

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KİMYASAL KATKILARIN BETON SİSTEMLERİNİN
DAYANIMINA ETKİSİ, HASAR OLUŞUM VE
MEKANİZMASININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatma ER SENCER

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

**OCAK 2024
İSTANBUL**

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KİMYASAL KATKILARIN BETON SİSTEMLERİNİN
DAYANIMINA ETKİSİ, HASAR OLUŞUM VE
MEKANİZMASININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fatma ER SENCER
(210022008)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa KOÇAK

İstanbul 2024



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü

Jüri Tez Onay Formu

22.09.2023

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Bu çalışma 15.02 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makine Mühendisliği (Tezli Yüksek Lisans) Programı, Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Mustafa KOÇAK

Danışman

İstanbul Gedik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ozan ÇOBAN

Üye (İmza)

İstanbul Gedik Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet BUĞDAYCI

Üye (İmza)

Yalova Üniversitesi

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Kimyasal Katkıların Beton Sistemlerinin Dayanımına Etkisi, Hasar Oluşum ve Mekanizmasının İncelenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim.
(15/02/2024)

Fatma ER SENCER



ÖNSÖZ

Yüksek lisans ders ve tez çalışmamda benimle yakından ilgilenen, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, kıymetli hocam Prof.Dr.Mustafa KOÇAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans ders sürecimde, destek veren değerli hocam Dr.Ozan ÇOBAN'a teşekkür ederim.

Lisans eğitimimde beni yönlendiren değerli hocam Doç. Dr. Davut LAÇİN'e çok teşekkür ederim.

Yapıchem Kimya Sanayi A.Ş. firmasına araştırma, teknik analizler ve tezimin ilerlemesinde verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim.

Değerli tecrübeleri ve önerileri ile bana her zaman yardımcı olan Yönetim Kurulu Başkanı'mız Fatih ARICAN'a, Genel Müdür'ümüz Pınar ARICAN'a, Genel Müdür Yardımcı'mız Serap ARICAN'a, Teknik Müdür'ümüz Bülent KARKA ve Beton-Çimento Laboratuvar Müdürü'müz Serkan ORTAKCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım boyunca gösterdiği sabır ve anlayışından ötürü sevgili eşim Abdullah SENCER'e ve motivasyonumu arttıran canım kızım Zeynep Ezgi SENCER'e teşekkür ederim.

Ocak 2024

Fatma ER SENCER

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışma Konusu	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
2. BETON SİSTEMLERİ TANIMI	3
2.1 Betonun Temel Özellikleri.....	4
2.1.1 Dayanıklılık	4
2.1.2 Yangın dayanıklılığı.....	4
2.1.3 İşlenebilirlik.....	4
2.1.4 Su geçirmezlik	4
2.1.5 Hacim stabilitesi	4
2.1.6 Çevre dostu.....	4
2.2 Beton Kullanım Alanları.....	5
2.2.1 Yapı inşaatı.....	5
2.2.2 Ulaşım altyapısı	5
2.2.3 Deniz yapıları	5
2.2.4 Alt Yapı projeleri	5
2.2.5 Sanayi yapılar	5
2.3 Çimento.....	5
2.4 Agregası.....	6
2.5 Su.....	7
2.6 Beton Sistemlerinin Dayanımına Etki Eden Faktörler	7
2.6.1 Çimento ile ilgili faktörler	9
2.6.2 Su miktarı ile ilgili faktörler	9
2.6.3 Beton kompasitesi.....	10
2.6.4 Dış etkiler	10
3. KİMYASAL KATKI MADDELERİ	11
3.1 Betonda Kullanılan Kimyasal Katkı Maddeleri	11
3.1.1 Akışkanlaştırıcılar	11
3.1.2 Su geçirmezlik sağlayıcı katkılar	11
3.1.3 Priz geciktirici katkılar	11
3.1.4 Priz hızlandırıcı katkılar	12
3.1.5 Hava sürükleyici katkılar	12
3.1.6 Püskürtme beton katkıları.....	12
3.2 Mineral Katkılar	12

3.2.1 Yüksek fırın cürufu	13
3.2.2 Uçucu kül	13
3.2.3 Silis dumanı	13
3.3 Akışkanlaştırıcı Katkı Malzemeleri.....	13
3.3.1 Akışkanlaştırıcılar	13
3.3.2 Akışkanlaştırıcıların etki mekanizması	14
3.3.3 Akışkanlaştırıcı türleri.....	14
3.3.3.1 Normal akışkanlaştırıcı.....	15
3.3.3.2 Süper akışkanlaştırıcı.....	15
3.3.3.3 Hiper akışkanlaştırıcı.....	15
3.3.3.4 Orta akışkanlaştırıcı.....	16
3.3.3.5 Geciktiricili süper akışkanlaştırıcı.....	16
4. BETON SİSTEMLERİ HASAR OLUŞUMLARI VE MEKANİZMALARI .17	
4.1 Beton Çatlakları.....	19
4.1.1 Betonda rötre oluşması.....	20
4.1.1.1 Taze beton çatlakları.....	20
4.1.1.2 Plastik büzülme (rötre) çatlakları	21
4.1.1.3 Plastik oturma çatlakları	22
4.1.1.4 Kalıp ve zemin hareketleri.....	22
4.1.1.5 Sertleşmiş beton çatlakları	22
4.1.1.6 Taze ve sertleşmiş betonda görülen çatlak tipleri	23
4.2 Betonun Fiziksel Etkenlerle Hasarlanması	24
4.2.1 Donma-çözünme.....	24
4.2.2 Buz çözücü tuzların etkileri.....	25
4.2.3 Yüksek sıcaklık ve yangın etkisi	25
4.2.3.1 Sıcaklığın artışının beton üzerindeki etkileri	25
5. BETONUN KİMYASAL NEDENLERLE BOZULMASI27	
5.1 Beton Sistemlerinde Korozyon	28
5.1.1 Deniz ortamında beton sistemleri	29
5.1.2 Ortam şartlarına ilişkin alınacak önlemler	29
5.2 Hasar Mekanizmasında Korozyon Genel Bilgilendirme.....	30
5.2.1 Yorulmalı (Fatigue) Korozyon	32
5.2.2 Gerilmeli korozyon	33
5.2.3 Fatigue (yorulma hasarı)	35
6. LİTERATÜR TARAMASI.....37	
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR49	
7.1 Deneyin Amacı ve İçeriği	49
7.2 Birinci Grup Deneyler	49
7.3 İkinci Grup Deneyler	52
8. SONUÇ VE ÖNERİLER57	
8.1 Sonuç	57
8.2 Öneriler	58
KAYNAKÇA.....59	
ÖZGEÇMİŞ61	

KISALTMALAR

C	: Concrete
CEM I	: Cement I
HIC	: Hydrogen Induced Cracking
LPR	: Linear Polarisation Resistance
PCE	: Polikarboksilat Eter
PÇ	: Portland Çimento
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü

Simgeler

°	: Derece
°C	: Santigrat Derece
Ca(OH)₂	: Kalsiyum Hidroksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
Cl	: Klor
CSH	: Calcium Silicates Hydrates
Fe	: Demir
Fe(OH)₃	: Iron(III) hydroxide
kg/m³	: Kilogram/cubic meter
m/sec	: metre/saniye
MgO	: Magnezyum Oksit
MPa	: Megapascal
N/mm²	: Newton/milimetre kare
NaCl	: Sodyum Klorür
OH⁻	: Hidroksit
SiO₂	: Silisyum Dioksit
SO₄	: Sülfat
μ	: Mikron

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: TS-EN 206-1' e Göre Normal ve Ağır Beton Basma Dayanım Sınıfları	8
Çizelge 2.2: Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler	9
Çizelge 4.1: Taze ve Sertleşmiş Betonda Görülen Çatlak Tipleri	23
Çizelge 5.1: Nem Seviyesine Göre Bozulması	30
Çizelge 5.2: Görünüşüne Göre Korozyon Türlerinin Şematik Gösterimleri ve Örnekleri	36
Çizelge 6.1: Beton Karışım Tasarımı	39
Çizelge 6.2: Katkılı ve Katkısız Numunelerde Ortalama Kılcal Geçirimlilik Katsayıları [$g/(m^2 \times s)$]	46
Çizelge 7.1: Beton Kimyasallarının Betonun Mekanik Dayanımına Etkisi	49
Çizelge 7.2: Beton Kimyasallarının Betonun Mekanik Dayanımına Etkisi	52
Çizelge 7.3: Yüksek Oranda Su Azaltıcı/Süper Akışkanlaştırıcı Katkılar İçin Özellikler (Eşit Kıvamda)	56

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Beton Bileşenleri	3
Şekil 2.2: Çimento Üretimi	6
Şekil 4.1: Beton veya Betonarme Yapıların İç ve Dış Etkenlerle Bozulması	19
Şekil 4.2: Çatlaktaki Çekme Gerilmeleri	20
Şekil 4.3: Plastik Rötire Çatlakları	21
Şekil 4.4: Plastik Rötire Çatlakları	21
Şekil 4.5: Plastik oturma çatlakları	22
Şekil 4.6: Taze ve Sertleşmiş Betonda Görülen Çatlak Tipleri	23
Şekil 5.1: Betonda Korozyon	30
Şekil 5.2: Betonda Korozyon	31
Şekil 5.3: Korozyonun İlerlemesi	32
Şekil 5.4: Korozyon Fatigue	33
Şekil 5.5: Gerilmeli Korozyon Çatlak Başlangıcı	33
Şekil 5.6: Gerilimli Korozyon Çatlama ve Korozyonlu Yorulma Mikroskop Altında Görülebilen Korozyon Çeşitleri	34
Şekil 6.1: Su/Çimento Oranının Basma Dayanımına Etkisi, Mukavemet ve Geçirgenlik	37
Şekil 6.2: Üretim ve Test	39
Şekil 6.3: Betonun İçerisine Konulan İnşaat Çelik Çubukları	39
Şekil 6.4: Elektrokimyasal Hücrenin Şeması	40
Şekil 6.5: Numunelerin LPR Test Sonuçları	40
Şekil 6.6: a) Korozyon Potansiyeli b) Korozyon Akımı Yoğunluğu c) Polarizasyon Direnci	40
Şekil 6.7: Korozyon Sebebiyle Oluşan Malzeme Kaybı Hasarı ve Paslanmış Çelik ..	41
Şekil 6.8: Pasın Betonu Zorlayarak Pullanma Korozyonuna Sebep Olması	41
Şekil 6.9: Merdiven Altındaki Betonda Korozyon Nedeniyle Pas Oluşumu	42
Şekil 6.10: (a) Basma Dayanımı Testi; (b) Gerilme Mukavemet Testi; c) Deney Sonrası Numune Görselleri	43
Şekil 6.11: Ortalama Basma Dayanımı Değerleri İle Ortalama Çekme Dayanımı Değerleri Arasındaki İlişki	43
Şekil 6.12: Kolonlarda Meydana Gelen Hasarlar	44
Şekil 6.13: Sırasıyla, Hasarlı Kolon, Askıya Alma İşlemi ve Hasarlı Bölgenin Çıkartılması	44
Şekil 6.14: Kolonlarda Hasarlı Bölgenin Çıkartılması	45
Şekil 6.15: Hasarlı Olan Bölgelerde Beton Kalıbı ve Beton Yerleştirilmesi	45
Şekil 6.16: (a) Kontrollü Çatlak Oluşturulması (b) Çatlak Ölçümü	46
Şekil 6.17: 23 °C'de Havada Kür Edilmiş Numuneler	46
Şekil 6.18: (a) Basma Dayanımı Değerleri (b) Basma Dayanımı Değerleri İlişkisi 7 Gün-28 Gün	47
Şekil 7.1: 1-3-7-28 Günlük Basma Dayanımlarını Gösterir Grafik	50

Şekil 7.2: 1-3-7-28 Günlük Basma Dayanımlarını Gösterir Grafik	51
Şekil 7.3: 1-3-7-28 Günlük Basma Dayanımlarını Gösterir Grafik	53
Şekil 7.4: 1-3-7-28 Günlük Basma Dayanımlarını Gösterir Grafik	54



KİMYASAL KATKILARIN BETON SİSTEMLERİNİN DAYANIMINA ETKİSİ, HASAR OLUŞUM VE MEKANİZMASININ İNCELENMESİ

ÖZET

Beton, dayanıklılık ve mukavemet özellikleri nedeniyle, yapı sektöründe oldukça fazla kullanılan bir malzemedir. Betonun dayanıklılığını arttırmak ve betona özel özellikler eklemek amacıyla çeşitli kimyasal katkılar kullanılmaktadır. Bu kimyasal katkılar, betonun mekanik özelliklerini iyileştirebilir, işlenebilirliğini arttırabilir ve çeşitli performans özelliklerini optimize edebilir. Kimyasal katkıların beton sistemlerinin dayanımına etkisi, hasar oluşumu ve mekanizması çeşitli örneklerle detaylandırılmıştır.

Kimyasal katkılar; su azaltıcılar, çimento katkıları (uçucu kül, silis dumanı gibi), akışkanlaştırıcılar, hava sürükleyiciler, soğuk hava şartlarına karşılık dayanımı arttırıcılar olarak kullanılabilir. Bu katkılar, betonun işlenebilirliğini, mukavemetini, sünekliliğini, donma-çözülme dayanımını ve kimyasal dayanımını etkileyebilir. Bazı kimyasal katkılar, betonun erken dayanımını ve uzun vadeli dayanımını arttırabilir. Ancak, aşırı dozaj ve uyumsuz katkı kullanımı, betonun dayanımını olumsuz etkileyebilir. Beton sistemlerinin hasar oluşumu ve mekanizması incelendiğinde, kimyasal katkıların çatlak oluşumunu etkileyebileceği görülmüş olup, özellikle aşırı dozaj, çatlaklara neden olabilir. Bazı kimyasal katkılar ile, betonun kimyasal dayanımını arttırarak, betonun kimyasal aşınmaya karşı direncini arttırabilir. Çevresel faktörler kapsamında; sıcaklık ve nem koşulları, betonun dayanımını ve hasar mekanizmasını etkileyebilir. Betonda kullanılacak kimyasal katkıların kullanımına ilişkin standartlar uygun dozaj ve uygulama koşulunu belirlemektedir.

Kimyasal katkılı ve katkısız beton numuneleri üretilmiş ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek, 1,3,7 ve 28 günlük basma dayanım test sonuçlarının karşılaştırması yapılmıştır.

Sonuç olarak, kimyasal katkıların beton sistemlerinin dayanımına etkisi, geniş kapsamlı bir araştırma ve mühendislik değerlendirmesi gerektiren önemli bir konudur. Bu çalışmalara özel bir aksiyon planı oluşturmak için malzeme mühendisleri, yapı mühendisleri ve araştırmacılar, betonun performansını optimize etmek ve uzun vadeli dayanıklılığı sağlamak amacıyla bu konuda sürekli olarak çalışmaktadırlar.

Anahtar Kelimeler: *Beton sistemleri, Beton kimyasal katkıları, Hasar oluşumları ve mekanizması*

THE EFFECT OF CHEMICAL ADDITIVES ON THE STRENGTH OF CONCRETE SYSTEMS, INVESTIGATION OF FAILURE OCCURRENCE AND PROPAGATION MECHANISM

ABSTRACT

Concrete is a widely used material in the construction industry due to its durability and strength properties. Various chemical additives are used to increase the durability of concrete and add special properties to concrete. These chemical additives can improve the mechanical properties of concrete, increase its workability, and optimize various performance properties. The effect of chemical additives on the strength of concrete systems, damage formation and mechanism are detailed with various examples.

Chemical additives; it can be used as water reducers, cement additives (such as fly ash, silica fume), plasticizers, air entrainers, and strength enhancers against cold weather conditions. These additives can affect the workability, strength, ductility, freeze-thaw resistance and chemical resistance of concrete. Some chemical additives can increase the early strength and long-term strength of concrete. However, excessive dosage and use of incompatible additives may negatively affect the strength of concrete. When the damage formation and mechanism of concrete systems are examined, it has been seen that chemical additives can affect crack formation, and especially overdosage can cause cracks. With some chemical additives, it can increase the resistance of concrete to chemical abrasion by increasing the chemical resistance of concrete. Within the scope of environmental factors; temperature and humidity conditions can affect the strength and damage mechanism of concrete. Standards regarding the use of chemical additives to be used in concrete determine the appropriate dosage and application conditions.

Concrete samples with and without chemical additives were produced and experimental studies were carried out and 1, 3, 7 and 28-day compressive strength test results were compared.

As a result, the effect of chemical admixtures on the strength of concrete systems is an important issue that requires comprehensive research and engineering evaluation. In order to create a specific action plan for these studies, material engineers, structural engineers and researchers are constantly working on this issue to optimize the performance of concrete and ensure long-term durability.

Key Words: *Concrete systems, Concrete Chemical Additives, Investigation of Failure Occurrence, Failure Propagation Mechanism*

1. GİRİŞ

1.1 Çalışma Konusu

Beton sistemlerinde oluşan hasar, önemli bir problemdir. Bu problemin çözümü adına, kimyasal katkıların beton sistemlerinde mekanik özelliklerinin araştırılması, dayanımının etkisinin tespiti, hasar oluşum ve mekanizmalarının incelenmesi ana hedeftir.

Genel olarak beton sistemlerinin tanımı, kimyasal katkıların mekanik olarak etkisinin araştırılması, hasarın başlaması, ilerlemesinin tespit edilmesi, deneysel çalışmaların yapılması, deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve sonuçlar olmak üzere çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında; değişik kimyasal katkıların kullanıldığı betonların kendi içlerinde karşılaştırmaların yapılması, katkı malzemelerinin olmadığı sistemlerle karşılaştırılması, basma dayanımlarının tespit edilmesi üzerine çalışma planlanmıştır.

Gerilme, şekil değiştirme, kırılma, çekme, basma, eğilme dayanımlarının çalışılması, mukavemetin belirlenmesi (çekme mukavemeti, basma mukavemeti), beton numunelerinin bu veriler ışığında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Hasarın beton sisteminde tanımı, hasar aşamaları, oluşabilecek hasar çeşitleri, kırılma, çatlak ilerleme mekanizmasının izlenmesi, kırılma mekaniği, çekme ve basma halinde yorulma ve çatlak ilerlemesinin tespiti, yorulma bölgeleri, yorulma hasarında kırık yüzey görünümü, oluşma sebepleri incelenmiştir.

Bilimsel araştırma yöntemleri kapsamında, nicel araştırma yöntemi üzerinde araştırma gerçekleştirilmiştir.

Değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri incelenmiştir. Deneysel modelleme ve nedensellik karşılaştırma modelleme üzerinde, ilgili beton numunelerindeki

kimyasal katkıların hasar sürecinin başlaması ve ilerlemesi üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın esas amacı, farklı kimyasal katkıları kullanarak, dayanımı arttırılmış beton numuneleri üretmek, bu numunelerin basma mukavemetleri ile kimyasal katkı kullanmadan üretilen beton numunelerinin basma mukavemetlerini karşılaştırmaktır. Bu çalışma ile, kimyasal katkıların, beton sistemlerinde endüstriyel olarak katkısı açıklanmış, akademik olarak da literatür taraması yapılmıştır.

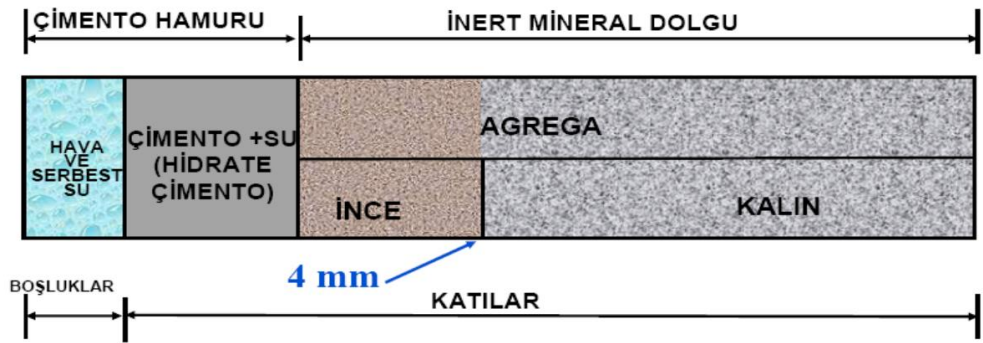


2. BETON SİSTEMLERİ TANIMI

Çimento, su, agrega ve katkı maddelerinin belirli miktarlarda iyi bir şekilde homojenleştirilerek beton oluşturulur. Öncesinde, plastik ya da akıcı kıvamda olup, şekil verilebilen ve zamanla katılaşp sertleşerek, dayanım kazanan bir yapı malzemesidir. Betonun hacminin 0,75 birim kadar agrega (kum, çakıl, mıcır), kalan 0,10 birimlik kısımda çimento, 0,15 birim oranında su oluşturur. Gerekğinde, çimento ağırlığının % 2- 3' ü oranında kimyasal katkı malzemesi de ilave edilebilir.

Çimento, su, agrega ve katkı maddeleri, betonun ana bileşenleri olarak belirtilebilir. Beton, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir malzeme olup, birçok farklı yapı tipinde kullanılabilir. Beton; katılaşma sürecinden sonra, mukavemet özellikleri iyice artmış bir şekilde, uzun ömürlü bir yapı malzemesi olabilir.

Beton sistemleri; çimento, su, ince ve iri agregadan oluşmaktadır. İnce agrega (kum), harcın içerisinde bulunmaktadır. Çimento hamuru ise, çimento ile suyun karışımından meydana gelmektedir. İyi bir beton tanımı yapılırken, ince olan tüm agregaların çimento hamuruyla, iri olan tüm agregaların ise, harç ile tam olarak özdeşleşmiş olması beklenmektedir. Betonun performansı, kimyasallar katkıları (priz geciktirici, geçirimsizlik sağlayıcı, akışkanlaştırıcı, antifrizler gibi) aracılığıyla iyileştirilebilmektedir.



Şekil 2.1: Beton Bileşenleri

Kaynak: (Beton ve Özellikleri, Aydın Sağlık)

2.1 Betonun Temel Özellikleri

Betonun, günümüzde tercih edilir taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanılmasına öncülük eden özellikleri şu şekildedir:

Betona şekil verilebilmesi, yüksek basma mukavemetlerinin yakalanılması, fiziksel ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığı, çelik donatı ile çekme mukavemetinin yetersizliğinin ayarlanabilmesidir.

2.1.1 Dayanıklılık

Beton, yüksek basma ve çekme mukavemetine sahip bir malzeme olup, bu özelliği sayesinde yapı elemanlarının taşıma kapasitesini arttırabilmektedir.

2.1.2 Yangın dayanıklılığı

Beton, yüksek sıcaklıklara karşı dirençli olup, yangın sırasında dayanıklılık sağlamaktadır.

2.1.3 İşlenebilirlik

Beton, sıvı haldeyken, istenilen şekillerde kalıplara dökülebilmekte ve bu özellik yapı elemanlarının üretimini kolaylaştırabilmektedir.

2.1.4 Su geçirmezlik

Üretimin doğru bir şekilde yapılması durumunda, beton su geçirmez özelliklere sahip olabilmektedir. Betonun su geçirmez olması durumunda, suyun yapı elemanlarına zarar vermesi önlenabilmektedir.

2.1.5 Hacim stabilitesi

Çevresel etmenlere maruz kalan beton, çoğunlukla hacim stabilitesi koruyabilmektedir.

2.1.6 Çevre dostu

Doğal kaynaklardan elde edilen malzemelerle beton yapılabilir ve geri dönüştürülebilmektedir.

2.2 Beton Kullanım Alanları

2.2.1 Yapı inşaatı

Beton, binaların temellerinden duvarlarına, kirişlerine kadar birçok yapı elemanında kullanılabilir. Beton, binaların temellerinden duvarlarına, kirişlerine kadar birçok yapı elemanında kullanılabilir.

2.2.2 Ulaşım altyapısı

Havalimanı, tünel, köprü ve yol gibi ulaşım yapıları beton kullanılarak inşa edilmektedir.

2.2.3 Deniz yapıları

Rıhtım, liman, deniz duvarları gibi deniz yapıları beton kullanılarak yapılabilmektedir.

2.2.4 Alt Yapı projeleri

Kanalizasyon sistemleri, enerji santralleri, su arıtma tesislerinde beton yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.5 Sanayi yapılar

Betonun dayanıklılığı ve mekanik özellikleri, fabrikalar, depolar ve endüstriyel tesislerde avantaj sağlamaktadır.

2.3 Çimento

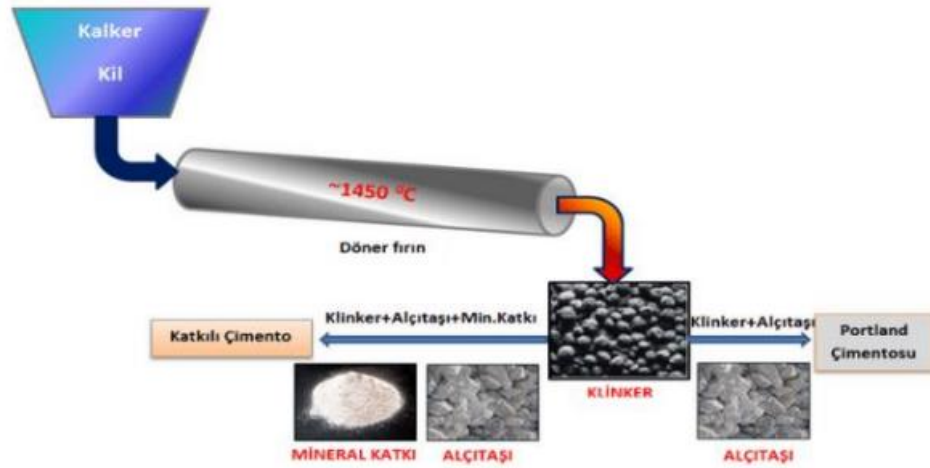
Çimento; doğal kalker taşları ve killerin yüksek sıcaklıkta ısıtılması ve öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bir bağlayıcı özellikleri bulunan, inorganik bir malzemedir. Ana maddeleri, kalker ve kil olup, kum, çakıl, vs. parçaları birbirine yapıştırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Çimento, suyla reaksiyona girdikten sonra sertleşerek bağlayıcılık görevini üstlenmektedir. Katılma süreci boyunca, kimyasal katkı kullanılması durumunda, donma süreci geciktirilebilir.

Beton sistemlerinde, hacimsel olarak değerlendirildiğinde çimento en küçük orana sahip bileşen olsa da, en önemli bileşen olması durumunu değiştirmemektedir.

Portland çimento ve sülfata dayanıklı çimento, en fazla tercih edilen çimento türüdür. Kullanım amaçlarına bağlı olarak, beyaz portland çimentosu ve diğer çeşit çimentolar tercih sebebi olabilmektedir.

Normal betonda agrega taneleri en sağlam unsur olduğundan diğer iki unsur (çimento hamuru ve aderans) mukavemeti belirlemektedir. Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento oranına bağlıdır (Dedeoğlu, 2010).



Şekil 2.2: Çimento Üretimi

Kaynak: (Bingöl Üniversitesi, Ders Notu)

2.4 Agregata

Betonun bileşenleri içerisinde yer alan Agregata; kum ve çakıl karışımı olup, su ve çimentoyla karıştırılması neticesinde beton elde edilmektedir. Oransal olarak beton içerisinde, % 60-75 arasında agregalar yer almakta olup, kendi içerisinde ince (4 mm'den küçük) ve iri agregalar (4 mm'den büyük) olarak sınıflandırılmaktadır.

Agregaların, basınca ve aşınmaya karşı mukavemetlerinin yüksek olması, çimentoyla zararlı tepkimeye yol açabilecek agreganın kirli (kil, toz, vb.) olmaması, agregaların taneciklerinin yassı ve uzun olmayanlardan seçilmesi, betona zarar verebilecek toz, toprak gibi unsurların agregalarda olmadığından emin olunması, agregaların taneciklerinin güçlü olanların kullanılması, odun, kömür vs. zayıf parçacıkların agrega bünyesinde yer almaması gibi unsurlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu özelliklere ek olarak, betonun dayanıklılık derecesini etkileyen diğer unsurlar ise, agregaların elastiklik modülü, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, mineral yapısı, termin genişleme katsayısıdır.

Çimento hamuru, zaman içerisinde kurumması neticesinde büzüşen bir malzeme iken, agrega bu büzüşmeden kaynaklı meydana gelebilecek hacimsel farklılığa engel olmaktadır. Bu şekilde, olası çatlakların önüne geçilmektedir.

2.5 Su

Betonun diğer bir bileşenleri arasında bir de su bulunmaktadır. Betonun kıvamı, su miktarına bağlıdır. Betonun dayanıklılığının belirlenmesinde, en önemli kısım; su/çimento oranıdır. İlgili betonun inşaat alanına ulaştırılmadan önce, kıvamının artırılması amacıyla mevcuttan daha fazla oranda su koyulması, betonun mukavemetini son derece negatif bir şekilde etkilenmesine sebebiyet vermektedir. İdeal olan su miktarı, çimento miktarının %25'i kadardır. Betonun dayanıklılık performansının pozitif olarak değerlendirilmesi, bu konu oldukça önem arz etmektedir.

Betonda kullanılacak karışım sularının içerisinde tuz, asit, atık gibi bazı maddelerin olmadığı kontrol edilmesi gerekmektedir. Çünkü, betonda bu maddelerin olması, istenmeyen sonuçlara sebep olabilmektedir. Karışım suyunun kaliteli olması, betonun priz süresini etkilemekte, korozyona karşı korunmasını sağlamaktadır. Beton içerisinde suyun çimentoyla reaksiyona girmeyen kısımlarda boşluklar oluşabilmekte, beton sisteminin dayanımını olumsuz etkilemekte, klorür gibi zararlı etkenlerin boşluklara girmesine neden olabilecektir. Bu da, betonun hasarlanma sürecini başlatacaktır.

2.6 Beton Sistemlerinin Dayanımına Etki Eden Faktörler

Betonun; sertleşmesi sonrasında üzerine gelen yüklerden kaynaklı şekil deformasyonları ve kırılmaya karşılık olarak gösterdiği en yüksek dirence; basma dayanımı olarak adlandırılmaktadır. Bir diğer deyişle, basma dayanımı malzemenin eksen yönünde basınç yükü etkisinde kalan betonun yapısında en yüksek gerilmedir. Betonda maydan gelen yük miktarının neden olabileceği kırılmalara ve şekil olarak değişikliklere karşı gösterdiği mukavemettir.

Basma dayanımları dikkate alınarak, normal ve yüksek dayanımlı olarak, betonlar ikiye ayrılmaktadır. Yüksek dayanımlı betonlar; C40 ve üzerinde yer almakta olup, köprü ve yüksek katlı binalarda kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1: TS-EN 206-1' e Göre Normal ve Ağır Beton Basma Dayanım Sınıfları

BASINÇ SINIFI	DAYANIMI	EN DÜŞÜK KARAKTERİSTİK SİLİNDİR DAYANIMI f_{ck} , N/mm ²	KARAKTERİSTİK DAYANIMI f_{td}	EN DÜŞÜK KARAKTERİSTİK SİLİNDİR DAYANIMI f_{ck} , N/mm ²	KARAKTERİSTİK DAYANIMI f_{td}
C 8/10		8		10	
C 12/15		12		15	
C 16/20		16		20	
C 20/25		20		25	
C 25/30		25		30	
C 30/37		30		37	
C 35/45		35		45	
C 40/50		40		50	
C 45/55		45		55	
C 50/60		50		60	
C 55/67		55		67	
C 60/75		60		75	
C 70/85		70		85	
C 80/95		80		95	
C 90/105		90		105	
C 100/115		100		115	

Kaynak: (www.cimsa.com.tr)

Düşük dayanımlı bir betonda, su geçirimsizliği fazla olmakla birlikte, betondaki su/çimento oranı, betonun yaşı, sıcaklığı, kullanılan çimentonun tazeliği, betondaki karışım suyunun nitelikleri, agreganın temizliği de betonun dayanımını doğrudan etkileyebilmektedir.

Betonun dayanıklılık gösterebilmesi için, agreganın kil içerip içermediği, termik genleşme katsayısı, elastisite modülü, yüzey yapı pürüzlülüğü gibi faktörlerin de göz önüne alınması gerekmektedir.

Betonun gevrek bir malzeme olduğu düşünüldüğünde, mukavemet değerleri arasında en yüksek olan değere sahip olan basınç olup, en düşük olanı ise çekmedir. %8 ile %14 arasında birbirinin oranı değişmektedir. Betonun sadece basınca çalıştırılmasının sebebi, betonun çekme gerilmesi almadığı ve çatladığı düşünülmektedir.

Basma dayanımı betonun tüm pozitif nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir beton doludur (kompasitesi yüksek), serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanır, aşınmaz, şu halde basma dayanımını saptamakla betonun niteliği hakkında global bir değerlendirme yapılabilir (Akman, 1987)

Dökümü yapılan beton, gün geçtikçe dayanımı artan bir malzemedir. İlk gün; dayanımının %16'sını kazanırken, 7.günde %40'ını ve 28.günde ise %99'unu kazanmaktadır. Sonrasında; belirgin bir artış gözlenmemektedir.

Çizelge 2.2: Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler

Agrega	Çimento	Su	Çevre Şartları	Betonun Kompozitesi	Üretim, Döküm, Bakım Şartları
Tane Dağılımı (Granülometrisi)	İncelik (90 -6.5 µ)	Su / çimento oranı	Karbonatlaşma	İyi yerleştirme (vibrasyon)	Karışım malzemelerin ölçümü
Yüzey Pürüzlülüğü	Depolama şartları (nemlenmemeli)	Suyun kalitesi ve uygunluğu	Tuz etkisi (deniz suyu ve deniz kumu)	Agrega şekli,su miktarı ve kil oranı	Betonyerde karıştırma taşıma
Tane Şekli (Kübik)	Ç. Türü (Beyaz portland çimento, harç çimentosu,kalsiyum aluminatlı çimento.)		Sülfat etkisi	Akışkanlaştırıcı ve geçimsizlik katkı ilavesi	Kalıba yerleştirme ve sıkılama
Taş yapısı (minerolojik ve petrografik yapı)	Normal dayanımı (kalitesi), (PÇ 32.5 – PÇ 42.5)		Doğal afetler (yangın etkisi, deprem vs.)		Bakım ve koruma (su veya buhar kürtü)
Yabancı ve ince madde içeriği (temizliği)	Dozaj				
	Mineraller				

Kaynak: (<https://insapedia.com/beton-basinc-dayanimlari-ve-dayanimlari-etkileyen-faktorler/>)

2.6.1 Çimento ile ilgili faktörler

Çimentonun türü ve miktarı, basma mukavemetini etkilemektedir. PÇ 42,5 ile üretilen beton, PÇ 32,5 ile üretilenden daha dayanımlı olacaktır. Dozajı yüksek olunca, mukavemet artmaktadır ancak çimento/su oranı da dayanımı etkileyen faktörlerdenir.

2.6.2 Su miktarı ile ilgili faktörler

Beton üretiminde yer alan yoğuşma suyu, bağlayıcı maddenin hidrasyonunu sağlayarak, agregaları ıslatıp betonun işlenmesinde görev almaktadır.

Suyun miktarının çok veya az olması, mukavemeti yüksek oranda azaltmaktadır. Hidrasyon için gerekli olan su, çimento ağırlığının %14 kadarı olmalıdır.

Betonun basma dayanımını etkileyen çok fazla etken bulunmaktadır. En önemlisi, su ve çimento oranıdır.

Su ve çimento oranı düşük olduğunda, betonun yerleşmemesinden kaynaklı oluşacak boşluklardan kaynaklı, mukavemet düşmektedir. Örnek vermek gerekirse, 1 birim suyun fazla konmasından ötürü, betonun dayanımı a birim kadar düşüyorsa, aynı 1 birim kadar eksik su konulduğunda ise, dayanımın düşmesi 2a birimlere ulaşabilmektedir.

2.6.3 Beton kompasitesi

1m³ taze betondaki agrega ve çimentonun kütleli hacim toplamına beton kompasitesi denir. %80'in üzerinde olması durumunda, iyi bir beton olarak tanımlama yapılabilir. Betonun kompasitesi yüksek olunca, basma dayanımı da yüksek olmaktadır.

2.6.4 Dış etkiler

Betonun sertleşmesi sürecinde, çevre koşullarının etkisi oldukça fazladır. Kür edilmiş betonun dayanımı iyi olup, kür koşullarının içerisinde de sıcaklık ve nem yer almaktadır.

Betondaki mukavemet artışının hızı, nem miktarının yüksek tutulmasına, sıcaklığın 80-90°C'lere dek arttırılması ile sağlanabilmektedir. Buhar kürü olarak da isimlendirilen bu ısı işlemi ile, basma dayanımı birkaç gün içerisinde olması gereken değere ulaşabilmektedir.

3. KİMYASAL KATKI MADDELERİ

3.1 Betonda Kullanılan Kimyasal Katkı Maddeleri

Betona ilişkin herhangi bir özelliği, olumlu bir şekilde değiştirmek için, su, agrega, çimento ve mineral katkılarından farklı olarak betona dahil edilen kimyasal katkıları konulduğunda, çimento ile etkileşim gösterebilmektedir. Bu şekilde, beton teknolojisine; kötü agregalarla iyi beton, geçirimsizlik, hafiflik, dayanıklılık, dayanım, priz (katılaşma), tutunum, kıvam gibi katkı sağlamaktadır.

3.1.1 Akışkanlaştırıcılar

Su ihtiyacını azaltarak, basma mukavemetini arttırarak, dolu bir beton elde edilmesi sağlanmış olur. Dış etkilere karşı dayanımı, geçirimsizlik artmış olacaktır. Bu katkıyı kullanarak, dar olan kesitlere daha rahat beton dökülebilmektedir. Bu katkının kullanılması ile, betonun sertleşmesi ile birlikte daha az geçirimsizlik, boşlukları az olan iyi bir görünüm kazanılmaktadır. Bu katkının kullanılması ile birlikte, çökme oluşabilir, rötre artabilir, prizde gecikme yaşanabilmektedir.

3.1.2 Su geçirmezlik sağlayıcı katkıları

Betonun yüzeyinden iç kısmına suyun geçişini düşürmek ya da betonun içerisinde yer alan boşlukların sayısını azaltarak geçirimsizlik sağlanmaktadır. Buradaki esas amaç, su geçirmeyen bir betona sahip olmaktır. Binaların temellerinde, çatıların betonlarında, baraj, tünel, su deposu gibi beton yapılarında su geçirimsizlik sağlanabilmektedir.

3.1.3 Priz geciktirici katkıları

Priz geciktirici katkıları, hava şartlarının sıcak olduğu yerlerde tercih edilmektedir. Su ve çimento arasında oluşan hidrasyonu engelleyerek, priz daha ileri bir zamana ötelenmiş olunur. Betonun uzak mesafelere götürülmesini sağlarken, soğuk derz oluşmasını önlemekte kullanılmaktadır.

3.1.4 Priz hızlandırıcı katkıları

Hava koşullarının soğuk olması durumunda, betonun prizini hızlandırarak, erken dayanımının artmasını sağlayan katkıları priz hızlandırıcı beton katkılarıdır. Priz süreleri kısaltılarak, hızlı şekilde basma ve çekme mukavemetlerini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Soğuk hava şartlarında, betonun don etkisinden koruyabilmek için tercih edilmektedir.

3.1.5 Hava sürükleyici katkıları

Beton içerisinde yer aldığı anda, hava kabarcıklarını sürükleyerek, betonun sertleşmesi neticesinde, aynı şekilde kalmalarını sağlamaktadır. Betonun, buz çözücü bileşenlerine karşı direncinin artmasıyla birlikte, nem, donma-çözülme gibi durumlarda betonun durabilitesini arttırmaktadır.

Özellikle baraj kütle betonlarında, havalimanları ve pist betonlarında tercih edilen bu katkıları, beton içerisindeki hava miktarının oranının %6'yı geçmediğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Geçmesi durumunda, beton mukavemet değerinde düşüş tespit edilecektir.

3.1.6 Püskürtme beton katkıları

Püskürtme beton; yüksek hava basıncı ile bir yüzeye püskürtülmesiyle betonun sıkışmasıyla oluşmaktadır.

Püskürtme beton, betonun yerleştirilme ve sıkıştırmasının zorlu olduğu noktalarda, ince bir tabaka şeklinde kullanılabilir.

Ani priz hızlandırıcı katkıların, püskürtme betonlarında tercih edilmesinin sebebi, dikey ve tavan kısımda uygulanabilirliğini sağlamak, betonun alana yapışabilmesi için hızlı bir şekilde priz alması ve mukavemet elde edebilmesidir.

3.2 Mineral Katkıları

Yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı gibi farklı sanayi üretimlerin yan ürünü olan maddeler, mineral katkı olarak tanımlanır. Tek başına bağlayıcılık özelliği taşıyan çimento ile birlikte kullanılarak, çimentonun bu benzer işlevi mineral katkıları ile sağlanabilmektedir.

3.2.1 Yüksek fırın cürufu

Demir cevherinden, demir çelik üretimi esnasında kullanılan yüksek fırında oluşan atık malzemelerin bir karışımı olup, genellikle sıvı haldeki demirin yüzeyine çıkan katı atıkları içermektedir. Boyutu, 4 mm'nin altında kalan cürufların amorf yapısı kuvvetli olup, çimento üretiminde tercih edilebilmektedir.

3.2.2 Uçucu kül

Uçucu kül; çoğunlukla kömür yanması veya diğer yanma işlemleri sonucunda oluşan atık malzemenin bir çeşitidir. Beton üretiminde, uçucu kül beton katkısı olarak kullanılabilir, betonun işlenebilirliğini artırabilir ve dayanıklılığını arttırabilmektedir.

3.2.3 Silis dumanı

Silis dumanı, SiO₂ partiküllerinden oluşan ince bir toz veya duman grubudur. Yüksek sıcaklıkta silika içeren malzemelerin yanması veya işlenmesi esnasında, bu partiküller ortaya çıkmaktadır.

Silis dumanı, çok yüksek dayanımlı betonların üretim sürecinde kullanılmakla birlikte, malzemenin boyutunun çok küçük olmasından ötürü, betonun su gereksiniminin artmasıyla, süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile birlikte kullanılmaktadır.

3.3 Akışkanlaştırıcı Katkı Malzemeleri

3.3.1 Akışkanlaştırıcılar

Betonun işlenebilirliğini, akışkanlığını ve yerleştirilebilirliğini arttırmak için kullanılan akışkanlaştırıcılar, betonun daha etkili bir şekilde karıştırılmasını sağlamak için kullanılmaktadır.

Uygulama sürecinde; katkı konulmayan şahit betonla aynı işlenebilmeyi sağlayarak, su/çimento oranını düşürmek, daha büyük bir mukavemet elde etmek amaçlardan birisidir. Diğeri ise, çok dar, ulaşılması zor yerlere kolayca yerleşmeyi sağlayabilmek için işlenebilirliği arttırabilmektir.

3.3.2 Akışkanlaştırıcıların etki mekanizması

Akışkanlaştırıcılar; betonun işlenebilirliğini, akışkanlığını ve yerleştirilebilirliğini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu katkıların etki mekanizması, betonun içerisinde yer alan kimyasal ve fiziksel süreçleri kapsamaktadır.

Akışkanlaştırıcılar, su moleküllerinin beton agregalarının yüzeyine daha iyi yapışmasını engelleyerek yüzey gerilimini azaltmaktadır. Bu etki sayesinde, beton içindeki parçacıklar birbirleriyle daha az dirençle kayabilir ve işlenebilirlik ile birlikte akışkanlık artmaktadır.

Akışkanlaştırıcılar, çimento taneciklerinin birbirine yapışmasını azaltarak, partikül dispersiyonunu arttırmaktadır. Bu da betonun içindeki malzemelerin daha homojen bir şekilde dağılmasına ve daha etkili bir şekilde işlenebilmesine imkan sağlamaktadır.

Akışkanlaştırıcılar, çimentonun hidrasyon sürecini iyileştirerek betonun daha hızlı priz almasına ve dayanıklılığının artmasını sağlamaktadır.

Mevcut işlenebilirlik seviyesini sağlayabilmek için, betona eklenecek su miktarını azaltabilmektedir. Bu, betonun su-çimento oranını düşürerek, dayanıklılığı ve mukavemeti arttırabilmektedir.

Bazı akışkanlaştırıcılar, betonun içerisinde yer alan hava miktarını yöneterek, donma-çözülme direncini arttırabilmektedir. Soğuk hava koşullarında, betonun mevcut performansını iyileştirmeye oldukça yardımcı olmaktadır.

Her bir projede, doğru akışkanlaştırıcı türünün ve dozajının belirlenmesi önem arz etmektedir.

3.3.3 Akışkanlaştırıcı türleri

En önemli akışkanlaştırıcı çeşitleri aşağıdaki gibidir:

1. Normal akışkanlaştırıcılar
2. Süper akışkanlaştırıcılar
3. Hiper akışkanlaştırıcılar

4. Orta akışkanlaştırıcılar
5. Geciktiricili süper akışkanlaştırıcılar

3.3.3.1 Normal akışkanlaştırıcı

Beton karışımlarına eklenen ve betonun işlenebilirliğini, akışkanlığını ve yerleştirilebilirliğini arttırmak için kullanılan belirli bir akışkanlaştırıcı çeşididir. Geleneksel veya standart akışkanlaştırıcıları ifade etmektedir. Temel özellikleri, betonun daha işlenebilir olmasını sağlaması, su-çimento oranını düşürerek betonun daha dayanıklı olmasını sağlaması, betonun homojenitesine yardımcı olmasıdır.

Prefabrik betonlarda, bina ve inşaat konstrüksiyonlarında, yüzeyin düzgün olması gereken yerlerde kullanılan normal akışkanlaştırıcılar kullanılabilmektedir.

3.3.3.2 Süper akışkanlaştırıcı

Süper akışkanlaştırıcılar, beton karışımlarına eklenen ve oldukça fazla akışkanlık sağlayabilen özel bir akışkanlaştırıcıdır.

Bu tür akışkanlaştırıcılar, genellikle polikarboksilat eter (PCE) bazlı kimyasal bileşikler içermektedir. Yüksek akışkanlık, düşük su-çimento oranları, uygulama kolaylığı sağlamaktadır.

Süper akışkanlaştırıcılardan, çok akıcı beton üretiminde faydalanılarak, işlenebilirliği arttırmaktadır. Su azaltıcı özelliğinden yararlanılarak yüksek mukavemet elde edilmektedir.

3.3.3.3 Hiper akışkanlaştırıcı

Beton karışımlarında, çok yüksek akışkanlık sağlayan özel bir akışkanlaştırıcı çeşitidir. Betonun çok düşük su-çimento oranlarıyla çalışmasına olanak tanıyarak yüksek dayanıklılık, yüksek mukavemet sağlamaktadır.

Genellikle, hiper akışkanlaştırıcılar polikarboksilat eter (PCE) olup, beton sistemlerinde oldukça tercih edilen bir türdür.

Hiper akışkanlaştırıcılar, betonun çok iyi akışkanlık göstermesini, betonun kendiliğinden yayılmasını kolaylaştırır. Su-çimento oranını düşürerek, betonun mukavemetini arttırmaktadır.

3.3.3.4 Orta akışkanlaştırıcı

Orta akışkanlaştırıcılar, beton karışımına eklenerek, orta seviyede akışkanlık sağlayan katkılardır. Bu durum, betonun daha iyi işlenebilir olmasını, daha homojen bir karışım elde edilmesini sağlamaktadır. Betonun kalıplara daha iyi yerleşmesine yardımcı olabilir.

Farklı iklim koşullarında, dozajı orta aralıkta çalışarak, betona akışkanlık getirmektedir.

3.3.3.5 Geciktiricili süper akışkanlaştırıcı

Hava şartlarının sıcak olması durumunda, su azaltan, akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici beton katkılarındandır. Segrasyonu önler, mukavemeti olumlu yönde etkiler.

4. BETON SİSTEMLERİ HASAR OLUŞUMLARI VE MEKANİZMALARI

Standartlara ve teknik şartnamelere göre üretimi gerçekleştirilmiş ve uygulamasının da bu şekilde yapılan betonun, uzun yıllar boyunca iyi bir performans göstermesi beklenmektedir. Bu bağlamda, betonun dayanımı, dayanıklılığı, servis süresi iç içe geçmiş kavramlar olup, yıllarca sürebilecek bu performansın alt yapısını oluşturmaktadır.

Yapıların betonları, oluşan ve oluşabilecek yükleri destekleyecek şekilde dizayn edilir. Ön gerilmeye bağlı olarak çatlak oluşumları oluşabilir. Hasarlanmanın ilk görüldüğü yerler, bu noktalar olup, dikkatli bir şekilde gerekli incelemelerin yapılması önem arz etmektedir.

Korozyon, alkali-silika reaksiyonları ve sülfat saldırıları ile beton sistemlerinin hasarlanmasına sebebiyet vermektedir.

Betonun dayanıklılığı, fiziksel ve kimyasal özelliklere, bulunduğu ortamın özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Örnek vermek gerekirse, depremde şiddetli şekilde sarsıntı geçirmiş beton, çok iyi bir şekilde sağlam kalmış olabilir. Ancak, aynı betonun, eşit şartlarda, sarsıntı görmemiş başka bir bölgedeki betonla karşılaştırma yapılır ise, hasara daha yatkın olacağı görülecektir. Bu esas olarak, maruz kalınan yüklerin değişmesinden kaynaklanmaktadır.

Kimyasal özellikler açısından bakıldığında, çimentonun hidratasyonu sonrasında çıkan parçacıkların miktarı ve özelliklerine bağlı olarak, çözünebilirlikleri, genleşebilirliklerine bağlı olarak dayanıklılık etkilenmektedir.

Beton sistemleri, beton ve çelik donatıdan oluşmakta olup, TS EN 1504-9'a göre hasarlanmaların sebepleri aşağıdaki gibidir:

Mekanik

- Aşınma, yorulma, darbe, aşırı yükleme, hareket (oturma gibi), patlama ve titreşim

Kimyasal

- Alkali-agrega reaksiyonu, zararlı maddeler (sülfatlar, tuzlar, yumuşak su gibi)
- Biyolojik etki

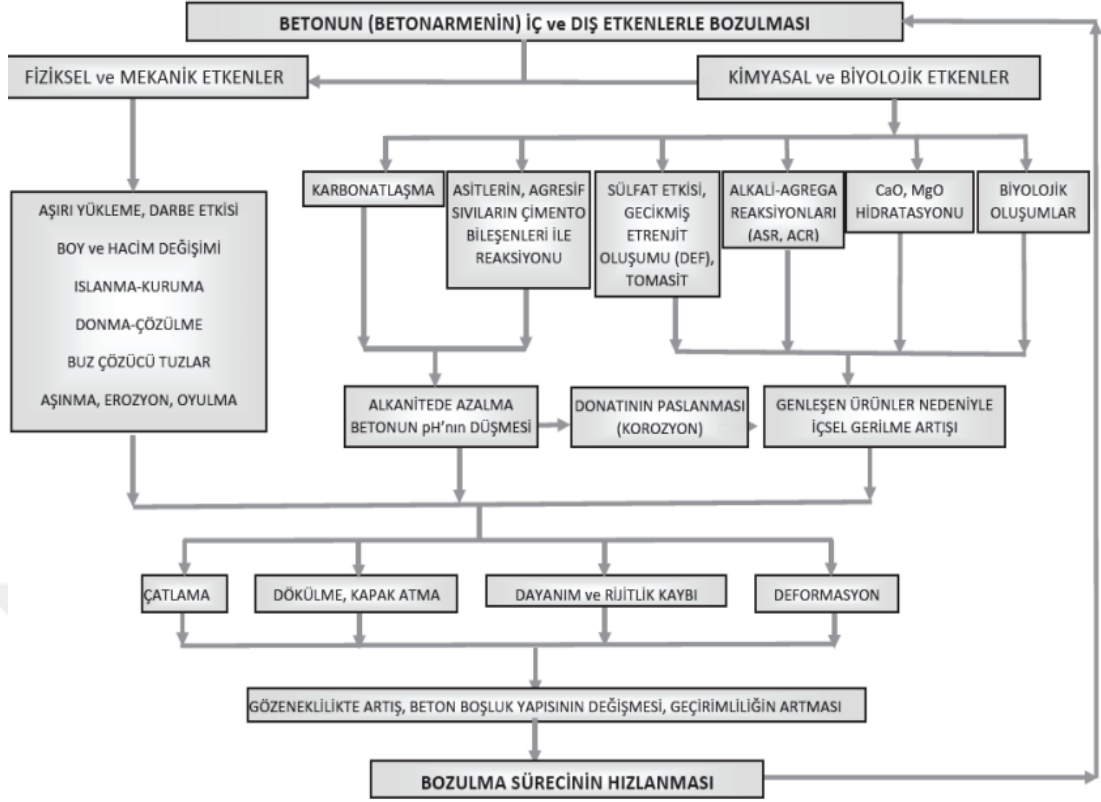
Fiziksel

- Donma-çözülme, ısı tesirleri, tuz kristalleşmesi, büzülme, malzeme kaybı, yıpranma

Yangın

Donatı Korozyonu

1. Karbonatlaşma
 - Bağlayıcı cinsi ve miktarı, su/bağlayıcı oranı, sıcaklık, nem, yağış, kür
2. Korozyon kirlenmeler
 - Deniz suyu, yollara serpilmiş tuz, beton bileşenlerinden gelen tuz, diğer kirlenmeler
3. Kaçak akımlar



Şekil 4.1: Beton veya Betonarme Yapıların İç ve Dış Etkenlerle Bozulması

Kaynak: (Baradan,B., Aydın, S. 2013)

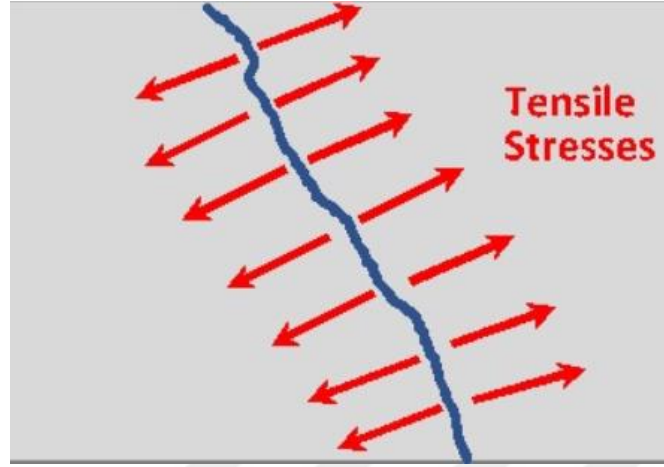
4.1 Beton Çatlakları

Betondaki hasarın etkileri, çatlaklar ile görülebilmektedir. Betonun yapısal bütünlüğünü etkileyen çatlakların, detaylı olarak altta yatan sebebi araştırılarak, onarılmasına yönelik çalışma yürütülebilir.

Sünek bir malzeme olmayan betonun, çatlamaına sebebiyet verecek ortak mekanizma gerilmedir. Çekme gerilmelerinin etkisi altında kalan beton, esneyemediğinden ötürü, betonun çekme kapasitesini aşarsa, çatlama yapar. Betonun içerisinde oluşan hareketlilik, içerisinde yer alan partiküllerin genleşme yapması ve dış etkiler, bu mekanizmayı zorlamaya sebeptir.

Bu durumun sebepleri araştırılırken, taze betonda plastik büzölmeler, plastik oturmalar, kalıp ve zemin hareketleri ile donma-çözünme gibi etmenler sayılabilir.

Sertleşmiş betonda ise, kimyasal, fiziksel, biyolojik nedenler, sıcaklık farklılıkları, büzülme olayları, aşırı yükleme, zemin problemleri, çatlak oluşumuna neden olabilmektedir.



Şekil 4.2: Çatlaktaki Çekme Gerilmeleri

Kaynak: (<https://www.thbbakademi.org/beton-catlaklarinin-degerlendirilmesi-ve-sorunlarin-giderilmesi/>)

Şekil 4.2'deki kırmızı oklar, çatlaktaki çekme gerilmelerini göstermektedir. Bu çekme gerilmelerine neyin sebebiyet verdiğini belirlemek, oluşan çatlaklarda plastik, büzülme, termal veya kuruma-büzülme gibi bir tanımlama yapmak için önem arz etmektedir.

4.1.1 Betonda rötre oluşması

Betonun içerisindeki suyun miktarının fiziksel veya kimyasal sebeplerle düşmesi neticesinde, beton boyunda ve hacminde küçülme durumuna "rötre" denir. Betonun rötresi, çatlak oluşumunda önemli nedenlerden birisi olarak gösterilebilir.

4.1.1.1 Taze beton çatlakları

Taze betonun priz süresi boyunca, düşük çekme dayanımı ve şekil değişimi gibi özelliklerinde ötürü, çatlak oluşması daha kolaydır.

Plastik rötre, plastik oturma, zemin hareketleri, don hasarları neticesinde çatlaklar oluşabilmektedir.

4.1.1.2 Plastik büzülme (rötre) çatlakları

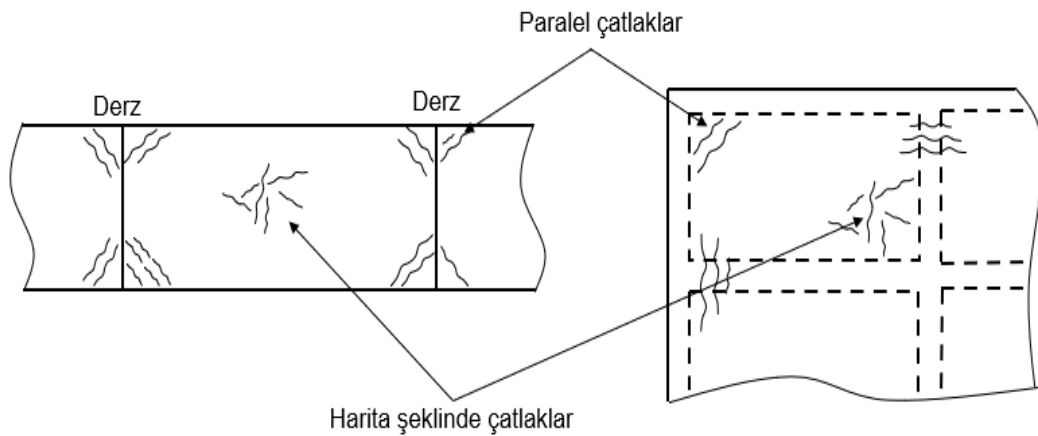


Şekil 4.3: Plastik Rötre Çatlakları

Kaynak: (<https://cimsa.com.tr/formulhane/gri-cimento/rotre-nedir-betonda-rotre-catlagi-nasil-olur/>)

Plastik rötre çatlakları, beton tamamen sertleşmeden, betonun dökümü yapıldıktan kısa bir süre içerisinde oluşmaktadır. Betonun henüz priz almamasından ötürü, şekil verilebilir durumda olduğundan ötürü, plastik rötre olarak isimlendirilmiştir. Betondaki suyun süratle buharlaşması ile, kuruma ve büzülme başlamaktadır. Yüzeydeki bu çekme gerilmeleri beraberinde, betonda çatlaklar oluşur.

Plastik rötre çatlakları, aşağıdaki görselden de görüleceği üzere, paralel çatlaklar (45°'lik açı) ve harita şeklinde çatlaklar (düzensiz dağılım) şeklinde dağılımlara sahip olabilir.

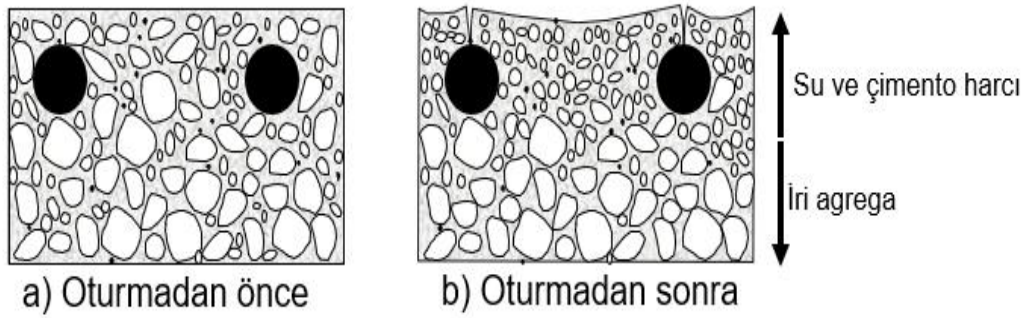


Şekil 4.4: Plastik Rötre Çatlakları

Kaynak: (Durabilite, Set Beton sunum)

4.1.1.3 Plastik oturma çatlakları

Betonun dökümü yeni gerçekleştikten sonra, fazla su ile karıştırılmış betonlarda, iri agregalar aşağıya doğru inerken, çimento parçacıklarını içeren su yüzeye çıkar. üst yüzeyde oluşan çatlaklardır. Tam olarak beton oturmadığı için, demir donatı boyunca çatlama oluşur. Bu tarz çatlakları önleyebilmek için, betonu normal kıvamda dökmek yani su/çimento oranını ayarlayarak, kimyasal katkıların kullanılması neticesinde önlenabilir.



Şekil 4.5: Plastik oturma çatlakları

Kaynak: (Durabilite, Set Beton sunum)

4.1.1.4 Kalıp ve zemin hareketleri

Tahmin edilemeyen deformasyonlar, yer değiştirmelerle birlikte gerilmeler meydana gelmektedir. Akabinde, bu gerilmeler, betonun mevcut dayanım değerini aşması ile birlikte kalıp ve zemin hareketleri başlamaktadır.

4.1.1.5 Sertleşmiş beton çatlakları

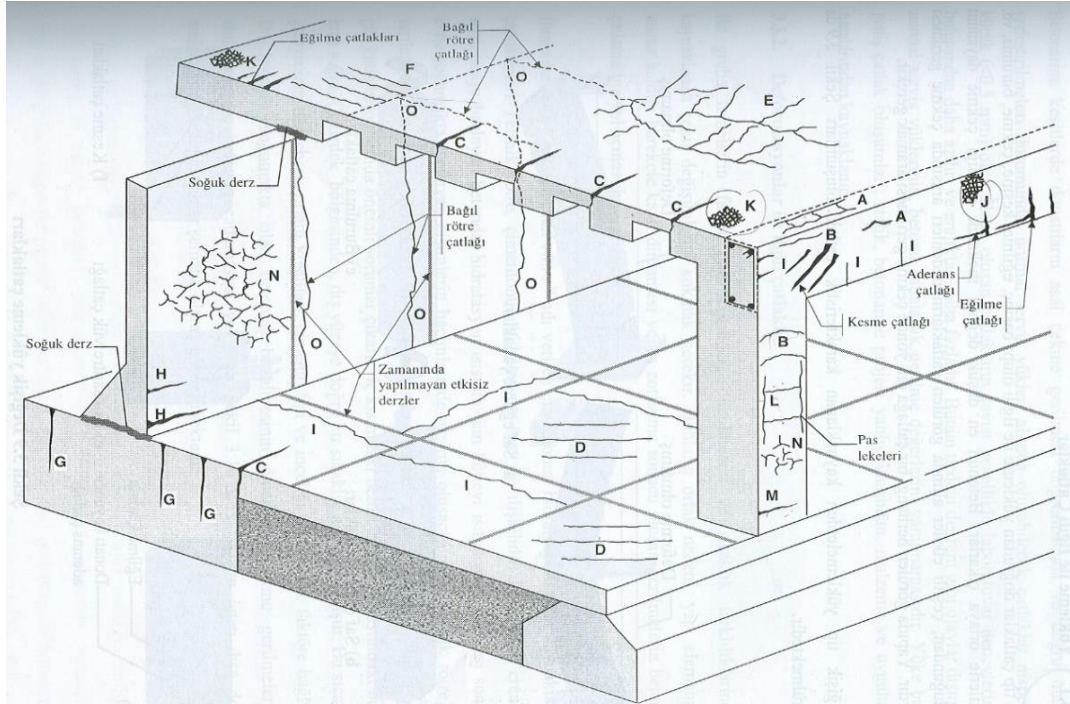
Çatlakların oluşum zamanları farklılık göstermekle birlikte, bazı çatlaklar bir günde, bazı çatlaklar ise yıllar sonra da ortaya çıkabilmektedir. Fiziksel ve kimyasal kökenli olup, başlangıçta kılcal görümlü olup, sonrasında büyüyen, daha da ileriki süreçte birleşen çatlaklardır. Çatlaklardan sonra ise; betonun yüzeyin patlamalar, dökülmeler gibi hasarlar oluşabilmektedir.

4.1.1.6 Taze ve sertleşmiş betonda görülen çatlak tipleri

Çizelge 4.1: Taze ve Sertleşmiş Betonda Görülen Çatlak Tipleri

Çatlak tipi	Şekildeki konumu	Alt grupları	En sık rastlanan bölgeler	Ana neden	İkincil nedenler / faktörler	Önlemler: karışımı yeniden düzenlemek imkansız ise (Tüm durumlarda elemanın hareketi engellenmemeli)
Plastik Oturma	A	Donatı üstü	Derin kesitler	Aşırı terleme	Erken yaşlarda hızlı kuruma koşulları	Terlemeyi azalt (hava katkısı) veya yeniden vibrasyon
	B	Üst bölgeler (Kemer)	Kolon üstleri			
	C	Farklı derinliklerdeki kesitler	Asmolen, Mantar döşemeler			
Plastik Rötme (büzülme)	D	Diyağonal	Yollar, döşemeler	Erken yaşlarda hızlı kuruma	Düşük miktarda terleme	Erken kür koşullarının iyileştirilmesi
	E	Rastgele	Betonarme döşemeler			
	F	Donatı üstü	Betonarme döşemeler			
Erken termal büzülme	G	Dış kısıtlama	Kalın duvarlar	Aşırı ısı üretimi	Hızlı Soğuma	Isıyı azalt ve/veya izolasyon yap
	H	İç kısıtlama	Kalın döşemeler	Aşırı sıcaklık farklılıkları		
	I		İnce döşeme veya duvarlar	Yetersiz derzler		
Uzun döşemeli kuruma büzülmesi	J	Kalıp yüzeyi	Pürüzsüz görünümlü beton	Geçirgen olmayan kalıp	Zengin karışımlar (yüksek çimento dozajı), kötü kür	Kür koşullarını ve perdah işlemlerini düzelt
	K	Akışkan beton	Döşemeler	Aşırı perdah		
Donatı Korozyonu	L	Doğal	Kolon ve kirişler	Pas payı yetersizliği	Düşük kaliteli beton	Nedenlerin ortadan kaldırılması
	M	Kalsiyum klorür	Prefabrikte beton	Aşırı kalsiyum klorür		
Alkali - agreg reaksiyonu	N		Nemli bölgeler	Reaktif agreg + yüksek alkallli çimento		Nedenlerin ortadan kaldırılması

Kaynak: (Durabilite, Set Beton sunum)



Şekil 4.6: Taze ve Sertleşmiş Betonda Görülen Çatlak Tipleri

Kaynak: (Durabilite, Set Beton sunum)

4.2 Betonun Fiziksel Etkenlerle Hasarlanması

Aşınma, erozyon, kavitasyon (oyulma) gibi etkiler, betonda kütle kaybına yol açmaktadır.

Islanma-kuruma, donma-çözünme, boy ve hacim değişiklikleri, yüksek sıcaklıklar, yangın, aşırı yükleme, tekrarlı yüklemeler sonucunda oluşan yorulma gibi etkiler ise, betonda çatlama yol açmaktadır.

Aşınma; beton yüzeylerinde, kuru sürtünmeden kaynaklı olarak; ileriki süreçte kütle kaybının artmasıyla oluşan durumdur.

Betonun aşınma dayanıklılığı, beton yüzeyinde yer alan çimento matrisinin boşluklu yapısıyla direkt olarak bağlantılıdır. Taze betonda segregasyonların ve terlemenin engellenmesi, aşınmaya dayanıklı olabilecek ince ve kaba agrega ile beraber düşük su/çimento oranı tercih edilmesi, kürlenmenin iyi bir şekilde zamanında yapılması, polimerin mevcut dizaynda beton üretiminde bulundurulması, mevcut sürtünme katsayısını düşürebilecek ya da sertleştirebilecek katkı malzemesinin kullanılması gibi planlamalar ile birlikte aşınmaya dayanıklılığı artırılabilir.

Erozyon ise, içinde askı halinde parçacıklar bulunan sıvıların özellikle yüksek hızlarda beton yüzeyini çizerek, yine abrasif yolla aşındırmasıdır. Bu olaya daha çok su yapılarında ve beton borularda rastlanır. (Yeğinoğlu, 1999)

Kavitasyon, su yapılarındaki oyulma olup, suyun hızlı akışından ve akış yüzeyinin düzgün olmayan şekliyle ötürü meydana gelmektedir.

4.2.1 Donma-çözünme

Donma ve çözünme olarak, genellikle iki çeşit bir hasarlanma söz konusudur. Betonun iç yapısında çatlama ve yüzeyinde ise pullanmalar oluşmaktadır.

Çimento hamurunun gözeneklerindeki su donduğunda, hacimsel bir artış meydana gelmektedir. Donma neticesinde, genişleyebilecek bir alanın bulunmaması durumunda, gözenekler bozulmaktadır.

Genleşme beraberinde, meydana gelen gerilmelerin betonun çekme dayanımını aşması ile birlikte, betonda çatlama, ufalanmalar şeklinde hasarlanmalar görülebilmektedir.

Donma ve çözünme sebebiyle oluşabilecek iç çatlaklar ve bozulmaları önlemek için, betonun içerisine hava sürükleyici katkıları eklenerek, hava boşlukları oluşabilir. Bu hava boşlukları sayesinde don oluşumunun sebebiyet vereceği hasarlanma oranını azaltacaktır.

Hava sürükleyici katkıları, hava ile su arasında etki etmektedir. Bu katkıların bulunduğu betonların donma-çözünme durumuna daha dayanıklı olmalarının sebebi, hidrolik basınç beraberinde boşlukların dışına itilen suyun bu boşluklara girebilmesi, ve sonrasında betonun içindeki iç gerilmeleri azaltabilmektedir.

4.2.2 Buz çözücü tuzların etkileri

Tuzlama sürecinde, buz tabakasında kullanılan tuzlar, beton tarafından emilmektedir. Betonun yüzey kısmından aşağıya doğru inildikçe, sıcaklık ve emilen tuzların hacimsel olarak farklılık göstermesi, betonda farklı zamanlarda donmalar ve çözülmelere sebebiyet verebilmektedir. Sonuç olarak da; betonda dökülme gibi hasarlanmalar oluşabilmektedir.

4.2.3 Yüksek sıcaklık ve yangın etkisi

Beton, yüksek sıcaklık ve yangın karşısında oldukça dayanıklı bir malzemedir. Beton, yüksek sıcaklığa maruz kaldığında, bir süre hasar görmez ancak bu dayanım, belli bir sıcaklık ve zaman dahilinde zarar görmeden kalabilmektedir.

4.2.3.1 Sıcaklığın artışının beton üzerindeki etkileri

Betonda sıcaklık, 100 ~ 150 °C civarında iken, kılcal boşluklardaki suyun buharlaşmasında etkilidir.

150 ~ 250 °C sıcaklık aralığında ise; betonda kılcal çatlakların oluşumuna sebebiyet vermekte, betonun çekme dayanımı düşmektedir.

250 ~ 300 °C aralığında ise, alüminli ve demir oksitli bileşenlerde bünye suyu kaybı yaşanmakta ve basma dayanımı azalmaktadır.

~ 400 °C civarında ise, beton sisteminde yer alan Ca(OH)_2 'den CaO 'ya dönüşüm başlamakta ve hacim iyice azalmaktadır.

400 ~ 600 °C aralığında ise artık betonda, CSH yapısında hasarlanma başlamakta ve dayanımda yüksek oranda düşmektedir.

Sıcaklığın artması beraberinde, betonda mukavemet kaybı oluşmakta ve hasar oluşumunda etken rol oynamaktadır.



5. BETONUN KİMYASAL NEDENLERLE BOZULMASI

Betonda çatlamlar, dökülmelerin olması, betonun dayanımının azalması gibi nedenlerin görülmesi, betonun zararlı kimyasallara maruz kaldığının bir göstergesi olarak görülebilir.

Bu kimyasal reaksiyonların beton içindeki ilerlemesi, betonun bünyesindeki mevcut geçirimsizliğin artması ile hızlanmaktadır. Su, su buharı ve sıcaklık da bu kimyasal reaksiyonların oluşmasında önemlidir.

Sertleşmiş çimento bileşenlerinin yıkanarak, birbirinden uzaklaşmasına yol açan reaksiyonlar, agresif sıvılarla sertleşmiş çimento bileşenleri arasında iyon değiştirme reaksiyonları sonucunda betonda gözeneklilik ve geçirimsizlik artmakta, betonun dayanımı azalmakta ve hasarlanma süreci hızlanmaktadır.

Genleşen ürünler oluşturan reaksiyonlar neticesinde, sülfat etkisi ile donatı korozyonu oluşmakta, çatlama, dökülme meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, betonda gözeneklilik ve geçirimsizlik artmakta, betonda rijitlik düşmekte ve hasar süreci hızlanmaktadır.

Bu reaksiyonun ilerlemesinde etken koşullar; ortamdaki SO₄-2 içeriği, zararlı maddelerin taşınımın yapılabileceği betonun geçirimsizliği, kullanılan çimentonun kimyasal yapısı ve suyun özelliği olarak sayılabilir. Hasar oluşmasında etkili olan sülfattaki bu duruma karşı, betonu geçirimsiz olarak yapılması, puzolonik katkı maddelerin tercih edilmesi gerekmektedir.

Betondaki agregaların, çimentoyla zararlı kimyasal reaksiyona girmeyecek şekilde kontrollerin yapılması gerekmektedir. Agregaların bazıları, alkali-silika ve alkali-karbonat reaksiyonu gibi çok fazla genleşme gösteren reaksiyonlara sebep olabilmektedir.

Betonun üretimi esnasında, betonu geçirimsizleştirecek katkı maddelerinin kullanılması, oluşacak hasarlanmaya karşı alınabilecek en önemli önlemlerden birisidir.

5.1 Beton Sistemlerinde Korozyon

Beton yapı sistemlerinde korozyon, çoğunlukla çelik donatının etrafındaki betonun korozyon etkisi altında kalmasıyla ilişkilidir. Çelik donatı; betonun çekme mukavemetini arttırmak ve çatlakları kontrol etmek için kullanılmaktadır.

Yalnız, çelik, korozyona karşı oldukça hassas bir malzemedir. Betonun içindeki çelik donatının korozyona uğraması, betonun yapısının dayanıklılığını önemli bir şekilde olumsuz etkileyebilmektedir.

Genel olarak korozyonlar; klorür, karbonat ve sülfat korozyonları olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır.

Klorürler, deniz suyu ve klorlu su içeren bölgelerde çelik donatının yüzeyine nüfuz ederek, korozyona sebebiyet verebilmektedir.

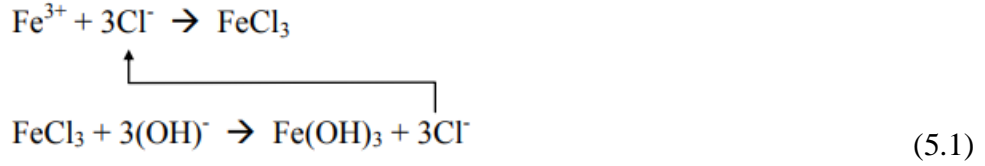
Beton içerisinde bulunan karbondioksit, çelik donatının yüzeyinde karbonat oluşturabilmekte, çeliğin korunması yardımcı olurken ancak zaman ilerledikçe çelik yüzeyinde korozyonu başlatabilmektedir.

Sulandırılmış sülfatlar, çimento bileşenlerinde bozulmaya ve çelik donatının korozyonuna neden olabilmektedir.

Beton sistemlerinde, korozyonun etkilerini azaltmak için; dayanıklı, kaliteli çelik kullanılmalıdır.

Beton üretimi esnasında kullanılan malzemelerde klorür içeriği kontrol edilmelidir. Kimyasal katkıların içerisinde, agregalarda klorür olmaması yönünde gerekli kontrollerin yapılması önem arz etmektedir.

Betondaki çelik donatının korozyonuna sebep olan en zararlı etken, klorürdür. Bu iyonlar, betonun içerisinde elektrolit düzeyini yükseltmektedir. Korozyon sürecinde, katalizör gibi çalışmaktadır. Mevcut şartlarda, demir ve (OH)- iyonların çok sayıda var ise, klorür iyonları ile sürekli reaksiyonları oluşmaktadır.



Kaynak:(Yiğiter, 2008)

Çelik donatının kaplatılması, yalıtılması, betondaki çatlakların, bozulmaların erken safhada fark edilip, gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

5.1.1 Deniz ortamında beton sistemleri

Deniz suyunun; fiziksel, biyolojik ve kimyasal etkileri bulunmaktadır. Fiziksel etkiler içerisinde; aşınma etkisi, donma-çözünme ve ıslanma-kuruma bulunmaktadır.

Kimyasal etkiler içerisinde; klorürden ötürü oluşan donatı korozyonu, sülfat etkisi, magnezyum iyonlarının etkisi ve karbonik asit etkisi bulunmaktadır. Bu faktörler, betonun geçirimliliğinin artmasına neden olmakta ve betonun bozulma sürecinde hızlanma ve dayanıklılığının azalmasına sebebiyet vermektedir.

Deniz suyu, beton üzerinde kimyasal etkisi çözünmüş bazı sülfat, magnezyum gibi bazı tuzlar bulunmaktadır. Ek olarak, deniz suyunun içerisinde oksijen ve karbondioksit de yer almaktadır.

5.1.2 Ortam şartlarına ilişkin alınacak önlemler

Betonun bozulmasında etkili olan kimyasal reaksiyonların gelişmesi, suyun varlığına bağlıdır. Betondaki nem; ortamdaki bağıl neme göre çok daha önem arz etmektedir. Avrupa Beton Birliği, betondaki bozulma süreçlerini aşağıdaki tablodaki gibi özetlemiştir:

Çizelge 5.1: Nem Seviyesine Göre Bozulması

Efektif bağıl nem (%)	Bozulma İşlemi				
	Karbonatlaşma	Çeliğin korozyonu		Don etkisi	Kimyasal etkiler
		Karbonatlaşmamış beton	Klor etkisinde kalmış beton		
Çok düşük (<45)	1	0	0	0	0
Düşük (45-65)	3	1	1	0	0
Orta (65-85)	2	3	3	0	0
Yüksek (85-98)	1	2	3	2	1
Doymun (98-100)	0	1	1	3	3
0 = Risk yok	1 = Düşük risk	2 = orta risk	3 = Yüksek risk		

Kaynak: Durabilite, Set Beton sunum

Nemde yer alan, oksijen ve klorürler, donatı korozyonunda etkili iken, karbondioksit karbonatlaşmayı oluşturur, asitler çimentoyu eritebilir, sülfatlar çimento ile reaksiyona girerek genleşmeye oluşturabilir, alkaliler ise, agrega ile reaksiyona girerek, genleşmeye sebebiyet verebilmektedir.

Betonarme donatısında, korozyona karşı korunması, pas payının kalınlığına ve betonun alkali miktarı ve geçirimsizliği ile ilişkilidir.

5.2 Hasar Mekanizmasında Korozyon Genel Bilgilendirme

Elektro-kimyasal etkilerin sonucunda, malzemelerdeki oluşan kütleli kayba korozyon denilmektedir.



Şekil 5.1: Betonda Korozyon

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



Şekil 5.2: Betonda Korozyon

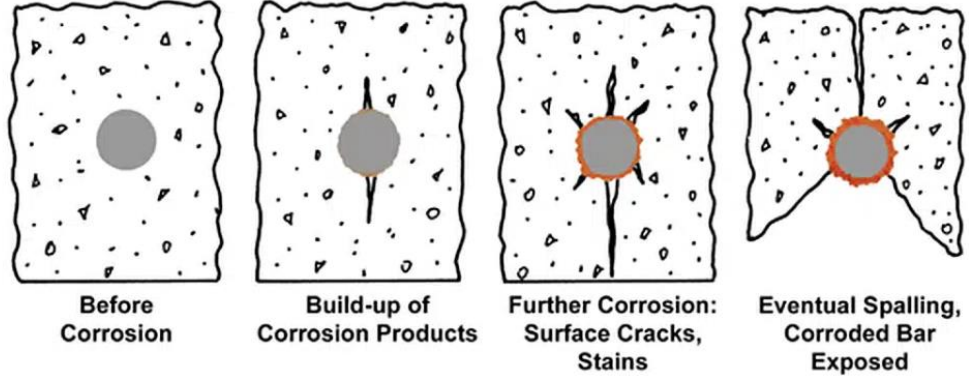
Kaynak: (<https://www.insaatdunyasi.com.tr/bolumler/makale/korozyon-nedir-nasil-olusur-deprem-ve-yapilara-etkisini-anlamak/>)

Yapılarda oluşan hasarların esas sebepleri arasında yer alan korozyon, üretim hataları ve depremlerden kaynaklı olarak oluşabilmektedir.

Beton sistemleri içerisinde yer alan donatıda korozyon olması durumunda, çelik genişleme göstererek, betonda çatlama ve dökülmelere sebep olabilmektedir. Eş zamanlı olarak, yapıdaki çelikte yapısal olarak da deformasyon oluşmakta ve kütlesi azalarak, mevcut yapıyı kaldırabilme gücü zayıflamaktadır.

Deprem sarsıntıları, mekanik yorgunluklar ve ortam şartlarından ötürü, betonda zamanla mikroskobik ölçekte çatlaklar meydana gelebilir. Süreç ilerledikçe, çatlaklar büyüdüğünde, nem, korozif maddeler, gazlar betonun içerisinde nüfuz etmektedir. Bu durumdan ötürü, yapıdaki çelikte korozyon oluşur ve mukavemeti düşer.

Betonun oluşumunda, kalsiyum silikatlar, su ile reaksiyona girdiğinde, betonu dayanımlı hale getiren kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve dayanımda etkisi olmayan kalsiyum hidroksiti (CH) meydana getirirler. Korozyondan korunmak için, önemli bir unsur olan kalsiyon hidroksitin bazik bir yapısı bulunmaktadır. Karbonatlaşmanın olması ile birlikte, pH değeri giderek düşerek, donatının korozyona maruz kalmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.3: Korozyonun İlerlemesi

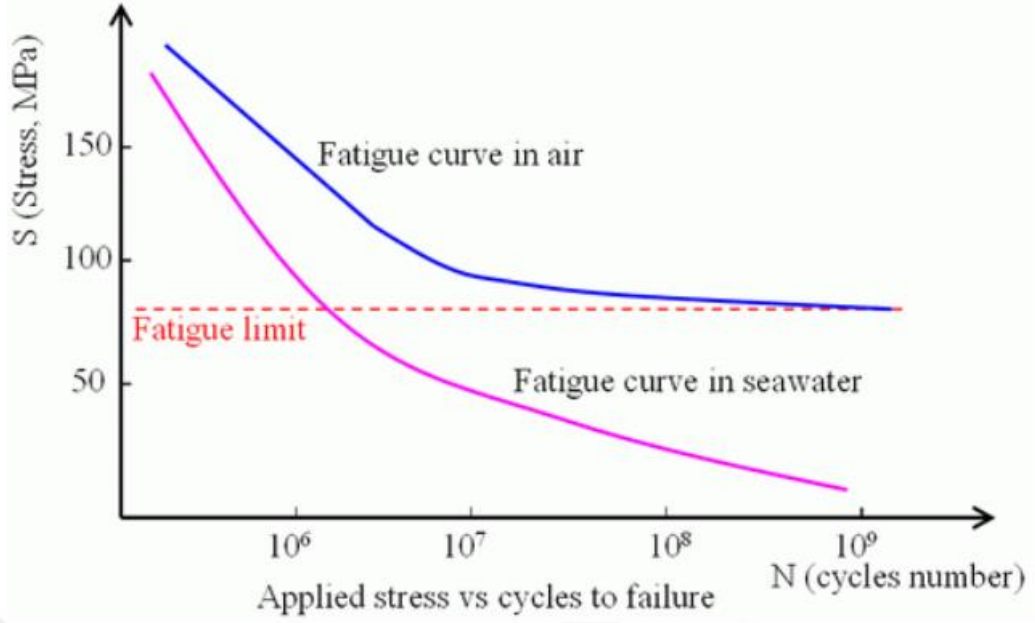
Kaynak: (<https://www.sanalsantiye.com/donati-korozyonu-nasil-onlenir/>)

5.2.1 Yorulmalı (Fatigue) Korozyon

Beton sistemlerinde, yorulmalı korozyon, beton yapı elemanlarının sürekli tekrarlanan yüklemelere ve aynı zamanda korozyon etkilerine maruz kalması sonucunda oluşan bir hasarlanmadır.

- Yorulma çatlama (fatigue cracking); beton yapılarının süreklilik gösteren değişen yüklemelerin etkisi altında kalması sonucu oluşmaktadır. Köprüler, kaldırımlar, diğer yapı elemanları, trafiğin getirdiği yükler, sıcaklığa bağlı oluşan genleşmelerden kaynaklı oluşan dinamik yükler gibi sebeplerden ötürü, beton içerisinde mikro çatlakların oluşmasına sebep olmaktadır.
- Çevresel korozyon; beton sistemlerinde yer alan çelik donatısının, ortamdaki su, tuzlu su, klorürler veya asidik ortamlar gibi çevresel nedenlerden ötürü oluşmaktadır.
- Yorulma çatlama ile birleşen korozyon, çelik donatısının yüzeyinde oluşan çatlaklara su ve korozyon ürünlerinin içerisine girmesine neden olabilir. Bu durum çelik donatının korozyona uğramasını hızlandırabilir ve çatlakların derinleşmesine sebebiyet verebilmektedir.

Beton sistemlerinde, yorulmalı korozyonu engellemek ya da etkilerini azaltmak adına, yüksek dayanıklılığı bulunan çelik donatı kullanmak, klorür bulunmayan katkı malzemeleri kullanmak, direnci yüksek beton karışımları tercih etmek ve donatıda koruyucu kaplamaları kullanmaktır. Bu önlemler; beton yapı elemanlarının mukavemetini arttırabilir ve yorulmalı korozyon riskini azaltmaktadır.



Şekil 5.4: Korozyon Fatigue

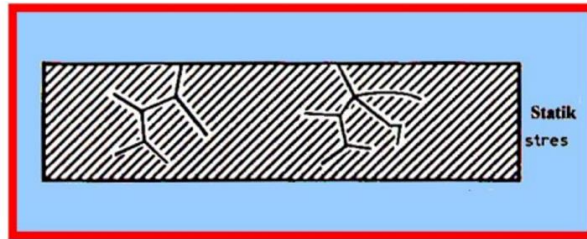
Kaynak: https://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/Corrosion%20Fatigue.htm

5.2.2 Gerilmeli korozyon

Mekanik faktörlerin etkisiyle oluşmaktadır. Beton yapı elemanlarında bulunan donatılar ve çelik tel demirlerin korozyona uğraması halinde, betonun dayanıklılığı azalmaktadır. Çekme zorlamalarından kaçınmak gerekmektedir. Katodik korumanın uygulanması, inhibitör kullanılması, gerilmeli korozyonun hızının yavaşlamasını sağlayabilir.

Elektrolit içerisinde bulunan ve bir çatlak başlangıcı taşıyan parça üzerine çekme gerilmelerinin etkisi ile meydana gelmektedir.

Gerilmenin meydana gelmesiyle, hareket eden dislokasyonların yüzeyde oluşturduğu kayma eşikleri, korozyon yavaşlatıcı oksit vb. tabakanın sürekliliğini bozmaktadır.



Şekil 5.5: Gerilmeli Korozyon Çatlak Başlangıcı

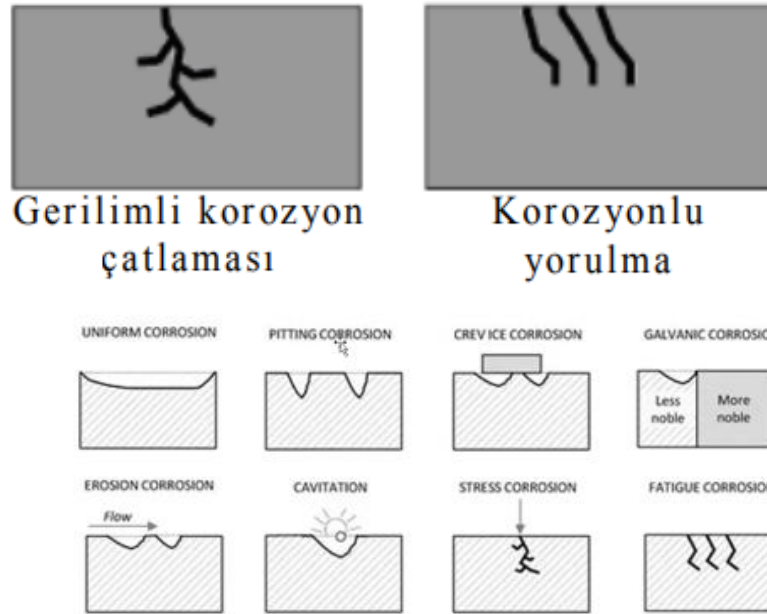
Kaynak: (Roberge, 2000)

Gerilim korozyon çatlaması, çekme gerilmesinin ve korozif ortamın birlikte sebep oldukları çatlaklardır.

Gerilmeli korozyon çatlaması; aşağıdaki şekilde gerçekleşmektedir:

- Çatlak oluşumu
- Çatlak ilerlemesi
- Zoraki kırılma

Çatlaklar mekanik gerilimlerin büyüklüğü ve çevresel koşulların etkinliğine bağlı olarak, belirli hızlarla malzeme içine doğru yürürler. Parça kesitinin mevcut yükleri taşıyamayacak ölçüde daralması sonucu ani kopmalar meydana gelir (Doruk 1982).



Şekil 5.6: Gerilimli Korozyon Çatlama ve Korozyonlu Yorulma Mikroskop Altında Görülebilen Korozyon Çeşitleri

Kaynak: (Roberge, 2000).

Çatlamış bölgenin kesitini aldığımızda, ağaç kökleri gibi yapı görünmektedir. Kesitin iyi alınması ve hazırlanması halinde, ana çatlak ve ara sağ ve solda ilerleyen ara çatlaklar gözlemlenebilmektedir.

5.2.3 Fatigue (yorulma hasarı)

Zaman içerisinde, değişen yüklemelere maruz kalan yapısal elemanların, akma dayanımlarının altındaki gerilme seviyelerinde hasara uğramasıdır.

Temel Faktörler:

- Yeterli büyüklükte çekme gerilmesi
- Uygulanan gerilmenin büyük miktarda değişik veya dalgalanmalı olması
- Uygulanan gerilmenin yeterli sayıda tekrarlanması

Ek Faktörler:

- Gerilme yığılması
- Korozyon
- Aşırı yük

Fatigue korozyonu, malzeme döngüsel strese maruz kaldığında meydana gelmektedir.

Kimyasal etki, fatigue çatlaklarının yayılma hızını büyük ölçüde hızlandırmaktadır.

Ana hasar mekanizmaları aşağıdaki gibidir:

- Fracture (Kırılma)
- Brittel Fracture-Hydrogen Induced Cracking (HIC)
- Overload (Aşırı Yük)
- Fatigue (Yorulma)
- Korozyon
- Gerilmeli korozyon
- Sürünme
- Aşınma

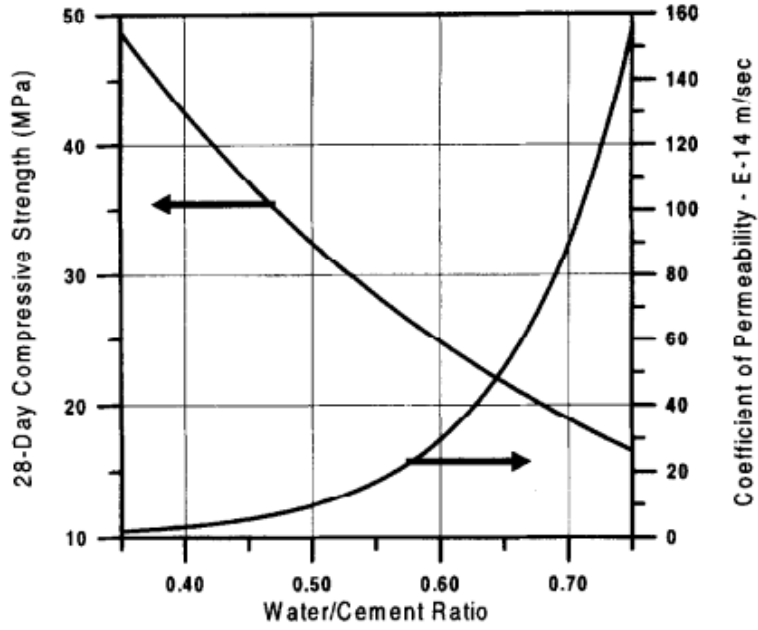
Çizelge 5.2: Görünüşüne Göre Korozyon Türlerinin Şematik Gösterimleri ve Örnekleri

Korozyon türü	Tanımı	Şematik gösterimi	Örneği
Homojen korozyon	Bölgesel bir korozyon hasarı olmadan metal kesitinin korozyon etkisinde eşit bir şekilde incelmesidir.		- Çeliğin atmosferik korozyonu - Galvanizli çelik merdivenlerin korozyonu - Yapısal çeliklerin korozyonu Gümüşün zamanla matlaşması vb.
Bölgesel Etkili Olanlar	Çukurcu korozyonu		- Paslanmaz çeliğin deniz suyunda korozyonu - Demirin toprak içinde korozyonu vb.
	Aralık korozyonu		
	Kaplama altı korozyonu		
Galvanik korozyon	Standart elektrot potansiyeli farklı iki metalin iletken veya korozif bir ortamda bir araya geldiği durumda anot metalde oluşur.		Metal parçalarını birleştiren perçin, vida, çivi gibi elemanların korozyonu - Kalay tabakası zarar görmüş kalaylı demirin korozyonu vb.
Seçimli korozyon	Alaşım içerisindeki metallere aktif olanın diğerinden önce korozyona uğramasıdır.		- Pirinç alaşımı içindeki çinkonun korozyona uğraması vb.
Kazımalı (aşınmalı) korozyon	Yük altında birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasında oluşur. Korozyon çukur ve çizgisel boşlukları dolduran korozyon ürünleri şeklinde oluşur.		- Motor parçaları gibi makine parçalarında oluşabilir
Taneler arası korozyon	Metal malzemenin tane sınırlarında meydana gelir. Malzemede mukavemet ve süneklik kaybına neden olur		Özellikle alüminyum, bakır ve 18-8 paslanmaz çelik alaşımlarında olur
Korozyon çatlamasına neden olanlar	Gerilimli korozyon		- Su içerisindeki yüksek mukavemetli çeliklerde - Klorür çözeltisi içerisindeki yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarında vb.
	Korozyonlu yorulma		- Gemiler - Açık deniz platformları - Uçaklar vb.
	Hidrojen gevrekliği		- Klorür veya florür çözeltisi içindeki yüksek mukavemetli çeliklerin temizliğinde vs.
Akışkan hareketiyle oluşanlar	Erozyonlu korozyon		- Boru sistemlerinde
	Kavitasyon korozyonu		- Gemi pervanelerinde - Buhar türbinlerinde - Hidrolik ekipmanlarda

Bu tablo NACE (1984), Fontana ve Greene (1978), Ahmad (2006), Revie ve Uhlig (2008) ve Jones (1996) kaynaklarından faydalanılarak hazırlanmıştır.

6. LİTERATÜR TARAMASI

Hover (1998), düşük gözenekli betonları, dayanıklı beton olarak nitelendirmiştir. Düşük su/çimento oranı, betonun mekanik özelliklerinde dayanıklılık açısından iyi bir sonuç vermektedir. Çalışmasında, çeşitli oranlardaki su azaltıcı katkıların kullanılmasının etkilerinden bahsetmiştir. Betondaki su içeriğinin azalmasından kaynaklı olarak, su/çimento oranı artırılarak, betonun işlenebilirliği ve dayanıklılığı artırılmış olacaktır. Betonun geçirgenliği ve mekanik özelliklerinde iyileştirme sağlanabilmiştir.



Şekil 6.1: Su/Çimento Oranının Basma Dayanımına Etkisi, Mukavemet ve Geçirgenlik

Gürsoy (2003), tez çalışmasında priz geciktirici, naftalin bazlı süper akışkanlaştırıcı ile erken dayanım sağlayan melamin bazlı hiper akışkanlaştırıcı kullanmıştır. Katkılı ve katkısız beton numunelerinde deneyler yaparak, akışkanlaştırıcılar ile beton üretiminin akıcı bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür. 28 günün sonunda, basma mukavemeti 44,5 Mpa olmuştur. Su/çimento oranı sabit tutularak, aynı beton katkı malzemesinin farklı yüzdelere ile beton deney sonuçlarında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Beton üretimi aşamasında su/çimento oranı,

katkının kullanılacağı dozaj ve uygun katkı malzemesinin seçilmesi önem arz etmektedir. Akışkanlaştırıcıların kullanılması ile su/çimento oranında değişiklik yapmadan çimento oranı düşürülebilmektedir. Böylece, dozaj düşürülerek, düşük maliyetli beton üretimi gerçekleşmiş olacaktır. Akışkanlaştırıcı ile su miktarında azalma gerçekleşerek, betonun içerisinde yer alan sıvı ve gaz hareketinde kısıtlama oluşmaktadır. Bu durum sayesinde, betonun dayanıklılığı artar ve korozyon önlenmiş olacaktır.

Topçu ve diğerleri, (2006); hazır beton firmalarında kimyasal katkıların kullanımının oldukça yaygın olduğunu, betonun özelliklerinde iyileştirmeler olmakla beraber, katkıların dozajlarında yanlış karar verilmesinde olumsuz sonuçlar da doğurabileceğini belirtmiştir. Bu bağlamda, Eskişehir'deki beton santrallerinde bir anket çalışması düzenlenmiştir. Akışkanlaştırıcı katkı kullanan bu firmalar, betona katkı koymadan önce deneysel olarak çalışması ve raporlaması yapılmaktadır. Akabinde, çıkan sonuca göre, katkı çeşidi ve oranına karar verilmektedir. Bu anket yapılan firmaların tamamında, kimyasal katkı kullandıkları görülmüş olup, ülke genelinde ise en çok akışkanlaştırıcıların kullanıldığı görülmüştür. Hava şartlarına göre de, betonun priz alması, işlenebilirliği, dayanımı ve dayanıklılığı gibi sorunlardan ötürü, kimyasal katkıların kullanımının gerekliliği bir kez daha görülmüştür. Mevsimsel geçişlere göre, kullanılan katkıların çeşitleri de değişebilmektedir.

Eskandari ve diğerleri (2016); betonarme yapıların hasarlanmasında; sülfatlar, karbonatlar ve klorürler de etkindir. En önemli faktör ise, klorürden kaynaklı olarak betonun hasar görmesidir. Donatı çeliğindeki korozyonun önlenmesi için, beton kaplama tabakası oluşturulur. Hava sürükleyici katkı maddeleri betona eklenmiştir. Korozyon ve su emmeyi test etmek amacıyla numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 6.2: Üretim ve Test

Silindirik haznelerde, çeşitli yüzdelerde hava sürükleyici katkı içeren numuneler hazırlanmıştır. Beton dökümü sonrasında, inşaat çelik çubukları (Şekil 6b) numunelerin içerisine yerleştirilmiştir. Tüm beton numuneleri, 28 günün sonrasında, %3,5 oranında NaCl içeren çözelti içerisine konulmuştur.



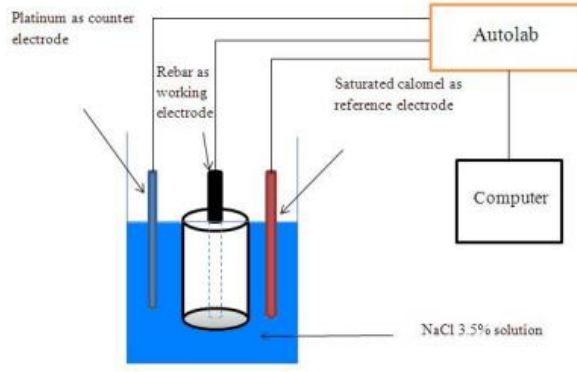
Şekil 6.3: Betonun İçerisine Konulan İnşaat Çelik Çubukları

Beton karışım tasarımı aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

Çizelge 6.1: Beton Karışım Tasarımı

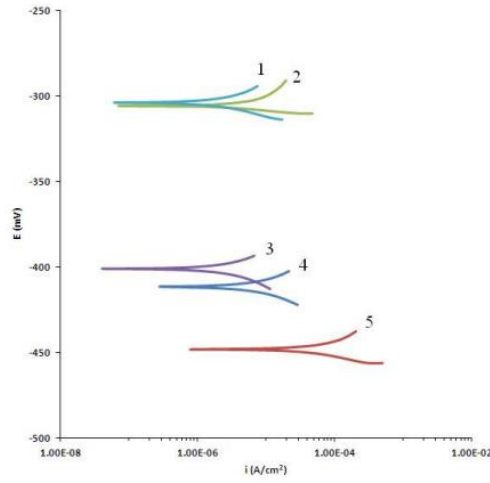
Number of Sample	1	2	3	4	5	6
Cement(gr)	700	700	700	700	700	700
Water(gr)	350	350	350	350	350	350
Fine Aggregate(gr)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Air Entraining Agent(ml)	25	20	15	10	5	0

Betonun korozyon potansiyelini, akım yoğunluğunu ve polarizasyon direncini araştırmak için, LPR testi yapılmıştır.

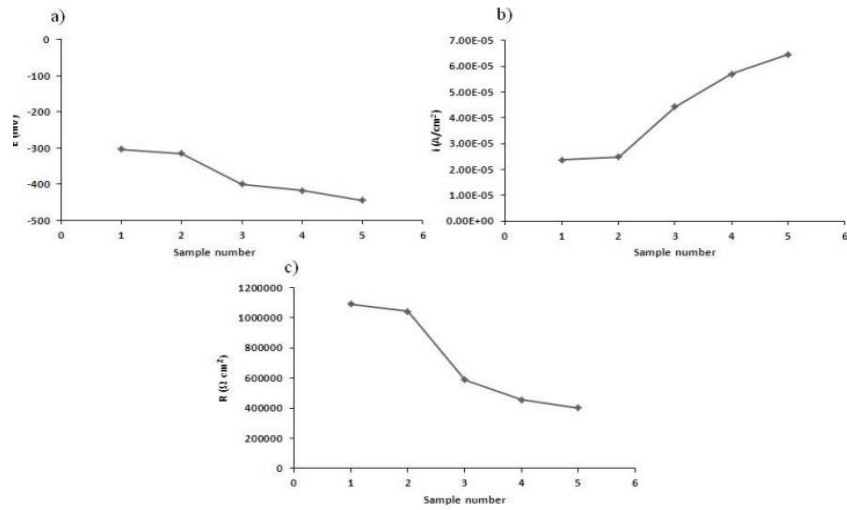


Şekil 6.4: Elektrokimyasal Hücrenin Şeması

Her numune için, LPR testi ile potansiyel-akım yoğunluğu grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 6.5: Numunelerin LPR Test Sonuçları



Şekil 6.6: a) Korozyon Potansiyeli b) Korozyon Akımı Yoğunluğu c) Polarizasyon Direnci

Hava sürükleyici katkıların, betonun su emme ve elektriksel direnci üzerinde büyük bir etkisi bulunmaktadır. Klorürün sebep olduğu korozyon, dayanıklılığın ve betonun servis ömrünün belirlenmesinde ana faktördür. Hava sürükleyici katkıları, betonda suyun donmasından ötürü oluşan büzülme önler. Katkının konulduğu oran oldukça önem arz etmektedir.

Konuş ve Dal (2017), çalışmalarında metallerin ve alaşımların, ortamdaki çeşitli etkilerden kaynaklı olarak kimyasal ve elektrokimyasal değişimler, fiziksel çözümler neticesinde meydana gelen korozyon hasarlarının önemini vurgulamışlardır. Beton sistemlerinde korozyonun başlaması ile birlikte, pasın metallerle göre daha fazla yer tutması nedeniyle, içsel gerilmelere bağlı olarak çatlamlara sebebiyet vermektedir. Beton donatısındaki metalin korozyona uğramasından kaynaklı olarak hasar oluşmaktadır.



Şekil 6.7: Korozyon Sebebiyle Oluşan Malzeme Kaybı Hasarı ve Paslanmış Çelik

Kaynak: (<https://www.galvanizeit.org/corrosion/effects-of-corrosion>)



Şekil 6.8: Pasın Betonun Zorlayarak Pullanma Korozyonuna Sebep Olması

Kaynak: (<http://theconversation.com/the-problem-with-reinforced-concrete-56078>)

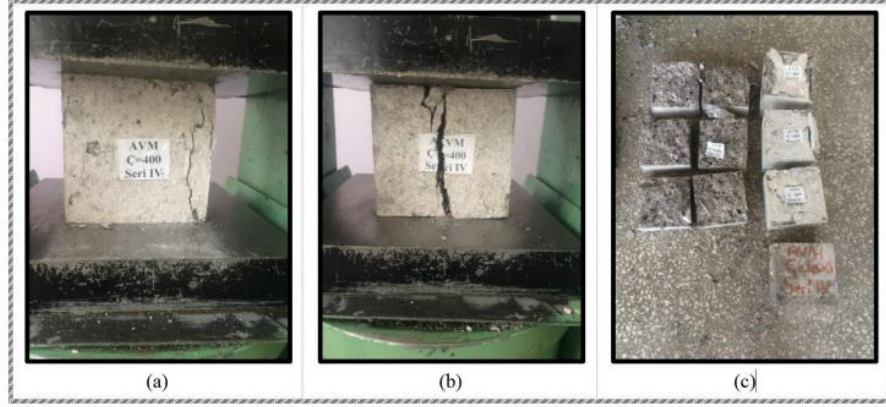


Şekil 6.9: Merdiven Altındaki Betonda Korozyon Nedeniyle Pas Oluşumu

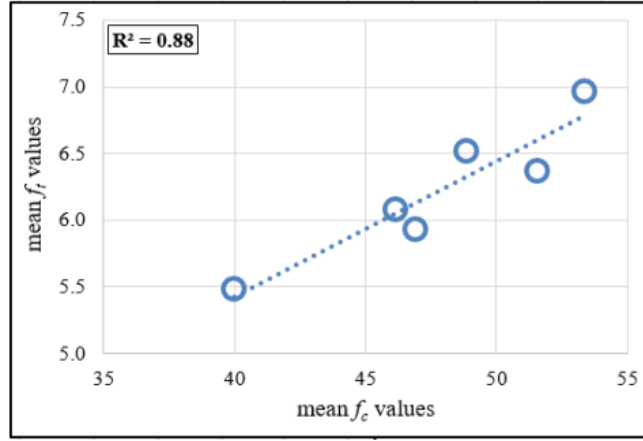
Kaynak: (<http://www.cementlab.com/photo-research.htm>)

Korozyonun sebebiyet verdiği hasarlar, oldukça ciddi sonuçlar doğurmaktadır. İlgili çalışmada, beton donatılarında oluşan korozyonlara örneklemeler yapılmıştır. Su-nem etkisinin neden olduğu korozyonlara, zamanında önlem alınması gerekmektedir. Donatılardaki korozyonlar, depremle birlikte yapıların yıkılmasında aktif olarak rol oynamaktadır.

Tuğrul Tunç (2019), araştırma makalesinde, beton sektöründe kimyasal katkı kullanımının oldukça yaygınlaştığını, beton performansının daha üst bir noktaya taşınabileceğini belirtmiştir. Yalnız, kimyasal katkı oranının artması durumunda, betonun dayanıklılığının artmayacağını, beton üreticilerinin kullanım dozajlarına dikkat edilmesi gerekliliğini iletmiştir. Kimyasal katkılar ile, betonun işlenebilirliği ve durabilitesi artarken, betonun geçirgenliğini azaltma, donma-çözülme dayanımını arttırma gibi getirisi vardır. Süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılarak, katkının kıvamında değişiklik yapmadan, suyun miktarında azalma sağlayarak, çökme ve yayılmayı yüksek oranda arttırma etki oluşturmaktadır. Daha önceden tasarımı oluşturulan karışımdan oluşturulan numunelere, basma dayanım testleri yapılmıştır. Burada, basma dayanımına etkisinin tespit edilmesi için, kimyasal katkı bulunmayan numune de şahit numune olarak alınmıştır. Katkılı ve katkisiz beton numunelerinin basma dayanım sonuçları karşılaştırılmıştır. Uygun kimyasal katkının kullanılması sonucunda, betonun dayanıklılığının arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.10: (a) Basma Dayanımı Testi; (b) Gerilme Mukavemet Testi; c) Deney Sonrası Numune Görselleri



Şekil 6.11: Ortalama Basma Dayanımı Değerleri İle Ortalama Çekme Dayanımı Değerleri Arasındaki İlişki

Yapılan deney sonuçlarının değerlendirilmesine istinaden, betonda yüksek dayanım talep ediliyorsa, suyu yüksek oranda azaltan süper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılabilir.

Su çimento oranı arttırıldığında, kimyasal katkılı beton numunesinin dayanımı, katkısız beton numunesine göre, dayanımı daha az oranda azalmaktadır.

Taze bir betondaki, betonun slump (çökme) değerleri, betonun dayanımı hakkında bilgi vermektedir.

Basma mukavemeti ve çekme dayanımı değerleri arasında, iyi bir korelasyon bulunmaktadır.

İlgün ve diğerleri (2020), katkı malzemelerinin eklenmesi gereken miktarda beton karışımına konulmadığında, betonun dayanıklılık, slump (çökme) değeri, priz süresi gibi özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Bu durumu göstermek amacıyla, inşaatı devam eden bir binadaki hasarlı yerler incelenmiştir. Bu inceleme sonrasında da, hasarın onarımına ilişkin aksiyon alınmıştır.

Kolonlarda beton dökümü sonrasında, kalıplar sökülmüş ve betonun bazı yerlerinde priz almayan, renk farklılıklarının olduğu kısımlar görülmüştür.



Şekil 6.12: Kolonlarda Meydana Gelen Hasarlar

Bu hasarın incelenmesine istinaden; hazır beton firması tarafından su kesici katkının olması gerekenden fazla karıştırıldığı anlaşılmıştır. Bu durum, betondaki priz alma süresini uzatmasıyla birlikte dayanımı azalmıştır.



Şekil 6.13: Sırasıyla, Hasarlı Kolon, Askıya Alma İşlemi ve Hasarlı Bölgenin Çıkartılması



Şekil 6.14: Kolonlarda Hasarlı Bölgenin Çıkartılması

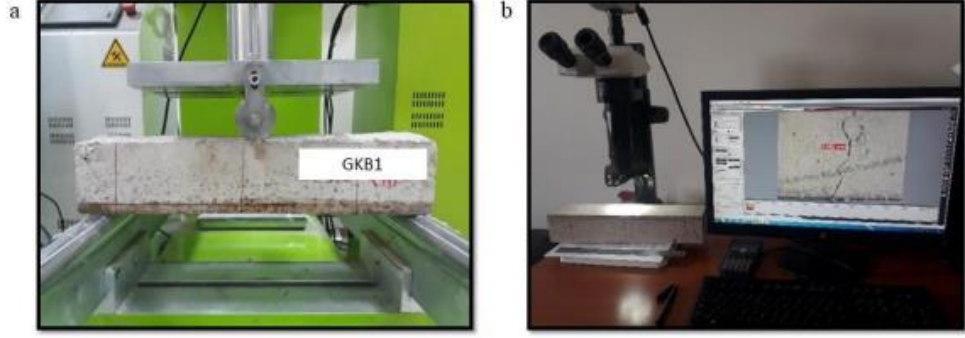


Şekil 6.15: Hasarlı Olan Bölgelerde Beton Kalıbı ve Beton Yerleştirilmesi

İlgili vaka analizinde, su kesici katkı malzemesinin betonda gereğinden fazla kullanılmasında oluşan hasar oluşumu tespit edilmiş ve çözüm üretilmiştir. Alınan bu aksiyon beraberinde, bina yıkılmadan kullanılabilir hale getirilmiştir.

Şahin (2023); kristalize geçirimsizlik katkıların, beton malzemesindeki geçirimsizlik ve taşıma özellikleri üzerindeki etkilerini incelenmiş olup, beton karışımları üretilerek, bu numunelerde basma dayanımları, kılcal geçirimsizlik, basınçlı su geçirimsizliği ve klor iyon geçirimsizliği testleri yapılarak, çıkan sonuçlara istinaden raporlama yapılmıştır.

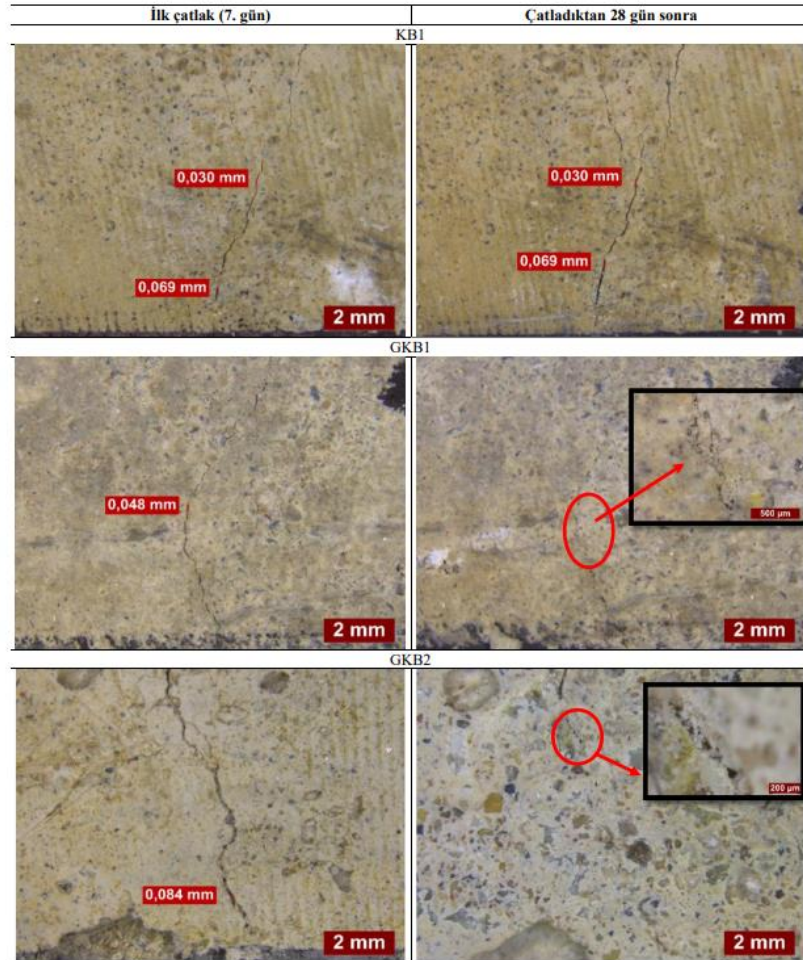
Ek olarak, mikroyapısal analizler de yapılarak, beton karışımlarındaki kristal yapılar incelenmiştir. Basma dayanımları kontrol edildiğinde, değişikliklerin sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Katkılar sayesinde; oluşan çatlaklarda iyileştirmelerin olduğu, geçirimsizliklerin azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, beton malzemesinin dayanıklılık özelliklerini daha iyi bir noktaya taşımak için, katkıların kullanılabilmesi görülmüştür.



Şekil 6.16: (a) Kontrollü Çatlak Oluşturulması (b) Çatlak Ölçümü

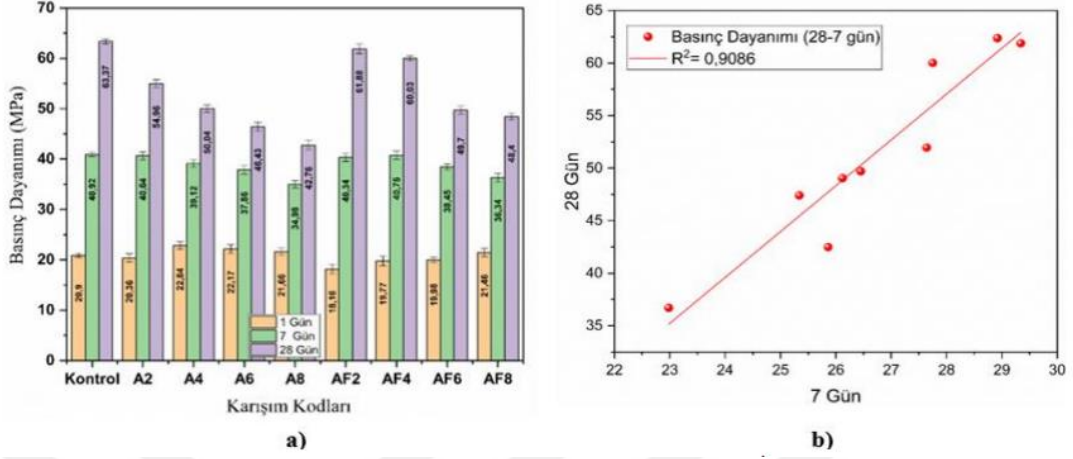
Çizelge 6.2: Katkılı ve Katkisız Numunelerde Ortalama Kılcal Geçirimlilik Katsayıları [$g/(m^2 \times s)$]

Numuneler	23°C de havada kür edilmiş numuneler			23°C de suda kür edilmiş numuneler		
	Çatladıktan Hemen Sonra	Çatladıktan 28 gün Sonra	İyileşme yüzdesi	Çatladıktan Hemen Sonra	Çatladıktan 28 gün Sonra	İyileşme yüzdesi
KB1	0,117	0,115	%1,7	0,10	0,096	%4,00
GKB1	0,135	0,100	%25,9	0,11	0,057	%48,2
GKB2	0,085	0,065	%23,5	0,097	0,060	%38,1



Şekil 6.17: 23 °C’de Havada Kür Edilmiş Numuneler

Polat ve Özel (2023), püskürtmeye beton uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan priz hızlandırıcıların; ıslak ve kuru karışumlu betonlardaki etkilerini araştırmışlardır.



Şekil 6.18: (a) Basma Dayanımı Değerleri (b) Basma Dayanımı Değerleri İlişkisi 7 Gün-28 Gün

Numunelerin 1'er günlük dayanımları incelendiğinde, en yüksek dayanım değerine A4 kodlu numunenin ulaştığı görülmüştür. 7 günlük ve 28 günlük dayanımları kontrol edildiğinde, şahit numuneye göre azaldığı tespit edilmiştir. Basma dayanımlarının 7 ve 28 günlük ilişkinin kontrolünde, belirleyicilik katsayısının yüksek bulunduğu görülmüştür.

Beton üretimlerindeki kimyasal katkıların, betonun özelliklerinde önemli bir yeri bulunmaktadır. Beton tasarımlarında, katkı kullanırken, dozaj ve çeşidinin doğru belirlenmesine dikkat edilmesi gerekliliği belirtilmiştir.

Özdemir ve Altan (2023), betonun üretiminde kullanılan su geçirimsiz katkıların farklı yönlerden değerlendirmesini yapmışlardır. Betonun su geçirimsiz veya daha geçirimsiz yapılabilmesi; katkıların betonun fiziksel olarak sıkıştırılması neticesinde mümkün olabilmektedir. Akışkanlaştırıcılar ile, betonun kolaylıkla işlenebilirliği sağlanmakta, beton bünyesindeki boşluklar azaldığı için geçirimsizlik de artmaktadır. Hava sürükleyici katkı malzemeleri ile, betondaki hava boşluklarının miktarı da iyice azalarak, geçirimsizliğin artmasında etkindir. Yalnız tam bir geçirimsizlik oluşmamaktadır. Beton sınıfında yükselme yapıldığında, bileşenler içerisinde yer alan çimentonun oranı da artmaktadır. Geçirimsizlik daha da, bu şekilde arttırılmış olmaktadır.

Çalışma kapsamında, katkı bulunmayan beton numunesiyle, katkı kullanılan beton numunelerinde su geçirimsizlikleri ve dayanım testleri kontrol edilmiştir. Tercih edilen katkıların beton dayanımını düşürdüğü görülmüş olup, bir üst sınıf beton tercih edilerek, beton dayanımı arttırılmıştır. Her bir katkının, betonda kendine özgü mekanizmaları ve etkileri bulunduğu görülmüştür.



7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Deneyin Amacı ve İçeriği

Yaptığımız deneylerin esas amacı, beton katkı kimyasallarının etkilerini basma dayanımları karşılaştırmaktır. Bu amaçla, katkı konulmaksızın üretilen bir beton ile beton katkısı konularak üretilen betonların basma dayanım test sonuçlarının değişimlerini gözlemlemek ve belirlemek deney içeriğindedir. Bu amaçla, ilgili beton numuneleri laboratuvar ortamında üretilmiştir. Üretilen bu beton numuneleri döküm işlemi yöntemi gerçekleştirilerek üretilmiştir.

7.2 Birinci Grup Deneyler

C 35 kalitesinde beton elde etmek üzere 3., 7. ve 28. günlerde kırılarak basma dayanımları ölçülmesi için 6'şar adet numune küp beton hazırlanmıştır.

Buna göre 1. grup deneyde, 1 adet katkısız (şahit) beton numunesi ve 5 adet beton katkılı numuneler yer almaktadır.

Çizelge 7.1: Beton Kimyasallarının Betonun Mekanik Dayanımına Etkisi

Amaç		BETON KİMYASALLARININ BETONUN MEKANİK DAYANIMINA ETKİSİ						
Karışım No		1	2	3	4	5	6	
Cimento Kaynağı		CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	
Cimento Dozajı	Kg/m ³	350	350	350	350	350	350	
Su/Cimento Oranı		0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	
Su	Kg/m ³	182	182	182	182	182	182	
Kırma Kum Kaynağı		KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	
Kırma Kum	Kg/m ³	935	935	935	935	935	935	
No.1 Agrega Kaynağı		KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	
No.1 Agrega	Kg/m ³	280	280	280	280	280	280	
No.2 Agrega Kaynağı		KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	
No.2 Agrega	Kg/m ³	640	640	640	640	640	640	
Kimyasal Katkı İsmi		ŞAHİT-A1	A2	A3	A4	A5	A6	
Kimyasal Katkı Kullanım Oranı		Yok	1,10%	1,10%	1,10%	1,10%	1,10%	
Taze Beton Testleri	Ortam Sıcaklığı	°C	22	22	22	22	22	
	Beton İstisi	°C	19	20	20	20	20	
	Hava %'si	%	1,80	2,00	2,10	2,10	2,10	
	Kıvam-Yayılma 5 dk	mm	80	80	80	80	80	
	İlave su -Eksi Su	Kg/m ³		-575	-600	-650	-675	-700
Su indirgeme %		0,00	26,33	27,47	29,76	30,91	32,05	
Basma Dayanım Testleri	1 Gün		11,90	18,50	19,20	20,50	22,20	24,00
	3 Gün		37,00	55,50	54,70	56,80	54,50	57,50
	7 Gün		43,00	62,50	63,70	63,90	64,00	65,00
	28 Gün		46,50	68,50	69,50	70,50	71,00	71,20
Beton Hacmi	dm ³	12	12	12	12	12	12	

Tüm numunelerde, ortak şartlar oluşturularak, diğer değişkenlerdeki farklılıklar gözlemlenmiştir.

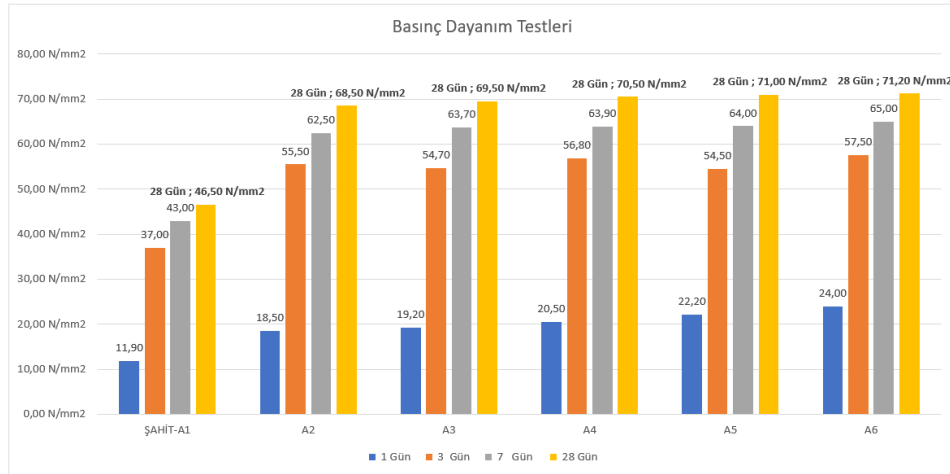
CEMI 42,5 çimento kaynağı kullanılmış olup, deneysel çalışma 350 kg/m³ dozajında, su/çimento oranı 0,52; su 182 kg/m³ olarak kullanılmıştır. Kırma kum kaynağı olarak, kalker, tüm numunelerde 935 kg/ m³ miktarınca konulmuştur.

İki agreganın kaynağı da kalkerdir. Miktarları, 280 kg/ m³ ve 640 kg/ m³ 'tür.

Birinci şahit beton numunesinde, hiç kimyasal katkı kullanılmamıştır. Diğer beş beton numunesinde, %1,10 oranında kimyasal katkı oranı kullanılmıştır.

İlgili deney, ortam sıcaklığı tüm numuneler için eşit olarak 22°C tutulmuştur.

Hiç kimyasal katkı malzemesi konulmadan üretilen beton numunesi ve diğer kimyasal katkı malzemeleri konularak üretilen beton numunelerinin, 1 günlük, 3 günlük, 7 günlük ve 28 günlük basma dayanımı sonuçları elde edilmiş olup, aşağıdaki grafikte detaylı bir şekilde belirtilmiştir.



Şekil 7.1: 1-3-7-28 Günlük Basma Dayanımlarını Gösterir Grafik

28 günlük basma dayanım değeri, en düşük A1 nolu beton numunesinde ölçülmüştür, A2, A3, A4, A5 ve A6 beton numunelerinde ise, giderek artan bir basma dayanım değeri ölçülmüştür.

A6 nolu beton numunesine konulan kimyasal katkı, en yüksek mukavemet kazanmasını sağlamıştır.



Şekil 7.2: 1-3-7-28 Günlük Basma Dayanımlarını Gösterir Grafik

Polikarboksilat bazlı olarak kullanılan kimyasal katkı; yüksek performanslı beton katkılarıdır. Yüksek performanslı hazır beton ile prefabrik üretimlerinde, betondaki su/çimento oranını azaltmakta ve ilk ve son dayanımı önemli miktarda arttırmakta olup, su kesici ve akışkanlaştırıcı katkılardır.

Kıvam korumayı arttırıp, priz süresini geciktiren ve priz süresini hızlandırıp, en kısa süre zamanda kalıba girmesini sağlayan çeşitleri mevcuttur.

Polikarboksilat bazlı beton katkıları, betonun işlenebilirliğini ve mekanik özelliklerini arttırmak için kullanılmaktadır.

Betonun çekme dayanımını, geçirimsizliğini arttırmakta, yüksek su kesme özelliğinden ötürü, korozif etkilere dayanıklı beton üretimine olanak sağlamaktadır.

Betonda oluşabilecek terleme ve ayrışma gibi durumları minimize ederek, betondaki aşınma direncini arttırmaktadır.

Betonda oluşabilecek donma-çözülme gibi durumlara karşı, daha dayanıklı olmaktadır.

Bu beton katkıların, üretimde uygulama yöntemini doğru belirlemek gerekmektedir. Hazır beton üretim santrallerinde, bu ürünler karışım suyuna katılması önerilmektedir.

Beton katkılarının dozajı da, önemlidir. Karışım dizaynında yer alan toplam bağlayıcı miktarına göre, dozaj ayarlanmaktadır. Karışımın tasarımındaki çimento, agrega, mineral katkı, su bileşenlerine göre, dozaj miktarı değişkenlik gösterebilmektedir.

Agrega ve çimento (bağlayıcı grup) birbirine eklenerek, homojen bir karışım meydana getirilmektedir. Gerekli olan su miktarının %70'i bu karışıma dahil edilmektedir. Kimyasal katkılı ürünler ise, suyun geri kalan %30'lık kısmıyla birlikte karışım içerisine alınmaktadır.

7.3 İkinci Grup Deneyler

C 35 kalitesinde beton elde etmek üzere 3., 7. ve 28. günlerde kırılarak basma dayanımları ölçülmesi için 11'er adet numune küp beton hazırlanmıştır.

Buna göre 2. grup deneyde, 1 adet katkısız (şahit) beton numunesi ve 10 adet beton katkılı numuneler yer almaktadır.

Çizelge 7.2: Beton Kimyasallarının Betonun Mekanik Dayanımına Etkisi

Amaç		BETON KİMYASALLARININ BETONUN MEKANİK DAYANIMINA ETKİSİ										
Karışım No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Çimento Kaynağı		CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5	CEMI 42,5
Çimento Dozajı	Kg/m ³	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Su/Çimento Oranı		0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
Su	Kg/m ³	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182
Kırma Kum Kaynağı		KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER
Kırma Kum	Kg/m ³	935	935	935	935	935	935	935	935	935	935	935
No.1 Agregaya Kaynağı		KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER
No.1 Agregaya	Kg/m ³	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
No.2 Agregaya Kaynağı		KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER	KALKER
No.2 Agregaya	Kg/m ³	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640	640
Kimyasal Katkı İsmi		ŞAHİT-B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
Kimyasal Katkı Kullanım Oranı	%	Yok	1,20%	1,20%	1,20%	1,20%	1,20%	1,20%	1,20%	1,20%	1,20%	1,20%
Taze Beton Testleri	Ortam Sıcaklığı	°C	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
	Beton Isısı	°C	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	Hava %'si	%	1,8	2,0	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	Kıvam-Yayıma 5 dk	mm	75	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	İlave su-Eksi su	Kg/m ³		-310	-350	-350	-460	-480	-400	-420	-420	-450
Su indirgeme	%	0,00	14,19	16,03	16,03	21,06	21,98	18,32	19,23	19,23	20,60	17,17
Basma Dayanım Testleri	1 Gün	N/mm ²	11,0	18,2	18,1	18,5	18,2	17,9	17,5	18,5	19,5	18,5
	3 Gün		37,2	43,2	44,4	46,5	45,5	46,2	46,3	48,5	50,5	48,5
	7 Gün		42,2	50,5	50,8	51,9	52,2	51,9	52,5	53,1	54,3	53,5
	28 Gün		46,6	54,2	56,9	56,2	59,8	60,5	57,8	59,1	59,9	60,2
Beton Hacmi	dm ³	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	

CEMI 42,5 çimento kaynağı kullanılmış olup, deneysel çalışma 350 kg/m³ dozajında, su/çimento oranı 0,52; su 182 kg/m³ olarak kullanılmıştır. Kırma kum kaynağı olarak, kalker, tüm numunelerde 935 kg/ m³ miktarınca konulmuştur.

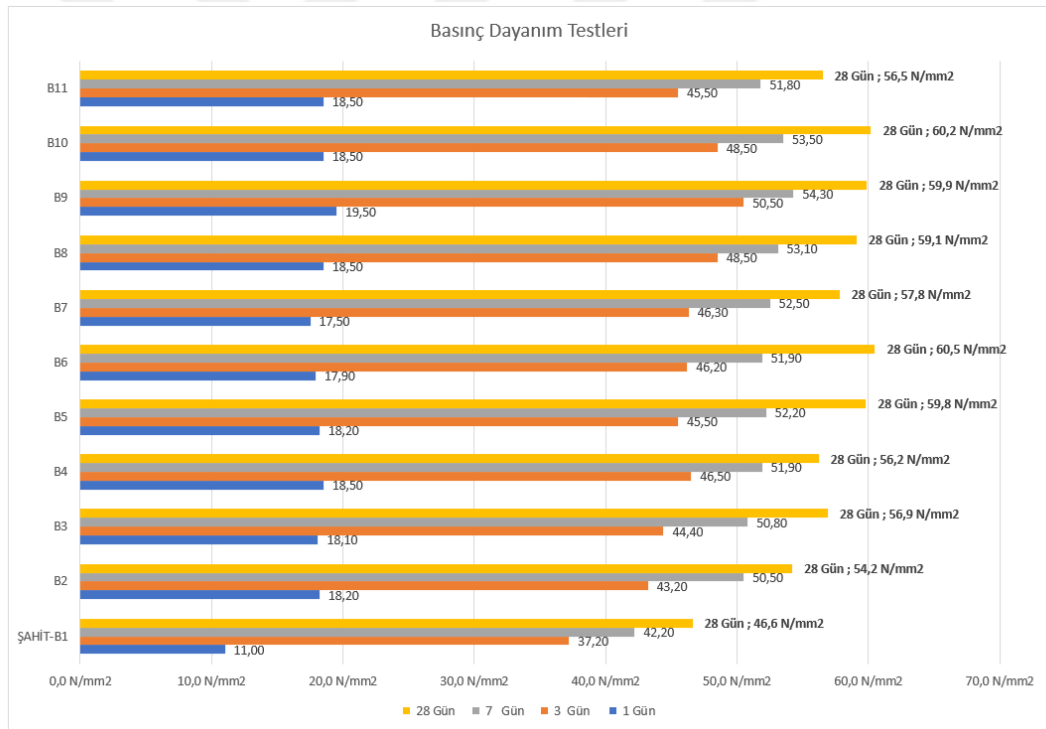
İki agreganın kaynağı da kalkerdir. Miktarları, 280 kg/ m³ ve 640 kg/ m³ 'tür.

Tüm numunelerde, ortak şartlar oluşturularak, diğer değişkenlerdeki farklılıklar gözlemlenmiştir. Eş zamanlı olarak, birinci grupta kullanılan kimyasal katkı ile ikinci grupta yer alan kimyasal katkı için, ortak şartlar sabit tutulmuş, kendi içerisinde de karşılaştırması yapılması hedeflenmiştir.

Birinci şahit beton numunesinde, hiç kimyasal katkı kullanılmamıştır. Diğer on beton numunesinde, %1,20 oranında kimyasal katkı oranı kullanılmıştır.

İlgili deney, ortam sıcaklığı tüm numuneler için eşit olarak 22°C tutulmuştur.

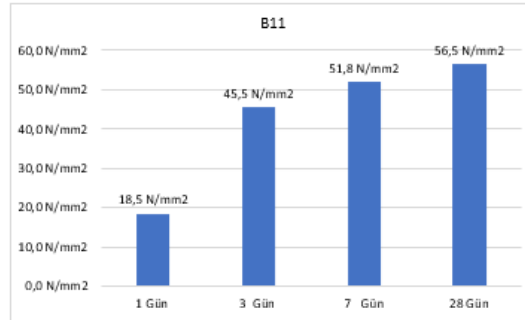
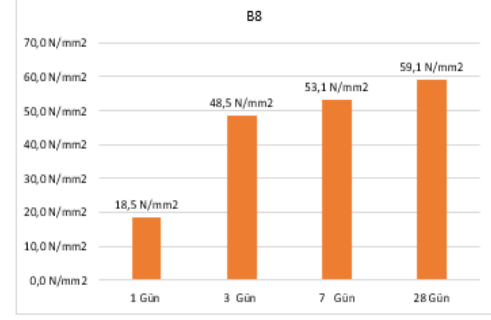
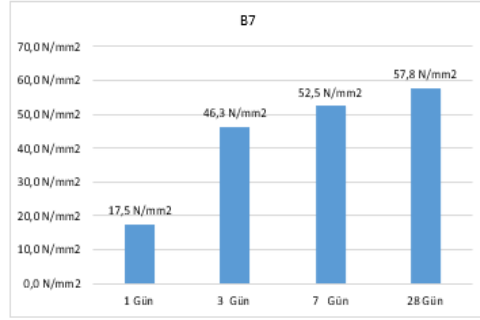
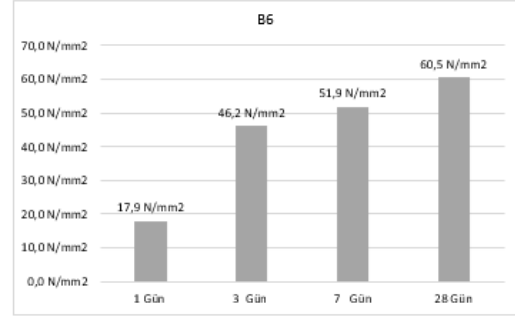
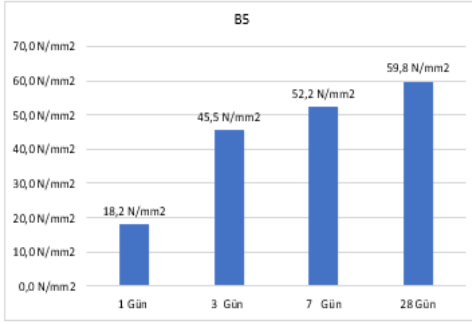
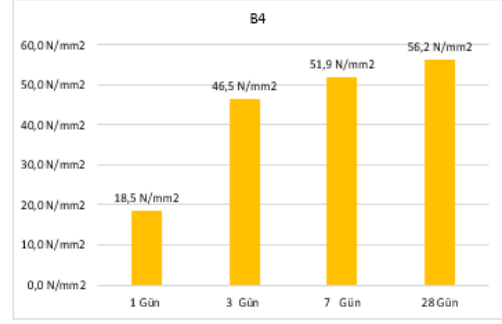
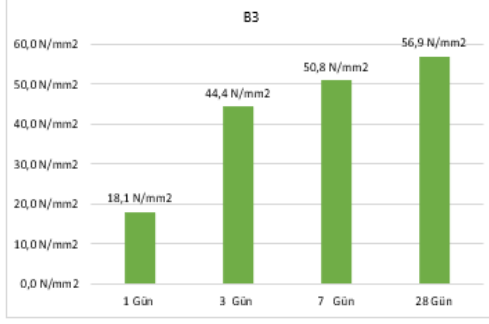
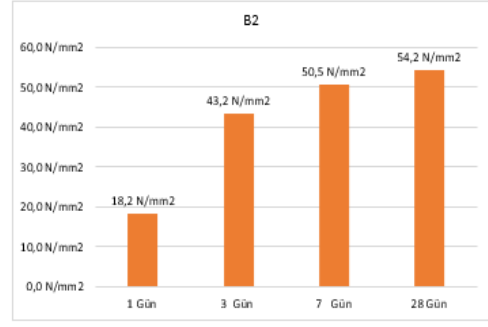
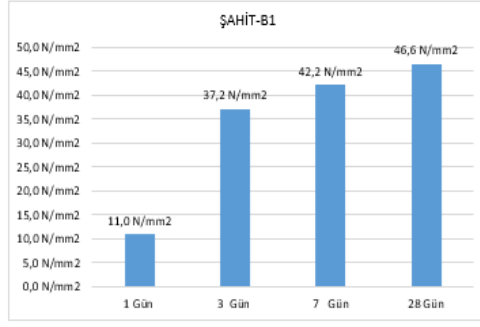
Hiç kimyasal katkı malzemesi konulmadan üretilen beton numunesi ve diğer kimyasal katkı malzemeleri konularak üretilen beton numunelerinin, 1 günlük, 3 günlük, 7 günlük ve 28 günlük basma dayanımı sonuçları elde edilmiş olup, aşağıdaki grafikte detaylı bir şekilde belirtilmiştir.



Şekil 7.3: 1-3-7-28 Günlük Basma Dayanımlarını Gösterir Grafik

28 günlük basma dayanım değeri, en düşük B1 nolu beton numunesinde ölçülmüştür, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9 ve B10 beton numunelerinde ise, en yüksek basma dayanımı B6 numunesinde ölçülmüştür.

B6 nolu beton numunesine konulan kimyasal katkı, en yüksek mukavemet kazanmasını sağlamıştır.



Şekil 7.4: 1-3-7-28 Günlük Basma Dayanımlarını Gösterir Grafik

İkinci grupta yer alan beton kimyasalları; naftalin sülfonat ve lignosülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcıdır.

Hazır beton üretiminde, betonun su/çimento oranını azaltarak, dayanımını yükselten, suyun miktarını düşüren akışkanlaştırıcı katkılardır. Su/çimento oranı düşüncü, betonun işlenebilirliği ve beraberinde mekanik özellikleri artmaktadır.

Tablodan da görüleceği üzere, kimyasal katkı konulmayan betona göre, kimyasal katkı konulan tüm beton numunelerinin dayanımları daha yüksek bir noktadadır. Yüksek performanslı beton üretiminde, bu kimyasal katkıların kullanılması tercih edilmektedir.

Bu kimyasal katkılar, beton üretim santrallerinde, karışım suyuna konulması önerilmektedir.

Kullanım dozajı, karışım tasarımı içerisinde bulunan toplam bağlayıcı miktarına göre, belirlenmektedir. Karışımında bulunan, çimento, agrega, mineral katkı, su bileşenlerinin miktarlarına göre, kullanım dozajı değişkenlik gösterebilmektedir.

Agregalar ve çimento, cüruf gibi bağlayıcılar birbirine karıştırılır. Gerekli olan su miktarının %70 kadarı, oluşturulan bu karışıma dahil edilir. Suyun geri kalan %30'luk kısım beraberinde karışıma ilave edilmektedir.

Beton sistemlerinde hasarlanmayı arttıracak klorün, beton katkı kimyasallarının içerisinde olmaması da, önemli bir özelliktir.

Polikarboksilat bazlı beton katkı kimyasalları ile Naftalin sülfonat-Lignosülfonat bazlı beton katkı kimyasallarının 28 günlük basma dayanımlarının karşılaştırmasında, polikarboksilat bazlı olanların basma dayanımlarının çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Her iki deney grubu için de; dikkate alınan deney yöntemi ve istenen değerler, aşağıdaki tabloda belirtilmiştir:

Çizelge 7.3: Yüksek Oranda Su Azaltıcı/Süper Akışkanlaştırıcı Katkılar İçin Özellikler (Eşit Kıvamda)

No	Özellik	Şahit beton	Deney Metodu	İstenen Değerler
1	Su azaltma	EN 480-1 Şahit beton 1	EN 12350-2'ye göre çökme veya EN 12350-5'e göre yayılma	Deneme betonunda şahit betona kıyasla en az %12
2	Basınç dayanımı	EN 480-1 Şahit beton 1	prEN 12390-3:1999	1 günde, deneme betonu, şahit betonun en az %140, 28 günde, deneme betonu, şahit betonun en az %115
3	Taze betondaki hava miktarı	EN 480-1 Şahit beton 1	EN 12350-7	Üretici tarafından aksi belirtilmedikçe, deneme betonu, şahit betonun hacimce en çok %2 üzerinde

Kaynak: (TS-EN verileri)

Hızlandırılmış kür uygulanan beton numunelerine basma dayanım testi deney yöntemi uygulanmıştır. Betonun basma dayanımı, taze betondan alınan numunelerin küp şekline (20x20cm) getirilerek test edilmiş olup, küp numuneler, yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak konuma getirilmiştir. 28 günün sonunda, bu beton numunelerine, basınç pres cihazıyla, değişmeyen değerlerde kuvvet uygulanmıştır. Bu numuneler, kırılıncaya dek, bu uygulama devam ettirilmiştir. Kırılma esnasında, uygulama durdurulmuştur. Numunelerin kesit alanları önceden belli olup, kırıldığı andaki kuvvet miktarı kesit alanına oranlandığında basma mukavemeti değerine ulaşılmıştır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1 Sonuç

Bu çalışmada, beton kimyasal katkıların, beton malzemesindeki etkileri, basma dayanımı deneyleri araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, aşağıda sunulmuştur:

Yapılan birinci grup ve ikinci grup deneyde belirtildiği gibi diğer kimyasal katkı kullanılan betonların normal beton ile karşılaştırılmasının ve betonun performansına etkisinin belirlenmesi için katkısız şahit bir beton üretilmiştir.

Katkı kullanımına bağlı olarak, basma dayanımlarında 1 günlük, 3 günlük, 7 günlük ve 28 günlük numunelerde, katkı konulmayan şahit numunelere göre, iyileştirme gözlenmiştir.

Birinci grup deneyde, altı adet numune içerisinde, en yüksek basma dayanımına A6 nolu beton numunesinde ulaşılmıştır.

İkinci grup deneyde, on bir adet numune içerisinde, en yüksek basma dayanımına B6 nolu beton numunesinde ulaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, detaylı bir şekilde tabloda ve grafikte karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Birinci grup deneyde, polikarboksilat bazlı beton katkılarının, ikinci grupta kullanılan naftalin sülfonat-lignosülfonat bazlı beton katkılarına kıyasla çok daha yüksek bir basma dayanımı sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, beton kimyasal katkıların, beton malzemesinin dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılabileceği görülmektedir.

8.2 Öneriler

- Yapılan deneylerin benzerleri diğer beton kimyasal katkıları kullanılarak, beton sistemleri üzerindeki basma mukavemetleri araştırılabilir.
- Beton sistemlerinde, kimyasal katkıların kullanılarak, dayanımın artırıldığı, bu şekilde hasarlanmanın minimize edilmeye çalışılacağına ilişkin, teknik bilgilendirme eğitimleri düzenlenerek, deprem kuşağında olan ülkemiz için yapılacak binalarda iyileştirme hedeflenebilir.



KAYNAKÇA

- Aka, İ., ve Celep, Z.,** (1978). Püskürtme Beton ve Uygulaması. İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Betonarme, Ahşap ve Çelik Yapılar Kürsüsü, İstanbul.
- Akman, S,** (1987). Yapı Malzemeleri, İstanbul.
- Dedeoğlu, Şamil** (2010). Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Beton Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Gürsoy, M.** Gözde (2003).Beton ve Özellikleri, DSİ-TAKK Dairesi, Beton-Malzeme Lab. Aydın Sağlık Sunum Farklı Akışkanlaştırıcı Katkı Malzemelerinin Beton Özelliklerine Etkisi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Hamid Eskandaria, H. Mozafari Nicb, A., Ghaneia, A.,** (2016). Effect of Air Entraining Admixture on Corrosion of Reinforced Concrete, Science Direct, Procedia Engineering 150 2178 – 2184 (2016)
- Hover. K. C,** (1998). Concrete Mixture Proportioning with Water-reducing Admixtures to Enhance Durability: A Quantitative Model, Cement and Concrete Composites 20 (1998) 113-119.
- İlgün, A., Yılmaz Türker, İ., Müsevitoğlu, A., Çögürçü, M.T.,** (2020). Katkı Malzemelerinin Fazla Kullanılmasının Betona Etkisi: Vaka Analizi, KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 2(1), 31-39.
- Kurgan, Naci** (t.y). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Hasar Mekanizmaları, Yayınlanmamış, Ders Notları
- Özdemir, H. ve Altan, M.F.,** (2023). Su Geçirimsizlik Sağlayan Sıvı Beton Katkılarının İncelenmesi, Journal of Technical and Applied Sciences, 03(01), 32-48.
- Polat, H. ve Özel, C.,** (2023). Farklı Priz Hızlandırıcı Katkıların Püskürtme Beton Performansına Etkisinin Karşılaştırmalı Analizi, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Cilt/Volume:15 Sayı/Issue:3.
- Roberge, P.R.** (2000). Handbook of Corrosion Engineering,.
- Şahin, O.,** (2023). Kristalize Geçirimsizlik Katkılarının Betonun Taşıma Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi.
- Topçu, İ.B., Canbaz, M., Karakurt, C.,** (2006). Beton Üretiminde Kimyasal Katkı Kullanımı Politeknik Dergisi Cilt: 9 Sayı: 1 s. 59-63.

- Tunç, E. T.**, (Aralık 2019). Kimyasal Katkılı Betonların Dayanım Özelliklerine Dayalı Bir Çalışma, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Sayı 17, S. 901-908.
- Yeğınobalı, A.**, (1999). Betonun Dayanıklılığı I, Fiziksel Etkenler, T.Ç.M.B. Çimento ve Araştırma Enstitüsü Seminer Notları, Ankara.
- Yiğıter, H.**, (2008). Betonarme Donatısında Klorid Korozyonu Gelişiminin Elektrokimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi

İnternet

- Doruk, M.**, (1982). Adres: [https://www.sanalsantiye.com/donati-korozyonu-nasil-onlenir/Korozyon ve Önlenmesi](https://www.sanalsantiye.com/donati-korozyonu-nasil-onlenir/Korozyon%20ve%20Önlenmesi).
- Baradan, B., Aydın, S.** (2013). <https://insapedia.com/beton-basinc-dayanimlari-ve-dayanimlari-etkileyen-faktorler/> Betonun Durabilitesi.
- bingol.edu.tr**, Beton, Bingöl Üniversitesi Ders Notu, Alındığı Tarih: 13.10. 2023, adres: [https://www.bingol.edu.tr/documents/file/A-Fak-MMF/insaat%20m%C3%BChendisli%C4%9Fi/ders%20notu%20\(1\).pdf](https://www.bingol.edu.tr/documents/file/A-Fak-MMF/insaat%20m%C3%BChendisli%C4%9Fi/ders%20notu%20(1).pdf)
- www.thbbakademi.org**, Alındığı Tarih: 05.09. 2023, adres: <https://www.thbbakademi.org/beton-catlaklarinin-degerlendirilmesi-ve-sorunlarin-giderilmesi/>
- cimsa.com.tr**, Alındığı Tarih: 07.09. 2023, adres: <https://cimsa.com.tr/formulhane/gri-cimento/rotre-nedir-betonda-rotre-catlagi-nasil-olusur/> Durabilite, Set Beton Sunum
- www.sanalsantiye.com**, Alındığı Tarih: 11.09. 2023, adres: <https://www.sanalsantiye.com/yapilarda-korozyon-nedir-nasil-olusur/>
- www.insaatdunyasi.com.tr**, Alındığı Tarih: 11.09. 2023, adres: <https://www.insaatdunyasi.com.tr/bolumler/makale/korozyon-nedir-nasil-olusur-deprem-ve-yapilara-etkisini-anlamak/>
- cimsa.com.tr**, Alındığı Tarih: 14.10. 2023, adres: <https://cimsa.com.tr/formulhane/hazir-beton/beton-basinc-dayanimi-nedir-nasil-olculur/>
- cimsa.com.tr**, Alındığı Tarih: 18.10. 2023, adres: <https://cimsa.com.tr/formulhane/beyaz-cimento/agrega-nedir-agrega-ozellikleri-nelerdir/>

ÖZGEÇMİŞ

Fatma ER SENCER. İlk ve orta öğretimini Antalya Göçerler İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2003 yılında Antalya Anadolu Lisesi'nden, 2007 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden, 2011 yılında, Anadolu Üniversitesi Dış Ticaret bölümünden mezun oldu. 2020 yılında, Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İşletme-MBA bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2022 yılında İstanbul Gedik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına başladı.

2007-2013 yılları arasında Kale Grubu-Kale Maden Endüstriyel Hamm.Tic.A.Ş.'de İhracat Satış Sorumlusu ve İhracat Satış Şefi olarak görev aldı. 2013-2014 yılında, Gedik Holding-Gedik Döküm ve Vana A.Ş.'de İhracat Bölge Müdürü, 2014-2023 yılları arasında Bdr Thermea Group-Baymak Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de İhracat Bölge Müdürü olarak çalıştı. 2023 yılı itibariyle, Yapıchem Kimya Sanayi A.Ş.'de İhracat Direktörü olarak görev almaktadır.