumlu katkı sağladığını tespit etmişlerdir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Deneysel çalışmada CEM I 42.5 R tipi normal portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Tablo 3.1’de sunulmuştur.

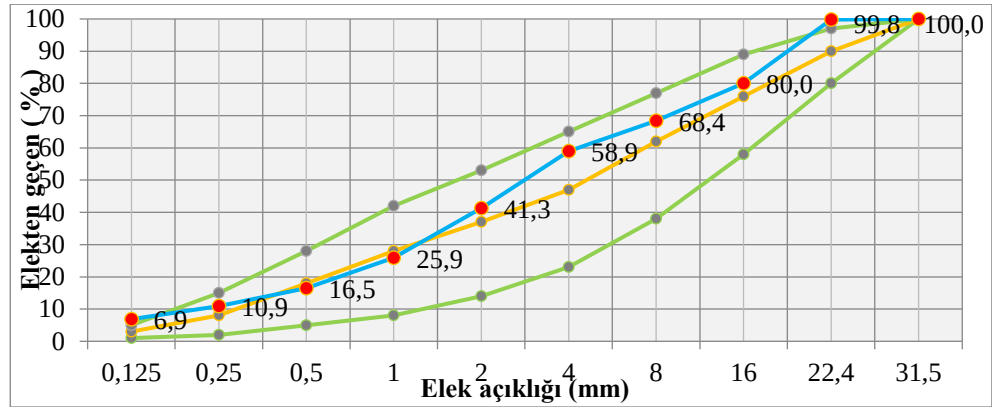
Tablo 3.1: Çimentonun özellikleri

Bileşen	(%)
SiO ₂	19.7
Al ₂ O ₃	4.4
Fe ₂ O ₃	3.6
CaO	62.92
MgO	2.54
SO ₃	2.65
K ₂ O	0.56
Na ₂ O	0.2
Cl ⁻	0.0143
Kızdırma Kaybı	2.92
Özgül Ağırlık	3.07
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3927
45µ elek üstü %	2.2
90µ elek üstü %	0.1
Priz Başlangıç (dakika)	190
Priz Bitiş (dakika)	255

3.1.2. Agrega

Beton üretiminde 0-3 mm, 5-15 mm, 15-25 mm olmak üzere üç farklı boyutta kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. 0-3 mm, 5-15 mm ve 15-25 mm agregaların özgül ağırlıkları sırasıyla 2.62, 2.64 ve 2.68’dir. Beton içerisinde kullanım oranları

ise sırasıyla %24, 18 ve 58’ dir. Agregaların yapılan elek analizi sonucu Şekil 3.1’de sunulmuştur.



Şekil 3.1: Üretimde kullanılan agregaların elek analizi

3.1.3. Su

İçilebilir şebeke suyu beton karışımlarında kullanılmıştır.

3.1.4. Akışkanlaştırıcı Katkı

Karışımında sabit işlenebilirliğin sağlanması için gerekli oranlarda polikarboksilik eter esaslı, ikinci nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkının üretici firmadan alınan özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Akışkanlaştırıcı katkı özellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Görünüm	Kahverengi-Sıvı
Özgül Ağırlık	1.069-1.109 kg/lit
pH Değeri	5-7
Alkali İçeriği (%)	≤ 3.00 (Kütlece)
Klor İyon İçeriği (%)	≤ 0.10 (Kütlece)
Korozyon Davranışı	Sadece EN 934-1:2008, EK A.1 standardına uygun bileşenleri içerir.
Tehlikeli Maddeler	Tamamen EN 934-2 Ek-AZ’ye uygundur.

3.1.5. Kristalize Geçirimsizlik Katkısı

Karışımlarda kristalize geçirimsizlik katkısı kullanılmıştır. Katkının üreticiden temin edilen teknik özellikleri Tablo 3.3'te sunulmuştur.

Tablo 3.3: Kristalize geçirimsizlik katkısının özellikleri

Teknik Özellikler	
Görünüm	Sarı Sıvı
Yoğunluk (20°C'de)	1.13
Klor İyon İçeriği	<0.1%
Korozyon Davranışı	Korozif değildir

3.2. Karışımların Hazırlanması

Beton karışımları 0.50, 0.60 ve 0.70 olmak üzere üç farklı su/çimento oranında hazırlanmıştır. Kristalize geçirimsizlik katkısı %1 ve 3 olmak üzere iki farklı oranda beton karışımlarına ilave edilmiştir. Hazırlanan beton karışımlarının isimlendirilmesi ve kullanılan malzeme oranları Tablo 3.4 de verilmiştir.

Karışım işleminde laboratuvar tipi mikser kullanılmıştır. Karışımlar 60 dm³ (desimetreküp) partiler ile homojen bir şekilde 5 dakika boyunca karıştırılmıştır. İlk olarak çimento ve agregalar 1 dakika boyunca kuru karışım halinde karıştırılmıştır. Ardından su ve geçirimsizlik katkısı mikse eklenip 4 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra gerekli karışımlarda karışımın kıvamına göre akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Karıştırma işlemleri bittikten sonra taze betonlar üzerinde çökme deneyi yapılmıştır. Tüm karışımlarda çökme değeri 18±2 cm olarak sabit tutulmuştur.

Tablo 3.4: Karışım oranları

				Agrega (kg)				
KARIŞIM	Su/Çimento	Çimento (kg)	Su (kg)	0-3 (mm)	5-15 (mm)	15-25 (mm)	Kristalize Katkı (kg)	Akışkanlaştırıcı Katkı (kg)

5G1	0.5	400	200	990.5	307.4	409.86	4	2.4
5G3	0.5	400	200	979.67	304.04	405.38	12	1.2
K5	0.5	400	200	995.92	309.08	412.1	0	3.2
6G1	0.6	350	210	1000.56	310.51	414.02	3,5	0.525
6G3	0.6	350	210	991.08	307.58	410.1	10,5	0
K6	0.6	350	210	1005.3	311.99	415.98	0	1.05
7G1	0.7	300	210	1025.91	318.39	424.51	3	0
7G3	0.7	300	210	1017.79	315.87	421.15	9	0
K7	0.7	300	210	1029.97	319.65	426.2	0	0

Karışım isimlerinin açıklamaları sırasıyla şu şekildedir:

5G1: 0.5 su/çimento oranına sahip %1 katkı kullanılan karışım.

5G3: 0.5 su/çimento oranına sahip %3 katkı kullanılan karışım.

K5: 0.5 su/çimento oranına sahip kontrol karışımı.

6G1: 0.6 su/çimento oranına sahip %1 katkı kullanılan karışım.

6G3: 0.6 su/çimento oranına sahip %3 katkı kullanılan karışım.

K6: 0.6 su/çimento oranına sahip kontrol karışımı.

7G1: 0.7 su/çimento oranına sahip %1 katkı kullanılan karışım.

7G3: 0.7 su/çimento oranına sahip %3 katkı kullanılan karışım.

K7: 0.7 su/çimento oranına sahip kontrol karışımı.

Hazırlanan tüm karışımlar kalıplar yağlandıktan sonra yapılacak deneyler için farklı boyut ve şekillerdeki kalıplara yerleştirilmiştir. Her kalıp 3 tabakada 25'er defa toplamda 75 kere şişlenmiştir. En sonunda da betonun yüzeyinde pürüz kalmasın diye mala ile düzeltilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Taze betonun kalıplardaki son hali

Hazırlanan örnek boyutları ve miktarları Tablo 3.5’te toplu olarak sunulmuştur.

24 saat kalıplarda bekleyen betonlar sertleşmiş ve kalıptan çıkarma hazır hale gelmiştir. Sertleşmiş betonun kalıptan çıkarma işlemi basınçlı hava yoluyla yapılmıştır. Pratik bir şekilde kalıptan çıkarılan numunelerin (Şekil 3.3) üzerine mürekkepli kalem ile örneklerin karışmaması için numune isimleri yazılmıştır.

Tablo 3.5: Çalışmada hazırlanan örnekler

Karışım İsmi	Basınç Dayanımı (cm)	Basınçlı Su İşleme Derinliği (cm)	Klor İyon Geçirimsizliği (cm)	Kılcal Su Emme (cm)
5G1	6 adet 15x15x15	6 adet 15x15x15	4 adet 10x20	4 adet 10x10x10
5G3	6 adet 15x15x15	6 adet 15x15x15	4 adet 10x20	4 adet 10x10x10
K5	6 adet 15x15x15	6 adet 15x15x15	4 adet 10x20	4 adet 10x10x10
6G1	6 adet 15x15x15	6 adet 15x15x15	4 adet 10x20	4 adet 10x10x10
6G3	6 adet 15x15x15	6 adet 15x15x15	4 adet 10x20	4 adet 10x10x10
K6	6 adet 15x15x15	6 adet 15x15x15	4 adet 10x20	4 adet 10x10x10
7G1	6 adet 15x15x15	6 adet 15x15x15	4 adet 10x20	4 adet 10x10x10
7G3	6 adet 15x15x15	6 adet 15x15x15	4 adet 10x20	4 adet 10x10x10
K7	6 adet 15x15x15	6 adet 15x15x15	4 adet 10x20	4 adet 10x10x10



Şekil 3.3: Kalıptan çıkmış beton örnekler

Ardından numuneler 28 ve 56 gün beklemek üzere kür havuzuna yerleştirilmiştir. Sıcaklığı 20 ± 2 °C olan kür havuzunda 28 ve 56 gün boyunca TS EN 12390-2 (2010) standardına uygun olarak küre tabi tutulmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Kür havuzuna yerleştirme

28 ve 56 gün standart kürleme sonunda kür havuzundan çıkarılan numuneler farklı deneyler için hazırlanmıştır. 10x10x10 cm küp numunelerin kılcal su emme testi için kurulanıp doygun ağırlığı ölçülmek üzere tartıya konulmuştur (Şekil 3.5). Sonrasında Arşimet terazisinde tartılmıştır (Şekil 3.6). En sonda ise kuru ağırlığı ölçmek için 105 °C'de 24 saat etüve konulmuştur (Şekil 3.7).



Şekil 3.5: Doygun ağırlık tartım



Şekil 3.6: Arşimet terazisi ile tartım



Şekil 3.7: Numuneleri etüve koyma

3.3. Yapılan Deneyler

3.3.1. Tek Eksenli Basınç Deneyi

TS EN 12390-3 (2010) standardına uygun olarak yapılan basınç dayanımı testleri 15x15x15 cm küp numuneler üzerinde yapılmıştır (Şekil 3.9). Deney için 2000 kN (kilonewton) kapasiteli beton presi kullanılmıştır (Şekil 3.8). Presin iki çelik tablasının arasına konan numuneler alt tabladaki dairenin ortasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Numuneler 0,2 MPa/sn hızla yüklenmiş ve kırıldığı andaki yükler belirlenmiştir. Bu yükleme sonucunda da numunenin basınç dayanımları hesaplanmıştır. Her bir karışım için 3'er adet 15x15x15 cm ayrıtlı numune tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuş ve ortalama basınç dayanımları hesaplanmıştır.



Şekil 3.8: Beton pres makinesi



Şekil 3.9: Preslenmiş numune örneği

3.3.2. Klor-İyon Geçirirliiği Deneyi

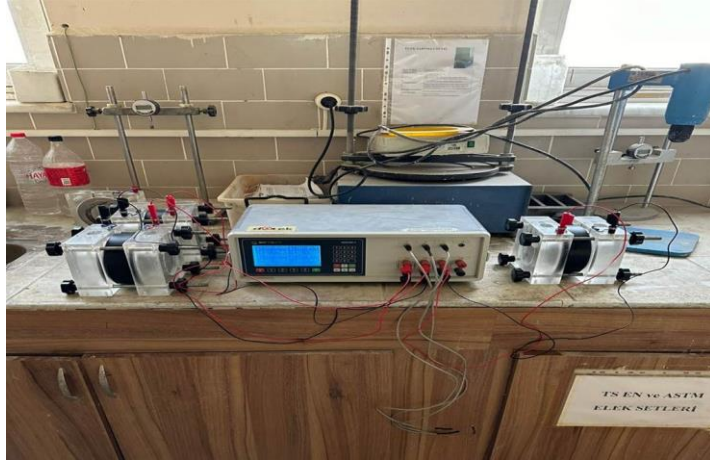
Bu deney ASTM C 1202 (2006) standardına uygun olarak yapılmıştır. 10x20 cm olan silindir numunelerden beton kesme makinesi (Şekil 3.10) yardımıyla kestiğimiz 10x5 cm boyutlarında disk numuneleri (Şekil 3.11) sistemin içine yerleştirilmiştir. Sistemin pozitif ucuna 0.3 N NaOH (sodyum hidroksit), diğer negatif uca %3 NaCl (sodyum klorür) doldurulmuştur (Şekil 3.12). Sistem sabit 60 V ile çalıştırılmıştır. Sistem toplamda 6 saat boyunca çalışmış ve 6 saat sonunda ölçülen akım değerleri kaydedilmiştir. Her karışım için 3'er adet numune sonucunun ortalaması alınarak hesaplama yapılmıştır.



Şekil 3.10: Beton kesim işlemi



Şekil 3.11: Kesilen numuneler



Şekil 3.12: Klor-iyon geçirirnililiği test makinesi

3.3.3. Basınç Altında Su İşleme Derinliği Deneyi

Bu deney TS EN 12390-8 (2010) standardına göre yapılmıştır. 28 ve 56 gün kür havuzunda bekletildikten sonra çıkarılan 15x15x15 cm küp numuneler deney aletine yerleştirilmiştir. 72 ± 2 saat boyunca 500 ± 50 kPa (kilopascal) su basıncı uygulanmıştır (Şekil 3.13). Deneyde içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır. Standartta belirtilen sürenin sonuna gelindiğinde deneye son verilmiştir. Numune cihazdan çıkartılmış, yüzeyinde bulunan fazla su bez yardımıyla silinerek temizlenmiştir. Ardından numune beton pres makinesi yardımıyla yarma aparatı kullanılarak su işleyen yüzeye dik olarak parçalanmıştır. Sonrasında da numunenin içinde en fazla su işleyen yer işaretlenmiş ve milimetre hassasiyetinde ölçülmüştür (Şekil 3.14).



Şekil 3.13: Basınçlı su işleme makinesi



Şekil 3.14: Su işleme derinlikleri numune görselleri

3.3.4. Su Emme ve Porozite Hesabı

Hazırlanan beton örneklerin porozite ve su emme özellikleri Denklem 3.1 ve Denklem 3.2'ye göre aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$\text{Su Emme} = ((W_{\text{dyk}} - W_{\text{kuru}}) / W_{\text{kuru}}) * 100 \quad (3.1)$$

$$P = ((W_{\text{dyk}} - W_{\text{kuru}}) / (W_{\text{dyk}} - W_{\text{su}})) * 100 \quad (3.2)$$

Burada:

P: Porozite

W_{dyk} : Numunenin doymuş yüzey kuru ağırlığı (g),

W_{kuru} : Numunenin etüvde kurutulduktan sonraki ağırlığı (g),

W_{su} : Numunenin su altındaki ağırlığıdır (g) (Baradan, 2015).

3.3.5. Kılcal Su Emme Deneyi

Kılcal su emme deneyi ASTM C 1585 (2006) standardına uygun bir şekilde yapılmıştır. Her karışım için hazırlanan 2 adet 10x10x10 cm küp numuneler 28 ve 56 gün kür havuzunda bekletildikten sonra 105 °C'de 24 saat etüvde kurutulmuştur.

Numunelerin kuru ağırlıkları belirlenmiş ve daha sonra bir yüzü suya temas edecek şekilde deney düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 3.15). Deney düzeneğindeki numunelerin ağırlıkları belirli aralıklarla 0.1 g (gram) hassasiyetli terazide tartılarak I (su emme) değerleri hesaplanmıştır (Denklem 3.3). Daha sonra verilerle birim alanda emilen su miktarının zamana bağlı değişimi karekök cinsinden hesaplanarak her karışım için grafikler çizilmiştir.

$$I = m_t / (a / d) \quad (3.3)$$

Burada:

I : Su emme (mm),

m_t : Zamana bağlı kütle değişimi (g),

a : Numunenin suya maruz kalan alanı (mm^2),

d : Suyun yoğunluğu (g/mm^3).

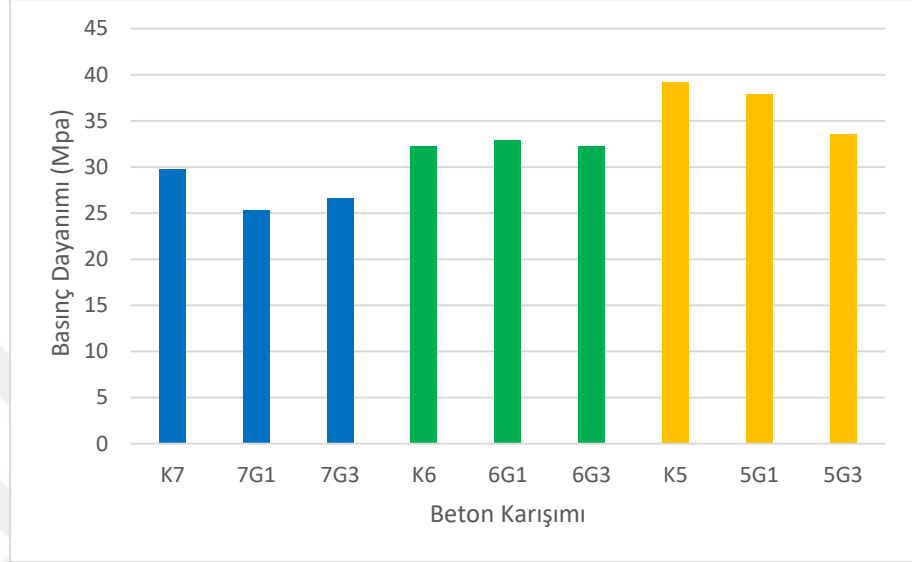


Şekil 3.15: Kılcal su emme deney düzeneği

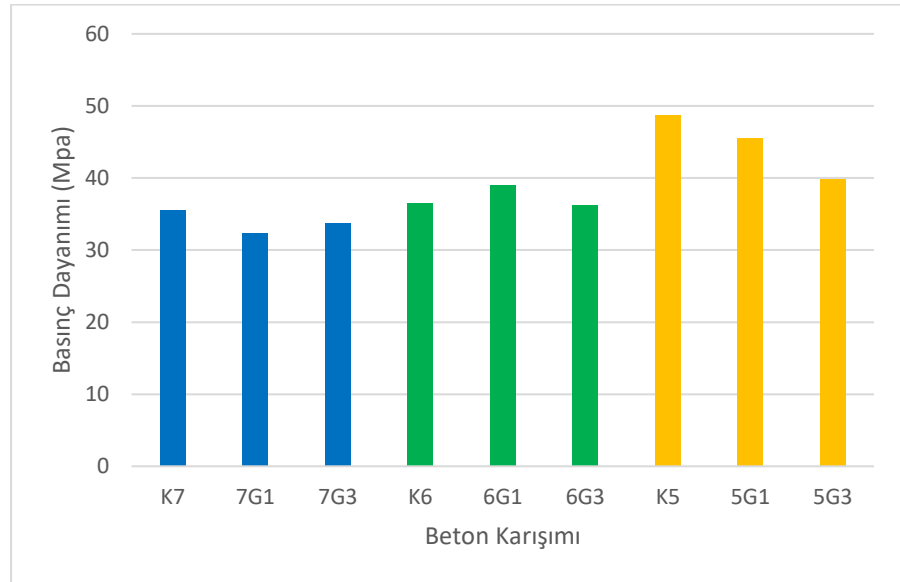
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Tek Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları

Deneyisel çalışmada numunelerin 28 ve 56 gün standart kür sonrası yapılan tek eksenli basınç deneyi sonuçları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: 28 günlük basınç dayanımı değerleri



Şekil 4.2: 56 günlük basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 incelendiğinde 0.7 su/çimento oranına sahip numunelere bakıldığında katkı kullanılmayan numunelerin basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. 0.7 su/çimento oranında beton içerisindeki

boşluk oranının artmasından dolayı katkının geçirimsizlik üzerinde etkili olmadığı görülmektedir. Ancak %3 katkılı numune %1 katkılı numuneye göre her iki grafikte de daha yüksek basınç dayanımı göstermektedir. Bunun sebebinin ise katkı oranının fazla oluşunun boşluklarda daha çok kristalleşmeye sebep olduğu ve gözenekleri bir miktar tıkaşından kaynaklandığı düşünülmektedir.

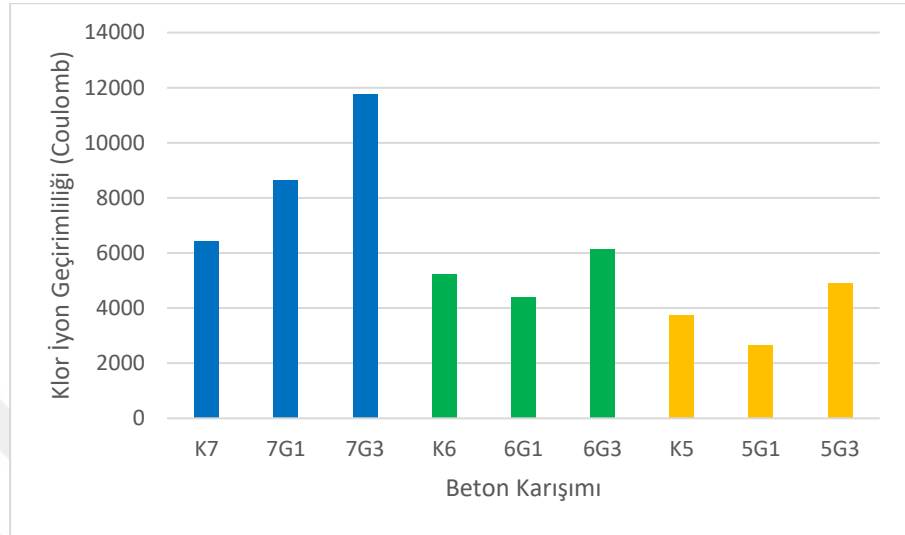
0.6 su/çimento oranına sahip karışımların basınç dayanımlarına bakıldığında katkı kullanılan karışımların basınç dayanımlarının katkısız beton karışımından daha yüksek çıktığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre kristalize geçirimsizlik katkısının boşluklarda kristalleştirme oluşturarak basınç dayanımını yükselttiği düşünülmektedir. Ancak %1 katkı kullanılan karışımda her iki grafikte de basınç dayanımı %3 katkılı karışıma göre daha yüksek çıkmıştır. Katkı içeriği %3 değerine çıkarıldığında katkı miktarının fazla olmasından dolayı boşluk oranını arttırdığı ve basınç dayanımının %1 katkı oranına göre düşüşe sebep olduğu düşünülmektedir.

0.5 su/çimento oranına sahip örneklerle bakıldığında her iki grafikte de katkısız numunenin basınç dayanımının katkı eklenen numunelerin basınç dayanımından daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca kullanılan katkı miktarı arttıkça dayanımlar da düşmektedir. Bu düşüşün sebebinin katkıdan gelen suyun betonun su/çimento oranını artırmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

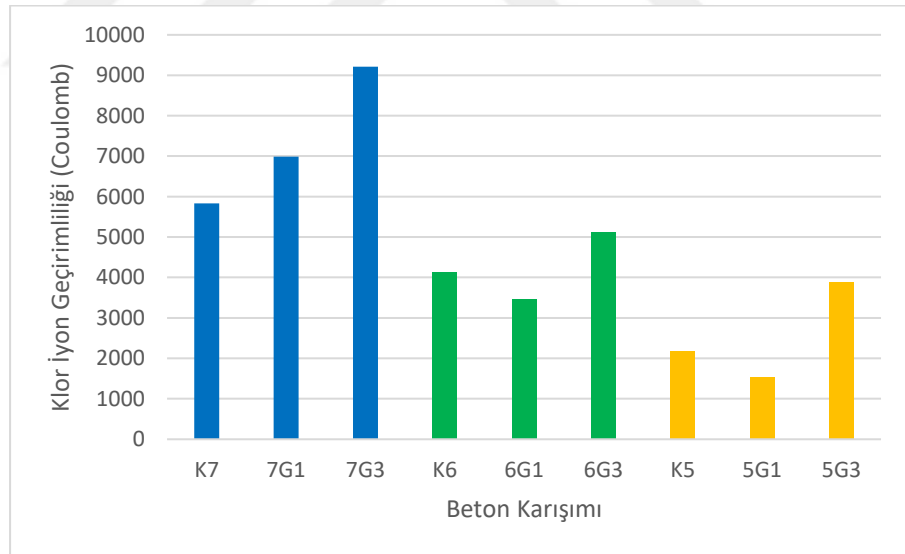
Basınç dayanımı sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde beklenildiği gibi su/çimento oranının düşmesine bağlı olarak betonların basınç dayanımları artmaktadır. Düşen su/çimento oranına bağlı olarak beton içerisindeki boşluk miktarı azalmakta ve dayanımlarda artışa sebep olmaktadır. Ayrıca basınç dayanımı açısından bakıldığında kullanılan geçirimsizlik katkısının en iyi sonuçları 0.6 su/çimento ile verdiği görülmektedir. Sadece bu su/çimento oranında kontrole kıyasla yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Ancak 0.5 su/çimento oranında katkı kullanımı olumsuz etki gösterse de yine de betonda su/çimento oranının düşük olmasından dolayı en yüksek dayanımları vermiştir. Dolayısıyla basınç dayanımı açısından beton karışımlarında su/çimento oranının düşürülmesinin katkı kullanımından daha etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca standart kür süresinin artmasıyla karışımlarının basınç dayanımları da artmıştır. Katkının kullanımıyla birlikte betonun ileri yaşlardaki kristalleşme sebebiyle ve ilerleyen hidratasyon sebebiyle artan hidratasyon ürünlerinin boşlukları doldurarak geçirimsizliği azalttığı ve bunun basınç dayanımını olumlu etkilediği düşünülmektedir.

4.2. Klor İyon Geçirirliiliği Deney Sonuçları

Klor iyon geçirirliiliği deney sonuçları 28 ve 56 günler için sırasıyla Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3: 28 günlük klor iyon geçirirliiliği deney sonuçları



Şekil 4.4: 56 günlük klor iyon geçirirliiliği deney sonuçları

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 incelendiğinde 0.7 su/çimento oranına sahip örneklerle bakıldığında katkısız numunenin klor iyon geçirirliiliğinin katkı eklenen numunelerin geçirirliiliğinden daha düşük olduğu görülmektedir. Beton karışımında kullanılan katkı oranı arttıkça klor iyon geçirirliiliği de artmaktadır. Bunun sebebinin ise yüksek su/çimento oranında boşluk oranının yüksek olduğu ve

katkının yüksek su/çimento oranında etkin olmadığı düşünülmektedir. 0.7 su/çimento oranına sahip beton örneklerinde katkı kullanılmayan kontrol numunelerinde 28 günlük coulomb değerleri %1 katkı kullanılan beton numunelerine göre ortalama %34, 56 günlük coulomb değerleri ise ortalama %20 daha düşük çıkmıştır. %3 katkı kullanılan beton numunelerine göre kontrol numuneleri 28 günlük coulomb değerleri ortalama %83, 56 günlük coulomb değerlerine göre ise %58 daha düşük çıkmıştır. Ayrıca 0.7 su/çimento oranına sahip tüm beton numunelerin ASTM C 1202'ye (2006) göre geçen elektriksel yükte klor iyon geçirimsizlikleri yüksek olarak değerlendirilmiştir.

0.6 su/çimento oranına sahip beton karışımlarında %1 katkı kullanılan beton numuneleri diğer numunelere daha düşük klor iyon geçirimsizliği değerlerine sahiptir. Kontrol numunelerine kıyasla %1 katkı kullanılan beton örneklerinde 28 ve 56 günlük coulomb değerleri %19 daha düşük çıkmıştır. %3 katkı kullanılan beton numunelerine kıyasla %1 katkı kullanılan beton örneklerinde 28 günlük coulomb değerleri %39, 56 günlük beton numunelerinde ise coulomb değerleri %48 daha düşük çıkmıştır. Ayrıca 0.6 su/çimento oranına sahip beton örneklerinde ASTM C 1202'ye (2006) göre geçen elektriksel yükte klor iyon geçirimsizlikleri 56 günlük %1 katkı kullanılan beton numunesinde orta, diğer numunelerde ise yüksek olarak değerlendirilmiştir.

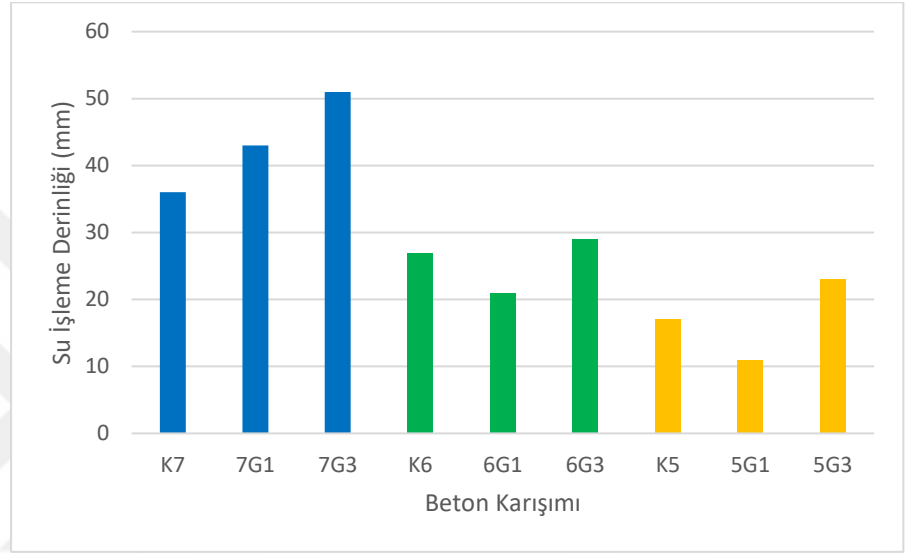
0.5 su/çimento oranına sahip beton karışımlarında %1 katkı kullanılan beton numuneleri diğer numunelere daha düşük klor iyon geçirimsizliği değerlerine sahiptir. Kontrol numunelerine kıyasla %1 katkı kullanılan beton örneklerinde 28 günlük coulomb değerleri %41, 56 günlük beton numunelerinde ise coulomb değerleri %42 daha düşük çıkmıştır. %3 katkı kullanılan beton numunelerine kıyasla %1 katkı kullanılan beton örneklerinde 28 günlük coulomb değerleri %84, 56 günlük beton numunelerinde ise coulomb değerleri %153 daha düşük çıkmıştır. Ayrıca 0.5 su/çimento oranına sahip beton örneklerinde ASTM C 1202'ye (2006) göre geçen elektriksel yükte klor iyon geçirimsizlikleri 56 günlük %1 katkı kullanılan beton numunesinde düşük, diğer numunelerde ise orta olarak değerlendirilmiştir.

Klor iyon geçirimsizliği sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde su/çimento oranının düşmesine ve standart kür süresinin uzamasına bağlı olarak betonlardaki klor iyon geçirimsizliklerinin düştüğü görülmektedir. Düşen su/çimento oranına bağlı olarak beton içerisindeki boşluk miktarı azalmakta ve klor iyon geçirimsizliği değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Katkının en iyi sonuçları 0.5 su/çimento oranına sahip olan beton karışımlarında %1 oranında kullanıldığında verdiği tespit

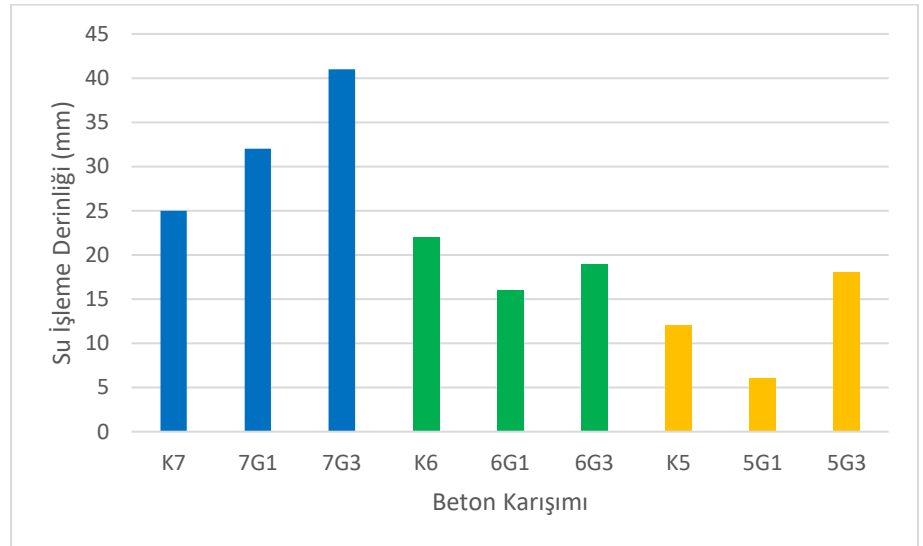
edilmiştir. Yüksek su/çimento oranına sahip beton örneklerinde katkının içerdiği su ile beton içerisindeki gözeneklerin arttığı ve bu yüzden olumsuz etkilere sebebiyet verebileceği düşünülmektedir.

4.3. Basıncı Su İşleme Derinliği Deney Sonuçları

Basıncı su işleme derinliği deney sonuçları 28 ve 56 günlük örneklerde sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.5: 28 günlük basıncı su derinliği değerleri



Şekil 4.6: 56 günlük basıncı su derinliği değerleri

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 incelendiğinde 0.7 su/çimento oranına sahip beton örneklerinde su işleme derinliklerinde kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkının kullanılmadığı numuneler diğer numunelere göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Katkının %1 oranında kullanıldığı numunelere göre kontrol numunelerinin 28 günlük su işleme derinliği ortalama %18, 56 günlük su işleme derinliği ise ortalama %28 daha düşük çıkmıştır. Katkının %3 oranında kullanıldığı numunelere göre kontrol numunelerinin 28 günlük su işleme derinliği ortalama %42, 56 günlük su işleme derinliği ise ortalama %64 daha düşük çıkmıştır.

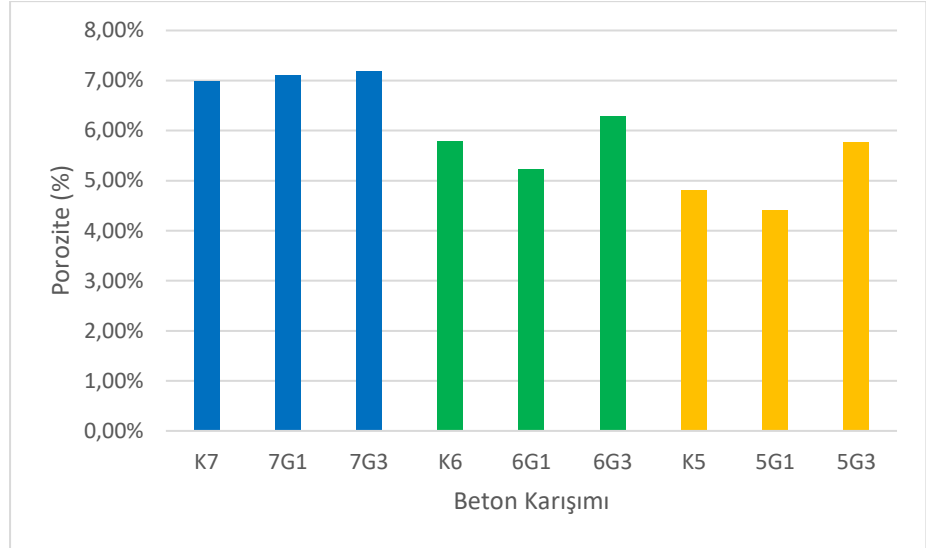
0.6 su/çimento oranına sahip beton örneklerine bakıldığında en düşük su işleme derinlikleri katkının %1 olarak kullanıldığı beton numunelerinde görülmüştür. Kontrol numunelerine göre %1 katkı içeren beton numunelerinin 28 günlük su işleme derinliği ortalama %28, 56 günlük su işleme derinliği ise ortalama %38 daha düşük çıkmıştır. Katkı oranının %3 olarak kullanıldığı beton numunelerine göre %1 katkı içeren beton numunelerinin 28 günlük su işleme derinliği ortalama %38, 56 günlük su işleme derinliği ise ortalama %19 daha düşük çıkmıştır.

0.5 su/çimento oranına sahip beton örneklerine bakıldığında en düşük su işleme derinlikleri katkının %1 olarak kullanıldığı beton numunelerinde görülmüştür. Kontrol numunelerine göre %1 katkı içeren beton numunelerinin 28 günlük su işleme derinliği ortalama %54, 56 günlük su işleme derinliği ise %100 daha düşük çıkmıştır. Katkı oranının %3 olarak kullanıldığı beton numunelerine göre %1 katkı içeren beton numunelerinin 28 günlük su işleme derinliği ortalama %109, 56 günlük su işleme derinliği ise %200 daha düşük çıkmıştır.

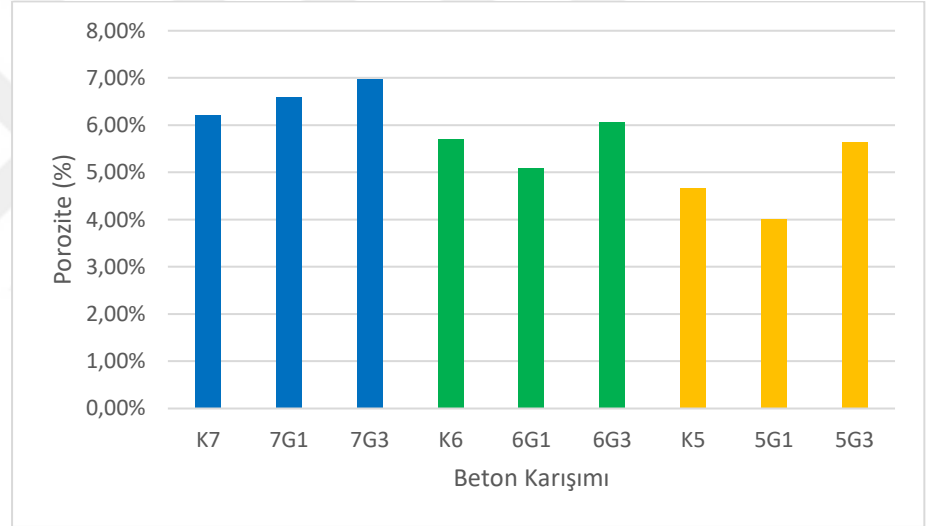
Basıncılı su geçirimsizliği deneyleri genel olarak değerlendirildiğinde su/çimento oranının düşmesine ve hidrasyon reaksiyonlarının devam etmesine bağlı olarak betonun su işleme derinliğinin düştüğü ve dolayısıyla geçirimsizliğin düşerek dayanıklılığının arttığı düşünülmektedir. Beton örneklerde kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkının en etkili performansı 0.5 su/çimento oranına sahip betonlarda %1 oranda kullanıldığı numunelerde gösterdiği deneysel sonuçlara göre düşünülmektedir.

4.4. Porozite ve Su Emme Sonuçları

Deneyler sonucu elde edilen verilerden hesaplanan porozite değerleri 28 ve 56 günlük örneklerde sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7: 28 günlük porozite değerleri



Şekil 4.8: 56 günlük porozite değerleri

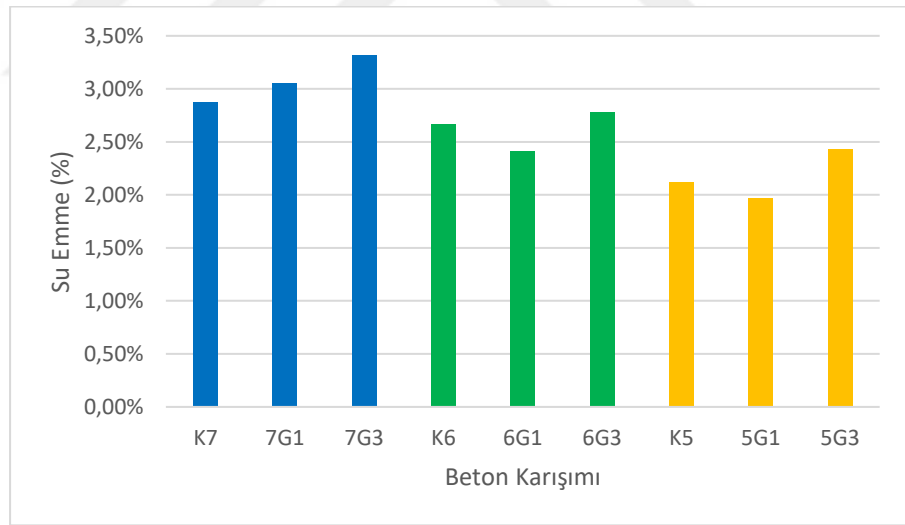
Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 incelendiğinde 0.7 su/çimento oranına sahip örnekler bakıldığında katkısız numunelerin porozite yüzdelerinin %1 ve %3 oranında kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkının kullanıldığı numunelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin diğer beton karışımlarına göre daha yüksek su/çimento oranına sahip beton örneklerin katkı içinde bulunan su ile birlikte karışımında daha fazla su varlığından dolayı oluşan gözenekliliğin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

0.6 ve 0.5 su/çimento oranına sahip beton örneklerine bakıldığında her iki grupta da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. %1 kimyasal katkının kullanıldığı

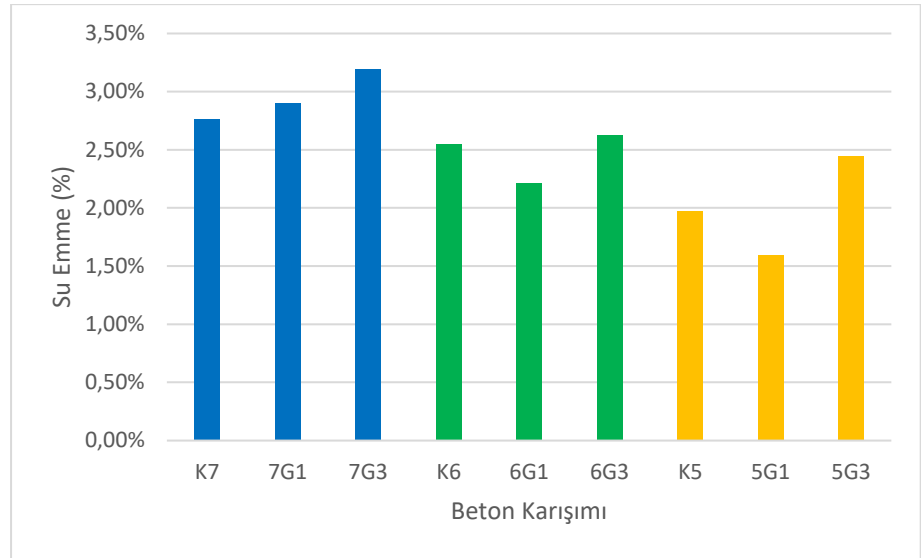
numuneler kontrol numunesine ve %3 katkı kullanılan numunelere göre daha düşük porozite değerleri vermiştir. Kimyasal katkı %1 oranında kullanıldığında katkı etkisiyle boşluklarda oluşan kristalleşmenin boşlukları tıkadığı ancak yüksek oranda katkı kullanımının katkının hacmiyle boşluk miktarını artırarak porozite yüzdeleri yükselttiği düşünülmektedir.

Porozite yüzdelerinin sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde su/çimento oranının düşmesine ve kür süresinin artmasına bağlı olarak betonların porozite değerleri düşmektedir. Beklenildiği gibi düşen su/çimento oranıyla ve hidratasyon reaksiyonları devam ettikçe beton matrisindeki boşluk miktarı azalmakta ve dolayısıyla porozite değerlerinde düşüşe sebep olmaktadır. Sonuçlara bakıldığında en iyi sonuçlara 0.5 su/çimento oranına sahip olan %1 katkının kullandığı numunelerde ulaşıldığı görülmektedir. Beton numunelerde katkı oranının %1 olarak kullanılmasının porozite yüzdesini azaltma açısından daha etkili olduğu düşünülmektedir.

Deneyler sonucunda elde edilen verilerden hesaplanan su emme değerleri 28 ve 56 günlük örneklerde sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9: 28 günlük su emme değerleri



Şekil 4.10: 56 günlük su emme değerleri

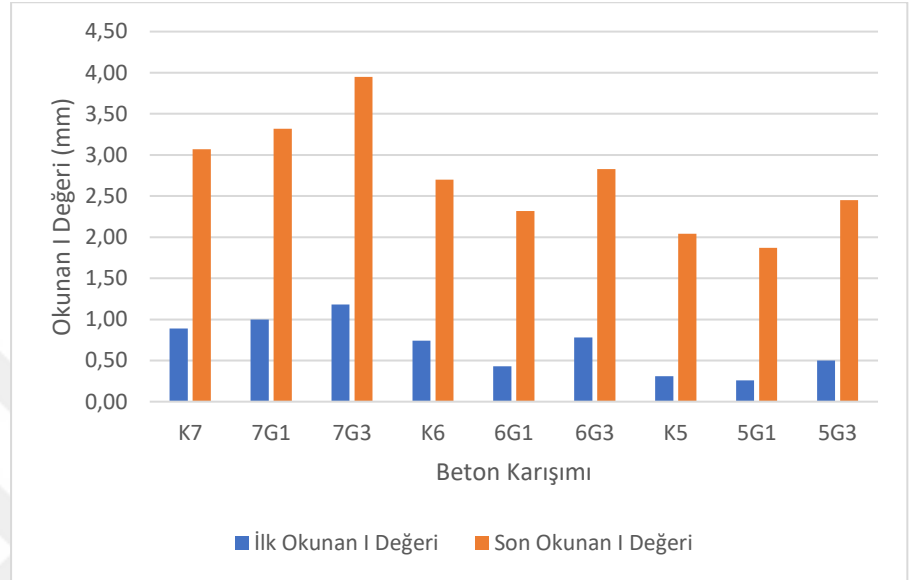
Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 incelendiğinde 0.7 su/çimento oranına sahip beton örneklerinde porozite yüzdeleriyle paralel olarak kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkı kullanılmayan kontrol numunelerinin su emme yüzdelerinin katkı eklenen beton numunelere kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Kimyasal katkıdan gelen su miktarı betonun su/çimento oranını arttırmış ve boşlukların artmasıyla su emme değerlerinin daha yüksek çıkmasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

0.6 ve 0.5 su/çimento oranına sahip beton örneklerinde birbirine benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Katkı oranının %1 oranında kullanıldığı beton numunelerinde kontrol numunelerine ve katkının %3 oranında kullandığı numunelere kıyasla daha düşük su emme yüzdeleri görülmüştür.

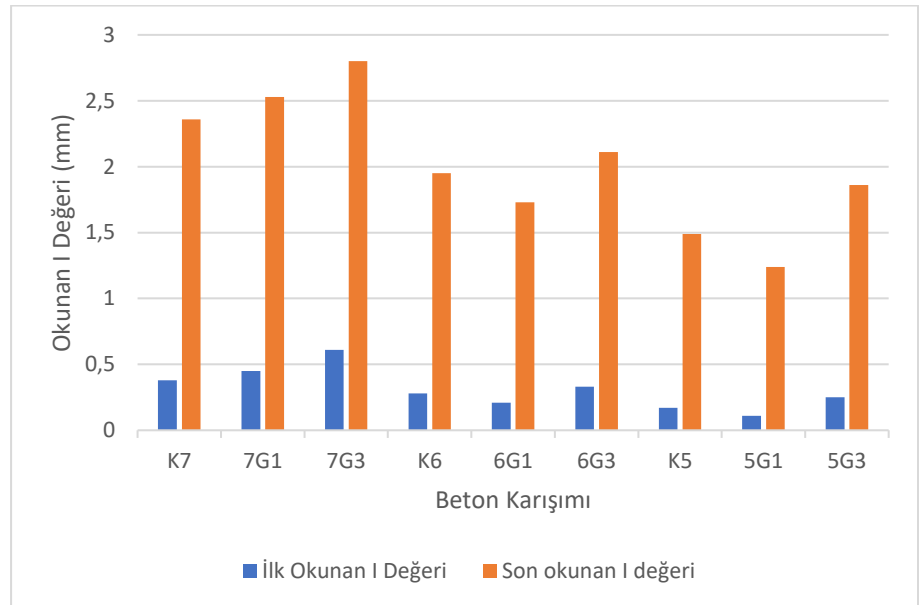
Su emme değerleri genel olarak değerlendirildiğinde su/çimento oranının düşmesine ve standart kür süresinin artmasına bağlı olarak su emme değerleri düşmektedir. Bu sonuç kristalize geçirimsizlik azaltıcı katkının bu beton örneklerinde daha etkili olduğunu düşündürmektedir. Kimyasal katkı kullanımıyla birlikte beton matrisindeki boşlukların azalmış olduğu ve boşluklar arasındaki bağlantıların kristallerle dolmuş olduğu ve dolayısıyla su emme değerlerinin düştüğü düşünülmektedir. Fakat yüksek su/çimento oranına sahip beton örneklerde kristalize geçirimsizlik azaltıcının özellikle %3 oranında kullanıldığı beton numunelerinde negatif etkide bulunduğu söylenebilir.

4.5. Kılcal Su Emme Deney Sonuçları

Kılcal su emme deneyleri sonucunda ilk ve son okunan I değerleri 28 ve 56 günlük örneklerde sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Ayrıca her bir numuneye ait su emme-zaman grafikleri ekler bölümünde sunulmuştur.



Şekil 4.11: 28 günlük ilk okunan ve son okunan I değerleri



Şekil 4.12: 56 günlük ilk okunan ve son okunan I değerleri

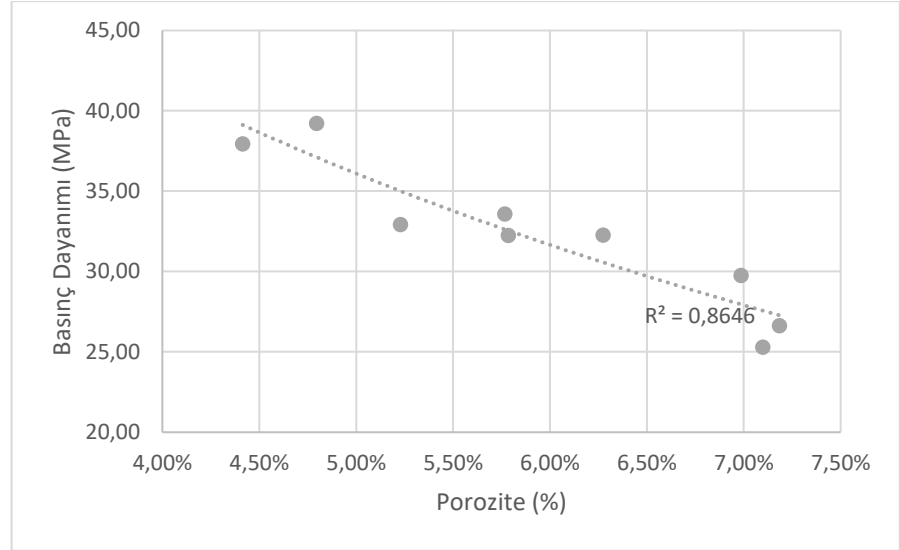
Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 incelendiğinde 0.7 su/çimento oranına sahip beton örneklerinde katkı kullanılmayan numunenin daha düşük kılcal su emme eğilimi

gösterdiği görülmektedir. Katkı kullanılan beton örneklerinde kılcal su emme değerlerinin daha yüksek çıkmasının sebebi katkıdan gelen fazla suyla karışımın su/çimento oranının artması ve kılcal boşlukları kapatamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 0.6 ve 0.5 su/çimento oranına sahip beton örneklerinde en düşük kılcal su emme eğilimini %1 oranında katkı kullanılan beton karışımlarının verdiği görülmektedir. Ayrıca %3 oranda katkı kullanımının diğer karışımlara kıyasla daha etkisiz kaldığı görülmektedir.

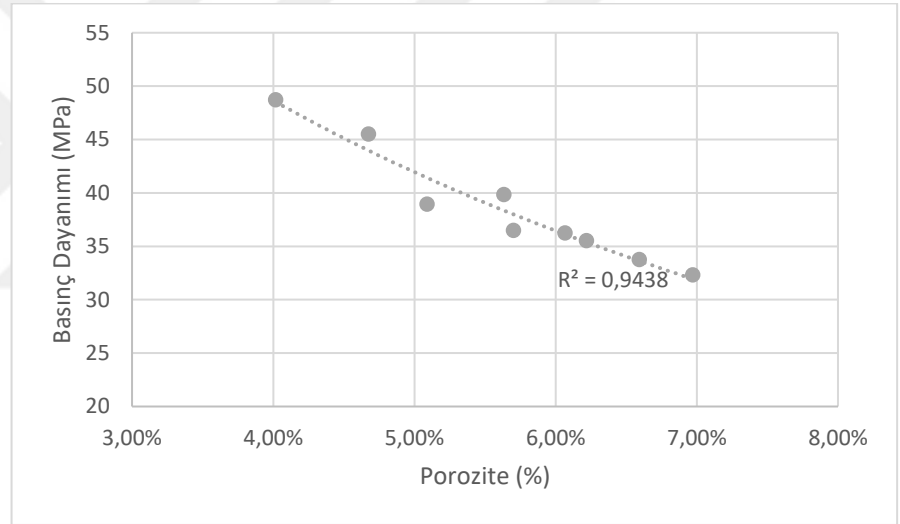
Kılcal su emme değerleri genel olarak incelendiğinde su/çimento oranının düşmesine bağlı olarak kılcal su emme değerleri de düşme eğilimi göstermiştir. Katkı en iyi etkiyi %1 oranında kullanıldığında ve 0.5 su/çimento oranına sahip beton karışımlarında göstermiştir. Bunun sebebinin katkı kullanımıyla birlikte beton matrisi içerisindeki kılcal boşlukların kristalleşme sebebiyle kapandığı ve kılcal su emme değerlerinin buna bağlı olarak düştüğü düşünülmektedir. Buna karşılık katkı oranının %3 olarak kullanıldığı beton karışımlarında katkı içindeki fazla suyun betonun kılcal boşluklarının kapatamadığı ve bu yüzden su emme eğilimlerinin arttığı düşünülmektedir. Ayrıca kür süresinin artmasıyla birlikte katkı kullanımı beton matrisi içindeki olumlu etkisini daha iyi göstermiştir.

4.6. İncelenen Özellikler Arası İlişkiler

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerleri ile poroziteler arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.13 ve 4.14'te sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde yüzde olarak porozite değerleri artarken basınç dayanımı değerlerinin düştüğü gözlemlenmektedir. Bu durumun sebebi ise artan boşluk oranından dolayı azalan basınç dayanımı değerleridir. R^2 değerlerinin de 1'e yakın olması bu bağıntının doğruluğunu kanıtladığı söylenebilir.

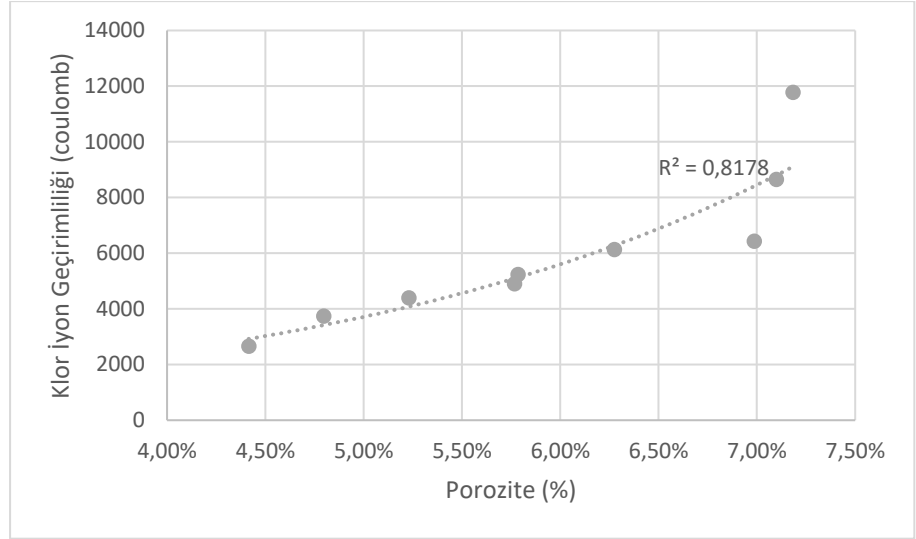


Şekil 4.13: 28 günlük basınç dayanımı-porozite ilişkisi grafiği

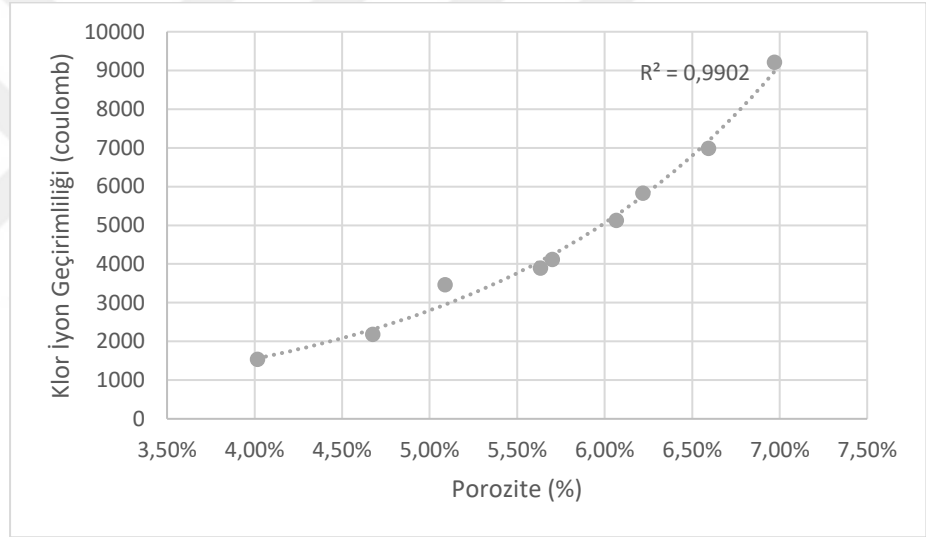


Şekil 4.14: 56 günlük basınç dayanımı-porozite ilişkisi grafiği

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen klor iyon geçirimliliği ve porozite değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde porozite değerleri artarken klor iyon geçirimliliği değerlerinin de arttığı gözlemlenmektedir. Bunun sebebi ise klor iyon geçirimliliği sağlayan boşlukların artmasıdır. R^2 değerlerinin de 1'e yakın olması bu yorumu doğrular niteliktedir.

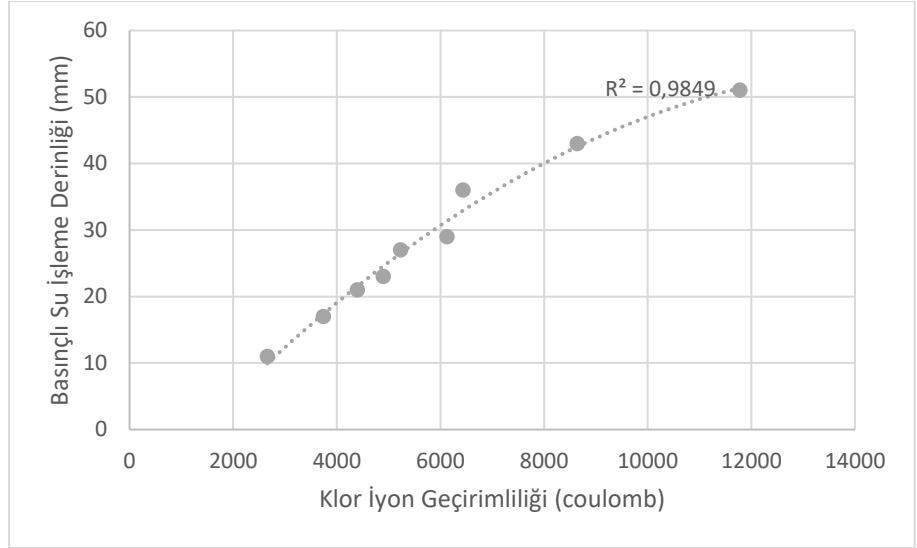


Şekil 4.15: 28 günlük klor iyon geçirirliiği-porozite ilişkisi grafiği

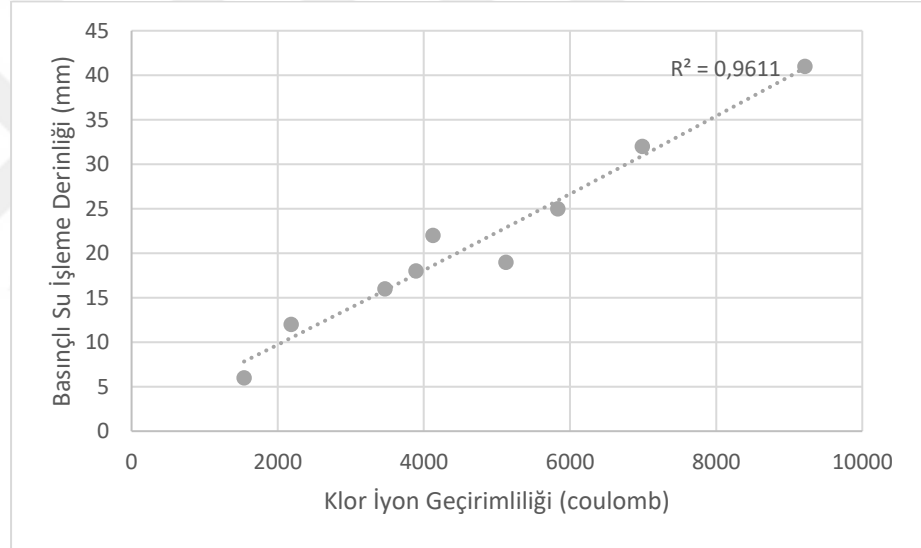


Şekil 4.16: 56 günlük klor iyon geçirirliiği-porozite ilişkisi grafiği

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen klor iyon geçirirliiği ve basınçlı su işleme derinliği değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde klor iyon geçirirliiği değerleri artarken basınçlı su işleme derinliği değerlerinin de arttığı gözlemlenmektedir. R^2 değerlerinin de 1’e yakın olması orantısal artışı kanıtladığı söylenebilir.

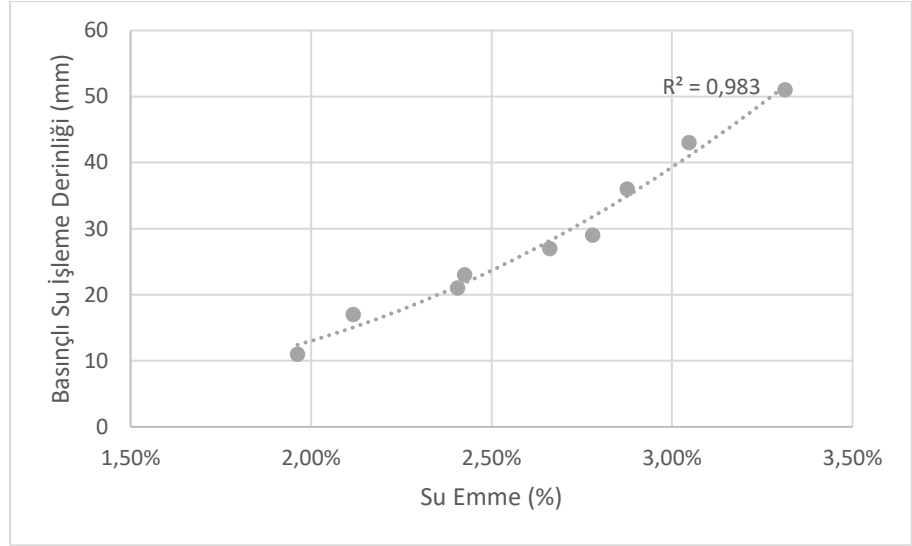


Şekil 4.17: 28 günlük klor iyon geçirimsizliği-basınçlı su işleme derinliği ilişkisi grafiği

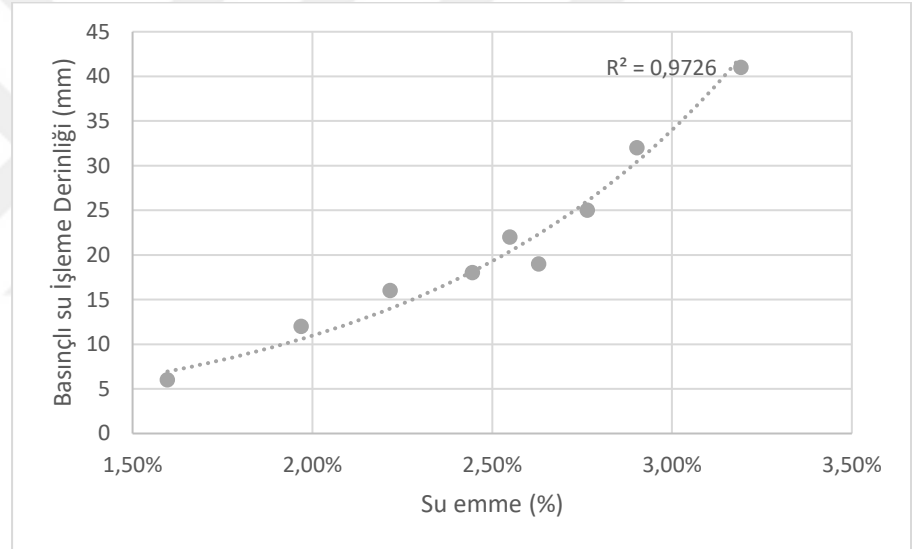


Şekil 4.18: 56 günlük klor iyon geçirimsizliği-basınçlı su işleme derinliği ilişkisi grafiği

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen basınçlı su işleme derinliği ve su emme değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde su emme değerleri arttıkça basınçlı su işleme derinliği değerleri de artmaktadır. Su emme değerinin fazla olduğu numunede basınçlı su uygun ortam bularak daha fazla ilerleme kaydetmiştir. R^2 değerlerinin 1’e yakın olması da bu sonucu desteklemektedir.

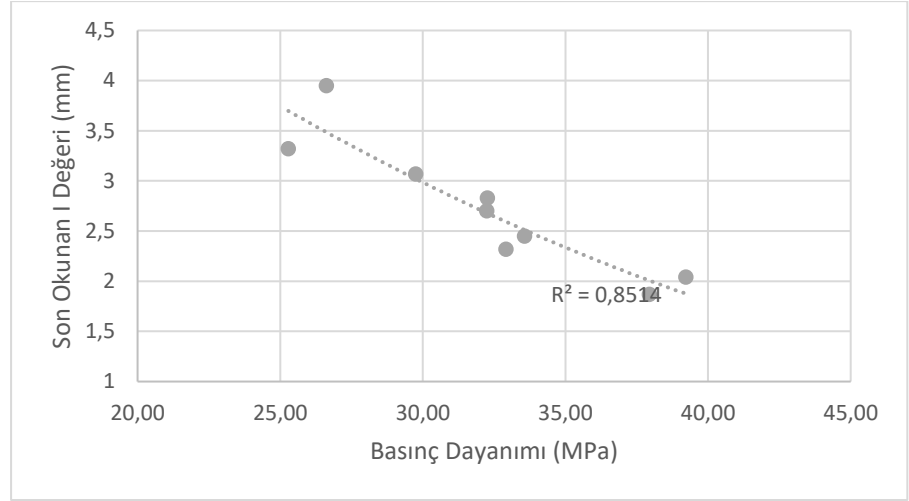


Şekil 4.19: 28 günlük basınçlı su işleme derinliği-su emme ilişkisi grafiği

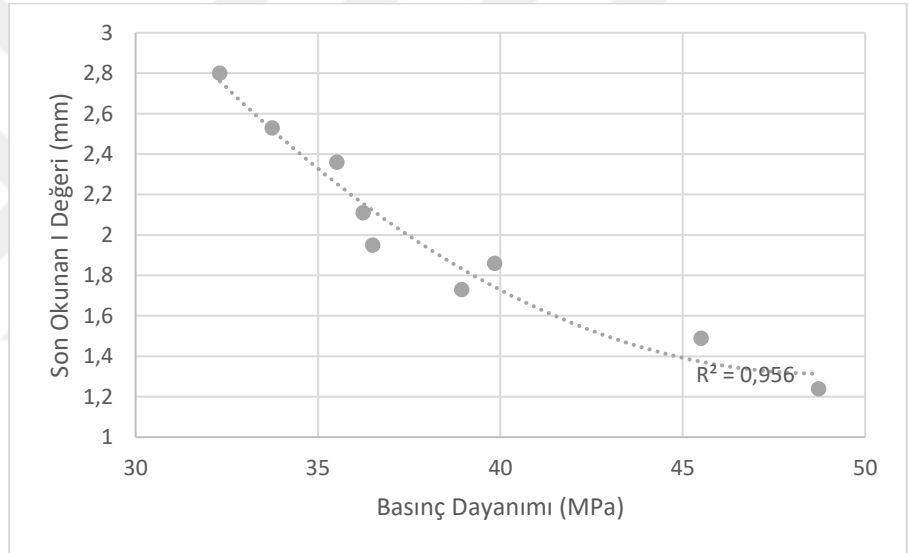


Şekil 4.20: 56 günlük basınçlı su işleme derinliği-su emme ilişkisi grafiği

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen basınç dayanımı ve kılcal su emme deneylerinde son okunan I değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde son okunan I değerleri artarken basınç dayanım değerlerinin düştüğü gözlemlenmektedir. Bunun sebebinin ise kılcal yolla suyun girişini sağlayan boşlukların artmasından dolayı basınç dayanımlarının düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. R^2 değerlerinin 1’e yakın olması da bu yorumu desteklediği söylenebilir.

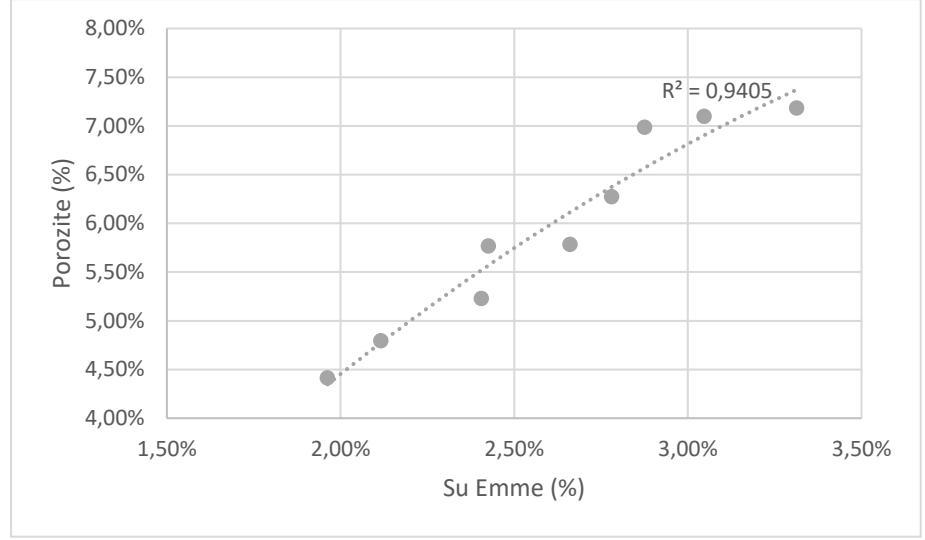


Şekil 4.21: 28 günlük basınç dayanımı-son okunan I değeri ilişkisi grafiği

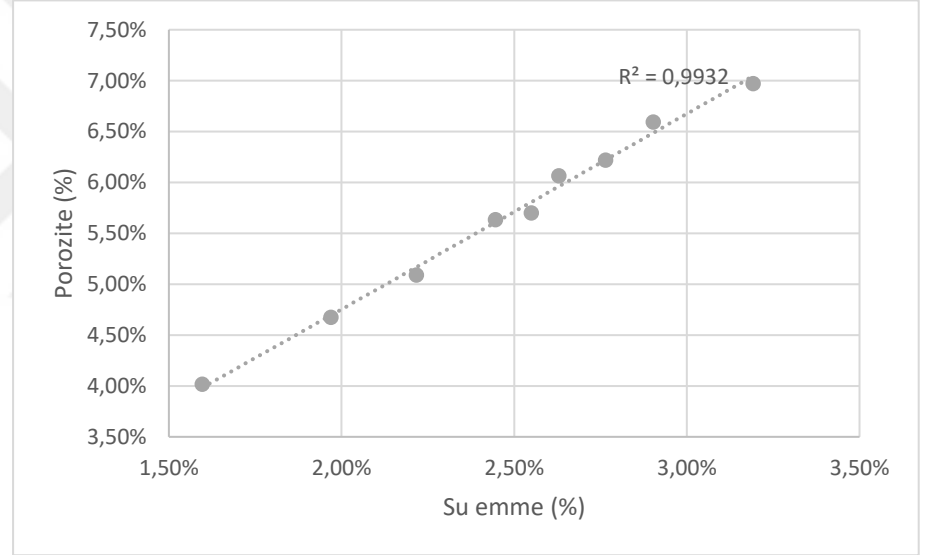


Şekil 4.22: 56 günlük basınç dayanımı-son okunan I değeri ilişkisi grafiği

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen su emme ve porozite değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'te sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde porozite değeri artarken su emme değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. R^2 değerlerinin 1'e yakın olması bu durumu desteklemektedir.



Şekil 4.23: 28 günlük su emme-porozite ilişkisi grafiği



Şekil 4.24: 56 günlük su emme-porozite ilişkisi grafiği

5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan malzemeler ve incelenen özellikler ele alındığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Üç farklı su/çimento oranına sahip karışım olarak hazırlanan betonlarda su/çimento oranının azalmasıyla ve standart kür süresinin artmasıyla betonun basınç dayanımı artmaktadır.
- Basınç dayanımı açısından 0.6 su/çimento oranına sahip karışımlarda kristalize geçirimsizlik katkısı daha etkili olmuştur.
- Klor iyon geçirimliliği deneylerinde düşük su/çimento oranına sahip betonlarda klor geçirimliliği düşmüştür. Ayrıca kür süresinin artması da klor geçirimliliğini düşürmüştür.
- Klor iyon geçirimliliği açısından kristalize geçirimsizlik katkısı en iyi sonuçları 0.5 su/çimento oranına sahip karışımlarda vermiştir.
- Klor iyon geçirimliliğinde katkının %1 oranda kullanılması en iyi sonuçları vermiştir. %3 oranında katkı kullanılan karışımda katkının negatif etkisi olmuştur.
- Klor iyon geçirimliliği deneyinde 0.5 su/çimento oranına sahip %1 katkı kullanılan karışımın 56 günlük standart kür süresine tabi tutulan karışımda ASTM C 1202 standardına göre klor geçirimliliği düşük olarak çıkmıştır.
- Basınçlı su işleme derinliği deneyinde hazırlanan karışımlarda düşük su/çimento oranına sahip ve standart kür süresinin daha uzun olduğu karışımlarda su işleme derinliği daha düşük çıkmıştır.
- Kristalize geçirimsizlik katkısı basınçlı su işleme derinliği deneyinde en iyi sonuçları 0.5 su/çimento oranına sahip beton karışımlarında vermiştir.
- Basınçlı su işleme derinliği deneyinde kristalize geçirimsizlik katkısı en etkili sonucu %1 katkı oranında vermiştir. %3 katkı kullanımı negatif etkide bulunmuştur.
- Porozite açısından kristalize geçirimsizlik katkısı en iyi sonuçları 0.5 su/çimento oranında ve katkının %1 oranda kullanıldığı karışımlarda vermiştir. Ayrıca standart kür süresinin uzamasıyla porozite yüzdelерinin azaldığı gözlemlenmiştir.
- Deneyler sonucu elde edilen verilerle hesaplanan su emme yüzdelерinde düşük su/çimento oranına sahip karışımlarda su emme değerleri daha düşük çıkmıştır. Standart kür süresinin 28 günden 56 güne çıkmasıyla su emme yüzdeleri azalma eğilimi göstermiştir.

- Su emme açısından bakıldığında kristalize geçirimsizlik katkısı en iyi sonuçları 0.5 su/çimento oranında ve katkının %1 oranda kullanıldığı karışımlarda vermiştir.
- Kılcal su emme deneyine göre okunan I değerleri su/çimento oranı düşük ve kür süresinin fazla olduğu karışımlarda daha düşük çıkmıştır. Kristalize geçirimsizlik katkısı en iyi sonuçları 0.5 su/çimento oranında vermiştir.
- Kılcal su emme deneyinde katkı %1 oranında kullanıldığında en etkili sonuçları vermiştir. %3 oranda katkı kullanımı kılcal su emmeye negatif etkide bulunmuştur.
- Porozite yüzdeleri artarken klor iyon geçirimsizliği, su emme değerleri artmış, basınç dayanım değerleri azalmıştır.
- Basınçlı su işleme derinliği artarken klor iyon geçirimsizliği ve su emme değerleri de artmıştır.
- Kılcal su emme değeri olan I değerleri artarken basınç dayanımı düşmektedir.
- Yapılan tüm deneylerde kristalize geçirimsizlik katkısı %1 katkı oranında, düşük su/çimento oranlarında ve 56 günlük kür sürelerinde daha etkili sonuçlar vermiştir.
- Genel olarak bakıldığında kristalize geçirimsizlik katkısının uygun dozajda kullanımında betonun mekanik ve durabilite özelliklerini iyileştirdiği deney sonuçlarına göre söylenebilir.
- Kristalize geçirimsizlik katkısının %3 oranında kullanılması yüksek dozaj olarak belirlenmiş ve bu oranın katkı içerisindeki su varlığından dolayı betondaki su/çimento oranını arttırdığı ve negatif etkide bulunabileceği düşünülmektedir. Bu yüzden katkı kullanımının uygun dozajda ve uygun su/çimento oranına sahip betonlarda kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

ACI Committee 201, 1997, Guide for Making a Condition Survey of

Concrete in Service, ACI, USA., 16p.

ACI Committee 212, 2010, Report on Chemical Admixtures for Concrete,

ACI, USA., 6p.

Akkurt, F., 2020, “Korozyon Nedir? Nasıl Oluşur?”,

<https://www.sanalsantiye.com/yapilarda-korozyon-nedir-nasil-olusur/>

(Erişim Tarihi: 7 Aralık 2024)

Al-Jabari, M., 2022, Integral Waterproofing of Concrete Structures,

Woodhead Publishing, England, 468p.

ASTM C 125-07, 2009, Standard Terminology Relating to Concrete and

Concrete Aggregates, ASTM, USA., 5p.

ASTM C 1585, 2006, Standard Test Method for Measurement of Rate of

Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, ASTM, USA.,

6p.

ASTM C 494, 2013, Standard Specification for Chemical Admixtures for

Concrete, ASTM, USA., 10p.

ASTM C 494, 2006, Standard Test Method for Electrical Indication of

Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM, USA.,

6p.

Azarsa, P., Biparva, A. and Gupta, R., 2018, Crystalline waterproofing

admixtures effects on self-healing and permeability of concrete, *1st*

International Conference on New Horizons in Green Civil

Engineering, 10p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

Azarsa, P., Gupta, R. and Biparva, A., 2020, Investigation of cementitious composites involving crystalline waterproofing admixtures and Portland limestone cement, *Materials*, 13:2-19 pp.

Baradan, B. ve Aydın, S., 2013, Betonun Dürabilitesi, *Hazır Beton Dergisi*, Kasım Aralık:54 -68 ss.

Bhattacharjee, B., 2012, Some issues related to service life of concrete structures, *Indian Concrete Journal*, 15:23-29 pp.

Cilason, N., Kocagil, F. ve Aksöz, B., 1995, Betonda korozyon, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 13. Teknik Kongresi*, 123-134 ss.

Concept Concrete WA, 2019, “The Factors That Influences The Durability of Concrete”, <https://www.conceptconcretewa.com.au/factors-that-influences-the-durability-of-concrete> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

Çimsa, “What is Sulfate Attack on Concrete”, <https://cimsa.com.tr/en/what-is-sulfate-attack-on-concrete/> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

Çimsa, 2013, “Çimento Fazları ve Hidratasyon”, <http://www.ezberleryapimalzemeleri.com/wp-content/uploads/2014/05/62FEA62DEC7C4A2C89AA8471BE110D2C.pdf> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

Engin, Y., 2014, “Çimento Üretiminde Kullanılan Mineral Katkılar”, <https://www.betonvecimento.com/surdurulebilirlik/mineral-katkilar> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

Engin, Y., 2014, “Çimento”, <https://www.betonvecimento.com/cimento/cimento> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

Engin, Y., 2015, “Beton Yüzeyinde Çiçeklenme”,

<https://www.betonvecimento.com/beton-2/ciceklenme> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

Engin, Y., 2022, “Alkali-Karbonat Reaksiyonu”,

<https://www.betonvecimento.com/beton-2/alkali-karbonat-reaksiyonu> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

Erdoğan, S.T. ve Erdoğan, T.Y., 2005, Kimyasal katkı maddeleri ve tarihi geçmişleri, *2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, 21-34 ss.

Foundation, Concrete and Earthquake Engineering, “Erosion Resistance

of Concrete”, <https://civil-engg-world.blogspot.com/2013/03/Erosion-Resistance-Concrete.html> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

Gandage, A., 2023, Admixtures in concrete-a review, *International*

Conference on Construction Real Estate Infrastructure and Projects, 67-76 pp.

Hewlet, P., 2003, Lea’s Chemistry of Cement and Concrete, Butterworth-Heinemann, England, 1092p.

Hidayat, I., Suangga, M., Nataadmadja, A.D. and Yoshua, 2018, The

influence of crystalline to compressive strength of concrete in terms of mixing methods and mixer speed, *IOP Conf. Series: Earth and Enviromental Science*, 195, 7p.

İzoder, 2013, “Su Yalıtımı”,

<https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Su-Yalitimi.pdf> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

Jalal, P.S., Pandey, I.K., Tiwari, A.K. and Srivastava, V., 2018, Effect of waterproofing systems and materials on the enviroment, *Journal of Enviromental Nanotechnology*, 7: 40-45 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Kanamarlapudi, L., Jagarapu, D.C.K., Bhanu, J.K. and Arunakanthi, E.,** 2020, Different mineral admixtures in concrete: a review, *SN Applied Sciences*, 2:1-10 pp.
- Karaşin, A. ve Doğruyol, M.,** 2011, Sülfat etkisinde maruz betonda puzolanik katkı kullanımı, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6:348-357 ss.
- Kartal, S. ve Üstündağ, S.I.,** 2016, Yapılarda su yalıtım uygulamalarının önemi ve maliyeti, *Mühendislik Dergisi*, 7: 399-408 ss.
- Kaur, G., Kaushik, S.K. and Singh, S.P.,** 2012, Reviewing some properties of concrete containing mineral admixtures, *Indian Concrete Journal*, 14:35-51 pp.
- Mapei,** 2024, Su Yalıtımı, Sunum Dosyası, 224s. (yayımlanmamış).
- Mardani, A., Hosseinneshad, H., Yılmaz, G. ve Ramyar, K.,** 2013, Farklı geçirgenlik azaltıcı katkıların betonun basınç dayanımı ve geçirimsizlik özelliğine etkisi, *Yapılarda Kimyasal Katkılar 4. Sempozyum ve Sergisi*.
- Matar, P. and Barhoun, J.,** 2020, Effects of waterproofing admixture on the compressive strength and permeability of recycled aggregate concrete, *Journal of Building Engineering*, 32.
- Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M.,** 2001, Concrete Microstructure, Properties and Materials, 4th Edition, Mc Graw-Hill Professional, 239p.
- Mindness, S. and Young, J.F.,** 1980, Concrete, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 671p.
- Neville, A.M.,** 2011, Properties of Concrete, Pearson Education Limited, Fifth Edition, England, 846p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

Pekmezci, B.Y. ve Atahan, H.N., 2014, Kimyasal ve nano katkıları: Betonda

kullanımı ve beton performansına etkileri, *Beton 2013 Hazır Beton*

Kongresi, 69-82 ss.

Ratnam, M. and Mahure, N.V., 2008, Monograph on Alkali-Aggregate

Reaction in Concrete, Centrai Soil and Materials Research Station, New

Delhi, 64p.

Sümer, M., 1994, Harçlarda kılcal ve basınçlı su altındaki geçirimsizliğin su-

çimento oranı ile değişimi, *İMO Teknik Dergi*, 56:743-753 ss.

Şengün, T.G., 2020, “Sentetik Örtü Tipi Su Yalıtım Sistemlerine Genel

Bakış”,

<https://www.sanalsantiye.com/sentetik-ortu-tipi-su-yalitim-sistemlerine-genel-bakis/> (Erişim tarihi: 7 Aralık 2024)

Şimşek, Z. ve Akıncıtürk, N., 2006, Betonarme yapı elemanları üzerindeki

basınçlı yeraltı su geçirimsizliğine puzzolan katkı maddelerinin etkisi,

Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11:33-41

ss.

Şimşek, Z., 2019, Çatı ve cephede su yalıtım malzemelerinin seçim

kriterlerinin incelenmesi, *Journal of Awareness*, 4: 227-238 pp.

Talib, R., Boyd, D., Hayhow, S., Ahmad, A.G. and Sulieman, M.,

Investigating effective waterproofing materials in preventing roof

leaking; initial comparative study: Malaysia, U.K., *Procedia*

Manufacturing, 2: 419-427 pp.

Taylor, P., Dam, T.V., Sutter, L. and Fick, G., 2019, Integrated materials

and construction practices for concrete pavement: A state of the practice

manual, Iowa Department of Transportation, Washington, 338p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

- Tibbets, C.M., Riding, K.A. and Ferraro, C.C.**, 2021, A critical review of the testing and benefits of permeability-reducing admixtures for use in concrete, *Cement*, 6.
- Topçu, İ., Canbaz, M. ve Karakurt, C.**, 2006, Beton üretiminde kimyasal katkı kullanımı, *Politeknik Dergisi*, 9:59-63 ss.
- TS EN 12390-2**, 2010, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 8s.
- TS EN 12390-3**, 2010, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 19s.
- TS EN 12390-8**, 2010, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 7s.
- TS EN 934-2**, 2011, Kimyasal Katkılar – Beton, Harç ve Şerbet İçin – Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları – Tarifler, Gerekler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 24s.
- Tsukagoshi, M., Miyauchi, H. and Tanaka, K.**, 2012, Protective performance of polyurethane waterproofing membrane against carbonation in cracked areas of mortar substrate, *Construction Building Materials*, 36: 895-905 pp.
- Türk, S. ve Engin, Y.**, 2024, Alternatif Mineral Katkı Kaynakları, Türk Çimento, Ankara, 39s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (DEVAM)

Türkeri, A.N., Baş, C. ve Artuğ, S., 2024, Binalarda Su Yalıtımı, Ode Yalıtım Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 169s.

Vessalas, K., Baweja, D. and Sirivivatnanon, V., 2017, Influence of permeability-reducing admixtures on water penetration in concrete, *ACI Materials Journal*, 114.

Yıldırım, H., Gülseren, H., Uyan, M., ve Kemerli, K., 2003, Geçirimsizlik sağlayan katkı türlerinin betonun geçirimlilik özelliklerine etkisi, İMO, *5.Ulusal Beton Kongresi*, 123-131ss.

Woods, H., 1968, Durability of Concrete Construction, ACI Monograph No.4, Detroit, 187p.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime başladığım ilk günden itibaren bilgi, birikim ve tecrübeleriyle bana her konuda yol gösteren, yaşadığım her problemde sabırla problemlerimi çözmeme yardımcı olan ve desteğini her zaman hissettiğim, hayatıma kattığı önemi asla unutmayacağım saygıdeğer Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Gözde İnan SEZER'e,

Yüksek lisans tez çalışması döneminde tüm süreç boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen İnşaat Mühendisi Sayın Saeid MOGHIMI ve İnşaat Mühendisliği lisans öğrencileri Sayın Umutcan YAZKAÇ ve Sayın Deniz Oğulcan KIRBA'ya,

Eğitim öğretim hayatıma başladığım ilk günden itibaren bugüne kadar her zaman varlıklarını yanımda hissettiğim, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım ailem, annem Nilgün KAÇAR'a, babam Varol KAÇAR'a ve abim Buğra KAÇAR'a,

Üç senedir hayatımda olan, hayatımın en güzel günlerini geçirdiğim, yaşadığım her türlü problemde varlığını yanımda hissettiğim, hayallerimi gerçekleştirmem konusunda bana ilham veren hayat arkadaşım Ekin Su ÖZTOP'a,

Yüksek lisans eğitim sürecimde bana destek olan ve anlayış gösteren firmam ve Sayın Yöneticim Alper SAN'a,

Teşekkürü bir borç bilirim.

15/01/2025

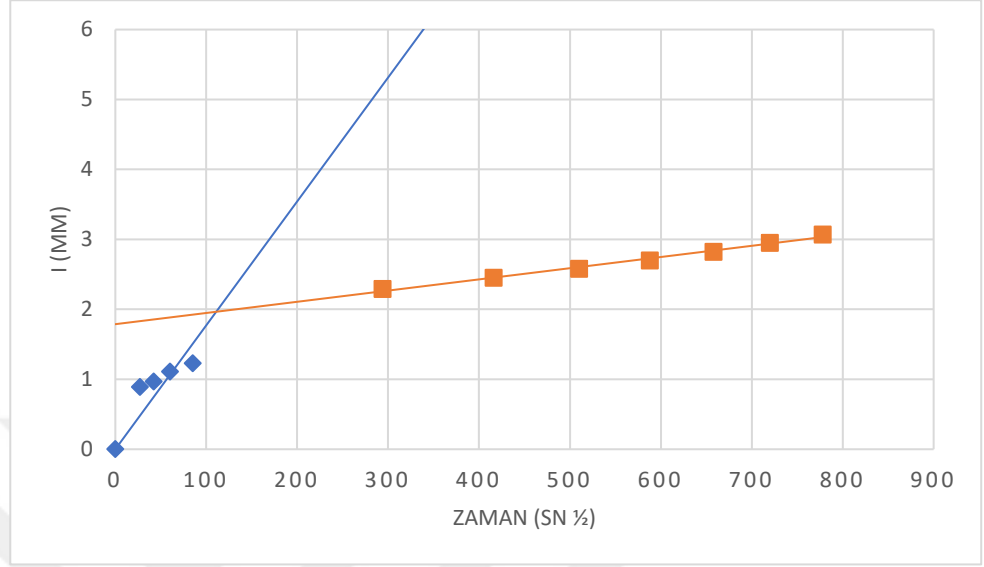
Recep KAÇAR

ÖZGEÇMİŞ

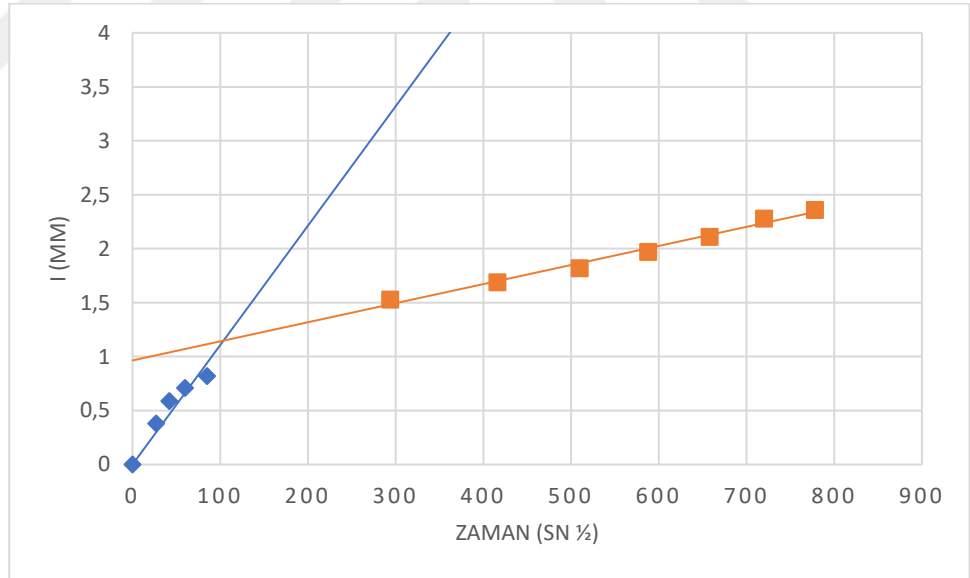
Recep KAÇAR 2015 yılında Karşıyaka Lisesi'nde lise öğrenimini tamamladıktan sonra Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümüne başlamıştır. Bir yıl hazırlık eğitimi aldıktan sonra bölüme başlayıp 2021 Şubat ayında İnşaat Mühendisliği bölümünden onur derecesi ile mezun olmuştur. Üniversite eğitimini tamamladıktan sonra 2022 yılı bahar döneminde akademik eğitime devam etmek amacıyla Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programına başlamıştır. Yüksek lisans eğitimi devam ederken Mapei Yapı Kimyasalları firmasında Teknik Satış Mühendisi olarak görev almaktadır.



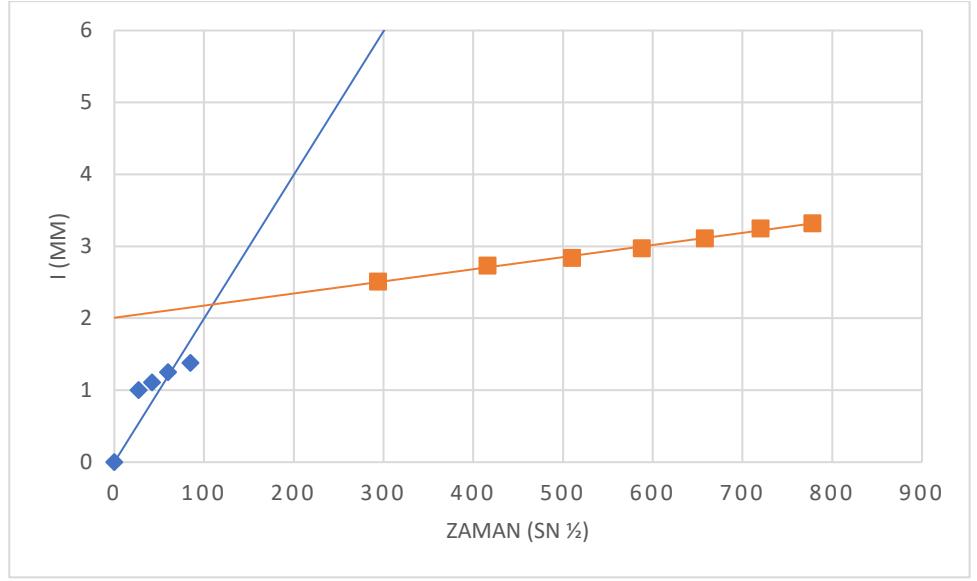
EKLER



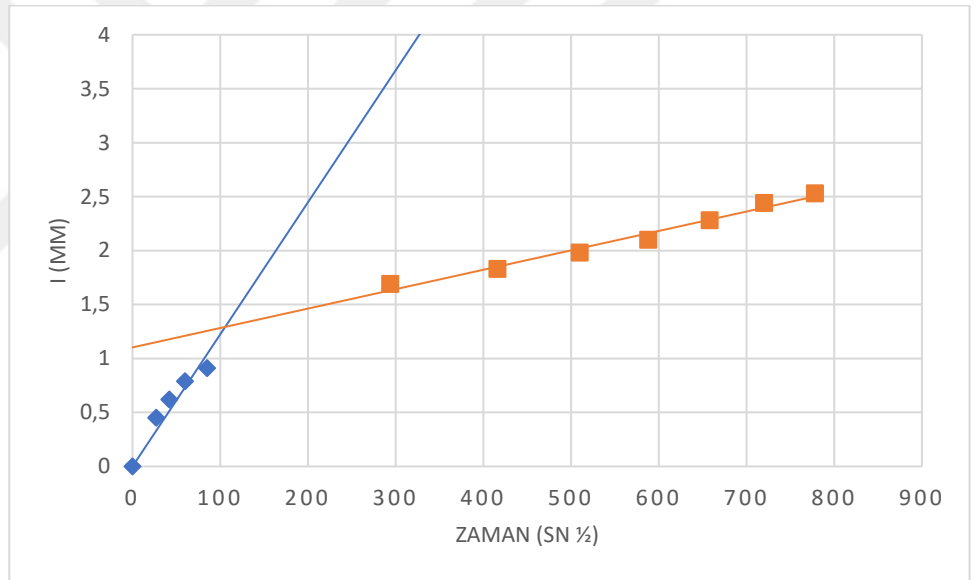
Şekil A.1: 28 günlük K7 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



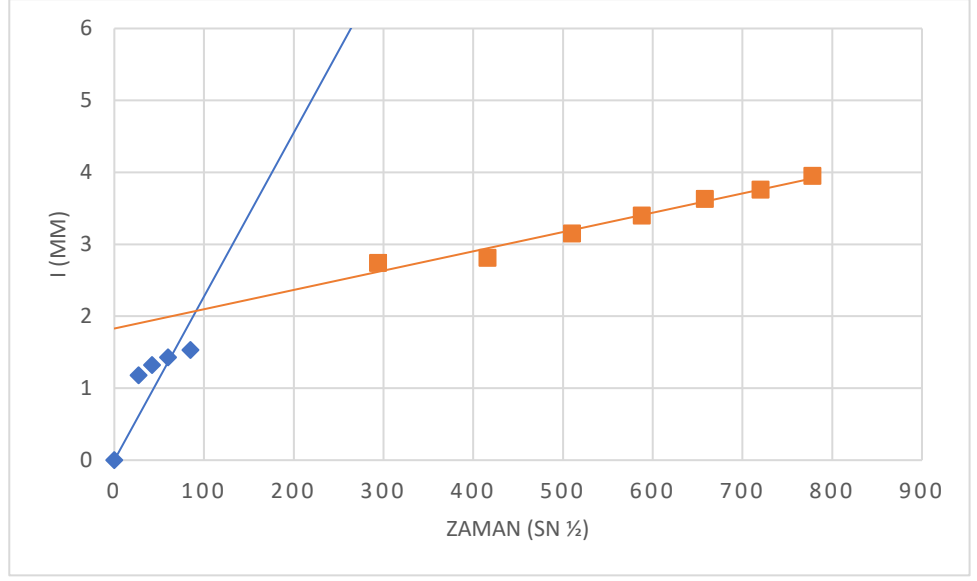
Şekil A.2: 56 günlük K7 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



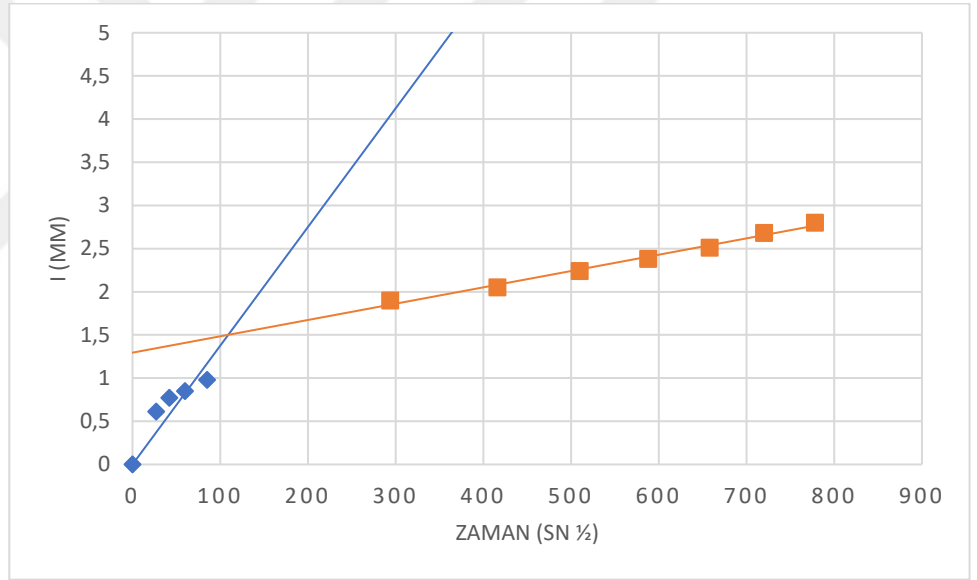
Şekil A.3: 28 günlük 7G1 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



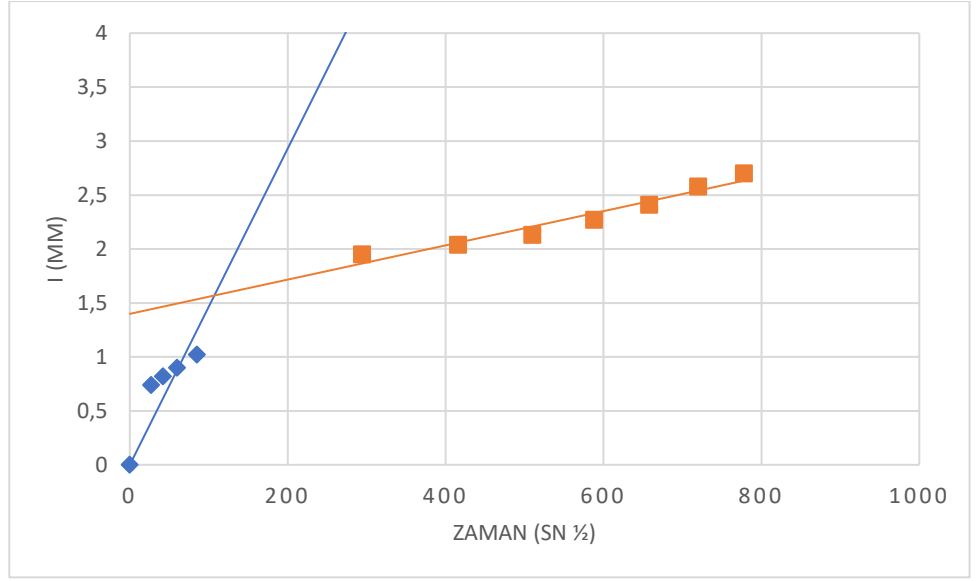
Şekil A.4: 56 günlük 7G1 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



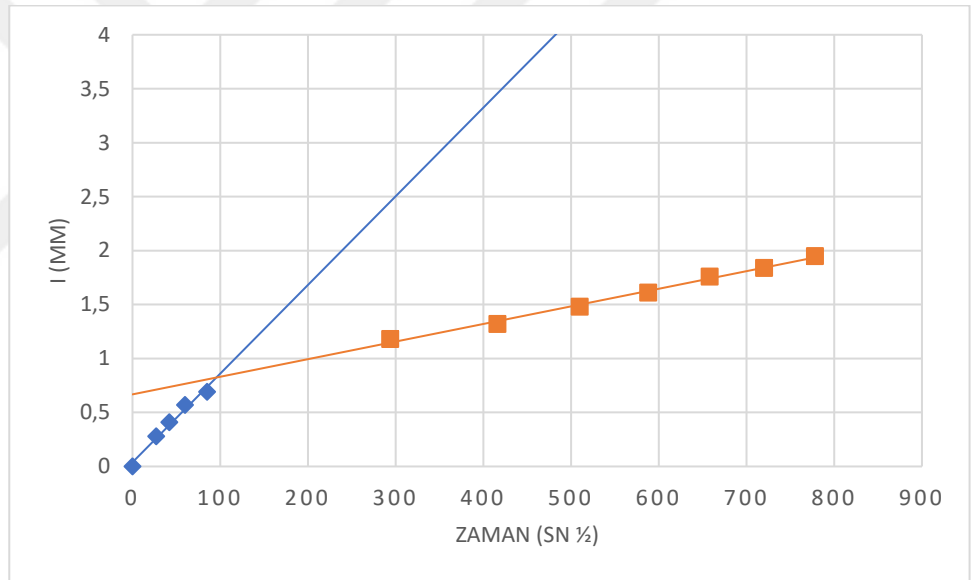
Şekil A.5: 28 günlük 7G3 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



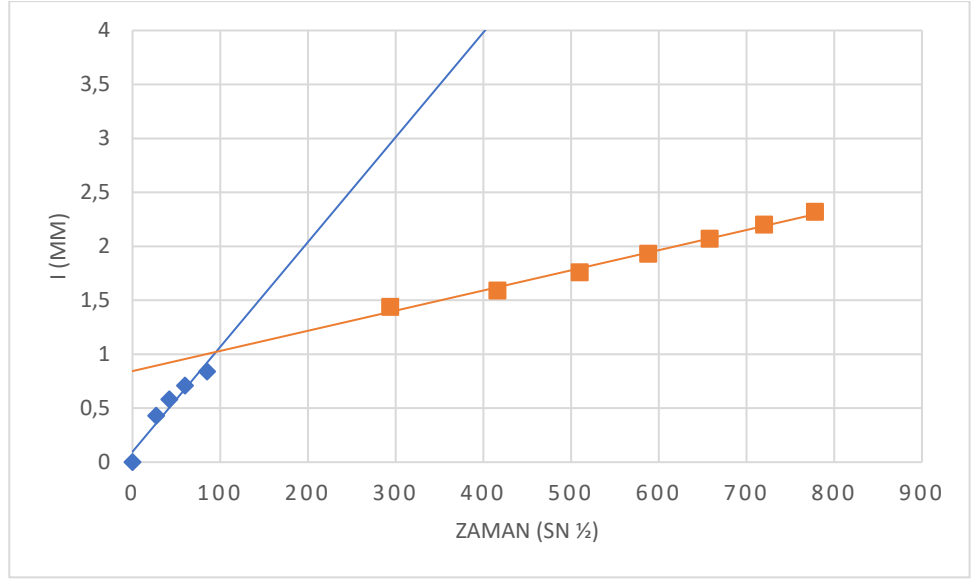
Şekil A.6: 56 günlük 7G3 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



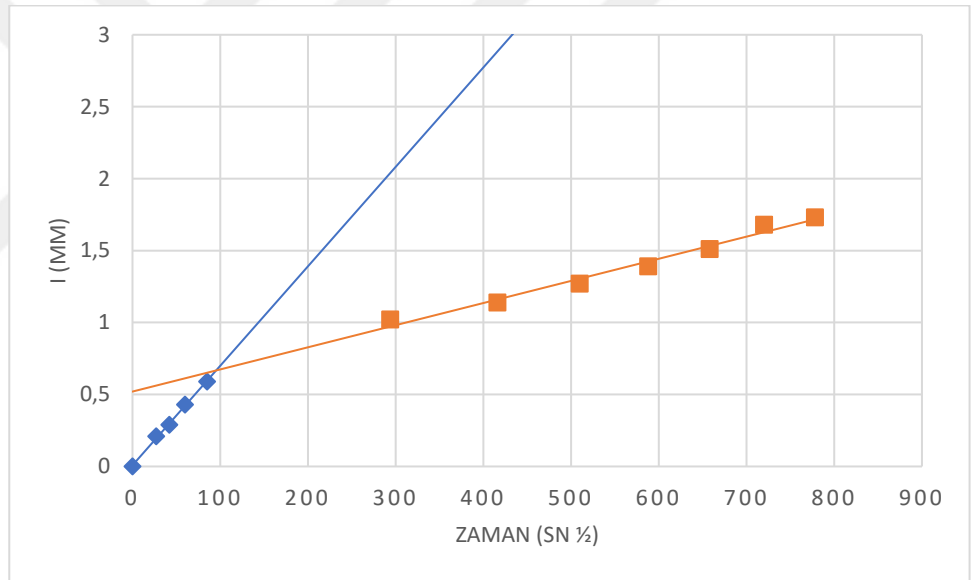
Şekil A.7: 28 günlük K6 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



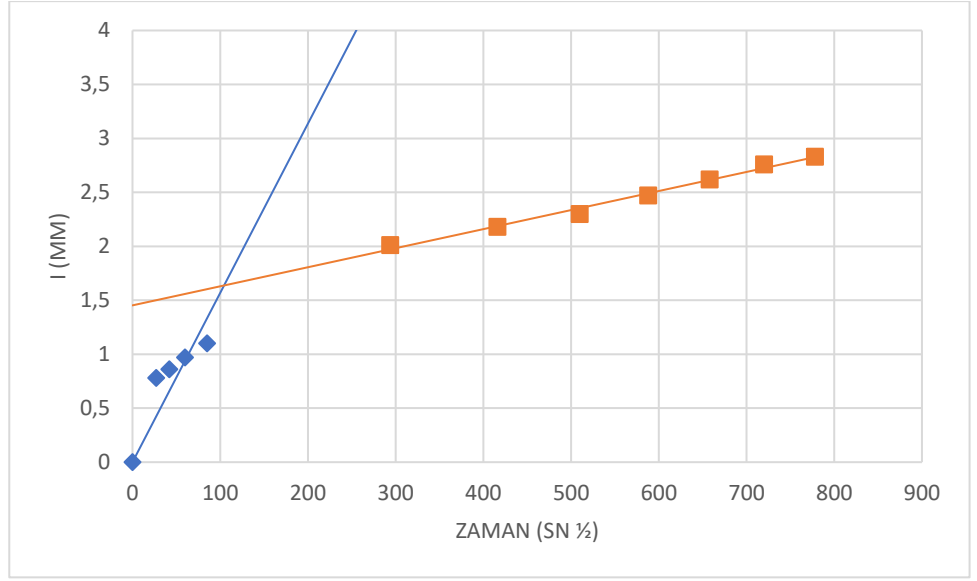
Şekil A.8: 56 günlük K6 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



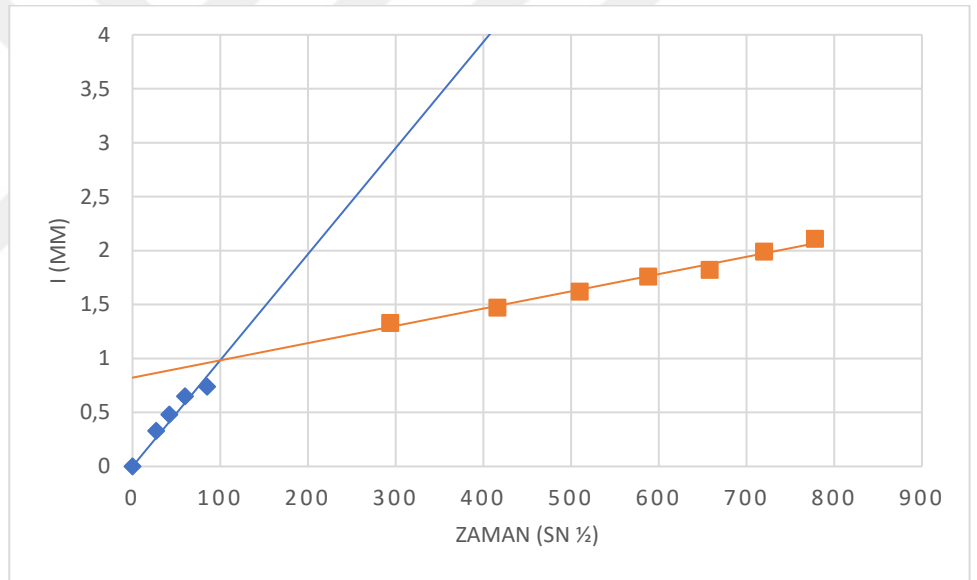
Şekil A.9: 28 günlük 6G1 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



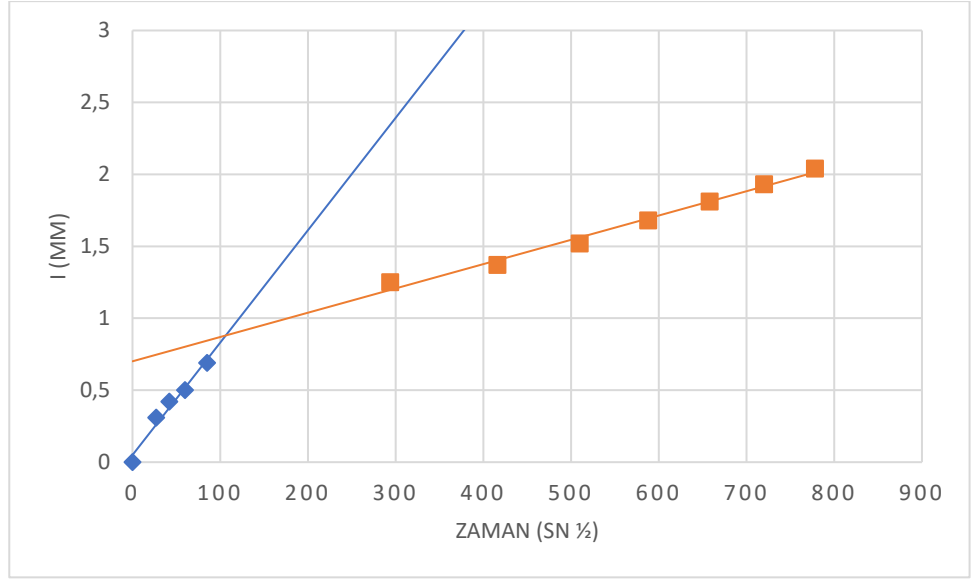
Şekil A.10: 56 günlük 6G1 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



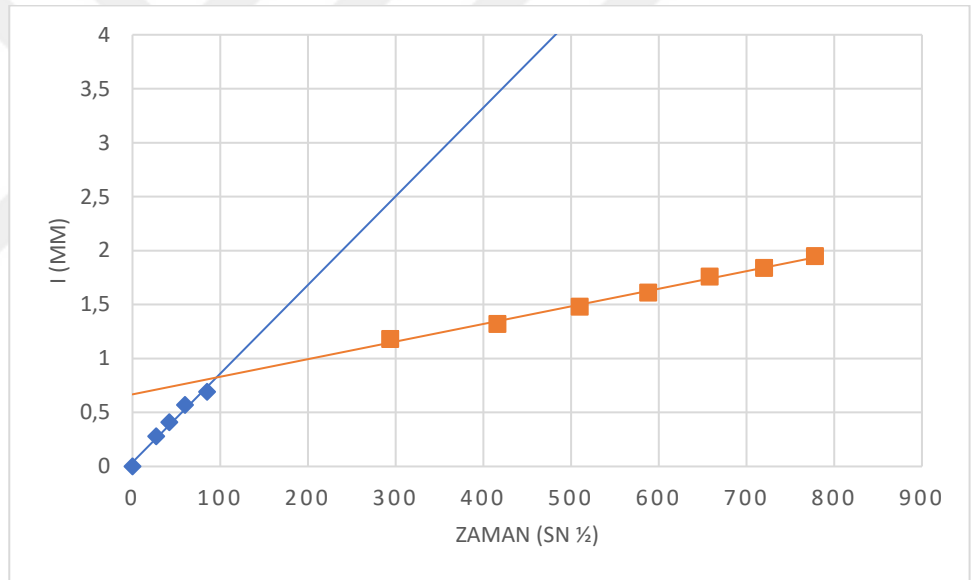
Şekil A.11: 28 günlük 6G3 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



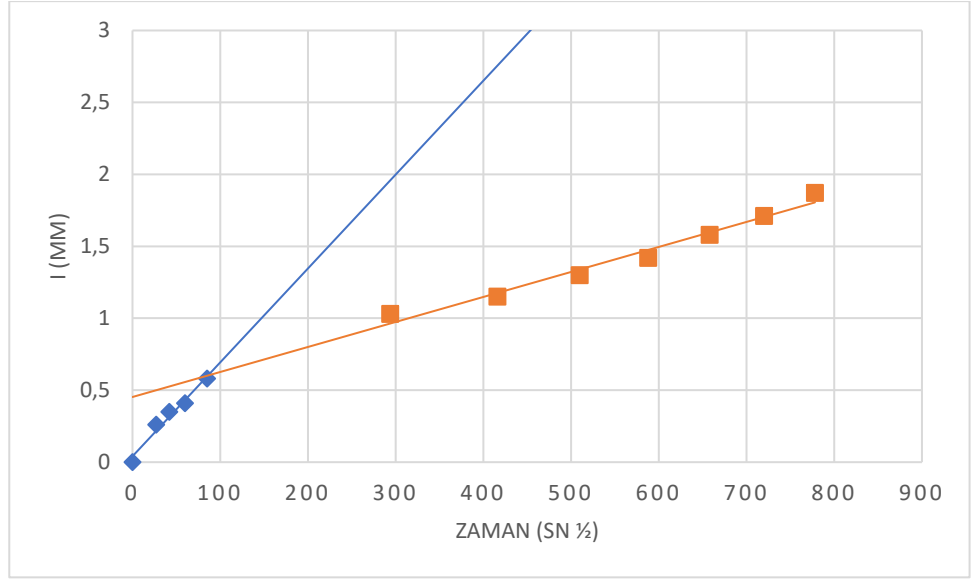
Şekil A.12: 56 günlük 6G3 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



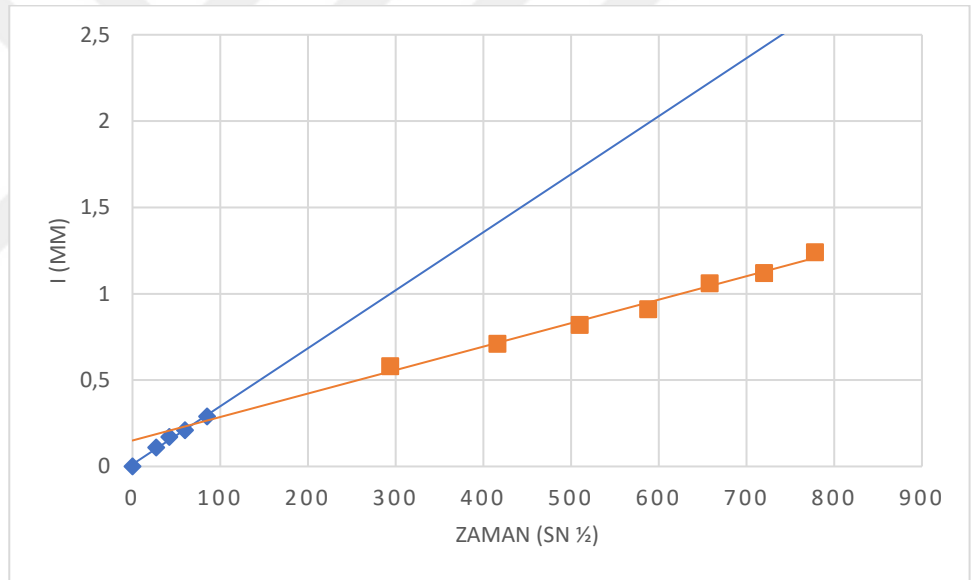
Şekil A.13: 28 günlük K5 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



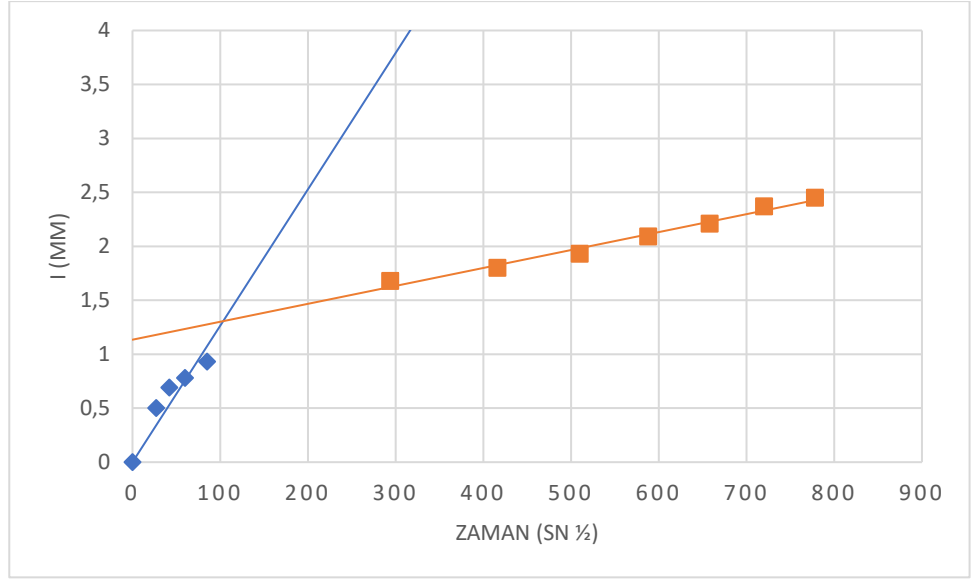
Şekil A.14: 56 günlük K5 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



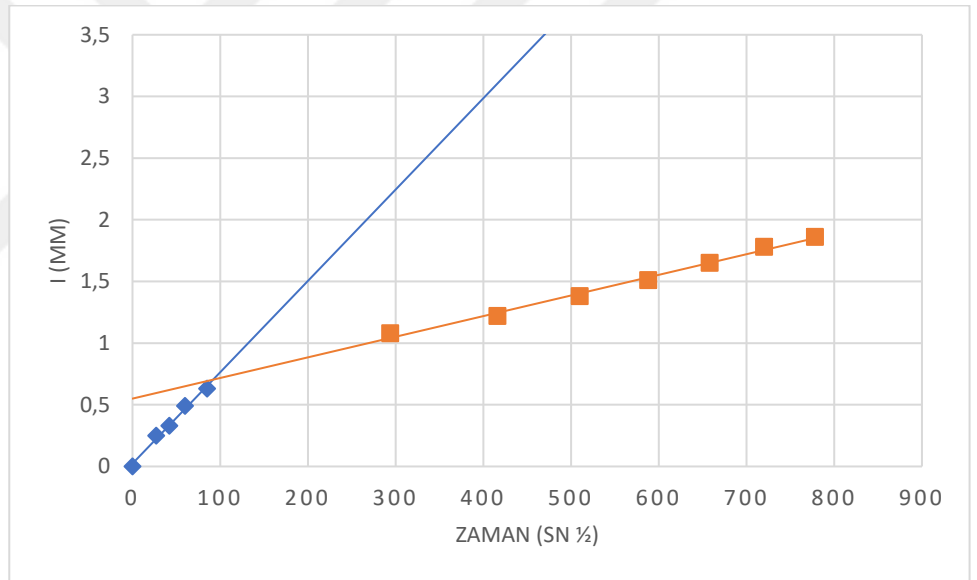
Şekil A.15: 28 günlük 5G1 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



Şekil A.16: 56 günlük 5G1 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



Şekil A.17: 28 günlük 5G3 betonun kılcal su emme-zaman grafiği



Şekil A.18: 56 günlük 5G3 betonun kılcal su emme-zaman grafiği