



**FARKLI CÜRUFLARIN KULLANILDIĞI
BETONLARDA JEOTERMAL SULARIN ETKİSİ**

Bayram GÜÇLÜ

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ
2022**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**FARKLI CÜRUFLARIN KULLANILDIĞI BETONLARDA JEOTERMAL SULARIN
ETKİSİ**

(Effects of Geothermal Water on Concrete Using Different Slags)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bayram GÜÇLÜ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ

Erzurum
Aralık, 2022



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

**FARKLI CÜRUFLARIN KULLANILDIĞI BETONLARDA JEOTERMAL SULARIN
ETKİSİ**

Dr.Öğr.Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ danışmanlığında, Bayram GÜÇLÜ tarafından hazırlanan bu çalışma, 25/11/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı malzemeleri Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Doç. Dr. Şirin KURBETÇİ <i>Karadeniz Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Dr.Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Rıza POLAT <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Dr.Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ danışmanlığında sunulan “Farklı Cürufların Kullanıldığı Betonlarda Jeotermal Suların Etkisi” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	3	30
Kuramsal Temeller	16	30
Materyal ve Metot	28	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	1	20
Sonuçlar	0	20
Tezin Geneli	16	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5’den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Bayram GÜÇLÜ	Dr.Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ
24.11.2022	24.11.2022
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışmanın her aşamasında göstermiş olduğu ilgi, destek, öneri ve yardımlarından dolayı saygı değer Danışman Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, değerli hocam Sayın Doç. Dr. Rıza POLAT'a, çalışmalarımızı beraber yürüttüğümüz, maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen İnşaat Mühendisi Sayın Tuğçe KARS'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca manevi ve maddi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve eşime teşekkürlerimi borç bilirim.

Bayram GÜÇLÜ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI CÜRUFLLARIN KULLANILDIĞI BETONLARDA JEOTERMAL SULARIN ETKİSİ

Bayram GÜÇLÜ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ

Amaç: Günümüzde nüfusun giderek artması insanlar için daha fazla enerji kullanma gereksinimi doğurmuştur. Bu gereksinimin sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal kaynakların olduğu enjeksiyon kuyuları, taşıma alanları, depolama haznelerinde ve turistik amaçlı havuzlarda kullanılan beton ve betonarme elemanların, ülkemiz ve dünyada çok ciddi durabiliteden kaynaklanan hasarlar görülmektedir. Bu hasarlar başlıca bakım-onarım, güçlendirme ve bu işlemlerin sıklıkları jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakların yatırım maliyetlerini çok yükseltmektedir. Bu çalışma ile karşılaşılan durabilite sorunlarının tespiti, sebepleri ve çözüm önerileri üzerinde çalışılıp daha fazla bilgi sahibi olmak hedeflenmiştir.

Yöntem: Bu çalışmada beton karışım bileşenlerinden çimentonun ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranında yüksek fırın cürufu ve ferrokrom cürufu ikame edilerek üretilen numuneler 270 gün boyunca jeotermal kaynaklı sularda, jeotermal kaynaklı sular ile aynı sıcaklığa sahip 40°C ve 60°C sıcak su küründe ve 20°C standart su küründe bekletilerek dayanıklılık yönünden incelenmiştir. Üretilen numuneler Nenehatun Termal tesisleri ve Pasinler Termal tesislerinde jeotermal kaynak suyunun çıktığı kuyulara bırakılmıştır. 28 ve 270 gün sonunda numunelere birim ağırlık, su emme, kılcal su emme, UPV, basınç dayanımı deneyleri ve içyapı analizleri olan SEM-EDAX incelenmiştir.

Bulgular: 270 gün sonunda 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre 40°C ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin birim ağırlığında artma, su emme ve kılcal su emme değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Bununla birlikte, basınç dayanım değerlerinde artma gözlemlenmiştir. Fakat jeotermal kaynaklı sularda bekletilen numunelerin fiziksel özelliklerinde iyileşme görülürken, aynı numunelerin basınç dayanımlarında 20°C standart su kürüne göre artışta azalma görülmüştür. Basınç dayanımı değerlerinde artışta görülen azalmanın sebebi, içyapı incelemesine bakıldığı zaman cüruf ikameli karışımların kristal yapısının bozulmalar nedeniyle oluştuğu gözlenmiştir. Bunun sebebi, jeotermal sularda bulunan yüksek miktarda S (Kükürt)'den kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç: Bu çalışmada, jeotermal sularda mineral katkılı betonların kalıcılık açısından daha fazla direnç kazandırdığı anlaşılmıştır. Bununla beraber, bu çalışmaların daha uzun periyotları için tekrar edilmesi ve içyapısındaki değişikliklerin daha net anlaşılması için farklı teknolojik içyapı deneyleri ile desteklenmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Kaynak Suyu, Yüksek Fırın Cürufu, Ferrokrom Cürufu, Kalıcılık, Sıcak Su Kürü

Kasım 2022, 117 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

EFFECTS OF GEOTHERMAL WATER ON MORTARS USING DIFFERENT SLAGS

Bayram GÜÇLÜ

Supervisor: Asst.Prof. Arif Emre SAĞSÖZ

Purpose: Population growth has necessitated an increase in energy consumption. This requirement has raised the interest in renewable energy sources. Concrete and reinforced concrete elements used in injection wells, transport areas, storage tanks, and touristic pools with geothermal resources, which are renewable energy sources, are deteriorating in our country and across the world owing to very poor durability. These damages, primarily maintenance-repair, reinforcement, and the frequency of these operations, raise the investment costs of renewable energy sources like geothermal. The purpose of this research is to identify problems with durability, their causes, and potential solutions, as well as to gather further information.

Method: In this study, samples created by replacing 10%, 20%, and 30% by weight of blast furnace slag and ferrochrome slag for cement were held for 270 days at 40 C and 60 C hot waters with the same temperature as geothermal waters. It was evaluated for durability by exposing it to water cure and normal water cure at 20 C. The prepared samples were left in the wells of the Nenehatun and Pasinler thermal facilities. SEM-EDAX, which consists of unit weight, water absorption, capillary water absorption, UPV, compressive strength testing, and internal structural analysis, was studied after 28 and 270 days.

Finding: At the end of 270 days, there was an increase in unit weight, a decrease in water absorption, and an increase in capillary water absorption for samples cured in 40 C and 60 C hot water vs those cured in 20 C normal water. However, there was a rise in compressive strength values. While the physical properties of samples cured in geothermal waters improved, the compressive strength of the same samples increased in comparison to those cured in ordinary water at 20 C. Examining the internal structure revealed that the degradation of the crystal structure of the slag-substituted mixes was responsible for the decrease in the rise in the compressive strength values. This is likely owing to the high concentration of S (Sulphur) in geothermal waters.

Results: As a result of this research, it was discovered that mineral-added concretes had greater resilience in terms of permanence when placed in geothermal waters. To have a clearer understanding of the changes in the internal structure, it is believed that these investigations should be repeated over longer time periods and supplemented with various technical internal structure tests.

Keywords: Geothermal Spring Water, Blast Furnace Slag, Ferrochrome Slag, Durability, Hot Water Curing

November 2022, 117 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
GİRİŞ.....	1
Amaç ve Kapsam	2
KURAMSAL TEMELLER.....	4
Çimento Esaslı Kompozit Malzemeler	4
Kür Yöntemleri	6
Standart su kürü	6
Isıl işlem kürleri	6
Betonun yerleştirilmeden önce ısıtılması	7
Betonun yerleştirilmesinden sonra ısıtılması	7
İçten ısıtma (elektrikle ısıtma)	7
Yüksek basınçlı buhar kürü (otoklav)	7
Atmosfer basıncında buhar kürü	8
Sıcak su kürü	8
Mineral Katkılar	10
Yüksek fırın cürufu	12
Ferrokrom cürufu	14
Durabilite.....	17
Aşınma ve erozyon.....	18
Karbonatlaşma.....	19
Klorür etkisi	19
Sülfat etkisi	20
Asit etkisi	22
Betonda pH etkisi	23
Jeotermal Kaynaklı Sular	23
Dünyada jeotermal enerjinin önemi	26

Türkiye’de jeotermal enerjinin önemi.....	27
Erzurum ve Çevresinde Jeotermal Kaynaklar.....	29
Jeotermal Kaynakların Hidrokimyasal Özellikleri.....	32
Jeotermal Suların Betona Etkisi.....	35
Cürufkların Durabiliteye Etkisi.....	36
MATERYAL VE YÖNTEM	39
Malzemeler.....	39
Çimento	39
Agrega	40
Su	42
Jeotermal su.....	42
Kimyasal katkı	44
Mineral katkıları	44
Kullanılan Cihazlar	45
Betonyer	45
Numune kalıpları.....	45
Yayılma tablası.....	46
Basınç dayanımı tespit cihazı.....	47
Hava dolaşımli etüv.....	48
Ultrases (UPV) hız ölçüm cihazı	48
Kılcal su emme deneyi	50
Birim ağırlık deneyi	51
Su emme tayini.....	51
Su kürü havuzları	51
Sıcak su banyosu sistemleri	52
Diğer cihazlar	52
Karışım Oranları.....	52
Beton üretim yöntemi.....	53
SEM-EDAX	54
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	56
Birim Ağırlık.....	56
Su Emme Deneyi.....	59
Kılcal Su Emme	61
Kılcallık Direnç Katsayısı (R).....	66
Basınç Dayanım Değerleri	69

UPV(Ultrases) Deneyi	72
İçyapı İncelemeleri.....	76
Tartışma.....	93
SONUÇLAR.....	96
KAYNAKLAR.....	98
ÖZGEÇMİŞ.....	102



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Taze Betonda Puzolan Etkisi	12
Tablo 2. Sertleşmiş Betonda Puzolan Etkisi	12
Tablo 3. Yüksek Fırın Cürufunun Ülke Bazında Kimyasal Kompozisyonu	13
Tablo 4. Erzurum'un Önemli Termal Alanları	30
Tablo 5. Beton Karışım Hesabı ve Özellikleri İçin Önerilen Sınır Değerleri.....	38
Tablo 6. CEM I 42,5 R Çimento Tipinin Kimyasal Özellikler.....	40
Tablo 7. CEM I 42,5 R Çimento Tipinin Fiziksel Özellikler	40
Tablo 8. Jeotermal Tesislere Ait Sıcaklık Değerleri	42
Tablo 9. Jeotermal Tesislere Ait Su Analizleri-1.....	43
Tablo 10. Jeotermal Tesislere Ait Su Analizleri -2.....	43
Tablo 11. Kimyasal Katkı Maddesine Ait Özellikler	44
Tablo 12. Yüksek Fırın Cürufu Analiz Bilgileri	44
Tablo 13. Ferrokrom Cürufu Analiz Bilgileri.....	45
Tablo 14. Ultrases Geçiş Hızlarının Değerlendirilmesi.....	49
Tablo 15. Beton Karışım Oranları ve Miktarları	53
Tablo 16. Birim Ağırlık Değerlerinin Karşılaştırılması.....	56
Tablo 17. Su Emme Yüzdeleri.....	59
Tablo 18. Basınç Dayanım Değerleri.....	69
Tablo 19. UPV Ölçümleri.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	1
Şekil 2. Beton üretimini ve dayanımını etkileyen faktörler	4
Şekil 3. Mineral katkıların kimyasal kompozisyonu.....	11
Şekil 4. Pozolanların sınıflandırılması	11
Şekil 5. Yüksek fırın cürufunun üretimi.....	13
Şekil 6. Ferrokrom fırınındaki tipik indirgeme reaksiyonları	15
Şekil 7. Ferrokrom cürufunun kimyasal kompozisyonu	16
Şekil 8. Betonda hasar oluşum mekanizması	18
Şekil 9. Karbonatlaşma ve donatı korozyonu oluşma mekanizması	19
Şekil 10. Klasik sülfat etkisi ve gecikmiş etrenjit oluşumu	20
Şekil 11. Asit Etkisiyle betonun bozulma mekanizması ve kanalizasyon tüneli	22
Şekil 12. Jeotermal sistemin şematik gösterimi	25
Şekil 13. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar	27
Şekil 14. Türkiye’deki jeotermal alanlar ve sıcak su noktaları	28
Şekil 15. Türkiye jeotermal alanları	29
Şekil 16. Türkiye ısı haritası	29
Şekil 17. Pasinler yöresinin jeoloji haritası	30
Şekil 18. Jeotermal tesislerin haritada konumları	31
Şekil 19. Nenehatun jeotermal tesisi	31
Şekil 20. Pasinler jeotermal tesisi	31
Şekil 21. Granülometri eğrisi	41
Şekil 22. Betonyer	45
Şekil 24. Yayılma tablası	46
Şekil 25. Yayılma tablası-2	47
Şekil 26. Beton Basınç dayanımı test cihazı	47
Şekil 27. Etüv	48
Şekil 28. Ultrases ölçüm cihazı	49
Şekil 29. Kılcal su emme deneyi	50
Şekil 30. Kılcal su emme saptama grafiği	51
Şekil 31. Su kürü havuzları	52
Şekil 32. Sıcak su banyosu sistemi.....	52
Şekil 33. Beton üretim şeması.....	54
Şekil 34. SEM- EDAX cihazı.....	55

Şekil 35. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin birim ağırlıkları	56
Şekil 36. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin birim ağırlıkları (270 gün).....	57
Şekil 37. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin birim ağırlıkları (270 gün).....	58
Şekil 38. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri.....	59
Şekil 39. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri (270 gün).....	60
Şekil 40. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri (270 gün).....	61
Şekil 41. Referans numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı	62
Şekil 42. YFC10 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı	63
Şekil 43. YFC20 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı	63
Şekil 44. YFC30 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı	64
Şekil 45. FKC10 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı	65
Şekil 46. FKC20 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı	65
Şekil 47. FKC30 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı	66
Şekil 48. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su kürü kılcallık direnç katsayıları.....	67
Şekil 49. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin kılcallık direnç katsayıları (270 gün)	67
Şekil 50. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin kılcallık direnç katsayıları (270 gün)	68
Şekil 51. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleri.....	70
Şekil 52. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleri (270 gün).....	70
Şekil 53. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleri (270 gün).....	71
Şekil 54. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin UPV ölçümleri	73
Şekil 55. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin UPV ölçümleri (270 gün).....	74

Şekil 56. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin UPV ölçümleri (270 gün).....	75
Şekil 57. 28 günlük 20°C standart su küründe bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri.....	76
Şekil 58. 28 günlük 20°C standart su küründe bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri	77
Şekil 59. 28 günlük 20°C standart su küründe bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri	78
Şekil 60. 270 günlük 20°C standart su küründe bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri	79
Şekil 61. 270 gün standart su küründe bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri.....	80
Şekil 62. 270 gün standart su küründe bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri.....	81
Şekil 63. Pasinler Jeotermal suyunda bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)	82
Şekil 64. Pasinler Jeotermal suyunda bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri(270 gün)	83
Şekil 65. Pasinler Jeotermal suyunda bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)	84
Şekil 66. 40°C sıcak su küründe bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)	85
Şekil 67. 40°C sıcak su küründe bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün).....	86
Şekil 68. 40°C sıcak su küründe bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri	87
Şekil 69. Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen R numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)	88
Şekil 70. Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)	89
Şekil 71. Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)	90
Şekil 72. 60°C sıcak su küründe bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)	91
Şekil 73. 60°C sıcak su küründe bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün).....	92

Şekil 74. 60°C sıcak su küründe bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)	93
Şekil 75. Nenehatun Jeotermal tesisine yerleştirilen numunelerin sediment toplanması.....	95

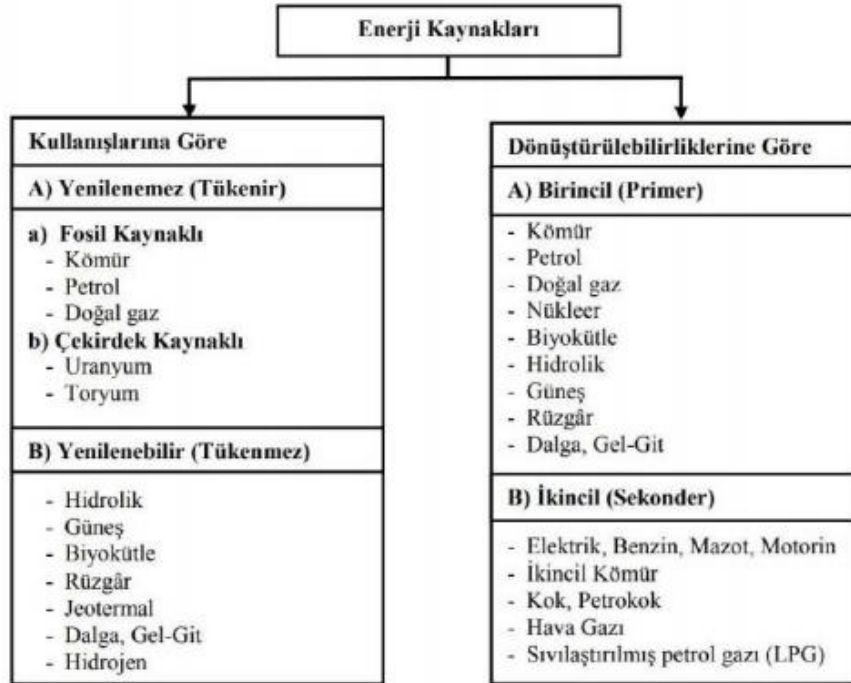


GİRİŞ

Nüfusun giderek artması, doğal enerji kaynaklarının tükenmesi ve teknolojinin gelişmesi gibi faktörler tarihin en büyük enerji ihtiyacını doğurmuştur. İhtiyaç duyulan enerji, sürdürülebilir enerji kaynakları üzerinde araştırmalar yapılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Örneğin fosil yakıtlar, milyonlarca yıldır çürüyen bitkiler, hayvanlar, dinozorlar vb. gibi canlıların basınç birleşimi ile oluşmuştur. Oluşmaları çok uzun yıllar sürmekte ve hızlı bir şekilde tükenmektedir. Hızlı tüketim ve kullanılabilir duruma gelmesi hem maliyetli hem de kullanımı sırasında pahalılık ortaya çıkarmaktadır. Bunların yanı sıra yakılarak tüketilmelerinden dolayı çevreye de zarar vermektedir (Koç & Şenel, 2013).

Gelecek nesillerin enerji ihtiyaçlarını karşılanabilmesi için enerji kaynağının zarar görmeyeceği şekilde sürdürülebilir enerji tarafından sağlanabilir. Sürdürülebilir enerji için en geçerli yöntem ise yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaktır.

Enerji kaynaklarını kullanışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre Şekil 1’de gösterildiği gibi ikiye sınıflandırılır (Koç & Şenel, 2013).



Şekil 1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Koç & Şenel, 2013)

Yenilenebilir enerji basitçe şu şekilde tanımlanabilir: doğal süreçlerle üretilen ve üretim kaynaklarının tükenme hızından çok daha kısa sürede kendini yenileyebilen enerjidir. Diğer bir

deyişle, kaynağı asla tükenmediğinden (sürdürülebilir olduğundan), çevre üzerindeki etkisi önemsizdir, çünkü doğal süreçler ile meydana gelmektedir (Murphy, 1980).

Hem sürdürülebilir hem de çevre için neredeyse az denilecek kadar zararlı olan, yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal kaynaklar; ısıtma, seralar ve elektrik üretimi için faydalıdır (Akkuş vd., 2005). Jeotermal kaynaklardan fayda sağlanması amacıyla taşıma ve üretim tesislerinin daha az maliyetli olabilmesi için jeotermal suların beton ve betonarme yapılara karşı davranışının tespit edilmesi ve varsa sorunların çözülmesi gerekmektedir.

Beton, günümüzde her yerde karşılaşılabileceğimiz en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Yollarda, tünellerde, alt yapılarda, konutlarda vb. gibi insan elinin değdiği her yerde beton ile karşılaşabiliriz. Bu kadar fazla kullanılan bir yapı malzemesinin tasarımı yapılırken birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü kullanım amacı, beton özellikleri, çevresel etkiler, taşıma işlemleri ve en önemlisi betonun kalıcılığı (durabilite) betonun servis ömrünü etkiler. Beton servis ömrünün istenilen noktada olabilmesi için de betonun durabilitesi göz önünde bulundurularak çevresel etki sınıflarına göre veya çevreden gelecek herhangi bir etkiye karşı tasarımın yapılması gerekmektedir.

TS EN 206 ve TS 13515'e göre birçok çevresel etki için tasarım parametreleri bulunmaktadır. Su/çimento oranı, minimum karakteristik basınç dayanımı ve en az kullanılacak çimento dozajı gibi birçok parametre göz önünde bulundurularak beton tasarımı yapılmaktadır. Fakat bu standartlar jeotermal sularla ilgili durabilite sorunlarını içermemekte ve herhangi bir kriter belirtmemektedir. Çünkü jeotermal kaynaklarda bulunan beton ve betonarme yapılarda, TS EN 206 standardında belirtilen tek bir durabilite sorunu ile değil birden fazla durabilite sorunu ile karşılaşılmaktadır. Literatürde az çalışma olduğundan yol gösterilebilecek kadar bilgiye ulaşılamamaktadır. Bu nedenle yapılacak olan çalışmanın sonucunda literatür için bilimsel bir altyapı oluşturulacak ve oluşacak olan alt yapının hem sektöre hem de ekonomi açısından ülkeye fayda sağlaması beklenmektedir.

Amaç ve Kapsam

Jeotermal kaynakların olduğu enjeksiyon kuyuları, taşıma alanları, depolama haznelerinde ve turistik amaçlı havuzlarda kullanılan beton ve betonarme elemanlarda, ülkemiz ve dünyada çok ciddi durabiliteden kaynaklanan hasarlar görülmektedir. Bu hasarlar bakım-onarım, güçlendirme ve bu işlemlerin sıklıkları jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakların yatırım maliyetlerini çok yükseltmektedir. Bu çalışma ile karşılaşılan durabilite sorunlarının tespiti, sebepleri ve çözüm önerileri üzerinde çalışılmıştır.

Jeotermal suların, çimento esaslı kompozitler üzerinde oluşturduğu durabilite sorunlarının tespit edilmesi için bu çalışmada farklı cüruflar ağırlıkça çimento yerine ikame edilerek farklı beton numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler üzerinden durabilite problemlerinin sebepleri ve çözümleri için araştırmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada yüksek fırın cürufu ve ferrokrom cürufunun çimento ile %10, %20 ve %30 oranında ikame edilmesi ile üretilen betonların jeotermal sulardaki kalıcılıklarının incelenmesi amaçlanmıştır. Üretilen numuneler Nenehatun jeotermal tesisleri ve Pasinler jeotermal tesislerinde 270 gün boyunca jeotermal kaynak suyunun çıktığı kuyulara bırakılıp, jeotermal kaynaklar ile aynı sıcaklık şartlarında laboratuvar ortamında sıcak su kürlerinde (40°C ve 60°C) ve 20°C standart su küründe 270 gün bekletilen numunelerin, 28 ve 270 gün sonra numunelerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve içyapı özellikleri araştırılıp karşılaştırılmıştır.

Yapılan bu çalışma jeotermal tesislerin yapımda, bakım-onarımında ve jeotermal suların transferinde kullanılacak betonların karışım tasarımları yapıldığında bağlayıcı malzeme ve yapının servis ömrü için aşağıdaki faydalar sağlanacaktır;

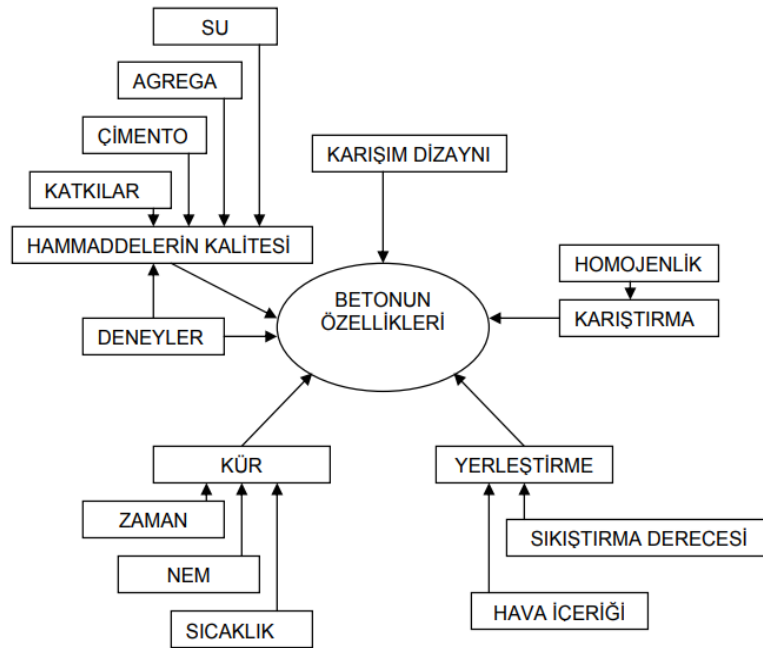
- Durabilite sorunları hakkında bilgi sahibi olunacaktır.
- Tesislerin bakım-onarım işlemlerinde doğru ve geçerli yöntem kullanılarak maliyet daha da aza indirilecektir.
- Beton ve betonarme yapıların yüzeylerinde bozukluklar meydana gelmeyecektir.
- Yapılan çalışma ile ilgili ulusal ve uluslararası yayınlar ile hem bilime hem de çevresel etki sınıflarının belirtildiği TS EN 206 standardı için birden fazla etki olması durumunda referans çalışması olması beklenmektedir.

KURAMSAL TEMELLER

Çimento Esaslı Kompozit Malzemeler

Beton; sudan sonra dünyada en çok kullanılan ikinci yapı malzemesidir. Çimento, agrega, su ve gerekirse katkı maddeleri kullanılarak elde edilen homojen karışımlardır. İmalat sırasında işlenebilir ve plastik kıvamda olan, kullanım sırasında şekil değiştirebilen, zamanla mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir. Ekonomik özellikleri, bileşenlerinin doğada bol miktarda bulunması, yüksek mukavemet ve dayanıklılık, düşük maliyet, işlenebilirlik, yangına dayanıklılık, üretimde düşük enerji gereksinimi, estetik yapıların inşasına olanak sağlayan benzersiz bir mühendislik ürünüdür. Günümüzde beton, inşaatlarda vazgeçilmez bir yapı elemanı haline gelmiştir (Yıldız,2021).

Günlük hayatımızın her anında beton ile karşılaştığımız için daha iyi bir dayanım ve uzun süreli servis ömrü açısından beton ile ilgili çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaktadır. Bu araştırmalar ve çalışmalar sonucunda beton bileşenlerinin içine ek olarak mineral katkıların katılması hem maliyet hem de çevre sağlığı açısından önemli bir yer tutmaktadır. Örneğin demir-çelik fabrikalarından artık olarak görülen cürufur betonda mineral katkı olarak kullanılabilir. Bu durumda hem çevre kirliliği hem de maliyet olarak faydalı bir durum ortaya çıkmaktadır (Neville ve Brooks, 1987).



Şekil 2. Beton üretimini ve dayanımını etkileyen faktörler (Serinoğlu, 2011)

Beton, işlenebilirliği, taze veya sertleşmiş durumda nelerden etkilenir ve nasıl istenilen bir beton ortaya çıkar sorusunun cevabını Şekil 2’de gösterilen modellemeden çıkarabiliriz. Şekil 2’ye göre betonun bileşenlerinin deneyler sonucunda belli oranda karıştırılması, homojenliğinin sağlanması daha sonra yerleştirilmesi ve en sonda kür işlemini belli zamanlamalarda ve belli nem-sıcaklıkta sağlanarak istenilen dayanıma sahip ve servis ömrünü tamamlanması planlanan beton elde edilir (Serinoğlu, 2011).

Beton ilk olarak su ile çimento temas ettiğinde oluşur ve kimyasal reaksiyona girer. Bu, betonun plastik bir kıvama sahip olduğu zamandır. Beton, hidrasyon devam ettikçe katılaşıp ve plastik halini kaybeder. Taze beton; karışımın şekillendirilebilen hali, hidrasyona bağlı olarak kademeli olarak azalır ve katılaşma başlayana kadar olan durum olarak adlandırılır (Eser,2015).

Taze betonun, taşıma veya kalıba dökme sırasında homojenliğini kaybetmeden yerleştirildiği yerde kolayca yayılarak elemanları doldurabilmesine de işlenebilirlik denir. İşlenebilirlik, betonun plastik özelliğinin veya kendi yükü altında hareket etme yeteneğidir. Betondaki su ve isteğe bağlı kimyasal katkıları, betonun işlenebilirliği üzerinde en fazla etkiye sahiptir. Akışkanlaştırıcı, çimento hamurunun veya beton karışımının plastik özelliğini artıran bir malzemedir (Şimşek, 2004).

Taze betonun kıvamı, taze betonun karışım suyuyla olan akışkanlığının bir ölçüsüdür. Burada sadece eklenen su miktarının fazla olması değil, aynı zamanda tanelerin şekli ve agreganın tane boyutunun da taze beton üzerinde etkilerden bir kaçıdır. Tane boyutu, maksimum tane boyutu, tane şekli ve yüzey pürüzlülüğü taze betonda işlenebilirliği etkiler. Ayrıca çimentonun özellikleri, cinsi ve miktarı da büyük bir etkiye sahiptir (Demirbilek, 2019).

Betonun sertleşmiş formunun en önemli iki özelliği dayanım ve dayanıklılıktır. Mukavemet, betonun dayanabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanabilir. Betonda basınç dayanımının yanı sıra çekme dayanımı ve eğilme dayanımı da istenebilir. Mukavemeti etkileyen faktörlerden biri de karışımın su/çimento (S/Ç) oranıdır. S/Ç oranı arttıkça mukavemet azalır. Betonda kullanılan su azaltıcı kimyasal katkılarda, karışımın su/çimento oranının düşürülmesi kapiler boşluğu ve geçirgenliği azaltacaktır. Böylece betonun mukavemeti artırılmış olur. Betonun istenen en önemli özelliği, yüksek dayanıma sahip olması ve zamanla bu dayanımını kaybetmemesidir (Collepardi,2005).

Beton mukavemeti, betonun çevresel koşullara dayanma yeteneği olarak tanımlanabilir. Beton, kullanılacağı koşullara göre tasarlanmalıdır. Servis ömrü süresince hizmet verecek olan beton; hazırlık, kurulum ve bakıma özel dikkat gösterilmelidir. Dayanıklı beton, kimyasal ve

fiziksel etkilere zarar vermeden veya performansını düşürmeden üstüne gelen yükleri ve etkileri karşılayabilen betondur (Serinoğlu, 2011).

Kür Yöntemleri

Beton üretimindeki en önemli adımlardan biri beton kürleme işlemidir. Kür; betonun iyi bir dayanım ve mukavemet kazanması için çimentonun hidratasyonunu desteklemek için yapılan işleme ve uygulamaya verilen isimdir. Teknik olarak kürleme işlemi, taze çimento hamurunun su dolu boşluklarının, en yüksek derecede çimento hidratasyonundan kaynaklanan ürünle doldurulmasıdır. Modern teknolojiye zamandan ve işçilikten tasarruf etmek için betonarme elemanlar prefabrikasyon adı verilen bir imalat yöntemi kullanılarak seri üretim gerçekleştirir. Gerçekleşen seri üretim, betonun kürlenmesi prensibine dayanmaktadır. Kullanılan farklı kürleme yöntemleri nedeniyle betonun nihai dayanımının bir kısmı çok çabuk elde edilir (Uğurlu, 1994).

Standart su kürü

Üretilen numuneler $20\pm2^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa sahip kür havuzlarında 3, 7, 14 ve 28 gün boyunca havuzlar içerisinde bekletilerek kür edilme işlemi standart su kürü olarak bilinmektedir (Özalp vd., 2015).

Isıl işlem kürleri

Kürlenmiş beton, standart su kürü dışındaki çeşitli kürleme yöntemleriyle hızla dayanım kazanabilir. Isıl işlem, betonun mukavemetini kısa sürede arttıran sertleştirme işlemidir. 1927'de Freycinet, Fransa'da elektrik direkleri ve büyük boruların üretiminde 80°C ila 100°C ısı işlem uygulamıştır. İlk olarak 1931 yılında İsveç'te uygulanan elektrik yöntemi yaygınlaştığı ve kısa bir süre içerisinde sürekli kullanıldığı görülmüştür. Isıl işlem teknolojisinde elektrik indüksiyon sistemleri 1948 yılında kullanılmaya başlanırken, kızılötesi 1940 yılında kullanılmaya başlanmıştır (Alabaş, 2002). Isıl işlemin bugüne kadar ki gelişimi ve çeşitliliği, finişer üretiminden 2 boyutlu plakaların ve 3 boyutlu hacim elemanlarının üretimine kadar uzanmaktadır. Küçük, hafif ağırlıklı kiriş ve hafif kolon elemanlarının üretiminden, büyük kesitli kutu köprü elemanlarına kadar tüm yapı elemanlarında beton, betonarme ve öngermeli betonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Öztekin, 1980).

Basınçlı buhar kürü dışındaki tüm ısı işlemler 100°C sıcaklığın altında gerçekleştirilir. Basınçlı buhar kürü, sıcaklığı 140°C ile 220°C arasında istenilen dayanıma getirebilir. Bu işlemten sonra ortaya çıkan hidratasyon ürünleri, sıcaklığın 100°C 'nin altında olduğu ısı işlem kürlerinden meydana gelen hidratasyon ürünlerinden farklıdır (Öztekin, 1980).

Betonun yerleştirilmeden önce ısıtılması

Döküm öncesi ısıtma işlemi genellikle beton malzemelerin karışımından önce ısıtılmasıyla oluşur. İlk ısıtma işlemi tabii tutulan malzeme sudur. Beton karışımının içerisinde kullanılan suyun sıcaklığı 50°C ile 60°C arasında olmalıdır. Su sıcaklığı 50°C ise betonun sıcaklığı 10°C artacaktır. İstenildiği takdirde agrega ısıtılabilir fakat çimentonun ısıtılmamasına dikkat edilmelidir. Çünkü çimentoyu ısıtmak, hidrasyon ısısının artmasıyla sıcaklık hızla yükselir ve bu durum betonun çatlamasına neden olur. Ayrıca taze betonun ısıtılması (mikserlerde, taşıma sonunda özel kaplarda) uygulamada bulunan bir yöntemdir (Postacıoğlu, 1986).

Betonun yerleştirilmesinden sonra ısıtılması

Bu yöntem; içten ısıtma ve dıştan ısıtma olmak üzere ikiye ayrılır. İçten ısıtma işleminde, elektrikli ısıtma metodu en yaygın kullanılan ısıtma yöntemidir. Dıştan ısıtma yapılırken en sık kullanılan yöntemler basınç altında buhar kürü ve atmosferik basınçta buhar kürüdür (Postacıoğlu, 1986).

İçten ısıtma (elektrikle ısıtma)

İçten ısıtmanın en yaygın yöntemi elektrikli ısıtma yöntemidir. Bu işlem, elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesiyle yapılır. Bu sayede ısıtma sonunda, soğuk iklimlerde 2,5 ila 4 gün içinde güvenilir bir şekilde kürlenir. İçten ısıtma teknolojisinde şu yöntemler uygulanmaktadır: Elektriği iletmek için betona bir demir çubuk veya levha yerleştirilir. Bu plakalar veya çubuklar, tekdüze bir sıcaklık elde edilecek şekilde düzenlenir. İlk sıcaklık artışı sabit olarak saatte 5°C olmalıdır. 24 saat sonra sıcaklık 50°C'ye ulaştıktan sonra, sıcaklık artışı ilk döngünün iki katıdır. Bu şekilde beton sıcaklığı yaklaşık 71°C'lik bir sıcaklığa ulaşıldıktan hemen sonra, işlem bu sıcaklık ile bir süre boyunca devam ettirilir. İşlem süresinin sonunda ışıklar kapatılır ve beton soğumaya bırakılır (Postacıoğlu, 1986).

Yüksek basınçlı buhar kürü (otoklav)

Uygulamada, bu işlem atmosferik basınçta buharla kürlemeden daha farklıdır. Atmosferik basınç altında buhar kürü kullanıldığında, artan sıcaklıkla birlikte istenen beton dayanımı azalır. Dayanım azalmasının üstesinden gelebilmek için buharın betona belli bir basınçta verilmesi gerekir. Beton üzerinde yapılan bu işlemlere “yüksek basınçlı buharla kür” denir. Genellikle otoklav olarak adlandırılan basınçlı bir buhar motoru kullanan bu işlem, "otoklavlama" olarak da bilinir (Hanson, 1963).

100°C veya daha yüksek sıcaklıkta doymuş buhar basıncına sahip elemanın yüzeyine uygulanarak mukavemet artışını hızlandıran bir işlemdir. 160°C ile 210°C arasında kürleme

sıcaklığı aralığına sahiptir ve gerekli basınçta uygulanabilir. Bu koşullar altında, değişen hidrasyon reaksiyonları sonucu ile oluşan ürünler, 100°C'nin altındaki buhar ile kürleme uygulamalarından farklıdır (Mindess ve Young, 1991).

Yüksek sıcaklıkta çimento hidrasyonu sonucunda Ca(OH)_2 oluşumu gerçekleşen ana reaksiyondur. Ortaya çıkan Ca(OH)_2 ince silika parçacıklarıyla (agregalarda) reaksiyona girer ve betonda güçlü ve kararlı bir yapı oluşturur. Ortamdaki Ca(OH)_2 'nin azalması "çiçeklenme" olayını en aza indirir. Bu sıcaklıklarda kalsiyum silikat ve trikalsiyum alüminatın reaksiyonu sonucunda sülfata daha dayanıklı bir yapı oluşur (Hanson, 1963).

Atmosfer basıncında buhar kürü

Betonun mukavemetinin artması, artan sıcaklığa ek olarak ortamın yeterli neme doymasını gerektirmektedir. Buhar kürü kullanılarak ortamın sertleşmesi için gereken ısı ortamda sağlanabilir. Bu işlem 100°C ve atmosferik basıncın altında gerçekleşirse, özel bir nem kürü durumu olarak kabul edilebilir (Neville, 1997).

"Atmosferik buhar kürü", 100°C veya daha düşük sıcaklıkta, atmosferik basınç altında ve doymuş buhar ortamında gerçekleştirilen kür türüdür. Betonun atmosferik basınçta buharla kürlenmesi, betonun ortam koşullarının neme göre doyuma yakın olması bakımından diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Isıl işlem sırasında betondan suyun buharlaşması minimum seviyededir (Neville, 1997).

Sıcak su kürü

Kürleme ve sertleştirme işlemleri, sıcaklık ve nem olmak üzere iki bileşen ile oluşmaktadır. Çimento esaslı kompozit malzemeler için gerekli çimento reaksiyonlarının oluşması için uygun sıcaklığı belli bir seviyede tutmak gerekir (ASTM C192, 2002).

Standart sıcaklıklarda ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) ve nemli koşullarda, betonunun gerekli dayanımı kazanmasına kadar beton yüzeyinde bulunan suyun muhafaza edilmesi gerekir. Bazen de aşağıda belirtilen avantajlar için sıcak su kürüne ihtiyaç duyulur (Lamond ve Pielert, 2006).

- Daha hızlı beton basınç dayanımının sağlanması
- Azaltılmış sünme efektleri ve gecikmiş büzülmenin gerçekleştirilmesi
- Geliştirilmiş sürdürülebilirlik ve dayanıklılık.

Sıcak su kürü uygulandığında, silis ve kalsiyum hidroksit birbirleriyle reaksiyona girip C-S-H fazlarını yükselttiğinden dolayı dayanım artmaktadır (Ramroom, 2020).

Literatürde sıcak su kürü etkisi ile yapılan çalışmalar mevcuttur. Sıcak su kürünün basınç dayanımları üzerine etkisini araştıran bazı çalışmalar şöyledir;

Sıcak su kürü, buhar kürü ve normal kürleme yöntemi kullanılarak çimento esaslı yüksek performanslı betonun mekanik özellikleri üzerine çalışılmıştır. %20, %40, %60 oranında bağlayıcı yerine uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren karışımların basınç dayanımları, eğilme-sehim gibi özellikleri araştırılmıştır. %20, %40 ve %60 oranında bağlayıcı yerine uçucu kül ve yüksek fırın cürufu içeren karışımlar 20°C'de 3, 7, 28 ve 90 gün sıcak su küründe, 90°C'de 48 saat ve buhar kürü etkisi altında 90°C'de 48 saat maruz kalmıştır. Sonuç olarak buhar kürü ve sıcak su kürü, aynı süreye sahip normal kür yöntemine kıyasla basınç ve eğilme deneyleri önemli ölçüde artmıştır. Fakat uçucu kül oranının artması ile basınç dayanımında azalma gerçekleşmiştir (Zemei vd., 2017).

Beton basınç dayanımlarının daha kısa sürede belirlenmesi amacıyla kaynar su kürü, sıcak su kürü ve otojen kür yöntemleri denenmiştir. Hızlandırılmış kür yöntemlerinin dezavantajları üzerine çalışılarak avantajlı hale getirilmeye çalışılmıştır. 3,5 saat kaynar su kürü, 35°C'de 23,5 saat ve 43°C'de 21 saat sıcak su kürü etkisi altında bırakılan numuneler, standartlara göre değiştirilmiş sıcak su kürü, normal sıcak su kürü ile kıyaslandığında 28 günlük basınç dayanımlarını arttırdığı ve sağlık tehlikesinin oluşmamasına sebep olduğu sonucuna varılmıştır (Kurbetçi & Öztekin, 2017)

Çimentonun erken yaş reaksiyonlarında kür sıcaklığının artması daha hızlı hidrasyon reaksiyonlarının oluşmasına ve dayanımın artmasına sebep olmaktadır. Bu amaçla da silis dumanı takviyeli çimentolar, sıcak su kürü etkisi altında mekanik ve dayanım özellikleri %10, %20, %30 oranında silis dumanı takviyeli çimento kullanılarak 20°C'de normal kür 50°C de sıcak su kürü etkisi altında araştırılmıştır. Sonuç olarak 50°C sıcak su kürü etkisi ile çimento matrisi içerisinde çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Fakat silis dumanı oranı %30 olan karışımda bu tür çatlaklara rastlanılmamıştır. Silis dumanı ikame edilen karışımlarda basınç dayanımının önemli derecede arttığı görülmüştür (İnce, 2020).

Hafif beton uygulamalarının kullanımı, prefabrik yapıların artması sebebiyle kullanımı artmıştır. Betonda bozulmaya sebep olan en yaygın durabilete sorunu karbonatlaşma olduğundan hafif betonların sıcak su kürlemesi ve normal su kürü ile karbonatlaşmaya karşı davranışı %25 pirinç külü, %5 ve %10 oranında silis dumanı kullanılarak araştırılmıştır. 3 gün boyunca 60°C'de sıcak su altında kürlen normal ağırlıklı ve hafif ağırlıklı betonların silis dumanı ve pirinç külü ikame edilen karışımlarda 28. gün basınç dayanımları sıcak su altındayken normal su kürüne göre daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür (Lo & Tang, 2008).

Yapılan çalışmada jeotermal tesisler ile aynı sıcaklığa sahip laboratuvar ortamında sıcak su banyo sistemleri kullanılmıştır. 40°C ve 60°C sıcaklığa sahip olan sıcak su banyo sistemlerinin içindeki su ayda bir yenilenmiştir.

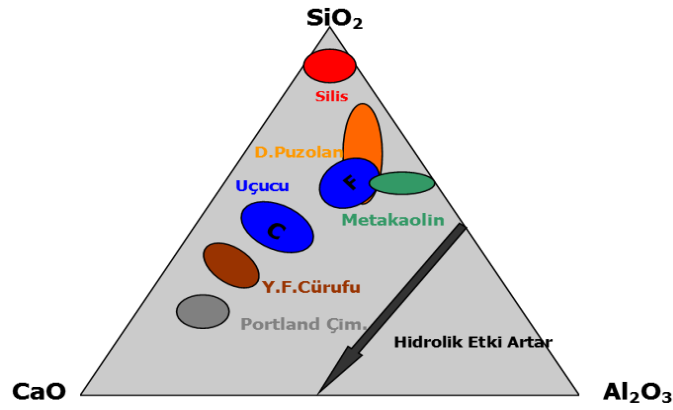
Mineral Katkılar

Betondaki bazı özellikleri iyileştirmek veya belirli nitelikleri kazandırmak için kullanılan ince taneli malzemelere mineral katkılar denir. Bu katkılar betona sadece mukavemet kazandırmakla kalmaz, aynı zamanda dayanıklılık açısından performansını da artırır. Portland çimentosu veya portland çimentosu klinkeri ve mineral katkıları, dünya çapında ve ülkemizde tüm dış fiziksel, kimyasal ve elektrokimyasal etkilere uzun süre dayanıklı betonarme yapıların üretiminde kullanılmaktadır (Erdoğan, 2004).

TS EN 206-1 standardına göre inorganik iki farklı mineral katkı tarif edilmiştir, bunlar;

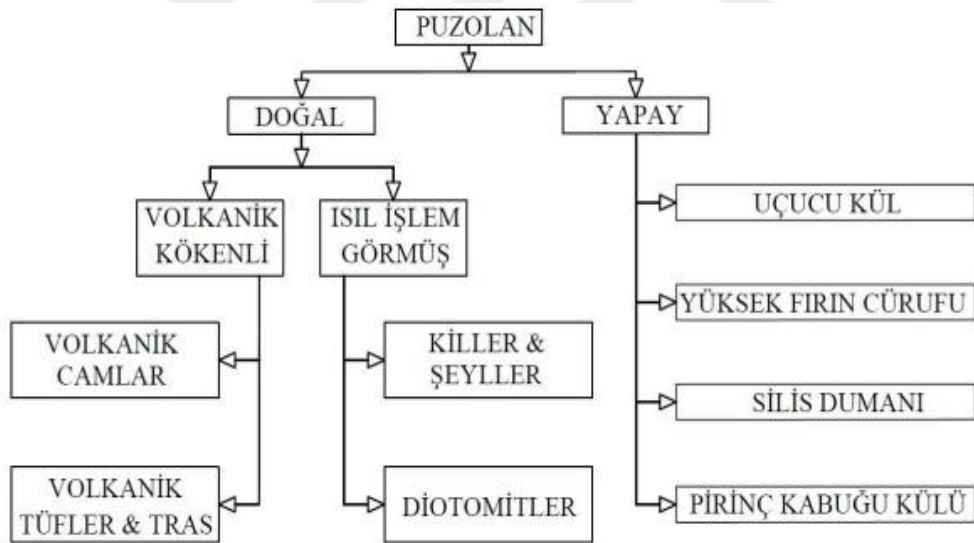
- İnert kabul edilebilir mineral katkıları (Tip I): Bu tür mineral katkı maddeleri, ince veya ezilmiş kireçtaşı (kalker) ve kalsittir. Bu katkıların bağlayıcı özelliği yoktur (puzolanik aktivite) ve sadece betondaki boşlukları doldurmak için kullanılırlar (TS EN 206-1).
- Puzolanik veya durgun hidrolik mineral katkıları (Tip II): Bu tür mineral katkı maddelerinin örnekleri silis dumanı (silikafüme, mikrosilika, mikrosilika), uçucu kül, yüksek fırın cürufu, cüruf külü ve öğütülmüş pirinç kabuğu külüdür. Bu tip mineral katkı maddesi bağlayıcı özelliklerin yanı sıra boşluk doldurma etkisine de sahiptir. Yani hem bağlayıcıdır hem de boşluk doldurmaktadır (TS EN 206-1).

Mineral katkıları tek başına kullanıldıkları zaman birkaçı hariç herhangi bir bağlayıcı özellikleri olmayan fakat çimento gibi bağlayıcı maddelerle kullanıldığı zaman bağlayıcı özelliği gösteren endüstriyel veya doğal atıklardır. Puzolan olarak da bilinmektedirler. Mineral katkı maddeleri silis kaynaklıdır. Mineral katkıları şekilde de gösterildiği gibi SiO_2 (silisyum dioksit), Al_2O_3 (alüminyum oksit) ve Fe_2O_3 (demir oksit)'ten oluşmaktadır (Tokyay, 2013).



Şekil 3. Mineral katkıların kimyasal kompozisyonu (Erdoğan, 2004)

Puzolanlar Şekil 4'te belirtildiği gibi doğal ve yapay puzolanlar olarak ikiye ayrılır. Doğal puzolanlar doğada kolaylıkla bulunabilen ve yalnızca kısa süreli ısıtma işlemi veya doğrudan öğütme ile kullanılır. Öğütürerek kullanılan puzolanlar volkanik camlar ve volkanik tüflerdir. Isıtma işlemi görmüş doğal puzolanlar ise killeri ve diatomitlerdir. Yapay endüstriyel puzolanlar ise silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü vb. gibi atıklardır (Erdoğan, 2004).



Şekil 4. Puzolanların sınıflandırılması (Yıldız,2021)

Puzolanların kullanılması çimento maliyetlerinin azalmasına neden olur. Bu nedenle hem taze beton üzerindeki etkisi hem de sertleşmiş beton üzerindeki etkileri çok önem taşımaktadır. Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterildiği gibi puzolanların hem taze beton hem de sertleşmiş beton üzerindeki etkileri (-) azalır, (+) artar, (0) herhangi bir değişim olmaz ve (-/+) azalabilir de artabilir olduğunu göstermektedir (Yıldız,2021).

Tablo 1. Taze Betonda Puzolan Etkisi

	Uçucu kül	Cüruf	Silis dumanı	Doğal puzolan
Su İhtiyacı	-	-	+	0
İşlenebilirlik	+	+	-	+
Terleme, Ayrışma	-	-/+	-	0
Hava Miktarı	-	-/+	-	0
Hidrasyon ısısı	-	-	-/+	-
Priz süresi	+	+	0	0
Mastarlama	+	+	0	0
Pompanabilirlik	+	+	+	+
Plastik büzülme çatlağı	0	0	+	0

Tablo 2. Sertleşmiş Betonda Puzolan Etkisi

	Uçucu kül	Cüruf	Silis dumanı	Doğal puzolan
Dayanım kazanma hızı	-/+	-/+	+	-/+
Sürtünme dayanımı	0	0	0	0
Donma-çözünme	0	0	0	0
Kuruma büzülmesi	0	0	0	0
Geçirimsizlik	-	-	-	-
ASR	-	-	-	-
Kimyasal dayanıklılık	+	+	+	+
Karbonatlaşma	0	0	0	0
Beton rengi	-/+	-/+	-/+	-/+

Yüksek fırın cürufu

Cüruf, çeşitli metalürji veya endüstriyel tesislerinden kaynaklanan atık gruplarından biridir. Kimyasal bileşimleri ve özellikleri, birincil ürün tipine ve elde edildikleri endüstriyel tesislerin üretim yöntemine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Örneğin; nikel ve bakır cürufu yalnızca puzolanik özelliklere sahipken, yüksek fırın cürufu kendi kendine bağlama özelliklerine sahiptir. 1982 yılında Emil Langers tarafından yüksek fırın cürufunun su ile reaksiyona girmesi ile kireç katarak bağlayıcı olduğu gözlemlenmiştir (Tokyay & Erdoğan, 2009).

Cüruf, çimento ve betonda yaygın olarak kullanıldığı için puzolanlar arasında önemli bir yere sahiptir. Cüruf, kristal yapıya sahip bloklar şeklinde geleneksel demir eritme teknikleri ile Şekil 5'te belirtildiği gibi elde edilir. Bu cüruf levhalar genelde kullanılmamakta veya atılmaktadır. Ayrıca yol malzemesi ya da beton agregası olarak kullanılmaktadır. Öte yandan, modern teknolojiye sahip çelik üretim tesislerinde belirli camsı yapıya ve hidrolik özelliklere sahip cüruf elde edilmektedir. Bu cüruf çimentonun kullanıldığı sistemlerde kullanılabilirler (Şengül vd., 2007).



Şekil 5. Yüksek fırın cürufunun üretimi (Şengül vd., 2007)

Atık malzemesi olarak kullanılan yüksek fırın cürufu ham demir üretimi esnasında daha hafif olduğu için ham demirin üstünde kalır. Demir filizinin gangi, kireçtaşı ve kokun beraber yanması sonucu yüksek fırın cürufu meydana gelmektedir. Yüksek fırın cürufunun oluşması 1400-1600°C sıcaklıkta olmaktadır (Saran,2007).

Cürufların üretim sonucu ortaya çıkışını yapılan bir çalışma şöyle özetlemektedir; Demir-çelik fabrikasının üretim sürecinde fırındaki yakıt (kok) ve demir oksit (sinterlenmiş cevher, pelet ve cevher) ve akışkanlık düzenleyiciler (poliamidler, kireçtaşı) kullanılmaktadır. Bu fırından iki ürün elde edilir. Birincisi fırının tabanında biriken erimiş demir, ikincisi ise erimiş demir gibi yüzen sıvı cüruftur (Tokyay ve Erdoğan, 2009).

Tablo 3. Yüksek Fırın Cürufunun Ülke Bazında Kimyasal Kompozisyonu (Saran,2007)

Oksit (%)	FRANSA	JAPONYA	TÜRKİYE
SiO ₂	35	31	40.2
CaO	43	37	34.5
MgO	8	8	9.4
AlP ₃	12	16	11
Fe ₂ O ₃	0.4	0.7	0.8

Erimiş cüruf yüksek fırından çıktıktan sonra hızla soğursa, akışkanlığındaki ani düşüş kristalleşmeyi önleyecek ve cam benzeri bir katı çözelti üretecektir. Bu yarı kararlı cam malzeme, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörlerin kullanımıyla veya çimentonun toz haline getirilmesi ve hidrasyonla üretilen Ca(OH)₂'nin kullanılmasıyla hidrolik özelliklere sahip olur. Aktivasyon gerçekleşikten sonra kalsiyum silikat hidratlar oluşur (Tokyay ve Erdoğan, 2009).

Yüksek fırın cürufu soğutma işleminin izlediği yol, cürufun tipini belirler. Birincisi, hava soğutması denilen atmosferik koşullar altında havada yavaşlamaktadır. Belirli bir şekilde soğutulursa, beton ve asfalt gibi mineralojik olarak kaba kristalli malzemeler oluşturacaktır. Polimer olarak kullanılabilir. İkinci yöntem su, basınçlı hava ve buhar kullanarak malzemenin genişmesi sağlanır. Soğutma ile buna genişleme denir. Bu yöntemde sonuç gözenekli, iri taneli, Hafif bir malzeme oluşturulur. Üçüncüsü, granülasyon, genişmeden daha fazla su gerektirir. Ani soğuma tamamlanır ve kuma benzer camsı bir ürün oluşturur. Bu ürünün fabrikasında "Öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu" elde etmek mümkündür (Tokyay ve Erdoğan, 2009).

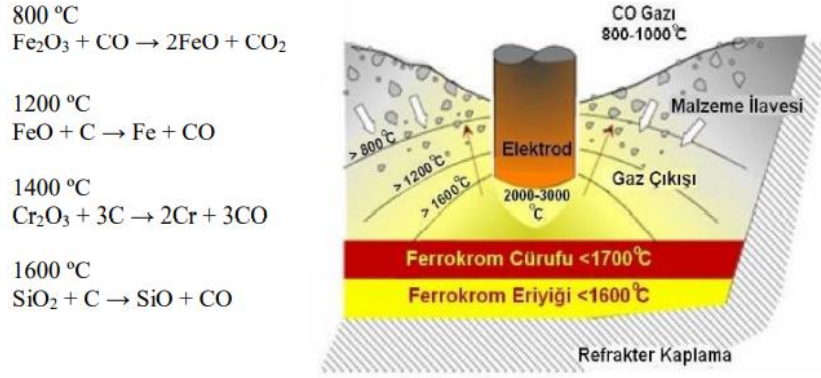
Yüksek fırın cürufun, içeriğindeki alkali cam fazına bağlıdır. Portland çimentosunun alkalinitesinden daha yavaş meydana gelmektedir. Hidroksit iyonlarının etkisi cürufun aktivitesine ve alkalinite miktarına bağlıdır. Yüksek fırın cürufu oranı arttıkça hidroksit iyonlarının konsantrasyonu azalır (López-Perales, Contreras et al. 2021).

Yüksek fırın cürufu kimyasal yapısından dolayı erken yaşta düşük dayanım mukavemetine sahiptir. Ancak basınç dayanımının özellikle 28 gün sonra önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Ayrıca Portland çimentosunda hızlı reaksiyona ve yüksek ısıya neden olan C_3A 'nın yüksek fırın cürufu üzerindeki etkisi daha azdır. Bu nedenle, yüksek fırın cürufu buharlaşma ısını ve hidratasyon ısını azaltarak priz süresini yavaşlatır (Saran, 2007).

Ferrokrom cürufu

Çelik üretiminde ısıya dayanıklı ve paslanmaz metal bir bileşik olan ferrokrom yaygın olarak kullanılır. Silikoferrokrom ve ferrokrom cürufu, ferrokrom tesislerinde elektrik ark ocağı üretiminden kaynaklanan atık ürünlerdir. Bu iki atık malzeme üretim aşamalarında metal yüzey üzerinde sıvı bir cüruf tabakası oluşturarak silikon oksidi indirgemez. Bu sıvı cüruf bir kalıba dökülür ve çıkarılır. Uzaklaştırılan bu sıvı belirli reaksiyonlara girerek cüruf oluşturur (Yılmaz ve Süttaş, 2008).

Koklama yöntemi için kullanılan elektrik ark ocaklarında biriktirilen metallerdeki demir oksitler ve kromun her ikisi de indirgenir. Bununla birlikte, bir miktar silika azalır. Elde edilen metal, bu nedenle bir "krom dolgu maddesi" olarak sınıflandırılır. Krom yüklemede %7 C ve %53 Cr ve %4-5 Si Bir ferrokrom fırınındaki tipik indirgeme reaksiyonları Şekil 6'da gösterilmektedir (Niemelä & Kauppi, 2007; Vapur vd., 2013).



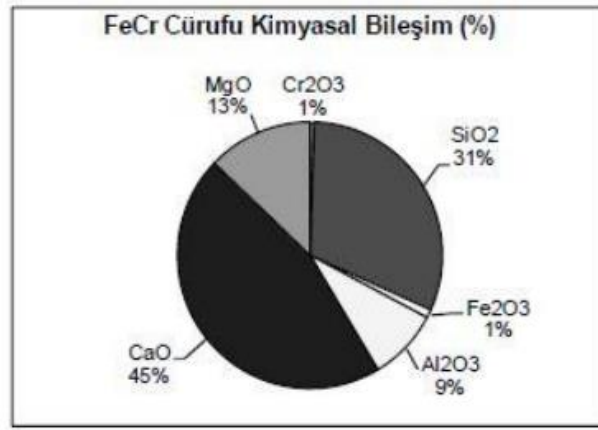
Şekil 6. Ferrokrom fırınındaki tipik indirgeme reaksiyonları (Özcan,2018)

Metalurjik atıkları doğa üzerinde kullanabilmek ve azaltma bilmek için en faydalı, etkili ve ekonomik olan yöntem geri dönüşümdür. Cüruf geri dönüşüm ile sürdürülebilir bir malzemeye dönüştürülebilir ve kullanılabilir. Demir üretimi ve çelik yapımına benzer birçok sektörde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Fakat bazı sektörlerde cüruf üretimi ve kullanımının büyük sorunları devam etmektedir (Reuter vd.,2004).

Ferrokrom cürufunun fiziksel ve kimyasal yapısı

Ferrokrom cürufu, demir oksit ve krom bazlı kromitten elde edilir. Kromit, genellikle yığınlar halinde, fırınlarda toplanabilen bir pul veya parça cevherdir. Dökümhanelerdeki ince hammaddeler, üretimi olumsuz etkiler ve çıktı azalır. Fırındaki metal oksitleri azaltmak için farklı karbon türleri kullanılır. Hammaddelerin sıkı kalite kontrolü sayesinde, kalıplama sürecinde maksimum verimlilik ve tutarlı kalite elde edilmeye çalışılır. Cürufun bileşimini sağlamak için eriyebilir olarak kuvarsit, boksit, dolomit, korindon, kireç ve olivin kullanılır. Dökümhaneden elde edilen döküm malzemesi ferrokrom alaşımı ve cüruftur. Modern kontrol süreci ve iyi kalite ile en iyi cüruf bileşimi elde edilebilir. Ferrokrom cürufunun üretiminde en önemli faktörler cürufun sıcaklığı ve bileşimi, viskozite ve elektriksel iletkenliktir. Cürufun ana bileşenleri SiO_2 , MgO ve Al_2O_3 'tür. Ayrıca Cr ve Fe oksitleri ve kalsiyum oksit içerir. Cürufun ortak fazları spinel, cam ve fosferittir (Niemelä ve Kauppi, 2007).

Ferrokrom cürufunun kimyasal kompozisyonuna bakıldığında dört farklı element kaynaklı olduğu görülmektedir. Bunlar; silisyum, alüminyum, kalsiyum ve magnezyum elementleridir. Şekil 7'de görüldüğü gibi dört ana elementten ziyade krom ve demir elementleri de az bir miktarda bulunmaktadır (Yılmaz ve Süttaş, 2008).



Şekil 7. Ferrokrom cürufunun kimyasal kompozisyonu (Yılmaz ve Süttaş, 2008)

Farklı su verme işlemlerine tabi tutulan cürufun özellikleri de farklıdır. Cüruf havada yavaş soğutulursa, kristal bir yapıya olur ve yüksek mekanik özellikler gösterir. Bu durumda cüruf genellikle agrega olarak kullanılır. Erimiş şekilde yüksek sıcaklıklara sahip fırından cürufu hızla soğutulursa, camsı bir katı elde edilir. Bu yarı kararlı yapıya sahip olan camsı malzeme belirli hidrolik özelliklere sahiptir. Bu türdeki ve buna benzer cürufların kullanım alanı çimento ve beton üretimidir (Özcan,2018).

Ferrokrom cürufunun betonda veya inşaat sektöründe kullanımları ve avantajları ile ilgili azı çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar vermiştir. Bu çalışmaların birkaçı şu şekilde özetlenmiştir; çalışmalarında %10, %20, %30 ve %40 oranındaki çimentonun ağırlığınca ferrokrom cürufu ve %7 kireç ile değiştirilmesinin betonun dayanım, geçirimsizlik ve UPV'si üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Beton karışımı kalıba yerleştirilmiştir ve 2 saat oda sıcaklığında tutulduktan sonra kalıptan çıkarılarak kürlenmeye bırakılmıştır. 7, 28 ve 91 günlük numuneler üzerinde basınç dayanımı test edilirken, en yüksek basınç dayanımı, ferrokrom cürufu ve %7 kireç ile değiştirilen beton numunelerinde gözlenmiştir. Betona eklenen ferrokrom cürufunun ikame oranı %10'u gecen karışımlarda basınç dayanımlarında azalma görülmüştür. Benzer şekilde ferrokrom cürufu ikame oranı %10'u aşıldıktan sonra ikame oranı arttıkça numunelerin UPV değerleri düşmüştür (Acharya ve Patro, 2015).

Ferrokrom Cürufu NaOH ve Na₂SiO₃ ile aktive ederek geopolimer beton üretmiştir. İri agrega olarak nehir çakılı ve ince agrega olarak nehir kumu ve kırma kum olmak üzere iki grup numune üretilmiştir. Geopolimer beton karışımında, sodyum oksitin kütle içeriği %9.13'te ve silika modülü %1.35'te seçilmiştir. 75°C sıcaklık ve nemde 72 saat süreyle üretilen numunelere buhar kürü uygulanmıştır. Dere ince agrega ile üretilen 28 günlük geopolimer betonun basınç dayanımı 35.10 MPa iken, kırma kum ile üretilen geopolimer beton için olanın basınç dayanımı 25.18 MPa'dır. Ferrokrom cürufu agrega olarak da kullanıldığı zaman basınç dayanımını artmıştır (Kantarıcı, 2013).

Elazığ Eti Krom fabrikasında üretilen ferrokrom ile çarpma enerjisi ve basınç dayanımları araştırılmıştır. Betonda kullanılan agreganın maksimum tane çapı 4, 8, 16 ve 32 mm belirlemiştir. Çimento boyutuna kadar getirilen cüruf, beton karışımında portland çimentosu (CEM I 32,5) ve çimentonun ağırlıkça %1, %3, %5, %7 ve %10 oranlarında kullanılmıştır. Çalışma, numunelerin 28 günlük basınç dayanımları ve çarpma enerjileri incelenmiştir. Maksimum agrega tane boyutu arttıkça beton basınç dayanımında ve darbe enerjisinde bir artış gözlenmiştir. %3 cüruf içerikli betonun dayanımı kontrol numunelerine göre daha yüksek, %5 katkılı beton ise kontrol numunesi ile aynı dayanımda bulunmuştur. Elde edilen verilere göre, ekonomiklik kazanma bakımından cüruf oranının %5'e kadar çimento ile birlikte kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür (Yazıcıoğlu ve Gönen 2005).

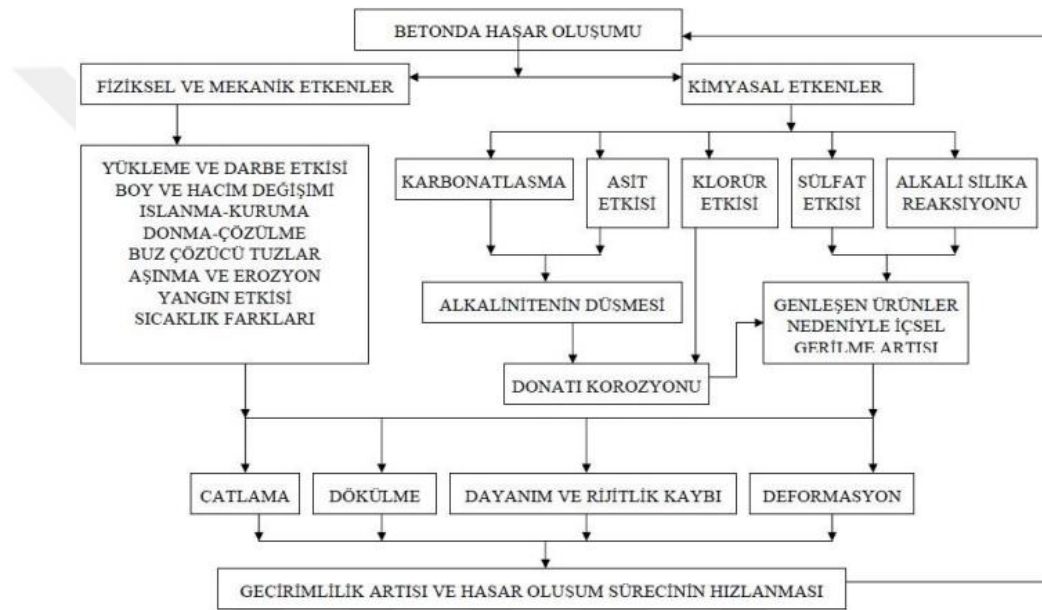
Ferrokrom cürufunun içeriğinde oranca %30'dan fazla MgO bulunmaktadır ve bundan dolayı standart geopolimerlerden ayırdır. Cüruf, alkali kimyasallarla kullanıldığında ve oda sıcaklığının üzerindeki bir etüve kısa süreliğine yerleştirildiğinde, portland çimentosu harcına benzer bir basınç dayanımı gözlemlenirken, oda sıcaklığında kürlendiğinde daha düşük bir dayanım değeri gözlemlenmiştir. 1100°C'de beklenip tekrar soğutulduğunda, gözlenen dayanım kaybı portland çimentosu kullanılan numunelere göre daha düşüktür, hatta bazı numunelerin basınç dayanımında artış gözlemlenmiştir (Erdoğan 2011).

Durabilite

Beton ve betonarme yapılar, servis ömürleri içerisinde mekanik yükler altında dayanım sağlayabilmeleri için tasarlanmış ve uygulamaya geçirilmiştir. Çekme, kesme, eğilme ve en önemlisi basınç gerilmeleri altında gerekli dayanım sağlayabilmek için binalarda uygun görülüp yapılmıştır. Fakat yakın geçmişte ve günümüzde beton ve betonarme yapılar üzerinde sadece mekanik yüklerin etkisinin olmadığını bununla birlikte zamanla yorulma ve çevre şartlarının da yapı üzerindeki etkileri önemli bir dereceye gelmiştir. Bu durumda betonarme yapıların mekanik yükler dışında çevresel etkilere rağmen servis ömrü süresince özelliklerini dayanımını koruması kavramı durabilite kavramını ortaya çıkarmıştır. Durabilite; kalıcılık ve dayanıklılık olarak da isimlendirilmektedir (Altındağ, 2019).

Betonun dayanıklılığını etkileyen en önemli faktör betondaki boşluklardır. Betona zarar verebilecek maddeler bu boşluklardan betona geçer. Bu boşluk oranını etkileyen en önemli faktör su/çimento oranıdır. Bu orana ek olarak üretilecek beton, kalıba girdiğinde en yoğun ve en az boşluklu olmalıdır. Döküm aşamasından sonra betonun kürlenmesi ihmal edilmemeli ve kür şartlarına uyulmalıdır. Bu önlemler alınarak beton, boşlukları en aza indirecek şekilde üretilir. Ayrıca çeşitli mineral ve kimyasal katkıların kullanılması betondaki boşluk miktarını azaltır (Altındağ,2019).

Zararlı maddelerin betonda taşınma mekanizmaları 3 gruba ayrılır. Bunlar emilim difüzyon ve geçirimsiliktir. Bu 3 şekilde, yabancı madde doğrudan veya dolaylı olarak betona taşınır, kılcal su emme, beton yüzeyi ile temas eden ve betona nüfuz eden su miktarıdır. Kapiler ve yüzey hidrofilik yöntemlerle bulunabilir. Konsantrasyon farkından dolayı yabancı maddelerin betona nüfuz etmesine difüzyon denir. Difüzyon, suda çözünür maddelerin betona taşınması (iyonik difüzyon) veya gazların doğrudan betona verilmesi şeklinde gerçekleşebilir. Suyun boşluklarda difüzyonu gazın dağılabilmesi için bu kuru olmalıdır. Gazların ve sıvıların beton içinde basınç altında hareketine kurum geçirgenliği denir. Bu yer değiştirmeyi modellerken, basınç kullanımının beton boşlukları değiştirebileceği akılda tutulmalıdır (Baradan vd. 2015).



Şekil 8. Betonda hasar oluşum mekanizması (Altındağ,2019)

Betonarme yapılarda fiziksel ve kimyasal etkenler olarak durabilite sorunları ile karşılaşmaktayız. Bu sorunlar Şekil 8'deki şemada gösterilmiştir. Jeotermal kaynaklarda bulunan betonarme yapıların maruz kaldığı ve sık karşılaştığımız durabilite sorunları; fiziksel etkenlerden aşınma ve erozyon; kimyasal etkenlerden ise karbonatlaşma, klorür etkisi, sülfat etkisi, asit etkisi ve pH etkisi olduğu düşünülmektedir. Bu sorunlar aşağıda kısaca anlatılmıştır (Çomaklı, 2021; Yıldız, 2021).

Aşınma ve erozyon

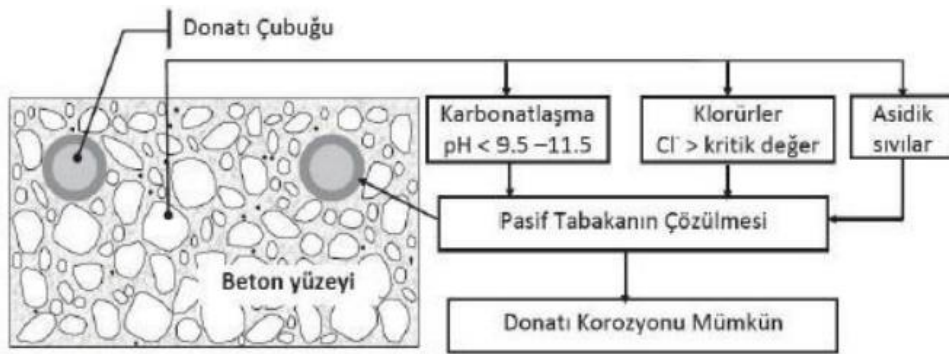
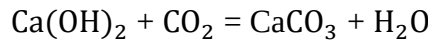
Beton yüzeyinin kuruma ve kütle kaybı nedeniyle yapısal olarak bozulmasına aşınma denir. Yayalar ve araçlar hareket ederek ağır ve sert malzemeleri betonun üzerine sürükleyerek aşınmaya neden olur. Erozyon, süspansiyonda katı parçacıklar içeren sıvı veya gazın beton bir yüzeyden yüksek hızda akması ve yüzeyi çizmesi olgusudur. Bu olgu özellikle su işlerinde ve

şiddetli rüzgârlara maruz kalan yapılarda gözlenir, genel olarak sürtünme arttıkça bu iki aşındırıcı etkiye karşı direnç de artar. Beton üretimi sırasında ayrılma önleme, terleme kontrolü ve düzgün bitirme gibi işlemler bu zararlı etkileri azaltacaktır (Baradan vd. 2015).

Karbonatlaşma

Atmosferik CO₂ difüzyon yoluyla betona nüfuz ettiğinde ve beton içindeki serbest kireç (Ca(OH)) ile reaksiyona girerek CaCO₃ oluşturduğunda yapılan işlemine karbonatlaşma denir. Atmosferde yaklaşık %0.03 olan CO₂, betonarme yapıların iç ortamında %1'e kadar yükselir. Bu bakımdan bina içinde daha şiddetli olmakla birlikte sürekli olarak meydana gelen bir reaksiyondur (Taylor, 1997).

Karbonatlaşma reaksiyonu sırasında, en zayıf hidratasyon ürünü olan Ca(OH)₂ bağlanır ve nispeten daha sert olan CaCO₃ 'e dönüşür, gücünü artırır ve geçirgenliğini azaltır. Ancak bu reaksiyonun en tehlikeli sonucu, bu reaksiyon sırasında betonun alkaliliğinin azalmasıdır. Ca(OH)₂ betonun alkalinitesini oluşturan temel elementtir. Bu sayede donatı üzerinde pasif bir tabaka oluşur ve donatıyı korozyona karşı korur. Karbonatlaşma sürecinin sonunda betonun pH değeri yaklaşık 12,6 ıla yaklaşık 8,3 arasında değişir. Bu düşük pH değeri, pasif katman tabakasının kaybolması ve aşınmaya başlaması için yeterlidir. Ayrıca bu reaksiyondan sonra gölde bir miktar büzülme meydana gelir. Bu büzülme küçük çatlakların oluşmasına neden olur. Karbonatlaşmayı önlemek için betona difüzyonu önlemek yeterli olacaktır (Khayat ve Persson, 2007).



Şekil 9. Karbonatlaşma ve donatı korozyonu oluşma mekanizması (Yıldız, 2021)

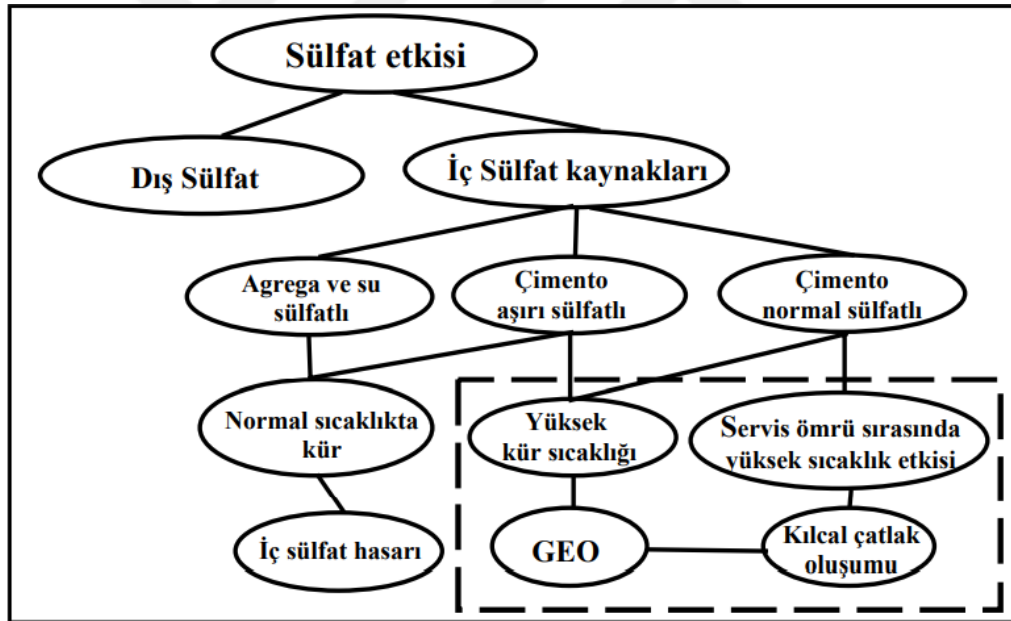
Klorür etkisi

Klorür iyonlarının betonun mukavemeti üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur. Donatısız betonun hizmet ömrü klorür iyonlarından çok az etkilenir, bu nedenle dikkate alınamaz. Klorür iyonlarının asıl etkisi donatı üzerindedir. Klor iyonları asidik olduğundan ortamın pH değerini

düşürürler. Bu, korozyonun başlamasına neden olur. Ayrıca çevredeki ortamın elektriksel iletkenliğini arttırdıkları için korozyon etkilerini de arttıırırlar. Ancak en önemli işlevi, donatıya yaklaştıkça pasif katmanı ortadan kaldırmaktır. Klorür iyonları metaller tarafından O_2 ve (OH) iyonlarından daha hızlı emilir. Bu bir katalizör görevi görür ve korozyonu hızlandırır. Klorür korozyonunun karbonat korozyonundan daha tehlikeli olmasının nedeni lokal olarak çalışmasıdır. Belirli bir yerel alan üzerinde hızlı hareket ederek kesit kayıplarına neden olurlar (Shi X. Vd, 2012).

Sülfat etkisi

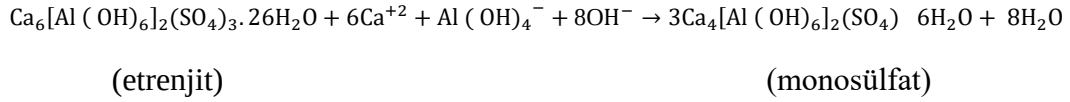
Bulunduğu ortamdan kaynaklı sülfatın, beton bünyesinin içerisine girmesi ile sülfat saldırısı meydana gelmektedir. Beton içerisinde sülfat ile reaksiyona girecek kaynakların fazla olmasından dolayı hasar riskini arttırmaktadır. Bu durum gecikmiş etrenjit oluşumundan kaynaklı genleşmeler, servis ömrü boyunca yüksek sıcaklığa maruz kalması ve buhar kürü ile meydana gelmektedir. Şekil 10'da sülfat etkisi ve gecikmiş etrenjit oluşumu gösterilmiştir (Tosun, 2007).



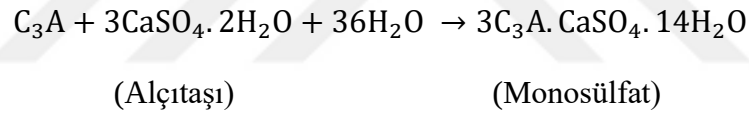
Şekil 10. Klasik sülfat etkisi ve gecikmiş etrenjit oluşumu (Tosun, 2007)

Sülfat etkisi, çimento hamurunun bileşenleri ile betona nüfuz eden sülfat iyonları arasındaki zararlı kimyasal reaksiyonları tanımlar. Özellikle $Ca(OH)_2$ ve C_3A 'nın sülfat iyonları ile reaksiyonunda betonda hacmi artıran ürünler ortaya çıkar. $Ca(OH)_2$ 'nin sülfat iyonları ile reaksiyonunda, hacim yaklaşık olarak %7 oranı ile C_3A 'nın sülfat iyonunun tepkimesinden dolayı artar. C_3A ile gerçekleşen tepkime $Ca(OH)_2$ ile gerçekleşen tepkimeye göre daha zararlıdır. Sülfat iyonları ile C_3A hacmi önemli ölçüde artırır. Artan hacim nedeniyle beton taşabilir veya köşelerden ve kenarlardan çatlayabilir (Stark ve Bollmann, 1999).

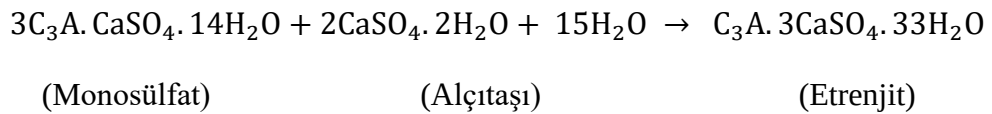
Beton sertleştikçe etrenjit oluşumu devam eder ve sülfatlar ayrışır. $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ iyonları esas olarak C_3A 'nın sıradan çimento hamurunda çözünmesiyle oluşur, etrenjit ile reaksiyona girer ve aşağıdaki formülde görüldüğü gibi mono-sülfoalümina-hidrat (monosülfat) yapısına dönüşür (Stark ve Bollmann, 2000a).



Yüksek pH'ta etrenjit, C_3A parçacıklarını etrafını sarıp ve reaksiyonu geciktirmektedir. Bu noktada, C_3A 'nın yaklaşık üçte biri reaksiyona girmekte ve sülfat çoğunlukla tüketilmektedir. Kalsiyum sülfatın SO_4^{-2} 'si önemli ölçüde azaldığında, boşluk suyundaki SO_3 konsantrasyonu düşürmektedir. Bu nokta, etrenjit + monosülfat + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ çözelti dengesindeki kritik sabit noktadır. Bu noktada C_3A civarındaki kabuktaki etrenjitin bir kısmı stabilitesini kaybederek çökmeye başlamaktadır. Bu, C_3A 'yı çevreleyen kabuğun erimesine neden olur. Serbest kalan $\text{Al}(\text{OH})_4$, monosülfat oluşturmak için kararlı etrenjit ile reaksiyona girer (Kuzel, 1996). Ancak, sistemdeki tüm C_3A tepkimeye girmez. Bazı C_3A , etrenjitin çözünmesiyle açığa çıkan SO_4^{-2} ve Ca^{+2} 'den oluşan alçıtaşı ile reaksiyona girerek, monosülfat miktarını artırır. (Möser ve Stark, 2000).



Sistemde hala alçıtaşı mevcutsa aşağıda verilen reaksiyon ile monosülfatın bir kısmı tekrar etrenjite dönüşür (Kuzel, 1996);



Klasik teori ve formüller kullanılarak hesaplanan teorik etrenjit ve monosülfat miktarları genellikle gerçek miktarlardan farklıdır çünkü (Stark ve Bollmann, 2000a);

1. Faz reaktivitesi partikül boyutundan etkilenir, dolayısıyla reaksiyon hızı zamanla değişir.
2. Sıcaklık, boşluk suyu alkaliliği ve diğer kirletici üreten iyonlar, faz reaktivitesini büyük ölçüde etkiler.
3. Etrenjit ve monosülfatın stabilitesi ve kristal yapısı karbonizasyon ile değiştirilebilir.

Bozulma ilerledikçe beton kırılğan hale gelir, yumuşar ve mukavemetini kaybeder. Beton bütünlüğünü kaybettiğinde elle kırılır. Sülfat iyonları genellikle yeraltı sularından veya deniz suyundan betona taşınır. Sülfat etkisine karşı çimentonun içerdiği C_3A miktarını sınırlanmalıdır. TS EN 206-1'e göre bu oran %5 olarak belirtilmiştir. Bu oranı karşılayan çimentoya sülfata dayanıklı çimento denir (Sun D. Vd., 2019).

Asit etkisi

Portland çimentosu oldukça alkali olduğu için beton, zararlı maddelerden veya asitleştiricilerden gelen saldırılara karşı savunmasızdır. Meydana gelen kimyasal etki, çimento hidrasyon ürünlerinin bozunması ve betondaki çözünen maddelerin yeni oluşan ürünlerden ayrılması ve betonun safsızlıklar tarafından parçalanması olarak kabul edilir. Asit etkisine en duyarlı bileşen $Ca(OH)_2$ 'dir. C-S-H jelleri ayrıca saldırıya uğrayabilir ve hasar görebilirler (Baradan ve Aydın, 2013).

Asit reaksiyonlarının hızı ve şiddeti; asit tipine, temas süresine ve asidin yoğunluğuna bağlıdır. Ancak en önemli faktör, oluşan kalsiyum tuzlarının çözünürlüğüdür. Çözünürlük arttıkça sudaki maddeler hasarı artırır. Yüzeyden sertleşen betonda reaksiyonların gelişimine bağlı olarak yumuşama ve boşluklar oluşur. Ayrıca biyolojik oluşum sonucunda zayıf asitler kanalizasyon borularında olduğu gibi güçlü asitlere dönüşebilir (Baradan et al. 2010).

Asidin etkisi yüzeyden içeriye doğru olduğu için dış yüzeyin yalıtılması gerekir. Geçirimsiz beton üretimi yapmak yeterli olmayabilir. Bunun için bitümlü malzemeler, poliüretanlar, sentetik reçineler, özel yağlar, boyalar, vernikler ve plastik lastikler gibi malzemeler kullanılabilir. Ayrıca su bardağı olarak bilinen sodyum silikat kullanımı; $Ca(OH)_2$ 'nin bağlanmasıyla yaralanır ve boşlukları kalsiyum silikat oluşumuyla doldurur (Baradan ve Aydın, 2013).



Şekil 11. Asit Etkisiyle betonun bozulma mekanizması ve kanalizasyon tüneli (Baradan ve Aydın, 2013)

Betonda pH etkisi

Portland çimentosundan yapılan betonun gözeneklerinde doymuş kireç çözeltisi halinde bulunur ve içindeki az miktarda sodyum hidroksit ve potasyum hidroksitin etkisiyle güçlü bir alkaliniteye sahiptir. Taze betonun pH'ı 12,5 ile 13,2 arasındadır. Yüksek fırın cürufu ve uçucu kül gibi mineral katkıları, betonun pH'ını 12'ye düşürür. Her iki durumda da betondaki çelik, klorür iyonlarının yokluğunda pasif hale gelir. Beton pH derecesi ve korozyon arasındaki ilişki, betonun pH derecesinin $10 < \text{pH} < 13$ olduğu bölgelerde betonarme demirlerinin potansiyel değerine bağlı olarak ya bağımsızlık ya da pasif katman bölgesindedir. Portland çimentolu betonda, klinkerdeki mineral bileşikler su ile reaksiyona girer ve çimentoya su eklendiğinde hızla hidrolize olur. Portland çimentosu klinkerinin temel bileşenleri olan trikalsiyum silikat (Ca_3S) ve dikalsiyum silikatın (Ca_2S) su içindeki hidratasyon reaksiyonu şöyledir (Doğan, 2009);



Bu işlem sırasında serbest duruma gelen kalsiyum hidroksit, betonun boşluk suyunda çözünerek doymuş bir çözelti oluşturur ve taze betonun pH değerini 12'ye kadar yükseltir. Beton, korozyonu önlemek için yeterli olan 12'nin üzerinde bir pH'a sahiptir. Bununla birlikte, ortamın pH'ı diğer çevresel faktörlerin etkisi altında düşerek inşaat demirinin korozyonuna neden olabilir. Bu nedenle, ortamın pH'ı 10 ile 4 arasında olduğunda, korozyon nedeniyle donatının kesitsel kaybı yılda 0,25 mm'dir (Doğan, 2009).

Jeotermal Kaynaklı Sular

Dünya enerji tüketimi; nüfus artışı ile birlikte sanayileşme ve teknolojinin gelişimi baş döndürücü bir hızla artmakta ve 21. yüzyıla girerken enerjiye daha da muhtaç bir toplum şekillenmektedir. Bugün dünya enerji ihtiyacının %80'i kömür, petrol ve doğalgaz gibi yakıtlardan, kalanı ise hidroelektrik ve nükleer enerji, bitki ve hayvan atıkları, rüzgar, güneş, jeotermal ve odun gibi kaynaklardan karşılanmaktadır. Bilinen fosil kaynak rezervlerinin dünyadaki dağılımı, kömür, petrol ve doğal gaz gibi petrol eşdeğerleriyle karşılanmaktadır. Buna bağlı olarak bilinen petrol rezervlerinin yaşam beklentisi 2 yıl, doğalgaz 62 yıl ve kömür 230 yıldır (Tuğcu, 2002).

Jeolojik yapıya bağlı şekilde oluşan, direk veya farklı bir enerji türüne dönüştürülüp kullanılabilen, yüzeye su, buhar veya gaz olarak çıkabilen ısı enerjisine jeotermal enerji denir. Yenilenebilir, ucuz, güvenilir ve çevre dostu olan jeotermal enerji, genellikle meteorik kökenli, metamorfik, magmatik ve fosil sularda içerebilen, yerkürede akkor ve mantodan kaynaklı olan,

yer kabuğunun derinlerindeki ısıyı dışarı çıkaran sulardır. Aynı zamanda bünyesinde herhangi bir akışkan içermeyip farklı tekniklerle ısısından yararlanılan “Sıcak Kuru Kayalar” da jeotermal kaynaklar olarak geçmektedir. Jeotermal sular daha soğumayı tamamlayamadan bir noktadan yayılıp genellikle kondüktif olarak ısınarak yoğunluk farkından dolayı yeryüzüne çıkarak ısıyı yukarıya taşır veya kayaçlar içerisinde depolanır. Yüzeye ulaştığında ise su, buhar veya gaz halindedir (Mertoğlu vd., 2015).

Jeotermal kaynaklardaki mineraller, suyu ve toprağı kirletmektedir. Jeotermal kaynakların yeryüzünün alt katmanlarında sirkülasyonu ile katmanlardaki minerallerin çözünmesi ve suyun kullanıldığı yerlerde su kirliliğı, toprak kirliliğı ve tuzlanma meydana gelebilir. Jeotermal su tüketimi ile yeraltı suyunun tüketilmesi, üst ve derin yüzeylerde su tutulmasının azaltılması mümkündür (Külekçi, 2009).

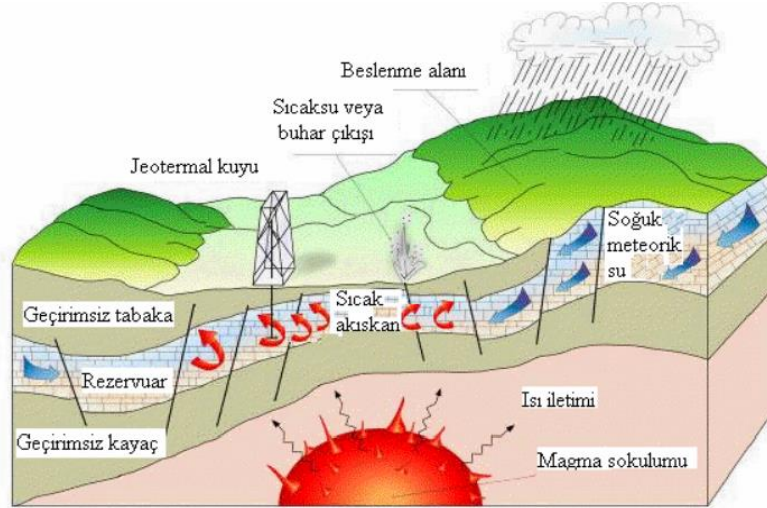
Jeotermal kaynaklar genellikle bulunduğu ülkelere göre veya kökenlerine göre farklı olarak sınıflandırılırlar. Fakat ülkemiz şartlarında sıcaklık değerlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma;

- Düşük Entalpili Jeotermal Kaynaklar (20-70°C)
- Orta Entalpili Jeotermal Kaynaklar (70-150°C)
- Yüksek Entalpili Jeotermal Kaynaklar (150°C’den yüksek) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Külekçi, 2009).

Jeotermal suların oluşumu

- Dünyanın merkez kısmındaki magma tabakası aşırı derecede sıcak olması ve ısı iletim etkisi ile yeryüzünün alt katmanlarının sıcaklığı daha yüksektir. Yeryüzünde aşağı doğru inildikçe sıcaklık artışı kilometre başına ortalama 300°C’dir.
- Jeotermal enerji ayrıca yer kabuğunun katmanları arasındaki sıcak su veya buhardan doğrudan veya dolaylı olarak yararlanılan enerjiyi de içerir. Ne sıcak su ne de su buharı içermeyen “Sıcak Kuru Kayalar” da jeotermal kaynak olarak nitelendirilmektedir. Bu kayaların da ısısından yararlanılabilmektedir.
- Jeotermal kaynaklar kar, yağmur, magma suları ve deniz tarafından oluşturulmaktadır. Bu kaynakların yenilenebilir ve sürdürülebilir olması için; reenjeksiyon işleminin yapılması gerekmektedir. Herhangi bir jeotermal kaynaktan çeşitli teknolojilerle çıkarılan akışkanın kullanımından sonra kaynağına geri basılması reenjeksiyon olarak adlandırılmaktadır.

- Yer kabuğu içerisinde bulunmakta olan akışkan, doğal ve yapay yöntemler ile yeryüzüne çıkarılmakta ve termal olarak pek çok alanda kullanılmakla birlikte elektrik üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Jeotermal kaynaklar, günümüzde geniş bir kullanım alanlarına sahiptir. Bu kullanım alanları ya doğrudan olarak jeotermal kaynakları kullanmaya yönelik ya da elektrik üretimi olarak karşımıza çıkmaktadır (Mertoğlu vd., 2015).



Şekil 12. Jeotermal sistemin şematik gösterimi (Mertoğlu vd., 2015)

Jeotermal suların kullanım alanları

Jeotermal enerji, yerkabuğunda farklı derinliklerde biriken, atmosfer sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa sahip olan ve birçok çözülmüş mineral ve mineral içeren sıcak su, su buharı ve gazlar olarak tanımlanabilir. Dünya merkezinin çok sıcak olmasından dolayı yüzeye doğru ısı transferi olur ve bu nedenle yüzeyden uzaklaştıkça sıcaklık artar. Dünyanın merkezine doğru ortalama sıcaklık artışı 30°C/km, yarı tropikal kuşakta 70°C/km ve hipotermal kuşakta 70°C/km'den fazladır (Akkuş vd., 2005).

Jeotermal kaynaklardan çıkan sular, sıcaklık değerlerine bağlı olarak çeşitli kullanımlar sunar. Seralar, konut ve tarımsal kullanım gibi ısıtma uygulamalarında, gıda kurutma, ormancılık, kâğıt endüstrisi ve tekstil gibi endüstriyel uygulamalarda düşük ve orta sıcaklıktaki manyetik alanlardan üretilen, soğutma tesislerinde kullanılan sıvı ve borik asit, amonyum bikarbonat, sudan kuru buz ve sıvı haldeki CO₂ gibi kimyasalların imalatında kullanılır (Külekçi, 2009).

Yüksek sıcaklıklı sahadan gelen sıvı, elektrik üretimi dışındaki alanlarda kullanılmaktadır. Jeotermal aramanın temel amacı elektrik enerjisi üretmektir. Bu amacın ötesinde jeotermal sular, sıcak su kaynağının veya sondaj akışkanının sıcaklığına bağlı olarak tüm sıcaklıklarda pratik olarak kullanılabilir (Akkuş vd., 2005).

Jeotermal kaynakların genel kullanım alanları;

- Isıtma (sera, konut, kültürel balıkçılık, yol veya kaldırım ısıtmaları, tarımsal alanlar)
- Endüstride (yiyeceklerin kurutulması, kerestecilik, dericilik, kâğıt veya dokuma sanayisi ve soğutma işlemlerinde)
- Kimyasal Madde Üretimi (amonyum bikarbonat, ağır su ve akışkandaki karbondioksitten kuru buz ve sıvı halde karbondioksit elde edilmesi ve borik asit)
- Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklarda elde edilen sulardan elektrik üretiminin dışında entegre olarak diğer alanlarda da yararlanılmaktadır.

Jeotermal kaynakların kullanım alanlarından faydalanabilmek için farklı transfer yöntemleri ve tesis yapımı gerekmektedir. Jeotermal kaynakların transferi ve tesislerinde beton, betonarme ve çelik en yaygın kullanılan yapı malzemeleridir. Transfer işlemleri veya tesislerin yapında, jeotermal suların içerisindeki mineraller ve sıcaklık farklılıklarından dolayı durabilite sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Karşılaşılan durabilite sorunları için literatürde aydınlatıcı bilgi elde edilememektedir.

Jeotermal kaynakların bazı avantajları şöyledir;

1. Birçok amaca aynı anda hizmet edebilmesi,
2. Çevreye yok denilecek kadar az zarar vermesi
3. Ekonomik kolaylık sağlaması
4. Yeraltındaki rezervuarının sürekli olarak yenilenmesi
5. Doğal, dışa bağımlı değil ve politik ilişkilerden etkilenmez, büyük yatırımlar gerektirmez
6. İhtiyaç duyduğu teknoloji seviyesi çok yüksek olmamasından dolayı yapılan yatırımı cazip kılar,

Jeotermal enerjinin kullanılması ile havaya karbon monoksit, azot oksitler ve kükürt oksitler atılmamakta ve çevreyi kirletmemektedir (Etemoğlu,2004).

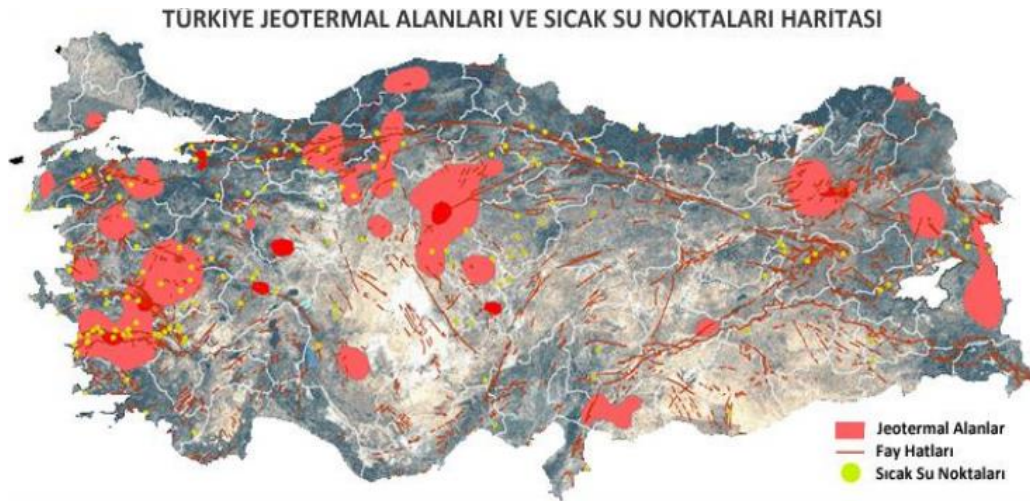
Dünyada jeotermal enerjinin önemi

Jeotermal kaynaklar, dünyada çok eski yıllardan itibaren ilkel yollarla ısıtma ve tedavi amaçlı olarak kullanılmıştır. Zamanla jeotermal enerjiye önem artmış ve endüstriyel kullanımı 1913 yılında İtalya’da elektrik üretimi ile başlamıştır. 2000 yılı itibariyle dünyada jeotermal kaynaklar kullanılarak üretim kapasitesi 7974MWe’e kadar ulaşmıştır. 2000 yılı verilerine göre

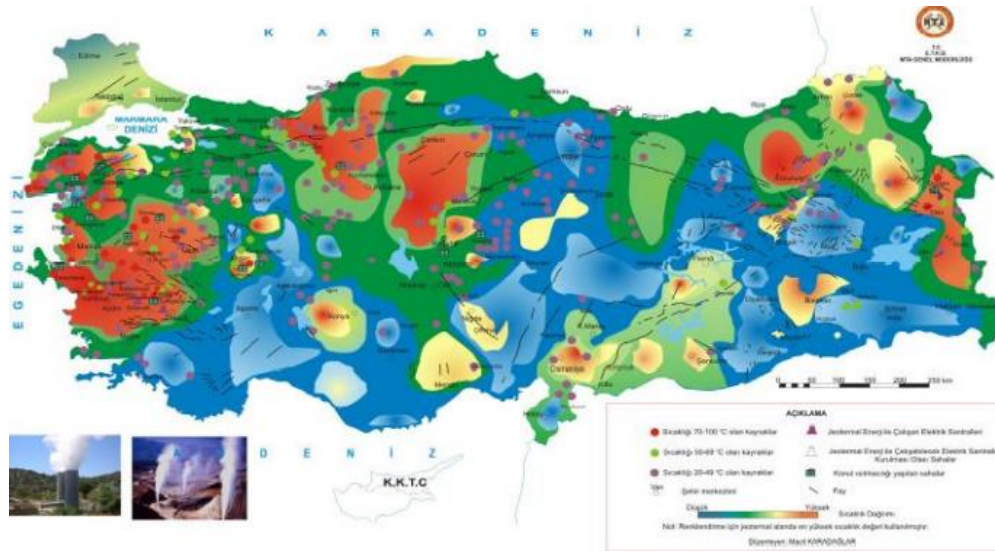
Doğal buharlar, hidrotermal değişimler ve aktif faylanma vadileri ve yayılan genç volkanlar nedeniyle sıcaklıkları 25 ila 103°C arasında değişen 600'den fazla kaplıcanın varlığı, ülkemizin büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Akkuş vd., 2005).

Türkiye jeotermal enerji kullanımında dünyada önemli bir konuma sahiptir. Ülkemizde olası jeotermal kaynakların toplam potansiyeli; 2000 MWe (elektrik), 31500 MWt (ısı). Görünen potansiyelimiz 93 MWe (elektrik), 4000 MWt (ısı) değerlerindendir. Denizli-Kızıldere sahası (242 °C), Aydın-Germencik-Ömerbeyli Sahası (232 °C), Manisa-Alaşehir-Kurudere Sahası (184 °C), Manisa-Salihli-Göbekli Sahası (182 °C), Çanakkale-Tuzla Sahası (174 °C), Aydın-Salavatlı Sahası (171 °C), Kütahya-Simav Sahası (162 °C), İzmir-Seferihisar Sahası (153 °C), Manisa-Salihli-Caferbey Sahası (150 °C), Aydın-Yılmazköy Sahası (142 °C), İzmir-Balçova (136 °C) ve İzmir-Dikili Sahası (130 °C) içerdiği akkan sıcaklığına göre elektrik üretimine uygundur (Akkuş vd., 2005).

Dünyanın en önemli jeotermal kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya kuşağında bulunan Türkiye jeotermal kaynaklar bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemiz yaklaşık 31500 MW'lık jeotermal potansiyele sahiptir. Şekil 14'te Türkiye'de bulunan jeotermal alanlar görülmektedir. Ülkemizde jeotermal kaynakların potansiyel olarak en yüksek olduğu bölgeler; Marmara, Ege ve Anadolu'nun iç batı kısımlarıdır (Çetin, 2014).



Şekil 14. Türkiye'deki jeotermal alanlar ve sıcak su noktaları (Kılıç ve Kılıç, 2013)

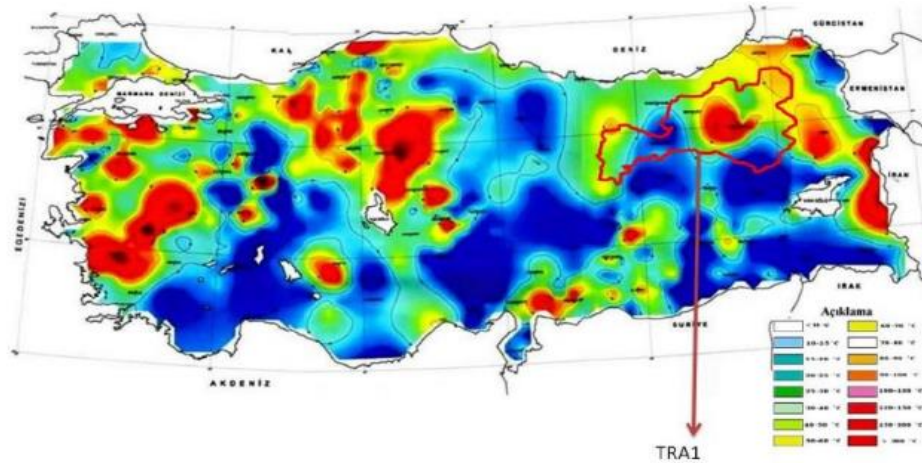


Şekil 15. Türkiye jeotermal alanları (Kılıç ve Kılıç, 2013)

Ülkemizde jeotermal kaynaklar kullanılarak termal enerjinin ilk kullanımı 1964 yılında Balıkesir-Gönen Park otelinin ısıtılmasıyla başlamıştır. Daha sonra aynı bölgedeki birçok yerleşim yeri, sera ve oteller ısıtılarak tabakhanelerin sıcak su ihtiyacı karşılanmıştır. Günümüzde ise Ege bölgesi ve İzmir ili jeotermal sahaların tespiti ve kaynak kullanımı ile ilgili araştırmaların en yoğun olduğu bölgelerdir. İzmir'de yaklaşık 15.000 evin termal enerjisi jeotermal kaynaklardan sağlanmaktadır (Kılıç ve Kılıç, 2013).

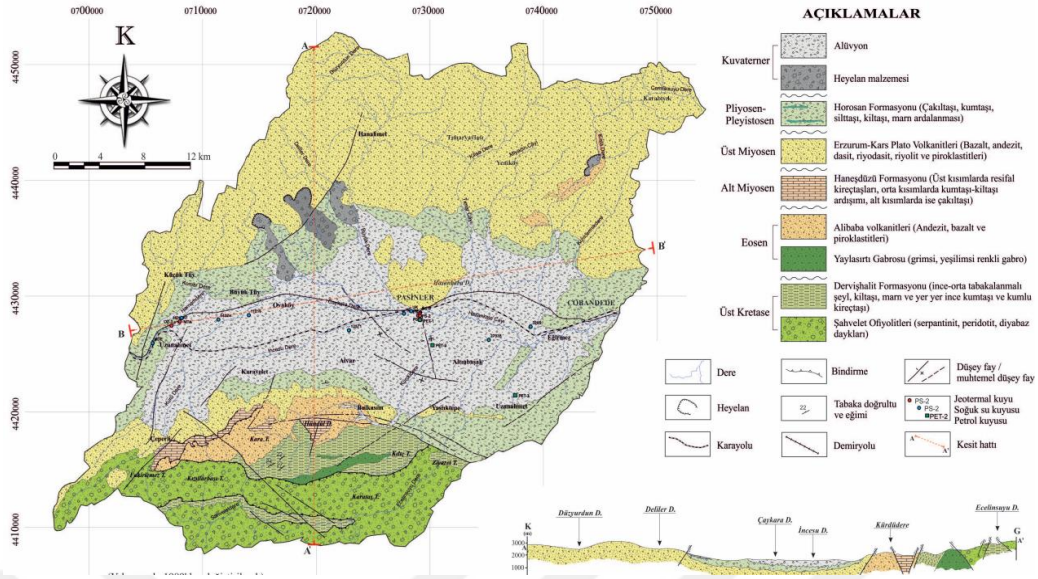
Erzurum ve Çevresinde Jeotermal Kaynaklar

Erzurum, Kuzey ve Doğu Anadolu fay hatlarının geçtiği bölgede yer almaktadır. İki farklı fay hattının orta bölgesinde yer alması jeotermal kaynaklar açısından zengin bir potansiyele sahiptir (Yıldız, 2021).



Şekil 16. Türkiye ısı haritası (Yıldız, 2021)

PASINLER (ERZURUM) YÖRESİNİN JEOLojİ HARİTASI VE ENİNE KESİTİ



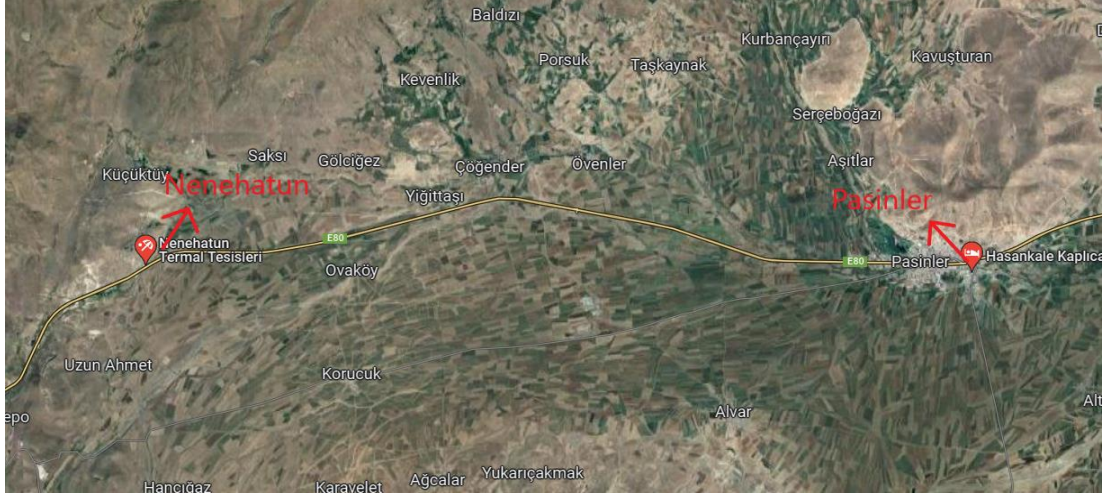
Şekil 17. Pasinler yöresinin jeoloji haritası (Hatipoğlu Temizel, 2014)

Erzurum’da bulunan debileri, sıcaklıkları ve ne amaçla kullanıldığı belirtilen jeotermal alanlar Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Erzurum’un Önemli Termal Alanları (Yıldız, 2021)

Sıra No	Cinsi	Yeri	Sıcaklık (°C)	Debi (lt/sn)	Açıklama
1	Jeotermal Su	Pasinler (sondaj)	40-43	325	Termal Otel ve Kaplıca
2	Jeotermal Su	Azize (sondaj)	38	75	Termal Otel ve Kaplıca
3	Jeotermal Su	Hamamderesi	30	22	Tesis yok
4	Jeotermal Su	Akdağ	30	5	İlkel Tesis
5	Jeotermal Su	Arzuti	31	5	İlkel Tesis
6	Jeotermal Su	Köseahmet	25	10	Tesis yok
7	Jeotermal Su	Hölenk (Çat)	32	4	Tesis yok
8	Jeotermal Su	Olur	38	5	Tesis yok
9	Jeotermal Su	Köprüköy	27	10	Çamur Havuzları
10	Jeotermal Su	Meman (Tekman)	45	2	İlkel Tesis
11	Jeotermal Su	Hamzan (Tekman)	56	12	İlkel Tesis
12	Jeotermal Su	Çimenözü (Çat)	33-56	14	İlkel Tesis
13	Jeotermal Su	Hızırilyas (horasan)	57	11	İlkel Tesis

Çalışmamızda iki farklı tesis kullanılmıştır. Bu tesisler; Pasinler Termal tesisleri ve Nene Hatun Termal tesisleridir.



Şekil 18. Jeotermal tesislerin haritada konumları



Şekil 19. Nenehatun jeotermal tesisi



Şekil 20. Pasinler jeotermal tesisi

Jeotermal Kaynakların Hidrokimyasal Özellikleri

Sıcaklık

Sıcaklık, yeraltı ve yüzey sularının hareketini, birikimini ve kullanımını etkileyen temel faktörlerden biridir. Yüzey suyu sıcaklığı, yükseklik, derinlik, akıntılar ve mevsim gibi faktörlerle değişir. Yeraltı suyu sıcaklığı ise genellikle düşüktür ve eşit olarak dağılmıştır. Su sıcaklığı arttıkça oksijenin, sudaki çözünürlüğü azalır (Stevens vd., 1975).

Hidrojen İyon Aktivitesi (pH)

pH, sudaki asit ve baz dengesini gösteren, sudaki hidrojen iyonlarının konsantrasyonunun bir ölçüsüdür. Doğal yeraltı sularının pH değeri 6,0 ile 8,5 arasında değişirken, kaplıca sularında daha düşük pH değerleri gözlenmektedir. Sudaki serbest mineral asitler ve karbonik asit suyun asitliğini arttırırken, karbonatlar, hidroksitler ve bikarbonatlar suyun alkaliliğini arttırır. Cilt bağlayıcı (yüksek pH) ve suyun aşındırıcı (düşük pH) özellikleri, suyun pH derecesinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise atmosferdeki CO₂ gazının suyun bünyesine girerek fiziksel olarak çözünmesi ve hidrasyon sonucu karbonik asit haline gelmesi ve suya-çözücü aşındırıcı özelliklerini kazandırır (Hem, 1971-1985).

Elektriksel İletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik, suyun elektriği iletme yeteneğinin sayısal değeridir. Su analizi sonuçları için EC birimleri 25 °C'de mikromoh/cm veya mikrosiemens/cm (µS/cm) olarak ifade edilir. Suyun EC değeri birkaç faktöre bağlıdır. Bu faktörler: Sudaki toplam çözünmüş katı madde (TDS) miktarını, suyun yüzeye ulaşmak için izlediği yolu, yol üzerindeki kaya türlerini, çözünürlüklerini, iklimi ve suyun sıcaklığını listeleyebiliriz. TDS ile doğru orantılı olan EC değerleri, sudaki toplam iyon değişiminin göstergesi olarak alınır (Hem, 1985).

Toplam Çözünmüş Madde (TDS)

Miktarı Toplam çözünmüş madde miktarı, sularda çözünmüş halde bulunan inorganik tuzlar (Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, HCO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄⁻²) ve organik maddelerden oluşmaktadır. Suda çözünmüş maddelerin toplam miktarı dış etkenlere bağlı olarak artabilir. Bu durumun nedeni ise farklı jeolojik bölgelerde, farklı TDS konsantrasyonları, farklı mineral çözünürlüklerinden kaynaklanmaktadır (Gültekin & Temizel, 2014).

Çözünmüş Oksijen (DO)

Suda orta derecede çözünen bir gazdır. Sudaki çözünmüş oksijen kaynaklarının çoğu, atmosferdeki fotosentez ve suda yaşayan organizmalar tarafından sağlanır. Doğal su

kütlelerinde çözülmüş oksijen miktarı birkaç faktöre bağlıdır. Bu faktörler: Sıcak su, tuzluluk ve atmosferik basınç karışımı. Sıcaklık ve tuzluluktaki artış, suda çözülmüş oksijen miktarını azaltır. Yeraltı suyundaki oksijen, yüzey sularından sağlanan su ve su tablasının üzerindeki doymamış bölgedeki hava hareketi ile sağlanır (McNeely vd., 1979).

Suların Majör İyon İçerikleri

Bilindiği üzere suların kimyasal sınıflandırılması toplam iyon miktarının %90'ını oluşturan majör iyon analizlerinin yapılması ile belirlenmektedir. Hidrokimyasal özelliklerinin ve su tiplerinin belirlenmesi amacıyla incelenen suların majör iyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} ve SO_4^{-2}) analizleri yapılmıştır. Alanda yüzeyleyen jeolojik birimlerin litolojilerinden yararlanarak majör iyonların kökeni hakkında kısaca bilgi verilmiştir (Hounslow, 1995).

Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Magnezyum (Mg^{+2})

Kalsiyum, canlı organizmalardaki ve doğal su içeriğindeki en önemli toprak alkali metallerden biridir. Kalsiyumun çözünürlüğü atmosferik basınca ve sıcaklığa bağlıdır. Doğal su kütlelerinde birçok kalsiyum kaynağı vardır. Bunlardan bazıları; kalsit (CaCO_3), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrit (CaSO_4), florit (CaF_2) ve plajiyoklas (anortit, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) olabilir (Hounslow, 1995). Yeraltı sularında kalsiyumdan sonra en yaygın katyon magnezyumdur. Yeraltı sularındaki magnezyum kaynakları; evaporitler, dolomitler ve bunların yanı sıra olivin, hornblend ve biyotit gibi magmatik kayaç mineralleri ile serpantin, tremolit ve talk gibi metamorfik kayaç mineralleridir (Tarcan, 2004).

Sodyum (Na^{+}) ve Potasyum (K^{+})

Yerkabuğundaki Na^{+} , iyonunun kaynakları magmatik kayaçlar, kil mineralleri, feldspatlar, evaporitler ve feldispatoidlerdir. Halit (NaCl) ve mirablit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) suda çok çözünürler ve bu yüzden suda bulunan Na^{+} iyonunun ana kaynağını oluştururlar. Deniz suyunda bol bulunan Na^{+} iyonu yeraltı sularına kayaçlarda bulunan plajiyoklas minerallerinin ayrışması sonucu ya da kil minerallerinin baz değişimi sonucunda karışmaktadır. Yeraltı suyunda Na^{+} iyonlarının varlığı birkaç faktöre bağlıdır. Bu faktörler, kayaçtaki minerallerin türü ve miktarı, pH değeri, ayrışma süresi, yeraltı suyu akış hızı, ortamdaki kalsiyum iyonu konsantrasyonu, insan yapımı ve doğal kirliliktir. Kışın yol tuzu hasarı gibi insan faaliyetleri de yüzey suyu ve yeraltı suyundaki Na^{+} konsantrasyonunu etkiler. Potasyum ve sodyum elementleri yerkabuğunda yaklaşık olarak eşit miktarlarda bulunur. Ayrıca magmatik kayaçlarda sodyum, tortul kayaçlarda potasyum bol miktarda bulunur. Deniz suyundaki

potasyum içeriği, sodyum içeriğinden çok daha azdır. Potasyumun ana kaynağı kabuklu feldispattır, ancak diğer potasyum kaynakları tortul kayalar, mika, feldispat ve kil mineralleridir (Tarcan, 2004). Doğal sulardaki potasyum değerleri 20ppm kadardır. Ancak sıcak suda bu değer 200 ppm'e kadar çıkabilmektedir (Doğan, 1981). Na^+ iyonu, jeotermal rezervuarlardaki ana katyondur ve konsantrasyonu yaklaşık 200-2000mg/L'dir. Sıcak sudaki Na^+ ve K^+ iyonlarının içeriği, sıcaklığa bağlı maden suyu dengesinin gelişmesine bağlıdır (Nicholson, 1993).

Bikarbonat (HCO_3^-) ve Karbonat (CO_3^{2-})

Doğal suların alkaliliğine ana katkıda bulunanlar, atmosfer CO_2 ve toprakta ve doymamış alanlarda üretilen gazlardır. Sudaki alkalilik, suda çözünmüş maddelerin asitlerle reaksiyona girme ve onları nötrleştirme yeteneğidir. Hemen hemen tüm doğal suların alkaliliği karbonat ve hidroksit iyonlarından kaynaklanmaktadır. Doğal suyun alkaliliği CaCO_3 için nadiren 500 ppm'yi aşar. Jeotermal suda, HCO_3^- , konsantrasyonu, doğrudan rezervuarlardan sağlanan kaplıcalarda en düşüktür. HCO_3^- , SO_4^{2-} oranı suyun akış yönünü gösterir. Yüksek akışlı bölgelerden su akışı, su-kaya ilişkisini ve HCO_3^- , üretimini artırır. Yanal akış arttıkça su-kaya etkileşimi artar, H_2S ortamdan kaybolur ve böylece HCO_3^- , SO_4^{2-} oranı artar (Nicholson, 1993).

Ca^{+2} - HCO_3^- , tipli sular kireçtaşları ile Ca^{+2} - Mg^{+2} - HCO_3^- , tipli sular dolomitler ile sıcak suların etkileşimini belirler. Yüksek K^+ içerikli Na^+ - HCO_3^- , tipli sular ise feldspat, plajiyoklas ve piroksen içeren magmatik ve volkanik kayalarla sıcak suların etkileşimini ifade eder (Mazor, 1997).

Sülfat (SO_4^{2-})

Kükürt yaygın olarak magmatik ve sedimenter kayalarda indirgenmemiş metal sülfürler halinde bulunur. Kükürt mineralleri su ile temas ettiğinde ayrılarak, suya salınan sülfat iyonları oluşturmak üzere oksitlenirler (Hem, 1985). Alçı taşı ve anhidrit, yeraltı sularındaki önemli sülfat kaynaklarıdır. Küçük miktarlarda pirit mineralinin oksidasyonu ile yeraltı sularına sülfat eklenebilir (Tarcan, 2004).

Klorür (Cl^-) ve Florür (F^-)

Yeraltı suyu klorür kaynakları, deniz suyu, yağmur ve kar suyu, buharlaşma ve atmosferdir. Bu kaynaklardan en yaygın olan klorür kaynağı deniz suyudur. Bu nedenle, kıyı alanlarından uzaklaştıkça klorür miktarı azalır. Yeraltı sularında yaklaşık 1 mg/l klorür içeriği

bulunurken, deniz suyunda bu değer 20.000 mg/l'ye kadar çıkabilmektedir. Klorür içeriği genellikle kurak bölgelerde, yağışlı bölgelere oranla daha fazla bulunmaktadır (Tarcan, 2004).

Florür kaynakları ise şoyledir: Florit, apatit, mika ve amfibol gibi mineraller. Genellikle kil minerallerinin anyon değişimi yoluyla adsorpsiyonu ile oluşur. Adsorpsiyon, pH değeri 6'da iken en yüksek seviyededir. pH değeri 7.5'in üzerinde veya 4'n altında olduğunda ise desorpsiyon meydana gelir. Alkali su genellikle yüksek düzeyde florür içerir. Deniz suyundaki florür içeriği 1 mg/l'den azdır (Hem, 1992). Hounslow ve Back'e (1985) göre, kaolinitin adsorpsiyonu nedeniyle bazı alkali suların florür içeriği 1 mg/l'nin altındadır. Jeotermal sıvıların florür içeriği tipik olarak 10 mg/l'den azdır. Florrlar, kayalar ve su arasındaki etkileşimler nedeniyle çeşitli mineral fazlarında oluşur. CO₂ yüksek basınçlarda, kalsiyum çevresel florrlarla bileşikler oluşturur (Nicholson, 1993).

Jeotermal Suların Betona Etkisi

Jeotermal kaynak sularının hidrokimyasal özellikleri bir önceki bölümde anlatılmıştır. Anlatılan zellikler ile birlikte jeotermal kaynaklı suların derinliğine veya geçtiği kayaç türüne gibi birçok etken jeotermal kaynaklı suların kendine özgü içerikleri bulunmasına sebep olur (zdemir & Tezelli, 2008). Suların içeriğinde bulunan özellikler betona fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak etki etmektedir (Yıldız, 2021).

Jeotermal kaynaklı suların pH değerinin 7'den küçük olması, betonunda bazik özellik göstermesi kaynak suyunun betonda asit etkisini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, HCO₃⁻, Cl⁻ ve SO₄⁻² major iyonlarının kaynak suyu içeriğinde bulunması ve miktarının fazla olması durumunda betona zarar vermektedir (Baradan & Aydın, 2013).

Jeotermal kaynak sularının betona etkisi ile ilgili literatürde yapılan birak çalışma rneği aşağıda kısaca anlatılmıştır.

alışmasında hem silika hem de metakaolin karışımlı çimentolar kullanılarak silis dumanı katkılı ve katkısız olarak hazırlanan numuneler jeotermal kaynak suyuna maruz bırakılmıştır. Harç numuneleri 180°C sıcaklık sağlayabilen sızdırmaz kapsül cihazda 2, 4, 6, 12 ve 24 saat bekletilmiş ve uzaklaştırılmıştır. Basınç dayanımı testlerinin yanı sıra kimyasal içerik ve geçirimlilik gibi testler de uygulanmıştır. Sonuç olarak, karışık metakolin numunesinin gerilme mukavemeti 6 saat sonra önemli ölçüde arttı. Ayrıca silis dumanı ilave edilen harç numunelerinin basınç dayanım değerleri katkısız numunelere göre 6 saat sonra daha yüksek çıkmıştır (Shatat, 2014).

Yıldız (2021) yaptığı çalışmada jeotermal kaynaklı suların mineral katkı ikameli harçlar üzerinde kalıcılık etkisini araştırmak amacıyla %5-10-15 oranında uçucu kül, silis dumanı ve

yüksek fırın cürufu ikameli harçlar üzerinde Pasinler, Ilıca ve Nenehatun Jeotermal tesislerinde 3-6-9 aylık periyotlar ile fiziksel ve kimyasal deneyler yapmıştır. Çalışma sonucunda jeotermal kaynaklı suların etkisinin daha uzun periyotlarda incelenmesi gerektiğini ve basınç dayanımlarında %15 yüksek fırın cürufu ikame edilen karışımların en fazla değere ulaştığı görülmüştür.

Çomaklı (2021) ise yaptığı çalışmada normal ve özel çimento türleri kullanarak ürettiği harçların jeotermal kaynak sularına maruz kalması durumunda meydana gelecek kalıcılık sorunlarının tespiti amacıyla 10 farklı çimento türü kullanıp 3-6-9 aylık periyotlar ile Pasinler, Ilıca ve Nenehatun Jeotermal tesislerinde bekletilen harç numunelerinin fiziksel ve kimyasal deneylerini yapmıştır. Çalışma sonucunda CAL. ALM.-40 ve CAL. ALM.-50 çimentolar ilk 3 aylık zaman diliminde önemli miktarda dayanım değişimi gösterdiğinden dolayı kullanılmaması gerektiği, diğer çimentoların kullanıldığı karışımlarda ise değişim meydana gelmediği görülmüştür.

Cürufların Durabiliteye Etkisi

Değişik endüstriyel fabrikaların atığı veya yan ürünü olan bazı maddeler, içeriğinde barındırdıkları aktif silika ve alüminlerden dolayı betonda çimento yerine kullanılarak bağlayıcı görevi görmektedirler. Bu malzemeler hem kullanıldığı betona ek nitelikler kazandırmakta hem de çevre kirliliğini önlemektedir. Demir-çelik endüstriyel fabrikalarının atık ürünü olan cüruflar beton teknolojisinde hem agrega hem de bağlayıcı olarak karşımıza çıkmaktadır (Eğilmez, 2004).

Cüruflar, belli oranlarda çimento yerine bağlayıcı olarak kullanıldığı zaman beton sıcaklığının belli seviyelerde olması için etkili bir araç olduğu bilinmektedir. Çimento ikamesi olarak kullanılan cüruflar, beton içerisinde çimentonun sebep olduğu erken ısı üretiminin azalmasına neden olur. Böylece sertleşmiş betonun boşlukları azaltarak beton bünyesine zararlı iyonları taşınmasını engellemiş olur. Bu nedenle de sertleşmiş betonun geçirimsizlik ve su emme özelliklerinin azalmasına neden olur (Erdoğan, 2003).

Literatüre bakıldığında yapılan çalışmalar, cürufların durabiliteye etkinin olumlu yönde olduğu fakat basınç dayanımlarda zamana bağlı olarak belli bir süre sonra azalma gerçekleştiği görülmüştür. Çalışmamızda kullandığımız yüksek fırın cürufu ve ferrokrom cürufunun durabiliteye etkisini açıklayan birkaç çalışma aşağıda açıklanmıştır.

Yapılan çalışmada çimento yerine %30 ve %60 oranında yüksek fırın cürufu katılarak beton üzerinde durabilite sorunlarının araştırılması amaçlanmıştır. Sonucunda ise yüksek fırın cürufu ikame oranı arttıkça birim ağırlık azaldığı görülmüştür. Sebebi ise yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığını, çimento özgül ağırlığından düşük olmasıdır. Basınç dayanımlarında ise 28

günlük numunelerin dayanımları YFC oranı arttıkça azalma gerçekleşmiştir. Fakat zamanla dayanımlar artarken artışta azalma meydana gelmiştir. Klorür difüzyonu için ise YFC oranı arttıkça beton yüzeyinde klor da azalmaya sebep olmuştur (Eğilmez, 2004).

Kimyasal etkilere karşı beton durabilitesinin incelenmesi amacıyla çimento yerine %25-30 oranında uçucu kül, %50 oranında YFC ve %8 oranında sili dumanı kullanıldığı diğer bir çalışmada ise numuneler sülfirik asit (H_2SO_4) etkisine maruz bırakılmıştır. Numuneler de cüruf katkılı karışımların dış yüzeylerinde etrenjit ve alçıtaşı oluşumuyla yumuşama olduğu ve dökülmeler gerçekleşmiştir. Cüruf katkılı karışımlarda neredeyse ağırlık kaybı hiç yaşanmamıştır. Bulunduğu ortamdaki kimyasal etkiler sebebiyle cüruf katkılı karışımlarda dayanım kaybı yaşanmıştır (Niş, 2019).

Başka bir çalışmada, yüksek fırın cürufunun beton performansına etkisini görmek için s/ç oranı sabit 0,6 olarak tutulup çimentonun ağırlıkça %10-20-30-40-50 ve 60 oranında YFC katılarak mekanik ve fiziksel deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak YFC oranı arttıkça basınç dayanımında azalma görülmüştür. %30 ve %50 ikameli betonlarda kılcallık katsayısı minimum seviyede görülmüştür. Su emme değerleri cüruf katkılı olmayan karışımlara göre düşük çıkmıştır. YFC katkılı karışımlarda klorür geçirimsizliği belirgin olarak azalmıştır. Basınç dayanımında YFC arttıkça azalma gerçekleşse de durabilite açısından iyileştirici olduğu sonucuna varılmıştır (Okyay ve Akkaya, 2009).

Beton üretiminde çimento katkı malzemesi olarak %10 ila %40 oranları arasında değişen ferrokrom cürufu kullanılan karışımların basınç dayanımı, asit dayanımı ve sülfat dayanımı gibi özellikleri araştırılmıştır. Ferrokrom cürufu ikame edilen karışımlarda işlenebilirliğin azalıp yoğunluğun arttığı görülmüştür. Basınç dayanımında ferrokrom cürufunun ikame edilmesiyle artış gözlemlenmiştir. Betonda asit ve sülfat saldırısına karşı direnç artmıştır. Hidratasyon derecesinin artması ile mikro boşlukların azaldığı görülmüştür (Prasanna, 2016).

Beton ve betonarme yapılarda servis ömrünün tamamlanabilmesi ve sağlıklı bir karışımın yapılabilmesi için malzemeler ve yapı elemanlarının maruz kaldığı çevresel koşullar göz önünde bulundurulmalıdır. Çevresel koşullar göz önünde bulundurulurken yapının veya malzemenin bulunduğu bölgeye ait genel iklim şartlarıyla birlikte yapının maruz kaldığı etkenler önemlidir. Bu etkenler yapının bulunduğu toprak ve maruz kaldığı sulardır. Bu gibi şartlar beton karışım hesabı yapılırken maruz kaldığı çevresel etkiye göre Tablo 5'te de gösterilen TS EN 206 standartına göre hazırlanmalıdır. Fakat TS EN 206 standardına göre iki durabilite sorunun olduğu durumlarda herhangi bir sınır değer veya örnek olmadığından çalışmamızın bir amacı da bu duruma ışık tutmaktır.

Tablo 5. Beton Karışım Hesabı ve Özellikleri İçin Önerilen Sınır Değerleri (TSE, 2017)

	Çevre etki sınıfları																	
	Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok	Karbonatlaşma nedeniyle korozyon				Klorürün sebep olduğu korozyon						Donma/çözülme etkisi				Zararlı kimyasal ortamlar		
						Deniz suyu			Deniz suyu dışında klorür etkisi									
	X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2	XA 3
En yüksek w/cc	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
En düşük dayanım sınıfı	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
En düşük çimento içeriği ^c (kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
En düşük hava içeriği (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0a	4,0a	4,0a	-	-	-
Diğer gereklilikler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EN 12620'ye uygun, yeterli donma/çözülme dayanıklılığına sahip agrega				-	Sülfata dayanıklı çimento ^b	

a Hava sürüklenmemiş betonun performansı, ilgili etki sınıfı için donma/çözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla karşılaştırılarak, uygun deney yöntemine göre yapılacak deneyle belirlenmelidir.

b Ortamda bulunan sülfat miktarının XA2 ve XA3 çevre etki sınıfına işaret etmesi durumunda, EN 197-1'e veya tamamlayıcı ulusal standartlara uygun sülfata dayanıklı çimento kullanılması gereklidir.

c k-değeri kavramının uygulanması durumunda, en yüksek su/çimento (w/c) oranı ve en düşük çimento içeriği 5.2.5.2'ye uygun olarak değiştirilir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, tüm numunelerde aynı tip CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Mineral katkı olarak kullanılan yüksek fırın cürufu ve ferrokrom cürufu, çimentonun ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranında karışıma ikame edilerek mineral katkılı numuneler elde edilmiştir. Cürufların kullanılmadığı numuneler referans numuneleri olarak kullanılmıştır. Toplam referans numuneleri dâhil yedi farklı karışım hesabı ile numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler, 28 günlük 20°C standart su kürü, 270 gün boyunca iki farklı jeotermal tesis, iki farklı jeotermal tesislerle aynı sıcaklıklara sahip laboratuvarda sıcak su kürü ve 20°C standart kür havuzunda su kürü olarak altı gruba ayrılmıştır. Jeotermal tesisler, laboratuvar ortamındaki sıcak sular ve su küründe numuneler 270 gün sonra çıkarılıp deneyler yapılarak 28 günlük numunelere yapılan deneylerle karşılaştırılmıştır.

Bu bölümde, üretilen numuneler için kullanılan malzemeler, taze ve sertleşmiş beton üzerinde yapılan deneyler hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Malzemeler

Çimento

Bu çalışma için kullanılan çimento, CEM I 42,5 R çimento tipi olarak ve TS EN 197-1 standardına göre üretilmiş olup Erzurum Aşkale Çimento A.Ş. fabrikasından temin edilmiştir. Çimentoyu üreten firma tarafından yapılan analizlere göre fiziksel özellikleri Tablo 6'da ve kimyasal özellikleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 6. CEM I 42,5 R Çimento Tipinin Kimyasal Özellikler (Çomaklı, 2021)

Kimyasal özellikler	Standartlar	Değerler(%)
SiO ₂		17,16
Çözünmeyen Kalıntı	Mak 5,0	0,85
Al ₂ O ₃		4,84
Fe ₂ O ₃		2,98
CaO		65,43
MgO		2,11
SO ₃	mak 4,0	2,82
Kızdırma Kaybı		3,08
Na ₂ O		0,32
K ₂ O		0,67
Cl-	mak 0,1	0,02
Serbest CaO		0,99
Toplam Katkı		-

Tablo 7. CEM I 42,5 R Çimento Tipinin Fiziksel Özellikler (Çomaklı, 2021)

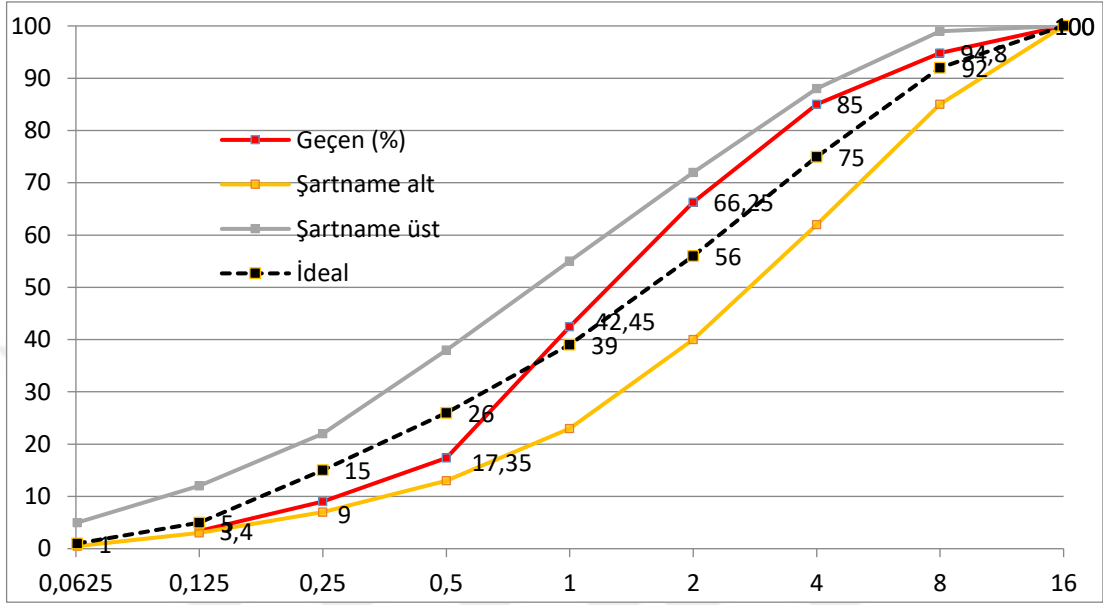
Özellikler	Standartlar	Değerler
32 µm elekte kalıntı(%)		8,78
90 µm elekte kalıntı(%)		-
Özgül yüzey (Blaine)		3501
Özgül Ağırlık(g/m ³)		3,12
Priz süresi Başlangıç (dakika) bitiş	min 60	
Su ihtiyacı (%)		30,61
Hacim Genleşmesi(mm)	max 10	-
Klinker C ₃ A		-
2. gün	Min 20,0	28,8
7.gün		-
28.gün	Min.42,5 Max.53,8	53,8

Agrega

Çalışmada kullanılan agrega 0-8 mm Er-Çimsan Beton A.Ş.'den doğal dere agregası olarak temin edilmiştir. Agregalar kırılmamış olup, yassı ve yuvarlak tanelidir. Betonlu karışımında kullanılan agregaların tane dağılımı, en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak TS 706 12620 ve TS 802 standartlarına göre belirtilen ideal bölgede bulunacak şekilde seçilmiştir. Kullanılan agregaların maksimum tane çapı 8 mm olarak belirlenmiştir.

Elek analizi deneyi

Etüve belli ağırlıkta agregaya bırakılıp 24 saat sonra etüv kurusu haline geldikten sonra belli bir ağırlıktaki agregaya ile 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, ve 0,125 mm açıklıklı eleklerden geçirilmiş ve granülometri eğrisi çizilmiştir (Şekil 21). TS 802'e göre max dane çapına göre granülometre eğrisi seçimi yapılmıştır.



Şekil 21. Granülometri eğrisi

Organik madde tayini

Çürüyen bitki kökleri, humus ve diğer organik maddelerdeki asitler ve türevleri, agregaya yığınlarında küçük parçacıklar halinde dağılarak beton üretiminde çimentonun prizini yavaşlatır ve aderansını etkiler. Agregaya yığınınındaki organik maddeler, betonun özellikle ilk birkaç gündeki basınç dayanımını ve sonraki işlemlerde dayanıklılığını etkiler.

Organik madde tayini; TS EN 1744-1 standardına göre araştırılmaktadır.

Deney iki ayrı numuneye uygulanır. Deney numunesi belli ölçülere sahip silindire konulur. %3 lük kadar sodyum hidroksit çözeltisi eklenir ve çalkalanır. Malzemelerin çökmesi için 24 saat bekletilir. Her iki numunede de renksiz ve açık sarı ise sıvı zararlı oranda organik madde bulundurmuyordur. Koyu sarı, kahverengi veya kırmızımsı bir renk oluşmuş ise zararlı organik madde barındırıyor demektir.

İnce madde tayini

Tane çapı 0,063 mm'den az olan maddeler Türk standartlarına göre ince madde olarak tanımlanır. Bu tür maddeler 'yıkabilir madde' olarak da bilinmektedir.

Agrega içerisinde kil ve silt gibi ince maddelerinin miktarlarının fazla olması; belirli bir kıvamdaki beton için su ihtiyacını arttırmaktadır. Agregatanelerinin yüzeylerini kapladığı için bağlayıcı ile aderansı azaltmaktadır. Bu sebeplerden ötürü agrega da fazla miktarda ince madde olması iyi değildir.

İnce madde tayini deneyi TS EN 933-10'e göre araştırılmaktadır.

İki farklı yöntem ile yapılmaktadır.

1. Çökeltme yöntemi
2. Yıkama yöntemi

Su

TS EN 206'ya göre beton üretiminde kullanılan sular (karıştırma suyu) TS EN 1008'e uygun olacak şekilde Atatürk Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nın şebeke suyu, karışım suyu olarak kullanılmıştır.

Jeotermal su

Yapılan çalışma kapsamında hazırlanan numunelerin konulduğu jeotermal tesislerin jeotermal su analizleri DAYTAM (Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi)'da yapılmıştır.

Numuneler jeotermal tesislerden çıkarıldığı zaman jeotermal suların sıcaklık ölçümleri Tablo 8'de belirtilmiştir. Jeotermal suların DAYTAM'da yapılan analizleri ise Tablo 9 ve Tablo 10'de gösterilmiştir. Yapılan analizler, IC (iyon kromatografisi) ve ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) yöntemleri ile yapılmıştır.

Tablo 8. Jeotermal Tesislere Ait Sıcaklık Değerleri

Tesis/Zaman	270.gün
Nene Hatun Jeotermal Tesis	53-62°C
Pasinler Jeotermal Tesis	39-43°C

Tablo 9. Jeotermal Tesislere Ait Su Analizleri-1 (Yıldız, 2021)

Parametre	Birim	Jeotermal Tesisler	
		Nenehatun	Pasinler
B	mg/l	0,008	0,003
Mn	mg/l	0,022	0,169
Fe	mg/l		0,151
As	mg/l	0,019	0,005
Bikarbonat (HCO_3^-)	mg/l	2684	1708
Nitrat (NO_3^-)	mg/l	6,01	2,31
Bromür (Br^-)	mg/l	<0,3	<0,3
PO_4^{-3}	mg/l	<0,6	<0,6
F^-	mg/l	0,54	0,08
Cl^-	mg/l	29	363
SO_4^{-2}	mg/l	623	153
Na^+	mg/l		163
Ca	mg/l	251	301
NO_2	mg/l	<0,09	<0,09
Mg	mg/l	44	19
K	mg/l	3,06	15
CO_2	%	10,2	12,4
NH_4	mg/l	<0,08	0,2
TDS	mg/l	3640,659	2724,919
Elektiriksel iletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	6198	5,58
Yoğunluk	g/cm^3	1,004	1,003
Ph		6,86	6,53

Tablo 10. Jeotermal Tesislere ait su analizleri -2 (Yıldız, 2021)

Parametre	Birim	Jeotermal Tesisler	
		Nenehatun	Pasinler
Li^+	mg/l	0,468	1,138
B	mg/l	28,778	11,078
Na^+	mg/l	1006,989	1136,273
Mg^{+2}	mg/l	230,648	93,562
Al^{+3}	mg/l	0,001	0,001
Si	mg/l	103,057	76,917
K^+	mg/l	128,781	93,386
Ca^{+2}	mg/l	72,491	41,936
Fe^{+2}	mg/l	0,037	0,004
As	mg/l	0,08	0,011

Kimyasal katkı

BASF firmasından temin edilen MasterGlenium SKY 506 M tipindeki süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Tablo 11’de bu katkıya ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 11. Kimyasal Katkı Maddesine Ait Özellikler (BASF, 2020)

TEKNİK ÖZELLİKLER	
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Opak
Özgül Ağırlık (20°C’de)	1.074 - 1.134 kg/l
pH değeri	5-7
Alkali İçeriği (%)	mak. 3.00 (ağırlıkça)
Klor İyon İçeriği (%)	mak. 0.10 (ağırlıkça)
Korozyon davranışı	Sadece EN934-1:2008, EKA.1 standardına uygun bileşenleri içerir.

Mineral katkılar

Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu, KARDEMİR (Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.)’den temin edilmiştir. Tablo 12’de belirtildiği gibi üretici firma tarafından alınan analiz bilgileri gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan bir diğer mineral katkı olan ferrokrom cürufu ise Elazığ Eti Krom fabrikasından temin edilmiştir. Tablo 13’de de ferrokrom cürufunun kimyasal özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 12. Yüksek Fırın Cürufu Analiz Bilgileri

ANALİZ BİLGİLERİ			
KİMYASAL ÖZELLİKLERİ		FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	
İçerik	(%)	Özgül ağırlık(g/cm ³)	2,88
SiO ₂	37,4	Rutubet(%)	0,1
Al ₂ O ₃	10,38	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4138
Fe ₂ O ₃	1,3	Puzolanik Aktivite indeksi	
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	49,08		
CaO	30,93	7 Gün (%)	55,3
MgO	7,21	28 Gün (%)	74,2
SO ₃	0,77		
S ⁻²	0,31		
Na ₂ O	0,39		
K ₂ O	0,67		
TiO ₂	0,85		
MnO ₃	2,58		
Cl ⁻	0,02		
(CaO + MgO)/SiO ₂	1,02		
CaO + MgO + SiO ₂	75,54		

Tablo 13. Ferrokrom Cürufu Analiz Bilgileri

KİMYASAL ANALİZ (%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O + 0,658K ₂ O
45,62	31,9	1,95	2,25	16,8	1,48
FİZİKSEL ÖZELLİKLER					
Birim ağırlık (gr/cm ³)	Su emme (%)		Özgül ağırlık (gr/cm ³)		
1,06	13,63		2,86		

Kullanılan Cihazlar

Betonyer

Beton karışımlarında TS EN 196-1 standardına uygun homojen şekilde karıştırılabilir ELE firmasının ürettiği 135° açı yapabilecek kadar manevra yapabilen 60 dm³ kapasiteli, 25 devir/dakika karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi betonyer kullanılmıştır (Şekil 22).



Şekil 22. Betonyer

Numune kalıpları

Beton numunelerinin üretimi EN 196-1, ASTM C109 ve BS 4550 standartlarına uygun Şekil 23'te belirtilen 50x50x50 mm boyutunda üç gözlü küp çelik kalıplarda üretilmiştir.



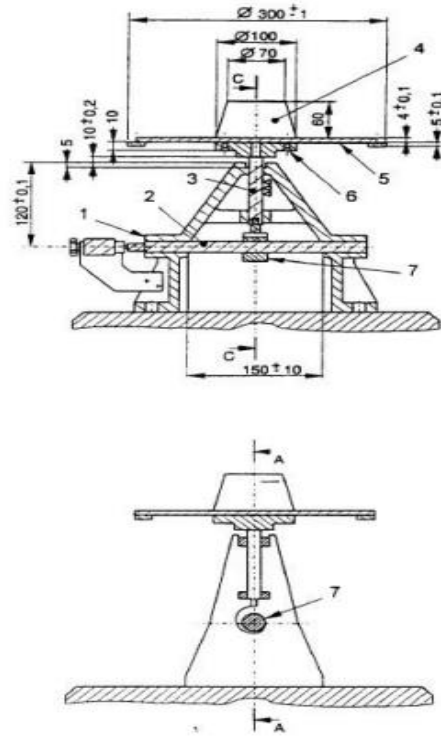
Şekil 23. Çelik Numune Kalıpları

Yayılma tablası

Numunelerin karışım işlemleri sonrasında kıvamını belirlemek için Şekil 24'te gösterilen yayılma tablası kullanılmıştır. TS EN 1015-3 standardına göre yayılma tablası Şekil 25'te gösterilmiştir.



Şekil 24. Yayılma tablası



Anahtar :	1 Ayak
2 Yatay mil	3 Kaldırma kolu
4 Kesik koni şekilli kalıp	5 Dairesel levha
6 Rijit plâka kaidesi	7 Kaldırma dirseği

Şekil 25. Yayılma tablası-2 (TSE)

Basınç dayanımı tespit cihazı

Numunelerin basınç dayanım testleri, 3000 kN yükleme kapasitesine sahip bilgisayar ile desteklenebilen tek eksenli Şekil 26’da gösterilen cihaz ile yapılmıştır.



Şekil 26. Beton Basınç dayanımı test cihazı

Hazırlanan numuneler 28 günlük 20°C standart su küründen sonra ve 270 günlük jeotermal tesislerde, sıcak su küründe ve 20°C standart su küründen sonra 3 numune alınarak basınç dayanım testleri yapılmıştır. Basınç dayanımları teste tabi tutulan 3 numunenin aritmetik ortalaması ile hesaplanmıştır.

Numunelerin basınç dayanım testleri TS EN 12390-3 standardı referans alınarak yapılmıştır.

$$F_c = \frac{P}{A_c}$$

F_c: Basınç dayanımı, MPa.

P: Kırılma anında ulaşılan en büyük kuvvet, N.

A_c: Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı kesit alanı, mm²

Hava dolaşimli etüv

Numuneler, sabit ağırlığa ulaşılan kadar 105 ± 5 °C'ye kadar çıkabilen Şekil 27'de gösterilen etüvde tutulmuştur.



Şekil 27. Etüv

Ultrases (UPV) hız ölçüm cihazı

ASTM C597 standardına göre geçiş hızı, betonun iki düz yüzeyinde tutulan diskler arasına ultra ses akımı uygulanarak hesaplanır. Kullanılan cihaz Şekil 28'de gösterilmiştir.



Şekil 28. Ultrases ölçüm cihazı

Ölçümler ultrases test cihazı (Şekil 28) ile yapılmıştır. Deney işlemleri numunelerin etüv kurusu halinde olmalıdır.

Deney, TS EN 12504-4 standardına göre yapılmıştır.

Öncelikle ölçüm yapılacak iki yüzeyler gres yağı sürülerek pürüzsüz hale getirilecektir. Numune iki prob (verici-alıcı) arasına yerleştirilerek aynı hizaya getirilir ve cihaz, ses dalgasının geçme süresini hesaplar. Standartta verilmiş olan denkleme göre geçme hızı hesaplanır.

$$V(m/s) = X(m)/t (s)$$

Bu denklemde;

V(m/s): Ultrases geçme hızı

X(m): Ses dalgasının aldığı mesafe

t(s): Ses dalgasının geçme süresi

Tablo 14. Ultrases Geçiş Hızlarının Değerlendirilmesi (Bhavan & Marg, 2010)

Hız (km/sn)	4.5 ve üstü	3.5 – 4.5	3.0 – 3.5	2.0 – 3.0	2.0 ve altı
Beton Kalitesi	Çok İyi	İyi	Orta	Zayıf	Çok zayıf

Ultrases iletim hızı hesaplanırken gönderilen dalga beton numunelerinde ilerler. Betonun içinde boşluklarla karşılaşabilir. Bu durum gerçekleştiğinde dalga doğrudan karşı tarafa iletilemez. Boşluk alanını çevrelemelidir. Bu, ultrases geçiş hızında bir azalmaya yol açar. Buna dayanarak, betonun basınç dayanımının azaldığını söyleyebiliriz. Diğer bir deyişle ultrases iletim hızı artarsa beton dayanımı artar, hız düşerse betonun basınç dayanımı düşer. (Bhavan & Marg, 2010)

Kılcal su emme deneyi

Kılcal su emme TS EN 13057 standardına göre yapılmıştır.

Etüv kurusu haline gelen numuneler suya batırılacak kısımları su izolasyonlu bant ile yanlardan su alması engellenmiştir.

Numunenin (2±1) mm suya batacak şekilde suya konulacaktır. Standartta belirtilen 12 dakika, 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 4 saat ve 24 saat sürelerde ağırlık ölçülüp kılcal yollarla suyun yukarı doğru çıkışı ölçülmüştür. (Şekil 29)



Şekil 29. Kılcal su emme deneyi

Kılcal su emme deneyinde direnç katsayısı (R)

Kılcal su emme deneyine tabii tutulan numunelerde, su 24 saatlik süre içerisinde numune yüzeyinde ulaşabildiği en üst yüzey Şekil 30'daki gibi saptama noktası kullanılarak numunenin kılcal su emme doygunluğuna ulaştığı süreyi (t_c) verir.

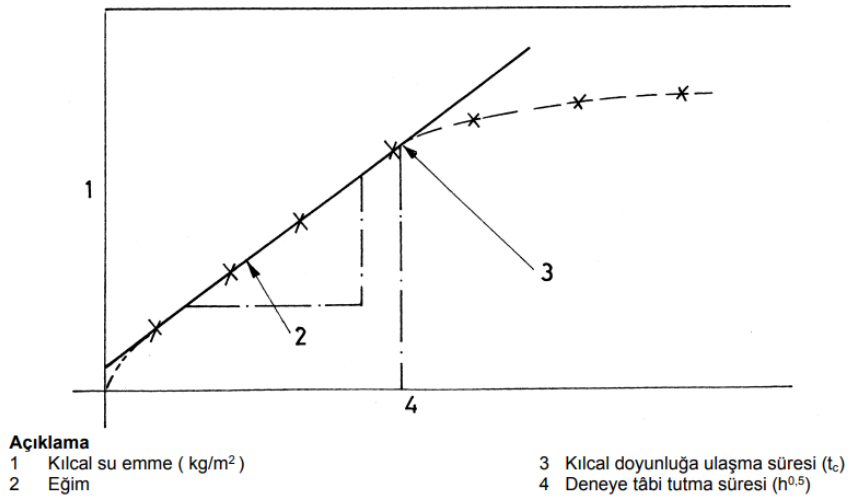
Direnç katsayısı (R) numuneye nüfuz eden duyun derinlik ölçüsüdür. Aşağıdaki denklemle hesaplanan direnç katsayısı kılcal gözenek sisteminin inceliğini yansıtır ve bu verilerle numunelerde kullanılan su/bağlayıcı oranı ile ilgili ilişki yorumlanabilir. (TS EN 13057, 2002)

$$R = \frac{t_c}{X^2}$$

R: Direnç katsayısı (h/m^2) ,

t_c : Kılcal doygunluğa ulaşılma süresi (h),

X: Numunenin kalınlığı (m)



Şekil 30. Kılcal su emme saptama grafiği (TS EN 13057, 2002)

Birim ağırlık deneyi

Numuneler 28 ve 270 günlük kür sonrası 24 saat süre boyunca hava dolaşımli etüvde tutulmuştur. Etüvden çıkarıldıktan sonra ortam sıcaklığına ulaşınca kadar $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 'deki laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Bu şekilde kuru ağırlıkları ölçülerek “gr” olarak kaydedilmiştir. Numune hacmi hesaplanırken düzgün malzemenin hacmi kabul edilmiştir (50*50*50 mm). Ölçülmüş olan numunenin ağırlığı, numune hacmine bölünerek birim ağırlık hesaplanmıştır (Yıldız, 2021).

$$\text{Birim Ağırlık(g/cm}^3\text{)} = \text{Numune Ağırlığı(gr)}/\text{Numune Hacmi(cm}^3\text{)}$$

Su emme tayini

28 günlük su kürü sonrası numuneler suya doygun halde iken bez yardımı ile silinerek ağırlıkları ölçülecektir. Birim ağırlık içinde kaydettiğimiz etüv kurusu numune ağırlıkları aşağıdaki formül yardımı ile su emme tayini bulunmuş olacaktır.

$$\text{SE (\%)} = ((m_1 - m_2) / m_2) * 100$$

Bu denklemde;

SE: Su emme değeri (%)

m₁: Doygun ağırlık (g)

m₂: Etüv kurusu ağırlık (g)

Su kürü havuzları

Bu çalışmada üretilen numuneler, 28 gün ve 270 gün boyunca $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta sabit tutulabilen kirece doymuş standart su kürü havuzlarında bekletilmiştir. Su kürü havuzları Şekil 31'de gösterilmiştir.



Şekil 31. Su kürü havuzları

Sıcak su banyosu sistemleri

Jeotermal tesisler ile aynı sıcaklığa sahip, 40°C ve 60°C sıcaklıklara sabitlenecek şekilde ayarlanabilen sistemlerdir. İçindeki rezistans sayesinde maksimum 70°C'ye kadar sıcaklığa ulaşılabilir.(Şekil 32)



Şekil 32. Sıcak su banyosu sistemi

Diğer cihazlar

Çalışma esnasında daha önce belirtilen cihazlar ve malzemelerden hariç cetvel, hassas terazi, sıcaklık ölçer gibi birçok cihaz kullanılmıştır.

Karışım Oranları

- Agregası; max. dane çapı 8 mm olan silis esaslı agregası kullanılmıştır.

- Çimento; CEM I 42,5 R kullanılmıştır.
- Mineral katkı; yüksek fırın cürufu ve ferrokrom cürufu kullanılmıştır.
- Su; şebeke suyu kullanılmıştır.
- Kimyasal katkı; gerekli olması durumunda işlenebilirliği artırabilmek için akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Karışım oranları ise;

- Çimento; 1 oranında,
- Agregası; 3 oranında,
- Su ise; 0,5 oranında

Su/çimento oranımız ise 0,5'tir.

Beton karışım oranları ve karıştırma işlemi TS EN 480-1 standardına göre yapılmıştır.

- ◆ 5x5x5 cm küp kalıplar kullanılmıştır.
- ◆ 28 günlük kür için kür havuzları kullanılmıştır.
- ◆ Kıvam değeri tespiti için yayılma tablası kullanılmıştır.
- ◆ Birim ağırlık, su emme tayini için hava dolaşımli etüv kullanılmıştır.
- ◆ Birim ağırlık, su emme ve kılcal su emme direncinin tayini için 0,01 gr hassasiyetli terazi kullanılmıştır.

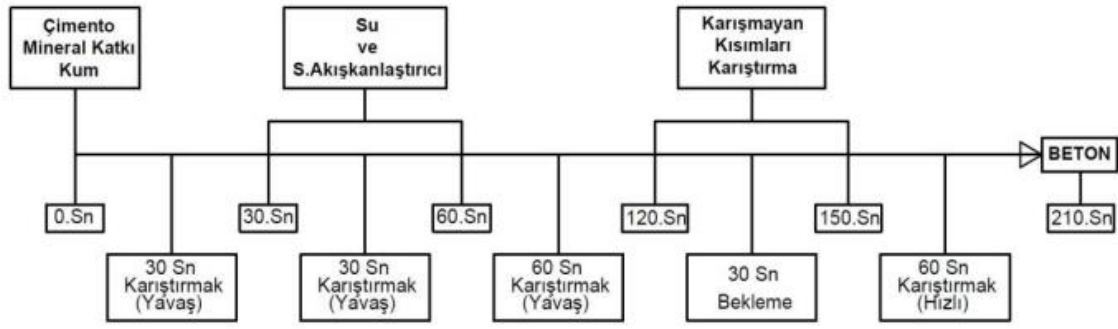
Tablo 15. Beton Karışım Oranları ve Miktarları

	Agrega(4MM)	Agrega(0,25 Altı)	Çimento	Su	Mineral Katkı
R	13345 gr	413 gr	5266 gr	2587 gr	0
YFC10	13345 gr	413 gr	4739 gr	2587 gr	527 gr
YFC20	13345 gr	413 gr	4212 gr	2587 gr	1054 gr
YFC30	13345 gr	413 gr	3694 gr	2587 gr	1572 gr
FKC10	13345 gr	413 gr	4739 gr	2587 gr	527 gr
FKC20	13345 gr	413 gr	4212 gr	2587 gr	1054 gr
FKC30	13345 gr	413 gr	3694 gr	2587 gr	1572 gr

Beton üretim yöntemi

Beton karışımları, TS EN 480-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Karışımların homojen olabilmesi için Şekil 33'te gösterilen beton üretim şemasına göre üretim yapılmıştır.

28 günlük 20°C standart su kürü, 270 günlük Pasinler Jeotermal tesisi, Nenehatun Jeotermal tesisi, 20°C standart su kürü, 40°C sıcak su kürü ve 60°C sıcak su kürü olmak üzere 6 farklı ortam için R, YFC10, YFC20, YFC30, FKC10, FKC20 ve FKC30 olmak üzere 7 farklı karışım üretilmiştir. Her bir ortama 3 numune bırakılmıştır. Toplam 126 numune üretilmiştir.



Şekil 33. Beton üretim şeması (Yıldız, 2021)

SEM-EDAX

Kütle oluşturan malzemelerin türü, miktarı, boyutu, şekli ve faz dağılımı mikro yapıyı oluşturur. Malzemelerin mikro yapısındaki daha büyük ana elemanlar, malzemenin enine kesitinde daha kolay görülebilse de, daha küçük elemanlar genellikle bir mikroskop yardımıyla görülebilir. Makro yapıda, insan gözü enine kesitteki elementleri görebilirken, mikro yapıda elementler ancak makro yapıyı belirli bir ölçüde büyütülerek görülebilir. Modern elektron mikroskopları 105 kat büyütebilir. Bu nedenle taramalı elektron mikroskobu (SEM) uygulamaları, malzemelerin mikro yapısını inceleme fırsatı sunar.

EDAX, numunelerin temel analizi veya kimyasal karakterizasyonu için kullanılan analitik bir tekniktir. EDAX, X-ışını uyarma kaynağı ve numunenin etkileşimine dayanır. Karakterizasyon yetenekleri, öncelikle, her bir elementin elektromanyetik radyasyon spektrumunda benzersiz tepe noktalarına izin veren benzersiz bir atomik yapıya sahip olduğu mantığına dayanmaktadır. Tepe konumları, tipik EDAX cihazlarının deneysel çözünürlüğünden çok daha üstün bir doğrulukla Moseley yasası tarafından tahmin edilir.

Bir elektron ışını, numuneden karakteristik X-ışınlarının emisyonunu uyarmak için inceleme altındaki numuneye odaklanır. Dinlenme durumunda, bir numunedeki atomlar, ayırık enerji seviyelerinde temel durum (veya uyarılmamış) elektronlar veya çekirdeğe bağlı elektron kabukları içerir. Gelen bir ışın, elektron delikleri oluşturup onları kabuktan dışarı iterken, iç kabuktaki elektronları uyarabilir. Yüksek enerjili dış kabuktan gelen elektronlar daha sonra delikleri doldurabilir, yüksek enerjili ve düşük enerjili kabuklar arasındaki enerji farkını X-ışınları şeklinde yayabilir. Bir numuneden yayılan X ışınlarının sayısı ve enerjisi, bir enerji dağılımlı spektrometre ile ölçülebilir. X ışınlarının enerjisi, iki kabuk arasındaki enerji farkının ve yayan elementin atomik yapısının bir özelliğidir. Bu nedenle EDAX, numunenin elemental bileşimini ölçebilir (Jenkins, 1982).



Şekil 34. SEM- EDAX cihazı (DAYTAM, 2022)

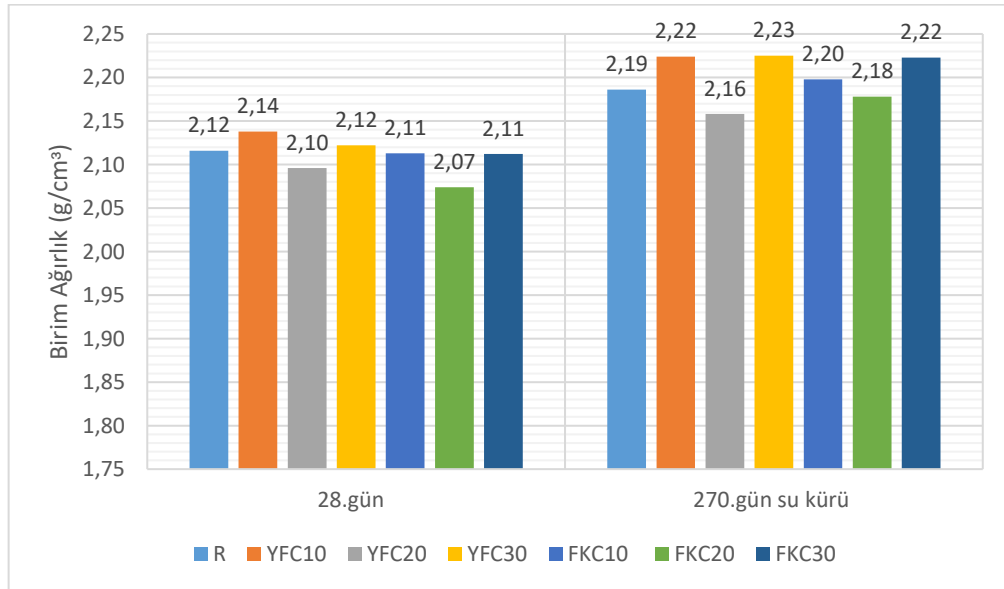
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Birim Ağırlık

Yüksek fırın cürufu, ferrokrom cürufu ikame edilen karışımlar ve referans numuneleri 28 ve 270. gün tesislerden çıkarıldıktan sonra etüvde bir gün bekletilip daha sonra da bir gün boyunca oda sıcaklığına sahip laboratuvar ortamında tutulmuştur. Hassas terazi yardımıyla ağırlıkları kaydedilip, boyutları düzgün kabul edilerek (50x50x50 mm) kaydedilen ağırlıklar numunenin hacmine bölünüp numunelerin birim ağırlığı bulunmuştur. (Tablo 16)

Tablo 16. Birim Ağırlık Değerlerinin Karşılaştırılması

	20°C Standart Su Kürü		270. gün Sıcak Su Kürü		270.gün Jeotermal Tesisler	
	28.gün	270.gün	40°C Sıcak Su Kürü	60°C Sıcak Su Kürü	Pasinler Jeotermal	Nenehatun Jeotermal
R	2,12	2,19	2,17	2,13	2,11	2,16
YFC10	2,14	2,22	2,15	2,15	2,16	2,23
YFC20	2,10	2,16	2,20	2,16	2,13	2,19
YFC30	2,12	2,23	2,21	2,20	2,16	2,20
FKC10	2,11	2,20	2,15	2,16	2,17	2,14
FKC20	2,07	2,18	2,12	2,10	2,11	2,14
FKC30	2,11	2,22	2,19	2,16	2,12	2,20

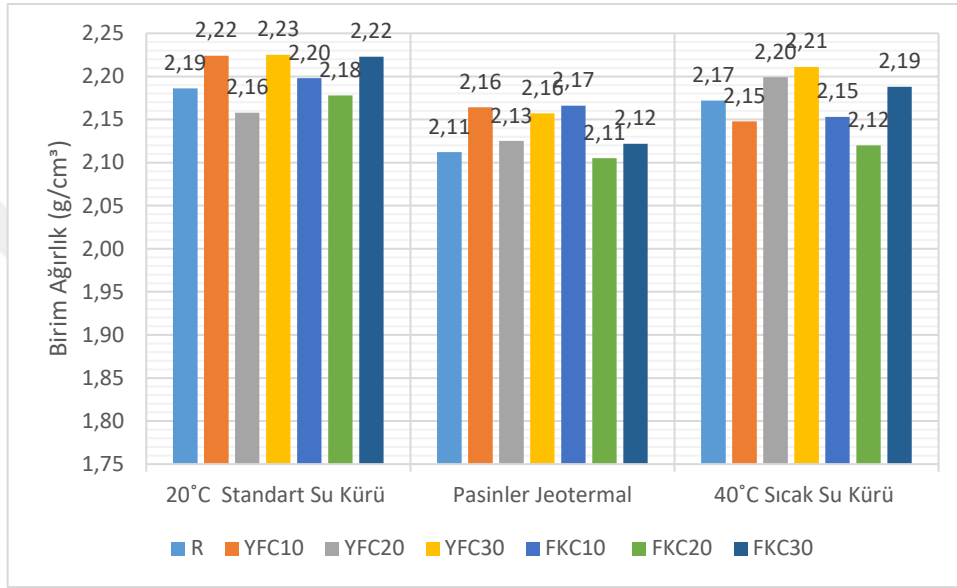


Şekil 35. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin birim ağırlıkları

28 günlük ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin birim ağırlık deneyi sonuçları Şekil 35'te verilmiştir. 28 günlük numunelerin birim ağırlıklarında 270 günlük

20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre artma tespit edilmiştir. 28 günlük numunelerin 270 günlük 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre birim ağırlıkları, referans numunesinde %3,31 oranında, YFC10 numunesinde %4,02, YFC20 numunesinde %2,96, YFC30 numunesinde %4,85, FKC10 numunesinde %4,02, FKC20 numunesinde %5,01 ve FKC30 numunesinde %5,26 oranında artmıştır.

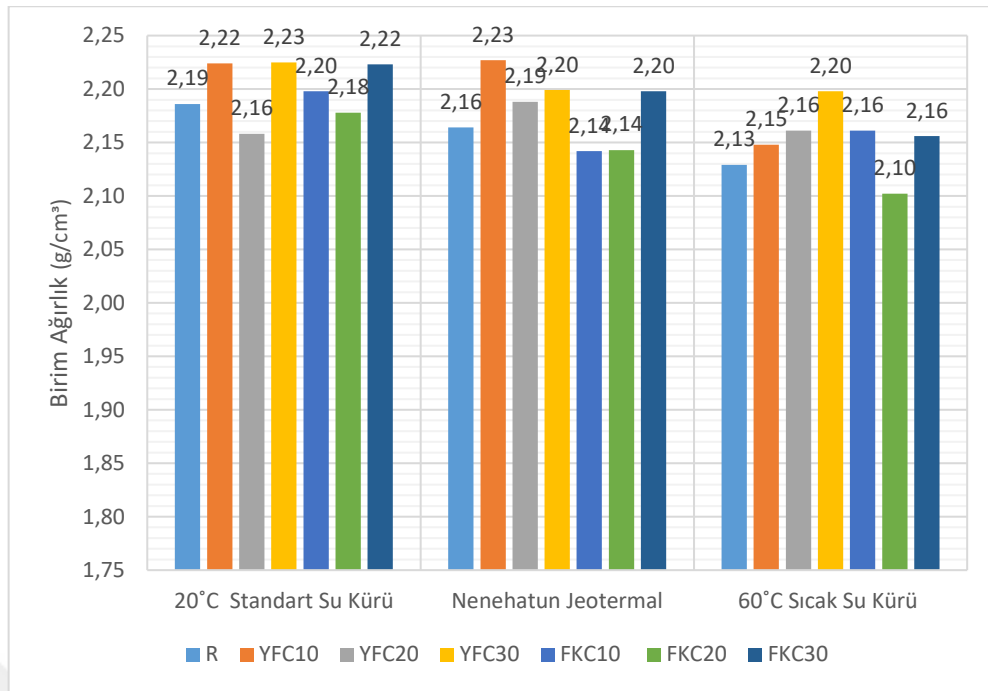
270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numuneler referans numunesine göre YFC20 numunelerinde %1,4 ve FKC20 numunelerinde % 0,5 oranında azalmıştır. YFC10, YFC30, FKC10 ve FKC30 numunelerinde ise %0,5 ila %1,4 oranında artış görülmüştür.



Şekil 36. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin birim ağırlıkları (270 gün)

Pasinler Jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak suda bekletilen numunelerin birim ağırlıkları 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre Pasinler Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerin hepsinde, 40°C sıcak suda bekletilen numunelerden ise YFC20 hariç hepsinde azalma gösterdiği Şekil 35'te gösterilmiştir. Görülen azalmalar Pasinler Jeotermalde tutulan numunelerden referans, YFC30 ve FKC20 numunelerinde %3,39, %3,06 ve %4,54 oranında en fazla azalma görülürken, 40°C sıcak suda tutulan numunelerden YFC20 numunesinde %1,9 oranında artış görülmüştür.

Pasinler Jeotermal tesisinde tutulan numuneler arasında referans numunesine göre en fazla artış FKC10 numunesinde %2,84 oranında gerçekleşmiştir. FKC20 herhangi bir artış veya azalış görülmezken YFC10 ve YFC30 numunelerinde %2,4, FKC30 numunesinde ise %0,47 artış gözlemlenmiştir. 40°C sıcak suda bekletilen numunelerden YFC10, FKC10 ve FKC20 numunelerinde %0,92 ila %2,3 arasında azalma görülürken YFC20 numunesinde %1,38, YFC30 numunesinde %1,84 ve FKC30 numunesinde %0,92 oranında artma görülmüştür.



Şekil 37. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin birim ağırlıkları (270 gün)

Nenehatun Jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak suda bekletilen numunelerin birim ağırlıkları 270 günlük 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre arttığı Şekil 37’de gösterilmiştir. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre birim ağırlıklar Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerden YFC10 ve YFC20 numuneleri değişmezken, FKC10 numunelerinde %2,55 oranında artma gözlemlenmiştir. 60°C sıcak suda bekletilen numunelerden ise YFC10 ve FKC20 numuneleri %3,4 oranında en fazla azalma gösteren numuneler olmuştur.

Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerden referans numunelerine göre yüksek fırın cürufu katkılı karışımlarda birim ağırlık artışı gerçekleşirken ferrokrom cürufu katkılı karışımlarda sadece FKC30 numunelerinde artış görülmüştür. FKC20 ve FKC 30 numunelerinin birim ağırlıkları %0,93 oranında azalmıştır. YFC10 numuneleri %3,24, YFC20 numuneleri %1,4, YFC30 ve FKC30 numuneleri %1,85 oranında birim ağırlıklarında artış görülmüştür.

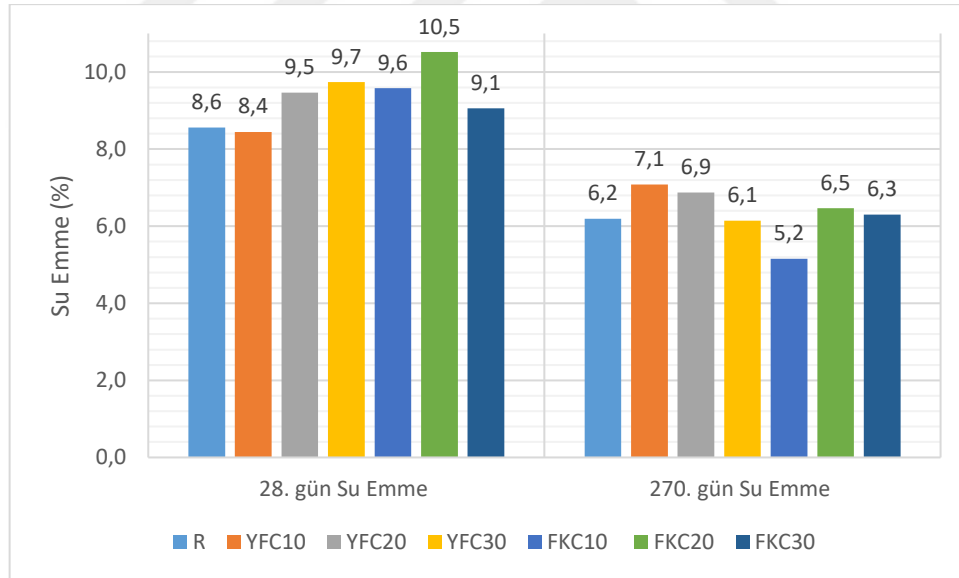
60°C sıcak suda bekletilen numunelerin birim ağırlıklarında referans numunelerine göre ferrokrom cürufu katkılı karışımlardan sadece FKC20 numunelerinde %1,41 oranında azalma gerçekleşmiştir. Yüksek fırın cürufu katkılı karışımlarda YFC10 numuneleri %0,94 oranında, YFC20 numunelerinde %1,41 oranında YFC30 numunelerinde ise %3,28 oranında birim ağırlık artmıştır. FKC20 ve FKC30 numunelerinde %1,41 oranında artış görülmüştür.

Su Emme Deneyi

Tesislerden çıkarılan numuneler suya doymun haldeyken bez yardımı ile yüzeyindeki su silinip tartılarak suya doymun ağırlığı bulunduğundan sonra numunelerin etüv kurusu ağırlıkları kullanılarak su emme yüzdeleri bulunmuştur. Tablo 17’de numunelerin su emme yüzdeleri gösterilmiştir.

Tablo 17. Su Emme Yüzdeleri

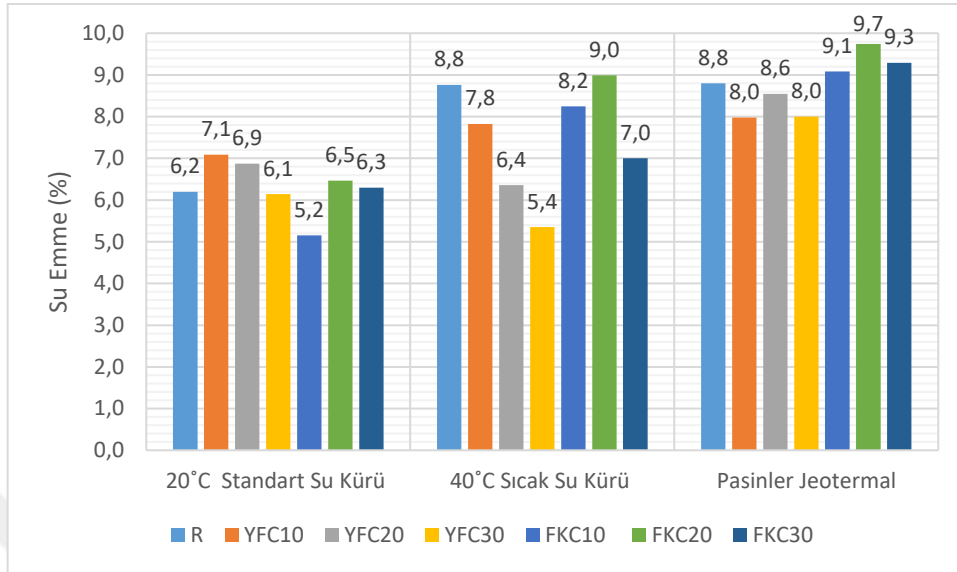
	20°C Standart Su Kürü		270. gün Sıcak Su Kürü		270.gün Jeotermal Tesisler	
	28.gün	270.gün	40°C Sıcak Su Kürü	60°C Sıcak Su Kürü	Pasinler Jeotermal	Nenehatun Jeotermal
R	8,561	6,196	8,765	9,381	8,8	5,324
YFC10	8,447	7,084	7,825	8,445	7,977	5,149
YFC20	9,462	6,874	6,361	7,57	8,55	4,999
YFC30	9,743	6,14	5,352	5,586	8,001	4,617
FKC10	9,578	5,157	8,246	8,877	9,082	5,945
FKC20	10,521	6,467	8,988	9,651	9,741	6,339
FKC30	9,062	6,299	7,005	7,11	9,289	6,254



Şekil 38. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri

28 günlük numunelerin ve 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri Şekil 38’de gösterilmiştir. 28 günlük numunelerin su emmeleri baz alındığında 270 günlük 20°C standart su küründe tutulan numunelerden referans numunesinde %27,9, YFC10 numunelerinde %15,5, YFC20 numunelerinde %27,4, YFC30 numunelerinde %34, FKC10 numunelerinde %45,8, FKC20 numunelerinde %38,1 ve FKC30 numunelerinde %30,8 oranında artış gözlemlenmiştir.

270 günlük 20°C standart su küründe bekletilen numunelerde referans numunesine göre cüruf katkılı karışımlarda YFC30 ve FKC10 numunelerinde azalma diğer karışımlarda artma görülmüştür. En fazla artış da YFC10 numunelerinde %14,5 oranında gerçekleşmiştir.



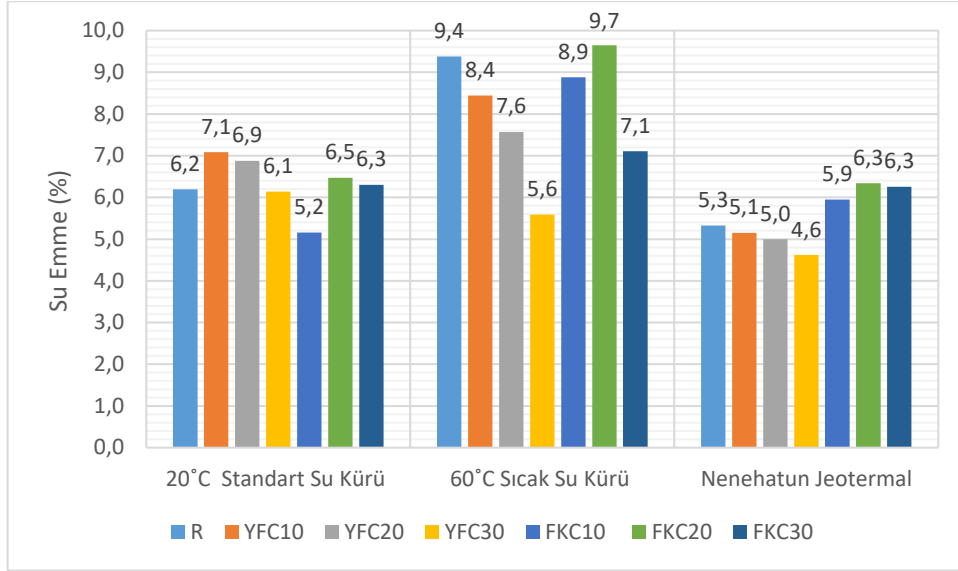
Şekil 39. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri (270 gün)

Pasinler Jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri Şekil 39’da verilmiştir. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre Pasinler jeotermaldeki numunelerin su emme yüzdeleri tüm numunelerde artmıştır. FKC10 numunesi %76,1 oranında en fazla artış gösteren numunelerdir. 40°C sıcak su küründe bekletilen numuneler ise 270 günlük numunelere göre su emme yüzdeleri YFC10 ve YFC20 numuneleri azalırken diğer karışım numunelerin su emme yüzdeleri artmıştır.

Pasinler Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler için referans numunesi göre su emme yüzdeleri yüksek fırın cürufu katkılı karışımlarda azalmıştır. Fakat ferrokrom cürufu ikameli karışımlarda artmıştır. En fazla artış FKC20 numunelerinde %10,22 oranında gözlemlenmiştir. En fazla azalma ise %9,1 oranında YFC10 ve YFC30 numunelerinde gerçekleşmiştir.

40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri FKC20 numunesinde %2,27 oranında artış görülürken diğer karışımlarda azalma görülmüştür. Su emme yüzdesi referans numunesine göre YFC10 numunelerinde %11,36, YFC20 numunelerinde %27,3, YFC30 numunelerinde %38,6, FKC10 numunelerinde %6,82 ve FKC30 numunelerinde %20,5 oranında azalma gerçekleşmiştir.

Pasinler Jeotermal Tesisi ve aynı sıcaklığa sahip 40°C sıcak su küründe tutulan numunelerin su emme yüzdeleri referans numunesi için aynıken cüruf katkılı karışımların su emme yüzdelerinde azalma gerçekleşmiştir.



Şekil 40. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri (270 gün)

Nenehatun jeotermal tesisi ve 60°C sıcak su küründe tutulan numunelerin su emme yüzdeleri Şekil 40'ta gösterilmiştir. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre Nenehatun jeotermal tesisinde bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri FKC10 numunesi %15,3 artarken, diğer karışımlar %2 ila %27,3 oranları arasında azalmıştır. 60°C sıcak su küründe tutulan numunelerde ise 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre su emme yüzdeleri YFC30 numunesi %9 oranında azalırken diğer karışımlarda %10 ila %72 oranları arasında artma gerçekleşmiştir.

Nenehatun jeotermal tesisinde bekletilen numunelerin su emme yüzdeleri referans numunelerine göre yüksek fırın cürufu katkılı karışımlarda azalma gerçekleşirken ferrokrom cürufu katkılı karışımlarda artma gerçekleşmiştir. FKC20 numunelerinde %18,9 en fazla oranda artış görülürken YFC30 numunesinde %13,2 ile en fazla oranda düşüş görülmüştür.

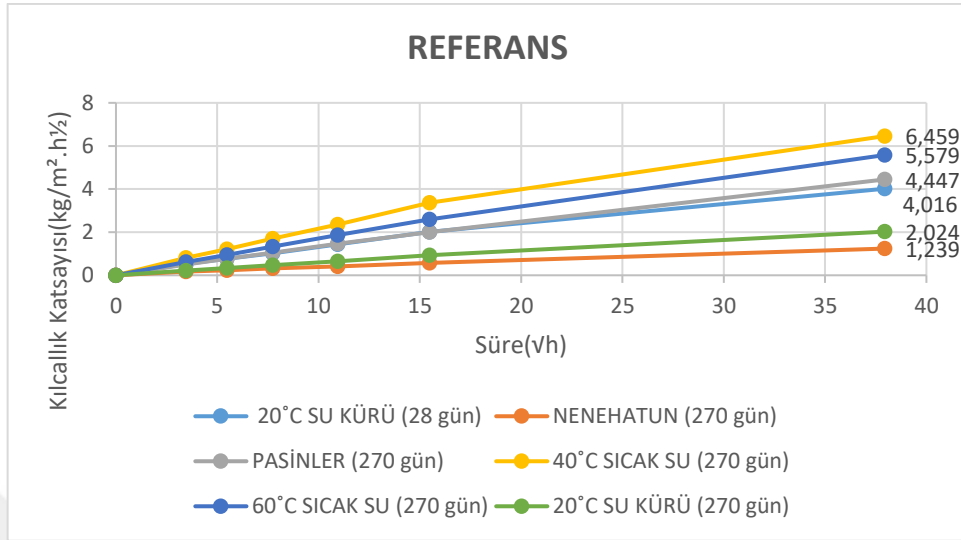
60°C sıcak su küründe tutulan numunelerde referans numunesine göre FKC20 numunelerinde %3,2 oranında artış görülürken diğer karışımlarda azalma gözlemlenmiştir. YFC10 numunelerinde %10,6, YFC20 numunelerinde %19,15, YFC30 numunelerinde %40,43, FKC10 numunelerinde %5,31 ve FKC30 numunelerinde %24,46 oranlarında su emme yüzdelerinde düşüş gözlemlenmiştir. Nenehatun jeotermal tesisinde tutulan numunelere göre aynı sıcaklığa sahip 60°C sıcak su küründe tutulan numunelerin su emme yüzdeleri artmıştır.

Kılcal Su Emme

Kılcal su emme TS EN 13057 standardına göre yapılmıştır.

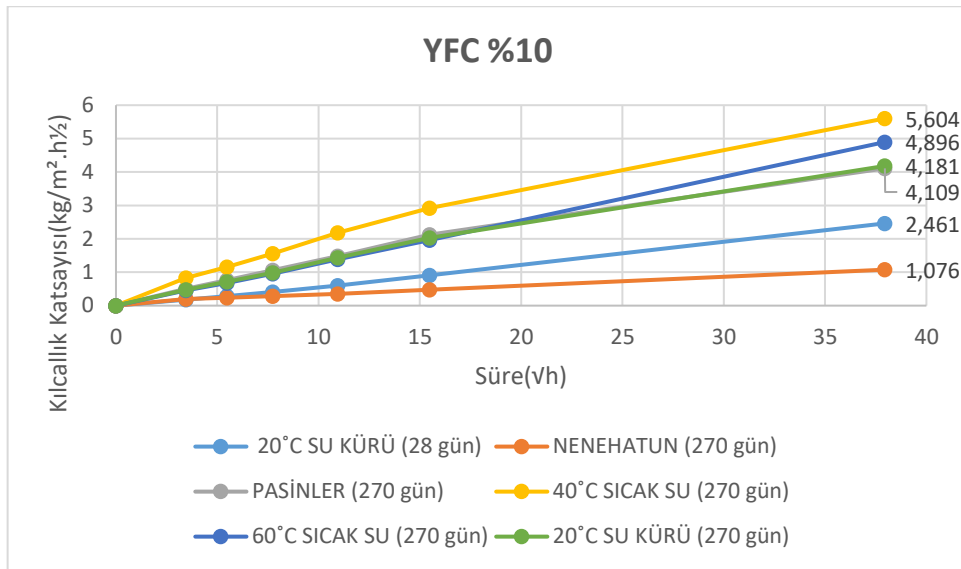
Etüv kurusu haline gelen numuneler suya batırılacak kısımları su izolasyonlu bant ile yanlardan su alması engellenmiştir.

Numunenin (2 ± 1) mm suya batacak şekilde suya konulacaktır. Standartta belirtilen 12 dakika, 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 4 saat ve 24 saat sürelerde ağırlık ölçülüp kılcal yollarla suyun yukarı doğru çıkışı ölçülmüştür.



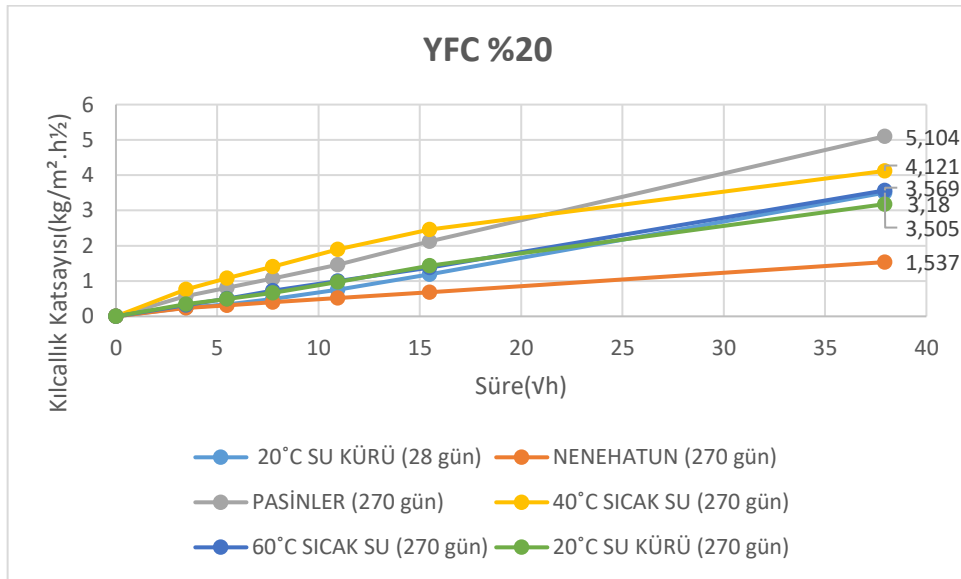
Şekil 41. Referans numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı

Referans numunelerinin, 28. gün ve 270 gün boyunca bekletilen tesislere göre kılcal su emme grafiği Şekil 41’de gösterilmiştir. 28 günlük numunelere göre 270 gün sonunda Nenehatun jeotermal tesisinde ve 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin kılcallık katsayıları %69,15 ve % 49,6 oranlarında azalmıştır. Fakat Pasinler Jeotermal tesisinde, 40°C ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin kılcallık katsayıları % 10,73, %60,83 ve %38,92 oranlarında artmıştır. 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre ise kılcallık katsayıları, Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler %63 oranında azalırken, Pasinler Jeotermal tesisinde %54,49, 40°C sıcak su küründe %219 oranında ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerde ise %175 oranında artış gözlemlenmiştir.



Şekil 42. YFC10 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı

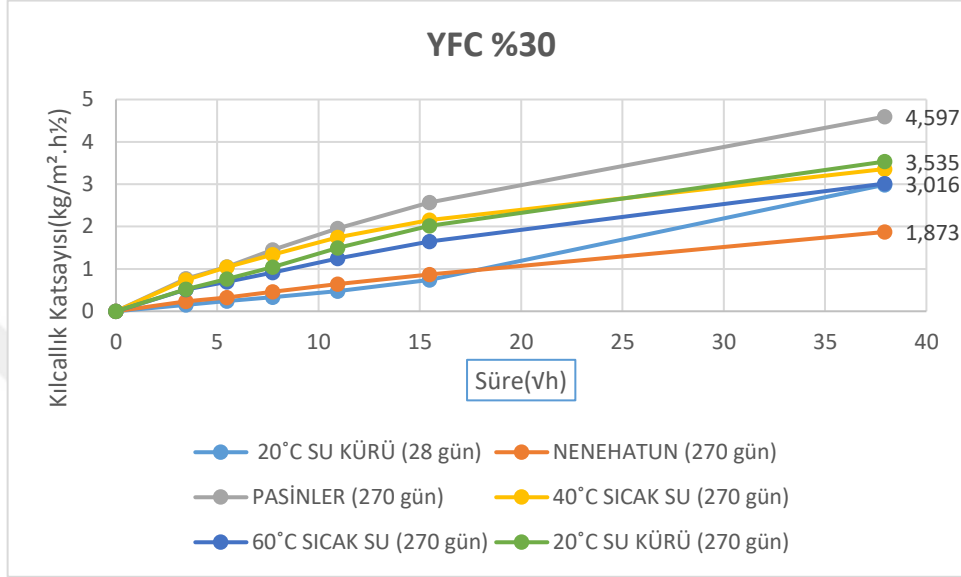
YFC10 numunelerinin, 28. gün ve 270 gün boyunca bekletilen, tesislere göre kılcal su emme grafiği Şekil 42’de gösterilmiştir. 28 günlük numunelere göre 270 gün sonunda Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerin kılcallık katsayıları %56 oranında azalırken, Pasinler Jeotermal tesisinde %66,96, 40°C sıcak su küründe %127, 60°C sıcak su küründe % 98,94 ve 20°C standart su küründe bekletilen numuneler %69,9 oranında artış göstermiştir. 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre ise kılcallık katsayıları, Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler %74,26 oranında, Pasinler Jeotermal tesisinde %1,72 oranında azalırken, 40°C sıcak su küründe %34 ve 60°C sıcak su küründe %17 oranında artmıştır.



Şekil 43. YFC20 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı

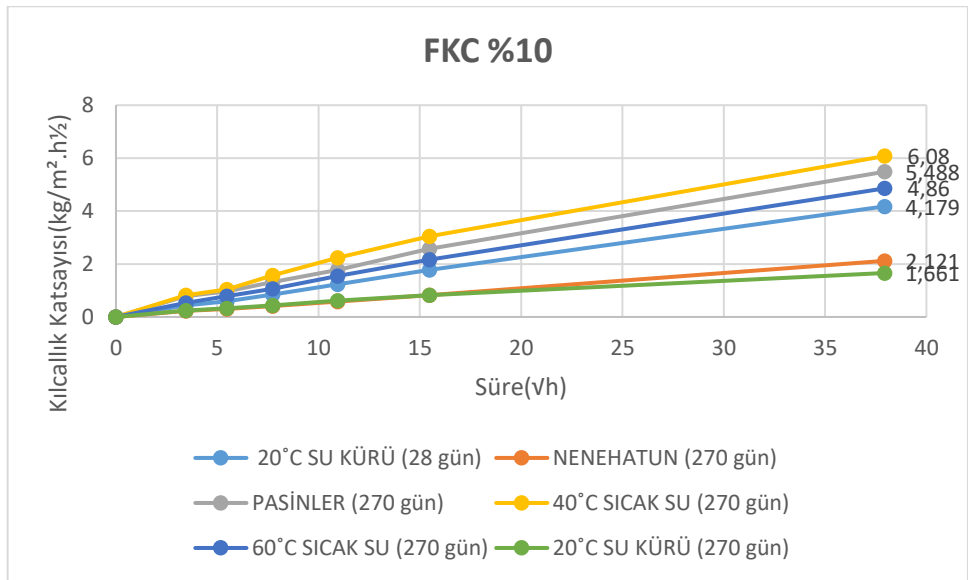
YFC20 numunelerinin, 28. gün ve 270 gün boyunca bekletilen, tesislere göre kılcal su emme grafiği Şekil 43’te gösterilmiştir. 28 günlük numunelere göre 270 gün sonunda

Nenehatun Jeotermal tesisinde ve 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin kılcallık katsayıları %56,14 ve %9,27 oranında azalırken, Pasinler Jeotermal tesisinde %45,6, 40°C sıcak su küründe %29,59 ve 60°C sıcak su küründe % 1,82 oranında artış göstermiştir. 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre ise kılcallık katsayıları, Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler %51,66 oranında azalırken, Pasinler Jeotermal tesisinde %60,5 oranında, 40°C sıcak su küründe %29,59 ve 60°C sıcak su küründe %12,23 oranında artmıştır.



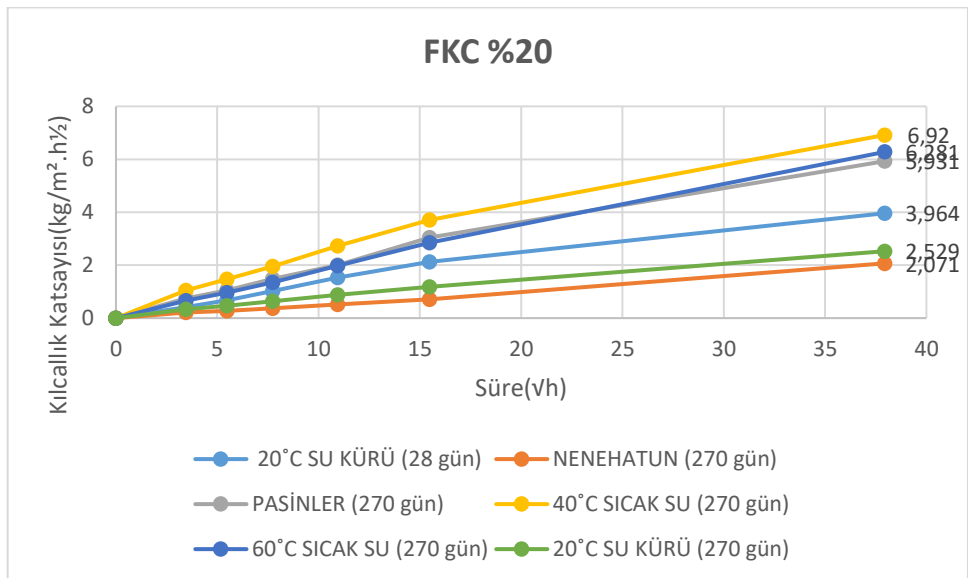
Şekil 44. YFC30 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı

YFC30 numunelerinin, 28. gün ve 270 gün boyunca bekletilen, tesislere göre kılcal su emme grafiği Şekil 44'te gösterilmiştir. 28 günlük numunelere göre 270 gün sonunda Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerin kılcallık katsayıları %37,32 oranında azalırken, Pasinler Jeotermal tesisinde %53,85, 40°C sıcak su küründe %12,41 60°C sıcak su küründe %0,93 ve 20°C standart su küründe bekletilen numuneler %18 oranında artış göstermiştir. 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre ise kılcallık katsayıları, Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler %47,02 oranında, 40°C sıcak su küründe %4,98 ve 60°C sıcak su küründe %14,68 oranında azalırken, Pasinler Jeotermal tesisinde %30 oranında artmıştır.



Şekil 45. FKC10 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallılık katsayısı

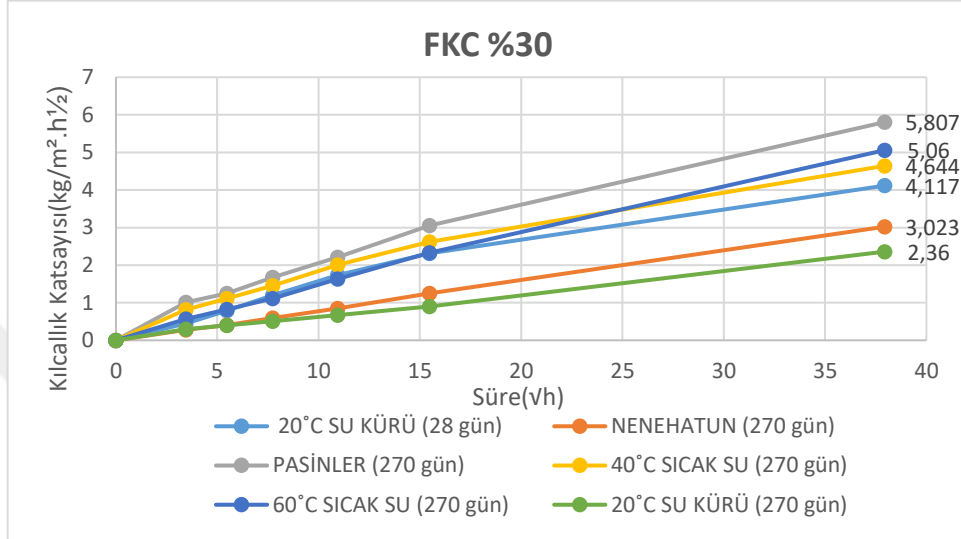
FKC10 numunelerinin, 28. gün ve 270 gün boyunca bekletilen, tesislere göre kılcal su emme grafiği Şekil 45'te gösterilmiştir. 28 günlük numunelere göre 270 gün sonunda Nenehatun Jeotermal tesisinde ve 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin kılcallılık katsayıları %49,24 ve %60,25 oranında azalırken, Pasinler Jeotermal tesisinde %31,32, 40°C sıcak su küründe %45,49 ve 60°C sıcak su küründe %16,3 oranında artış göstermiştir. 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre ise kılcallılık katsayıları, Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler %27,69, Pasinler Jeotermal tesisinde %230 oranında, 40°C sıcak su küründe %266 ve 60°C sıcak su küründe %192,6 oranında artmıştır.



Şekil 46. FKC20 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallılık katsayısı

FKC20 numunelerinin, 28. gün ve 270 gün boyunca bekletilen, tesislere göre kılcal su emme grafiği Şekil 46'da gösterilmiştir. 28 günlük numunelere göre 270 gün sonunda FKC10 numunelerde olduğu gibi Nenehatun Jeotermal tesisinde ve 20°C standart su küründe bekletilen

numunelerin kılcallık katsayıları %47,75 ve %36,2 oranında azalma gözlemlenmiştir. Fakat Pasinler Jeotermal tesisinde %49,62, 40°C sıcak su küründe %74,57 ve 60°C sıcak su küründe %58,45 oranında artış göstermiştir. 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre ise kılcallık katsayıları, Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler %18,11 oranında azalırken, Pasinler Jeotermal tesisinde %134,5 oranında, 40°C sıcak su küründe %173,62 ve 60°C sıcak su küründe %148,36 oranında artmıştır.

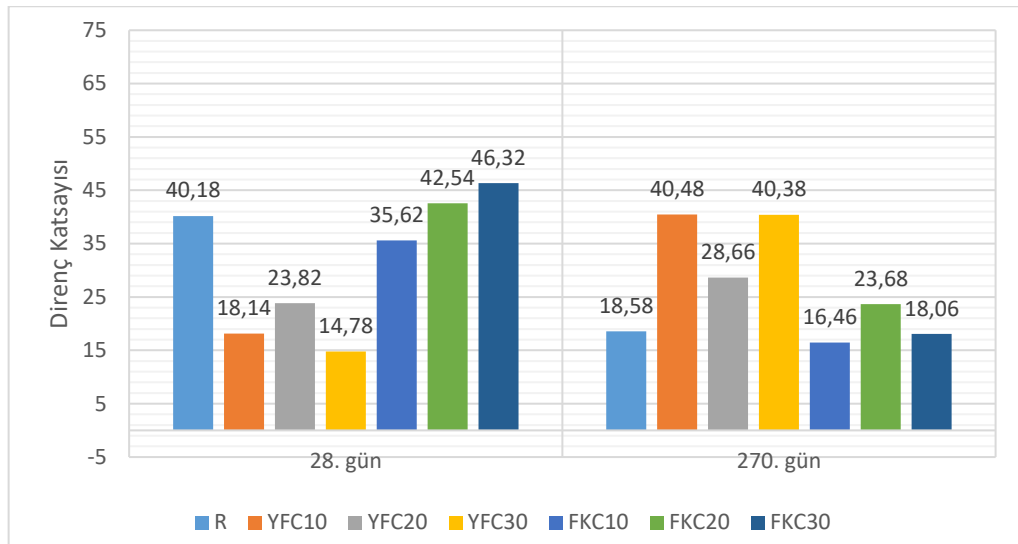


Şekil 47. FKC30 numunelerinin bırakıldığı ortama göre kılcallık katsayısı

FKC30 numunelerinin, 28. gün ve 270 gün boyunca bekletilen, tesislere göre kılcal su emme grafiği Şekil 47’da gösterilmiştir. 28 günlük numunelere göre 270 gün sonunda FKC10 ve FKC20 numunelerde olduğu gibi Nenehatun Jeotermal tesisinde ve 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin kılcallık katsayıları %26,57 ve %42,68 oranında azalma gözlemlenmiştir. Fakat Pasinler Jeotermal tesisinde %41,05, 40°C sıcak su küründe %12,8 ve 60°C sıcak su küründe %22,91 oranında artış göstermiştir. 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre ise kılcallık katsayıları, Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler %28,1 oranında azalırken, Pasinler Jeotermal tesisinde %146,1 oranında, 40°C sıcak su küründe %96,78 ve 60°C sıcak su küründe %114,4 oranında artmıştır.

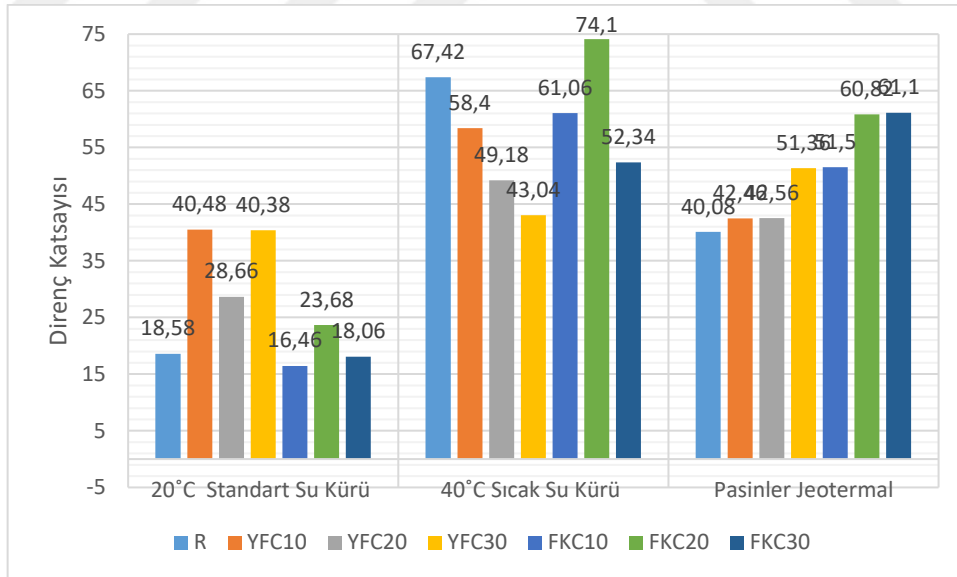
Kılcallık Direnç Katsayısı (R)

Direnç katsayısı, kılcal su emme deneyi sonucu ortaya çıkan grafiklerde kırılma noktasındaki sürenin (t_c), numune kalınlığına bölümünden bulunmaktadır. (TS EN 13057, 2002) Üretilen referans numuneleri baz alınarak ve aynı sıcaklıklara sahip ortamlarda bulunan numuneler karşılaştırılmıştır. Karışımlar hazırlanırken su/bağlayıcı oranı 0,5 olarak sabit tutulmuştur. Direnç katsayılarına göre bağlayıcı yerine ikame edilen mineral katkıların su/bağlayıcı oranını nasıl etkilediği hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar.



Şekil 48. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin kılcallık direnç katsayıları

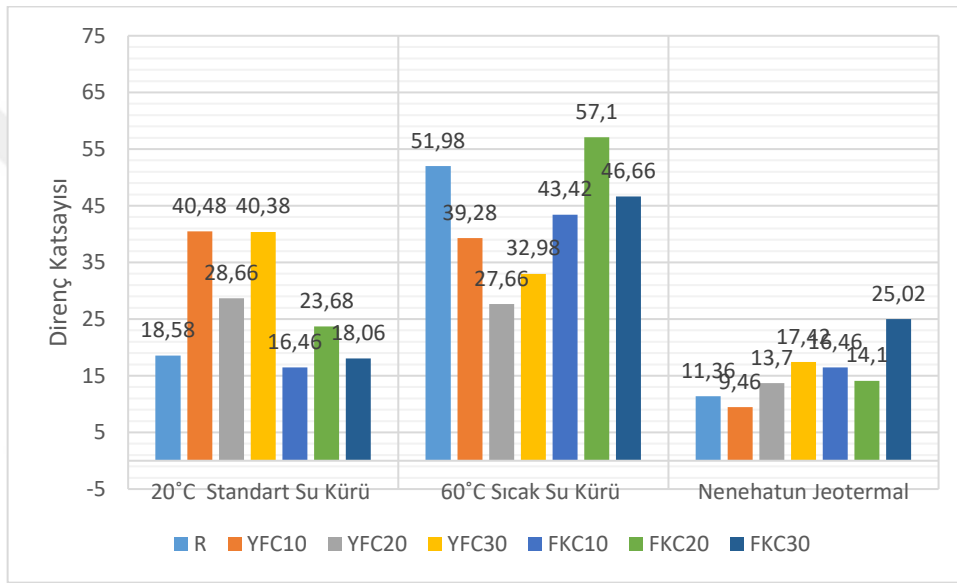
28. gün ve 270.gün 20°C standart su küründe bulunan numuneler kılcal su emme deneyi yapılarak kılcallık direnç katsayısı Şekil 48'deki grafikte gösterilmiştir. 28 Gün 20°C standart su küründen çıkarılan numunelerin kılcallık direnç katsayıları, referans (R) numunelerine göre yüksek fırın cürufu ikame edilen numunelerde düşüş görülmüştür. Fakat FKC10 kodlu ferrokrom ikame edilen numunelerde düşüş, FKC20 ve FKC30 kodlu numunelerde ise artış gözlemlenmiştir.



Şekil 49. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin kılcallık direnç katsayıları (270 gün)

Pasinler jeotermal tesisi ve 40°C sıcak suda tutulan numunelerin direnç katsayıları Şekil 49'daki grafikte gösterilmiştir. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre Pasinler jeotermal tesisinden çıkarılan numuneler ve 40°C sıcak suda bekletilen numunelerin kılcallık direnç katsayılarının arttığı görülmüştür.

Pasinler jeotermal tesisinden çıkarılan numunelerden referans numunelerine göre YFC10 ve YFC20 numunelerinin direnç katsayıları %6-7 oranında artış gösterirken YFC30 numunesi %28 oranında artmıştır. FKC10, FKC20 ve FKC30 numuneleri %28-52 oranlarında artış göstermiştir. Pasinler Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerde Ferrookrom cürufunun karışımlardaki oranı arttıkça direnç katsayısı da artmıştır. Fakat 40 C° Sıcak Suda bekletilen numunelerde yüksek fırın cürufu ikame edilen karışımlarda YFC30 numuneleri aynı sıcaklığa sahip Pasinler Jeotermalinde en fazla direnç katsayısı artışına sahipken 40°C Sıcak Suda en fazla düşüş yaşanan numune olmuştur. Ferrookrom ikame edilen numunelerde ise 40°C Sıcak Suda bekletilen numunelerden FKC10 ve FKC30' te düşüş yaşanırken FKC20' de %9,9 oranında bir artış gözlemlenmiştir.



Şekil 50. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin kılcallık direnç katsayıları (270 gün)

Nenehatun Jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su kılcallık direnç katsayıları Şekil 50'de gösterilmiştir. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre Nenehatun jeotermal tesisinden çıkarılan numunelerden FKC30 numuneleri hariç diğer karışımlarda direnç katsayısı azalırken, 60°C sıcak suda bekletilen numunelerin kılcallık direnç katsayılarının arttığı görülmüştür. Nenehatun jeotermal tesisinden çıkarılan numunelerden FKC30 numuneleri 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre %34,52 oranında artmıştır.

Nenehatun Jeotermal Tesisi 270 gün bekletilen numunelerden referans numunelerine göre direnç katsayılarında YFC10 numunesinde %16,73 düşüş gözlemlenirken, YFC20 numunelerinde %20,6 ve YFC30 numunelerinde ise %53 oranında artış görülmüştür. Ferrookrom cürufu ikame edilen numunelerde ise FKC10 numunesinde %44,89, FKC20 numunesinde %24,12 ve FKC30 numunesinde %120 oranında direnç katsayısı artmıştır.

Nenehatun Jeotermal Tesisi ile aynı sıcaklık değerine sahip olan 60°C sıcak su banyo sistemlerinde tutulan numunelerde aynı karışıma sahip olan R numunesinin direnç katsayısının %358 oranında arttığı görülmüştür. 60°C sıcak su banyo sistemlerinde tutulan numuneler karşılaştırıldığında FKC10, FKC20, FKC30, YFC10 ve YFC30 numenlerinde azalama görülürken YFC20 numunesinde %9,85 oranında artış görülmüştür.

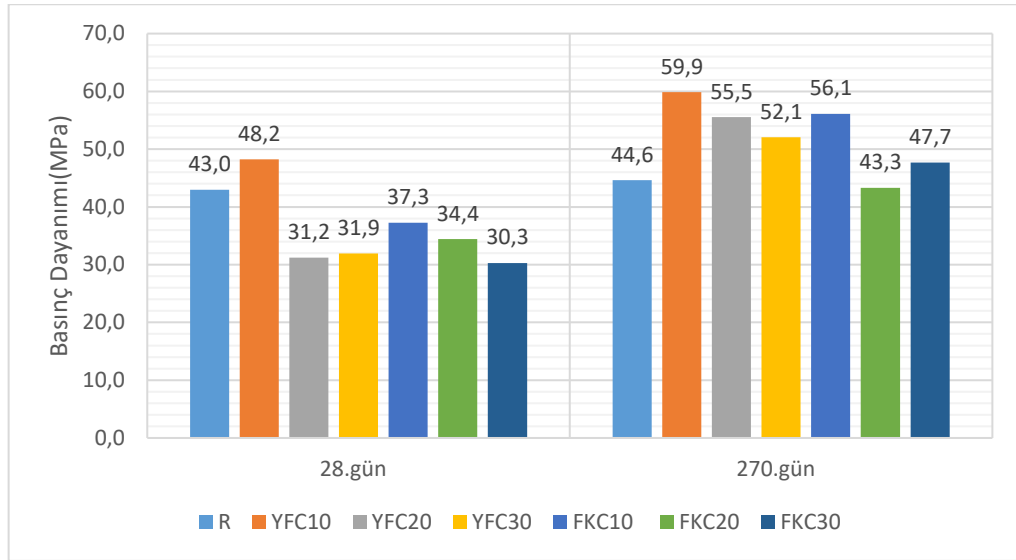
Basınç Dayanım Değerleri

Basınç dayanım testlerinin yapılabilmesi için üretilen yüksek fırın cürufu, ferrokrom cürufu ikameli ve referans numunelerinden 3'er adet numune 28. Gün basınç dayanımları test edilerek kontrol numuneleri olarak belirlenmiştir. Daha sonra kalan numuneler 5 gruba ayrılarak 20°C standart su kürü, Pasinler Jeotermal Tesisi, Nenehatun Jeotermal Tesisi, 40°C ve 60°C su banyolarında 270 gün bekletilerek basın dayanım testleri yapılmıştır. Elde edilen basınç dayanım değerleri Tablo 18'de belirtilmiştir.

Tablo 18. Basınç Dayanım Değerleri

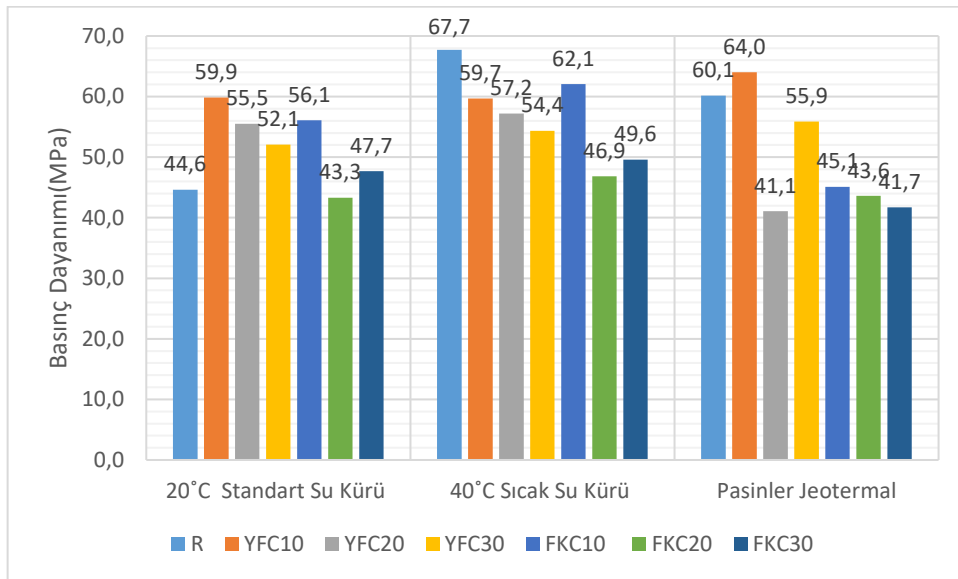
	20°C Standart Su Kürü		270. gün Sıcak Su Kürü		270. gün Jeotermal Tesisler	
	28.gün	270.gün	40°C Sıcak Su Kürü	60°C Sıcak Su Kürü	Pasinler Jeotermal	Nenehatun Jeotermal
R	43,0	44,6	67,7	44,6	60,1	63,5
YFC10	48,2	59,9	59,7	61,5	64,0	59,0
YFC20	31,2	55,5	57,2	58,2	41,1	43,1
YFC30	31,9	52,1	54,4	57,1	55,9	55,8
FKC10	37,3	56,1	62,1	56,5	45,1	45,7
FKC20	34,4	43,3	46,9	43,0	43,6	42,7
FKC30	30,3	47,7	49,6	47,4	41,7	29,3

Basınç dayanım değerleri 20°C standart su kürü, Pasinler Jeotermal Tesisleri ve 40°C, Nenehatun Jeotermal Tesisi ve 60°C karşılaştırılarak artış ve azalışları aşağıdaki grafiklerle desteklenip açıklanmıştır.



Şekil 51. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleri

28. gün ve 270.gün su küründe tutulan numunelerin basınç dayanım değerlerin grafiği Şekil 51'de gösterilmiştir. 28 günlük basınç dayanım değerlerine bakıldığında referans numunelerine göre sadece YFC10 numunelerinde %12,1 oranında dayanım artışı gözlemlenmiştir. Diğer cüruf ikame edilen karışımlarda düşüş gözlemlenmiştir. Fakat 270. gün 20°C standart su küründe çıkarılan numuneler 28 günlük numunelerin basınç dayanımlarına göre artmıştır. Bu durum karışımlara eklenen cürufların puzolanik aktivitesinden kaynaklıdır. 270 gün sonunda 20°C standart su küründe basınç dayanımının artmasına neden olmuştur. 270 günlük numunelerin basınç dayanımında en fazla YFC20 numuneleri referans numunelerine göre %77,9 oranında artış gözlemlenmiştir. FKC20 numunesi de referans numunesine göre %2,91 oranında azalma gerçekleşmiştir.

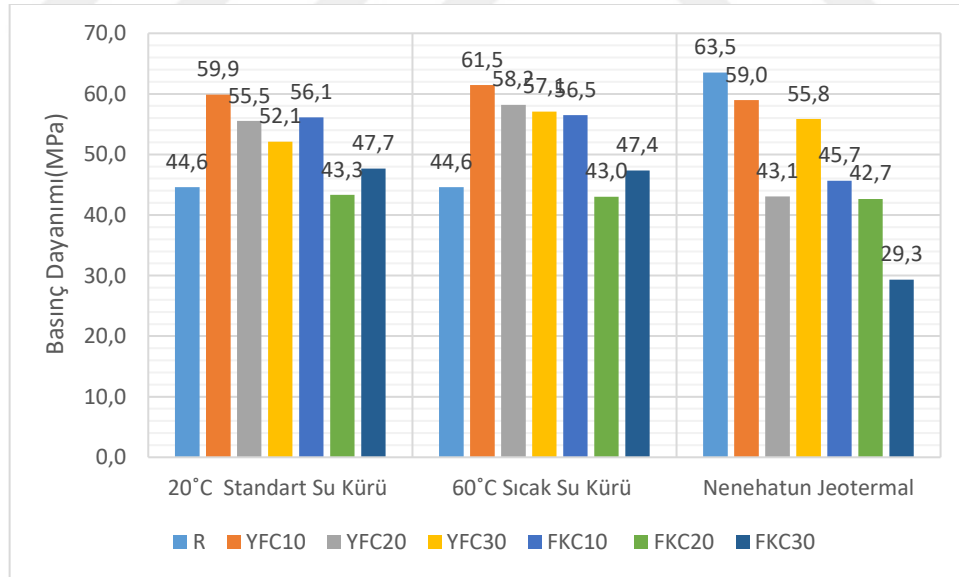


Şekil 52. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleri (270 gün)

Pasinler Jeotermal Tesisi ve 40°C sıcak su küründen çıkarılan numunelerin basınç dayanım değerlerinin grafiği Şekil 52’de gösterilmiştir. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre 40°C sıcak su küründen çıkarılan numunelerin basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Fakat Pasinler Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerin basınç dayanımları referans, YFC10, YFC30 ve FKC30 numunelerinde artarken YFC20, FKC10 ve FKC20 numunelerinde azalmıştır.

Pasinler Jeotermal tesisinde bulunan cüruf ikame edilen numunelerin referans numunesine göre basınç dayanımında artma sadece YFC10 numunesinin %6,5 oranında görülmüştür. YFC20 numunesinde basınç dayanımı referans numunesine göre %31,6 oranında azalırken YFC30 numunesinde ise %7 oranında azalmıştır. Ferrokrom cürufu ikame edilen karışımlarda FKC10, FKC20 ve FKC30 numunelerinde %25 ila %30 oranında azalma görülmüştür.

40°C Sıcak Su küründen bekletilen numunelerinden cüruf katkılı olmayan referans numuneleri 28 günlük basınç dayanıma göre %54,4 oranında en fazla artış görülen karışım olmuştur. Fakat cüruf ikame edilen karışımlarda YFC10, YFC20 ve YFC30 numuneleri referans numunelerine göre %11,8, %15,5, %19,6 oranlarında azalma görülürken FKC10, FKC20 ve FKC30 numunelerinde %8,3, %30,7 ve %26,7 oranında azalma görülmüştür.



Şekil 53. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanım değerleri (270 gün)

Nenehatun Jeotermal Tesisi ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numuneler Şekil 53’e göre 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımlarına göre 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerde belirgin bir artış veya azalış sağlamadığı görülmektedir. Fakat Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen FKC30 numunesi 270 günlük

FKC30 numunesine göre %38,57 oranında en fazla azarlamanın görüldüğü numune olmuştur. Referans numunelerinde ise %43,38 oranında en fazla artış gözlemlenmiştir.

Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler, 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelere göre basınç dayanım değerleri referans numunesi hariç diğer cüruf katkılı numunelerde arttığı görülmektedir. 60°C Sıcak Su küründe bekletilen referans numunelerin basınç dayanımı Nenehatun Jeotermal tesisine göre % 29,8 oranında azalmıştır.

Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerden YFC10, YFC20 ve YFC30 numuneleri referans numunelerine göre %7, %32 ve %12 oranlarında basınç dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Ferrokrom ikame edilen karışımlardan FKC10, FKC20 ve FKC30 numunelerinin basınç dayanımları ise %28, %32,75 ve %53,85 oranında azalmıştır.

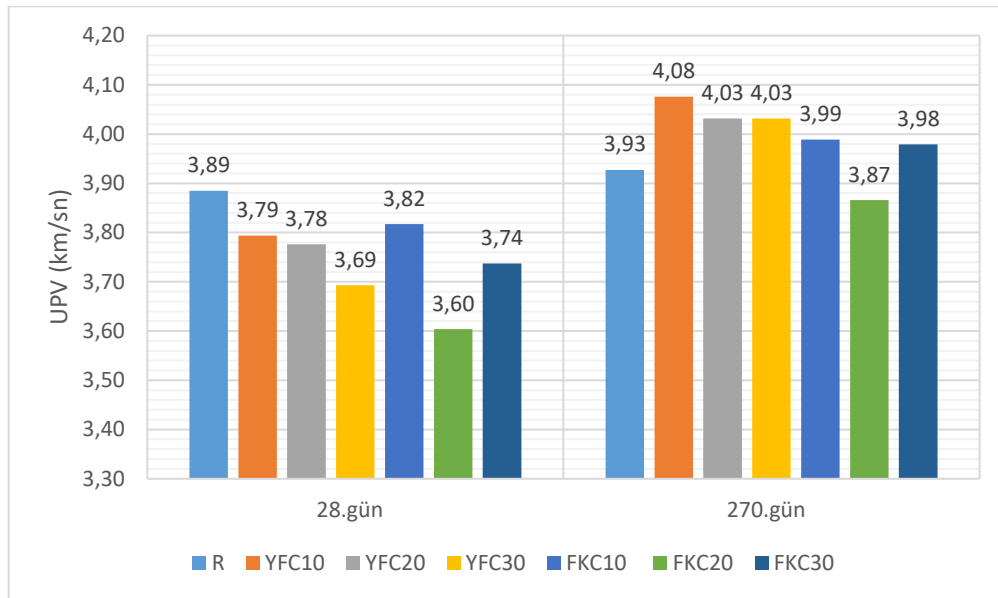
60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerden yüksek fırın cürufu katkılı karışımlardan YFC10 numunesinin basınç dayanımı referans numunesine göre %37,9 oran ile en fazla artış sağlayan numune olmuştur. YFC20 ve YFC30 numuneleri de referans numunelerine göre %30,5 ve %14,5 oranında artmıştır. Ferrokrom katkılı numunelerde ise FKC10 ve FKC30 numuneleri %28,7 ve %6,3 oranında artış sağlamıştır. Fakat FKC20 numunelerinin basınç dayanımı referans numunesine göre %3,6 oranında azalmıştır.

UPV(Ultrases) Deneyi

UPV ölçümleri 50x50x50 boyutundaki numunelerin beton döküm yüzeyine dik olacak şekilde yan yüzlerinin jel ile temizlenerek sensörler aynı noktaya dek gelecek şekilde yapılmıştır. UPV ölçümleri karışımların basınç dayanımları ile ilgili bilgi vermektedir. Karışımların UPV ölçümleri km/sn cinsinden Tablo 19'da gösterilmiştir.

Tablo 19. UPV Ölçümleri

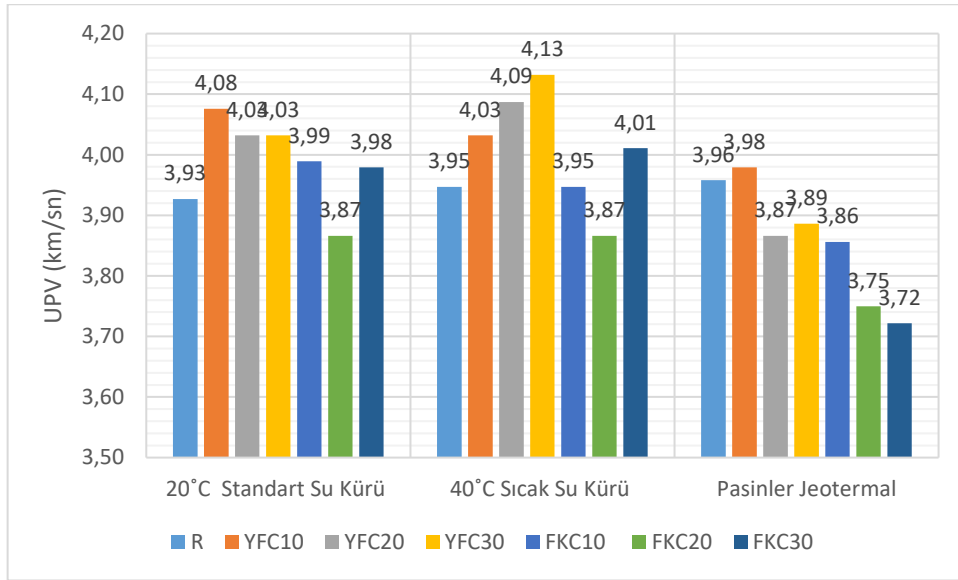
	20°C Standart Su Kürü		270. gün Sıcak Su Kürü		270. gün Jeotermal Tesisler	
	28.gün	270.gün	40°C Sıcak Su Kürü	60°C Sıcak Su Kürü	Pasinler Jeotermal	Nenehatun Jeotermal
R	3,89	3,93	3,95	3,95	3,96	4,03
YFC10	3,79	4,08	4,03	4,01	3,98	4,01
YFC20	3,78	4,03	4,09	4,01	3,87	3,90
YFC30	3,69	4,03	4,13	4,07	3,89	4,04
FKC10	3,82	3,99	3,95	3,90	3,86	3,92
FKC20	3,60	3,87	3,87	3,75	3,75	3,81
FKC30	3,74	3,98	4,01	3,92	3,72	3,80



Şekil 54. 28 gün ve 270 gün 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin UPV ölçümleri

28 günlük ve 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelerin UPV değerleri Şekil 54'te gösterilmiştir. 28 günlük numunelerde referans numunelerine göre cüruf katkılı karışımlarda UPV ölçümlerinde azalma görülmüştür. En fazla azalma FKC20 numunelerinde %7,45 oranında gerçekleşmiştir. 28 günlük numunelere göre 270 gün boyunca bekletilen numunelerin UPV değerleri artmıştır. Referans numunelerinde %1,03 oranında artma görülürken YFC10 numunelerinde %7,65, YFC20 numunelerinde %6,61, YFC30 numunelerinde %9,21, FKC10 numunesinde %4,45, FKC20 numunesinde %7,5 ve FKC30 numunelerinde %6,2 oranında UPV değerleri artmıştır.

270 günlük 20°C standart su küründe bekletilen numuneler referans numunelerine göre FKC20 numunesinde %1,53 oranında azalma gerçekleşirken diğer cüruf katkılı numunelerde UPV ölçümleri artmıştır. Referans numunelerine göre YFC10 numunesinde %3,82, YFC20 ve YFC30 numunelerinde %2,54, FKC10 numunesinde %1,53 ve FKC30 numunelerinde %1,27 oranında artma gerçekleşmiştir.



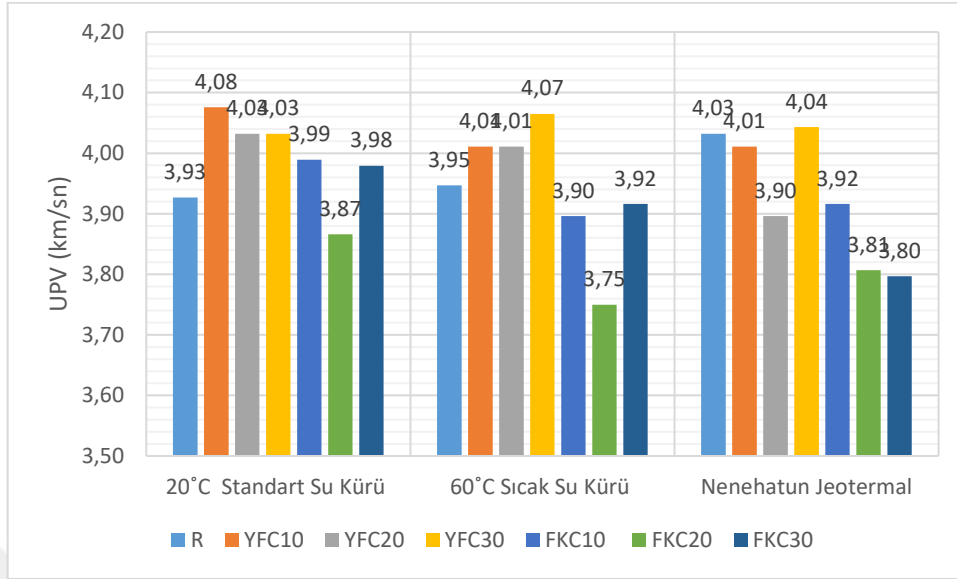
Şekil 55. 20°C standart su küründe, Pasinler jeotermal tesisinde ve 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin UPV ölçümleri (270 gün)

Pasinler Jeotermal Tesisi ve 40°C Sıcak Su Kürü UPV ölçüm değerleri Şekil 55'te gösterilmiştir. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre Pasinler Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerden referans numunelerinde değişim görülmezken, YFC10 numunelerinde %2,38, YFC20 numunelerinde %4,12, YFC30 numunelerinde %3,62, FKC10 numunelerinde %3,33, FKC20 numunelerinde %3 ve FKC30 numunelerinde %6,46 oranında UPV ölçümleri azalmıştır. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre 40°C Sıcak su küründe bekletilen numunelerden referans numunelerinde, FKC20 ve FKC30 numunelerinde artış veya azalma gözlemlenmemiştir. YFC20 ve YFC30 numunelerinde %1,36 ve %2,38 oranında artarken, YFC10 ve FKC10 numunelerinde %1,08 ve %1,05 oranında azalma görülmüştür.

Pasinler Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler referans numunesine göre YFC10 numuneleri %0,5 oranında artarken diğer cüruf katkılı numunelerden YFC20 numuneleri %2,4, YFC30 numuneleri %1,87 FKC10 numuneleri %2,63, FKC20 numunelerinde %5,3 ve FKC30 numunesi %6,01 oranında azalma gerçekleşmiştir. 40°C Sıcak su küründe bekletilen numunelerden referans numunelerine göre FKC10 numunesi aynı UPV ölçümüne sahipken FKC20 numuneleri %2,13 oranında azalmıştır. Diğer karışımlarda ise YFC10 numuneleri %2,08, YFC20 numuneleri %3,47, YFC30 numuneleri %4,61 ve FKC30 numunelerinde ise %1,54 oranında artış gözlemlenmiştir.

Pasinler Jeotermal tesisinde bekletilen numunelere göre aynı sıcaklığa sahip 40°C Sıcak su küründe bekletilen numunelerden referans numunelerin UPV değerleri aynı kalırken cüruf katkılı karışımlarda UPV değerleri artmıştır. YFC10 numunelerinde %1,33, YFC20

numunelerinde %5,72, YFC30 numunelerinde %6,33, FKC10 numunelerinde %2,36, FKC20 numunelerinde %3,1 ve FKC30 numunelerinde %7,76 oranında artma gözlemlenmiştir.



Şekil 56. 20°C standart su küründe, Nenehatun jeotermal tesisinde ve 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin UPV ölçümleri (270 gün)

Nenehatun Jeotermal Tesisi ve 60°C sıcak su kürü UPV ölçüm grafikleri Şekil 56'da gösterilmiştir. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre Nenehatun jeotermal tesisinde bekletilen numunelerin UPV ölçümleri referans numunesi için %2,67 oranında artarken YFC30 numunesinde herhangi bir değişim görülmemiştir. Fakat diğer cürufluk ikameli karışımlarda %1,53 ila %3,37 arasında azalma gerçekleşmiştir. 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerden UPV ölçümleri ferrokrom cüruflu ikameli karışımlarda %1,58 ila %3 oranında artış görülmüştür. Yüksek fırın cüruflu ikameli karışımlarda %1,59 ile YFC10 numunesin UPV ölçümleri artarken YFC30 numunesinde %0,82 oranında azalma gözlemlenmiştir.

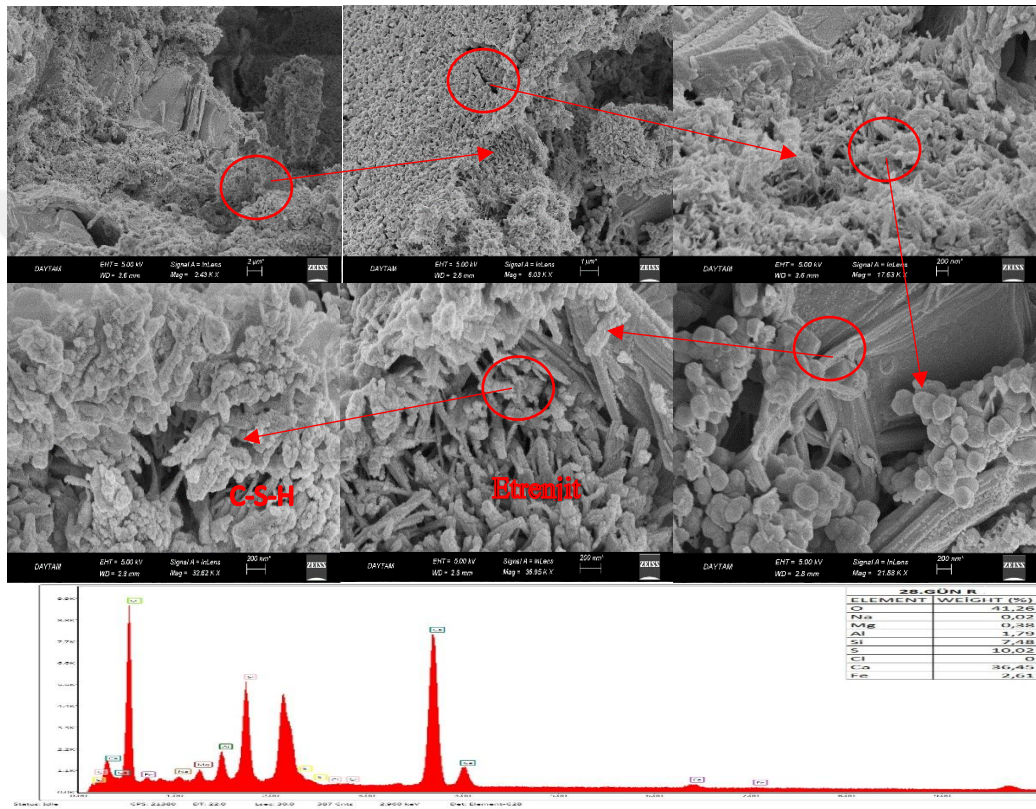
Nenehatun jeotermal tesisinde bekletilen numunelerden referans numunesine göre YFC30 numuneleri %0,3 oranında artarken diğer cürufluk katkı karışımlarda UPV ölçümleri azalmıştır. En fazla azalma %5,71 oranında FKC30 numunesinde gözlemlenmiştir. 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerin UPV ölçümlerinden referans numunesine göre yüksek fırın cüruflu katkı karışımlar artarken ferrokrom cüruflu katkı karışımlarda azalma gerçekleşmiştir. %3,04 oranında en fazla artış YFC30 numunesinde gerçekleşirken en fazla azalma FKC20 numunelerinde %5,06 oranına görülmüştür.

Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler, aynı sıcaklığa sahip 60°C sıcak su küründe bekletilen numunelere göre çok az değişimler göstermiştir. 60°C sıcak su küründeki referans numuneleri, Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numunelere göre %1,98

oranında azalmıştır. Yüksek fırın cürufu katkılı karışımlarda UPV ölçümleri neredeyse aynı kalmıştır. Ferrokrom cürufu katkılı karışımlarda ise FKC20 numunelerinde %1,57 oranında azalırken, FKC30 numunelerinde %3,16 oranında artmıştır.

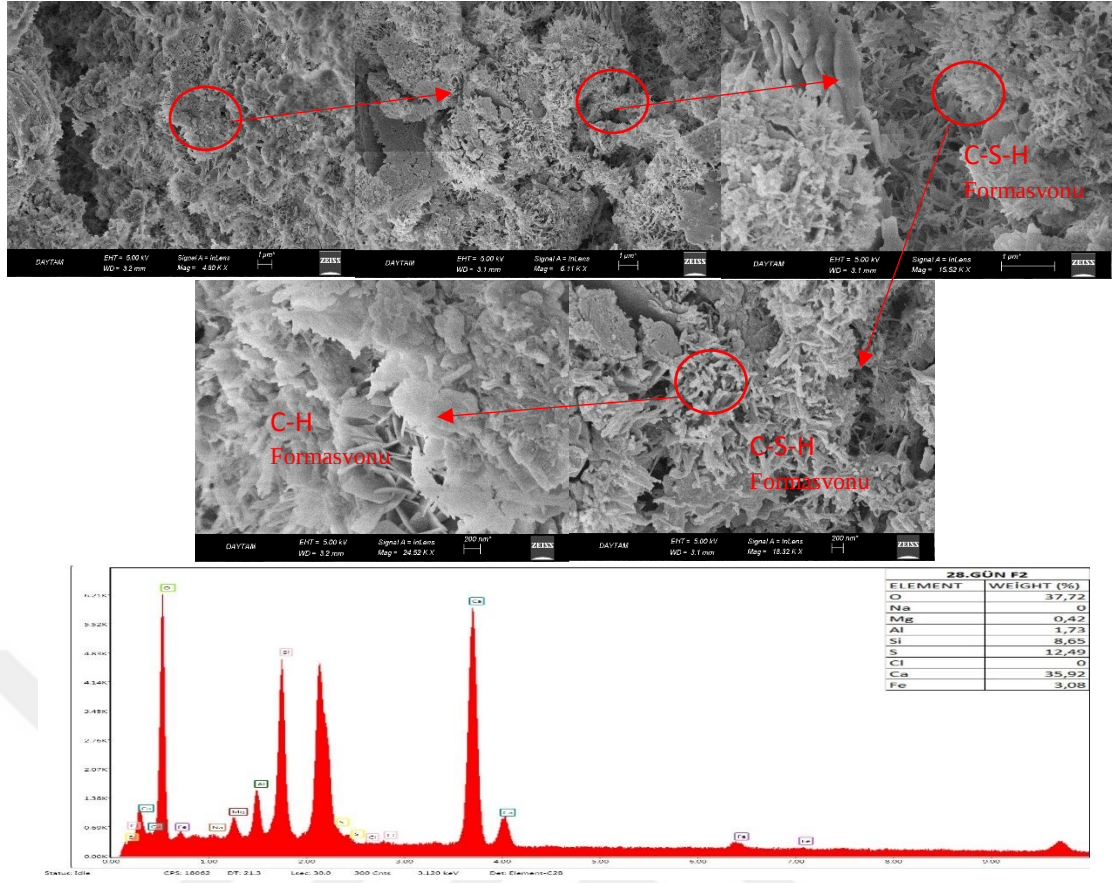
Literatürde numuneler üzerine yapılan UPV deneyleri için değerlendirme olarak Tablo 14 kullanılmıştır. Cüruf katkılı ürettiğimiz beton numunelerinde UPV ölçümleri 3.5-4.5 aralığında olduğundan “iyi” beton olarak geçmektedir

İçyapı İncelemeleri



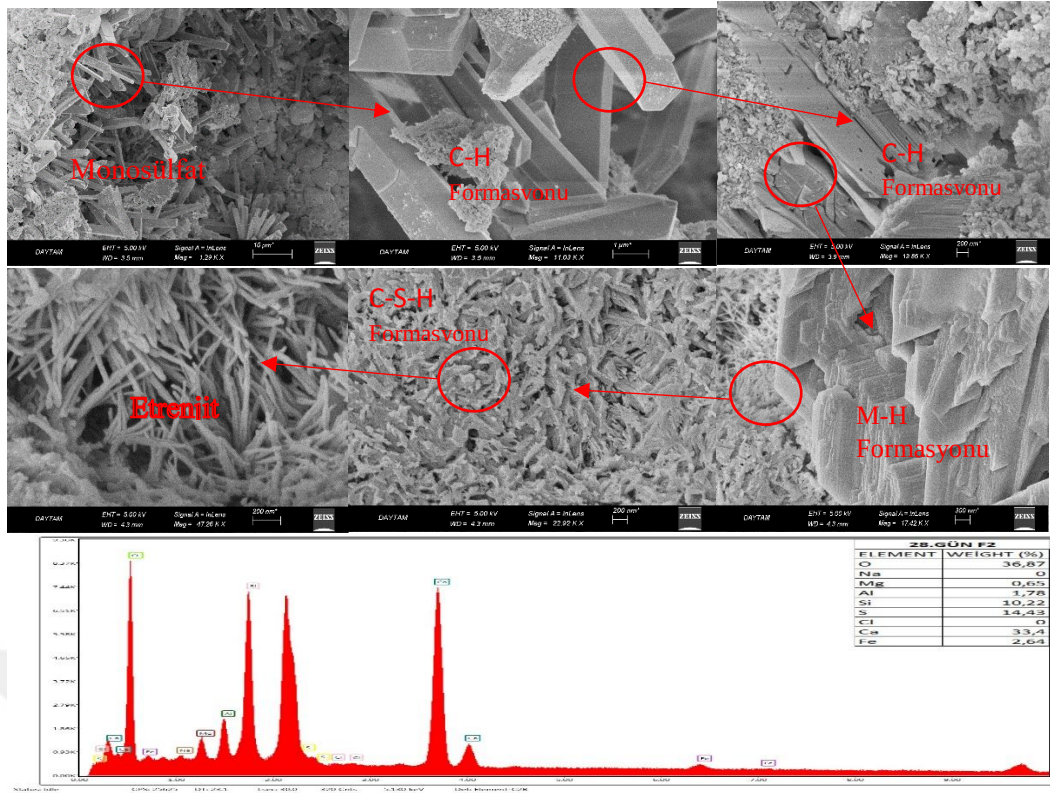
Şekil 57. 28 günlük 20°C standart su küründe bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri

Şekil 57’deki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi mineral katkı bulunmayan 28 gün 20°C standart su küründe bekletilen referans numunelerinde beklendiği gibi C-S-H ve etrenjit kristal oluşumları görülmüştür (Tosun, 2007).



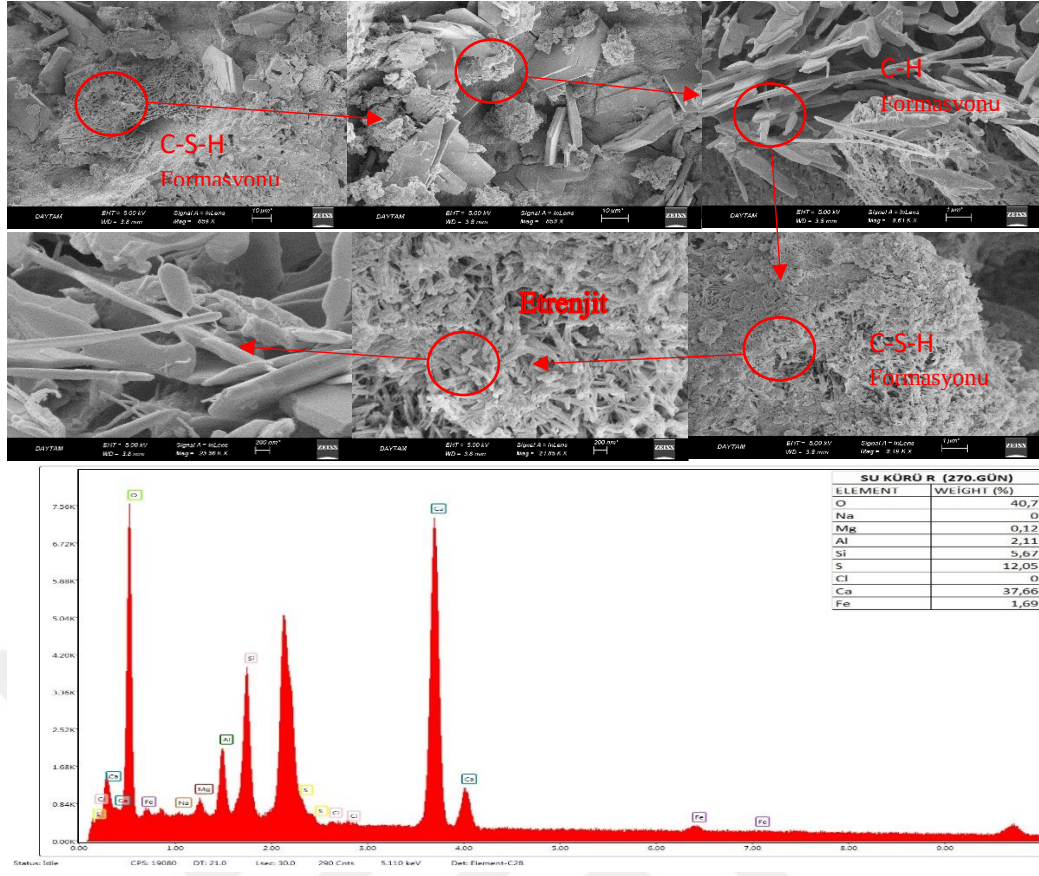
Şekil 58. 28 günlük 20°C standart su küründe bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri

Şekil 58'deki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi %20 YFC mineral katkılı beton numunelerinin 28 gün 20°C standart su küründe bekletilmesi sonucu kristal yapıların yoğunlaştığını ve boşlukların azaldığı gözlenmiştir. C-S-H ve etrenjit kristal oluşumları dışında ayrıca YFC'nin kimyasal yapısından kaynaklanan CaO nedeni ile C-H yapıları da gözlenmiştir (Tosun, 2007).



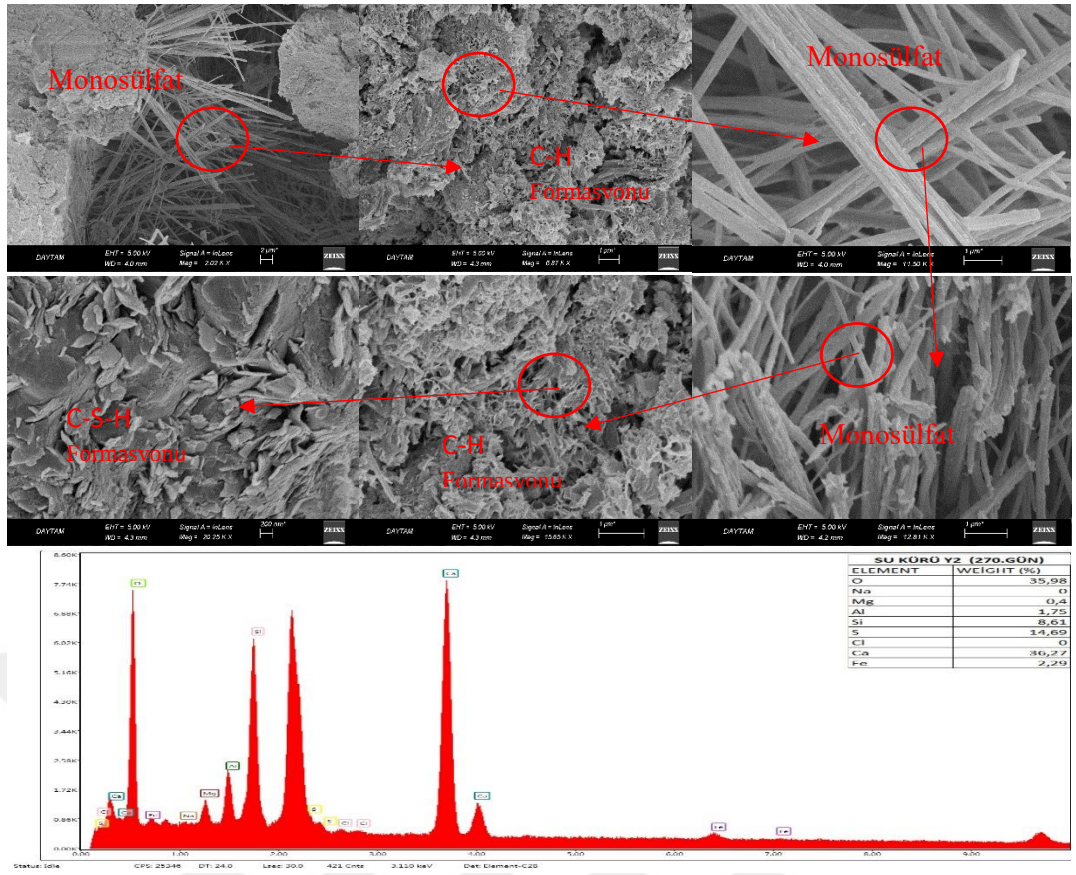
Şekil 59. 28 günlük 20°C standart su küründe bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri

Şekil 59'daki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi %20 FKC mineral katkılı beton numunelerinin 28 gün 20°C standart su küründe bekletilmesi sonucu kristal yapıların yoğunlaştığını ve boşlukların azaldığı gözlenmiştir. C-S-H ve etrenjit kristal oluşumları dışında ayrıca FKC'nin kimyasal yapısından kaynaklanan CaO ve MgO nedeni ile C-H ve M-H yapıları da gözlenmiştir (Gollop ve Taylor, 1994).



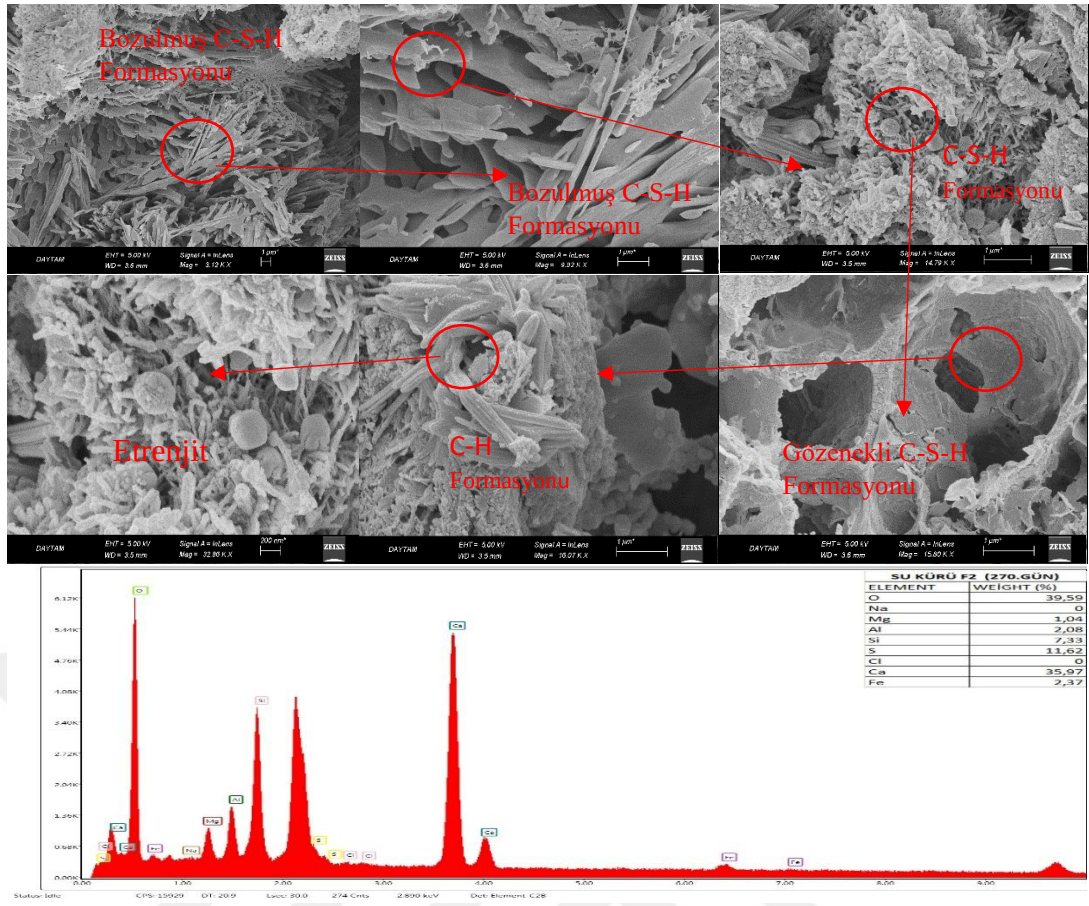
Şekil 60. 270 günlük 20°C standart su küründe bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri

Şekil 60'daki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi mineral katkı bulunmayan 28 gün 20°C standart su küründe bekletilen referans numunelerinde beklendiği gibi C-S-H ve etrenjit kristal oluşumları görülmüştür. Ayrıca 270 gün süre 20°C standart su küründe bekletildiği için kristal yapılarında yoğunlaşma ve kompasiteyi artırıcı eğilim gösterdiği gözlenmiştir (Tosun, 2007).



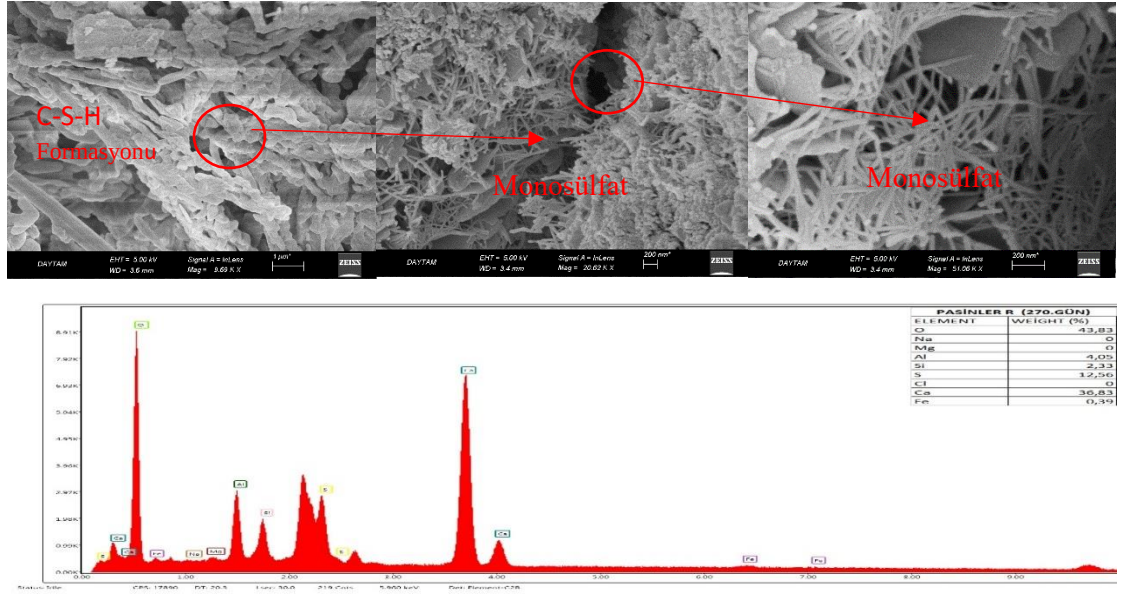
Şekil 61. 270 gün standart su küründe bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri

Şekil 61'deki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi %20 YFC mineral katkılı beton numunelerinin 28 gün 20°C standart su küründe bekletilmesi sonucu kristal yapıların yoğunlaştığını ve boşlukların azaldığı gözlenmiştir. C-S-H ve etrenjit kristal oluşumları dışında ayrıca YFC'nin kimyasal yapısından kaynaklanan CaO nedeni ile C-H yapıları da gözlenmiştir. Bununla beraber 270 gün süre 20°C standart su küründe bekletildiği için YFC'nin puzolanik özellikleri nedeni yeni ve daha yoğun kristal oluşumu ve buna bağlı olarak doluluğun arttırdığı buna bağlı olarak dayanımların arttığı anlaşılmaktadır (Sağsöz, 2007).



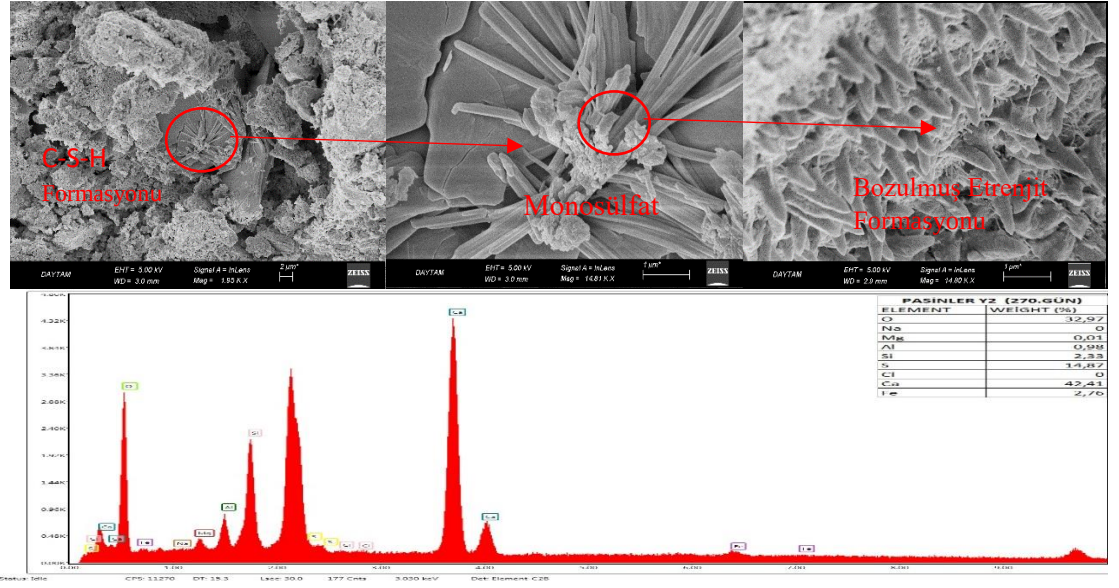
Şekil 62. 270 gün standart su küründe bekletilen FK20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri

Şekil 62'deki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi %20 FKC mineral katkılı beton numunelerinin 28 gün 20°C standart su küründe bekletilmesi sonucu kristal yapıların yoğunlaştığını ve boşlukların azaldığı gözlenmiştir. C-S-H ve etrenjit kristal oluşumları dışında ayrıca FKC'nin kimyasal yapısından kaynaklanan CaO ve MgO nedeni ile C-H ve M-H yapıları da gözlenmiştir. Bununla beraber 270 gün süre 20°C standart su küründe bekletildiği için FKC'nin pozolanik özellikleri nedeni yeni ve daha yoğun kristal oluşumu ve buna bağlı olarak doluluğun arttırdığı buna bağlı olarak dayanımların arttığı fakat artışta bir azalış gözlenmiştir. Bunun nedenin MgO'nin hidrasyonundan kaynaklanan magnezyum sülfat etkisindeki C-S-H jellerinin daha hızlı kalsiyum kaybetmesiyle genişlemesi yüksek bağlayıcılığını kaybetmiş M-H jellerinden olduğu düşünülmektedir (Gollop ve Taylor, 1994).



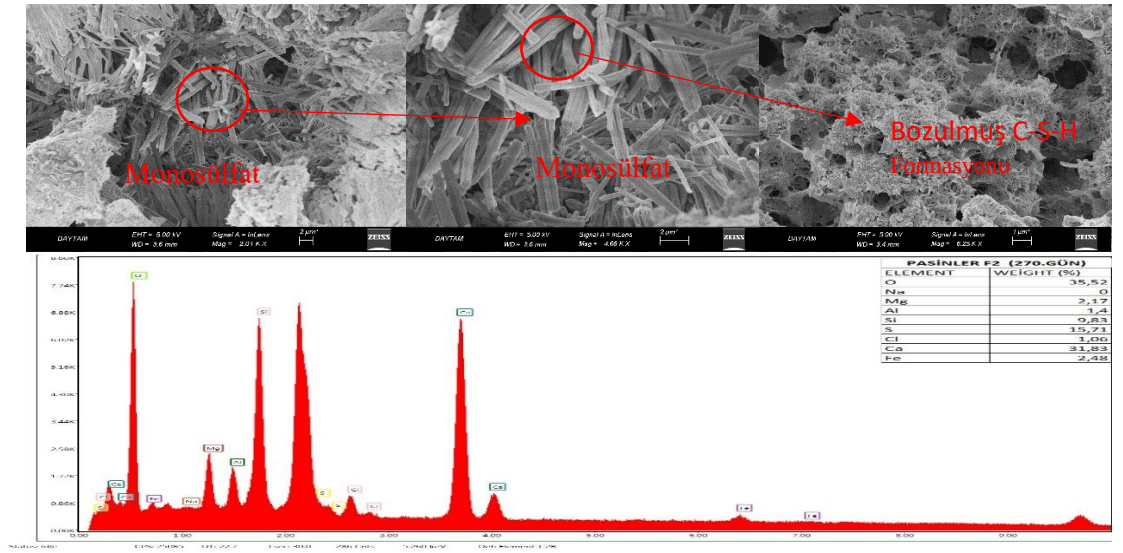
Şekil 63. Pasinler Jeotermal suyuunda bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Şekil 63'deki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi mineral katkı bulunmayan 270 gün Pasinler Jeotermal su içinde bekletilen referans numunelerinde beklendiği gibi C-S-H ve etrenjit kristal oluşumları görülmüştür. Ayrıca Pasinler Jeotermal Tesislerin periyodik yapılan sıcaklık ölçümleri sonucu mevsimsel olarak sıcaklığın 39-43°C aralığında olduğu için bu suyun beton numuneleri üzerinde sıcak su kürü etkisinden dolayı çimento tanelerinin hidrasyon seviyelerinin arttığı bu nedenle 270 gün süre Pasinler Jeotermal su bekletildiği için kristal yapılarında bozulmalarda görülmüştür (Tosun, 2007).



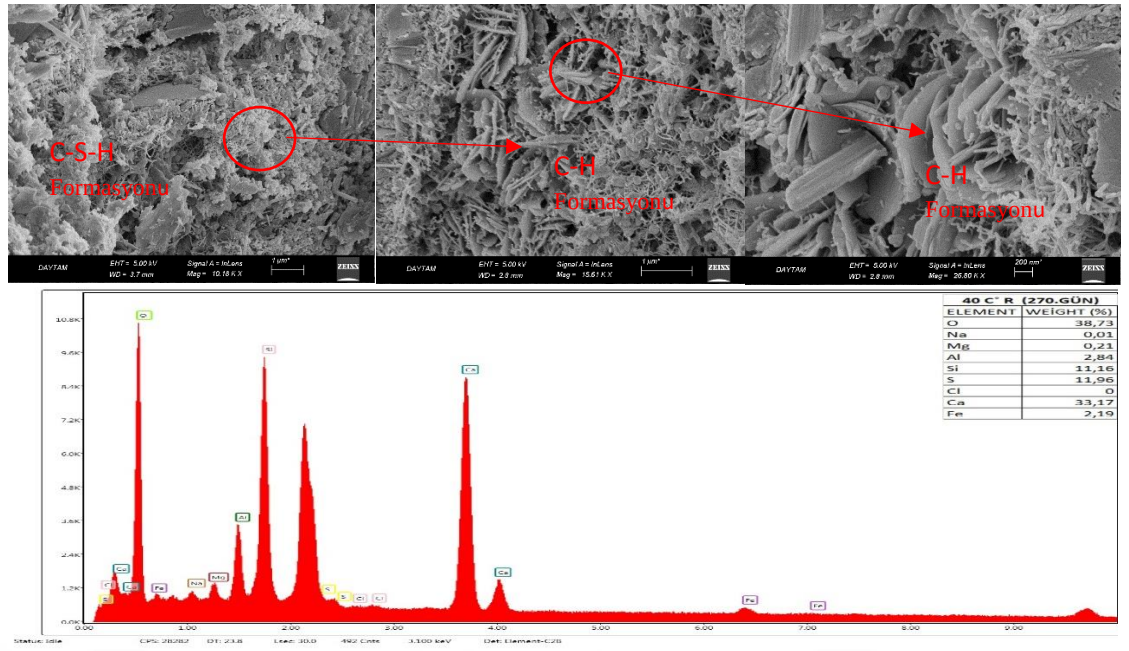
Şekil 64. Pasinler Jeotermal suyunda bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri(270 gün)

Şekil 64'teki SEM görüntülerine bakıldığında %20 YFC mineral katkılı beton numunelerinin 270 gün Pasinler Jeotermal su içerisinde bekletilmesi sonucu kristal yapıların suyun sıcaklık etkisinden kaynaklı YFC'nin pozolanik aktivite etkisi ile kristal yoğunlaşması ve mikro boşlukların azaldığı anlaşılmaktadır. C-S-H ve etrenjit (C-A-S-H) (AFm) kristal oluşumlarının EDAX'dan tespit edilen jeotermal su içerisinde bulunan yüksek miktarda S (Kükürt) nedeni kristal yapılarında bozulmalar görülmüştür. Bunun sonucunda mono sülfat (C-A-S-H) (Aft) oluşumları görüntülenmiştir (Kosmatka vd., 2006).



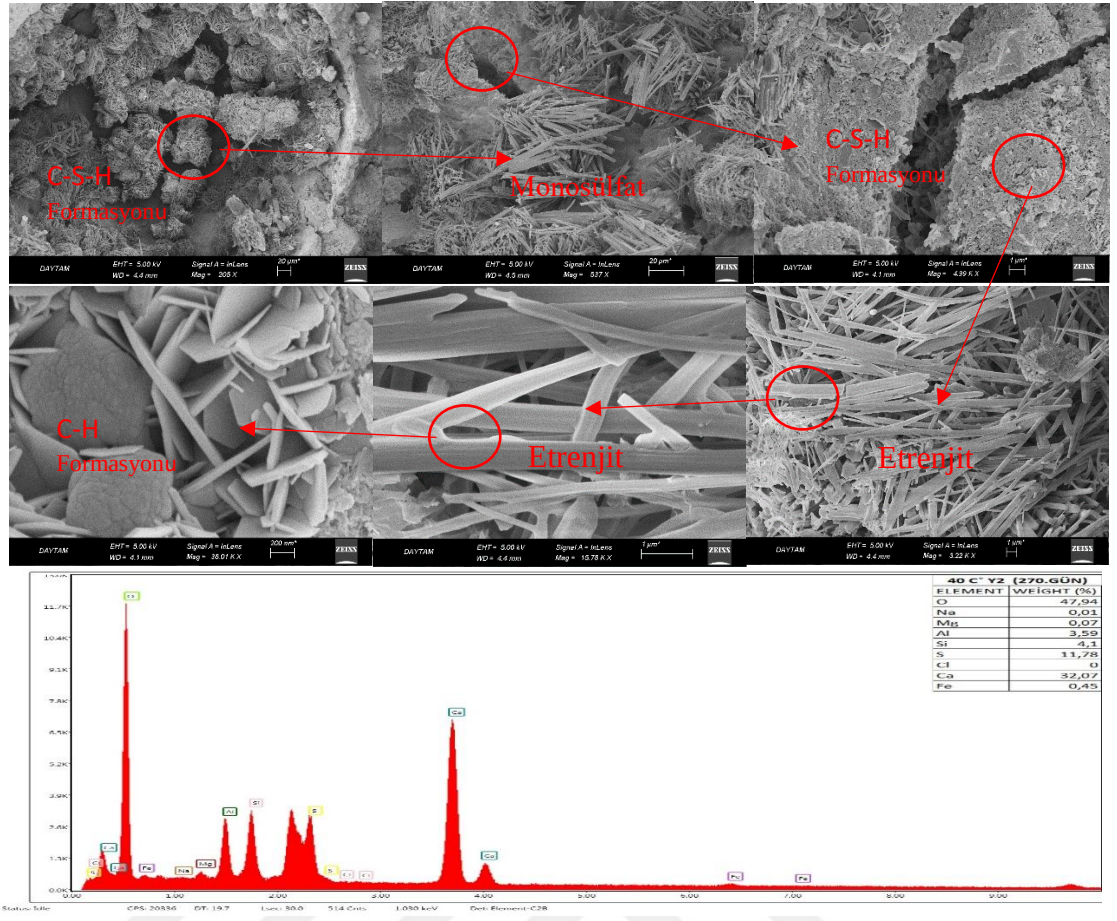
Şekil 65. Pasinler Jeotermal suyunda bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Yukarıdaki Şekil 65'teki SEM görüntülerine bakıldığında %20 FKC mineral katkılı beton numunelerinin 270 gün Pasinler Jeotermal su içerisinde bekletilmesi sonucu kristal yapıların yoğunlaştığını ve boşlukların azaldığı gözlenmiştir. Fakat uzun süre sıcaklık etkisi ile C-S-H ve etrenjit kristal oluşumlarında formasyon bozulmaları gözlenmiştir. C-S-H ve etrenjit (C-A-S-H) (AFm) kristal oluşumlarının EDAX'dan tespit edilen jeotermal su içerisinde bulunan yüksek miktarda S (Kükürt) nedeni kristal yapılarında bozulmalar görülmüştür. Bunun sonucunda mono sülfat (C-A-S-H) (Aft) oluşumları görüntülenmiştir (Kosmatka vd., 2006).



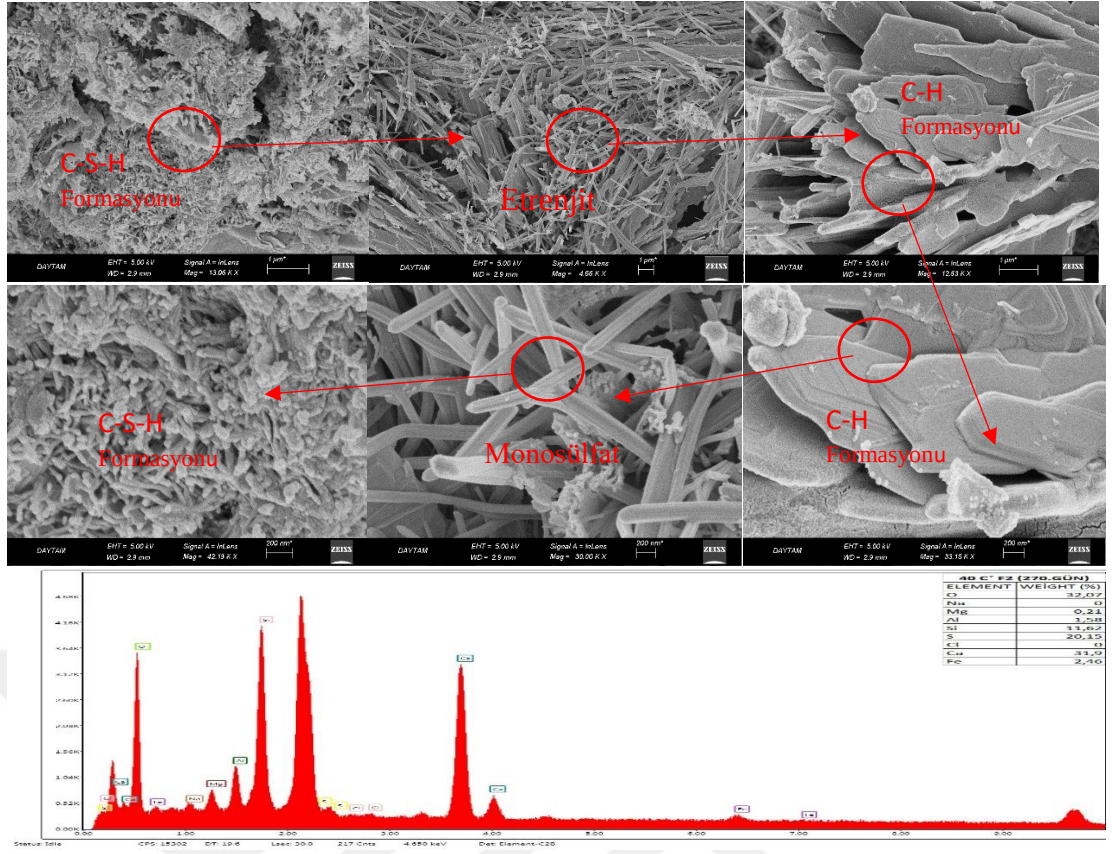
Şekil 66. 40°C sıcak su küründe bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Şekil 66'daki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi mineral katkı bulunmayan 270 gün 40°C sıcak su banyosunda içinde bekletilen referans numunelerinde beklendiği gibi C-S-H ve etrenjit kristal oluşumları görülmüştür. Ayrıca suyun beton numuneleri üzerinde sıcak su kürü etkisinden dolayı çimento tanelerinin hidrasyon seviyelerinin arttığı görülmüştür. Ayrıca kristal yapılarda yoğunlaşmalarda gözlenmiştir (Sağsöz, 2007).



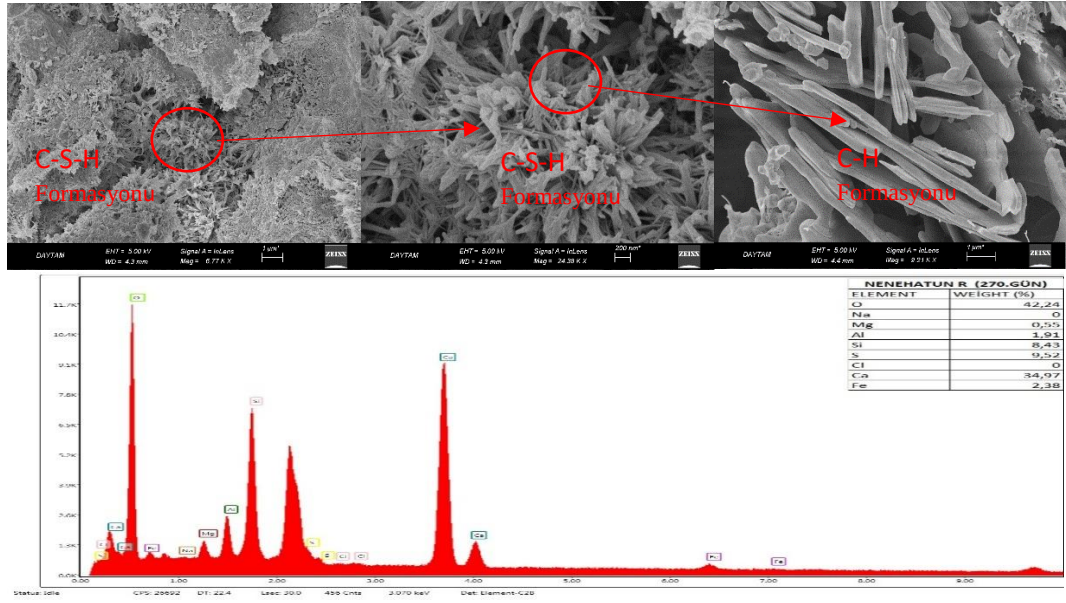
Şekil 67. 40°C sıcak su küründe bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Yukarıdaki Şekil 67'deki SEM görüntülerine bakıldığında %20 YFC mineral katkıli beton numunelerinin 270 gün 40°C sıcak su içerisinde bekletilmesi sonucu kristal yapıların suyun sıcaklık etkisinden kaynaklı YFC'nin pozulanik aktivite etkisi ile kristal yoğunlaşması ve mikro boşlukların azaldığı anlaşılmaktadır. Düzgün C-S-H ve etrenjit (C-A-S-H) (AFm) formasyonlarının olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin 20°C standart su kürüne göre nispetten daha sıcak su kullanılması sonucu hidrasyon reaksiyonlarının ekzotermik reaksiyonlar olmasından dolayı sıcaklık reaksiyonlara katalizör etkisi yapması ve bunu sonucunda olarak pozulanik aktivitenin artması sonucu hem dayanımlar artmış hem de daha dolu ve düzgün kristal yapılar oluşmuştur (Sağsöz, 2007).



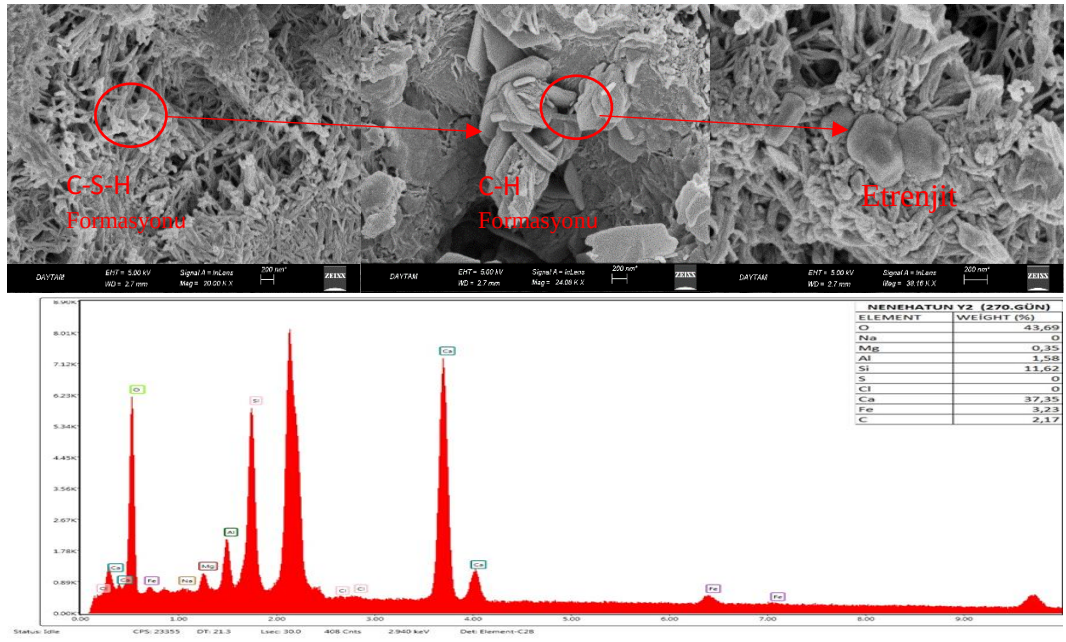
Şekil 68. 40°C sıcak su küründe bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri

Yukarıdaki Şekil 68'deki SEM görüntülerine bakıldığında %20 FKC mineral katkılı beton numunelerinin 270 gün 40°C sıcak su içerisinde bekletilmesi sonucu kristal yapıların suyun sıcaklık etkisinden kaynaklı FKC'nin pozolanik aktivite etkisi ile kristal yoğunlaşması ve mikro boşlukların azaldığı anlaşılmaktadır. Düzgün C-S-H ve etrenjit ($C-A\bar{S}-H$) (AFm) formasyonlarının olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte C-H formasyonlarında gözlenmiştir. Bunun sebebinin FKC'nin içinde bulunan yüksek miktarda CaO'den kaynaklandığı düşünülmektedir (Ramlochan vd., 2003).



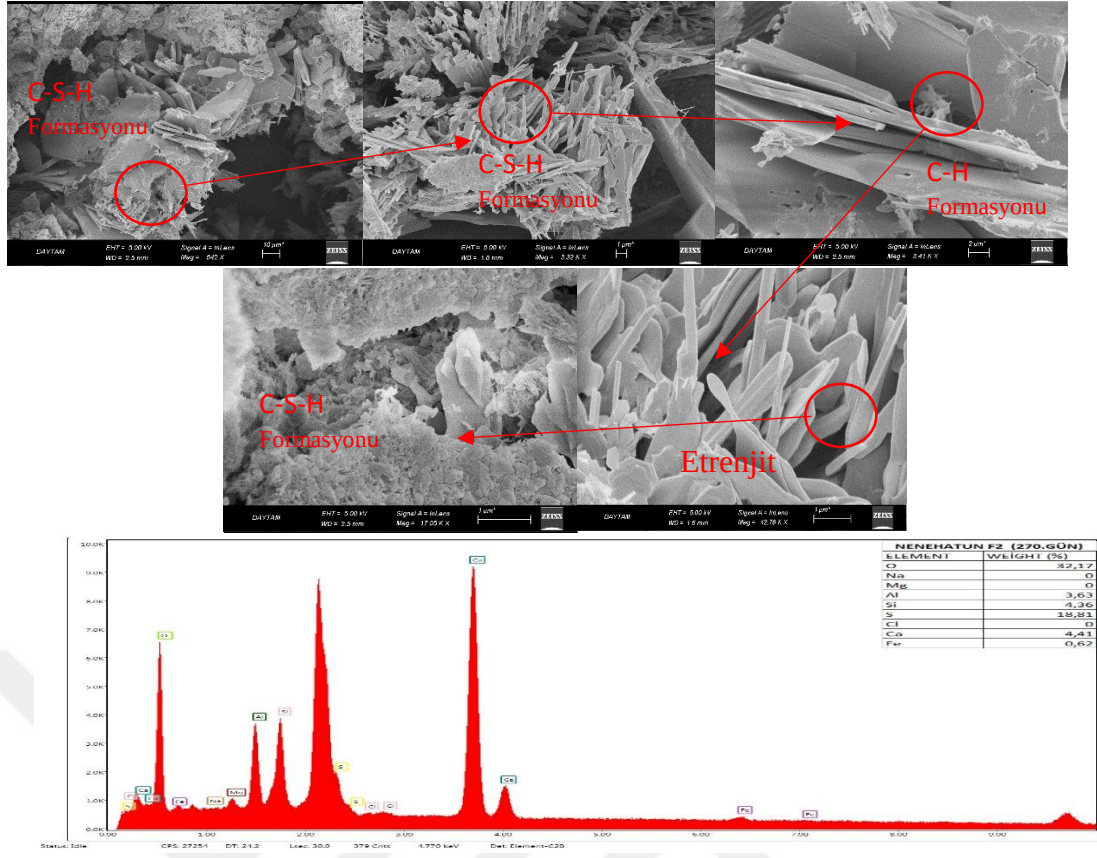
Şekil 69. Nenehatun Jeotermal suyu bekletilen R numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Şekil 69'daki SEM görüntülerinde de görüldüğü gibi mineral katkı bulunmayan 270 gün Nenehatun Tesislerin Jeotermal su içinde bekletilen referans numunelerinde beklendiği gibi C-S-H ve etrenjit (C-A-S-H) (AFm) kristal oluşumları görülmüştür. Ayrıca Nenehatun Jeotermal Tesislerin periyodik yapılan sıcaklık ölçümleri sonucu mevsimsel olarak sıcaklığın 53-62 °C aralığında olduğu için bu suyun beton numuneleri üzerinde sıcak su kürü etkisinden dolayı çimento tanelerinin hidrasyon seviyelerinin arttığı ama bu artışın kristallerin yapısı irileştirdiğini bu nedenle kristaller arasında boşlukları artırdığı anlaşılmıştır. Bunun sonucu olarak jeotermal suyun bozucu etkisinin beton suların yapısına nüfuz ettiği düşünülmekte sıcaklığın artması ile beton numunelerin kristal yapılarında bozulmalar gözlenmiştir (Zhou & Glasser , 2001).



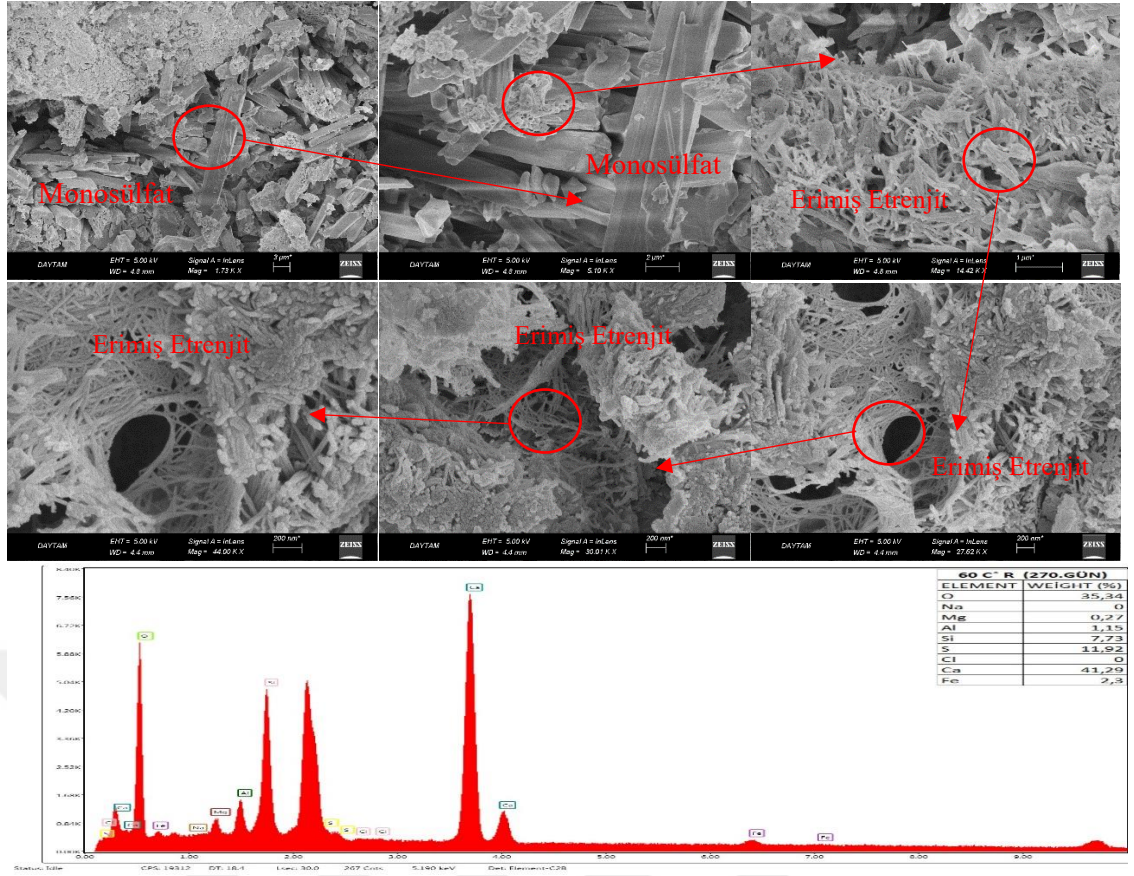
Şekil 70. Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Yukarıda Şekil 70’de referans numuneler için anlatılan durumlara ek olarak Şekil 70’da gösterilen YFC numunelerine bakıldığında beklenildiği gibi C-S-H ve etrenjit (C-A-S-H) (AFm) kristal oluşumları ve yoğunlaşmaları gözlenmiştir. Bununla birlikte C-S-H formasyonlarında uzun süre sıcaklığa maruz kalmadan dolayı yapıların baş kısımlarında erime gözlenmiştir. Ayrıca C-H yapılarının oluşmuş olmasının sebebinin ise YFC içinde bulunan yüksek miktarda CaO’dan kaynakladığı düşünülmektedir (Ramlochan vd., 2003).



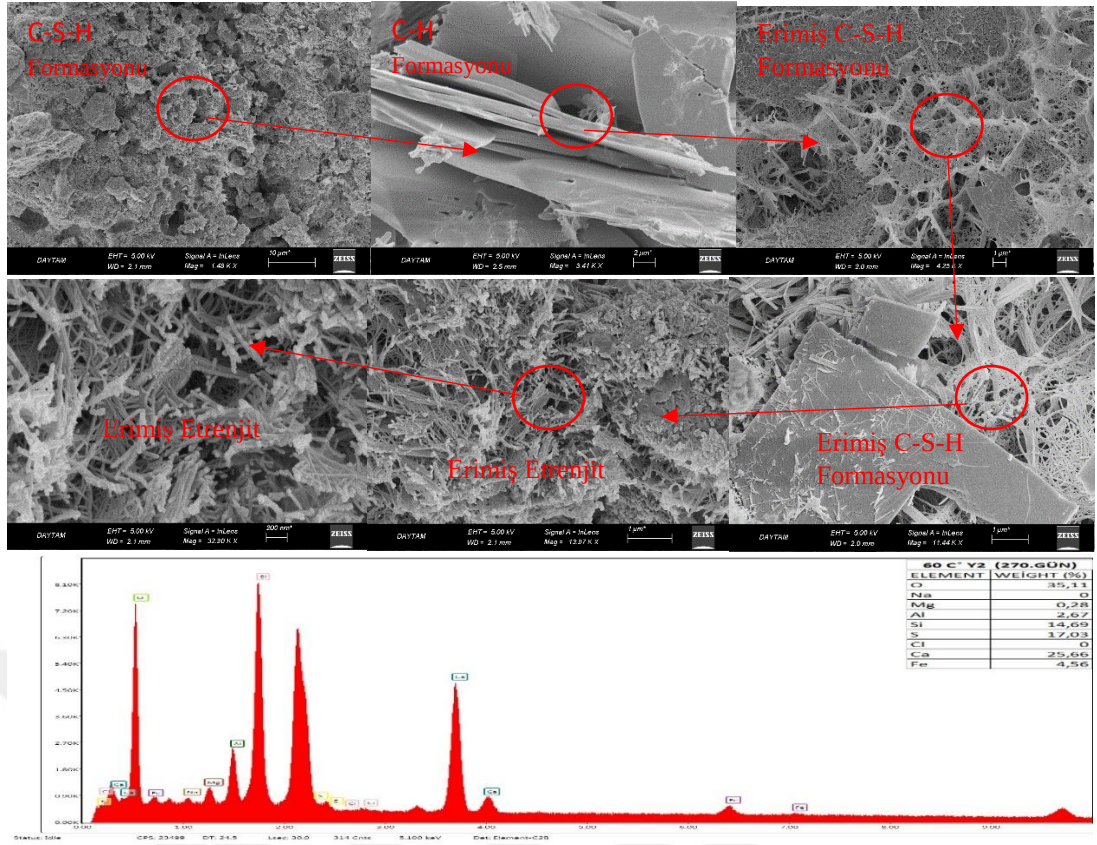
Şekil 71. Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen FK20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Yukarıdaki Şekil 71'deki SEM görüntülerine bakıldığında %20 FK20 mineral katkılu beton numunelerinin 270 gün Nenehatun içerisinde bekletilmesi sonucu kristal yapıların suyun sıcaklık etkisinden kaynaklı FK20'nin pozolanik aktivite etkisi ile kristal miktarında artış ve mikro boşlukların azalış olduğu gözlenmiştir. Düzenli C-S-H formasyonlarının olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte C-H formasyonları da gözlenmiştir (Ramlochan vd., 2003).



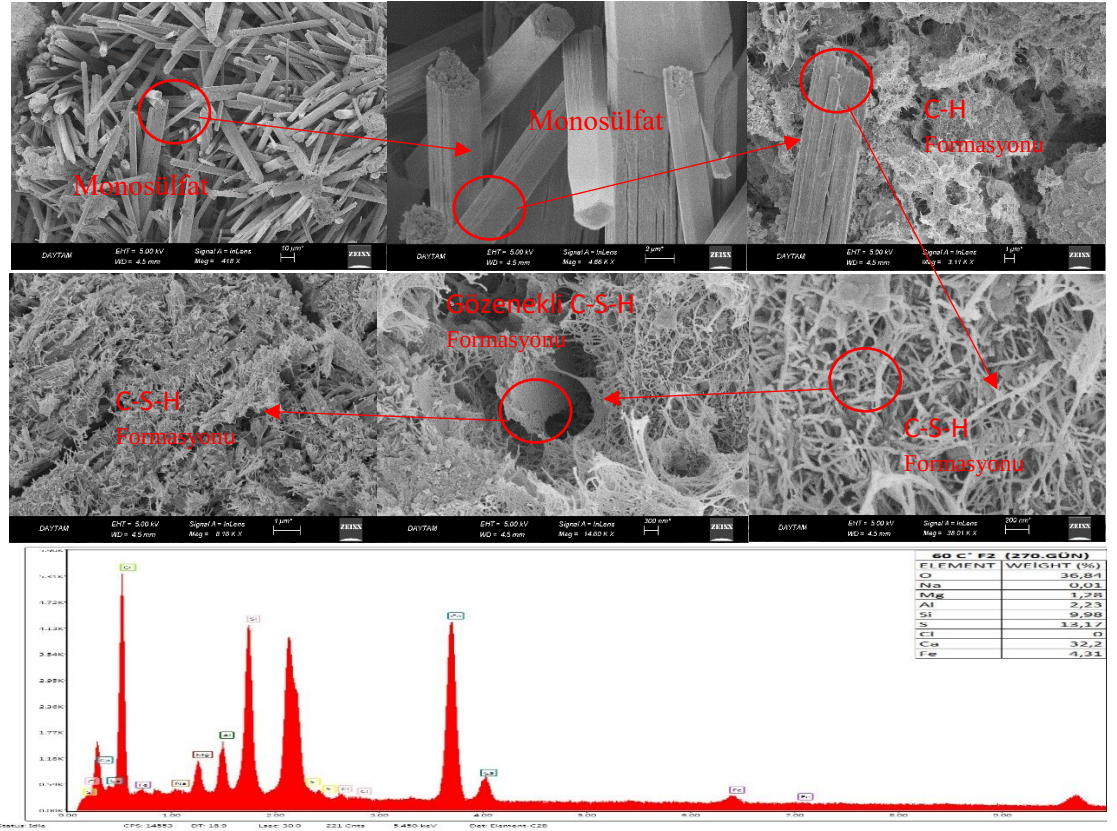
Şekil 72. 60°C sıcak su küründe bekletilen Referans (R) numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Şekil 72'ye baktığımızda 60°C sıcak kürü içinde bekletilen referans numunelerinde beklendiği gibi C-S-H ve etrenjit (C-A-S-H) (AFm) kristal oluşumları görülmüştür. 60°C sıcak suyun beton numuneleri üzerinde sıcak su kürü etkisinden dolayı çimento tanelerinin hidrasyon seviyelerinin arttığı ama bu artışın kristallerin yapısı irileştirdiğini bu nedenle kristaller arasında boşlukları artırdığı anlaşılmıştır. Yukarıdaki SEM görüntülerine bakıldığı zaman etrenjit numunelerinin uzun süreli yüksek sıcaklık etkisi ile uç kısımlarının eriyerek birbirine yapışıp bozunmuş bir kafes yapısı oluşturdukları görülmüştür (Zhou & Glasser , 2001).



Şekil 73. 60°C sıcak su küründe bekletilen YFC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Yukarıdaki Şekil 73'teki SEM görüntülerine bakıldığında %20 YFC mineral katkıli beton numunelerinin 270 gün 60°C sıcak su içerisinde bekletilmesi sonucu kristal yapıların suyun sıcaklık etkisinden kaynaklı YFC'nin pozolanik aktivite etkisi ile kristalleşme miktarında artış aynı zamanda irileşme gözlenmiştir. Düzgün C-S-H ve etrenjit (C-A-S-H) (AFm) formasyonlarının oluşmasına rağmen her iki formasyon türünün uzun süreli yüksek sıcaklık etkisi ile erimeler olduğu görülmüştür. Bu deformasyonlar dayanımlarının artışlarında azalmalara neden olmuştur. Ayrıca C-H yapılarının oluşmuş olmasının sebebinin ise YFC içinde bulunan yüksek miktarda CaO'den kaynakladığı düşünülmektedir (Zhou & Glasser , 2001).



Şekil 74. 60°C sıcak su küründe bekletilen FKC20 numunelerinin SEM-EDAX görüntüleri (270 gün)

Yukarıdaki Şekil 74'deki SEM görüntülerine bakıldığında %20 FKC mineral katkılı beton numunelerinin 270 gün 60°C sıcak su içerisinde bekletilmesi sonucu kristal yapıların suyun sıcaklık etkisinden kaynaklı FKC'nin pozolanik aktivite etkisi ile kristal yoğunlaşması ve mikro boşlukların azaldığı anlaşılmaktadır. Düzgün C-S-H ve etrenjit (C-A-S-H) (AFm) formasyonlarının olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte C-H formasyonlarında gözlenmiştir. Bunun sebebinin FKC'nin içinde bulunan yüksek miktarda CaO'den kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca görüntüler incelendiğinde yüksek sıcaklık etkisi ile monosülfat (C-A-S-H) (Aft) oluşumlarında irileşmeler görüntülenmiştir. Bunun etrenjite göre daha fazla ve daha iri monosülfat kristallerinin olduğu anlaşılmıştır (Kosmatka vd., 2006).

Tartışma

270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numuneler, 28 günlük numunelere göre karışımların hepsinde birim ağırlık sonuçlarında, UPV ölçümlerinde basınç dayanımlarında artış göstermiştir. Tüm karışımların su emme yüzdelerinde azalma gerçekleşmiştir. Kılcal su emme sonuçlarına göre YFC30 numunesinde azalma gerçekleşirken diğer tüm karışımlarda artış gerçekleşmiştir. Birim ağırlığın değişmesi, su emme ve kılcal su emmenin genel olarak azalması, SEM görüntüleri incelendiğinde doluluğun artmış olması ve bunlara paralel olarak basınç dayanım değerinin artması yapılan deneylerin birbirini destekler

nitelikte olduğunu göstermektedir. En fazla basınç dayanım artışı %77,9 ile YFC20 numunelerinde gözlemlenmiştir.

40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerde, 270 gün boyunca 20°C standart su kürüne tabi tutulan numunelere göre birim ağırlıklarda artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte su emme yüzdeleri YFC20 ve YFC30 numunelerinde azalırken, diğer karışımlarda arttığı görülmüştür. SEM görüntülerine bakıldığında ise sıcaklık artışı nedeniyle katalizör etkisinin görülmesi ile boşlukların doluluğu hem UPV değerleri hem de basınç dayanımlarının artışı desteklemektedir. Cüruf ikameli karışımlarda basınç dayanımı %2 ile %10 civarında artarken, referans numunesi %51,1 ile en fazla basınç dayanımı artan numuneler olmuştur.

Pasinler Jeotermal tesisinde bekletilen numunelerde, 270 gün boyunca 20°C standart su kürüne tabi tutulan numunelere göre referans ve cüruf ikameli karışımların hepsinde birim ağırlığın azaldığı, su emme yüzdelerinin arttığı, kılcal su emmenin arttığı ve UPV ölçümlerinde azalma gerçekleştiği görülmüştür. Basınç dayanım değerlerinin cüruf katkılı karışımlarda YFC10 numunesi artarken diğer cüruf katkılı karışımlarda azalma görülmüştür. Referans numunelerinde %37,75 oranında arttığı görülmüştür. Bunun sebebi ise EDAX verileri ve SEM görüntüleri incelendiğinde göre cüruf ikameli numunelerin bünyelerinde yüksek miktarda kükürt (S) bulunmasıyla kristal yapıların bozulmasıdır (Tosun, 2007).

60°C sıcak su küründe bekletilen numunelerde 270 gün boyunca 20°C standart su kürüne tabi tutulan numunelere göre birim ağırlık değerlerinde azalma, su emme yüzdesi ve kılcal su emmelerin arttığı görülmüştür. UPV ölçümleri referans ve YFC20 numunelerinde değişim göstermezken YFC30 numunesinde artış, YFC10 ve ferrokrom cürufu ikame edilen karışımlarda azalma görülmüştür. Basınç dayanımlarında ise referans, YFC20, FKC10, FKC20 ve FKC30 numunelerinde değişim görülmezken YFC10 ve YFC20 numunelerinde %3, YFC30 numunelerinde %9,4 oranında artış gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni ise SEM görüntülerinden yola çıkılarak sıcak su kürü etkisinden dolayı çimento tanelerinin hidratasyon seviyelerinin arttığı fakat hidratasyon seviyelerinin artması ile kristallerin irileştiği ve boşlukları arttırdığı görülmektedir (Sağsöz, 2007).

Nenehatun Jeotermal tesisinde bekletilen numuneler, 270 gün boyunca 20°C standart su kürüne tabi tutulan numunelere göre YFC10 ve YFC20 numunelerinde birim ağırlık artarken diğer karışımlarda azalma görülmüştür. Su emme yüzdeleri ve kılcal su emme değerleri FKC10 ve FKC30 numunelerinde artış gösterirken diğer karışımlarda azalma meydana gelmiştir. Basınç dayanımlarında ise referans ve YFC30 numunelerinde artış gözlemlenirken diğer karışımlarda azalma gözlemlenmiştir. Referans numunelerinin basınç dayanımı %42,38 ile en fazla artış gösteren numuneler iken FKC30 numuneleri %35,57 ile en fazla düşüş yaşanan

numune olmuştur. Bunu sebebi ise Nenehatun jeotermal suyun içeriğinde bulunan Şekil 75'te görüldüğü gibi sedimentlerin numunelerin etrafını sararak ve bünyesine girerek hem boşlukları doldurmuş hem de yapısını bozmuştur (Yıldız, 2021).



Şekil 75. Nenehatun Jeotermal tesisine yerleştirilen numunelerin sediment toplanması

EDAX verilerine ve SEM görüntüleri incelendiği zaman numunelerin kristal yapılarında bozukluklar gözlemlenmektedir. Bu bozukluklar, artan kükürt (S) miktarının ile sülfat oluşturduğu ve oluşan sülfatın etkileri ile etrenjit ve ilişkili genleşme mekanizmalarının gecikmiş etrenjit oluşumu (GEO) genleşmelerine nazaran farklılık göstermesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklık etkisi ile birincil yapıda meydana gelen değişiklikler sülfat etkisinden çok daha farklı mekanizmaların GEO genleşmesinde etkili olduğunu göstermektedir (Tosun, 2007). Sertleşmiş beton numunelerinin kristal yapılarındaki bozuklukların bir başka nedeni ise çimento hamuru yapısının yüksek sıcaklıkta hidrasyon sonucu oluşan hidrasyon ürünlerinin düzgün olmayan dağılımı, ısıl genleşmelerden kaynaklı su kaybı sonucu oluşan mikro ve makro çatlaklar ve tamamlanamayan hidrasyondur (Sağsöz, 2007).

Genel olarak baktığımızda cüruf ikameli karışımlarda basınç dayanımının artma sebebi mineral katkıların pozolanik aktivite göstermesidir. Fakat basınç dayanımlarındaki artışın azalma sebebi ise cürufların bünyesinde barındırdığı CaO ve MgO kaynaklıdır. Özellikler ferrokrom cürufu bünyesinde fazla bulunan MgO numunelerin yapısında bozulmalara sebep olmaktadır. Bunun nedeni ise MgO ve CaO, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ ile birleşmeyip serbest halde iken su ile tepkimeye girip Mg(OH)₂ ve Ca(OH)₂ oluşturmasıdır. Çünkü Mg(OH)₂ ve Ca(OH)₂ hacimleri MgO ile CaO'ın hacminden fazla olduğundan beton yapısında bozulmalara, genleşmelere ve çatlaklara neden olmaktadır (Göçer, 2009; Demir vd., 2001).

SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmanın amacı doğrultusunda iki farklı cüruf ve üç farklı oranda üretilen numuneler üzerinde yapılan deneyler ve sonuçları bir önceki bölümde şekiller ve tablolar yardımıyla detaylı olarak sunulmuştur.

Birim ağırlık deneyleri sonucunda, 28 günlük numunelere göre ortamlarda bekletilen tüm numunelerin birim ağırlıklarında artış görülmüştür. Fakat aynı süre zarfındaki ortamları karşılaştırdığımızda 270 gün boyunca bekletilen numunelerden 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre birim ağırlıkta en fazla artış 40°C sıcak su küründe bekletilen YFC20 numunesinde %1,85 oranında gerçekleşmiştir. Birim ağırlıkta en fazla düşüş ise Pasinler Jeotermal suyunda bekletilen referans ve 60°C sıcak su küründe bekletilen FKC20 numunelerinde %3,65 oranında ölçülmüştür.

Su emme deneyi sonuçlarında, 28 günlük numunelere göre ortamlarda bekletilen tüm numunelerde su emme yüzdesinde düşüş görülmüştür. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre su emme yüzdesinde en fazla artış Pasinler Jeotermal suda bekletilen numunelerden FKC10 numunelerinde %76,11 oranında gerçekleşirken, en fazla düşüş Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen numunelerden YFC20 numunesinde %27,28 oranında gerçekleşmiştir.

Kılcal su emme deneyi sonucunda, 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre kılcallık katsayısında en fazla Pasinler Jeotermal suyunda bekletilen FKC10 numuneleri ile %230 oranında artış görülürken, en fazla düşüş Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen referans (R) numunelerinde %63 ile hesaplanmıştır.

Ultrases (UPV) deneyi sonucunda, 28 günlük numunelere göre ortamlarda bekletilen tüm numunelerin hepsinde UPV ölçümlerinde artış görülmüştür. 270 gün boyunca 20°C standart su küründe bekletilen numunelere göre UPV ölçümlerinde en fazla artış %2,67 ile Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen referans (R) numunelerinde gerçekleşmiştir. En fazla düşüş ise %6,46 oranında Pasinler Jeotermal suyunda bekletilen FKC30 numunelerinde görülmüştür.

Basınç dayanım değerleri dikkate alındığında, 28 günlük numunelere göre ortamlarda bekletilen numunelerden Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen FKC30 numunelerinde %3,3 oranında azalma görülürken diğer karışımlarda artma görülmüştür. 270 gün boyunca 20°C

standart su küründe bekletilen numunelere göre basınç dayanım değerlerinde en fazla artış 40°C sıcak su küründe bekletilen numunelerden referans (R) numunesinde %57,44 oranında görülmüştür. Basınç dayanım değerlerinde en fazla düşüş Nenehatun Jeotermal suyunda bekletilen FKC30 numunelerinde %38,57 oranında görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler, Jeotermal Kaynaklı sulara maruz kalan beton ve betonların durabilitesi üzerinde daha kapsamlı çalışmaların yapılması gerektiğinin göstermektedir.

Daha önce yapılan lisansüstü tezler değerlendirildiğinde basınç dayanımlarında karşılaştığımız artıştaki azalmalar göz önünde bulundurulduğu zaman 270 günden öte sürelerde numunelerin dayanımlarında ciddi düşüşler olabileceği düşünülmektedir. 270 günden öteye 360, 540, 720, 1080 gün gibi süreler ile durabilite deneylerinin tekrar edilmesi ve yapısındaki değişimlerin daha net görülmesinin önemli olacağı düşünülmektedir. Sıcak su kürü içinde zaman periyotlarının 270 günden öte sürelerde denenmesi gerekmektedir.

Kimyasal aşınmaların daha kesin tespiti açısından XRD, Raman Spektroskopisi gibi yeni teknolojiler kullanılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Acharya, P.K., Patro, S.K. (2015). Effect of lime and ferrochrome ash (FA) as partial replacement of cement on strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. *Construction and Building Materials*, 94, 448-457.
- Altındağ, İ. *Kendiliğinden yerleşen betonlarda uçucu kül ve kalker tozu kullanımının durabilite özelliklerine etkisi*, (2019), İstanbul Teknik Üniversitesi, yüksek lisans tezi
- Akkuş, İ. Enerji Kullanımında Jeotermal Kaynaklar Seçeneği. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Haber Bülteni. Sayı:2008/2-3. S.81-85. 2008, Ankara
- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z. Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri. MTA Genel Müdürlüğü Envanter Serisi-201. 2005, Ankara
- ASTM C192 . (2002). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory: ASTM International, Annual Book of ASTM Standards.
- Bhavan, M., & Marg, B. S. Z. (2010). Bureau of Indian Standards. Central for Hydraulic Design of Bucket Type Energy Dissipators. Second Revision. Bureau of Indian Standards, New Delhi.
- Baradan, B., & Aydın, S. (2013). Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 265-288.
- Baradan B., Yazıcı H., ÜN H., Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Türkiye Hazır Beton Birliği, 2015
- Colleparidi, M. (2005). “Admixtures-Enhancing Concrete Performance”, 6th Int. Congress on Global Construction and Ultimate Concrete Opportunities, Dundee.
- Çomaklı, S. (2021) “Jeotermal Suların Farklı Tıp Çimentolar İle Üretilmiş Harçların Durabilitesine Etkisinin İncelenmesi” Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Demir, M., Şahide Demirci, Ali Usanmaz, Analitik Sınai Kimya Laboratuvarı, Devlet Kitapları, Ankara, 2001.
- Demirbilek, A. (2019) *Yüksek dayanımlı betonda su/bağlayıcı oranı ve kimyasal katkı oranı ilişkisinin dayanım ve işlebilirlik üzerine etkisi*, Fırat Üniversitesi
- Doğan, M. (2009). Betonarme yapılardaki deprem hasarlarına korozyonun etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1), 147-168.
- Eser, N., 2015, Yüksek Dayanımlı Beton Kalitesinin İncelenmesi ve Yeni Bir Malzeme Katsayısı Önerilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Eğilmez, G. (2004). Yüksek Fırın Cürufunun Durabiliteye Etkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Erdoğan, Orta Doğu Teknik Üniv. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Öğütülmüş Ferrokrom Cürufu Kullanılarak Jeopolimer Üretimi , (2011)
- Erdoğan, T.Y.,(2003), Beton , Metu Press, Ankara.
- Erdoğan, Turhan Y., “Beton Malzemeleri” Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını., ISBN 975-92122-8, 277s, 2004.

- Gomathi, P., A. Sivakumar, Accelerated curing effects on the mechanical performance of cold bonded and sintered fly ash aggregate concrete, Construction and Building Materials, Volume 77, 2015, Pages 276-287,
- Gültekin, F., & Temizel, E. H. (2014). Pasinler (Erzurum) Jeotermal Sisteminde Akışkan Akımının Modellenmesi Ve Jeotermal Suların Hidrojeokimyası. Doktora Tezi, 186.
- Gollop, R. S., Taylor, H. F. W. (1994). Microstructural and microanalytical studies of sulfate attack II. Sulfate-resisting Portland cement: Ferrite Composition and hydration chemistry. Cement and Concrete Research, 24, (7), 1347-1358.
- Göçer, C. (2009). Çimento Kimyası, Dünya Yayıncılık.
- Hatipoğlu Temizel, E., (2014) “Pasinler (Erzurum) Jeotermal Sisteminde Akışkan Akımının Modellenmesi Ve Jeotermal Suların Hidrojeokimyası” Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Trabzon
- İnce, C. (2020). “Sıcak su kürünün silis dumanı takviyeli çimento harçlarının mekanik özelliklerine ve dayanıklılığına etkisi” Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 35:1 109-126
- Jenkins, R. A., De Vries, J. L. (1982). *Practical X-Ray Spectrometry*. Springer.
- Kantarci F. (2013). Elazığ ferrokrom cürufundan alkali aktivasyon metoduyla üretilen geopolimer çimentolu betonların yangın dayanımının araştırılması. Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya
- Khayat, K.H. and Persson, B., (2007). Frost durability and salt scaling of SCC, Durability of Self-Compacting Concrete. RILEM TC 205 pp. 119-120.
- Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. Mühendis ve Makina, 54(639), 32-44.
- Kurbetci, Ş. Öztekin, E.,” Sıcak Su Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini”, *İMO Teknik Dergi*, 2004 3145-3153, Yazı 211,
- Kosmatka, Steven H., Voigt, Gerald F., Taylor, Peter ., ”Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual”, Center for Transportation Research and Education Iowa State University, 2006, p.69-104
- Lo T.Y., Tang W.C., A. Nadeem, Comparison of carbonation of lightweight concrete with normal weight concrete at similar strength levels, Construction and Building Materials, Volume 22, Issue 8, 2008, Pages 1648-1655,
- López-Perales, J. F., et al. (2021). "Partial replacement of a traditional raw material by blast furnace slag in developing a sustainable conventional refractory castable of improved physical-mechanical properties." *Journal of Cleaner Production* 306.
- Mahmut, O. Emiroğlu, M. Elazığ Ferrokrom Cürufunun Alkali Aktive Edilmiş Harç Üretiminde Kullanım Potansiyelinin Araştırılması, Science and Eng. J of Fırat Univ. 28(1), 23-34, 2016
- Mertoglu, O., Şimşek, Ş., Başarır, N., Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015) Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015
- Murphy, E. F. (1980). Energy and environmental balance Neville, A. M., & Brooks, J. J. (1987). Concrete technology. Longman Scientific & Technical England.

- Niemelä, P., Kauppi, M. (2007). Production, characteristics and use of ferrochromium slags(pp:171-179). Infacon XI International Ferroalloys Congress, February 18-21, Taj Place, New Delhi, India.
- Niş, A. (2019). Mineral katkılı betonların kimyasal durabilitesinin toplam bağlayıcı miktarı ve eşdeğer su/çimento parametreleriyle beraber incelenmesi, BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi, 21(1), 459-473.
- Özalp, F., Şengül ,Ö., Taşdemir, M.A.,”Kür Koşulları ve Tecrit Malzemesinin Betonun Geçirimsizlik ve Mekanik Özelliklerine Etkisi” İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, 2015, 34469
- Özcan, A. (2018) Ferrokrom cürufu ve yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen geopolimer betonların asit, tuz, sülfat etkilerine karşı dayanıklılık araştırılması, İnönü Üniversitesi, yüksek lisans tezi, Malatya
- Özdemir, A., & Tezelli, O. (2008). Türkiye Jeotermal Sularının Jeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Sondaj ve Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 7, 52-67.
- Parameshwar N. Hiremath, Subhash C. Yaragal (2017). Effect of different curing regimes and durations on early strength development of reactive powder concrete, Construction and Building Materials, Volume 154, 2017, Pages 72-87,
- Prasanna, K., Acharya, Sanjaya K. Patro (2016). Acid resistance, sulphate resistance and strength properties of concrete containing ferrochrome ash (FA) and lime,Construction and Building Materials,Volume 120, Pages 241-250,
- Ramroom, A.A.M. (2020). “Taguchi Metodu İle Üretilen Ultra Yüksek Performanslı Betonda (Uypb) Mineral Katkıların Etkisi Ve Optimizasyonu” Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu.
- Reinhardt H. W., Özkan H., Mielich O., Changes in mechanical properties of concrete due to ASR, Hormigón y Acero, Volume 69, Supplement 1, 2018, Pages 15-19.
- Ramlochan, T., Thomas, M. D. A., Hooton, R. D. (2003). The effect of pozzolans and slag on the expansion of mortars cured at elevated temperature, Part I: Expansive behaviour. Cement and Concrete Research, 33, (6), 807-814.
- Salahuddin, H., Liaqat Ali Qureshi, Adnan Nawaz, Syed Safdar Raza, Effect of recycled fine aggregates on performance of Reactive Powder Concrete, Construction and Building Materials, Volume 243,2020,118223,
- Saran, A. G. (2007). Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Sağsöz, A.E. (2007). “Jeotermal Suların Farklı Tip Çimentolar İle Üretilmiş Harçların Durabilitesine Etkisinin İncelenmesi” Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Serinoğlu, Y.N., 2011, Normal ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Miktarının Taze Beton ve Sertleşmiş Beton Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Shatat, M. (2014). Effect of hydrothermal curing on the hydration characteristics of artificial pozzolanic cement pastes placed in closed system. Applied clay science, 96, 110-115.
- Shi X., Xie N., Fortune K., Gong J., Durability of steel reinforced concrete in chloride environments: An overview, Construction and Building Materials, Volume 30, 2012, Pages 125-138,

- Sun D., Wu K., Shi H., Miramini S., Zhang L., Deformation behaviour of concrete materials under the sulfate attack, *Construction and Building Materials*, Volume 210, 2019, Pages 232-241,
- Şengül, Ö., Taşdemir, M.A., Koç, İ., Tarhan, M., ve Erenoğlu, T. (2007). “Doğal ve Endüstriyel Katkılar İçeren Betonların Tasarımı, Mekanik Özellikleri ve Durabilitesi” , 7.Ulusal Beton Kongresi, 2007, s
- Şimşek, O. (2004). Beton ve Beton Teknolojisi, 3. Baskı, Ankara
- Tang, Y., Su, H., Huang, S., Qu, C., & Yang, J. (2017). "Effect of Curing Temperature on the Durability of Concrete under Highly Geothermal Environment." *Advances in Materials Science and Engineering* 2017: 7587853.
- Taylor H.F. (1997). Cement Chemistry (Second ed.), Thomas Telford, P 359.
- Tokyay, M., & Erdoğan, K. (2009). Cürufklar ve cürufllu çimentolar. TÇMB
- Tokyay, M. (2013). Betonda UK, GYFC ve SD'nin Rolü: Mevcut Bilgi Birikimi. Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 21-23 Şubat, 201-238.
- Tosun, K. (2007). “Farklı Çimento Tiplerinin Gecikmiş Etrenjit Oluşumu Üzerindeki Etkileri” Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İzmir
- TS EN 206-1, 2002, Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 68.
- TSE. (2017). TS EN 206: 2013+ A1: Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk. Ankara: TSE.
- Vapur, H., Top, S., Teymen, A., Türkmenoğlu, M. (2013). Elazığ ferrokrom tesisi cürufklarının agrega özelliklerinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1), 77-88
- Yazıcıoğlu S. Gönen T.ve Çobanoğlu Ö. C. Elazığ Ferrokrom Cürufunun Betonun Basınç Dayanımı ve Çarpma Enerjisi Üzerine Etkisi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der. 17 (4), 681-685, (2005).
- Yıldız, A.T., (2021). " Jeotermal Suların Mineral Katkılı Harçların Kalıcılık Özelliklerine Etkisi" Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Yılmaz, A., Sütas, İ. (2008). Ferrokrom cürufunun yol temel malzemesi olarak kullanımı. İMO Teknik Dergi, 294, 4455-4470
- Yılmaz, N., S., 2013. Aydın ve Çevresindeki Jeotermal Sulardaki Bazı Elementlerin ve İyonların İcp-Oes ve İc ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Zemei Wu, Caijun Shi, Wen He (2017). Comparative study on flexural properties of ultra-high performance concrete with supplementary cementitious materials under different curing regimes, *Construction and Building Materials*, Volume 136, Pages 307-313,
- Zhou Q., Glasser F. P. (2001). Thermal stability and decomposition mechanisms of ettringite at < 120°C. *Cement and Concrete Research*, 31, (9), 1333-1339.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Bayram GÜÇLÜ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Ağrı Türk Telekom Anadolu Öğretmenler Lisesi
Lisans:	Çukurova Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği (2018)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı (2019-2022)
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Orta
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
-	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
-	