



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SOĞUK HAVA KOŞULLARINDA ÜRETİLEN HAFİF BETONLARIN
KOROZİF ORTAM DİRENÇLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine ERTEM

MAYIS 2019
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SOĞUK HAVA KOŞULLARINDA ÜRETİLEN HAFİF BETONLARIN
KOROZİF ORTAM DİRENÇLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine ERTEM

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”

Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17/05/2019

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 10/06/2019

MAYIS 2019




KABUL ve ONAY

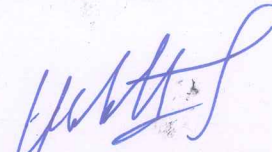


Doç. Dr. Mustafa ÇULLU danışmanlığında **Emine ERTEM** tarafından hazırlanan “**SOĞUK HAVA KOŞULLARINDA ÜRETİLEN HAFİF BETONLARIN KOROZİF ORTAM DİRENÇLERİNİN ARAŞTIRILMASI**” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

: 
Prof. Dr. Şükrü YETGİN

Üye (Danışman)

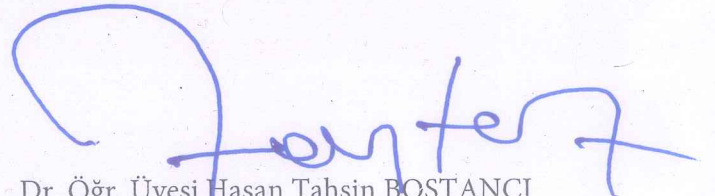
: 
Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

Üye

: 
Dr. Öğr. Üyesi Ömer CAN

ONAY

Bu tez 11/07/2019 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.


Dr. Öğr. Üyesi Hasan Tahsin BOSTANCI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Soğuk Hava Koşullarında Üretilen Hafif Betonların Korozyif Ortam Dirençlerinin Araştırılması”** isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

17/05/2019

Emine ERTEM

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SOĞUK HAVA KOŞULLARINDA ÜRETİLEN HAFİF BETONLARIN
KOROZİF ORTAM DİRENÇLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Emine ERTEM

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

2019, 74 sayfa

Bu çalışmanın amacı, taze halde soğuk havaya maruz kalmış hafif betonların korozif ortam etkilerini incelemektir. Çalışma kapsamında, taşıyıcı hafif beton dayanım sınıfında beton örnekler üretilmiştir. Beton örneklerin bir kısmı soğuk havalarda beton katkısı olarak kullanılan beton antifriz katkılı olarak üretilmiştir. Bu sayede antifriz katkısının hafif betonlarda etkinliği belirlenmiştir.

Üretildikten sonra taze halde 2 gün boyunca normal şartlara ve soğuk havaya (0°C, -5°C, -10°C) maruz bırakılan beton örnekler kalıptan çıkarıldıktan sonra 28. güne kadar kür edilmiştir. Kür süresi tamamlanan beton örnekler %5 ve %10 konsantrasyona sahip NaCl (tuz) ve NaSO₄ (sodyum sülfat) çözeltilerinde 10 çevrim şeklinde ıslanma-kuruma döngüsüne tabi tutulmuştur.

Islanma-kuruma döngüsü tamamlanan beton örnekler üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, kapilerite, impermeabilite ve ağırlık değişimi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık ve antifriz katkılı veya katkısız olma durumuna göre kıyaslanmıştır.

Sonuç olarak, normal şartlara maruz beton örneklerin korozif ortamlara karşı en iyi performansı sağladığı ve beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü ile fiziksel ve mekanik özelliklerde kayıpların olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif beton, Hafif agregası, Sülfat etkisi, Soğuk havada beton

ABSTRACT
MS THESIS

**INVESTIGATION OF CORROSIVE ENVIRONMENT RESISTANCE OF
LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCED UNDER COLD WEATHER
CONDITION**

Emine ERTEM

Gumushane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Associate Professor Mustafa ÇULLU

2019, 74 pages

The aim of this study is to investigate the effects of corrosive environment on light concrete exposed to cold weather. In the scope of the study, concrete samples of the carrier light concrete strength class are produced. Some of the concrete samples are produced with antifreeze additive used as concrete admixture in cold weather. In this way, the effectiveness of antifreeze additive in lightweight concrete is determined. Concrete samples exposed to normal conditions and cold air (0°C, -5°C, -10°C) for 2 days in fresh condition after production are cured until the 28th day after removal from the mold.

The curing time completed concrete samples are subjected to 10 cycles of wetting-drying in solutions of NaCl (salt) and NaSO₄ (sodium sulfate) which have 5% and 10% concentration.

Compressive strength, tensile strength, capillary, impermeability and weight change tests are carried out on the concrete specimens whose wetting-drying cycle is completed.

The obtained data are compared with the temperature value which the lightweight concrete samples are exposed to in fresh form and according to the condition of with or without the antifreeze additive.

As a result, it has been determined that the concrete samples exposed to normal conditions provide the best performance against corrosive environments and they have loses in physical and mechanical properties with the decrease of the temperature value which the concrete samples exposed to in fresh form.

Keywords: Lightweight Concrete, Lightweight Aggregate, Sulfate Effect, Cold Weather Concrete

TEŞEKKÜR

“Soğuk Hava Koşullarında Üretilen Hafif Betonların Korozyif Ortam Dirençlerinin Araştırılması” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım süresince bana zaman ayıran, tezin planlanması, araştırılması ve yürütülmesinde geçen her aşamada değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, iyi niyetini ve güler yüzünü daima hissettiren danışman hocam Doç.Dr. Mustafa ÇULLU’ya sonsuz saygılarımı sunarım.

Deney çalışmalarında yanımda olan sevgili kardeşim Mustafa Ertan ERTEM’e ve tüm hayatım boyunca yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, varlıklarıyla yüzümü güldüren çok değerli babam Zeki ERTEM, annem Hacer ERTEM ve geniş aileme sonsuz sevgilerimi sunarım.

Emine ERTEM
Gümüşhane, 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Beton Türleri	1
1.2. Beton Türleri	2
1.2.1. Normal Betonlar.....	2
1.2.2. Ağır Betonlar	2
1.2.3. Hafif Betonlar ve Türleri.....	3
1.2.3.1. Yalıtım Betonları	4
1.2.3.2. Yarı Taşıyıcı Hafif Betonlar	4
1.2.3.3. Taşıyıcı Hafif Betonlar	5
1.3. Hafif Betonların Üretiminde Kullanılan Hafif Agregalar.....	5
1.3.1. Doğal Agregalar.....	5
1.3.1.1. Pomza.....	5
1.3.2. Yapay Agregalar	7
1.3.2.1. Perlit	7
1.3.2.2. Genleştirilmiş Perlit	7
1.3.2.3. Genleştirilmiş Kil.....	9
1.3.2.4. Uçucu Kül	9

1.3.3.	Hafif Betonların Özellikleri	10
1.3.3.1.	Taze Beton Özellikleri	10
1.3.3.2.	Sertleşmiş Beton Özellikleri	11
1.3.3.3.	Basınç Dayanımı	11
1.3.3.4.	Yarmada Çekme Dayanımı	11
1.3.3.5.	Elastisite Modülü	11
1.3.3.6.	Rötre.....	12
1.3.3.7.	Sünme	12
1.3.3.8.	Yoğunluk.....	12
1.3.3.9.	Porozite	12
1.3.3.10.	Kapilarite.....	13
1.3.3.11.	İmpermeabilite	13
1.3.3.12.	Aşınma	13
1.3.4.	Hafif Betonun Normal Betona Göre Avantajları	13
1.3.5.	Hafif Betonun Normal Betona Göre Dezavantajları.....	15
1.4.	Soğuk Havada Beton Üretimi	15
1.4.1.	Soğuk Havanın Mekanik Özelliklere Etkisi	16
1.5.	Korozif Ortamlar.....	17
1.5.1.	Sülfat Etkisi.....	17
1.5.2.	Tuz Etkisi	18
1.5.3.	Alkali-Silika Reaksiyonu ve Alkali-Karbonat	19
1.6.	Çalışmanın Amacı.....	19
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	20
2.1.	Materyal	20
2.1.1.	Agrega (Pomza)	20
2.1.2.	Çimento.....	21
2.1.3.	Antifriz	21

2.1.4.	Karışım Suyu	21
2.2.	Metot	22
2.2.1.	Beton Örneklerinin Üretimi	22
2.2.2.	Basınç Dayanımının Tayini	23
2.2.3.	Yarmada Çekme Dayanımı Tayini	24
2.2.4.	Kapilarite Tayini	25
2.2.5.	İmpermeabilite Tayini	27
2.2.6.	Ağırlık Değişimi Tayini	27
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	29
3.1.	Basınç Dayanımı	29
3.2.	Yarmada Çekme Dayanımı	33
3.3.	Kapilerite	37
3.4.	İmpermeabilite	50
3.5.	Ağırlık Değişimi	54
4.	SONUÇLAR	68
5.	KAYNAKLAR	72
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Novovoronej Nükleer Enerji Santrali.....	3
Şekil 1.2.	Kullanılan agrega cinsine göre hafif betonların sınıflandırılması (Konuk, 2002)	4
Şekil 1.3.	Pomza agregası.....	6
Şekil 1.4.	Perlit agregası	7
Şekil 1.5.	Genleştirilmiş perlit agregası.....	8
Şekil 1.6.	Genleştirilmiş kil agregası.....	9
Şekil 1.7.	Uçucu Kül	10
Şekil 2.1.	Pomza agregası.....	20
Şekil 2.2.	Dona maruz bırakılan beton örnekler	23
Şekil 2.3.	Beton basınç presi	24
Şekil 2.4.	Yarmada çekme deney düzeneği	25
Şekil 2.5.	Kapilerite deney düzeneği	26
Şekil 2.6.	İmpermeabilite cihazı	27
Şekil 2.7.	Sülfat ve Tuz deneyi döngüsü	28
Şekil 3.1.	Antifriz katkısız hafif betonların ortalama basınç dayanımı değerleri.....	31
Şekil 3.2.	Antifriz katkılı hafif betonların ortalama basınç dayanımı değerleri	32
Şekil 3.3.	Antifriz katkısız hafif betonların ortalama yarmada çekme dayanımı değerleri.....	36
Şekil 3.4.	Antifriz katkılı hafif betonların ortalama yarmada çekme dayanımı değerleri.....	36
Şekil 3.5.	%5 tuz içerikli korozyif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları.....	40
Şekil 3.6.	%10 tuz içerikli korozyif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları.....	41
Şekil 3.7.	%5 sodyum sülfat içerikli korozyif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları.....	42

Şekil 3.8.	%10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları.....	43
Şekil 3.9.	%5 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkılı betonların kapiler su emme miktarları.....	46
Şekil 3.10.	%10 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkılı betonların kapiler su emme miktarları.....	47
Şekil 3.11.	%5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkılı betonların kapiler su emme miktarları.....	48
Şekil 3.12.	%10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkılı betonların kapiler su emme miktarları.....	49
Şekil 3.13.	Antifriz katkısız hafif betonların ortalama impermeabilite değerleri.....	53
Şekil 3.14.	Antifriz katkılı hafif betonların ortalama impermeabilite değerleri.....	53
Şekil 3.15.	Antifriz katkısız beton örneklerin %5 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi	55
Şekil 3.16.	Antifriz katkılı beton örneklerin %5 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi.....	56
Şekil 3.17.	Antifriz katkısız %5 tuz içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi	56
Şekil 3.18.	Antifriz katkılı %5 tuz içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi	57
Şekil 3.19.	Antifriz katkısız beton örneklerin %10 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi	58
Şekil 3.20.	Antifriz katkılı beton örneklerin %10 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi	59
Şekil 3.21.	Antifriz katkısız %10 tuz içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi	59
Şekil 3.22.	Antifriz katkılı %10 tuz içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi	60
Şekil 3.23.	Antifriz katkısız beton örneklerin %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi	61
Şekil 3.24.	Antifriz katkılı beton örneklerin %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi	62
Şekil 3.25.	Antifriz katkısız %5 sodyum sülfat içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi.....	62
Şekil 3.26.	Antifriz katkılı %5 sodyum sülfat içerikli -10°C’de üretilen hafif beton numunesinin değişimi	63

Şekil 3.27.	Antifriz katkısız beton örneklerin %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi.....	64
Şekil 3.28.	Antifriz katkılı beton örneklerin %10 sodyum Sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi.....	65
Şekil 3.29.	Antifriz katkısız %10 sodyum sülfat içerikli 0°C’de üretilen hafif beton numunesinin değişimi.....	65
Şekil 3.30.	Antifriz katkılı %10 sodyum sülfat içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi	66

TABLOLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Pomza agregasına ait fiziksel özellikler	20
Tablo 2.2. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	21
Tablo 2.3. Antifriz türü ve özellikleri	21
Tablo 2.4. Beton karışım hesabı	22
Tablo 3.1. Beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerleri.....	29
Tablo 3.2. Beton örneklerin ortalama yarmada çekme dayanımı değerleri.....	33
Tablo 3.3. Taze halde Normal şartlarda antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri.....	38
Tablo 3.4. Taze halde 0°C derecede antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri.....	38
Tablo 3.5. Taze halde -5°C derecede antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri.....	39
Tablo 3.6. Taze halde -10°C derecede antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri.....	39
Tablo 3.7. Taze halde Normal şartlarda antifriz katkılı üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri.....	44
Tablo 3.8. Taze halde 0°C derecede antifriz katkılı üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri.....	44
Tablo 3.9. Taze halde -5°C derecede antifriz katkılı üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri.....	45
Tablo 3.10. Taze halde -10°C derecede antifriz katkılı üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri.....	45
Tablo 3.11. Beton örneklerin ortalama impermeabilite değerleri.....	50
Tablo 3.12. Beton örneklerin %5 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi.....	54

Tablo 3.13.	Beton örneklerin %10 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi.....	57
Tablo 3.14.	Beton örneklerin %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık kaybı	60
Tablo 3.15.	Beton örneklerin %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık kaybı.....	63

1. GENEL BİLGİLER

Normal agregalı betonlara karşın hafif agregalı betonlar ısı yalıtımı açısından daha avantajlıdır. Hafif betonların yüksek ısı yalıtımı sağladığı, yangına karşı dirençli olduğu ve düşük yoğunlukta olması tercih edilme oranını artırmaktadır. Önde gelen ülkelerde hafif beton üretimine önem verilmektedir. Özellikle yapının ölü yükünü azalttığı, binanın temeline ve alt katlara gelen yükü azalttığı için deprem bölgelerinde daha çok tercih edilmektedir.

Agregalar betonun yaklaşık olarak %75'ini oluşturmaktadır. Bu sebeple betonun istenilen düzeyde olabilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Agregaların en çok kullanılanları gözenekli bir yapıya sahip olan doğal ve yapay agregalardır. Ülkemizde de yaygın olarak kullanılan pomza doğal hafif bir agregadır. Orta ve Doğu Anadolu bölgesinde büyük rezervleri vardır. Gözenekli, silika esaslı ve sünger görünümündedir. Pomza taşının barındırdığı gözenekler makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız bir şekildedir. Bu gözeneklerin hepsi birbirinden camsı bir zarla ayrılmaktadır.

Kış mevsimi koşullarında beton dökümü bir hayli zordur. Betonun istenilen dayanıma ulaşması için uygun malzeme seçimi, gerekli planlama ve titiz bir işçilik gerektirir. Soğuk hava koşullarında dökülen betonda don olayı yaşanırse betonun karışım suyu donar. Don olayının gerçekleşmesiyle hidrasyon için gerekli olan su bulunamaz ve beton priz alımı yapılamamış olur. Taze betonda donma olayı gerçekleşmişse ve daha beton gerekli dayanımını kazanamamışsa betonda önlemleri alınamayan hasarlar oluşabilir. Donma olayı beton gerekli dayanımı kazandıktan sonra gerçekleşirse oluşabilecek hasar daha aza indirilebilir. Bu durum karışım suyunun çimento ile tepkimeye girmesinden kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, taze halde soğuk havaya maruz kalmış hafif betonların Sodyum sülfat (NaSO_4) ve tuz (NaCl) konsantrasyonuna sahip korozyon ortamlarında fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimi belirlemektir.

1.1. Beton Türleri

Birim hacim ağırlıklarına göre betonlar üçe ayrılmaktadır. Bunlar normal, hafif ve ağır betonlardır.

1.2. Beton Türleri

Birim hacim ağırlıklarına göre betonlar üçe ayrılmaktadır. Bunlar normal, hafif ve ağır betonlardır.

1.2.1. Normal Betonlar

Normal doğal taneli agrega ile üretilmekte olan ve birim ağırlığı $2000-2600 \text{ kg/m}^3$ arasında değişim gösteren betonlardır. Farklı bir yapıda veya dayanımda olması istenmeyen durumlarda bina inşaatlarında normal betonlar kullanılmaktadır. Maliyetinin ucuz olması, rahat ulaşılabilir ve kullanılabilir olması ve yüksek dayanım göstermesi sebebiyle daha çok tercih edilmektedir.

Ancak bunlara karşın birim hacim ağırlıklarının yüksek olması sebebiyle betonarme yapılarda öz ağırlığı arttırıcı tesirleri olmaktadır. Bu durum özellikle deprem anında yatay yüklerin değerlerini yükseltir ve yapının taşıyıcı hafif beton kullanılarak inşa edilmesi istenebilir. Böylece deprem anında yatay kuvvetlerin azalması ve yapıda oluşabilecek deprem hasarlarının önlenmesi sağlanmış olur.

1.2.2. Ağır Betonlar

Doğal ya da yapay ağır agrega kullanılarak üretilen ağır betonlar, genel olarak birim hacim ağırlıkları 2600 kg/m^3 'den daha fazla olan betonlar olarak tanımlanmaktadır.

Nükleer enerji santrallerinde, hastanelerin ışın tedavisi yapılan bölümlerinde, nükleer araştırma ve deney laboratuvarlarında, atom araştırmaları kurumlarında radyasyona karşı kalkan olarak kullanılmakta olan ağır betonlardır. Ayrıca askeri alanda kullanılan mühimmat depo duvarları, baraj gövdeleri, sığınak yapıları, köprü ayakları ve istinat duvarları gibi yapılarda kullanılmaktadır.

Rusya'da bulunan Novovoronej Nükleer Enerji Santralinin inşasında ağır beton kullanılmıştır (Şekil 1.1).

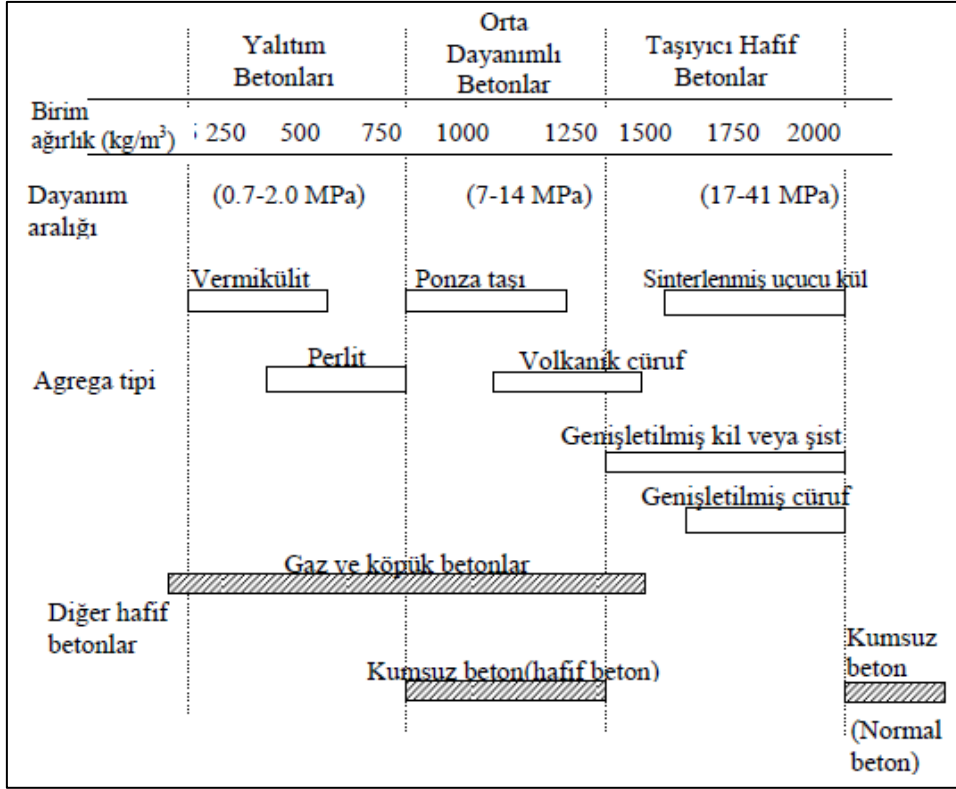


Şekil 1.1. Novovoronej Nükleer Enerji Santrali
(<https://www.muhendisbeyinler.net/nukleer-enerji-santrali/>).

1.2.3. Hafif Betonlar ve Türleri

Hafif betonlar birçok yönüyle diğer betonlardan daha üstün olduğu için birçok sanayi ülkesinde hafif beton kullanımı tercih edilir. Birim hacim ağırlığı 2000 kg/m^3 'den daha az olan betonlara hafif beton denilmektedir. Hafif betonlar, taşıyıcı hafif betonlar, yarı taşıyıcı hafif betonlar ve yalıtım betonları olarak kullanım amaçlarına göre üç gruba ayrılmıştır.

Yalnızca hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonların gruplandırılması Şekil 1.2'de görülmektedir.



Şekil 1.2. Kullanılan agrega cinsine göre hafif betonların sınıflandırılması (Konuk, 2002)

1.2.3.1. Yalıtım Betonları

Yalıtım hafif betonu, taşıyıcı olması istenmeyen yapılarda yüksek ısıl direnç isteği tercih edilen, düşük mukavemetli ve düşük yoğunluklu hafif beton türüdür. Yalıtım hafif betonunun yapımında vermikülit ve genişletilmiş perlit gibi diğer agregalara oranla daha düşük mukavemetli ve düşük yoğunluklu hafif agregalar kullanılır.

1.2.3.2. Yarı Taşıyıcı Hafif Betonlar

Taşıyıcı beton ile yalıtım betonunun arasında olan sınıfa yarı taşıyıcı hafif betonlar denilmektedir. Basınç dayanımı ve yoğunluğu bu iki grubun arasındadır. Hava boşluğu oranı yüksek olarak elde edilecek biçimde hafif agrega ile üretilir. Ayrıca çoğunlukla endüstriyel alanlarda tercih edilen dolgu betonu kullanımında yarı taşıyıcı hafif betonlardan yararlanır.

Yarı taşıyıcı hafif betonların yapımında genellikle pomza ve volkanik cüruf kullanılmaktadır.

1.2.3.3. Taşıyıcı Hafif Betonlar

Taşıyıcı hafif betonlardan, yapısal amaçlar nedeniyle bir süredir yararlanılmaktadır. Çok yönlü bir tür olan taşıyıcı hafif betonlar sağladığı çevresel, düşük maliyet ve teknik açıdan diğer beton türlerine göre daha üstündür. Bu betonlar özellikle bir yapının ölü yükünün ve kullanılacak betonarme yapı elemanlarının kesit alanlarının küçültülmesinde tercih edilirler. Bunun yanı sıra taşıyıcı hafif betonlar çatı katı döşemelerinde, köprü açıklıklarında, duvar panel ve blokların yapımında, ön yapımlı beton numunelerinde genellikle tercih edilmektedir. Bu nedenlerle özellikle deprem bölgelerinde yapılan yapılarda kullanmak için taşıyıcı hafif beton üretmek tercih nedenidir.

Taşıyıcı hafif betonlarda genellikle ısıl işlem görmüş şist, kil, arduvaz, genleştirilmiş cüruf ve volkanik kaynaklardan elde edilen agregalar kullanılmaktadır.

1.3. Hafif Betonların Üretiminde Kullanılan Hafif Agregalar

1.3.1. Doğal Agregalar

Akarsu yatağından, denizden, buzullardan, göllerden, taş ocaklarından ve teraslardan elde edilen agregalardır. Kırılmış veya kırılmamış olarak kullanılabilir. Doğal agrega sınıfları arasında en çok tercih edilen, akarsu yatağında elde edilen agregalardır.

1.3.1.1. Pomza

Pomza, birbirine bağlantısız boşluklu, süngerimsi, silikat esaslı, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı sağlam, birim hacim ağırlığı 1 g/cm^3 'ten küçük, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Oluşumu esnasında yapısındaki gazların birdenbire bünyeyi terk etmesi ve soğuması sebebiyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek barındırmaktadır. Bu gözenekleri ile üretilen betonun dayanımı üzerinde mühim bir etkiye sahiptir.

Türkiye'de de özellikle inşaat alanında kullanımı günden güne artmakta ve önem kazanmaktadır. Ülkemizde Orta ve Doğu Anadolu bölgesinde oldukça büyük rezervleri bulunmaktadır.

Hafif agrega olan pomzanın gözenekleri birbirleriyle bağımsız olup bu karakterinden ötürü ısı ve ses iletkenliği epeyce düşük yalıtım betonları meydana getirebileceği gibi

taşıyıcı hafif betonların üretimi de olabilmektedir. Pomza agregası Şekil 1.3’de görülmektedir.



Şekil 1.3. Pomza agregası

(<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza>).

Ceylan ve arkadaşının pomza ile ilgili yaptığı çalışmada, hafif agrega olarak tercih edilmesini ve imalatı yapılmış hafif betonların belirli bir sıcaklık etkisine uğradıktan sonraki dayanım ölçülerindeki farklılıkları, pomzadan yararlanılarak üretilen taşıyıcı olmayan hafif betonların üretimi açısından incelemişlerdir. Çalışmada, Kayseri İli Talas İlçesi’nden, Nevşehir İli Göre Beldesi’nden çıkarılan pomzalar ve İzmir İli Menderes İlçesi’nden çıkarılan perlitik pomzalar incelenmiştir. Çalışmada kullanılan türlerin, hafif agrega özellikleri araştırıldıktan sonra, belirlenen 26 karışıma ait 3 farklı çimento oranında, 78 ayrı hafif beton üretimi ve sağlanan hafif beton numunelerinin kuru birim hacim ağırlık, su emme, dayanım, sıcaklık etkisinde dayanım gibi bazı teknik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan hafif beton numuneleri üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonucunda, çimento oranının hafif beton numunelerinin dayanımına ve birim hacim ağırlığına etkisi, sıcaklığın hafif beton numunelerinin dayanımına ve kuru birim hacim ağırlığına etkisi, hafif beton numunelerinde kullanılan pomza türlerinin sıcaklık etkisindeki karakteristiği ve pomza türlerinin birbirleri ile kıyaslanması yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, pomza türleri ve bu türlerden üretilen hafif betonların sıcaklık etkisinde bazı özellikleri ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır (Ceylan, 2006).

1.3.2. Yapay Agregalar

İmalat ürünü olan agregalar kırılmış veya kırılmamış olabilir. Yapay agregalar tipik özellikleri açısından hafif ağırlıklı olup, genel olarak hafif beton üretiminde tercih edilmektedir.

1.3.2.1. Perlit

Perlit, ısı ve ses izolasyonu sağlayan bir kayaç türüdür. Türkiye dünya üzerindeki bilinen perlit rezervinin %74'üne sahiptir. Dünyada ve ülkemizde en yaygın perlit kullanımı inşaat sektöründe görülmektedir. Bu nedenle, dünya perlit tüketimi de inşaat sektöründeki iniş ve çıkışlardan oldukça etkilenmektedir. Yapılar için yalıtım ve dayanıklılık avantajları açısından önemli üstünlükleri olan perlitin, inşaat sektöründe kullanılması ülke ekonomisine oldukça katkı sağlayacaktır.

Hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonlar içerisinde, en yüksek ısı yalıtımı perlit katkılı hafif betonlar ile sağlanabilmektedir (Duaij, 1997). Perlit katkılı betonlar, normal betona göre yaklaşık on kat daha iyi ısı yalıtımı sağlamaktadır (Doğan, 2004). Perlit katkılı hafif yapı malzemeleri enerji verimliliğini arttırdığı için sera etkisi yaratan gaz atıklarının azaltılmasını sağlamakta ve bu nedenle çevre dostu malzemeler olarak bilinmektedir. Perlit agregası Şekil 1.4'de görülmektedir.



Şekil 1.4. Perlit agregası

(<https://perlitturkiye.com/tr/perlitin-insaat-ve-yalitimda-kullanimi/>).

1.3.2.2. Genleştirilmiş Perlit

Genleşmiş perlit agregası, perlit kayacının ısı işlemlere maruz bırakılması sonucunda oldukça düşük özgül ağırlık ve yüksek yalıtım özelliğine sahip olması açısından

inşaat alanında yapı malzemesi olarak tercih edilen bir hafif agregası çeşididir. Genleştirilmiş perlit agregası Şekil 1.5’de görülmektedir.



Şekil 1.5. Genleştirilmiş perlit agregası

(<https://www.bilgiustam.com/perlit-nedir-yapi-malzemesi-olarak-islevi-nedir/>).

Azizi’nin yaptığı çalışmada; hacimce farklı oranlarda genleştirilmiş perlitten ve doğal kumdan yararlanılarak, hafif betonlar üretmiştir. Farklı birim ağırlıklarda ürettiği hafif agregalı betonların, basınç dayanımları, elastisite modülleri, ısı iletkenliği, su emme oranları ve kılcallık katsayıları ile birim ağırlıkları arasındaki irtibatı belirlemiştir.

Yaptığı deneysel çalışmalarda taze beton birim ağırlıkları $700-2000 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişen toplam 6 seri hafif beton üretmiştir. Ürettiği tüm hafif betonların etkin su/çimento oranını 0,55 olarak saptamıştır. Hafif beton karışımları, toplam agregası hacminin sırasıyla %0, %20, %40, %60, %80, %100 oranında genleşmiş perlit ve toplam agregası hacminin sırasıyla %100, %80, %60, %40, %20, %0 oranında kum kullanarak üretmiştir. Bütün hafif beton karışımlarına çimento ağırlığının yaklaşık % 0,3’ü oranında hava sürükleyici katkı maddesi ilave etmiştir. Bununla birlikte, istenilen kıvamın sağlanabilmesi maksadıyla %0 ve %20 oranlarında genleştirilmiş perlit içeren karışımlarda çimento ağırlığının % 1,5 ve %40 perlit içeren karışımda ise çimento ağırlığının % 0,5 oranında akışkanlaştırıcı katkı maddesi ilave etmiştir.

Azizi hafif betonlara yaptığı deneyler neticesinde, beton karışımlarındaki genleştirilmiş perlit miktarı fazlalaştıkça, işlenebilirliğin arttığını belirlemiştir. Betonların birim ağırlıkları azaldıkça basınç dayanımlarının ve elastisite modüllerinin azaldığını saptamıştır. Perlit katkılı hafif betonların ısı iletkenliği ile birim ağırlıkları arasında lineer

bir ilişki olduğunu belirlemiştir ve betonların içindeki genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça su emme oranlarının ve kılcallık katsayılarının da arttığını belirlemiştir.

Tüm perlit katkılı hafif beton bileşimlerinin normal betonlara oranla yüksek ısı yalıtımı sağladığı sonucuna varmıştır. Hacimce toplam agreganın, % 40 ve % 60'ı oranında genleştirilmiş perlit içeren hafif betonların yapısal/yalıtım beton türüne girdiğini, % 80'i oranında genleştirilmiş perlit içeren hafif betonların ise yalıtım betonu türüne girdiğini ve bu maksatlı kullanım için uygun olduğunu belirlemiştir.

1.3.2.3. Genleştirilmiş Kil

Sinterleşme süreci çabuk olan ve belirli bir hacim artışına maruz kalan kil, killi şist ve şeyllere genel olarak genleşen killer diye adlandırılmaktadır. Pişirilmesi neticesinde oluşan gözenekli yapıya sahip küçük seramik ürünlerin (granüller) dış yüzeyinde iyi sinterleşmiş sert ve piroplastik yapı gösteren bir kabuk oluşmaktadır. İç kısımda ise, malzeme bünyesinde bulunan ve pişme esnasında açığa çıkan tüm gazların bünyeyi terk etmesi nedeniyle kapalı ve küçük boşluklar halinde hücreler ihtiva eden homojen bir yapı meydana gelmektedir (Anonim, 2000). Bu oluşum, inşaat sektöründe hafif yapı elemanlarının elde edilmesinde hafif agrega malzemesi olarak kullanılmaktadır. Genleştirilmiş kil agregası Şekil 1.6'da görülmektedir.



Şekil 1.6. Genleştirilmiş kil agregası
(<https://slideplayer.biz.tr/slide/10636049/>)

1.3.2.4. Uçucu Kül

Bilindiği gibi kendi başına bağlayıcı olmayan ancak öğütülmüş halde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda kalsiyum hidroksitle (sönmüş kireç) reaksiyona girerek

ilave bağlayıcı bileşikler meydana getiren silisli veya silisli ve alüminli malzemelere puzolan adı verilmektedir (Aruntaş, 1996). Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Uçucu küller, yapay puzolan sınıfına girmekte olan atık bir malzemedir. Uçucu kül Şekil 1.7’de görülmektedir.



Şekil 1.7. Uçucu Kül

(<https://kutahyacimento.com/tr/kutahya-cimento-pulverize-kul-isletmeciligi>).

1.3.3. Hafif Betonların Özellikleri

Hafif beton özellikleri taze ve sertleşmiş beton özellikleri olarak ele alınır.

1.3.3.1. Taze Beton Özellikleri

Hafif betonun taze halde iken kütlesi homojen olmalı, kalıba rahat yerleştirilmeli, taşıma ve yerleştirme sırasında ayrışmamalıdır. Kütlesi homojen olan hafif betonun kıvamı, işlenebilirliği sağlayacak en düşük ölçüde olmalıdır. Hafif agregalı betonun aynı işlenebilirlikteki normal betona göre daha düşük çökme değeri vereceği dikkate alınarak çökme değerinin 10 cm’yi geçmemesi önerilmektedir (TS 2511,1977). Hafif betonda, hafif agrega/çimento oranı arttıkça taze betonda çökme değeri düşmekte, eşit işlenebilirlikteki normal beton ile hafif betonun çökme değerleri birbirinden ayrı olmaktadır. Bu sebepler ile hafif betonlarda karışım hesabı hazırlanırken agreganın su emme oranına, birim ağırlığına, elde edilebilme şartlarına ve agrega/çimento oranına dikkat edilmelidir.

Agregaların su emme yüzdesi taze beton özelliklerini etkileyen en mühim etkindir. Bütün agregalar zamana bağlı olarak belirli bir tutarda su çekerler. Bu hadise kuru veya kısmen doymuş agregalarda büyük ölçüde önemlidir çünkü taze betonun işlenebilirliğini,

yoğunluğunu, ısı özelliklerini, yangına ve donma-çözülme etkisine karşı dayanıklılığını direkt veya dolaylı olarak etkilemektedir. Bir agrega tanesinin su emme yüzdesi ve su emme hızı, boşluk hacmine, boşluk dağılımına ve boşlukların yapısına yani boşlukların sürekli ya da süreksiz oluşuyla ilişkilidir. Hafif agregalarda boşluk hacmi normal agregalara nazaran daha fazla olduğu için su emme yüzdesi ve hızı da daha fazla olacaktır. Hafif agregalar, karışım ve yerleştirme esnasında rahatlıkla yüzeye çıkarak işlenebilirliği negatif yönde etkileyebilirler. Bu gibi hadiselerde, hafif betona eklenecek lifler betonda bir ağ yapısı oluşturarak segregasyonu önemli bir ölçüde önleyebilir.

1.3.3.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Sertleşmiş hafif betonların fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

1.3.3.3. Basınç Dayanımı

Betonun basınç dayanımı; eksenel basınç yükü etkisine maruz kalarak kırılmamak için gösterebileceği direnme yeteneğidir. Betonun basınç dayanımını etkileyen önemli etkenler: çimento miktarı, su çimento oranı, agrega özellikleri, çimento özellikleri, katkı maddesi türü ve tutarı, kür ortamı, hazırlanıp kalıba yerleştirme biçimi ve sertleşme yaşı olarak özetlenebilir.

1.3.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı

Yatay olarak presin tablaları arasına yerleştirilen silindirik beton numunelerinin altına ve üstüne yerleştirilen plakalara dik yönde basınç yükleme uygulanarak elde edilir. Beton, yük ekseninde kısalmaya ve diğer yatay eksenlerde uzamaya uğramaktadır. Betonda basınç gerilmeleri ve bu basınç gerilmeleri sebebi ile oluşmakta olan çekme gerilmeleri bulunmaktadır.

1.3.3.5. Elastisite Modülü

Betonun değişik nedenlerden dolayı oluşan şekil değiştirmelere karşı koyabilme kapasitesine elastisite modülü denir.

1.3.3.6. Rötre

Beton içindeki suyun fiziksel veya kimyasal nedenlerle azalması neticesinde betonun uzunluğunda ve hacminde oluşan küçülmeye rötre denir. Rötre, hem taze, hem de sertle mi  betonda oluşabilir. Betonun kurumasa, karbonatla ması ve çimentonun hidratasyonu, sertle mi  betonda olan suyun azalmasına neden olan başlıca faktörlerdir. Bu faktörler sebebi ile sertle mi  beton r tresi, hidratasyon r tresi, karbonatlaşma r tresi ve kuruma r tresi olarak isimlendirilir. Harç ve özellikle betonlarda bulunan agreganın r treyi engellediği görülmüştür.

1.3.3.7. S nme

Sabit gerilme etkisi altında olan bir malzemede zaman içinde oluşan yavaş, fakat ilerleyen deformasyona s nme denir. S nme agreganın cinsi, granülometrisi ve nem içeriği,  imento tipi, karışımın su muhtevasa, sürüklenmiş hava miktarı, uygulanan gerilme değeri, numune veya yapı elemanının boyutları, k r yöntemi ve ortamın bağıl nemi gibi çeşitli etkenlerle bağlantılı olmaktadır. Hafif agregalı betonlarda, elastisite modülünün daha düşük olması sebebi ile s nme sekil de i tirmesi normal betona göre daha fazladır. Hafif agregalı betonun s nmesi, normal betonun sönmesinden yaklaşık 1 kat daha fazladır.

1.3.3.8. Yoğunluk

Hafif agregalı betonlarda, sertle mi  betonun yoğunluğu, karışımdaki malzeme oranının, hava miktarının, su ihtiyacının ve hafif agreganın  zg l ağırlığı ile nem içeriğinin fonksiyonu olan taze beton yo unlu undan daha düşüktür. Bunun nedeni nem kaybıdır; nem kaybı, ortam şartlarının ve beton elemanın yüzey alanı/hacim oranının bir fonksiyonudur. Hafif beton karışımlarında ince hafif agreganın yerine normal kum kullanılması sertle mi  beton yo unlu unu arttıracaktır. Basınç dayanımı 35 MPa'ın üzerinde hafif beton elde etmek için genelde  imento miktarının arttırılması gerekir, bu durumda da yoğunluk artacaktır (Lamond, 2006).

1.3.3.9. Porozite

Betonlardaki porozite, boşluklarının i  boyutlarının farklı olması, bunların ani değişime uğraması, boşluk i  yüzeylerinin pürüzlülüğü, ge irimsizli i büyük ölçüde etkileyen etkenlerdir. Beton bo lu unun büyük olması ge irimsizli in daha büyük olmasına

sebepler. Geçirirnililiği yüksek olan betonlarda su ve zarar veren maddeler beton içerisine rahatça sızacağı için geirirnililik betonun zarar görmesine veya birden fazla zararın birlikte oluşmasına sebeb olur.

1.3.3.10.Kapilarite

Kılcal su geirirnililiği genellikle bina cephelerinde, zemin suyunun yerçekimine karşın ince kılcal boşluklardan yükselmesi halinde oluşur. Sıva ve beton yüzeylerde tuz birikmesi olayı kapilarite olayından dolayı oluşur.

1.3.3.11.İmpermeabilite

Basınç altında suyun beton bünyesine girmesine impermeabilite denilmektedir. Basınçlı suya maruz yapılarda test edilmesi gerekmektedir.

1.3.3.12.Aşınma

Betonda aşınma direnci, betonun dayanımına, sertliğine, imento matrisinin ve agregaların tokluk karakteristiklerine ve bu iki fazın aderansına bağlıdır. Taşıyıcı beton üretimine uygun olan çoğu hafif agrega camsı seramik bir yapıdan oluşur ve Mohs sertlik skalasında kuvartza denktir. Agregaların bu özelliği nedeni ile taşıyıcı hafif beton ile üretilen köprüler 100 milyondan fazla araç geçişine maruz kaldıklarında bile normal betona benzer aşınma performansı göstermişlerdir (Lamond, 2006).

1.3.4.Hafif Betonun Normal Betona Göre Avantajları

Normal ağırlıktaki beton yapıların zati ağırlıkları yüksek olmaktadır. Yapıya gelen yüklerin büyük bir oranını oluşurmaktadır. Daha düşük yoğunluklu beton kullanımında yk kaldıran elemanların kesit alanında, temel boyutlarında ve donatı miktarında azalma sağladığı görülmüştür. Bazı durumlarda düşük yoğunluklu beton kullanımı, düşük yük taşımaya elverişli yapılarda doğrudan zemine yapılmasına izin vermektedir.

Düşük birim hacim ağırlığı sebebi ile yapı ağırlığının düşürülmesi neticesinde, yapıya gelmekte olan deprem yüklerinin ve yapıdaki düşey yüklerin azalmasını sağlamaktadır.

Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının düşürülmesi sebebi ile beton kalıbına daha düşük basınç uygulanması neticesinde kalıp kesitindeki azalma sebebiyle, kalıp ve iskele maliyetlerinin daha ekonomik olmasını sağlamaktadır.

Isıl iletkenlik katsayılarının daha düşük olmasından kaynaklanarak ısı ve ses izolasyonunun oluşmasını sağlamaktadır.

Hafif betonun boşluklu yapısı nedeniyle yangın oluşması neticesinde dağılma olmadan buharın çıkışı sağlanmaktadır. Yangında hafif betonda sıcaklık normal betonun sıcaklığından çok daha düşük olmaktadır. Dolayısıyla hafif beton yangına karşı daha dayanıklı olmaktadır.

Hafifliği sebebiyle taşınmasının ve yerleştirilmesinin pratik olması, genellikle fabrikasyon üretime daha elverişli olması hafif betonun avantajlı taraflarındandır.

Çoğu zaman özel işlemler ve usullerle fabrikasyon yöntemiyle üretildiklerinden homojen özellikte olmaları da avantaj sağlamaktadır.

Serin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, normal ve iki farklı hafif agrega ile üretilen beton bloklarını incelemişlerdir. Normal beton bloklarla, hafif ve yarı hafif beton blokların özellikleri kıyaslamışlardır. Normal beton bloklarda Isparta-Atabey agregasından, hafif ve yarı hafif beton bloklarda ise Isparta-Atabey agregasından ve Isparta yöresinin pomza, diyatomit agregalarından yararlanmışlardır. Normal agrega ile üretilen beton bloklarla pomza agregası ve diyatomit agregası kullanılarak yapılan yarı hafif ve hafif beton blokları kıyaslamışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmalarda beton bloklarda agrega granülometrisini, su/çimento oranını ve maksimum tane boyutunu (16mm) sabit tutmuşlardır. Atabey agregası ile normal beton, Atabey agregası, diyatomit ve pomza agregası ile yarı hafif ve hafif beton blokları 6 seri halinde üretmişlerdir. Bu numuneler üzerinde yaptıkları deneylerle 7. ve 28. günde iki eksenli basınç deneyi, birim ağırlıkları ile ultrases geçiş hızı, özgül ağırlık, porozite, kompasite ve su emme miktarlarını bulmuşlardır. Yaptıkları bu deneysel çalışmalar neticesinde Atabey agregası ile üretilen beton blokların dayanımlarının pomzalı ve diyatomitli beton bloklara göre yüksek olduğunu saptamışlardır. Bununla birlikte buldukları bu sonuçlardan pomzalı ve diyatomitli hafif ve yarı hafif beton blokların taşıyıcı beton olarak kullanılamayacağını ancak ara bölme duvar elemanı ve yalıtım blokları olarak kullanılabilir özellikte olduğu sonucu varmışlardır.

1.3.5. Hafif Betonun Normal Betona Göre Dezavantajları

Boşluk miktarının fazla olması nedeniyle dayanımları düşüktür. Bu nedenle yüksek mukavemetli beton uygulamalarında pek tercih edilmezler.

Özellikle düşük dayanımlı hafif betonların aşınmaya karşı dirençleri zayıftır.

Rutubete ve suya karşı mutlaka önlem alınmalıdır.

Hafif agregalar temin açısından daha ulaşılmazdır. Normal betonlar gibi kolaylıkla bulunamazlar ve üretilemezler. Bundan dolayı maliyetleri daha yüksektir.

Normal betona nazaran daha yüksek çimento içeriğine sahiptir. Bu durum daha masraflı hafif agreganın yaptığı gibi maliyette artışa neden olur. Fakat daha mantıklı bir maliyet kıyaslaması, sadece malzeme maliyetleri açısından değil, hafif beton kullanılarak yapılan yapının tasarımı açısından yapılmalıdır.

Elastisite modülleri normal betonlara kıyasla daha düşük olmaktadır.

Hafif betonların ayrışma özellikleri daha yüksektir, üretiminde, taşınmasında, yerleştirilmesinde ve küründe daha tecrübeli işçilik gerektirirler.

Sünme ve rötre değerleri daha yüksektir.

1.4. Soğuk Havada Beton Üretimi

Soğuk hava koşulları ile sadece mevsimsel olarak değil, diğer taraftan inşaat yapılacak bölgenin rakımı ve mevsim geçişleri esnasındaki özel hava koşulları durumunda da karşılaşılabılır. Genel olarak kış koşullarında beton dökümü oldukça zahmetlidir. Beton sıfırın üzerindeki sıcaklıkların belirli bir aralığında sertleşebilir ve hedeflenen dayanımına göreceli olarak az zaman içerisinde ulaşabilir. Aslına bakarsak hava sıcaklığı sıfırın altına düştüğünde, betonun sertleşmesi için uygun koşullar sağlanarak beton dökümü yapılabilir. Ancak bu daha iyi planlama, ek enerji, uygun malzeme seçimi ve nitelikli işçilik ile iyi bir kalite kontrol uygulaması ihtiyacını oluşturur.

Soğuk hava koşullarında beton dökümünde karşılaşılabılır dayanım ve dayanıklılık sorunlarının sebebi betonda hidrasyon için gerekli olan karışım suyunun beton sertleşmeye başlayıp yeterli dayanıma ulaşmadan donmasıdır. Su donduğunda hacminde %9 civarında artış oluşmaktadır. Donma sırasında suyun yapısında oluşan bu farklılık yüksek bir basınç sebep olur. Bu sebeple kapalı bir kaba tamamen doldurulmuş su donarsa kaba çok yüksek bir basınç uygulaması olacaktır. Beton da içerdiği suyun donması durumunda buzun oluşturduğu böylesi yüksek basınçların beton içerisinde sebep olduğu

çekme gerilmelerine karşı duramayacak ve zarar görecektir. Ancak beton henüz taze haldeyken plastik kıvamdadır. Bu sebeple bakarsak beton içerisindeki suyun buza dönüşmesinden meydana gelen hacim artışı beton taze haldeyken çok yüksek içsel gerilmelere sebep olmaz. Karışımdan hemen sonra taze betonda donma olayı gerçekleşirse, donan suyun sebep olduğu hacim artışı ile betonu oluşturan katı parçacıklar birbirlerinden bağımsız bir şekilde uzaklaşırlar. Beton henüz plastik kıvamda olduğundan dolayı bu hacim artışı sebebi ile buzun katı parçacıklar arasındaki boşluklara hareketine karşı gelemmez. Bu şekilde katı parçacıkların taze beton bünyesinde buz itkisi sonucu hareketi ile kütle transferi oluşur. Kütle transferi nedeniyle betonu oluşturan bileşenlerin homojenliği sağlanmamış olur.

Taze betonun sıfırın altındaki sıcaklıklarda donması beton bünyesinde aşama aşama oluşmaktadır. Yerine yerleştirilmiş taze beton soğuk hava ile birleşmekte olan yüzeyinden başlayarak donmaya başlar. Beton içerisindeki göreceli olarak soğuk olan bölgelerdeki düşük kısmi basınç sebebi ile betonun daha donmamış bölgelerindeki su soğuk kısma doğru hareket eder. Çimentonun su ile tepkimesi ekzotermik bir tepkimedir. Esas olarak, donmaya başlayan taze beton içerisinde hala bir miktar daha donmamış su içermektedir ve bu bölgelerde çimentonun su ile olan tepkimesi bitmemiştir. Bu tepkimenin sebebi ile bu bölgelerde çimento partiküllerinin yüzeyinde ısı açığa çıkmaktadır. Bu durum suyun soğuk bölgelere doğru hareketine sebep olur ve beton içerisindeki buz kütlesinde artış meydana gelir.

1.4.1. Soğuk Havanın Mekanik Özelliklere Etkisi

Beton dökümü esnasında hüküm süren soğuk hava şartları sebebiyle don olayı oluşursa taze betonun karışım suyu donar. Beton içerisindeki suyun donması sebebiyle sonradan olacak performans kaybının derecesi donma oluştuğunda taze betonda priz başlayıp başlamamış olması ile oldukça ilişkilidir. Priz olayı başlamadan önce karışım suyunun donmasıyla birlikte hidrasyon için elzem olan su donmuş olduğu için çimento ile suyun kimyasal tepkimesi başlamayacak ve beton priz almayacaktır.

Çözülmenin gerçekleşmesinden sonra taze betonda priz yeniden başlayabilir ama bu durumda taze betonun homojenliğinin oluşabilmesi için yeniden karıştırmaya ihtiyaç duyulacaktır. Ancak yerine yerleştirilmiş betonun yeniden homojen bir şekilde karıştırılması kolay olmayacaktır. Bu sebeple temel olarak don tehlikesinin bulunduğu hava şartlarında dökümü sonraya bırakmak akla gelen ilk tedbir olmalıdır.

Donma olayı taze beton prizini aldıktan sonra ancak daha kayda değer bir dayanıma ulaşmadan oluşursa betonda geri dönüşümü olmayan zararlar meydana gelebilir. Ancak beton prizini aldıktan sonra belirli bir dayanım düzeyine ulaşmış ise donmadan kaynaklanan zararı biraz engelleyebilir. Bunun sebebi yalnızca belirli bir dayanımdaki betonun, suyun donmasından kaynaklanan buzun genişlemesinin oluşturduğu içsel gerilme artışına karşı durması değil hem de ilerleyen hidratasyon sebebiyle karışım suyunun büyük bir kısmının çimento ile tepkimeye girmiş olması ve küçük boşluklara yerleşmiş olmasıdır. Beton belirli bir basınç dayanımına vardığında, doygunluk derecesi kritik değerin altına iner ve dışarıdan betonun içine su girişi olmasını engeller. Bu durumda beton bir çevrim donma ve çözölmeye dayanıklıdır. Bu dayanıma, iyi bir karışım oranına sahip bir beton iki günde ulaşabilmektedir.

Donma olsun veya olmasın, düşük sıcaklıklar, hidratasyonu ve sonuç olarak betonun sertleşmesini ve dayanım kazanmasını erteler. Soğuk hava şartlarında yerine yerleştirilen betonun priz alma süresi normal sıcaklıklarda yerleştirilen betonlara oranla daha uzun sürelidir. Eğer beton donarsa ve donmuş olarak bırakılırsa yavaşça mukavemet kazanır. Bu sıcaklığın altında çimentonun hidratasyonu ve betonun dayanım kazanması ilerlememiş olur.

1.5. Korozi Ortamlar

1.5.1. Sülfat Etkisi

Sülfat saldırısını iç sülfat etkisi ve dış sülfat etkisi olarak iki başlıkta inceleyebiliriz.

Dış sülfat etkisi: Sülfat kaynağının betonun dışından geldiği durumdur. Sülfatın kaynağı yer altı suyu, toprak, katı endüstriyel atıklar, gübreler, deniz suyu veya sıvı endüstriyel atıklar olabilmektedir.

İç sülfat etkisi: Sülfatın kaynağının betonun içindeki malzemelerden geldiği durumdur. Sülfatın kaynağı çimento, cüruf ve uçucu kül gibi ilave malzemeler, agrega, kimyasal katkıları veya kullanılan su olabilmektedir.

Ulusal ve uluslararası birçok standart çimentolardaki sülfat oranını sınırlandırmıştır. Bu sınırlamaların gayesi iç sülfat saldırısını engellemektir. Bu sınırlamaların önemi, dış sülfat etkisinin olmadığı durumlarda büyük genişlemelerin olabileceği öngörüldüğünde önem kazanmıştır. Uygun şartlarda üretilmiş ve gerekli hallerde muhafaza edilmiş olan betonlarda sülfat saldırısı durumu ender olsa da modern çimentoların nispeten yüksek

klinker sülfat içeriği hesaba katıldığında iç sülfat saldırısı ihtimali yüksektir. Bu durum özellikle yüksek sülfatlı çimentoların kullanıldığı, buhar kürü veya yükseltilmiş sıcaklığın uygulandığı zamanlarda önemlidir. Sıcaklığın neden olduğu iç sülfat saldırısı literatürde gecikmiş etrenjit oluşumu olarak ifade edilmektedir

Betonda sülfat etkisi kendini ilk olarak yüzeyde oluşan beyazımsı lekelerle belli eder, başlangıçta hasar daha çok köşelerde, sivri noktalarda ve birleşim yerlerinde olur. Zamanla çatlaklar ve dökülmeler oluşur. İleri düzeyde hasar halinde ise betonun kırılganlaştığı ve yumuşadığı, dayanımını ve rijitliğini kaybedip dağıldığı görülür.

1.5.2. Tuz Etkisi

Klorür iyonları beton içine çeşitli yollardan girebilir. Bunlar arasında, yüksek miktarda klorür içeren agregaların, CaCl_2 içeren priz hızlandırıcı veya deniz suyunun beton üretiminde kullanılması sayılabilir. Ancak en yaygın kaynak çevrede bulunan klorürlerin beton içine taşınımıdır. Özellikle betonla temas halindeki deniz suyu ya da tuzlu yeraltı suları, buz çözücü tuzlar, tuz üreten veya işleyen sanayi tesisleri önemli birer klorid kaynağıdır (Baradan, 2013).

Tekrarlı ıslanma-kuruma etkisine maruz deniz yapılarında deniz suyu ile beton içine sızan klorürler, suyun buharlaşması sonucu beton içinde kalmakta, tekrar sayısı arttıkça klorür yoğunluğu da artmaktadır. Ayrıca, denizden yükselen çok ince deniz suyu damlacıkları dolayısıyla klorürler rüzgarlarla önemli mesafelerde taşınarak beton yüzeyine yerleşebilir (Haque, 2004).

Korozyon durumunda ise klorür iyonları katalizör görevi görür ve reaksiyonu çarpıcı biçimde hızlandırırlar. Bu durumda küçük yüzey anod oldukça büyük yüzey katod makro elemanı oluşur, donatının hep aynı bölgesi hasar görüp oyulur, kısa sürede donatıda büyük kesit kaybına neden olan korozyon işlemi meydana gelir. Reaksiyon sonucu Cl iyonu kendini sürekli yenilediğinden, donatıda tahribat devamlı olur ve sonuçta donatı kopar. Bu olay düşük klor konsantrasyonlarında bile gerçekleşebilir (Baradan, 2013).

Düşük S/Ç oranına sahip yoğun, geçirimsiz ve yeterli kalınlıkta imal edilecek pas payı tabakası ile karbonatlaşma reaksiyonuna ve klorür difüzyonuna büyük ölçüde engel olmak mümkündür. Buna karşılık boşluklu, geçirimli ve yeterli kalınlıkta imal edilmemiş pas payı tabakasına sahip betonarme elemanların servis ömürlerinin çok kısa olması beklenir. Yüzeyi kaplanmamış, brüt beton uygulamalarından mümkün olduğunca kaçınmak gerekir. Yüzeyin çimento-kireç esaslı sıva ile kaplanması, geçirimsiz izolasyon

maddelerinin kullanılması, özel boyaların uygulanması yarar sağlamaktadır (Baradan, 2013).

1.5.3. Alkali-Silika Reaksiyonu ve Alkali-Karbonat

Alkali-silika reaksiyonu oldukça karışık kimyasal bir tepkimedir. Bazı çimentoların içinde yüksek miktarda bulunmakta olan sodyum oksit vb. alkali oksitler, aktif silis bulunduran agregalarla tepkimeye girerek, jel oluşumuna neden olur. Rutubetli ortamlarda bu jel zamanla şişerek betonda hasar oluşumuna neden olur.

Çimentoda bulunan sodyum oksit vb. alkali oksitler çimentonun hammaddelerinden gelmektedir. Çimento dışında alkaliler, agrega, beton katkı maddeleri, karışım suyu, zemin suyu, deniz suyu, buz çözücü tuzlar, beton kür suyu ve endüstriyel atık suları yoluyla da beton içine girebilir. Çimento fabrikalarında kullanılmakta olan ön ısıtma sistemlerinde çimentonun alkali muhtevasının artmasına yol açmaktadır.

1.6. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, taze halde soğuk havaya maruz kalmış (0°C, -5°C, -10°C) hafif betonların Sodyum sülfat (NaSO_4) ve tuz (NaCl) konsantrasyonuna sahip korozyif ortamlarda fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini belirlemektir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

1.7. Materyal

Yapılan çalışmada beton üretiminde pomza agregası, çimento ve Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

1.7.1. Agregas (Pomza)

Yapılan çalışmada (0-4, 4-11.2, 11.2-22.4) agregas gruplarından, Bitlis yöresine ait pomza agregası kullanılmıştır. Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Pomza agregası

Pomza agregasına ait fiziksel özellikler Tablo 2.1’de görülmektedir.

Tablo 2.1. Pomza agregasına ait fiziksel özellikler

Agrega grubu (mm)	Fiziksel Özellikler		
	Su emme oranı (%)	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/dm ³)	Kuru Özgöl ağırlık (kg/dm ³)
0-4	41.5	0.62	1.34
4-11.2	40.6	0.59	1.14
11.2-22.4	55.4	0.38	1.06

1.7.2. Çimento

Üretilen betonlarda CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento Gümüşhane’de bulunan Aşkale Çimento Fabrikası’ndan temin edilmiştir. Tablo 2.2’de çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 2.2. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	18.10	İncelik (45 µ elek üstü %)	7.15
Al ₂ O ₃	4.48	Yoğunluk (g/cm ³)	3.1
Fe ₂ O ₃	3.09	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3698
CaO	63.65	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2saa-31dk
MgO	2.58	Priz Sonu(saat-dk)	3saa-11dk
SO ₃	2.84	Hacim Genişlemesi(mm)	1.0
Kızdırma Kaybı	3.90	Su İhtiyacı (%)	29.5
Na ₂ O	0.21		
K ₂ O	0.62		
CI	0.015	Basınç Dayanımı(N/mm ²)	
Ölçülemeyen	0.52	2.Gün	27.9
Toplam	100	28.Gün	58.0

1.7.3. Antifriz

ASTM C-494 ve TS 11746 standardına uygun kimyasal katkılardır [75, 5]. Kullanılan kimyasal katkılara ait özellikler Tablo 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.3. Antifriz türü ve özellikleri

Özellikler		
➤	Yoğunluk	: 1.25 ± 0.03 kg/L
➤	pH	: 6,00 – 6,50
➤	Klorür	: ≤ %0,1 (TS EN 480–10)
➤	Alkali İçeriği	: ≤ %10 (TS EN 480–12)

1.7.4. Karışım Suyu

Çalışmada Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

1.8. Metot

Çalışmada, üretilen betonlar 2 gruba ayrılmıştır. Birinci grup 2 gün boyunca dona maruz bırakılmış. İkinci grup suda kür edilmiştir. Beton örneklerin taze halde farklı çevresel etkide basınç dayanımı değişimlerini belirleme amacıyla 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir.

1.8.1. Beton Örneklerinin Üretimi

Yapılan çalışmada betonların üretimi Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı ve Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Beton karışım hesapları TS 2511'e göre yapılmıştır. Karışım hesabı Tablo 2.4'de görülmektedir.

Tablo 2.4. Beton karışım hesabı

Malzeme	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)
Çimento	370	119
Hava	-	30
Agrega	0-4 mm	285
	4-11.2 mm	171
	11.2-22.4 mm	114
Su	280	280
Toplam	1344 kg	1000 dm ³

Hazırlanan beton örnekler antifriz katkılı ve katkısız olarak 10x20 cm boyutlarında silindir örnek olarak üretilmiştir. Hazırlanan beton örnekler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup 0°C, -5°C, -10°C'de 2 gün süre ile taze halde dona maruz bırakılmıştır. 2 gün sonunda oda sıcaklığında 1 gün süre ile bekletilmiş ve kalıptan çıkartılarak 28 güne kadar su kürü uygulanmıştır. İkinci grup normal üretim şartlarına maruz kalmıştır. Soğutucu dolap içerisindeki beton örnekler Şekil 2.2'de görülmektedir.



Şekil 2.2. Dona maruz bırakılan beton örnekler

1.8.2. Basınç Dayanımının Tayini

Basınç dayanımı, 100x200 mm ebadında 5 adet silindir beton örnek üzerinde TS EN 12390-3’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Beton basınç dayanımının hesaplanması:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

eşitliği kullanılmıştır.

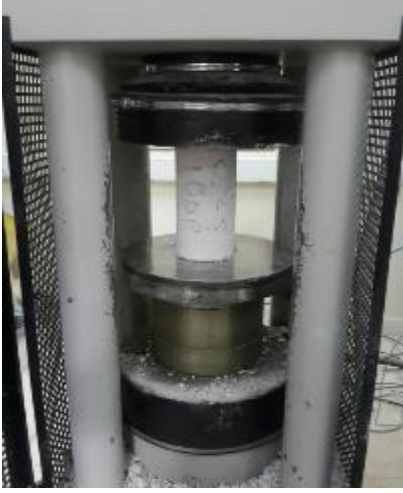
Eşitlikte;

f_c = Basınç dayanımı, MPa,

F= Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N,

A_c = Örneklerin üzerine basınç uygulandığı en kesit alanı, (mm²) ifade etmektedir.

Basınç dayanımının belirlenmesinde Şekil 2.3’de görülen basınç presi kullanılmıştır.



Şekil 2.3. Beton basınç presİ

1.8.3. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini

Yarmada çekme dayanımı (YÇD) 100x200 mm boyutlarında hazırlanan 5 adet silindirik beton örnek üzerinde TS EN 12390-6 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (TS EN 12390-6, 2010).

YÇD hesaplanmasında:

$$f_d = \frac{2F}{\pi \cdot L \cdot d}$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eşitlikte:

f_d = Yarmada çekme dayanımı, (MPa),

F = En büyük yük, (N),

L = Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, (mm),

d = Numunenin seçilen en kesit boyutlarını, (mm)

ifade etmektedir (TS EN 12390-6, 2010).

Yarmada çekme dayanımının belirlenmesinde Şekil 2.4’de görülen yarmada çekme deney düzeneği kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Yarmada çekme deney düzeneği

1.8.4. Kapilarite Tayini

100x200 mm ebadında silindir beton örnek 50 ±5°C 'de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Daha sonra örnekler 5 mm batacak şekilde saf su içerisinde yerleştirilmiş ve “1, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 600, 1440, 2280, 4320, 5760, 11520” dak’lık sürelerde, örneklerin yüzeylerindeki serbest su nemli bir bez ile alınarak, 0,01 gr hassasiyetle tartılarak kütle artışları belirlenmiştir. Betonların kapiler su emme değerleri eşitlik (1)’de ki formülle hesaplanmıştır. Kümülatif olarak hesaplanan kapiler su emme değerleri zamanın kareköküne bağlı olarak grafik haline dönüştürülmüştür. Betonun kapiler olarak emdiği su miktarı, yüzey alanı ve geçen zamanın karekökü ile doğru orantılıdır. Orantı sabiti olan ve kapilarite katsayısı adı da verilen K sayısı, betonun boşluklarına bağlı bir özelliktir. Örneklerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak KSE değerleri belirlenmiştir. Kapilarite katsayılarının hesaplanmasında aşağıda gösterilen eşitlik (2)’ den yararlanılmıştır. Kapilarite katsayısı her birim alandan sıızan su miktarının hacimlerinin yorumlanması için hesaplanmaktadır.

$$I = \frac{m_t}{a/d} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

I ; kapiler su emme (mm),

m_t ; beton örneğin zamana bağlı (t) gram olarak kütledeki değişim,

a ; deneye maruz beton örneğin alanı (mm²),

d ; suyun yoğunluğu (g/mm^3).

$$K=Q^2/(A^2.t) \quad (\text{cm}^2/\text{sn}) \quad (2)$$

Bu eşitlikte;

K : Kapilarite katsayısı (cm²/s),

A : Su ile temas eden alan (cm²),

t : Geçen zaman (s),

Q : Emilen su miktarı (cm^3)' dır.

Kapilerite deney düzeneği Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5. Kapilerite deney düzeneği

1.8.5. İmpermeabilite Tayini

TS EN 12390-8’ de belirtilen esaslara uygun olarak, 100x200 mm boyutlarında hazırlanan 8 adet silindir beton örnek, basınçlı suyun uygulanacağı impermeabilite cihazına yerleştirildi ve 72 saat süreyle 5 bar (500 kPa) basınçlı su verildi. Bu süre sonunda beton örnekler basınçlı su uygulanan yüzeye dik bir şekilde yarıldı. Suyun beton içerisinde ilerlediği alan işaretlendi. Basınç uygulanan deney alanından itibaren suyun işlediği en büyük derinlik ölçülerek impermeabilite derinliği belirlendi.

İmpermeabilite değerinin belirlenmesinde Şekil 2.6’de görülen impermeabilite cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.6. İmpermeabilite cihazı

1.8.6. Ağırlık Değişimi Tayini

Beton örneklerin korozyif ortamdaki davranışını belirlemek amacıyla, her beton grubunda 10x20 cm ebadında 5 adet örnek üzerinde ıslanma-kuruma çevrimine maruz bırakılmıştır. 105°C derecede 2 gün bekletildikten sonra %5 ve %10 konsantrasyona sahip tuz (NaCl) ve sodyum sülfat (NaSO₄) solüsyon içerisinde 2 gün bekletilmiş ve çevrim tamamlanmıştır. Bu şekilde bir ıslanma-kuruma çevrimi yapılmıştır. Her çevrimden sonra beton örneklerin ağırlıkları belirlenmiştir. 10 ıslanma- kuruma çevrimi sonunda ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Şekil 2.7’de ıslanma-kuruma çevrimi görülmektedir.



Şekil 2.7. Sülfat ve Tuz deneyi döngüsü

- En küçük basınç dayanımı değerinin 5.35 MPa ile -10°C'dereceye maruz beton örneklerde olduğu,
- En büyük basınç dayanımı değerinin 8.16 MPa ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,

- %5 tuz içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %18.1, %20.0 ve %23.6 daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- %10 tuz içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %22.6, %28.0 ve %31.4 daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz örneklerin basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

- En küçük basınç dayanımı değerinin 1.07 MPa ile -10°C’ dereceye maruz beton örneklerde olduğu,
- En büyük basınç dayanımı değerinin 6.32 MPa ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %28.5, %32.0 ve %51.3 daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %38.9, %52.2 ve %74.6 daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Antifriz katkılı hafif beton örneklerin;

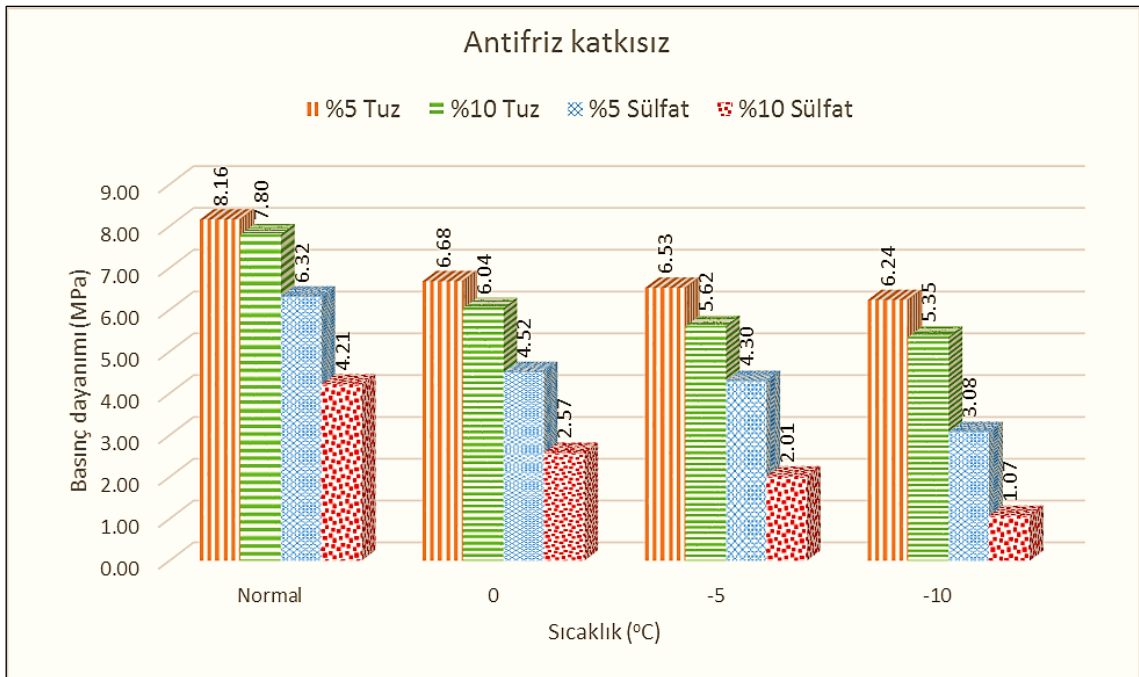
Tuz içerikli korozif ortama maruz örneklerin basınç dayanımı değerlendirmesine göre;

- En küçük basınç dayanımı değerinin 7.60 MPa ile -10°C’ dereceye maruz beton örneklerde olduğu,
- En büyük basınç dayanımı değerinin 9.91 MPa ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- %5 tuz içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %3.5, %13.8 ve %18.2 daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

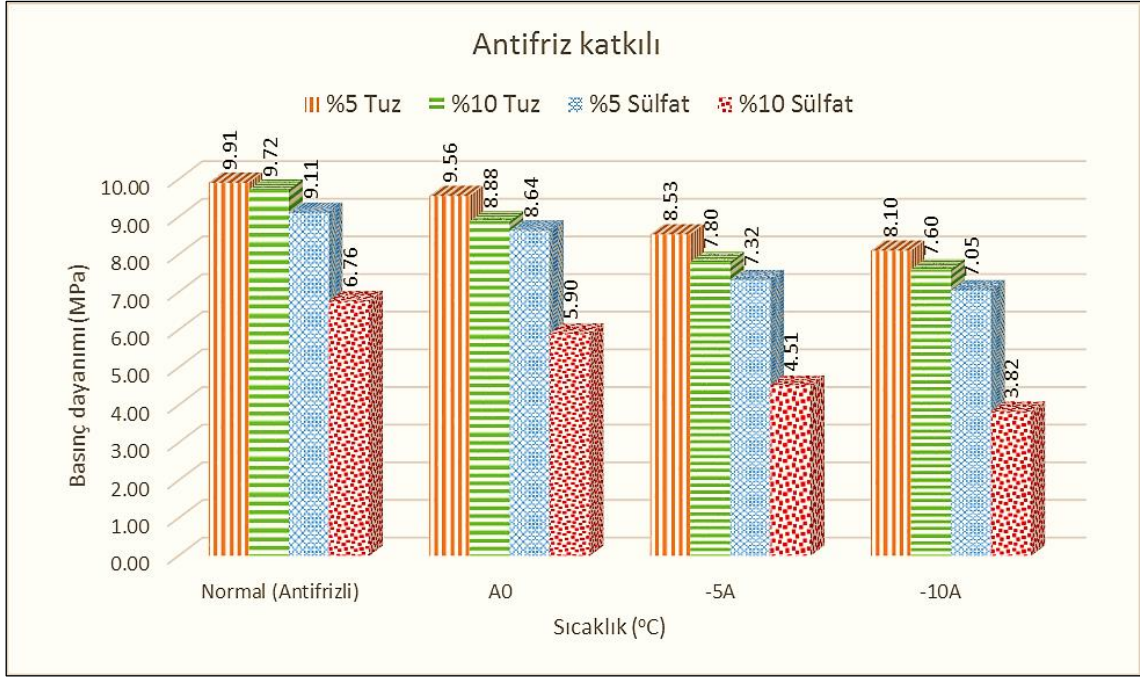
- %10 tuz içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %8.7, %19.8 ve %21.8 daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz örneklerin basınç dayanımı değerlendirilmesine göre;

- En küçük basınç dayanımı değerinin 3.82 MPa ile -10°C dereceye maruz beton örneklerde olduğu,
- En büyük basınç dayanımı değerinin 9.11 MPa ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %5.2, %19.6 ve %22.6 daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %12.7, %33.2 ve %43.5 daha düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.1. Antifriz katkısız hafif betonların ortalama basınç dayanımı değerleri



Şekil 3.2. Antifriz katkılı hafif betonların ortalama basınç dayanımı değerleri

Sonuç olarak, Antifriz katkısız hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 tuz içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında tuz konsantrasyonunun artışı ile basınç dayanımında yaklaşık %4 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C'ye düştükçe %5 ve %10 tuz konsantrasyonuna sahip korozif ortamlarda dayanım kaybı farkı %15 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkısız hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında sodyum sülfat konsantrasyonunun artışı ile basınç dayanımında yaklaşık %33 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C'ye düştükçe %5 ve %10 sülfat konsantrasyonuna sahip korozif ortamlarda dayanım kaybı farkı %65 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 tuz içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında tuz konsantrasyonunun artışı ile basınç dayanımında yaklaşık %4 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C'ye düştükçe %5 ve %10 tuz konsantrasyonuna sahip

korozif ortamlarda dayanım kaybı farkı %6 olarak belirlenmiştir. En düşük dayanım kaybı taze halde maruz kaldığı sıcaklık -5°C’de %8.5 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında sodyum sülfat konsantrasyonunun artışı ile basınç dayanımında yaklaşık %26 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C’ye düştükçe %5 ve %10 sülfat konsantrasyonuna sahip korozif ortamlarda dayanım kaybı farkı %46 olarak belirlenmiştir.

1.10. Yarmada Çekme Dayanımı

Taze halde dona maruz hafif beton örneklerin 10 çevrim ıslanma kuruma döngüsü şeklinde korozif ortamlara maruz kaldıktan sonra yarmada çekme dayanımı deneyi gerçekleştirilmiş. Değerler beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin antifriz katkılı ve antifriz katkısız beton örneklerine göre %5-%10 tuz ve %5-%10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamlara göre yarmada çekme dayanımları kıyaslanmıştır. Betonun maruz kaldığı korozif ortamlara göre, ortalama yarmada çekme dayanımı değerleri Tablo 3.2’de görülmektedir. Ayrıca beton örneklerin antifriz katkılı ve katkısız ortalama yarmada çekme dayanımı değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.3-Şekil 3.4’de görülmektedir.

Tablo 3.2. Beton örneklerin ortalama yarmada çekme dayanımı değerleri

<div>Korozif Ortam</div>	<div>Sıcaklık (°C)</div>	Antifriz katkısız				Antifriz katkılı			
		Maruz Kaldığı Sıcaklık							
		Normal	0	-5	-10	Normal	A0	A-5	A-10
		Normal	0	-5	-10	Normal	A0	A-5	A-10
%5 NaCl		0.82	0.75	0.69	0.66	0.90	0.82	0.73	0.66
%10 NaCl		0.80	0.64	0.53	0.48	0.86	0.75	0.71	0.63
%5 NaSO ₄		0.69	0.58	0.55	0.35	0.83	0.73	0.66	0.49
%10 NaSO ₄		0.51	0.31	0.26	0.12	0.71	0.44	0.29	0.22

Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri, antifriz katkılı durumu ve korozif ortama bağlı olarak,

Antifriz katkısız hafif beton örneklerin;

Tuz içerikli korozif ortama maruz örneklerin yarmada çekme dayanımı değerlendirmesine göre;

- En küçük yarmada çekme dayanımı değerinin 0.48 MPa ile -10°C'dereceye maruz beton örneklerde olduğu,
- En büyük yarmada çekme dayanımı değerinin 0.82 MPa ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- %5 tuz içerikli korozyif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %7.9, %15.6 ve %19.5 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- %10 NaCl içerikli korozyif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %20.4, %33.7 ve %39.8 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Sodyum sülfat içerikli korozyif ortama maruz örneklerin yarmada çekme dayanımı değerlendirmesine göre;

- En küçük yarmada çekme dayanımı değerinin 0.12 MPa ile -10°C'dereceye maruz beton örneklerde olduğu,
- En büyük yarmada çekme dayanımı değerinin 0.69 MPa ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- %5 sodyum sülfat içerikli korozyif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %15.7, %19.4 ve %49.1 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- %10 sodyum sülfat içerikli korozyif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %38.6, %49.2 ve %76.6 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Antifriz katkılı hafif beton örneklerin;

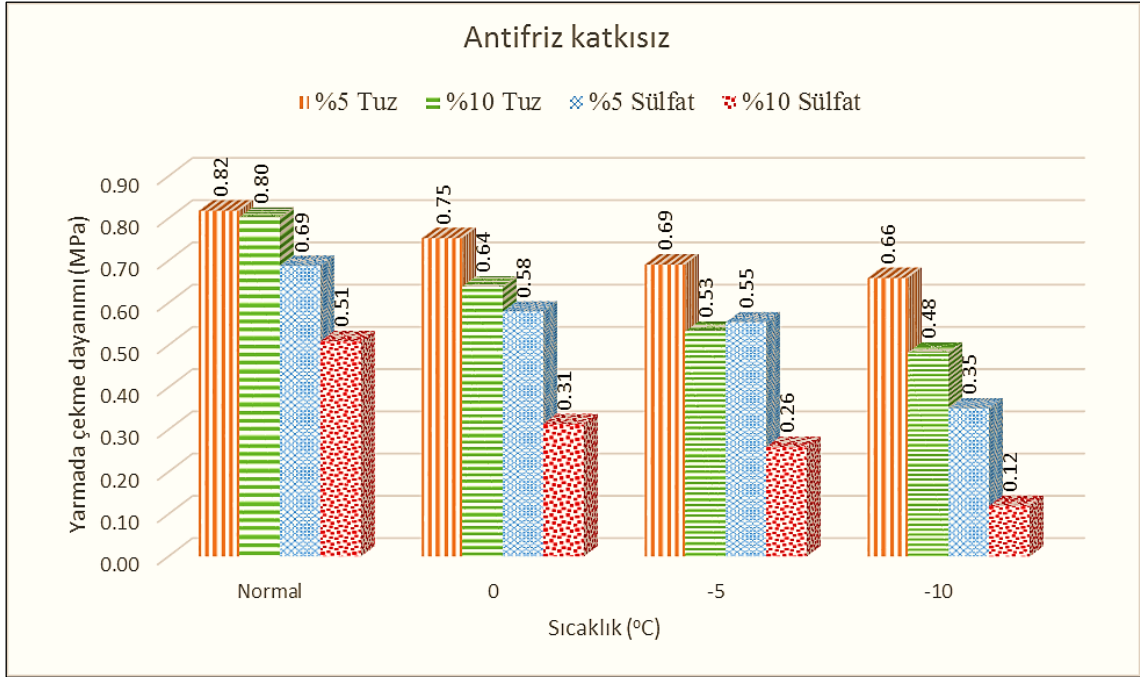
NaCl içerikli korozyif ortama maruz örneklerin yarmada çekme dayanımı değerlendirmesine göre;

- En küçük yarmada çekme dayanımı değerinin 0.63 MPa ile -10°C'dereceye maruz beton örneklerde olduğu,
- En büyük yarmada çekme dayanımı değerinin 0.90 MPa ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,

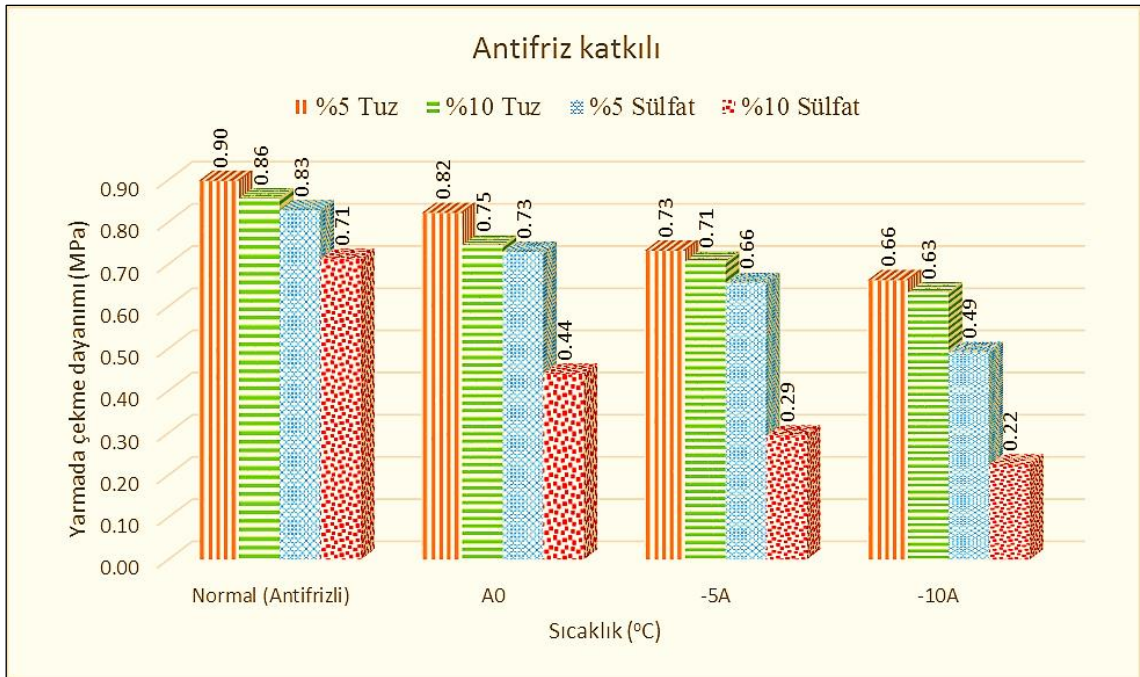
- %5 NaCl içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %8.5, %18.4 ve %26.2 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- %10 NaCl içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %13.0, %17.5 ve %26.0 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz örneklerin yarmada çekme dayanımı değerlendirmesine göre;

- En küçük yarmada çekme dayanımı değerinin 0.22 MPa ile -10°C’ dereceye maruz beton örneklerde olduğu,
- En büyük yarmada çekme dayanımı değerinin 0.83 MPa ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %11.9, %20.8 ve %40.6 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %38.2, %58.8 ve %68.4 daha düşük yarmada çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.3. Antifriz katkısız hafif betonların ortalama yarmada çekme dayanımı değerleri



Şekil 3.4. Antifriz katkılı hafif betonların ortalama yarmada çekme dayanımı değerleri

Sonuç olarak, Antifriz katkısız hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 tuz içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında tuz konsantrasyonunun artışı ile yarmada çekme dayanımında yaklaşık %2

dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C 'ye düştükçe %5 ve %10 tuz konsantrasyonuna sahip korozif ortamlarda dayanım kaybı farkı %27 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkısız hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında sülfat konsantrasyonunun artışı ile yarmada çekme dayanımında yaklaşık %2 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C 'ye düştükçe %5 ve %10 sodyum sülfat konsantrasyonuna sahip korozif ortamlarda dayanım kaybı farkı %27 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü antifriz katkısız hafif betonlara oranla korozif ortamdan etkilenme oranını azalmıştır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 tuz içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında yarmada çekme dayanımında yaklaşık en düşük dayanım kaybı %3 olurken en yüksek dayanım kaybı farkı %8.5 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında sülfat konsantrasyonunun artışı ile yarmada çekme dayanımında yaklaşık %14 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C 'ye düştükçe %5 ve %10 sodyum sülfat konsantrasyonuna sahip korozif ortamlarda dayanım kaybı farkı %55 olarak belirlenmiştir.

1.11. Kapilerite

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz hafif beton örnekler üzerinde kapilerite “numune tabanı suya batırılarak beton kılcal boşluklarını belirleme” deneyi gerçekleştirilmiş. Değerler zamana bağlı betonun emdiği su miktarına bağlı olarak kütle artış miktarına göre kıyaslanmıştır. Kapiler yolla emilen su miktarları ve Kapilerite katsayıları

Tablo 3.3-Tablo 3.10’da görülmektedir. Ayrıca beton örneklerin kapilerite değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.5- Şekil 3.12’de görülmektedir.

Tablo 3.3. Taze halde Normal şartlarda antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri

Süre (sn)	%5 NaCl	%10 NaCl	%5 NaSO ₄	%10 NaSO ₄
	Kapilerite katsayısı(cm ² /sn)			
	7.42x10 ⁻⁶	1.24x10 ⁻⁵	4.55x10 ⁻⁶	2.38x10 ⁻⁶
0	0	0	0	0
60	8.2	9.1	8.4	7.7
300	14.3	12.9	10.5	9.4
600	18.7	15	13.2	10.4
1200	24.6	19	15.2	11.6
1800	27.5	20.2	18.8	12.4
3600	33.0	24	23	14.3
7200	39.8	28.8	28.7	15.3
10800	45.1	33.8	34.1	16.3
14400	50.0	38.7	37.8	18.6
18000	53.6	42.3	40.8	19.3
21600	56.6	46	43.7	20.4
92220	63.6	54.8	53	24.2
193200	88.8	86.7	77.2	36.9
268500	116.2	124.8	96.5	56.6
432000	133.8	157	115.1	70.4
527580	150.3	183.3	126.5	82.6
622200	164.1	206.7	132.85	91.6
691200	177.8	229.7	139.2	100.6

Tablo 3.4. Taze halde 0°C derecede antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri

Süre (sn)	%5 NaCl	%10 NaCl	%5 NaSO ₄	%10 NaSO ₄
	Kapilerite katsayısı(cm ² /sn)			
	4.91x10 ⁻⁶	6.35x10 ⁻⁶	3.15x10 ⁻⁶	1.44x10 ⁻⁶
0	0	0	0	0
60	4.9	7.1	8.7	5.1
300	8.1	11.5	10.1	6.6
600	10.6	14.4	12.6	7.4
1200	17.8	18.9	16.3	8.2
1800	21.5	20.5	18.9	9.3
3600	28.0	25.3	22.9	10
7200	35.0	30.7	28.4	11.3
10800	41.4	34.9	32.3	12.3
14400	46.7	39.4	35.6	13.3
18000	51.1	42.5	38.7	14.8
21600	55.5	45.5	41.5	16
92220	64.7	52.5	48.1	20
193200	85.5	75.8	66.7	31.1
268500	104.7	102.4	80.7	41.8
432000	118.0	123	95.6	51.4
527580	127.6	139.7	103.9	60.9
622200	136.1	152.1	109.9	69.55
691200	144.6	164.5	115.9	78.2

Tablo 3.5. Taze halde -5°C derecede antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri

Süre (sn)	%5 NaCl	%10 NaCl	%5 NaSO ₄	%10 NaSO ₄
	Kapilerite katsayısı(cm ² /sn)			
	2.03x10 ⁻⁶	4.91x10 ⁻⁶	1.84x10 ⁻⁶	6.77x10 ⁻⁷
0	0	0	0	0
60	2.3	5.4	2.2	4.9
300	4.2	7.9	4.1	5.9
600	5.5	9.8	5.5	7.3
1200	6.4	12.6	7.6	8.6
1800	8.2	13.6	8.6	10.1
3600	9.6	15.9	11.1	12.1
7200	12	18.7	15.2	14.9
10800	13.6	21.5	19.2	16.8
14400	16	24.5	22.4	18.8
18000	17.3	26.8	25.4	19.9
21600	18.4	29.1	28.2	21
92220	22.5	34	33.9	24.1
193200	35.2	53.4	50.2	32.6
268500	50.5	77.8	63.7	37.1
432000	63.6	98.2	72.5	44.5
527580	75.3	116	78.9	47.9
622200	84.1	136.32	83.7	50.8
691200	92.9	144.6	88.5	53.7

Tablo 3.6. Taze halde -10°C derecede antifriz katkısız üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri

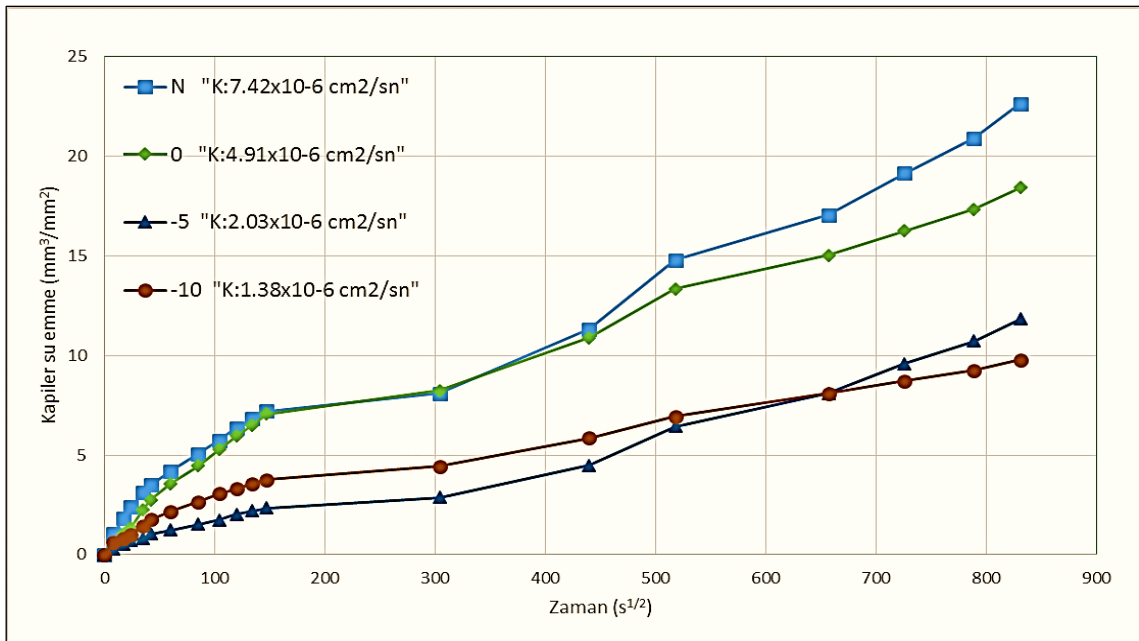
Süre (sn)	%5 NaCl	%10 NaCl	%5 NaSO ₄	%10 NaSO ₄
	Kapilerite katsayısı(cm ² /sn)			
	1.38x10 ⁻⁶	2.42x10 ⁻⁶	7.10x10 ⁻⁷	3.95x10 ⁻⁷
0	0	0	0	0
60	4.7	2.4	2.6	1.3
300	6.2	3.7	3.3	1.9
600	8	5.2	4.1	2.9
1200	11.3	7.4	5.5	4.2
1800	13.8	8.5	6.3	4.8
3600	17.1	11.2	8.2	5.4
7200	20.9	13.5	10.2	6.2
10800	24.1	15.6	11.2	7
14400	26	18.1	12.5	7.8
18000	28.1	19.4	13.1	8.4
21600	29.6	20.9	14.3	9.2
92220	34.9	24.3	19	10.8
193200	45.9	38.4	23.3	17.7
268500	54.5	52.8	30.5	23.8
432000	63.5	66.6	37.3	29.4
527580	68.4	79.1	44.6	33.1
622200	72.6	90	49.8	37.05
691200	76.8	101.6	55	41

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz antifriz katkısız hafif beton örneklerin maruz kaldıkları korozif ortama bağlı olarak kapiler su emme miktarındaki ve kapilarite katsayısındaki değişim değerlendirmesine göre;

%5 tuz içerikli korozif su küründeki hafif beton örneklerde,

- En fazla su emme miktarının 177.8 gr. Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En az su emme miktarının 76.8 gr. -10°C dereceye maruz kalan beton örneklerde olduğu,
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %18.7, %47.8 ve %56.8 daha az miktarda kapiler yolla su emdiği belirlenmiştir.
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %33.9, %72.7 ve %81.3 daha küçük kapilarite katsayısına belirlenmiştir.

%5 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarlarını gösterir grafik Şekil 3.5’de görülmektedir.

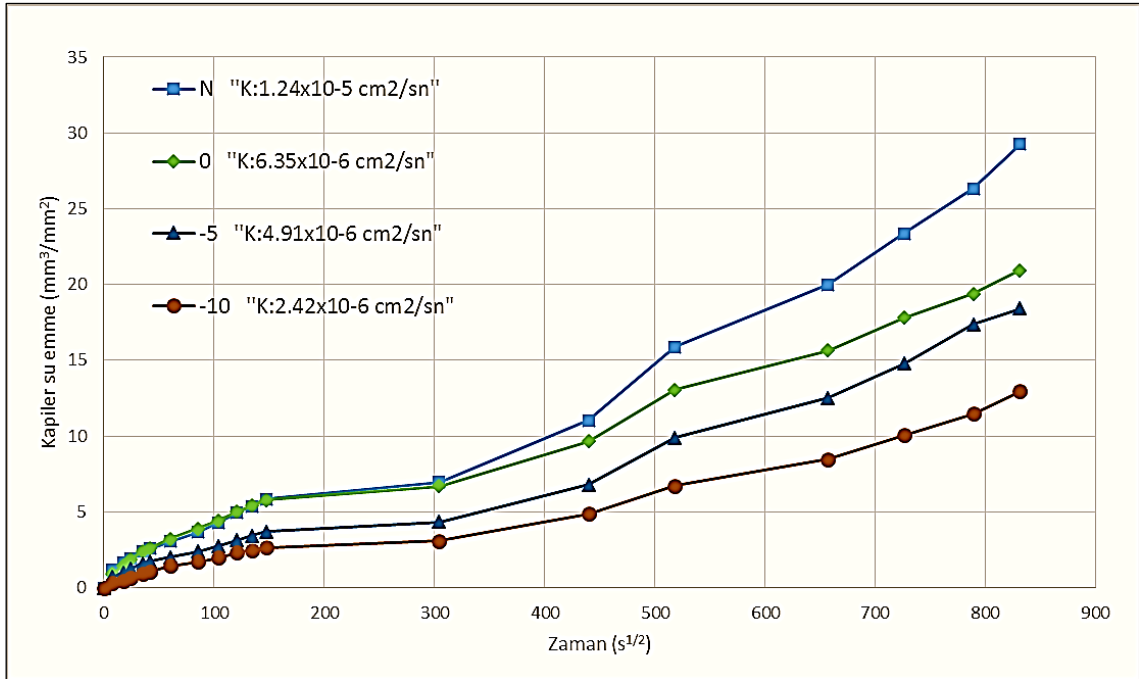


Şekil 3.5. %5 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları

% 10 tuz içerikli korozif su küründeki hafif beton örneklerde,

- En fazla su emme miktarının 229.7 gr. Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En az su emme miktarının 101.6 gr. -10°C dereceye maruz kalan beton örneklerde olduğu,
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %28.4, %37 ve %55.8 daha az miktarda kapiler yolla su emdiği belirlenmiştir.
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %48.7, %60.4 ve %80.4 daha küçük kapilarite katsayısına belirlenmiştir.

% 10 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarlarını gösterir grafik Şekil 3.6'da görülmektedir.

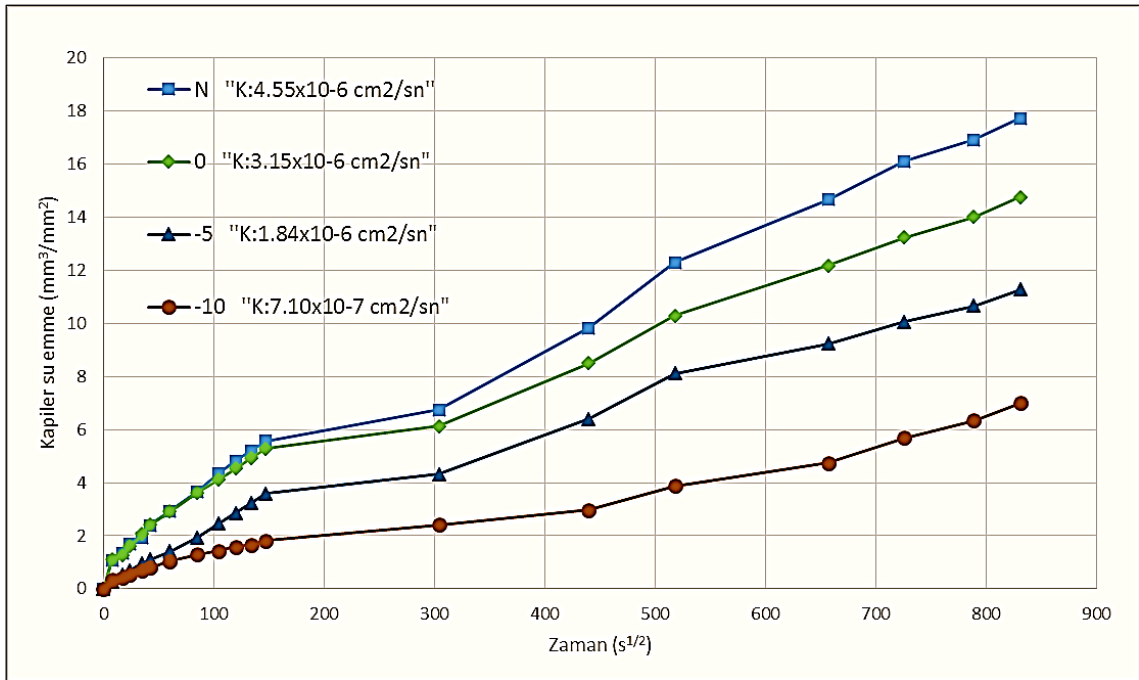


Şekil 3.6. %10 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları

%5 sodyum sülfat içerikli korozif su küründeki hafif beton örneklerde,

- En fazla su emme miktarının 139.2 gr. Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En az su emme miktarının 55 gr. -10°C dereceye maruz kalan beton örneklerde olduğu,
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %16.7, %36.4 ve %60.5 daha az miktarda kapiler yolla su emdiği belirlenmiştir.
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %30.7, %59.6 ve %84.4 daha küçük kapilarite katsayısına belirlenmiştir.

%5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarlarını gösterir grafik Şekil 3.7’de görülmektedir.

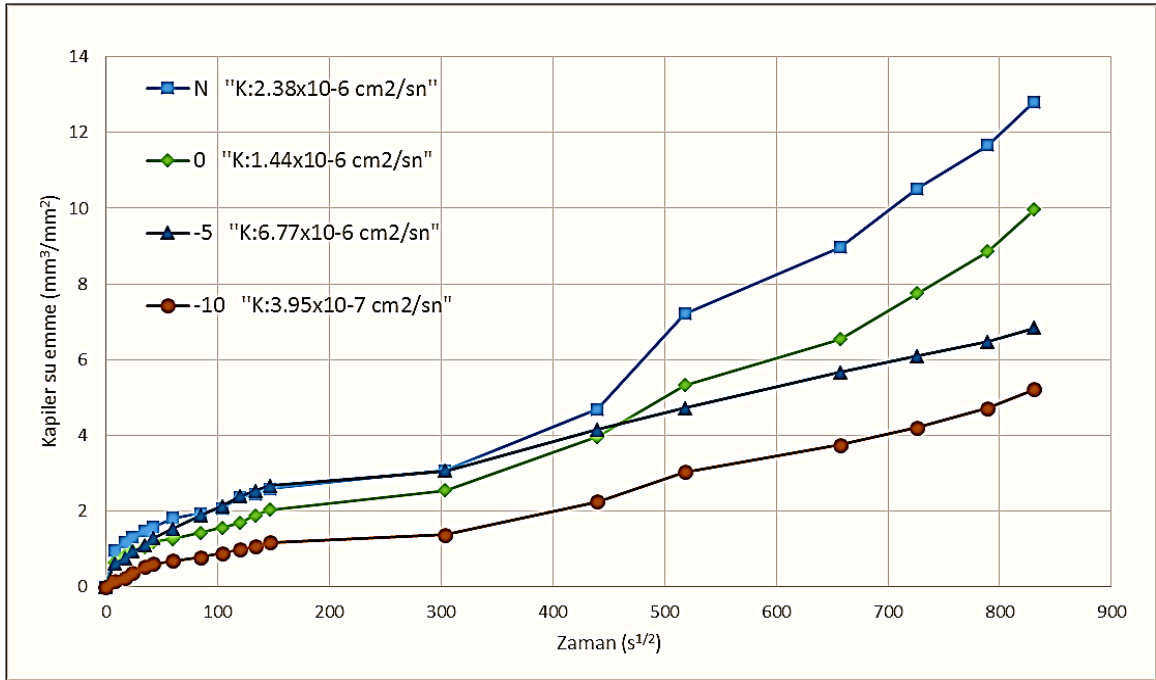


Şekil 3.7. %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları

%10 sodyum sülfat içerikli korozif su küründeki hafif beton örneklerde,

- En fazla su emme miktarının 100.6 gr. Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En az su emme miktarının 41 gr. -10°C dereceye maruz kalan beton örneklerde olduğu,
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %22.3, %46.6 ve %59.2 daha az miktarda kapiler yolla su emdiği belirlenmiştir.
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %39.6, %71.5 ve %83.4 daha küçük kapilarite katsayısına belirlenmiştir.

%10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarlarını gösterir grafik Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8. %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkısız betonların kapiler su emme miktarları

Tablo 3.7. Taze halde Normal şartlarda antifriz katkıli üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri

Süre (sn)	%5 NaCl	%10 NaCl	%5 NaSO ₄	%10 NaSO ₄
	Kapilarite katsayısı(cm ² /sn)			
	8.08x10 ⁻⁶	1.87x10 ⁻⁵	5.09x10 ⁻⁶	2.45x10 ⁻⁶
0	0	0	0	0
60	4.7	6	3.3	5.1
300	9.2	11.8	5.7	6.8
600	13.8	18.1	7.4	9.4
1200	20.5	25	9	12
1800	24.3	30.4	11.3	14.1
3600	31.6	39.5	13.6	18.1
7200	38.9	51.3	18.3	23.3
10800	39.2	62	21.2	28.7
14400	49	70.1	22.7	32.2
18000	53.2	77.1	27.1	35.3
21600	57.5	83.7	29.6	37.7
92220	70.1	101	36.4	44.6
193200	97	147	58.1	61.7
268500	124.4	197.7	82.8	75.1
432000	141.9	231.6	104.2	85.6
527580	154	253.9	118.3	91.5
622200	169.8	267.9	132.75	96.8
691200	185.5	282	147.2	102.1

Tablo 3.8. Taze halde 0°C derecede antifriz katkıli üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri

Süre (sn)	%5 NaCl	%10 NaCl	%5 NaSO ₄	%10 NaSO ₄
	Kapilarite katsayısı(cm ² /sn)			
	5.03x10 ⁻⁶	8.59x10 ⁻⁶	3.86x10 ⁻⁶	1.76x10 ⁻⁶
0	0	0	0	0
60	4.2	3.2	3.8	5.3
300	6.7	5.9	5.1	7.3
600	10	7.8	6.4	9.3
1200	13.6	11.3	7.7	11.8
1800	16	13.4	9.1	13.9
3600	19.9	17.9	11.1	17
7200	24.7	23.6	13.9	21.1
10800	27.7	28.2	15.8	24.5
14400	32.1	33.1	18.2	26.9
18000	34.8	36.6	20.1	29.1
21600	37.5	40.1	21.5	31.2
92220	44.9	48.3	26.6	36.5
193200	68.8	79.1	43	50.8
268500	89.9	109.2	64.3	60.7
432000	107.2	133.2	80.6	71.4
527580	120.8	155.3	99.5	74.4
622200	133.5	173.3	113.9	80.55
691200	146.3	191.3	128.3	86.7

Tablo 3.9. Taze halde -5°C derecede antifriz katkılı üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri

Süre (sn)	%5 NaCl	%10 NaCl	%5 NaSO ₄	%10 NaSO ₄
	Kapilerite katsayısı(cm ² /sn)			
	2.59x10 ⁻⁶	5.26x10 ⁻⁶	2.11x10 ⁻⁶	1.18x10 ⁻⁶
0	0	0	0	0
60	3.7	3.8	7.5	4
300	5.7	6.2	9.4	5.9
600	8.5	8.4	11.7	7.4
1200	11.7	11.5	14.2	8.7
1800	14.1	12.9	16.2	10.2
3600	17.8	16.3	20	12.4
7200	22.5	19.8	25.2	14.4
10800	26.6	22.8	28.6	16.2
14400	29.5	25.7	31.3	17.6
18000	33.1	27.8	33.7	19.2
21600	35.8	30	35.8	20.2
92220	42.7	37.3	40.9	23
193200	61.4	60.3	57.6	32.5
268500	76.6	87.1	66.9	42.3
432000	86.5	107.2	79.1	50.4
527580	93.9	124.2	85.4	58
622200	99.45	136.95	90.05	64.4
691200	105	149.7	94.7	70.8

Tablo 3.10. Taze halde -10°C derecede antifriz katkılı üretilen hafif beton örneklerde korozif ortama bağlı kapiler yolla emilen su miktarları ve kapilarite katsayısı değerleri

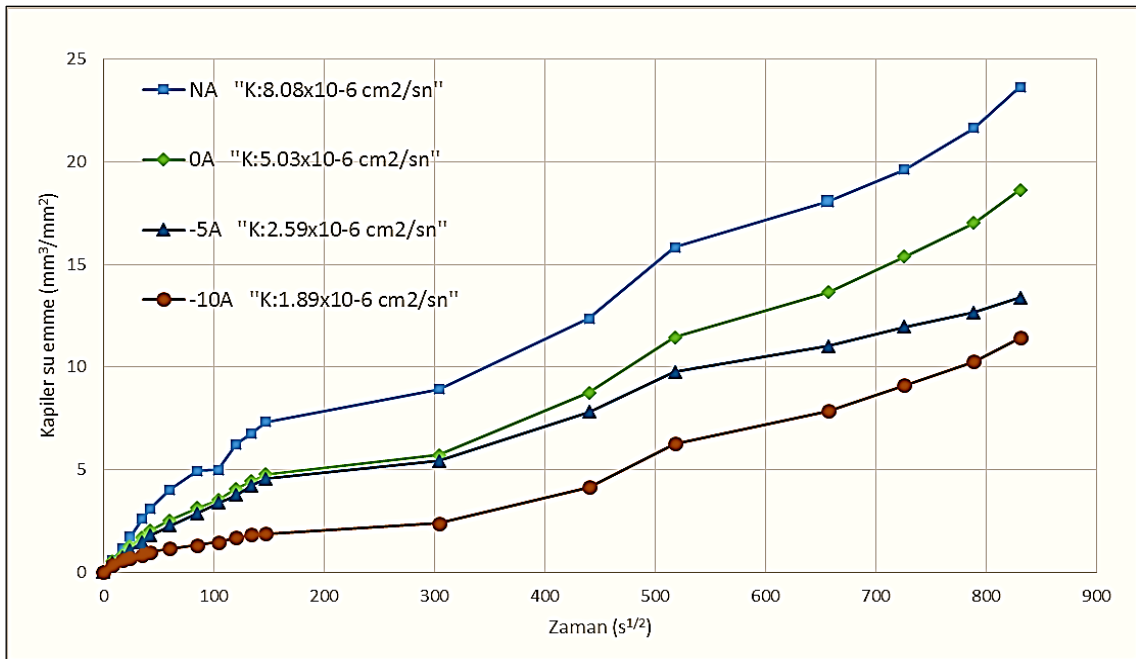
Süre (sn)	%5 NaCl	%10 NaCl	%5 NaSO ₄	%10 NaSO ₄
	Kapilerite katsayısı(cm ² /sn)			
	1.89x10 ⁻⁶	5.09x10 ⁻⁶	1.15x10 ⁻⁶	5.36x10 ⁻⁷
0	0	0	0	0
60	3	3.3	2.2	4.7
300	4.8	5.7	3.1	6
600	5.6	7.4	3.8	7
1200	6.7	9	4.3	8.3
1800	7.8	11.3	4.6	9.8
3600	9.2	13.6	5.9	11.1
7200	10.4	18.3	6.7	13.9
10800	11.6	21.2	7.5	15.5
14400	13.3	24.7	8.4	17.7
18000	14.4	27.1	9.4	18.6
21600	14.9	29.6	10.1	19.5
92220	18.8	36.4	12.8	22.8
193200	32.7	58.1	21.5	30
268500	49.3	82.8	31.7	32.5
432000	61.7	104.2	44.8	39.7
527580	71.6	118.3	52.6	43.3
622200	80.6	132.75	61.3	45.55
691200	89.7	147.2	70	47.8

Taze halde farklı sıcaklıklara maruz antifriz katkılı hafif beton örneklerin maruz kaldıkları korozif ortama bağlı olarak kapiler su emme miktarındaki ve kapilarite katsayısındaki değişim değerlendirmesine göre;

%5 tuz içerikli korozif su küründeki hafif beton örneklerde,

- En fazla su emme miktarının 185.5 gr. Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En az su emme miktarının 89.7 gr. -10°C dereceye maruz kalan beton örneklerde olduğu,
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %21.1, %43.4 ve %51.6 daha az miktarda kapiler yolla su emdiği belirlenmiştir.,
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %37.8, %68 ve %76.6 daha küçük kapilarite katsayısına belirlenmiştir.

%5 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkılı betonların kapiler su emme miktarlarını gösterir grafik Şekil 3.9'da görülmektedir.

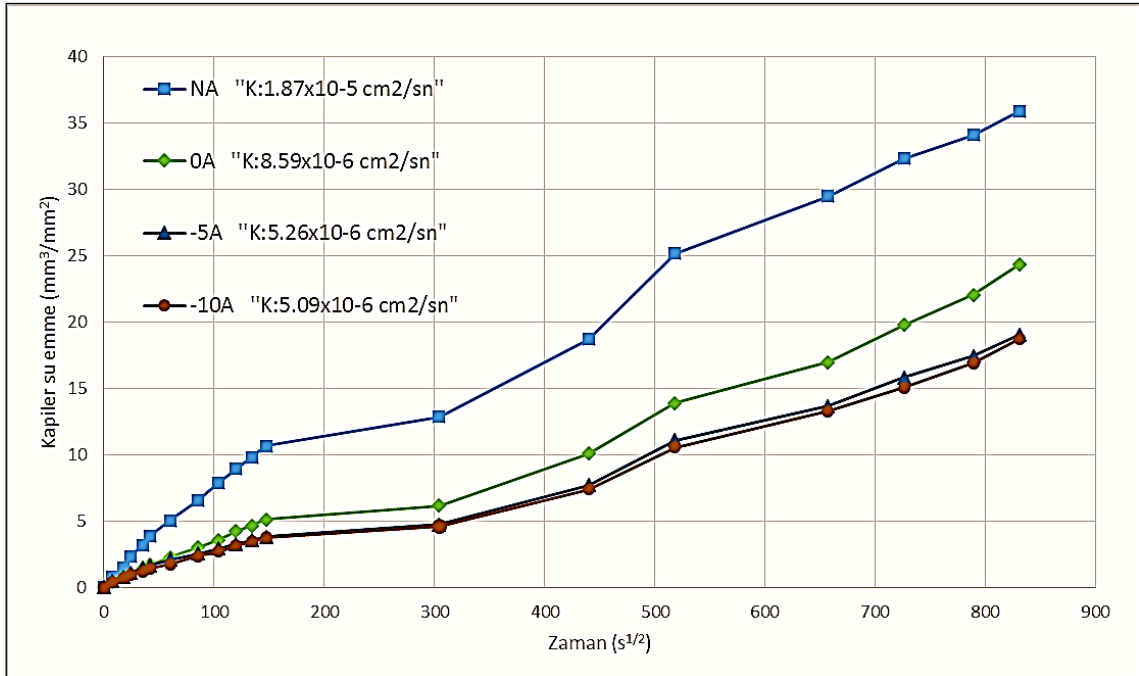


Şekil 3.9. %5 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkılı betonların kapiler su emme miktarları

%10 tuz içerikli korozif su küründeki hafif beton örneklerde,

- En fazla su emme miktarının 282 gr. Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En az su emme miktarının 147.2 gr. -10°C dereceye maruz kalan beton örneklerde olduğu,
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %32.2, %46.9 ve %47.8 daha az miktarda kapiler yolla su emdiği belirlenmiştir.
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %54, %71.8 ve %72.8 daha küçük kapilarite katsayısına belirlenmiştir.

%10 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkıli betonların kapiler su emme miktarlarını gösterir grafik Şekil 3.10'da görülmektedir.

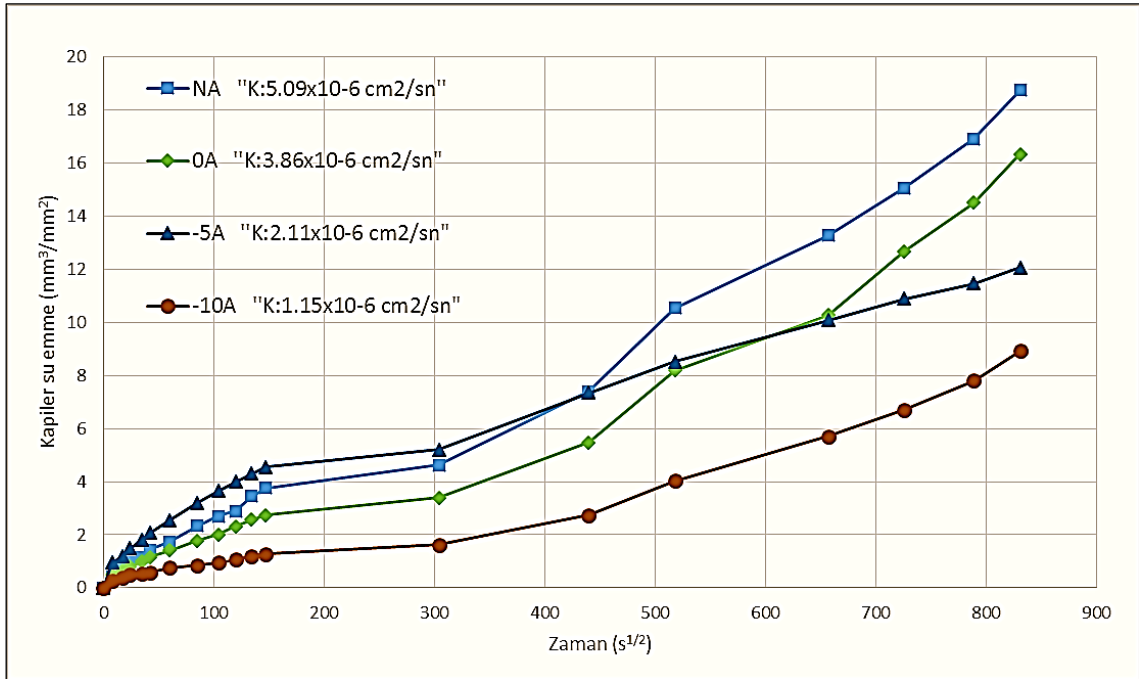


Şekil 3.10. %10 tuz içerikli korozif ortama maruz antifriz katkıli betonların kapiler su emme miktarları

%5 sodyum sülfat içerikli korozif su küründeki hafif beton örneklerde,

- En fazla su emme miktarının 147.2 gr. Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En az su emme miktarının 70 gr. -10°C dereceye maruz kalan beton örneklerde olduğu,
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %12.8, %35.7 ve %52.4 daha az miktarda kapiler yolla su emdiği belirlenmiştir.
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %24, %58.6 ve %77.4 daha küçük kapilarite katsayısına belirlenmiştir.

%5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkıli betonların kapiler su emme miktarlarını gösterir grafik Şekil 3.11’de görülmektedir.

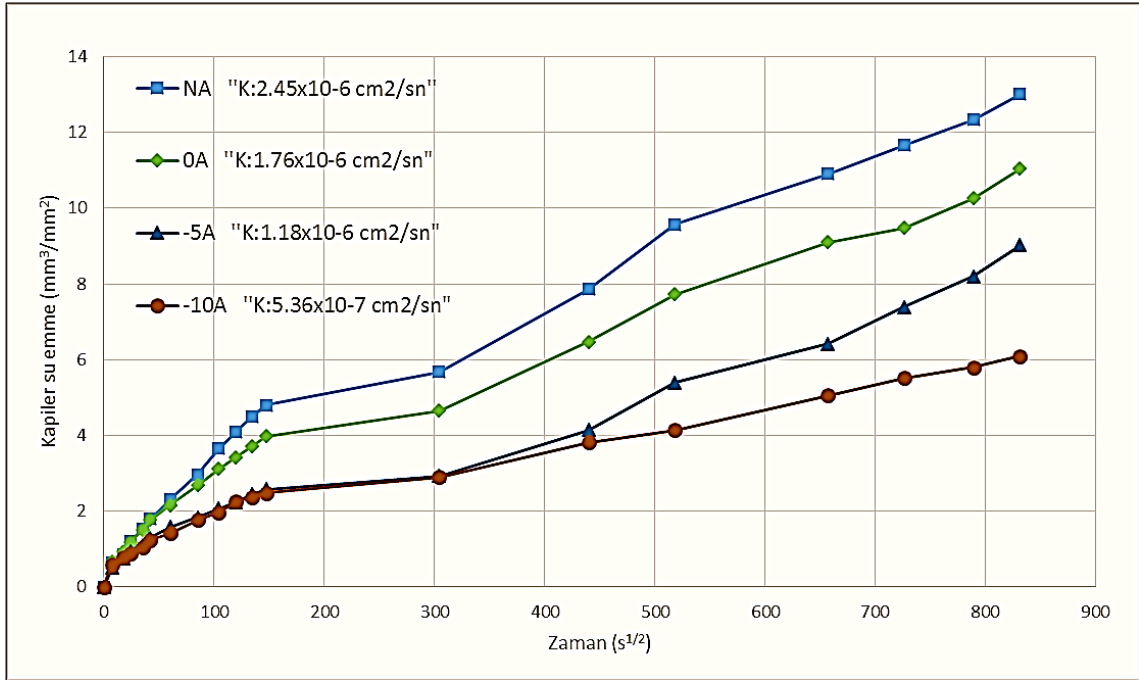


Şekil 3.11. %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkıli betonların kapiler su emme miktarları

% 10 sodyum sülfat içerikli korozif su küründeki hafif beton örneklerde,

- En fazla su emme miktarının 102.1 gr. Normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En az su emme miktarının 47.8 gr. -10°C dereceye maruz kalan beton örneklerde olduğu,
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %15.1, %30.7 ve %53.2 daha az miktarda kapiler yolla su emdiği belirlenmiştir.
- Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %27.9, %51.9 ve %78.1 daha küçük kapilarite katsayısına belirlenmiştir.

% 10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkıli betonların kapiler su emme miktarlarını gösterir grafik Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.12. %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz antifriz katkıli betonların kapiler su emme miktarları

Sonuç olarak, Antifriz katkısız hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz bırakılan hafif beton numunelerinin kapiler yolla emdiği su miktarı, tuz içerikli korozif ortama maruz bırakılan hafif beton numunelerine göre daha az miktarda su emdiği belirlenmiştir. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5-%10 tuz ve %5-%10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında korozif ortam konsantrasyonunun artışı ve taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşmesiyle birlikte hafif beton numunelerinde kapiler yolla su emme miktarının da azaldığı belirlenmiştir. Antifriz katkılı hafif betonlarda ise maruz kalınan sıcaklık değerinin düşüşü ile kapilerite katsayısı ve kapiler yolla emilen su miktarı artmaktadır. Fakat antifriz katkısız örnekler göre bu artış daha düşük olmuştur. Buradan betonda kullanılan antifrizin betonun mekanik özelliklerine katkısının yanında fiziksel özelliklerinede katkısı olduğu anlaşılmıştır.

1.12. İmpermeabilite

Taze halde dona maruz hafif beton örneklerin 10 çevrim ıslanma kuruma döngüsü şeklinde korozif ortamlara maruz kaldıktan sonra impermeabilite deneyi gerçekleştirilmiştir. Değerler beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerlerinin antifriz katkılı ve antifriz katkısız beton örnekler göre %5-%10 tuz içerikli ve %5-%10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamlara göre impermeabilite değerleri kıyaslanmıştır. Betonun maruz kaldığı korozif ortamlara göre, ortalama impermeabilite değerleri Tablo 3.11’de görülmektedir. Ayrıca beton örneklerin antifriz katkılı ve katkısız ortalama impermeabilite değerlerini gösterir grafikler Şekil 3.13-Şekil 3.14’de görülmektedir.

Tablo 3.11. Beton örneklerin ortalama impermeabilite değerleri

Korozif Ortam \ Sıcaklık (°C)	Antifriz katkısız				Antifriz katkılı			
	Maruz Kaldığı Sıcaklık							
	Normal	0	-5	-10	Normal	A0	A-5	A-10
%5 NaCl	7.5	7.5	7.8	8.1	7.1	7	8.8	9.9
%10 NaCl	6.6	6.9	7.0	7.2	6.0	6.6	6.8	7.2
%5 NaSO4	14	20	20	20	13.5	20	20	20
%10 NaSO4	20	20	20	20	17.4	20	20	20

Hafif beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri, antifriz katkı durumu ve koroziif ortama bağılı olarak,

Antifriz katkısız hafif beton örneklerin;

Tuz içirikli koroziif ortama maruz örneklerin impermeabilite değierlerine göre;

- En küçük impermeabilite değierinin 6.6 cm ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğı,
- En büyük impermeabilite değierinin 8.1 cm ile -10°C'dereceye maruz beton örneklerde olduğı,
- %5 tuz içirikli koroziif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değierine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %0, %4 ve %8 daha düşük impermeabilite değierlerine sahip olduğı görülmüştür.
- %10 tuz içirikli koroziif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değierine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %4.5, %6.1 ve %9.1 daha düşük impermeabilite değierlerine sahip olduğı görülmüştür.

Sodyum sülfat içirikli koroziif ortama maruz örneklerin impermeabilite değierlerine göre;

- En küçük impermeabilite değierinin 14 cm ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğı,
- Diğier beton örneklerde sodyum sülfatın olumsuz etkilerinden dolayı ölçüm yapılamadığı,
- %5 sodyum sülfat içirikli koroziif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değierine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre %38.9 daha düşük impermeabilite değierlerine sahip olduğı görülmüştür.
- %10 sodyum sülfat içirikli koroziif ortama maruz beton örneklerde ölçüm yapılamadığı görülmüştür.

Antifriz katkılı hafif beton örneklerin;

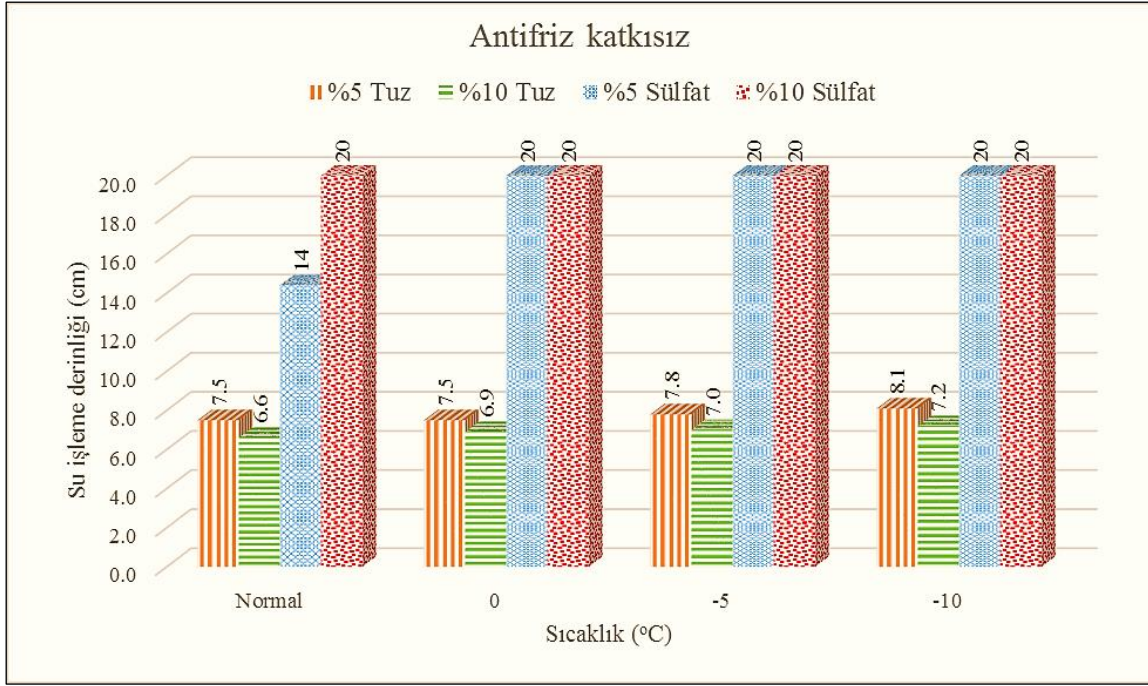
Tuz içirikli koroziif ortama maruz örneklerin impermeabilite değierlendirmesine göre;

- En küçük impermeabilite değierinin 6 cm ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğı,

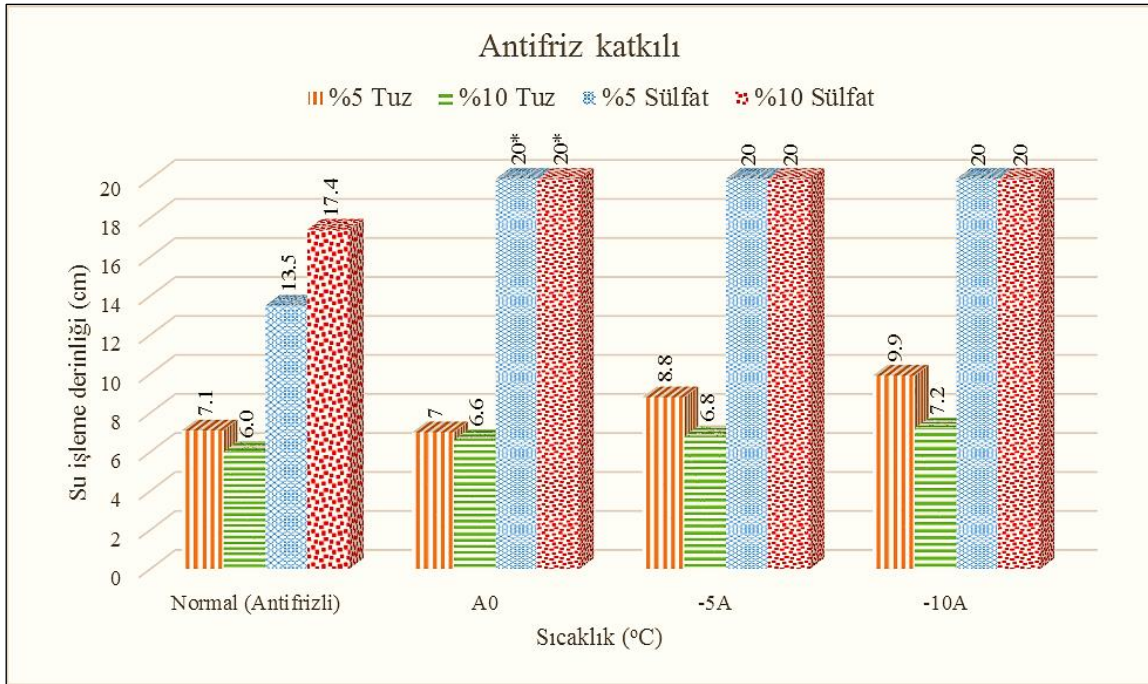
- En büyük impermeabilite değerinin 9.9 cm ile -10°C'dereceye maruz beton örneklerde olduğu,
- %5 tuz içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %1.4, %23.9 ve %39.4 daha düşük impermeabilite değerlerine sahip olduğu görülmüştür.
- %10 tuz içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre %14.9 daha düşük impermeabilite değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz örneklerin impermeabilite değerlendirmesine göre;

- En küçük impermeabilite değerinin 13.5 cm ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- En büyük impermeabilite değerinin 17.4 cm ile normal şartlarda üretilen beton örneklerde olduğu,
- %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre %48.1 daha düşük impermeabilite değerlerine sahip olduğu görülmüştür.
- %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre %14.9 daha düşük impermeabilite değerlerine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.13. Antifriz katkısız hafif betonların ortalama impermeabilite değerleri



Şekil 3.14. Antifriz katkılı hafif betonların ortalama impermeabilite değerleri

Sonuç olarak, Antifriz katkısız hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 tuz içerikli korozif ortamlara maruz

bırakıldığında tuz konsantrasyonunun artışı ile su işleme derinliği değeri kaybı en düşük yaklaşık %8 olurken, en yüksek su işleme derinliği kaybı yaklaşık %11 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 tuz içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında tuz konsantrasyonunun artışı ile su işleme derinliği değeri kaybı en düşük yaklaşık %6 olurken, en yüksek su işleme derinliği kaybı yaklaşık %27 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı ve katkısız hafif betonlarda sodyum sülfatın olumsuz etkilerinden dolayı %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz bırakılan hafif beton numuneleri haricindeki diğer tüm hafif beton numunelerinde ölçüm yapılamamıştır.

1.13. Ağırlık Değişimi

Hafif beton örneklerin %5-%10 tuz içerikli su ve %5-%10 sodyum sülfat içerikli su ile hazırlanan korozif ortamlarda ıslanma-kuruma döngüsü sonucunda ağırlık değişimi belirlenmiştir. Tuzlu ve sodyum sülfatlı korozif ortamlarda ıslanma-kuruma çevrimi sonucunda beton örneklerdeki ağırlık değişimleri Tablo 3.12-Tablo 3.15’de görülmektedir. Ayrıca ağırlık değişimlerini gösterir grafikler Şekil 3.15-Şekil 3.28’de görülmektedir.

Tablo 3.12. Beton örneklerin %5 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi

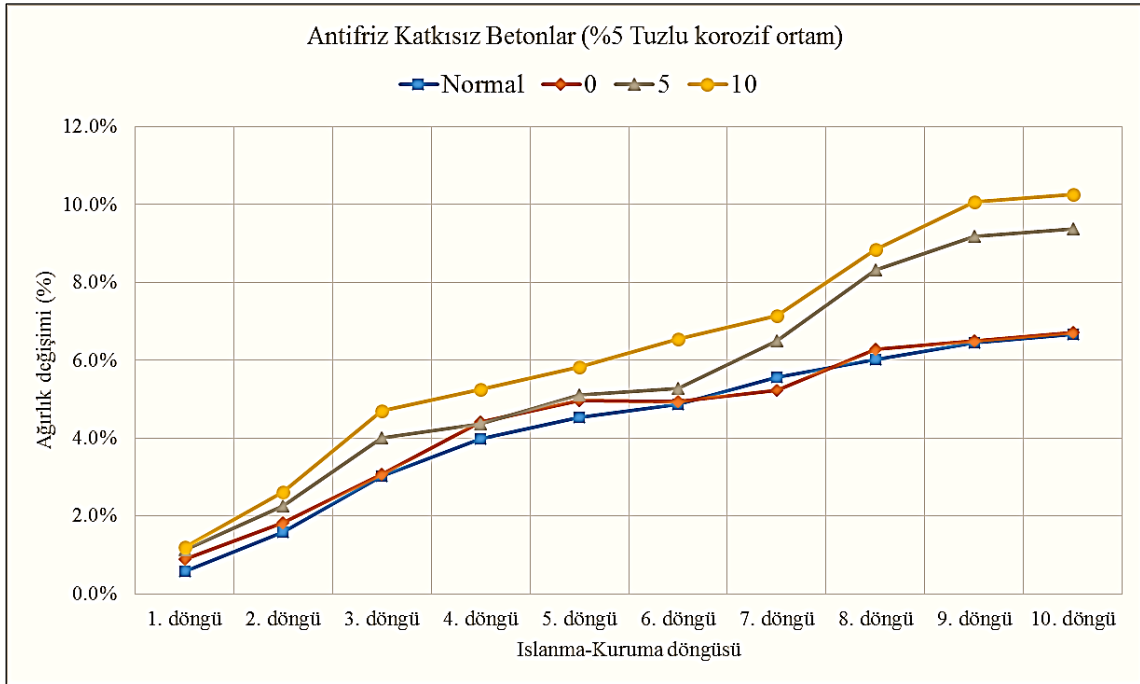
Numune adı	1. döngü	2. döngü	3. döngü	4. döngü	5. döngü	6. döngü	7. döngü	8. döngü	9. döngü	10. döngü
Normal	0.6%	1.6%	3.0%	4.0%	4.5%	4.9%	5.6%	6.0%	6.5%	6.7%
0	0.9%	1.8%	3.1%	4.4%	5.0%	5.0%	5.2%	6.3%	6.5%	6.7%
5	1.1%	2.3%	4.0%	4.4%	5.1%	5.3%	6.5%	8.3%	9.2%	9.4%
10	1.2%	2.6%	4.7%	5.3%	5.8%	6.5%	7.1%	8.9%	10.1%	10.3%
NA	0.3%	0.5%	1.2%	2.0%	3.8%	4.7%	5.2%	5.4%	5.4%	6.1%
0A	0.9%	1.7%	2.4%	3.0%	5.2%	6.0%	5.8%	5.8%	6.5%	7.5%
5A	1.3%	2.3%	3.8%	4.3%	5.5%	6.0%	5.9%	7.1%	7.6%	8.2%
10A	1.5%	2.6%	4.3%	4.4%	5.6%	6.3%	6.2%	7.1%	7.8%	8.4%

Antifriz katkısız beton örneklerin, %5 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimlerinin değerlendirmesine göre,

- Bütün beton örneklerinde ağırlık artışı belirlenmiştir.
- En küçük ağırlık artışı Normal şartlarda üretilen beton örneklerde %6.7 olduğu,

- En büyük ağırlık artışının taze halde -10°C dereceye maruz beton örneklerde %10.3 olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C , -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %0.7, %40.5 ve %53.8 daha fazla ağırlık artışı olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkısız beton örneklerin %5 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimini gösterir grafik Şekil 3.15’de görülmektedir.

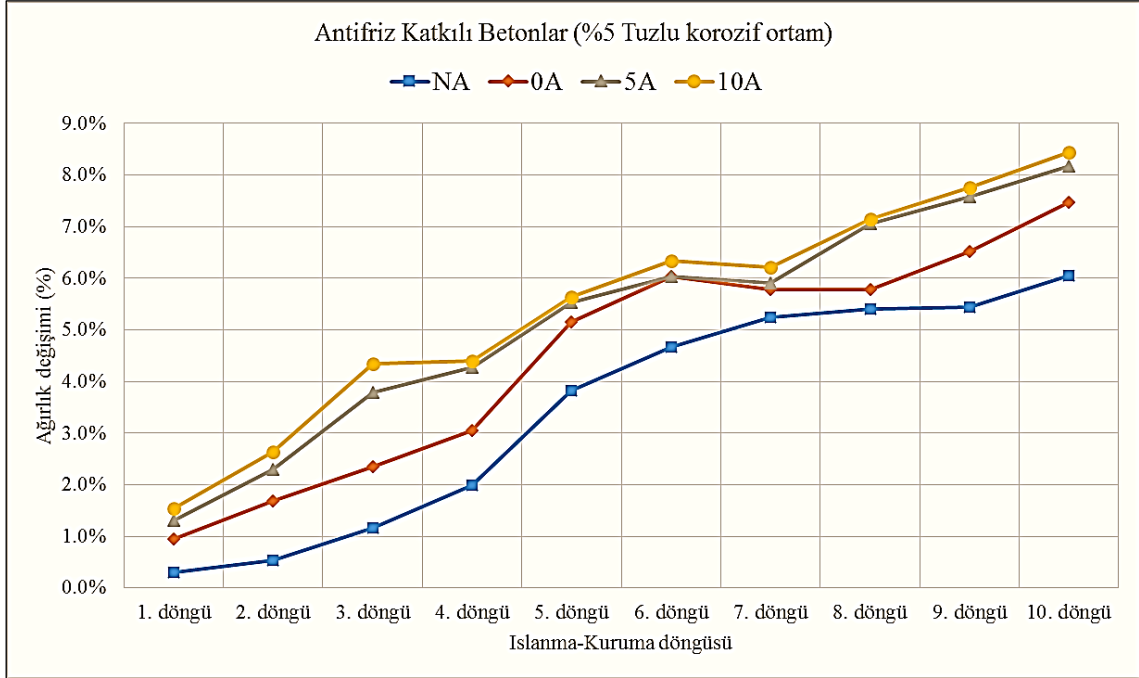


Şekil 3.15. Antifriz katkısız beton örneklerin %5 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi

Antifriz katkılı beton örneklerin, %5 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimlerinin değerlendirmesine göre,

- Bütün beton örneklerinde ağırlık artışı belirlenmiştir.
- En küçük ağırlık artışı Normal şartlarda üretilen beton örneklerde %6.1 olduğu,
- En büyük ağırlık artışının taze halde -10°C dereceye maruz beton örneklerde %8.4 olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C , -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %23.4, %34.9 ve %39.2 daha fazla ağırlık artışı olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkılı beton örneklerin %5 tuz içerikli korozyon ortamında ağırlık değişimini gösterir grafik Şekil 3.16'da görülmektedir.

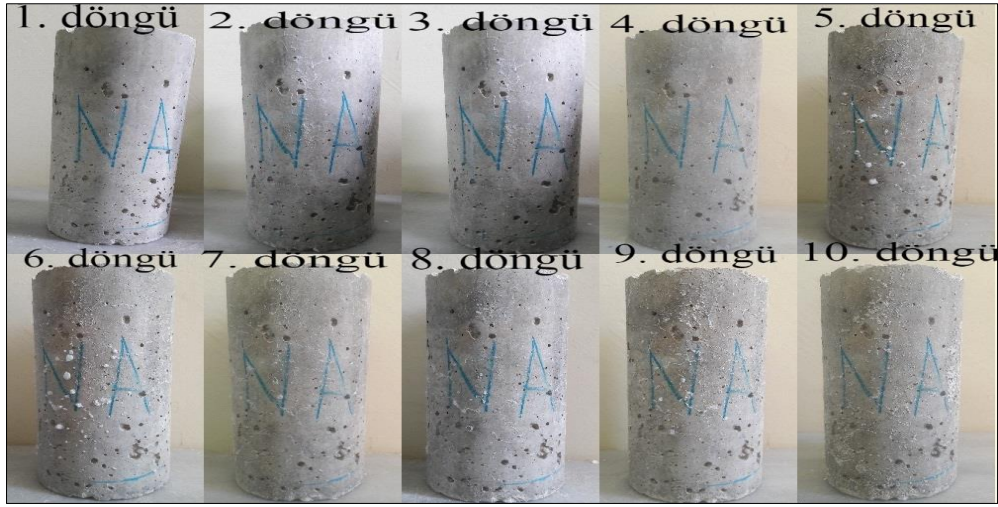


Şekil 3.16. Antifriz katkılı beton örneklerin %5 tuz içerikli korozyon ortamında ağırlık değişimi

%5 tuz içerikli hafif beton örneklerinin değişimi Şekil 3.17-Şekil 3.18'de görülmektedir.



Şekil 3.17. Antifriz katkısız %5 tuz içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi



Şekil 3.18. Antifriz katkılı %5 tuz içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi

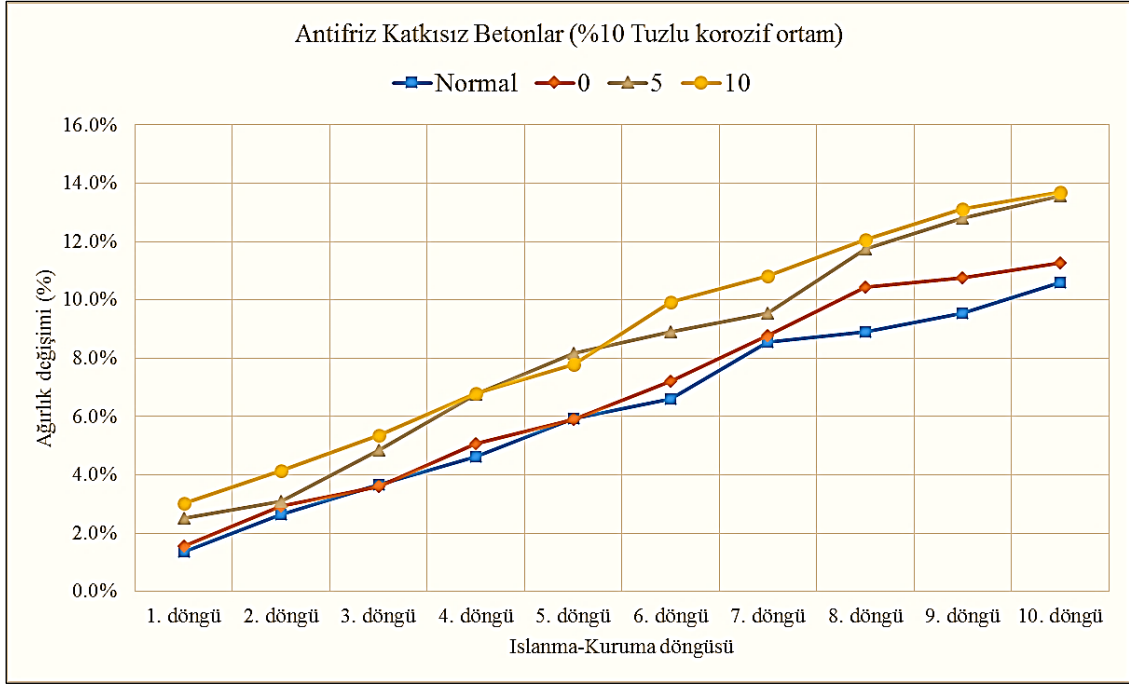
Tablo 3.13. Beton örneklerin %10 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi

Numune adı	1. döngü	2. döngü	3. döngü	4. döngü	5. döngü	6. döngü	7. döngü	8. döngü	9. döngü	10. döngü
Normal	1.4%	2.6%	3.7%	4.6%	5.9%	6.6%	8.5%	8.9%	9.6%	10.6%
0	1.6%	2.9%	3.6%	5.1%	5.9%	7.2%	8.8%	10.4%	10.8%	11.3%
5	2.5%	3.1%	4.8%	6.8%	8.2%	8.9%	9.5%	11.8%	12.8%	13.6%
10	3.0%	4.1%	5.4%	6.8%	7.8%	9.9%	10.8%	12.1%	13.1%	13.7%
NA	0.8%	1.5%	2.3%	2.8%	4.3%	6.0%	7.0%	8.3%	8.9%	9.9%
0A	1.2%	2.5%	2.9%	4.1%	5.5%	6.7%	7.4%	8.5%	9.3%	10.6%
5A	2.1%	4.1%	4.5%	5.6%	6.9%	8.1%	9.5%	10.4%	10.6%	10.9%
10A	2.3%	4.3%	5.6%	6.8%	8.6%	9.5%	10.3%	10.8%	11.5%	11.7%

Antifriz katkısız beton örneklerin, %10 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimlerinin değerlendirmesine göre,

- Bütün beton örneklerinde ağırlık artışı belirlenmiştir.
- En küçük ağırlık artışı Normal şartlarda üretilen beton örneklerde %10.6 olduğu,
- En büyük ağırlık artışının taze halde -10°C dereceye maruz beton örneklerde %13.7 olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %6.4, %28 ve %29.3 daha fazla ağırlık artışı olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkısız beton örneklerin %10 tuz içerikli korozif ortamda ağırlık değişimini gösterir grafik Şekil 3.19’da görülmektedir.

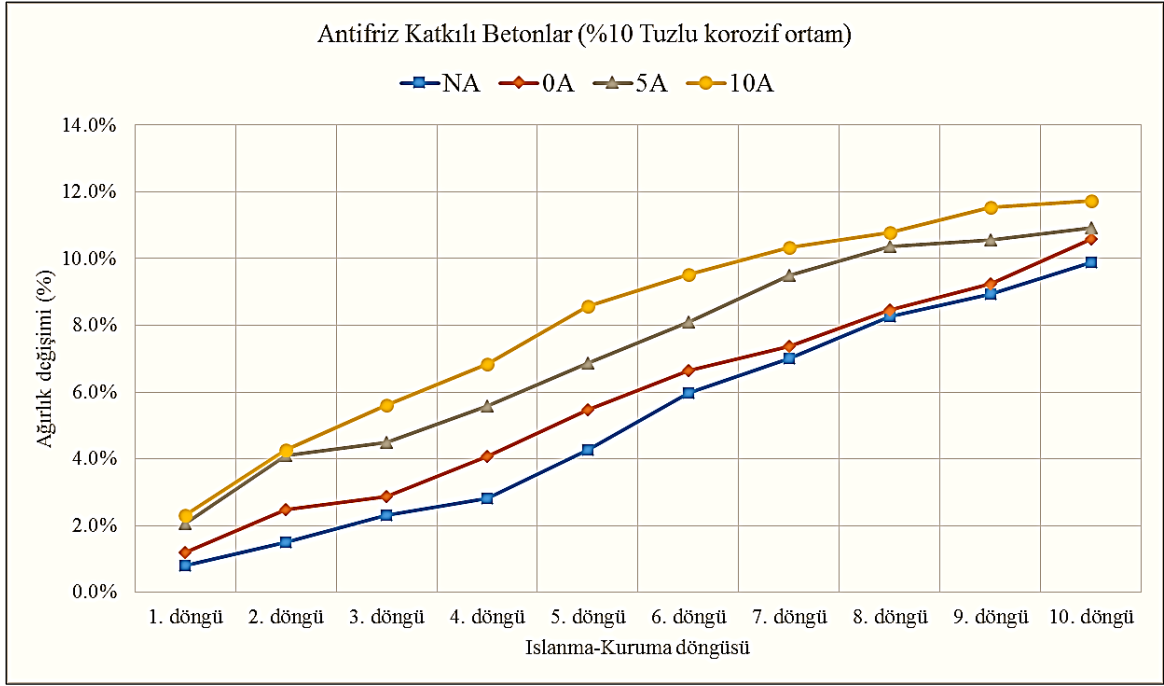


Şekil 3.19. Antifriz katkısız beton örneklerin %10 tuz içerikli koroziif ortamda ağırlık değişimi

Antifriz katkılı beton örneklerin, %10 tuz içerikli koroziif ortamda ağırlık değişimlerinin değerlendirmesine göre,

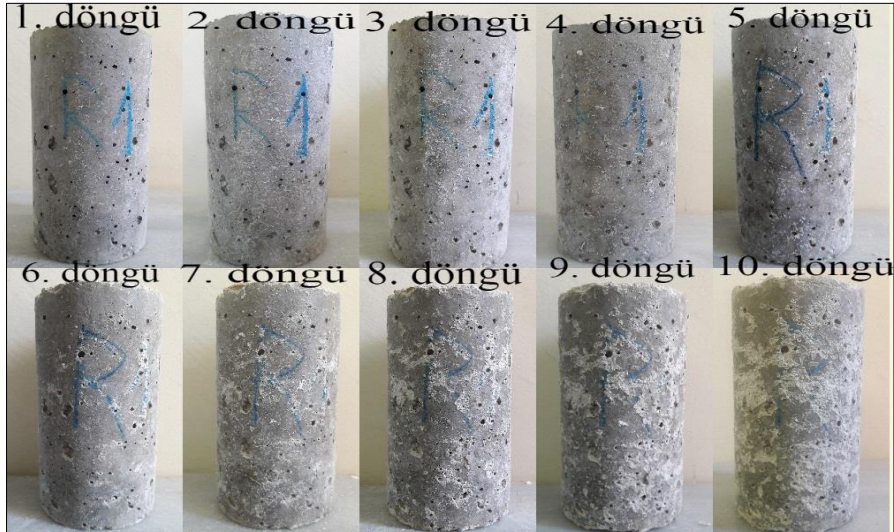
- Bütün beton örneklerinde ağırlık artışı belirlenmiştir.
- En küçük ağırlık artışı Normal şartlarda üretilen beton örneklerde %9.9 olduğu,
- En büyük ağırlık artışının taze halde -10 °C dereceye maruz beton örneklerde %11.7 olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklerle göre sırasıyla %7, %10.3 ve %18.5 daha fazla ağırlık artışı olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkılı beton örneklerin %10 tuz içerikli koroziif ortamda ağırlık değişimini gösterir grafik Şekil 3.20’de görülmektedir.

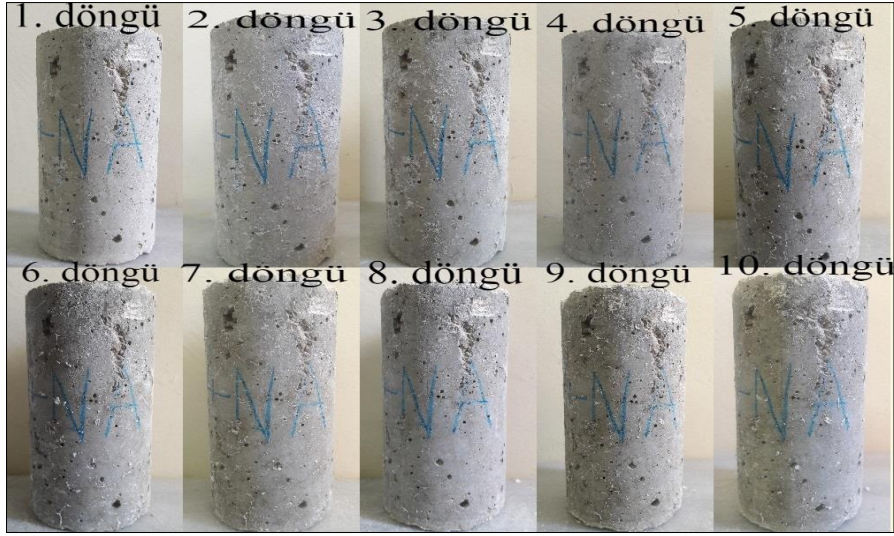


Şekil 3.20. Antifriz katkılı beton örneklerin %10 tuz içerikli koroziif ortamda ağırlık değişimi

%10 tuz içerikli hafif beton örneklerinin değişimi Şekil 3.21-Şekil 3.22’de görülmektedir.



Şekil 3.21. Antifriz katkısız %10 tuz içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi



Şekil 3.22. Antifriz katkılı %10 tuz içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi

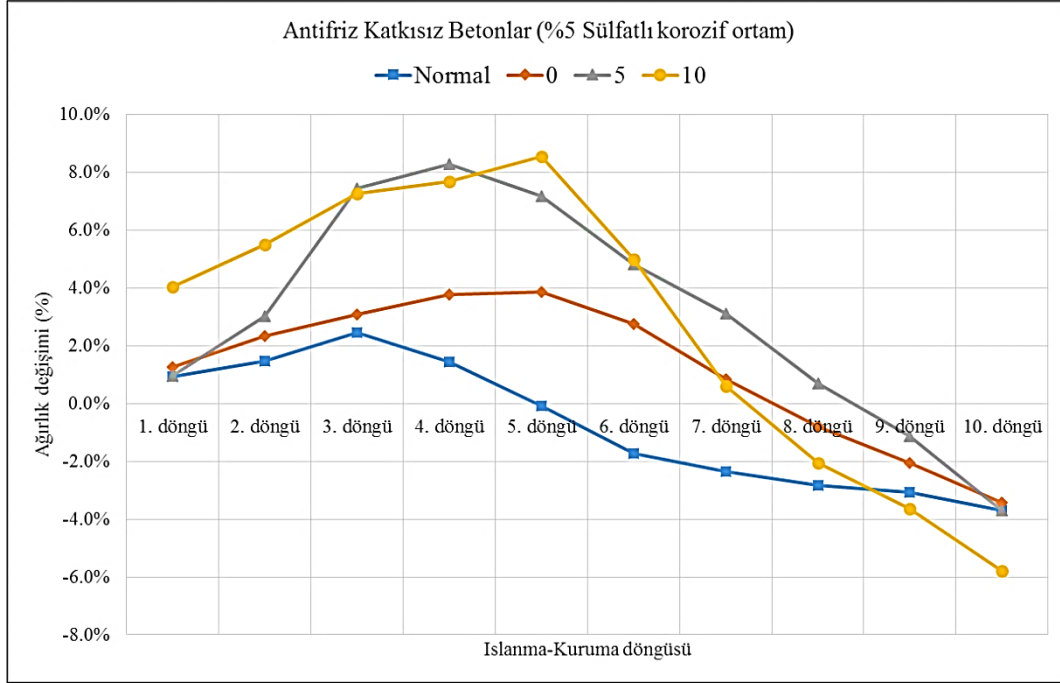
Tablo 3.14. Beton örneklerin %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık kaybı

Numune adı	1. döngü	2. döngü	3. döngü	4. döngü	5. döngü	6. döngü	7. döngü	8. döngü	9. döngü	10. döngü
Normal	0.9%	1.5%	2.5%	1.4%	-0.1%	-1.7%	-2.4%	-2.8%	-3.1%	-3.7%
0	1.3%	2.3%	3.1%	3.8%	3.9%	2.8%	0.9%	-0.8%	-2.1%	-3.4%
5	0.9%	3.0%	7.4%	8.3%	7.2%	4.8%	3.1%	0.7%	-1.1%	-3.7%
10	4.0%	5.5%	7.3%	7.7%	8.6%	5.0%	0.6%	-2.0%	-3.6%	-5.8%
NA	0.3%	0.5%	1.2%	2.0%	1.4%	0.4%	-0.9%	-1.7%	-1.9%	-2.8%
0A	0.3%	1.0%	1.7%	2.4%	3.1%	3.2%	2.0%	0.5%	-1.8%	-3.2%
5A	1.3%	2.3%	3.8%	4.3%	4.5%	3.9%	1.6%	0.6%	-1.0%	-3.3%
10A	1.5%	2.6%	4.3%	4.4%	3.5%	2.4%	1.2%	0.0%	-2.2%	-3.7%

Antifriz katkısız beton örneklerin, %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimlerinin değerlendirmesine göre,

- Bütün beton örneklerinde ağırlığın azaldığı belirlenmiştir.
- En küçük ağırlık azalışının taze halde 0°C dereceye maruz beton örneklerde %3.4 olduğu,
- En büyük ağırlık azalışının taze halde -10°C dereceye maruz beton örneklerde %5.8 olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %7.4, %0.1 daha az azaldığı ve %57.2 daha fazla ağırlık azalışı olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkısız beton örneklerin %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimini gösterir grafik Şekil 3.23’de görülmektedir.

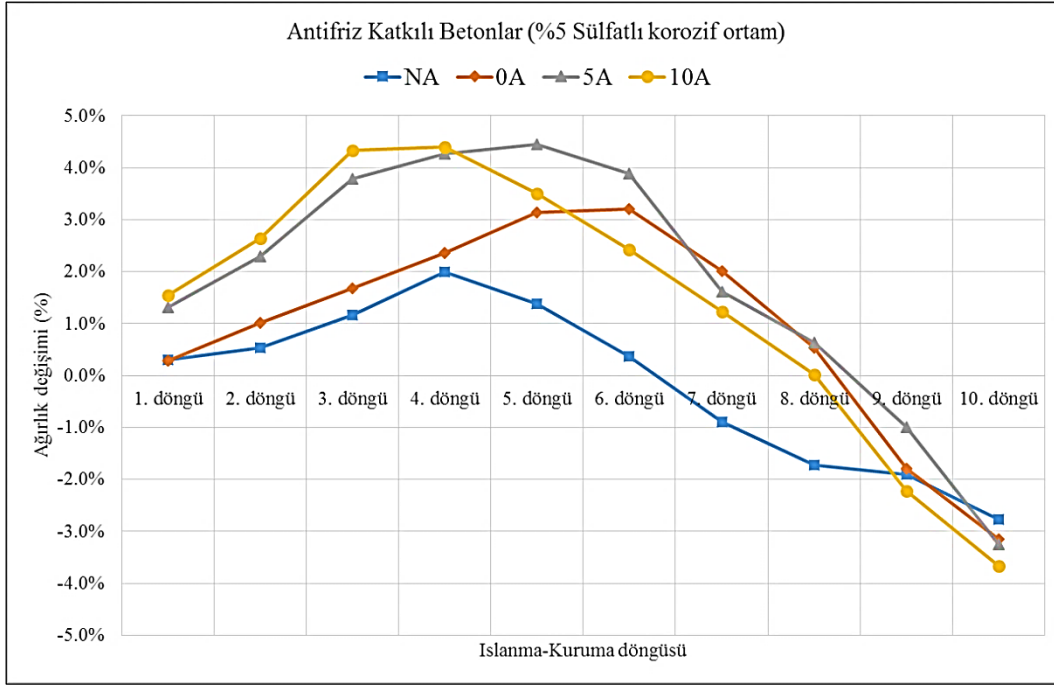


Şekil 3.23. Antifriz katkısız beton örneklerin %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi

Antifriz katkılı beton örneklerin, %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimlerinin değerlendirmesine göre,

- Bütün beton örneklerinde ağırlığın azaldığı belirlenmiştir.
- En küçük ağırlık azalışının Normal şartlarda üretilen beton örneklerde %2.8 olduğu,
- En büyük ağırlık azalışının taze halde -10°C dereceye maruz beton örneklerde %3.7 olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %13.8, %17.5 ve %32.3 daha fazla ağırlık azalışı olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkılı beton örneklerin %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimini gösterir grafik Şekil 3.24’de görülmektedir.

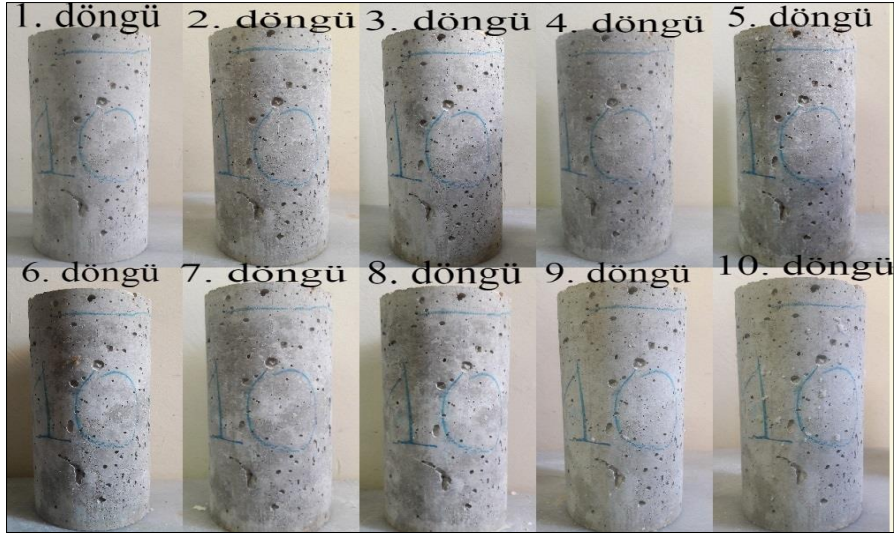


Şekil 3.24. Antifriz katkılı beton örneklerin %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi

%5 sodyum sülfat içerikli hafif beton örneklerinin değişimi Şekil 3.25-Şekil 3.26'da görülmektedir.



Şekil 3.25. Antifriz katkısız %5 sodyum sülfat içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi



Şekil 3.26. Antifriz katkılı %5 sodyum sülfat içerikli -10°C’de üretilen hafif beton numunesinin değişimi

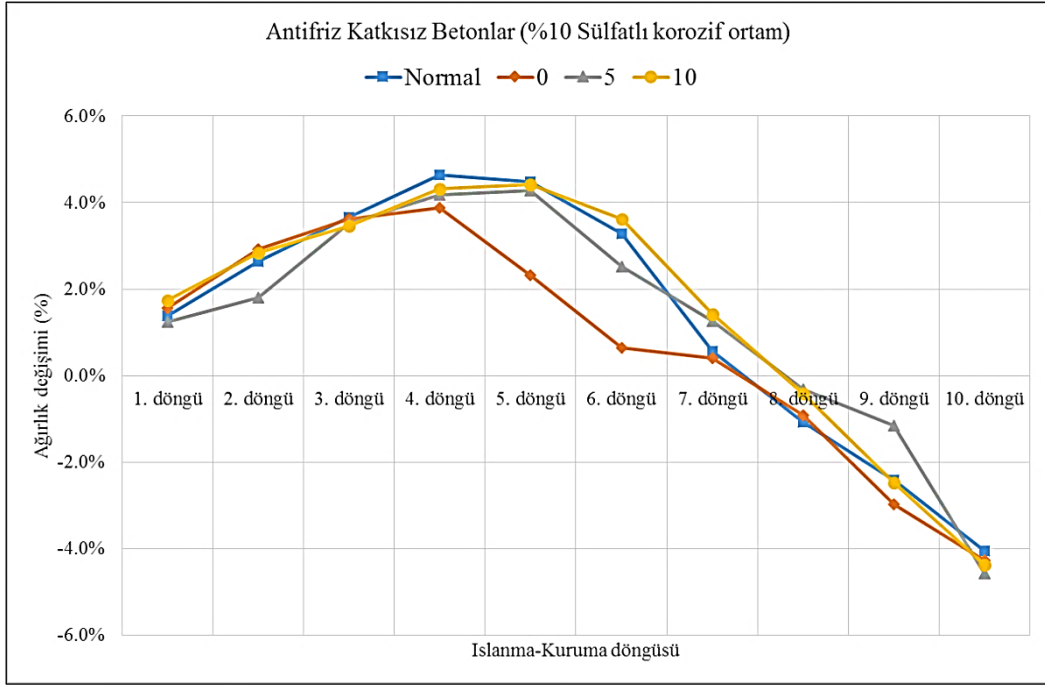
Tablo 3.15. Beton örneklerin %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık kaybı

Numune adı	1. döngü	2. döngü	3. döngü	4. döngü	5. döngü	6. döngü	7. döngü	8. döngü	9. döngü	10. döngü
Normal	1.4%	2.6%	3.7%	4.6%	4.5%	3.3%	0.6%	-1.1%	-2.4%	-4.0%
0	1.6%	2.9%	3.6%	3.9%	2.3%	0.6%	0.4%	-0.9%	-3.0%	-4.3%
5	1.2%	1.8%	3.5%	4.2%	4.3%	2.5%	1.3%	-0.3%	-1.2%	-4.6%
10	1.7%	2.8%	3.5%	4.3%	4.4%	3.6%	1.4%	-0.4%	-2.5%	-4.4%
NA	0.8%	1.5%	2.3%	2.8%	3.1%	1.7%	1.0%	-0.2%	-1.9%	-3.4%
0A	1.2%	2.5%	2.9%	3.5%	1.4%	0.2%	-0.4%	-1.4%	-2.4%	-3.4%
5A	2.1%	2.9%	3.9%	3.3%	1.3%	0.0%	-1.1%	-2.1%	-3.1%	-3.7%
10A	2.3%	3.6%	3.5%	2.3%	1.4%	-0.3%	-1.5%	-2.4%	-3.2%	-3.9%

Antifriz katkısız beton örneklerin, %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimlerinin değerlendirmesine göre,

- Bütün beton örneklerinde ağırlığın azaldığı belirlenmiştir.
- En küçük ağırlık azalışının Normal şartlarda üretilen beton örneklerde %4 olduğu,
- En büyük ağırlık azalışının taze halde -5°C dereceye maruz beton örneklerde %4.6 olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %5.5, %12.8 ve %8.2 daha fazla ağırlık azalışı olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkısız beton örneklerin %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimini gösterir grafik Şekil 3.27’de görülmektedir.

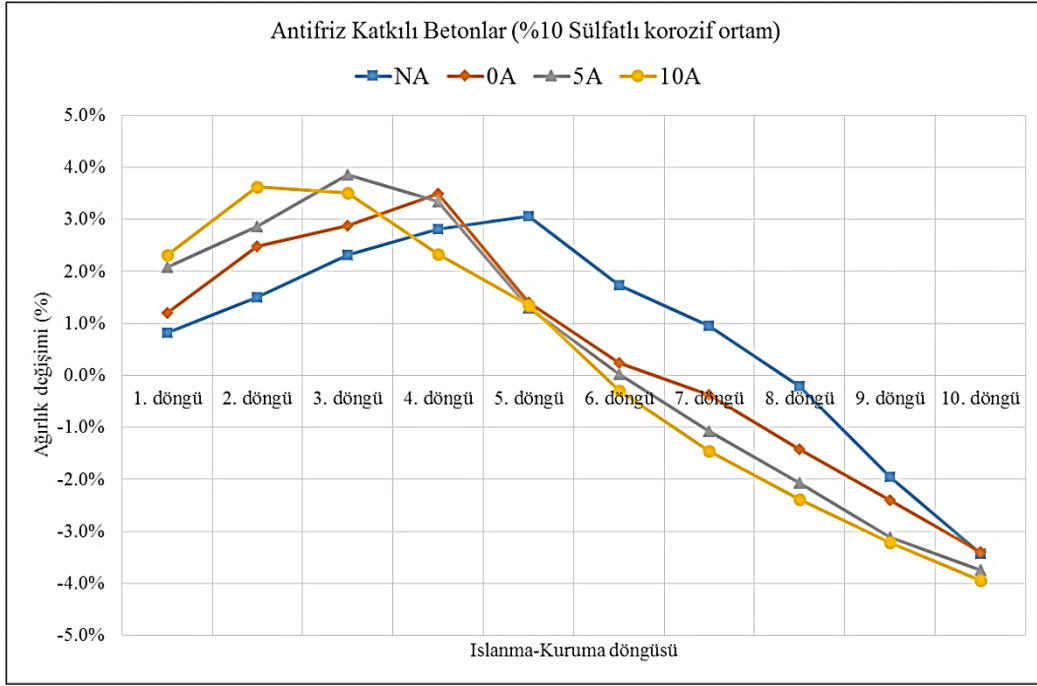


Şekil 3.27. Antifriz katkısız beton örneklerin %10 sodyum sülfat içerikli korozyif ortamda ağırlık değişimi

Antifriz katkılı beton örneklerin, %10 sodyum sülfat içerikli korozyif ortamda ağırlık değişimlerinin değerlendirmesine göre,

- Bütün beton örneklerinde ağırlığın azaldığı belirlenmiştir.
- En küçük ağırlık azalışının taze halde 0°C dereceye maruz beton örneklerde %3.4 olduğu,
- En büyük ağırlık azalışının taze halde -10°C dereceye maruz beton örneklerde %3.94 olduğu,
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerine göre 0°C, -5°C ve -10°C dereceye maruz beton türlerinde Normal şartlarda üretilen örneklere göre sırasıyla %0.9 daha az, %9.1 ve %14.9 daha fazla ağırlık azalışı olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkılı beton örneklerin %10 sodyum sülfat içerikli korozyif ortamda ağırlık değişimini gösterir grafik Şekil 3.28’de görülmektedir.



Şekil 3.28. Antifriz katkılı beton örneklerin %10 sodyum Sülfat içerikli korozif ortamda ağırlık değişimi

%10 sodyum sülfat içerikli hafif beton örneklerinin değişimi Şekil 3.29-Şekil 3.30'da görülmektedir.



Şekil 3.29. Antifriz katkısız %10 sodyum sülfat içerikli 0°C'de üretilen hafif beton numunesinin değişimi



Şekil 3.30. Antifriz katkılı %10 sodyum sülfat içerikli normal şartlarda üretilen hafif beton numunesinin değişimi

Sonuç olarak, %5 tuz içerikli korozyon ortamına maruz bırakılan, antifriz katkılı ve katkısız hafif beton numunelerinin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düştükçe ağırlıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinin antifriz katkısız hafif beton numunelerine göre daha düşük oranda ağırlık artışına uğradığı görülmüştür. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık artışı yaklaşık %8.5'e gelirken, antifriz katkısız hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık artışı %10'un üzerindedir.

%10 tuz içerikli korozyon ortamına maruz bırakılan, antifriz katkılı ve katkısız hafif beton numunelerinin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düştükçe ağırlıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinin antifriz katkısız hafif beton numunelerine göre daha düşük oranda ağırlık artışına uğradığı görülmüştür. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık artışı yaklaşık %12'ye gelirken, antifriz katkısız hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık artışı %14'e gelmektedir.

%5 sodyum sülfat içerikli korozyon ortamına maruz bırakılan, antifriz katkılı ve katkısız hafif beton numunelerinin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düştükçe ağırlık kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinin antifriz katkısız hafif beton numunelerine göre daha düşük oranda ağırlık kaybına uğradığı görülmüştür. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık kaybı yaklaşık %4'e gelirken, antifriz katkısız hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık kaybının da yaklaşık %6 olduğu belirlenmiştir.

%10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz bırakılan, antifriz katkı ve katkısız hafif beton numunelerinin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düştükçe ağırlık kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. Antifriz katkı hafif beton numunelerinin antifriz katkısız hafif beton numunelerine göre daha düşük oranda ağırlık kaybına uğradığı görülmüştür. Antifriz katkı hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık kaybı yaklaşık %4'e gelirken, antifriz katkısız hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık kaybının da yaklaşık %5'e geldiği belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, pomza agregası ile üretilen ve taze halde soğuk hava etkisine maruz bırakılan hafif betonların nihai dayanımını kazandıktan sonra %5 ve %10 Sodyum sülfat, %5 ve %10 Sodyum klorür çözeltilerine maruz örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar irdelendiğinde aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

Basınç dayanımı değerlendirmesinde;

Antifriz katkısız hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 Sodyum klorür içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında Sodyum klorür konsantrasyonunun artışı ile basınç dayanımında yaklaşık %4 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C 'ye düştükçe dayanım kaybı farkı %15 olduğu görülmüştür. Sodyum Sülfatlı korozif ortamda, taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında sodyum sülfat konsantrasyonunun artışı ile basınç dayanımında yaklaşık %33 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C 'ye düştükçe dayanım kaybı farkı %65 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü korozif ortamdan etkilenme oranını arttırmıştır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 tuz içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında tuz konsantrasyonunun artışı ile basınç dayanımında yaklaşık %4 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C 'ye düştükçe dayanım kaybı farkı %2 olarak belirlenmiştir. En düşük dayanım kaybı taze halde maruz kaldığı sıcaklık -5°C 'de %8.5 olarak belirlenmiştir. Sodyum Sülfatlı korozif ortamda, taze halde normal şartlarda üretilen betonlar taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında sodyum sülfat konsantrasyonunun artışı ile basınç dayanımında yaklaşık %26 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C 'ye düştükçe %5 ve %10 sülfat konsantrasyonuna sahip korozif ortamlarda dayanım kaybı farkı %46 olarak belirlenmiştir.

Yarmada çekme dayanımı değerlendirmesinde;

Antifriz katkısız hafif betonlarda betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü betonun yarmada çekme dayanımı değerinin korozi ortamdan etkilenme oranını artırmaktadır. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 Sodyum klorür içerikli korozi ortamlara maruz bırakıldığında Sodyum klorür konsantrasyonunun artışı ile yarmada çekme dayanımında yaklaşık %2 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık düşüşü arttıkça dayanım kaybı farkı %27 olarak belirlenmiştir. Sodyum Sülfatlı korozi ortamda, taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 sodyum sülfat içerikli korozi ortamlara maruz bırakıldığında sülfat konsantrasyonunun artışı ile yarmada çekme dayanımında yaklaşık %26 dayanım belirlenmiştir. Taze halde maruz kaldığı sıcaklık düşüşü artışı ile dayanım kaybı farkı %66 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı hafif betonlarda ise, taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 Sodyum klorür içerikli korozi ortamlara maruz bırakıldığında yarmada çekme dayanımında yaklaşık en düşük dayanım kaybı %3 olurken en yüksek dayanım kaybı farkı %8.5 olarak belirlenmiştir. Sodyum Sülfatlı korozi ortamda, taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 sodyum sülfat içerikli korozi ortamlara maruz bırakıldığında sülfat konsantrasyonunun artışı ile yarmada çekme dayanımında yaklaşık %14 dayanım kaybı olurken taze halde maruz kaldığı sıcaklık -10°C'ye düştükçe dayanım kaybı farkı %55 olarak belirlenmiştir.

Kapilerite değerlendirmesinde;

Kapilerite değerlendirmesinde, Sodyum sülfat içerikli korozi ortama maruz bırakılan hafif beton numunelerinin kapiler yolla emdiği su miktarı, Sodyum klorür içerikli korozi ortama maruz bırakılan hafif beton numunelerine göre daha az miktarda su emdiği belirlenmiştir. Taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5-%10 Sodyum klorür ve %5-%10 Sodyum sülfat içerikli korozi ortamlara maruz bırakıldığında korozi ortam konsantrasyonunun artışı ve taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşmesiyle birlikte hafif beton numunelerinde kapiler yolla su emme miktarının da azaldığı görülmüştür. Antifriz katkılı hafif beton örneklerde ise, benzer durum belirlenmiş fakat antifriz katkısı kullanılan beton örneklerde kapiler yolla emilen suyun artışı azalmıştır. Sodyum Sülfat içerikli korozi ortamdaki beton örnekler daha fazla zarar görmesinden dolayı boşluk miktarı artmaktadır. Artan boşluk miktarı kapiler kanalları kesmekte ve kapiler yolla emilen su miktarının azalmasına neden olmaktadır.

İmpermeabilite değerlendirmesinde;

Taze halde normal şartlarda üretilen antifriz katkısız betonlar %5 ve %10 Sodyum klorür içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında Sodyum klorür konsantrasyonunun artışı ile su işleme derinliği değeri artışı en düşük yaklaşık %8 olurken, en yüksek su işleme derinliği artışı yaklaşık %11 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı hafif betonlarda ise, taze halde normal şartlarda üretilen betonlar %5 ve %10 Sodyum klorür içerikli korozif ortamlara maruz bırakıldığında Sodyum klorür konsantrasyonunun artışı ile su işleme derinliği değeri artışı en düşük yaklaşık %6 olurken, en yüksek su işleme derinliği değeri yaklaşık %27 olarak belirlenmiştir.

Antifriz katkılı ve katkısız hafif betonlarda sodyum sülfatın olumsuz etkilerinden dolayı %5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz bırakılan hafif beton numuneleri haricindeki diğer tüm hafif beton numunelerinde ölçüm yapılamamıştır.

Ağırlık değişimi değerlendirmesinde;

%5 Sodyum klorür içerikli korozif ortama maruz bırakılan, antifriz katkılı ve katkısız hafif beton numunelerinin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düştükçe ağırlıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinin antifriz katkısız hafif beton numunelerine göre daha düşük oranda ağırlık artışına uğradığı görülmüştür. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık artışı yaklaşık %8.5'e gelirken, antifriz katkısız hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık artışı %10'un üzerindedir. %10 tuz içerikli korozif ortama maruz bırakılan, antifriz katkılı ve katkısız hafif beton numunelerinin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düştükçe ağırlıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinin antifriz katkısız hafif beton numunelerine göre daha düşük oranda ağırlık artışına uğradığı görülmüştür. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık artışı yaklaşık %12'ye gelirken, antifriz katkısız hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık artışı %14'e gelmektedir.

%5 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz bırakılan, antifriz katkılı ve katkısız hafif beton numunelerinin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düştükçe ağırlık kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinin antifriz katkısız hafif beton numunelerine göre daha düşük oranda ağırlık kaybına uğradığı görülmüştür. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık kaybı yaklaşık %4'e gelirken, antifriz katkısız hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık kaybının da yaklaşık %6 olduğu belirlenmiştir. %10 sodyum sülfat içerikli korozif ortama maruz bırakılan, antifriz katkılı ve katkısız hafif beton numunelerinin taze halde maruz kaldığı

sıcaklık değeri düştükçe ağırlık kayıplarının arttığı gözlemlenmiştir. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinin antifriz katkısız hafif beton numunelerine göre daha düşük oranda ağırlık kaybına uğradığı görülmüştür. Antifriz katkılı hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık kaybı yaklaşık %4 olarak belirlenmiştir, antifriz katkısız hafif beton numunelerinde en yüksek ağırlık kaybının da yaklaşık %5 olarak belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, betonların taze halde soğuk havaya maruz kalması durumunda servis ömrü boyunca maruz kalacağı olumsuz şartlardan etkilenmektedir. Koroziye ortamlara maruz kalması durumunda betonlardaki fiziksel ve mekanik özelliklerdeki kayıplar artacaktır. Sodyum klorür ve Sodyum sülfat kimyasallarının hafif betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Hafif betonların ve betonarme elemanların koroziye ortamlardan korunması gerekmektedir. Koroziye ortamlara maruz kalacak betonların tasarımlarında bu kriterlere dikkat edilmesi önerilmektedir.

İleride yapılacak çalışmalarda, farklı koroziye etkiye sahip ortamlarda bu testler yapılması önerilmektedir. Donatılı hafif betonlarda donatı korozyonu ile ilgili çalışmalarda yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

- AD 306R-88, 2000. "Cold Weather Concreting", ACI Manual of Concrete Practice.
- Al-Amoudi, O.S.B., 1997. Sulfate attack and reinforcement corrosion in plain and blended cements exposed to sulfate environments. *Building and Environment*, 33, 53-61.
- Anonim, (2000). A Technical Report on The Lightweight Expanded Clay Aggregates (LECA), ESCSI, USA, s: 125.
- Aruntaş, H.Y., 1996. Diatomitlerin Çimentolu Sistemlerde Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Azizi, S., 2007. Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baradan, B. ve Aydın, S., 2013. Betonun Dürabilitesi, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi.
- Ceylan, H. ve Saraç, M.S., 2006. Farklı Pomza Agregaları Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Süleyman Demirel Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10-3, 413-421.
- Doğan, H. ve Şener, F., 2004. Hafif Yapı Malzemeleri (Pomza - Perlit - Ytong -Gazbeton) Kullanımının Yaygınlaştırılmasına Yönelik Sonuç ve Öneriler, *Haber Bülteni*, 1, 51-53.
- Duaij, J. A. A., El-Laithy K. ve Payappilly R. J., 1997. A value engineering approach to determine quality lightweight concrete aggregate, *Cost Engineering*, 39, 21-26.
- Erdoğan, T.Y., 2003. "Beton", ODTÜ Matbaası, Ankara.
- Gündüz, L., Şapcı N., Bekar, M. ve Yorgun, S., 2006. Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği, *Kil Bilimi ve Teknoloji Dergisi*, Kibited 1(2), 115 – 121.
- Haque, M.N., Al-Khaiat, H. ve Kayali, O., 2004. "Strength and Durability of Lightweight Concrete", *Cement and Concrete Composites*, No. 26, 307-314.
- Kabay, N., 2009. Hafif Agregalı Betonun Boşluk Yapısının Mekanik ve Fiziksel Özelliklere Etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Khandaker M. ve Anwar Hossain, 2004. "Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 34, 283–291.
- Konuk, H., Özyurt, N., Taşdemir, C., Yüceer, Z. ve Sönmez, R., 2002. Hafif betonların taşıyıcılık özellikleri, 1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongre ve Sergisi, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İstanbul, 9-13 Ekim.
- Krylov,RA., 1997.Cold Weather Concroting,CRC Press.
- Lamond, J., F. ve Pielert, J., 2006. Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials, ASTM Publication.
- Lo, T.Y. ve Cui, H.Z., 2004. Effect of Porous Lightweight Aggregate on Strength of Concrete, Materials Letters, Vol. 58, 916–919.
- Monteiro, P.J.M. ve Kurtis, K.E., 2003. Time to Failure for Concrete Exposed to Severe Sulfate Attack, Cement and Concrete Research, Vol. 33, p. 987-993.
- Nehdi, M. ve Hayek, M., 2005. Behavior of blended cement mortars exposed to sulfate solutions cycling in relative humidity. Cement and Concrete Research, 35, 731–742.
- Neville, A., 2004. The confused world of sulfate attack on concrete. Cement and Concrete Research, 34, 1275–1296.
- Oğuz, C. ve Türker, F., 1997. Pomza Betonda Fiziksel ve Mekanik Özellikler Arasındaki İlişkiler. I. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Isparta, s:81-87.
- Sari, D. ve Paşamehmetoğlu, A.G., 2005. "The Effects of Gradation and Admixture on the Pumice Lightweight Aggregate Concrete", Cement And Concrete Research, No. 35(5), 936-942.
- Serin, G., Çankıran, O, Başyigit C., Taş, H.H. ve Fenkli, M., 2007. Normal, Hafif ve Yarı Hafif Beton Blokların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi (1) 15-22, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Isparta.
- Subaşı, S., Beycioğlu, A. ve Emiroğlu M., 2009. Genleştirilmiş Kil Agregalı Hafif Betonlarda Bulanık Mantık Yöntemiyle Yarmada Çekme Dayanımı Tahmin Modeli Geliştirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXII, Sayı:3, Eskişehir.
- Şengül, Ö. 2015. Sıcak Havada ve Soğuk Havada Beton Dökümü, TMH - 487 - 2015/4, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- TS 2511, 2017. Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları.

TS EN 12390-3, 2012. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini.

TS EN 12390-6, 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini.

TS EN 12390-8, 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 8: Basınç altında su işleme derinliğinin tayini.

Yardımcı, M.Y., 2007. Soğuk Havada Beton Dökümü, İMO İzmir Şubesi Bülteni, Mart, 133, İzmir.

URL 1 <https://www.muhendisbeyinler.net/nukleer-enerji-santrali/>, 28 Ekim 2017.

URL 2 <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza>.

URL 3 <https://perlitturkiye.com/tr/perlitin-insaat-ve-yalitimda-kullanimi/>. 28 Kasım 2017.

URL 4 <https://www.bilgiustam.com/perlit-nedir-yapi-malzemesi-olarak-islevi-nedir/>.

URL 5 <https://slideplayer.biz.tr/slide/10636049/>. 2017.

URL 6 <https://kutahyacimento.com/tr/kutahya-cimento-pulverize-kul-isletmeciligi>.

ÖZGEÇMİŞ

Emine ERTEM, 24.06.1993 yılında Trabzon ili, Ortahisar ilçesinde doğdu. Lise eğitimine Beşikdüzü Anadolu Lisesinde 2007 yılında başlayıp, 2011 yılında tamamlamıştır. Üniversite eğitimine 2012 yılında başlayıp, 2016 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2016 yılında başladığı Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'ndaki Yüksek Lisans eğitimine halen devam etmektedir. Yabancı dili İngilizcedir.