

**ANTİFRİZ KATKISININ BETON DAYANIKLILIĞI
ÜZERİNE ETKİSİ**

Mustafa ÇULLU

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2009
ANKARA**

Mustafa ÇULLU tarafından hazırlanan ANTİFRİZ KATKISININ BETON DAYANIKLILIĞI ÜZERİNE ETKİSİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Metin ARSLAN

.....

Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sinan ALTIN

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Metin ARSLAN

.....

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ

.....

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail Özgür YAMAN

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

.....

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

30/12/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mustafa ÇULLU

**ANTİFRİZ KATKISININ BETON DAYANIKLILIĞI
ÜZERİNE ETKİSİ
(Doktora Tezi)**

Mustafa ÇULLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2009

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; beton katkı maddesi olarak kullanılan antifrizlerin betonun dayanıklılığına etkisini belirlemektir. Soğuk havada üretilen betonların dondan etkilenmemeleri için kullanılan %30 Kalsiyum nitrat ve %5 hidroksi etoksiye amin (%30KN+%5HEA) karışımı, Kalsiyum nitrat (KN), Polihidroksi amin (PHA) içerikli antifriz katkıları kullanılarak üç grup C30 sınıfında beton örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan beton örnekleri karıştırma işleminden sonra 15 dakika içerisinde taze halde dondurucuya konulmuştur. 0, -5, -10, -15 ve -20°C derecelerde 48 saat süre ile don etkisine maruz bırakılmıştır. 48 saatten sonra su kürüne bırakılan beton örnekleri üzerinde 28 günlük basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Her ısı ve antifriz türünde en iyi basınç dayanımını sağlayan antifriz miktarı belirlenmiştir. Her antifriz türü için belirlenen katkı miktarı kullanılarak aynı yöntemle 100x200 mm silindir beton örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan beton örnekleri 28 günden sonra 120. güne kadar H₂SO₄, MgSO₄, NaCl korozyon etkileri ve su kürüne maruz bırakılmıştır. Korozyon ortamlardan ve su küründen çıkarılan beton örnekler üzerinde görünür boşluk oranı, özgül ağırlık, su emme oranı, birim hacim ağırlık, kapiler su emme, geçirimsizlik (impermeabilite), yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı, statik elastisite modülü, poisson oranı ve donma çözülme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, beton üzerinde ölçülen bütün özellikler bakımından %30 Kalsiyum nitrat ve %5 hidroksi etoksiye amin içerikli antifriz ve Polihidroksi amin içerikli antifriz katkı betonların, Kalsiyum nitrat içerikli antifriz katkı betonlara göre daha iyi sonuçlar verdiği, Kalsiyum nitrat içerikli antifrizlerin en düşük performansa sahip olduğu, %30 Kalsiyum nitrat ve %5 hidroksi etoksiye amin içerikli antifrizlerin en yüksek performansa sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca -5 °C dereceden daha düşük sıcaklık değerlerinde antifriz katkısının performansı düşmektedir.

Bilim Kodu : 714.1.143
Anahtar Kelimeler : Beton dayanıklılığı, beton antifrizi, soğuk havada beton üretimi
Sayfa Adedi : 219
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Metin ARSLAN

**EFFECT OF ANTIFREEZE ADMIXTURE ON DURABILITY OF
CONCRETE**

(Ph.D. Thesis)

Mustafa ÇULLU

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

December 2009

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the effect of the antifreeze, which are used as the concrete admixture, on the durability of the concrete. Three groups of concrete samples C30 class were prepared such as the mixture of 30% of Calcium nitrate and 5% of hydroxy epoxy amine (%30KN+%5HEA) used for the concretes produced in cold air to prevent the effect of freezing, calcium nitrate (KN) and anti-freeze extenders containing polyhydroxy amines (PHA). These samples were freshly put in the freezer in 15 minutes after the mixing process. They were exposed to freezing effect for 48 hours at 0, -5, -10, -15 and -20 degrees. After 48 hours, there was practiced a 28-day-pressure resistance test on the concrete samples left in water cure. There were identified a quantity of antifreeze resistance providing the best pressure resistance for all kinds of anti-freezes at all degrees. 10 x 20 cm-cylinder shaped concrete samples were prepared with the same method. Those samples were exposed to water cure and corrosive effects of H₂SO₄, MgSO₄, NaCl from 28 to 120 days. There were made such experiments on those samples taken out of water cure and corrosive circumstances as visible gap rate, specific weight, water absorption rate, unit weight, tensile strength rate, capillary water absorption, impermeability, static elasticity module, pressure resistance, poisson rate and freez-thaw resistance.

As a result, it was observed that, for all the specifications can be measured on concrete, antifreezes containing 30% of calcium nitrate and 5% of hydroxyethoxy amines and the concretes mixed with anti-freeze containing polyhydroxy amine give better results than the concretes mixed with the anti-freeze containing calcium nitrate. As another observation, it was also seen that anti-freezes containing calcium nitrate have the minimum and the antifreezes containing 30% of calcium nitrate and 5% of hydroxy ethoxy amine have the maximum performance. Besides at degrees below -5°C, performance of antifreeze admixture decreases.

Science Code : 714.1.143

Key Words : Concrete durability, concrete antifreeze, cold weather concrete

Page Number: 219

Adviser : Prof. Dr. Metin ARSLAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren değerli hocam Prof.Dr. Metin ARSLAN'a,

Çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen tez izleme üyesi saygıdeğer hocalarım Prof.Dr. Sinan ALTIN ve Prof.Dr. H.Yılmaz ARUNTAŞ'a,

Çalışmanın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Serkan SUBAŞI'na,

Manevi desteğiyle beni hiç bir zaman yalnız bırakmayan çalışma arkadaşım Öğr.Gör. Dr. Hakan BOLAT, Muğla Üniversitesi Yatağan M.Y.O. Öğr.Gör. İlker TEKİN ve çalışma arkadaşlarıma,

Çalışmalarım sırasında malzeme temininde destek veren İKSA Yapı Kimyasallarına,

Tezimin projesine desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine,

Çalışmam süresince her zaman yanımda olan HAYAT ARKADAŞIM EŞİM'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvii
RESİMLERİN LİSTESİ	xxi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1. Buzun Zarar Vermesini Etkileyen Faktörler	12
2.1.1. Su / çimento oranı	12
2.1.2. Sürüklenmiş hava	14
2.1.3. Doygunluk derecesi	16
2.1.4. Agregası	17
2.1.5. Çimentonun tipi	17
2.1.6. Donma derecesi	17
2.2. Buzun Zarar Verme Mekanizması	18
2.2.1. Hidrolik basınç teorisi	19
2.3. Donma-Çözülme	22
2.4. Zararlı Sular ve Kimyasalların Etkileri	25
2.4.1. Sodyum klorür (NaCl)'ün etkisi	29

Sayfa

2.4.2. Magnezyum sülfat ($MgSO_4$)'ın etkisi	29
2.4.3. Sülfürik asit (H_2SO_4)'ın etkisi.....	30
2.5. Çalışmanın Amacı.....	31
3. MATERYAL VE METOT	32
3.1. Materyal	32
3.1.1. Agregat	32
3.1.2. Çimento	33
3.1.3. Antifriz	33
3.1.4. Süperakışkanlaştırıcı	34
3.1.5. Korozyon ortam solüsyonları	34
3.2. Metot	34
3.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması	35
3.2.2. Taze beton özelliklerinin tayini.....	36
3.2.3. Karışımlar için en uygun antifriz oranı tayini	36
3.2.4. Görünür boşluk oranı tayini	37
3.2.5. Su emme oranı tayini	37
3.2.6. Birim hacim ağırlık tayini	38
3.2.7. Kapiler su emme miktarı tayini	38
3.2.8. Geçirimsizlik (impermeabilite) tayini	39
3.2.9. Yarmada çekme dayanımı tayini.....	39
3.2.10. Basınç dayanımı tayini.....	40
3.2.11. Statik elastisite modülü tayini	40
3.2.12. Poisson oranı tayini	40

Sayfa

3.2.13. Donma çözülme dayanımı tayini	41
3.2.14. İstatistik metotlar.....	42
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	43
4.1. Taze Beton Özellikleri	43
4.2. Karışımlar İçin En Uygun Antifriz Oranı	43
4.3. Görünür Boşluk Oranı.....	49
4.4. Su Emme Oranı	64
4.5. Birim Hacim Ağırlık	80
4.6. Kapiler Su Emme Miktarı	97
4.7. Geçirimsizlik (impermeabilite)	113
4.8. Yarmada Çekme Dayanımı	120
4.9. Basınç Dayanımı	137
4.10. Statik Elastisite Modülü	153
4.11. Poisson Oranı	170
4.12. Donma Çözülme Dayanımı.....	186
4.12.1. Dinamik elastisite modülü	186
4.12.2. Dayanıklılık faktörü	196
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	205
KAYNAKLAR	210
ÖZGEÇMİŞ	218

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Beton antifrizinde aranan şartlar	6
Çizelge 3.1. CEM I 42,5 R kimyasal kompozisyonu, fiziksel ve mekanik özellikleri	33
Çizelge 3.2. Antifriz türü ve özellikleri	33
Çizelge 3.3. SA özellikleri	34
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan betonun özellikleri.....	35
Çizelge 3.5. 1 m ³ beton karışımı için malzeme özellikleri ve karışım oranları	36
Çizelge 4.1. Taze beton özellikleri.....	43
Çizelge 4.2. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	44
Çizelge 4.3. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler.....	45
Çizelge 4.4. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler.....	47
Çizelge 4.5. Sıcaklık değerleri ve antifriz türüne göre en uygun antifriz oranı	48
Çizelge 4.6. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	50
Çizelge 4.7. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	51
Çizelge 4.8. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	53
Çizelge 4.9. GBO değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları	54
Çizelge 4.10. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait Duncan testi sonuçları	55

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.11. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait Duncan testi sonuçları	58
Çizelge 4.12. PHA içerikli antifriz kullanılan beton örneklerin GBO değerlerine ait Duncan testi sonuçları	61
Çizelge 4.13. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	65
Çizelge 4.14. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	66
Çizelge 4.15. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	68
Çizelge 4.16. SEO değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları	70
Çizelge 4.17. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait Duncan testi sonuçları	71
Çizelge 4.18. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait Duncan testi sonuçları	74
Çizelge 4.19. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait Duncan testi sonuçları	77
Çizelge 4.20. %30KN+%5HEA antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	80
Çizelge 4.21. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	82
Çizelge 4.22. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	83
Çizelge 4.23. BHA değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları	85
Çizelge 4.24. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait Duncan testi sonuçları	86
Çizelge 4.25. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait Duncan testi sonuçları	90

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.26. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait Duncan testi sonuçları	94
Çizelge 4.27. %30KN+%5HEA antifriz katkılı beton örneklerin kapilerite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	98
Çizelge 4.28. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin kapilerite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	99
Çizelge 4.29. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin kapilerite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	101
Çizelge 4.30. Kapilerite değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları	103
Çizelge 4.31. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin KSE değerlerine ait Duncan testi sonuçları	104
Çizelge 4.32. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin KSE değerlerine ait Duncan testi sonuçları	107
Çizelge 4.33. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin KSE değerlerine ait Duncan testi sonuçları	110
Çizelge 4.34. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin impermeabilite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	113
Çizelge 4.35. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin impermeabilite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	115
Çizelge 4.36. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin impermeabilite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	117
Çizelge 4.37. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	121
Çizelge 4.38. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	122
Çizelge 4.39. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	124
Çizelge 4.40. YÇD değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları	126

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.41. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait Duncan testi sonuçları	127
Çizelge 4.42. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait Duncan testi sonuçları	131
Çizelge 4.43. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait Duncan testi sonuçları	134
Çizelge 4.44. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler.....	138
Çizelge 4.45. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	139
Çizelge 4.46. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	141
Çizelge 4.47. Basınç dayanımı değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları	143
Çizelge 4.48. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları	144
Çizelge 4.49. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları	147
Çizelge 4.50. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları	150
Çizelge 4.51. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	154
Çizelge 4.52. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	155
Çizelge 4.53. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	157
Çizelge 4.54. Statik elastisite modülü değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları	159
Çizelge 4.55. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait Duncan testi sonuçları.....	160

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.56. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait Duncan testi sonuçları	164
Çizelge 4.57. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait Duncan testi sonuçları.....	167
Çizelge 4.58. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	171
Çizelge 4.59. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	172
Çizelge 4.60. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	174
Çizelge 4.61. Poisson oranı değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları	176
Çizelge 4.62. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait Duncan testi sonuçları.....	177
Çizelge 4.63. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait Duncan testi sonuçları	180
Çizelge 4.64. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait Duncan testi sonuçları	183
Çizelge 4.65. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait ortalama dinamik elastisite modülü değerleri	186
Çizelge 4.66. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait ortalama dinamik elastisite modülü değerleri	190
Çizelge 4.67. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait ortalama dinamik elastisite modülü değerleri	193
Çizelge 4.68. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler.....	196
Çizelge 4.69. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	198
Çizelge 4.70. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler	201

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. 300 donma çözülme uygulanmış beton örneklerde hava boşluğu dağılım faktörü	13
Şekil 2.2. 300 donma çözülme uygulanmış beton örneklerde kritik hava boşluğu faktörüne bağlı olarak boy değişimi	15
Şekil 2.3. Powers'ın bir hava kabarcığı ve onun etki alanı yaklaşımı	21
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan agrega granülometrisi	32
Şekil 4.1. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri	45
Şekil 4.2. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri	46
Şekil 4.3. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri	48
Şekil 4.4. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama GBO değerleri	51
Şekil 4.5. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama GBO değerleri	52
Şekil 4.6. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama GBO değerleri	53
Şekil 4.7. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerde ortalama SEO değerleri	66
Şekil 4.8. KN antifriz katkılı beton örneklerde ortalama SEO değerleri	67
Şekil 4.9. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama SEO değerleri	69
Şekil 4.10. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama BHA değerleri	81
Şekil 4.11. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama BHA değerleri	83
Şekil 4.12. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama BHA değerleri ..	84
Şekil 4.13. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama kapilerite değerleri	99

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama kapilerite değerleri	100
Şekil 4.15. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama kapilerite değerleri	102
Şekil 4.16. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama impermeabilite değerleri	115
Şekil 4.17. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama impermeabilite değerleri	117
Şekil 4.18. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama impermeabilite değerleri	119
Şekil 4.19. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama YÇD değerleri	122
Şekil 4.20. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama YÇD değerleri	123
Şekil 4.21. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama YÇD değerleri	125
Şekil 4.22. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerleri	139
Şekil 4.23. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerleri	140
Şekil 4.24. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerleri.....	142
Şekil 4.25. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerleri.....	155
Şekil 4.26. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerleri	156
Şekil 4.27. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerleri	158
Şekil 4.28. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama poisson oranı değerleri	172

Şekil	Sayfa
Şekil 4.29. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama poisson oranı değerleri	173
Şekil 4.30. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama poisson oranı değerleri	175
Şekil 4.31. 0°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	187
Şekil 4.32. -5°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	188
Şekil 4.33. -10°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	188
Şekil 4.34. -15°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	189
Şekil 4.35. -20°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	189
Şekil 4.36. 0°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	190
Şekil 4.37. -5°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	191
Şekil 4.38. -10°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	191
Şekil 4.39. -15°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	192
Şekil 4.40. -20°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	192
Şekil 4.41. 0°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	193
Şekil 4.42. -5°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	194
Şekil 4.43. -10°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri	194

Şekil	Sayfa
Şekil 4.44. -15°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri	195
Şekil 4.45. -20°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri	195
Şekil 4.46. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama dayanıklılık faktörü değerleri	198
Şekil 4.47. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama dayanıklılık faktörü değerleri	200
Şekil 4.48. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama dayanıklılık faktörü değerleri	202

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Hava boşluğu içerisinde oluşan buz kristalleri	11
Resim 2.2. Taze çimento hamurlarında hava boşluğu oluşumu.....	11
Resim 4.1. Donma-çözülme sonunda 0°C derecede üretilen referans beton örneklerdeki deformasyon.....	203
Resim 4.2. H ₂ SO ₄ etkisindeki beton örnekleri deformasyon şekli	204

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Alan (cm ²)
B₀	Görünür boşluk oranı (%)
D	Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)
DF	Dayanıklılık faktörü (%)
D_{max}	Maksimum dane boyutu
E	Statik elastisite modülü (Mpa)
F	F testi için değer
f_c	Beton basınç dayanımı (MPa)
f_d	Beton yarmada çekme dayanımı, MPa
K	Kapilarite katsayısı (cm ² /sn)
m	Ağırlıkça su emme oranı (%)
N	Örnek sayısı
Ø	Numune çapı (mm)
p	Anlamlılık düzeyi
P_c	Bağıl dinamik elastisite modülü
Q	Emilen su miktarı (cm ³)
t	Zaman (sn)
ε	Birim deformasyon
μ	Poisson oranı
σ	Gerilme (MPa)

Kısaltmalar**Açıklama****%30KN+%5HEA**

%30 Kalsiyum nitrat ve %5 hidroksi etoksiye amin

ACI

Amerikan beton enstitüsü

ASTM

Amerikan standardı

BHA

Birim hacim ağırlık

C

Beton sınıfı

C₃A

Trikalsiyum alüminat

C-S-H

Kalsiyum-Silikat-Hidrat

GBO

Görünür boşluk oranı

H₂SO₄

Sülfürik asit

KN

Kalsiyum nitrat

KSE

Kapiler su emme

MgSO₄

Magnezyum sülfat

NaCl

Sodyum klorür

PÇ

Portland çimentosu

PHA

Polihidroksi amin

s/b

Su / bağlayıcı oranı

S/Ç

Su / çimento oranı

SA

Süperakışkanlaştırıcı

SD

Silis dumanı

SEO

Su emme oranı

TS

Türk standardı

UK

Uçucu kül

YÇD

Yarmada çekme dayanımı

YFC

Yüksek fırın cürufu

YPB

Yüksek performanslı beton

1. GİRİŞ

Betonarme eleman tasarımında iki temel malzeme faktörü, betonarme çeliği ve betondur. Bunlardan betonarme çeliği tanımlanmış standart özelliklerde fabrikasyon olarak üretilmektedir. Buna karşın betonun, fiziksel ve mekanik özellikler bakımından; kendisini oluşturan “Agrega, çimento, su ve katkı maddeleri gibi” malzemelerin özelliklerinin yanı sıra, beton karışım oranları betonun hazırlanması, betonun karıştırılması, betonun taşınması, betonun yerleştirilmesi, betonun sıkıştırılması ve betonun kuru gibi temel işlemler ve ortam şartlarından da büyük ölçüden etkilendiği bilinmektedir [1, 2].

Betondaki Portland çimentosunun (PÇ) hidratasyonu, betonu oluşturan malzemelerin sıcaklığı ve çevrenin sıcaklığı gibi birçok faktörden etkilenen kimyasal bir olaydır. Isının yükselmesi, hidratasyon sürecini hızlandırır. Soğuk hava şartları altında birbirini takip eden 3 günden daha fazla bir sürede hava sıcaklığının ortalama 5°C dereceden daha az olması ve 24 saatlik periyodun yarısından fazlasında hava sıcaklığının 10°C dereceden büyük olmaması durumunda beton hidratasyon sürecinin gecikeceği Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından açıklanmıştır. Betonun sertleşmeden önce donmaya maruz kalması betonun hidratasyonunu geciktirmektedir. Bu gecikme dayanım düşüklüğüne, betonun kalıbın şeklini almasının gecikmesine ve dolayısıyla yapının gecikmesine neden olur [3, 4].

Soğuk hava şartlarında yapı harcına veya taze betona ilave edilerek, çimento başlangıç hidratasyon ısını arttıran ve taze beton veya harç boşluklarındaki suyun donma derecesini düşürerek beton veya harcı don etkisinden koruyan sıvı veya katı haldeki kimyasal katkı maddelerine beton antifrizi denilmektedir [5].

-30°C’ ye kadar düşük ısılarda bile kullanılan bu katkıların araştırılmasındaki ve geliştirilmesindeki çalışmaların büyük bölümü Rus bilim adamları öncülüğünde gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda diğer ülkelerde de bu konuda önemli çalışmalar yapılmıştır [6].

Beton antifrizleri kış aylarında beton dökümü için uygun ve teknolojik olarak kullanılması basittir. Bu tür katkılar, beton bileşenlerini ısıtmak, betonu kapatarak korumak ve buhar kürü uygulamalarından 1,2-1,5 kat daha ekonomik olduğundan ekonomik açıdan da yararlıdır [7].

Betonun dayanıklılığı, hizmet süresi boyunca, hava koşullarından, kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklılık, “Kalıcılık” olarak ta adlandırılabilir [8].

Dayanıklılık kavramının niteliğini belirlemek zordur. Dayanıklılık “iyi” yada “kötü” olabilir ama düzgün bir tanım olmadan bu tarif anlamsızdır. Ayrıca dayanıklılık beton malzemenin yada beton yapının bir özelliği değildir. Ama belirli bir yıpratıcı ortama maruz kalan beton veya betonarme yapının performans davranışdır [9].

Servis ömrü betonun dayanıklılığını tanımlamak için çok önemli bir kavramdır. Servis ömrü, zaman içerisinde betondan beklenen performansın bakım gerekmeksizin yerine getirmesi olarak tanımlanır. Servis ömrünü tanımlayabilmek için betonun performansı ve performans koşulları belirlenmelidir. Sonuç olarak, servis ömrü zaman içerisinde yapısal tasarım yada malzemenin seçiminde çok farklı seçenekler için karşılaştırılabilen nicel bir kavramdır [9].

Beton veya betonarme elemanların zamanla bozulmalarına çeşitli iç ve dış etkenler neden olur. Betonun bozulması çoğunlukla tek bir nedene bağlanamaz. Ancak birkaç etkinin bir arada veya peşpeşe oluşması sonucu, beton veya betonarme elemanların umulmadık kısa sürelerde bozulduklarını görmek mümkündür [10].

Betonarme yapıların, çeşitli bozulma süreçleri nedeniyle kısa sürelerde işlevselliklerini yitirmeleri sadece ekonomik ve teknik bir problem olarak düşünülmemelidir. Bu durum az kaynakların verimsiz kullanımı anlamına gelmektedir. Yani, istenen ve planlanan servis ömrünü tamamlayamayan yapılar aynı zamanda, doğal kaynakların israfına yol açmaktadır [10].

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Portland çimentosu donma noktasının altında bazı ısısal korumalar olmadan sertleşemez. Bu nedenle donma noktasının altında olması durumunda taze beton korunmalıdır. Koruma işlemi, yalıtım malzemeleriyle veya ısıtarak betonun iç ısısının 5°C üzerine çıkarılmasıyla yapılabilir. Acil durumlarda ne olursa olsun ısı korunmalıdır. Eğer beton soğuktan korunmazsa donar ve felakete neden olabilir [11].

Betonların donma mekanizmasını açıklamaya yönelik bir çok araştırmalar yapılmaktadır [12]. Yapılan araştırmaların çoğu, betonun donmasında agrega boşluklarının ve çimento hamuru agrega ara yüzeyindeki geçişlerin etkili olduğunu göstermektedir. Betonun donma olayından etkilenmesi, betonu oluşturan malzemeler üzerindeki su girebilecek kadar büyüklükteki gözeneklerin çokluğuna bağlıdır [13, 14]. Soğuk havada bu gözeneklerin içerisinde bulunan su donmakta dolayısıyla da genişlemektedir. Bilindiği gibi, suyun buza dönüşmesi ile yaklaşık %9 hacim büyümesi olmaktadır. Buda beton içerisinde bulunan gözeneklerin hacminin %91 veya daha fazlasının su ile dolu olduğu durumlarda donma olayının olması halinde, buza dönüşen suyun mevcut hacminin içerisine sığamayacağından etrafına basınç yaratmaktadır. Suyun bir miktarının buza dönüşerek hacim artışı yapması nedeniyle, henüz buzlaşmamış suyu gözenek hacminden dışarı iterek büyük bir hidrolik basınç yaratmakta ve bu basınç beton içerisindeki agreganın ve agrega tanesinin etrafını saran sertleşmiş çimento hamurunun çatlamasına yol açabilmektedir [13, 15]. Diğer taraftan yoğunluğu fazla ve geçirimsiz bir yüzeye sahip beton elde edildiğinde don hasarından betonların daha az etkilendiği araştırmacılar tarafından belirlenmiştir [16-18].

İnşaat sektöründe soğuk havalarda beton üretiminde maliyet ve üretim takvimine uygun hareket etmek için mevcut teknolojilerin kullanımı tartışılmaktadır [19].

Soğuk hava koşulları altında betonun üretilmesi, yerleştirilmesi, kür edilmesi ve korunması hususunda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bunun sonucu olarak,

firmaların soğuk havalarda betonun yerleştirilmesine ara vermelerine gerek kalmamıştır [3].

Soğuk havalarda betonu oluşturan malzeme bileşenlerinin sıcaklıkları düşük olacağından üretilen betonun sıcaklığı da düşük olmaktadır. Beton dökümü için en ideal sıcaklık 15-16 °C derece ve normal kabul edilen sıcaklıklar ise 5-32°C derece arasındadır. +5°C dereceden düşük sıcaklıklarda çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyonlar çok yavaşlar [20].

Düşük sıcaklıklarda çimentonun hidratasyonu çok yavaşladığından priz alma süresi uzar. Hidratasyon hızının yavaş olması hidratasyonun en önemli ürünü olan ve bağlayıcılık özelliği kazandıran kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H) jellerinin oluşumunu da yavaşlattığından, geç dayanım kazanmaya yol açar. İstenilen dayanımın daha geç sürede kazanılması beton özelliklerini olumsuz etkilediği gibi kalıp alma süresini de geciktirir [20].

Beton içindeki su beton priz almadan tamamen buza dönüştüğünde ise hidratasyon için gerekli su bulunmayacağından hidratasyon tamamen durur ve beton hacmi genişler. Eğer bir süre sonra sıcaklığın artışı ile beton içindeki buz çözülerek su haline dönüşürse beton priz alabilir ve sertleşebilir. Ancak böyle bir durumda buzun erimesiyle oluşan boşluk hacmi oldukça büyük olduğundan hidratasyon ürünü jeller bu boşlukları yeterince doldurmayacağından beton dayanımı düşer ve su geçirgenliği artar [8].

Prizini almış ancak yeterince dayanım kazanmamış olan beton donarsa, kapiler boşluklardaki su donarak genleştiği için çatlaklı ve düşük dayanımlı bir beton elde edilir. Yeterli basınç dayanım değeri olarak 5-14 MPa arasındaki büyüklükler değişik araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Diğer bir yaklaşım da değişik sıcaklıklarda saklanan beton örneklerin kaç gün sonra don olayından zarar görmeyeceğini belirlemektir. Prizine başlamış fakat yeterli dayanıma ulaşmamış betonun donması halinde ise, betonda dayanım kaybı oluşması beklenir. Yeterince dayanım kazanmış bir betonun içindeki suyun bir kez donması çatlamaya yol açmaz

ve dayanıklılığı etkilemez. Bunun nedeni, yeterli derecede dayanım kazanan beton içindeki suyun hidratasyon olayı için kullanılmış olmasına ve dolayısıyla su miktarının azalmasına bağlı olarak açıklanmaktadır. ACI 306R-88 (Cold Weather Concreting)'e göre, bir kez donma geçiren betonun hasar görmemesi için dayanımının en az 3,5 MPa' a erişmiş olması gereklidir. İyi bir karışım oranına sahip +10°C sıcaklıkta bulunan bir beton yerleştirildikten 2 gün sonra 3,5 MPa dayanıma ulaşabilmektedir [8, 10].

Olumsuz hava koşullarından biri olan soğuk havada üretilecek ve yerleştirilecek betonun olumsuz etkilenmesini önleyecek özel tedbirler alınması gereklidir [20]. Soğuk hava koşullarında betonu hava sürüklenmiş beton olarak üretmek en uygun çözümlerden biridir. Soğuk hava koşullarında üretilen beton örneklerde hava sürükleyici katkı kullanılmamışsa ilk günlerde ve daha ileri yaşlarda yeterli dayanım kazansalar bile, daha sonra ıslanıp doygun hale geldiklerinde tekrarlı olarak geçirdikleri çok sayıda donma-çözülme olayı ile yeterli dayanımı gösteremez ve çatlarlar [20].

Soğuk havalarda beton yapımında alternatif olarak antifriz katkıları kullanılabilir. Bu kimyasal katkılar 0°C derecenin altında suyun donma noktasını baskılar ve çimentonun hidratasyonunu hızlandırır, fakat bu katkıların betona uzun süreli etkileri bilinmemektedir [11].

Beton antifrizi katkısı, özellikle soğuk iklim koşullarına sahip bölgelerde kış aylarında betonun vazgeçilmez bir bileşenidir. Beton içinde kullanılan ve pozitif etkileri olduğu düşünülen bu katkıların betonun tüm özelliklerine olan etkilerini belirlemek ve tasarım yaparken bu etkileri göz önünde bulundurmak gerekmektedir [21].

TS 11746, (Beton Kimyasal Katkı Maddeleri Standardı) esas alındığında, beton antifriz katkısı kullanılmış beton örneklerin basınç mukavemetlerinde istenen şartlar Çizelge 2.1'de verilmiştir [5].

Çizelge 2.1. Beton antifrizinde aranan şartlar

Kür süresi	Katkılı betonun basınç mukavemetinin kontrol karışımına oranı, (% olarak, en az)
3 günlük	115 (%)
7 günlük	100 (%)
28 günlük	95 (%)

İlgili standartta 6 ± 1 cm çökme elde edecek şekilde biri katkısız (kontrol serisi) diğeri katkılı (deney serisi) olmak üzere iki seri üzerinde karşılaştırılmalı deneyler yapılmasını öngörmüş ve katkı miktarının üreticinin tavsiye ettiği miktarda olmasını belirtmiştir. Ayrıca standart'ta taze beton hava miktarının %3'ü aşmaması şartı konmuştur [5].

Standart, taze beton numuneleri üzerinde katkısız ve katkılı çökme deneylerinin ve karışımlardan üretilcek 150x150x150 mm boyutlu küp örnekler üzerinde de her seferinde üçer örnek ile 3, 7 ve 28 günlük basınç deneylerinin yapılmasını öngörmüştür [5].

Beton antifriz katkıları çalışma prensiplerine göre 2 grupta incelenmektedir:

1. Betonun ıslak konumda donma noktasını düşüren katkıları: bu tür işlevi gerçekleştiren katkıları, sodyum nitrit, sodyum klorid gibi elektrolitler, su ile seyreltik amonyak gibi zayıf elektrolitler ve multiatomik alkoller ve karbomit gibi non elektrolitlerdir.
2. İkili veya üçlü işlevi olan katkı sistemleri (çimento hidratasyonunu hızlandırıcı ve donmayı engelleyici katkıları): bu grup potasyum-kalsiyum klorid ve kalsiyum klorid, kalsiyum klorid-sodyum klorid karışımları, sodyum nitrit, kalsiyum nitrit-nitrat, kalsiyum nitrit-nitrat + üre ve diğerlerinden oluşur.

Bu iki ana grup dışında, zayıf antifriz özellikleri olan ancak erken priz ve sertleşmenin yanı sıra ön sertleşme safhasında beton ısını arttırıcı özellikleri olan bir takım katkılara da değinmek gerekir. Bu katkıları; Demir sülfat ve alüminyum sülfattır. Fakat çimento bünyesinde hızlı ve yoğun mikro kapiler oluşumlarına neden olan katkıları olup kullanımları yaygın değildir [6].

Korhonen ve ark. (1991) yaptığı çalışmada, kimyasal katkıların düşük sıcaklıklarda üretilen betonların dayanımına etkileri araştırılmıştır. Düşük sıcaklıklarda katkılar karışım suyunun donma noktasını düşürmüş ve çimentonun hidratasyonunu hızlandırmıştır. -5°C ve -10°C derecelerde 20 test yapılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, düşük sıcaklıklarda katkılı betonların, oda sıcaklığında kür edilen katkısız betonlarla karşılaştırıldığında, katkının dayanım gelişimine olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Bu katkıların “antifriz katkıları” olarak adlandırıldığını ve soğuk bölgelerde kullanılabileceği vurgulanmıştır [22].

Korhonen ve ark. (1991) yaptığı çalışmada, literatür çalışmasının ışığında, mevcut kullanılan antifrizlerin özelliklerini geliştirmek ve yeni antifriz bileşikleri üretmek için laboratuvar çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, antifriz katkılı betonların oda sıcaklığında kür edilen betonlarla karşılaştırıldığında 0°C derecenin altında ısıtma olmadan kür edilebileceği görülmüştür. Bu çalışmada -5°C ve -10°C derecelerde antifriz katkılı betonlarda kullanılan sodyum nitrit/kalsiyum nitrit ve sodyum nitrit/potasyum karbonat bileşikleri en iyi performansı göstermiştir. Soğuk havaya maruz kalan betonların dayanımlarında gecikme olacağı ve dayanımlarını ileride buzlanmanın çözülmesi durumunda beklenen dayanımlara ulaşabileceği vurgulanmıştır [23].

Korhonen ve ark. (2002) yaptığı proje çalışmasında, taze betonun iç sıcaklığının -5°C 'de olması durumunda normal beton gibi yerleştirilebildiği ve kür edilebildiği bir katkı geliştirilmiştir. Çalışmada mevcut 8 antifriz formülasyonu kullanılmıştır. Üretilen antifriz hızlı dayanım gelişimini ve donma-çözülme dayanıklılığını arttırmıştır. Laboratuvar çalışmalarının ardından gerçekleştirilen arazi çalışmasında, hava sıcaklığının yaklaşık -20°C ye kadar olması durumunda beton yerleştirilmiş ve kür edilmiştir. Arazi çalışması göstermiştir ki, antifriz kullanımı geleneksel olarak soğuk havada beton dökümüne göre hızlı ve ekonomik olarak da daha ucuzdur. Çalışmanın sonunda ASTM C09.23.05 Cold Weather Admixture Systems adı altında taslak bir standart oluşturulmuş ve şu anda ASTM C1622/C1622M-05 Standard Specification for Cold-Weather Admixture Systems adı altında kullanılmaktadır [24, 25].

Sakai ve ark. (1991) yaptığı çalışmada, Japonya da kullanılan antifriz katkıları üzerine bir araştırma yapılmıştır. Antifrizlerin boşluk suyunun donma noktasını düşürdüğü fakat içeriğindeki klor ve sodyum iyonlarından dolayı betonarme çeliğini korozyona uğratabileceği veya alkali-agrega reaksiyonuna neden olacağı vurgulanmıştır. Amerikada klor içermeyen antifriz geliştirildiği buna karşın Japonya da hem klor içermeyen hemde alkali içermeyen antifriz geliştirildiği belirtilmiştir. Bu katkıların polyglycolester türevleri ve kalsiyum nitrit-nitrat içerdiği ve katkıların normal dozajda kullanılması durumunda alkali miktarının yaklaşık olarak 10 gr/m^3 olduğu ve klor iyonu miktarının ise 10 gr/m^3 den az olduğu belirtilmiştir. Klor ve alkali içermeyen antifrizlerin laboratuvar ve arazi test sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, antifrizlerin karışım suyunun donma noktasını düşürdüğü ve dayanım gelişimini arttırdığı görülmüştür. Ayrıca soğuk havada üretilen betonlarda antifrizlerin çok iyi sonuçlar vereceği belirtilmiştir [26].

Kapelko (1982) yaptığı çalışmada, B15 sınıfı Gelex antifrizi katkılı betonların durabilite ve kalite problemi üzerine çalışılmıştır. Araştırmada, sıfırın üzeri ve altı derecelerde kür edilen betonların kalitesi araştırılmıştır. Çeşitli sıcaklık ve rutubetli ortamlarda betonun dayanıma, çimentonun hidrasyonuna ve geçirimsizliğe etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, gelex antifrizin betonun özelliklerine olumlu etki yaptığı ve kullanımının uygun olacağı tavsiye edilmiştir [27].

Liu ve ark. (2005) yaptığı çalışmada, antifrizlerin düşük sıcaklığa maruz kalan betonların donmaya karşı dirençlerinde kritik dayanıma olan etkileri incelenmiştir. Antifriz katkılı olarak hazırlanan betonlara yapay soğutma ve tekrarlı doğal soğutma yapılmıştır. Kimyasal bileşiklerle hazırlanan katkıları ve mineral katkıları ile hazırlanan beton örneklerin basınç dayanımı gelişimi ve donmaya karşı dirençte kritik dayanımları değerlendirilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, kimyasal bileşikler ve mineral katkıları betonların dayanımlarına olumlu etki yapmaktadır. Özellikle uçucu külün (UK) %10 oranı ve silis dumanının (SD) %4 oranı bu etkiyi göstermektedir. -10°C sıcaklıkta bekletilen betonların donmaya karşı kritik dayanımları 3,5 MPa'ya 28 saatte ulaşabilmektedir. -15°C sıcaklıkta bekletilen betonların donmaya karşı kritik dayanımları 4,1 MPa'ya 34 saatte ulaşabildiği sonucuna belirtilmiştir [28].

Topçu ve ark. (2006) yaptığı çalışmada, antifriz kullanımının sertleşmiş betona etkilerinin incelenmiştir. A beton santralinde %0,5 oranında NA_{3k} kimyasal katkısı kullanılarak farklı gruplarda %0,17 antifrizli ve antifrizsiz kullanımı araştırılmış soğuk havada beton üretiminde antifriz kullanımının antifrizsiz beton üretimine göre dayanıma daha olumlu etkileri olduğu görülmüştür. Antifriz kullanımı beton dayanımı önemli oranlarda arttırmaktadır. Antifriz kullanımı betonun 7. gününde dayanımda 3 MPa artış göstermiştir. Antifriz kullanımının dayanımlara %16 oranında artış kazandırdığı belirlenmiştir [29].

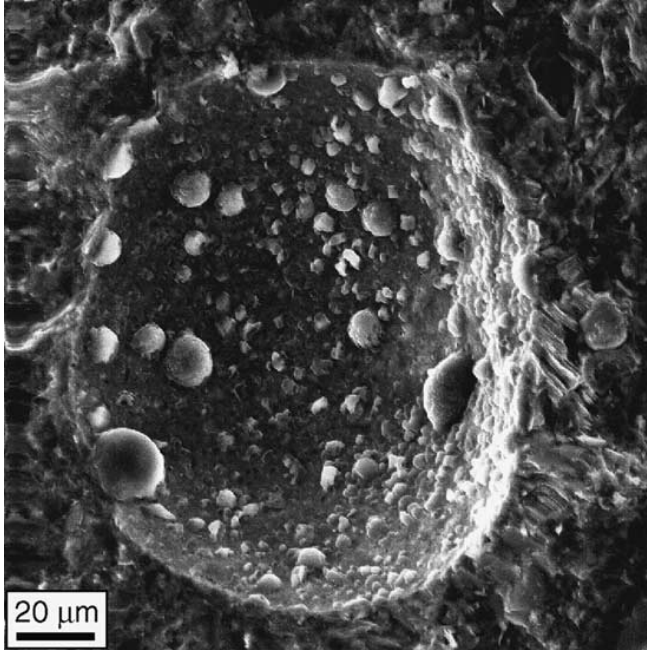
Yıldırım ve ark. (2007) yaptığı çalışmada, antifriz katkılarının soğuk hava koşullarında betonun basınç dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Beton üretiminde değişik türde çimento türlerinin kullanılacağı düşünülerek çalışmada değişik çimentolar (CEM I 42,5, CEM II/A-S ve CEM II/B-S) ile antifriz katkılarının etkisi ele alınmıştır. Çalışmanın sonucunda soğuk ortamda beton antifrizi kullanımının betonun dayanımına olumlu etki yaptığı görülmüştür. Çalışmada beton örneklerine don süresi olarak -4 ile -7 aralığında 1 gün süreyle don uygulanmıştır. TS11746 standardına göre denenmesine ilave olarak, bu katkıların düşük ısılarda da uygunluğunun denenmesi yararlı olacaktır sonucuna varılmıştır [21].

Nmai (1998) yaptığı çalışmada soğuk havalarda yüksek performanslı beton (YPB) üretimi için göz önünde bulundurulması gereken tasarım kriterlerinden kısaca bahsedilmiştir. Sodyum thiocyanate ihtiva eden ve $-7^{\circ}C$ dereceye kadar soğuk havalarda plastik kıvamda donmaya karşı koruyan non-chloride hızlandırıcılar ile uygulama yapılan yüksek performanslı soğuk hava beton katkıları için performans verileri 4 proje halinde sunulmuştur. Veriler, donma noktasının üzerindeki ve altındaki belli bir sıcaklık aralığında soğuk hava katkılarının etkinliğini göstermektedir ve hızlandırıcı katkıların soğuk havada yapılan beton örneklerde kullanımının uygulanabilir ve ekonomik bir seçenek olduğunu belirtmektedir [3].

Gratton-Bellew (1996) yaptığı çalışmada, PÇ'li beton örneklerde mikro yapısal bozulmalar araştırılmıştır. Gözeneklilik ve geçirgenlik açısından, beton örneklerde bozulma mekanizması incelenmiştir. Beton numunelerin, alkali – agrega reaksiyonu

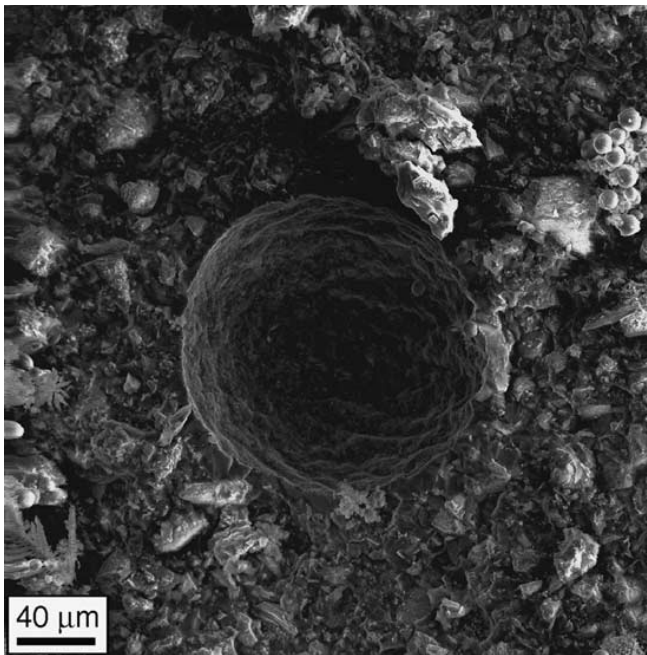
ve kimyasal solüsyonlara maruz kalması ile betona gömülü çeliğin korozyonu neticesinde betonda oluşan bozulmalar ve kendi korozyonu ile mikro yapısında meydana gelen değişiklikler göz önüne alınmıştır. Bozulmaya yol açan korrozif etkenler olarak; donma – çözülme, yangın etkisi, yumuşak su, deniz suyu, klor atağı, asit ve sülfat atağı, alkali- silika reaksiyonu üzerinde durulmuştur. Sonuçta bozulmaların mikro yapısal ve petrografik değerlendirilmelerinin zorunluluğu ortaya koyulmuş ve bu tür bozulmaların tespiti için bir çok araştırma yapılması gerektiği ifade edilmiştir [30].

David ve ark. (2004) yaptığı çalışmada, düşük sıcaklıklı taramalı elektron mikroskobu (LTSEM) ile çimento hamurunun yapısı incelenmiştir. Çalışmada 3 ana konu üzerinde durulmuştur. 1) hava boşluğu içerisindeki buzun morfolojisi, 2) erken hidratasyon döneminde hava boşluğunun gelişimi, 3) PÇ'nin hidratasyonudur. İlk araştırma, farklı yaşlardaki çimento hamurlarında donma sıcaklığında hava boşluklarındaki buz oluşumuna odaklanmıştır. İkinci araştırmanın odak noktası hidratasyonun ilk saatinde hava boşluklarının gelişimi izlenmiştir. Üçüncü araştırmanın odak konusu ise, katkılı (priz hızlandırıcı ve geciktirici) ve katkısız çimento hamurlarında hidratasyon süresi incelenmiştir. Sonuç olarak, çimento hamurlarındaki hava boşluklarında oluşan buzun yapısı incelendiğinde, hava boşluğunu dolduran tek bir kristal olmadığı, hava boşluğuna açılan kapiler kanalları tıkayan bir çok buz kristalinin olduğu görülmüştür [31].



Resim 2.1. Hava boşluğu içerisinde oluşan buz kristalleri

Çimento hamurlarındaki hava boşlukları incelemesinde, erken yaşlarda hava boşluğu gelişimi incelenmiştir. İlk olarak hidratasyonun ilk 5 dakikasında kabuk şeklinde hava boşluğu gelişimi gözlemlenmiştir.



Resim 2.2. Taze çimento hamurlarında hava boşluğu oluşumu

PÇ'nin hidratasyonunun incelemesinde ise, çimento taneleri üzerinde hidratasyon ürünleri gözlemlenmiştir. Benzer şekilde kalsiyum klorid (priz hızlandırıcı) ve sukroz gibi priz geciktirici eklenen örneklerde de hidratasyon ürünleri gözlenmiş fakat SEM görüntüleri çekilememiştir. Bu üç araştırma konusuyla çimento pastasının düşük sıcaklıklı taramalı elektron mikroskobu ile iç yapı gelişimi gözlenmiştir ve aynı zamanda çalışma, LTSEM cihazının çimento araştırmalarında etkili bir araç olarak kullanılabilir olduğunu göstermiştir [31].

2.1. Buzun Zarar Vermesini Etkileyen Faktörler

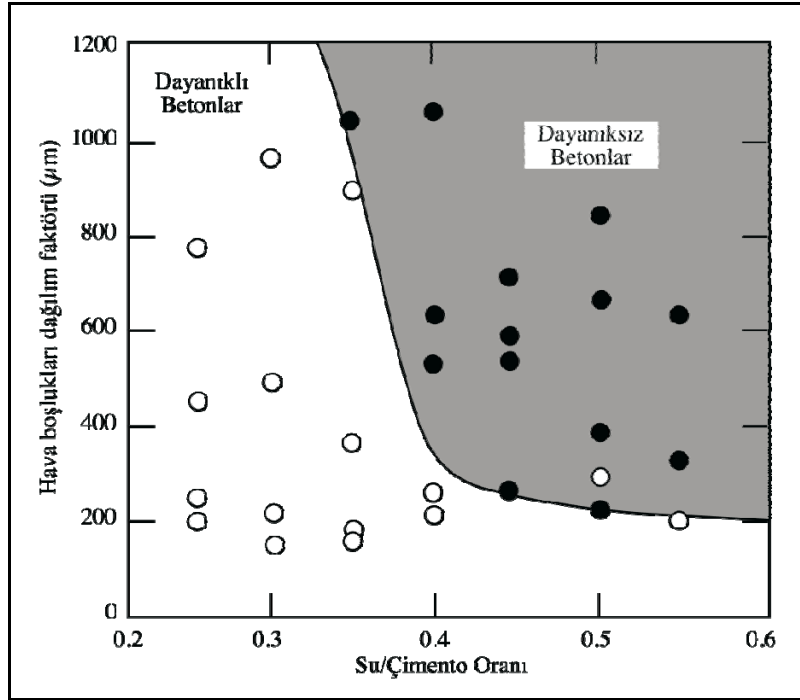
Beton boşluklu bir yapıya sahip olmasından dolayı içerisinde su ihtiva eder. Ayrıca su servis süresi boyunca beton bünyesine girer. Beton bünyesinde suyun donmasından kaynaklı bozulmalara terminolojik olarak buzun zararı “ice damage” diye anılır. Oluşan bu süreç en alt seviyede incelendiğinde; çekirdeklenme, gelişme ve mikro çatlaklarla etkileşimidir. Bu süreç genellikle içsel olarak oluşur. Hacmin genişlemesine bağlı olarak donma ve çözülme sürecinin tekrarlanmasıyla da mikro çatlaklar makro çatlaklara dönüşür. Verilen zararın boyutu yüzeydeki tuzların çözülmesi ve parçalara ayrılması sonucunda artmaktadır. Beton kaplamaları, köprü ayakları, köprü payandaları, otoyollar, kaldırımlar ve su depolama sistemleri bu zafiyete açıktır. Labratuvarlarda genellikle hassasiyetlerin ölçülmesi bazı standart testlerle gerçekleştirilir. ASTM C666 elastik modüldeki dinamik bozulmalar, ASTM C671 genişlemenin ölçülmesi, ASTM C672 ve bir İsveç standardı olan SS13 72 44 ise serbest tuzlar ve diğer kimyasalların fiziksel olarak dikey yüzeylerde bölünmeye karşı dirençlerini ölçer. Aşağıda verilen bazı etkenler buzun vereceği zararlarda önemlidir [32].

2.1.1. Su / çimento oranı

Su çimento oranı önemli bir faktördür. Bu faktör sadece kılcal boşluklarını belirlemez aynı zamanda beton içerisindeki boşluk dağılımını da belirler. Düşük s/ç oranı daha düşük boşluk yapısı anlamına gelmektedir aynı zamanda daha iyi kür edilmiş çimentoda büyük boşlukların azalması anlamına gelmektedir [33]. Buda

maksimum su içeriğinin azalması anlamına gelmektedir. Ve geçirgenliğin az olması beton bünyesine suyun girmesini zorlaştıracaktır. Bununla bağlantılı olarak donma çözülme zararına karşı olan direnç artmaktadır. S/ç oranı etkisi buzun zararının veya en azından zararın derecesinin vurgulandığı “Lc” kavramı sayısallaştırılan hava kabarcıklarının oluşması kavramıyla ilişkilendirilir. Yapılan bir çalışmada farklı beton örneklerde ASTM C666 A prosedürüne bağlı olarak 300 donma çözölmeye maruz bırakılmıştır. Ve sonuç olarak s/ç oranının 0,4 ün altında kalmasının direnci arttırdığı sonucuna varılmıştır. Direncin artması ile “Lc” de artmaktadır [36].

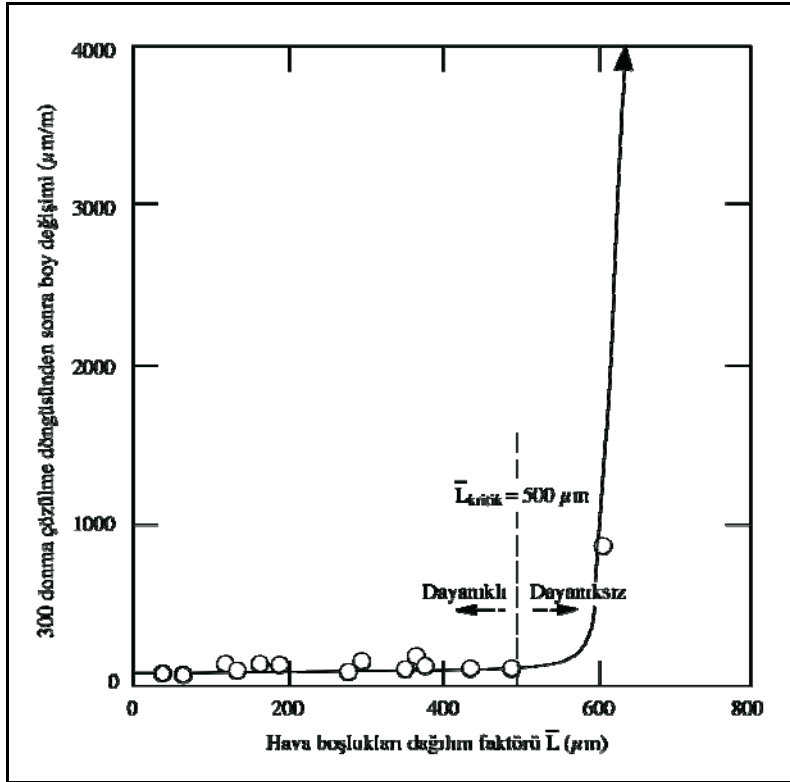
S/ç oranının düşük olması sadece buzun vereceği zararı azaltmıyor aynı zamanda dayanımında arttırıyor. Diğer taraftan dayanım artışına bağlı olarak boşluk oranında düşürmekte. Şekil 2.1 ’de görölmektedir [36].



Şekil 2.1. 300 donma çözölme uygulanmış beton örneklerde hava boşluğu dağılım faktörü

2.1.2. Sürüklenmiş hava

Sürüklenmiş hava buzun zarar vermesini etkileyen diğer bir temel faktördür. Beton hacminin %5-7'si arasında eklendiğinde ve uygun bir şekilde dağıldığında buzun zararı büyük ölçüde engellenir. Düşük değerlerde olması etkisizdir ve yüksek değerlerde olması malzemeyi çok zayıflatır. Hava balonları çimento bağlayıcısı içinde birleşmez ve bu evrede hacmin %15-20'sini teşkil eder [34]. Hava balonları küre şeklindedir, boyutları 1 µm ile 1 mm arasındadır ki aslı büyük bir çoğunluğu 10-100 µm aralığındadır. Bir çok ülkede hava katkıları soğuk iklimlerde şu an standart bir uygulamadır. Hava katkıları kullanılmasıyla betonların gelecekte yüksek performanslı ve yüksek dayanımlı beton elde edilmesine çalışılmaktadır. Düşük s/ç oranları zayıf materyal riskinden korumak için etkili olabilir. S/ç oranını düşürmektense, hava kabarcıklarının uygun bir şekilde dağılımını sağlayarak dayanıklı beton üretmek ekonomik açıdan daha etkilidir. Fakat bu uygulama dayanımı biraz düşürmektedir. Hava sürüklenme çimentoya göre 0,2-1 ml/kg oranında çeşitli kimyasallar kullanılarak elde edilir. Bu kimyasallar karışım suyuna eklenerek hava/su arasındaki gerilimi düşürür. Bu etki, hava hava kabarcıklarının karışım sırasında stabil kalmalarını sağlar. Buzun zararına karşı direnç genellikle hava kabarcıkları arasındaki mesafeyle ilişkilidir. Şekil 2.2'de görülmektedir [35].



Şekil 2.2. 300 donma çözülme uygulanmış beton örneklerde kritik hava boşluğu faktörüne bağlı olarak boy değişimi

Pigeon ve ark. (1986) yaptığı çalışmada, $s/\phi=0,5$ olarak hazırlanan beton örnekleri 14 gün boyunca 23°C 'de kür edildikten sonra ASTM C666 standartına A prosedürüne göre, $+5^{\circ}\text{C}$ ile -18°C arasında saatte 8°C 'lik değişimle 300 donma çözülme yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, hava boşlukları 500 µm ulaşmaya kadar dayanımın arttığı, 500 µm üzerinde ise dayanımda hızlı bir düşüş gözlenmiştir [35]. Pigeon ve ark. (1995) yaptığı diğer çalışmada da benzer etki gözlenmiştir [36].

Sonuç olarak, dayanıklılıktan dayanıksızlığa geçiş noktası kritik boşluk faktörü " L_{kritik} " olarak ifade edilmiştir. Beton üretiminde boşluk değeri 200-250 µm olarak tavsiye edilmektedir. Hava kabarcıklarının boyutlarının yüzey alanı cinsinden ortalama büyüklüğü $230 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ 'dür. Çimento içerisinde hava miktarı hacim olarak 0,15-0,20 arasında olması durumunda cm^3 'de 100 µm çapında 250×10^3 hava kabarcığı bulunmaktadır [37].

Fakat araştırmacıların hepsi hava kabarcıkları arasındaki mesafe ve buzun zarar vermesi arasındaki bu teoriyi kabul etmemektedir. Litvan'ın 1983 yılında yaptığı çalışmada ise, 0.35-2 μm arasındaki çapta orta boy hava boşlukları ki bu en büyük kapiler boşluğa denk gelmektedir. Bu boydaki hava boşlukları katkılı betonda, katkısız betona göre daha fazladır. Fayda yaratan etki büyük boşluklardan ziyade küçük boşluklardan kaynaklanmaktadır. Hava kabarcıkları yeterli sayıda ve uygun dağılımda olsalar bile içsel çatlaklar gerçekleşmektedir. Bu oluşum muhtemelen döngü sayısı ve minimum sıcaklığa bağlıdır [37].

2.1.3. Doygunluk derecesi

Laboratuar ortamında, donma çözülme döngüsünden önce beton genellikle tam doygun haldedir. Uygulamada ise yeterince suyun olup olmasına, atmosferdeki nem miktarına, suyun emilmesine yetecek kadar zamanın olup olmasına bağlı olarak tam doygun halde olmaz. Başka bir deyişle beton uygulamada tam doygun halden daha az doygundur. Doygunluk derecesi yeterince az olması durumunda, buzun zararı hava sürükleyici katılmamış betonlarda bile problem olmamaktadır. Buradan anlaşılmaktadır ki, buz zararının oluşup oluşmamasında doygunluk derecesi önemli bir faktördür [32].

Doygunluk derecesi (S), donmakta olan maddenin içindeki buharlaşabilen suyun ağırlığının, 50°C vakum altındaki malzemenin tamamen kuru ağırlığına olan oranı olarak tanımlanır [32]. Fagerlund (1977) yaptığı çalışmada, s/ç oranı 0,4 ile 0,5 olan hava eklenmemiş beton ile yapılan deneyler sonucunda kritik doygunluk derecesinin (S_c) 0,8 civarı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu deneylerdeki S_c değeri saatte 2 - 4 °C/h 'lik oranda -18°C yada -20°C dereceye kadar birbirini izleyen 6 donma çözülme döngüsüyle elde edilmiştir. Dinamik young modülü, zarar görmemiş diğer betonların modülüne göre normalleştirilmesiyle elde edilmiştir [38].

Buza dayanıklılığın, su emiliminin kinetiğiyle ilgili olduğu ve gözenek büyüklüğüyle ters orantılı olduğu unutulmamalıdır. Buna göre, küçük gözenekli betonlar daha

abuk doygun hale gelmektedir. Suyun emilmesinin kinetiği de ayrıca su miktarının doygunluğuna bağlıdır [32].

2.1.4. Agrega

Agrega gözenekli yapıda olduğundan buzun zararına karşı dayanıksızdır. Porositesi düşük yüzdelerde olanlar genelde tercih edilir. Macinnes ve ark. (1971) yaptığı çalışmada, s/ oranı 0,45 ile 0,6 arasında değişen oranlarda beton örnekler hazırlanmış ve -18 dereceye kadar soğutulmuştur. İnce agregalar donma zlmeye karşı stabil bir yapıda kalmıştır. Diğer yandan aynı deneylerde kaba agregaya kullanılmış örneklerde boy uzaması gözlemlenmiştir [39]. Kanejui ve ark. (1980) yaptığı çalışmada, 14 farklı betonda ASTM C666 A prosedürüne göre yaptığı deneyler sonucunda, bu oluşumun gözenek dağılımından çok toplam porositeye bağlı olduğu görülmüştür. alışmalar göstermiştir ki, betonun durabilitesinin arttırmak için agregaya boşluk sisteminde iri agregaya oranı azaltılmalıdır. Agreganın zarara uğramamasının bir yoluda hem %5 ten fazla porozite hemde iyi bir gözenekli yapının birlikte olmasıdır [40].

2.1.5. Çimentonun tipi

Çimentonun tipi, s/ oranının 0,45 den büyük olan betonlarda kullanılması durumunda donma çözülmede çok önemli bir faktör olarak görünmemekte. Fakat imentonun inceliği azaldıkça kuru betonlarda direnç artmaktadır. En büyük kritik hava boşluğu açısından bakınca bu gelişim açıkça gözlenebilir [32].

2.1.6. Donma derecesi

Soğuma/donma derecesi bazı durumlarda bir etken teşkil eder. Pigeon ve ark. (1985) yaptığı çalışmada, s/=0,5 olan tamamen doygun beton rnekleri +5°C dereceden -18'e kadar olan havadaki 300 devirlik hızlı donma ve zlmeye maruz kaldığında ve daha sonra uzunluk artışı açısından incelendiğinde, buz tahribatına (kritik hava boşluğu göz önünde bulundurularak incelenen) karşı olan dayanıklılıkları,

boşlukların her ne kadar dağılmış olsalar da, artan donma derecesine bağlı olarak direncin azaldığı görülmüştür [41]. Bir başka çalışmada biri 2,4 diğeri 4,2°C/hr. olan iki çözülme derecesi ve -20°C donma derecesi olmak üzere, 25 kez donma ve çözölmeye maruz kalan, farklı s/ç oranına sahip (0,45 ve 0,70) iki betonun tuz-ölçüm oranının artış gösterdiğini bulmuştur [32].

Diğler yandan, Sellevold (1988) yaptığı tuz ölçüm testleri göstermiştir ki, numunenin tuzlu solisyona batırılması nedenine bağlı oluşan ufak ama zıt bir etki gözlenmiştir [42].

Daha yakın bir geçmişte ise Fagerlund (1992) yaptığı çalışmada madde, numune ile çevresi arasında rutubet değişimini önlemek amacıyla yalıtıldığında, donma derecesinin bir etmen olmayacağını önermiştir [43].

2.2. Buzun Zarar Verme Mekanizması

Kristal oluşum mekanizmasında suyun buz haline geçmesi önce çekirdeklenme ve daha sonra bu çekirdeğin irileşmesi olarak iki aşamada meydana gelmektedir. Suyun sıcaklığı düşük derecelere ulaştığında belli bir soğuklukta kristal çekirdeği denilen küçük kümecikler oluşmaya başlamaktadır. Ortamda bazı kümeciklerin oluştuğu bazılarının kaybolduğu bir kararsızlık ortamında soğuma devam etmekte ve sıcaklık belli bir dereceye ulaşırsa kümecikler artık stabil hale geçmektedir. Bu buz kristallerinin oluşması sırasında su gerçek donma noktası olan 0°C'nin biraz altına kadar soğumakta ve buna aşırı soğuma denilmektedir. Çekirdekler oluşuktan sonra ortam koşullarına bağlı olarak belli bir iriliğe kadar büyümekte ve böylece buz kristalleri oluşmaktadır. Başlangıçta oluşan buz kristallerinin büyüme hızı, ortamın sıcaklık derecesi ve ısının ortamdan uzaklaştırılma hızı gibi başlıca iki faktöre bağlı olmaktadır. Ortamın sıcaklık derecesi ne kadar düşükse kristallerin büyüme hızı da o kadar düşük olmaktadır. Diğler taraftan ortamdan ısı ne kadar hızlı uzaklaştırılırsa (hızlı soğutma) kristallerin büyüme hızı da o kadar artmaktadır. Buna karşın suda erimiş halde bulunan maddeler kristallerin büyüme hızını azaltmaktadır. Beton içerisinde buzun oluşumu sırasında çekirdeklenme söz konusu değildir. Prensip

olarak çekirdeklenme çok hızlı soğumaya bağlı olarak ifade edilebilir [44]. Gerçekte ise çekirdeklenme çok kolay oluşur çünkü her zaman dış yüzeyler veya havanın girdiği (entrained) yüzeylerde heterojen çekirdeklenmenin oluşmasına uygun bölgeler vardır [45].

Buzun zarar verme mekanizması göz önünde bulundurulduğunda, bu problemin boşluk suyu ve C-S-H yapısı arasında olduğu anlaşılmaktadır. Kılcal boşluk yüzeylerinde hapsedilmiş su bu olayda genellikle göz ardı edilir, çünkü bu bölgedeki su, ısı -78°C 'nin altına düşmeden donmaz [45]. Bu problemi tamamiyle anlayabilmek için beton bünyesindeki bütün suyu dikkate almalıyız. Buzun zarar vermesi, suyun hareket ettiği bölgeyle ilgilidir. Bu hareket, kılcal boşluklardaki absorbe su tarafından kolaylaştırılır [46, 47].

Boşluk suyu ve C-S-H arasındaki bu etkileşim sonucu ortaya çıkan tahribat hem beton içerisindeki hemde dışarıdaki buzdan veya her ikisinin yapısından kaynaklanmaktadır [44].

Etkileşim sıvı-katı dönüşümünü beraberinde getiren %9'luk bir hacim artışından kaynaklanmaktadır. Olay hava kabarcıklarının birbirleriyle bağlantısının olmadığı izole edilmiş bölgelerde gerçekleşir [48]. Powers (1945) yaptığı çalışmayı takiben boşluk suyunun sadece donmadığı, aynı zamanda uygun etki altında hareket ettiği bunun da zarara neden olduğu anlaşılmıştır [32].

Bundan sonraki tartışma, katılaşmanın ve suyun hareketinin zararın asıl nedeni olduğunu temelinden türemiştir. Özellikle, birisi suyun donan bölgelerden hareketini ikincisi de donan bölgeler arasındaki hareketini esas alan iki tip model tartışılmaktadır [32].

2.2.1. Hidrolik basınç teorisi

Hidrolik basınç teorisine göre, donan bölgelerden suyun çıkartılması sırasında boşluk duvarlarında bir gerilme oluşmaktadır. Eğer bu gerilme yeterince büyükse boşluk

duvarında çatlamalara neden olur. Bu modelin ilgi çekici özelliği, P_{max} maksimum basıncın, suyun viskozitesi η , doygunluk derecesi s , buz oluşum oranı u , soğuma oranı c , permabilitesi k , suyun gidebileceği maksimum mesafe λ cinsinden ölçülebilmektedir. Powers' sa göre [49]:

$$P_{max} = \eta(1.09 - 1/s)uc\lambda/3k$$

Model böylece, doygunluğun, hapsolmuş havanın ve kapiler porositenin hidrolik basınca etkisini ölçmektedir. Hava boşlukları arttıkça suyun katetmesi gereken maksimum mesafe (λ) düşecek ve dolayısıyla hidrolik basınç azalacaktır. Aynı zamanda model donma sırasındaki genleşmeyi de ölçmektedir. Fakat, soğuma oranının etkisinin tahmin edilmesinde, uygulamada bu etkinin gözlenememesinden dolayı çelişmektedir. Bunun yanında, sabit sıcaklık altında hava sürükleyici katkısız çimento pastasının genleşmesinden kaynaklı oluşacak zararın ölçülmesinde de hata yapar [49].

Powers' ın diğer bir yaklaşımında ise, çimento pastasının içerisindeki tek bir hava baloncuğunu ve onun etki alanını göstermektedir. Bu yaklaşımda, soğuma sırasında donmamayan suyu kapiler kanallar içeren çimento pastası içerisinde hareket etmek istemektedir. Böylece, donmamış su hava boşluğuna ulaşmadan bir yol kat etmesi gerekmektedir. Bu mesafeyi kabuk kalınlığı (L) “shell thickness” olarak tanımlamaktadır. Powers' ın analizi bu mesafeyi tanımlamaktadır. Kabuk kalınlığının maksimum değerlerinde hidrolik basınç en büyük değerlerini alır [49].

L_{max} 'ın hesaplamasında:

$$\frac{L_{max}^3}{r_b} + \frac{3L_{max}^3}{2} = \frac{1}{0.03\eta} \cdot \frac{KT}{UR}$$

eşitliği kullanılmaktadır.

Eşitlikte:

r_b = Baloncuğun yarı çapı,

η = Suyun viskozitesi,

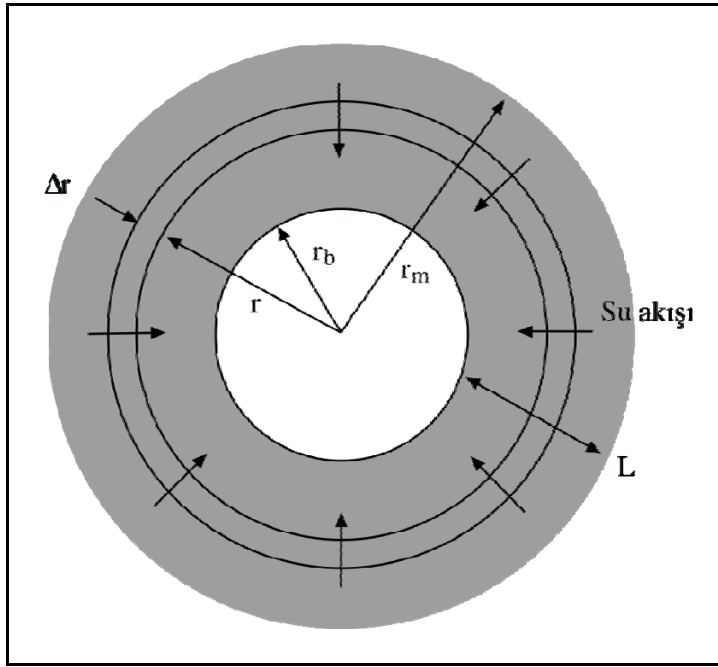
K = Çimento pastasının permeabilite katsayısı,

T = Çimento pastasının çekme gerilmesi,

U = Isının her 1 derecelik düşüşünde donan su miktarı,

R = Donma oranı,

Eşitliğe göre, sıvının viskozitesinin artması, donma oranının yükselmesi, çimento pastasının permeabilitesinin düşmesi yada çimento pastasının çekme gerilmesinin düşmesi çok önemlidir. Çünkü bu durumda L_{max} en küçük değerini almaktadır.



Şekil 2.3. Powers'ın bir hava kabarcığı ve onun etki alanı yaklaşımı

Bu teori, bir hava kabarcığı ve onun etki alanını temsil ediyor olsada, gerçek bir çimento pastasındaki hava kabarcıkları içinde uyarlanabilir [50].

2.3. Donma-Çözülme

Tekrar eden donma-çözülme döngülerinin betona olan zararlı etkisi, dünyanın bir çok bölgesinde iyi bilinmektedir. Donma-çözülme olayında su önemli bir rol oynamaktadır. Su başlangıçta karışımında bulunan veya sonradan betona girmiş olabilir. Fakat önemli olan , betona zarar veren sudur ve bunu şiddetle yapar. Tekrar eden donma çözülme döngülerinin meydana getirdiği hasar, taze beton veya erken yaştaki beton üzerinde daha fazladır. Burada suyun buza dönüşerek genişlemesi, betona genellikle onarılması imkansız zararlar verir [51].

Dursun ve ark. (2005) yaptığı çalışmada, beton harçlarında çekme ve basınç dayanımları ile donma-çözölmeye dayanıklılığın iyileştirilmesi amacıyla farklı tür puzolan kullanımının etkisini araştırmışlardır. Katkısız PÇ ile birlikte puzolan olarak kullanılan Yeniköy cürufu ve Ergani trasının sırasıyla %6 ve %8 oranlarda karışıma katılmasıyla üretilen beton harç numunelerin çekme ve basınç dayanımları artış göstermiştir. Ayrıca, yukarıda belirtilen oranlarda çimento yerine puzolan katılarak üretilen harç numunelere ait su emme miktarının artış olarak en düşük olduğu ve ağırlık kaybı miktarının en az olduğu dolayısıyla bu oranlar için donma-çözölmeye karşı dayanıklılığın arttığı açıktır. Böylece, puzolan kullanımının beton içerisindeki kılcal boşlukları doldurarak geçirgenliği azalttığı sonucuna varılmıştır [52].

Hüsem (2003) yaptığı çalışmada, geleneksel ve YPB'lerin basınç ve çekme dayanımlarına donma ve çözölmelerin etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada, yüksek YPB'lerin basınç ve çekme dayanımlarına donma-çözölmelerin etkileri, geleneksel betonunkilerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bunun için, aynı tür agregayla üretilen YPB ve geleneksel beton örneklere donma-çözölme işlemi uygulanarak, bu betonların basınç dayanımları, yarmada ve eğilmede çekme dayanımları belirlenmiştir. YPB ve geleneksel betonların basınç ve çekme dayanımları, kendi aralarında ve donma-çözölme işlemi görmemiş numunelerinkilerle birlikte karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu incelemelerden elde edilen sonuçlar:

- YPB örneklerde, donma çözülme işlemleri boyunca, beton ağırlıkları pratik olarak değişmediği,
- Geleneksel beton silindir örneklerin ağırlıkları ilk çevrimde bir miktar azaldıktan sonra donmada yaklaşık olarak sabit kalırken, çözülmede birinci çevrime göre arttığı,
- Geleneksel beton prizmatik örneklerde ağırlık değişimi, donma işleminde her bir çevrimde azalarak, çözülmede ise artarak devam ettiği,
- Geleneksel beton örneklerde ağırlıkların YPB'ye göre daha fazla değişmesi, söz konusu betonun içindeki boşluk oranlarına ve bu boşlukların suyla dolu olup olmamasından kaynaklandığı,
- Prizmatik örneklerin yüzey alanının daha fazla, numune kalınlığının ise standart silindir örneklerle göre daha az olması nedeniyle, donma çözülme olayından daha fazla etkilendiği,
- YPB'lerin basınç dayanımlarındaki kayıplar, 1. çevrim sonunda %3, 3. çevrim sonunda % 6 ve 5. çevrim sonunda da %11 olurken, geleneksel betonda bu oranlar yaklaşık iki katı civarında gerçekleştiği, Bu da geleneksel betonların donma çözülme işleminden daha fazla etkilendiklerini gösterdiği,
- Prizmatik örnekler üzerinde gerçekleştirilen eğilmede çekme dayanımı kaybı geleneksel beton için, 1. çevrim sonunda % 15 civarında iken, 5. çevrim sonunda %38 olduğu, YPB örnekler için bu oranlar sırasıyla %3 ve %15 civarında kaldığı,
- Silindir örnekler üzerinde gerçekleştirilen YÇD, geleneksel beton örnekler için 5. çevrim sonunda %36 oranında, YPB örnekler ise %3 oranında kayba uğradığı sonucuna varılmıştır [53].

Shang ve ark. (2009) yaptığı çalışmada, hava sürükleyici katkılı beton örneklerde farklı donma-çözülme dönüşümleri üzerine çalışılmıştır. 0, 100, 200, 300 ve 400 donma-çözülme döngüsünde hava katkılı betonların Dinamik elastisite modülü, kütle kaybı, kübik basınç dayanımı, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve yarıлма dayanımı ölçülmüştür. Deney sonuçları şunları göstermiştir: Donma-çözülme tekrarı arttıkça dinamik elastisite modülü ve dayanım düşmüştür. Donma çözülme tekrarlarının mekanik özellikler, dinamik elastisite modülü ve kütle kaybı üzerindeki etkileri deneysel sonuçlara göre analiz edilmiştir. Bu çalışmanın kuzey

soğuk bölgelerde yapılan barajların, su yapılarının, su üstü yapılarının, beton yolların ve köprülerin bakımı, tasarım ve ömürlerinin tahminin için bir referans örnek teşkil edebilir sonucuna ulaşılmıştır [54].

Sun ve ark. (2002) yaptığı çalışmada, betonun performansına NaCl, donma çözülme ve dış yük uygulamasının etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuçlara göre; klor tuzu çözeltisi içinde donma çözülme etkisine maruz beton örneklerin su içinde donma çözölmeye maruz örneklere göre daha vahim parçalandığı ve beton örneklerin klor tuzu olan ortamdaki kütle kayıplarının su içindeki örneklere göre iki kat daha fazla olduğu görölmüştür. Böylece beton örneklerin dinamik elastisite modülü klor tuzu içeren çözelti içinde sudakine göre daha yavaş azalmıştır. Bu durum klor tuzu çözeltisinin suyun donma noktasına göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Şu da görölmüştür ki, betondaki parçalanma performansı çoklu hasar sürecine bağlı olarak önemli derecede hızlanmaktadır. Gerilme oranı büyüdükçe beton az sayıda donma çözölmeye döngülerini taşıyabilir. Çelik lifli betonlarda çoklu hasar süreci oldukça gecikeceğide vurgulanmıştır [55].

Cai ve ark. (1998) yaptığı çalışmada, donma çözölmeye döngülerine maruz kalmış betondaki boşluk çözeltisinin donması, farklı donma sıcaklıklarındaki betonun elektriksel direncindeki değişim takip edilmiştir. Donma çözölmeye etkisine maruz betonlar 0 ile -20 derece arasında işleme tabi tutulmuştur. Donma sürecinde -10 derecede betonun elektrik direncindeki değişim oranı görölebilir oranda azalmıştır. Bu durum beton içindeki boşluklarda -10 derecenin üstündeki sıcaklıklarda -10 derecenin altındaki sıcaklıklara göre daha fazla boşluk çözeltisi donmakta olduğunun belirtisidir. Powers'ın statik hidrolik basınç hipotezine göre bilinmektedir ki, donma hasarı asıl olarak 0 ile -100 derece arasında olmaktadır. Çalışmada normal beton için donma hasarı -10 derecenin altında ihmal edilebileceği belirtilmiştir [15].

Miao ve ark. (2002) yaptığı çalışmada, 0,44, 0,32 ve 0,26 s/ç oranına sahip kontrol betonu ve çelik lifli betonarme betonu %5 Na₂SO₄ çözeltisi içinde donma çözölmeye etkilerine maruz bırakılmıştır. Başlangıç olarak 300 donma çözölmeye döngüsü sırasında sülfat çözeltisi betonun dinamik elastisite modülünü (Ed) az bir miktar

etkilemiştir. Daha ileri donma çözülme döngülerinde sülfat çözeltisinin Ed üzerine etkisinin daha fazla olduğu gözlenmiştir. s/ç oranı 0,44 olan beton örneklerde her iki kontrol betonu ve lifli beton örnekleri 300 döngü içerisinde dağılmıştır ve sülfat çözeltisi yada suda donma çözülme yapıldığında Ed'nin gelişme trendi her iki örnekte de aynıdır. s/ç oranı 0,26 olan beton örnekler için 300 donma çözülme döngüsünden sonra Ed sülfat çözeltisinde sudakinden daha ciddi azalmıştır. Test sonuçları göstermiştir ki, donma çözülme ve sülfat atağı birbirini etkilemektedir [56].

Soroushian ve ark. (2004) yaptığı çalışmada, betonun özelliklerindeki ve mikroyapısındaki değişim farklı hasar etkileri ile ilişkili olduğu araştırılmıştır. Dikkate alınan hasar etkileri betonun basınç, darbe, yorulma ve doymuş koşullarda donma çözülme döngüleri etkileri tarafından tetiklenir. Betonda eğilme dayanımı, darbe direnci, geçirimsizlik ve genleşme ile mikro çatlak ilerlemesinin doğası üzerine bu hasarların etkilerinin tesiri araştırılmıştır. Normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı beton malzemeler dikkate alınmıştır. Beton özellikleri üzerinde hasar etkilerinin eğilimleri hasar etkilerindeki mikroçatlak gelişimleri eğiliminin mikroskobik gözlemlerine dayandırılmıştır [57].

2.4. Zararlı Sular ve Kimyasalların Etkileri

Zararlı kimyevi etki, beton veya beton yapı elemanlarının yapılarını kimyasal yönden etkileyerek başta mukavemet olmak üzere kalitesini düşüren ve hizmet süresini azaltan etkilere [58]. Zararlı suların etkilerini üç ana grupta incelenebilir. İlk olarak korozyon, betonun yıkanması esnasında düşük sertlikli suların beton öğelerinden bazılarını çözmesi halinde beton kütlelerinden uzaklaştırılması şeklinde meydana gelir. İkinci tip korozyon kimyasal maddeler taşıyan suların çimentonun esas öğeleriyle tepkimeye girmesi sonucunda oluşan korozyon türüdür. Üçüncü tip korozyon eriyikliği düşük tuzların beton boşluklarında kristalleşmesi sonucunda yapıyı katı fazda genleşmesi sonucunda patlatması şeklinde gerçekleşir. Sülfat problemi bu korozyon tipi grubuna girer [59].

Mehta ve ark. (2006) yaptığı araştırmalara göre, asidik veya magnezyum içeren sular nedeniyle çimento hidrate bileşenlerinin çözülmesi ve yıkanarak uzaklaşması halinde, kaybedilen her %1 kireç (CaO eşdeğeri olarak) içeriği için beton basınç dayanımının %2 azaldığı, betonun orijinal kireç içeriğinin %25'ini kaybetmesi halinde ise dayanımının %50 sini kaybettiği görülmektedir. Ayrıca betondan çıkan kalsiyum hidroksit havadaki CO_2 ile reaksiyona girip kalsiyum karbonat (CaCO_3) oluşturarak beton yüzeyinde beyaz kabuk veya toz şeklinde olumsuz bir görünüş meydana getirir. Bu olaya çiçeklenme denilmektedir [60].

Saf suların zararları, tek bir özelliğe bağlı değildir. Aynı zamanda pH derecesine, sertlik derecesine ve karbondioksit miktarına bağlıdır. Suyun geçici sertliği düşük olduğu zaman su, pH değeri 7,5'e kadar olan beton örneklerdeki kireç için çözücü etkiye sahip olacağı belirtilmiştir [61].

Doğada rastlanan yer altı, nehir ve göl suları sertliklerine bağlı olarak bir miktar kalsiyum ve magnezyum iyonları içerirler ve genellikle çimento hamuru bileşenlerinde hidrolize yol açmazlar. Diğer taraftan, sertlik derecesi çok düşük olan ve özellikle erimiş kar suyu, yağmur suyu gibi saf sular çimento hamuru içindeki kalsiyumlu bileşenlerin çözülmesine neden olurlar. Hidrate çimento bileşenleri içinde kalsiyum hidroksit litrede 1230 mg çözünürlükle saf su ile en fazla hidrolize uğrayan bileşendir. Çimento hamuru ile temas halinde olan su kirece doyduğunda hidroliz sona erer. Suyun sürekli akması veya yenilenmesi durumunda ise kalsiyum hidroksit tamamen çözünüp yıkanarak hamur dışına atılabilir ve bu kez çözülme bağlayıcı özellikteki C-S-H jellerinde başlar. Kireç içeriğinin azalması sonucu betonda dayanım kaybı meydana gelir ve kirecin boşalttığı gözenekler sebebiyle geçirimsizlik artıp dayanıklılık azalır [10].

Korrozif ortamlarda beton yapılarda meydana gelen bozulmalar neticesinde, YPB'nin gelişmesi daha da önem kazandı. YPB üretimi ise ince boşluk yapısı, düşük porozite ve kompozit maddeyi üretmek için gerekli başlıca katkı maddelerinin seçimine ve yapıdaki yüzdelere bağlıdır. Bunun iyi yapılması ile, su oksijen, karbondioksit, klor ve sülfat iyonları gibi zararlı maddelerin beton üzerine olan

istenmeyen etkilerini azaltarak minimum düzeye indirilebilir. Kimyasal etkilere karşı direnç için agreganın mümkün olduğunca geçirimsiz olup, su ve hava geçirmemesi gerekir [62].

Genellikle YPB'nin kimyasal bozulmaya karşı direncinin normal betondan daha yüksek olması beklenir. YPB'nin değişik aşındırıcı çevrelerdeki "sülfat çözeltilerinde, asitli çevrelerde ve alkali reaktiflerinin olduğu ortamlarda" performansı silis dumanlı beton örneklerle araştırılmıştır [63].

SD ikamesi ile elde edilen YPB'nin sodyum sülfat çözeltisindeki yararlı etkilerini araştırılmış ve sonuç itibarıyla SD'li karışımların, sülfat dirençli beton örneklerle ya eşit yada daha iyi olduğu ortaya konulmuştur [64].

Yazıcı (2006) yaptığı çalışmada, sülfat etkisi beton veya betonarme yapıların bozulmasına yol açan önemli kimyasal etkilere biridir. CEM I 42,5 çimentosu kullanılarak hazırlanan, değişik oranlarda yüksek fırın cürufu (YFC) içeren harçların sodyum sülfat çözeltisinde farklı koşullarda bekletildiklerinde yaptıkları genleşmeler ve basınç dayanımlarındaki değişimler belirlenmiştir. Örnekler ASTM C 1012'ye uygun şekilde hazırlanmış, bir grup 150 g/l Na_2SO_4 çözeltisinde 6 ay süre ile bekletilmiş, diğer grup ise aynı çözeltide ıslanma-kuruma etkisine tabi tutulmuştur. Ayrıca, buhar kürü geçirmiş (60°C 'de 9 saat) karışımlar için de deney programı tekrarlanmış ve sonuçlar suda kür edilmiş kontrol karışımları ile kıyaslamalı olarak sunulmuştur. YFC kullanımı harçların sülfat dayanıklılığını olumlu yönde etkilemiştir [65].

Türkmen (2002) yaptığı çalışmada, korrozif etkiler altındaki YFC ve SD katkılı yüksek dayanımlı betonların mekank özellikleri ve dayanıklılığı araştırılmıştır. Çalışmada, YFC ve SD katkıları değişik kombinasyonlar oluşturarak betona ilave edilmiştir ve %2,5 süper akışkanlaştırıcı çimento ağırlığı cinsinden betona ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımlardan 100x200 mm ebadında beton örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler $23\pm 2^\circ\text{C}$ kirece doymun suda 13 gün kür edilmiştir. Daha sonra sudan çıkarılan beton örnekleri, 7500 mg/L MgSO_4 , %5

H₂SO₄, %5 NaCl solüsyonlarına ve 23±2°C kirece doymun suya alınarak deney tasarımı belirlenen esaslar çerçevesinde 28, 56 ve 120 gün bekletilmiştir. Bu süreler sonunda numunelerin bazı mekanik ve dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonunda, korrozif ortamlarda bekletilen numunelerin mukavemet ve dayanıklılık özelliklerinde bozulmamalar olmuştur. Fakat bozulmanın şiddeti malzemenin boşluk yapısı ile direkt ilişkili olduğu, boşluk yapısı arttıkça zararlı iyonların daha rahat betonun yapısına nüfus ettiği anlaşılmıştır. Deneyler sonunda mekanik özellikler ve dayanıklılık açısından optimum iyileştirme şartları belirlenmiştir. %5 SD ve %10 YFC içeren su/bağlayıcı (s/b) oranı 0,30 olan beton karışımlar kirece doymun suda 28 gün kür edildiğinde optimum mekanik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. S/b oranı 0,30 olan beton karışımlar ise, kirece doymun suda 120 güne kadar kür edildiğinde optimum dayanıklılık özelliği göstermiştir [66].

Lee ve ark. (2005) yaptığı çalışmada, atık ince agregalardan hazırlanan harç numunelerinin dış sülfat etkisine maruz kalması halindeki dayanıklılığının incelenmesi ile ilgili deneysel çalışma anlatılmıştır. İnce atık agregaların tipi ve miktarı, başlıca test değişkenleridir. Harç numuneleri, 360 gün süreyle %5 sodyum sülfat çözeltisine daldırılmış ve bu süre içinde uğradığı hasar, genleşme değişimi ve basınç dayanımı tespit edilmiştir. Buna ilaveten, 360 gün sonunda sülfat etkisi ürünleri ve mekanizması, X-ışınları difraktometresi ve mikroskopta incelenmiştir. Dayanım kaybını değerlendirmek için, bazı harç numuneleri musluk suyunda tutulmuştur. Deneysel veriler, atık agrega taneleri kullanımının (en fazla %50 oranında), sülfat etkisine karşı hem dayanım kaybı hemde genleşme açısından çok faydalı olduğunu göstermiştir. Harçlarda %100 atık agrega kullanımında ise örnekler şiddetli hasara uğramıştır. Test sonuçları, atık agregaların su absorpsiyonunun, sülfat etkisi nedeniyle oluşan genleşmenin kontrolü, dayanım kaybı ve hasar yoğunluğu açısından en önemli faktör olduğunu göstermiştir. Mikroyapısal çalışmalar, atık agregalı numunelerin sülfatlı ortamda başlıca bozulma nedeninin tomasit ve jips olduğunu göstermiştir [67].

2.4.1. Soydum klorür (NaCl)'ün etkisi

Klorür iyonu beton içerisindeki demir iyonları ile birleştiği zaman çözünür ve donatılı yapıyı korozyona uğratar. Donatının korozyona uğraması da betonarme yapının bozulması anlamına geldiğinden yapı için tehlikeli durumlar meydana getirir. Klorür iyonunun bu etkisini azaltmak içinde beton yapı içindeki çelik yüzey üzerinde bir film tabakası oluşturulmalı veya daha geçirimsiz beton örnekler üretilip bu zararlı iyon hareketinin önüne geçilebilir [68].

Temiz ve doğal malzemelerle hazırlanmış bir beton için, çok az miktarda klorür iyonu bulunabilir. Agregat ve karışım suyundan kaynaklanan bu klorür, betonda korozyona sebep olması için yeterli değildir. Bazı hallerde, beton prizini çabuklaştırmak amacı ile , betona kimyasal maddeler yolu ile klorür iyonları geçebilir. Karışım sırasında beton içine girmiş olan klorür iyonlarının bir kısmı, çimento hidratasyonu sırasında hidroliz olan trikalsiyum alimünat (C_3A) ile birleşerek trikalsiyum klora alimünat halinde bağlanır. Bu durumda bulunan klorür, beton içindeki suda çözünemediğinden korrozif etki yapmaz [69].

2.4.2. Magnezyum sülfat ($MgSO_4$)'ın etkisi

Sülfatlar, sertleşmiş çimentoda bulunan C_3A ile birleşerek trikalsiyum sülfalimünathiratu oluşturur. Bu bileşik, molekülünde 31 molekül hidrat suyu bulunduğundan, betonda şişmelere ve kabarmalara neden olur. $MgSO_4$ ve Magnezyum Klorür ($MgCl_2$) gibi magnezyum tuzları, sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek, yumuşak ve jelatimsi bir madde olan magnezyum hidroksiti oluştururlar. $MgSO_4$ söz konusu olduğunda, sülfat etkisi ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır [70].

$MgSO_4$ ortamında bulunan beton örnekler, başlangıçta numune içinde genişerek bir iç basınç oluşturur ve bu basınç artışı yüzünden ilk aşamada betonun geçirimsizlik özelliği azalır. Başlangıçta olumlu gibi gözüken bu durum, uzun vadede betonu bir çok açıdan tahrip eder [66]. Bu bozulmalar, hacim artışı ve genişmeden doğan

patlamalar şeklinde görülebilir. $MgSO_4$ konsantrasyonu %5 değerini aştıktan sonra, etkiye şiddetindeki artış yavaşlar. Magnezyum ve sodyum sülfatın zararlı etkileri, s/ç oranına, kompasiteye, geçirimsizlik ve kılcallığa, C_3A içeriğine bağlıdır. Harçlarda ve beton örneklerde ayrıca dozaja ve agrega türüne bağlıdır [71].

2.4.3. Sülfürik asit (H_2SO_4)'ın etkisi

İçinde serbest asit bulunan sular, beton bünyesindeki sertleşmiş çimentoya ve agrega içindeki karbonat esaslı taneciklere, pH değerinin 6,5 veya daha küçük olması halinde göz önünde bulundurulmalıdır [70].

Sertleşmiş çimento hamuru, şiddetli derecede asitli sulardan etkilenir. Bir asit saldırısı sonucunda, sertleşmiş çimento hamuru yüzeyinde, korrozif bir ürün tabakası gelişir. Bu tabakanın özellikleri, yapının porozitesine, hacim yoğunluğuna, saldırgan asidin tipine, pH konsantrasyonuna, asit solüsyon değerine, çimento ve diğer faktörlerin kompozisyonuna bağlıdır. Bu durumda sertleşmiş çimento hamurları, bir asit ürünü olan çözülebilir kalsiyum tuzu tarafından kolaylıkla etkilenir. Örtü tabakası başlıca SiO_2 'den ibaret olup Al_2O_3 ve Fe_2O_3 hidratelerinden oluşur ve solüsyon pH değerine bağlıdır [72].

Yazıcı (2005) yaptığı çalışmada, yüksek oranda C sınıfı UK içeren beton karışımlarının bazı fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri incelenmiştir. Su içerisinde kür ve havada kür olmak üzere iki farklı kür yöntemi kullanılmıştır. Çimento yerine %40, %50, %60 ve %70'e kadar UK ikame edilerek hazırlanan; beton numunelerinin basınç dayanımı, YÇD, elastisite modülü, H_2SO_4 etkisine karşı dayanıklılığı, harç çubuğu örneklerinin hacim sabitliği ve bağlayıcı hamurların priz süreleri ölçülmüştür. Sonuçlar bağlayıcı olarak sadece PÇ içeren kontrol betonu ile kıyaslamalı olarak sunulmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; Betonda yüksek oranda C sınıfı UK kullanımı erken dayanımları önemli ölçüde azaltmaktadır. Ancak, s/b oranının 0,4, çökme değerinin 80 ± 20 mm olduğu bu çalışmada, çimentonun UK ile %50 ve %60 oranında yer değiştirilmesi halinde 28 günlük dayanımların fazla etkilenmediği görülmüştür. UK'nın %70 oranında kullanımı

durumunda ise dayanım farkı uzun vade de kapanmamaktadır. Karışım dizaynının değişmesi halinde bu bulguların da değişmesi beklenir. Havada kür yapılan örneklerin basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları ve elastisite modülleri su içerisinde standart kür yapılan numunelere kıyasla önemli oranda düşük çıkmıştır. Dayanım ve elastisite modülleri arasındaki fark UK oranı arttıkça artmaktadır. Bu durum UK içeren karışımların kür hassasiyetinin daha fazla olduğunun bir göstergesidir. UK kullanımı, betonun H_2SO_4 etkisine karşı dayanıklılığını olumlu yönde etkilemiştir. Ancak, betonun diğer fiziksel ve kimyasal etkiler altındaki uzun dönemli performansının gözlenmesi yararlı olacaktır. UK oranının artması ile harç çubuklarının genleşme miktarı artmaktadır. Bu nedenle kullanımdan önce bu sonuçların, Le Chatelier, otoklav deneyleri ve beton örnekleri üzerinde yapılacak çalışmalarla kıyaslanması gereklidir. Bağlayıcı hamurların priz süreleri UK oranının artması ile artmaktadır. Ancak, süperakışkanlaştırıcı (SA) katkı kullanımı halinde, priz süreleri s/ç oranındaki düşme sebebiyle oldukça kısalmaktadır. Yüksek oranda UK kullanımı kütle betonu imalinde, sıcak havalarda beton dökümünde, taşıyıcı özellikten çok dayanıklılık özelliğinin ön planda tutulduğu deniz yapısı vb. yapılar için tavsiye edilebilir. Ancak bu tür betonun uzun süre ıslak küre olan ihtiyacı göz önünde bulundurulmalıdır. Farklı bir C sınıfı UK kullanımı halinde bu çalışmada elde edilen bulguların tamamen değişebileceği de dikkate alınmalıdır [73].

2.5. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, soğuk havada beton dökümünde kullanılan %30KN+%5HEA karışımı, Kalsiyum nitrat ve Polihidroksi amin içerikli antifrizlerin betonun dayanıklılığına etkilerini araştırmaktır.

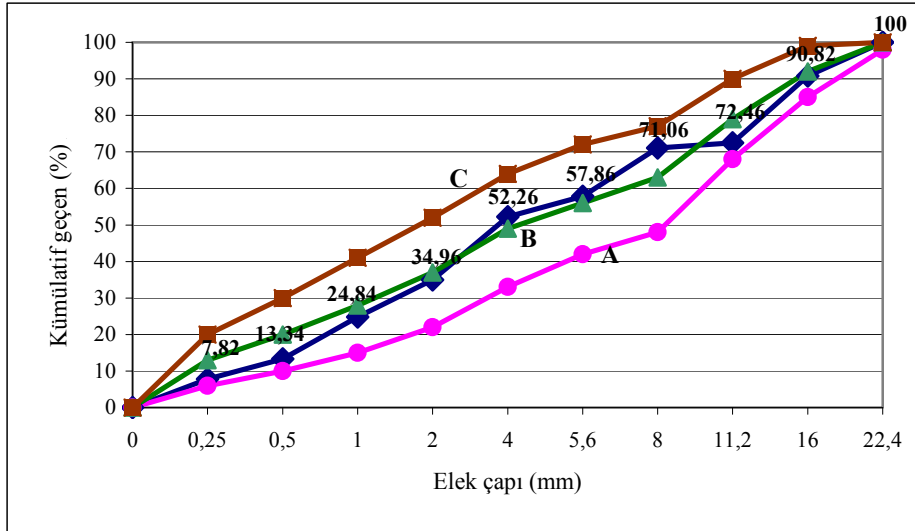
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu araştırmada: kireçtaşı agregası, CEM I 42,5 R çimento, %30KN+%5HEA karışımı, KN, Polihidroksiamin içerikli antifrizler, SA ve karışım suyu olarak Ankara şehir içme suyu kullanılmıştır. Korozif ortam oluşturmak için Mg_2SO_4 , H_2SO_4 , NaCl kimyasalları kullanılmıştır.

3.1.1. Agregat

Beton örneklerde (0 - 4, 4 - 11,2, 11,2 - 22,4) agregat gruplarından, beton santrallerinde normal dayanımlı beton üretiminde kullanılan kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agregat granülometrisi Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan agregat granülometrisi

Agregat örnekleri, agregat yığını temsil edecek şekilde “TS 707; Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi”nde belirtilen esaslara uygun olarak alınmıştır [74].

3.1.2. Çimento

Araştırmada CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM I 42,5 R kimyasal kompozisyonu, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal kompozisyon (%)		Fiziksel özellikler	
SiO ₂	20,32	Priz başlangıcı (sa/dk)	01:58
Al ₂ O ₃	5,59	Priz sonu (sa/dk)	02:57
Fe ₂ O ₃	3,09	Hacim sabitliği (mm Toplam)	2
CaO	62,50	Özgül yüzey (cm ² /g)	3172
MgO	1,74	Mekanik özellikler	
SO ₃	3,29	Basınç dayanımı (MPa)	
Na ₂ O	0,34	2. Gün	30,8
K ₂ O	0,91	7. Gün	39,5
Kızdırma kaybı	1,18	28.Gün	56,0
Çözünmeyen kalıntı	0,31		
S.CaO	0,93		

3.1.3. Antifriz

Çalışma kapsamında 3 farklı antifriz katkısı kullanılmıştır. Antifriz katkıları, ASTM C-494 ve TS 11746 standardına uygun kimyasal katkılardır [75, 5]. Kullanılan kimyasal katkılara ait özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Antifriz türü ve özellikleri

Katkı No	Kimyasal içerik	Özellikler
1	%30KN+%5HEA	➤ 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)
2	KN	➤ Yoğunluk : 1.25 ± 0.03 kg/L
		➤ pH : 6,00 – 8,00
		➤ Klorür : ≤ %0,1 (TS EN 480–10)
		➤ Alkali İçeriği : ≤ %10 (TS EN 480–12)
3	PHA	➤ 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)

3.1.4. Süperakışkanlaştırıcı

Taze beton örneklerinde eşit kıvam sağlamak için yüksek oranda su azaltıcı ve erken yüksek dayanım sağlayan ASTM C 494-81 Tip F ve TS-EN 934-2 standartlarına uygun katkı maddesi kullanılmıştır [75, 76]. Kullanılan SA'ya ait özellikler Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. SA özellikleri

Kimyasal yapı	Özellikler
Poli Naftalin Sülfonat Kondensatı	Görünüm : Koyu kahve renkli sıvı
	Yoğunluk : 1.20 ± 0.03 kg/L
	pH : 6,50 – 8,00
	Klorür : $\leq 0,1$ (TS EN 480-10)
	Alkali İçeriği : ≤ 10 (TS EN 480-12)

3.1.5. Korozi ortam solüsyonları

Korozi ortamların hazırlanmasında 7500 mg/L oranında Mg_2SO_4 , %5 oranında H_2SO_4 , %5 oranında NaCl kimyasalları kullanılmıştır.

3.2. Metot

Çalışma iki aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşamada beton dayanıklılık deneylerinde kullanılacak beton örneklerine katılacak en uygun antifriz oranı belirlenmiştir. Bunun için karıştırma işleminden sonra 100x200 mm ebadında kalıplara dökülen beton örnekleri 15 dakika içerisinde taze halde dondurucuya konulmuştur. Beton örneklerinin bulunduğu dondurucu içerisindeki sıcaklık ortalama 2-4 saat arasında beton örneklerin bekletileceği sıcaklık derecesine düşmüştür. Beton örnekleri 0°C, -5°C, -10°C, -15°C, -20°C derecelerde 2 gün derin dondurucuda bekletilmiştir. Daha sonra beton örnekler derin dondurucudan çıkarılmış ve oda sıcaklığında su içerisinde bekletilerek kür edilmiştir. 28 gün sonunda örneklere basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. 28 günlük değerlendirme sonunda en iyi basınç değerini sağlayan beton örneklerinde kullanılan antifriz oranı belirlenmiştir.

İkinci aşamada, belirlenen antifriz oranları ile 100x200 mm ebadında beton örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan beton örnekleri ilk aşamada olduğu gibi 2 gün derin dondurucuda bekletildikten sonra beton yaşı 28 gün olana kadar su küründe bekletilmiştir. 28 günden sonra beton örnekleri Mg_2SO_4 , H_2SO_4 , NaCl kimyasalları ile hazırlanan korozif ortamlara ve referans olarak $23\pm 2^\circ C$ ’ de su küründe 120 gün bekletilerek aşağıdaki deneylere tabi tutulmuştur:

- ❖ Görünür boşluk oranı tayini,
- ❖ Su emme oranı tayini,
- ❖ Birim hacim ağırlık tayini,
- ❖ Kapiler su emme miktarı tayini,
- ❖ Geçirimsizlik (impermeabilite) tayini,
- ❖ Yarmada çekme dayanımı tayini,
- ❖ Basınç dayanımı tayini
- ❖ Statik elastisite modülü tayini,
- ❖ Poisson oranı tayini,
- ❖ Donma çözülme dayanımı tayini,
 - Bağlı dinamik elastisite modülü,
 - Dayanıklılık faktörü,

3.2.1. Deney örneklerinin hazırlanması

TS 802’ de belirtilen esaslara göre hazırlanan, 100x200 mm ebadında silindir beton örneklerinin üretiminde kullanılan beton özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir [77].

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan betonun özellikleri

Beton sınıfı	C30
Dmaks	22,4 mm
S/Ç	0,52
Çökme	7 cm
Hava içeriği	%2
Hedef Dayanım	30 MPa

1 m³ beton karışımı için malzeme özellikleri ve karışım oranları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. 1 m³ beton karışımı için malzeme özellikleri ve karışım oranları

Malzeme adı	Tip	Özgül ağırlık (kg/dm ³)	Ağırlık (kg)	Hacim (dm ³)	Agrega oranı (%)
Kırma kum	0-4	2,69	867	322	%46,0
Kırma taş-1	4-11,22	2,71	380	141	%20,0
Kırma taş-2	11,2-22,4	2,74	650	237	%34,0
TOPLAM AGREGA (kg)			1897	700	100,0
Çimento	CEM I 42,5 R	3,09	330	107	Teorik
Kimyasal katkı					birim
(%1)	SA	1,19	3,3	3	ağırlık
Hava				20	(kg/m ³)
Su	Şebeke suyu	1	170	170	
TOPLAM MALZEME (kg)			2400,3	1000	2400,3

3.2.2. Taze beton özelliklerinin tayini

Karıştırma işleminden sonra taze beton örnekleri üzerinde TS 2941’e göre birim hacim ağırlık, TS EN 12350-2’e göre çökme değeri, TS EN 12350-3’e göre Ve-Be ve TS EN 12350-7’e göre hava miktarı belirlenmiştir [78-81].

3.2.3. Karışımlar için en uygun antifriz oranı tayini

Çalışmada her antifriz türü ve her ısı değerinde en uygun antifriz oranını belirlemek için Çizelge 3.5’de belirtilen miktarlardaki beton karışımına %0,5 - %1 - %1,5 ve %2 oranlarında antifriz katılarak 100x200 mm ebadında silindirik beton örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan beton örnekleri üzerinde 28 gün yaşında TS EN 12390-3 standardında belirtilen esaslara uygun olarak basınç dayanımı deneyi yapılmıştır [82].

Beton basınç dayanımının hesaplanmasında:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.1)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.1’de:

f_c = Basınç dayanımı, MPa (N/mm²),

F = Kırılma anında ulaşılan enbüyük yük, N,

A_c = Numunenin, üzerine basınç uygulandığı en kesit alanı, (mm²)

ifade etmektedir [82].

3.2.4. Görünür boşluk oranı tayini

Görünür boşluk oranı (GBO), 100x200 mm ebadında 5 adet silindir beton örnek üzerinde TS 3624’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır [83].

GBO hesaplanmasında:

$$B_0 = \frac{C - A}{C - D} \times 100 \quad (3.2)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.2’de:

B_0 = Görünür Boşluk Oranı, (%),

A = Etüv kurusu ağırlık, (kg),

C = Su içinde kaynatma sonrası suya doymun ağırlığı, (kg),

D = Su içerisindeki ağırlığı, (kg)

ifade etmektedir [83].

3.2.5. Su emme oranı tayini

Su emme oranı (SEO), 100x200 mm ebadında 5 adet silindir beton örnek üzerinde TS 3624’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır [83].

SEO hesaplanmasında:

$$m = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (3.3)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.3’de:

m = Ağırlıkça su emme oranı, (%),

A = Etüv kurusu ağırlık, (kg),

B = Doygun kuru yüzey ağırlığı, (kg)

ifade etmektedir [83].

3.2.6. Birim hacim ağırlık tayini

Birim hacim ağırlık (BHA), 100x200 mm ebadında 5 adet silindir beton örnek üzerinde TS 12390-7’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır [84].

BHA hesaplanmasında:

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.4)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.4’de:

D = Beton örneğin yoğunluğu, (gr/cm³),

m = Beton örneğin, deney esnasında durumuna bağlı kütlesi, (gr),

V = Beton örneğin, özel metotla tayin edilen hacmi, (cm³)

ifade etmektedir [84].

3.2.7. Kapiler su emme miktarı tayini

100x200 mm ebadında 5 adet silindir beton örnek sabit ağırlığa gelinceye kadar 105 ±5°C’de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 5 mm batacak şekilde saf su içerisine yerleştirilmiş ve 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240,

270, 300, 330, 360, 390, 420 dk'lık sürelerde, numunelerin yüzeylerindeki serbest su nemli bir bez ile alınarak, 0,01 gr hassasiyetle tartılarak kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak KSE değerleri belirlenmiştir. KSE tayini TS 4045'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır [85].

KSE miktarı hesaplanmasında:

$$K = \frac{Q^2}{A^2 \cdot t} \quad (3.5)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.5'de:

K = Kapilarite katsayısı, (cm^2/sn),

Q = Kılcallık yoluyla emilen su miktarı, (cm^3),

A = Suyla temas eden alan, (cm^2),

t = Kılcal su emmenin tamamlandığı zamanı, (sn)

ifade etmektedir [85].

3.2.8. Geçirimsizlik (impermeabilite) tayini

TS EN 12390-8' de belirtilen esaslara uygun olarak, 150x150x150 mm boyutlarında hazırlanan 6 adet küp beton örnek, basınçlı suyun uygulanacağı permabilite 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 permabilite derinliği belirlendi [86].

3.2.9. Yarmada çekme dayanımı tayini

Yarmada çekme dayanımı (YÇD) 100x200 mm boyutlarında hazırlanan 5 adet silindirik beton örnek üzerinde TS EN 12390-6 ve ASTM C496-96 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [87, 88].

YÇD hesaplanmasında:

$$f_d = \frac{2F}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (3.6)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.6’da:

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 [87, 88].

3.2.10. Basınç dayanımı tayini

Basınç dayanımı tayini TS EN 12390-3 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [82]. Beton basınç dayanımı hesaplanmasında Eş. 3.1 kullanılmıştır.

3.2.11. Statik elastisite modülü tayini

Statik elastisite modülü tayininde 100x200 mm boyutlarında hazırlanan silindirik beton örnekleri kullanılmıştır. Statik elastisite modülünün hesaplanmasında Sekant yöntemi kullanılmıştır. Gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafiği üzerinde bir ucu 0 noktasında olan diğer ucu ise betonun maksimum gerilme değerinin %40’ına karşılık gelen gerilme değerinde olan doğrunun oluşturduğu eğim elastisite modülünün hesaplanmasında kullanılmıştır [89].

3.2.12. Poisson oranı tayini

Poisson oranı tayininde 100x200 mm boyutlarında hazırlanan silindirik beton örnekleri kullanılmıştır. Beton basınç dayanımı tayin edilirken kaydedilen boyuna ve enine deformasyon değerlerinden yararlanılarak TS 3502 “Betonda Statik Elastisite

Modülü ve Poisson Oranı Tayini“ standardında belirtilen esaslara uygun olarak, poisson oranı belirlenmiştir [90].

Poission oranı hesaplanmasında:

$$\mu = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_\theta} \quad (3.7)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.7’de:

μ = Poisson oranı,

ε_y =Eksenel yük nedeniyle oluşan yanal birim genleşme deformasyonu,

ε_θ = Eksenel yük nedeniyle oluşan eksenel birim kısalma deformasyonu ifade etmektedir [90].

3.2.13. Donma çözülme dayanımı tayini

Donma çözülme dayanımı ASTM C666 Prosedür A’da belirtilen esaslara uygun olarak, 100x200 mm boyutlarında hazırlanan silindir beton örnekleri, ısıyı iyi iletebilen ve suda korozyona uğramayan bir malzemedan yapılmış olan iç çapı 10,6 mm olan numune hücrelerine yerleştirilmiştir. Beton örnekleri her 30 donma çözülme döngüsünde temel enine frekans değişimi kaydedilmiştir. Kaydedilen frekans değişimleri bağıl dinamik elastisite modülü hesaplanmasında kullanılmıştır [91].

Bağıl dinamik elastisite modülü hesaplanmasında:

$$P_c = \frac{n_c^2}{n_0^2} \times 100 \quad (3.8)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.8’de:

P_c = Herhangi bir “c” devirlik, donma - çözülme sonunda numunenin yüzde olarak bağıl dinamik elastisite modülü,

n_0 = Donma – çözülme uygulanmış numunenin başlangıç temel enine frekansı,

n_c = “c” adet donma çözülme döngüsü sonunda numunenin temel enine frekansını ifade etmektedir [91].

Eş. 3.8 ile bulunan bağıl dinamik elastisite modülü, deney örneklerinin ”Dayanıklılık faktörü” hesaplanmasında kullanılmıştır [91].

Dayanıklılık faktörü hesaplanmasında:

$$DF = \frac{PN}{M} \quad (3.9)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Eş. 3.9’da:

DF = Deney örneğinin dayanıklılık faktör,

P = “N” adet devir sayısı bulunan bağıl dinamik elastisite modülü (yüzde olarak),

N = Bağıl dinamik elastisite modülü deneyini bitirmek için P ’nin en az değere düşmesi için gerekecek devir sayısı veya deneyin bitirileceği devir sayısı (hangisi az ise),

M = Deneyin bitirileceği belirtilen devir sayısını,

ifade etmektedir [91].

3.2.14. İstatistik metotlar

Çalışmadan elde edilecek deney sonuçları üzerinde ortalamalar arasında fark olup olmadığı varyans analizi tekniği ile belirlenip, fark bulunan gruplarda farklılığın hangi gruplar arasında olduğunu belirlemek için çoklu karşılaştırma testleri kullanılmıştır. Ayrıca verilerin daha iyi değerlendirilmesi için çubuk (bar) grafikleri kullanılmıştır.

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Taze Beton Özellikleri

%30KN+%5HEA içerikli antifriz, KN içerikli antifriz ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA, çökme, Ve-Be ve hava miktarı değerleri Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Taze beton özellikleri

Antifriz türü	Antifriz Oranı (%)	BHA (kg/m ³)	Çökme (mm)	Ve-Be (sn)	Havamiktarı (%)
%30KN+%5HEA	0,5	2384,5	80	10	1,9
	1	2390,1	95	8	2,1
	1,5	2395,3	100	4	2,3
	2	2399,6	115	3	2,4
KN	0,5	2383,3	70	12	2,1
	1	2384	80	10	2,2
	1,5	2386,9	95	5	2,4
	2	2391,2	100	4	2,6
PHA	0,5	2383,9	80	11	2
	1	2388,7	90	10	2,2
	1,5	2394,3	105	5	2,3
	2	2397,5	110	3	2,4

Çizelge 4.1 incelendiğinde BHA’ları arasında benzerlik görülmektedir. Antifriz miktarının artışına bağlı olarak çökme değerinin arttığı gözlenmiştir. Çökme değerlerindeki artışa bağlı olarak Ve-Be değerleride düşmektedir. Taze betonun hava miktarı antifriz miktarının artışı ile artmaktadır.

4.2. Karışımlar İçin En Uygun Antifriz Oranı

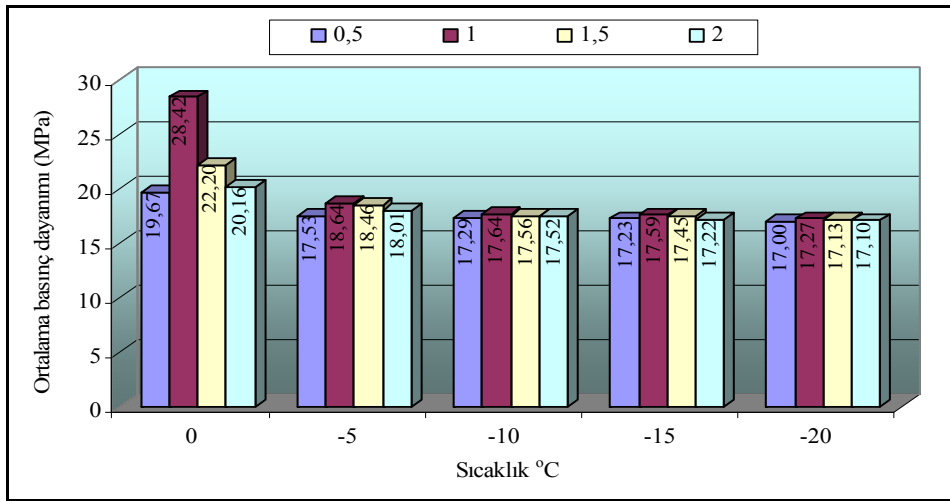
Deneysel çalışmalar sonucunda 3 farklı antifriz türünde, farklı antifriz katkı oranlarındaki ve farklı priz sıcaklıklarına maruz kalan taze beton örneklerin 28 günlük basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.2’de, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.3’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait

açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.4’de verilmiştir. Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanım değerlerine ait grafik Şekil 4.1’de, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanım değerlerine ait grafik Şekil 4.2’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanım değerlerine ait grafik Şekil 4.3’de görülmektedir.

Çizelge 4.2. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Antifriz Oranı (%)	N	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Std. sapma	Std. hata	En küçük	En büyük
0	0,5	3	19,67	0,9209	0,5317	18,77	20,61
	1	3	28,42	0,9279	0,5357	27,72	29,47
	1,5	3	22,20	0,3759	0,2170	21,81	22,56
	2	3	20,16	5,0195	2,8980	15,57	25,52
-5	0,5	3	17,53	0,2329	0,1345	17,26	17,69
	1	3	18,64	0,7526	0,4345	17,96	19,45
	1,5	3	18,46	0,2173	0,1255	18,30	18,71
	2	3	18,01	0,2957	0,1707	17,73	18,32
-10	0,5	3	17,29	0,1716	0,0991	17,13	17,47
	1	3	17,64	0,1900	0,1097	17,48	17,85
	1,5	3	17,56	0,1457	0,0841	17,42	17,71
	2	3	17,52	0,3020	0,1744	17,24	17,84
-15	0,5	3	17,23	0,1914	0,1105	17,02	17,39
	1	3	17,59	0,1861	0,1075	17,42	17,79
	1,5	3	17,45	0,2750	0,1588	17,15	17,69
	2	3	17,22	0,0500	0,0289	17,17	17,27
-20	0,5	3	17,00	0,2237	0,1291	16,76	17,20
	1	3	17,27	0,8305	0,4795	16,32	17,84
	1,5	3	17,13	0,1450	0,0837	16,99	17,28
	2	3	17,10	0,1550	0,0895	16,94	17,25

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve antifriz oranı değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.1 incelendiğinde 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örnekleri bütün antifriz ortamlarında en büyük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örnekleri bütün antifriz ortamlarında en küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bütün ısı değerlerinde %1 antifriz katkı miktarının en iyi basınç dayanımını sağladığı görülmektedir.

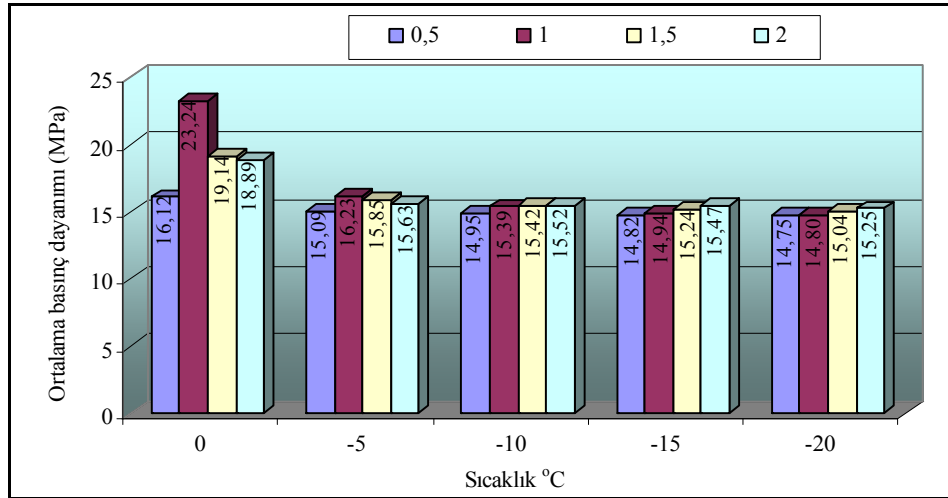
Çizelge 4.3. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Antifriz oranı (%)	N	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Std. sapma	Std. hata	En küçük	En büyük
0	0,5	3	16,12	0,1960	0,1132	15,94	16,33
	1	3	23,24	0,4045	0,2336	22,93	23,70
	1,5	3	19,14	0,3927	0,2267	18,78	19,56
	2	3	18,89	0,2346	0,1354	18,63	19,08
-5	0,5	3	15,09	0,2483	0,1433	14,95	15,38
	1	3	16,23	0,1222	0,0706	16,12	16,36
	1,5	3	15,85	0,3208	0,1852	15,48	16,05
	2	3	15,63	0,4300	0,2483	15,15	15,98
-10	0,5	3	14,95	0,1350	0,0780	14,82	15,09
	1	3	15,39	0,0702	0,0406	15,32	15,46
	1,5	3	15,42	0,1375	0,0794	15,27	15,54
	2	3	15,52	0,2558	0,1477	15,28	15,79

Çizelge 4.3 (Devam). KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Antifriz oranı (%)	N	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Std. sapma	Std. hata	En küçük	En büyük
-15	0,5	3	14,82	0,1150	0,0664	14,70	14,93
	1	3	14,94	0,1401	0,0809	14,80	15,08
	1,5	3	15,24	0,1358	0,0784	15,10	15,37
	2	3	15,47	0,2237	0,1291	15,27	15,71
-20	0,5	3	14,75	0,5468	0,3157	14,14	15,19
	1	3	14,80	0,3928	0,2268	14,46	15,23
	1,5	3	15,04	0,3341	0,1929	14,74	15,40
	2	3	15,25	0,1300	0,0751	15,12	15,38

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve antifriz oranı değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri

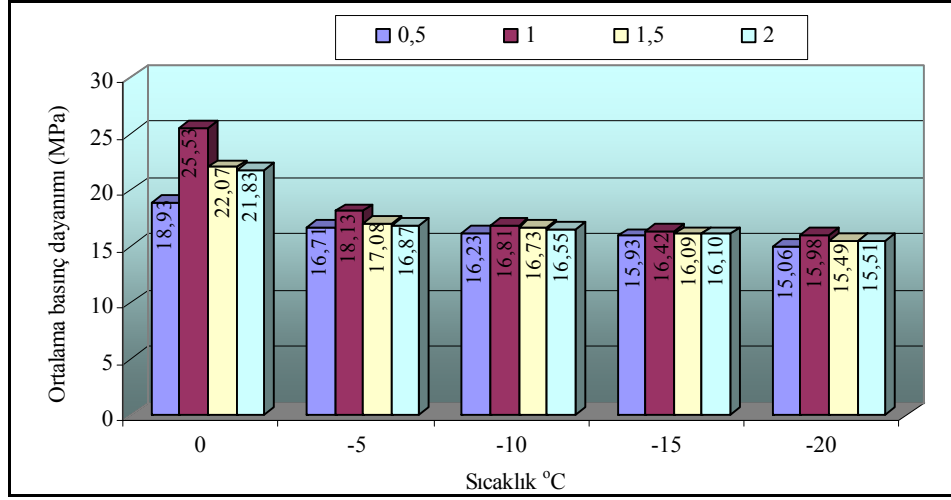
Şekil 4.2 incelendiğinde 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örnekleri bütün antifriz ortamlarında en büyük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örnekleri bütün antifriz ortamlarında en küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. 0°C ve -5°C sıcaklıkta kür edilen beton örneklerin basınç dayanımı değerlerinde %1 antifriz katkı miktarı en iyi basınç dayanımını sağladığı, -10°C, -15°C, -20°C sıcaklıkta kür

edilen beton örneklerin basınç dayanımı değerlerinde %2 antifriz katkı miktarının en iyi basınç dayanımını sağladığı görülmektedir.

Çizelge 4.4. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Antifriz Oranı (%)	N	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Std. sapma	Std. hata	En küçük	En büyük
0	0,5	3	18,93	0,4553	0,2629	18,52	19,42
	1	3	25,53	0,1450	0,0837	25,39	25,68
	1,5	3	22,07	0,3027	0,1747	21,83	22,41
	2	3	21,83	0,1473	0,0851	21,70	21,99
-5	0,5	3	16,71	0,1400	0,0808	16,57	16,85
	1	3	18,13	0,1212	0,0700	18,02	18,26
	1,5	3	17,08	0,4974	0,2872	16,56	17,55
	2	3	16,87	0,1212	0,0700	16,76	17,00
-10	0,5	3	16,23	0,1312	0,0757	16,09	16,35
	1	3	16,81	0,1900	0,1097	16,62	17,00
	1,5	3	16,73	0,2098	0,1212	16,57	16,97
	2	3	16,55	0,1818	0,1049	16,35	16,70
-15	0,5	3	15,93	0,0929	0,0536	15,82	15,99
	1	3	16,42	0,2163	0,1249	16,18	16,60
	1,5	3	16,09	0,4900	0,2829	15,54	16,48
	2	3	16,10	0,0551	0,0318	16,04	16,15
-20	0,5	3	15,06	0,0950	0,0549	14,97	15,16
	1	3	15,98	0,1900	0,1097	15,82	16,19
	1,5	3	15,49	0,2000	0,1155	15,29	15,69
	2	3	15,51	0,1201	0,0694	15,39	15,63

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve antifriz oranı değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.3. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.3 incelendiğinde 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örnekleri bütün antifriz ortamlarında en büyük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örnekleri bütün antifriz ortamlarında en küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bütün ısı değerlerinde %1 antifriz katkı miktarının en iyi basınç dayanımını sağladığı görülmektedir.

Sonuç olarak:

Sıcaklık dereceleri ve antifriz oranına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri KN ve PHA içerikli antifriz katkılı betonlardan daha büyük olduğu görülmüştür. Sıcaklık ve antifriz türüne göre seçilen antifriz oranları Çizelge 4.5’de görülmektedir. Antifriz kullanım oranları antifriz türü ve kullanılacağı sıcaklığa bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.5. Sıcaklık değerleri ve antifriz türüne göre en uygun antifriz oranı

Antifriz türü	Sıcaklık (°C)				
	0	-5	-10	-15	-20
%30KN+%5HEA	%1	%1	%1	%1	%1
KN	%1	%1	%2	%2	%2
PHA	%1	%1	%1	%1	%1

0°C sıcaklıkta antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımlarının hedef dayanıma göre ortalama %90 oranında basınç dayanımına ulaştığı görülmüştür. -5, -10, -15 ve -20°C sıcaklıklarda ise ortalama %55 oranındadır ve antifrizin etkisini düşmektedir. Düşük sıcaklık değerlerinde betonun iç ısısı düştüğü ve hidratasyonun durduğu, fakat betonun oda sıcaklığında bekletilmesi ile hidratasyon tekrar başlamaktadır.

4.3. Görünür Boşluk Oranı

GBO tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.6’da, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.7’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.8’de verilmiştir.

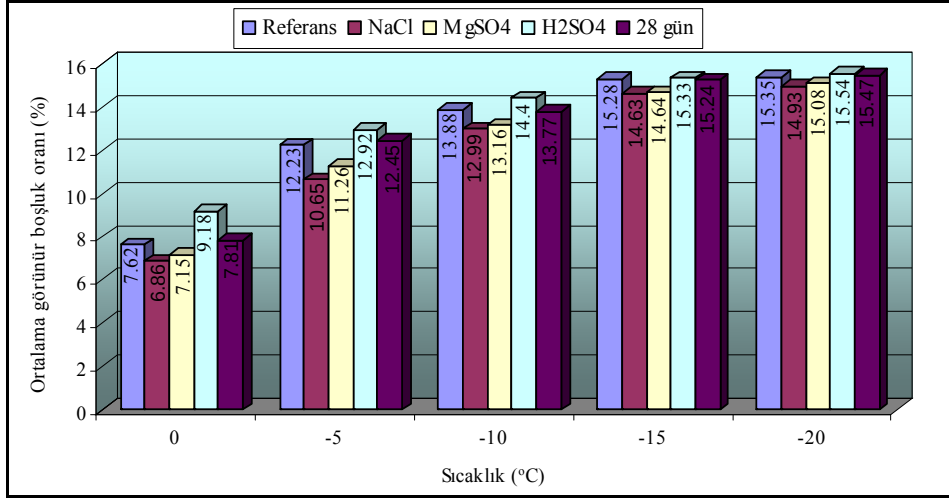
Sıcaklık faktörünün 5 seviyesi (0, -5, -10, -15 ve -20°C) ve kür faktörünün 5 seviyesinde (28 günlük su kürü, H₂SO₄, MgSO₄, NaCl, Referans “120 günlük su kürü”) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda sıcaklık ve kür faktörlerinin GBO değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p < 0,01$).

Diğer taraftan sıcaklık ve kür interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p < 0,01$) (Çizelge 4.9). Sıcaklık ve kür faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.10-12). Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama GBO değerlerine ait grafik Şekil 4.4’de, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama GBO değerlerine ait grafik Şekil 4.5’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama GBO değerlerine ait grafik Şekil 4.6’da görülmektedir.

Çizelge 4.6. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama GBO (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	7,62	0,0487	7,54	7,67	0,00
	NaCl	5	6,86	0,0666	6,78	6,96	-10,00
	MgSO ₄	5	7,15	0,0367	7,12	7,21	-6,20
	H ₂ SO ₄	5	9,18	0,1078	9,04	9,33	20,50
	28 gün	5	7,81	0,0503	7,73	7,87	2,50
-5	Referans	5	12,23	0,0573	12,15	12,29	0,00
	NaCl	5	10,65	0,0522	10,6	10,72	-12,90
	MgSO ₄	5	11,26	0,0712	11,17	11,32	-7,90
	H ₂ SO ₄	5	12,92	0,0581	12,84	12,98	5,60
	28 gün	5	12,45	0,0335	12,41	12,49	1,80
-10	Referans	5	13,88	0,0534	13,82	13,94	0,00
	NaCl	5	12,99	0,0823	12,9	13,08	-6,40
	MgSO ₄	5	13,16	0,0760	13,07	13,28	-5,20
	H ₂ SO ₄	5	14,4	0,0680	14,32	14,46	3,70
	28 gün	5	13,77	0,0460	13,73	13,85	-0,80
-15	Referans	5	15,28	0,1182	15,14	15,39	0,00
	NaCl	5	14,63	0,0427	14,58	14,69	-4,30
	MgSO ₄	5	14,64	0,0370	14,6	14,69	-4,20
	H ₂ SO ₄	5	15,33	0,0932	15,2	15,46	0,30
	28 gün	5	15,24	0,0773	15,17	15,37	-0,30
-20	Referans	5	15,35	0,0691	15,28	15,44	0,00
	NaCl	5	14,93	0,1126	14,75	15,04	-2,70
	MgSO ₄	5	15,08	0,0342	15,03	15,11	-1,80
	H ₂ SO ₄	5	15,54	0,0606	15,47	15,63	1,20
	28 gün	5	15,47	0,0451	15,42	15,53	0,80

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama GBO sonuçlarına ait grafik Şekil 4.4’de görülmektedir.



Şekil 4.4. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama GBO değerleri

Şekil 4.4 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin GBO değerlerinin bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin GBO değerleri bütün kür ortamlarında en küçük GBO değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde GBO diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

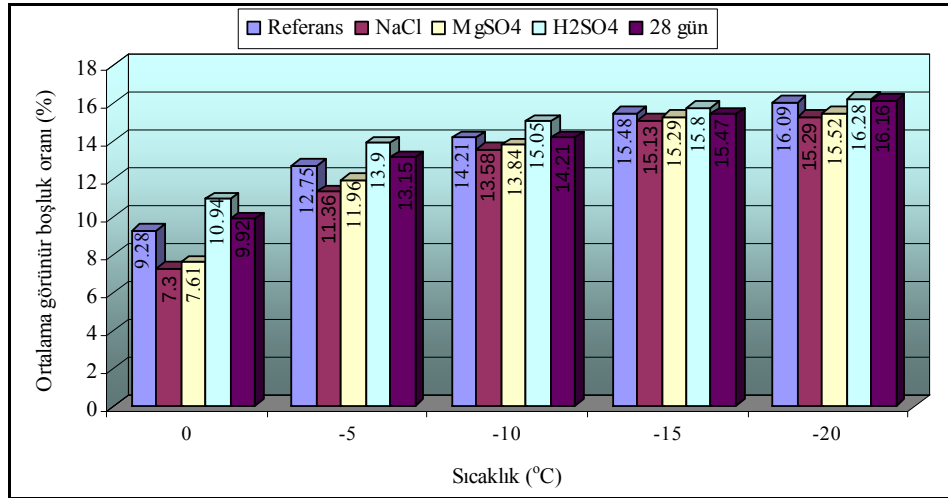
Çizelge 4.7. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Kür ortamı	N	Ortalama görünür boşluk oranı (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	9,28	0,0744	9,19	9,34	0,00
	NaCl	5	7,3	0,0444	7,26	7,36	-21,30
	MgSO ₄	5	7,61	0,0179	7,58	7,63	-18,00
	H ₂ SO ₄	5	10,94	0,0295	10,9	10,97	17,90
	28 gün	5	9,92	0,0718	9,82	9,99	6,90
-5	Referans	5	12,75	0,0513	12,7	12,81	0,00
	NaCl	5	11,36	0,1038	11,21	11,5	-10,90
	MgSO ₄	5	11,96	0,0689	11,87	12,04	-6,20
	H ₂ SO ₄	5	13,9	0,1081	13,78	14,06	9,00
	28 gün	5	13,15	0,023	13,13	13,19	3,10
-10	Referans	5	14,21	0,0385	14,18	14,26	0,00
	NaCl	5	13,58	0,0644	13,50	13,66	-4,40
	MgSO ₄	5	13,84	0,0614	13,78	13,93	-2,60

Çizelge 4.7 (Devam). KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama GBO (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-10	H ₂ SO ₄	5	15,05	0,0456	14,98	15,10	5,90
	28 gün	5	14,21	0,0497	14,15	14,26	0,00
-15	Referans	5	15,48	0,0505	15,42	15,55	0,00
	NaCl	5	15,13	0,0796	15,04	15,25	-2,30
	MgSO ₄	5	15,29	0,0434	15,24	15,34	-1,20
	H ₂ SO ₄	5	15,8	0,102	15,68	15,9	2,10
	28 gün	5	15,47	0,0914	15,37	15,57	-0,10
-20	Referans	5	16,09	0,0999	15,96	16,21	0,00
	NaCl	5	15,29	0,0455	15,25	15,37	-5,00
	MgSO ₄	5	15,52	0,0539	15,44	15,59	-3,50
	H ₂ SO ₄	5	16,28	0,0447	16,22	16,33	1,20
	28 gün	5	16,16	0,041	16,12	16,2	0,40

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama GBO sonuçlarına ait grafik Şekil 4.5’de görülmektedir.



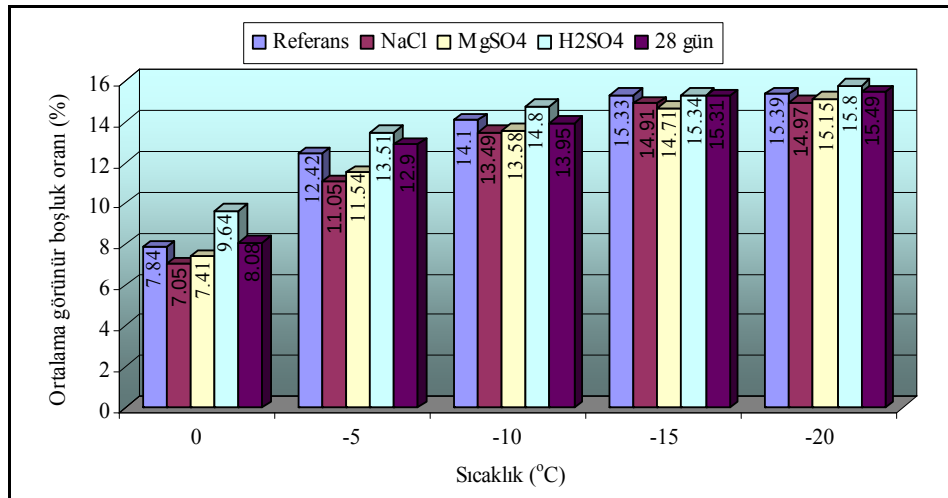
Şekil 4.5. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama GBO değerleri

Şekil 4.5 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin GBO değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin GBO değerleri bütün kür ortamlarında en küçük GBO değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde GBO diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.8. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama GBO (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	7,84	0,0713	7,77	7,93	0,00
	NaCl	5	7,05	0,0577	6,98	7,11	-10,10
	MgSO ₄	5	7,41	0,0606	7,35	7,5	-5,50
	H ₂ SO ₄	5	9,64	0,013	9,62	9,65	23,00
	28 gün	5	8,08	0,0391	8,01	8,11	3,10
-5	Referans	5	12,42	0,0526	12,36	12,47	0,00
	NaCl	5	11,05	0,0723	10,96	11,13	-11,00
	MgSO ₄	5	11,54	0,0579	11,48	11,62	-7,10
	H ₂ SO ₄	5	13,51	0,0634	13,47	13,62	8,80
	28 gün	5	12,9	0,0487	12,84	12,95	3,90
-10	Referans	5	14,1	0,0841	14,01	14,19	0,00
	NaCl	5	13,49	0,0683	13,38	13,56	-4,30
	MgSO ₄	5	13,58	0,0406	13,52	13,62	-3,70
	H ₂ SO ₄	5	14,8	0,0886	14,7	14,9	5,00
	28 gün	5	13,95	0,0904	13,82	14,03	-1,10
-15	Referans	5	15,33	0,0797	15,23	15,44	0,00
	NaCl	5	14,91	0,0658	14,84	14,99	-2,70
	MgSO ₄	5	14,71	0,0543	14,66	14,79	-4,00
	H ₂ SO ₄	5	15,34	0,0472	15,29	15,4	0,10
	28 gün	5	15,31	0,0918	15,2	15,41	-0,10
-20	Referans	5	15,39	0,0823	15,28	15,51	0,00
	NaCl	5	14,97	0,0682	14,87	15,05	-2,70
	MgSO ₄	5	15,15	0,0619	15,06	15,22	-1,60
	H ₂ SO ₄	5	15,8	0,0316	15,75	15,83	2,70
	28 gün	5	15,49	0,0332	15,46	15,53	0,60

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama GBO sonuçlarına ait grafik Şekil 4.6’da görülmektedir.



Şekil 4.6. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama GBO değerleri

Şekil 4.6 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin GBO değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin GBO değerleri bütün kür ortamlarında en küçük GBO değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde GBO diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır. Elde edilen GBO değerlerinin taze betonun maruz kaldığı sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin önem derecesini belirleyebilmek amacıyla her bir katkı türünde iki faktörlü (sıcaklık ve kür) varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre her antifriz türünde 2’li interaksiyon yani sıcaklık*kür interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P=0,000$). Diğer bir ifadeyle GBO değerlerinin hem sıcaklık hem de kür ortamına bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.9. GBO değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları

Antifriz türü	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
%30KN+%5HEA	Sıcaklık	958,058	4	239,515	51552,843	0,000
	Kür	33,911	4	8,478	1824,751	0,000
	Sıcaklık* Kür	9,596	16	0,600	129,086	0,000
	Hata	0,465	100	0,005		
	Toplam	21203,940	125			
KN	Sıcaklık	767,711	4	191,928	45146,731	0,000
	Kür	55,549	4	13,887	3266,667	0,000
	Sıcaklık * Kür	23,068	16	1,442	339,145	0,000
	Hata	0,425	100	0,004		
	Toplam	23366,588	125			
PHA	Sıcaklık	912,932	4	228,233	55623,170	0,000
	Kür	36,252	4	9,063	2208,763	0,000
	Sıcaklık * Kür	12,716	16	0,795	193,686	0,000
	Hata	0,410	100	0,004		
	Toplam	21927,972	125			

Her bir antifriz türünde elde edilen GBO değerlerinin sıcaklık ve kür ortamına bağlı olarak beton türlerinin bir birleri arasında farklı olup olmadığını belirleyebilmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Elde edilen Duncan testi sonuçları %30KN+%5HEA içerikli antifriz için Çizelge 4.10’da, KN içerikli antifriz için Çizelge 4.11’de, PHA içerikli antifriz için ise Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.10. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin GBO değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Görünür boşluk oranı (%) ($\alpha=0,05$)																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0°C / NaCl	5	6,86																			
0°C / MgSO ₄	5		7,15																		
0°C / Referans	5			7,62																	
0°C / 28 gün	5				7,81																
0°C / H ₂ SO ₄	5					9,18															
-5 °C / NaCl	5						10,65														
-5 °C / MgSO ₄	5							11,26													
-5 °C / Referans	5								12,23												
-5 °C / 28 gün	5									12,45											
-5 °C / H ₂ SO ₄	5										12,92										
-10°C / NaCl	5										12,99										
-10°C / MgSO ₄	5											13,16									
-10°C / 28 gün	5												13,77								
-10°C / Referans	5													13,88							
-10°C / H ₂ SO ₄	5														14,40						
-15°C / NaCl	5															14,63					
-15°C / MgSO ₄	5															14,64					
-20°C / NaCl	5																14,93				
-20°C / MgSO ₄	5																	15,08			
-15°C / 28 gün	5																		15,24		
-15°C / Referans	5																		15,28	15,28	
-15°C / H ₂ SO ₄	5																			15,33	
-20°C / Referans	5																			15,35	
-20°C / 28 gün	5																				15,47
-20°C / H ₂ SO ₄	5																				15,54

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %6,86 ile en küçük GBO değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise %15,54 ile en büyük GBO değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama GBO, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %6,86, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %10,65, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %12,99, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %14,63, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %14,93 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama GBO, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %15,54, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %15,33, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %14,40, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %12,92, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %9,18 olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük GBO değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük GBO değerlerine sahip olduğu,
- -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki beton örnekler, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz kalan beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -20°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %25 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %18 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %10 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %5 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %4 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek GBO'ya sahip -20°C sıcaklık H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en düşük GBO'ya sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklere göre %56 oranında daha büyük GBO'ya sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.11. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin GBO değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Görünür boşluk oranı (%) ($\alpha=0,05$)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0°C / NaCl	5	7,30																	
0°C / MgSO ₄	5		7,61																
0°C / Referans	5			9,28															
0°C / 28 gün	5				9,92														
0°C / H ₂ SO ₄	5					10,94													
-5 °C / NaCl	5						11,36												
-5 °C / MgSO ₄	5							11,96											
-5 °C / Referans	5								12,75										
-5 °C / 28 gün	5									13,15									
-10°C / NaCl	5										13,58								
-10°C / MgSO ₄	5											13,84							
-5 °C / H ₂ SO ₄	5											13,90							
-10°C / 28 gün	5												14,21						
-10°C / Referans	5												14,21						
-10°C / H ₂ SO ₄	5													15,05					
-15°C / NaCl	5													15,13					
-15°C / MgSO ₄	5														15,29				
-20°C / NaCl	5														15,29				
-15°C / 28 gün	5															15,47			
-15°C / Referans	5															15,48			
-20°C / MgSO ₄	5															15,52			
-15°C / H ₂ SO ₄	5																15,80		
-20°C / Referans	5																	16,09	
-20°C / 28 gün	5																	16,16	
-20°C / H ₂ SO ₄	5																		16,28

KN içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %7,30 ile en küçük GBO değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise %16,28 ile en büyük GBO değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama GBO, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %7,30, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %11,36, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %13,58, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %15,13, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %15,29 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama GBO, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %16,28, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %15,80, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %15,05, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %13,90, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %10,94 olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük GBO değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük GBO değerlerine sahip olduğu,
- -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -15°C sıcaklık ve 28 küründeki beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz kalan beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük GBO'ya sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %33 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük GBO'ya sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %18 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük GBO'ya sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %10 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük GBO'ya sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %4 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük GBO'ya sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %6 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek GBO'ya sahip -20°C sıcaklık H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en düşük GBO'ya sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklere göre %64,78 oranında daha büyük GBO'ya sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.12. PHA içerikli antifriz kullanılan beton örneklerin GBO değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Görünür boşluk oranı (%) ($\alpha=0,05$)																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0°C / NaCl	5	7,05																			
0°C / MgSO ₄	5		7,41																		
0°C / Referans	5			7,84																	
0°C / 28 gün	5				8,08																
0°C / H ₂ SO ₄	5					9,64															
-5 °C / NaCl	5						11,05														
-5 °C / MgSO ₄	5							11,54													
-5 °C / Referans	5								12,42												
-5 °C / 28 gün	5									12,9											
-10°C / NaCl	5										13,49										
-5 °C / H ₂ SO ₄	5										13,51	13,51									
-10°C / MgSO ₄	5											13,58									
-10°C / 28 gün	5												13,95								
-10°C / Referans	5													14,1							
-15°C / MgSO ₄	5														14,71						
-10°C / H ₂ SO ₄	5															14,8					
-15°C / NaCl	5																14,91				
-20°C / NaCl	5																14,97				
-20°C / MgSO ₄	5																	15,15			
-15°C / 28 gün	5																		15,31		
-15°C / Referans	5																		15,33		
-15°C / H ₂ SO ₄	5																		15,34		
-20°C / Referans	5																		15,39		
-20°C / 28 gün	5																			15,49	
-20°C / H ₂ SO ₄	5																				15,8

PHA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %7,05 ile en küçük GBO değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise %15,80 ile en büyük GBO değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama GBO, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %7,05, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %11,05, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %13,49, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %14,91, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %14,97 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama GBO, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %15,80, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %15,34, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %14,80, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %13,51, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %9,64 olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük GBO değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük GBO değerlerine sahip olduğu,
- -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler, -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin GBO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- 0°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %27 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %18 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %9 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %3 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük GBO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük GBO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %5 daha büyük GBO'ya sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek GBO'ya sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en düşük GBO'ya sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklere göre %55,38 oranında daha büyük GBO'ya sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak:

Beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklık değeri düşüşüne bağlı olarak GBO'nun arttığı görülmüştür. Betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düşüşüne paralel olarak oluşan buzun hacminin arttığı ve buzun çözülmesiyle birlikte buzun kapladığı hacim beton içerisinde boşluk olarak kaldığı düşünülmektedir. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %5 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %1 oranında daha küçük GBO'ya sahip olduğu görülmüştür. Korozif ortam değerlendirmesine göre NaCl etkisine maruz beton örneklerin en düşük GBO'ya sahip olduğu, H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin en büyük GBO'ya sahip olduğu görülmektedir. NaCl etkisindeki beton örneklerin boşluklarının tuz kristalleri ile

dolduğu ve GBO'nun düştüğü, H_2SO_4 etkisindeki beton örneklerin GBO'ların asit etkisi ile arttığı düşünülmektedir.

4.4. Su Emme Oranı

Su emme deneyi sonucuna göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.13'de, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.14'de, Polihidroksi amin içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.15'de verilmiştir.

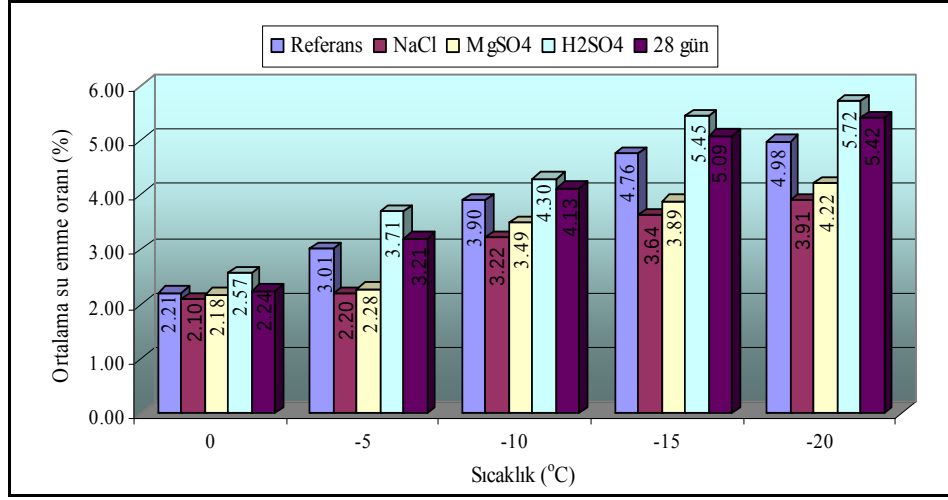
Sıcaklık faktörünün 5 seviyesi (0, -5, -10, -15 ve -20°C) ve kür faktörünün 5 seviyesinde (28 günlük su kuru, H_2SO_4 , $MgSO_4$, NaCl, Referans "120 günlük su kuru") gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda sıcaklık ve kür faktörlerinin SEO değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,01$).

Diğer taraftan sıcaklık ve kür interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,01$) (Çizelge 4.16). Sıcaklık ve kür faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.17-19). Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama SEO değerlerine ait grafik Şekil 4.7'de, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama SEO değerlerine ait grafik Şekil 4.8'de, PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama SEO değerlerine ait grafik Şekil 4.9'da görülmektedir.

Çizelge 4.13. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama SEO (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	2,21	0,0224	2,18	2,24	0,00
	NaCl	5	2,1	0,0134	2,09	2,12	-5,00
	MgSO ₄	5	2,18	0,0179	2,16	2,2	-1,40
	H ₂ SO ₄	5	2,57	0,0084	2,56	2,58	16,30
	28 gün	5	2,24	0,0084	2,23	2,25	1,40
-5	Referans	5	3,01	0,0205	2,99	3,03	0,00
	NaCl	5	2,2	0,0158	2,18	2,22	-26,90
	MgSO ₄	5	2,28	0,0179	2,26	2,3	-24,30
	H ₂ SO ₄	5	3,71	0,0084	3,7	3,72	23,30
	28 gün	5	3,21	0,0084	3,2	3,22	6,60
-10	Referans	5	3,9	0,0158	3,88	3,92	0,00
	NaCl	5	3,22	0,0158	3,2	3,24	-17,40
	MgSO ₄	5	3,49	0,0224	3,46	3,52	-10,50
	H ₂ SO ₄	5	4,3	0,011	4,29	4,31	10,30
	28 gün	5	4,13	0,0084	4,12	4,14	5,90
-15	Referans	5	4,76	0,0158	4,74	4,78	0,00
	NaCl	5	3,64	0,0158	3,62	3,66	-23,50
	MgSO ₄	5	3,89	0,0158	3,87	3,91	-18,30
	H ₂ SO ₄	5	5,45	0,0152	5,43	5,47	14,50
	28 gün	5	5,09	0,01	5,08	5,1	6,90
-20	Referans	5	4,98	0,01	4,97	4,99	0,00
	NaCl	5	3,91	0,013	3,89	3,92	-21,50
	MgSO ₄	5	4,22	0,0179	4,2	4,24	-15,30
	H ₂ SO ₄	5	5,72	0,0239	5,69	5,75	14,90
	28 gün	5	5,42	0,0084	5,41	5,43	8,80

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama su emme sonuçlarına ait grafik Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.7. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerde ortalama SEO değerleri

Şekil 4.7 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin SEO değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin SEO değerleri bütün kür ortamlarında en küçük SEO değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde SEO değeri diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

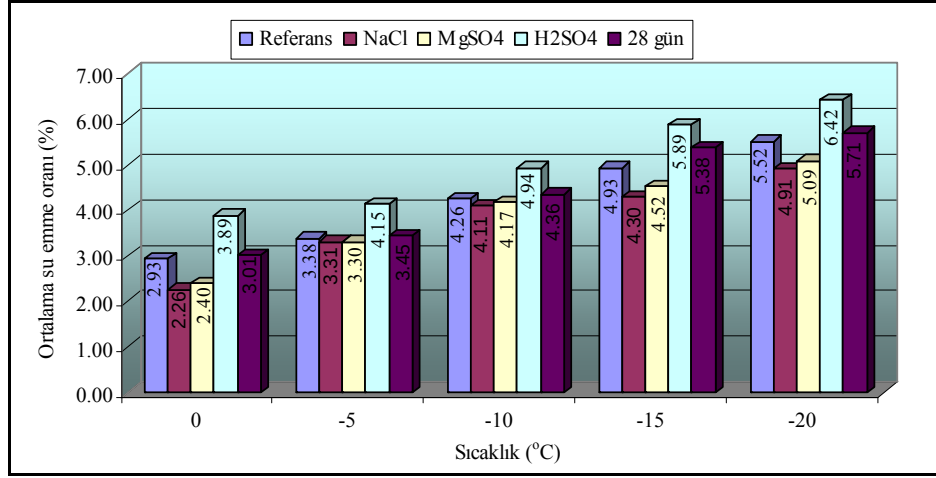
Çizelge 4.14. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Kür ortamı	N	Ortalama SEO (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	2,93	0,0205	2,91	2,95	0,00
	NaCl	5	2,26	0,0182	2,24	2,28	-22,90
	MgSO ₄	5	2,40	0,0100	2,39	2,41	-18,10
	H ₂ SO ₄	5	3,89	0,0084	3,88	3,90	32,80
	28 gün	5	3,01	0,0100	3,00	3,02	2,70
-5	Referans	5	3,38	0,0205	3,36	3,40	0,00
	NaCl	5	3,31	0,0259	3,28	3,34	-2,10
	MgSO ₄	5	3,30	0,0235	3,27	3,32	-2,40
	H ₂ SO ₄	5	4,15	0,0179	4,13	4,17	22,80
	28 gün	5	3,45	0,0084	3,44	3,46	2,10
-10	Referans	5	4,26	0,0134	4,25	4,28	0,00
	NaCl	5	4,11	0,0239	4,08	4,14	-3,50
	MgSO ₄	5	4,17	0,0158	4,15	4,19	-2,10
	H ₂ SO ₄	5	4,94	0,0179	4,92	4,96	16,00
	28 gün	5	4,36	0,0084	4,35	4,37	2,30

Çizelge 4.14 (Devam). KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama SEO (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-15	Referans	5	4,93	0,0179	4,91	4,95	0,00
	NaCl	5	4,30	0,0158	4,28	4,32	-12,80
	MgSO ₄	5	4,52	0,0303	4,49	4,55	-8,30
	H ₂ SO ₄	5	5,89	0,0192	5,87	5,92	19,50
	28 gün	5	5,38	0,0084	5,37	5,39	9,10
-20	Referans	5	5,52	0,0182	5,50	5,54	0,00
	NaCl	5	4,91	0,0130	4,89	4,92	-11,10
	MgSO ₄	5	5,09	0,0182	5,07	5,11	-7,80
	H ₂ SO ₄	5	6,42	0,0259	6,39	6,45	16,30
	28 gün	5	5,71	0,0084	5,70	5,72	3,40

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama su emme sonuçlarına ait grafik Şekil 4.8’de görülmektedir.



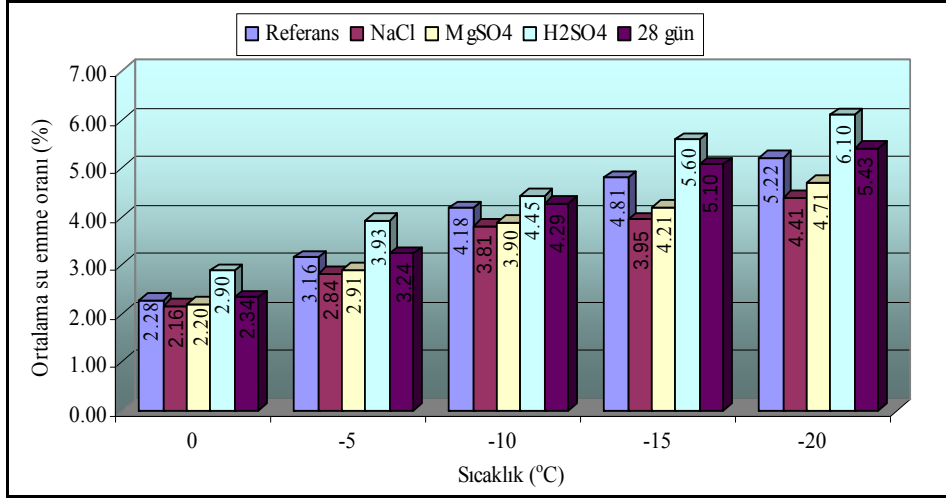
Şekil 4.8. KN antifrizi katkılı beton örneklerde ortalama SEO değerleri

Şekil 4.8 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin SEO değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin SEO değerleri bütün kür ortamlarında en küçük SEO değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde SEO değeri diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.15. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama SEO (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	2,28	0,0158	2,26	2,30	0,00
	NaCl	5	2,16	0,0114	2,15	2,18	-5,30
	MgSO ₄	5	2,20	0,0228	2,17	2,23	-3,50
	H ₂ SO ₄	5	2,90	0,0224	2,87	2,93	27,20
	28 gün	5	2,34	0,0158	2,32	2,36	2,60
-5	Referans	5	3,16	0,0134	3,14	3,17	0,00
	NaCl	5	2,84	0,0167	2,83	2,87	-10,10
	MgSO ₄	5	2,91	0,0164	2,89	2,93	-7,90
	H ₂ SO ₄	5	3,93	0,0100	3,92	3,94	24,40
	28 gün	5	3,24	0,0089	3,23	3,25	2,50
-10	Referans	5	4,18	0,0255	4,15	4,21	0,00
	NaCl	5	3,81	0,0158	3,79	3,83	-8,90
	MgSO ₄	5	3,90	0,0158	3,88	3,92	-6,70
	H ₂ SO ₄	5	4,45	0,0182	4,43	4,47	6,50
	28 gün	5	4,29	0,0084	4,28	4,30	2,60
-15	Referans	5	4,81	0,0148	4,79	4,83	0,00
	NaCl	5	3,95	0,0158	3,93	3,97	-17,90
	MgSO ₄	5	4,21	0,0130	4,20	4,23	-12,50
	H ₂ SO ₄	5	5,60	0,0239	5,57	5,63	16,40
	28 gün	5	5,10	0,0152	5,08	5,12	6,00
-20	Referans	5	5,22	0,0239	5,19	5,25	0,00
	NaCl	5	4,41	0,0164	4,39	4,43	-15,50
	MgSO ₄	5	4,71	0,0130	4,69	4,72	-9,80
	H ₂ SO ₄	5	6,10	0,0130	6,08	6,11	16,90
	28 gün	5	5,43	0,0084	5,42	5,44	4,00

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama su emme sonuçlarına ait grafik Şekil 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.9. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama SEO değerleri

Şekil 4.9 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin SEO değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin SEO değerleri bütün kür ortamlarında en küçük SEO değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde SEO değeri diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

Elde edilen SEO değerlerinin taze betonun maruz kaldığı sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin önem derecesini belirleyebilmek amacıyla her bir katkı türünde iki faktörlü (sıcaklık ve kür) varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre her antifriz türünde 2’li interaksiyon yani sıcaklık*kür interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P=0,000$). Diğer bir ifadeyle SEO değerlerinin hem sıcaklık hem de kür ortamına bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.16. SEO değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları

Antifriz türü	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
%30Kn + %5Hea	Sıcaklık	120,38	4	30,09	130396,641	0,000
	Kür	30,86	4	7,72	33427,490	0,000
	Sıcaklık * Kür interaksyonu	5,96	16	0,37	1615,099	0,000
	Hata	0,02	100	0,000		
	Toplam	1843,85	125			
KN	Sıcaklık	114,59	4	28,65	90198,901	0,000
	Kür	25,54	4	6,39	20106,369	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	2,89	16	0,18	569,074	0,000
	Hata	0,03	100	0,000		
	Toplam	2415,68	125			
PHA	Sıcaklık	128,89	4	32,22	118465,569	0,000
	Kür	20,68	4	5,17	19007,863	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	3,76	16	0,24	864,205	0,000
	Hata	0,03	100	0,000		
	Toplam	2079,34	125			

Her bir antifriz türünde elde edilen SEO değerlerinin sıcaklık ve kür ortamına bağlı olarak beton türlerinin bir birleri arasında farklı olup olmadığını belirleyebilmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Elde edilen Duncan testi sonuçları %30KN+%5HEA içerikli antifriz için Çizelge 4.17’de, KN içerikli antifriz için Çizelge 4.18’de, PHA içerikli antifriz için ise Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.17. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Su emme oranı (%) ($\alpha=0,05$)																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
0°C / NaCl	5	2,10																				
0°C / MgSO ₄	5		2,18																			
-5 °C / NaCl	5		2,20	2,20																		
0°C / Referans	5			2,21																		
0°C / 28 gün	5				2,24																	
-5 °C / MgSO ₄	5					2,28																
0°C / H ₂ SO ₄	5						2,57															
-5 °C / Referans	5							3,01														
-5 °C / 28 gün	5								3,21													
-10°C / NaCl	5								3,22													
-10°C / MgSO ₄	5									3,49												
-15°C / NaCl	5										3,64											
-5 °C / H ₂ SO ₄	5											3,71										
-15°C / MgSO ₄	5												3,89									
-10°C / Referans	5													3,90								
-20°C / NaCl	5													3,91								
-10°C / 28 gün	5														4,13							
-20°C / MgSO ₄	5															4,22						
-10°C / H ₂ SO ₄	5																4,30					
-15°C / Referans	5																	4,76				
-20°C / Referans	5																		4,98			
-15°C / 28 gün	5																			5,09		
-20°C / 28 gün	5																				5,42	
-15°C / H ₂ SO ₄	5																					5,45
-20°C / H ₂ SO ₄	5																					5,72

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %2,1 ile en küçük SEO'ya sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise %5,72 ile en büyük SEO'ya sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama SEO, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %2,1, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %2,2, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %3,22, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %3,64, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %3,91 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama SEO, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %5,72, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %5,45, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %4,3, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %3,71, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %2,57 olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük SEO değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük SEO değerlerine sahip olduğu,
- 0°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile 0°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- Bütün sıcaklıklarda, farklı kür şartlarına maruz kalan beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark birbirlerinden farklı olduğu,
- 0°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %18 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %41 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %25 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %33 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %32 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek SEO'ya sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklere göre %63 oranında daha büyük SEO değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.18. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Su emme oranı (%) ($\alpha=0,05$)																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0°C / NaCl	5	2,26																					
0°C / MgSO ₄	5		2,40																				
0°C / Referans	5			2,93																			
0°C / 28 gün	5				3,01																		
-5 °C / MgSO ₄	5					3,30																	
-5 °C / NaCl	5					3,31																	
-5 °C / Referans	5						3,38																
-5 °C / 28 gün	5							3,45															
0°C / H ₂ SO ₄	5								3,89														
-10°C / NaCl	5									4,11													
-5 °C / H ₂ SO ₄	5										4,15												
-10°C / MgSO ₄	5										4,17												
-10°C / Referans	5											4,26											
-15°C / NaCl	5												4,30										
-10°C / 28 gün	5													4,36									
-15°C / MgSO ₄	5														4,52								
-20°C / NaCl	5															4,91							
-15°C / Referans	5															4,93	4,93						
-10°C / H ₂ SO ₄	5																4,94						
-20°C / MgSO ₄	5																	5,09					
-15°C / 28 gün	5																		5,38				
-20°C / Referans	5																			5,52			
-20°C / 28 gün	5																				5,71		
-15°C / H ₂ SO ₄	5																					5,89	
-20°C / H ₂ SO ₄	5																						6,42

KN içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %2,26 ile en küçük SEO'ya sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise %6,42 ile en büyük SEO'ya sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama SEO, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %2,1, -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerde %3,3, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %4,11, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %4,30, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %4,91 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama SEO, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %6,42, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %5,89, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %4,94, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %4,15, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %3,89 olduğu,
- 0, -10, -15 ve -20°C sıcaklıkta üretilen ve NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin daha küçük SEO değerlerine sahip olduğu, -5°C sıcaklıkta üretilen beton örneklerde ise MgSO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin daha küçük SEO değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük SEO değerlerine sahip olduğu,
- -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- Bütün sıcaklıklarda, farklı kür şartlarına maruz kalan beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark birbirlerinden farklı olduğu,
- 0°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %42 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerden %21 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %17 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %27 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %24 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek SEO'ya sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklere göre %65 oranında daha büyük SEO değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.19. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin SEO değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Su emme oranı (%) ($\alpha=0,05$)																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0°C / NaCl	5	2,16																						
0°C / MgSO ₄	5		2,20																					
0°C / Referans	5			2,28																				
0°C / 28 gün	5				2,34																			
-5 °C / NaCl	5					2,84																		
0°C / H ₂ SO ₄	5						2,90																	
-5 °C / MgSO ₄	5						2,91																	
-5 °C / Referans	5							3,16																
-5 °C / 28 gün	5								3,24															
-10°C / NaCl	5									3,81														
-10°C / MgSO ₄	5										3,90													
-5 °C / H ₂ SO ₄	5											3,93												
-15°C / NaCl	5												3,95											
-10°C / Referans	5													4,18										
-15°C / MgSO ₄	5														4,21									
-10°C / 28 gün	5															4,29								
-20°C / NaCl	5																4,41							
-10°C / H ₂ SO ₄	5																	4,45						
-20°C / MgSO ₄	5																		4,71					
-15°C / Referans	5																			4,81				
-15°C / 28 gün	5																				5,10			
-20°C / Referans	5																					5,22		
-20°C / 28 gün	5																						5,43	
-15°C / H ₂ SO ₄	5																							5,60
-20°C / H ₂ SO ₄	5																							6,10

PHA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %2,16 ile en küçük SEO'ya sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise %6,10 ile en büyük SEO'ya sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama SEO, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %2,16, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %2,84, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %3,81, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %3,95, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde %4,41 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama SEO, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %6,10, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %5,60, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %4,45, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %3,93, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde %2,90 olduğu,
- 0, -5, -10, -15 ve -20°C sıcaklıkta üretilen ve NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin daha küçük SEO değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük SEO değerlerine sahip olduğu,
- 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- Bütün sıcaklıklarda, farklı kür şartlarına maruz kalan beton örneklerin SEO değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark birbirlerinden farklı olduğu,
- 0°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %26 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,

- -5°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %28 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %14 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %30 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük SEO'ya sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %28 daha büyük SEO'ya sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek SEO'ya sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük SEO'ya sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklere göre %65 oranında daha büyük SEO değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak:

Görünür boşluk oranlarının artışına bağlı olarak SEO değerleri artmaktadır. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %11 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %4 oranında daha küçük SEO'ya sahip olduğu görülmüştür. NaCl etkisine maruz beton örneklerin en düşük SEO'ya sahip olduğu, H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin en büyük SEO'ya sahip olduğu görülmektedir. NaCl etkisindeki beton örneklerin düşük boşluk yapılarından dolayı SEO oranlarının diğer beton örneklere göre düştüğü, H₂SO₄ etkisindeki beton örneklerin ise en büyük görünür boşluk oranlarından dolayı SEO değerlerinin arttığı görülmüştür.

4.5. Birim Hacim Ağırlık

BHA tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.20’de, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.21’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Sıcaklık faktörünün 5 seviyesi (0, -5, -10, -15 ve -20°C) ve kür faktörünün 5 seviyesinde (28 günlük su kürü, H₂SO₄, MgSO₄, NaCl, Referans “120 günlük su kürü”) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda sıcaklık ve kür faktörlerinin BHA değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür (p<0,01).

Diğer taraftan sıcaklık ve kür interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür (p<0,01) (Çizelge 4.23). Sıcaklık ve kür faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.24-26). Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama BHA değerlerine ait grafik Şekil 4.10’da, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama BHA değerlerine ait grafik Şekil 4.11’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama BHA değerlerine ait grafik Şekil 4.12’de görülmektedir.

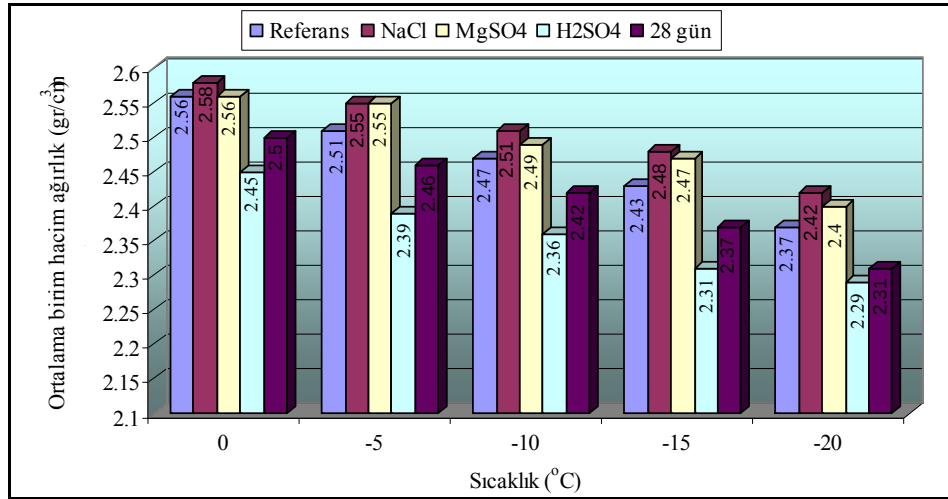
Çizelge 4.20. %30KN+%5HEA antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	2,56	0,0055	2,55	2,56	0,00
	NaCl	5	2,58	0,0114	2,56	2,59	0,80
	MgSO ₄	5	2,56	0,01	2,55	2,57	0,00
	H ₂ SO ₄	5	2,45	0,0192	2,43	2,48	-4,30
	28 gün	5	2,5	0,0089	2,49	2,51	-2,30
-5	Referans	5	2,51	0,0055	2,5	2,51	0,00
	NaCl	5	2,55	0,0055	2,55	2,56	1,60
	MgSO ₄	5	2,55	0,013	2,53	2,56	1,60
	H ₂ SO ₄	5	2,39	0,0158	2,37	2,41	-4,80
	28 gün	5	2,46	0,0084	2,45	2,47	-2,00

Çizelge 4.20 (Devam). %30KN+%5HEA antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-10	Referans	5	2,47	0,0045	2,47	2,48	0,00
	NaCl	5	2,51	0,01	2,5	2,52	1,60
	MgSO ₄	5	2,49	0,0182	2,46	2,51	0,80
	H ₂ SO ₄	5	2,36	0,01	2,35	2,37	-4,50
	28 gün	5	2,42	0,0084	2,41	2,43	-2,00
-15	Referans	5	2,43	0,0182	2,41	2,45	0,00
	NaCl	5	2,48	0,0114	2,47	2,5	2,10
	MgSO ₄	5	2,47	0,0084	2,46	2,48	1,60
	H ₂ SO ₄	5	2,31	0,0114	2,3	2,33	-4,90
	28 gün	5	2,37	0,013	2,36	2,39	-2,50
-20	Referans	5	2,37	0,0084	2,36	2,38	0,00
	NaCl	5	2,42	0,0123	2,4	2,43	2,10
	MgSO ₄	5	2,4	0,0084	2,39	2,41	1,30
	H ₂ SO ₄	5	2,29	0,01	2,28	2,3	-3,40
	28 gün	5	2,31	0,0071	2,3	2,32	-2,50

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama BHA sonuçlarına ait grafik Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama BHA değerleri

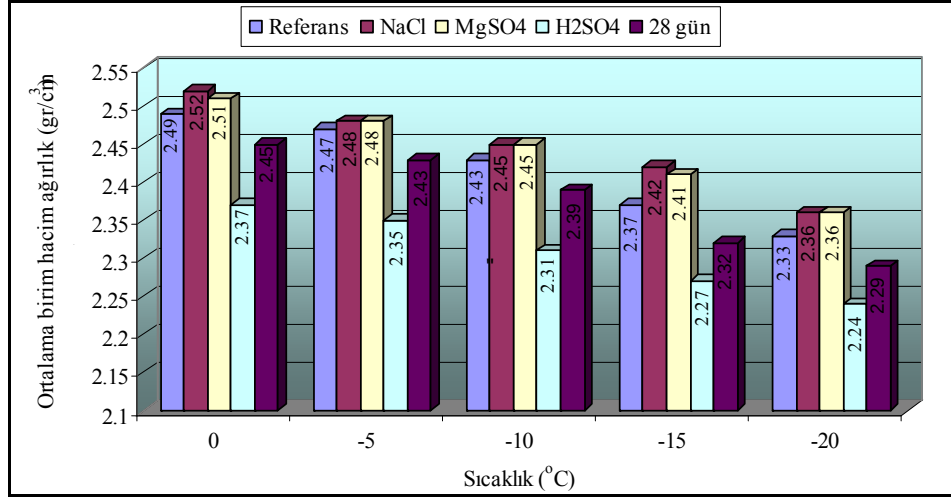
Şekil 4.10 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin BHA değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin BHA değerleri bütün

kür ortamlarında en küçük BHA değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde BHA değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.21. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	2,49	0.0130	2,48	2,51	0,00
	NaCl	5	2,52	0.0100	2,51	2,53	1,20
	MgSO ₄	5	2,51	0.0179	2,49	2,53	0,80
	H ₂ SO ₄	5	2,37	0.0110	2,36	2,39	-4,80
	28 gün	5	2,45	0.0130	2,43	2,46	-1,60
-5	Referans	5	2,47	0.0071	2,46	2,48	0,00
	NaCl	5	2,48	0.0212	2,45	2,51	0,40
	MgSO ₄	5	2,48	0.0055	2,47	2,48	0,40
	H ₂ SO ₄	5	2,35	0.0192	2,33	2,38	-4,90
	28 gün	5	2,43	0.0045	2,42	2,43	-1,60
-10	Referans	5	2,43	0.0114	2,42	2,45	0,00
	NaCl	5	2,45	0.0055	2,44	2,45	0,80
	MgSO ₄	5	2,45	0.0084	2,44	2,46	0,80
	H ₂ SO ₄	5	2,31	0.0114	2,29	2,32	-4,90
	28 gün	5	2,39	0.0071	2,38	2,4	-1,60
-15	Referans	5	2,37	0.0089	2,36	2,38	0,00
	NaCl	5	2,42	0.0130	2,41	2,44	2,10
	MgSO ₄	5	2,41	0.0071	2,4	2,42	1,70
	H ₂ SO ₄	5	2,27	0.0130	2,25	2,28	-4,20
	28 gün	5	2,32	0.0100	2,31	2,33	-2,10
-20	Referans	5	2,33	0.0114	2,32	2,35	0,00
	NaCl	5	2,36	0.0045	2,36	2,37	1,30
	MgSO ₄	5	2,36	0.0130	2,35	2,38	1,30
	H ₂ SO ₄	5	2,24	0.0071	2,23	2,25	-3,90
	28 gün	5	2,29	0.0055	2,28	2,29	-1,70

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama BHA sonuçlarına ait grafik Şekil 4.11’de görülmektedir.



Şekil 4.11. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama BHA değerleri

Şekil 4.11 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin BHA değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin BHA değerleri bütün kür ortamlarında en küçük BHA değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde BHA değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

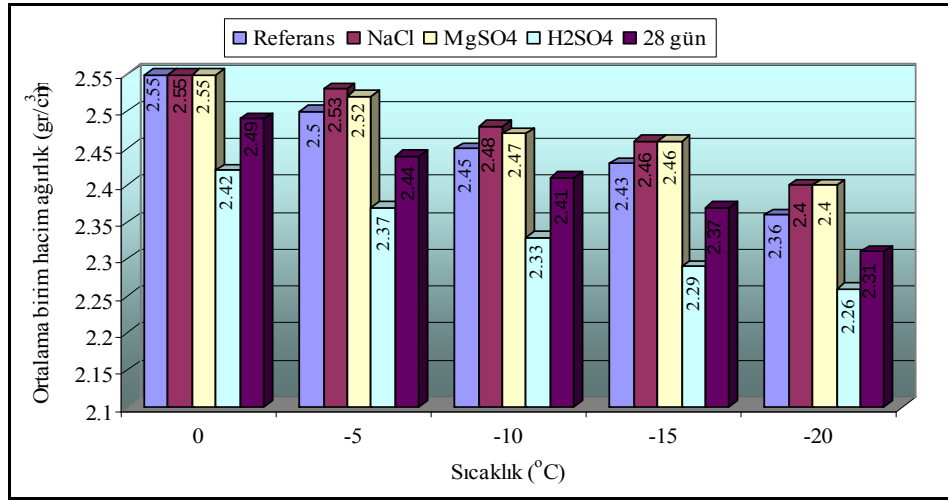
Çizelge 4.22. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	2,55	0,0134	2,53	2,56	0,00
	NaCl	5	2,55	0,0055	2,55	2,56	0,00
	MgSO ₄	5	2,55	0,0110	2,54	2,56	0,00
	H ₂ SO ₄	5	2,42	0,0055	2,42	2,43	-5,10
	28 gün	5	2,49	0,0100	2,48	2,5	-2,40
-5	Referans	5	2,5	0,0084	2,49	2,51	0,00
	NaCl	5	2,53	0,0089	2,52	2,54	1,20
	MgSO ₄	5	2,52	0,0084	2,51	2,53	0,80
	H ₂ SO ₄	5	2,37	0,0100	2,36	2,38	-5,20
	28 gün	5	2,44	0,0134	2,43	2,46	-2,40
-10	Referans	5	2,45	0,0152	2,44	2,47	0,00
	NaCl	5	2,48	0,0110	2,47	2,49	1,20
	MgSO ₄	5	2,47	0,0084	2,46	2,48	0,80
	H ₂ SO ₄	5	2,33	0,0100	2,32	2,34	-4,90
	28 gün	5	2,41	0,0179	2,39	2,43	-1,60

Çizelge 4.22 (Devam). PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama BHA (gr/cm ³)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-15	Referans	5	2,43	0,0134	2,41	2,44	0,00
	NaCl	5	2,46	0,0114	2,45	2,48	1,20
	MgSO ₄	5	2,46	0,0089	2,45	2,47	1,20
	H ₂ SO ₄	5	2,29	0,0055	2,28	2,29	-5,80
	28 gün	5	2,37	0,0100	2,36	2,38	-2,50
-20	Referans	5	2,36	0,0084	2,35	2,37	0,00
	NaCl	5	2,4	0,0055	2,39	2,40	1,70
	MgSO ₄	5	2,4	0,0114	2,38	2,41	1,70
	H ₂ SO ₄	5	2,26	0,0045	2,26	2,27	-4,20
	28 gün	5	2,31	0,0071	2,30	2,32	-2,10

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama BHA sonuçlarına ait grafik Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama BHA değerleri

Şekil 4.12 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin BHA değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin BHA değerleri bütün kür ortamlarında en küçük BHA değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde BHA değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Elde edilen BHA değerlerinin taze betonun maruz kaldığı sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin önem derecesini belirleyebilmek amacıyla her bir katkı türünde iki faktörlü (sıcaklık ve kür) varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.23’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre her antifriz türünde 2’li interaksiyon yani sıcaklık*kür interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P=0,000$). Diğer bir ifadeyle BHA değerlerinin hem sıcaklık hem de kür ortamına bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.23. BHA değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları

Antifriz türü	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
%30KN+%5HEA	Sıcaklık	0,446	4	0,111	884,143	0,000
	Kür	0,369	4	0,092	732,111	0,000
	Sıcaklık * Kür interaksiyonu	0,011	16	0,001	5,421	0,000
	Hata	0,013	100	0,000		
	Toplam	750,416	125			
KN	Sıcaklık	0,381	4	0,095	749,230	0,000
	Kür	0,333	4	0,083	653,821	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksiyonu	0,007	16	0,000	3,679	0,000
	Hata	0,013	100	0,000		
	Toplam	719,295	125			
PHA	Sıcaklık	0,419	4	0,105	998,557	0,000
	Kür	0,395	4	0,099	943,366	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksiyonu	0,007	16	0,000	4,302	0,000
	Hata	0,010	100	0,000		
	Toplam	739,965	125			

Her bir antifriz türünde elde edilen BHA değerlerinin sıcaklık ve kür ortamına bağlı olarak beton türlerinin bir birleri arasında farklı olup olmadığını belirleyebilmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Elde edilen Duncan testi sonuçları %30KN+%5HEA içerikli antifriz için Çizelge 4.24’de, KN içerikli antifriz için Çizelge 4.25’de, PHA içerikli antifriz için ise Çizelge 4.26’da verilmiştir.

Çizelge 4.24. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Birim hacim ağırlık (gr/cm ³) ($\alpha=0,05$)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-20°C / H ₂ SO ₄	5	2,29										
-20°C / 28 gün	5		2,31									
-15°C / H ₂ SO ₄	5		2,31									
-10°C / H ₂ SO ₄	5			2,36								
-20°C / Referans	5			2,37								
-15°C / 28 gün	5			2,37								
-5 °C / H ₂ SO ₄	5				2,39							
-20°C / MgSO ₄	5				2,40							
-20°C / NaCl	5					2,42						
-10°C / 28 gün	5					2,42						
-15°C / Referans	5					2,43						
0°C / H ₂ SO ₄	5						2,45					
-5 °C / 28 gün	5						2,46	2,46				
-15°C / MgSO ₄	5							2,47				
-10°C / Referans	5							2,47	2,47			
-15°C / NaCl	5								2,48			
-10°C / MgSO ₄	5								2,49			
0°C / 28 gün	5									2,50		
-5 °C / Referans	5									2,51		
-10°C / NaCl	5									2,51		
-5 °C / MgSO ₄	5										2,55	
-5 °C / NaCl	5										2,55	
0°C / Referans	5										2,56	
0°C / MgSO ₄	5										2,56	
0°C / NaCl	5											2,58

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,58 ile en büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 2,29 ile en küçük BHA değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama BHA, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,58, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,55, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,51, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,48, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,42 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama BHA, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,29, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,31, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,36, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,39, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,45 olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük BHA değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük BHA değerlerine sahip olduğu,
- -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler, -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler, -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -5°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler, 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %5 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %6 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %6 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %7 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,

- -20°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %5 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek BHA değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %11 oranında daha büyük BHA değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.25. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Birim hacim ağırlık (gr/cm ³) ($\alpha=0,05$)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-20°C / H ₂ SO ₄	5	2,24														
-15°C / H ₂ SO ₄	5		2,27													
-20°C / 28 gün	5			2,29												
-10°C / H ₂ SO ₄	5				2,31											
-15°C / 28 gün	5				2,32	2,32										
-20°C / Referans	5					2,33										
-5 °C / H ₂ SO ₄	5						2,35									
-20°C / NaCl	5						2,36	2,36								
-20°C / MgSO ₄	5						2,36	2,36								
-15°C / Referans	5						2,37	2,37								
0°C / H ₂ SO ₄	5							2,37								
-10°C / 28 gün	5							2,39								
-15°C / MgSO ₄	5									2,41						
-15°C / NaCl	5									2,42	2,42					
-5 °C / 28 gün	5										2,43	2,43				
-10°C / Referans	5											2,43	2,43			
-10°C / NaCl	5												2,45			
0°C / 28 gün	5												2,45			
-10°C / MgSO ₄	5												2,45			
-5 °C / Referans	5													2,47		
-5 °C / MgSO ₄	5													2,48		
-5 °C / NaCl	5													2,48	2,48	
0°C / Referans	5														2,49	
0°C / MgSO ₄	5															2,51
0°C / NaCl	5															2,52

KN içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,52 ile en büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 2,24 ile en küçük BHA değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama BHA, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,52, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,48, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,45, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,42, -20°C sıcaklık ve NaCl ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,36 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama BHA, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,24, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,27, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,31, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,35, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,37 olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük BHA değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük BHA değerlerine sahip olduğu,
- -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz

beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %6 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %5 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,

- -10°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %6 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %6 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %5 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek BHA değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %11 oranında daha büyük BHA değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.26. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin BHA değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Birim hacim ağırlık (gr/cm ³) (α=0,05)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
-20°C / H ₂ SO ₄	5	2,26														
-15°C / H ₂ SO ₄	5		2,29													
-20°C / 28 gün	5			2,31												
-10°C / H ₂ SO ₄	5				2,33											
-20°C / Referans	5					2,36										
-15°C / 28 gün	5					2,37										
-5 °C / H ₂ SO ₄	5					2,37										
-20°C / NaCl	5						2,40									
-20°C / MgSO ₄	5						2,40									
-10°C / 28 gün	5						2,41									
0°C / H ₂ SO ₄	5							2,42								
-15°C / Referans	5							2,43								
-5 °C / 28 gün	5								2,44							
-10°C / Referans	5								2,45	2,45						
-15°C / MgSO ₄	5								2,46	2,46						
-15°C / NaCl	5									2,46	2,46					
-10°C / MgSO ₄	5										2,47	2,47				
-10°C / NaCl	5											2,48	2,48			
0°C / 28 gün	5												2,49	2,49		
-5 °C / Referans	5													2,50		
-5 °C / MgSO ₄	5														2,52	
-5 °C / NaCl	5														2,53	
0°C / Referans	5															2,55
0°C / MgSO ₄	5															2,55
0°C / NaCl	5															2,55

PHA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine, 0°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,55 ile en büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 2,26 ile en küçük BHA değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama BHA, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,55, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,53, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 2,48, -15°C sıcaklık ve NaCl ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,46, -20°C sıcaklık ve NaCl ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,40 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama BHA, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,26, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,29, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,33, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,37, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,42 olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük BHA değerlerine sahip olduğu,
- -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine

maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -10°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler, 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile 0°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örneklerin BHA değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl, MgSO_4 , 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %5 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %6 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %6 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl ve MgSO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %7 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,

- -20°C derecede en büyük BHA değerine sahip NaCl ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %6 daha büyük BHA değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek BHA değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl, MgSO₄ ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin, en küçük BHA değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %11 oranında daha büyük BHA değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak:

Birim hacim ağılık değerleri beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklık değerine ve etki ortamına bağlı olarak değişmektedir. Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerleri düşüşüne bağlı olarak boşluk miktarının arttığı ve BHA değerlerinin düştüğü görülmüştür. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %2 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %0,5 oranında daha büyük BHA değerine sahip olduğu görülmüştür.

4.6. Kapiler Su Emme Miktarı

KSE tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.27’de, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.28’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.29’da verilmiştir.

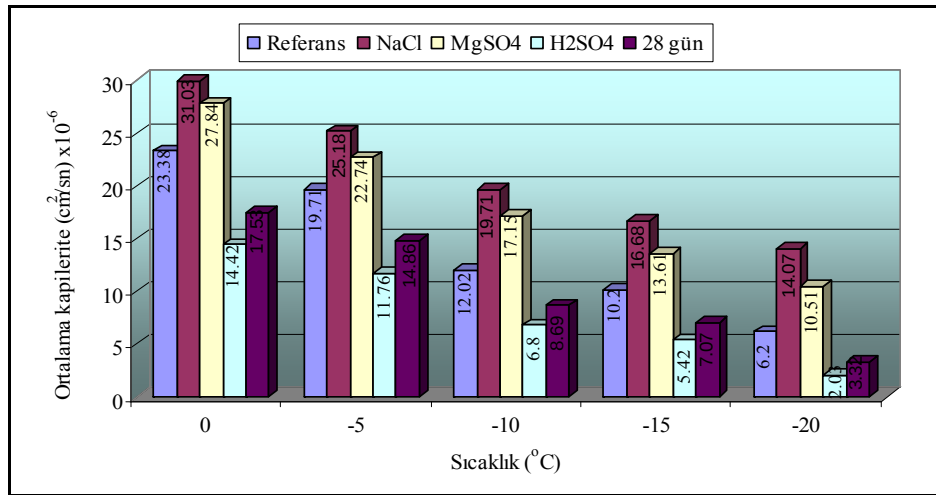
Sıcaklık faktörünün 5 seviyesi (0, -5, -10, -15 ve -20°C) ve kür faktörünün 5 seviyesinde (28 günlük su kürü, H₂SO₄, MgSO₄, NaCl, Referans “120 günlük su kürü”) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda sıcaklık ve kür faktörlerinin kapilerite değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür (p<0,01).

Diğer taraftan sıcaklık ve kür interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p < 0,01$) (Çizelge 4.30). Sıcaklık ve kür faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.31-33). Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama kapilerite değerlerine ait grafik Şekil 4.13’de, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama kapilerite değerlerine ait grafik Şekil 4.14’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama kapilerite değerlerine ait grafik Şekil 4.15’de görülmektedir.

Çizelge 4.27. %30KN+%5HEA antifriz katkılı beton örneklerin kapilerite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama kapilerite $\times 10^{-6}$ (cm ² /sn)	Std. sapma $\times 10^{-6}$	En küçük $\times 10^{-6}$	En büyük $\times 10^{-6}$	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	23,38	0,0709	23,28	23,46	0,00
	NaCl	5	31,03	0,0526	30,97	31,1	32,70
	MgSO ₄	5	27,84	0,0534	27,77	27,9	19,10
	H ₂ SO ₄	5	14,42	0,0434	14,37	14,47	-38,30
	28 gün	5	17,53	0,0207	17,51	17,56	-25,00
-5	Referans	5	19,71	0,0665	19,61	19,77	0,00
	NaCl	5	25,18	0,0735	25,09	25,28	27,80
	MgSO ₄	5	22,74	0,0689	22,64	22,81	15,40
	H ₂ SO ₄	5	11,76	0,0416	11,71	11,81	-40,30
	28 gün	5	14,86	0,0361	14,81	14,9	-24,60
-10	Referans	5	12,02	0,0478	11,96	12,08	0,00
	NaCl	5	19,71	0,0730	19,61	19,79	64,00
	MgSO ₄	5	17,15	0,0603	17,07	17,22	42,70
	H ₂ SO ₄	5	6,8	0,0339	6,76	6,84	-43,40
	28 gün	5	8,69	0,0365	8,65	8,74	-27,70
-15	Referans	5	10,2	0,0500	10,15	10,27	0,00
	NaCl	5	16,68	0,0602	16,6	16,75	63,50
	MgSO ₄	5	13,61	0,0451	13,55	13,67	33,40
	H ₂ SO ₄	5	5,42	0,0416	5,37	5,47	-46,90
	28 gün	5	7,07	0,0418	7	7,11	-30,70
-20	Referans	5	6,2	0,0422	6,14	6,25	0,00
	NaCl	5	14,07	0,0462	14,02	14,13	126,90
	MgSO ₄	5	10,51	0,0561	10,43	10,57	69,50
	H ₂ SO ₄	5	2,03	0,0259	2	2,07	-67,30
	28 gün	5	3,32	0,0167	3,31	3,35	-46,50

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama kapilerite sonuçlarına ait grafik Şekil 4.13’de görülmektedir.



Şekil 4.13. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama kapilerite değerleri

Şekil 4.13 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin KSE değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin KSE değerleri bütün kür ortamlarında en küçük KSE değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde KSE değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

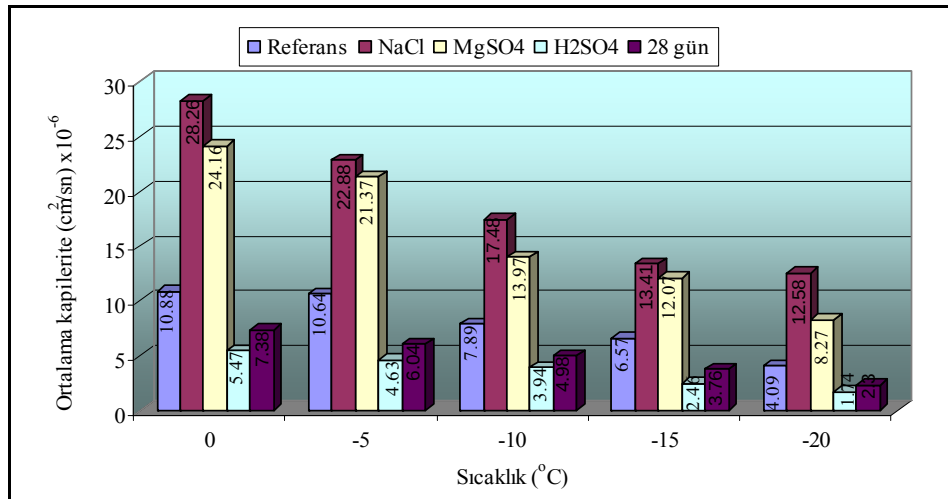
Çizelge 4.28. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin kapilerite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama kapilerite x10 ⁻⁶ (cm ² /sn)	Std. sapma x10 ⁻⁶	En küçük x10 ⁻⁶	En büyük x10 ⁻⁶	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	4,09	0,0335	4,05	4,13	0.00
	NaCl	5	12,58	0,0561	12,50	12,64	207.60
	MgSO ₄	5	8,27	0,0370	8,23	8,32	102.20
	H ₂ SO ₄	5	1,74	0,0134	1,73	1,76	-57.50
	28 gün	5	2,30	0,0259	2,26	2,33	-43.80
-5	Referans	5	6,57	0,0261	6,53	6,59	0.00
	NaCl	5	13,41	0,0444	13,35	13,46	104.10
	MgSO ₄	5	12,07	0,0270	12,04	12,11	83.70

Çizelge 4.28 (Devam). KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin kapilerite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama kapilerite $\times 10^{-6}$ (cm ² /sn)	Std. sapma $\times 10^{-6}$	En küçük $\times 10^{-6}$	En büyük $\times 10^{-6}$	Referansa göre karşılaştırma (%)
-5	H ₂ SO ₄	5	2,46	0,0207	2,43	2,48	-62,60
	28 gün	5	3,76	0,0342	3,71	3,80	-42,80
-10	Referans	5	7,89	0,0398	7,84	7,94	0,00
	NaCl	5	17,48	0,0817	17,38	17,57	121,50
	MgSO ₄	5	13,97	0,0398	13,92	14,02	77,10
	H ₂ SO ₄	5	3,94	0,0158	3,92	3,96	-50,10
	28 gün	5	4,98	0,0319	4,94	5,02	-36,90
-15	Referans	5	10,64	0,0336	10,60	10,68	0,00
	NaCl	5	22,88	0,0523	22,81	22,94	115,00
	MgSO ₄	5	21,37	0,0619	21,30	21,45	100,80
	H ₂ SO ₄	5	4,63	0,0288	4,60	4,67	-56,50
	28 gün	5	6,04	0,0311	6,00	6,07	-43,20
-20	Referans	5	10,88	0,0432	10,82	10,93	0,00
	NaCl	5	28,26	0,0541	28,19	28,32	159,70
	MgSO ₄	5	24,16	0,0661	24,08	24,26	122,10
	H ₂ SO ₄	5	5,47	0,0288	5,44	5,51	-49,70
	28 gün	5	7,38	0,0354	7,33	7,42	-32,20

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama kapilerite sonuçlarına ait grafik Şekil 4.14’de görülmektedir.



Şekil 4.14. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama kapilerite değerleri

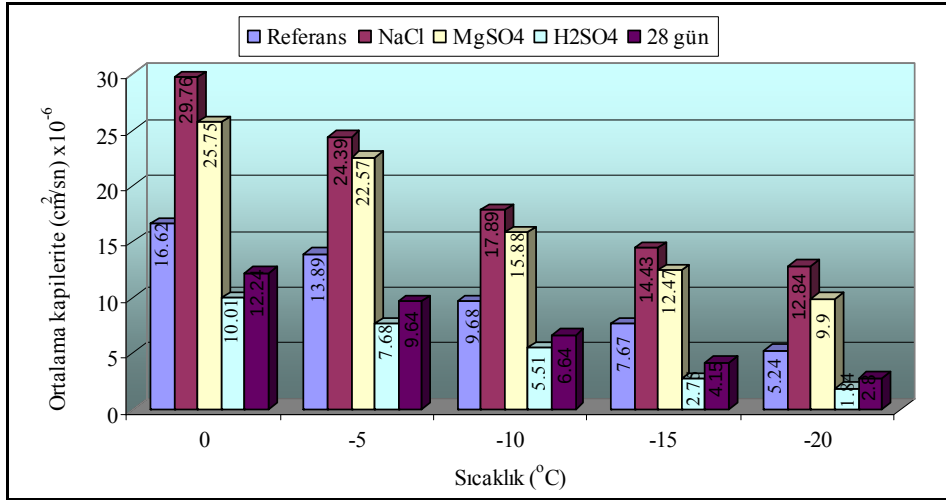
Şekil 4.14 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin KSE değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu

görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin KSE değerleri bütün kür ortamlarında en küçük KSE değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde KSE değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.29. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin kapilerite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama kapilerite x10 ⁻⁶ (cm ² /sn)	Std. sapma x10 ⁻⁶	En küçük x10 ⁻⁶	En büyük x10 ⁻⁶	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	16,62	0,0577	16,55	16,70	0,00
	NaCl	5	29,76	0,0614	29,69	29,84	79,10
	MgSO ₄	5	25,75	0,0602	25,68	25,83	54,90
	H ₂ SO ₄	5	10,01	0,0447	9,96	10,07	-39,80
	28 gün	5	12,24	0,0415	12,19	12,30	-26,40
-5	Referans	5	13,89	0,0814	13,80	14,01	0,00
	NaCl	5	24,39	0,0728	24,30	24,48	75,60
	MgSO ₄	5	22,57	0,0447	22,52	22,63	62,50
	H ₂ SO ₄	5	7,68	0,0428	7,62	7,73	-44,70
	28 gün	5	9,64	0,0335	9,60	9,68	-30,60
-10	Referans	5	9,68	0,0488	9,62	9,73	0,00
	NaCl	5	17,89	0,0526	17,83	17,96	84,80
	MgSO ₄	5	15,88	0,0594	15,82	15,96	64,00
	H ₂ SO ₄	5	5,51	0,0286	5,47	5,54	-43,10
	28 gün	5	6,64	0,0396	6,59	6,69	-31,40
-15	Referans	5	7,67	0,0445	7,62	7,73	0,00
	NaCl	5	14,43	0,0523	14,36	14,49	88,10
	MgSO ₄	5	12,47	0,0563	12,40	12,53	62,60
	H ₂ SO ₄	5	2,75	0,0239	2,72	2,78	-64,10
	28 gün	5	4,15	0,0255	4,12	4,18	-45,90
-20	Referans	5	5,24	0,0342	5,20	5,29	0,00
	NaCl	5	12,84	0,0447	12,79	12,90	145,00
	MgSO ₄	5	9,90	0,0449	9,84	9,96	88,90
	H ₂ SO ₄	5	1,84	0,0217	1,81	1,86	-64,90
	28 gün	5	2,80	0,0158	2,78	2,82	-46,60

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama kapilerite sonuçlarına ait grafik Şekil 4.15’de görülmektedir.



Şekil 4.15. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama kapilerite değerleri

Şekil 4.15 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin KSE değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin KSE değerleri bütün kür ortamlarında en küçük KSE değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde KSE değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Elde edilen kapilerite değerlerinin taze betonun maruz kaldığı sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin önem derecesini belirleyebilmek amacıyla her bir katkı türünde iki faktörlü (sıcaklık ve kür) varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.30'da verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre her antifriz türünde 2'li interaksiyon yani sıcaklık*kür interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P=0,000). Diğer bir ifadeyle kapilerite değerlerinin hem sıcaklık hem de kür ortamına bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.30. Kapilerite değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları

Antifriz türü	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
%30KN+%5HEA	Sıcaklık	3981,133	4	995,283	389269,108	0,000
	Kür	3012,272	4	753,068	294535,381	0,000
	Sıcaklık * Kür interaksyonu	86,866	16	5,429	2123,406	0,000
	Hata	0,256	100	0,003		
	Toplam	33283,246	125			
KN	Sıcaklık	1497,833	4	374,458	216150,063	0,000
	Kür	4628,731	4	1157,183	667965,137	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	540,564	16	33,785	19501,987	0,000
	Hata	0,173	100	0,002		
	Toplam	19898,904	125			
PHA	Sıcaklık	2623,759	4	655,940	285737,873	0,000
	Kür	3937,926	4	984,481	428855,838	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	236,634	16	14,790	6442,597	0,000
	Hata	0,230	100	0,002		
	Toplam	25066,176	125			

Her bir antifriz türünde elde edilen kapilerite değerlerinin sıcaklık ve kür ortamına bağlı olarak beton türlerinin bir birleri arasında farklı olup olmadığını belirleyebilmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Elde edilen Duncan testi sonuçları %30KN+%5HEA içerikli antifriz için Çizelge 4.31’de, KN içerikli antifriz için Çizelge 4.32’de, PHA içerikli antifriz için ise Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin KSE değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık/ Kür)	N	Kapilerite katsayısı $\times 10^{-6}$ (cm ² /sn) ($\alpha=0,05$)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
-20°C / H ₂ SO ₄	5	2,03																							
-20°C / 28 gün	5		3,3																						
-15°C / H ₂ SO ₄	5			5,4																					
-20°C / Referans	5				6,2																				
-10°C / H ₂ SO ₄	5					6,8																			
-15°C / 28 gün	5						7,1																		
-10°C / 28 gün	5							8,7																	
-15°C / Referans	5								10,2																
-20°C / MgSO ₄	5									10,5															
-5 °C / H ₂ SO ₄	5										11,8														
-10°C / Referans	5											12,02													
-15°C / MgSO ₄	5												13,6												
-20°C / NaCl	5													14,1											
0°C / H ₂ SO ₄	5														14,4										
-5 °C / 28 gün	5															14,9									
-15°C / NaCl	5																16,7								
-10°C / MgSO ₄	5																	17,2							
0°C / 28 gün	5																		17,5						
-10°C / NaCl	5																			19,7					
-5 °C / Referans	5																			19,7					
-5 °C / MgSO ₄	5																				22,7				
0°C / Referans	5																					23,4			
-5 °C / NaCl	5																						25,2		
0°C / MgSO ₄	5																							27,8	
0°C / NaCl	5																								31,03

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $31,03 \times 10^{-6}$ ile en büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise $2,03 \times 10^{-6}$ ile en küçük kapilerite değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama kapilerite, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $31,03 \times 10^{-6}$, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $25,18 \times 10^{-6}$, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $19,71 \times 10^{-6}$, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $16,68 \times 10^{-6}$, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $14,04 \times 10^{-6}$ olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama kapilerite, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $2,03 \times 10^{-6}$, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $5,42 \times 10^{-6}$, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $6,8 \times 10^{-6}$, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $11,76 \times 10^{-6}$, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $14,42 \times 10^{-6}$ olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük kapilerite değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük kapilerite değerlerine sahip olduğu,
- -5°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin kapilerite değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %54 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %53 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,

- -10°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %66 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %68 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %86 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek kapilerite değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %94 oranında daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.32. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin KSE değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Kapilerite katsayısı $\times 10^{-6}$ (cm ² /sn) ($\alpha=0,05$)																								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
-20°C / H ₂ SO ₄	5	1,7																								
-20°C / 28 gün	5		2,3																							
-15°C / H ₂ SO ₄	5			2,5																						
-15°C / 28 gün	5				3,8																					
-10°C / H ₂ SO ₄	5					3,9																				
-20°C / Referans	5						4,1																			
-5 °C / H ₂ SO ₄	5							4,6																		
-10°C / 28 gün	5								4,9																	
0°C / H ₂ SO ₄	5									5,5																
-5°C / 28 gün	5										6,0															
-15°C / Referans	5											6,6														
0°C / 28 gün	5												7,4													
-10°C / Referans	5													7,9												
-20°C / MgSO ₄	5														8,3											
-5 °C / Referans	5															10,6										
0°C / Referans	5																10,9									
-15°C / MgSO ₄	5																	12,1								
-20°C / NaCl	5																		12,6							
-15°C / NaCl	5																			13,4						
-10°C / MgSO ₄	5																				13,9					
-10°C / NaCl	5																					17,5				
-5 °C / MgSO ₄	5																						21,4			
-5 °C / NaCl	5																							22,9		
0°C / MgSO ₄	5																								24,2	
0°C / NaCl	5																									28,3

KN içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $28,26 \times 10^{-6}$ ile en büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise $1,74 \times 10^{-6}$ ile en küçük kapilerite değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama kapilerite, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $28,26 \times 10^{-6}$, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $22,88 \times 10^{-6}$, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $17,48 \times 10^{-6}$, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $13,41 \times 10^{-6}$, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $12,58 \times 10^{-6}$ olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama kapilerite, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $1,74 \times 10^{-6}$, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $2,46 \times 10^{-6}$, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $3,94 \times 10^{-6}$, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $4,63 \times 10^{-6}$, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $5,47 \times 10^{-6}$ olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük kapilerite değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük kapilerite değerlerine sahip olduğu,
- 0°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %81 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %80 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %78 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,

- -15°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %82 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %86 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek kapilerite değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %94 oranında daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.33. PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin KSE değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Kapilerite katsayısı $\times 10^{-6}$ (cm ² /sn) ($\alpha=0,05$)																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
-20°C / H ₂ SO ₄	5	1,8																					
-15°C / H ₂ SO ₄	5		2,8																				
-20°C / 28 gün	5		2,8																				
-15°C / 28 gün	5			4,2																			
-20°C / Referans	5				5,2																		
-10°C / H ₂ SO ₄	5					5,5																	
-10°C / 28 gün	5						6,6																
-15°C / Referans	5							7,7															
-5°C / H ₂ SO ₄	5							7,7															
-5 °C / 28 gün	5								9,6														
-10°C / Referans	5								9,7														
-20°C / MgSO ₄	5									9,9													
0°C / H ₂ SO ₄	5										10,0												
0°C / 28 gün	5											12,2											
-15°C / MgSO ₄	5												12,5										
-20°C / NaCl	5													12,8									
-5 °C / Referans	5														13,9								
-15°C / NaCl	5															14,4							
-10°C / MgSO ₄	5																15,9						
0°C /Referans	5																	16,6					
-10°C / NaCl	5																		17,9				
-5 °C / MgSO ₄	5																			22,6			
-5 °C / NaCl	5																				24,4		
0°C / MgSO ₄	5																					25,8	
0°C / NaCl	5																						29,8

PHA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $29,76 \times 10^{-6}$ ile en büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise $1,84 \times 10^{-6}$ ile en küçük kapilerite değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama kapilerite, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $29,76 \times 10^{-6}$, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $24,39 \times 10^{-6}$, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $17,89 \times 10^{-6}$, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $14,43 \times 10^{-6}$, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde $12,84 \times 10^{-6}$ olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama kapilerite, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $1,84 \times 10^{-6}$, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $2,75 \times 10^{-6}$, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $5,51 \times 10^{-6}$, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $7,68 \times 10^{-6}$, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde $10,01 \times 10^{-6}$ olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük kapilerite değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük kapilerite değerlerine sahip olduğu,
- -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin kapilerite değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin kapilerite değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin kapilerite değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- 0°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %66 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %69 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %69 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %81 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük kapilerite değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük kapilerite değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %86 daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek kapilerite değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin en küçük kapilerite değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %94 oranında daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak:

Beton örneklerin boşluk oranlarının artışına bağlı olarak kapilerite değerleri düşmektedir. Taze halde betonun maruz kaldığı sıcaklık derecesi düşmesi ile beton örnekler içinde boşluklar oluşmaktadır. Oluşan boşluklar kapiler kanalları kesmekte ve betonun kapileritesini düşürmektedir. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %60 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %30 oranında daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu görülmüştür.

4.7. Geçirimlilik (impermeabilite)

Geçirimlilik (impermeabilite) tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.34’de, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.35’de, PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklerine ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.36’da verilmiştir.

Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama impermeabilite değerlerine ait grafik Şekil 4.16’da, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama permabilite değerlerine ait grafik Şekil 4.17’de, PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama impermeabilite değerlerine ait grafik Şekil 4.18’de görülmektedir.

Çizelge 4.34. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin impermeabilite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama impermeabilite (cm)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	3	7,79	0,0289	7,77	7,82	0,00
	NaCl	3	8,80	0,0252	8,77	8,82	13,00
	MgSO ₄	3	9,50	0,0710	9,44	9,58	22,00
	H ₂ SO ₄	3	11,41	0,0322	11,37	11,43	46,50
	28 gün	3	9,56	0,0252	9,53	9,58	22,70
-5	Referans	3	8,90	0,0551	8,85	8,96	0,00
	NaCl	3	8,70	0,0252	8,68	8,73	-2,20
	MgSO ₄	3	8,99	0,1021	8,92	9,11	1,00
	H ₂ SO ₄	3	11,70	0,0551	11,64	11,74	31,50
	28 gün	3	10,11	0,0208	10,09	10,13	13,60
-10	Referans	3	9,79	0,0351	9,75	9,82	0,00
	NaCl	3	7,60	0,0600	7,54	7,66	-22,40
	MgSO ₄	3	8,10	0,0700	8,05	8,18	-17,30
	H ₂ SO ₄	3	13,98	0,1100	13,87	14,09	42,80
	28 gün	3	11,95	0,0666	11,88	12,01	22,10
-15	Referans	3	10,51	0,0322	10,47	10,53	0,00
	NaCl	3	7,00	0,0643	6,93	7,05	-33,40
	MgSO ₄	3	7,31	0,0351	7,27	7,34	-30,40
	H ₂ SO ₄	3	15,00	0,0058	14,99	15,00	42,70
	28 gün	3	12,81	0,0851	12,72	12,89	21,90
-20	Referans	3	10,90	0,0436	10,85	10,93	0,00
	NaCl	3	6,21	0,0252	6,18	6,23	-43,00
	MgSO ₄	3	6,49	0,0351	6,45	6,52	-40,50
	H ₂ SO ₄	3	15,00	0,0000	15,00	15,00	37,60
	28 gün	3	13,47	0,0551	13,41	13,52	23,60

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama impermeabilite sonuçlarına ait istatistik sonuçlarına göre;

-20°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 6,21 cm ile %43 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 6,49 cm ile %41 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 15,00 cm ile %38 daha büyük olduğu,

-15°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 7,00 cm ile %33 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 7,31 cm ile %30 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 15,00 cm ile %43 daha büyük olduğu,

-10°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 7,60 cm ile %22 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 8,10 cm ile %17 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 13,98 cm ile %43 daha büyük olduğu,

-5°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

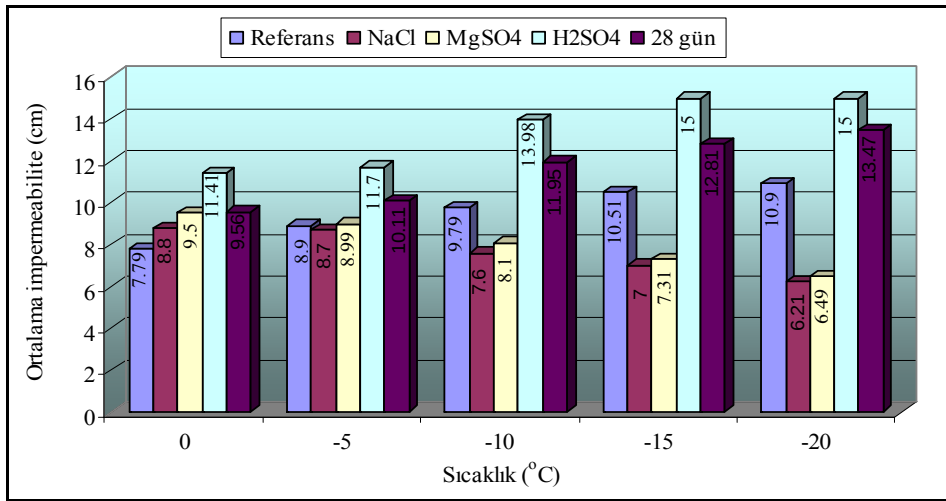
- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 8,70 cm ile %2 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 8,99 cm ile %1 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 11,70 cm ile %32 daha büyük olduğu,

0°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 8,80 cm ile %13 daha büyük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 9,50 cm ile %22 daha büyük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 11,41 cm ile %47 daha büyük olduğu

görülmüştür.

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama impermeabilite sonuçlarına ait grafik Şekil 4.16'da görülmektedir.



Şekil 4.16. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama impermeabilite değerleri

Şekil 4.16 incelendiğinde $MgSO_4$ ve $NaCl$ etkisine maruz beton örneklerin ısı değeri düşükçe geçirimsizlik (impermeabilite) değerlerinin düştüğü, diğer kür ortamlarına maruz beton örneklerin ise geçirimsizlik (impermeabilite) değerlerinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.35. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin impermeabilite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ort.alama impermeabilite (cm)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	3	8,30	0,0416	8,27	8,35	0,00
	NaCl	3	9,20	0,0306	9,17	9,23	10,80
	$MgSO_4$	3	9,79	0,0322	9,75	9,81	18,00
	H_2SO_4	3	11,51	0,0404	11,47	11,55	38,70
	28 gün	3	10,08	0,0252	10,06	10,11	21,40
-5	Referans	3	9,20	0,0351	9,17	9,24	0,00
	NaCl	3	8,80	0,0400	8,76	8,84	-4,30
	$MgSO_4$	3	9,40	0,0252	9,38	9,43	2,20
	H_2SO_4	3	12,20	0,0361	12,17	12,24	32,60
	28 gün	3	11,40	0,0116	11,39	11,41	23,90
-10	Referans	3	10,09	0,0351	10,06	10,13	0,00
	NaCl	3	8,10	0,0416	8,05	8,13	-19,70
	$MgSO_4$	3	8,40	0,0252	8,37	8,42	-16,70
	H_2SO_4	3	14,50	0,0603	14,44	14,56	43,70
	28 gün	3	12,49	0,0116	12,48	12,50	23,80

Çizelge 4.35 (Devam). KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin impermeabilite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ort.alama impermeabilite (cm)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-15	Referans	3	10,85	0,0300	10,82	10,88	0,00
	NaCl	3	7,39	0,0306	7,36	7,42	-31,90
	MgSO ₄	3	7,70	0,0451	7,65	7,74	-29,00
	H ₂ SO ₄	3	15,00	0,0058	14,99	15,00	38,20
	28 gün	3	13,20	0,0265	13,18	13,23	21,70
-20	Referans	3	11,11	0,0557	11,06	11,17	0,00
	NaCl	3	6,85	0,0404	6,81	6,89	-38,30
	MgSO ₄	3	7,10	0,0300	7,07	7,13	-36,10
	H ₂ SO ₄	3	15,00	0,0000	15,00	15,00	35,00
	28 gün	3	13,89	0,0351	13,86	13,93	25,00

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama impermeabilite sonuçlarına ait istatistik sonuçlarına göre:

-20°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 6,85 cm ile %38 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 7,10 cm ile %36 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 15,00 cm ile %35 daha büyük olduğu,

-15°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 7,39 cm ile %32 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 7,70 cm ile %29 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 15,00 ile %38 daha büyük olduğu,

-10°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 8,10 cm ile %20 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 8,40 cm ile %17 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 14,50 cm ile %44 daha büyük olduğu,

-5°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

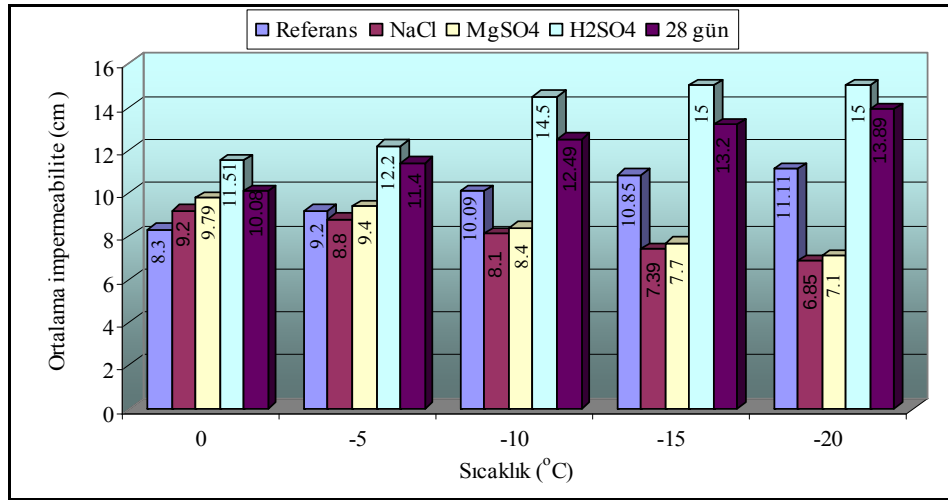
- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 8,80 cm ile %4 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 9,40 cm ile %2 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 12,20 cm ile %33 daha büyük olduğu,

0°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 9,20 cm ile %11 daha büyük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 9,79 cm ile %18 daha büyük olduğu,

➤ H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin 11,51 cm ile %39 daha büyük olduğu görülmüştür.

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama impermeabilite sonuçlarına ait grafik Şekil 4.17’de görülmektedir.



Şekil 4.17. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama impermeabilite değerleri

Şekil 4.17 incelendiğinde $MgSO_4$ ve $NaCl$ etkisine maruz beton örneklerin ısı değeri düştükçe geçirimsizlik (impermeabilite) değerlerinin düştüğü, diğer kür ortamlarına maruz beton örneklerin ise geçirimsizlik (impermeabilite) değerlerinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.36. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin impermeabilite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ort.alama impermeabilite (cm)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	3	7,98	0,0569	7,92	8,03	0,00
	NaCl	3	9,00	0,0954	8,94	9,11	12,80
	$MgSO_4$	3	9,50	0,0710	9,44	9,58	19,00
	H_2SO_4	3	11,40	0,0116	11,39	11,41	42,90
	28 gün	3	9,79	0,0361	9,75	9,82	22,70
-5	Referans	3	8,91	0,0551	8,85	8,96	0,00
	NaCl	3	8,70	0,0252	8,68	8,73	-2,40

Çizelge 4.36 (Devam). PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin impermeabilite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ort.alama impermeabilite (cm)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-5	MgSO ₄	3	9,11	0,0513	9,07	9,17	2,20
	H ₂ SO ₄	3	11,79	0,0500	11,74	11,84	32,30
	28 gün	3	11,10	0,0611	11,05	11,17	24,60
-10	Referans	3	9,79	0,0306	9,76	9,82	0,00
	NaCl	3	7,71	0,0306	7,68	7,74	-21,20
	MgSO ₄	3	8,10	0,0361	8,06	8,13	-17,30
	H ₂ SO ₄	3	14,19	0,0451	14,15	14,24	44,90
	28 gün	3	12,10	0,0306	12,07	12,13	23,60
-15	Referans	3	10,53	0,0265	10,50	10,55	0,00
	NaCl	3	7,10	0,0351	7,07	7,14	-32,60
	MgSO ₄	3	7,50	0,0451	7,45	7,54	-28,80
	H ₂ SO ₄	3	15,00	0,0000	15,00	15,00	42,50
	28 gün	3	13,09	0,0361	13,06	13,13	24,30
-20	Referans	3	10,91	0,0794	10,85	11,00	0,00
	NaCl	3	6,49	0,0306	6,46	6,52	-40,50
	MgSO ₄	3	6,89	0,0200	6,87	6,91	-36,80
	H ₂ SO ₄	3	15,00	0,0000	15,00	15,00	37,50
	28 gün	3	13,52	0,0265	13,49	13,54	23,90

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama impermeabilite sonuçlarına ait istatistik sonuçlarına göre:

-20°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 6,49 cm ile %41 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 6,89 cm ile %37 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 15,00 cm ile %38 daha büyük olduğu,

-15°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 7,10 cm ile %33 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 7,50 cm ile %29 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 15,00 cm ile %43 daha büyük olduğu,

-10°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 7,71 cm ile %21 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 8,10 cm ile %17 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 14,19 cm ile %45 daha büyük olduğu,

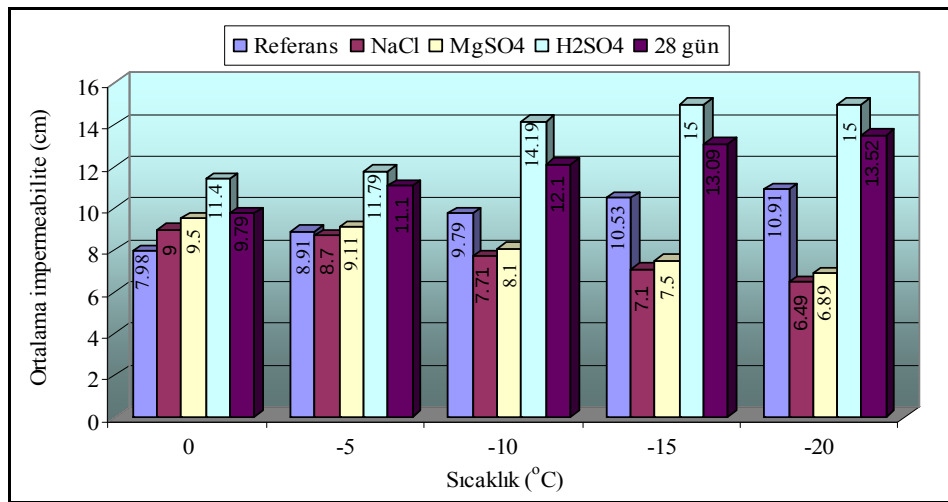
-5°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 8,70 cm ile %2 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 9,11 cm ile %2 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 11,79 cm ile %32 daha büyük olduğu,

0°C derece sıcaklıkta referans beton örneklerin impermeabilite değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 9,00 cm ile %13 daha büyük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 9,50 cm ile %19 daha büyük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 11,40 cm ile %43 daha büyük olduğu görülmüştür.

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama impermeabilite sonuçlarına ait grafik Şekil 4.18’de görülmektedir.



Şekil 4.18. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama impermeabilite değerleri

Şekil 4.18 incelendiğinde MgSO₄ ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin ısı değeri düşükçe geçirimsilik (impermeabilite) değerlerinin düştüğü, diğer kür ortamlarına maruz beton örneklerin ise geçirimsilik (impermeabilite) değerlerinin arttığı görülmektedir.

Sonuç olarak:

Betonun boşluk yapısının artışına bağlı olarak geçirimsilik (impermeabilite) değeri artmaktadır. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %4 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %1 oranında daha küçük impermeabilite değerine sahip olduğu görülmüştür. Beton örneklerin üretildiği her sıcaklık değerinde H₂SO₄ etkisine maruz

beton örneklerin boşluk miktarı en büyük değeri almaktadır. Dolayısıyla geçirimlilik değeri, H_2SO_4 etkisine maruz betonlarda en büyük değerini almaktadır. Beton örnekler arasında NaCl etkisine maruz beton örneklerin boşluk miktarları en küçük değerleri almaktadır ve NaCl etkisindeki beton örneklerde en düşük geçirimlilik değeri ölçülmüştür.

4.8. Yarmada Çekme Dayanımı

YÇD tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.37’de, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.38’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.39’da verilmiştir.

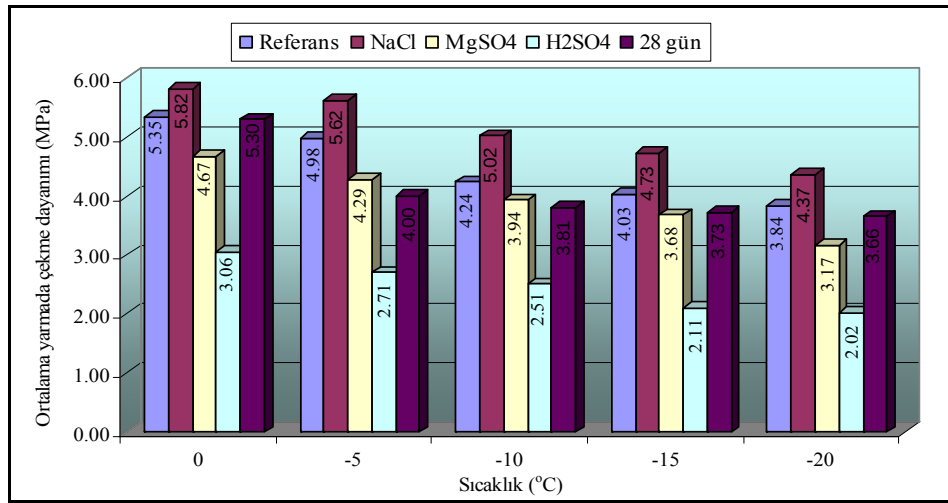
Sıcaklık faktörünün 5 seviyesi (0, -5, -10, -15 ve -20°C) ve kür faktörünün 5 seviyesinde (28 günlük su kürü, H_2SO_4 , $MgSO_4$, NaCl, Referans “120 günlük su kürü”) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda sıcaklık ve kür faktörlerinin YÇD değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,01$).

Diğer taraftan sıcaklık ve kür interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,01$) (Çizelge 4.40). Sıcaklık ve kür faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.41-43). Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama YÇD değerlerine ait grafik Şekil 4.19’da, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama YÇD değerlerine ait grafik Şekil 4.20’de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama YÇD değerlerine ait grafik Şekil 4.21’de görülmektedir.

Çizelge 4.37. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama yarmada çekme dayanımı (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	5,35	0,1014	5,22	5,48	0,00
	NaCl	5	5,82	0,0814	5,71	5,92	8,80
	MgSO ₄	5	4,67	0,0777	4,58	4,77	-12,70
	H ₂ SO ₄	5	3,06	0,0862	2,95	3,15	-42,80
	28 gün	5	5,30	0,0744	5,20	5,39	-0,90
-5	Referans	5	4,98	0,1097	4,84	5,13	0,00
	NaCl	5	5,62	0,0988	5,52	5,75	12,90
	MgSO ₄	5	4,29	0,0796	4,20	4,39	-13,90
	H ₂ SO ₄	5	2,71	0,0863	2,60	2,82	-45,60
	28 gün	5	4,00	0,1197	3,88	4,15	-19,70
-10	Referans	5	4,24	0,0918	4,12	4,35	0,00
	NaCl	5	5,02	0,1085	4,87	5,15	18,40
	MgSO ₄	5	3,94	0,0886	3,83	4,05	-7,10
	H ₂ SO ₄	5	2,51	0,0887	2,40	2,62	-40,80
	28 gün	5	3,81	0,0918	3,70	3,93	-10,10
-15	Referans	5	4,03	0,0983	3,90	4,15	0,00
	NaCl	5	4,73	0,0793	4,62	4,82	17,40
	MgSO ₄	5	3,68	0,0610	3,60	3,75	-8,70
	H ₂ SO ₄	5	2,11	0,0746	2,00	2,20	-47,60
	28 gün	5	3,73	0,0706	3,63	3,80	-7,40
-20	Referans	5	3,84	0,1028	3,73	3,97	0,00
	NaCl	5	4,37	0,0532	4,31	4,44	13,80
	MgSO ₄	5	3,17	0,1160	3,03	3,32	-17,40
	H ₂ SO ₄	5	2,02	0,0756	1,94	2,12	-47,40
	28 gün	5	3,66	0,0573	3,59	3,74	-4,70

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama YÇD sonuçlarına ait grafik Şekil 4.19’da görülmektedir.



Şekil 4.19. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama YÇD değerleri

Şekil 4.19 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin YÇD değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin YÇD değerleri bütün kür ortamlarında en küçük YÇD değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde YÇD değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

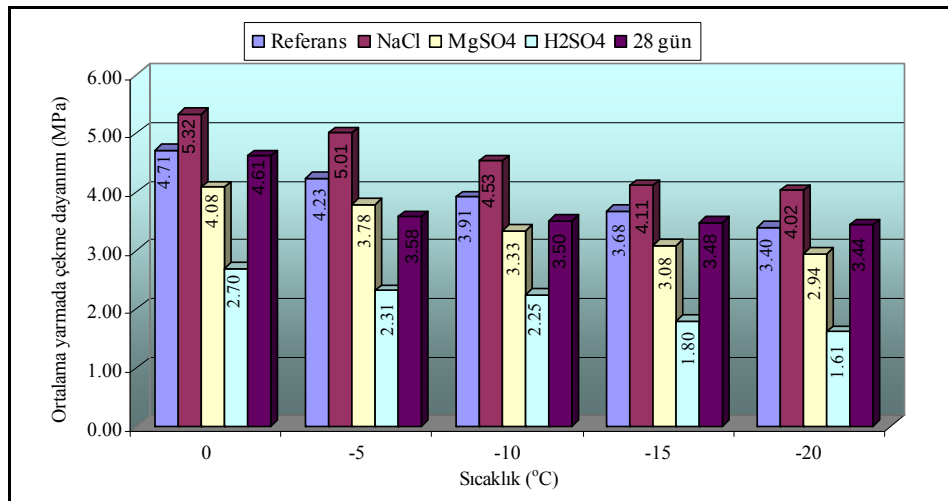
Çizelge 4.38. KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerin YÇD değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama YÇD (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	4,71	0,0808	4,60	4,80	0,00
	NaCl	5	5,32	0,0750	5,22	5,41	13,00
	MgSO ₄	5	4,08	0,0973	3,97	4,20	-13,40
	H ₂ SO ₄	5	2,70	0,0777	2,60	2,80	-42,70
	28 gün	5	4,61	0,0929	4,50	4,74	-2,10
-5	Referans	5	4,23	0,0627	4,15	4,30	0,00
	NaCl	5	5,01	0,0795	4,92	5,12	18,40
	MgSO ₄	5	3,78	0,0891	3,67	3,90	-10,60
	H ₂ SO ₄	5	2,31	0,0776	2,23	2,42	-45,40
	28 gün	5	3,58	0,0868	3,45	3,67	-15,40
-10	Referans	5	3,91	0,0557	3,84	3,98	0,00
	NaCl	5	4,53	0,0666	4,43	4,59	15,90
	MgSO ₄	5	3,33	0,0773	3,24	3,43	-14,80

Çizelge 4.42 (Devam). KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama YÇD (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-10	H ₂ SO ₄	5	2,25	0,0650	2,17	2,34	-42,50
	28 gün	5	3,50	0,0718	3,40	3,59	-10,50
-15	Referans	5	3,68	0,0859	3,57	3,78	0,00
	NaCl	5	4,11	0,1161	3,98	4,26	11,70
	MgSO ₄	5	3,08	0,1002	2,95	3,20	-16,30
	H ₂ SO ₄	5	1,80	0,0791	1,70	1,90	-51,10
	28 gün	5	3,48	0,0630	3,40	3,57	-5,40
-20	Referans	5	3,40	0,0606	3,32	3,47	0,00
	NaCl	5	4,02	0,0756	3,94	4,12	18,20
	MgSO ₄	5	2,94	0,1110	2,80	3,09	-13,50
	H ₂ SO ₄	5	1,61	0,0623	1,54	1,70	-52,60
	28 gün	5	3,44	0,0719	3,35	3,52	1,20

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama YÇD sonuçlarına ait grafik Şekil 4.20’de görülmektedir.



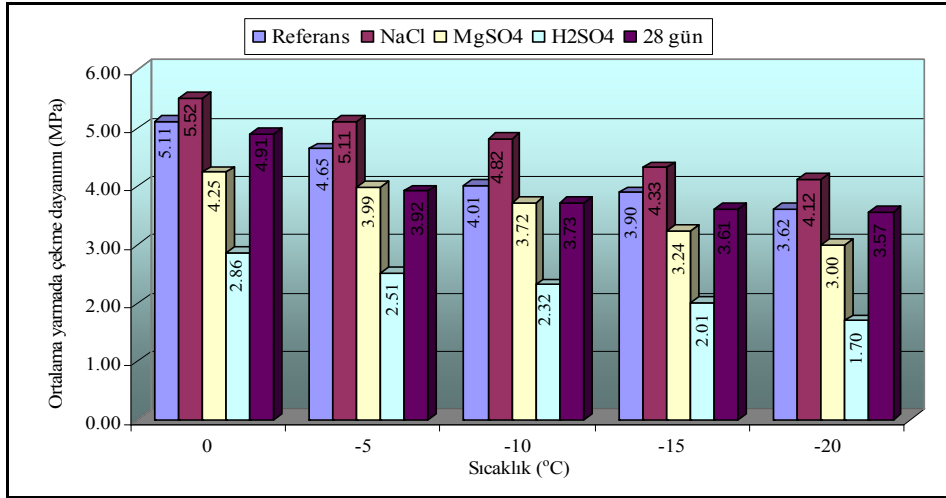
Şekil 4.20. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama YÇD değerleri

Şekil 4.20 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin YÇD değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin YÇD değerleri bütün kür ortamlarında en küçük YÇD değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde YÇD değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.39. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama YÇD (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	5,11	0,0786	5,02	5,22	0,00
	NaCl	5	5,52	0,0979	5,41	5,65	8,00
	MgSO ₄	5	4,25	0,0654	4,17	4,32	-16,80
	H ₂ SO ₄	5	2,86	0,0709	2,78	2,95	-44,00
	28 gün	5	4,91	0,0770	4,82	5,00	-3,90
-5	Referans	5	4,65	0,0669	4,58	4,74	0,00
	NaCl	5	5,11	0,0879	4,99	5,22	9,90
	MgSO ₄	5	3,99	0,0661	3,93	4,10	-14,20
	H ₂ SO ₄	5	2,51	0,0754	2,42	2,62	-46,00
	28 gün	5	3,92	0,0797	3,83	4,04	-15,70
-10	Referans	5	4,01	0,1158	3,85	4,13	0,00
	NaCl	5	4,82	0,0554	4,75	4,89	20,20
	MgSO ₄	5	3,72	0,0638	3,63	3,80	-7,20
	H ₂ SO ₄	5	2,32	0,0811	2,23	2,44	-42,10
	28 gün	5	3,73	0,0882	3,60	3,83	-7,00
-15	Referans	5	3,90	0,0756	3,82	4,00	0,00
	NaCl	5	4,33	0,0887	4,22	4,44	11,00
	MgSO ₄	5	3,24	0,0563	3,17	3,30	-16,90
	H ₂ SO ₄	5	2,01	0,0666	1,93	2,10	-48,50
	28 gün	5	3,61	0,0770	3,52	3,70	-7,40
-20	Referans	5	3,62	0,0416	3,58	3,68	0,00
	NaCl	5	4,12	0,0837	4,00	4,22	13,80
	MgSO ₄	5	3,00	0,0863	2,90	3,12	-17,10
	H ₂ SO ₄	5	1,70	0,0730	1,62	1,80	-53,00
	28 gün	5	3,57	0,0904	3,48	3,69	-1,40

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama YÇD sonuçlarına ait grafik Şekil 4.21’de görülmektedir.



Şekil 4.21. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama YÇD değerleri

Şekil 4.21 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin YÇD değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin YÇD değerleri bütün kür ortamlarında en küçük YÇD değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde YÇD değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Elde edilen YÇD değerlerinin taze betonun maruz kaldığı sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin önem derecesini belirleyebilmek amacıyla her bir katkı türünde iki faktörlü (sıcaklık ve kür) varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.40'da verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre her antifriz türünde 2'li interaksiyon yani sıcaklık*kür interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P=0,000). Diğer bir ifadeyle YÇD değerlerinin hem sıcaklık hem de kür ortamına bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.40. YÇD değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları

Antifriz türü	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
%30KN+%5HEA	Sıcaklık	31,941	4	7,985	1017,383	0,000
	Kür	94,725	4	23,681	3017,197	0,000
	Sıcaklık * Kür interaksyonu	3,359	16	0,210	26,750	0,000
	Hata	0,785	100	0,008		
	Toplam	2157,700	125			
KN	Sıcaklık	22,746	4	5,686	873,331	0,000
	Kür	83,294	4	20,824	3198,115	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	1,985	16	0,124	19,056	0,000
	Hata	0,651	100	0,007		
	Toplam	1707,363	125			
PHA	Sıcaklık	27,394	4	6,848	1131,600	0,000
	Kür	87,982	4	21,996	3634,433	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	1,969	16	0,123	20,335	0,000
	Hata	0,605	100	0,006		
	Toplam	1906,118	125			

Her bir antifriz türünde elde edilen YÇD değerlerinin sıcaklık ve kür ortamına bağlı olarak beton türlerinin bir birleri arasında farklı olup olmadığını belirleyebilmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Elde edilen Duncan testi sonuçları %30KN+%5HEA içerikli antifriz için Çizelge 4.41’de, KN içerikli antifriz için Çizelge 4.42’de, PHA içerikli antifriz için ise Çizelge 4.43’de verilmiştir.

Çizelge 4.41. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin YÇD değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Yarmada çekme dayanımı (MPa) ($\alpha=0,05$)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-20°C / H ₂ SO ₄	5	2,02															
-15°C / H ₂ SO ₄	5	2,11															
-10°C / H ₂ SO ₄	5		2,51														
-5 °C / H ₂ SO ₄	5			2,71													
0°C / H ₂ SO ₄	5				3,06												
-20°C / MgSO ₄	5					3,17											
-20°C / 28 gün	5						3,66										
-15°C / MgSO ₄	5						3,68										
-15°C / 28 gün	5						3,73	3,73									
-10°C / 28 gün	5							3,81									
-20°C / Referans	5							3,84	3,84								
-10°C / MgSO ₄	5								3,94	3,94							
-5 °C / 28 gün	5									4,00							
-15°C / Referans	5									4,03							
-10°C / Referans	5										4,24						
-5 °C / MgSO ₄	5										4,29	4,29					
-20°C / NaCl	5											4,37					
0°C / MgSO ₄	5												4,67				
-15°C / NaCl	5												4,73				
-5 °C / Referans	5													4,98			
-10°C / NaCl	5													5,02			
0°C / 28 gün	5														5,30		
0°C / Referans	5														5,35		
-5 °C / NaCl	5															5,62	
0°C / NaCl	5																5,82

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,82 MPa ile en büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 2,02 MPa ile en küçük YÇD değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama YÇD, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,82 MPa, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,62 MPa, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,02 MPa, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 4,73 MPa, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 4,37 MPa olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama YÇD, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,02 MPa, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,11 MPa, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,51 MPa, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,71 MPa, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 3,06 MPa olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük YÇD değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük YÇD değerlerine sahip olduğu,
- -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 28 gün küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile 0°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %47 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %52 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %50 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %55 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,

- -20°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %54 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek YÇD değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %65 oranında daha büyük YÇD değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.42. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin YÇD değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık/Kür)	N	Yarmada çekme dayanımı (MPa) ($\alpha=0,05$)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
-20°C / H ₂ SO ₄	5	1,61																	
-15°C / H ₂ SO ₄	5		1,80																
-10°C / H ₂ SO ₄	5			2,25															
-5 °C / H ₂ SO ₄	5			2,31															
0°C / H ₂ SO ₄	5				2,70														
-20°C / MgSO ₄	5					2,94													
-15°C / MgSO ₄	5						3,08												
-10°C / MgSO ₄	5							3,33											
-20°C / Referans	5							3,40	3,40										
-20°C / 28 gün	5								3,44										
-15°C / 28 gün	5								3,48	3,48									
-10°C / 28 gün	5								3,50	3,50									
-5 °C / 28 gün	5									3,58	3,58								
-15°C / Referans	5										3,68	3,68							
-5 °C / MgSO ₄	5											3,78							
-10°C / Referans	5												3,91						
-20°C / NaCl	5													4,02					
0°C / MgSO ₄	5														4,08				
-15°C / NaCl	5															4,11			
-5 °C / Referans	5																4,23		
-10°C / NaCl	5																	4,53	
0°C / 28 gün	5																		4,61
0°C / Referans	5																		4,71
-5 °C / NaCl	5																		5,01
0°C / NaCl	5																		5,32

KN içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,32 MPa ile en büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 1,61 MPa ile en küçük YÇD değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama YÇD, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,32 MPa, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,01 MPa, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 4,53 MPa, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 4,11 MPa, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 4,02 MPa olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama YÇD, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 1,61 MPa, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 1,80 MPa, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,25 MPa, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,31 MPa, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,70 MPa olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük YÇD değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük YÇD değerlerine sahip olduğu,
- -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -20°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %49 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %54 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %50 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %56 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %60 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek YÇD değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip -20°C sıcaklık ve H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerle göre %70 oranında daha büyük YÇD değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.43. PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin YÇD değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık/Kür)	N	Yarmada çekme dayanımı (MPa) ($\alpha=0,05$)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
-20°C / H ₂ SO ₄	5	1,70																	
-15°C / H ₂ SO ₄	5		2,01																
-10°C / H ₂ SO ₄	5			2,32															
-5 °C / H ₂ SO ₄	5				2,51														
0°C / H ₂ SO ₄	5					2,86													
-20°C / MgSO ₄	5						3,00												
-15°C / MgSO ₄	5							3,24											
-20°C / 28 gün	5								3,57										
-15°C / 28 gün	5								3,61										
-20°C / Referans	5								3,62	3,62									
-10°C / MgSO ₄	5									3,72	3,72								
-10°C / 28 gün	5										3,73								
-15°C / Referans	5											3,90							
-5 °C / 28 gün	5											3,92	3,92						
-5 °C / MgSO ₄	5											3,99	3,99						
-10°C / Referans	5												4,01						
-20°C / NaCl	5													4,12					
0°C / MgSO ₄	5														4,25				
-15°C / NaCl	5														4,33				
-5 °C / Referans	5															4,65			
-10°C / NaCl	5																4,82		
0°C / 28 gün	5																4,91		
0°C / Referans	5																	5,11	
-5 °C / NaCl	5																	5,11	
0°C / NaCl	5																		5,52

PHA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,52 MPa ile en büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 1,70 MPa ile en küçük YÇD değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama YÇD, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,52 MPa, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 5,11 MPa, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 4,82 MPa, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 4,33 MPa, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 4,12 MPa olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama YÇD, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 1,70 MPa, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,01 MPa, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,32 MPa, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,51 MPa, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 2,86 MPa olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük YÇD değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük YÇD değerlerine sahip olduğu,
- -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -20°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki

(referans) beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -5°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin YÇD değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %48 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %51 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %52 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %54 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük YÇD değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %59 daha büyük YÇD değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek YÇD değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük YÇD değerine sahip -

20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler göre %69 oranında daha büyük YÇD değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak:

Betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düşüşüne bağlı olarak beton örneklerin YÇD değerleri düşmektedir. YÇD'deki düşüş beton örneklerin boşluk yapısıyla doğrudan ilişkilidir. YÇD'deki düşme basınç dayanımında da benzer özellikler göstermektedir. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %12 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %5 oranında daha büyük YÇD'na sahip olduğu görülmüştür.

4.9. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.44'de, KN içerikli antifriz katkılı beton örnekler ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.45'de, PHA içerikli antifriz katkılı beton örnekler ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.46'da verilmiştir.

Sıcaklık faktörünün 5 seviyesi (0, -5, -10, -15 ve -20°C) ve kür faktörünün 5 seviyesinde (28 günlük su kürü, H₂SO₄, MgSO₄, NaCl, Referans "120 günlük su kürü") gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda sıcaklık ve kür faktörlerinin basınç dayanımı değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür (p<0,01).

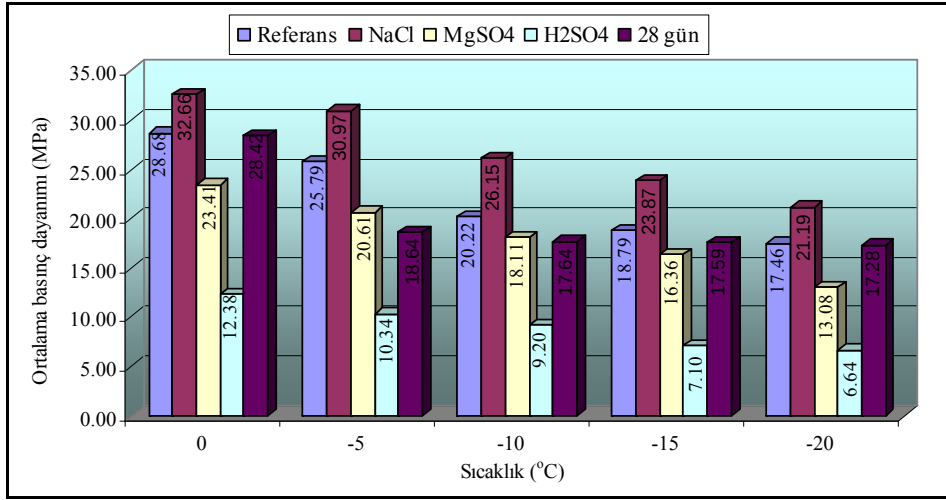
Diğer taraftan sıcaklık ve kür interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür (p<0,01) (Çizelge 4.47). Sıcaklık ve kür faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.48-50). Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 4.22'de, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 4.23'de, PHA içerikli antifriz

katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerlerine ait grafik Şekil 4.24’de görülmektedir.

Çizelge 4.44. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	28,68	0,8268	27,64	29,73	0,00
	NaCl	5	32,66	0,6834	31,70	33,46	13,90
	MgSO ₄	5	23,41	0,5831	22,71	24,14	-18,40
	H ₂ SO ₄	5	12,38	0,5334	11,72	12,94	-56,80
	28 gün	5	28,42	0,6621	27,76	29,48	-0,90
-5	Referans	5	25,79	0,8552	24,67	26,93	0,00
	NaCl	5	30,97	0,8174	30,13	32,03	20,10
	MgSO ₄	5	20,61	0,5745	19,94	21,31	-20,10
	H ₂ SO ₄	5	10,34	0,4660	9,75	10,95	-59,90
	28 gün	5	18,64	0,5527	17,95	19,40	-27,70
-10	Referans	5	20,22	0,6716	19,40	21,09	0,00
	NaCl	5	26,15	0,8446	24,97	27,15	29,30
	MgSO ₄	5	18,11	0,6154	17,35	18,88	-10,40
	H ₂ SO ₄	5	9,20	0,4880	8,59	9,80	-54,50
	28 gün	5	17,64	0,1426	17,48	17,85	-12,80
-15	Referans	5	18,79	0,6867	17,90	19,65	0,00
	NaCl	5	23,87	0,5991	23,07	24,58	27,00
	MgSO ₄	5	16,36	0,4063	15,81	16,81	-12,90
	H ₂ SO ₄	5	7,10	0,3734	6,58	7,59	-62,20
	28 gün	5	17,59	0,1372	17,42	17,79	-6,40
-20	Referans	5	17,46	0,6956	16,68	18,32	0,00
	NaCl	5	21,19	0,3853	20,79	21,73	21,40
	MgSO ₄	5	13,08	0,7111	12,20	14,00	-25,10
	H ₂ SO ₄	5	6,64	0,3755	6,24	7,13	-62,00
	28 gün	5	17,28	0,5873	16,33	17,84	-1,00

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.22’de görülmektedir.



Şekil 4.22. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.22 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin basınç dayanımı değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin basınç dayanımı değerleri bütün kür ortamlarında en küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde basınç dayanımı değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

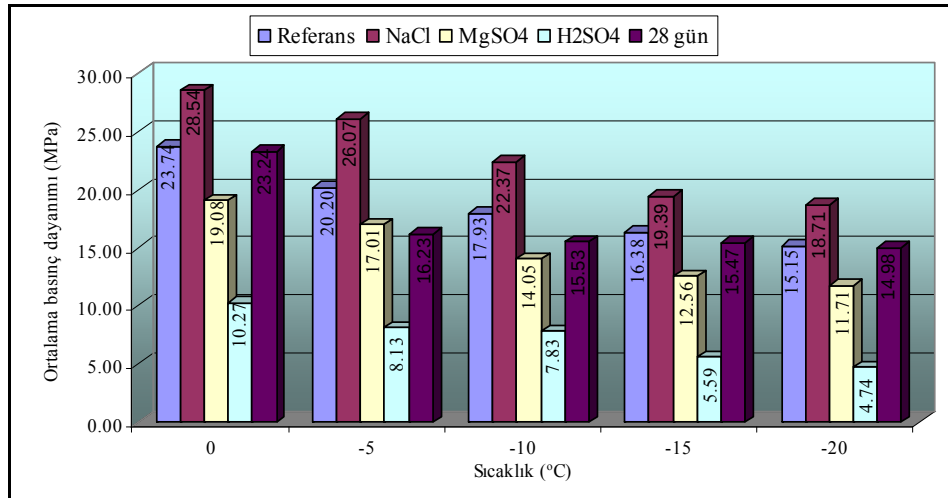
Çizelge 4.45. KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	23,74	0,6019	22,93	24,44	0,00
	NaCl	5	28,54	0,6003	27,71	29,23	20,20
	MgSO ₄	5	19,08	0,6843	18,32	19,94	-19,60
	H ₂ SO ₄	5	10,27	0,4375	9,75	10,89	-56,70
	28 gün	5	23,24	0,2897	22,93	23,70	-2,10
-5	Referans	5	20,20	0,4690	19,58	20,73	0,00
	NaCl	5	26,07	0,6199	25,35	26,91	29,10
	MgSO ₄	5	17,01	0,6259	16,28	17,90	-15,80
	H ₂ SO ₄	5	8,13	0,4104	7,69	8,70	-59,80
	28 gün	5	16,23	0,1139	16,12	16,36	-19,70
-10	Referans	5	17,93	0,3962	17,42	18,39	0,00
	NaCl	5	22,37	0,4919	21,66	22,84	24,80
	MgSO ₄	5	14,05	0,4837	13,50	14,70	-21,60
	H ₂ SO ₄	5	7,83	0,3410	7,38	8,27	-56,30
	28 gün	5	15,53	0,1907	15,29	15,80	-13,40

Çizelge 4.45 (Devam). KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-15	Referans	5	16,38	0,5730	15,68	17,08	0,00
	NaCl	5	19,39	0,8211	18,45	20,43	18,40
	MgSO ₄	5	12,56	0,6117	11,78	13,31	-23,30
	H ₂ SO ₄	5	5,59	0,3695	5,16	6,09	-65,90
	28 gün	5	15,47	0,1609	15,28	15,72	-5,60
-20	Referans	5	15,15	0,1414	14,96	15,32	0,00
	NaCl	5	18,71	0,5277	18,17	19,43	23,50
	MgSO ₄	5	11,71	0,6483	10,89	12,57	-22,70
	H ₂ SO ₄	5	4,74	0,2745	4,40	5,11	-68,70
	28 gün	5	14,98	0,0973	14,88	15,13	-1,10

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.23’de görülmektedir.



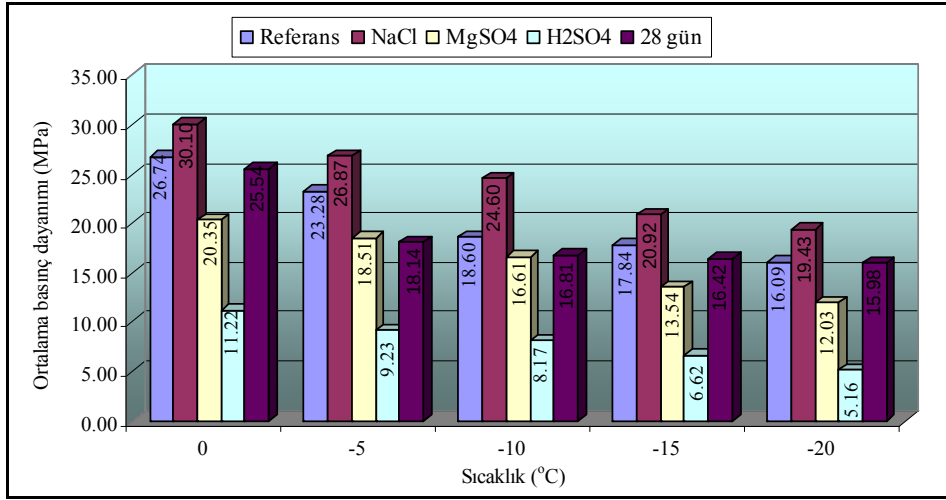
Şekil 4.23. KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.23 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin basınç dayanımı değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin basınç dayanımı değerleri bütün kür ortamlarında en küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde basınç dayanımı değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.46. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	26,74	0,6208	26,06	27,64	0,00
	NaCl	5	30,10	0,8027	29,23	31,20	12,60
	MgSO ₄	5	20,35	0,4704	19,72	20,80	-23,90
	H ₂ SO ₄	5	11,22	0,4132	10,72	11,72	-58,00
	28 gün	5	25,54	0,1155	25,40	25,69	-4,50
-5	Referans	5	23,28	0,4888	22,71	23,91	0,00
	NaCl	5	26,87	0,6917	25,90	27,71	15,40
	MgSO ₄	5	18,51	0,4830	18,04	19,30	-20,50
	H ₂ SO ₄	5	9,23	0,4122	8,70	9,80	-60,40
	28 gün	5	18,14	0,0915	18,03	18,27	-22,10
-10	Referans	5	18,60	0,7840	17,56	19,44	0,00
	NaCl	5	24,60	0,4242	24,05	25,12	32,30
	MgSO ₄	5	16,61	0,4372	16,01	17,15	-10,70
	H ₂ SO ₄	5	8,17	0,4298	7,69	8,81	-56,10
	28 gün	5	16,81	0,1383	16,63	17,01	-9,60
-15	Referans	5	17,84	0,5423	17,29	18,59	0,00
	NaCl	5	20,92	0,6417	20,14	21,73	17,30
	MgSO ₄	5	13,54	0,3594	13,06	13,94	-24,10
	H ₂ SO ₄	5	6,62	0,3529	6,19	7,08	-62,90
	28 gün	5	16,42	0,1580	16,18	16,60	-8,00
-20	Referans	5	16,09	0,2426	15,75	16,34	0,00
	NaCl	5	19,43	0,5887	18,59	20,14	20,80
	MgSO ₄	5	12,03	0,5306	11,42	12,75	-25,20
	H ₂ SO ₄	5	5,16	0,3410	4,75	5,62	-67,90
	28 gün	5	15,98	0,1372	15,82	16,19	-0,70

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama basınç dayanımı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.24’de görülmektedir.



Şekil 4.24. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.24 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin basınç dayanımı değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin basınç dayanımı değerleri bütün kür ortamlarında en küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde basınç dayanımı değeri diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Elde edilen basınç dayanımı değerlerinin taze betonun maruz kaldığı sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin önem derecesini belirleyebilmek amacıyla her bir katkı türünde iki faktörlü (sıcaklık ve kür) varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.47’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre her antifriz türünde 2’li interaksiyon yani sıcaklık*kür interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P=0,000). Diğer bir ifadeyle basınç dayanımı değerlerinin hem sıcaklık hem de kür ortamına bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.47. Basınç dayanımı değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları

Antifriz türü	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
%30KN+%5HEA	Sıcaklık	1566,071	4	391,518	1082,168	0,000
	Kür	4295,823	4	1073,956	2968,447	0,000
	Sıcaklık * Kür interaksyonu	240,447	16	15,028	41,538	0,000
	Hata	36,179	100	0,362		
	Toplam	52715,597	125			
KN	Sıcaklık	1006,375	4	251,594	1089,780	0,000
	Kür	3353,517	4	838,379	3631,447	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	112,822	16	7,051	30,543	0,000
	Hata	23,087	100	0,231		
	Toplam	37284,926	125			
PHA	Sıcaklık	1281,010	4	320,253	1439,969	0,000
	Kür	3700,244	4	925,061	4159,402	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	141,269	16	8,829	39,700	0,000
	Hata	22,240	100	0,222		
	Toplam	43655,255	125			

Her bir antifriz türünde elde edilen basınç dayanımı değerlerinin sıcaklık ve kür ortamına bağlı olarak beton türlerinin bir birleri arasında farklı olup olmadığını belirleyebilmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Elde edilen Duncan testi sonuçları %30KN+%5HEA içerikli antifriz için Çizelge 4.48’de, KN içerikli antifriz için Çizelge 4.49’da, PHA içerikli antifriz için ise Çizelge 4.50’de verilmiştir.

Çizelge 4.48. %30KN+%5HEA içelikli antifriz katkıli beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Basınç dayanımı (MPa) ($\alpha=0,05$)													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-20°C / H ₂ SO ₄	5	6,64													
-15°C / H ₂ SO ₄	5	7,10													
-10°C / H ₂ SO ₄	5		9,20												
-5 °C / H ₂ SO ₄	5			10,34											
0°C / H ₂ SO ₄	5				12,38										
-20°C / MgSO ₄	5				13,08										
-15°C / MgSO ₄	5					16,36									
-20°C / 28 gün	5						17,28								
-20°C / Referans	5						17,46								
-15°C / 28 gün	5						17,59								
-10°C / 28 gün	5						17,64								
-10°C / MgSO ₄	5						18,11	18,11							
-5 °C / 28 gün	5							18,64							
-15°C / Referans	5							18,79							
-10°C / Referans	5							20,22							
-5 °C / MgSO ₄	5							20,61	20,61						
-20°C / NaCl	5								21,19						
0°C / MgSO ₄	5									23,41					
-15°C / NaCl	5									23,87					
-5 °C / Referans	5										25,79				
-10°C / NaCl	5										26,15				
0°C / 28 gün	5											28,42			
0°C / Referans	5											28,68			
-5 °C / NaCl	5												30,97		
0°C / NaCl	5													32,66	

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 32,66 MPa ile en büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 6,64 MPa ile en küçük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama basınç dayanımı, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 32,66 MPa, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 30,97 MPa, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 26,15 MPa, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 23,87 MPa, -20°C 'de NaCl etkisine maruz beton örneklerde 21,19 MPa olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama basınç dayanımı, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 6,64 MPa, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 7,10 MPa, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 9,20 MPa, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 10,34 MPa, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 12,38 MPa olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu,
- -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- 0°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile 0°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %62 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %67 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %65 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %70 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %72 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek basınç dayanımı değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %80 oranında daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.49. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık/Kür)	N	Basınç dayanımı (MPa) ($\alpha=0,05$)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
-20°C / H ₂ SO ₄	5	4,74																	
-15°C / H ₂ SO ₄	5		5,59																
-10°C / H ₂ SO ₄	5			7,83															
-5 °C / H ₂ SO ₄	5			8,13															
0°C / H ₂ SO ₄	5				10,27														
-20°C / MgSO ₄	5					11,71													
-15°C / MgSO ₄	5						12,56												
-10°C / MgSO ₄	5							14,05											
-20°C / 28 gün	5								14,98										
-20°C / Referans	5								15,15										
-15°C / 28 gün	5								15,47										
-10°C / 28 gün	5								15,53										
-5 °C / 28 gün	5									16,23									
-15°C / Referans	5									16,38									
-5 °C / MgSO ₄	5										17,01								
-10°C / Referans	5											17,93							
-20°C / NaCl	5												18,71						
0°C / MgSO ₄	5													19,08	19,08				
-15°C / NaCl	5														19,39				
-5 °C / Referans	5															20,20			
-10°C / NaCl	5																22,37		
0°C / 28 gün	5																	23,24	
0°C / Referans	5																	23,74	
-5 °C / NaCl	5																		26,07
0°C / NaCl	5																		28,54

KN içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 28,54 MPa ile en büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 4,74 MPa ile en küçük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama basınç dayanımı, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 28,54 MPa, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 26,07 MPa, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 22,37 MPa, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 19,39 MPa, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 18,71 MPa olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama basınç dayanımı, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 4,74 MPa, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 5,59 MPa, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 7,83 MPa, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 8,13 MPa, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 10,27 MPa olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu,
- -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -20°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- 0°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün küründeki beton örnekler ile 0°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %64 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %69 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %65 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %71 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %75 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek basınç dayanımı değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %83 oranında daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.50. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık/Kür)	N	Basınç dayanımı (MPa) ($\alpha=0,05$)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
-20°C / H ₂ SO ₄	5	5,16																	
-15°C / H ₂ SO ₄	5		6,62																
-10°C / H ₂ SO ₄	5			8,17															
-5 °C / H ₂ SO ₄	5				9,23														
0°C / H ₂ SO ₄	5					11,22													
-20°C / MgSO ₄	5						12,03												
-15°C / MgSO ₄	5							13,54											
-20°C / 28 gün	5								15,98										
-20°C / Referans	5								16,09										
-15°C / 28 gün	5								16,42	16,42									
-10°C / MgSO ₄	5								16,61	16,61									
-10°C / 28 gün	5									16,81									
-5 °C / 28 gün	5										17,84								
-15°C / Referans	5										18,14	18,14							
-5 °C / MgSO ₄	5											18,51							
-10°C / Referans	5											18,60							
-20°C / NaCl	5												19,43						
0°C / MgSO ₄	5													20,35					
-15°C / NaCl	5														20,92				
-5 °C / Referans	5															23,28			
-10°C / NaCl	5																24,60		
0°C / 28 gün	5																	25,54	
0°C / Referans	5																		26,74
-5 °C / NaCl	5																		26,87
0°C / NaCl	5																		30,10

PHA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 30,10 MPa ile en büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 5,16 MPa ile en küçük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama basınç dayanımı, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 30,10 MPa, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 26,87 MPa, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 24,60 MPa, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 20,92 MPa, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 19,43 MPa olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama basınç dayanımı, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 5,16 MPa, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 6,62 MPa, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 8,17 MPa, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 9,23 MPa, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 11,22 MPa olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük basınç dayanımı değerlerine sahip olduğu,
- -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -20°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -10°C sıcaklık ve $MgSO_4$ etkisine maruz beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve $MgSO_4$ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile 0°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin basınç dayanımı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %63 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %66 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %67 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %68 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük basınç dayanımı değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %73 daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek basınç dayanımı değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük basınç dayanımı değerine sahip -20°C sıcaklık ve H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerle göre %83 oranında daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak:

Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık derecesine bağlı olarak boşluk miktarı artmakta ve dolayısıyla basınç dayanımı düşmektedir. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örnekler, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerden ortalama %18 ve PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklerden ortalama %8 oranında daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Beton örneklerin maruz kaldığı korozyon etki göz önünde bulundurulduğunda, en düşük boşluk miktarına sahip NaCl etkisine maruz beton örnekler her ısı derecesinde en büyük basınç değerine sahip olduğu görülmüştür. En büyük boşluk miktarına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı derecesinde en düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

4.10. Statik Elastisite Modülü

Statik elastisite modülü tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.51’de, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.52’de, PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.53’de verilmiştir.

Sıcaklık faktörünün 5 seviyesi (0, -5, -10, -15 ve -20°C) ve kür faktörünün 5 seviyesinde (28 günlük su kürü, H₂SO₄, MgSO₄, NaCl, Referans “120 günlük su kürü”) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda sıcaklık ve kür faktörlerinin statik elastisite modülü değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p < 0,01$).

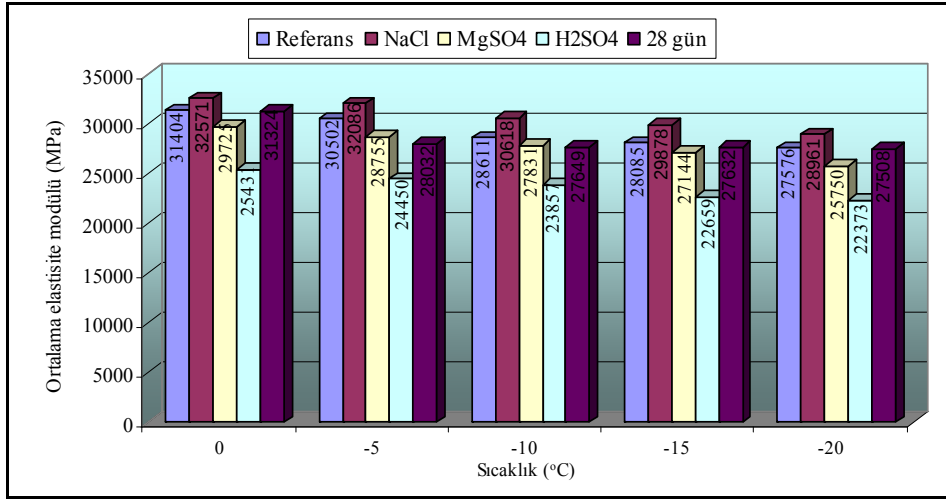
Diğer taraftan sıcaklık ve kür interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p < 0,01$) (Çizelge 4.54). Sıcaklık ve kür faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.55-57). Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerlerine ait grafik Şekil 4.25’de, KN içerikli antifriz katkıli beton

örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerlerine ait grafik Şekil 4.26’da, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerlerine ait grafik Şekil 4.27’de görülmektedir.

Çizelge 4.51. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama statik elastisite modülü (MPa)		Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	31404		250,95	31086	31721	0,00
	NaCl	5	32571		194,80	32298	32801	3,70
	MgSO ₄	5	29725		195,79	29488	29968	-5,30
	H ₂ SO ₄	5	25431		247,17	25126	25691	-19,00
	28 gün	5	31324		200,96	31124	31646	-0,30
-5	Referans	5	30502		273,63	30142	30866	0,00
	NaCl	5	32086		238,57	31839	32395	5,20
	MgSO ₄	5	28755		205,64	28513	29003	-5,70
	H ₂ SO ₄	5	24450		235,57	24148	24755	-19,80
	28 gün	5	28032		207,78	27769	28315	-8,10
-10	Referans	5	28611		242,54	28315	28925	0,00
	NaCl	5	30618		269,68	30239	30935	7,00
	MgSO ₄	5	27831		235,01	27537	28122	-2,70
	H ₂ SO ₄	5	23857		261,73	23525	24174	-16,60
	28 gün	5	27649		55,10	27588	27731	-3,40
-15	Referans	5	28085		257,56	27750	28407	0,00
	NaCl	5	29878		199,80	29610	30114	6,40
	MgSO ₄	5	27144		163,54	26923	27325	-3,40
	H ₂ SO ₄	5	22659		228,15	22337	22954	-19,30
	28 gün	5	27632		53,14	27565	27708	-1,60
-20	Referans	5	27576		270,05	27273	27911	0,00
	NaCl	5	28961		136,69	28818	29151	5,00
	MgSO ₄	5	25750		319,25	25352	26160	-6,60
	H ₂ SO ₄	5	22373		235,98	22119	22678	-18,90
	28 gün	5	27508		231,13	27133	27727	-0,20

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama statik elastisite modülü sonuçlarına ait grafik Şekil 4.25’de görülmektedir.



Şekil 4.25. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerleri

Şekil 4.25 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri bütün kür ortamlarında en küçük statik elastisite modülü değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde statik elastisite modülü diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

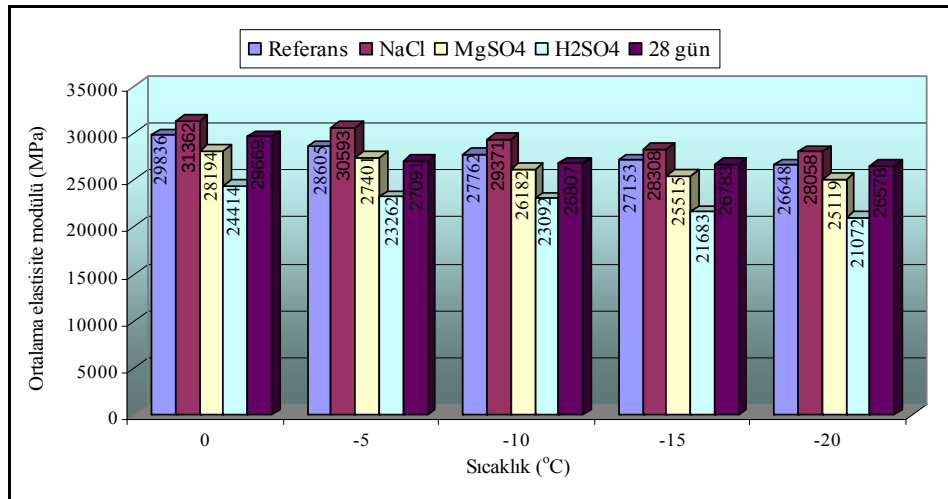
Çizelge 4.52. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama statik elastisite modülü (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	29836	200,91	29563	30067	0,00
	NaCl	5	31362	183,78	31107	31572	5,10
	MgSO ₄	5	28194	254,36	27911	28513	-5,50
	H ₂ SO ₄	5	24414	221,28	24148	24725	-18,20
	28 gün	5	29669	97,46	29563	29822	-0,60
-5	Referans	5	28605	169,69	28381	28797	0,00
	NaCl	5	30593	197,32	30364	30861	6,90
	MgSO ₄	5	27401	246,02	27113	27750	-4,20
	H ₂ SO ₄	5	23262	232,99	23013	23586	-18,70
	28 gün	5	27091	45,95	27049	27145	-5,30
-10	Referans	5	27762	152,11	27565	27937	0,00
	NaCl	5	29371	169,65	29126	29534	5,80
	MgSO ₄	5	26182	209,30	25941	26461	-5,70

Çizelge 4.52 (Devam). KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama statik elastisite modülü (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-10	H ₂ SO ₄	5	23092	198,18	22829	23346	-16,80
	28 gün	5	26807	78,57	26708	26919	-3,40
-15	Referans	5	27153	230,21	26869	27432	0,00
	NaCl	5	28308	302,88	27958	28688	4,30
	MgSO ₄	5	25515	280,85	25155	25857	-6,00
	H ₂ SO ₄	5	21683	253,37	21383	22020	-20,10
	28 gün	5	26783	66,40	26704	26886	-1,40
-20	Referans	5	26648	59,04	26570	26721	0,00
	NaCl	5	28058	198,21	27853	28325	5,30
	MgSO ₄	5	25119	307,88	24725	25523	-5,70
	H ₂ SO ₄	5	21072	204,65	20817	21347	-20,90
	28 gün	5	26578	40,82	26537	26642	-0,30

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama statik elastisite modülü sonuçlarına ait grafik Şekil 4.26’da görülmektedir.



Şekil 4.26. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerleri

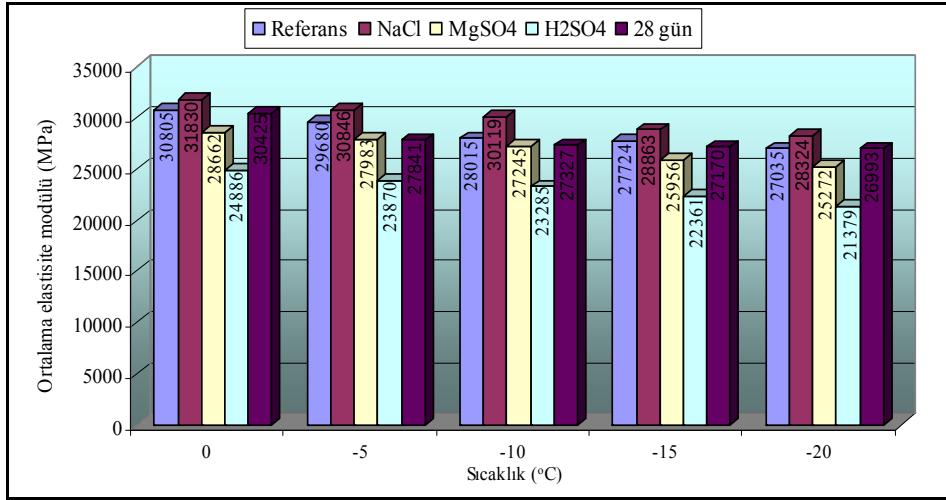
Şekil 4.26 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri bütün kür ortamlarında en küçük statik elastisite modülü değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı

değerinde statik elastisite modülü diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.53. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama statik elastisite modülü (MPa)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	30805	194,69	30591	31086	0,00
	NaCl	5	31830	237,25	31572	32154	3,30
	MgSO ₄	5	28662	169,78	28432	28822	-7,00
	H ₂ SO ₄	5	24886	200,62	24641	25126	-19,20
	28 gün	5	30425	37,15	30379	30473	-1,20
-5	Referans	5	29680	164,53	29488	29892	0,00
	NaCl	5	30846	217,25	30539	31107	3,90
	MgSO ₄	5	27983	181,51	27804	28278	-5,70
	H ₂ SO ₄	5	23870	220,26	23586	24174	-19,60
	28 gün	5	27841	34,90	27800	27892	-6,20
-10	Referans	5	28015	296,33	27619	28330	0,00
	NaCl	5	30119	138,82	29939	30289	7,50
	MgSO ₄	5	27245	174,50	27004	27459	-2,70
	H ₂ SO ₄	5	23285	243,10	23013	23647	-16,90
	28 gün	5	27327	54,80	27253	27404	-2,50
-15	Referans	5	27724	208,13	27514	28013	0,00
	NaCl	5	28863	228,60	28585	29151	4,10
	MgSO ₄	5	25956	158,92	25745	26134	-6,40
	H ₂ SO ₄	5	22361	222,82	22086	22648	-19,30
	28 gün	5	27170	63,44	27073	27242	-2,00
-20	Referans	5	27035	98,43	26898	27137	0,00
	NaCl	5	28324	218,14	28011	28585	4,80
	MgSO ₄	5	25272	247,96	24983	25605	-6,50
	H ₂ SO ₄	5	21379	243,55	21083	21705	-20,90
	28 gün	5	26993	55,73	26927	27077	-0,20

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama statik elastisite modülü sonuçlarına ait grafik Şekil 4.27’de görülmektedir.



Şekil 4.27. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerleri

Şekil 4.27 incelendiğinde taze halde iken 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri bütün kür ortamlarında en küçük statik elastisite modülü değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde statik elastisite modülü diğer kür ortamlarına göre en küçük değerleri almaktadır.

Elde edilen statik elastisite modülü değerlerinin taze betonun maruz kaldığı sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin önem derecesini belirleyebilmek amacıyla her bir katkı türünde iki faktörlü (sıcaklık ve kür) varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.54’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre her antifriz türünde 2’li interaksiyon yani sıcaklık*kür interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P=0,000). Diğer bir ifadeyle basınç dayanımı değerlerinin hem sıcaklık hem de kür ortamına bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.54. Statik elastisite modülü değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları

Antifriz türü	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
%30Kn + %5Hea	Sıcaklık	208497461,4	4	52124365,4	1032,31	0,000
	Kür	693289573,4	4	173322393,3	3432,62	0,000
	Sıcaklık*Kür interaksyonu	22088668,9	16	1380541,8	27,34	0,000
	Hata	5049272,2	100	50492,7		
	Toplam	99043955831,4	125			
KN	Sıcaklık	162375080,9	4	40593770,2	1018,46	0,000
	Kür	653796768,3	4	163449192,1	4100,80	0,000
	Sıcaklık*Kür interaksyonu	12152763,9	16	759547,7	19,06	0,000
	Hata	3985792,5	100	39857,9		
	Toplam	90762172563,4	125			
PHA	Sıcaklık	191610589,8	4	47902647,4	1365,66	0,000
	Kür	668868541,9	4	167217135,5	4767,22	0,000
	Sıcaklık*Kür interaksyonu	13201056,1	16	825066,0	23,52	0,000
	Hata	3507644,3	100	35076,4		
	Toplam	94420049942,7	125			

Her bir antifriz türünde elde edilen statik elastisite modülü değerlerinin sıcaklık ve kür ortamına bağlı olarak beton türlerinin bir birleri arasında farklı olup olmadığını belirleyebilmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Elde edilen Duncan testi sonuçları %30KN+%5HEA içerikli antifriz için Çizelge 4.55’de, KN içerikli antifriz için Çizelge 4.56’da, PHA içerikli antifriz için ise Çizelge 4.57’de verilmiştir.

Çizelge 4.55. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Statik elastisite modülü (MPa) ($\alpha=0,05$)																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
-20°C / H ₂ SO ₄	5	22373																
-15°C / H ₂ SO ₄	5		22659															
-10°C / H ₂ SO ₄	5			23857														
-5 °C / H ₂ SO ₄	5				24450													
0°C / H ₂ SO ₄	5					25431												
-20°C / MgSO ₄	5						25750											
-15°C / MgSO ₄	5							27144										
-20°C / 28 gün	5								27508									
-20°C / Referans	5								27576	27576								
-15°C / 28 gün	5								27632	27632								
-10°C / 28 gün	5								27649	27649								
-10°C / MgSO ₄	5									27831	27831							
-5 °C / 28 gün	5										28032							
-15°C / Referans	5										28085							
-10°C / Referans	5											28611						
-5 °C / MgSO ₄	5											28755	28755					
-20°C / NaCl	5												28961					
0°C / MgSO ₄	5													29725				
-15°C / NaCl	5													29878				
-5 °C / Referans	5														30502			
-10°C / NaCl	5														30618			
0°C / 28 gün	5															31324		
0°C / Referans	5															31404		
-5 °C / NaCl	5																32086	
0°C / NaCl	5																	32571

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 32571 MPa ile en büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 22373 MPa ile en küçük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama statik elastisite modülü, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 32571 MPa, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 32086 MPa, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 30618 MPa, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 29878 MPa, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 28961 MPa olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama statik elastisite modülü, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 22373 MPa, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 22659 MPa, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 23857 MPa, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 24450 MPa, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 25431 MPa olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük statik elastisite modülü değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük statik elastisite modülü değerlerine sahip olduğu,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin, -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin -20°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin ve 20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin, -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin -15°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin ve -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin, -10°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örneklerin ve -15°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %22 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %24 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %22 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,

- -15°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %24 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %23 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek statik elastisite modülü değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %31 oranında daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.56. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Statik elastisite modülü (MPa) ($\alpha=0,05$)																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
-20°C / H ₂ SO ₄	5	21072																
-15°C / H ₂ SO ₄	5		21683															
-10°C / H ₂ SO ₄	5			23092														
-5 °C / H ₂ SO ₄	5			23262														
0°C / H ₂ SO ₄	5				24414													
-20°C / MgSO ₄	5					25119												
-15°C / MgSO ₄	5						25515											
-10°C / MgSO ₄	5							26182										
-20°C / 28 gün	5								26578									
-20°C / Referans	5								26648									
-15°C / 28 gün	5								26783									
-10°C / 28 gün	5								26807									
-5 °C / 28 gün	5									27091								
-15°C / Referans	5									27153	27153							
-5 °C / MgSO ₄	5										27401							
-10°C / Referans	5											27762						
-20°C / NaCl	5												28058					
0°C / MgSO ₄	5													28194				
-15°C / NaCl	5														28308			
-5 °C / Referans	5															28605		
-10°C / NaCl	5																29371	
0°C / 28 gün	5																	29669
0°C / Referans	5																	29836
-5 °C / NaCl	5																	30593
0°C / NaCl	5																	31362

KN içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 31362 MPa ile en büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 21072 MPa ile en küçük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama statik elastisite modülü, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 31362 MPa, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 30593 MPa, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 29371 MPa, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 28308 MPa, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 28058 MPa olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama statik elastisite modülü, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 21072 MPa, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 21683 MPa, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 23092 MPa, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 23262 MPa, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 24414 MPa olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük statik elastisite modülü değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük statik elastisite modülü değerlerine sahip olduğu,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin, -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin -20°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin ve -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- 0°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin ve -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %22 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %24 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %21 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %23 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerden %25 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek statik elastisite modülü değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklere göre %33 oranında daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.57. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin statik elastisite modülü değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Statik elastisite modülü (MPa) ($\alpha=0,05$)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
-20°C / H ₂ SO ₄	5	21379																	
-15°C / H ₂ SO ₄	5		22361																
-10°C / H ₂ SO ₄	5			23285															
-5 °C / H ₂ SO ₄	5				23870														
0°C / H ₂ SO ₄	5					24886													
-20°C / MgSO ₄	5						25272												
-15°C / MgSO ₄	5							25956											
-20°C / 28 gün	5								26993										
-20°C / Referans	5								27035										
-15°C / 28 gün	5								27170	27170									
-10°C / MgSO ₄	5								27245	27245									
-10°C / 28 gün	5									27327									
-15°C / Referans	5										27724								
-5 °C / 28 gün	5										27841	27841							
-5 °C / MgSO ₄	5											27983							
-10°C / Referans	5											28015							
-20°C / NaCl	5												28324						
0°C / MgSO ₄	5													28662					
-15°C / NaCl	5													28863					
-5 °C / Referans	5														29680				
-10°C / NaCl	5															30119			
0°C / 28 gün	5																30425		
0°C / Referans	5																	30805	
-5 °C / NaCl	5																	30846	
0°C / NaCl	5																		31830

PHA içelikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 31830 MPa ile en büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 21379 MPa ile en küçük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama statik elastisite modülü, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 31830 MPa, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 30846 MPa, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 30119 MPa, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 28863 MPa, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 28324 MPa olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama statik elastisite modülü, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 21379 MPa, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 22361 MPa, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 23285 MPa, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 23870 MPa, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 24886 MPa olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük statik elastisite modülü değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük statik elastisite modülü değerlerine sahip olduğu,
- -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin, -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin -20°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin ve -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin, -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin ve -15°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örneklerin, -5°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örneklerin ve -10°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin statik elastisite modülü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %22 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %23 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %23 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerden %23 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük statik elastisite modülü değerine sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip H_2SO_4

etkisine maruz beton örneklerden %25 daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu,

- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek statik elastisite modülü değerine sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin, en küçük statik elastisite modülü değerine sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerle göre %33 oranında daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak:

Statik elastisite modülü beton basınç dayanımı ile benzerlik göstermektedir. Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşüne bağlı olarak elastisite modülü düşmektedir. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %4 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden %2 oranında daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmüştür. Beton örneklerin maruz kaldığı korozyon etki göz önünde bulundurulduğunda, en büyük basınç dayanımına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin her ısı derecesinde en büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmüştür. En küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı derecesinde en düşük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmüştür.

4.11. Poisson Oranı

Poisson oranı tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerle ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.58’de, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerle ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.59’da, PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerle ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.60’da verilmiştir.

Sıcaklık faktörünün 5 seviyesi (0, -5, -10, -15 ve -20°C) ve kür faktörünün 5 seviyesinde (28 günlük su kürü, H₂SO₄, MgSO₄, NaCl, Referans “120 günlük su kürü”) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda sıcaklık ve kür

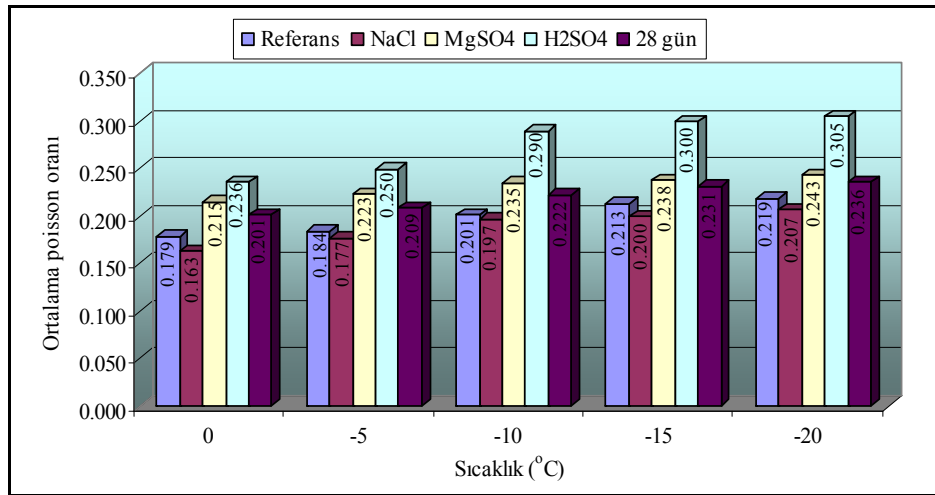
faktörlerinin poisson oranı değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisinin olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,01$).

Diğer taraftan sıcaklık ve kür interaksiyonlarının istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p<0,01$) (Çizelge 4.61). Sıcaklık ve kür faktörünün seviyeleri karşılaştırılırken ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.62-64). Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama poisson oranı değerlerine ait grafik Şekil 4.28’de, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama poisson oranı değerlerine ait grafik Şekil 4.29’da, PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama poisson oranı değerlerine ait grafik Şekil 4.30’da görülmektedir.

Çizelge 4.58. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama poisson oranı	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	0,179	0,0031	0,176	0,183	0,00
	NaCl	5	0,163	0,0018	0,160	0,165	-8,90
	MgSO ₄	5	0,215	0,0048	0,207	0,219	20,10
	H ₂ SO ₄	5	0,236	0,0019	0,233	0,238	31,80
	28 gün	5	0,201	0,0029	0,197	0,204	12,30
-5	Referans	5	0,184	0,0022	0,181	0,187	0,00
	NaCl	5	0,177	0,0019	0,174	0,179	-3,80
	MgSO ₄	5	0,223	0,0027	0,219	0,226	21,20
	H ₂ SO ₄	5	0,250	0,0027	0,247	0,254	35,90
	28 gün	5	0,209	0,0026	0,206	0,212	13,60
-10	Referans	5	0,201	0,0022	0,198	0,204	0,00
	NaCl	5	0,197	0,0021	0,195	0,200	-2,00
	MgSO ₄	5	0,235	0,0026	0,231	0,237	16,90
	H ₂ SO ₄	5	0,290	0,0022	0,287	0,293	44,30
	28 gün	5	0,222	0,0023	0,218	0,224	10,40
-15	Referans	5	0,213	0,0019	0,210	0,215	0,00
	NaCl	5	0,200	0,0047	0,195	0,206	-6,10
	MgSO ₄	5	0,238	0,0021	0,235	0,240	11,70
	H ₂ SO ₄	5	0,300	0,0034	0,296	0,305	40,80
	28 gün	5	0,231	0,0020	0,229	0,234	8,50
-20	Referans	5	0,219	0,0016	0,217	0,221	0,00
	NaCl	5	0,207	0,0011	0,205	0,208	-5,50
	MgSO ₄	5	0,243	0,0021	0,240	0,245	11,00
	H ₂ SO ₄	5	0,305	0,0031	0,301	0,308	39,30
	28 gün	5	0,236	0,0016	0,234	0,238	7,80

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama poisson oranı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.28’de görülmektedir.



Şekil 4.28. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama poisson oranı değerleri

Şekil 4.28 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin poisson oranı değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin poisson oranı değerleri bütün kür ortamlarında en küçük poisson oranı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde poisson oranı değeri diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

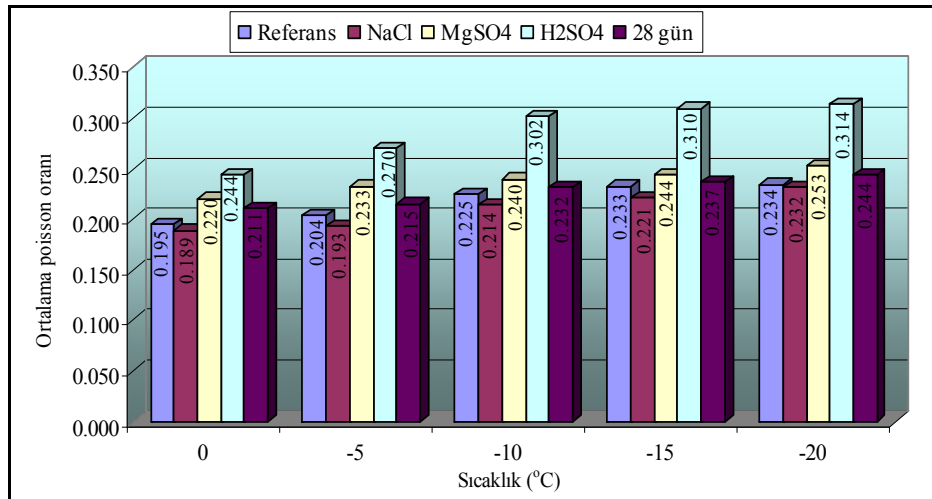
Çizelge 4.59. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama poisson oranı	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	0,195	0,0021	0,192	0,197	0,00
	NaCl	5	0,189	0,0035	0,185	0,193	-3,10
	MgSO ₄	5	0,220	0,0024	0,217	0,223	12,80
	H ₂ SO ₄	5	0,244	0,0036	0,239	0,248	25,10
	28 gün	5	0,211	0,0031	0,207	0,215	8,20
-5	Referans	5	0,204	0,0022	0,201	0,207	0,00
	NaCl	5	0,193	0,0019	0,191	0,196	-5,40
	MgSO ₄	5	0,233	0,0027	0,229	0,236	14,20
	H ₂ SO ₄	5	0,270	0,0024	0,267	0,273	32,40
	28 gün	5	0,215	0,0019	0,213	0,218	5,40

Çizelge 4.59 (Devam). KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama poisson oranı	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-10	Referans	5	0,225	0,0022	0,222	0,228	0,00
	NaCl	5	0,214	0,0038	0,208	0,218	-4,90
	MgSO ₄	5	0,240	0,0024	0,237	0,243	6,70
	H ₂ SO ₄	5	0,302	0,0033	0,297	0,305	34,20
	28 gün	5	0,232	0,0024	0,229	0,235	3,10
-15	Referans	5	0,233	0,0016	0,231	0,235	0,00
	NaCl	5	0,221	0,0042	0,215	0,225	-5,20
	MgSO ₄	5	0,244	0,0040	0,238	0,248	4,70
	H ₂ SO ₄	5	0,310	0,0059	0,300	0,315	33,00
	28 gün	5	0,237	0,0030	0,233	0,240	1,70
-20	Referans	5	0,234	0,0034	0,229	0,238	0,00
	NaCl	5	0,232	0,0028	0,229	0,235	-0,90
	MgSO ₄	5	0,253	0,0021	0,250	0,255	8,10
	H ₂ SO ₄	5	0,314	0,0041	0,308	0,319	34,20
	28 gün	5	0,244	0,0033	0,239	0,248	4,30

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama poisson oranı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.29’da görülmektedir.



Şekil 4.29. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama poisson oranı değerleri

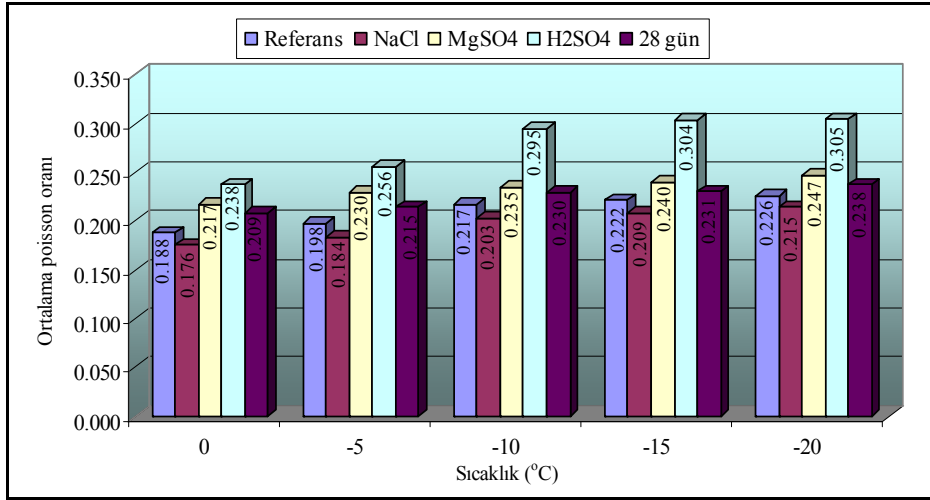
Şekil 4.29 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin poisson oranı değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin poisson oranı değerleri bütün kür ortamlarında en küçük poisson oranı değerlerine sahip olduğu

görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde poisson oranı değeri diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.60. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama poisson oranı	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	5	0,188	0,0023	0,186	0,191	0,00
	NaCl	5	0,176	0,0030	0,172	0,180	-6,40
	MgSO ₄	5	0,217	0,0027	0,213	0,220	15,40
	H ₂ SO ₄	5	0,238	0,0023	0,234	0,240	26,60
	28 gün	5	0,209	0,0044	0,202	0,213	11,20
-5	Referans	5	0,198	0,0024	0,195	0,201	0,00
	NaCl	5	0,184	0,0021	0,182	0,187	-7,10
	MgSO ₄	5	0,230	0,0034	0,225	0,234	16,20
	H ₂ SO ₄	5	0,256	0,0026	0,253	0,260	29,30
	28 gün	5	0,215	0,0037	0,211	0,220	8,60
-10	Referans	5	0,217	0,0027	0,215	0,222	0,00
	NaCl	5	0,203	0,0032	0,198	0,206	-6,50
	MgSO ₄	5	0,235	0,0020	0,232	0,237	8,30
	H ₂ SO ₄	5	0,295	0,0029	0,291	0,298	35,90
	28 gün	5	0,230	0,0026	0,228	0,234	6,00
-15	Referans	5	0,222	0,0035	0,217	0,226	0,00
	NaCl	5	0,209	0,0034	0,205	0,214	-5,90
	MgSO ₄	5	0,240	0,0027	0,237	0,244	8,10
	H ₂ SO ₄	5	0,304	0,0021	0,301	0,306	36,90
	28 gün	5	0,231	0,0019	0,228	0,233	4,10
-20	Referans	5	0,226	0,0021	0,223	0,228	0,00
	NaCl	5	0,215	0,0019	0,213	0,218	-4,90
	MgSO ₄	5	0,247	0,0018	0,245	0,250	9,30
	H ₂ SO ₄	5	0,305	0,0031	0,301	0,308	35,00
	28 gün	5	0,238	0,0024	0,235	0,241	5,30

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama poisson oranı sonuçlarına ait grafik Şekil 4.30'da görülmektedir.



Şekil 4.30. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama poisson oranı değerleri

Şekil 4.30 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin poisson oranı değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin poisson oranı değerleri bütün kür ortamlarında en küçük poisson oranı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde poisson oranı değeri diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

Elde edilen poisson oranı değerlerinin taze betonun maruz kaldığı sıcaklığa ve kür şartlarına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin önem derecesini belirleyebilmek amacıyla her bir katkı türünde iki faktörlü (sıcaklık ve kür) varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.61’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre her antifriz türünde 2’li interaksiyon yani sıcaklık*kür interaksiyonu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P=0,000$). Diğer bir ifadeyle basınç dayanımı değerlerinin hem sıcaklık hem de kür ortamına bağlı olarak değiştiği ve bu değişimin önemli olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.61. Poisson oranı değerlerine göre her bir antifriz türünde gerçekleştirilen varyans analizi sonuçları

Antifriz türü	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-testi	Anlamlılık düzeyi (α)
%30KN+%5HEA	Sıcaklık	0,034	4	0,009	1275,058	0,000
	Kür	0,116	4	0,029	4304,069	0,000
	Sıcaklık * Kür interaksyonu	0,005	16	0,000	45,463	0,000
	Hata	0,001	100	6,74E-06		
	Toplam	6,367	125			
KN	Sıcaklık	0,033	4	0,008	856,528	0,000
	Kür	0,095	4	0,024	2440,415	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	0,005	16	0,000	29,474	0,000
	Hata	0,001	100	9,70E-06		
	Toplam	7,114	125			
PHA	Sıcaklık	0,03	4	0,007	973,149	0,000
	Kür	0,098	4	0,025	3236,309	0,000
	Sıcaklık* Kür interaksyonu	0,005	16	0,000	44,088	0,000
	Hata	0,001	100	7,60E-06		
	Toplam	6,697	125			

Her bir antifriz türünde elde edilen poisson oranı değerlerinin sıcaklık ve kür ortamına bağlı olarak beton türlerinin bir birleri arasında farklı olup olmadığını belirleyebilmek için Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır. Elde edilen Duncan testi sonuçları %30KN+%5HEA içerikli antifriz için Çizelge 4.62’de, KN içerikli antifriz için Çizelge 4.63’de, PHA içerikli antifriz için ise Çizelge 4.64’de verilmiştir.

Çizelge 4.62. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Poisson oranı ($\alpha=0,05$)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0°C / NaCl	5	0,163															
-5 °C / NaCl	5		0,177														
0°C / Referans	5		0,179														
-5 °C / Referans	5			0,184													
-10°C / NaCl	5				0,197												
-15°C / NaCl	5				0,200	0,200											
0°C / 28 gün	5				0,201	0,201											
-10°C / Referans	5					0,201											
-20°C / NaCl	5						0,207										
-5 °C / 28 gün	5						0,209										
-15°C / Referans	5							0,213									
0°C / MgSO ₄	5							0,215									
-20°C / Referans	5								0,219								
-10°C / 28 gün	5								0,222	0,222							
-5 °C / MgSO ₄	5									0,223							
-15°C / 28 gün	5										0,231						
-10°C / MgSO ₄	5											0,235					
0°C / H ₂ SO ₄	5												0,236				
-20°C / 28 gün	5													0,236			
-15°C / MgSO ₄	5														0,238		
-20°C / MgSO ₄	5															0,243	
-5 °C / H ₂ SO ₄	5															0,250	
-10°C / H ₂ SO ₄	5																0,290
-15°C / H ₂ SO ₄	5																0,300
-20°C / H ₂ SO ₄	5																0,305

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,163 ile en küçük poisson oranı değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 0,305 ile en büyük poisson oranı değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama poisson oranı, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,163, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,177, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,197, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,200, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,207 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama poisson oranı, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,305, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,300, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,290, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,250, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,236 olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük poisson oranı değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük poisson oranı değerlerine sahip olduğu,
- 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -15°C derece sıcaklık ve NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler, -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler, -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %31 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %29 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %32 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %33 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %32 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek poisson oranına sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en düşük poisson oranına sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklere göre %47 oranında daha büyük poisson oranına sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.63. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık / Kür)	N	Poisson oranı ($\alpha=0,05$)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0°C / NaCl	5	0,189														
-5 °C / NaCl	5		0,193													
0°C / Referans	5		0,195													
-5 °C / Referans	5			0,204												
0°C / 28 gün	5				0,211											
-10°C / NaCl	5				0,214											
-5 °C / 28 gün	5				0,215											
0°C / MgSO ₄	5					0,220										
-15°C / NaCl	5					0,221										
-10°C / Referans	5						0,225									
-10°C / 28 gün	5							0,232								
-20°C / NaCl	5							0,232								
-5 °C / MgSO ₄	5							0,233								
-15°C / Referans	5							0,233								
-20°C / Referans	5							0,234	0,234							
-15°C / 28 gün	5								0,237	0,237						
-10°C / MgSO ₄	5									0,240						
-15°C / MgSO ₄	5										0,244					
-20°C / 28 gün	5										0,244					
0°C / H ₂ SO ₄	5										0,244					
-20°C / MgSO ₄	5											0,253				
-5 °C / H ₂ SO ₄	5												0,270			
-10°C / H ₂ SO ₄	5													0,302		
-15°C / H ₂ SO ₄	5														0,310	
-20°C / H ₂ SO ₄	5															0,314

KN içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,189 ile en küçük poisson oranı değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 0,314 ile en büyük poisson oranı değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama poisson oranı, 0°C derecede NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,189, -5°C derecede NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,193, -10°C derecede NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,214, -15°C derecede NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,221, -20°C derecede NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,232 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama poisson oranı, -20°C derecede H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,314, -15°C derecede H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,310, -10°C derecede H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,302, -5°C derecede H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,270, 0°C derecede H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,244 olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük poisson oranı değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük poisson oranı değerlerine sahip olduğu,
- 0°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örnekler ile -5°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -15°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler, -20°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler

ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- -15°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 120 gün su kürüne (referans) maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -10°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve H_2SO_4 etkisine maruz beton örnekler, -15°C sıcaklık ve MgSO_4 etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 28 gün su kürüne maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklıkta en büyük poisson oranına sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %23 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -5°C sıcaklıkta en büyük poisson oranına sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %29 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -10°C sıcaklıkta en büyük poisson oranına sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %29 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -15°C sıcaklıkta en büyük poisson oranına sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %29 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -20°C sıcaklıkta en büyük poisson oranına sahip H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %26 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek poisson oranına sahip -20°C sıcaklık H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin, en düşük poisson oranına sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerle göre %40 oranında daha büyük poisson oranına sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.64. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin poisson oranı değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü (Sıcaklık/Kür)	N	Poisson oranı ($\alpha=0,05$)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0°C / NaCl	5	0,176															
-5°C / NaCl	5		0,184														
0°C / Referans	5			0,188													
-5°C / Referans	5				0,198												
-10°C / NaCl	5					0,203											
-15°C / NaCl	5						0,209										
0°C / 28 gün	5						0,209										
-20°C / NaCl	5							0,215									
-5°C / 28 gün	5							0,215									
0°C / MgSO ₄	5							0,217									
-10°C / Referans	5							0,217									
-15°C / Referans	5								0,222								
-20°C / Referans	5									0,226							
-10°C / 28 gün	5										0,230						
-5°C / MgSO ₄	5										0,230						
-15°C / 28 gün	5										0,231						
-10°C / MgSO ₄	5											0,235					
0°C / H ₂ SO ₄	5											0,238	0,238				
-20°C / 28 gün	5											0,238	0,238				
-15°C / MgSO ₄	5												0,240				
-20°C / MgSO ₄	5													0,247			
-5°C / H ₂ SO ₄	5														0,256		
-10°C / H ₂ SO ₄	5															0,295	
-15°C / H ₂ SO ₄	5																0,304
-20°C / H ₂ SO ₄	5																0,305

PHA içerikli antifriz türünde çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre:

- 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,176 ile en küçük poisson oranı değerine sahip olduğu,
- -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde ise 0,305 ile en büyük poisson oranı değerine sahip olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en küçük ortalama poisson oranı, 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,176, -5°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,184, -10°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,203, -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,209, -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerde 0,215 olduğu,
- Sıcaklık değerlerine göre en büyük ortalama poisson oranı, -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,305, -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,304, -10°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,295, -5°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,256, 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerde 0,238 olduğu,
- NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha küçük poisson oranı değerlerine sahip olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz kalan beton örneklerin her sıcaklık değerinde daha büyük poisson oranı değerlerine sahip olduğu,
- 0°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler, -5°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 120 gün su küründeki (referans) beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -5°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler, -10°C sıcaklık ve 28 gün su küründeki beton örnekler ile -15°C sıcaklık ve 28 gün maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler, -10°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 28 gün maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,

- 0°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler, -15°C sıcaklık ve MgSO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve 28 gün maruz kalan beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- -15°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler ile -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin poisson oranı değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı,
- 0°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %26 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -5°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %28 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -10°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %31 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -15°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %31 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- -20°C derecede en büyük poisson oranına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en küçük poisson oranına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerden %30 daha büyük poisson oranına sahip olduğu,
- Tüm ısı ve kür şartları değerlendirildiğinde en yüksek poisson oranına sahip -20°C sıcaklık ve H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin, en düşük poisson oranına sahip 0°C sıcaklık ve NaCl etkisine maruz beton örneklere göre %42 oranında daha büyük poisson oranına sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak:

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık derecesi düşüşü ile betonun elastisite modülü ve basınç dayanımı değerleri düşmektedir. Betonun dayanım düşüşü poisson oranında etkilemektedir. Dayanım düşüşü ile poisson oranı artmaktadır. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %9 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %5 oranında daha küçük poisson oranına sahip olduğu görülmüştür.

4.12. Donma Çözülme Dayanımı

4.12.1. Dinamik elastisite modülü

Dinamik elastisite modülü tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri Çizelge 4.65’de, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait ortalama dinamik elastisite modülü değerleri Çizelge 4.66’da, PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait ortalama dinamik elastisite modülü değerleri Çizelge 4.67’de verilmiştir.

Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin üretildiği ısı derecelerine göre ortalama dinamik elastisite modülü değerlerine ait grafikler görülmektedir (Şekil 4.31-35). KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerin üretildiği ısı derecelerine göre ortalama dinamik elastisite modülü değerlerine ait grafikler görülmektedir (Şekil 4.36-40). PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin üretildiği ısı derecelerine göre ortalama dinamik elastisite modülü değerlerine ait grafikler görülmektedir (Şekil 4.41-45).

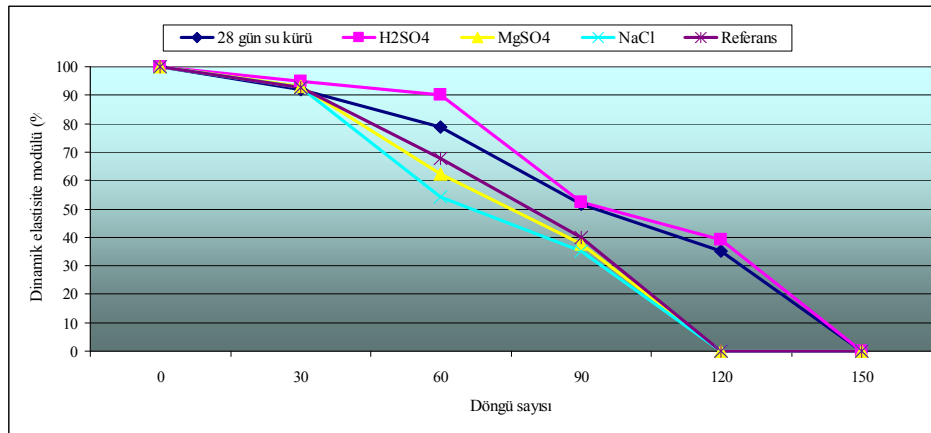
Çizelge 4.65. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait ortalama dinamik elastisite modülü değerleri

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	Döngü sayısı					
		0	30	60	90	120	150
0	28 gün	100	92,0	78,8	51,8	35,3	0
	H ₂ SO ₄	100	94,8	89,9	52,3	39,4	0
	MgSO ₄	100	92,9	62,3	37,6	0	0
	NaCl	100	92,8	54,1	35,2	0	0
	Referans	100	92,6	67,9	39,8	0	0
-5	28 gün	100	92,6	80,2	54,7	39,0	0
	H ₂ SO ₄	100	96,5	92,3	56,0	48,3	0
	MgSO ₄	100	93,7	72,1	43,0	0	0
	NaCl	100	93,4	59,2	41,4	0	0
	Referans	100	94,0	74,3	49,7	47,5	0
-10	28 gün	100	96,0	84,9	57,7	44,6	0
	H ₂ SO ₄	100	96,8	92,7	57,8	51,8	0
	MgSO ₄	100	93,8	76,5	50,4	38,6	0
	NaCl	100	93,6	68,8	48,1	0	0
	Referans	100	94,5	77,4	52,3	40,1	0

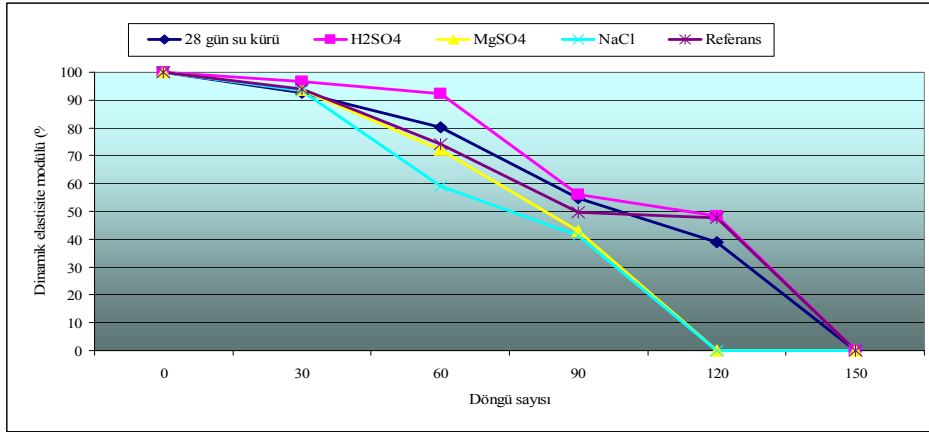
Çizelge 4.65 (Devam). %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait ortalama dinamik elastisite modülü değerleri

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	Döngü sayısı					
		0	30	60	90	120	150
-15	28 gün	100	97,3	85,0	59,0	50,9	0
	H ₂ SO ₄	100	98,0	94,4	68,6	59,0	0
	MgSO ₄	100	94,2	77,3	57,4	45,4	0
	NaCl	100	94,1	72,5	56,5	42,1	0
	Referans	100	94,8	78,5	57,9	44,1	0
-20	28 gün	100	97,5	86,3	60,1	53,4	0
	H ₂ SO ₄	100	98,8	95,5	71,1	61,1	0
	MgSO ₄	100	95,0	78,0	57,8	47,0	0
	NaCl	100	94,6	73,5	58,0	43,4	0
	Referans	100	95,7	80,6	59,4	50,1	0

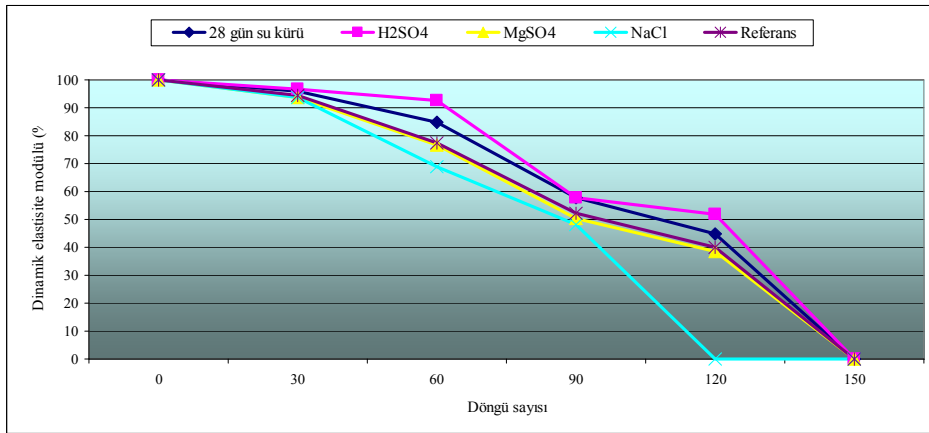
%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve etki ortamı değerlerine bağlı olarak meydana gelen dinamik elastisite modülü sonuçlarına ait grafik Şekil 4.31-35’de görülmektedir.



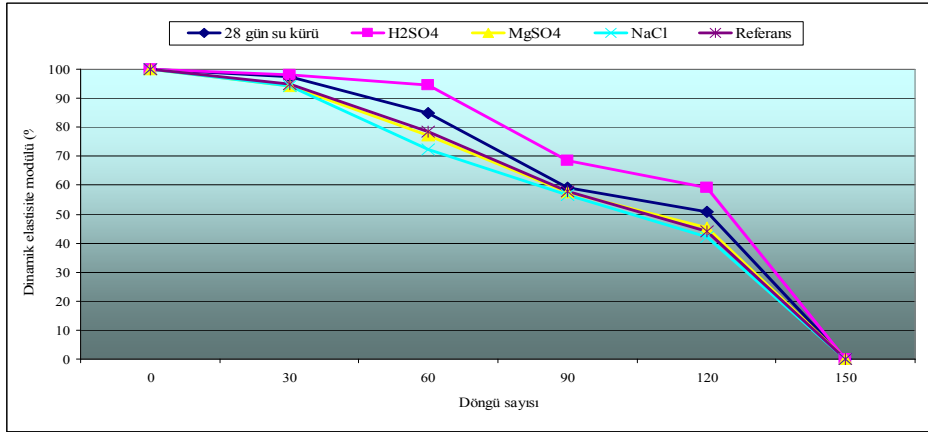
Şekil 4.31. 0°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri



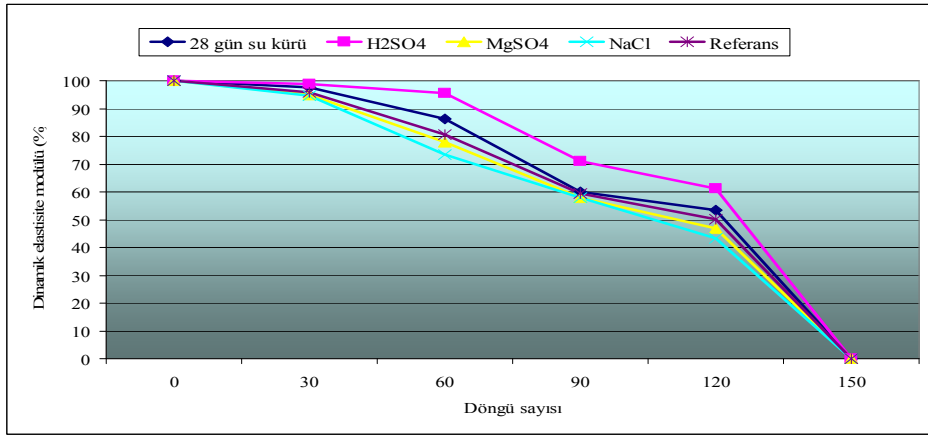
Şekil 4.32. -5°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri



Şekil 4.33. -10°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri



Şekil 4.34. -15°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri



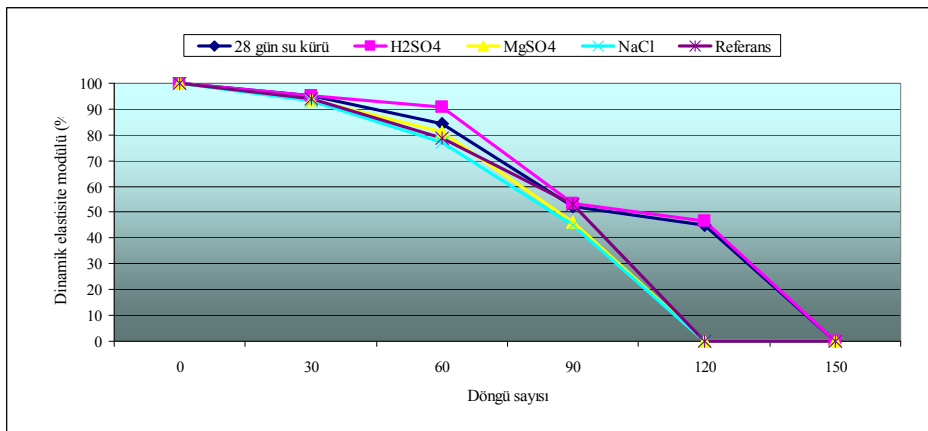
Şekil 4.35. -20°C derecede üretilen %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri

KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri Çizelge 4.66’da görülmektedir.

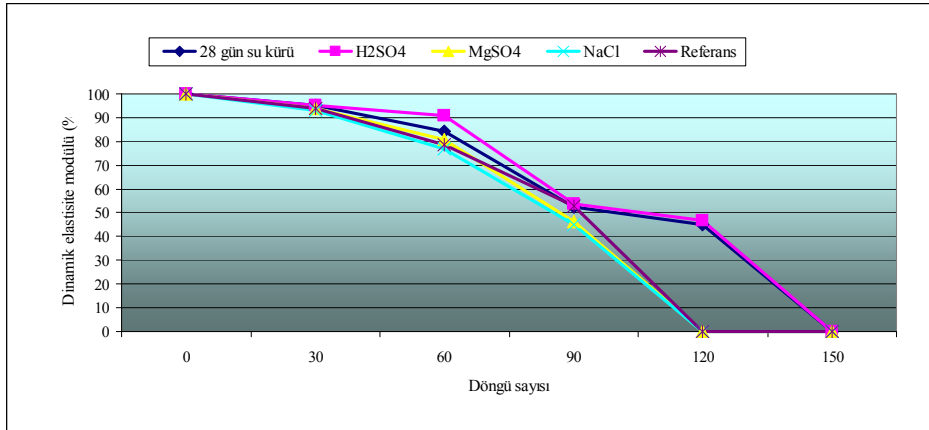
Çizelge 4.66. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait ortalama dinamik elastisite modülü değerleri

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	Döngü sayısı					
		0	30	60	90	120	150
0	28 gün	100	95,1	84,3	52,3	45,0	0
	H ₂ SO ₄	100	95,1	90,9	53,5	46,7	0
	MgSO ₄	100	93,7	80,9	46,2	0	0
	NaCl	100	93,2	76,9	45,1	0	0
	Referans	100	94,1	78,7	52,8	0	0
-5	28 gün	100	96,0	87,3	55,0	50,1	0
	H ₂ SO ₄	100	96,6	93,5	56,3	54,8	0
	MgSO ₄	100	94,0	80,5	49,5	0	0
	NaCl	100	93,8	79,1	47,3	0	0
	Referans	100	94,5	78,8	54,0	45,9	0
-10	28 gün	100	96,1	88,0	58,0	55,4	0
	H ₂ SO ₄	100	97,2	93,7	67,9	60,1	0
	MgSO ₄	100	94,6	81,4	57,1	48,9	0
	NaCl	100	94,4	78,6	58,5	0	0
	Referans	100	95,2	79,8	57,5	52,5	0
-15	28 gün	100	97,6	88,4	59,2	57,0	0
	H ₂ SO ₄	100	98,5	95,1	70,6	64,0	0
	MgSO ₄	100	95,0	82,0	58,2	51,5	0
	NaCl	100	95,0	79,3	58,0	49,8	0
	Referans	100	96,0	80,9	58,9	54,6	0
-20	28 gün	100	98,1	89,5	60,6	58,0	0
	H ₂ SO ₄	100	99,7	96,0	73,5	66,5	0
	MgSO ₄	100	96,0	82,5	59,4	52,8	0
	NaCl	100	95,8	79,7	59,1	50,9	0
	Referans	100	97,3	81,4	60,0	55,9	0

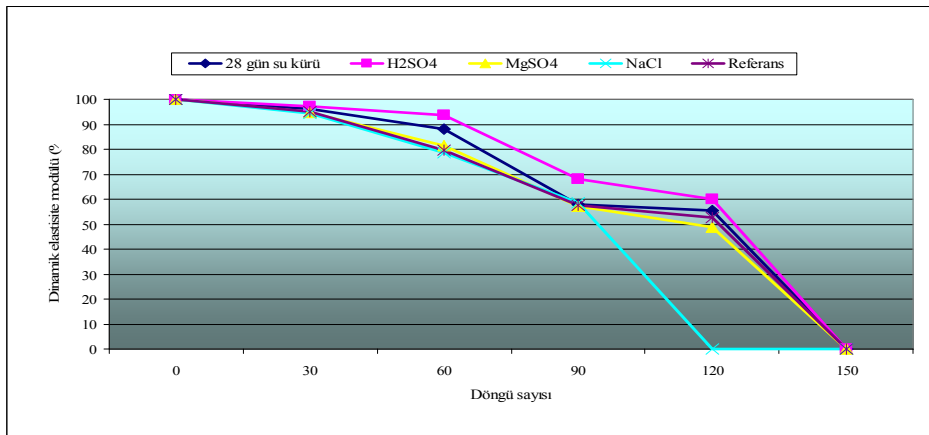
KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve etki ortamı değerlerine bağlı olarak meydana gelen dinamik elastisite modülü sonuçlarına ait grafik Şekil 4.36-40'da görülmektedir.



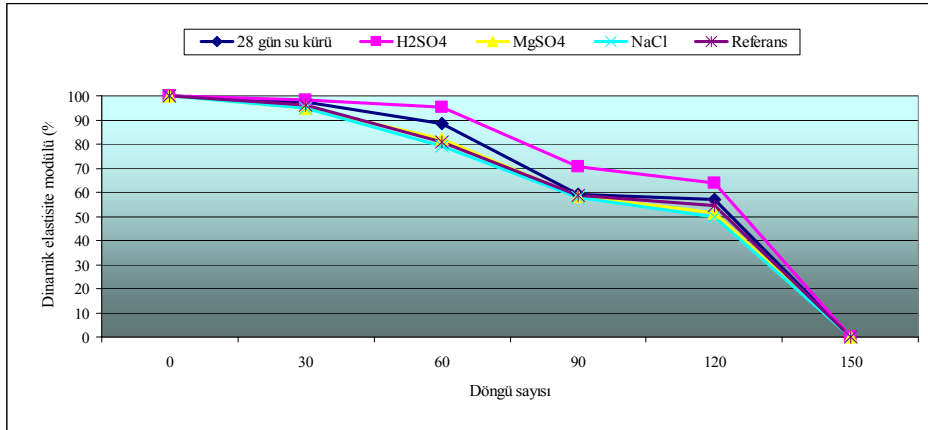
Şekil 4.36. 0°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri



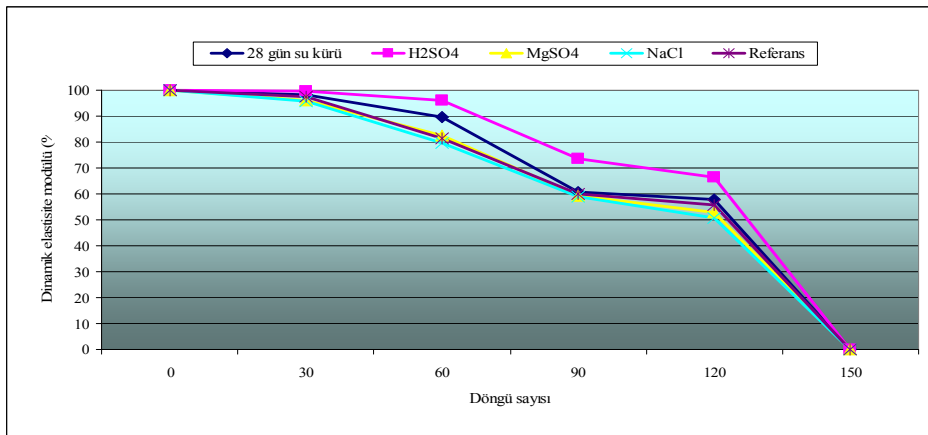
Şekil 4.37. -5°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri



Şekil 4.38. -10°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri



Şekil 4.39. -15°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri



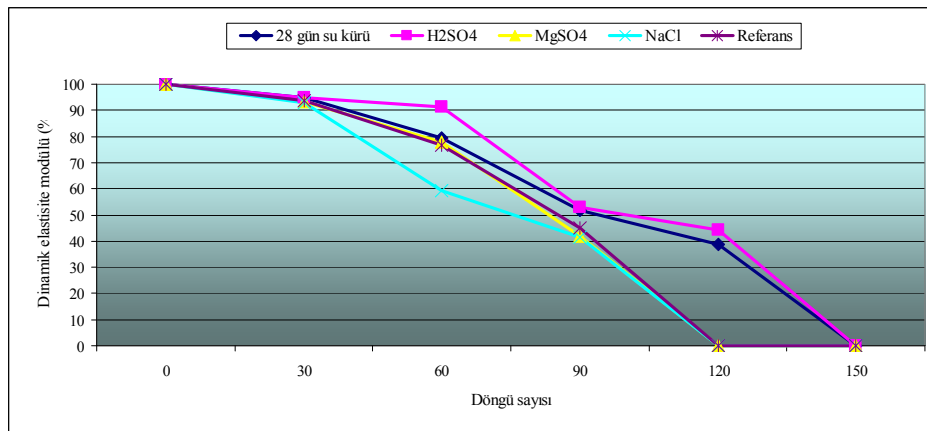
Şekil 4.40. -20°C derecede üretilen KN içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri

PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri Çizelge 4.67’de görülmektedir.

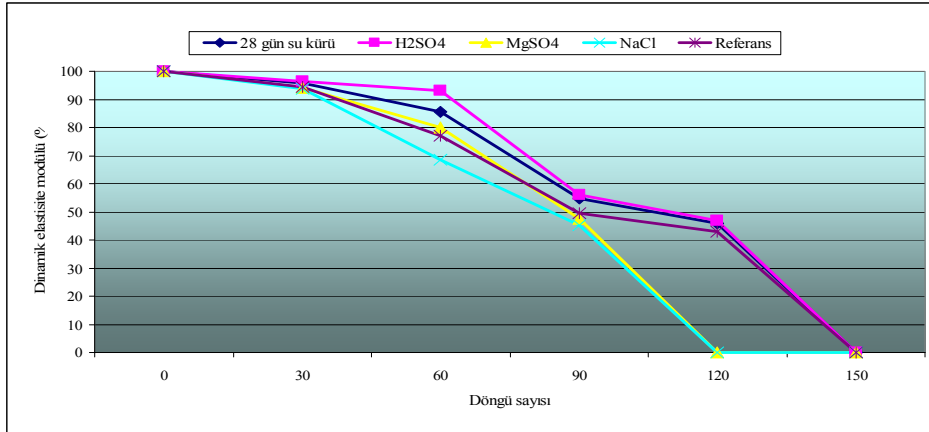
Çizelge 4.67. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait ortalama dinamik elastisite modülü değerleri

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	Döngü sayısı					
		0	30	60	90	120	150
0	28 gün	100	94,8	79,5	52,0	38,8	0
	H ₂ SO ₄	100	95,0	91,1	53,1	44,3	0
	MgSO ₄	100	93,4	77,9	42,0	0	0
	NaCl	100	93,0	59,2	41,5	0	0
	Referans	100	93,9	76,8	45,1	0	0
-5	28 gün	100	95,7	85,6	54,8	45,8	0
	H ₂ SO ₄	100	96,5	93,0	56,0	46,7	0
	MgSO ₄	100	94,0	80,1	47,4	0	0
	NaCl	100	93,7	68,5	45,4	0	0
	Referans	100	94,3	77,1	49,6	43,0	0
-10	28 gün	100	96,0	87,7	57,8	50,9	0
	H ₂ SO ₄	100	96,9	93,4	60,0	58,2	0
	MgSO ₄	100	94,4	80,5	56,7	46,0	0
	NaCl	100	94,0	73,6	55,2	0	0
	Referans	100	94,8	77,9	53,1	49,1	0
-15	28 gün	100	97,4	88,0	59,1	54,3	0
	H ₂ SO ₄	100	98,2	94,8	69,4	63,0	0
	MgSO ₄	100	94,5	80,9	57,6	50,0	0
	NaCl	100	94,5	77,1	57,5	47,1	0
	Referans	100	95,1	78,2	54,6	53,6	0
-20	28 gün	100	97,8	88,3	60,4	56,4	0
	H ₂ SO ₄	100	99,0	95,7	76,9	66,2	0
	MgSO ₄	100	95,3	81,8	58,0	52,3	0
	NaCl	100	95,0	77,6	58,6	49,4	0
	Referans	100	96,0	79,9	56,0	54,2	0

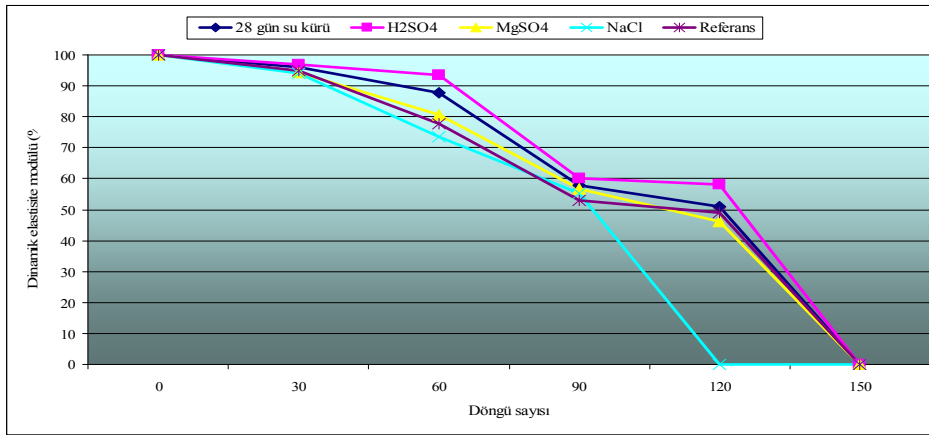
PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve etki ortamı değerlerine bağlı olarak meydana gelen dinamik elastisite modülü sonuçlarına ait grafik Şekil 4.41-45’de görülmektedir.



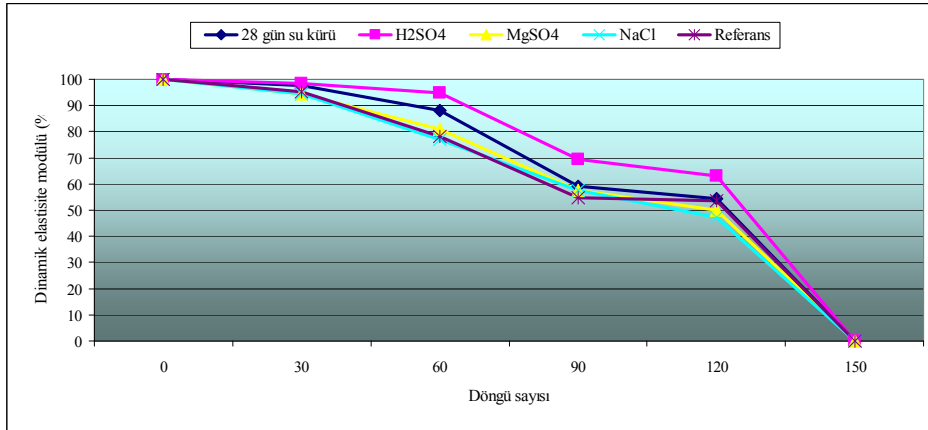
Şekil 4.41. 0°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri



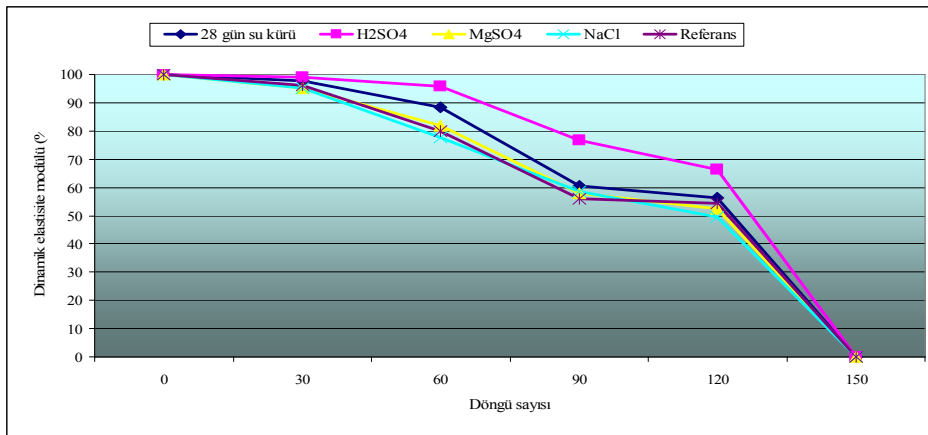
Şekil 4.42. -5°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri



Şekil 4.43. -10°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerine ait dinamik elastisite modülü değerleri



Şekil 4.44. -15°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri



Şekil 4.45. -20°C derecede üretilen PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklere ait dinamik elastisite modülü değerleri

4.12.2. Dayanıklılık faktörü

Dayanıklılık faktörü tayini deneyi sonuçlarına göre, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.68’de, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.69’da, PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.70’de verilmiştir.

Ayrıca, %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama dayanıklılık faktörü değerlerine ait grafik Şekil 4.46’da, KN içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama dayanıklılık faktörü değerlerine ait grafik Şekil 4.47’de, PHA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin ortalama dayanıklılık faktörü değerlerine ait grafik Şekil 4.48’de görülmektedir.

Çizelge 4.68. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkıli beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama dayanıklılık faktörü (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	3	15,92	0,0520	15,86	15,95	0,00
	NaCl	3	14,09	0,1054	13,99	14,20	-11,50
	MgSO ₄	3	15,03	0,2603	14,78	15,30	-5,60
	H ₂ SO ₄	3	19,68	0,1274	19,53	19,76	23,60
	28 gün	3	17,63	0,1007	17,54	17,74	10,70
-5	Referans	3	19,01	0,0306	18,98	19,04	0,00
	NaCl	3	16,56	0,0700	16,51	16,64	-12,90
	MgSO ₄	3	17,20	0,1332	17,05	17,31	-9,50
	H ₂ SO ₄	3	24,14	0,9319	23,11	24,92	27,00
	28 gün	3	19,50	0,1249	19,36	19,60	2,60
-10	Referans	3	21,00	11,322	20,23	22,30	0,00
	NaCl	3	19,25	0,0503	19,20	19,30	-8,30
	MgSO ₄	3	19,30	0,3504	18,96	19,66	-8,10
	H ₂ SO ₄	3	25,91	0,2095	25,68	26,09	23,40
	28 gün	3	22,32	0,1804	22,13	22,49	6,30
-15	Referans	3	22,93	18,127	21,53	24,98	0,00
	NaCl	3	21,06	0,1179	20,96	21,19	-8,20
	MgSO ₄	3	22,69	0,1670	22,51	22,84	-1,00
	H ₂ SO ₄	3	29,52	0,0854	29,44	29,61	28,70
	28 gün	3	25,45	0,1716	25,29	25,63	11,00
-20	Referans	3	25,04	0,0866	24,99	25,14	0,00
	NaCl	3	21,68	0,1153	21,57	21,80	-13,40
	MgSO ₄	3	23,49	0,2050	23,28	23,69	-6,20
	H ₂ SO ₄	3	30,53	0,2969	30,28	30,86	21,90
	28 gün	3	26,71	0,2307	26,54	26,97	6,70

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama dayanıklılık faktörü sonuçlarına ait istatistik sonuçlarına göre:

-20°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 21,68 ile %13 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 23,49 ile %6 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 30,53 ile %22 daha büyük olduğu,

-15°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 21,06 ile %8 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 22,69 ile %1 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 29,52 ile %29 daha büyük olduğu,

-10°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 19,25 ile %8 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 19,30 ile %8 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 25,91 ile %23 daha büyük olduğu,

-5°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

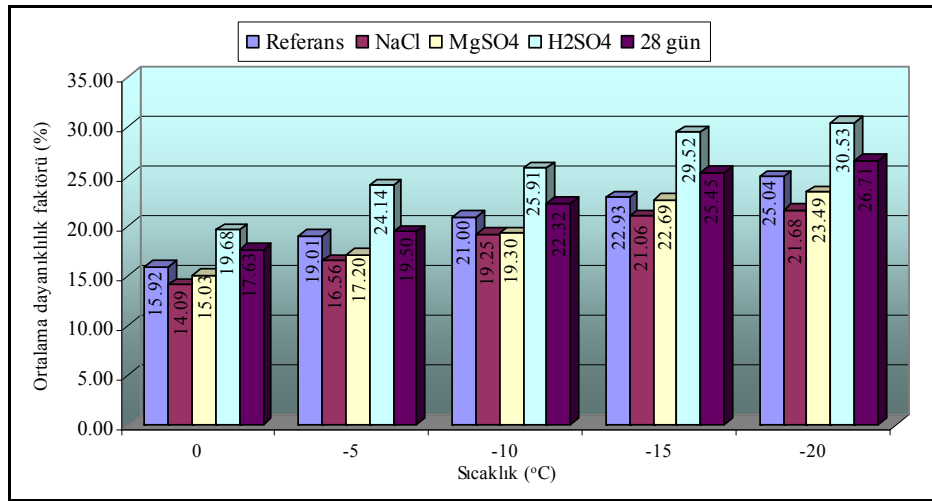
- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 16,56 ile %13 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 17,20 ile %10 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 24,14 ile %27 daha büyük olduğu,

0°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 14,09 ile %12 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 15,03 ile %6 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 19,68 ile %24 daha büyük olduğu

görülmüştür.

%30KN+%5HEA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama dayanıklılık faktörü sonuçlarına ait grafik Şekil 4.46'da görülmektedir.



Şekil 4.46. %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama dayanıklılık faktörü değerleri

Şekil 4.46 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerleri bütün kür ortamlarında en küçük dayanıklılık faktörü değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde dayanıklılık faktörü değeri diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.69. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Kür ortamı	N	Ortalama dayanıklılık faktörü (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	3	21,13	0,0500	21,08	21,18	0,00
	NaCl	3	18,03	0,0458	17,99	18,08	-14,70
	MgSO ₄	3	18,47	0,0833	18,40	18,56	-12,60
	H ₂ SO ₄	3	23,33	0,0802	23,25	23,41	10,40
	28 gün	3	22,52	0,0656	22,46	22,59	6,60
-5	Referans	3	22,95	0,0954	22,86	23,05	0,00
	NaCl	3	18,91	0,0666	18,85	18,98	-17,60
	MgSO ₄	3	19,80	0,0819	19,73	19,89	-13,70
	H ₂ SO ₄	3	27,40	0,0306	27,37	27,43	19,40
	28 gün	3	25,05	0,0755	24,98	25,13	9,20

Çizelge 4.69 (Devam). KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama dayanıklılık faktörü (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
-10	Referans	3	26,24	0,0777	26,15	26,30	0,00
	NaCl	3	23,40	0,4050	23,00	23,81	-10,80
	MgSO ₄	3	24,43	0,0436	24,38	24,46	-6,90
	H ₂ SO ₄	3	30,04	0,0153	30,03	30,06	14,50
	28 gün	3	27,68	0,1361	27,53	27,79	5,50
-15	Referans	3	27,30	0,0964	27,23	27,41	0,00
	NaCl	3	24,93	0,6852	24,25	25,62	-8,70
	MgSO ₄	3	25,76	0,0322	25,74	25,80	-5,60
	H ₂ SO ₄	3	32,02	0,1301	31,89	32,15	17,30
	28 gün	3	28,50	0,0819	28,43	28,59	4,40
-20	Referans	3	27,93	0,0529	27,89	27,99	0,00
	NaCl	3	25,44	0,0231	25,41	25,45	-8,90
	MgSO ₄	3	26,41	0,1888	26,20	26,57	-5,40
	H ₂ SO ₄	3	33,23	0,1300	33,15	33,38	19,00
	28 gün	3	29,00	0,2363	28,73	29,18	3,80

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama dayanıklılık faktörü sonuçlarına ait istatistik sonuçlarına göre:

-20°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 25,44 ile %9 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 26,41 ile %5 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 33,23 ile %19 daha büyük olduğu,

-15°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 24,93 ile %9 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 25,76 ile %6 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 32,02 ile %17 daha büyük olduğu,

-10°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 23,40 ile %11 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 24,43 ile %7 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 30,04 ile %15 daha büyük olduğu,

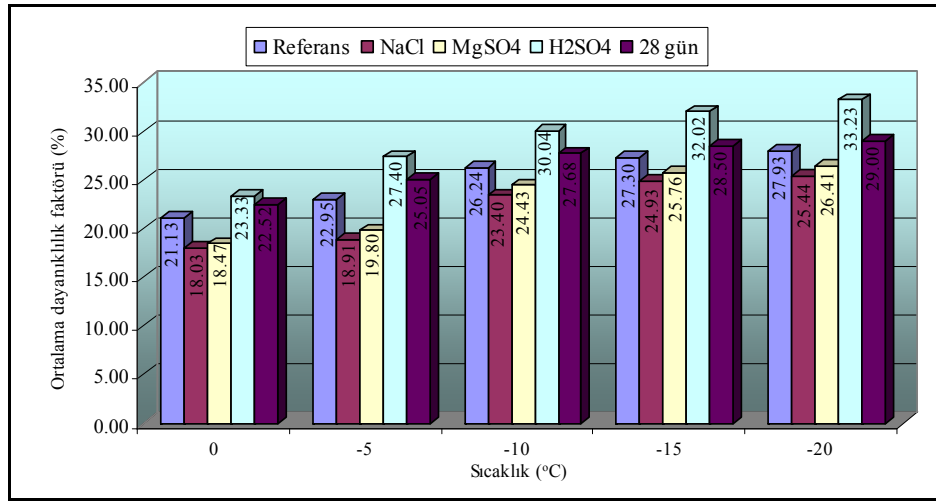
-5°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 18,91 ile %18 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 19,80 ile %14 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 27,40 ile %19 daha büyük olduğu,

0°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 18,03 ile %15 daha küçük olduğu,
- $MgSO_4$ etkisine maruz beton örneklerin 18,47 ile %13 daha küçük olduğu,
- H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin 23,33 ile %10 daha büyük olduğu görülmüştür.

KN içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama dayanıklılık faktörü sonuçlarına ait grafik Şekil 4.47’de görülmektedir.



Şekil 4.47. KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama dayanıklılık faktörü değerleri

Şekil 4.47 incelendiğinde taze halde iken $-20^{\circ}C$ sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. $0^{\circ}C$ sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerleri bütün kür ortamlarında en küçük dayanıklılık faktörü değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde dayanıklılık faktörü değeri diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

Çizelge 4.70. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık (°C)	Kür ortamı	N	Ortalama dayanıklılık faktörü (%)	Std. sapma	En küçük	En büyük	Referansa göre karşılaştırma (%)
0	Referans	3	18,06	0,0529	18,00	18,10	0,00
	NaCl	3	16,60	0,0954	16,49	16,66	-8,10
	MgSO ₄	3	16,81	0,0361	16,77	16,84	-6,90
	H ₂ SO ₄	3	22,13	0,1518	21,97	22,27	22,50
	28 gün	3	19,42	0,0208	19,40	19,44	7,50
-5	Referans	3	21,51	0,0551	21,46	21,57	0,00
	NaCl	3	18,16	0,0815	18,10	18,25	-15,60
	MgSO ₄	3	18,97	0,0551	18,92	19,03	-11,80
	H ₂ SO ₄	3	23,37	0,0643	23,30	23,42	8,60
	28 gün	3	22,90	0,0306	22,87	22,93	6,50
-10	Referans	3	24,55	0,0656	24,48	24,61	0,00
	NaCl	3	22,06	0,0361	22,02	22,09	-10,10
	MgSO ₄	3	23,01	0,1044	22,89	23,08	-6,30
	H ₂ SO ₄	3	29,09	0,0964	28,98	29,16	18,50
	28 gün	3	25,43	0,0322	25,39	25,45	3,60
-15	Referans	3	26,81	0,0404	26,77	26,85	0,00
	NaCl	3	23,54	0,0737	23,46	23,60	-12,20
	MgSO ₄	3	25,01	0,0153	25,00	25,03	-6,70
	H ₂ SO ₄	3	31,52	0,0252	31,49	31,54	17,60
	28 gün	3	27,13	0,0737	27,05	27,19	1,20
-20	Referans	3	27,11	0,0473	27,07	27,16	0,00
	NaCl	3	24,72	0,0611	24,65	24,77	-8,80
	MgSO ₄	3	26,14	0,0208	26,12	26,16	-3,60
	H ₂ SO ₄	3	33,09	0,1604	32,94	33,26	22,10
	28 gün	3	28,20	0,0451	28,16	28,25	4,00

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama dayanıklılık faktörü sonuçlarına ait istatistik sonuçlarına göre;

-20°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 24,72 ile %9 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 26,14 ile %4 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 33,09 ile %22 daha büyük olduğu,

-15°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

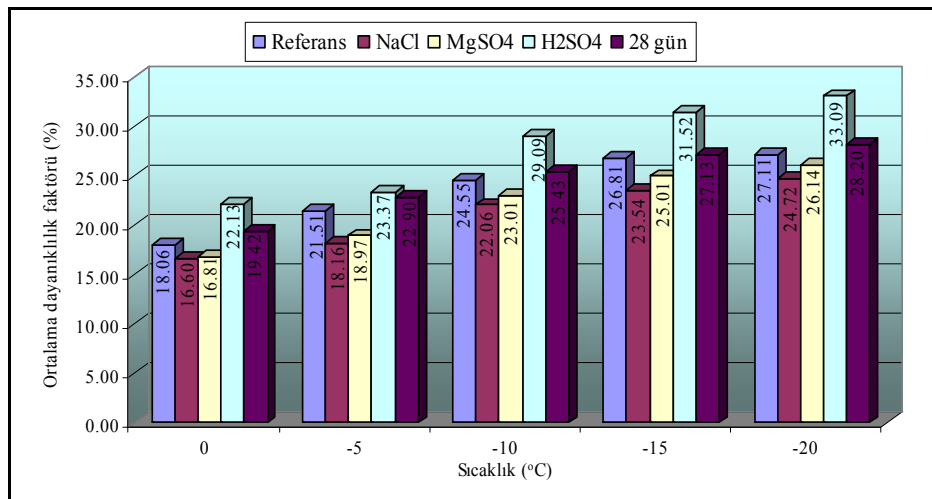
- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 23,54 ile %12 daha küçük olduğu,
- MgSO₄ etkisine maruz beton örneklerin 25,01 ile %7 daha küçük olduğu,
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin 31,52 ile %18 daha büyük olduğu,

-10°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;

- NaCl etkisine maruz beton örneklerin 22,06 ile %11 daha küçük olduğu,

- $MgSO_4$ etkisine maruz beton örneklerin 23,01 ile %6 daha küçük olduğu,
 - H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin 29,09 ile %19 daha büyük olduğu,
 - 5°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;
 - NaCl etkisine maruz beton örneklerin 18,16 ile %16 daha küçük olduğu,
 - $MgSO_4$ etkisine maruz beton örneklerin 18,97 ile %12 daha küçük olduğu,
 - H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin 23,37 ile %9 daha büyük olduğu,
 - 0°C sıcaklıkta referans beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerlerine göre;
 - NaCl etkisine maruz beton örneklerin 16,60 ile %8 daha küçük olduğu,
 - $MgSO_4$ etkisine maruz beton örneklerin 16,81 ile %7 daha küçük olduğu,
 - H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin 22,13 ile %23 daha büyük olduğu
- görülmüştür.

PHA içerikli antifriz türündeki sıcaklık ve kür değerlerine bağlı olarak meydana gelen ortalama dayanıklılık faktörü sonuçlarına ait grafik Şekil 4.48’de görülmektedir.

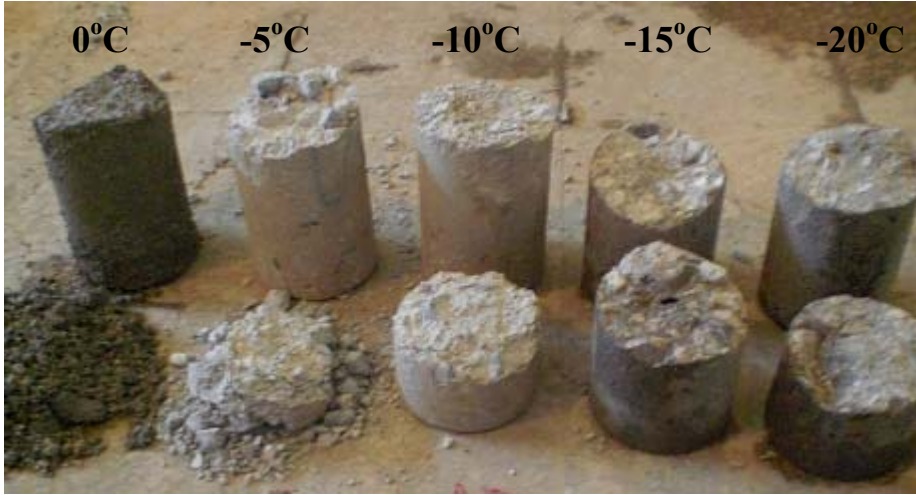


Şekil 4.48. PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerin ortalama dayanıklılık faktörü değerleri

Şekil 4.48 incelendiğinde taze halde iken -20°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerleri bütün kür ortamlarında en büyük değere sahip olduğu görülmüştür. 0°C sıcaklığa maruz kalan taze beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerleri bütün kür ortamlarında en küçük dayanıklılık faktörü

değerlerine sahip olduğu görülmüştür. H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin her ısı değerinde dayanıklılık faktörü değeri diğer kür ortamlarına göre en büyük değerleri almaktadır.

Bütün beton örnekleri hedeflenen 300 donma-çözülme evresini tamamlamadan deforme olmuştur. Bu deformasyonun yapısı, betonun boşluk miktarının azalması ile birlikte parçalanma şeklinde gerçekleşmiştir. Resim 4.1’de maruz kaldığı sıcaklık derecesine bağlı olarak donma çözülme esnasında beton örneklerdeki deformasyon görülmektedir.



Resim 4.1. Donma-çözülme sonunda 0°C derecede üretilen referans beton örneklerdeki deformasyon

Resim 4.1 incelendiğinde, beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşü ile beton iç yapısında boşluk miktarı artmaktadır. Beton örneklere donma çözülme uygulandığında boşluk miktarı düşük olan taze halde 0 ve -5°C’de bekletilen beton örnekler donma çözülme çevrimi sonunda parçalanmıştır. Boşluk miktarı fazla olan taze halde -10, -15 ve -20°C’de bekletilen beton örnekler donma çözülme çevrimi sonunda kırılma şeklinde deforme olmuştur. Resim 4.2’de H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin deforme şekli görülmektedir.



Resim 4.2. H_2SO_4 etkisindeki beton örnekleri deformasyon şekli

H_2SO_4 etkisine maruz beton örnekler en büyük boşluk oranına sahiptir. Bu beton örneklerle uygulanan donma çözülme çevrimi sonunda bütün beton örnekler ortalama 150 çevrim sonunda deforme olmuştur. Fakat deforme şekli parçalanma şeklinde değil kırılma şeklindedir. Bu sonuç beton içerisindeki boşlukların tam doygun olmaması ve doygun olmayan boşluklar sayesinde buzun oluşturduğu hidrolik basıncın düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı kimyasal özelliklere sahip üç adet antifriz ile 5 farklı ısı derecesinde (0, -5, -10, -15 ve -20°C) hazırlanan ve 28 günden sonra 120 güne kadar H₂SO₄, MgSO₄, NaCl korozyon ortamları etkisine ve su kuru (referans)'nde bekletilen beton örnekler üzerinde; Her ısı değeri için uygun antifriz oranı, görünür boşluk oranı, özgül ağırlık, su emme oranı, BHA, kapiler su emme, geçirimsizlik (impermeabilite), yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı, statik elastisite modülü, poisson oranı ve donma çözülme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde yapılan istatistik değerlendirmeler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Karışımlar için en uygun antifriz oranı:

- Bütün antifriz türlerinde sıcaklık değeri düştükçe basınç dayanımı düştüğü,
- Tüm sıcaklık değerlerinde 28 günlük en iyi basınç dayanımı değerinin %30KN+%5HEA ve PHA içerikli antifriz türlerinde %1 katkılı beton örneklerinde olduğu,
- KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerde 28 günlük en iyi basınç dayanımı değerlerinin, 0°C ve -5°C sıcaklığa maruz beton örneklerde %1 katkı oranının, -10, -15, -20°C sıcaklığa maruz beton örneklerde %2 katkı oranının en iyi değeri sağladığı görülmüştür.
- Donan maruz betonlarda suyun donma noktasını etkin şekilde düşüren katkıların kullanılması önerilmektedir.

Görünür boşluk oranı değerlerinin:

- Beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklık değeri düşüşüne bağlı olarak GBO'nun arttığı görülmüştür. Betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düşüşüne paralel olarak oluşan buzun hacminin arttığı ve buzun çözülmesiyle birlikte buzun kapladığı hacim beton içerisinde boşluk olarak kaldığı düşünülmektedir.
- %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %5 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %1 oranında daha küçük GBO'ya sahip olduğu görülmüştür.

- Korozyon ortam değerlendirmesine göre, NaCl etkisine maruz beton örneklerin en düşük GBO'ya sahip olduğu, H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin en büyük GBO'ya sahip olduğu görülmüştür.
- NaCl etkisindeki beton örneklerin boşluklarının tuz kristalleri ile dolduğu ve GBO'nun düştüğü, H₂SO₄ etkisindeki beton örneklerin GBO'ların asit etkisi ile arttığı düşünülmektedir.

Su emme oranı değerlerinin:

- Görünür boşluk oranlarının artışına bağlı olarak SEO değerleri artmaktadır.
- %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %11 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %4 oranında daha küçük SEO'ya sahip olduğu görülmüştür.
- NaCl etkisindeki beton örneklerin düşük boşluk yapılarından dolayı SEO oranlarının diğer beton örneklerle göre düştüğü, H₂SO₄ etkisindeki beton örneklerin ise en büyük GBO'dan dolayı SEO değerlerinin arttığı görülmüştür.

Birim hacim ağırlık değerlerinin:

- BHA değerleri beton örneklerin maruz kaldığı sıcaklık değerine ve etki ortamına bağlı olarak değişmektedir.
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerleri düşüşüne bağlı olarak boşluk miktarının arttığı ve BHA değerlerinin düştüğü görülmüştür.
- %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %2 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %0,5 oranında daha büyük BHA değerine sahip olduğu görülmüştür.

Kapiler su emme değerlerinin:

- Beton örneklerin boşluk oranlarının artışına bağlı olarak kapilerite değerleri düşmektedir.
- %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %60 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %30 oranında daha büyük kapilerite değerine sahip olduğu görülmüştür.

- Küçük GBO'ya sahip NaCl kürüne maruz beton örneklerin en büyük kapilerite değerine sahip olduğu, Büyük GBO oranına sahip H_2SO_4 kürüne maruz beton örneklerin en küçük kapilerite değerine sahip olduğu görülmüştür.
- Taze halde betonun maruz kaldığı sıcaklık derecesi düşmesi ile beton örnekler içinde boşluklar oluşmaktadır. Oluşan boşluklar kapiler kanalları kesmekte ve betonun kapileritesini azalttığı düşünülmektedir.

Geçirimsizlik (impermeabilite) değerlerinin:

- Betonun boşluk yapısının artışına bağlı olarak geçirimsizlik (impermeabilite) değeri artmaktadır.
- %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %4 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %1 oranında daha küçük impermeabilite değerine sahip olduğu görülmüştür.
- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı her sıcaklık değerinde H_2SO_4 etkisine maruz beton örneklerin boşluk miktarı en büyük değeri almaktadır. Dolayısıyla geçirimsizlik değeri, H_2SO_4 etkisine maruz betonlarda en büyük değerini almaktadır. NaCl etkisine maruz beton örneklerin boşluk miktarları en küçük değeri almaktadır ve NaCl etkisindeki beton örneklerde en düşük geçirimsizlik değeri ölçülmüştür.

Yarmada çekme dayanımı değerlerinin:

- Betonun taze halde maruz kaldığı sıcaklık değeri düşüşüne bağlı olarak beton örneklerin YÇD değerleri düşmektedir.
- YÇD'deki düşüş beton örneklerin boşluk yapısıyla doğrudan ilişkilidir. YÇD'deki düşme basınç dayanımında da benzer özellikler göstermektedir.
- %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %12 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %5 oranında daha büyük YÇD'na sahip olduğu görülmüştür.

Basınç dayanımı değerlerinin:

- Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık derecesine bağlı olarak boşluk miktarı artmakta ve dolayısıyla basınç dayanımı düşmektedir.

- %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %18 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %8 oranında daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.
- Beton örneklerin maruz kaldığı korozyon etki göz önünde bulundurulduğunda, en düşük boşluk miktarına sahip NaCl etkisine maruz beton örnekler her ısı derecesinde en büyük basınç değerine sahip olduğu görülmüştür. En büyük boşluk miktarına sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı derecesinde en düşük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Statik elastisite modülü değerlerinin:

- Statik elastisite modülü beton basınç dayanımı ile benzerlik göstermektedir. Beton örneklerin taze halde maruz kaldığı sıcaklık değerinin düşüşüne bağlı olarak elastisite modülü düşmektedir.
- %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %4 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden %2 oranında daha büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmüştür.
- Beton örneklerin maruz kaldığı korozyon etki göz önünde bulundurulduğunda, en büyük basınç dayanımına sahip NaCl etkisine maruz beton örneklerin her ısı derecesinde en büyük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmüştür.
- En küçük basınç dayanımı değerine sahip H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin her ısı derecesinde en düşük statik elastisite modülü değerine sahip olduğu görülmüştür.

Poisson oranı değerlerinin:

- Taze betonun maruz kaldığı sıcaklık derecesi düşüşü ile betonun elastisite modülü ve basınç dayanımı değerleri düşmektedir. Betonun dayanım düşüşü poisson oranında etkilemektedir. Dayanım düşüşü ile poisson oranı artmaktadır.
- %30KN+%5HEA içerikli antifriz katkılı beton örnekler, KN içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %9 ve PHA içerikli antifriz katkılı beton örneklerden ortalama %5 oranında daha küçük poisson oranına sahip olduğu görülmüştür.

Donma çözülme dayanımı, dayanıklılık faktörü değerlerinin:

- Bütün beton örnekleri hedeflenen 300 donma-çözülme evresini tamamlamadan deforme olmuştur.
- Donma çözülme sonunda deformasyonun yapısı, betonun boşluk miktarının azalması ile birlikte parçalanma şeklinde gerçekleşmiştir
- Beton örnekler donma çözülme uygulandığında boşluk miktarı düşük olan taze halde 0 ve -5°C sıcaklığa maruz kalan beton örnekler donma çözülme çevrimi sonunda parçalanmıştır. Boşluk miktarı fazla olan taze halde -10, -15 ve -20°C sıcaklığa maruz kalan beton örnekler donma çözülme çevrimi sonunda kırılma şeklinde deforme olmuştur.
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örnekler en büyük boşluk oranına sahiptir ve bu beton örnekler uygulanan donma çözülme çevrimi sonunda bütün beton örnekler ortalama 150 çevrim sonunda deforme olmuştur. Fakat deforme şekli parçalanma şeklinde değil kırılma şeklindedir. Bu sonuç beton içerisindeki boşlukların tam doygun olmaması ve doygun olmayan boşluklar sayesinde buzun oluşturduğu hidrolik basıncın düşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- H₂SO₄ etkisine maruz beton örneklerin donma çözülme deneyinde en büyük dayanıklılık faktörü değerine sahip olmasının nedenlerinin araştırılması önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada %30KN+%5HEA içerikli antifriz kullanılan bütün beton örneklerin, KN içerikli antifriz ve PHA içerikli antifriz kullanılan beton örnekler göre fiziksel ve mekaniksel özellikler değerlerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Fakat sıcaklık değerlerinin düşmesi ile antifriz katkılı beton örnekleri fiziksel ve mekaniksel özellik değerleri arasındaki belirgin farklar azalmakta, yani antifriz etkisini gösterememektedir. Bu nedenle daha düşük sıcaklıklarda performansı yüksek antifriz katkıları üzerinde detaylı araştırmalar yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Arslan, M., “Beton (Dökümü, Kalıpları, Dayanıklılığı)”, *Atlas Yayınevi*, İstanbul, 1-216 (2001).
2. Arslan, M., Subaşı, S., “Kontrollü Geçirgen Kalıpların Beton Yüzey Sertliği Üzerine Etkileri”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (4): 885-894 (2008).
3. Nmai, C.K., “Cold Weather Concreting Admixtures”, *Cement and Concrete Composites*, 20: 121-128 (1998).
4. ACI Committee 306, ACI 306.R-88, “Cold Weather Concreting”, *American Concrete Institute*, Detroit, Michigan, 1-23 (1988).
5. TS 11746 “Beton Kimyasal Katkı Maddeleri – Beton Antifrizi (Soğuk havada taze betonu ve harcı donmaya karşı koruyucu madde)”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-17 (1995).
6. Ramachandran, V.S., “Chemical Admixtures-Recent Developments” Concrete Admixtures Handbook 2nd ed., *Noyes Publications Inc.*, New Jersey, U.S.A., 740-797 (1995).
7. Ratinov, V.B., Rozenberg, T.I., “Antifreezing Admixtures”, Concrete Admixtures Handbook - Properties, Science and Technology, *Noyes Publications*, 430-479 (1984).
8. Turhan, Y.E., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.*, Ankara, 1-696 (2003).
9. Nilson, L.O., “Durability Concept; Pore Structure and Transport Processes”, Advance Concrete Technology (Concrete Properties), *Elsevier's Science and Technology Right Department*, Oxford, 8: 3-28 (2003).
10. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Yayınları*, İzmir, 1-265 (2002).
11. Korhonen, C.J., “Expendient Low-Temperature Concrete Admixtures for Army”, Special Report 99-17, *US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research&Engineering Laboratory*, USA, 1-20 (1999).
12. Picketh, G., “Flow of Moisturein Hardened Cement During Freezing”, *Highway Research Board*, 32: 276-284 (1953).

13. Prado, P.J., Balcom, B.J., Beyea, T.W., Armstrong, R.L., Grattan-Bellew, P.E., “Concrete Freze/Thaw as Studied by Magnetic Resonance Imagine”, ***Cement and Concrete Research***, 28 (2): 261-270 (1998).
14. Pigeon, M., Gagne, R., Aitcin, P.C., Banthia, N., “Freezing and Thawing Tests of High Strength Concretes”, ***Cement and Concrete Research***, 21 (5): 844-852 (1991).
15. Cai, H., Liu, X., “Freze-Thaw Durability of Concrete: Ice Formation Process in Pores”, ***Cement and Concrete Research***, 28 (9): 1281-1287 (1998).
16. Arslan, M., Subaşı, S., “Kontrollü Geçirgen Kalıpların Beton Yüzey Sertliği Üzerine Etkileri”, ***Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 23 (4): 885-894 (2008).
17. Subaşı, S., Arslan, M., “Kalıp Yüzey Özelliklerinin Betonun Karbonatlaşması Üzerine Etkileri”, ***Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 23 (4): 913-921 (2008).
18. Arslan, M., Subaşı, S., Durmuş, G., “Kalıp Yüzeylerinin Beton Kabuğunun Kapileritesi ve Dona Dayanıklılığı Üzerine Etkileri”, ***Hazır Beton Dergisi***, 50: 60-66 (2002).
19. Dvorak, K.D., “Cold Weather Concreting”, ***Construction Specifier***, 58 (2): 46-51 (2005).
20. Türkel, S., “Soğuk Hava Koşullarında Beton Üretimi”, ***Deprem Sempozyumu***, Uşak, 32-45 (2003).
21. Yıldırım, H., Pekmezci, B.Y., Ardaç, V., “Beton Antifrizi Katkısı Kullanımının Betonun Basınç Mukavemetine Etkisi”, ***Yapı Kimyasalları Sektör Dergisi***, 1: 66-69 (2007).
22. Korhonen, C.J., Cortez, E.R., Smith, C.E.Jr., “New Admixtures for Cold Weather Concreting”, ***Sixth International Cold Regions Engineering Conference***, USA, 200-209 (1991).
23. Korhonen, C.J., Cortez, E.R., “Antifreeze Admixtures for Cold Weather Concreting”, ***Concrete International: Design and Construction***, 13 (3): 38-41 (1991).
24. Korhonen, C.J., “Off-the-Shelf Antifreeze Admixtures”, Technical report 02-7, ***U.S. Army Engineer Research and Development Center Cold Regions Research and Engineering Laboratory***, New Hampshire, 1-38 (2002).

25. Korhonen, C.J., "New Developments in Cold-Weather Concreting", *In Proceedings of the 11th International Conference on Cold Regions Engineering*, Alaska, 531-537 (2002).
26. Sakai, K., Watanabe, H., Nomachi, H., Hamabe, K., "Antifreeze Admixture Developed in Japan", *Concrete International: Design and Construction*, 13 (3): 26-30 (1991).
27. Kapelko, A., "Quality and Durability of Cement Concrete with the Admixture of Gelex Antifreeze", *Budownictwa Politechniki Wroclawskiej*, 37 (7): 88-94 (1982).
28. Liu, J., Li, Z., Jiang, L., Tian, Y., Du, F., "Influence of Admixture on the Resistant Freezing Critical Strength of Low Temperature Concrete", *Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science)*, 21 (6): 676-679 (2005).
29. Topçu, İ.B., Işıkdag, B., Tatar, Ö., "Eskişehir'de Hazır Beton Üretiminde Kullanılan Katkı Maddelerinin Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkileri", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1 (12): 21-26 (2006).
30. Gratton-Bellew, P.E., "Microstructural Investigation of Deteriorated Portland Cement Concretes", *Construction and Buildings Materials*, 10 (1): 3-16 (1996).
31. David, J.C., Maria, C.G., J., Paulo, J.M.M., Jacob, B., "Investigating Entrained Air Voids and Portland Cement Hydration with Low-temperature Scanning Electron Microscopy", *Cement and Concrete Composites*, 26 (8): 1007-1012 (2004).
32. Erland, M.S., "Ice Damage to Concrete", Special Report 98-6, *US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory*, USA, 1-54 (1998).
33. Powers, T.C., Brownyard, T.L., "Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste", *Journal of the American Concrete Institute*, 43: 101-993 (1947).
34. Mindess, S., Young, J.F., "Concrete", *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 1-671 (1981).
35. Pigeon, M., Pleau, R., Aitcin, P.C., "Freeze-thaw Durability of Concrete with and without Silica Fume in ASTM C 666 (Procedure A, Test method: Internal Cracking Versus Scaling)", *Cement Concrete and Aggregates*, 8 (2): 76-85 (1986).
36. Pigeon, M., Pleau, R., "Durability of Concrete in Cold Climates", *ACI Journal, Proceedings*, 80 (3): 217-222 (1995).

37. Litvan, G.G., "Air Entrainment in The Presence of Superplasticizers", *Journal of the American Ceramics Institute*, 80 (33): 326-331 (1983).
38. Fagerlund, G., "An Introduction to RILEM Methods of Testing Resistance of Concrete to Freezing and Thawing and the International Cooperative Tests on the Critical Degree of Saturation Method", *Materials and Structures*, 10 (58) 217-230 (1977).
39. Macinnes, C., Lau, E.C., "Maximum Aggregate Size Effect on Frost Resistance of Concrete", *ACI Journal Proceedings*, 68: 144-149 (1971).
40. Kaneuji, M., Winslow, D.N., Dolch, W.L., "The Relationship Between an Aggregate's Pore Size Distribution and its Freeze Thaw Durability in Concrete", *Cement and Concrete Research*, 10 (3): 433-441 (1980).
41. Pigeon, M., Pleau, R., Simard, J.M., "Freeze-Thaw Durability vs Freezing Rate", *Journal of American Concrete Institute*, 82 (5): 684-692 (1985).
42. Sellevold, E.J., "Testing of Tightening Material for Concrete", NT Techn Report 100 NT Project No. 573-85, *Nordtest*, Norwegian, 1-23 (1988).
43. Fagerlund, G., "Effect of The Freezing Rate on The Frost Resistance of Concrete", *Nordic Concrete Research*, 11: 20-36 (1992).
44. Grübl, P., Sotkin, A., "Rapid ice formation in hardened cement paste, mortar and concrete due to supercooling", *Cement and Concrete Research*, 10 (3): 333-345 (1980).
45. Powers, T.C., Helmuth, R.A., "Theory of Volume Changes in Hardened Portland Cement Paste During Freezing", *Proceedings of Highway Research Board 32nd Annual Meeting*, Washington, 285-297 (1953).
46. Hansen, W., Young, F., "Modeling of Hydration Reactions and Concrete Properties", In Materials Science of Concrete: II, Skalny, J., P. and Mindess, S., *American Ceramics Society*, Ohio, 185-199 (1991).
47. Bazant, Z.P., "Creep and Damage in Concrete", In Materials Science of Concrete: IV, Skalny, J.P., Mindess, S., *American Ceramics Society*, Ohio, 355-389 (1995).
48. Bazant, Z.P., Chern, J.C., Rosenberg, A.M., Gaidis, J.M., "Mathematical Model for Freeze-Thaw Durability of Concrete", *Journal of the American Ceramic Society*, 71 (9): 776-83 (1988).
49. Powers, T.C., "The Air Requirement of Frost-Resistant Concrete", *Proceedings of the Highway Research Board*, Washington, 29: 184-211 (1949).

50. Cesar, C., Kenneth, C.H., Kevin, J.F., Randall, M.H., Trejo, D., “Durability of Segmental Retaining Wall Blocks: Final Report”, **Office of Infrastructure Research and Development Federal Highway Administration**, USA, Publication no: FHWA-HRT-07-021: 1-274 (2007).
51. Neville, A., “Su ve Beton: Bir Sevgi Nefret İlişkisi”, Teknik Not, **TÇMB Çimento ve Beton Dünyası**, 6 (29): 35-43 (2001).
52. Dursun, Ö.F., Türk, K., Yıldırım, M.Ş., “Beton Harcının Dayanım ve Donma Dayanıklılığının İyileştirilmesi için Farklı Tür Pozolan Kullanımı”, **Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi**, 17 (3): 481-486 (2005).
53. Hüsem, M., “Geleneksel ve Yüksek Performanslı Betonların Basınç ve Çekme Dayanımlarına Donma ve Çözünmenin Etkisi”, **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 16 (3): 503-512 (2003).
54. Shang, H., Song, Y., Ou, Y., “Behavior of Air-entrained Concrete After Freeze-thaw Cycles”, **Acta Mechanica Solida Sinica**, 22 (3): 261-266 (2009).
55. Sun, W., Mu, R., Luo, X., Miao, C., “Effect of Chloride Salt, Freeze-Thaw Cycling and Externally Applied Load on the Performance of the Concrete”, **Cement and Concrete Research**, 32 (12): 1859-864 (2002).
56. Miao, C., Mu, R., Tian, Q., Sun, W., “Effect of Sulfate Solution on the Frost Resistance of Concrete with and without Steel Fiber Reinforcement”, **Cement and Concrete Research**, 32 (1): 31-34 (2002).
57. Soroushian, P., Elzafraney, M., “Damage Effects on Concrete Performance and Microstructure”, **Cement and Concrete Composites**, 26 (7): 853-859 (2004).
58. Şimşek, O., “Beton ve Beton Teknolojisi”, **Seçkin Yayınevi**, Ankara, 1-247 (2004).
59. Akman, M.S., “Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını**, 1481: 1-245 (1992).
60. Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., “Concrete-Microstructure, Properties and Materials 3nd ed.”, **McGraw-Hill**, USA, 1-644 (2006).
61. Orchard D.F., “The Deterioration of Concrete and its Resistance to Chemical Attack”, **Concrete Technologist: Properties of Materials**, 1: 315-347 (1992).
62. Hassan, K.E., Cabrera, J.G., Maliehe, R.S., “The Effect of Mineral Admixture on the Properties of High Performance Concrete”, **Cement and Concrete Composites**, 22: 267-271 (2000).

63. Mather, K., "Current Research in Sulfate Resistance at the Waterways Experiment Station", *ACI George Vesbeck Symposium on Sulfate Resistance of Concrete*, Detroit, 63-74 (1982).
64. Cohen, M.D., Bentur, A., "Durability and Portland Cement - Silica Fume Pastes in Magnesium and Sodium Sulfate Solutions", *ACI Materials Journal*, 85 (3): 148-157 (1998).
65. Yazıcı, H., "Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (1): 51-58 (2006).
66. Türkmen, İ., "Korozif Etkiler Altında Yüksek Fırın Cürufu ve Silis Dumanı Katkılı Yüksek Dayanımlı Beton Örneklerin Mekanik Özellikleri ve Dayanıklılığı", Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 1-153 (2002).
67. Lee, S.T., Moon, H.Y., Swamy, R.N., Kim, S.S., Kim, J.P., "Sulfate Attack of Mortars Containing Recycled Fine Aggregates", *ACI Materials Journal*, 102 (4): 224-230 (2005).
68. Doğan, Ö.M., "Çeliğin Beton İçinde Pasiflik ve Koroziflik Karakteristiğinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-67 (1989).
69. Hoşhan, P., "Beton İçindeki Çeliğin Korozyonunun Üç Elektrot Yöntemi ile İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-87 (1994).
70. TS 3440, "Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Beton Örnekler İçin Yapım Kuralları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-27 (1982).
71. Mehta, P.K., "Causes of Deterioration of Concrete in Seawater", Concrete in Marine Environment, *Taylor&Francis Group*, USA, 73-102 (1991).
72. Pavlik, V., "Corrosion of Hardened Cement Paste by Acetic and Nitric Acids Part III. Influence of Water Cement Ratio", *Cement and Concrete Research*, 26 (3): 475-490 (1996).
73. Yazıcı, H., "Yüksek Hacimde C Sınıfı Uçucu Kül İçeren Beton Örneklerin Mekanik Özellikleri ve Sülfürik Asit Dayanıklılığı", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11 (3): 443-448 (2005).
74. TS 707, "Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-9 (1980).

75. ASTM C-494-99, "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete", Concrete and Mineral Aggregates, *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, USA, 4 (2): 1-9 (1999).
76. TS EN 934-2, "Kimyasal Katkılar-Beton, Harç ve Şerbet için- Bölüm 2: Beton Katkıları Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-29 (2002).
77. TSE 802, "Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-26 (2009).
78. TS 2941, "Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi İle Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-14 (1978).
79. TS EN 12350-2, "Beton – Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-8 (2002).
80. TS EN 12350-3, "Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 3: Vebe Deneyi", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-4 (2002).
81. TS EN 12350-7, "Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 7: Hava İçeriğinin Tayini- Basınç Metotları", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-14 (2002).
82. TS EN 12390-3, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-12 (2003).
83. TS 3624, "Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-6 (1981).
84. TS 12390-7, "Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-5 (2002).
85. TS 4045, "Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-6 (1984).
86. TS EN 12390-8, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-3 (2002).
87. TS EN 12390-6, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini", *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-6 (2002).
88. ASTM C-496-96, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens", Concrete and Mineral Aggregates, *Annual Book of ASTM Standards*, Philadelphia, USA, 4 (2): 1-4 (2001).

89. Neville, A.M., “Properties of concrete 3rd Edition”, Longman Scientific & Technical , New York, USA, 360-367 (1993).
90. TS 3502, “Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini”, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 1-10 (1981).
91. ASTM C 666-97, “Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing”, Concrete and Mineral Aggregates, ***Annual Book of ASTM Standards***, Philadelphia, USA, 4 (2): 1-6 (1998).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇULLU, Mustafa
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.04.1975 Adana
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 621 10 23
 Faks : 0 (312) 623 37 49
 e-mail : mustafacullu@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Yapı Eğitimi	2004
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Yapı Eğitimi	2001
Önlisans	Çukurova Üniversitesi	1996
Lise	Adana İnşaat Teknik Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2001-.....	Hacettepe Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Arslan, M., Çullu, M., “Ankara Yöresindeki Bazı Agregat Ocaklarının Alkali Silika Reaktivitesi Açısından İncelenmesi”, *G.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, 21 (4): 613-620 (2006).
2. Subaşı, S., Çullu, M., “Demir Cevheri ve Hurda Demirden Üretilen Beton Çelik Çubukların Yeterliliklerinin Araştırılması”, *G.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, 21 (4): 621-629 (2006).

3. Subaşı, S., Özgan, E., Uzunoğlu, M. M., Çullu, M., Tekin, İ., "Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çelik ve Polipropilen Lif Kullanımının Akışkanlık Parametreleri ve Basınç Dayanımına Etkisi", **Beton 2008 Uluslararası Hazır Beton Kongresi Bildirileri**, İstanbul, 331-344 (2008).
4. Çullu, M., Bolat, H., Subaşı, S., Tekin, İ., "Yatağan ve Soma Termik Santralleri Uçucu Küllerinin Çimento Genleşmesine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", **Beton 2008 Uluslararası Hazır Beton Kongresi Bildirileri**, İstanbul, 428-437 (2008).
5. Bolat, H., Çullu, M., Tekin, İ., "Bir Saha Beton Uygulaması: Vakumlu Beton", **Beton 2008 Uluslararası Hazır Beton Kongresi Bildirileri**, İstanbul, 259-268 (2008).
6. Bolat, H., Şimşek, O., Çullu, M., "Beton yol kaplamalarında su-çimento oranının durabiliteye etkisi," **3.Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi**, Ankara, 3: 952-962 (2006).
7. Çullu, M., Subaşı, S., Yıldız, K., "Uçucu Kül İçerisindeki CaO ve MgO'in Çimento Genleşmesine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", **Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu Umes 2007**, Kocaeli, 642-646 (2007).
8. Yıldız, K., Subaşı, S., Çullu, M., "Suda Bekletme Sürelerinin Seramik Duvar Karolarının Yapışma Mukavemetine Etkisi", **Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu Umes 2007**, Kocaeli, 629-632 (2007).
9. Subaşı, S., Beycioğlu, A., Çullu, M., "Yüksek Kalsiyumlu Uçucu Küllerin Çimento Numunelerinde Meydana Getirdiği Genleşme Miktarlarının Tahmin Edilmesine Yönelik Alternatif Yaklaşımlar", **5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, Karabük, 2258-2264 (2009).

Hobiler

Spor, Bilgisayar teknolojileri