



**KİMYASAL KATKI MADDELERİNİN BETONUN YÜKSEK SICAKLIĞA
DAYANIKLILIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ**

İlknur BEKEM

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2014

İlknur BEKEM tarafından hazırlanan “KİMYASAL KATKI MADDELERİNİN BETONUN YÜKSEK SICAKLIĞA DAYANIKLILIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Metin ARSLAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan : Prof. Dr. Mustafa TOKYAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Prof. Dr. İ. Özgür YAMAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 21/10/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
İlknur Bekem
11.09.2014

KİMYASAL KATKI MADDELERİNİN BETONUN YÜKSEK SICAKLIĞA DAYANIKLILIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

(Doktora Tezi)

İlknur BEKEM

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2014

ÖZET

Bu çalışmanın amacı; kimyasal katkı maddelerinin betonun yüksek sıcaklık altındaki davranışlarına etkisini belirlemektir. Bu amaca yönelik olarak, akışkanlaştırıcı ve antifriz katkıları kullanılarak aynı çökme değerlerine sahip olan katkısız, akışkanlaştırıcı katkı, antifriz katkı ve akışkanlaştırıcı+antifriz katkı olmak üzere C30 sınıfı dört farklı tip beton üretilmiştir. Taze betonlar 15x50x60 cm boyutlarındaki plak kalıplara dökülmüştür. 7 gün standart kür uygulanan plak betonlardan 5 cm çapında karot örnekleri alınmıştır. Örnekler Ø5x10 cm boyutuna getirilmiştir. 90. günde karot örnekleri yüksek sıcaklık fırınında 3 saat süresince 20 (Referans), 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklığa maruz bırakılarak, havada ve su püskürtme yoluyla soğutulmuştur. Agreganın sıcaklıkla değişiminin belirlenmesi amacıyla ana kayaç örneklerine 700 °C sıcaklık sonrası havada ve su püskürterek soğutma şartları uygulanmıştır. Soğutulan örnekler üzerinde; su emme, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kayaç ve beton türlerinde 20 ve 700 °C örneklerinde X ışını kırınım yöntemi ile mikro yapı analiz edilmiştir. Sonuç olarak katkısız, akışkanlaştırıcı katkı, antifriz katkı, akışkanlaştırıcı+antifriz katkı betonların sıcaklık arttıkça su emme oranlarının arttığı, ultrases geçiş hızları ve basınç dayanımlarının azaldığı görülmüştür. 400 °C'ye kadar havada soğutulan örneklerin kalan fiziksel ve mekanik özelliklerinin su ile püskürtülerek soğutulan örneklerle göre daha iyi olduğu, ancak bu durumun 550 ve 700 °C'de tersine döndüğü belirlenmiştir. XRD çekimlerinde tüm beton türlerinde 20 °C'de görülen portlandit (Ca(OH)₂) pikinin 700 °C'de azaldığı belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 714.1.143

Anahtar Kelimeler : Beton, Dayanıklılık, Kimyasal katkı maddeleri, Yüksek sıcaklık

Sayfa Adedi : 148

Danışman : Prof. Dr. Metin ARSLAN

EFFECTS OF CHEMICAL ADMIXTURES ON THE RESISTANCE OF CONCRETE
AGAINST HIGH TEMPERATURE

(Ph. D. Thesis)

İlknur BEKEM

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2014

ABSTRACT

The purpose of this study is determine the effects of chemical admixtures on the resistance of concrete against high temperature. For this purpose, four different types of concrete such as same slump the C30 class were produced by using the plasticizer and antifreeze. These were free from additive concrete, concrete containing plasticizer, concrete containing antifreeze and concrete containing pasticizer+antifreeze. Fresh concrete was poured into 15x50x60 cm sized formwork. 7 days standard curing was applied to the concrete. Core samples that 5 cm in diameter were taken from concrete. The samples were adjusted to Ø5x10 cm. On 90th day core samples exposure to 20 (Reference), 200, 400, 550 and 700 °C for 3 hours in a high temperature furnace and they were cooled the air and water spray. In order to determine the temperature dependence of the aggregate, the air and spray water cooling conditions were applied the main rock samples which was applied 700 °C temperature. Water absorption, ultrasonic pulse velocity and compressive strength tests were carried out on cooled samples. The method of X-ray diffraction was done on rock and concrete types of 20 and 700 °C samples for analyzing of microstructure. As a result, as temperature increase, water absorption rate increased, ultrasonic pulse velocity and compressive strength decreased in all types of concretes. Remaining physical and mechanical properties of samples that air cooled to 400 °C are better than samples which are cooled by spraying with water, but at 550 and 700 °C this state is determined that reversed. Concrete containing plasticizer+antifreeze has been the highest compressive strenght on 90th day. In XRD shooting, portlandite (Ca(OH)₂) peak which is seen at 20 °C has been decreased at 700 °C in all types of concretes.

Science Code : 714.1.143

Key Words : Concrete, Durability, Chemical admixture, High temperature

Page Number : 148

Supervisor : Prof. Dr. Metin ARSLAN

TEŞEKKÜR

Lisansüstü öğrenimim boyunca bilgileri ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve akademik hayata atılmama vesile olan çok kıymetli danışmanım Sayın hocam Prof. Dr. Metin ARSLAN'a, Tez izleme komitelerindeki bilimsel katkıları ve değerlendirmeleri ile yolumu aydınlatan Sayın Prof. Dr. İ. Özgür YAMAN'a, Deneysel planlama ve istatistikî süreçte daima destek gördüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Gökhan DURMUŞ'a, Jurideki değerlendirmeleri ile tezime katkıda bulunan Prof. Dr. Mustafa TOKYAY ve Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ'a, Laboratuvar imkânlarından yararlandığım değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e "Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği", Doç. Dr. İlhami DEMİR'e "Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği" ve Öğr. Gör. Selahattin GÜZELKÜÇÜK'e "Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir MYO", Mikro yapı incelemelerinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ali İhsan KARAYİĞİT, Yrd. Doç. Dr. Evren ÇUBUKÇU'ya "Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü", Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'nden Hakan AKSOY, Saruhan SAKLAR, Gökçe GÜRTEKİN ve Bülent BAŞARA'ya, Yrd. Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK'e "Ahi Evran Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği", Öğr. Gör. Engin EKDUR'a ve görev yapmakta olduğum Ahi Evran Üniversitesi Kaman MYO ailesine, yaz kış ayırt etmeksizin arazide ve laboratuvarında benimle çalışan sevgili öğrencilerim Seher DEMİRBAĞ, Havva ÖZTÜRK, Serhat PAKİN ve Enes DURU'ya,

Gerek çalışmanın gerekse yaşamın zorlu şartlarında sabrı ve sevgisiyle her zaman yanımda olan Cuma KARA'ya,

Öğrenimim ve meslek hayatım süresince beni maddi ve manevi olarak destekleyen, güven veren ve güvenen ailem Annem Müjgan BEKEM, Babam Mahmut BEKEM'e, çalışmaktan yeteri kadar zaman ayıramadığım Kardeşlerim Erdem, Halil ve Aliosman BEKEM'e teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.1. Yüksek Sıcaklık Sonrası Betonarmenin Davranışı.....	8
2.2. Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri	9
2.3. Betonda Katkı Kullanımı Ve Yüksek Sıcaklık İlişkisi	19
2.4. Kimyasal katkı maddeleri.....	23
2.4.1. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi.....	24
2.4.2. Antifriz katkı maddesi	25
2.5. Betonda Yüksek Sıcaklık Sonucu Mikro Özellikler	25
3. MALZEMELER VE YÖNTEMLER	31
3.1. Malzemeler	31
3.1.1. Çimento	31
3.1.2. Ana kayaç	31
3.1.3. Agrega.....	32

	Sayfa
3.1.4. Karışım ve soğutma suyu	32
3.1.5. Kimyasal katkı maddeleri.....	32
3.1.6. Kalıp yüzey malzemesi ve kalıp yağı	33
3.2. Yöntemler	33
3.2.1. Hazır beton üreticileri anketi.....	34
3.2.2. Agrega deneyleri.....	34
3.2.3. Beton örneklerinin hazırlanması	35
3.2.4. Kayaç örneklerinin hazırlanması	40
3.2.5. Yüksek sıcaklık uygulamaları	40
3.2.6. Soğutma uygulamaları.....	42
3.2.7. Kayaç ve sertleşmiş beton deneyleri.....	44
3.2.8. Mikro yapı analizleri.....	48
3.2.9. İstatistikî uygulamalar	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
4.1. Ana Kayaç Özellikleri	51
4.2. Beton Türlerinin Özellikleri	54
4.2.1. Katkısız beton.....	57
4.2.2. Akışkanlaştırıcı katkılı beton	64
4.2.3. Antifriz katkılı beton.....	69
4.2.4. Akışkanlaştırıcı ve antifriz katkılı beton	74
4.3. Su Emme Oranı'na İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	79
4.4. Ultrases Geçiş Hızı'na İlişkin Bulgular ve Tartışma	87
4.5. Basınç Dayanımı'na İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	95
4.6. Soğutma Suyuna İlişkin Bulgular ve Tartışma.....	104

	Sayfa
4.7. Mikro Yapı'ya İlişkin Bulgular ve Tartışma	106
4.7.1. XRD bulguları.....	106
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR	117
EKLER	125
EK-1. Obruk taş ocağı.....	126
EK-2. Hazır beton üreticileri anketi.....	127
EK-3. Çalışmada kullanılan alet ve cihazlar	128
EK-4. Soğutma suyu ve ortam özellikleri	133
EK-5. XRD kırınım desenleri.....	135
EK-6. Beton türlerine ait resimler.....	143
ÖZGEÇMİŞ	147

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Ses hızı ile beton kalitesinin tahmin edilmesi.....	6
Çizelge 3.1. CEM I 42,5 R fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.....	31
Çizelge 3.2. AK ve antifriz kimyasal katkılarına ait fiziksel ve kimyasal özellikler.....	33
Çizelge 3.3. Agregalara ait fiziksel özellikler.....	35
Çizelge 3.4. 1 m ³ beton karışımına giren malzeme miktarları	36
Çizelge 3.5. Beton üretimi ile ilgili ortalama sıcaklıklar ve nem durumu.	37
Çizelge 3.6. Kimyasal katkı içeriklerine göre beton türleri kodlamaları.	38
Çizelge 3.7. Her bir beton türü için karot örnekleri üzerinde deneysel uygulamalar ve örnek sayıları.....	39
Çizelge 3.8. Yüksek sıcaklık fırını program verileri.....	41
Çizelge 3.9. PHmetre ölçüm özellikleri.	44
Çizelge 4.1. Katkısız beton su emme oranları.	57
Çizelge 4.2. Katkısız beton ultrases geçiş hızı değerleri.....	57
Çizelge 4.3. Katkısız beton basınç dayanımı değerleri.	58
Çizelge 4.4. AK katkılı beton su emme oranları.....	64
Çizelge 4.5. AK katkılı beton ultrases geçiş hızı değerleri.	64
Çizelge 4.6. AK katkılı beton basınç dayanımı değerleri.....	64
Çizelge 4.7. Antifriz katkılı beton su emme oranları	69
Çizelge 4.8. Antifriz katkılı beton ultrases geçiş hızı değerleri.....	70
Çizelge 4.9. Antifriz katkılı beton basınç dayanımı değerleri.	70
Çizelge 4.10. AK+Antifriz katkılı beton su emme oranları	75
Çizelge 4.11. AK+Antifriz katkılı beton ultrases geçiş hızı değerleri	75
Çizelge 4.12. AK+Antifriz katkılı beton basınç dayanımı değerleri.....	75

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.13. Su emme oranlarına ait açıklayıcı varyans sonuçları.....	75
Çizelge 4.14. Beton türü ve soğutma türü koşullarında su emme oranlarına ait Duncan testi sonuçları.....	80
Çizelge 4.15. Sıcaklık ve ve soğutma türü koşullarında su emme oranlarına ait Duncan testi sonuçları.....	81
Çizelge 4.16. Beton türü ve sıcaklık koşullarında su emme oranlarına ait Duncan testi sonuçları.....	81
Çizelge 4.17. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait açıklayıcı varyans sonuçları.	87
Çizelge 4.18. Beton türü ve sıcaklık koşullarında ultrases geçiş hızı değerlerine ait Duncan testi sonuçları.....	88
Çizelge 4.19. Beton türü ve ve soğutma türü koşullarında ultrases geçiş hızı değerlerine ait Duncan testi sonuçları.....	89
Çizelge 4.20. Basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı varyans sonuçları.....	95
Çizelge 4.21. Beton türü ve sıcaklık türü koşullarında basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları.....	96
Çizelge 4.22. Sıcaklık ve soğutma türü koşullarında basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları.....	96
Çizelge 4.23. Soğutma suyu pH değerleri	105

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sıcaklık-beton ilişkisi	13
Şekil 3.1. Deneysel granülometri eğrisi	34
Şekil 3.2. Plak kalıp görünümü.....	36
Şekil 3.3. Karot örnekleri kodlamaları	38
Şekil 3.4. Deney planlaması	39
Şekil 4.1. Ana kayaç su emme oranları	51
Şekil 4.2. Ana kayaç ultrases geçiş hızı değerleri.....	53
Şekil 4.3. Ana kayaç basınç dayanımı değerleri.....	54
Şekil 4.4. Beton türlerine ait 90. gün su emme oranları.....	52
Şekil 4.5. Beton türlerine ait 90. gün ultrases geçiş hızları	56
Şekil 4.6. Beton türlerine ait 90. gün basınç dayanımları	57
Şekil 4.7. Katkısız beton su emme oranları	59
Şekil 4.8. Katkısız beton ultrases geçiş hızı değerleri.....	60
Şekil 4.9. Katkısız beton basınç dayanımı değerleri.....	62
Şekil 4.10. Katkısız beton basınç dayanımı ve su emme oranı ilişkisi	63
Şekil 4.11. Katkısız beton basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi	63
Şekil 4.12. AK katkıli beton su emme oranları	66
Şekil 4.13. AK katkıli beton ultrases geçiş hızı değerleri	67
Şekil 4.14. AK katkıli beton basınç dayanımı değerleri	68
Şekil 4.15. AK katkıli beton basınç dayanımı-su emme oranı ilişkisi	68
Şekil 4.16. AK katkıli beton basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı ilişkisi	69
Şekil 4.17. Antifriz katkıli beton su emme oranları.....	71
Şekil 4.18. Antifriz katkıli beton ultrases geçiş hızı	72

Şekil	Sayfa
Şekil 4.19. Antifriz katkılı beton basınç dayanımı değerleri.....	73
Şekil 4.20. Antifriz katkılı beton basınç dayanımı ve su emme oranı ilişkisi	74
Şekil 4.21. Antifriz katkılı beton basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi	74
Şekil 4.22. AK+Antifriz katkılı beton su emme oranları	76
Şekil 4.23. AK+Antifriz katkılı beton ultrases geçiş hızı değerleri.....	77
Şekil 4.24. AK+Antifriz katkılı beton basınç dayanımı değerleri	78
Şekil 4.25. AK+Antifriz katkılı beton basınç dayanımı ve su emme oranı ilişkisi	79
Şekil 4.26. AK+Antifriz katkılı beton basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi...	79
Şekil 4.27. Beton türlerinde 200 °C’de su emme oranları değişimi.....	84
Şekil 4.28. Beton türlerinde 400 °C’de su emme oranları değişimi.....	84
Şekil 4.29. Beton türlerinde 550 °C’de su emme oranları değişimi.....	85
Şekil 4.30. Beton türlerinde 700 °C’de su emme oranları değişimi.....	86
Şekil 4.31. Havada soğutulan örneklerin su emme oranı değişimleri.....	86
Şekil 4.32. Su püskürtülerek soğutulan örneklerin su emme oranı değişimleri	87
Şekil 4.33. Beton türlerinde 200 °C’de ultrases geçiş hızı değişimi	91
Şekil 4.34. Beton türlerinde 400 °C’de ultrases geçiş hızı değişimi	92
Şekil 4.35. Beton türlerinde 550 °C’de ultrases geçiş hızı değişimi	93
Şekil 4.36. Beton türlerinde 700 °C’de ultrases geçiş hızı değişimi	94
Şekil 4.37. Havada soğutulan örneklerin kalan ultrases geçiş hızları.....	94
Şekil 4.38. Su püskürtülerek soğutulan örneklerin kalan ultrases geçiş hızları	95
Şekil 4.39. Beton türlerinde 200 °C’de basınç dayanımı değişimi	99
Şekil 4.40. Beton türlerinde 400 °C’de basınç dayanımı değişimi	100
Şekil 4.41. Beton türlerinde 550 °C’de basınç dayanımı değişimi	102
Şekil 4.42. Beton türlerinde 700 °C’de basınç dayanımı değişimi	103

Şekil	Sayfa
Şekil 4.43. Havada soğutulan örneklerin kalan basınç dayanımları	104
Şekil 4.44. Su püskürtülerek soğutulan örneklerin kalan basınç dayanımları.....	104
Şekil 4.45. Su püskürtülerek yapılan soğutmalarda soğutma suyunun pH değişim oranları.....	103
Şekil 4.46. Katkısız betona XRD kırınım desenleri.....	107
Şekil 4.47. Katkısız beton portlandit piki detayı	107
Şekil 4.48. Akışkanlaştırıcı katkıli beton XRD kırınım desenleri	108
Şekil 4.49. Akışkanlaştırıcı katkıli beton portlandit piki detayı	108
Şekil 4.50. Antifriz katkıli beton XRD kırınım desenleri	109
Şekil 4.51. Antifriz katkıli beton portlandit piki detayı	109
Şekil 4.52. AK+Antifriz katkıli beton XRD kırınım desenleri.....	110
Şekil 4.53. AK+Antifriz katkıli beton portlandit piki detayı.....	110

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Plak betonlardan karot alınması.....	38
Resim 3.2. a) Kayaçtan karot alınması, b) İstenilen boya gelemeden kırılan karot örnekleri	40
Resim 3.3. Kayaçtan çıkarılan karot örnekleri.....	40
Resim 3.4. Çalışma sürecinde kullanılan yüksek sıcaklık fırını	41
Resim 3.5. Demir kafes görüntüsü	41
Resim 3.6. Su püskürtme için kullanılan başlık.....	43
Resim 3.7. 0,01 ölçüm hassasiyetine sahip terazi.....	45
Resim 3.8. Ultrases cihazı kullanımı ve uçları	46
Resim 3.9. Beton test presi.....	47
Resim 3.10. Kırılmış ve öğütülmüş beton örnekleri.....	48
Resim 4.1. 700 °C havada soğutulan örnekte ara yüzeyde çatlak görünümü	61
Resim 4.2. 700 °C havada soğutulan örnekte çatlak dağılımı.....	61

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Kırşehir civarı, Obruk taşocağı	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

° C	Santigrad derece
mm ²	Milimetrekare
H	Hertz

Kısaltmalar

Açıklamalar

AF	Akışkanlaştırıcı+Antifriz katkılı beton
AK	Akışkanlaştırıcı
Ca(OH) ₂	Kalsiyumhidroksit
CaCO ₃	Kalsiyumkarbonat
CaO	Kalsiyumoksit
CEM I	Portland çimentosu
CSH	Kalsiyum silikat hidrat
d _{max}	Agrega maksimum tane büyüklüğü
DTG	Diferansiyel termogravimetrik analiz
F	Antifriz katkılı beton
K	Katkısız beton
S/Ç	Su/çimento oranı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TGA	Termogravimetrik analiz
XRD	X ışını kırınımı

1. GİRİŞ

Betonun kalıplarla desteklenmesi ve çelik donatılarla güçlendirilmesi ile inşa edilen betonarme tüm dünyada karkas yapılarda en çok tercih edilen sistemlerden biridir. Betonarme sistemlerde kalıp geçici bir yapı malzemesi iken, çelik ve beton yapının taşıyıcılığını oluşturan malzemelerdir. Betonarme çeliği tanımlanmış standart özelliklerde fabrikasyon olarak üretilmektedir. Beton ise “agrega, çimento, su ve katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen başlangıçta plastik kıvamlı zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle bulunduğu kalıbın şeklini alarak katılaştıran bir yapı malzemesi” dir (Şimşek 2009:22, Çullu 2009).

Günümüzde fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dayanıklı, kaliteli ve yüksek performanslı beton üretimi, gerek kimyasal gerekse mineral katkıların kullanımı ile mümkün olmaktadır. Katkılar, taze veya sertleşmiş betonun bir veya birden fazla özelliğini geliştirebilir. Katkılar, genel olarak aşağıdaki amaçlarla betonda kullanılmaktadır (Ramyar, 2007):

- Belirli bir uygulama için daha uygun beton üretmek,
- Ekonomik nedenler,
- Enerji veya doğal kaynaklarda tasarruf sağlamak gibi diğer amaçlar.

Yapıların ve yapı ürünlerinin işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirmeleri “dayanıklılık (durability) veya kalıcılık” olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklı bir yapı, ilk şeklini, niteliklerini ve hizmet görme yeteneğini çevrenin etkisinde uzun süre kaybetmeyen yapıdır. “Hizmet ömrü” adı verilen bu süre sonunda, yapının kullanımı güvenli olmaktan çıkar (Akman, 1989). Beton yapı elemanlarının dayanıklılığı, kendisini oluşturan malzemelerin özelliklerinin yanı sıra, beton karışım oranları, betonun hazırlanması, betonun karıştırılması, betonun taşınması, betonun yerleştirilmesi, betonun sıkıştırılması ve betonun kuru gibi temel işlemlerden büyük ölçüde etkilenmektedir (Çullu, 2009). Ayrıca, beton yapı elemanlarının zamanla bozulup işlevlerini beklenen servis ömürlerine ulaşmadan yitirmelerine çevreden kaynaklanan dış etkiler de sebep olmaktadır (Gökçe, Taban ve Şimşek, 2010). Betonun dayanıklılığını etkileyen dış faktörler sülfat, donma-çözülme, alkali silika reaksiyonu ve yüksek sıcaklık etkileridir.

Sudaki, zemindeki ve deniz suyundaki sülfat iyonları beton yapılarda bozulmaya yol açmaktadır. Sülfat saldırısının zararlı etkisi, sülfat iyonlarının sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girerek, hacmi çok artan etrenjit ve alçı oluşturmaktan kaynaklanmaktadır. Reaksiyon ürünleri, sertleşmiş betonda genleşme yaratarak agrega-çimento hamuru aderansının olumsuz yönde etkilenmesine, çatlak oluşumuna ve geçirimsizliğin artmasına yol açar. İleri derecedeki etkilenmelerde ise betonun tamamen dağılması söz konusudur (Yazıcı, 2006).

Beton boşluklu bir yapıya sahip olup gözeneklerinde bulunan suyun, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda donması, mukavemetinin azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. Bu etkiler suyun donması sonucunda hacminin artmasından ileri gelmektedir (Postacıoğlu, 1987:403). Donma çözünme olayı betonun dayanıklılığını azaltmaktadır.

Alkali silika reaksiyonu, betonun ana bileşenlerinden olan portland çimentosu içerisindeki alkallerin, agregada bulunabilecek reaktif silikat mineralleri ile tepkimeye girmesi sonucu oluşan reaksiyondur. Bu reaksiyon sonucu betonda çatlaklar oluşmakta, betonun çekme ve eğilmede çekme dayanımı düşmektedir (Uygunoğlu, 2009).

Betonarme yapıların dayanıklılığını etkileyen diğer bir faktör ise yüksek sıcaklıktır. Yapıların sıklıkla yangın olayı ile karşılaştığı, doğrudan olduğu gibi dolaylı olarak da yüksek sıcaklıktan etkilendiği bilinir. Yangın haricinde, baca, amonyak fabrikaları ve jet motorları etkisinde kalan atölyeler gibi yerlerde kullanılan beton malzemeler kısa süre için de olsa yüksek sıcaklıklara maruz kalırlar (Kamanlı ve Balık, 2003).

Yapının yangın sonrası kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek için meydana gelen hasarın miktarı bilinmek zorundadır. Yapıda kullanılan diğer malzemelere bakıldığında beton en az zararı gören olarak bilinmektedir. Çoğu zaman taşıyıcı çelik kirişleri yüksek sıcaklık etkisinden korumak için beton kullanılmaktadır. Betonarme yapı sistemlerinde demir donatıyı sıcaklık etkisinde koruyan kısım da beton kabuktur. Buna rağmen betonun yüksek sıcaklığa maruz kaldığında özelliklerinin etkilendiği deneysel çalışmalar ile kanıtlanmıştır (Gani, 1997:170).

Yüksek sıcaklıklarda beton davranışını etkileyen faktörler, ısınma oranı, ısınma süresi, söndürme çeşidi, beton bileşenleri, bağlayıcı malzeme çeşidi, agrega ve nem durumudur. Betonun yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı, onu oluşturan bileşenlere bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, betonun yüksek sıcaklıklar altında davranışının anlaşılabilmesi için, betonu oluşturan bileşenlerin yüksek sıcaklıklardaki davranışının iyi bilinmesi gerekir (Çil, Çakır, Ramyar, Bilgin ve Karaduman, 2007).

Problem Durumu

Geçmişten günümüze betonun yüksek sıcaklık sonrası mekanik ve fiziksel özelliklerindeki değişimler üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmalarda; çimento türünün ve agrega tipinin betonun yüksek sıcaklık etkisine dayanıklılığını nasıl etkilediği, puzolanların sıcaklık değişimi sırasındaki davranışları incelenmiştir. Ancak, beton üretiminde kullanımı neredeyse zorunlu hale gelen kimyasal katkı maddelerinin betonun yüksek sıcaklığına etkilerini inceleyen çalışmaların literatürde süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı türleri ile sınırlı olduğu görülmüştür.

Araştırmanın Amacı

Bu nedenle çalışmanın amacı, kimyasal katkı maddelerinin betonun yüksek sıcaklığa dayanıklılığı üzerine etkilerini belirlemektir.

Sınırlılıklar

Çalışma sürecinde kullanılan yüksek sıcaklık fırınının boyutları dolayısıyla karot çapı 50 mm seçilmiştir. Örnek boyutunun küçük olmasından dolayı, örnekler üzerinde tahribatsız yöntemlerden biri olan geri tepme çekici kullanılamamıştır. Yüksek sıcaklık uygulaması öncesi tüm beton ve kayaç örnekleri etüv kurusu haline getirilmiştir. Su püskürterek yapılan soğutmalarda kullanılan soğutma suyunun miktarı ölçülürken buharlaşan su ihmal edilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI

Bir yapının beklentileri en iyi şekilde yerine getirebilmesi için sahip olması gereken bir takım özellikler bulunmaktadır. Sertleşmiş betonun başlıca özellikleri olarak basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, elastik özellikler, büzülme, sünme ve termal iletim olarak sayılabilir (Kovler ve Roussel, 2011). Betonun taşıyıcılığının en belirgin ölçütü basınç dayanımıdır. Genellikle, betonun kalitesi dayanımıyla temsil edilmektedir. Beton üzerinde yapılan araştırmalarda, malzemenin muhtelif özellikleri basınç dayanımı arasında ilişkiler aranmış ve bu araştırmalar sonucunda betonun çeşitli özelliklerinin, basınç mukavemeti ile aynı yönde değiştiği görülmüştür. Bu ilişkiden dolayı betonun basınç dayanımı, betonun kalite ölçütü olarak kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre betonun basınç dayanımı ile çekme, eğilme ve kesme dayanımları arasında ilişkiler kurulmaktadır (Şimşek, 2009:157,158).

Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnç olarak tanımlanmaktadır. Genellikle yapıda bulunan betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Ancak beton elemanların üzerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Betonun çekme dayanımının tayini için kullanılan üç değişik yöntem vardır. Bunlar, doğrudan çekme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı tayinidir (Çivici ve Eren, 2004).

Betonun kalitesi hakkında bilgi edinilebilecek diğer bir yöntem ise ultrases geçiş hızının belirlenmesidir. Ultrasonik hız betonun mukavemetinin, homojenliğinin, elastisite modülünün, döküm özelliklerinin ve çatlakların varlığının belirlenmesinde kullanılabilir. Ultrasonik hız ve mukavemet arasındaki ilişkiler birçok değişkenden etkilenir. Betonun yaşı, su muhtevası, agrega çimento oranı, agrega tipi ve donatı yeri bu değişkenlerden sayılabilir Ultrases geçiş hızı ve beton kalitesi arasında Çizelge 2.1'e göre tahmin edilmektedir (Şimşek, 2010:304).

Çizelge 2.1. Ses hızı ile beton kalitesinin tahmin edilmesi (Şimşek, 2010:304)

<i>Ses hızı (V) km/s</i>	<i>Beton kalitesi</i>
>4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	Şüpheli
2,0-3,0	Zayıf
<2,0	Çok zayıf

Ultrasonik test yöntemi yangına maruz yapılarda betonun hasar derecesini belirlemek için etkili bir araçtır. Sıcaklık artışı ile meydana gelen ultrases geçiş hızı azalması çatlak oluşumunun göstergesidir. Bu nedenle, yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonun mekanik özelliklerini belirleyebilmek için ultrasonik test yöntemi kullanılabilir (Ergün, Kürklü, Başpınar ve Manour, 2013).

Sertleşmiş betonun yoğunluğu ve porozitesi en önemli iki karakteristiğidir. Sadece boşlukların mutlak hacimleri değil, onların fiziksel karakteristikleri de göz önünde tutulmalıdır. Boşlukların karakterine göre (birbirine bağlı veya değil) beton yoğunluğu değişir. Betonun yoğun bir yapıya sahip olması onun dış tesirlere karşı dayanıklılığını arttıracaktır (Stolnikov, 1968). Boşluk yapısının incelenmesiyle yüksek sıcaklıklara maruz kalmış harçların dayanımdaki değerleri hakkında fikir yürütülebilmektedir (Durmuş ve Arslan, 2009).

Beton yapı malzemesinin yangıncılık sınıfı A1 olup, “Hiç yanmaz” olarak tanımlanmaktadır. A1 sınıfı olan malzemeler yangın sırasında alev almaz ve kömürleşmezler. Yangına Karşı Dayanıklılık, bir yapı bileşeni ya da elemanın yük taşıma, bütünlük ve yalıtkanlık özelliklerini belirlenen bir süre koruyarak yangına karşı dayanmasıdır (Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik [BYKHY], 2007). Yapıların tasarımı sırasında yangın faktörü de göz önünde bulundurulmalıdır.

Yapıya ve malzemeye zarar veren, hasara yol açan yüksek sıcaklık kaynakları, yangın, özel üretimlerden dolayı endüstri fırın bacalarında, nükleer reaktörlerde görülen sıcaklık ve hava alanı pistlerinde sürtünmenin sebep olduğu ısınma olarak gösterilebilir. Uçakların kalkış ve inişlerindeki sürtünmeler ve jet motorlarından 260 km/saat hızla çıkan 196 °C'deki egzoz gazları, hava alanı pistlerinde sıcaklığın artmasına sebep olmaktadır. Nükleer reaktörlerde, sistemin sıcak parçalarından transfer olan ısı ve nötron ve gama

ışınlarının baskısı ile oluşan sıcaklık nedeni ile reaktörü koruyan beton yüksek sıcaklığa maruz kalır. Hızlı nötron ve gama ışınları yavaşlatılırken reaktör çekirdeğinden açığa çıkan enerji, koruyucu malzemede tutulur ve ısı şeklinde salıverilir. Bu ısı özellikle reaktör çekirdeğine yakın bölgeleri etkiler. Sodyum yakma havuzlarının etkisi ile tipik bir sodyum- beton reaksiyonu 400 °C’de başlar ve yarım saat sonra sıcaklık 800 °C’den daha yüksek bir değere ulaşır. Hızlı üretken reaktörlerde de nükleer reaksiyonlardan dolayı iç kabukta sıcaklık 500 °C’ye, dış bölümde ise 65 °C’ye ulaşır (Yüzer, Kızıllıkanat ve Uçarkoşar, 2013).

Yapı tasarımı sırasında yangın faktörü ele alınırken üç tip yangına ait zaman-sıcaklık eğrileri kullanılmaktadır. Bunlar, selülozik yangınlar, hidrokarbon yangınları ve tünel yangınlarıdır. Konut yapıları genellikle selülozik yangınlara dayanıklı olacak şekilde tasarlanmaktadır. Bir binaya ait yapı elemanlarının yangın karşısındaki durumunu benzetmek için standart yangın testleri geliştirilmiştir. Bu testlerde kullanılan fırınlar standart zaman-sıcaklık eğrisine sahiptirler. Testlerde BS 476 ve ISO 834 standartları uygulanmaktadır. Testlerin doğası benzerdir ve şartları genellikle aynıdır. Bu standart testlerde sıcaklık 45 dakika sonra 900 °C’ye, iki saat sonra ise 1050 °C’ye ulaşmaktadır. Hidrokarbon yangınları ise hidrokarbon sıvı ya da gaz yakıtlarının yanmasından kaynaklanmaktadır. Selülozik yangınlardan temel farkı sıcaklık artış oranı ve ulaşabileceği maksimum sıcaklıktır. Hidrokarbon yangınlarında yalnızca 4 dakika sonra sıcaklık 900 °C’ye ulaşır ve sıcaklık 20 dakika sonra 1100 °C’ye çıkar (Newman ve Choo, 2003).

Yanabilen bir madde tutuştuğunda, aynı mahalde bulunan diğer yanıcı malzemeleri yakarak, söndürülünceye kadar ilerleme ve yayılma eğilimindedir. Bu aşamada söndürülmemiş ise, bundan sonraki gelişme, mekânı çevreleyen duvarları, döşemeyi ve tavanı etkileyecek yöndedir. Duvarlarda ve döşemelerde açıklık varsa yangın, binanın diğer hacimlerine yayılır ve hatta strüktür elemanları korumamışsa, yapının kendisi de yanabilir. Yangın, hollerden, merdivenlerden geçebilir; hatta bitişik hacimlerdeki döşeme ve tefriş malzemelerini yanma sıcaklığına getirecek ısıyı duvarlar ve döşemeler iletebilir (Toydemir, Gürdal ve Tanaçan, 2011).

Yapıyı oluşturan malzemeler, yangınla karşılaşma sırasına göre;

- Mobilya gibi döşeme malzemeleri,
 - Bitirme ve dekorasyon malzemeleri
 - Yalıtım malzemeleri; özellikle ısı ve ses yalıtkanları,
 - Strüktüel(yapısal) malzemeler
- şeklinde gruplandırılabilir (Toydemir ve diğerleri, 2011).

Yangın sırasında sıcaklığın artması ile ısı enerjisinin atom yapısını etkilemesi gercin içyapısı oluşumu ile doğrudan bağlantılıdır. Bu gereçler;

- Kristalli (metal, taş vb)
- Amorf moleküllü (ahşap, plastik vb)
- Karma yapıli (beton, seramik vb)

olarak değişik iç yapılardadır (Çelebi ve Akıncıtürk, 2003).

2.1. Yüksek Sıcaklık Sonrası Betonarmenin Davranışı

Betonarmenin yüksek sıcaklık sonrası davranışını incelemek amacıyla literatürde harç, beton ve çeliğin yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı üzerine gerçekleştirilen çalışmalar bulunmaktadır.

Betonarmenin yangın direnci donatı üzerindeki beton kabuğun kalınlığına bağlıdır (Gani, 1997). Yazıcı ve İnan (2010), yaptıkları araştırmada farklı dayanıma sahip betonlarda, beton ile donatı arasındaki aderansa pas payı tabaka kalınlığının, yüksek sıcaklık seviyesinin ve etki süresinin tesirini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar neticesinde, yüksek sıcaklığın donatı ile beton arasında oluşan aderansı önemli ölçüde düşürdüğü, hatta 500 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda tamamen ortadan kaldırdığı görülmüştür. Üretilen betonlarda maruz kalınan sıcaklık seviyesi 100 °C'nin üzerine çıktıkça, sıcaklık artışına ve uygulama süresine bağlı olarak betonlara gömülmüş olan donatıları çıkarmak için gerekli olan kuvvetlerin düştüğü görülmüştür. 300 °C sıcaklık seviyesinden sonra çekip çıkarma yük değerlerinin çok hızlı düştüğü, 500 ve 700 °C 'deki sıcaklıklarda çekip çıkarma yüklerinin hemen hemen ortadan kalktığı aderansın yok olduğu saptanmıştır (Yazıcı ve İnan, 2010)

Xiao ve König (2004)'e göre; yüksek sıcaklık betonun pek çok mekanik özelliği üzerinde aynı etkiyi göstermektedir. Genel olarak, dayanım ve elastisite modülü sıcaklık arttıka azalmaktadır. Beton ile karşılaştığında demir donatı yüksek sıcaklığa karşı daha hassastır. Demir donatı için ani bozulma sıcaklık sınırı 300  C iken beton için bu sıcaklık 400  C'dir (Xiao ve König, 2004). Pek çok beton türünde 200 C'ye kadar olan yüksek sıcaklık uygulamasında dayanım kaybı az olurken, 500 C ve üzerindeki yüksek sıcaklıklarda hızla bir dayanım kaybı meydana gelmektedir (Butcher ve Parnell, 1983).

2.2. Yüksek Sıcaklığın Beton  zerindeki Etkileri

Betonun yangın direnci termal iletkenliği, ısı kapasitesi ve beton bileşenlerine bağlı olarak kontrol edilebilmektedir. Betonun termal iletkenliği düşük ise çatlama ve pullanma olan beton hasarı minimize edilebilmektedir.  nk  bu özellik hızlı sıcaklık artışını ve beton yüzey tabakalarında oluşacak hasarı sınırlayacaktır. Betonun ısı iletkenliği gözenekli hafif agrega ya da hava sürükleyici kullanılarak azaltılabilmektedir (Gani, 1997).

Betonun ısı kapasitesi yüksek ise yangın direnci daha kısa süreli olmaktadır. Betonun ısı kapasitesi esas olarak kendisini oluşturan malzemelerin toplam ısı kapasitesi tarafından kontrol edilebilmektedir (Gani, 1997).

Yangının betondaki etkileri iki gruba ayrılabilir. Birincisi, hidrate yapının bozulmasıyla oluşan dayanım kaybıdır. Bu durum genellikle 300  C üzerinde başlar ama ana kayıplar 500  C üzerinde görülür. İkinci etki ise beton kabuğundaki pullanma ve patlamadır. Bu etki pek çok betonda oluşabilir ama agrega tipine, nem içeriğine, beton kalitesine, yüksek sıcaklık Őiddetine ve uygulanan yük durumuna bağlı olarak kapsamı ve oranı değişebilmektedir (Newman ve Choo, 2003).

Yangın olayında yapının her tarafında farklı oranda oluşan ısı ve söndürme çalışmalarında kullanılan su ile hızlı soğumalar %40 oranında hacim artışı sağlamaktadır. Hacim artışı yapı yüzeylerine basınç oluşturduğundan betonda çatlamalar görülmektedir (Çelebi ve Akıncıtürk, 2003).

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun soğutulması hava ve su ile yapılır. Yapılan araştırmalarda betonun su ile soğutulmasının, hava ile soğutulmasına göre daha az

dayanım kaybına neden olduğu görülmüştür. Burada suyla soğutma ile betonun yüksek ısıda kaybettiği suyun bir kısmı beton bünyesine alınarak mukavemet kaybı azalmaktadır (Şimşek, 2009:164).

Yüksek sıcaklığa maruz kalmış hafif betonlarda soğutma koşulunun incelendiği çalışmada, perlit ve pomza agregalı hafif betonlar 700 °C'ye maruz bırakıldıktan sonra, hava, su ve fırın koşullarında soğumaya bırakılmıştır. Su ile soğutulan örneklerin basınç dayanımlarının hava ve fırında soğutulan örneklerle göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Su, hava ve fırın ile soğutmada basınç dayanımları sırasıyla % 78, % 81 ve % 83 azaldığı elde edilen bulgular arasındadır (Karakoç, 2013).

Uçucu küllü betonlarda su ile soğutma havada soğutmaya göre daha fazla zarar verici bulunmuştur. Silis dumanı içeren betonların suda soğutulanları havada soğutulanlara göre daha belirgin dayanım kaybına uğramıştır (Cree, Green ve Noumowe, 2013).

Yüksek sıcaklık beton yapısını önemli ölçüde değiştirir. Normal halde beton kapiler boşluklarında jel suyu, adsorbsiyon suyu ve serbest su halinde bulunan sular, sıcaklığın yükselmesi ile buharlaşarak uzaklaşır. Yangın etkisinde kalan betonlarda bozulma önce yüzeylerde başlar. İç kısımlarda bulunan suyun buharlaşarak yüzeye kadar taşınması zaman alır. Eğer sıcaklık hızlı bir şekilde yükselirse, iç kısımlarda bulunan sular da buharlaşır ve meydana gelen buhar betonu parçalayarak yüzeye çıkar. Kristal suyu olarak bağlı suların ayrışması için beton sıcaklığının en az 300 °C'ye kadar yükselmesi gerekir. 500 °C'de kalsiyum hidroksit, 900 °C'de kalsiyum silikatlar tam olarak ayrışır (Yalçın ve Gürü, 2006:10).

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton ve bileşenlerinin yapılarında değişimler meydana gelmektedir. Performans açısından yüksek sıcaklık sonrası betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinde meydana gelebilecek değişimler oldukça önem taşıdığı çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmektedir (Topçu ve Demir, 2007).

Noumowe, Siddique ve Debicki (2009), polipropilen lif takviyeli yüksek dayanımlı betonların 200 ve 600 °C termal ısı etkisi altındaki geçirgenliğini araştırmışlardır. 200 °C termal ısı etkisi altında lif takviyeli yüksek dayanımlı betonun geçirgenliği sıcaklık etkisi süresince lifler eridiği için Katkısız yüksek dayanımlı betona göre daha iyidir. 600 °C

termal ısı etkisi altında lif takviyeli yüksek dayanımlı betonun geçirgenliği Katkısız yüksek dayanımlı beton ile aynı bulunmuştur (Noumowe ve diğerleri, 2009).

Gökçer, Yıldız ve Keleştemur (2012) tarafından yapılan çalışmada, farklı miktarlarda cam lif ile takviye edilmiş harç numunelerine, filler malzeme ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirecek şekilde atık mermer tozu ilave edilerek, elde edilen numunelerin 400, 600 ve 800°C sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine yüksek sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinin, porozite ve kılcal su emme değerlerinin arttığı, ultrases geçiş hızı, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin ise azaldığı; cam lif katkılı harç numunelerinde atık mermer tozu kullanımı neticesinde, yüksek sıcaklık sonrası harç numunelerinde daha az dayanım kaybı meydana geldiği elde edilen bulgular arasındadır (Gökçer ve diğerleri, 2012).

Bir başka çalışmada, sodyum karbonat, sodyum hidroksit ve sodyum silikat ile aktive edilmiş yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen harçlar 100, 400 ve 700 °C sıcaklıklara üç saat boyunca maruz bırakılmıştır. Çalışmada, sıcaklık arttıkça serbest suyun buharlaşmasından dolayı basınç dayanımları 100 °C'ye kadar artmış, daha sonra yapılan araştırmalara benzer şekilde yüksek sıcaklığın etkisi ile bağ suyunun kaybedilmesinden ve hidratasyon ürünlerinin ayrışmasından dolayı basınç dayanımları düşmüştür (Topçu ve Canbaz, 2009).

Karışıma 10, 20 kg/m³ oranlarında kırılmış 6 mm boyunda cam lif ilave edilen harç numunelerine filler malzeme ile ağırlıkça % 10, % 20 ve % 30 oranlarında yer değiştirecek şekilde atık mermer tozu ilave edilmiş, elde edilen numunelerin, mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine yüksek sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Sıcaklık seviyeleri 400, 600 ve 800 °C'dir. Sonuç olarak, yüksek sıcaklığa maruz kalan cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinin, porozite ve kılcal su emme değerlerinin arttığı, ultrases geçiş hızı, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin ise azalttığı görülmüştür. Cam lif katkılı harç numunelerinde atık mermer tozu kullanımı daha yoğun bir yapı oluşmasına neden olmuştur. Bu sayede, yüksek sıcaklık sonrası harç numunelerinde daha az dayanım kaybı meydana gelmiştir (Gökçer ve diğerleri, 2013).

Yapılan bir çalışmada lif katkısız, 0.90, 1.35 ve 1.80 kg/m³ polipropilen lif katkılı beton örnekler üretilmiş, örnekler laboratuvar ortamında olgunlaştırılmış, 28. günün sonunda tüm örnekler 20, 400, 600 ve 800 °C sıcaklık etkisinde bırakılmıştır. Polipropilen lifler yüksek sıcaklığa maruz bırakılan betonların basınç dayanımlarını 0.90 kg/m³ miktarında kullanıldığında çok az da olsa artırmış, diğer katkı miktarlarında ise düşürmüştür (Yaprak ve Karacı, 2009).

Ataman (1991) yaptığı çalışmada, yangın etkisinde kalan betonun mekanik özelliklerini belirleyebilmek, yüksek sıcaklığın ve soğutma türlerinin betonun eğilme ve basınç mukavemetleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Agregaların genleşmesi, çimentonun büzülmesi, beton boşluklarındaki ve çimento birleşimindeki suyun dehidratasyonu gibi fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu beton mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun hava ve su ortamlarında soğutulmaları sonucu elde edilen mukavemetlerdeki azalmaların, su ortamında soğutulanlarda daha küçük olduğu ifade edilmiş ve bu durum beton numunelerinin su içerisinde iken yeniden hidrasyon yapabilecek ortamı bulması ve bunun sonucunda mukavemetin bir kısmının geri kazanılmasıyla açıklanmıştır (Ataman, 1991).

Bunların dışında, yüksek sıcaklıktan doğabilecek zararı değerlendirmenin belli yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden en kolayı gözlem yapmaktır. Betonda oluşan çatlaklar, dökülmeler ve renk değişiklikleri kolayca görülebilir (Durmuş ve Arslan, 2009). Yüksek sıcaklıkla oluşan değişiklikler özellikle silisli agregalar ile üretilen betonlarda belirgindir (Andrade, Alonso ve Khoury, 2003). Pembe veya kırmızı ise sıcaklığın 300-600 °C'ye, gri ise 600- 900 °C'ye, sarımtırak bej ise 900-1000 °C'ye yükseldiği ifade edilmektedir (Kızılkant ve Yüzer, 2008). Sıcaklık artışının beton üzerinde meydana getirdiği etkiler Şekil 2.1'de görülmektedir (Geogali ve Tsakiridis, 2005).

Beton rengi	Sıcaklık	Olası fiziksel özellikler
Bej rengi	950 °C	900 °C
Siyahtan griye bej rengi	600 °C	800 °C
Kırmızıya dönen pembe	300 °C	575 °C
Normal	300 °C	300 °C
	40 °C	Hiçbir şey

Şekil 2.1. Sıcaklık-beton ilişkisi

Diğer bir çalışmada pembe renkli betonun, dayanımının ve elastisite modülünün önemli derecede azaldığı, beyazımsı-gri veya sarımsı-bej renkli betonun ise zayıf ve gevrek olduğu belirtilmiştir. Renkteki bu değişimin nedeni metal içeren bileşenlere bağlanmış (Andrade ve diğerleri, 2003).

Sıcaklık 600 °C'ye ulaştığında beton dayanımının % 50'sini, 800 °C'ye ulaştığında ise yaklaşık % 80'ini kaybettiği göz önüne alınırsa, renk incelemesi ile betonun hangi sıcaklığa maruz kaldığı, dolayısı ile basınç dayanımında meydana gelen değişim hakkında fikir edinilebilir. Buradan yüksek sıcaklık etkisinde kalan betondaki renk değişiminin önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır (Kızılkant ve Yüzer, 2008).

Yüksek sıcaklıklarda beton davranışının incelenmesi için beton bileşenlerinin yüksek sıcaklık altındaki davranışları araştırılmalıdır. Betonun dayanım ve dayanıklılığında önemli rolü olan çimento hamurunda sıcaklık artışıyla meydana gelen değişim aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Rashad, Bai, Basheer, Collier ve Milestone, 2012):

- Kapiler ve jel suyu yaklaşık 100-150 °C'de buharlaşır.

- 150-250 °C'de çekme mukavemetindeki azalma ile birlikte büzülme ve çatlaklar meydana gelmeye başlar.
- Yaklaşık olarak 250-300 °C'de alümin ve demir bileşenlerinden kimyasal bağlı su buharlaşır, basınç dayanımında azalmaya başlar.
- 400 °C'de kalsiyum hidroksit dehidrasyonu başlar.
- 400- 600 °C'de CSH arasında ayrışma olur ve dayanımda önemli bir azalma meydana gelir.

50-120 °C sıcaklık aralığında dayanımdaki düşüş, hamurdaki su tabakalarının şişmesi nedeniyle bağların zayıflamasına bağlanmaktadır. Dayanımların bu sıcaklıktan sonra tekrar kazanılması termal kurumanın yararlı etkisinden kaynaklanmaktadır. Termal dehidratasyonun bu yararlı etkisi, mekanik özelliklerin bozulmasına neden olan jelin dehidratasyonu ve mikro çatlakların oluştuğu 300 °C'nin üzerinde sona erer. Bu sıcaklığın üzerinde mekanik özelliklerin bozulması üzerinde porozite artışının başlaması da etkin rol oynamaktadır. Sıcaklık 300 °C'ye ulaştığında CSH ara yüzeylerindeki su, CSH ve sülfalüminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir bölümünün kaybedilmesi mikro çatlaklara yol açmaktadır. Mikro çatlaklar önce (yaklaşık 300 °C'de) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin toplandığı bölgelerde ve daha sonra hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgede (yaklaşık 400 °C'de) görülür. 400 ile 600 °C arasındaki yüksek sıcaklıklar sertleşmiş çimento hamurunda boşluk sisteminin tamamen kurumasına, hidratasyon ürünlerinin ayrışmasına ve CSH jellerinin parçalanmasına yol açar. 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda soğutulma sonrası örneklerin parçalanması, o sıcaklıkta kalsiyum hidroksitin ayrışması ve bu sıcaklıktan soğuma sonunda tekrar hidrate olarak genişmesi ile açıklanmaktadır. Yangın söndürme çalışmaları sırasında püskürtülen su CaO 'i tekrar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'e dönüştürür ve hacimde genişleme görülür. Kısa sürede büzülen ve genişlen beton içinde oluşan parazit gerilmeler hasarın büyümesine neden olmaktadır (Baradan ve Aydın, 2013).

Sıcaklık arttıkça porozitenin arttığı bilinmektedir Bunun nedeni olarak bağlı suyun ayrılması ile çimento hamurunda oluşan bozulmalar görülmektedir. Gözenek şekli ve büyüklüğü önemli ölçüde sıcaklıktan etkilenmektedir. 130 °C'de gözenekler düşüktür ve 400 °C'den daha düzensizdir. 500 °C'ye kadar ana fiziko-kimyasal değişimler su kaybı ve

kalsiyum hidroksitin ayrışmasından kaynaklanmaktadır (Fares, Remond, Noumowe ve Cousture, 2010).

Çil ve diğeri (2007), yaptıkları çalışmada TS EN 197-1 standardına uygun olarak 6 farklı tip çimentoyla hazırladıkları harç numunelerini değişen derecelerde yüksek sıcaklıklara maruz bırakarak, fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Standart kür (28 gün-suda) işlemini takiben 28 gün de havada bekletilen numuneler, sırasıyla 20, 150, 300, 450, 600 ve 900 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Tüm harç numunelerinin basınç dayanımlarında sıcaklık artışıyla birlikte azalma görülmüştür. Sıcaklık 300 °C'ye çıkarıldığında CEM IV/A-W ve CEM IV/B-W çimentosuyla hazırlanan harç numunelerinin dayanımlarında az da olsa artış görülmüştür. 300 °C'den sonra bütün numunelerin dayanımları dikkate değer mertebede azalmıştır. 900 °C'ye maruz kalan tüm numunelerin basınç dayanımları yaklaşık %10'una düşmüştür. Özellikle 600 ve 900 °C'lerde katkı çimentoların CEM I çimentosuna kıyasla yüksek sıcaklıklara daha dayanıklıdır. Tüm numunelerinin ağırlıkları sıcaklık artışıyla birlikte azalmıştır. Ağırlık kaybı, sıcaklık 900 °C'ye çıkartıldığında tüm numunelerde %10-12 civarındadır (Çil ve diğerleri, 2007).

Morsy, Al-Salloum, Abbas ve Alsayed (2012), nano metakaolin içeren çimento harçlarının yüksek sıcaklıktaki davranışını belirlemek amacıyla % 0, 5, 10, 15 oranlarında nano metakaolini portland çimentosu yerine kullanmışlardır. 250, 450, 600 ve 800 °C'de 2 saat bekletilerek oda sıcaklığında soğutulan örnekler üzerinde mekanik dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, %5 nano ilaveli harçların tüm sıcaklıklarda basınç ve eğilme dayanımları daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Morsy ve diğerleri, 2012).

Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun mekanik özelliklerine çimento dozajının etkisinin incelendiği bir çalışmada, 250 ve 350 dozlu betonlar üretilerek 100-800 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış ve kendiliğinden soğuma yapılmıştır. Sıcaklık arttıkça betonun kalan dayanımı azalmaktadır. 400 °C üzerinde belirgin bir dayanım kaybı söz konusudur. Her iki türde de sıcaklık artışı ile beraber hemen hemen aynı azalma oranları görülmüştür. Bu nedenle çimento dozajının eğilme mukavemetinde etkisinin göz ardı edilebileceği sonucuna varılmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası betonun kalan dayanımında çimento dozajının herhangi bir etkisi bulunmamaktadır (Ergün ve diğerleri, 2013).

Betonun yaklaşık % 70-75'ini oluşturan agregaların tipi, porozitesi ve mineralojisinin yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun davranışı üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Betonun yüksek sıcaklıklardaki ısı iletkenliği iki faktöre bağlıdır. 1. Agreganın tipi, 2. Nem içeriği. Sıcaklık arttıkça ısı iletkenliği düşer (Kızılkant, Yüzer ve Kabay, 2013). Agreganın olası faz dönüşümleri ve termal ayrışmasına ilaveten, betonun yangına tepkisi, agreganın mineralojisi tarafından etkilenmektedir. Agreganın mineralojisi, agrega ve çimento hamuru arasındaki farklı termal genleşmeleri ve ara geçiş bölgesi dayanımını belirler (Mehta ve Monterio, 1997). Farklı agrega türleri ile üretilen betonların yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakıldıktan sonra, elde edilen basınç dayanımlarında farklılıklar oluşmaktadır (Butcher ve Parnell, 1983). Yüksek sıcaklık artışı ile doğal agregalarda meydana gelen değişim şu şekildedir (Cree ve diğerleri, 2013):

- <100 °C Agregalarda serbest su buharlaşır.
- 300-500 °C Tüm agregalar stabil kalır.
- 570 °C Kuvars agregası % 5,7 genişir.
- 600-800 °C Kalker kökenli agregalar bozulur.
- 1100-1200 °C Beton dağılır.

Demirel ve Özkan (2003)'e göre, yüksek sıcaklık dayanım süresi; betonun içerisinde bulunan karışım oranlarına ve kullanılan agregaların tiplerine bağlıdır. Yapısal olarak içerisinde kil, arduaz gibi malzemeler kullanılan beton, normal betondan çok daha yüksek yangın dayanımına sahiptir (Demirel ve Özkan, 2003).

Boşluklu ve hafif agrega ile yapılmış olan hafif betonların yangına karşı dayanım gösterdiği de bilinmektedir. Boşluklu ve hafif agrega ile yapılmış hafif betonların sıcaklık artışlarında, kütlelerinde bir hasar olmamasına karşın, normal ağırlıktaki betonlarda 500-600 °C sıcaklıklarda, kütlelerinde çöküntüler meydana gelmektedir (Özkan, 2002).

Hüsem ve Karaca (1997)'ya göre; yüksek sıcaklık etkisinde bırakılan hafif karot örneklerin eğilme dayanımları şahit örneklere göre sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Ancak, bu azalma geleneksel beton ile üretilen örneklerden daha az olmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde kaldıktan sonra havada ve suda soğutulan mikro betonların eğilme ve basınç dayanımları, şahit örneğine göre azalmakta, azalma hızı 400 °C'den sonra artmaktadır. 600 °C'den

sonraki sıcaklıklarda havada soğutulan örneklerin dayanımları son derece azalmakta suda soğutulan örnekler ise ayrışarak dağılmaktadır. Bu da betonların yangın dayanımının üretimlerinde kullanılan agrega petrografik yapı ve mineralojik bileşimiyle yangın söndürme yönteminden bağımsız olamayacağını göstermektedir (Hüsem ve Karaca,1997).

Pomza ile üretilen, kolemanit katkılı hafif betonların basınç dayanımlarının nasıl gelişim gösterdiği deneysel olarak araştırılmıştır. Beton karışımlarında, iri ve ince agrega olarak Erciş Kocapınar bölgesinden alınan pomza malzemesi kullanılmıştır. Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletme Müdürlüğü'nden alınan öğütülmüş kolemanit malzemesi, çimentoyla % 0.40, 0.60, 0.80, 1.00 ve 2.00 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmış, numuneler 10 cm'lik küp kalıplarda 24 saat bekletilerek, 28 ve 56 gün sürelerle 20°C suda kür edilmiştir. Kürünü tamamlayan numuneler 400, 600 ve 800°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak, yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası ağırlıkları tespit edilmiştir. Betonların yüksek sıcaklığa maruz bırakılması durumunda hem ağırlık kaybı hem de basınç dayanımında azalmanın olduğu görülmüştür (Yaltay ve Ekinci, 2013).

Bims, gazbeton ve alüminyum talaşı kullanılarak betonda yüksek sıcaklığın etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, betonda ince agrega yerine bims, gazbeton veya alüminyum talaşı belirli oranlarda karıştırılarak 10x10x10 cm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Kür işleminin ardından numuneler 100 °C'den 800 °C'ye kadar 5 farklı sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Bims katkılı numuneler ile gazbeton katkılı numuneler yüksek sıcaklığa dayanıklılık göstermiştir. En az malzeme kaybı gazbeton katkılı numunelerde gözlemlenmiştir. Sıcaklık arttıkça numunelerde renk değişimi gerçekleşmiştir. Alüminyum katkılı numuneler 400 °C'den sonra alev almaya başlamış, 600 °C'den sonra neredeyse kömür haline gelmiştir. Bims katkılı numune 800 °C'den sonra dağılmaya başlamıştır. Gazbeton katkılı numuneler en az renk değişimi gösteren numunelerdir. Basınç dayanımları sıcaklık arttıkça azalmıştır. Basınç dayanımı en düşük alüminyum katkılı, en yüksek bims katkılı numuneler de bulunmuştur. Katkısız numunelere en yakın değerler bims katkılı numunelerden elde edilmiştir (Binici, Temiz, Sevinç, Eken, Kara ve Şayir, 2013b).

Bir başka çalışmada, cüruf katkılı olarak üretilmiş SIFCON (slurry infiltrated fiber concrete) kompozitlerin eğilme performansına yüksek sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Bağlayıcı fazında %50 oranında yüksek fırın cürufu kullanılmış olup, kompozitler hacimce

%20 oranında yönlendirilmiş çelik lif içermektedir. Kür işlemi (buhar kürü veya standart kür) tamamlandıktan sonra örnekler doygun veya kuru halde yüksek sıcaklık etkisine (300, 600 °C) maruz bırakılmıştır. Sonuçlar, yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmamış olan kontrol numuneleri ile kıyaslanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre 300 °C sonrasında lifli numunelerde eğilme dayanımı ve tokluk artışı olduğu görülmüştür. 600 °C uygulanmış numunelerde ve çelik liflerde ise önemli oranda dayanım kaybı oluşmuştur. Numunenin nem durumu, yüksek sıcaklık dayanıklılığını önemli derecede etkilememiştir (Yalçınkaya Ahsanollah Beglarigale, Yazıcı ve Yiğiter, 2013).

Araştırmalar son yıllarda yüksek dayanımlı ve reaktif pudra betonlar üzerinde de yoğunlaşmaktadır. Yüksek dayanımlı betonun yüksek sıcaklık artışı ile dayanım, ultrasonik geçiş hızı, young modülü, poisson oranı düşmekte; porozite ve geçirimsizliği artmaktadır (Heap, Lavallee, Laumann, Hess, Meredith, Dingwell, Huisman ve Weise, 2013).

Yüksek dayanımlı betonlarda 200 °C'den sonra beton dayanımının azalmaya başladığı, 800 °C ise dayanımının sadece % 10'unun kaldığı, 370 ve 470 °C arasında kalsiyum hidroksitin, 600-730 °C arasında kalsiyum karbonat ve diğer karbonatların ayrıştığı bilinmektedir (Andrade Silva, Butler, Hempel ve Toledo Filho, 2014).

120 °C, 200-800 °C arasında yüksek sıcaklık etkisi altında bırakılan reaktif pudra betonun incelendiği bir araştırmada sıcaklık süresi 2 saat olarak uygulanmış ve oda sıcaklığında soğutma yapılmıştır. Reaktif pudra betonun yüksek sıcaklığa dayanımı normal ve yüksek dayanımlı betona göre karşılaştırıldığında mükemmel dirence sahiptir. Reaktif pudra beton içinde çelik ve polipropilen lif kullanılması pullanma meydana gelmemesine sebep olmuştur (Zheng, Li ve Wang, 2012).

Farklı oranlarda çelik lif kullanılarak üretilen reaktif pudra betonları 100-800 °C'lerde yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. 200-500 °C'lerde çelik lifli reaktif pudra betonun küp basınç dayanımı artarken, 600 °C üzeri düşmektedir. 300 °C altında çelik lif oranı arttıkça basınç dayanımı artmakta, 400-800 °C arası çelik lif miktarı arttıkça basınç dayanımı düşmektedir. Yapılan deneysel araştırmada, çekme dayanımı basınç dayanımından daha az zarara uğramıştır. % 2 çelik lif kullanımı pullanmayı önlemekte ve mekanik dayanım artmaktadır (Zheng, Luo ve Wang, 2013).

Zega ve Di Maio (2009)'a göre; düşük su/çimento oranı ile geri dönüşümlü agrega kullanılarak üretilmiş betonlar yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıklarında geleneksel betona göre daha iyi performans göstermektedirler (Zega ve Di Maio, 2009).

Durmuş ve Bekem (2010), yüksek sıcaklığın ve farklı soğutma koşulunun kalker agregalı betonlar üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmalarında 400°C'de beton basınç dayanımının Katkısız numuneye göre % 50 azaldığı, 700 °C üzerindeki sıcaklıklarda betonun suyla söndürülmesi ile $\text{CaO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ 'e dönüştüğünden basınç dayanımında % 82 azaldığı tespit edilmiştir (Durmuş ve Bekem, 2010).

Üretilen betonun yüksek sıcaklıklarda yüksek performans göstermesi için uygun bileşen seçimi çok önemlidir (Topçu ve Demir, 2006).

2.3. Betonda Katkı Kullanımı ve Yüksek Sıcaklık İlişkisi

Özellikle ekonomik sebeplerden dolayı beton üretiminde mineral katkı maddesi kullanımına yönelik çalışmalar oldukça yaygındır. Sancak ve Şimşek (2006), yüksek sıcaklığın, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkıli hafif betonlara etkilerinin, normal betonla karşılaştırılmalı olarak araştırmıştır. Hafif ve normal betonlarda silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanımının yüksek sıcaklık etkisinde ağırlık kaybını önemli ölçüde etkilediğini görmüşlerdir. Sıcaklık 800 °C ve 1000 °C'lere çıkarıldığında, katkıli ve katkısız hafif betonlar, bağıl olarak normal betonlardan daha iyi basınç dayanımı göstermişlerdir (Sancak ve Şimşek, 2006).

Hossain (2006), farklı oranlarda volkanik kül ikamesi kullanarak ürettiği yüksek performanslı betonların yüksek sıcaklık altındaki davranışlarını incelemiştir. Hossain yaptığı çalışmada, 25-200 °C aralığında betonlarda dayanım artışı olduğunu gözlemlerken, 200 °C'den 400 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda başlangıçtaki dayanımın %4 ile %15 arasında dayanım kaybı gerçekleştiğini ve 400-600 °C sıcaklıklarda %32-48 dayanım kaybı meydana geldiğini bulmuştur (Hossain, 2006).

Coşkun, Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2007) tarafından yapılan çalışmada, mineral katkıli beton ve nervürlü betonarme demiri arasındaki aderans dayanımına yüksek sıcaklığın (800 °C) etkisi araştırılmıştır. Mineral katkı olarak çimento ağırlığının %10'u oranında silis

dumanı ve %15'i oranında da uçucu kül kullanılmıştır. Agreganın maksimum tane çapı (d_{max}) 16 mm'dir. Aderans deneyleri için 100×200 mm ölçülerinde silindir numuneler, basınç deneyleri için 150×150×150 mm ölçülerinde küp numuneler hazırlanmıştır. 20±2 °C de 28 gün su kürü uygulanan numuneler, 270 gün hava küründe bekletildikten sonra 800 °C'de yakılmış, aderans ve basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre yakılan betonlarda, silis dumanı katkılı numunelerin basınç ve aderans dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Silis dumanı katkılı numuneleri sırasıyla, uçucu kül katkılı ve mineral katkısız numuneler takip etmiştir (Coşkun ve diğerleri, 2007).

Demirel ve Gönen (2008) tarafından yapılan araştırmada, silis dumanı katkılı karbon lif takviyeli hafif betonun mekanik özellikleri üzerine yüksek sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, çimento ağırlığının % 10'u oranında silis dumanı, CEM I 42,5 N tipi çimento, Elazığ yöresi bazik karakterli pomza agregası ve çimento ağırlığının % 0,5 oranında karbon lif kullanılarak hafif beton numuneler hazırlanmıştır. Yüksek sıcaklığın hem silis dumanlı hem de karbon lifli hafif betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine yaptığı etkileri gözlemek için, silis dumansız hafif beton, silis dumansız karbon lifli hafif beton, silis dumanlı hafif beton ve silis dumanlı lifli hafif beton olmak üzere 4 farklı seri hazırlanmıştır. 365 günlük yaşa erişen numuneler 1 saat süreyle 250, 500, 750 ve 1000 °C sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır. Numuneler oda sıcaklığında soğutulduktan sonra, porozite ve basınç dayanımı değerleri kaydedilmiştir. Sonuç olarak, silis dumanı içeren serilerde basınç dayanımı kayıpları silis dumansız serilere göre daha yüksek çıkmıştır. Basınç dayanımı ve porozite arasındaki ilişki 500 ve 750 °C dışında yüksektir (Demirel ve Gönen, 2008).

Çimento harçları ile ilgili yapılan bir başka çalışmada, %5-10-20 uçucu kül ile ikame edilmiş harç numuneleri 100, 200, 300, 400, 500 ve 600°C sıcaklıklarına maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak; %5 oranında uçucu kül ikamesi ile çimento mekanik ve fiziksel özelliklerinde iyileşmeler sağlanmıştır. %10'a kadar uçucu kül ikamesi ile çimento harçları yüksek sıcaklık etkisinden daha az zarar görmüştür. Tüm uçucu kül ikame oranlarında sıcaklık artışına paralel olarak dayanım değerleri düşmüştür. yüksek sıcaklığa maruz bırakılan çimento numunelerinde 100, 200 ve 300 °C dereceye kadar çimento basınç, eğilme dayanımı ve kütle kaybı değerlerinde büyük değişimlerin olmadığı, 400 °C'den itibaren çimento dayanım ve kütle kaybı değerlerinde önemli kayıpların meydana

geldiği, bütün uçucu kül ikame oranlarında 600 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerin en fazla dayanım ve kütle kaybına uğradıkları tespit edilmiştir (Subaşı, İşbilir ve Ercan, 2011).

Pathak ve Siddique (2012), %30, 40, 50 oranlarında uçucu kül içeren kendiliğinden yerleşen beton örneklerini 1 saat 100, 200, 300 dereceye maruz bırakarak, yüksek sıcaklığın uçucu küllü kendiliğinden yerleşen beton üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Sonuç olarak 200-300 °C'de basınç dayanımında küçük bir artış olduğu, sıcaklık ve uçucu kül miktarı arttıkça yarma dayanımının azaldığı tespit edilmiştir (Pathak ve Siddique, 2012).

En az % 10 uçucu kül içeren betonların portland çimentolu betonlara göre 250-600 °C'de yüzey çatlaklarına karşı daha iyi direnç gösterdiği daha önceki çalışmalarda elde edilen bulgular arasındadır. Uçucu küllü çimento hamuru 400 °C üzerinde kullanılmamalıdır (Cree ve diğerleri, 2013).

Yüksek fırın cürufu içeren çimento pastaları 400-440 °C sıcaklıktan sonra kalan dayanımlarında artış meydana gelmektedir. Çimento hamurunda 300-400 °C'de yüzey çatlakları oluşurken, pullanmalar 400 °C'de oluşmaktadır (Cree ve diğerleri, 2013).

Uysal, Yılmaz ve İpek (2012), uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren kendiliğinden yerleşen betonun yüksek sıcaklıktaki davranışını incelemişlerdir. Bu amaca yönelik olarak, portland çimentosu polipropilen lifli ve lifsiz olmak üzere çeşitli oranlarda yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ile yer değiştirmiştir. Uçucu kül %15, 25, 35; yüksek fırın cürufu ise % 20, 40, 60 oranlarında kullanılmıştır. 200, 400, 600 ve 800 derecede fırın maksimum sıcaklığa ulaştığında numuneler 3 saat bekletilmiştir. 600 dereceden sonra özellikle lif içeren betonlarda çok yüksek dayanım kaybı olmuştur. Uçucu kül içeren betonların performansı yüksek fırın cürufu içeren betonlara göre daha iyidir (Uysal ve diğerleri, 2012).

Metakaolin ve silis dumanı içeren çimento hamurunun yüksek sıcaklık sonrası kalan dayanımı 400 °C'ye kadar artış göstermiştir. Suda soğutulan silis dumanı içeren harç örneklerinin 300 °C'den sonra kalan dayanımları azalmaktadır. Silis dumanı içeren kalker

agregalı betonlar 300 °C'den 350 °C'ye kadar kalan dayanımlarını koruyabilmektedir (Cree ve diğeri, 2013).

Polipropilen lif ve hava sürükleyici katkı maddesi kullanılarak yüksek dayanımlı beton üretilen bir çalışmada, farklı numune boyutları kalan basınç dayanımı etkilemektedir. Boyut azalması yüksek sıcaklıkta kalan dayanımın düşmesine yol açmaktadır. Küçük boyutlu örneklere hava sürükleyici katkı maddesi kullanılması kalan basınç dayanımını arttırmıştır. Pullanma lif kullanımına bağlı olarak değişmektedir. Lifsiz örneklerde pullanmalar özellikle 500 °C'den sonra başlamıştır. Ayrıca, 900 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerin 3 gün sonra tamamen dağıldığı, suya temas eden örneklerin ise 1 gün sonra tamamen dağıldığı belirlenmiştir (Akça ve Zihniöglü, 2013).

Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan kimyasal katkı maddeleri ile üretilmiş betonlar da yüksek sıcaklık çerçevesinde incelenmiştir. Bu çalışmalardan tezin amacı ile ilgili olanlar aşağıda verilmiştir.

Aruntaş, Durmuş ve Can (2007), süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkıların birlikte kullanıldığı betonların yüksek sıcaklıktaki performansı incelemiştir. C25 sınıfı olarak üretilen betonlar 20, 100, 200, 300, 500 ve 700 °C sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Süper akışkanlaştırıcı+hava sürükleyici katkıların betonda birlikte kullanılması durumunda yüksek sıcaklık açısından olumlu bir etkinin olmadığı kanısına varılmıştır (Aruntaş ve diğeri, 2007).

Durmuş, Can ve Gökçe (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada süper akışkanlaştırıcı katkılı betonların yüksek sıcaklıktaki mekanik özellikleri araştırılmıştır. 7 ve 28 gün yaşlarda prizma numunelerden Ø5*10 cm boyutlu silindir numuneler alınarak 3 saat süresince 20, 100, 200, 300, 400, 500 ve 700°C sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Laboratuvar koşullarına kadar soğutulan numunelerin basınç dayanımı belirlenmiştir. Çalışmada, yüksek sıcaklık uygulanmış betonlara katılmış süper akışkanlaştırıcı katkısının mekanik dayanıma etkisinin olmadığı görülmüştür (Durmuş ve diğeri, 2009).

Bir başka çalışmada, hava sürükleyici katkılı Ø5x10 cm ebatlarında beton örnekler üretilmiş ve 20, 100, 200, 300, 400, 500 ve 700 °C yüksek sıcaklıklarda 3 saat bekletilerek laboratuvar koşullarına kadar soğutulmuştur. Beton örneklerine ultrases geçiş hızı ve basınç

dayanımı deneyleri gerçekleştirilerek hava sürükleyici katkısının yüksek sıcaklıktaki dayanıklılığı incelenmiştir. Hava sürükleyici katkısının betonun 200 °C'ye kadar basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür (Durmuş, Can ve Gökçe, 2007).

Hava sürükleyici katkılı ve katkısız betonların 400 ve 600 C'deki durumunun incelendiği bir başka çalışmada ise, katkılı olan betonların katkısız olan betonlara göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür (Al-Akhras, Al-Akhras ve Atom, 2009).

2.4. Kimyasal Katkı Maddeleri

Beton için kullanılan kimyasal katkı TS EN 934-2 “Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet için- Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları-Tarifler, Gereklere, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme” standardında “Betonun taze ve/veya sertleşmiş hâldeki özelliklerini geliştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütlelerinin % 5'ini geçmemek üzere eklenen malzeme” olarak tanımlanmaktadır (TS EN 934-2, 2011).

TS EN 934-2 standardında beton için kimyasal katkı on bir başlık altında sınıflandırılmıştır:

- Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkı: Belirli bir beton bileşiminde kıvamı değiştirmeden su miktarının azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi/yayılmayı artıran veya her iki etkiyi birlikte oluşturan kimyasal katkı.
- Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı: Belirli bir beton bileşiminde kıvamı değiştirmeden su miktarının yüksek oranda azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi/yayılmayı yüksek oranda artıran veya her iki etkiyi birlikte oluşturan kimyasal katkı.
- Su tutucu Kimyasal katkı: Terlemeyi azaltarak su kaybını düşüren kimyasal katkı.
- Hava sürükleyici kimyasal katkı: Karıştırma sırasında taze betona kontrollü miktarda küçük, düzgün dağılmış ve sertleşme sonrasında da kalıcı olan hava kabarcığı sürükleyen kimyasal katkı.
- Sertleşmeyi hızlandırıcı kimyasal katkı: Priz süresini etkileyerek veya etkilemeksizin betonun erken dayanım kazanma hızını artıran kimyasal katkı.

- Priz geciktirici kimyasal katkı: Karışımın, plastik hâlden katı hâle geçiş (prizin başlangıç süresi) süresini uzatan kimyasal katkı.
- Su geçirimsizlik kimyasal katkısı: Sertleşmiş betonun kılcal su emmesini azaltan kimyasal katkı.
- Priz geciktirici/ su azaltıcı/ akışkanlaştırıcı kimyasal katkı: Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkının etkisini (asıl işlev) ve priz geciktirici katkının etkisini (tali işlev) birlikte oluşturan kimyasal katkı.
- Priz geciktirici / yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı: Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı katkının etkisini (asıl işlev) ve priz geciktirici katkının etkisini (tali işlev) birlikte oluşturan kimyasal katkı.
- Antifriz / su azaltıcı / akışkanlaştırıcı kimyasal katkı: Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkının etkisini (asıl işlev) ve antifriz katkının etkisini (tali işlev) birlikte oluşturan kimyasal katkı.

2.4.1. Akışkanlaştırıcı katkı maddesi

Akışkanlaştırıcı katkıları su azaltıcı olarak bilinmekte olup, düşük s/ç oranı ile istenilen işlenebilirlikte beton üretimini sağlamak amacı ile kullanılmaktadır. Böylece betonda dayanım artışı sağlandığı gibi işlenebilirlik ve pompayla istenilen yere ve yüksekliğe ulaştırılması gibi yararlar sağlanmıştır. Genellikle kimyasal kökenlerine göre; linyosülfonat bazlılar normal, melamin ve naftalin sülfona formaldehit bazlılar süper, polikarboksilat bazlılar ise hiperakışkanlaştırıcılar olarak isimlendirilmektedir (Şimşek, Aruntaş ve Demir, 2007). Normal akışkanlaştırıcılar %10-15 arası, süper akışkanlaştırıcılar %15-30 arası, hiper akışkanlaştırıcılar ise % 30 üzeri su kesme özelliği olan katkılardır (Türkel ve Felekoğlu, 2004).

Ramachandran ve Malhotra (1984)'e göre akışkanlaştırıcı katkı maddeleriyle üretilen betonların katkısız betonlara göre sağladığı özellikler şunlardır (Türkel ve Felekoğlu, 2004):

- Katkısız kontrol betonu ile aynı çimento dozajı ve işlenebilirliğe sahip, düşük su/çimento oranı ile beton üretiminde su kesme amaçlı olarak kullanılabilirler. Böylece betonda dayanım artışı sağlanır.

- Hem su hem de çimento miktarını azaltarak katkısız kontrol betonu ile aynı işlenebilirlikte ve aynı dayanıma sahip beton üretiminde kullanılabilirler. Böylece çimentodan tasarruf sağlanır.
- Katkısız kontrol betonu ile aynı bileşenlere sahip katkılı betonun işlenebilirliğini arttırmak amacıyla kullanılabilirler.

Erdoğdu, Kurbetçi ve Kandil (2013), 300, 350 ve 400 kg/m³ olacak şekilde üç farklı dozajda beton karışımları gerçekleştirilmiştir. Her bir dozajda biri normal akışkanlaştırıcı olmak üzere iki farklı su indirgeyici kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır. Üretimlerde normal akışkanlaştırıcı çimento ağırlığının sırasıyla %0,2, %0,4, ve %0,6'sı oranlarında kullanırken süper akışkanlaştırıcı %0,5, %1,0, ve %1,5 oranlarında kullanılmıştır. Ayrıca karşılaştırma yapmak amacıyla her bir dozajda katkısız şahit beton karışımları da hazırlanmıştır. Tüm üretimlerde 10-12 cm çökme elde edecek şekilde karma suyu miktarı ayarlanmıştır. Her bir üretimde üretilen numunelerin deney gününe kadar yarısı standart kür koşulunda, yarısı laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Sonuç itibariyle, normal akışkanlaştırıcı katkı maddesinin gerek 7 günlük gerekse 28 günlük dayanımlar itibariyle sağladığı iyileşme çimento miktarından ve dozajdan bağımsız olarak ihmal edilebilir düzeyde kalmıştır. Başka bir ifadeyle, kullanılan normal akışkanlaştırıcı katkı maddesi cürufllu çimento ile uyum sağlamamıştır. Diğer taraftan, süper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin cürufllu çimento ile gerek standart koşullarda gerekse laboratuvar ortamında kür gören betonlar için başarılı bir şekilde kullanımı mümkün görülmektedir (Erdoğdu ve diğerleri, 2013).

2.4.2. Antifriz katkı maddesi

Bir alternatif olarak antifriz katkıları soğuk havalarda kullanılmaktadır. Özellikle soğuk iklime sahip bölgelerde ve kış aylarında betonun önemli bir bileşenidir. Bu kimyasal katkı çimentonun hidratasyonunu hızlandırır. Ancak uzun vadede bu katkının etkileri pek bilinmemektedir (Çullu ve Arslan, 2013).

2.5. Betonda Yüksek Sıcaklık Sonucu Mikro Özellikler

Beton mikroskopisinde temel olarak iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar ışık (optik) mikroskopisi ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) yöntemleri olup; bunlara ek olarak

kimyasal mikroanaliz, X ışını kırınım (XRD) gibi yöntemler tamamlayıcı unsur olarak kabul edilmekte ve beton mikroskopisi konsepti içerisinde değerlendirilmektedir (Çopuroğlu, 2013).

XRD analizi maddelerin yapısını araştırmak ve faz dönüşümlerini belirlemek için kullanılan bir analizdir. Malzemenin mikron boyutunda toz haline getirilmesi gerekmektedir. Diğer kimyasal yöntemlere göre, bazı üstünlükleri vardır. Bunlardan en önemlisi bir cismi, kendisini oluşturan elementler cinsinden değil, örnek içinde gerçekte bulunduğu şekilde açıklamasıdır. Ayrıca daha çabuk olması, çok küçük bir örneğe ihtiyaç göstermesi ve örneğe zarar vermemesi gibi üstünlükleri bulunmaktadır (Yıldırım ve Bulmuş, 2009).

Dorum, Koçak, Yılmaz ve Uçar (2010), Katkısız ve uçucu kül katkılı çimentonun minerolojik analizini belirlemek için XRD yöntemini kullanmışlardır. Hidrate olmuş çimento pastalarında, hidrasyon ürünleri olan portlandit, CSH ve etrenjit ile birlikte hidrate olmamış klinker mineralleri (C_3S ve C_2S) olduğu belirlenmiştir. Uçucu kül katkılı çimento pastası, portland çimentosuna göre tüm hidrasyon günlerinde farklı oranlarda CH oluşturduğu, ayrıca tüm yaşlarda uçucu kül katkılı çimento pastasındaki CH miktarının, portland çimentosu pastasına göre daha az olduğu elde edilen bulgular arasındadır.

Demir ve Arslan (2013), farklı lityum katkılarının çimento harcındaki alkali silika reaksiyonuna etkisini araştırdıkları çalışmalarında, alkali silika reaksiyonu ürünleri ve agrega çatlaklarının belirlenmesinde SEM kullanmışlardır (Demir ve Arslan, 2013).

Topçu ve Canbaz (2009), alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufllu harçların yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonraki mikro yapılarını SEM kullanarak incelenmiştir. Harç örnekleri 1 cm'lik küp boyutuna getirilmiştir. Yüksek sıcaklık derecesi 700 °C'dir. Alkaliler sodyum hidroksit, sodyum karbonat ve sodyum silikat olarak seçilmiştir. 250, 2000 ve 15000 büyütme yapı incelendiğinde, sodyum silikat ile aktive edilmiş harçların bağlayıcı fazında boşlukların daha fazla arttığı ve çatlak oluşumlarının başladığı, CSH jellerinin bozularak iğne şeklinde kalsiyum oksitli yapılara dönüştüğü belirlenmiştir (Topçu ve Canbaz, 2009).

Çullu ve Arslan (2014), soğuk hava koşullarında üretilen betonların fiziksel ve mekanik özelliklerine kimyasal tesirlerin etkisini inceledikleri araştırmalarında, SEM kullanarak beton örnekleri üzerindeki sodyum sülfat etkisini gözlemlemişlerdir. Tuz kristalleri SEM fotoğraflarında seçilebilmektedir (Çullu ve Arslan, 2014).

%5 yüksek fırın cürufu+ %10 uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonun SEM görüntüsü incelendiğinde CSH jelleri ve Portlandit minerali, %10 yüksek fırın cürufu+%10 uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonda ise homojen ve kararlı yapı, CSH jelleri görülmüştür. Katkısız numunede oluşan etrenjit ve boşluklar diğer numunelerde katkıların kullanılması ile azalmış ve daha sıkı yapı oluşmuştur (Binici, Eken ve Dinçer, 2013a).

Yüksek sıcaklık sonrasında harç ve beton özelliklerini belirlemede kullanılan mikro yapı analizlerine ilişkin literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

Süperakışkanlaştırıcı, kuvars ve bazalt agregası kullanılarak S/Ç oranı 0,50 olan 400 dozlu beton karışımları hazırlanmış, 71x71x71 mm boyutlarındaki küplere dökülmüştür. Beton örnekleri 28. Gün 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklığa 2 saat boyunca maruz bırakılmıştır. Örnekler havada kendiliğinden, oda sıcaklığındaki aniden suya daldırılarak hızlı soğutulmuş ve soğuma sonrası 3 gün oda sıcaklığında bekletilmiştir. Örnekler 4 ay boyunca reçineye bırakılarak ince kesit için hazır hale getirilmiştir. Ancak 800 ve 1000 °C örneklerinde büyük bozulmalar meydana geldiği için ince kesitleri hazırlanamamıştır. Hızlı soğutma yönteminde örneklerin kendiliğinden soğumaya göre daha çok zarar gördüğü, hızlı soğutulan kesitlerde gözenek yapısı ve çatlak oluşumu meydana geldiği, bazalt agregası-çimento hamuru arasındaki aderansın kuvars agregası-çimento hamuruna göre daha iyi olduğu, kuvars agregasının sıcaklıktan daha çok etkilendiği, ara yüzey incelemelerinde kendiliğinden soğutulan örneklerde çatlak olmadığı belirlenmiştir (Akçaözöğlü, 2013).

Farklı oranlarda (%0, 5, 15, 20) kuvars tozu ikame edilerek üretilen çimento pastaları 200, 400, 600, 800 ve 1000 °C sıcaklıklara 2 saat maruz bırakıldığı bir araştırmada, malzeme karakterizasyonu XRD, DTG ve SEM kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, kuvars tozunun çimento pastasının termal şok direncini arttırdığını göstermiştir. 200 °C'de tüm örneklerde basınç dayanımı artmış, diğer sıcaklıklarda basınç dayanımı azalma göstermiştir. %0 ve %20 ikameli örneklerin 28. Gün, 600 ve 1000 °C maruz kalanları

üzerinde XRD diyagramları hazırlanmıştır. XRD sonuçlarına göre 600 ve 1000 °C'lerde CSH'ların kaybolduğu, kalsit geliştiği gözlemlenmiştir. SEM görüntülerine bakıldığında ise kuvars tozu içermeyen örneklerin 1000 °C'de CSH ve CH içeren tüm fazlar kristal yapısını kaybederek amorf yapıya dönüşmüştür. Mikro çatlaklar ve gözenek yapısına bakıldığında genel görünüm zayıf olduğu yönündedir. Kalsiyum karbonatın ayrışması nedeniyle porozitedeki önemli artış mikro yapısal hasar oluşumuna destek verdiği, bu durumun da basınç dayanımının düşmesine sebep olduğu belirlenmiştir. (Rashad ve Zeedan, 2012).

Bir başka çalışmada, SEM incelemelerinde 20 °C örneklerinde agrega-matris ara yüzeyi incelenmiştir. Gözenek ve herhangi bir çatlak bulunmamaktadır. Çimento hidratasyon ürünleri portlandit ve CSH kristal yapısı iyi seçilebilmektedir. 300 °C'de çimento pastası halen kristal yapıdadır. 600 °C'de hidratasyon ürünlerinin yapısı amorfudur. Yüzeyle çatlaklar seçilmektedir. 900 °C'de çimento-agrega ara yüzeyi gözeneklidir. Çimento amorf yapıda, agregada kırıklar bulunmaktadır. Çatlaklar tüm yüzeye yayılmıştır. Ayrıca numune boyutu da yüksek performanslı betonun sıcaklık artışlarında bozulmasında önemli bir etken olduğu çalışmada elde edilen sonuçlar arasındadır (Akça ve Zihniöglü, 2013).

Uçucu kül esaslı geopolimer hamuru, harcı ve hafif betonu üzerinde artan sıcaklıklarda termal davranış, mekanik özellik ve makro/mikro yapıların incelendiği bir araştırmada, örnekler 400, 600 ve 800 °C sıcaklıklara 1 saat boyunca maruz bırakılarak, kendiliğinden soğutulmuştur. Örneklerin basınç dayanımı kayıpları incelenmiş, 400 °C'de pastada dayanım kaybı % 37,8 harçta % 16,7 hafif betonda ise % 13 iken; 600 °C'de pastada %56,5 harçta %38,6 hafif betonda ise %26,7; 800 °C ise pastada %100 harçta %52,3 hafif betonda ise %39 meydana gelmiştir. Geopolimer pasta üzerinde TGA-DTG, XRD gerçekleştirilmiş; pasta, harç ve hafif betonun SEM görüntüleri alınmıştır. TGA-DTG sonuçlarına göre 800 °C'de %79,8 ağırlık kaybı meydana gelmiştir (Abdulkareem, Murtafa Al Bakri, Kamarudin, Nizar ve Saif, 2014).

Kendiliğinden yerleşen betonun mikro yapısının yüksek sıcaklıklarda davranışını belirlemek amacıyla üretilen betonlar 20, 150, 300 450 ve 600 °C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra SEM ile görüntü analizi gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık artışının beton porozitesini etkilediği belirlenmiştir. Gerçekleştirilen XRD sonucunda da, kendiliğinden yerleşen betonun sıcaklık uygulanmamış örneklerinde portlandit, kalsit, kuvars gibi farklı

kristal yapılar bulunmaktadır. 150 ve 300 °C sıcaklık uygulanan betonların XRD sonuçları sıcaklık uygulanmayan beton ile çok benzerdir, faz dönüşümü olmamıştır. 450 ve 600 °C'de ise portlandit ve brusit (magnezyum hidroksit minerali) görülmemiştir. 300 °C üzerinde beton yapısı hızla bozulmuştur. Portlanditin ayrışması, kuvars α 'nın kuvars β 'ya dönüşmesi gibi kimyasal değişimler nedeniyle çatlaklar ve porozitede % 7'lik artış meydana geldiği belirlenmiştir (Fares ve diğerleri, 2010).

Donatello, Kuenzel, Palomo ve Fernandez-Jimenez (2014) yüksek miktarda uçucu kül içeren ve içermeyen çimento pastalarına 20, 400 ve 800 °C sıcaklık ve havada soğutma uygulayarak XRD yöntemi ile incelemiştir. Normal çimento pastasında 400 °C sonrasında tek kayda değer değişim etrenjit sinyallerinin kaybolması olmuştur. 800 °C'de ise portlandit pikleri kaybolmuş, kalsit pikleri büyük ölçüde azalmıştır.

Karbon lifleri ve çimento esaslı matris ara yüzeyinin 100, 150, 200, 400 ve 600 °C sıcaklıklarda ve havada soğutma sonrası davranışlarının incelendiği bir çalışmada, çimento matrisindeki bozulmalar XRD ve termal analiz yöntemleri ile belirlenmiştir. Karbon lif ve çimento matrisinin ara yüzeyindeki bozulmalar ise SEM ile görüntülenmiştir. XRD sonuçlarına göre 100 °C üzerindeki sıcaklıklarda etrenjit görülmemiştir. 600 °C ise portlandit bulunamamıştır (Andrade Silva ve diğerleri, 2014).

Uçucu kül ve metakaolin kullanılarak üretilen yüksek performanslı betonların 200, 400, 600 ve 800 °C sıcaklıklara maruz bırakılarda havada ve su ile soğutulmasının ardından basınç dayanımı, klor geçirimsizliği, ağırlık kaybı değerlerindeki değişim ve SEM görüntüleri incelenmiştir. 400 °C'nin yüksek performanslı betonlar için kritik sıcaklık olduğu, hızlı soğutmanın daha fazla dayanım kaybına neden olduğu, SEM görüntülerinde sıcaklık arttıkça ara yüzeyde gözeneklerin arttığı belirlenmiştir (Nadeem, Memon ve Yui Lo 2014).

3. MALZEMELER VE YÖNTEMLER

3.1. Malzemeler

Bu çalışmada, CEM I 42,5 R çimentosu, kalker esaslı ana kayaç ve kırmataş agrega, Kırşehir şehir şebeke suyu, akışkanlaştırıcı (AK) ve antifriz katkı türleri, kalıp yüzey malzemesi ve kalıp yağı kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

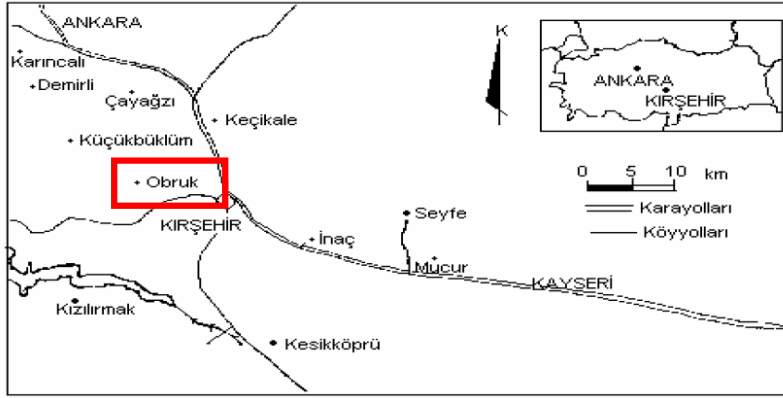
Araştırma sürecinde Ankara LİMAK çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait özellikler Çizelge 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1. CEM I 42,5 R fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri (LİMAK, 2013)

<i>Analiz</i>	<i>Oksit</i>	<i>Değer</i>	<i>Analiz</i>	<i>Deneyler</i>	<i>Değer</i>
Kimyasal, %	SiO ₂	18,86	Fiziksel	Özgül yüzey, cm ² /g	3320
	Al ₂ O ₃	4,98		Hacim Genleşme, mm	1,0
	Fe ₂ O ₃	2,96		Su ihtiyacı, g	27,9
	CaO	63,02		Priz baş. sür., dak	175
	MgO	1,71		Priz bit. sür., dak.	250
	SO ₃	2,93		Yoğunluk, g/cm ³	3,12
	Na ₂ O	0,25	Mekanik	Gün	MPa
	K ₂ O	0,75		2. gün	29,6
	Cl	0,011		7. gün	44,8
	HCl	0,28		28. gün	55,3

3.1.2. Ana kayaç

Çalışmada kayaç ve agrega temin edilen Kırşehir-Obruk taş ocağının görünür rezervi 2 660 000 m³tür. Çıkarılan bloklardan moloz taş ve konkasörlerle kırmataş üretilmektedir (Arslan ve Demir, 2005). Obruk taş ocağının harita üzerindeki yeri Harita 3.1’de gösterilmiştir. Obruk taş ocağı Kırşehir’e 15 km mesafededir (Arslan ve Demir, 2006). Taş ocağına ait topografik harita Ek 1’de verilmiştir.



Harita 3.1. Kırşehir civarı, Obruk taş ocağı

3.1.3. Agrega

Beton üretiminde kullanılan agrega kalker kırmataş türüdür. Agreganın temin edildiği taş ocağı görünümü ve tane büyüklüklerine ilişkin yığınlar Ek 1’de verilmiştir. Agreganın minerolojik yapısı, gri renkli orta taneli kalsit kristallerinden oluşan kristalize kireçtaşıdır. Esas mineral kalsitin yanında tali mineral olarak kuvars gözlenmiştir. Kireçtaşları kalın, kırıklı ve çatlaklıdır. Çatlaklar çoğunlukla tabakalanma yüzeyini kesecek şekilde gelişmiş olup birim içerisinde bloklar oluşturmuşlardır. Birim içerisinde şiddetli tektonizmanın etkileri gözlenmektedir. Tabakalanmaya koşut laminer yapılar yer yer gözlenmektedir. Kristalize kireçtaşları 25° - 30° güneye doğru eğimlidirler (Demir, 2005).

3.1.4. Karışım ve soğutma suyu

Beton karışımında ve yüksek sıcaklık sonrası beton örneklerinin soğutulmasında organik madde ve zararlı yabancı maddeleri içermeyen Kırşehir şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.5. Kimyasal katkı maddeleri

Hazır beton üreticilerine uygulanan anketlerden elde edilen bulgular doğrultusunda çalışma sürecinde kullanılacak kimyasal katkı maddeleri belirlenmiştir. Yapılan anket sonucunda en çok tercih edilen katkı maddesi türünün akışkanlaştırıcı (AK) olduğu belirlenmiştir. Hazır beton santrallerinden alınan bilgiye göre kış aylarında su azaltıcı katkı maddelerine ilave antifriz katkısı kullanılmaktadır.

Bu bilgiler doğrultusunda, beton karışımlarında AK ve antifriz kimyasal katkıları kullanılması planlanmıştır. AK ve antifriz kimyasal katkı maddeleri Ankara’da bulunan İKSA Beton ve Yapı Kimyasalları firmasından temin edilmiştir. AK ve antifriz katkı türlerine ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.2’de görülmektedir.

Çizelge 3.2. AK ve antifriz kimyasal katkılarına ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Özellik	AK	Antifriz
Kimyasal yapı	Lignin Sülfonat Esaslı karışım	İnorganik tuz esaslı karışım
Görünüm	Koyu kahverengi	Açık kahverengi
Yoğunluk	1,160±0,03 kg/L	1,25±0,03
pH	6,50-8,00	6,00-7,00
Klorür	≤ % 0,01	≤ % 0,01
Alkali içeriği	≤ % 10	≤ % 10

Karışımında kullanılacak olan katkı maddesi oranları kimyasalların temin edildiği firma yetkilileri ve kullanım kılavuzları yardımıyla belirlenmiştir. Her bir katkı türünün çimento ağırlığının % 1’i kadar kullanılmıştır. AK katkı maddesi TS EN 934-2 Çizelge 2: Su azaltıcı/Akışkanlaştırıcı katkıları normuna, antifriz katkı maddesi ise TS EN 934-2 Çizelge 7: Sertleşmeyi hızlandırıcı katkıları normuna uygundur.

3.1.6. Kalıp yüzey malzemesi ve kalıp yağı

Kalıp yüzey malzemesi olarak 18 mm kalınlığında rutubet ve suya dayanıklı kalıp kontraplağı kullanılmıştır. Yüzeye uygulanan kalıp yağı mineral esaslı berrak sarı renkte sıvıdır.

3.2. Yöntemler

Çalışmada kullanılan yöntemler “hazır beton üreticileri anketi, agrega deneylerinin yapılması, beton örneklerinin hazırlanması (plak kalıpların hazırlanması, beton üretimi ve taze beton deneyleri, betonun dökülmesi ve kürü, plak betonlardan karot alınması), kayaç örneklerinin hazırlanması, yüksek sıcaklık uygulamaları, soğutma uygulamaları, kayaç ve sertleşmiş beton deneyleri, mikro yapı analizleri, istatistikî yöntemler” safhalarından oluşmuştur.

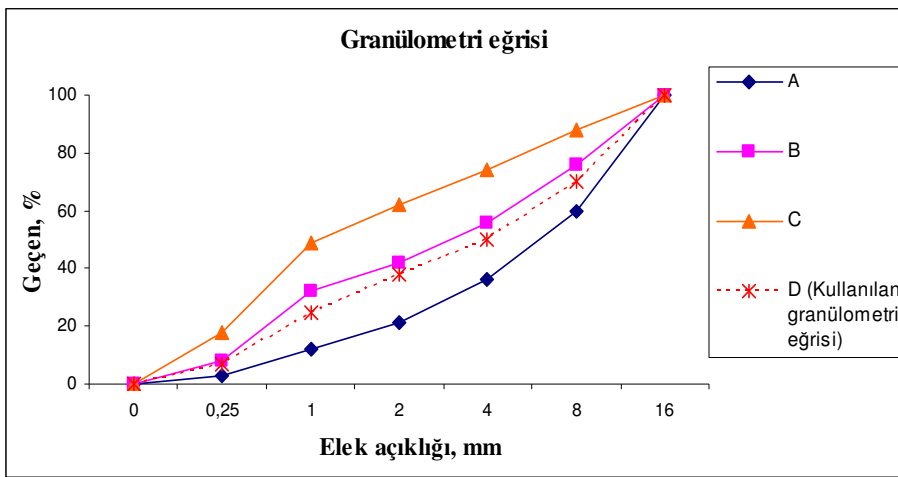
3.2.1. Hazır beton üreticileri anketi

Çalışma sürecinde beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddelerinin türlerinin tespit edilmesi amacıyla Ankara’da bulunan hazır beton santrallerinden oluşturulan örnekleme uygulanmak üzere açık uçlu sorulardan oluşan bir anket formu düzenlenmiştir (EK 2). Anket toplamda 10 adet hazır beton üreticisine uygulanmıştır. En çok tercih edilen katkı maddesi türünün AK olduğu belirlenmiştir. Yaz aylarında özel bir katkı maddesi türünün kullanılmadığını belirten hazır beton üreticileri, kış aylarında AK’a ilave edilerek antifriz katkısı kullanıldığını belirtmişlerdir.

3.2.2. Agrega deneyleri

Beton karışımının hazırlanması için gerekli olan agrega tane dağılımı TS 3530 EN 933-1 “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).

İri ve ince agreganın yoğunlukları TS EN 1097-6, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.3).



Şekil 3.1. Deneysel granülometri eğrisi

Çizelge 3.3. Agregalara ait fiziksel özellikler

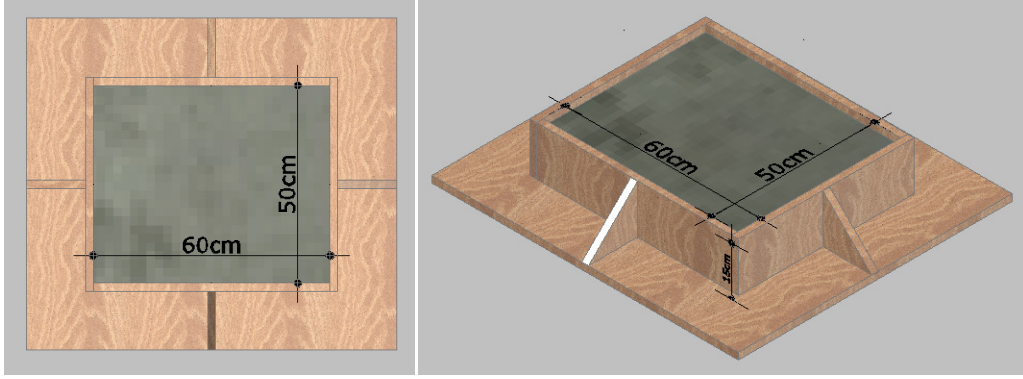
<i>Fiziksel Özellik</i>	<i>Agrega grubu, mm</i>	<i>Değer</i>
Görünür tane yoğunluğu, g/cm ³	0-4	2,72
	4-8	2,72
	8-16	2,74
Etüv kurusu tane yoğunluğu, g/cm ³	0-4	2,61
	4-8	2,65
	8-16	2,68
Doygun kuru yüzey tane yoğunluğu, g/cm ³	0-4	2,65
	4-8	2,68
	8-16	2,70
Su emme miktarı, %	0-4	1,43
	4-8	0,96
	8-16	0,74

3.2.3. Beton örneklerinin hazırlanması

Farklı kimyasal katkı türleri kullanılarak beton örneklerinin hazırlanması “plak kalıpların hazırlanması, beton üretimi ve taze beton deneyleri, betonun dökülmesi ve kuru, plak betonlardan karot alınması” aşamalarından meydana gelmektedir. Beton ve kayaç örneklerinin hazırlanması Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvarı’nda gerçekleştirilmiştir.

Plak kalıplarının hazırlanması

Beton üretiminin gerçekleştirilebilmesi amacıyla 15 cm x 50 cm x 60 cm boyutlarında plak kalıplar hazırlanmıştır. Kalıp görünümü Şekil 3.2’de verilmiştir. Her bir beton türü için 3 adet plak kalıp kullanılmış olup, 100 dm³’lük beton üretimi yapılmıştır.



Şekil 3.2. Plak kalıp görünümü

Beton üretimi ve taze beton deneyleri

Betonların karışım hesabı TS 802 “Beton Karışımı Hesap Esasları” ve TS EN 206–1 “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk” standartlarına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı, AK+antifriz katkılı olmak üzere dört tür beton karışımı hazırlanmıştır.

Beton karışım hesabı 350 dozlu olacak şekilde yapılmıştır. Beton karışımlarında S/Ç oranı farklılık göstermekte olup, çökme değerleri eşit tutulmuştur. Her bir beton türüne ait 1 m³'e giren malzeme miktarları Çizelge 3.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. 1 m³ beton karışımına giren malzeme miktarları

<i>Malzeme</i>		<i>Katkısız beton</i>	<i>AK katkılı beton</i>	<i>Antifriz katkılı beton</i>	<i>AK+Antifriz katkılı beton</i>
Çimento, kg		350	350	350	350
Su, lt		210	193	207	185,5
Katkı türü, lt		-	3,5	3,5	3,5
2. katkı türü, lt				-	3,5
Agrega, kg	0-4 mm	908	922	917	939
	4-8 mm	544	552	550	564
	8-16 mm	368	370	370	380
Su/çimento		0,60	0,55	0,59	0,53
Çökme miktarı, cm		10,5	11,0	10,0	12,0

Taze betonun çökme miktarı TS EN 12350-2 “Beton- Taze Beton Deneylei- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneylei” standardına göre gerçekleştirilmiştir. Beton karışımlarına ait slamp değerleri ve TS EN 206-1 Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk standardına göre taze betonun çökme miktarına göre kıvam sınıfları S3 olacak şekilde su miktarları ayarlanmıştır.

Beton karıştırma işlemleri TS 1247 “Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Şartlarında)” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Beton üretimi sırasında ortam ısısı, ortam nemi ve taze beton sıcaklık özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Beton üretimi ile ilgili ortalama sıcaklıklar ve nem durumu

<i>Beton türü</i>	<i>Hava sıcaklığı, °C</i>	<i>Bağıl hava nemi, %</i>	<i>Taze beton sıcaklığı, °C</i>
Katkısız beton	19,9	50	20,9
AK katkıli beton	16,6	51	20,5
Antifriz katkıli beton	14,0	52	18,0
AK+Antifriz katkıli beton	15,8	56	20,3

Betonun dökülmesi ve kürü

Betonun plak kalıplara dökümü, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması TS 1247 “Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında)” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Betonun plak yüzeylerinin, dış etkilerden korunması amacıyla ıslak çuvallar serilerek 3 gün süreyle ıslak tutulmuştur. 3. gün sonunda plaklar kalıptan çıkarılarak kür havuzuna yerleştirilmiştir.

Plak betonlardan karot alınması

7 gün sonra plak kalıplara dökülmüş betondan 50 mm çapında karot ucu kullanılarak TS EN 12504-1 Beton-Yapıda Beton Deneylei-Bölüm 1: Karot Numuneler-Karot alma, Muayene ve Basınç Dayanımı Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak karotlar alınmıştır (Resim 3.1).

Karot örnekleri üzerinde ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneylerinin gerçekleştirilebilmesi için karot örneklerin üst ve alt yüzeyleri traşlanmıştır. Örnek yükseklikleri 100 ± 5 mm boyutuna getirilmiştir. Traşlama işleminde kullanılan sulu taş kesme makinesi EK 3’de verilmiştir.



Resim 3.1. Plak betonlardan karot alınması

Karot örneklerine tanımlayıcı kodlar verilmiştir. Soğutma uygulamalarından “H” havada soğutmayı “S” su püskürterek soğutmayı ifade etmektedir. Beton türlerine ilişkin kodlamalar Çizelge 3.6.’da verilmiş olup, kodlama detayı Şekil 3.3’de görülmektedir.

Çizelge 3.6. Kimyasal katkı içeriklerine göre beton türleri kodlamaları

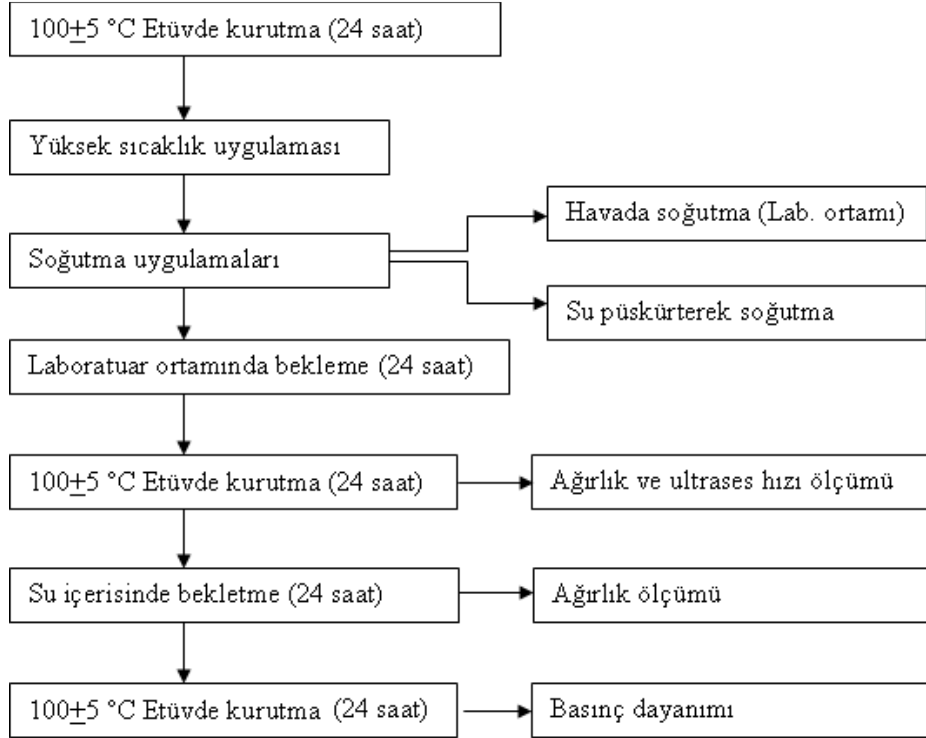
Beton türü	Kodlama
Katkısız	K
AK katkıli	A
Antifriz katkıli	F
AK+Antifriz katkıli	AF

Örnek olarak, A.400.H1 kodlaması AK katkıli 400 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra havada soğutma uygulanmış 1 nolu karot örneğini temsil etmektedir.

(K, A, F, AF)	(20, 200, 400, 550, 700)	(H/S)	(1.....15)
Beton türü	Sıcaklık koşulu	Soğutma koşulu	Örnek numarası

Şekil 3.3. Karot örnekleri kodlamaları

Karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiş deney planlaması Şekil 3.4'de; deneysel uygulamalar ve örnek sayıları Çizelge 3.7'de görülmektedir.



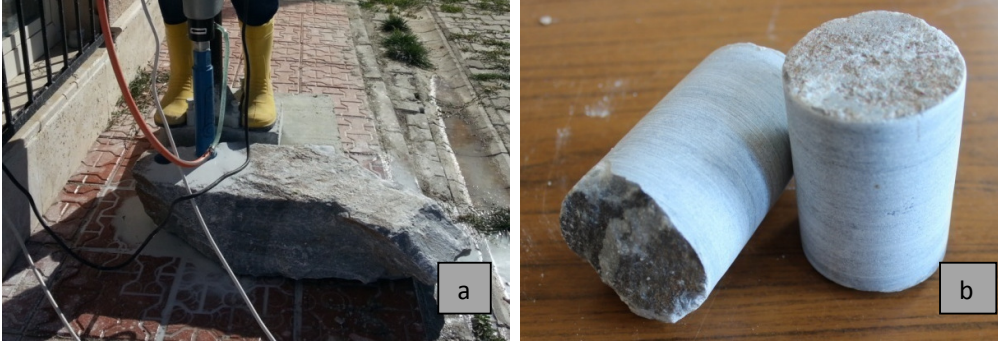
Şekil 3.4. Deney planlaması

Çizelge 3.7. Her bir beton türü için karot örnekleri üzerinde deneysel uygulamalar ve örnek sayıları

Sıcaklık °C	Sıcaklık uygulanan örnek sayısı	Soğutma uygulanan örnek sayısı	Su emme	Ultrases geçiş hızı	Basınç dayanımı	Mikro analiz
20	-	-	15	15	15	1
200	30	Havada	15	15	15	-
		Su püskürtülerek	15	15	15	-
400	30	Havada	15	15	15	-
		Su püskürtülerek	15	15	15	-
550	30	Havada	15	15	15	-
		Su püskürtülerek	15	15	15	-
700	32	Havada	16	15	15	1
		Su püskürtülerek	16	15	15	1

3.2.4. Kayaç örneklerinin hazırlanması

Agreganın temin edildiği taş ocağından yüksek sıcaklık altında kayaç özelliklerini belirlemek amacıyla Resim 3.2.a'da görülen kayaç temin edilmiştir. Karot alımı esnasında kayaç damarlı olduğu için alınan örnekler istenilen boya ulaşılamadan kırılmıştır (Resim 3.2.b). Bu durum kayacın kırmataş agrega kullanımı için uygun olduğunu göstermektedir.



Resim 3.2. a) Kayaçtan karot alınması, b) İstenilen boya gelemeden kırılan karot örnekleri

Kayaçtan karot alma işlemi aynı örnek parça üzerinde farklı yönden gerçekleştirilmiştir (Resim 3.3). Karotlar taş kesme makinesi yardımıyla 100 ± 5 mm boy haline getirilmiştir.



Resim 3.3. Kayaçtan çıkarılan karot örnekleri

3.2.5. Yüksek sıcaklık uygulamaları

90. gününü tamamlayan beton örnekleri yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce (24 saat) etüvde (100 ± 5 °C) bekletilmiştir. Yüksek sıcaklığın etkilerinin belirlenmesi amacıyla 55 litre kapasiteli iç ölçüleri 35 cm x 35 cm x 38 cm, dış ölçüleri 77 cm x 79 cm x 78 cm ve ağırlığı 190 kg olan yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır. Hafif refrakter tuğla ve seramik elyaf kullanılarak üretilen fırının yan tuğla duvarları içerisinde açılan kanallara yerleştirilmiş spiral formlu rezistans telleri bulunmaktadır (Resim 3.4). Rezistans telleri

kanthal A-1 tiptir. Fırın gövdesi kaynaklı çelik konstrüksiyon olup, doğal soğutma ile soğumaktadır. Fırının maksimum ulaşabileceği sıcaklık derecesi 1200 °C'dir. Fırına ait kontrol cihazı ile istenilen sürede, istenilen sıcaklık derecesi ayarlanabilmektedir.



Resim 3.4. Çalışma sürecinde kullanılan yüksek sıcaklık fırını

Beton örnekleri yüksek sıcaklık uygulamasında toplamda 3 saat süreyle 200, 400, 550 ve 700 °C'lere maruz bırakılmıştır. Sıcaklık değerleri kontrol cihazına dört programda işlenmiş durumdadır. Her program üç basamaktan oluşmaktadır.

Çizelge 3.8. Yüksek sıcaklık fırını program verileri

<i>Program numarası</i>	<i>Sıcaklık değeri, °C</i>	<i>1.basamakta ulaşılacak sıcaklık</i>	<i>2. basamakta ulaşılacak sıcaklık</i>	<i>3. basamakta bekletilecek sıcaklık</i>
1	200	1 saatte 100 °C	1 saatte 200 °C	200 °C'de 1 saat
2	400	1 saatte 300 °C	1 saatte 400 °C	400 °C'de 1 saat
3	550	1 saatte 450 °C	1 saatte 550 °C	550 °C'de 1 saat
4	700	1 saatte 600 °C	1 saatte 700 °C	700 °C'de 1 saat

Beton örneklerinin yüksek sıcaklık karşısında parçalanma durumunda fırının iç yapısına zarar verme riskine karşı demirden imal edilmiş kafes içerisinde örnekler sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Kafes ölçüleri 25 cm x 25 cm x 25 cm boyutlarındadır (Resim 3.5.)



Resim 3.5. Demir kafes görüntüsü

Beton örneklerinin toplam sayısı her bir beton türü için sıcaklık başına 30'ar adet olmak üzere toplam 150'dir. Sıcaklıkta üst sınırın 700 °C olarak belirlenmesinin sebebi, daha önce gerçekleştirilen bir çalışmada kalker kırmataş ile üretilen beton örneklerin 800 °C'de havada ve suda soğutma işlemlerinin ardından kesit kaybına uğramış ve mekanik özelliklerinin kontrol edilememiş olmasıdır (Bekem, 2010).

Kayaçtan alınan 6 adet karot örneği üzerinde de yüksek sıcaklığın etkisinin belirlenmesi amacıyla çalışmada tepe sıcaklık olan 700 °C uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklık ve soğutma uygulamaları Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Yapı Malzemeleri Laboratuvar'ında gerçekleştirilmiştir.

3.2.6. Soğutma uygulamaları

Yüksek sıcaklık uygulaması sonrası beton örneklerinin 15 adedi havada ve 15 adedi ise su püskürtülerek soğutulmuştur. 20 °C sıcaklık için örnekler laboratuvar ortamında bekletilmiştir. 20 ve 700 °C'ye atılan beton örneklerinin sayısı mikro yapı analizleri amacıyla 1 arttırılmıştır.

Aynı agrega türü ile gerçekleştirilen bir başka çalışmada, beton örnekleri suya daldırma yöntemi ile soğutulmuştur. Soğutmada ilk andan itibaren suyun sıcaklığının giderek arttığı ve dolayısıyla örneklerin suya daldırıldığı andaki soğutma şartıyla giderek suyun ısınmasıyla oluşan soğutma şartının farklılaştığı kanaatine varılmıştır. Dolayısıyla bu tecrübeden yararlanılarak, bu çalışmada suda soğutma işleminin yangın söndürme

soğutmasına yaklaşık şartlar taşınması bakımından su püskürtülerek soğutulmasının daha uygun olacağı düşünülmüştür.

Havada yapılan soğutma uygulamasında beton örnekleri yüzeyinde 20 °C sıcaklığa gelinceye kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Havada soğutma işleminde kullanılan laboratuvar sıcaklığı, nemi ve örneklerin soğuma süreleri ölçülmüştür. Laboratuvar sıcaklığı 17,8 °C ile 21,2 °C; laboratuvar nemi % 50 - %53; soğuma süresi ise 70 dk-200 dk arasında değişmektedir.

Su püskürtülerek soğutma işlemi, fırından karot örnekleri çıkarıldıktan sonra hazırlık aşaması tamamlanınca başlatılmıştır. Fırından örnek çıkarılması ve su püskürtme uygulaması arasındaki süre ölçülmüştür. Hazırlık süresi 5-10 dakika arasında değişmektedir. Su püskürtme işleminin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılan püskürtme başlık Resim 3.6'da görülmektedir.



Resim 3.6. Su püskürtme için kullanılan başlık

Laboratuvar ortamının sıcaklığı ve nemi, kullanılan şebeke suyunun sıcaklığı ve pH derecesi soğutma uygulaması öncesi ve sonrasında ölçülmüştür. Ortam özelliklerini belirlemek için kullanılan sıcaklık ve nemölçer cihazı, suyun sıcaklığı için kullanılan dijital termometre EK 3'de görülmektedir. Soğutma suyunun pH ölçümü için cep tipi pH metre kullanılmıştır. PH metreyle ilişkin ölçüm özellikleri Çizelge 3.9'da görülmektedir.

Çizelge 3.9. PHmetre ölçüm özellikleri

pH hassasiyeti	$\pm 0,01$ pH
pH ölçüm aralığı	-2,00 – 16,00pH
Sıcaklık hassasiyeti	0,1 °C
Sıcaklık aralığı	-5,00 – 60,0

Her bir beton türü ve yüksek sıcaklık derecesi için su püskürtülerek soğutma yapılan ortam özellikleri ve diğer değerler EK 4’de verilmiştir.

Yüksek sıcaklık miktarı arttıkça, su püskürtülerek yapılan soğutma işleminde, kullanılan suyun sıcaklığı, soğutma süresi ve pH derecesinin arttığı belirlenmiştir. Özellikle 700 °C’de pH miktarının 5-6’dan 11-12’ye çıkması bir miktar kalsiyumoksidin su içerisinde çözüldüğünü göstermektedir (Bekem, 2010). Bu durum daha önceden yapılan çalışmalarla uyumluluk göstermektedir.

Kayaçtan alınarak 700 °C’ye maruz bırakılan 6 karot örneğinin 3 adeti havada, 3 adeti ise su püskürtülerek soğutulmuştur.

3.2.7. Kayaç ve sertleşmiş beton deneyleri

Bu çalışmada katkı maddesi faktörünün dört farklı seviyesi (Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı, AK+antifriz katkılı), zaman faktörünün bir seviyesi (90. gün), sıcaklık faktörünün ise (20, 200, 400, 550 ve 700 °C) beş seviyesi, soğuma faktörünün iki seviyesi (havada ve su püskürterek soğutma) için beton örnekleri üzerinde su emme, ultrases geçiş süresi ve basınç dayanımı deneyleri tekrarlanabilen varyans analiz tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Kayaçtan alınan karot örnekleri üzerinde de 20 ve 700 °C sıcaklıklar için aynı deneyler gerçekleştirilmiştir.

Su emme deneyi

Kayaç ve beton türlerine ait karot örneklerinin su emme miktarlarının tayini için 90 günlük kürünü tamamlayan örnekler, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmadan önce ve sonra su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Su emme ve ultrases geçiş hızı deneyleri Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Yapı Malzemeleri

Laboratuar'ında gerçekleştirilmiştir. 100 ± 5 'de 24 saat boyunca etüvde bekletilen karot örneklerinin etüv kurusu ağırlıkları m_{kuru} olarak kayıt edilmiştir. Tartımlarda 0,01 hassasiyete sahip dijital terazi kullanılmıştır (Resim 3.7).



Resim 3.7. 0,01 ölçüm hassasiyetine sahip terazi

Etüvden alınan örnekler 24 saat boyunca su içinde bırakılmış, doymun kuru yüzey haline getirilen karot örnekleri tartılarak ve değerler $m_{yaş}$ olarak kayıt altına alınmıştır. Karot örnekleri su içerisine etüv kurusu olarak yerleştirilmiştir. Her bir karot örneğinin su emme yüzdesi eşitlik 3.1 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\% W = \frac{m_{yaş} - m_{kuru}}{m_{kuru}} \times 100 \quad \text{Eş. 3.1.}$$

Eşitlikte;

$\% W$ = Su emme oranı (%),

$m_{yaş}$ = Doymun kuru yüzey ağırlık (g),

m_{kuru} = Etüv kurusu ağırlık (g)

ifade etmektedir.

Ultrases geçiş hızı deneyi

ASTM C 597-83 ‘‘Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete’’ standardına göre ultrases geçiş süresi ile belirlenen ultrases hızı değerlerinin artan sıcaklıklarda gruplarda meydana gelen değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla, sıcaklık ve soğutma koşulları uygulamaları sonrasında karot örnekleri ultrases cihazının alıcı ve gönderici uçları karşılıklı olacak şekilde okuma yapılmıştır (Resim 3.8). Kullanılan ultrases cihazının alıcı ve gönderici uçlarının çapı 4 cm, frekansı ise 55 KHz’dir.



Resim 3.8. Ultrases cihazı kullanımı ve uçları

Ölçümler standarda uygun olarak etüv kuru halde gerçekleştirilmiştir. Karot rneklerinin boyları dijital kumpas yardımıyla mm cinsinden ölçülmüş, okunan ses geçiş süresi ses hızına aşağıdaki Eşitlik 3.2 kullanılarak çevrilmiştir.

$$V = L/t$$

Eş. 3.2.

Eşitlikte;

V= Ses hızı (km/s),

t = Ses geçiş süresi (saniye),

L = l boyu (km)

ifade etmektedir.

Basınç dayanımı deneyi

Karot örneklerine yüksek sıcaklık ve soğutma işlemleri uygulamalarından sonra; her bir sıcaklık koşulu için 30'ar adet örnek üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deneysel Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini” standardında belirlenen esaslara uygun olarak yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyleri Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne ait Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan presin kapasitesi 25 tondur (Resim 3.9).



Resim 3.9. Beton test presini

Basınç dayanımı Eşitlik 3.3. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_{ck} = F/A$$

Eş 3.3.

Eşitlikte;

f_{ck} = Basınç dayanımı (N/mm²),

F = En büyük yük (N),

A = Numunenin alanı (mm²)

ifade etmektedir.

3.2.8. Mikro yapı analizleri

Sıcaklık ve soğutma koşullarının kayaç ve beton örnekleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla; sıcaklık alt sınırı olan 20 °C ve sıcaklık üst sınırı olan 700 °C seçilerek mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Kayaç ve beton türlerine ait 20 °C, 700 °C havada soğutulan ve 700 °C su püskürtülerek soğutulan birer karot mikro analiz için ayrılmıştır.

Mikro analiz için X-ışını kırınım (XRD) yöntemi tercih edilmiştir. Karot örnekleri XRD yöntemi ile standart kalitatif mineral analizi için kırma ve öğütme işlemlerinden geçirilmiştir. Kırma ve öğütme işlemleri MTA Genel Müdürlüğü Cevher Zenginleştirme Birimi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan konik kırıcı ve halkalı öğütücü EK 3’de verilmiştir. Kırılan ve toz haline getirilen beton örnekleri Resim 3.10’da görülmektedir.



Resim 3.10. Kırılmış ve öğütülmüş beton örnekleri

XRD işlemi MTA Genel Müdürlüğü Mineroloji ve Petrografi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Örneklerin kırınım desenleri oda sıcaklığında, Panalytical marka X-pert Pro model toz difraktometre sisteminde ve bakır radyasyonu [λ (CuK α) = 1,54056Å] kullanılarak $2\theta = 2,0 - 70,0^\circ$ tarama aralığında elde edilmiştir. Kırınım desenlerinin mineral bazında analiz edilmesinde High Score Plus programı kullanılmıştır. Kullanılan XRD cihazı Ek 3’te verilmiştir.

3.2.9. İstatistikî yöntemler

Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı ve AK+antifriz katkılı beton türlerine ait sertleşmiş beton deneyleri bulguları arasındaki ilişkiyi tespit etmek amacıyla tek değişkenli regresyon analizi yapılmıştır. Basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı-su emme oranı arasındaki ilişkiyi temsil eden denklem ve R^2 katsayısı belirlenmiştir. Regresyon analizi Microsoft Office Excel programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı ve AK+antifriz katkılı beton türlerine uygulanan beş adet sıcaklık (20, 200, 400, 550 ve 700 °C) seviyesi ve iki adet soğutma (havada ve su püskürterek soğutma) koşulu için üç adet deney türüne (Ultrases geçiş hızı, su emme ve basınç dayanımı) ait istatistikî veriler elde edilmiştir. Gruplar arasında varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testleri gerçekleştirilmiştir. Gruplar arasındaki farklılık $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyine göre yapılmıştır. Varyans ve Duncan testleri Statistica programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

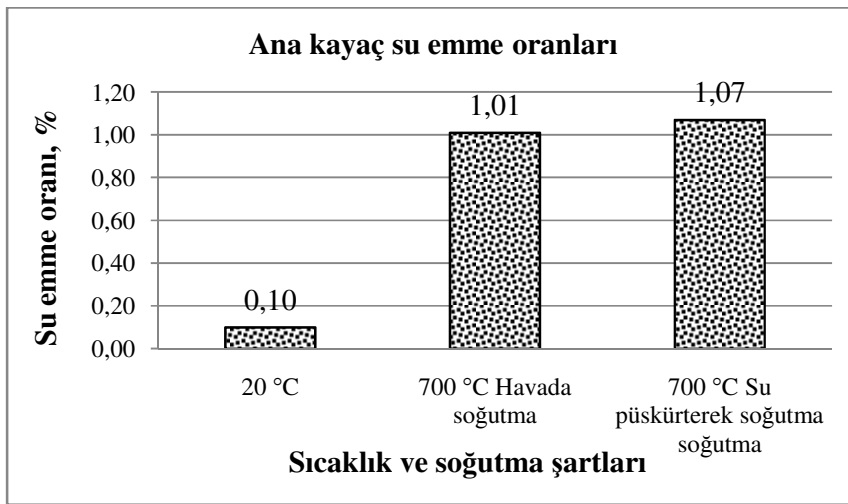
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı ve AK+antifriz katkılı beton türlerine ait karot örnekleri 90. günde 3 saat süresince 20, 200, 400, 550 ve 700 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak; havada ve su püskürtme yoluyla soğutulmuştur. Diğer taraftan agreganın üretildiği ana kayaç örnekleri 20 ve 700 °C sıcaklığa maruz bırakılmış, 20 °C’de bekletilen örnekler referans kabul edilmiş, 700 °C sıcaklık uygulanan örnekler ise havada ve su püskürtme yoluyla soğutulmuştur. Beton ve ana kayaç örnekleri üzerinde su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve mikro yapı analizi deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.1. Ana Kayaç Özellikleri

Ana kayaç örneklerinden alınan karotlar üzerinde 20 °C’de ve 700 °C sıcaklık uygulaması ve soğutma koşulları sonrasında su emme, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık uygulaması öncesi örnekler laboratuvar şartlarında beklediği için ilgili sıcaklık 20 °C olarak ifade edilmiştir.

Ana kayaç örnekleri üzerinde gerçekleştirilen 20 °C bekletme ve 700 °C sıcaklık ve havada/suda soğutma uygulaması sonucunda gerçekleştirilen su emme deneyi sonuçları şekil 4.1’de verilmiştir.



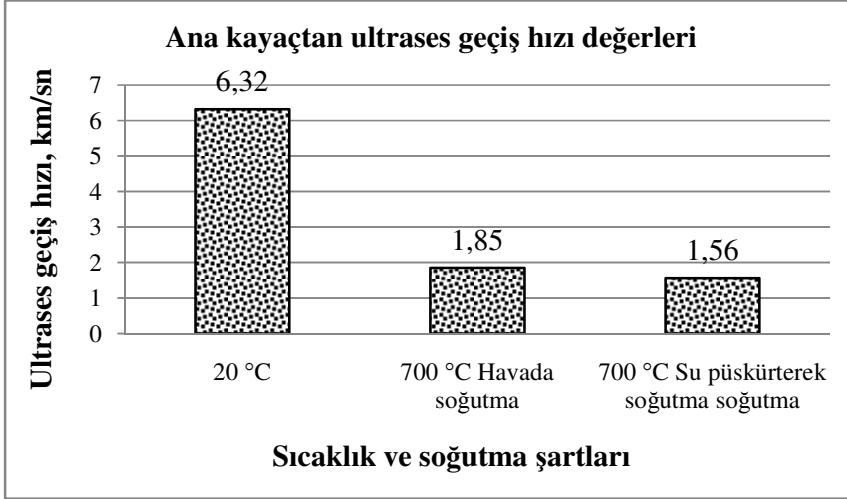
Şekil 4.1. Ana kayaç su emme oranları

Ana kayaç örneklerine ilişkin su emme deneyi sonuçlarına göre (Şekil 4.1);

- 20 °C’de bekletilen referans örneğin su emme oranının % 0,10 olduğu,
 - 700 °C sıcaklık uygulanan ve havada soğutulan örneğin su emme oranının % 1,01 olduğu,
 - 700 °C sıcaklık uygulanıp havada soğutulan örneğin su emme oranının referans örneğe göre % 1010 arttığı,
 - 700 °C sıcaklık uygulanan ve suda soğutulan örneğin su emme oranının % 1,07 olduğu,
 - 700 °C sıcaklık uygulanıp havada soğutulan örneğin su emme oranının referans örneğe göre % 1070 arttığı,
 - Suda soğutulan örneklerin su emme oranı havada soğutulan örneklerin su emme oranından % 106 fazla olduğu
- belirlenmiştir.

Diğer taraftan Şekil 4.2’de görüldüğü gibi örnekler üzerinde gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı ölçümlerine göre;

- 20 °C’de bekletilen referans kayaç örneğinin ultrases geçiş hızı değerinin 6,32 km/sn olduğu,
- 700 °C sıcaklık sonrası hava ve su ile yapılan soğutmalarda ana kayaç ultrases geçiş hızı değerlerinin sırasıyla 1,85 km/sn ve 1,56 km/sn’ye düştüğü,
- Havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının referans örneğe göre % 70,73 azaldığı,
- Suda soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının referans örneğe göre % 75,32 azaldığı görülmüştür.

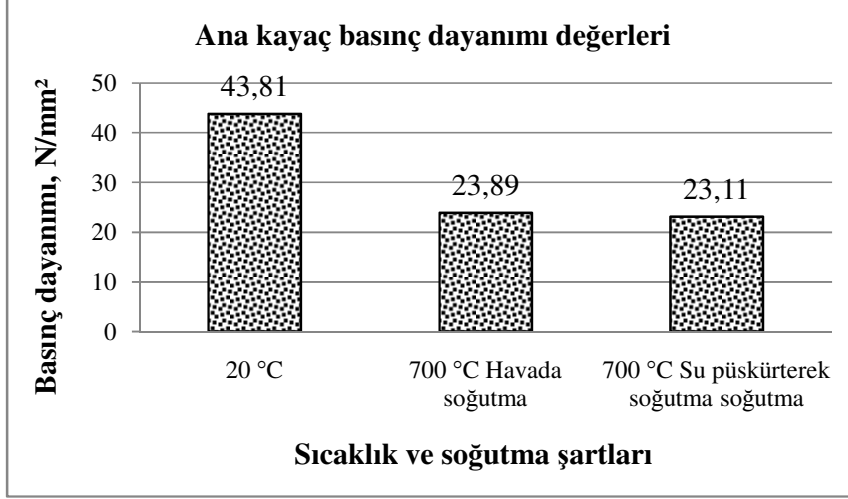


Şekil 4.2. Ana kayaç ultrases geçiş hızı değerleri

Basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilen 20 °C bekletme ve 700 °C sıcaklık uygulaması ve havada/suda soğutma yapılmış örneklerden elde edilen değerlerin Şekil 4.3.'te görüldüğü üzere;

- Referans olarak 20 °C'de bekletilen ana kayaç örneklerinin basınç dayanımınının 43,81 N/mm² olduğu,
- 700 °C havada soğutma sonrası basınç dayanımınının referans örneğe göre % 45,48 azalarak 23,89 N/mm²'e düştüğü,
- 700 °C suda soğutma sonrası basınç dayanımınının referans örneğe göre % 47,27 azalarak 23,11 N/mm²'e düştüğü

belirlenmiştir.



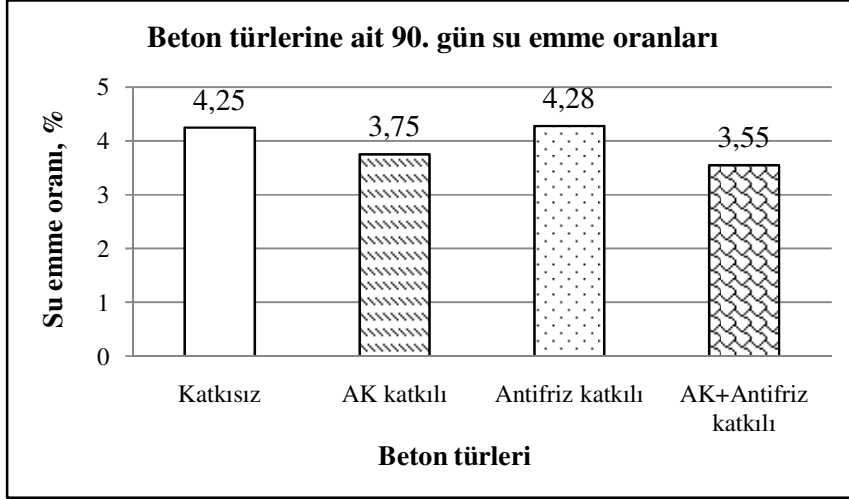
Şekil 4.3. Ana kayaç basınç dayanımı değerleri

Beton üretiminde kullanılan agreganın elde edildiği ana kayaç, yüksek sıcaklık sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerini kaybetmiştir. Kayacın su emme, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerlerine bakılarak 700 °C sıcaklık sonrası su püskürtülerek soğutma şartından havada soğutmaya göre daha fazla hasar gördüğü kanaatine varılmıştır.

4.2. Beton Türlerinin Özellikleri

Laboratuar şartlarında (20 °C) bekletilen 90 günlük katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı, AK+antifriz katkılı beton türlerine ait su emme oranları Şekil 4.4.'de verilmiştir. İlgili şekil incelendiğinde;

- Katkısız betonun su emme oranının 4,25 olduğu,
- AK katkı kullanımının su emme oranını katkısız betona göre % 11,76 azalttığı böylelikle AK katkılı betonun su emme oranının % 3,75 olduğu,
- En yüksek su emme oranının % 4,28 ile antifriz katkılı betona ait olduğu,
- En düşük su emme oranının % 3,19 ile AK+antifriz katkılı beton türüne ait olduğu, katkısız betona göre katkı kullanımının su emme oranını %24,94 azalttığı belirlenmiştir.

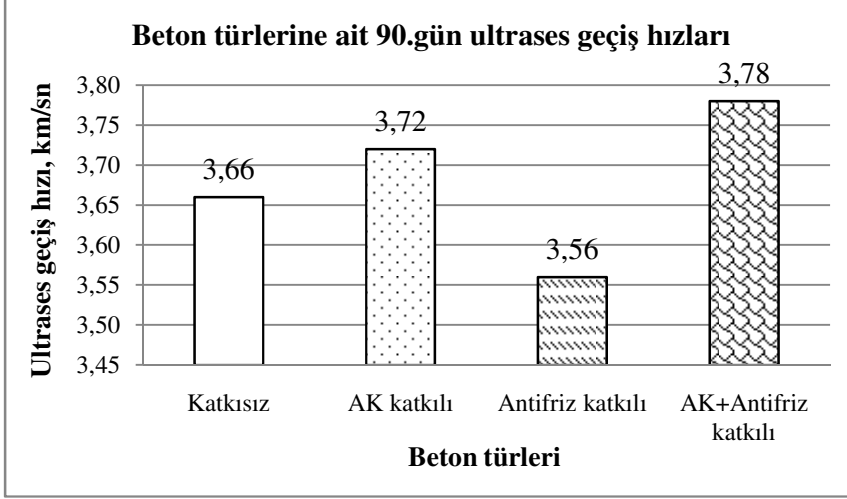


Şekil 4.4. Beton türlerine ait 90. gün su emme oranları

Katkısız ve katkı beton türlerinde 90. günde ölçülen ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde (Şekil 4.5);

- Katkısız betonun ultrases geçiş hızının 3,66 km/sn olduğu,
- AK katkısının katkısız betona göre ultrases geçiş hızını % 1,64 arttırdığı ve 3,72 km/sn olduğu,
- Antifriz katkı betonun en düşük ultrases geçiş hızına sahip olduğu (3,56 km/sn),
- AK ve antifriz katkıların bir arada kullanılması ile ultrases geçiş hızının katkısız betona göre % 1,66 arttığı ve 3,78 km/sn olduğu belirlenmiştir.

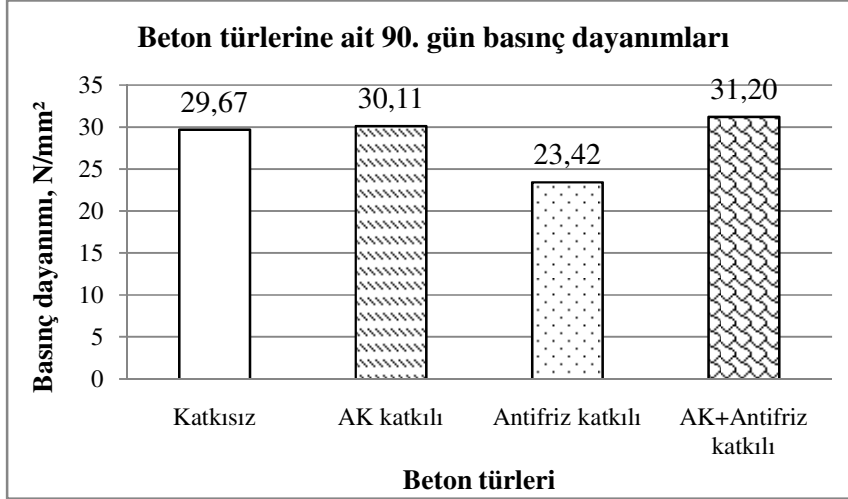
Beton örneklerinin su emme oranları ile ultrases geçiş hızları paralellik göstermektedir.



Şekil 4.5. Beton türlerine ait 90. gün ultrases geçiş hızları

Katkısız ve katkılı beton türlerinin 90. günde 20 °C'de basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 4.6'da görülmektedir. Şekil 4.6. incelendiğinde;

- Katkısız betonun basınç dayanımının 29,67 N/mm² olduğu,
- AK kullanımının basınç dayanımını katkısız betona göre %1,48 artırdığı ve 30,11 N/mm² olduğu,
- AK ve antifriz katkılarının beraber kullanımının basınç dayanımını katkısız betona göre % 5,16 artırdığı ve 31,20 N/mm² (en yüksek basınç dayanımı) olduğu,
- En düşük basınç dayanımının antifriz katkılı betona ait olduğu (23,42 N/mm²), bu değer Katkısız'a göre % 21,07 daha düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Beton türlerine ait 90. gün basınç dayanımları

4.2.1. Katkısız beton

Katkısız beton örneklerinin su emme, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı aritmetik ortalama değerleri sırasıyla Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Katkısız beton su emme oranları

Beton türü kodu	Sıcaklık Faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama su emme, %	Standart sapma
K	20	Hava	15	4,25	0,17
K	20	Su	15	4,25	0,17
K	200	Hava	15	4,22	0,14
K	200	Su	15	4,15	1,13
K	400	Hava	15	4,92	0,49
K	400	Su	15	4,47	0,14
K	550	Hava	15	5,69	0,45
K	550	Su	15	4,48	0,15
K	700	Hava	15	6,64	1,03
K	700	Su	15	5,34	0,32

Çizelge 4.2. Katkısız beton ultrases geçiş hızı değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık faktörü °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama ultrases geçiş hızı, km/sn	Standart sapma
K	20	Hava	15	3,66	0,05

Çizelge 4.2. (devam) Katkısız beton ultrases geçiş hızı değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık faktörü °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama ultrases geçiş hızı, km/sn	Standart sapma
K	20	Su	15	3,66	0,05
K	200	Hava	15	3,63	0,21
K	200	Su	15	3,46	0,23
K	400	Hava	15	2,33	0,08
K	400	Su	15	2,19	0,10
K	550	Su	15	1,48	0,13
K	700	Su	15	1,06	0,20

Çizelge 4.3. Katkısız beton basınç dayanımı değerleri

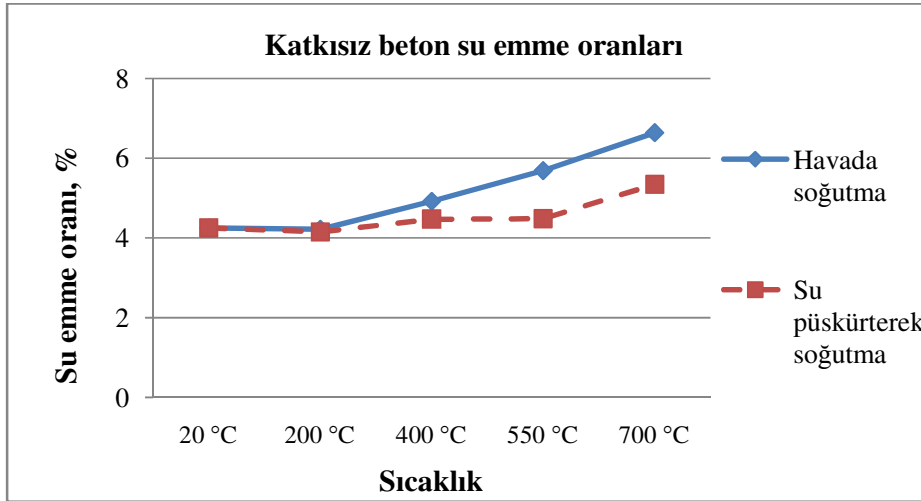
Beton türü kodu	Sıcaklık Faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama basınç dayanımı, N/mm ²	Standart sapma
K	20	Hava	15	29,67	1,64
K	20	Su	15	29,67	1,64
K	200	Hava	15	26,96	3,14
K	200	Su	15	25,76	5,09
K	400	Hava	15	23,23	2,80
K	400	Su	15	21,29	2,47
K	550	Hava	15	11,59	2,42
K	550	Su	15	14,65	1,86
K	700	Hava	15	8,81	3,20
K	700	Su	15	12,52	1,22

Katkısız beton örneklerine ilişkin farklı sıcaklık (200, 400, 550, 700 °C) uygulamaları ve soğutma koşulları (hava/su) sonucunda elde edilen veriler 20 °C sıcaklık verileri esas alınarak dört sıcaklık ve iki soğutma koşulu esas alınarak tartışılmıştır. Su emme oranları Şekil 4.7’de, ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 4.8’de, basınç dayanımı değerleri Şekil 4.9’da verilmiştir.

Katkısız betona ilişkin su emme oranlarının verildiği Şekil 4.7 incelendiğinde;

- 20 °C’de su emme oranının %4,25 olduğu,

- 200 °C’de havada soğutmada su emme oranının %4,22 olduğu, su ile soğutmada ise %4,15 olduğu,
- 200 °C’de havada soğutma su emme oranının 20 °C örneğine göre %0,81 diğer soğutma koşulunda ise %2,33 azaldığı,
- 400, 550 ve 700 °C sıcaklıklarda sıcaklıkla doğru orantılı olarak su emme oranlarının arttığı,
- 400, 550 ve 700 °C sıcaklıklarda havada soğutulan örneklerin su emme oranlarının su püskürtülerek soğutulan örneklere göre daha fazla olduğu,
- 400 °C’de su emme oranlarının hava/su soğutma şartlarında sırasıyla (% 15,68 artış ile) %4,92 ve (% 5,10 artış ile) %4,47 olduğu,
- 550 °C sıcaklık için hava soğutma şartında su emme değerinin (%33,88 artış ile) %5,69 su soğutmasında ise (%5,44 artış ile) %4,48 olduğu,
- 700 °C sıcaklık uygulanan örneklerin hava/su soğutmalarında su emme değerinin sırasıyla %6,64 ve %5,34 olduğu,
- Soğutma şartları arasındaki en az farkın 200 °C’de (hava %4,22-su %4,15), en yüksek farkın ise 700 °C’de (%6,64-%5,34) olduğu belirlenmiştir.

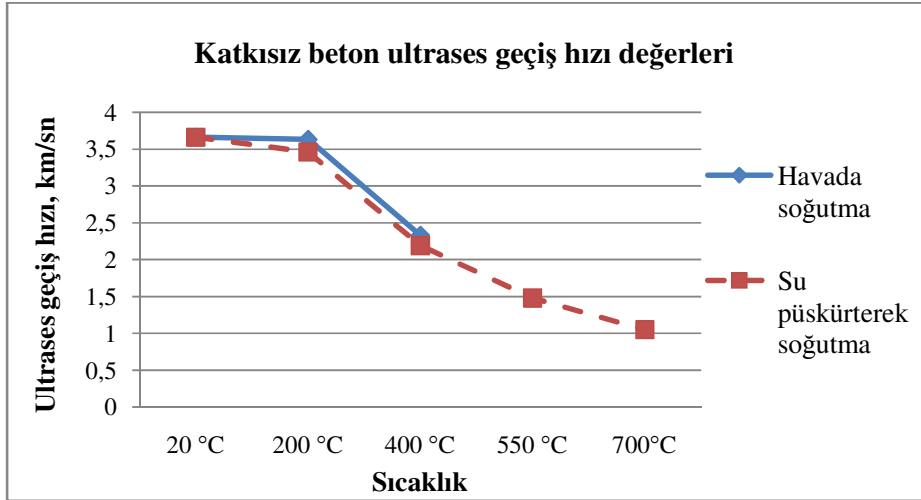


Şekil 4.7. Katkısız beton su emme oranları

Katkısız beton örneklerinin sıcaklık ve soğutma koşulları sonrası ultrases hızı değerlerine göre (Şekil 4.8);

- 20 °C’de ultrases geçiş hızının 3,66 km/sn olduğu,
- 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklıklarda sıcaklık arttıkça her iki soğutma koğulunda da ultrases geçiş hızının azaldığı,
- 200 °C sıcaklık uygulanan ve havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının 3,63 km/sn’ye dştğu,
- 200 °C’de suda soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının 20 °C’ye göre %5,46 azalarak 3,46 km/sn’ye dştğu,
- 400 °C sıcaklık için ultrases geçiş hızının havada/suda sırasıyla % 36,34 ve % 40,16 azalarak 2,33 ve 2,19 km/sn olduğu,
- 200 ve 400 °C sıcaklıklarda havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızı değerlerinin su püskürtülerek yapılan soğutmaya göre daha fazla olduğu (200 °C için 3,63>3,46 ve 400 °C için 2,33>2,19),
- 550 ve 700 °C suda soğutmalarda ultrases geçiş hızı değerlerinin sırasıyla 1,48 ve 1,06 km/sn olduğu

görülmüştür.



Şekil 4.8. Katkısız beton ultrases geçiş hızı değerleri

Katkısız ve katkılı beton türlerinde 550 ve 700 °C sıcaklıklarda havada soğutma uygulanan örneklerin ultrases geçiş hızı ölçülememiŐtir. Bilindiği gibi ultrases geçiş hızı ölçümünde alıcı ve verici uçların uygulandığı yüzeylere ultrasonik jel sürülmektedir. Dolayısıyla, bu jel sayesinde uçlarla beton yüzeyi arasında havaya karşı bir perde oluşmaktadır. 550 ve 700 °C sıcaklıklara maruz kalarak havada soğutulan örneklerde jel sürülmemiŐ yüzeylerden

(silindir çevresi) karşılıklı hava geçişi ya da büyük hava boşluklarının oluşması (Resim 4.1 ve 4.2) nedeniyle ultrases geçiş hızları okunamamıştır. Başka bir deyimle cihaz herhangi bir ölçüm yapmamıştır.



Resim 4.1. 700 °C havada soğutulan örnekte ara yüzeyde çatlak görünümü

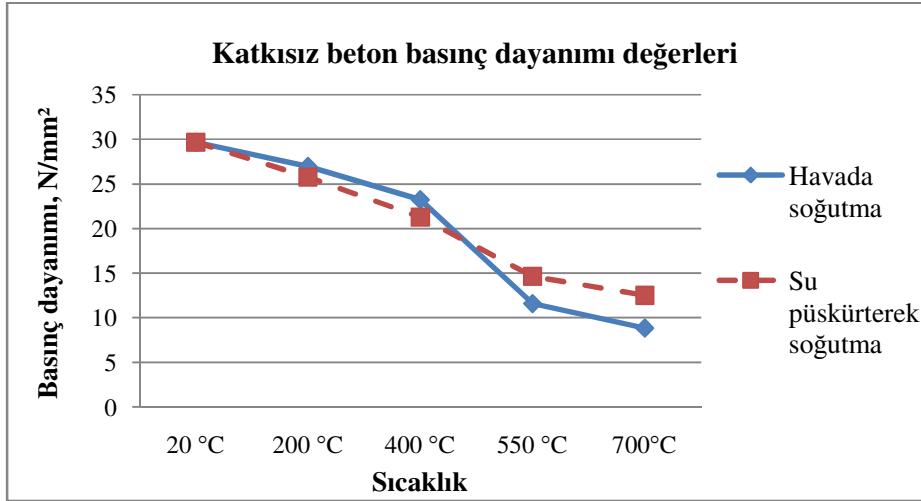


Resim 4.2. 700 °C havada soğutulan örnekte çatlak dağılımları

Katkısız beton örneklerinin 20, 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklıklar ve havada/suda soğutma uygulamaları sonrasında ölçülen basınç dayanımları Şekil 4.9'da verilmiştir. Katkısız beton üzerinde uygulanan yüksek sıcaklık ve farklı soğutma koşulları sonrasında basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre Şekil 4.9 incelendiğinde;

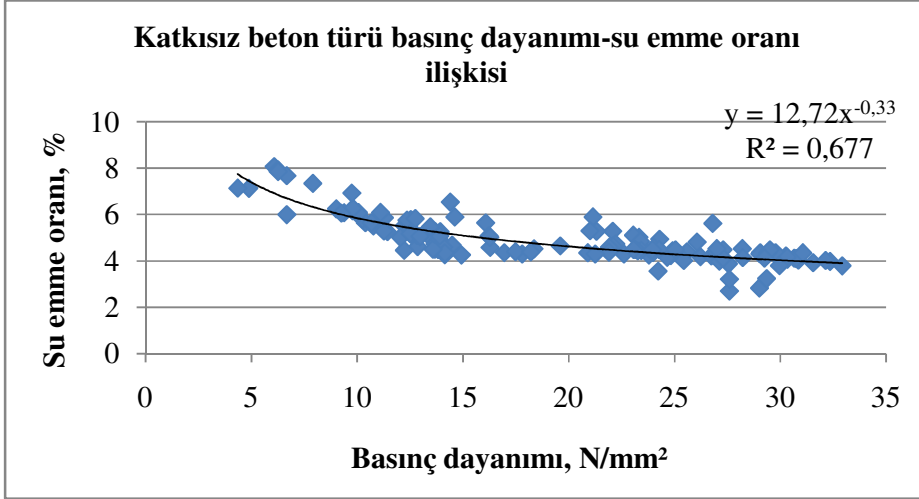
- 20 °C'de basınç dayanımının 29,67 N/mm² olduğu,
- 200, 400, 550 ve 700 °C'lerde sıcaklık arttıkça basınç dayanımının azaldığı,
- 200 °C sıcaklıkta havada soğutma uygulaması ile basınç dayanımının 20 °C 'ye göre % 9,13 azalarak 26,96 N/mm²'ye düştüğü,

- 200 °C’de diğer soğutma koşulunda ise basınç dayanımının Katkısız sıcaklığa göre % 13,18 azalarak 25,76 N/mm²’ye düştüğü,
- 400 °C sıcaklıkta soğutma koşulları arasındaki farkın açıldığı (20 °C’ye göre havada % 21,71 azalma, suda % 28,24 azalma),
- 400 °C havada ve suda soğutma uygulamalarında basınç dayanımlarının sırasıyla 23,23 ve 21,29 N/mm² olduğu,
- 550 °C ve sonrasında kalan dayanımların % 50’nin altında düştüğü (550 °C’de havada basınç dayanımı 20 °C’ye göre % 60,94 suda % 50,62 azaldığı),
- 700 °C’de havada soğutulan örneklerin kalan basınç dayanımının (8,84 N/mm²) su ile soğutulan örneklere (12,52 N/mm²) göre daha az olduğu belirlenmiştir.



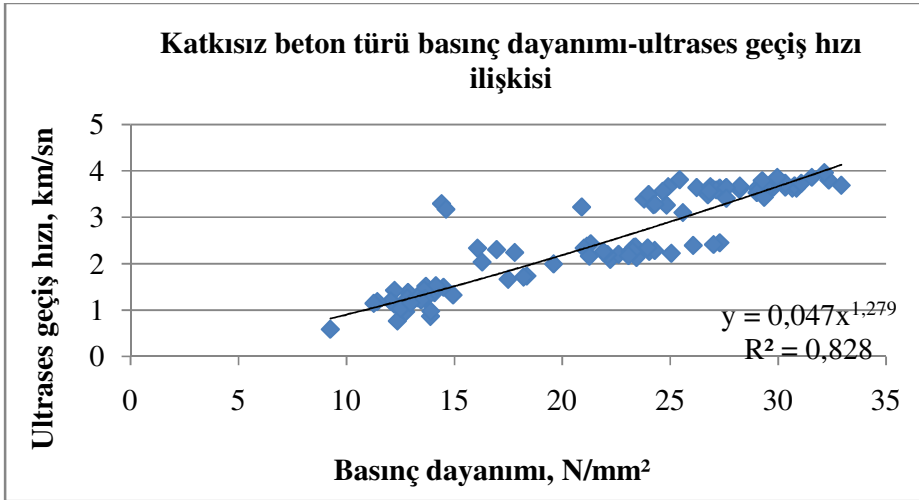
Şekil 4.9. Katkısız beton basınç dayanımı değerleri

Katkısız beton türünden elde edilen sertleşmiş beton deneyleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için tüm sıcaklıkları içeren regresyon analizi sonuçları Şekil 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.10. Katkısız beton basınç dayanımı ve su emme oranı ilişkisi

Şekil 4.10'da görülen regresyon modelinde regresyon katsayısı 0,677 olarak görülmektedir. Şekil 4.11'de basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı ilişkisine ait regresyon katsayısı (R^2) 0,828 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı arasındaki ilişkinin basınç dayanımı ve su emme arasındaki ilişkiden daha kuvvetli olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.11. Katkısız beton türü basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi

4.2.2. Akışkanlaştırıcı katkıli beton

AK katkıli beton örnekleri üzerinde uygulanan sıcaklık ve soğutma şartları sonucu su emme oranı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı aritmetik ortalama değerleri sırasıyla Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.4. AK katkıli beton su emme oranları

Beton türü kodu	Sıcaklık Faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama su emme, %	Standart sapma
A	20	Hava	15	3,75	0,32
A	20	Su	15	3,75	0,32
A	200	Hava	15	3,79	0,39
A	200	Su	15	3,83	0,21
A	400	Hava	15	4,48	0,32
A	400	Su	15	4,03	0,14
A	550	Hava	15	5,07	0,17
A	550	Su	15	4,21	0,33
A	700	Hava	15	6,45	1,64
A	700	Su	15	4,79	0,35

Çizelge 4.5. AK katkıli beton ultrases geçiş hızı değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık Faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama ultrases geçiş hızı, km/sn	Standart sapma
A	20	Hava	15	3,72	0,28
A	20	Su	15	3,72	0,28
A	200	Hava	15	3,39	0,45
A	200	Su	15	3,30	0,21
A	400	Hava	15	2,00	0,18
A	400	Su	15	1,97	0,21
A	550	Su	15	1,42	0,12
A	700	Su	15	1,01	0,19

Çizelge 4.6. AK katkıli beton basınç dayanımı değerleri

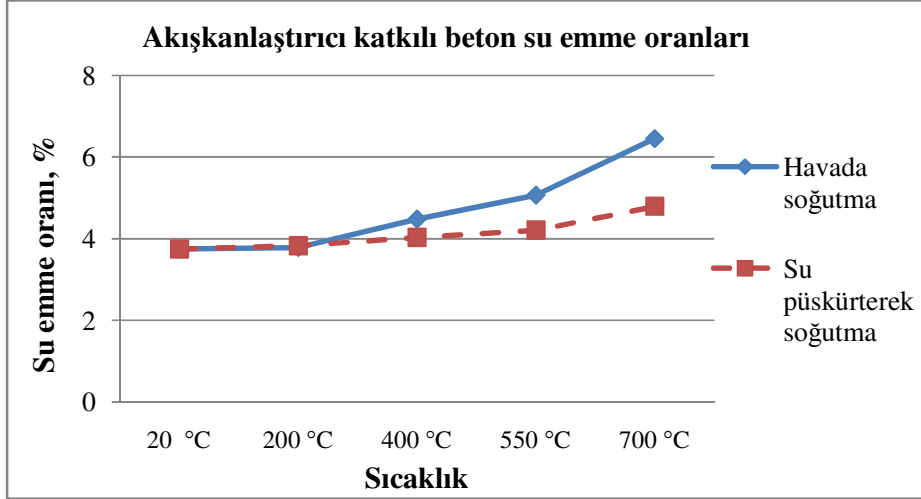
Beton türü kodu	Sıcaklık Faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama basınç dayanımı, N/mm ²	Standart sapma
A	20	H	15	30,11	3,42
A	20	S	15	30,11	3,42

Çizelge 4.6. (devam) AK katkılı beton basınç dayanımı değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık Faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama basınç dayanımı, N/mm ²	Standart sapma
A	200	H	15	27,26	5,48
A	200	S	15	28,67	3,23
A	400	H	15	20,52	3,04
A	400	S	15	19,64	1,99
A	550	H	15	10,57	1,52
A	550	S	15	12,51	1,55
A	700	H	15	8,72	3,01
A	700	S	15	11,72	1,86

AK katkılı beton örnekleri 20, 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklık ve havada/suda soğutma uygulamaları sonrasında elde edilen su emme oranları Şekil 4.12’de incelendiğinde;

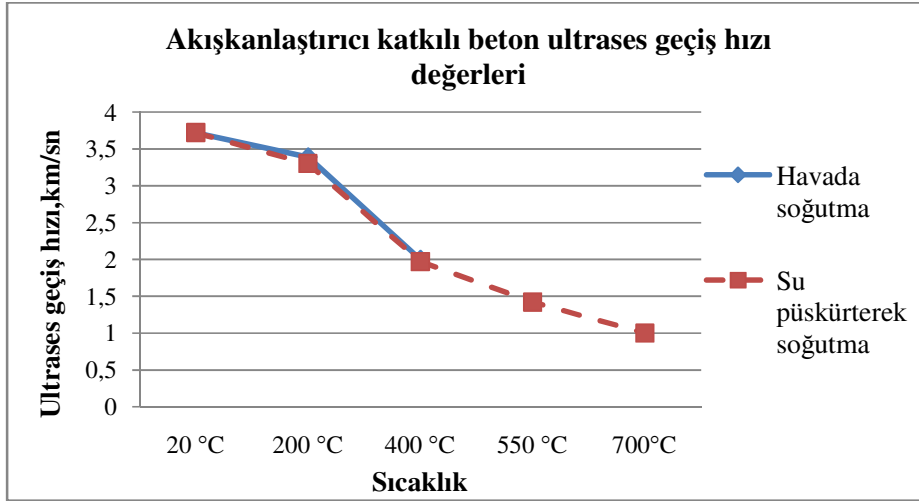
- 20 °C’de su emme oranının %3,75 olduğu,
- 200 °C’de su emme oranının 20 °C’ye göre havada/suda %1,04 ve %2,14 artış ile %3,79 ve %3,83 olduğu,
- 400 °C sıcaklığın 20 °C sıcaklığa göre su emme oranının havada %19,47 ve suda 7,37 oranlarında arttırdığı böylelikle su emme oranlarının sırasıyla %4,48 ve %4,03’e ulaştığı,
- 550 °C’de hava ile soğutmada %5,07 olan su emme oranının diğer soğutma koşulunda %4,21 olduğu, soğutma koşulları arasındaki farkın açıldığı,
- Tepe sıcaklık olan 700 °C’de ise su emme oranının 20 °C’ye göre havada/suda %72 ve %27,71 artarak %6,45 ve %4,79’a ulaştığı görülmüştür.



Şekil 4.12. AK katkıli beton su emme oranları

Farklı sıcaklık ve soğutma uygulamaları gerçekleştirilen AK katkıli beton örnekleri üzerinde yapılan ultrases geçiş hızı deneyi sonucunda Şekil 4.13’de görüldüğü gibi;

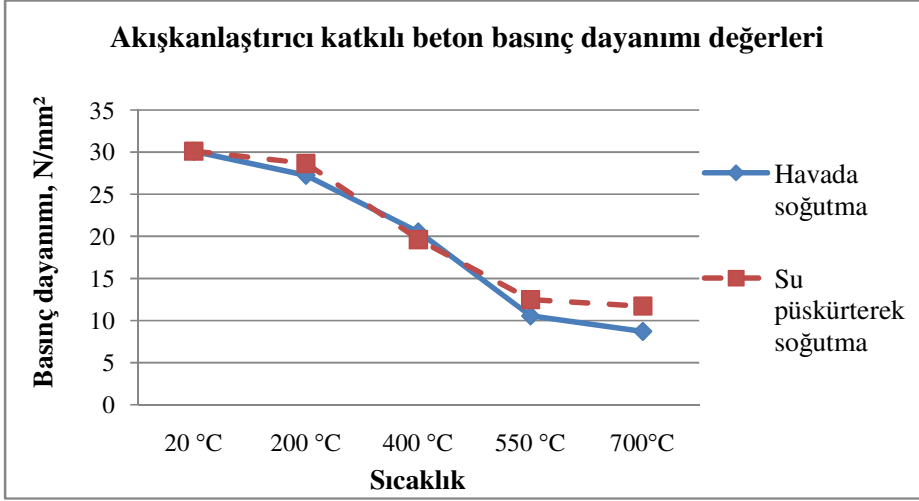
- 20 °C referans sıcaklıkta ultrases geçiş hızınının 3,72 km/sn olduğu,
- 200, 400, 550 ve 700 °C’lerde sıcaklık artışı ile ultrases geçiş hızı değerlerinin havada/suda soğutma uygulamalarında azaldığı,
- 200 °C havada soğutma uygulaması ile ultrases geçiş hızınının referans sıcaklığa göre % 8,87 azalarak 3,39’e düştüğü, su ile soğutma uygulamasında ise % 11,29 azalarak ultrases geçiş hızınının 3,30 km/sn olduğu,
- 400 °C’de havada soğutulan örneklerin ultrases hızınının 2,00 km/sn; su püskürtülerek soğutulan örneklerin ise 1,97 km/sn olduğu, 20 °C’ye göre ultrases geçiş hızındaki azalmaların havada ve suda sırasıyla % 46,24 ve 47,04 olduğu,
- 550 ve 700 °C’lerde çatlak yapısından kaynaklı havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızınının okunamadığı,
- 550 °C suda soğutulan örneklerde ultrases geçiş hızınının referans sıcaklığa göre % 61,83 azalarak 1,42 m/sn; 700 °C’de ise % 73,12 azalarak 1,01 olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.13. AK katkıli beton ultrases geçiş hızı değerleri

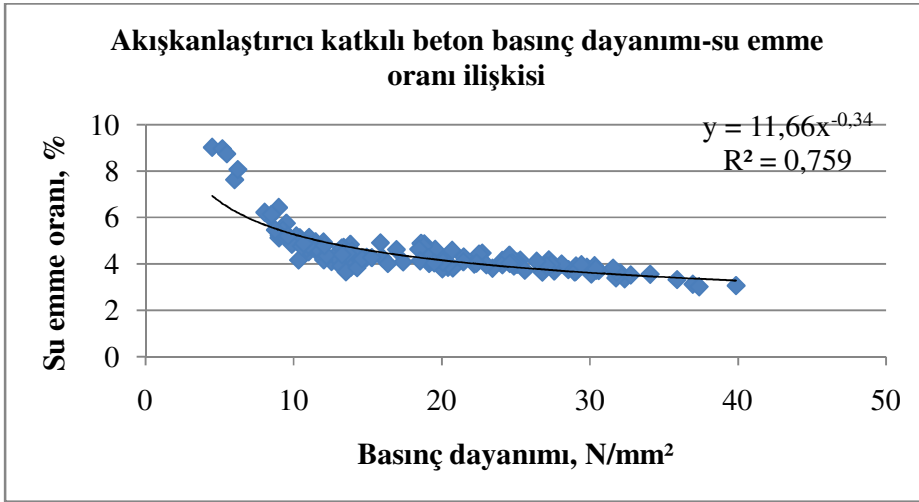
AK katkıli beton örneklerinin yüksek sıcaklık ve havada/suda soğutma sonrası basınç dayanımı deneylerinden elde edilen değerlerinin Şekil 4.14'te görüldüğü üzere;

- 20 °C referans sıcaklık için basınç dayanımının 30,11 N/mm² olduğu,
 - Artan sıcaklıklar ile her iki soğutma şartında basınç dayanımı değerlerinin azaldığı,
 - 200 °C'de havada soğutulan örneklerin basınç dayanımının 27,26 su ile soğutulanların ise 28,67 N/mm² olduğu,
 - 200 °C'de havada/suda basınç dayanımlarının 20 °C'ye göre sırasıyla % 9,47 ve % 4,78 azaldığı böylelikle soğutma koşulları arasındaki farkın % 4,69 olduğu,
 - 400 °C sıcaklık uygulanmış havada soğutulan örneklerin basınç dayanımının 20,52 diğer soğutma koşulundaki örneklerin ise 19,64 N/mm² olduğu, soğutma koşulları arasındaki farkın (20 °C'ye göre havada % 31,85 azalma, suda % 34,75 azalma) % 2,90 olduğu,
 - 550 ve 700 °C sıcaklıklarda havada soğutulan örneklerin basınç dayanımlarının (sırasıyla 10,52 ve 8,72 N/mm²) diğer soğutma koşuluna göre (sırasıyla 12,51 ve 11,72 N/mm²) daha az olduğu,
 - 550 °C'de referans sıcaklığa göre basınç dayanımındaki azalmanın havada/suda (%64,93/%58,45)soğutma uygulamalarında % 50'nin üzerinde olduğu,
 - 700 °C'de referans sıcaklığa göre basınç dayanımındaki azalmanın havada/suda (%71,07/%61,04)soğutma uygulamalarında % 60'ın üzerinde olduğu
- elde edilen bulgular arasındadır.

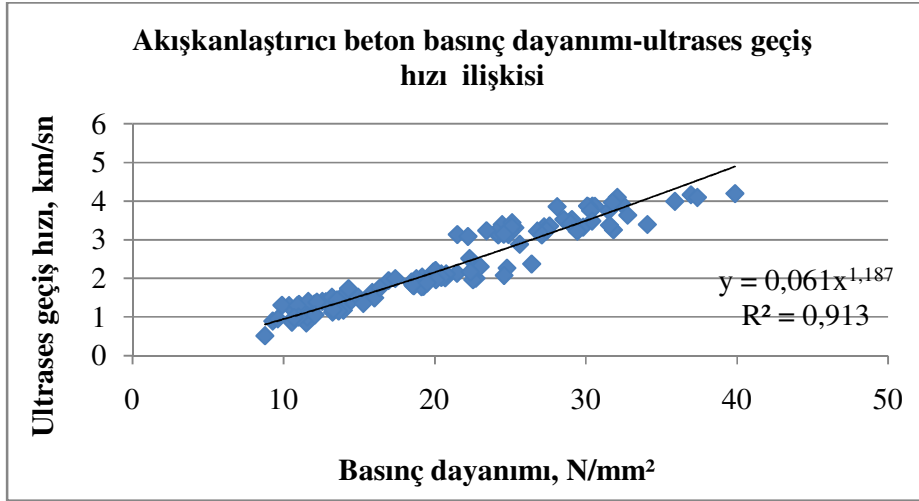


Şekil 4.14. AK katkıli beton basınç dayanımı değerleri

AK katkıli beton türüne ait sertleşmiş beton deneylerinden elde edilen regresyon analizi şekil 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.15. Akışkanlaştırıcı katkıli beton basınç dayanımı ve su emme oranı ilişkisi



Şekil 4.16. Akışkanlaştırıcı katkıli beton basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi

AK katkıli beton türünden elde edilen basınç dayanımı-su emme oranı R^2 katsayısının (0,759) basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı R^2 katsayısından (0,913) düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı arasındaki ilişkinin basınç dayanımı-su emme ilişkisinden daha kuvvetli olduğunu göstermektedir.

4.2.3. Antifriz katkıli beton

Sıcaklık ve soğutma koşullarının etkisinin belirlenmesi amacıyla antifriz katkıli beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen su emme, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneylerinden elde edilen aritmetik ortalama değerleri sırasıyla Çizelge 4.7, 4.8 ve 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Antifriz katkıli beton su emme oranları

Beton türü kodu	Sıcaklık faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama su emme, %	Standart sapma
F	20	Hava	15	4,28	0,41
F	20	Su	15	4,28	0,41
F	200	Hava	15	4,08	0,26
F	200	Su	15	3,97	0,19
F	400	Hava	15	4,45	0,18
F	400	Su	15	4,30	0,22

Çizelge 4.7. (devam) Antifriz katkılı beton su emme değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama su emme, %	Standart sapma
F	550	Hava	15	5,68	0,25
F	550	Su	15	4,92	0,24
F	700	Hava	15	6,22	1,10
F	700	Su	15	5,37	0,73

Çizelge 4.8. Antifriz katkılı beton ultrases geçiş hızı değerleri

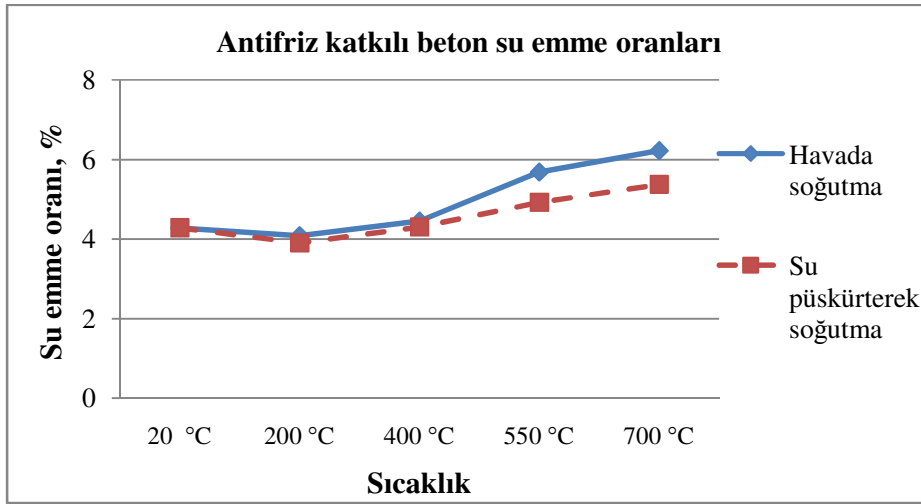
Beton türü faktörü	Sıcaklık faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama ultrases geçiş hızı, km/sn	Standart sapma
F	20	Hava	15	3,56	0,32
F	20	Su	15	3,56	0,32
F	200	Hava	15	3,44	0,26
F	200	Su	15	3,27	0,20
F	400	Hava	15	1,77	0,19
F	400	Su	15	1,92	0,17
F	550	Su	15	1,32	0,09
F	700	Su	15	1,25	0,25

Çizelge 4.9. Antifriz katkılı beton basınç dayanımı değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama basınç dayanımı, N/mm ²	Standart sapma
F	20	Hava	15	23,42	3,17
F	20	Su	15	23,42	3,17
F	200	Hava	15	25,68	2,79
F	200	Su	15	24,97	2,51
F	400	Hava	15	17,12	2,06
F	400	Su	15	16,40	1,98
F	550	Hava	15	13,40	2,90
F	550	Su	15	13,65	1,90
F	700	Hava	15	6,44	2,28
F	700	Su	15	10,42	1,71

Kış şartlarında tercih edilen antifriz katkısı kullanılarak üretilen beton örneklerine ait su emme oranları Şekil 4.17’de verilmiştir. İlgili şekil incelendiğinde;

- Referans sıcaklık olan 20 °C’de örneklerin su emme oranının %4,28 olduğu,
- 200 °C’de su emme oranlarında referans sıcaklığa göre (havada %4,77 suda %7,15) azalma meydana geldiği,
- 400 °C’de su emme oranlarının havada/suda %4,45 ve %4,30 olduğu,
- 550 °C’de havada soğutulan örneklerin su emme oranının (%5,68) su ile soğutmaya (%4,92) göre daha fazla olduğu,
- 700 °C sıcaklıkta 20 °C’ye göre su emme oranlarının havada % 45,33 suda ise %25,55 arttığı; su emme değerlerinin %6,22 ve %5,37 olduğu belirlenmiştir.

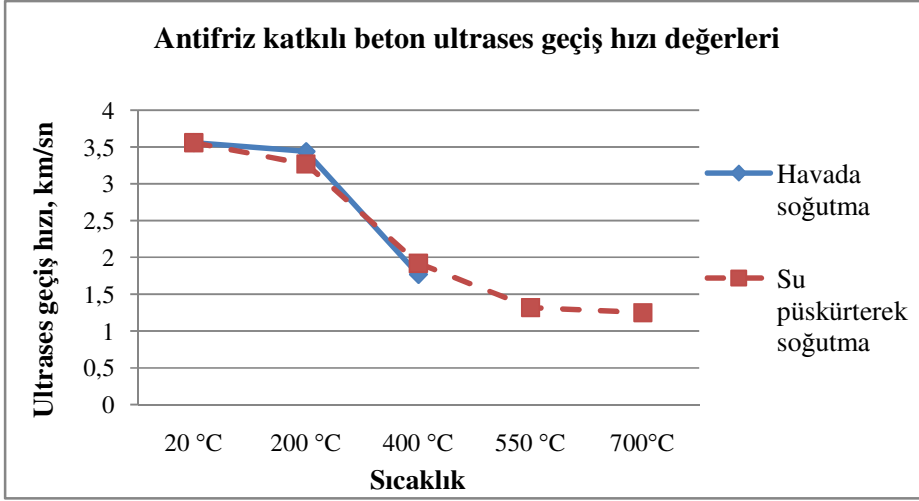


Şekil 4.17. Antifriz katkılı beton su emme oranları

Diğer taraftan Şekil 4.18’te farklı sıcaklıklar ve soğutma koşulları uygulanan antifriz katkılı beton örneklerinin ultrases geçiş hızı değerleri verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre;

- 20 °C’de ultrases geçiş hızının 3,56 m/sn olduğu,
- Sıcaklık arttıkça her iki soğutma şartında da ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı,
- 200 °C’de havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının 20 °C’de ölçülen ultrases geçiş hızına göre % 3,37 azalarak 3,44 km/sn olduğu,
- Su püskürtülerek soğutulan örneklerde ise referans sıcaklığa göre azalmanın % 8,15 ile ultrases geçiş hızının 3,27 km/sn’ye düştüğü,

- 200 °C’de havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızı daha yüksek iken (havada 3,44>suda 3,27); 400 °C’de bu durumun tersinin oluştuğu (havada 1,77<suda 1,92),
- 400 °C’de ultrases geçiş hızı değerlerinde 20 °C’ye göre havada %50,28 suda %46,07’lik bir düşüş meydana geldiği,
- 400 °C’de ultrases geçiş hızları değerlerinin havada 1,77 km/sn, suda 1,92 km/sn olduğu,
- 550 ve 700 °C sıcaklıklarda suda soğutulan örneklerin sırasıyla referans sıcaklığa göre ultrases geçiş hızlarının % 62,92 ve %64,89 azalarak 1,32 ve 1,25 km/sn’ye düştüğü görülmüştür.

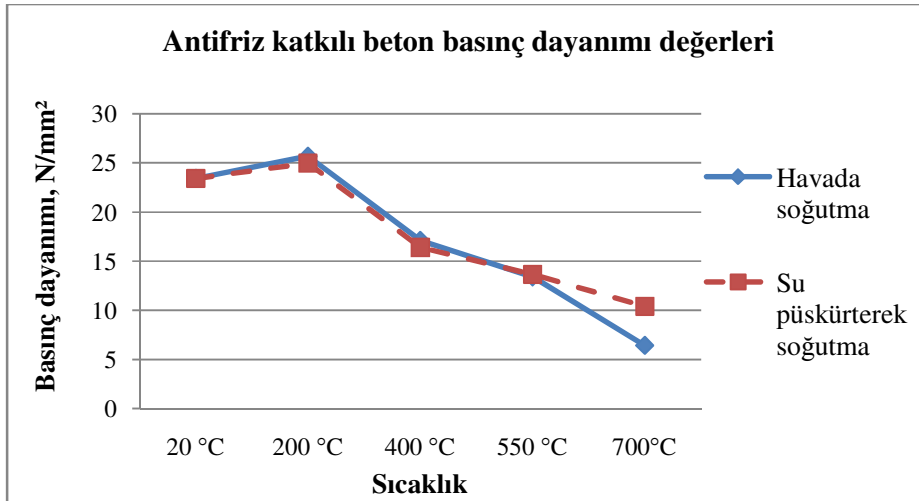


Şekil 4.18. Antifriz katkılı beton ultrases geçiş hızı değerleri

Antifriz katkılı beton örnekleri üzerinde beş farklı sıcaklık ve iki soğutma koşulunda elde edilen basınç dayanımı değerleri incelendiğinde (Şekil 4.19);

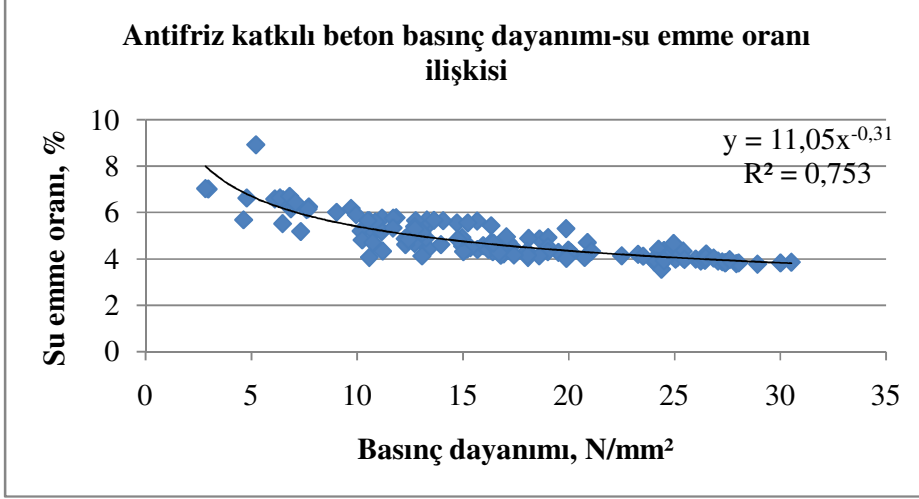
- 20 °C’de beton örneklerinin basınç dayanımının 23,42 N/mm² olduğu,
- 200 °C’de ölçülen basınç dayanımında referans sıcaklığa (20 °C) göre % 9,61 (hava ile soğutma) ve % 6,62 (su ile soğutma) artış olduğu,
- Bu artış ile basınç dayanımlarının havada 25,68 N/mm² suda 24,97 N/mm² olarak ölçüldüğü,
- 400, 550 ve 700 °C sıcaklıklarda sıcaklık artışı ile basınç dayanımında her iki soğutma şartında da azalma meydana geldiği,

- 400 °C’de havada soğutulan örneklerin basınç dayanımının 17,12 N/mm² diğer soğutma uygulamasındaki örneklerin ise 16,40 N/mm² olduğu,
- 400 °C soğutma şartları arasındaki farkın %3,03 (Referans sıcaklığa göre havada %26,94 azalma, suda %29,97 azalma) olduğu ve havada soğutulan örneklerin basınç dayanımının daha yüksek olduğu,
- 550 °C’de soğutma şartları arasındaki farkın %1,02 olduğu (Referans sıcaklığa göre havada %42,74 azalma, suda %41,72 azalma),
- 550 °C’de havada soğutulan örneklerin diğer soğutma şartına göre basınç dayanımının daha düşük (havada 13,40 N/mm²<suda 13,65 N/mm²) olduğu,
- Soğutma şartlarının 400 ve 550 °C’lerdeki basınç dayanımlarında birbirine yakın sonuç verdiği,
- 700 °C’de soğutma şartları arasındaki farkın açıldığı havada soğutulanların referans sıcaklığa göre basınç dayanımının %72,50 azaldığı, suda soğutulanların ise % 55,51 azaldığı,
- Havada soğutulan örneklerin su ile soğutulanlara göre daha düşük basınç dayanımına (6,44 N/mm²<10,42 N/mm²) sahip olduğu görülmüştür.

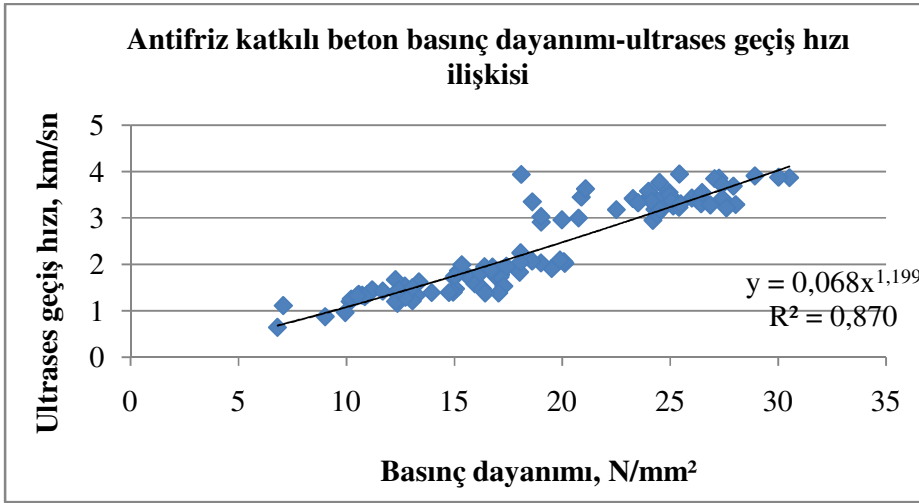


Şekil 4.19. Antifriz katkılı beton basınç dayanımı değerleri

Antifriz katkılı beton örneklerine ait deney sonuçlarının birbiriyle olan ilişkisi şekil 4.20 ve 4.21’de regresyon analizi ile verilmiştir.



Şekil 4.20. Antifriz katkılı beton basınç dayanımı ve su emme oranı ilişkisi



Şekil 4.21. Antifriz katkılı beton basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi

Şekil 4.20 ve 4.21 incelendiğinde basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı arasındaki ilişkinin ($R^2 = 0,870$) basınç dayanımı-su emme oranı arasındaki ilişkidir ($R^2 = 0,753$) daha kuvvetli olduğu görülmüştür.

4.2.4. Akışkanlaştırıcı ve antifriz katkılı beton

AK ve antifriz katkılarının birlikte kullanılmasıyla üretilen beton örneklerinin sıcaklık ve soğutma uygulamaları sonrası su emme, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımına ilişkin aritmetik ortalama değerleri sırasıyla Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. AK+antifriz katkılı beton su emme değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama su emme, %	Standart sapma
AF	20	Hava	15	3,55	0,27
AF	20	Su	15	3,55	0,27
AF	200	Hava	15	3,72	0,22
AF	200	Su	15	3,63	0,25
AF	400	Hava	15	4,15	0,28
AF	400	Su	15	4,12	0,22
AF	550	Hava	15	5,08	0,37
AF	550	Su	15	4,46	0,40
AF	700	Hava	15	5,49	0,46
AF	700	Su	15	4,90	0,82

Çizelge 4.11. AK+antifriz katkılı beton ultrases geçiş hızı değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama ultrases geçiş hızı, km/sn	Standart sapma
AF	20	Hava	15	3,78	0,21
AF	20	Su	15	3,78	0,21
AF	200	Hava	15	3,45	0,21
AF	200	Su	15	3,41	0,22
AF	400	Hava	15	2,15	0,14
AF	400	Su	15	2,03	0,18
AF	550	Su	15	1,32	0,19
AF	700	Su	15	1,02	0,20

Çizelge 4.12. AK+antifriz katkılı beton basınç dayanımı değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama basınç dayanımı, N/mm ²	Standart sapma
AF	20	Hava	15	31,21	2,68
AF	20	Su	15	31,21	2,68
AF	200	Hava	15	30,09	1,93
AF	200	Su	15	29,51	2,53
AF	400	Hava	15	20,95	1,67
AF	400	Su	15	19,65	2,30
AF	550	Hava	15	10,33	1,13

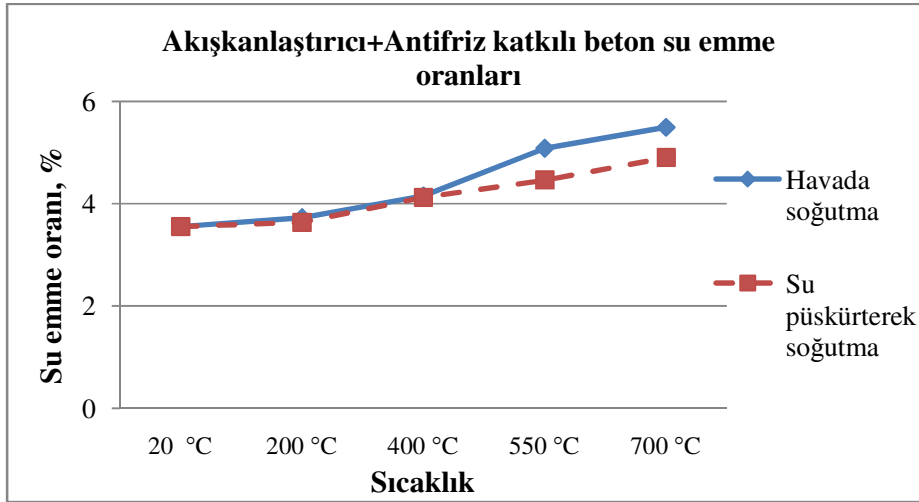
Çizelge 4.12. (devam) AK+antifriz katkıli beton basınç dayanımı değerleri

Beton türü kodu	Sıcaklık faktörü, °C	Soğutma faktörü	Örnek sayısı	Ortalama basınç dayanımı, N/mm ²	Standart sapma
AF	550	Su	15	12,58	1,28
AF	700	Hava	15	7,98	2,08
AF	700	Su	15	10,69	2,21

AK+antifriz katkıli beton örneklerinin 20, 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklık ve havada/suda soğutma uygulamaları sonucunda ölçülen su emme oranları Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.22 incelendiğinde;

- 20 °C laboratuvar koşullarında su emme oranının %3,55 olduğu,
- 200 °C sıcaklıkta havada/suda su emme oranlarının %3,72 ve %3,63 olduğu (20 °C’ye göre 4,92 ve 2,20 oranlarında artış meydana geldiği),
- 400 °C’de havada %4,15 ve suda %4,12 ile soğutma koşullarının birbirine çok yakın sonuç verdiği,
- 550 °C sıcaklıkta soğutma koşulları arasındaki farkın açıldığı (havada %5,08 suda %4,46),
- 700 °C’de su emme oranlarının 20 °C’ye göre (havada/suda) % 54,55 ve 38,13 oranlarında artarak %5,49 ve %4,90 olduğu

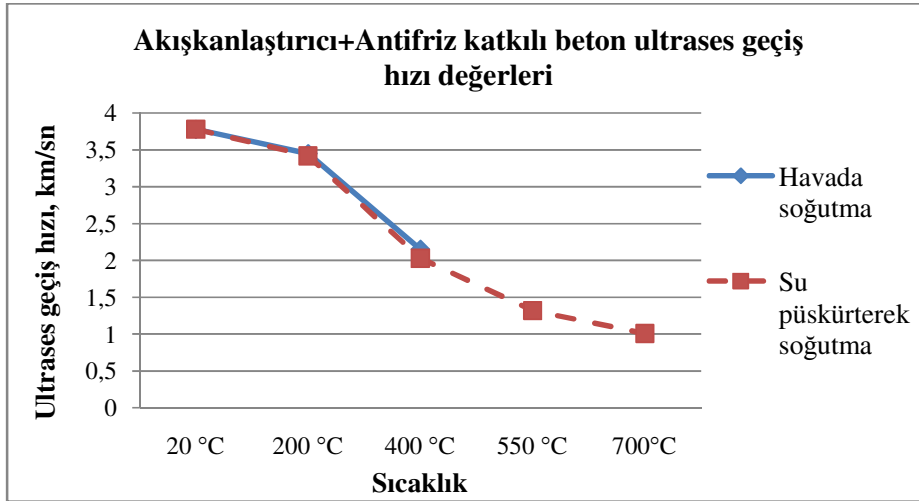
belirlenmiştir.



Şekil 4.22. AK+antifriz katkıli beton su emme oranları

Farklı sıcaklık ve soğutma koşulları sonucu AK+antifriz katkılı beton örneklerinde ultrases geçiş hızı değerlerinin Şekil 4.23'e göre;

- 20 °C'de 3,66 km/sn olduğu,
- Sıcaklık artışı ile ultrases geçiş hızının havada/suda soğutma koşullarında azaldığı,
- 200 °C'de ultrases geçiş hızının 20 °C'deki referans örneklere göre havada % 8,73 ve suda %9,52 oranlarında azaldığı, bu azalma ile ultrases geçiş hızının havada 3,45 suda 3,41'e düştüğü,
- 400 °C'de örneklerin ultrases geçiş hızının referansa göre (havada/suda) %43,12 ve % 46,30 azaldığı,
- 400 °C'de havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının 2,15 km/sn, su ile soğutulan örneklerinki ise 2,03 km/sn'den fazla olduğu,
- 200 ve 400 °C sıcaklıklarda havada soğutmanın su ile soğutmaya göre ultrases geçiş hızında daha iyi sonuç verdiği,
- 550 °C'de ultrases geçiş hızının havada soğutulan örneklerde 20 °C'ye göre % 65,08 azaldığı,
- 700 °C'de bu oranın % 73,28'e ulaştığı,
- 550 ve 700 °C'lerde ultrases geçiş hızı değerlerinin 1,32 km/sn ve 1,02 km/sn olduğu görülmüştür.

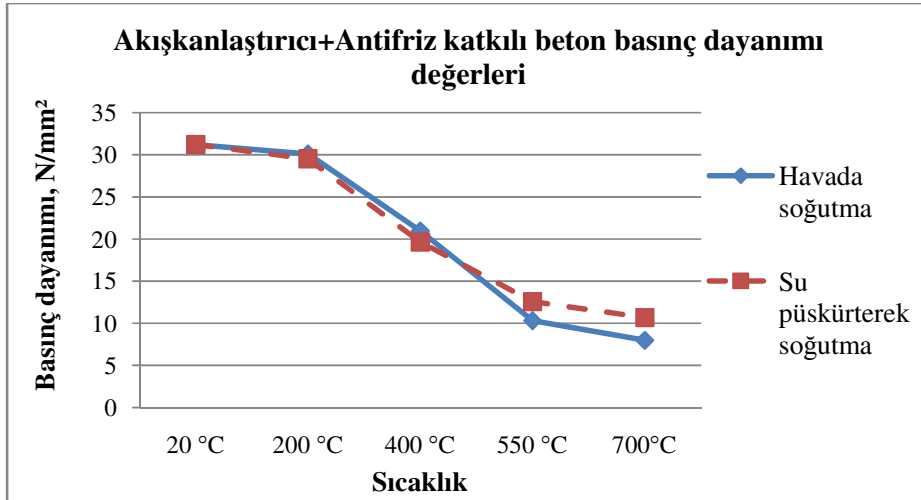


Şekil 4.23. AK+antifriz katkılı beton ultrases geçiş hızı değerleri

Diğer taraftan, basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilen AK+antifriz katkıli beton örneklerine ait değerler incelendiğinde (Şekil 4.24);

- 20 °C’de basınç dayanımının 31,21 N/mm² olduğu,
- 200 °C’de sıcaklık uygulamasında havada soğutulan örneklerin basınç dayanımının 20 °C’deki referans örneğe göre %3,54 azaldığı, sudakilerin ise % 5,39 azaldığı,
- 200 °C’de basınç dayanımının havada/suda sırasıyla 30,09 N/mm² ve 29,51 N/mm² olduğu,
- 400 °C sıcaklık için havada/suda örneklerin basınç dayanımlarının sırasıyla referans sıcaklığa göre % 32,84 ve % 37,02 azalma ile 20,95 N/mm² ve 19,65 N/mm² olduğu,
- 200 ve 400 °C sıcaklıklarda havada soğutulanların diğer soğutma şartına göre basınç dayanımın daha fazla olduğu,
- 550 ve 700 °C’lerde ise bu durumun tersine döndüğü,
- 550 °C’de havada 10,33 N/mm²<suda 12,58 N/mm² olduğu,
- 700 °C’de havada/suda basınç dayanımının sırasıyla 7,98 N/mm² ve 10,69 N/mm²’ye kadar düştüğü

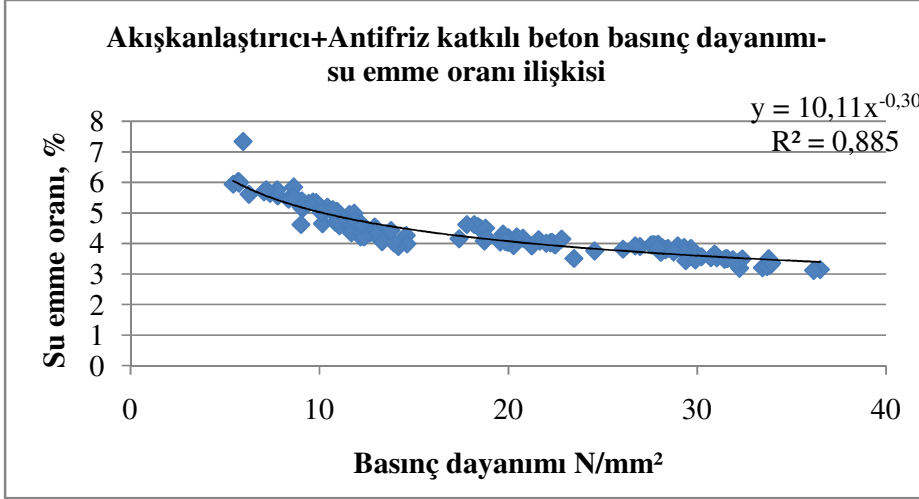
belirlenmiştir.



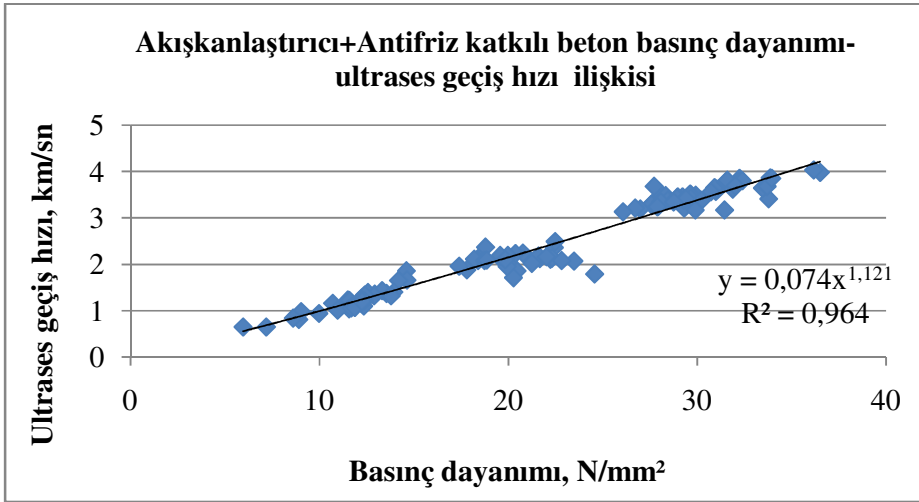
Şekil 4.24. AK+antifriz beton türü basınç dayanımını değerleri

AK+antifriz katkıli beton örnekleri üzerinde gerçekleştirilen deneysel veriler arasındaki ilişki Şekil 4.25 ve 4.26’da regresyon katsayıları ile verilmiştir. Basınç dayanımı-ultrases

geçiş hızı R^2 katsayısının (0,964) basınç dayanımı-su emme oranı R^2 (0,885) katsayısından büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.25. AK+antifriz katkılı beton basınç dayanımı ve su emme oranı ilişkisi



Şekil 4.26. AK+antifriz katkılı beton basınç dayanımı-ultras ses geçiş hızı ilişkisi

4.3. Su Emme Oranı'na İlişkin Bulgular ve Tartışma

Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı, AK+antifriz katkılı beton örneklerinin sıcaklık farkının beş faktörü (20, 200, 400, 550 ve 700 °C) ve iki soğuma faktörü (hava/su) gerçekleştirilen değerlerde tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucuna göre, su emme değeri verilerinin beton tür*sıcaklık koşulu, beton türü*soğutma türü, sıcaklık*soğutma

türü değişimlerinden kaynaklanan farklılıklarının $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde istatistikî açıdan önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Su emme oranlarına ait açıklayıcı varyans sonuçları

	<i>Kareler toplamı</i>	<i>Serbestlik derecesi</i>	<i>Kareler ortalaması</i>	<i>F</i>	<i>Anlamlılık düzeyi (p)</i>
Beton tür	33,64	3	11,21	43,03	0,000000
Sıcaklık	258,36	4	64,59	247,88	0,000000
Soğutma türü	31,38	1	31,38	120,44	0,000000
Beton türü*sıcaklık	6,39	12	0,53	2,04	0,018940
Beton türü*Soğutma türü	3,11	3	1,04	3,98	0,007995
Sıcaklık* Soğutma türü	29,47	4	7,37	28,28	0,000000
Beton türü*Sıcaklık* Soğutma türü	4,56	12	0,38	1,46	0,136221

Su emme oranı verilerinin varyansla tartışılmasında grupların hangilerinin birbirinden farklı olduğunun görülmesi için çoklu karşılaştırma çözümlemesi yapılarak gruplar arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir. Beton türlerine ait farklı koşullarda Duncan testi sonuçları Çizelge 4.14, 4.15 ve 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.14. Beton türü ve soğutma türü koşullarında su emme oranlarına ait Duncan testi sonuçları

<i>Beton türü</i>	<i>Soğutma türü</i>	<i>Ortalama Su emme, %</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
A	Su	4,122067			*		
AF	Su	4,133639			*		
AF	Hava	4,397380	*				
K	Su	4,538000	*	*			
F	Su	4,567600	*	*			
A	Hava	4,707960		*			
F	Hava	4,941733				*	
K	Hava	5,143867					*

Beton türü: K: Katkısız, A: Akışkanlaştırıcı katkı, F: Antifriz katkı, AF: AK+antifriz katkı
*Birbiri ile aynı gruplar

Çizelge 4.16. (devam) Beton türü ve sıcaklık koşullarında su emme oranlarına ait Duncan testi sonuçları

Beton türü	Sıcaklık koşulu, °C	Ortalama Su emme, %	1	2	3	4	5	6	7	8
F	700	5,797000							*	*
K	700	5,988000								*

Beton türü: K: Katkısız, A: Akışkanlaştırıcı katkı, F: Antifriz katkı, AF: AK+antifriz katkı

*Birbiri ile aynı gruplar

Sıcaklık şartı ayrımı olmaksızın beton türü ve soğutma seviyeleri arasında gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre (Çizelge 4.15);

- Katkısız beton türünde soğutma şartları arasında fark olduğu,
- Katkılı beton türlerinin de soğutma şartlarının su emme değeri açısından birbirinden farklı olduğu,
- Katkısız betonun suda soğutulan örnekleri ile antifriz katkıli betonun suda soğutulan örnekleri arasında fark olmadığı,
- AK katkıli beton ve AK+antifriz katkıli beton örneklerinin suda soğutulanları arasında fark olmadığı

belirlenmiştir.

Sıcaklık ve soğutma seviyelerine göre su emme değerleri Çizelge 4.16'da incelendiğinde;

- 20 ve 200 °C sıcaklıklarda hava ve suda soğutma arasında fark olmadığı,
- 400 °C hava ve su soğutmalarının birbirinden farklı olduğu,
- 400 °C havada soğutulan örneklerin 550 °C suda soğutulan örneklerden farklı olmadığı,
- 700 °C soğutma şartlarının birbirinden farklı olduğu

görülmüştür.

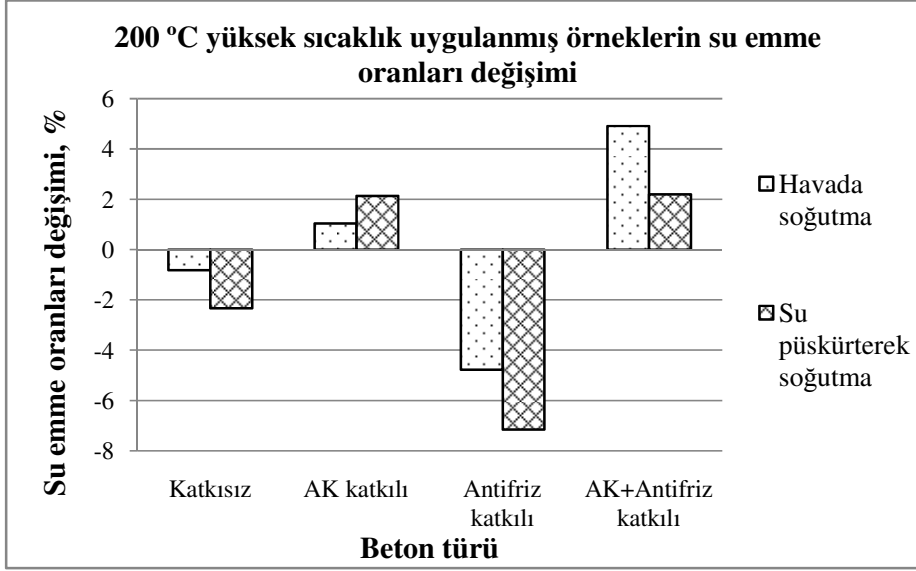
Beton türü ve sıcaklık seviyeleri arasında gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre su emme oranı bakımından (Çizelge 4.17);

- Katkısız beton 20 °C ve 200 °C sıcaklıklar arasında fark olmadığı,

- AK katkılı beton 20 ve 200 °C, AK+antifriz katkılı beton 20 ve 200 °C'ler arasında fark olmadığı,
- Ancak katkısız betonun 20 ve 200 °C sıcaklıklardan farklı olduğu,
- AK katkılı ve antifriz katkılı betonların 200 °C sıcaklıkları arasında fark olmadığı,
- AK katkılı beton 550 °C, katkısız beton 400 °C ve antifriz katkılı beton 550 °C arasında fark olmadığı,
- AK katkılı beton 700 °C ve antifriz katkılı beton 700 °C arasında fark olmadığı, ancak diğerlerinden farklı olduğu,
- Antifriz katkılı beton 700 °C ve katkısız beton 700 °C arasında fark olmadığı belirlenmiştir.

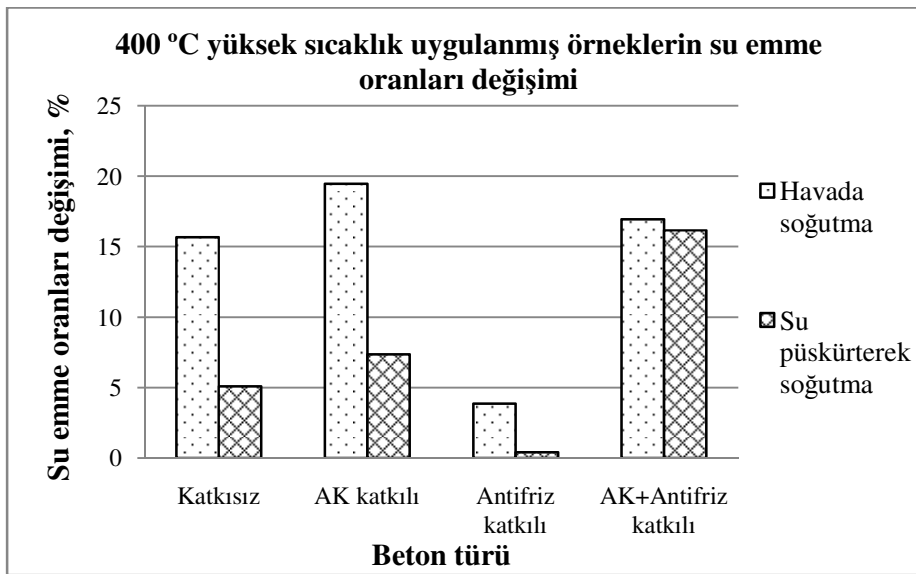
Laboratuvar ortamında bekletilen 20 °C örnekleri üzerinde su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Referans sıcaklıkta su emme değerleri bilinen beton örneklerinde 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklıklar ve soğutma koşulları uygulandıktan sonra su emme deneyi tekrarlanmıştır. 20 °C'de bekletilen örneklerin su emme oranları ve sıcaklık/soğutma koşulları sonrası su emme oranları kullanılarak, su emme oranlarındaki değişim miktarları hesaplanmıştır. Beton türlerine ait 200 °C su emme oranları değişimleri Şekil 4.27'de, 400 °C Şekil 4.28'de, 550 °C Şekil 4.29'da ve 700 °C Şekil 4.30'da verilmiştir.

Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı ve AK+antifriz katkılı beton türleri üzerinde 200 °C sıcaklığın ve soğutma uygulamalarının su emme oranları üzerindeki etkisi incelendiğinde (Şekil 4.27); katkısız ve antifriz katkılı betonda su emme oranlarının azaldığı, AK ve AK+antifriz katkılı beton türlerinde ise su emme oranlarının arttığı görülmüştür



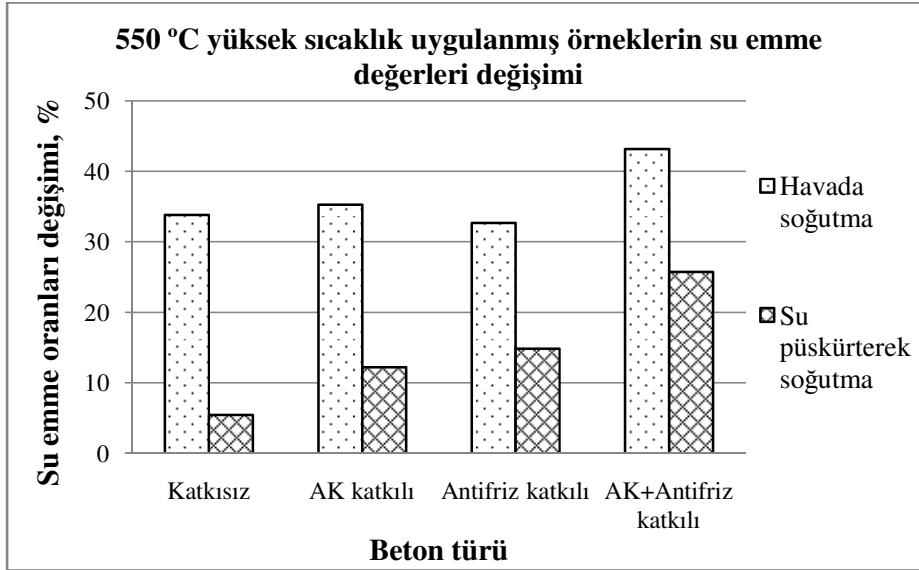
Şekil 4.27. 200 °C sıcaklık uygulanmış örneklerin su emme oranları değişimi

Beton türlerinin tamamında 400 °C'de su emme oranlarındaki değişim artış şeklinde meydana gelmiştir (Şekil 4.28). Havada soğutma yapılan beton türlerinin bu sıcaklıktan daha çok etkilendiği görülmektedir. AK katkılı betonda havada soğutulan örneklerin ortalama su emme oranları değişimi % 19,47'dir. Soğutma şartları arasında farkı en az olan beton türü AK+antifriz katkılı betondur. Bu sıcaklıktan en az etkilenen beton türü ise antifriz katkılı betondur.



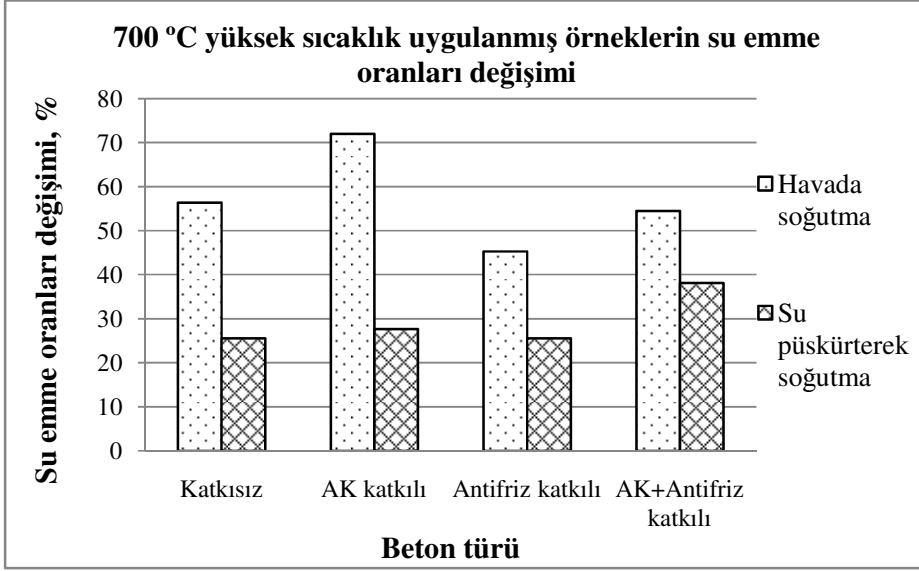
Şekil 4.28. 400 °C sıcaklık uygulanmış örneklerin su emme oranları değişimi

Beton türlerine ait su emme oranlarındaki değişim 550 °C sıcaklık için incelendiğinde (Şekil 4.29), havada soğutulan tüm beton türlerinin değişimi diğer soğutma şartından daha fazla olup, % 30'un üzerindedir. Havada soğutmada en az değişim antifriz katkıli beton türüne, su ile soğutma da ise en az değişim katkısız beton türüne aittir. AK+antifriz katkıli beton 550 °C sıcaklıktan en çok etkilenen beton türü olmuştur.

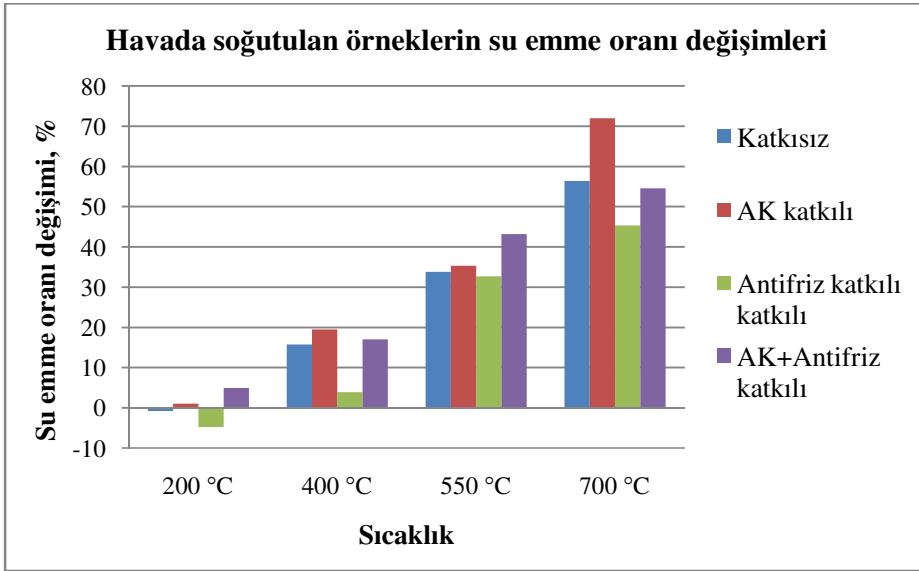


Şekil 4.29. 550 °C sıcaklık uygulanmış örneklerin su emme oranları değişimi

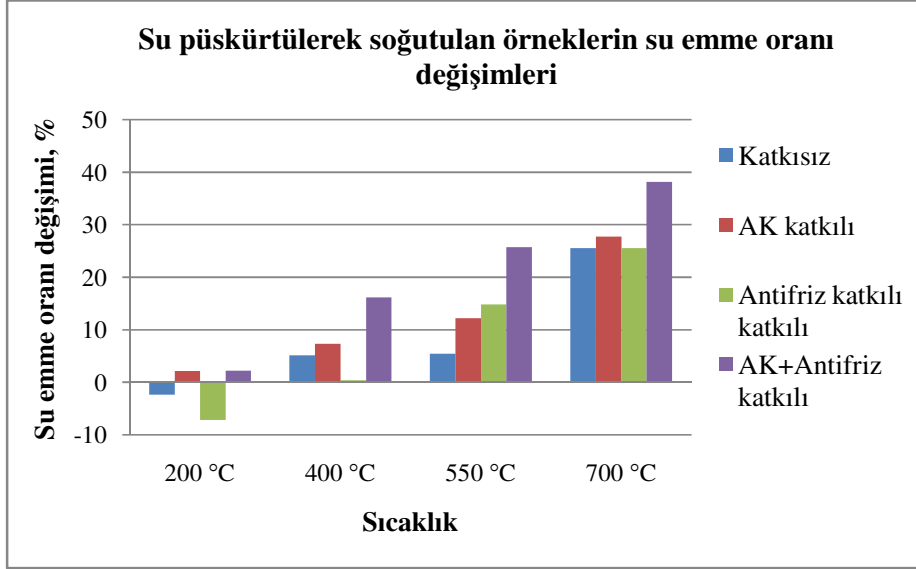
Çalışma sürecinin tepe sıcaklığı olan 700 °C'nin su emme oranlarındaki değişime etkisi Şekil 4.30'da görülmektedir. Tüm değişimler % 20'nin üzerinde olup, maksimum değer %72 ile AK katkıli havada soğutulan örneklere aittir. 700 °C'den en az etkilenen su emme oranı değişim antifriz katkıli beton türüne aittir.



Şekil 4.30. 700 °C sıcaklık uygulanmış örneklerin su emme oranları değişimi



Şekil 4.31. Havada soğutulan örneklerin su emme oranı değişimleri



Şekil 4.32. Su püskürtülerek soğutulan örneklerin su emme oranı değişimleri

4.4. Ultrases Geçiş Hızı'na İlişkin Bulgular ve Tartışma

Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı, AK+antifriz katkılı beton türlerinde sıcaklık farkının beş faktörü ve soğutma şartının iki faktörü ile gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı değerlerinde tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucuna göre, sıcaklığa bağlı olarak $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu görüşmüştür Ultrases geçiş hızı değerlerinin beton tür*sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait açıklayıcı varyans sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi (p)
Sıcaklık	180,8499	2	90,42496	1976,325	0,000000
Beton tür*sıcaklık	1,3502	6	0,22504	4,918	0,000069
Sıcaklık* Soğutma türü	0,1529	2	0,07647	1,671	0,189184
Beton tür*Sıcaklık* Soğutma türü	0,3827	6	0,06379	1,394	0,215295

Varyans sonuçlarına göre iki gruptan fazla olan ultrases geçiş hızı verilerinin varyansla tartışılmasında gruplarının hangilerinin birbirinden farklı olduğunun görülmesi için çoklu karşılaştırma (Duncan) çözümlenmesi yapılarak gruplar arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir (Çizelge 4.18, 4.19).

Çizelge 4.18. Beton türü ve sıcaklık koşullarında ultrases geçiş hızına ait Duncan testi sonuçları

Beton türü	Sıcaklık koşulu, °C	Ortalama Ultrases geçiş hızı, km/sn	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A	700	1,005333	*										
AF	700	1,022667	*										
K	700	1,060000	*										
F	700	1,248000		*									
F	550	1,319333		*	*								
AF	550	1,322667		*	*								
A	550	1,416000			*	*							
K	550	1,475290				*							
F	400	1,841667					*						
A	400	1,984000						*					
AF	400	2,090000						*					
K	400	2,258000							*				
A	200	3,347000								*			
F	200	3,354333								*			
AF	200	3,429416								*	*		
K	200	3,540000									*	*	
F	20	3,559333									*	*	
AF	20	3,657333										*	*
K	20	3,660000										*	*
A	20	3,720667											*

Beton türü: K: Katkısız, A: Akışkanlaştırıcı katkı, F: Antifriz katkı, AF: AK+antifriz katkı
*Birbiri ile aynı gruplar

Çizelge 4.19. Beton türü ve soğutma türü koşullarında ultrases geçiş hızına ait Duncan testi sonuçları

Beton türü	Soğutma türü	Ortalama Ultrases geçiş hızı, km/sn	1	2	3	4	5
F	Su	2,263333	*				
A	Su	2,282533	*				
AF	Su	2,289867	*				
K	Su	2,373858			*		
F	Hava	2,920444				*	
A	Hava	3,037333		*			
AF	Hava	3,083166		*			

Çizelge 4.19. (devam) Beton türü ve soğutma türü koşullarında ultrases geçiş hızına ait Duncan testi sonuçları

Beton türü	Soğutma türü	Ortalama					
		Ultrases geçiş hızı, km/sn	1	2	3	4	5
K	Hava	3,194000					*

Beton türü: K: Katkısız, A: Akışkanlaştırıcı katkı, F: Antifriz katkı, AF: AK+antifriz katkı

*Birbiri ile aynı gruplar

Katkısız beton türüne ait duncan sonuçları ultrases geçiş hızı açısından incelendiğinde;

- Havada soğutulan 20 ve 200 °C örneklerinin arasında fark olmadığı,
- Havada soğutulan 400 °C örneklerinin bunlardan farklı olduğu,
- Tüm sıcaklıklarda (20, 200, 400, 550 ve 700 °C) su püskürtülerek soğutulan örnekler arasında fark olduğu görülmüştür.

AK katkıli beton türüne ait duncan sonuçları ultrases geçiş hızı açısından incelendiğinde;

- Havada soğutulan 20, 200 ve 400 °C örneklerinin birbirinden farklı olduğu,
- Tüm sıcaklıklarda (20, 200, 400, 550 ve 700 °C) su püskürtülerek soğutulan örnekler arasında fark olduğu belirlenmiştir.

Antifriz katkıli beton türüne ait duncan sonuçları ultrases geçiş hızı açısından incelendiğinde;

- Havada soğutulan 20 ve 200 °C örneklerinin arasında fark olmadığı,
- Havada soğutulan 400 °C örneklerinin bunlardan farklı olduğu,
- Su püskürtülerek soğutulan 20, 200 ve 400 °C örnekleri arasında fark olduğu,
- Su püskürtülerek soğutulan 550 ve 700 °C örnekleri arasında fark olmadığı ancak bu sıcaklıkların diğerlerinden farklı olduğu belirlenmiştir.

AK+antifriz katkılı beton türüne ait duncan sonuçları ultrases geçiş hızı açısından incelendiğinde;

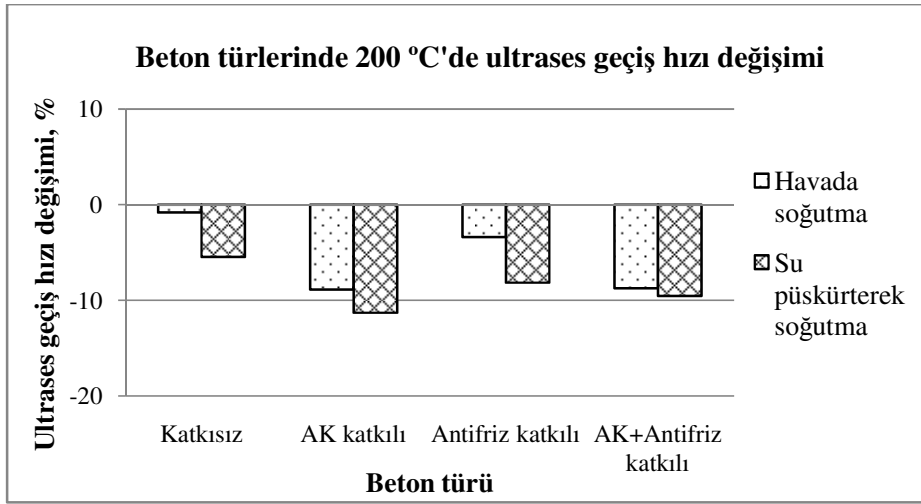
- Havada soğutulan 20, 200 ve 400 °C örneklerinin arasında fark olduğu,
 - Tüm sıcaklıklarda (20, 200, 400, 550 ve 700 °C) su püskürtülerek soğutulan örnekler arasında fark olduğu
- belirlenmiştir.

Ultrases geçiş hızı değerlerindeki değişim oranları her bir beton türüne ait 20 °C'de (referans sıcaklık) gerçekleştirilen ultrases geçiş hızı okumaları esas alınarak oluşturulmuştur.

Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı, AK+antifriz katkılı beton türleri üzerinde uygulanan 200 °C sıcaklık ve soğutma koşullarının etkisi ile 20 °C'ye göre oluşan ultrases geçiş hızı değişimleri Şekil 4.33'te verilmiştir. Şekil 4.33'e bakıldığında;

- Tüm beton türlerinde 200 °C sıcaklığın ultrases geçiş hızlarını azalttığı,
- Katkısız beton türünden havada soğutma uygulanan örneklerin su ile soğutmaya göre daha az etkilendiği, (ultrases geçiş hızının havada %0,82 ve su ile soğutulanlarda % 5,46 azaldığı),
- AK katkılı beton örneklerinin Katkısız beton örneklerine göre ultrases geçiş hızı değişiminin fazla olduğu (havada % 8,87 azalma, suda %11,29 azalma),
- Antifriz katkılı beton türünde havada soğutmanın ultrases geçiş hızını % 3,37, diğer soğutma uygulamasının % 8,15 azalttığı, (soğutma koşulları arasındaki en büyük farkın olduğu beton türü antifriz katkılı betondur)
- AK+antifriz katkılı beton türünde ise hava ve su soğutma uygulamalarının birbirine yakın değişim oranı verdiği (havada %8,73 ve suda %9,52 azalma),
- Katkısız beton türüne göre 200 °C sıcaklıkta katkı kullanımının ultrases geçiş hızındaki azalmayı daha fazla etkilediği,
- Havada soğutulan örneklerde en az değişim oranı % 0,82 ile katkısız betona aitken, en yüksek değişim oranı % 8,87 ile AK katkılı betona ait olduğu,
- Su ile soğutmada en az değişim oranı % 5,46 ile katkısız betona aitken, en yüksek değişim oranı % 11,29 ile AK katkılı betona ait olduğu

bulguları elde edilmiştir.

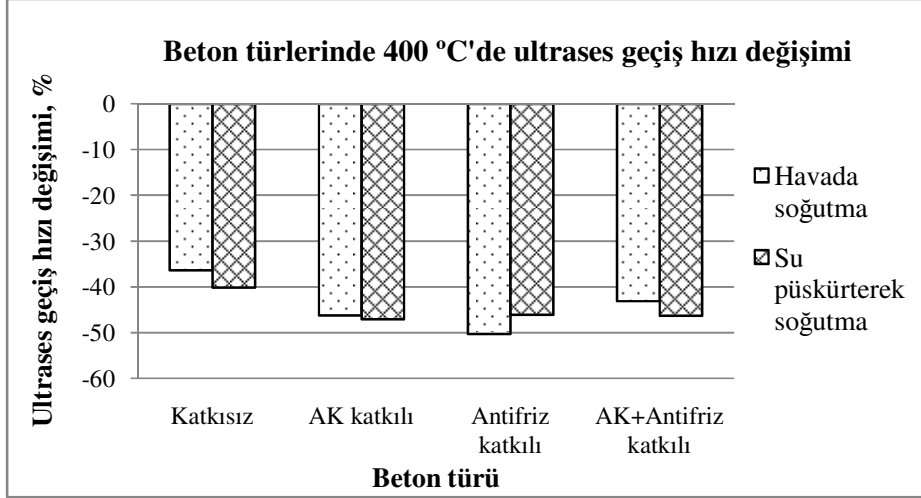


Şekil 4.33. Beton türlerinde 200 °C'de ultrases geçiş hızı değişimi

Ultrases geçiş hızı değerleri üzerinde 400 °C sıcaklığın oluşturduğu değişim şekil 4.34'te verildiği gibi;

- Katkısız beton türünde ultrases geçiş hızındaki değişimin havada %36,34 ve suda %40,16 ise azalma yönünde olduğu, su soğutmasının diğer soğutma şartına göre ultrases geçiş hızını daha fazla etkilediği,
- AK katkılı beton türüne ait ultrases geçiş hızında havada soğutmada %46,24 azalma meydana gelirken, suda soğutmada 47,04 azalma meydana geldiği, soğutma şartlarının katkısız beton türüne göre birbirine yakın olduğu,
- Antifriz katkılı beton türünde katkısız ve diğer katkılı beton türlerinden farklı olarak havada soğutulan örneğin suda soğutmaya göre ultrases geçiş hızının daha fazla azaldığı (havada %50,28 azalma, suda %46,07 azalma),
- AK+antifriz katkılı beton türünün soğutma şartlarının katkısız gibi davrandığı havada soğutması yapılan örneklerin ultrases geçiş hızının % 43,12 azaldığı, diğer soğutma uygulanan örneklerin ise % 46,30 azaldığı, sudaki örneklerin daha fazla zarar gördüğü)
- Katkı kullanımının katkısız betondaki ultrases geçiş hızı değişimlerinden daha yüksek sonuç verdiği,
- 400 °C sıcaklıkta ultrases geçiş hızında havada ve suda soğutma en az değişim olan beton türünün katkısız olduğu,

- 400 °C sıcaklıkta havada soğutmada ultrases geçiş hızında en fazla değişim olan beton türünün %50,28 ile antifriz katkıli beton olduğu,
 - 400 °C sıcaklıkta suda soğutmada ultrases geçiş hızında en fazla değişim olan beton türünün %47,04 ile AK katkıli beton olduğu,
- belirlenmiştir.



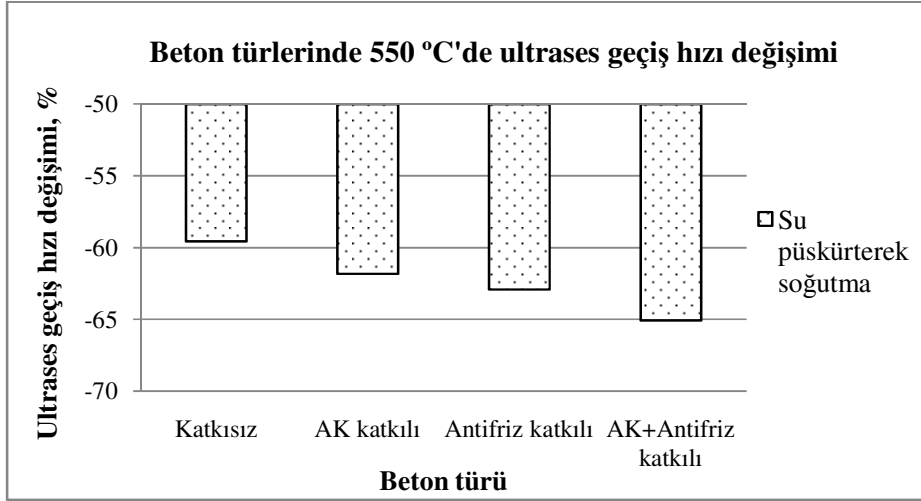
Şekil 4.34. Beton türlerinde 400 °C'de ultrases geçiş hızı değişimi

Beton türlerinde 550 ve 700 °C sıcaklık uygulanan havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızları ölçülemedi. Havada soğutulan örneklerin 550 ve 700 °C'de ultrases geçiş hızının ölçülememesinin nedeninin gözenek miktarının artması olduğu düşünülmektedir. Bu durum literatürde 530 °C'de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in CaO 'e dönüşmesi olarak ifade edilmektedir. Su püskürtülerek soğutulan örneklerde ise CaO tekrar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'e dönüşmekte ve hacim artışı meydana gelmektedir (Akçaözoğlu, 2013). Kalsiyum hidroksit dönüşümü literatürde yer alan çalışmalarda 370-470 °C, 400 °C ve 500 °C olarak da yer almaktadır (Yalçın ve :10, 2006, Rashad ve diğerleri, 2012, Baradan ve Aydın, 2013).

Beton türlerinde 550 °C sıcaklık için yalnızca su püskürtülerek soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızı değişimleri Şekil 4.35'te verilmiştir. Şekil 4.35'te su ile soğutma verileri incelendiğinde;

- Katkısız betonun ultrases geçiş hızının % 59,56 azaldığı,

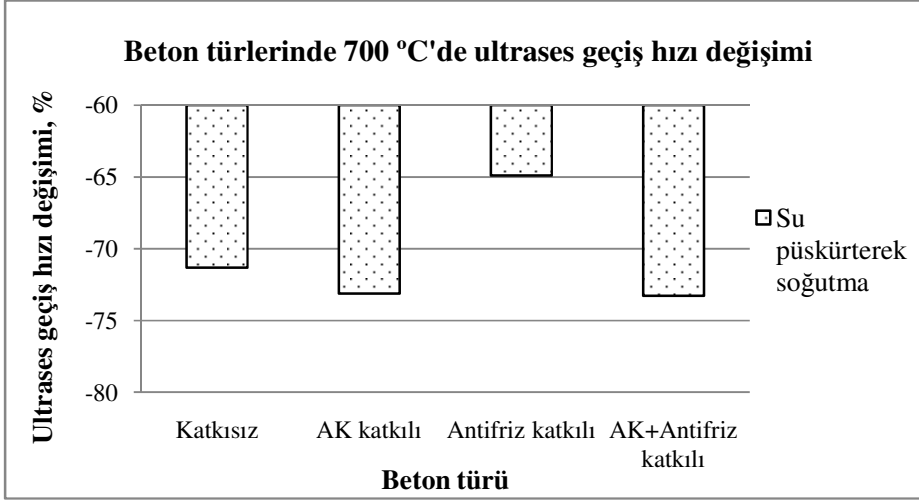
- AK, antifriz ve AK+antifriz katkıli betonların ultrases geçiş hızlarının sırasıyla %61,83 %62,92 ve % 65,08 azaldığı,
 - En fazla etkilenen beton türü AK+antifriz katkıli iken en az etkilenen ise katkısiz beton türü olduğu
- görülmüştür.



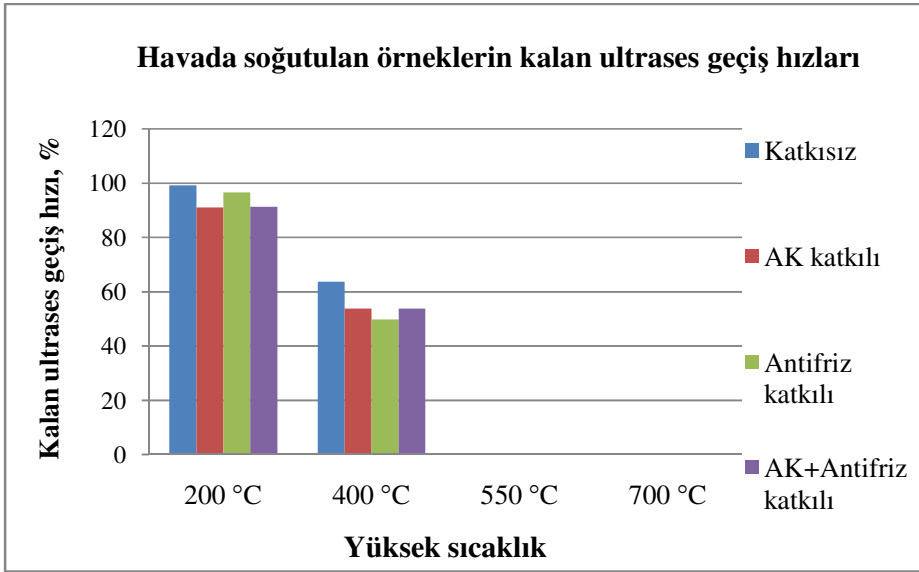
şekil 4.35. Beton türlerinde 550 °C'de ultrases geçiş hızı değişimi

Katkısiz ve kimyasal katkıli beton türleri üzerinde uygulanan 700 °C sıcaklık sonucu ultrases geçiş hızlarında oluşan değişim oranları şekil 4.36'da sunulmuştur. şekil 4.36'ya göre;

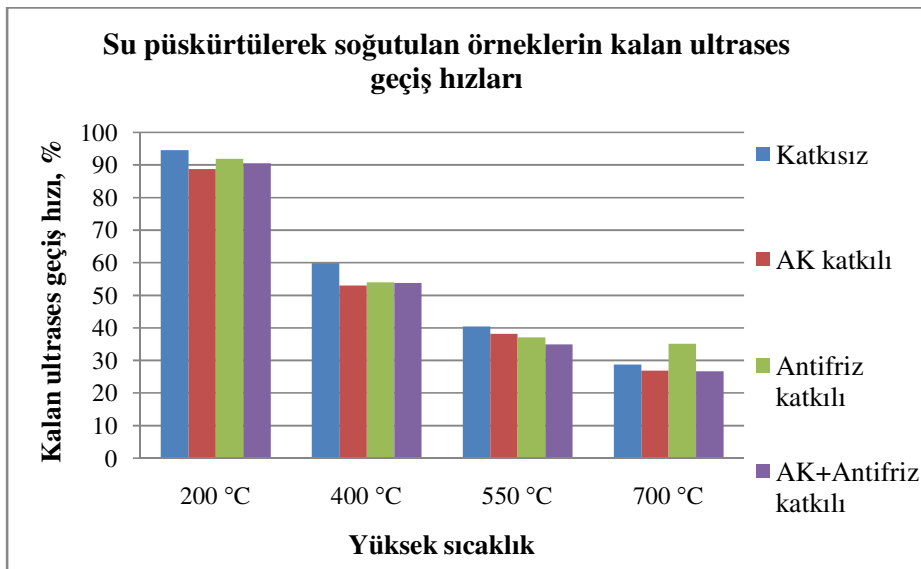
- Katkısiz betonun ultrases geçiş hızının % 71,31 oranında azaldığı,
- AK katkıli betonun % 73,12, AK+antifriz katkıli beton ise %73,28 azaldığı,
- 700 °C sıcaklıkta ultrases geçiş hızı en az etkilenen beton türünün %64,89 azalma ile antifriz katkıli betona ait olduğu,
- AK katkısı içeren betonların katkısiz betona göre daha fazla etkilendiği belirlenmiştir.



Şekil 4.36. Beton türlerinde 700 °C'de ultrases geçiş hızı değişimi



Şekil 4.37. Havada soğutulan örneklerin kalan ultrases geçiş hızları



Şekil 4.38. Su püskürtülerek soğutulan örneklerin kalan ultrases geçiş hızları

4.5. Basınç Dayanımı'na İlişkin Bulgular ve Tartışma

Katkısız ve farklı kimyasal katkı ile üretilen beton örneklerinin, sıcaklık farkının beş faktörü ve soğutma şartının iki seviyesi ile gerçekleştirilen basınç dayanımı değerlerinde tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucuna göre, basınç dayanımı değerlerinin beton türü*sıcaklık ve sıcaklık*soğutma türü koşullarına bağlı olarak $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde anlamlı olduğu görülmüştür (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı varyans sonuçları

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi (p)
Beton tür	888,3	3	296,1	42,69	0,000000
Sıcaklık	35021,5	4	8755,4	1262,13	0,000000
Soğutma türü	84,3	1	84,3	12,15	0,000529
Beton türü*sıcaklık	1228,6	12	102,4	14,76	0,000000
Beton türü*Soğutma türü	6,5	3	2,2	0,31	0,816375
Sıcaklık*Soğutma türü	403,4	4	100,9	14,54	0,000000
Beton tür*sıcaklık*Soğutma türü	69,1	12	5,8	0,83	0,619343

Varyans sonuçlarına göre iki gruptan fazla olan basınç dayanımı testi verilerinin varyansla tartışılmasında gruplarının hangilerinin birbirinden farklı olduğunun görülmesi için çoklu

karşılaştırma (Duncan) çözümlemesi yapılarak gruplar arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir (Çizelge 4.21, 4.22).

Çizelge 4.21. Beton tür ve sıcaklık koşullarında basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü	Sıcaklık koşulu, °C	Ortalama basınç dayanımı, N/mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
F	700	8,43100	*										
AF	700	9,33333	*	*									
A	700	10,22200		*	*								
K	700	10,66367		*	*								
AF	550	11,45367			*								
A	550	11,53700			*								
K	550	13,11800				*							
F	550	13,52800				*							
F	400	16,76067					*						
A	400	20,07967						*					
AF	400	20,29752						*					
K	400	22,26133							*				
F	20	23,41600							*				
F	200	25,32711								*			
K	200	26,36100								*			
A	200	27,96633									*		
K	20	29,67200										*	
AF	200	29,79974										*	
A	20	30,11000										*	*
AF	20	31,21333											*

Beton türü: K: Katkısız, A: Akışkanlaştırıcı katkılı, F: Antifriz katkılı, AF: AK+antifriz katkılı
*Birbiri ile aynı gruplar

Çizelge 4.22. Sıcaklık ve soğutma türü koşullarında basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Sıcaklık koşulu, °C	Soğutma türü	Ortalama basınç dayanımı, N/mm ²	1	2	3	4	5	6	7
700	Hava	7,98767				*			
700	Su	11,33733	*						
550	Hava	11,47233	*						

Çizelge 4.22. (devam) Sıcaklık ve soğutma türü koşullarında basınç dayanımı değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Sıcaklık koşulu, °C	Soğutma türü	Ortalama basınç dayanımı, N/mm ²	1	2	3	4	5	6	7
550	Su	13,34600					*		
400	Su	19,24726						*	
400	Hava	20,45233							*
200	Su	27,22837		*					
200	Hava	27,49872		*					
20	Hava	28,60283			*				
20	Su	28,60283			*				

*Birbiri ile aynı gruplar

Katkısız beton türüne ait örneklerin basınç dayanımlarına ilişkin Duncan testi sonuçlarına bakıldığında;

- Havada soğutulan örneklerin 20, 200, 400, 550 ve 700 °C değerleri arasında fark olduğu,
 - Su püskürtülerek soğutulan örneklerin 20, 200, 400, 550 ve 700 °C değerleri arasında fark olduğu
- belirlenmiştir.

AK katkılı beton türüne ait örneklerin basınç dayanımlarına ilişkin Duncan testi sonuçları incelendiğinde;

- Havada soğutulan 20, 200 ve 400 °C örnekleri arasında fark olduğu,
 - Havada soğutulan 550 ve 700 °C örnekleri arasında fark olmadığı ancak diğer sıcaklıklara maruz bırakılan örneklerden farklı olduğu,
 - Su püskürtülerek soğutulan 20 ve 200 °C örnekleri arasında fark olmadığı,
 - Su püskürtülerek soğutulan 550 ve 700 °C örnekleri arasında fark olmadığı,
 - Su püskürtülerek soğutulan 400 °C örneklerinin diğer sıcaklık örneklerinden farklı olduğu
- görülmüştür.

Antifriz katkılı beton türüne ait örneklerin basınç dayanımlarına ilişkin Duncan testi sonuçlarına göre;

- Havada soğutulan örneklerin tüm sıcaklıklarda (20, 200, 400, 550 ve 700 °C) birbirinden farklı olduğu,
- Su püskürtülerek soğutulan 20 ve 200 °C örneklerinin arasında fark olmadığı ancak diğer sıcaklıklardan farklı olduğu,
- Su püskürtülerek soğutulan 400, 550 ve 700 °C örneklerinin arasında fark olduğu belirlenmiştir.

AK+antifriz katkılı beton türüne ait örneklerin basınç dayanımlarına ilişkin Duncan testi sonuçlarına bakıldığında;

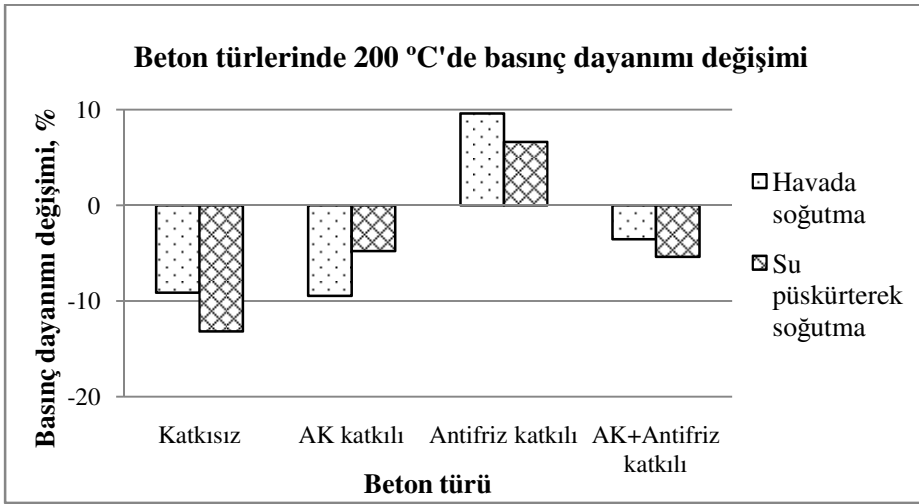
- Havada soğutulan 20 ve 200 °C örneklerinin arasında fark olmadığı ancak diğer sıcaklıklardan farklı olduğu,
- Havada soğutulan 400, 550 ve 700 °C örneklerinin arasında fark olduğu,
- Su püskürtülerek soğutulan 20 ve 200 °C örnekleri arasında fark olmadığı,
- Su püskürtülerek soğutulan 550 ve 700 °C örnekleri arasında fark olmadığı,
- Su püskürtülerek soğutulan 400 °C örneklerinin diğer sıcaklık örneklerinden farklı olduğu belirlenmiştir.

Yüksek sıcaklık ve farklı soğutma koşulları sonrasında beton türlerinin basınç dayanımları karşılaştırılabilmesi amacıyla türlere ait 20 °C basınç dayanımı değerleri referans alınarak “basınç dayanımı değişimi” yüzde cinsinden hesaplanmıştır. Her bir sıcaklık (200, 400, 550 ve 700 °) için beton türlerinin basınç dayanımları değişimlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla sırasıyla Şekil 4.39, 4.40, 4.41 ve 4.42 hazırlanmıştır.

Katkısız ve katkılı beton türlerinin 200°C ve hava/su soğutma koşulları uygulamasında basınç dayanımındaki değişimleri Şekil 4.39’da incelendiğinde;

- Katkısız betonun 200 °C’de havada soğutulan örneklerinin % 9,13 suda soğutulan örneklerinin % 13,18 dayanım kaybettiği, suda soğutulan örneklerin bu sıcaklıktan daha fazla zarar gördüğü,
- AK katkılı beton türünde havada soğutulanların daha fazla dayanım kaybettiği (havada %9,47 azalma >suda %4,78 azalma),
- Katkısız beton türüne göre soğutma şartlarının davranışı açısından AK katkılı betonun tersi bir durum sergilediği,
- Antifriz katkılı betonun diğer beton türlerindeki basınç dayanımı kaybına rağmen tam tersi davranarak basınç dayanımını havada % 9,61 suda ise %6,62 arttırdığı,
- AK+antifriz katkılı betonun katkısız beton türü gibi davrandığı, havada soğutulan örneklerin diğer soğutma şartına göre daha az zarar gördüğü (havada % 3,54 azalma, suda % 5,39 azalma)

belirlenmiştir.



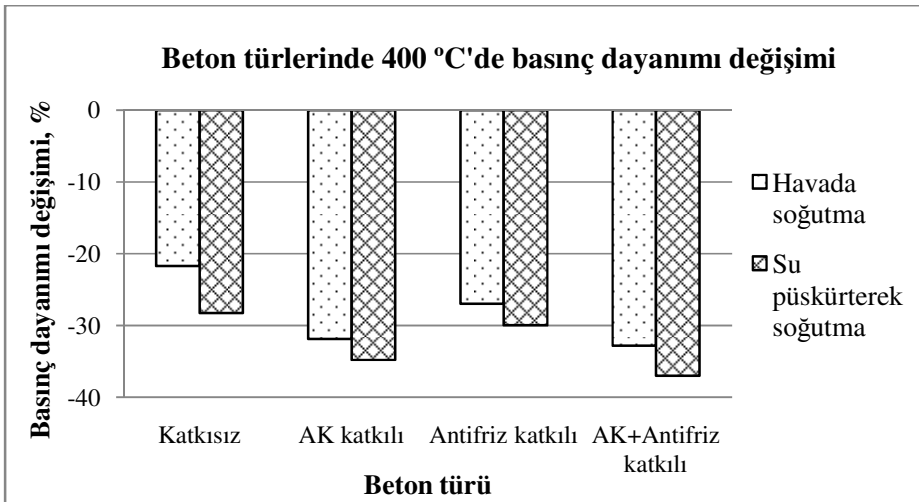
Şekil 4.39. Beton türlerinde 200 °C'de basınç dayanımı değişimi

200 °C’de antifriz katkılı betonda basınç dayanımında bir miktar artış meydana gelmesi Baradan, Türkel, Yazıcı, Ün, Yiğiter, Felekoğlu, Felekoğlu, Aydın, Yardımcı, Topal, ve Öztürk (2012) tarafından “Dayanımların 120 °C’den sonra tekrar kazanılması termal kurumunun yararlı etkisinden kaynaklanmaktadır. Termal dehidrasyonun bu yararlı etkisi 300 °C üzerinde son bulmaktadır” şeklinde açıklanmaktadır (Baradan ve diğerleri, 2012:570-580). Yüksek sıcaklık çalışmalarında 200 °C, 200-300 °C aralığında basınç

dayanımında meydana gelen artış literatürde yer alan diğer çalışmalarda da tespit edilmiştir (Hossain, 2006, Durmuş ve diğerleri, 2007, Pathak ve Siddique, 2013)

Beton türlerinin 400 °C sıcaklık ve havada/suda soğutma uygulamalarında basınç dayanımlarındaki değişim oranları Şekil 4.40'da verilmiştir. Tüm beton türlerinde basınç dayanımı kaybı oluşmuştur, Şekil 4.40 incelendiğinde;

- Katkısız betonun basınç dayanımının havada soğutma uygulamasında %21,71 azalırken, su ile soğutma uygulamasında %28,24 azaldığı,
- Katkılı betonların dayanım kaybının katkısız beton türünden daha fazla olduğu,
- AK katılı beton türünde havada/suda sırasıyla basınç dayanımlarının %31,85 ve %34,77 azaldığı,
- Katkılı betonlar arasında en az dayanım kaybının havada %26,94 suda %29,97 ie antifriz katkılı beton olduğu,
- Her iki soğutma koşulunda da en yüksek dayanım kaybının (hava/su) %32,84 ve %37,02 ile AK+antifriz katkılı beton türüne ait olduğu,
- Su püskürtülerek soğutulan örneklerin tüm beton türlerinde diğer soğutma koşuluna göre daha fazla basınç dayanımı kaybettiği görülmüştür.

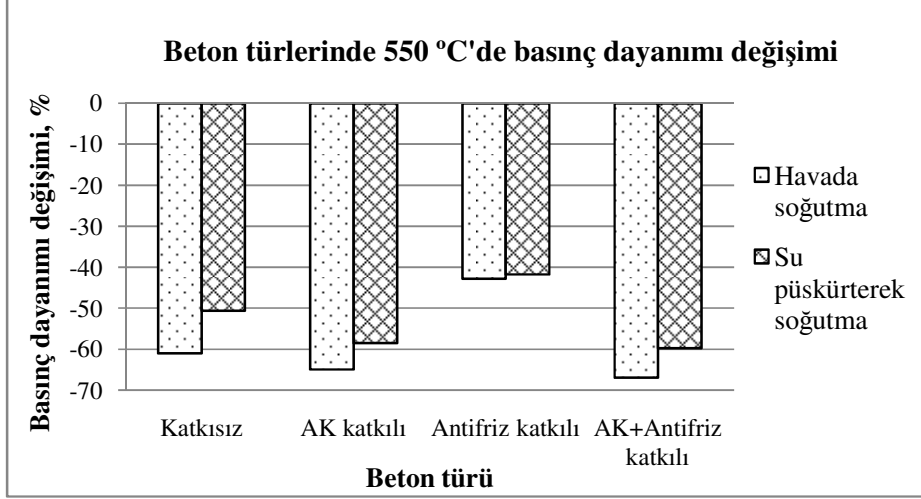


Şekil 4.40. Beton türlerinde 400 °C'de basınç dayanımı değişimi

400 °C’de AK ve AK+antifriz katkılı beton türlerinde dayanım kaybı oranı %30’u geçmektedir. Literatürde yer alan çimento hamuru, harcı ve beton üzerindeki araştırmalarda da 400 °C sıcaklığın belirgin bir dayanım kaybına neden olduğundan bahsedilmiştir (Hüsem ve Karaca, 1997; Hossain, 2006; Durmuş ve Bekem, 2010; Subaşı ve diğerleri, 2011; Ergün ve diğerleri, 2013; Cree ve diğerleri, 2013; Nadeem ve diğerleri, 2014)

Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı ve AK+antifriz katkılı beton türlerinde 550 °C sıcaklık ve soğutma koşullarının basınç dayanımı üzerinde oluşturduğu değişim Şekil 4.41’de verilmiştir. Şekil 4.41’e göre;

- Katkısız beton türü dayanımının havada soğutmada %60,94’ünü, suda soğutmada ise %50,62’sini kaybettiği,
 - AK katkılı betonun katkısız betondan daha fazla etkilenecek (havada/suda) dayanımının %64,93 ve %58,45’ini kaybettiği,
 - İlgili sıcaklıktan en az zarar gören beton türünün antifriz katkılı beton olduğu (havada %42,74 suda %41,72 basınç dayanımı kaybı),
 - En fazla basınç dayanımı kaybı oluşan beton türünün havada %66,92 ve suda %59,69 ile AK+antifriz katkılı beton olduğu,
 - 550 °C sıcaklıkta havada soğutulan örneklerin tüm beton türlerinde suda soğutulanlara göre daha fazla basınç dayanımını kaybettiği,
- belirlenmiştir.

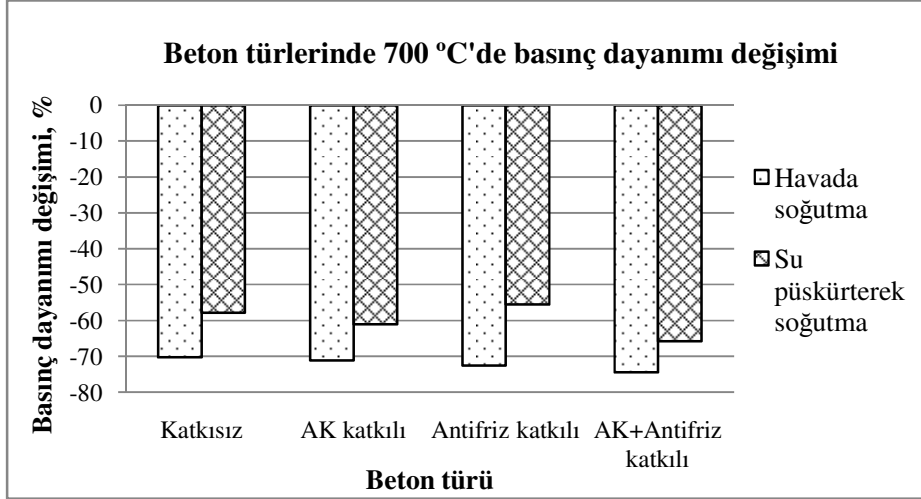


Şekil 4.41. Beton türlerinde 550 °C'de basınç dayanımı değişimi

Çalışmada tepe sıcaklık olan 700 °C'nin beton türleri üzerindeki etkisi basınç dayanımı açısından incelendiğinde (Şekil 4.42);

- Katkısız betonun 700 °C havada soğutma uygulamasında basınç dayanımının %70,21'ini, su ile soğutma uygulamasında ise %57,80'ini kaybettiği,
- Katkılı beton türlerinin dayanım kayıplarının havada soğutma koşulunda Katkısız beton türünden yüksek olduğu,
- AK katkıli betonun 700 °C'de (havada/suda) dayanım kayıplarının %71,07 ve %61,04 olduğu,
- Antifriz katkıli betonun soğutma koşulları arasındaki dayanım kaybı farkının diğer beton türlerinden fazla olduğu (havada %72,50-suda %55,51),
- AK+antifriz katılı beton türünün en yüksek basınç dayanımı kaybına sahip olduğu (havada %74,41-suda %65,74)

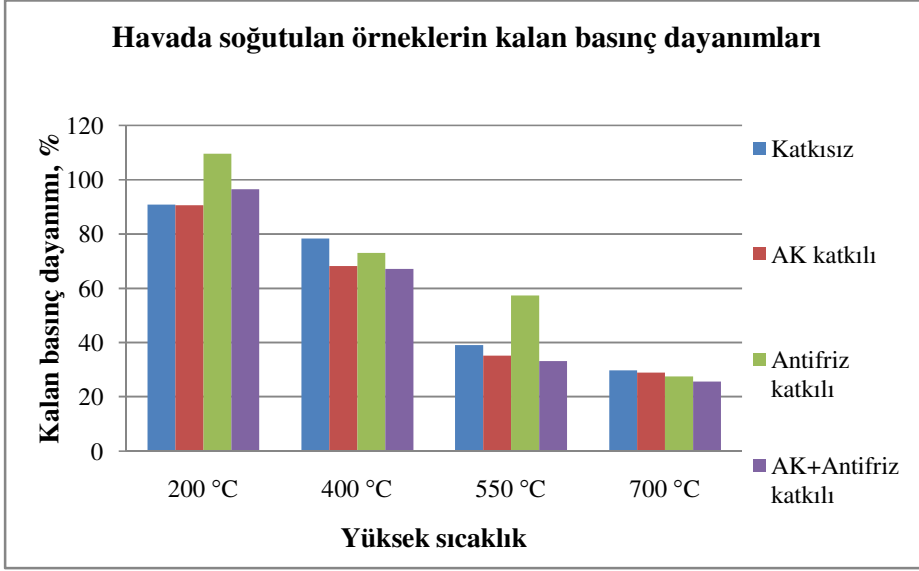
görülmüştür.



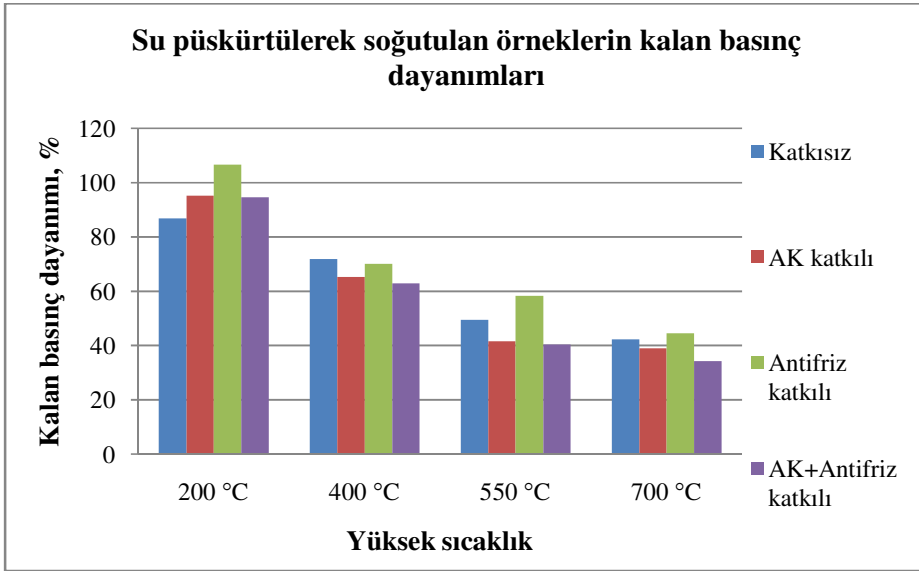
Şekil 4.42. Beton türlerinde 700 °C’de basınç dayanımı değişimi

Beton türlerinde 550 ve 700 °C’lerde dayanım kayıpları incelendiğinde, su püskürterek soğutulan örneklerin dayanım kaybının havada yapılan soğutmaya göre daha az olduğu belirlenmiştir. Su ile soğutulan örneklerin basınç dayanımının havada soğutulan örneklere göre daha yüksek olduğu bilinmektedir (Karakoç, 2013).

AK+antifriz katkılı betonun basınç dayanımı 20 °C’de diğer beton türlerine göre daha yüksektir. Ancak 700 °C’de en fazla bu betonun zarar gördüğü belirlenmiştir. Bu durumun literatürde yer alan “Betonun geçirimsiz yapısı suyun buharlaşarak dışarı çıkmasına engel olmakta, oluşan hidrostatik basınç betonun patlayarak parçalanmasına yol açmaktadır (Baradan ve diğerleri, 2012:570-580)” ile açıklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.43. Havada soğutulan örneklerin kalan basınç dayanımları



Şekil 4.44. Su püskürtülerek soğutulan örneklerin kalan basınç dayanımları

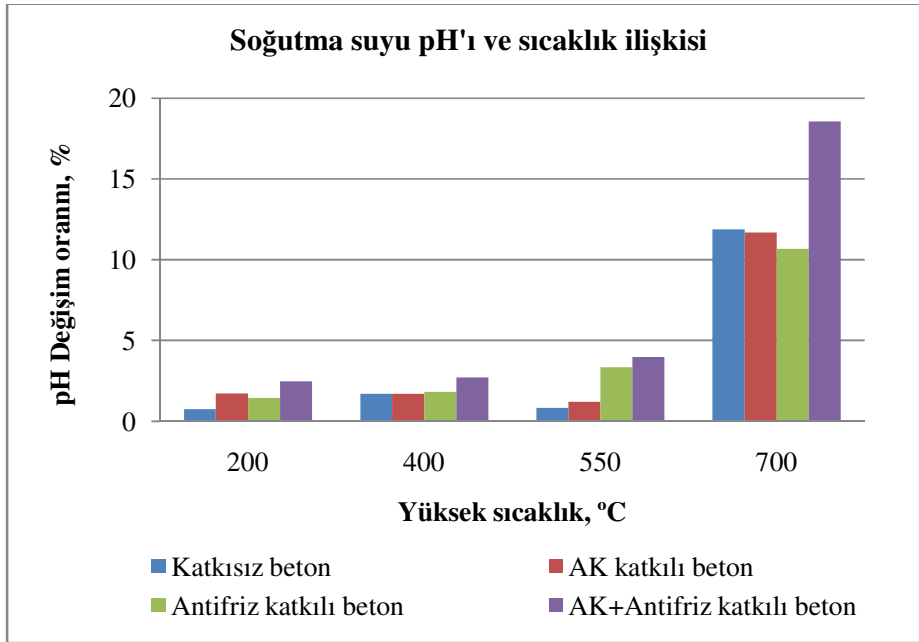
4.6. Soğutma Suyuna İlişkin Bulgular ve Tartışma

Katkısız, AK katkı, antifriz katkı ve AK+antifriz katkı beton türlerine ait örneklerin 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklık uygulaması sonrasında suyla soğutulması işleminde kullanılan soğutma suyuna ait pH değerleri Çizelge 4.23’de görülmektedir.

Çizelge 4.23. Soğutma suyu pH değerleri

		<i>Kullanım</i>	<i>Katkısız beton</i>	<i>AK katkıli beton</i>	<i>Antifriz katkıli beton</i>	<i>AK +Antifriz katkıli beton</i>
Sıcaklık	200 °C	Öncesi	8,08	8,12	8,30	8,45
		Sonrası	8,14	8,26	8,42	8,66
	400 °C	Öncesi	8,24	8,28	8,26	8,45
		Sonrası	8,38	8,42	8,41	8,68
	550 °C	Öncesi	8,41	8,29	8,37	8,54
		Sonrası	8,48	8,39	8,65	8,88
	700 °C	Öncesi	8,42	8,47	8,53	8,62
		Sonrası	9,42	9,46	9,44	10,22

Soğutma suyu kullanım öncesindeki pH değerleri baz alınarak pH değişim oranları her bir beton türü ve sıcaklık derecesi için hesaplanmıştır (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Su püskürtülerek yapılan soğutmalarda soğutma suyunun pH değişim oranları

İlgili oranlara bakıldığında tüm sıcaklıklarda en fazla pH değişikliği oluşan soğutma suyunun AK+antifriz katkıli beton türüne ait olduğu görülmektedir. En az etkilenen soğutma suyuna ait beton türü ise 200, 400 ve 550 °C’de katkısız beton iken, 700 °C’de ise antifriz katkıli betondur. 700 °C’de tüm beton türlerine ait soğutma sularında % 10’un üzerinde pH artış oranı oluşmuştur.

700 °C sıcaklıkta betonun suyla söndürülmesi ile $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ 'e dönüştüğü, bu nedenle soğutma suyu pH'ının arttığı kanaatine varılmıştır. AK+antifriz katkılı beton soğutma suyunun pH'ının en çok değiştiği beton olarak belirlenmiştir. Bu durum kalan basınç dayanımları ile paralellik göstermiştir. Su püskürterek yapılan soğutmalarda 400, 550 ve 700 °C'lerde kalan dayanımı en düşük olan beton türünün de AK+antifriz katkılı olduğu görülmüştür. Sıcaklık ve soğutma koşulundan dayanım yönünde en çok zarar gören beton türünün, pH değişimi en yüksek olan soğutma suyuna sahip olduğu belirlenmiştir.

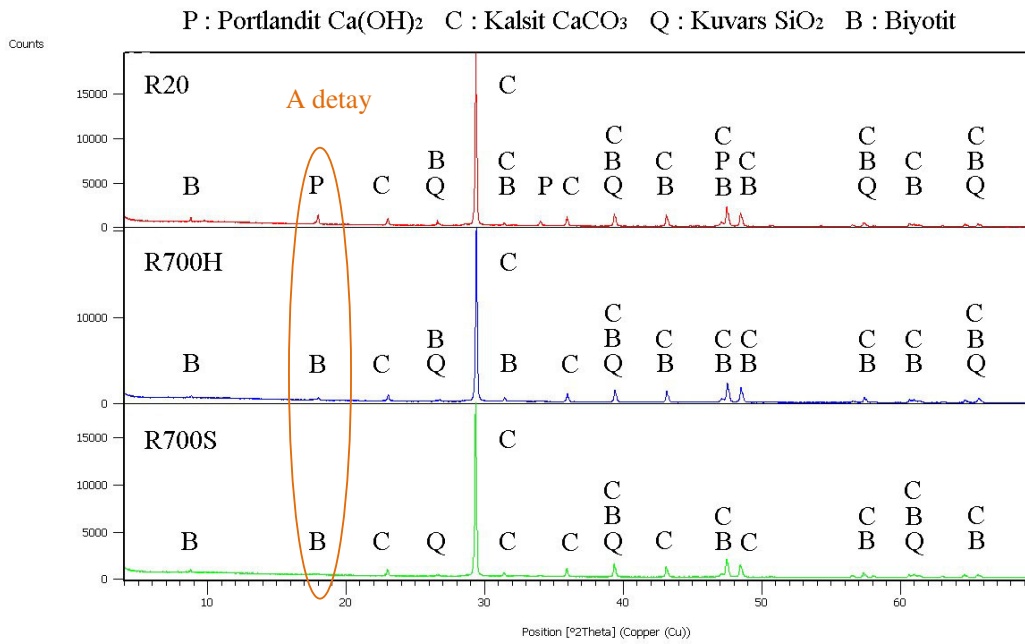
4.7. Mikro Yapı'ya İlişkin Bulgular ve Tartışma

Çalışmada yer alan en alt sıcaklık sınırı 20 °C ve tepe sıcaklık değeri 700 °C'ye maruz bırakılan ana kayaç ve beton türlerine ait örnekler üzerinde gerçekleştirilen XRD analizlerine ilişkin veriler ve değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

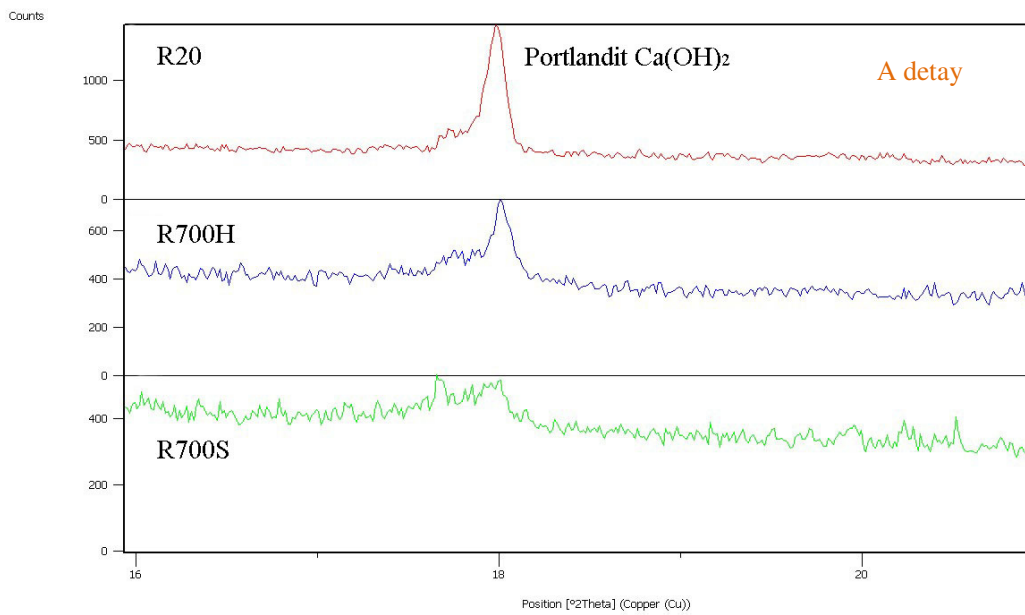
4.7.1. XRD bulguları

20 ve 700 °C sıcaklığa ve soğutma şartlarına maruz kalmış ana kayaç ve beton türlerine ait XRD kırınım desenlerinin tamamı EK 5'de verilmiştir. Tüm beton türlerinde en çok rastlanan mineral kalsit (CaCO_3)'tir. Ayrıca, kuvars (SiO_2) ve biyotit mineralleri de görülmektedir.

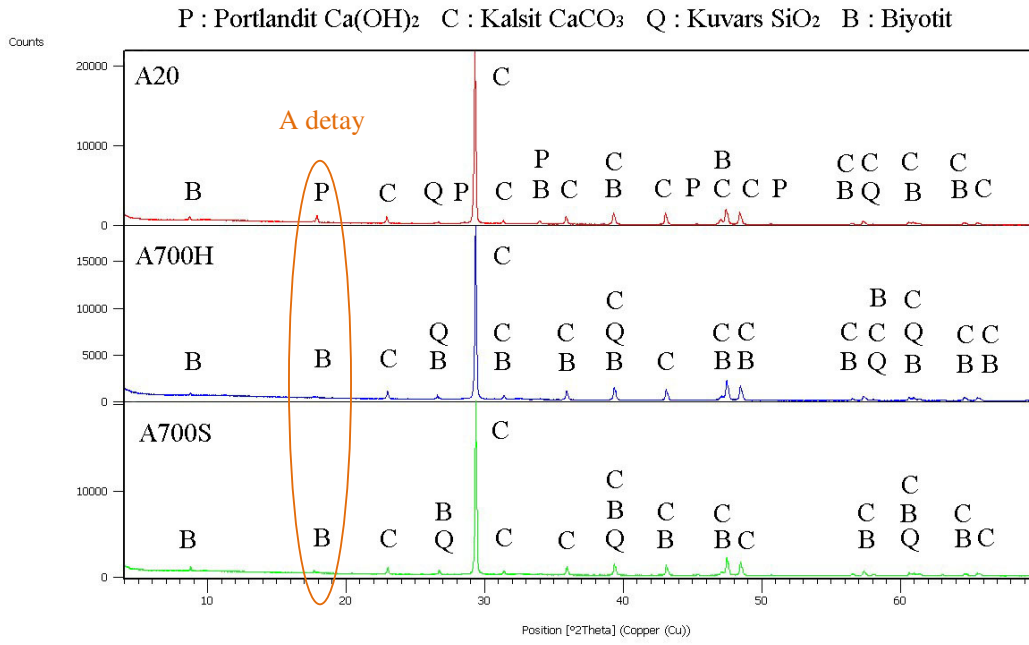
Katkısız, AK katkılı, antifriz katkılı ve AK+antifriz katkılı beton türlerine ilişkin 20 °C, 700 °C havada soğutma ve 700 °C su püskürterek soğutma yapılmış örneklerin XRD'lerine ait kırınım desenleri karşılaştırmalı olarak hazırlanmıştır. Beton türlerine ait 20 °C örneklerinde portlandit (Ca(OH)_2) minerali görülmektedir. 700 °C'de ise bu pikin azaldığı belirlenmiştir. Portlandit mineralinin ana piki 18'de 4,95; ikincil piki 33'de 2,63; üçüncül piki ise 50'de 1,79'dur.



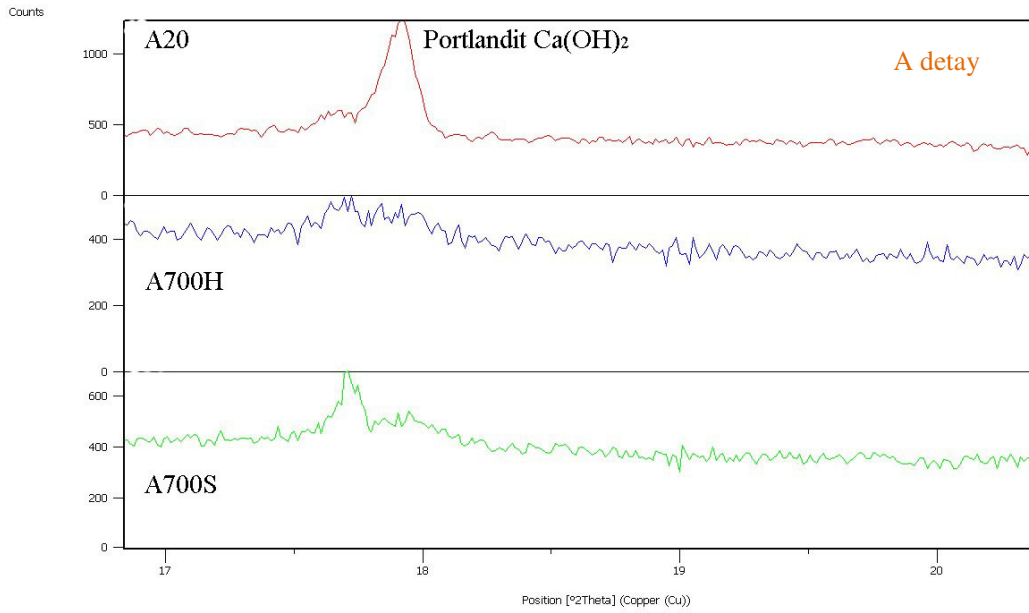
Şekil 4.46. Katkısız beton XRD kırınım desenleri



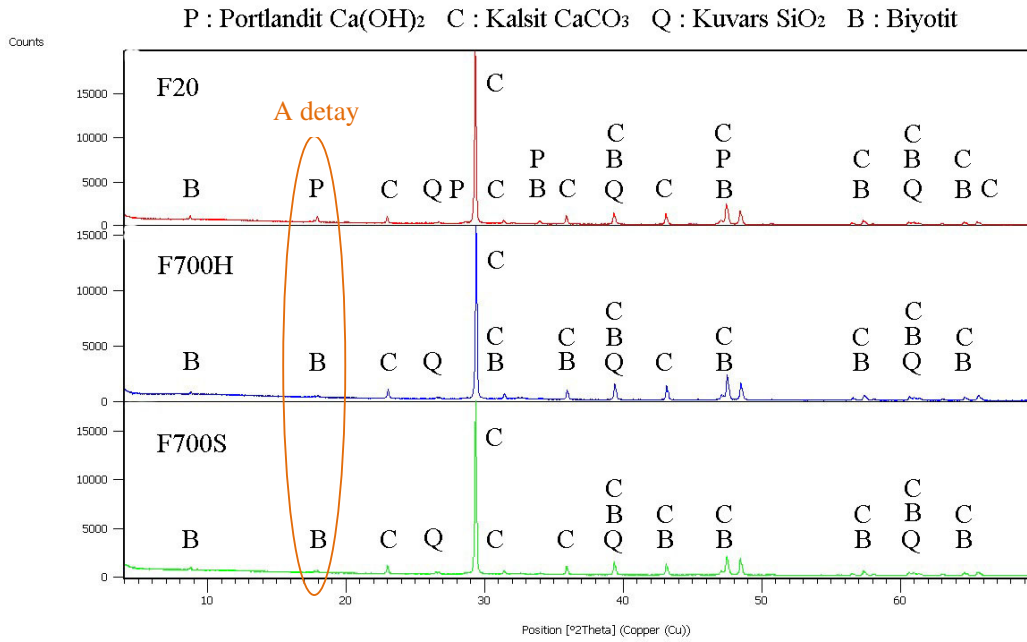
Şekil 4.47. Katkısız beton portlandit piki detayı



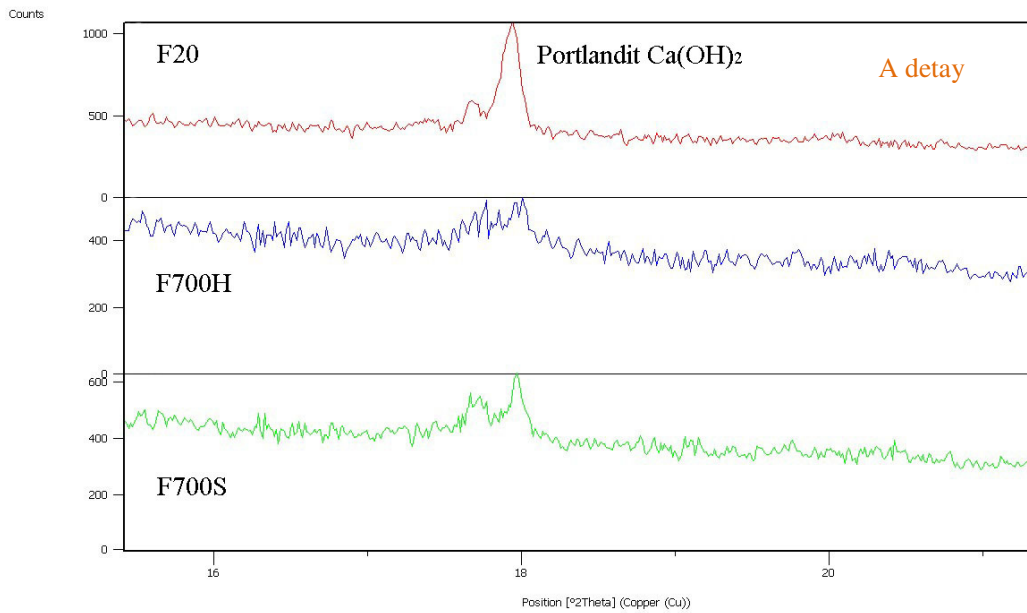
Şekil 4.48. Akışkanlaştırıcı katkıli beton XRD kırınım desenleri



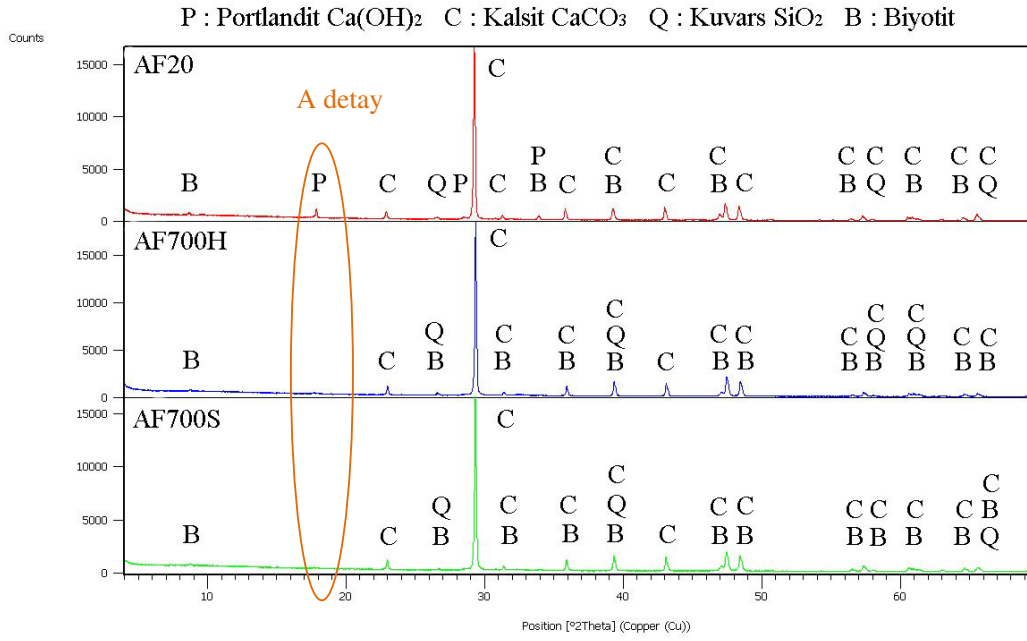
Şekil 4.49. Akışkanlaştırıcı katkıli beton portlandit piki detayı



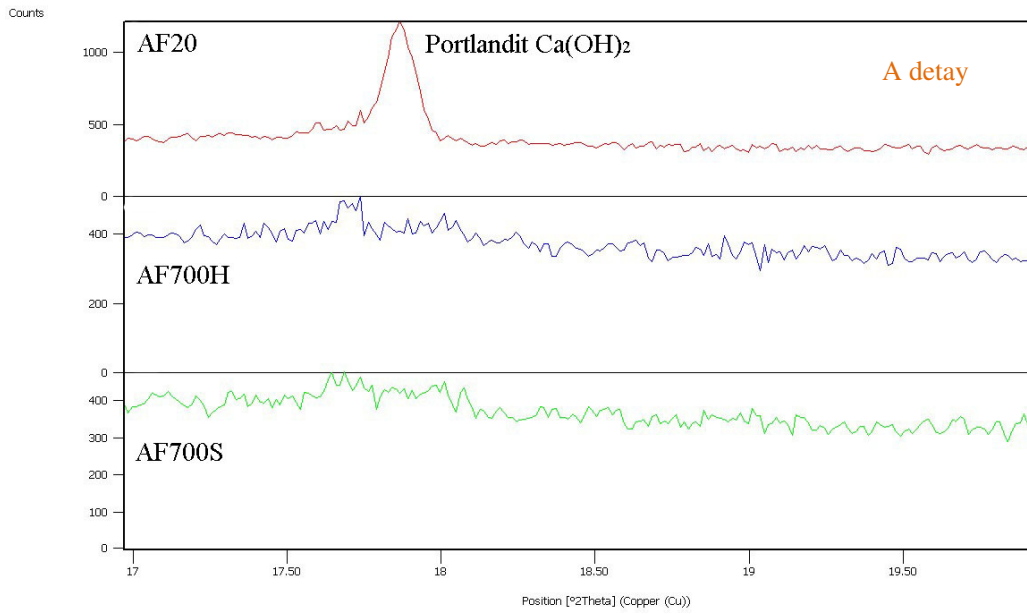
Şekil 4.50. Antifriz katkıli beton XRD kırınım desenleri



Şekil 4.51. Antifriz katkıli beton portlandit piki detayı



Şekil 4.52. AK+Antifriz katkılı beton XRD kırınım desenleri



Şekil 4.53. AK+Antifriz katkılı beton portlandit piki detayı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

C30 beton sınıfı olarak tasarlanan katkısız, akışkanlaştırıcı katkılı, antifriz katkılı, akışkanlaştırıcı+antifriz katkılı beton örneklerine 3 saat süresince 200, 400, 550 ve 700 °C sıcaklık uygulanmıştır. Bu örnekler havada ve su püskürtülerek soğutulmuştur. Referans sıcaklık laboratuvar sıcaklığı olan 20 ± 2 °C olarak alınmıştır. Sıcaklık ve soğutma uygulamaları sonrası beton örnekleri üzerinde su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, XRD ile mikro analiz deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler üzerinde yapılan istatistikî değerlendirmeler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

90. günde laboratuvar sıcaklığında (20 °C) katkısız, akışkanlaştırıcı katkılı, antifriz katkılı ve akışkanlaştırıcı+antifriz katkılı beton örneklerinde en düşük basınç dayanımının 23,42 N/mm² ile antifriz katkılı betona, en yüksek basınç dayanımının 31,20 N/mm² ile akışkanlaştırıcı+antifriz katkılı beton türüne ait olduğu görülmüştür. Katkısız betonun 90. günkü basınç dayanımı 29,67 N/mm², akışkanlaştırıcı katkılı betonun ise 30,11 N/mm² olarak belirlenmiştir. Akışkanlaştırıcı kullanımının S/Ç oranını düşürdüğü ve basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür. 90. günde beton türlerinin tamamında ultrases geçiş hızı 3,5 km/sn üzerindedir.

200, 400, 550 ve 700 °C' sıcaklıklara maruz bırakılan katkısız, akışkanlaştırıcı katkılı, antifriz katkılı, akışkanlaştırıcı+antifriz katkılı beton örneklerinin su emme oranları ile yüksek sıcaklık öncesi referans (20 °C) su emme oranları kullanılarak değişim miktarları hesaplanmıştır. Bu değişim miktarları incelendiğinde;

- 200 °C'de havada ve suda soğutulan katkısız beton ve antifriz katkılı betonların su emme oranlarının değişiminde azalma (havada: katkısız beton -%0,81, antifriz katkılı beton %4,77; suda: katkısız beton -%2,33, antifriz katkılı beton -%7,15) gösterdiği,
- 200 °C'de akışkanlaştırıcı ve akışkanlaştırıcı+antifriz katkılı betonların su emme oranlarındaki değişimin artış yönünde olduğu,
- 400, 550 ve 700 °C'lerde her iki soğutma uygulamasında da tüm beton örneklerinde su emme oranlarının arttığı,

- 400 °C’de en düşük değişim oranının havada % 3,88, suda % 0,41 ile antifriz katkıli beton örneklerine ait olduğu,
- 550 °C sıcaklıkta soğutma koşulları arasındaki farkın açıldığı (örnek: akışkanlaştırmacı katkıli beton havada soğutma % 35,28; su ile soğutma %12,24),
- 550 ve 700 °C’lerde havada soğutulan örneklerin su emme oranları değişim miktarının, su püskürtülerek soğutulan örneklere göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Yüksek sıcaklık ve soğutma koşullarına göre ultrases geçiş hızlarındaki değişim 20 °C’ye ait ultrases geçiş hızı değerleri referans alınarak incelendiğinde;

- Beton örneklerinin tamamında hava/su ile soğutmalarda ultrases geçiş hızının sıcaklık arttıkça azaldığı,
- 200 °C’de her iki soğutma uygulamasında en yüksek ultrases geçiş hızı değişim oranının akışkanlaştırmacı katkıli beton (havada: %8,87; suda:%11,29 azalma) ve akışkanlaştırmacı+antifriz katkıli beton (havada: %8,73; suda:%9,52 azalma) örneklerine ait olduğu,
- Her iki soğutma koşulunda da 400 °C’de akışkanlaştırmacı, antifriz ve akışkanlaştırmacı+antifriz katkıli beton örneklerinde ultrases geçiş hızındaki azalma oranlarının % 40’ın üzerinde olduğu, katkısız betonda ise ultrases geçiş hızı azalma oranının havada soğutulan örneklerde % 36,34 olduğu,
- 550 ve 700 °C sıcaklıklarda suda soğutulan örnekler arasında ultrases geçiş hızındaki en fazla azalmanın % 65,08 ve %73,28 ile akışkanlaştırmacı+antifriz katkıli beton örnekleri olduğu,
- 700 °C’de suda soğutulan örnekler arasında ultrases geçiş hızı en azalan örneğin % 64,89 ile antifriz katkıli beton olduğu belirlenmiştir.

550 ve 700 °C sıcaklıklarda havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızı değerleri belirlenememiştir. Bu durumun 550 °C’de çimento yapısında bulunan Ca(OH)_2 ’in değişime uğrayarak artık CaO ’e dönüşmüş olabileceğinden kaynaklandığı düşünölmektedir. Bu değişim sonucunda örneklerde gözenekli bir yapı olduğu görülmüştür. Su püskürtülerek soğutulan örneklerde ise CaO tekrar Ca(OH)_2 ’e dönüşmekte

ve dolayısıyla hacim artışı olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle havada soğutulan örneklere nazaran suda soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının ölçülebilir düzeyde olduğu kanatine varılmıştır. Diğer taraftan 550 ve 700 °C sıcaklıklara tabi tutulan beton örneklerinin havada soğutulanları üzerinde oluşan çatlaklar ultrases geçiş hızının okunamamasının fiziksel nedeni olarak görülmüştür.

Beton örnekleri üzerinde yüksek sıcaklık ve soğutma koşulları uygulamaları sonucunda gerçekleştirilen basınç dayanımı testi sonuçlarına göre;

- 200 °C’de havada ve suda soğutmada antifriz katkıli betonun basınç dayanımınının 20 °C’de ölçülen referans sıcaklıktaki basınç dayanımına göre arttığı (havada: %3,54; suda:5,39),
- 200 °C’de her iki soğutma koşulunda katkısız beton, akışkanlaştırıcı katkıli, akışkanlaştırıcı+antifriz katkıli beton örneklerinin basınç dayanımlarında azalma meydana geldiği,
- 400 °C’de havada ve suda soğutulan akışkanlaştırıcı katkıli ve akışkanlaştırıcı+antifriz katkıli betonlarda basınç dayanımındaki azalmanın yüksek sıcaklık uygulanmamış (20 °C) örneklere göre %30’un üzerine çıktığı,
- 550 °C’de havada ve suda soğutulan örneklerin 20 °C’ye göre basınç dayanımındaki en az değişimin antifriz katkıli beton türüne ait olduğu (havada %42,74; suda %41,72 azalma), bu sıcaklıktan en çok etkilenen beton türleri ise sırasıyla akışkanlaştırıcı+antifriz ve akışkanlaştırıcı katkıli betonlar olduğu,
- 700 °C’de her iki soğutma koşulunda beton örneklerinde lab. sıcaklığına göre basınç dayanımlarındaki azalmaların birbirine yakın sonuç verdiği (örnek: akışkanlaştırıcı katkıli beton havada %71,07 azalma; antifriz katkıli beton havada %72,50 azalma) görülmüştür.

550 ve 700 °C sıcaklıklarda havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının okunamamasından anlaşılabilceği gibi basınç dayanımındaki azalmanın su ile soğutmaya göre daha fazla olduğu görülmüştür. Örnek olarak katkısız betonun 700 °C’de havada soğutulan örneklerinde basınç dayanımı % 70,21 azalma gösterirken; su ile soğutulan örneklerinde basınç dayanımı % 57,80 azalma göstermiştir.

Yüksek sıcaklık uygulaması sonrası soğutma suyunun pH değişimleri incelendiğinde;

- Sıcaklık arttıkça soğutma suyu pH'ının arttığı,
- 700 °C'de akışkanlaştırıcı+antifriz katkılı betonun soğutulmasında kullanılan suyun 8,62 olarak ölçülen pH değerinin soğutma sonrasında diğer beton örneklerine göre en çok artış göstererek 10,22'ye ulaştığı,
- Sıcaklık değeri arttıkça pH değerinin artmasının bir miktar CaO'in suda çözünerek Ca(OH)₂'e dönüştüğünün sonucu olduğu (örnek olarak akışkanlaştırıcı katkılı beton türünde soğutma suyu pH'ı ortalama 8,29 iken 200, 400, 550 ve 700 °C için sırasıyla 8,26; 8,42; 8,39 ve 9,46 çıkmıştır)

anlaşılmaktadır

X ışını kırınım yöntemi ile 20 °C (lab. sıcaklığı) ve 700 °C beton türlerinde kırınım desenleri incelendiğinde, tüm beton türlerinde 20 °C'de görülen portlandit (Ca(OH)₂) pikinin 700 °C'de her iki soğutma koşulunda da azaldığı görülmüştür.

Agrega üretiminde kullanılan ana kayaç üzerinde yapılan incelemelerde basınç dayanımı 43,81 N/mm² olarak ölçülmüştür. 700 °C sıcaklık ve havada/suda soğutma koşulları sonrası fiziksel ve mekanik özelliklerinde olumsuz değişim meydana gelmiştir. Ana kayaç örneğinin su emme değeri 10 katı kadar artmış, ultrases geçiş hızı düşmüş, basınç dayanımı ise yarı yarıya azalmıştır. 700 °C sıcaklık uygulamasının ardından ana kayacın kalan basınç dayanımlarının havada soğutulan örneklerde %54,52; suda soğutulan örneklerde ise %52,73 olduğu belirlenmiştir. Su püskürtülerek soğutulan ana kayaç örneğinin havada soğutulana göre basınç dayanımının daha az olduğu görülmüştür. XRD kırınım desenleri'ne göre; ana kayaçta 700 °C'de herhangi bir minerolojik değişim meydana gelmediği belirlenmiştir.

Sonuç olarak sıcaklık artışına bağlı olarak katkısız ve katkılı beton türlerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerde;

- 200 °C'de antifriz katkılı beton türünün basınç dayanımı artarken, katkısız ve diğer katkılı beton türlerinin basınç dayanımlarının azaldığı,

- Beton türlerinin hepsinde 400, 550 ve 700 °C’de hava ve su soğutma koşullarında su emme oranlarında artış meydana geldiği,
- 200 °C’den 700 °C’ye doğru sıcaklık arttıkça beton türlerinin tamamında ultrases geçiş hızlarının azaldığı,
- 400 °C’de beton türlerinin tamamında suda soğutulan örneklerin havada soğutulanlara göre daha fazla basınç dayanımı kaybına uğradığı,
- 550 ve 700 °C sıcaklık uygulanan örneklerde havada soğutulanların suda soğutulanlardan daha fazla dayanım kaybına uğradığı,
- Su ile yapılan soğutmalarda tüm sıcaklıklarda en az dayanım kaybının antifriz katkıli beton türüne ait olduğu,
- En yüksek soğutma suyu pH değişiminin 700 °C’de (8.62-10.22) %18,56 ile akışkanlaştırıcı+antifriz katkıli betona ait olduğu,
- XRD analizinde tüm beton türlerinde 20 °C’de görülen portlandit pikinin 700 °C’de azaldığı

belirlenmiştir.

Beton türlerinde en fazla fiziksel ve mekanik özellik kaybı 700 °C sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örneklerde görülmüştür. 700 °C ve havada soğutulan katkısiz beton % 70,21, akışkanlaştırıcı katkıli beton %71,07, antifriz katkıli beton ise %72,50 dayanım kaybına uğramıştır. 700 °C sıcaklık ve havada soğutma koşullarından en fazla etkilenen beton türü %74,41 dayanım kaybı ile akışkanlaştırıcı+antifriz katkıli beton türü olmuştur. Bu farklılıkların akışkanlaştırıcı+antifriz katkıli betonun 20 °C’deki basınç dayanımının yüksek olmasından kaynaklandığı kanaatine varılmıştır.

Kimyasal katkı-yüksek sıcaklık ilişkisinin belirlenmesi amacıyla farklı tip çimentolar ile üretilmiş çimento hamurları üzerinde farklı türde ve oranlarda kimyasal katkılar kullanılarak detaylı çalışmalar yapılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Abdulkareem, O., A., Murtafa Al Bakri, A. M., Kamarudin, H., Nizar, I. K., Saif, A. A. (2014). Effects Of Elevated Temperatures On The Thermal Behavior And Mechanical Performance Of Fly Ash Geopolymer Paste, Mortar And Lightweight Concrete, *Construction and Building Materials*, 50 377-387.
- Akça, A. H., Zihnioğlu, N. (2013). High Performance Concrete Under Elevated Temperatures, *Construction and Building Materials* 44, p. 317–328.
- Akçaözoğlu, K. (2013). Microstructural Examination of Concrete Exposed to Elevated Temperature by Using Plane Polarized Transmitted Light Method, *Construction and Building Materials* 48 772–779
- Akman, S. (1989). Beton Dayanıklılık Özelliği Ve Önemi, *I. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul.
- Al-Akhras, , N. M., Al-Akhras, K. M., Atom, M. F. (2009). Performance Of Olive Waste Ash Concrete Exposed To Elevated Temperatures, *Fire Safety Journal*, 44, 370–375
- Andrade Silva, F., Butler, M., Hempel, S., Toledo Filho, R.D. (2014). Effects of Elevated Temperatures On The Interface Properties of Carbon Textile-reinforced Concrete, *Cement&Concrete Composites* 48, 26-34
- Andrade, C., Alonso, C., Khoury, G.A. (2003). Relating Microstructure to Properties, Course on Effect of Heat on Concrete, *International Centre for Mechanical Sciences (CISM)*, Italy
- Arslan, M., Demir. İ. (2005). Kırşehir Yöresi Kırmataş Agregalarının Mühendislik Özellikleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 20, No:3, 335-346
- Arslan, M., Demir. İ. (2006). Kırşehir Yöresi Kırmataşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 21, No:3, 489-497
- Aruntas, H. Y., Durmus, G., Can, Ö., Gökçe, H. S. (2007). Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Kimyasal Katkılı Betonların İncelenmesi, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara
- ASTM C 597 (2002). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, *ASTM International*
- Ataman, R. (1991). *Beton Yapıların Yangın Dayanımlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Felekoğlu, K. T., Aydın, S., Yardımcı, M. Y., Topal, A., Öztürk, A. V. (2012). *Beton*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, sy. 570-580

- Baradan,B., Aydın, S. (2013). Betonun Durabilitesi, *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi* p. 64-288
- Bekem, İ. (2010). *Kalker Kırmataş İle Üretilen Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisine Dayanıklılığı*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (2007). Ankara
- Binici, H., Eken, M., Dinçer, A. (2013a). Silis Dumanı, Uçucu Kul ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Betonların Bazı Durabilite Özellikleri, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), s. 11-20
- Binici, H., Temiz, H., Sevinç, H. A., Eken, M., Kara, M., Şayir, Z. (2013b). Değişik Katkılar İçeren Betonların Yangına Dayanıklılığının İncelenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9(1)1-15
- Butcher, E.G., Parnell, A.C. (1983). Designing For Fire Safety, *John Wiley and Sons Ltd.*, New York p.80-85
- Coşkun, A., Tanyıldızı, H., Yazıcıoğlu, S. (2007). Mineral Katkılı Betonun Aderans Dayanımına 800 °C'nin Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 13, Sayı 3, 347-351
- Cree, D., Green, M., Noumowe, A. (2013). Residual Strength Of Concrete Containing Recycled Materials After Exposure To Fire: A Review, *Construction and Building Materials* 45, p. 208–223
- Çelebi, R., Akıncıtürk, N. (2003). Yangın Yapı Tasarım İlkeleri, *T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 136-140
- Çil, İ., Çakır, Ö.A., Ramyar, K., Bilgin, A. ve Karaduman, N. (2007). Farklı Tip Çimentoların Yüksek Sıcaklıklara Direnci, *Proje No: MAG 106M158*, İzmir http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TPRJ%2CTTAR%2CTTIP%2CTMUH%2CTSOS&ano=91166_24500826837699fbf9982e56929adc0e
- Çivici, F., Eren, İ. (2004). Çelik Lifli Betonun Direkt Çekme Dayanımının Ölçülmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma”, *Türkiye Mühendislik Haberleri* Sayı 434/6, s. 49-53
- Çopuroğlu, O. (2013). Çimentolu Malzemelerin Karakterizasyonunda Mikroskop Kullanımı, *Hazır Beton Kongresi*, s. 370-385, İstanbul.
- Çullu, M. (2009). *Antifriz Katkısının Beton Dayanıklılığı Üzerine Etkisi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, s. 1-2
- Çullu, M., Arslan, M. (2013). The Effects Of Antifreeze Use On Physical And Mechanical Properties Of Concrete Produced İn Cold Weather, *Composites: Part B* 50, p. 202–209
- Çullu, M., Arslan, M. (2014). The Effects of Chemical Attacs On Physical and Mechanical Properties of Concrete Produced Under Cold Weather Conditions, *Construction and Building Materials* 57 p.53-60

- Demir, İ. (2005). Kırşehir Yöresi Kayaçlarının Kırmataş Agregası Olarak Kullanılabilirlik Özellikleri, *Politeknik Dergisi*, Cilt: 8 Sayı: 1, s. 111-121
- Demir, İ. (2003). *Kırşehir Yöresi Kırmataş Agregalarının Mühendislik Özellikleri*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara
- Demir, İ., Arslan, M. (2013). The Mechanical and Microstructural Properties of Li₂SO₄, LiNO₃, Li₂CO₃ and LiBr Added Mortars Exposed To Alkali-Silica Reaction, *Construction and Building Materials* 42 p. 64-77
- Demirel, B., Gönen, T. (2008). Yüksek Sıcaklığın Karbon Lif Takviyeli Hafif Betonda Basınç Dayanımı ve Poroziteye Etkisi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 14, Sayı 2, s. 223-228
- Demirel, F., Özkan, E. (2003). Çelik Yapı Bileşenleri ve Yangın Güvenlik Önlemleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 18, No 4, 89-107
- Donatello, S., Kuenzel, C., Palomo, A., Fernandez-Jimenez, A. (2014). High Temperature Resistance of a Very High Volume Fly Ash Cement Paste, *Cement&Concrete Composites* 45, pp. 234-242
- Dorum, A., Koçak, A., Yılmaz, B., Uçar, A. (2010), Uçucu Kül Katkılı Çimento Hidratasyonuna Elektrokinetik Özelliklerin Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, No 3, s. 449-457
- Durmuş, G., Arslan, M. (2009). Yüksek Sıcaklığın Beton Boşluk Yapısına Etkileri, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, Türkiye
- Durmuş, G., Bekem, İ. (2010). Yüksek Sıcaklığın ve Farklı Soğutma Koşulunun Kalker Agregalı Betonlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, No 4, 741-748
- Durmuş, G., Can, Ö., Gökçe, H.S. (2007). Hava Sürükleyici Katkılı Betonun Farklı Sıcaklıklardaki Davranışlarının İncelenmesi, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara
- Durmuş, G., Can, Ö., Gökçe, H.S. (2009). Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Betonların Yüksek Sıcaklıktaki Basınç Dayanımı”, *E-journal of New World Sciences Academy*, Volume 4, Number 4
- Erdoğan, Ş., Kurbetçi, Ş., Kandil, U. (2013). Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Cürufli Çimento ile Uyumunun Araştırılması, *Uluslararası Katılımlı Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi*, Ankara, 233-245
- Ergün, A., Kürklü, G., Başpınar, M. S., Manour, M. Y. (2013). The Effect Of Cement Dosage On Mechanical Properties Of Concrete Exposed To High Temperatures, *Fire Safety Journal* 55, pp 160–167
- Fares, H., Remond, S., Noumowe, A., Cousture, A. (2010). High Temperature Behaviour of Self-consolidating Concrete Microstructure and Physicochemical Properties, *Cement and Concrete Research* 40, pp 488-496

- Gani, M.S.J. (1997). Cement and Concrete, *Chapman & Hall*, ISBN 0 412 79050 5, London, p. 170
- Geogali, P., Tsakiridis, P.E. (2005). Microstructure of Fire-Damaged Concrete: A Case Study, *Cement&Concrete Composites* 27, pp 255-259
- Gökçe, H.S., Taban, S., Şimşek, O. (2010). Farklı Agregalar Üzerinde Alkali Silika Reaksiyonu Etkilerinin Belirlenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, No 4, s 803-809
- Gökçer, B., Yıldız, S., Keleştemur, O. (2012). Atık Mermer Tozu ve Cam Lif Katkılı Harç Numunelerinin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları, *International Construction Congress*, Isparta
- Gökçer, B., Yıldız, S., Keleştemur, O. (2013). Atık Mermer Tozu Ve Cam Lif Katkılı Harç Numunelerinin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları, *SDU International Technologic Science*, Vol. 5, No 2, pp 42-55
- Heap, M. J., Lavalley, Y., Laumann, A., Hess, K.U., Meredith, P. G., Dingwell, D.B., Huismann, S., Weise, F. (2013). The İnfluence Of Thermal-Stressing (Up To 1000°C) On The Physical, Mechanical, And Chemical Properties Of Siliceous-Aggregate, High-Strength Concrete, *Construction and Building Materials* 42, pp 248-265
- Hossain, K.M.A. (2006). High Strength Blended Cement Concrete Incorporating Volcanic Ash: Performance At High Temperatures, *Cement & Concrete Composites* 28, pp 535-545
- Hüsem, M., Karaca, Z. (1997). Hafif ve Geleneksel Beton Yangın Dayanımlarının Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi*, s 435-496, İzmir <http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/12646.pdf>.
- Kamanlı, M., Balık, F. S. (2003). Beton Teknolojisi, *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul
- Karakoç, M. B. (2013). Effect Of Cooling Regimes On Compressive Strength Of Concrete With Lightweight Aggregate Exposed To High Temperature, *Construction and Building Materials* 41, pp 21-25
- Kasım Ayı Çimento Analiz Raporu (2013). *LİMAK Ankara Çimento Fabrikası*, Ankara
- Kızıllkanat, A.B ve Yüzer, N. (2008). Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi, *İMO Teknik Dergi*, 4381-4392, Yazı 289
- Kızıllkanat, A.B., Yüzer, N., Kabay, N. (2013). Thermo-Physical Properties Of Concrete Exposed To High Temperature, *Construction and Building Materials* 45, pp 157-161
- Kovler, K., Roussel, N. (2011). Properties of Fresh and Hardened Concrete, *Cement and Concrete Research*, 775-792
- Mehta, P.K., Monterio, P.J.M. (1997). Concrete Microstructure, Properties and Materials, *Indian Concrete Institute*, pp 548

- Morsy, M. S., Al-Salloum, Y.A., Abbas, H., Alsayed, S. H. (2012). Behavior of Blended Cement Mortars Containing Nano-metakaolin at Elevated Temperatures”, *Construction and Building Materials*, 35 pp 900–905
- Nadeem, A., Memon, S.A., Yiu Lo, T. (2014). The Performance of Fly Ash and Metakaolin Concrete at Elevated Temperatures, *Construction and Building Materials* 62, pp 67-76
- Newman, J., Choo, B.S. (2003). Advanced Concrete Tecnology, *Butterworth-Heinemann*, ISBN 0 7506 5104 0 Oxford
- Noumowe, A.N., Siddique, R., Debicki, G. (2009). Permeability of High-Performance Concrete Subjected To Elevated Temperature (600 °C), *Construction and Building Materials* 23 pp 1855-1861
- Özkan, E. (2002). *Çelik Yapı Bileşenlerinde Alınması Gereken Yangın Güvenlik Önlemleri ve Bir Uygulama Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Pathak, N., Siddique, R. (2012). Properties Of Self-Compacting-Concrete Containing Fly Ash Subjected To Elevated Temperatures, *Construction and Building Materials* 30, pp 274-280
- Postacıoğlu, B. (1987). Beton (Cilt II), *Teknik Kitaplar Yayınevi*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, s 403, İstanbul
- Ramyar, K. (2007). Portland Çimentosu – Süperakışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler, 2. *Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi*, Ankara
- Rashad, A. M., Zeedan, S. R. (2012) .A Preliminary Study of Blended Pastes of Cement and Quartz Powder Under The Effect of Elevated Temperature, *Construction and Building Materials*, 29 pp 672-681
- Rashad,A. M., Bai, Y., Basheer,P.A.M., Collier, N.C., Milestone, N.B. (2012). Chemical And Mechanical Stability Of Sodium Sulfate Activated Slag After Exposure To Elevated Temperature, *Cement and Concrete Research* 42 ,333–343
- Sancak, E., Şimşek, O. (2006). Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 21, No 3, s 443-450
- Stolnikov, V. V., Çeviren: Beyazıt, Ö.L (1968). Beton Katkıların Seçimi ve Bazı Özellikleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 20
- Subaşı, S., İşbilir, B., Ercan, İ. (2011). Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi, *Politeknik Dergisi*, Cilt 14, Sayı 2, Ankara
- Şimşek, O. (2010). Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, *Seçkin Yayıncılık* (3. baskı), Ankara sy. 304

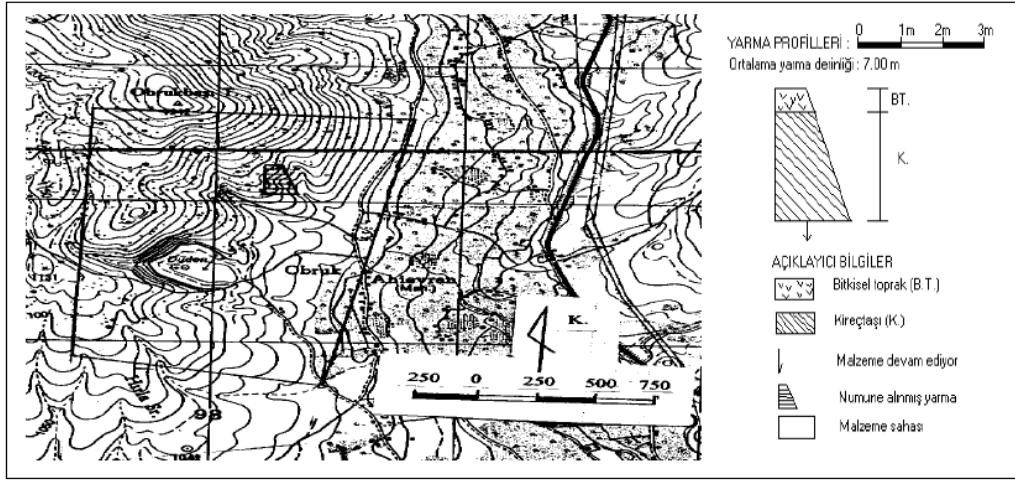
- Şimşek, O. (2009). Beton ve Beton Teknolojisi, *Seçkin yayıncılık*, Ankara s. 22, 157, 158, 164
- Şimşek, O., Aruntaş., Y., Demir, İ. (2007). Beton Üretiminde Süper Akışkanlaştırıcı Çeşidi ve Oranının Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 22, No 4, s 829-835
- Topçu, İ. B., Canbaz,M. (2009). Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufllu Harçların Yüksek Sıcaklıklara Maruz Aldıktan Sonraki Mikroyapıları, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Cilt:10 sayı:1 319-326
- Topçu, İ.B., Demir A. (2007). Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özelliklerine Etkisi”, *7. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, s. 455-463
- Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L. (2011). Yapı Eleman Tasarımında Malzeme” *Literatür Yayınları*, İstanbul, s 71-80.
- TS 1247 (1984). Beton Yapım, Döküm Ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS 3529 (1980). Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS 3530 EN 933-1 (1999). Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS 802 (1985). Beton Karışımı Hesap Esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 1097-6 (2002). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 12350-2 (2002). Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 12390-3 (2003). Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 12390-7 (2010). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 12504-1 (2011). Beton-Yapıda Beton Deneyleri-Bölüm 1: Karot Numuneler-Karot alma, Muayene ve Basınç Dayanımı Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 206–1 (2002). Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 934-2 (2011). Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet için- Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları-Tarifler, Gereklere, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

- Türkel, S., Felekoğlu, B. (2004). Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Kullanımının Taze ve Sertleşmiş Betonun Bazı Özellikleri Üzerine Etkileri, *DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 6, sayı 1, s 77-89
- Uygunoğlu, T. (2009). Yüksek Oranda Silis Dumanı İçeren Harçlarda Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR) Gelişiminin İncelenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt: 5, No: 2, s 9-16
- Uysal, M., Yılmaz, K., İpek, M. (2012). Properties and Behavior Of Self-Compacting Concrete Produced With GBFS and FA Additives Subjected To High Temperatures, *Construction and Building Materials*, 28 , pp 321-326
- Xiao, J., König, G. (2004). Study On Concrete At High Temperature In China—An overview, *Fire Safety Journal* 39, pp 89-103
- Yalçın, H., Gürü, M. (2006). Çimento ve Beton, *Palme Yayıncılık*, Ankara, s10
- Yalçınkaya, Ç., Ahsanollah Beglarigale, A., Yazıcı, H., Yiğiter, H. (2013). Yüksek Sıcaklığın Sifcon'un Direncine Etkisi, *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, s 81-90
- Yaltay, N., Ekinci, C.E. (2013). Kolemanit Katkılı ve Pomza Agregalı Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Altındaki Basınç Mukavemeti Özelliğinin Tahribatsız Yöntemle İncelenmesi, *SDU International Technologic Science*, Vol. 5, No 2, pp 30-41
- Yaprak, H., Karacı, A. (2009). Polipropilen Lifli Betonların Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, *Int.J.Eng.Research & Development*, Vol.1,No.2 http://www.kku.edu.tr/~ijerad/sayi_2/IJERAD0902_06.pdf
- Yazıcı, H. (2006). Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Dayanıklılığın İncelenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 8, Sayı 1, s 51-58
- Yazıcı, Ş., İnan Sezer, G. (2010). Farklı Dayanım Seviyelerindeki Betonlarda Beton Örtü Tabakası Kalınlığının, Yüksek Sıcaklık Seviyesinin ve Etki Süresinin Donatı Aderansına Etkisi, *TUBİTAK*, Proje No: 107M345
- Yıldırım, S., Bulmuş, T. (2009). X-ışını Toz Kırınım Yöntemi İle Bir Seri Çimento Örneğinin Nitel Analizi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 25 (1-2) s 183 - 196
- Yüzer, N., Kızılkanaat, A. B., Uçarkoşar, B. (2013). Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışları, *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi* s. 312-336
- Zega, C. J., Di Maio, A. A. (2009). Recycled Concrete Made With Different Natural Coarse Aggregates Exposed To High Temperature, *Construction and Building Materials* 23, pp 2047-2052
- Zheng, W., Li, H., Wang, Y. (2012). Compressive Behaviour Of Hybrid Fiber-Reinforced Reactive Powder Concrete After High Temperature, *Materials and Design* 41, pp 403-409

Zheng, W., Luo, B., Wang, Y. (2013). Compressive And Tensile Properties Of Reactive Powder Concrete With Steel Fibres At Elevated Temperatures, *Construction and Building Materials* 41, pp 844–851

EKLER

EK-1. Obruk taş ocağı



Harita 1.1. Obruk taşocağı topografik haritası



Resim 1.1. Obruk taş ocağı görünümü



Resim 1.2. Obruk taş ocağındaki agrega yığınları (0-4, 4-8, 8-16 mm)

EK-2. Hazır beton üreticileri anketi

Çizelge 2.1. Anket soruları

1. Binalarda kullanılacak betonlar için en yaygın olarak hangi beton sınıfı üretim yapmaktasınız?
2. Yukarıda belirttiğiniz beton sınıfı için kullandığınız kimyasal katkı maddesi türü nedir?
3. Kimyasal katkı maddesini yüzde kaç oranında kullanmaktasınız?
4. Özellikle kış aylarındaki (soğuk havada) beton üretiminde kullandığınız kimyasal katkı maddesi türü nedir?
5. Kış aylarında tercih edilen kimyasal katkı maddesini yüzde kaç oranında kullanmaktasınız?
6. Yaz aylarında (sıcak havada) beton üretiminde kullandığınız kimyasal katkı maddesi türü nedir?
7. Yaz aylarında tercih edilen kimyasal katkı maddesini yüzde kaç oranında kullanmaktasınız?

EK-3. Çalışmada kullanılan alet ve cihazlar



Resim 3.1. 35 dm³ hacimli beton mikseri



Resim 3.2. Kür havuzu

EK-3. (devam) Çalışmada kullanılan alet ve cihazlar



Resim 3.3. Karot makinesi



Resim 3.4. Taş kesme makinesi

EK-3. (devam) Çalışmada kullanılan alet ve cihazlar



Resim 3.5. Etüv



Resim 3.6. Sıcaklık ve nemölçer



Resim 3.7. Dijital 0,01 hassasiyetli pH metre

EK-3. (devam) Çalışmada kullanılan alet ve cihazlar



Resim 3.8. Dijital termometre



Resim 3.9. Kırıcı

EK-3. (devam) Çalışmada kullanılan alet ve cihazlar



Resim 3.10. Halkalı öğütücü



Resim 3.11.XRD cihazı

EK-4. Soğutma suyu ve ortam özellikleri

Çizelge 4.1. 200 °C yüksek sıcaklık uygulanan örneklerin soğutma suyu ve ortam özellikleri

Sıcaklık	200 °C			
<i>Beton türü</i>	<i>Katkısız</i>	<i>AK katkılı</i>	<i>PH katkılı</i>	<i>AK+PH katkılı</i>
Laboratuvar sıcaklığı, °C	19,6	20,1	19,8	19,05
Laboratuvar nemi, %	52	50	55	50
Soğutma suyu sıcaklığı, °C	11,8	14,1	12,01	17,9
Soğutma suyu başlangıç, pH değeri	8,08	8,12	8,30	8,45
Örnek soğuma süresi, dk	5			
Soğutma için kullanılan su miktarı *, litre	55			
Soğutma sonrası, su sıcaklığı °C	14,5	14,9	15,4	16,5
Soğutma sonrası, su pH değeri	8,14	8,26	8,42	8,66

Çizelge 4.2. 400 °C yüksek sıcaklık uygulanan örneklerin soğutma suyu ve ortam özellikleri

Sıcaklık	400 °C			
<i>Beton türü</i>	<i>Katkısız</i>	<i>AK katkılı</i>	<i>PH katkılı</i>	<i>AK+PH katkılı</i>
Laboratuvar sıcaklığı, °C	21,1	20,6	20,1	20,2
Laboratuvar nemi, %	55	56	55	50
Soğutma suyu sıcaklığı, °C	12,4	12,8	12,8	14,3
Soğutma suyu başlangıç, pH değeri	8,24	8,28	8,26	8,45
Örnek soğuma süresi, dk	8			
Soğutma için kullanılan su miktarı *, lt	95			
Soğutma sonrası, su sıcaklığı °C	17,3	17,1	18,1	17,2
Soğutma sonrası, su pH değeri	8,38	8,42	8,41	8,68

EK-4. (Devam) Soğutma suyu ve ortam özellikleri

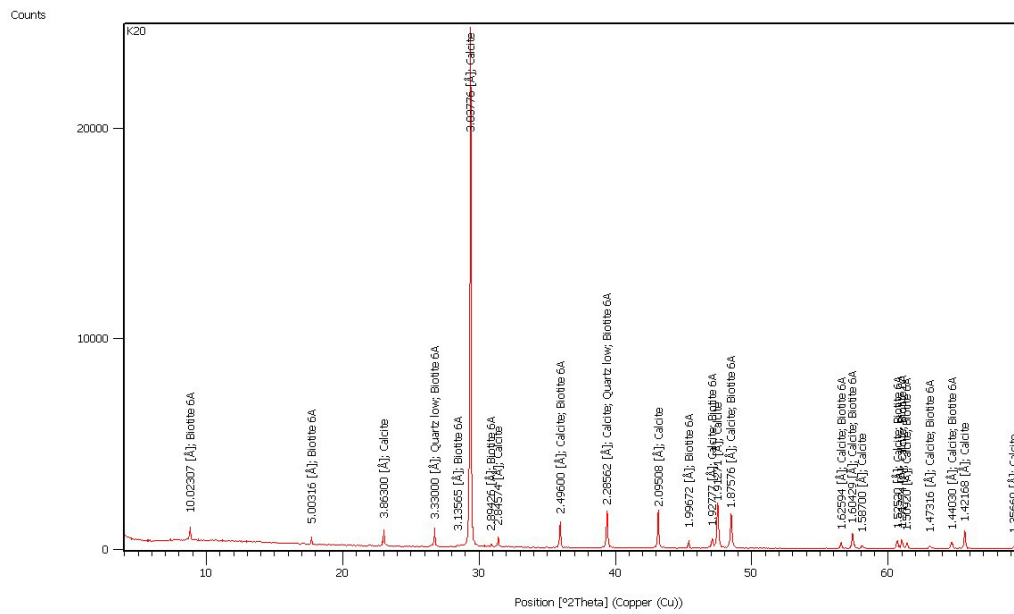
Çizelge 4.3. 550 °C yüksek sıcaklık uygulanan örneklerin soğutma suyu ve ortam özellikleri

Sıcaklık	550 °C			
<i>Beton türü</i>	<i>Katkısız</i>	<i>AK katkılı</i>	<i>PH katkılı</i>	<i>AK+PH katkılı</i>
Laboratuvar sıcaklığı, °C	19,6	19,7	18,6	21,1
Laboratuvar nemi, %	59	59	54	52
Soğutma suyu sıcaklığı, °C	12,4	12,3	12,5	14,5
Soğutma suyu başlangıç, pH değeri	8,41	8,29	8,37	8,54
Örnek soğuma süresi, dk	10			
Soğutma için kullanılan su miktarı*, lt	120			
Soğutma sonrası, su sıcaklığı °C	17,2	19,4	17,2	20,3
Soğutma sonrası, su pH değeri	8,48	8,39	8,65	8,88

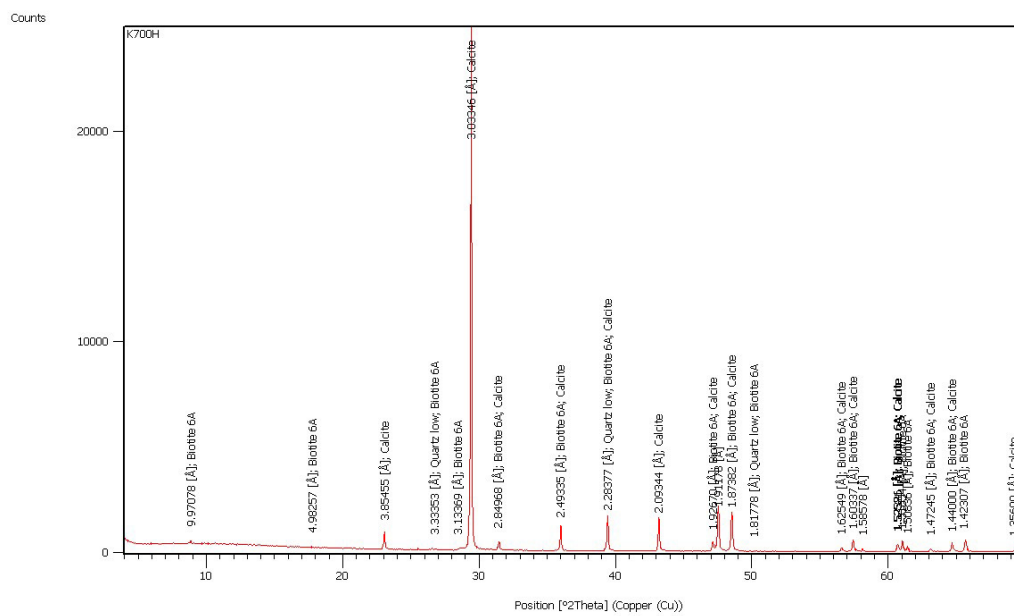
Çizelge 4.4. 700 °C yüksek sıcaklık uygulanan örneklerin soğutma suyu ve ortam özellikleri

Sıcaklık	700 °C			
<i>Beton türü</i>	<i>Katkısız</i>	<i>AK katkılı</i>	<i>PH katkılı</i>	<i>AK+PH katkılı</i>
Laboratuvar sıcaklığı, °C	19,6	20,5	17,8	18,6
Laboratuvar nemi, %	51	52	51	53
Soğutma suyu sıcaklığı, °C	12,8	12,8	12,4	13,5
Soğutma suyu başlangıç, pH değeri	8,42	8,47	8,53	8,62
Örnek soğuma süresi, dk	13			
Soğutma için kullanılan su miktarı*, lt	160			
Soğutma sonrası, su sıcaklığı °C	19,1	17,9	17,4	20,9
Soğutma sonrası, su pH değeri	9,42	9,46	9,44	10,22

Ek-5. XRD kırınım desenleri

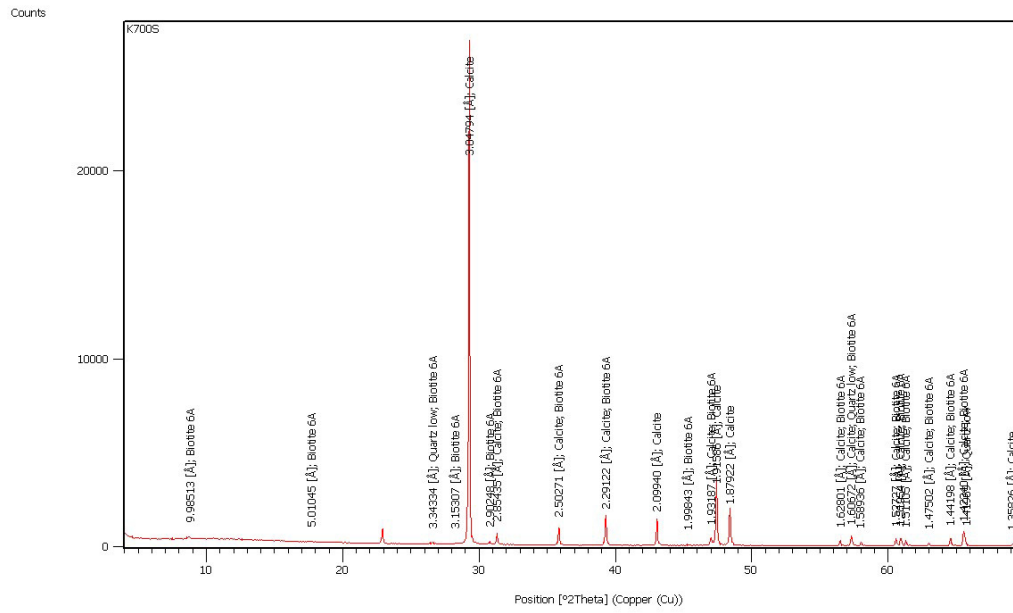


Şekil 5.1. Kayaç 20 °C

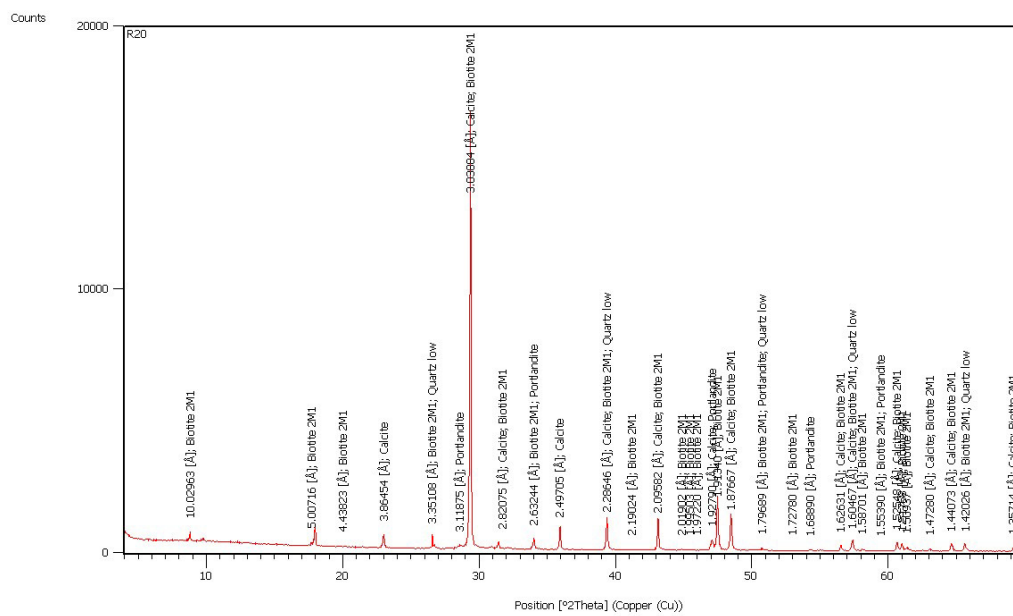


Şekil 5.2. Kayaç 700 °C havada soğutma

Ek-5. (devam) XRD kırınım desenleri

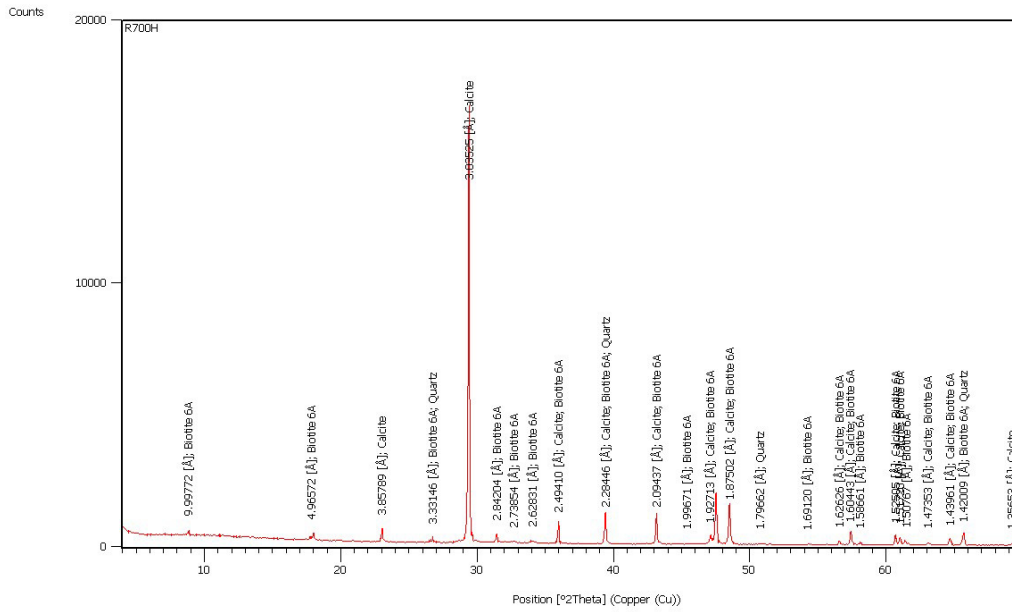


Şekil 5.3. Kayaç 700 °C su püskürterek soğutma

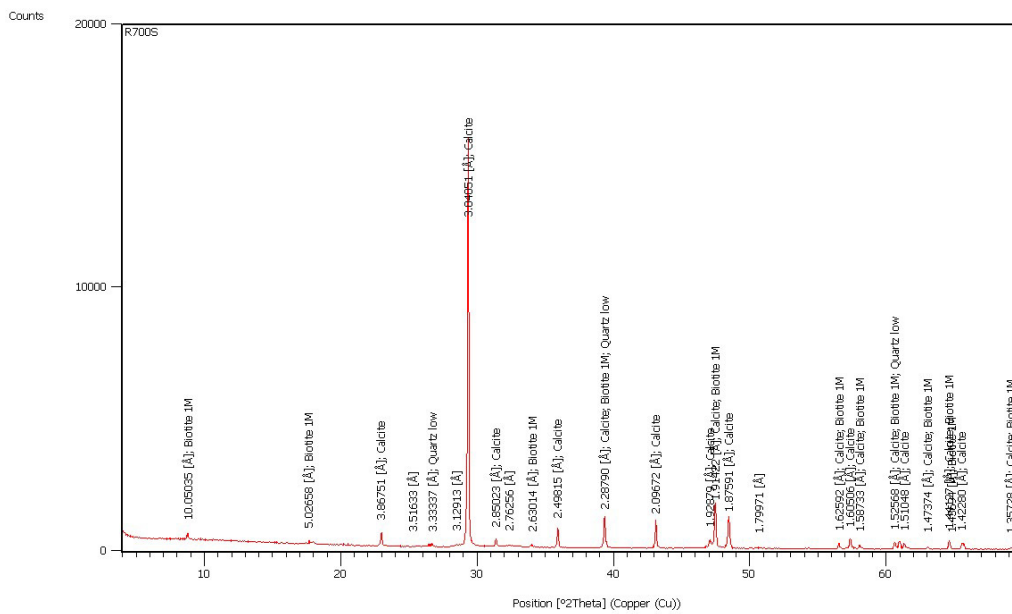


Şekil 5.4. Katkısız beton 20 °C

Ek-5. (devam) XRD kırınım desenleri

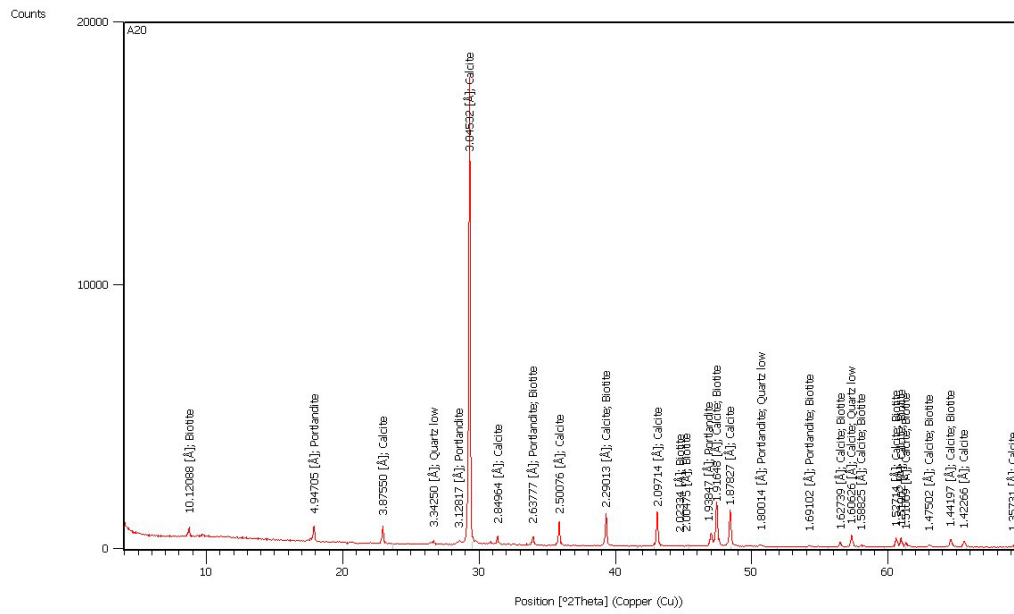


Şekil 5.5. Katkısız beton 700 °C havada soğutma

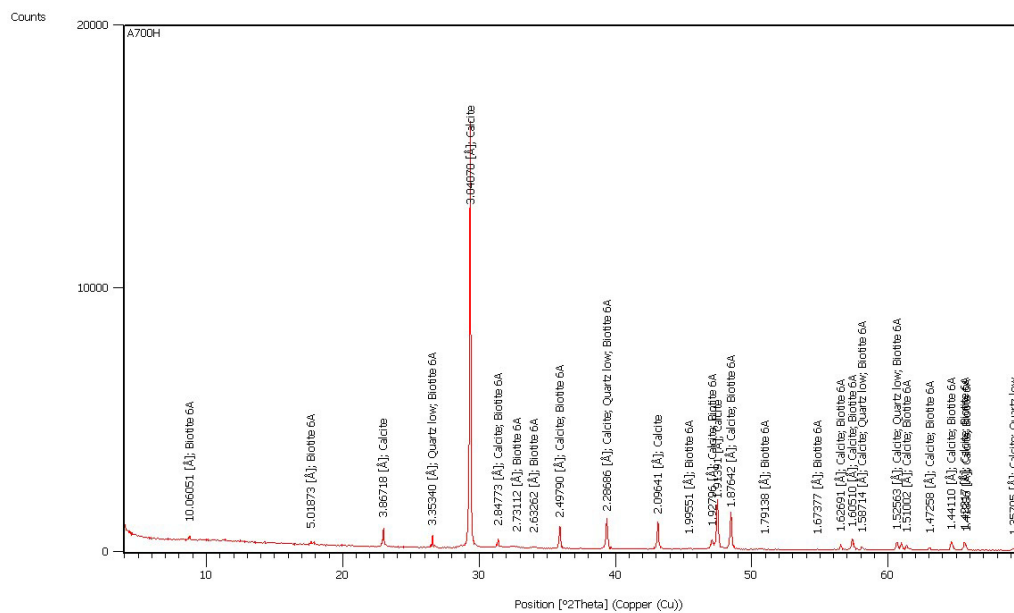


Şekil 5.6. Katkısız beton 700 °C su püskürterek soğutma

Ek-5. (devam) XRD kırınım desenleri

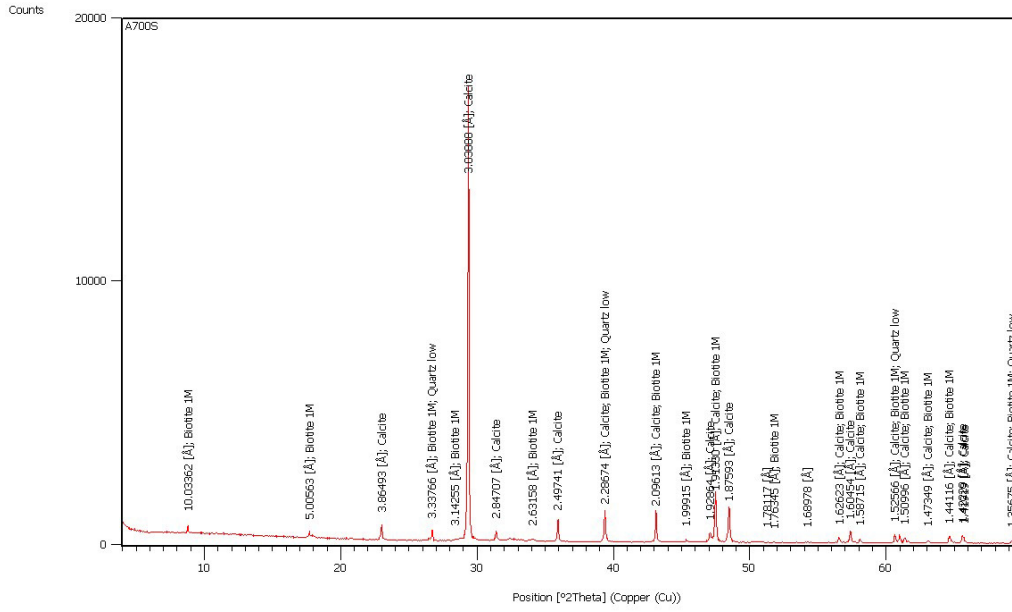


Şekil 5.7. AK katkılı beton 20 °C

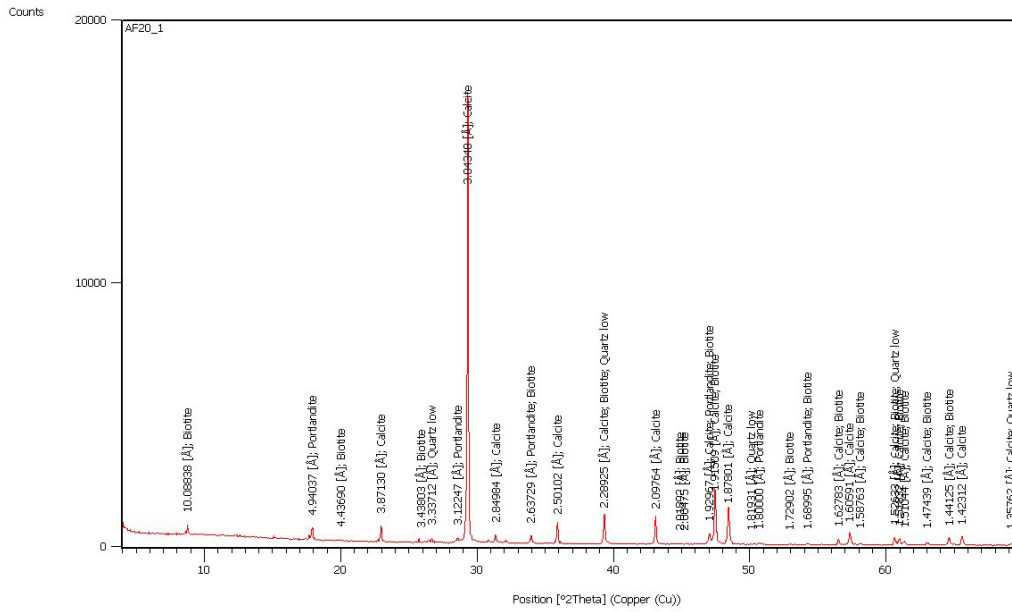


Şekil 5.8. AK katkılı beton 700 °C havada soğutma

Ek-5. (devam) XRD kırınım desenleri

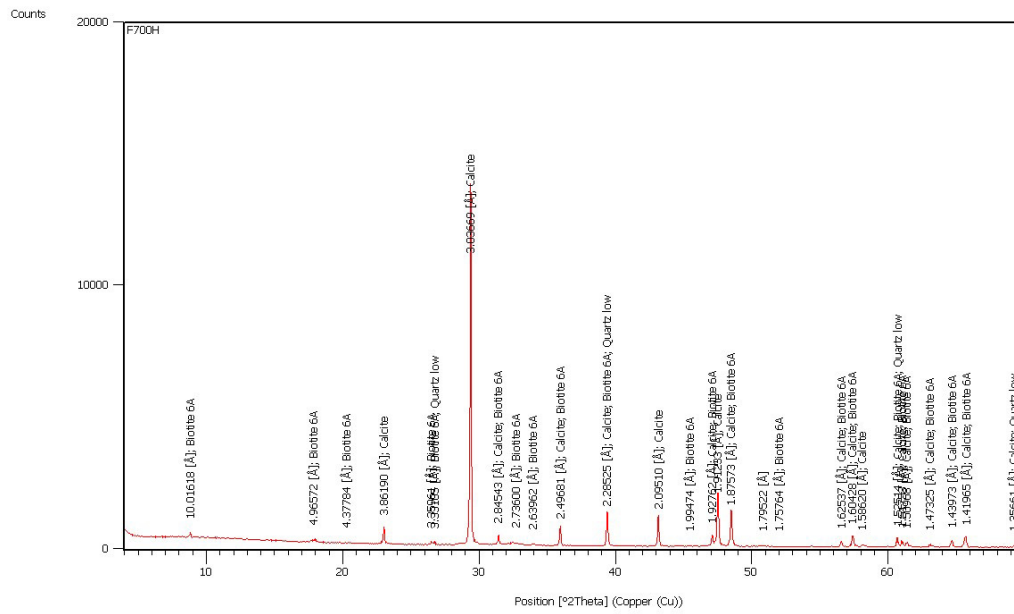


Şekil 5.9. AK katkıli beton 700 °C su püskürterek soğutma

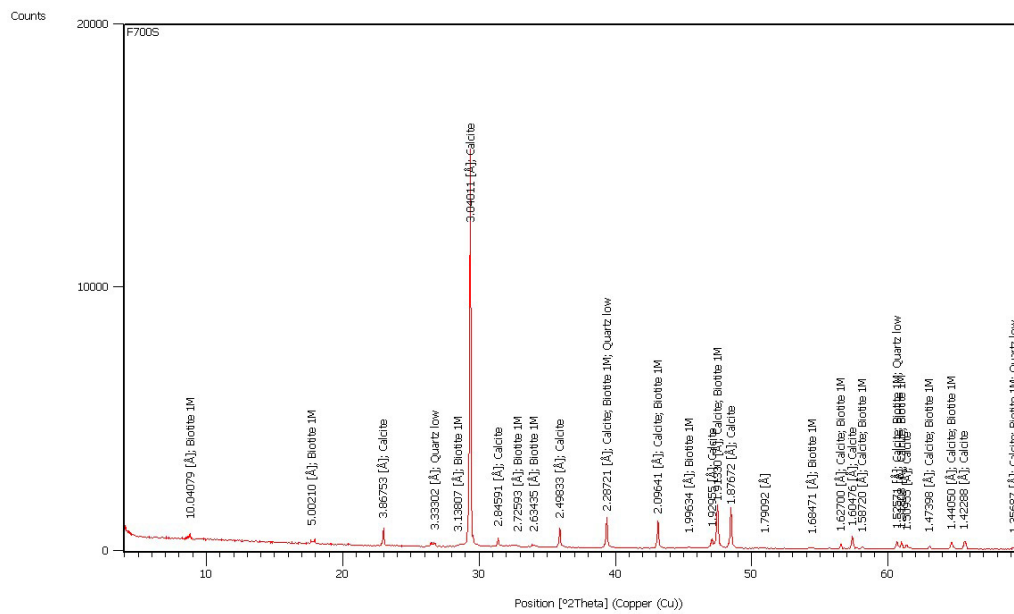


Şekil 5.10. Antifriz katkıli beton 20 °C

Ek-5. (devam) XRD kırınım desenleri

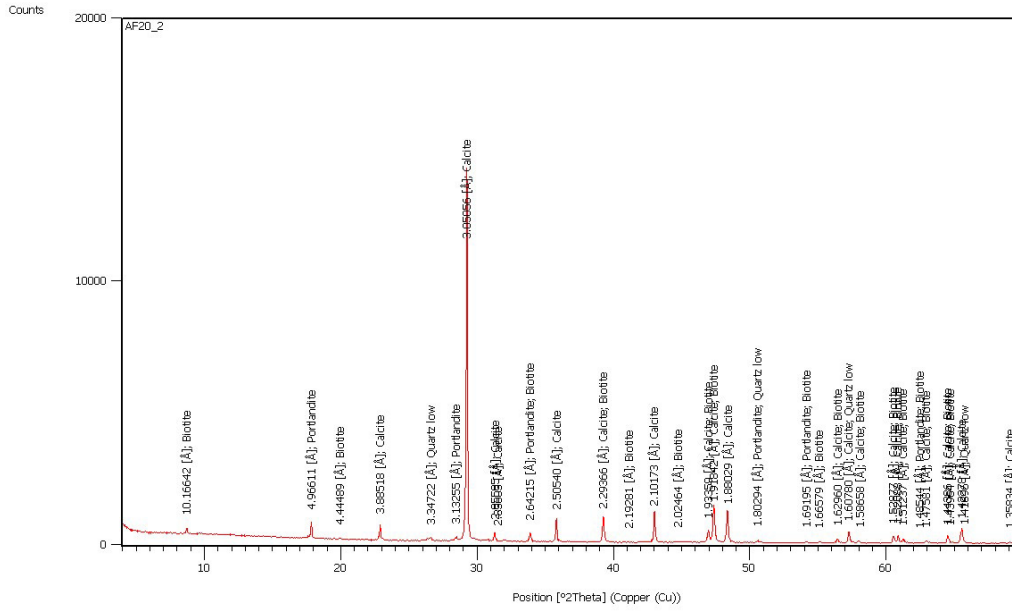


Şekil 5.11. Antifriz katkılı beton 700 °C havada soğutma

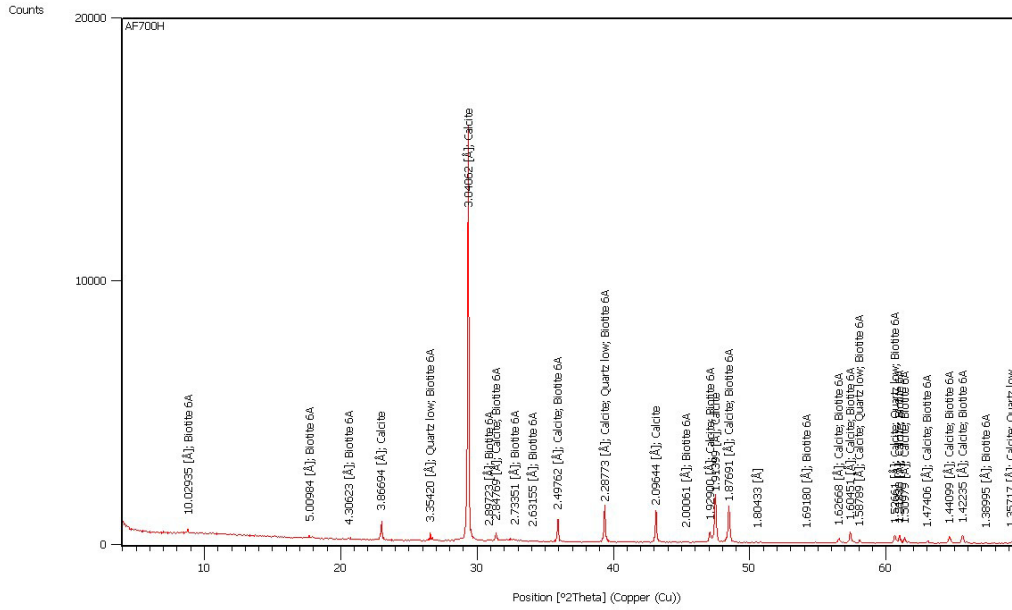


Şekil 5.12. Antifriz katkılı beton 700 °C su püskürterek soğutma

Ek-5. (devam) XRD kırınım desenleri

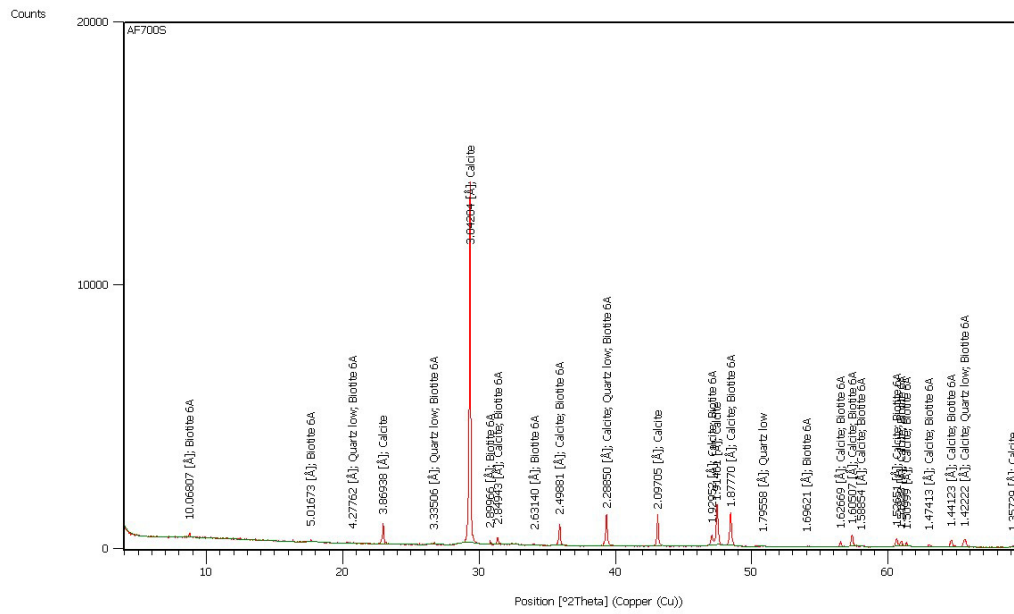


Şekil 5.13. AK+Antifriz katkılı beton 20 °C



Şekil 5.14. AK+Antifriz katkılı beton 700 °C havada soğutma











Ek-5. (devam) XRD kırınım desenleri



Şekil 5.15. AK+Antifriz katkılı beton 700 °C su püskürterek soğutma











Ek-6. Beton türlerine ait resimler

Çizelge 6.1. Katkısız beton türü

Sıcaklık	Soğutma türü	
	Havada soğutma	Su püskürterek soğutma
20 °C		
200 °C		
400 °C		
550 °C		
700 °C		










Ek-6. (devam) Beton türlerine ait resimler

Çizelge 6.2. Akışkanlaştırıcı katkıli beton türü

Sıcaklık	Soğutma türü	
	Havada soğutma	Su püskürterek soğutma
20 °C		
200 °C		
400 °C		
550 °C		
700 °C		










Ek-6. (devam) Beton türlerine ait resimler

Çizelge 6.3. Antifriz katkıli beton türü

Sıcaklık	Soğutma türü	
	Havada soğutma	Su püskürterek soğutma
20 °C		
200 °C		
400 °C		
550 °C		
700 °C		

Ek-6. (devam) Beton türlerine ait resimler

Çizelge 6.4. Akışkanlaştırıcı+Antifriz katkılı beton türü

Sıcaklık	Soğutma türü	
	Havada soğutma	Su püskürterek soğutma
20 °C		
200 °C		
400 °C		
550 °C		
700 °C		

ÖZGEÇMİŞ

Soyadı, adı : BEKEM, İlknur
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 09.11.1985, İstanbul
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : 0 (386) 280 54 57
 Faks : 0 (386) 280 54 36
 e-mail : ilknurbekem@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi F.B.E. yapı Eğitimi	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi F.B.E. yapı Eğitimi	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi T.E.F. Yapı Eğitimi	2007
Lise	Beyoğlu Anadolu Tic. Meslek Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-Halen	Ahi Evran Üniversitesi Kaman MYO	Öğretim görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Bekem, İ., Arslan, M. (2013). Priz hızlandırıcı Katkılı Betonların Basınç Dayanımına Yüksek Sıcaklık Etkisi, *Yapılarda Kimyasal Katkılar 4. Sempozyum ve Sergisi Uluslar arası Katılımlı*, Kimya Mühendisleri Odası & İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.

Bekem, İ., Çavuş, M., Demirel, F. (2011). Türkiye Ölçeğinde Yangın İstatistikleri Üzerine Bir Araştırma, *TÜYAK 2011 Yangın ve Güvenlik Sempozyumu ve Sergisi*, İstanbul.

Durmuş, G., **Bekem, İ.** (2010). Yüksek Sıcaklığın ve Farklı Soğutma Koşulunun Kalker Agregası İle Üretilen Betonlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, No 4, 741-748

Bekem, İ., Gültekin, A.B., ve Dikmen, Ç.B. (2009). *Yapı Ürünlerinin Hizmet Ömrü Açısından İrdelenmesi: Betonarme Örneği*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), s.2155-2160, Karabük.

Hobiler

Butik sabun yapımı, seyahat etmek.



GAZİ GELECEKTİR..