



**JEOTERMAL SULARIN MİNERAL
KATKILI HARÇLARIN KALICILIK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Ahmet Tuğrul YILDIZ

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ
2021**

(Her hakkı saklıdır.)

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

**JEOTERMAL SULARIN MİNERAL KATKILI HARÇLARIN KALICILIK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

(The Effect of Geothermal Waters on the Durability Characteristics of Mortars Incorporating
Mineral Additives)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Tuğrul YILDIZ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ

Erzurum
Ocak, 2021

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Ahmet Tuğrul YILDIZ tarafından hazırlanan “Jeotermal suların mineral katkılı harçların kalıcılık özelliklerine etkisi” başlıklı çalışması 18/01/2021 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemeleri Bilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. ŞAKİR ERDOĞDU
Karadeniz Teknik Üniversitesi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Rıza POLAT
Atatürk Üniversitesi

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

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN

Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir. Proje No: 7142

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ danışmanlığında sunulan “Jeotermal suların mineral katkılı harçların kalıcılık özelliklerine 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	1	30
Kuramsal Temeller	24	30
Materyal ve Yöntem	9	35
Bulgular	1	20
Tartışma	0	20
Tezin Geneli	7	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
Ahmet Tuğrul YILDIZ	Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ
18.01.2021	18.01.2021
İmza:	İmza:

* 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 içtenlikle 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 Salih ÇOMAKLI' ya,

Tez çalışması sürecinde sağladığı olanaklardan ve bu çalışmaya verdikleri desteklerden dolayı Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü' ne,

Bu tez çalışmasını BAP, FHD-2019-7142 numaralı proje ile destekleyen Atatürk Üniversitesi' ne,

Tez çalışması sürecinde termal tesislerin kullanılması konusunda yardımlarını esirgemeyen Aziziye Belediye Başkanı Muhammed Cevdet ORHAN' a, Pasinler Belediye Başkanı Ahmet DÖLEKLİ' ye ve Nene Hatun TERMAL' e,

Ayrıca hayatım boyunca manevi ve maddi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme, kıymetli eşime ve oğluma teşekkürü bir borç bilirim.

Ahmet Tuğrul YILDIZ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOTERMAL SULARIN MİNERAL KATKILI HARÇLARIN KALICILIK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Ahmet Tuğrul YILDIZ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Arif Emre SAĞSÖZ

Amaç: Dünyada enerji ihtiyacının artması ile birlikte jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmıştır. Jeotermal enerji oldukça yaygın kullanım potansiyeline sahip bir enerji türüdür. Ancak söz konusu enerjinin kullanımı için inşa edilen yapıların beton ve betonarme yapı elemanlarında jeotermal kaynaklı suların sıcaklık ve kimyasal içerikleri dolayısı ile bazı fiziksel ve kimyasal kalıcılık problemleri ortaya çıkmaktadır. Bu durum bu tesislerin servis ömrünü azaltmakta ve ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Diğer taraftan ülkemizde beton dayanım sınıfları belirlenirken durabilite açısından, TS EN 206 standardı ve tamamlayıcı standart TS 13515’de belirtilen çevresel etki sınıfları dikkate alınır. Bu etki sınıflarında jeotermal kaynaklı suların durabilite etkileri konusunda bilgi çok kısıtlıdır. Bu çalışma ile birlikte çevresel etki sınıfları kısmına jeotermal kaynaklı sular hakkında bilgilerin artırılması hedeflenmiştir.

Yöntem: Bu çalışmada, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül olmak üzere 3 farklı mineral katkı, her biri için %5, %10 ve %15 oranlarında çimento ile ikame edilerek harç numuneleri hazırlanmıştır. 28 günlük standart kür sonrası numunelerin bir kısmı laboratuvar ortamında bekletilirken diğer kısmı Nene Hatun Termal, Pasinler Termal ve Aziziye Ilıca Termal tesislerine yerleştirilmiştir. Taze karışımlar üzerine kıvam deneyi yapılmıştır. Sertleşmiş harç numuneleri ile ilgili olarak birim ağırlık, su emme, kılcal su emme, ultrases geçiş hızı, ICP-MS ölçümleri ve basınç dayanımı tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Bulgular: Termal tesislere yerleştirilen numunelerin basınç dayanımları özellikle 9 aylık ölçümlerde laboratuvar ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımlarından daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi olarak jeotermal suyun numunelerde kür etkisi oluşturması ve jeotermal suların içeriğinde bulunan betona faydalı kimyasal maddelerin etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca ilk 3 ve 6 ayda yapılan deneylerde sonuçların bazı durumlarda azaldığı, bazı durumlarda ise arttığı görülmüştür. Bu dalgalanmaya sebep olarak jeotermal suların içeriğinde bulunan betona yararlı veya zararlı maddeler sebebi ile olduğu düşünülmektedir. Ayrıca 9 aylık basınç dayanımları açısından mineral katkılı betonların mineral katkı içermeyenlere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Sonuç: Jeotermal tesislerde betonda mineral katkı kullanırken jeotermal suyun kimyasal bileşimine göre seçim yapılmalıdır. Daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek için farklı beton sınıfları, farklı katkıları ve daha uzun süreli çalışmalar yapmak gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal kaynaklı sular, kalıcılık, yenilenebilir enerji, beton, harç, mineral katkı

Ocak 2021, 139 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

THE EFFECT OF GEOTHERMAL WATERS ON THE DURABILITY CHARACTERISTICS OF MORTARS INCORPORATING MINERAL ADDITIVES

Ahmet Tuğrul YILDIZ

Supervisor: Asst. Prof. Arif Emre SAĞSÖZ

Purpose: Renewable energy sources have reached an important position with the increasing need for energy in the world. Geothermal energy is an energy that has a very common usage potential. However, some physical and chemical durability problems arise due to the temperature and chemical content of geothermal water in the concrete and reinforced concrete structural elements of the structures built for the use of the energy in question. This situation reduces the service life of these facilities and causes economic losses. On the other hand, while determining the concrete strength classes in our country, in terms of durability, the environmental impact classes specified in the TS EN 206 standard and the complementary standard TS 13515 are taken into consideration. For these impact classes, information on the durability effects of geothermal waters is very limited. With this study, it is aimed to increase the information about geothermal sources in the environmental impact classes section.

Method: In this study, mortar samples were prepared by replacing 3 different mineral additives, namely silica fume, blast furnace slag and fly ash, with cement at 5%, 10% and 15% for each. After standard curing, some of the samples were kept in the laboratory condition while the others were placed in Nene Hatun Thermal, Pasinler Thermal and Aziziye Ilıca Thermal facilities. A consistency test has been carried out on fresh mixes. Unit weight, water absorption, capillary water absorption, ultrasound velocity, ICP-MS measurements and compressive strength tests were performed on the hardened mortar samples.

Finding: The compressive strength of the samples placed in the thermal facilities was higher than the compressive strength of the samples kept in the laboratory condition, especially for the 9 months measurements. The reason for this is thought to be due to the curing effect of the geothermal water in the samples and the effect of the chemicals useful in the concrete in the geothermal waters. In addition, in the experiments performed in the first 3 and 6 months, it was observed that the results decreased in some cases and increased in some cases. It is thought that this fluctuation is caused by the beneficial or harmful substances in the concrete contained in the geothermal waters. In addition, it has been observed that mineral additives achieve better results than concrete without mineral additives for the 9 months compressive strength.

Results: The use of mineral additives in geothermal facilities should be selected according to the chemical analysis of the geothermal water. To obtain reliable results, different concrete classes, different additives and longer studies are required.

Keywords: Geothermal water, durability, renewable energy, concrete, mortar, mineral additive

January 2021, 139 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	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xv
GİRİŞ	1
Amaç ve Kapsam	3
KURAMSAL TEMELLER	4
Mineral Katkıları	5
Uçucu Kül (UK)	6
Yüksek Fırın Cürufu (YFC)	11
Silis Dumanı (SD)	14
Kalıcılık	17
Fiziksel etkenler	19
Kimyasal etkenler	21
Biyolojik etkenler	29
Çevresel koşulların değerlendirilmesi	29
Jeotermal Enerji	31
Jeotermal sistem	32
Jeotermal alan	32
Jeotermallerin sınıflandırılması	32
Jeotermallerin kullanım alanları	32
Jeotermal kaynakların dünyadaki yayılım alanları	34
Türkiye’de jeotermal enerji	38
Erzurum ve çevresinde jeotermal enerji	43
Jeotermal Kaynaklı Suların Hidrokimyasal Özellikleri	46
Jeotermal Kaynaklı Suların Betona Etkisi	50

MATERYAL VE YÖNTEM.....	55
Malzemeler.....	55
Çimento.....	55
Agrega.....	56
Su.....	57
Jeotermal Su.....	57
Kimyasal katkı.....	59
Mineral katkıları.....	59
Kullanılan Cihazlar.....	60
Harç karıştırıcı.....	60
Numune kalıpları.....	61
Yayıma tablası.....	61
Basınç dayanımı tespit cihazı.....	62
Hava dolaşimli etüv.....	63
Ultras ses hız ölçüm cihazı.....	63
ICP-MS (İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi) cihazı.....	64
Su kürü havuzu.....	65
Diğer cihazlar.....	65
Karışım Oranları.....	65
Karıştırma Yöntemi.....	66
Deney Yöntemleri.....	67
Basınç mukavemeti tayini.....	67
Kıvam (işlenebilirlik) tayini.....	67
Ultras ses geçiş hızı tayini.....	68
Birim ağırlık tayini.....	68
Su emme tayini.....	69
Kılcal su emme tayini.....	69
ICP-MS yöntemi.....	70
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	71
Yayıma Ölçümleri.....	71
ICP-MS Ölçümleri.....	72
Nene Hatun Termale Yerleştirilen Numunelerde Yapılan Deney Sonuçları.....	76
Birim ağırlık tayini.....	76
Ultras ses hızı ölçümleri.....	78
Su emme ölçümleri.....	80

Kılcal su emme tayini.....	82
Basınç dayanımı tayini	84
Pasinler Termale Yerleştirilen Numunelerde Yapılan DeneY Sonuçları.....	89
Birim ağırlık tayini	89
Ultras es hızı ölçümleri	91
Su emme tayini.....	93
Kılcal su emme tayini.....	95
Basınç dayanımı tayini	97
Ilıca Termale Yerleştirilen Numunelerde Yapılan DeneY Sonuçları.....	102
Birim ağırlık tayini	102
Ultras es Hızı Ölçümleri.....	104
Su emme tayini.....	106
Kılcal su emme tayini.....	108
Basınç dayanımı tayini	110
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	114
KAYNAKLAR.....	116
ÖZGEÇMİŞ.....	121

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Puzolanların Taze Beton Özellikleri Üzerine Etkileri	6
Tablo 2. Puzolanların Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerine Etkileri	6
Tablo 3. Uçucu Küllerin Kimyasal Bileşen Standart Değerleri	8
Tablo 4. Türkiye’de Üretilen Bazı Uçucu Küllerin Kimyasal İçerikleri.....	9
Tablo 5. Türkiye’de Üretilen Bazı Uçucu Küllerin Mineralojik İçerikleri (Kütlece %).....	9
Tablo 6. Türkiye’de Üretilen Bazı Uçucu Küllerin Dane Yoğunluğu	10
Tablo 7. Bazı Ülkelere Ait Yüksek Fırın Cürufu Kimyasal Bileşimleri.....	13
Tablo 8. Çeşitli Ülkelerdeki Silis Dumanlarının Kimyasal Bileşimleri	16
Tablo 9. Doğal Zeminler ve Yeraltı Sularından Kaynaklanan Kimyasal Etkiler İçin Etki Sınıflarının Sınır Değerleri.....	30
Tablo 10. Beton Karışımı ve Özellikleri İçin Önerilen Sınır Değerleri.....	30
Tablo 11. Doğrudan Kullanımda Dünyadaki İlk 5 Ülke Sıralaması.....	36
Tablo 12. 2015 Yılı Jeotermal Enerji Doğrudan Kullanım Kapasitesi ve Enerji Kullanım Yüzdeleri	36
Tablo 13. Jeotermal Alanlarda Açılan Kuyu Sayısı Ve Toplam Derinlikleri	40
Tablo 14. Türkiye’de Jeotermal Kurulu Güç Miktarları.....	43
Tablo 15. Erzurum’da Bulunan Termal Alanların Listesi	44
Tablo 16. Erzurum’un Önemli Termal Alanları	45
Tablo 17. Çimentonun Kimyasal Özellikleri	55
Tablo 18. Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	56
Tablo 19. CEN Standart Kuma Ait Elek Analizi	57
Tablo 20. Termal Tesislere Ait Sıcaklık Değerleri	58
Tablo 21. Termal Tesislere Ait Su Analiz Bilgileri – 1	58
Tablo 22. Termal Tesislere Ait Su Analiz Bilgileri – 2.....	59
Tablo 23. Kimyasal Katkı Maddesine Ait Özellikler	59
Tablo 24. Silis Dumanı Analiz Bilgileri	59
Tablo 25. Yüksek Fırın Cürufu Analiz Bilgileri	60
Tablo 26. Uçucu Kül Analiz Bilgileri.....	60
Tablo 27. Harç Karışım Oranları ve Miktarları	66
Tablo 28. Ultrases Geçiş Hızlarının Değerlendirilmesi	68
Tablo 29. Karışımlara Ait Akışkanlaştırıcı ve Kıvam Değerleri	71

Tablo 30. Nene Hatun Termale Ait ICP-MS Ölçümleri ve Değişim Miktarları.....	73
Tablo 31. Pasinler Termale Ait ICP-MS Ölçümleri ve Değişim Miktarları.....	74
Tablo 32. Ilıca Termale Ait ICP-MS Ölçümleri ve Değişim Miktarları.....	75
Tablo 33. Nene Hatun Termale Yerleştirilen Numunelerin Birim Ağırlık Değerleri ve Karşılaştırması	76
Tablo 34. Nene Hatun Termal UPV Değerleri ve Karşılaştırması	78
Tablo 35. Nene Hatun Termalden Çıkarılan Numunelerin Su Emme Değerleri	80
Tablo 36. Nene Hatun Termalden Çıkarılan Numunelerin Kılcal Su Emme Değerleri	82
Tablo 37. Nene Hatun Termale Ait Numunelerinin Basınç Dayanımları.....	84
Tablo 38. Nene Hatun Termale Ait 9 aylık Numunelerde Basınç Dayanımı ve ICP-MS Element Analiz Bilgileri	85
Tablo 39. Pasinler Termale Yerleştirilen Numunelerin Birim Ağırlık Değerleri ve Karşılaştırması	89
Tablo 40. Pasinler Termal UPV Değerleri ve Karşılaştırması.....	92
Tablo 41. Pasinler Termalden Çıkarılan Numunelerin Su Emme Değerleri	94
Tablo 42. Pasinler Termalden Çıkarılan Numunelerin Kılcal Su Emme Değerleri.....	96
Tablo 43. Pasinler Termale Ait Numunelerinin Basınç Dayanımları.....	98
Tablo 44. Pasinler Termale Ait 9 aylık Numunelerde Basınç Dayanımı ve ICP-MS Element Analiz Bilgileri.....	98
Tablo 45. Ilıca Termale Yerleştirilen Numunelerin Birim Ağırlık Değerleri ve Karşılaştırması	102
Tablo 46. Ilıca Termal UPV Değerleri ve Karşılaştırması.....	104
Tablo 47. Ilıca Termalden Çıkarılan Numunelerin Su Emme Değerleri	106
Tablo 48. Ilıca Termalden Çıkarılan Numunelerin Kılcal Su Emme Değerleri	108
Tablo 49. Ilıca Termale Ait Numunelerinin Basınç Dayanımları.....	110
Tablo 50. Ilıca Termale Ait 9 aylık Numunelerde Basınç Dayanımı ve ICP-MS Element Analiz Bilgileri.....	111

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Enerji kaynaklarının gruplandırılması.....	1
Şekil 2. Dünyanın toplam enerji tüketimi	2
Şekil 3. Bina yapımında kullanılan yaklaşık malzeme oranları	4
Şekil 4. Puzolanların sınıflandırılması	5
Şekil 5. Küresel uçucu kül taneleri.....	7
Şekil 6. Uçucu külün SEM ile çekilmiş içyapısı	10
Şekil 7. Yüksek fırın cürufu üretim mekanizması.....	12
Şekil 8. Yüksek fırın cüruf tiplerine ait örnekler.....	12
Şekil 9. PÇ ve YFC ana bileşenleri	13
Şekil 10. Ferrosilisyum üretim şeması ve baca tozlarının toplanması	15
Şekil 11. Beton ve betonarme yapıların iç ve dış etkenlerle bozulması	18
Şekil 12. Betonun fiziksel nedenlerle bozulması	19
Şekil 13. Çimento hamurunun basınç dayanımı-sıcaklık değişimi	20
Şekil 14. Betonun bozulmasına yol açan kimyasal reaksiyon türleri	22
Şekil 15. Asit etkisi ile betonun bozulma mekanizması ve asit etkisiyle bozulmuş bir kanalizasyon tüneli örneği.....	24
Şekil 16. Korozyon oluşma mekanizması	28
Şekil 17. Jeotermal sistemin oluşum modeli.....	31
Şekil 18. Jeotermal enerji entegre kullanımı	34
Şekil 19. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar)	35
Şekil 20. Doğrudan kullanım kapasitesi ve yıllık enerji kullanımının 1995-2015 yılları arasındaki değişimi.....	36
Şekil 21. Dünya doğrudan kullanım uygulamalarının kurulu kapasite dağılımı	37
Şekil 22. 2015 yılı dünya jeotermal doğrudan kullanım uygulamalarının toplam enerji kullanım dağılımı	37
Şekil 23. 1950-2015 Yılları arasında kurulu kapasite ve üretilen enerji kullanımı.....	38
Şekil 24. Türkiye'nin jeotermal haritası	39
Şekil 25. Bölgesel potansiyel dağılımı	41
Şekil 26. Bölgelere göre kuyu dağılımı	41
Şekil 27. Yıllar itibariyle kümülatif jeotermal sondajları ve kazanılan enerji miktarı	42
Şekil 28. Yıllar itibariyle kümülatif jeotermal sondajları ve kazanılan enerji yüzdeleri.....	42

Şekil 29. Türkiye ısı haritası.....	43
Şekil 30. Nene Hatun Termal Tesisleri	45
Şekil 31. Pasinler Termal Tesisleri.....	46
Şekil 32. Ilıca Termal Tesisleri	46
Şekil 33. Pasinler Termal’de tespit edilen durabilite sorunlarına ait görsel.....	53
Şekil 34. Nene Hatun Termal’de tespit edilen durabilite sorunlarına ait görsel - 1	54
Şekil 35. Nene Hatun Termal’de tespit edilen durabilite sorunlarına ait görsel - 2	54
Şekil 36. CEN standart kum	56
Şekil 37. Harç karıştırıcı.....	61
Şekil 38. Çelik numune kalıpları.....	61
Şekil 39. Yayılma tablası.....	62
Şekil 40. Beton basınç dayanımı test cihazı	63
Şekil 41. Etüv	63
Şekil 42. Ultrases hız ölçüm cihazı	64
Şekil 43. ICP-MS cihazı.....	64
Şekil 44. Standart kür havuzu	65
Şekil 46. Yayılma tablası ile kıvam tayini deneyi	67
Şekil 47. Su emme deneyi	69
Şekil 48. Kılcal su emme direnci deneyi	70
Şekil 49. ICP-MS cihazı şematik görünümü	70
Şekil 50. Numunelere ait akışkanlaştırıcı ve kıvam değerleri.....	72
Şekil 51. Nene Hatun Termale yerleştirilen SD numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması	76
Şekil 52. Nene Hatun Termale yerleştirilen YFC numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması	77
Şekil 53. Nene Hatun Termale yerleştirilen UK numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması	77
Şekil 54. Nene Hatun Termale ait SD numunelerinin UPV değerleri.....	79
Şekil 55. Nene Hatun Termale ait YFC numunelerinin UPV değerleri	79
Şekil 56. Nene Hatun Termale ait UK numunelerinin UPV değerleri	80
Şekil 57. Nene Hatun Termale ait SD katkılı numunelerin su emme değerleri	81
Şekil 58. Nene Hatun Termale ait YFC katkılı numunelerin su emme değerleri.....	81
Şekil 59. Nene Hatun Termale ait UK katkılı numunelerin su emme değerleri.....	82
Şekil 60. Nene Hatun Termalden çıkarılan SD numunelerinin K.S.E. değerleri	83
Şekil 61. Nene Hatun Termalden çıkarılan YFC numunelerinin K.S.E. değerleri.....	83

Şekil 62. Nene Hatun Termalden çıkarılan UK numunelerinin K.S.E. değerleri.....	84
Şekil 63. Nene Hatun Termale ait SD numunelerinin basınç dayanımları.....	85
Şekil 64. Nene Hatun Termale ait YFC numunelerinin basınç dayanımları	86
Şekil 65. Nene Hatun Termale ait UK numunelerinin basınç dayanımları	86
Şekil 66. Nene Hatun Termale yerleştirilen numunelerde kükürt etkisi	88
Şekil 67. Pasinler Termale yerleştirilen SD numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması	90
Şekil 68. Pasinler Termale yerleştirilen YFC numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması	90
Şekil 69. Pasinler Termale yerleştirilen UK numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması	91
Şekil 70. Pasinler Termale ait SD numunelerinin UPV değerleri.....	92
Şekil 71. Pasinler Termale ait YFC numunelerinin UPV değerleri	93
Şekil 72. Pasinler Termale ait UK numunelerinin UPV değerleri	93
Şekil 73. Pasinler Termale ait SD katkılı numunelerin su emme değerleri.....	94
Şekil 74. Pasinler Termale ait YFC katkılı numunelerin su emme değerleri.....	95
Şekil 75. Pasinler Termale ait UK katkılı numunelerin su emme değerleri.....	95
Şekil 76. Pasinler Termalden çıkarılan SD numunelerinin K.S.E. değerleri	96
Şekil 77. Pasinler Termalden çıkarılan YFC numunelerinin K.S.E. değerleri.....	97
Şekil 78. Pasinler Termalden çıkarılan UK numunelerinin K.S.E. değerleri.....	97
Şekil 79. Pasinler Termale ait SD numunelerinin basınç dayanımları	99
Şekil 80. Pasinler Termale ait YFC numunelerinin basınç dayanımları	99
Şekil 81. Pasinler Termale ait UK numunelerinin basınç dayanımları	100
Şekil 82. Ilıca Termale yerleştirilen SD numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması	102
Şekil 83. Ilıca Termale yerleştirilen YFC numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması	103
Şekil 84. Ilıca Termale yerleştirilen UK numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması	103
Şekil 85. Ilıca Termale ait SD numunelerinin UPV değerleri.....	104
Şekil 86. Ilıca Termale ait YFC numunelerinin UPV değerleri	105
Şekil 87. Ilıca Termale ait UK numunelerinin UPV değerleri	105
Şekil 88. Pasinler Termale ait SD katkılı numunelerin su emme değerleri.....	106
Şekil 89. Pasinler Termale ait YFC katkılı numunelerin su emme değerleri.....	107
Şekil 90. Pasinler Termale ait UK katkılı numunelerin su emme değerleri.....	107

Şekil 91. Pasinler Termalden çıkarılan SD numunelerinin K.S.E. değerleri	108
Şekil 92. Pasinler Termalden çıkarılan YFC numunelerinin K.S.E. değerleri.....	109
Şekil 93. Pasinler Termalden çıkarılan UK numunelerinin K.S.E. değerleri.....	109
Şekil 94. Ilıca Termale ait SD numunelerinin basınç dayanımları	111
Şekil 95. Ilıca Termale ait YFC numunelerinin basınç dayanımları	112
Şekil 96. Ilıca Termale ait UK numunelerinin basınç dayanımları	112



KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

Al₂O₃	: Alüminyum Oksit
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
As	: Arsenik
ASR	: Alkali Silika Reaksiyonu
B	: Bor
Br⁻	: Bromür
Ca	: Kalsiyum
CaCl₂	: Kalsiyum Klorür
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Oksit
Ca(OH)₂	: Kalsiyum Hidroksit
Cl⁻	: Klor
CO₂	: Karbondioksit
EC	: Elektriksel İletkenlik
EIA	: Enerji Bilgi Yönetim İdaresi
F⁻	: Flor
Fe	: Demir
Fe₂O₃	: Demir Oksit
HCO₃⁻	: Bikarbonat
H₂S	: Hidrojen Sülfid
IC	: İyon Kromatografisi
ICP	: İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi
K	: Potasyum
Li⁺	: Lityum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Manganez
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Na⁺	: Sodyum
NaCl	: Sodyum Klorür
NH₄	: Amonyum
NO₂	: Azotdioksit

NO₃⁻	: Nitrat
PÇ	: Portland Çimentosu
PO₄³⁻	: Fosfat
SD	: Silis Dumanı
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
Si	: Silisyum
SO₄²⁻	: Sülfat
SiO₂	: Silisyum Dioksit
TDS	: Toplam Çözünmüş Madde Miktarı
TS	: Türk Standardı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UK	: Uçucu Kül
UPV	: Ultrasonik Ses Hızı
XRD	: X-Işını Difraktometresi
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu

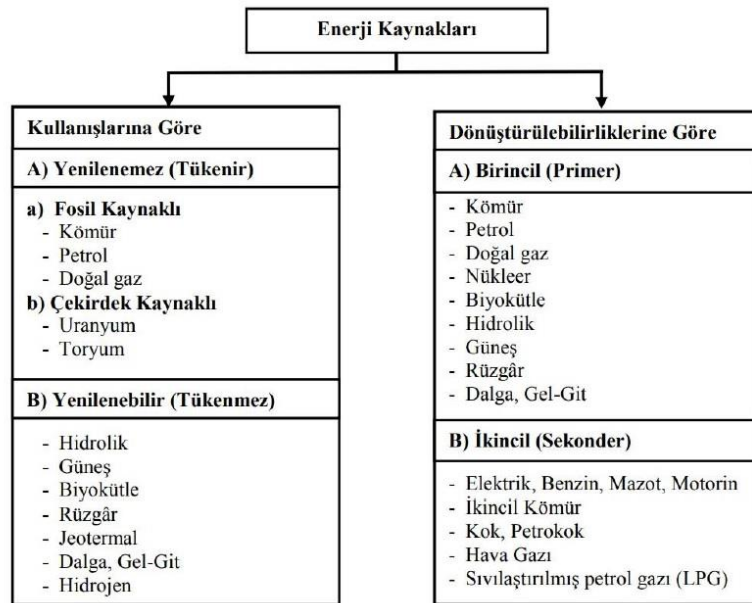
GİRİŞ

İnsanoğlunun zaman içerisinde nüfusunun giderek artması ve özellikle Sanayi Devrimi gibi sanayi alanındaki önemli gelişmelerle birlikte enerji ihtiyacı artarak devam etmiştir (Koç & Şenel, 2013). Günümüz modern hayatında hemen hemen bütün alanlarda enerji yer almaktadır.

Enerji kelimesi köken olarak eski Yunancada $\epsilon\nu$ = aktif ve $\epsilon\rho\nu\nu$ = iş kelimelerinin birleşmesi ile oluşmakta ve “iş dönüştürülebilir” anlamına geldiği söylenebilir (Kaltschmitt *et al.* 2007). Enerji kısaca “iş yapabilme yeteneği” veya “yaratılan güç” olarak tabir edilebilir.

Geçmişten günümüze bakıldığında ilk dönemlerden beri yenilenebilir kaynaklar olan kömür, petrol vs. gibi enerji kaynaklarının yanında günümüzde teknolojinin de gelişmesi ile rüzgâr, güneş, su, jeotermal gibi yenilenebilir ve dönüştürülebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır (Yağlı *et al.* 2016).

Enerji kaynakları kullanışlarına ve dönüştürülebilirliğine göre ikiye ayırmak mümkündür. Şekil 1’de verilen bilgilere göre birinci grup enerji kaynakları tükenir ve tükenmez olarak ayrılırken dönüştürülmesine göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak ayrılmaktadır (Koç & Şenel, 2013).



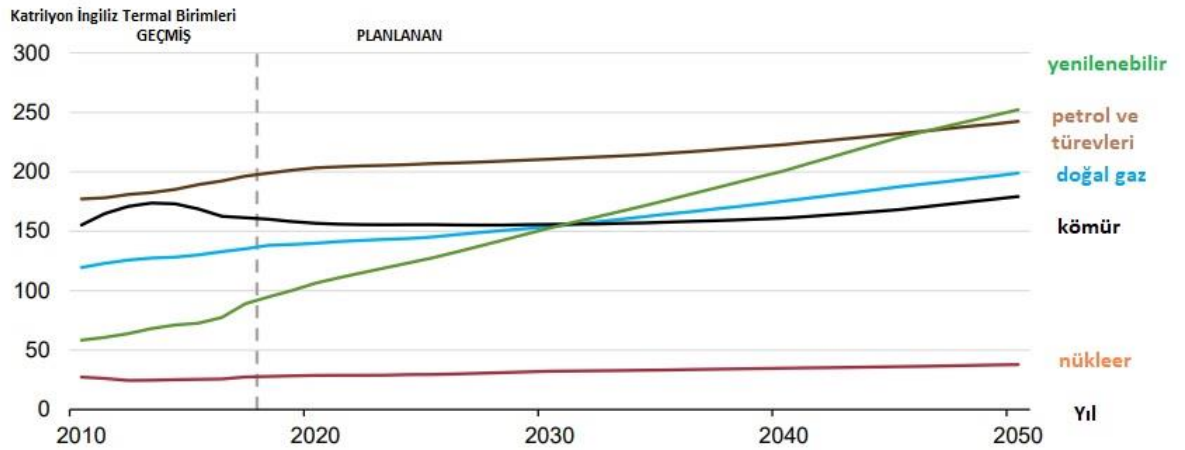
Şekil 1. Enerji kaynaklarının gruplandırılması (Koç & Şenel, 2013)

Yenilenemeyen Enerji Kaynakları, kullanıldıkça rezerv miktarı azalan, kendisini yenileyemeyen kaynaklardır. Kömür, petrol, doğalgaz, nükleer enerji yenilenemeyen

kaynaklardır. Özellikle 1800'lü yılların sonlarından itibaren hızla gelişen sanayileşme yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımının giderek artması ile beraberinde birçok çevre sorununu da ortaya çıkarmıştır (Murphy, 1980). Bu çevre sorunları; sera etkisi, iklim değişikliği ve kirlilik (hava kirliliği, su kirliliği vs.) olarak sıralanabilir.

Diğer taraftan yenilenebilir enerji ise doğada bulunan, kendi dönüşümü içinde oluşabilen ve bir sonraki gün aynı şekilde devam edebilen kaynaktır (Üstün *et al.* 2009). Hidro, rüzgar, güneş, biyokütle ve jeotermal kaynaklar yenilenebilir kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevre dostu olması ve dışa bağımlılığı azaltması en önemli avantajlarından.

Şekil 2'de EIA (Energy Information and Administration) kurumu tarafından yapılan istatistiksel çalışmalar ışığında Dünya üzerinde 2010 yılı itibari ile kullanılan enerji türü ve miktarı ve gelecek 30 yılda kullanılması planlanan enerji türü ve miktarı gösterilmiştir (EIA Annual Energy, 2019).



Şekil 2. Dünyanın toplam enerji tüketimi (EIA Annual Energy, 2019)

Şekil 2'de de görüldüğü üzere gelecek 30 yılda dünya nüfusunun artması ve yenilenemeyen kaynakların kısıtlı olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artacaktır. Bu bakımdan yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak hem ekonomik açıdan karlı bir yatırım olacak hem de sınırlı kaynakların tükenmesi açısından mecburiyet olacaktır.

Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları kullanılırken gerek bu tesislerde kullanılan malzemelerin gerekse tesislerin çevreye zararını en aza indirmek gerekir. Örneğin güneş enerji santrallerinin bulunduğu araziler periyodik ve kimyasal temizlik işlemleri toprak ve suyun kirlenmesine yol açabilmektedir (Mengi & Saner, 2015).

Jeotermal kaynaklar da yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi jeotermallerinde doğaya zararı neredeyse yoktur. Ancak bu kaynaklardan gelen su muhteviyatı ve sıcaklığı sebebi ile hem tesislerde hem taşınma esnasında beton boru gibi yapı elemanlarında aşınma ve korozyona sebebi ile tesislerin ve yapı elemanlarının sürekli deforme olmasına sebep olmaktadır. Bu da maliyetleri artırmakta, servis ömrünü kısaltmakta ve sürdürülebilir kaynaklarımızın kullanımı imkansız hale getirmektedir. Beton ve betonarme yapı elemanlarında yapılacak bilimsel çalışmalarla doğru malzemenin kullanılması ile jeotermal enerjinin kullanımı en yüksek seviyeye çıkarılabilecektir.

Amaç ve Kapsam

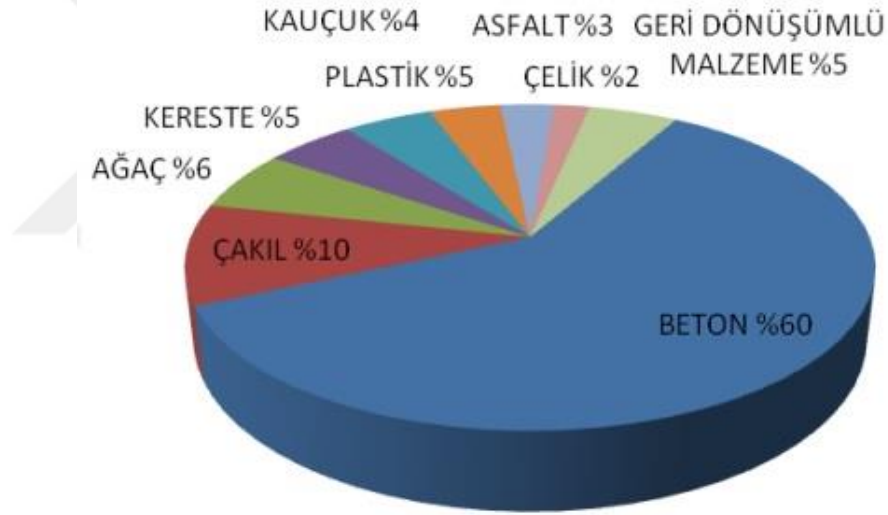
Jeotermal tesislerde bulunan kaynak sularının beton ve betonarme yapı elemanlarına etkisi üzerine dünya bilim literatüründe çeşitli çalışmalar bulunsa da bu çalışmalar yeterli değildir. Ülkemizde ise bu konuda herhangi bir çalışma ulaşılamamıştır. Diğer taraftan geçmişten günümüze kadar bilim dünyasında betonda mineral katkı kullanımı ve miktarları hakkında sürekli olarak çalışmalar yapılmaktadır. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi mineral katkıları belirli oranlarda çimento ile ikame edilerek yapılan araştırmalarda olumlu sonuçlar alındığı bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Ancak bu katkıların jeotermal kaynaklı sulara davranışı hakkında çalışma yapılmamıştır. Sonuç olarak jeotermalde hem betonun hem de mineral katkılı betonların davranışı alanında yapılan ilk araştırmadır.

Bu çalışmada mineral katkısız olarak üretilen numuneler kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. Diğer taraftan silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu olmak üzere 3 farklı mineral katkı %5, %10, %15'lik yüzdelerde kullanılarak numuneler üretilmiştir. Taze beton deneyleri olarak yayılma tablası ile kıvam deneyi yapılmıştır. Numuneler 5*5*5 cm çelik küp kalıplar kullanılarak üretilmiştir. Tüm numuneler laboratuvar ortamında 28 günlük standart kür havuzunda bekletilmiştir. Çalışmada üç farklı kaplıca tesisinin jeotermal sularının çıkmış olduğu kuyular kullanılmıştır. Havuzlara yerleştirilen numuneler 3, 6 ve 9 ay olmak üzere üçer aylık süre ile yaşlandırma yapılmıştır. Başta 28 günlük kür havuzundan çıkarılan ve üçer aylık periyotlarda çıkarılan numuneler üzerinde setleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler; basınç dayanımı, kılcal su emme, su emme, ultrasonik ses hızı (UPV), birim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 9 aylık numuneler (Laboratuvar ortamında ve tesislerden çıkarılmış olan) üzerinde ICP-MS yöntemi kullanılarak jeotermal suların numunelere kimyasal olarak etkisi araştırılmıştır. Diğer taraftan laboratuvar ortamında bekletilen numunelere de aynı deneyler aynı zaman periyotlarında yapılmıştır ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

KURAMSAL TEMELLER

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiği durumlarda katkı kullanılarak elde edilen homojen karışımlardır. Üretimi sırasında plastik kıvamda olup kullanımında şekil verilebilen ve zamanla kullanıldığı yerde sertleşerek dayanım kazanan yapı malzemesidir (Demirel & Şimşek, 2017).

Günümüzde beton, inşaat alanında vazgeçilemez yapı elemanı olmuş durumdadır. Türkiye geliştirmekte olan ülkeler sınıfında yer almaktadır ve bu durum kentleşme ve konut ihtiyacını artırmaktadır. Şekil 3'de ülkemizde bina yapımında kullanılan malzemelerin yaklaşık olarak yüzdeleri verilmiştir (Demirel & Şimşek, 2017).



Şekil 3. Bina yapımında kullanılan yaklaşık malzeme oranları (Demirel & Şimşek, 2017)

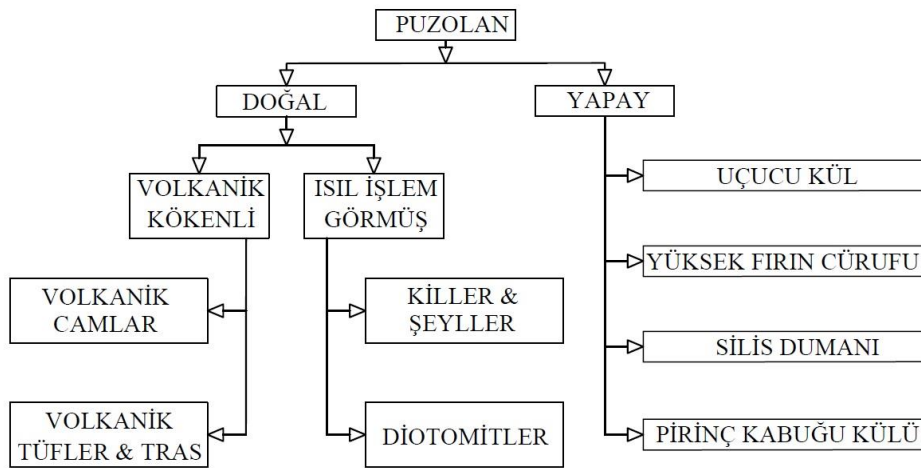
Ancak gerek ülkemiz gerekse de dünya üzerinde yaşanan depremler göstermiştir ki betonun üretiminden uygulamasına kadar her aşamada dikkatli olunmalı ve ciddi kontrol mekanizmasına sahip olunmalıdır. Yapılarda özellikle taşıyıcı olan betonarme uygulamalarında kullanılan beton, betonu oluşturan malzemeler, basınç dayanım sınıfı, çevresel şartlar ve katkıları bakımından standartlara uygun şekilde üretilmesi oldukça önemlidir (Erdoğan, 2004).

Teknolojik gelişmelerle birlikte yapılan çalışmalar sonucu servis ömrü daha uzun betonlar üretilmektedir. Bu yapılan çalışmalardan biride betonda mineral katkı kullanılmasıdır. Bu durum hem maliyeti yüksek çimentonun daha az kullanılması, betona yeni

özelliklerin kazandırılması ve endüstri yan ürünlerinin kullanılması açısından olumlu sonuçlar vermiştir. Bu çalışmada kullanılacak olan puzolan ve mineral katkıları detaylı olarak anlatılacaktır (Neville & Brooks, 1987).

Mineral Katkılar

Puzolan, tek olarak kullanıldıklarında az miktarda veya hiç bağlayıcılık özelliği olmayan ancak çimento gibi başka bir bağlayıcı malzeme ile kullanıldığında bağlayıcılık özelliği gösteren doğal veya çeşitli endüstriyel atıkların yan ürünü olan malzemelerdir (ASTM, 1958). Puzolan maddelerin kaynakları ne olursa olsun esas silistir. Puzolanlar silisyum dioksitten (SiO_2) başka alüminyum oksit (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3)'den oluşur (Tokuy, 2013). Puzolanların sınıflandırılması Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Puzolanların sınıflandırılması

Doğal puzolanlar, doğada kendiliğinden bulunur. Kısa bir ön işlem veya doğrudan öğütülerek kullanılır. TS EN 197 standardında P harfi ile gösterilir. Diğer taraftan yapay olanlar genellikle endüstriyel yan ürünlerden elde edilir (Massazza, 1989).

Bir malzemenin puzolan olup olmadığını anlamak için puzolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekir. Hem doğal hem de yapay puzolanlar için mekanik ve kimyasal deneyler yapılmaktadır. Mekanik deneyler, eğilme ve basınç dayanımı iken kimyasal deneyler reaksiyon sonucu Ca(OH)_2 'nin saptanması şeklinde olur (Massazza, 1989).

İnce öğütülmüş puzolanlardan üç farklı şekilde bağlayıcılığın faydalanılır.

- 1 – Direkt olarak (Ca(OH)_2 ile karıştırılarak)
- 2 – Çimentonun içeriğinde katkı olarak
- 3 – Betonda çimentoya ikame olarak

Puzolanların betonda kullanılmasının faydaları; çimento üretim maliyetini düşürür, betonda hidrasyon olayının daha iyi gerçekleşmesini ve betonun çatlamamasını sağlar, betonu sülfatlı sulara karşı daha dirençli hale getirir ve dolaylı olarak korozyonu engeller. Diğer taraftan zararları ise priz alma süresini uzatır, deniz sularına karşı direnci düşürür. Ayrıca puzolanlı betonların döküm sıcaklığı Portland çimentosuna göre daha yüksektir (Ün, 2007).

Puzolanların taze beton özelliklerine etkileri Tablo 1’de ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi Tablo 2’de gösterilmiştir. Bu tablolarda + işareti artar, - işareti azalır, 0 rakamı hiç veya az etkiyi, +/- ise değişebileceğini göstermektedir (Ün, 2007).

Tablo 1. Puzolanların Taze Beton Özellikleri Üzerine Etkileri (Ün, 2007)

	Uçucu Kül	Cüruf	Silis Dumanı	Doğal Puzolan
Su İhtiyacı	-	-	+	0
İşlenebilirlik	+	+	-	+
Terleme, Ayrışma	-	+/-	-	0
Hava Miktarı	-	+/-	-	0
Hidrasyon Isısı	-	-	+/-	-
Priz Süresi	+	+	0	0
Masterlama	+	+	+/-	+
Pompanabilirlik	+	+	+	+
Plastik Büzülme Çatlağı	0	0	+	0

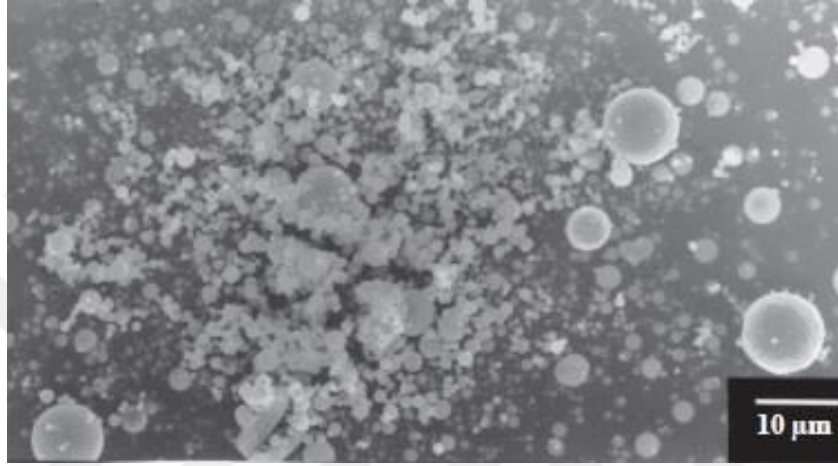
Tablo 2. Puzolanların Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerine Etkileri (Ün, 2007)

	Uçucu Kül	Cüruf	Silis Dumanı	Doğal Puzolan
Dayanım Kazanma Hızı	+/-	+/-	+	+/-
Sürtünme Dayanımı	0	0	0	0
Donma-Çözülme	0	0	0	0
Kuruma Büzülmesi, Sünme	0	0	0	0
Geçirimsizlik	-	-	-	-
ASR	-	-	-	-
Kimyasal Dayanıklılık	+	+	+	+
Karbonatlaşma	0	0	0	0
Beton Rengi	+/-	+/-	+/-	+/-

Uçucu Kül (UK)

Günümüzde konut ve sanayide doğalgazın yaygınlaşması ile birlikte özellikle düşük kalorili kömürler daha çok termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi sırasında buhar kazanlarını ısıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu kömürlerin kullanılması için yaklaşık %

80'nin 75 µm elekten geçecek şekilde öğütülmesi gerekmektedir. Bu öğütülmüş kömür ısıtılmış hava ile karıştırılarak yanma kazanına püskürtülür. Yanma işlemi sonrasında az miktarlarda çok ince ve iri kül kalıntısı ortaya çıkmaktadır. Bu miktar yakılan kömürün cinsine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin taş kömüründe % 35-40, linyit kömüründe %10-15 civarındadır. Oluşan ince taneler bacalara yerleştirilmiş olan özel filtreler aracılığıyla tutularak kül toplayıcı silolarda depolanır (Erdoğan, 2003). Ayrıca SEM ve XRD görüntüleri incelendiğinde uçucu küllerin tane çapı dağılımının çimentonunkine benzediği görülmektedir. Şekil 5'de uçucu küle ait taneler gösterilmektedir (Aİtcin & Flatt, 2015).



Şekil 5. Küresel uçucu kül taneleri (Aİtcin & Flatt, 2015)

1930'lu yıllarda elektrik enerjisinin gelişmesi ile uçucu kül (Fly Ash) terimi ortaya çıkmıştır. Sua-iam and Makul (2015)'a göre ilk deneysel çalışmalar 1937'de California Üniversitesi'nde uçucu külün betonda kullanılması şeklinde olmuştur. Sahada ilk kez kullanılması ise 1948 yılında Hungry Horse baraj yapımıdır. Tokyay (1993)'ya göre ise ülkemizde kullanımı 1960'lı yıllarda DSİ tarafından yapılan Porsuk ve Gökçekaya barajlarıdır. Bu projelerde yaklaşık elli beş bin tondan fazla uçucu kül kullanılmıştır. Ayrıca 1970'li yıllarda ise Kütahya (Tavşanlı) yol yapımında kullanılmıştır. Diğer taraftan uçucu külün çimento endüstrisi ile buluşması 1975'li yıllara denk gelmektedir. İlk denemeler Soma ve Seyitömer termik santrallerinden temin edilen uçucu küllerin Afyon ve Balıkesir çimento fabrikalarında kullanılması ile olmuştur.

Kömürün içeriği, jeolojik köken ve proses koşulları uçucu külün kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir. Uçucu kül miktarları tipine göre değişmek şartı ile SiO₂(%25-60), Fe₂O₃(%1-15), Al₂O₃(%10-30) ve CaO(%1-40) gibi bileşenlerden oluşur. TS EN 450-1 ve TS EN 450-2'de uçucu kül ve muhtevası ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Uçucu küllerin kimyasal bileşenlerine göre sınıflandırılmasında ASTM C618 ve TS EN 197-1 standartları esas alınmaktadır.

ASTM C618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıfı olarak ikiye ayrılır (ASTM, 1958);

a) F sınıfı uçucu küller, bitümlü veya taş kömüründen elde edilir. SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 toplam miktarı % 70 den fazla olan durumlar için geçerlidir. Diğer taraftan CaO miktarı % 10'dan düşük olması sebebi ile düşük kalsiyumlu uçucu küllerde denilir.

b) C sınıfı uçucu küller, yarı-bitümlü veya linyit kömüründen elde edilir. SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 toplam miktarı % 50 den fazladır. CaO miktarı % 10'unun üstündedir ve yüksek kalsiyumlu uçucu küller olarak da bilinirler. Ayrıca yarı bağlayıcılık özelliği de göstermektedirler.

TS EN 197-1 standardına göre ise "V (silissi)" ve "W (kalkersi)" olmak üzere ikiye ayrılır (TSE, 2012);

a) V sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahip olup reaktif silis oranı %25'den fazladır. Ayrıca reaktif kireç oranı (CaO) % 10'dan düşük olmalıdır.

b) W sınıfı uçucu küller, bağlayıcılık ve/veya puzolanik özellikler gösterir. Reaktif kireç miktarı % 10'dan fazladır.

Tablo 3'de mevcut ASTM C618 ve TS EN 450 standartlarına göre sınıflandırmalar ve kimyasal içerik miktarları gösterilmektedir.

Tablo 3. Uçucu Küllerin Kimyasal Bileşen Standart Değerleri (ASTM, 1958; TSE, 1998)

Bileşenler (%)	TS EN 450	ASTM C618	
		F Sınıfı	C sınıfı
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$		>70	>50
SO_3	< 3	< 5	< 5
Nemlilik		< 3	< 3
Kızdırma Kaybı	< 5	< 6	< 6
Alkaliler		< 1,5	< 1,5
Cl^-	< 0,10		
Serbest CaO	< 1		
Reaktif SiO_2	>25		

Tablo 4'de ise ülkemizde bulunan bazı termik santrallerde üretilen uçucu küllerin kimyasal içerikleri gösterilmiştir.

Tablo 4. Türkiye’de Üretilen Bazı Uçucu Küllerin Kimyasal İçerikleri (Türker *et al.* 2009)

OKSİT (%)	ÇATALAĞZI	SEYİTÖMER	YATAĞAN	TUNÇBİLEK
SiO ₂	48,43	54,559	51,5	59,06
Al ₂ O ₃	24,61	20,58	23,08	17,27
Fe ₂ O ₃	7,59	9,27	6,07	12,44
S+A+F	80,73	84,34	80,65	88,77
CaO	9,48	4,26	10,53	1,68
MgO	2,28	4,48	2,42	4,54
SO ₃	2,48	0,52	1,32	0,6
K ₂ O	2,51	2,01	2,54	1,15
Na ₂ O	0,35	0,65	0,77	0,3
K.K.	1,69	3,01	1,06	2,31

Uçucu külün mineralojik bileşimi ise kömürde bulunan mineral ve proses koşullarına göre değişmektedir. Ayrıca mineralojik bileşim, külün puzolanik özelliklerini etkilemektedir. Tablo 5’de Türkiye’deki termik santrallerden üretilen uçucu küllere ait mineralojik içerikleri gösterilmiştir (Türker *et al.* 2009).

Tablo 5. Türkiye’de Üretilen Bazı Uçucu Küllerin Mineralojik İçerikleri (Kütlece %) (Türker *et al.* 2009)

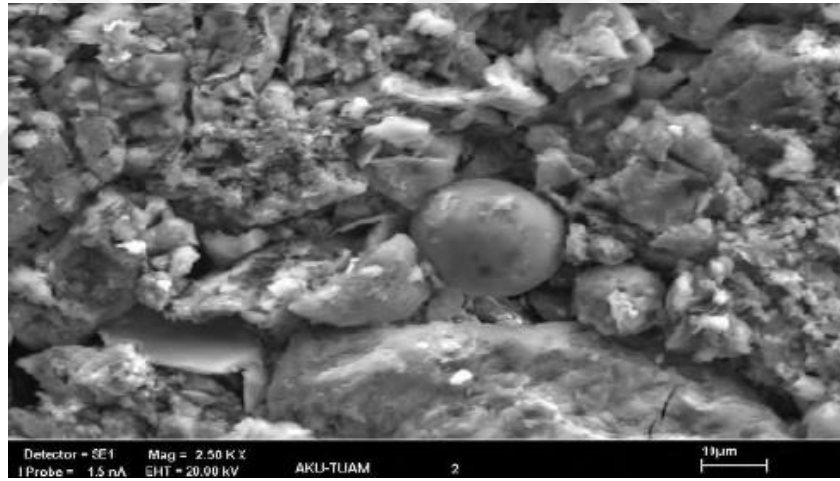
Mineral (%)	Çatalağzı	Seyitömer	Soma	Tunçbilek	Yatağan
Mullit	18,1	1,2	4,3	8,8	6,0
Kuvars	10,9	5,6	5,1	13,9	22,4
Magnetit	0,2	2,5	0,6	4,1	2,9
Hematit	0,1	6,0	2,0	3,0	7,0
Serbest CaO	0,7	5,5	9,8	0,9	1,0
Anhidrit	-	9,3	7,4	-	-

Uçucu külün rengi grinin tonları şeklinde olup koyu veya açık tonda olması yakıldığı kömüre ve yanma miktarına göre değişmektedir. Uçucu külün yapısı tanelidir. Bu tanecikler içi boşluklu veya boşluksuz, küçük camsı küresel yapıdadır. Ayrıca taneciğin inceliği yakılacak kömürün öğütülme derecesine ve filtre kalitesine göre değişmektedir. Ayrıca özgül yüzeyleri 280-380 m²/kg civarındadır (Görhan *et al.* 2009). Tablo 6’da ülkemizde üretilen uçucu küllerin dane yoğunluklarına ait bilgi verilmiştir.

Tablo 6. Türkiye’de Üretilen Bazı Uçucu Küllerin Dane Yoğunluğu (Türker *et al.* 2009)

Uçucu Kül	Dane Yoğunluğu (Mg/m ³)
Orhaneli	2,18
Yatağan	2,12
Kemerköy	2,83
Seyitömer	2,13
Çatalağzı	2,01
Çayırhan	2,36

Erdoğan (2003)’a göre uçucu külün ağırlığının yaklaşık % 5’lik miktarı nitrojen veya CO₂’tir. SEM (Scanning Electron Microscope) kullanılarak uçucu külün yapısı tespit edilmiş ve Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 6. Uçucu külün SEM ile çekilmiş içyapısı (Erdoğan, 2003)

Uçucu külün tanecik boyutu çoğunluğunda 40 µm’nin altında ve şekil olarak da küresel olması puzolanik aktiviteye olumlu etkiler yapmaktadır. Özellikle yüzeyinin pürüzsüz, ince küresel tanecikler sebebi ile büyük yüzey alanına sahip olması kireç-silikat reaksiyonlarına olumlu etki yapmakta ve hidratasyonu hızlandırmaktadır (Görhan *et al.* 2009).

Kalsiyum silikat bileşiklerinin (C₂S ve C₃S) hidratasyonu sırasında serbest kalan Ca(OH)₂, puzolanlar ile reaksiyona girmesi ve kılcal boşlukları azaltan C-S-H bağlarının oluşması sebebi ile geçirimsizlik azalmaktadır (Tokyay, 1992).

Uçucu kül katkılı betonların su ihtiyacı, kullanılan uçucu külün tane boyutuna göre değişiklik göstermektedir. Tane boyutunda incelik arttıkça su ihtiyacı da artmaktadır. Ancak

uçuşu küllerin yapısının genellikle küresel olması betonda su ihtiyacını azaltır (Schießl & Härdtl, 1989).

Uçuşu kül katkılı betonlar, kullanılan uçuşu külün içermiş olduğu CaO miktarına göre priz alma süresi artmaktadır (Erdoğan, 1996). Ayrıca CaO miktarına göre değişmekle birlikte betonda uçuşu kül kullanılması hidrasyon ısısının azalmasına sebep olmaktadır (Barrow *et al.* 1989).

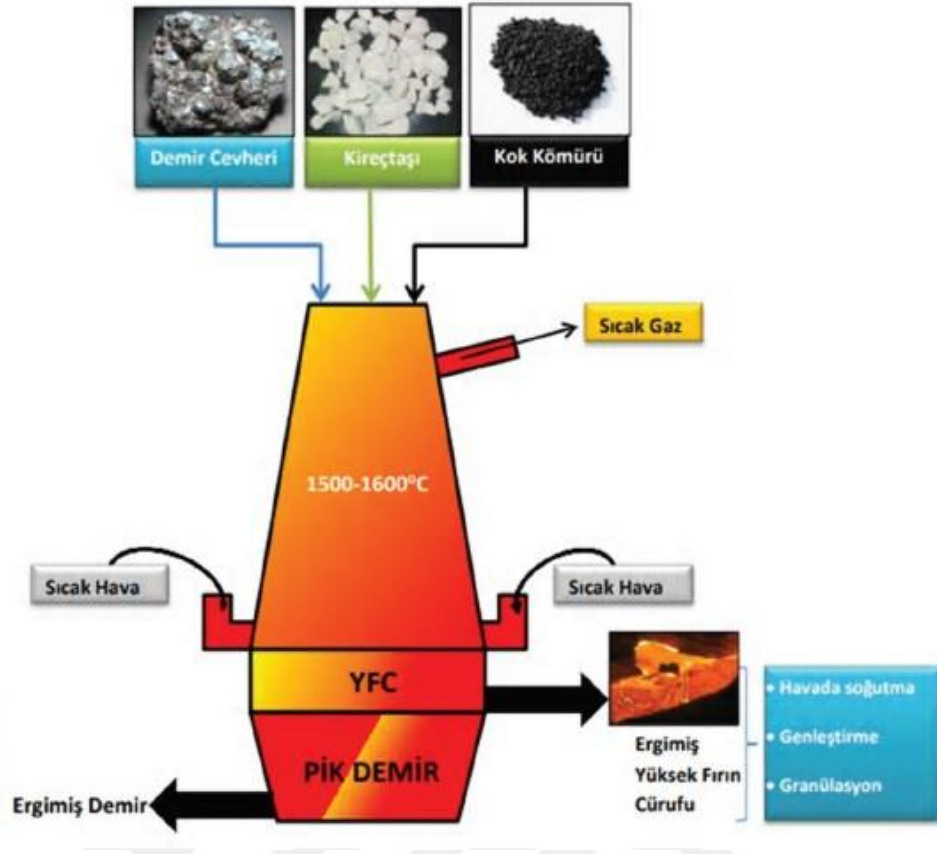
Yapılan çalışmalarda uçuşu kül ilaveli betonların ilavesiz betonlara oranla dayanım kazanma hızı yavaş olduğu görülmüştür. Ancak ileri yaş dayanım değerlerinde katkılı betonların daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir (Tuğgun, 2002).

Yüksek Fırın Cürufu (YFC)

Cürufur tarihte ilk kez Romalılar yapılarında kullanılmışlardır. Daha sonra cürufunun 1589'da top gülleri yapımında ve 1813 yılında İngiltere'de modern yolların yapımında kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca Almanya'da cürufulu çimentolar satılmış ve bazı baraj inşaatları başta olmak üzere birçok yapıda kullanılmıştır (Aßbrock *et al.* 2007; Grubeša *et al.* 2016).

1950'li yıllardan itibaren yüksek fırın cürufunun bağlayıcı özelliklerinin olduğu ispatlanmış ve dünya çapında ticari amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır. 1883'de Portland çimentosunun hammaddesi, 1892'de ise mineral katkı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Tokyay & Erdoğan, 2009).

Demir-çelik fabrikalarında üretim sırasında fırınlarda yakıt (kok kömürü), demir oksit (sinter, peletler ve maden filizi) ve akıcılık düzenleyici (dolomit, kalker) kullanılmaktadır. Bu fırınlardan iki ürün elde edilir. Birincisi fırının alt kısmında biriken erimiş haldeki demir, ikincisi ise erimiş demir üzerinde yüzen ve sıvı haldeki fırın cürufudur (Tokyay & Erdoğan, 2009). Şekil 7'de yüksek fırın cürufuna ait üretim şeması gösterilmektedir.



Şekil 7. Yüksek fırın cürufu üretim mekanizması (Erdoğan, 2004)

Yüksek fırın cürufunun soğutma işlemlerinde takip edilen yol cürufun tipini belirlemektedir. Birinci olarak havada soğutma denilen atmosferik koşullarda havada yavaş bir şekilde soğutulursa mineralojik olarak iri kristalli bir malzeme oluşur ve bu beton ve asfalt agregası olarak kullanmak mümkündür. İkinci yöntem ise su, basınçlı hava ve buhar yardımı ile soğutmaktır ve genleştirme denir. Bu yöntemde sonuç olarak gözenekli, iri kristal taneli, hafif bir malzeme oluşur. Üçüncü olarak granülasyon ise genişlemeye oranla daha fazla su ile ani soğutma yapılır ve kuma benzer camsı yapıda bir ürün oluşur. Bu ürünün değirmenlerde öğütülmesi ile “öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu” elde edilir (Tokyay & Erdoğan, 2009). Bu ürünlere ait görseller Şekil 8’de gösterilmiştir.



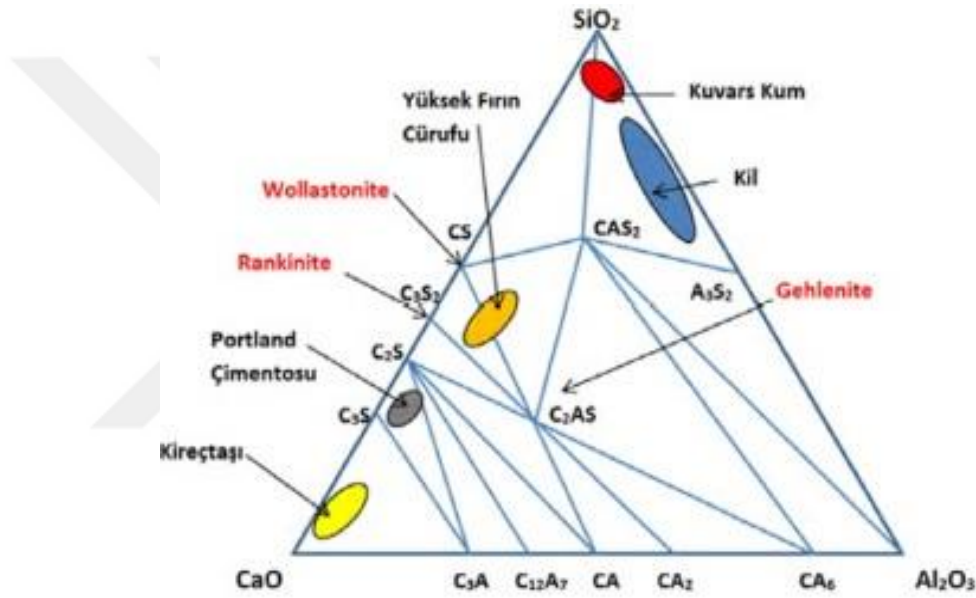
Şekil 8. Yüksek fırın cüruf tiplerine ait örnekler (Çimento, 2020)

Yüksek fırın cürufu ile üretilmiş betonlar, ortamın nem ve sıcaklığı, cüruf yüzdesi, çimento ve cürufun kimyasal içeriğine bağlı olarak hidrasyon hızı daha yavaş ilerlemektedir. Bu yüzden cürüflü betonların kür süresi uzun olması gerekir. Ayrıca yapılan çalışmalarda

cüruf katkılı betonların işlenebilirlik, basınç dayanımı, korozyona karşı dayanıklılık, geçirgenlik ve kalıcılık konusunda betonun özelliklerini geliştirmektedir (Bilim & Atış, 2011).

Yüksek fırın cürufu TS EN 197-1 standardına göre Portland çimentosunda katkı maddesi olarak kullanılabilir. TS EN 15167-1'e göre ise çimento ile birlikte mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir.

Yüksek fırın cürufu içeriğinde bulunan C_4AF bileşeninden dolayı Portland çimentosundan daha açıktır. Demir cevherinin muhtevasına bağlı olarak kimyasal içerik de değişebilir. Genelde PÇ'ye göre daha az oranda CaO ve daha fazla oranda Al_2O_3 ve SiO_2 içerir. Şekil 9'da yüksek fırın cürufu ve Portland çimentosu ana bileşenleri olan CaO- SiO_2 - Al_2O_3 diyagramda üçlü olarak gösterilmiştir (Çimento, 2020).



Şekil 9. PÇ ve YFC ana bileşenleri (Çimento, 2020)

Tablo 7'de ise farklı ülkelerdeki yüksek fırın cürufularının kimyasal analiz raporları gösterilmiştir.

Tablo 7. Bazı Ülkelere Ait Yüksek Fırın Cürufu Kimyasal Bileşimleri (Onat, 1998)

Bileşen (%)	ABD ve Kanada	Güney Afrika	Avustralya	Türkiye	Portland Çimentosu
CaO	29-50	30-40	38-44	34-41	60-67
SiO ₂	30-40	30-36	33-37	34-36	17-25
Al ₂ O ₃	7-18	9-16	15-18	13-19	3-8
Fe ₂ O ₃	0,1-1,5	-	0-0,7	0,3-2,5	0,5-6
MgO	0-19	8-21	1-3	3,5-7	0,1-4
MnO	0,2-1,5	-	0,3-1,5	1-2,5	-
S	0,2	1-1,6	0,6-0,8	1-2	-
SO ₃	-	-	-	-	1-3

Yüksek fırın cürufunun muhtevasında bulunan alkaliler, camsı fazda bağlıdırlar. Portland çimentosundaki alkalilere nispeten hız olarak daha yavaş açığa çıkarlar. OH⁻ iyonunun etkisi, cürufun aktivitesi ve alkali miktarına göre değişiklik gösterir. Yüksek fırın cürufunun miktarca yüzdesi arttıkça OH⁻ iyonunun konsantrasyonu azalmaktadır (Hobbs, 1982).

Yüksek fırın cürufunun kimyasal yapısı sebebi ile erken dayanım düşüktür. Ancak özellikle 28 gün sonrası basınç dayanımında ciddi artışlar görülmektedir. Ayrıca Portland çimentosunda hızlı reaksiyona ve çok ısı açığa çıkmasına sebep olan C₃A fazı yüksek fırın cürufunda düşüktür. Bundan dolayı yüksek fırın cürufu terlemeyi ve hidrasyon ısısını azaltır ve priz süresini geciktirir (Saran, 2007).

Yüksek fırın cürufunda C₃A fazının düşük olması ve cürufun geç etkileşime girmesi erken yaş dayanımında bir miktar düşük olmasına sebep olur. Yapılan laboratuvar çalışmaları sonunda ileri yaş dayanım değerlerinde daha iyi sonuçlar alındığı görülmüştür (Yazıcı, 2006).

Yüksek fırın cürufu katkılı betonlarda oluşan reaksiyonları iki aşamada gerçekleşir. İlk aşamada dayanım kazandırmada önemli etkisi olan C-S-H jeli oluşumu yüksek miktarda gerçekleşir. İkinci aşamada ise Ca(OH)₂ ve etrenjit miktarı daha az oluşur. Bu sebeple daha küçük ve daha az boşluklu bir yapı oluşmasını sağlar. Böylelikle geçirimsiz bir yapının oluşmasını sağlar. Ayrıca cürufun yapısında sülfat iyonları ile tepkimeye giren C₃A fazının az olması sebebi ile sülfata karşı direnç daha yüksektir (Tokyay, 2013).

Silis Dumanı (SD)

Yüksek saflıktaki kuvars, elektrik fırınlarında 2000 °C civarı sıcaklıkta kömür ile indirgeme işlemi sırasında büyük bir miktar SiO içeren gaz oluşur. Fırının nispeten soğuk bölümlerinde havadaki oksijen ile hızlıca soğuması sonucunda camsı SiO₂ parçacıkları oluşur. Bu parçacıkların fiber filtrelerden geçirilip yoğunlaşması ile silis dumanı parçacıkları elde edilir. Bu parçacıklara ayrıca mikrosilis, silis tozu ve silika fümeye şeklinde adlandırılmaktadır (Yeğinobalı & Dumanı, 2007). Ayrıca Şekil 10'da ferrosilisyum üretim şeması gösterilmiştir.

Silis dumanının neredeyse tamamı amorf silisten oluşmakta olup en az % 85 oranında SiO₂ içermektedir. Tablo 8’de çeşitli ülkelerde üretilen silis dumanına ait kimyasal bileşimleri hakkında bilgi verilmiştir (Şimşek, 2007).

Tablo 8. Çeşitli Ülkelerdeki Silis Dumanlarının Kimyasal Bileşimleri (Şimşek, 2007)

Bileşen (%)	ABD	Kanada	Norveç	Türkiye
SiO ₂	90,0-93,0	89-,0-95,0	90,0-96,0	93,0-95,0
Al ₂ O ₃	0,5-1,6	0,1-0,7	0,5-3,0	0,4-1,4
Fe ₂ O ₃	0,4-0,7	0,1-3,1	0,2-0,8	0,4-1,0
CaO	0,5-0,8	0,1-1,0	0,1-0,5	0,6-1,0
MgO	0,3-0,5	0,3-1,0	0,5-1,5	1,0-1,5
Na ₂ O	0,1-0,3	0,1-0,2	0,2-0,7	0,1-0,4
K ₂ O	1,0-1,2	0,5-1,4	0,4-1,0	0,5-1,0
SO ₃	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,4	0,1-0,3
C	1,3-2,6	2,1-4,2	0,5-1,4	0,8-1,0
Kızdırma Kaybı	1,4-2,8	2,3-4,4	0,7-2,5	0,5-1,0

Silis dumanının taze beton özellikleri üzerine etkilerine bakıldığı zaman özgül yüzeyinin yüksek olması sebebi ile tanelerin yüzeylerinin ısıtılması için gerekli su miktarında artma olur. Bu su ihtiyacını akışkanlaştırıcı kullanılarak giderilmesi gerekmektedir. Geniş özgül yüzey içermesinin diğer bir avantajı ise alkalileri bağlayarak boşluk çözeltisinin alkalilik derecesini düşürmesidir. Böylelikle ASR oluşma riskini düşürür.

Silis dumanı, betonunda kohezyonunun yüksek olması sebebi ile betonun kohezyonunu daha fazla artırır. Sonuç olarak, oluşan yapışkanlık sebebi ile taze betonun işlenebilirliği azalmakta ve bir takım zorluklar görülmektedir. Ancak diğer bir avantajı ise yapışkanlığın artmasından dolayı ayrışma riskini düşürür.

Silis dumanının özgül yüzeyinin geniş olması sebebi ile beton içerisindeki serbest su bağlanarak filler etkisi oluşturur ve terlemenin azalmasına sebep olur. Terlemenin azalması ile rötre oluşma olasılığını azaltmış olur. Ayrıca betonun su kusmasını azaltmış olur.

Silis dumanının puzolanik olarak yüksek etkisi olması ve çok ince tanelere sahip olması sebebi ile betonun içyapısının daha sıkı ve boşluksuz olmasını sağlayarak silis dumanı katkılı betonların basınç dayanımının yüksek olmasına sebep olur.

İçermiş olduğu aktif silis sebebi ile hidrasyon sırasında kalsiyum hidroksiti (Ca(OH)₂) bağlayarak betonun durabilitesini artırır.

Betonda katkı olarak kullanılan silis dumanının boşluk yapısını inceltmesi ve daha sıkı bir içyapı oluşturması sebebi ile katkılı betonlar katkısız betonlara göre geçirimsizlik oranı daha düşüktür. Ayrıca geçirimsizliği azalttığı için birçok kalıcılık problemini de engellediği söylenebilir (Ramyar *et al.* 2002; Tokyay, 2016).

Kalıcılık

Yapıların ve yapılarda kullanılan malzemelerin işlevlerini kaybetmeden uzun yıllar boyunca kullanılabilmesine kalıcılık, dayanıklılık veya durabilite denir (Şimşek, 2007).

Betonarme yapılar projelendirilirken servis ömürleri önemli bir kriterdir. Bir yapının hem servis ömrünün uzun olması hem de bu servis ömrü boyunca bakım gerektirmeden işlevini yerine getirmesi oldukça önemlidir (Mather, 2004).

Bir yapının kalıcı olması doğru projelendirilmesinin yanında doğru malzeme seçimine, detaylara, işçilik kalitesine, denetime ve bakım işlemlerine bağlıdır. Bu sebeple bir yapı dizayn edilirken önemli bozulmalar, bunların nedenleri ve etkileyen faktörlere dikkat edilmelidir. Betonun içerisinde veya yakın çevresinde sıcaklık, nem, kimyasal maddelerin bulunması ve bunların beton ile etkileşime girmesi önemli bir faktördür (Baradan *et al.* 2010). Bir başka ifade ile betonun dayanıklılığı, ortamda bulunduğu hava koşullarından, maruz kalmış olduğu suda bulunan sülfat ve asitlerden, ortamda betonu yıpratabilecek kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında betonun göstermiş olduğu direnme kabiliyeti olarak da tanımlanabilir (Erdoğan, 2003).

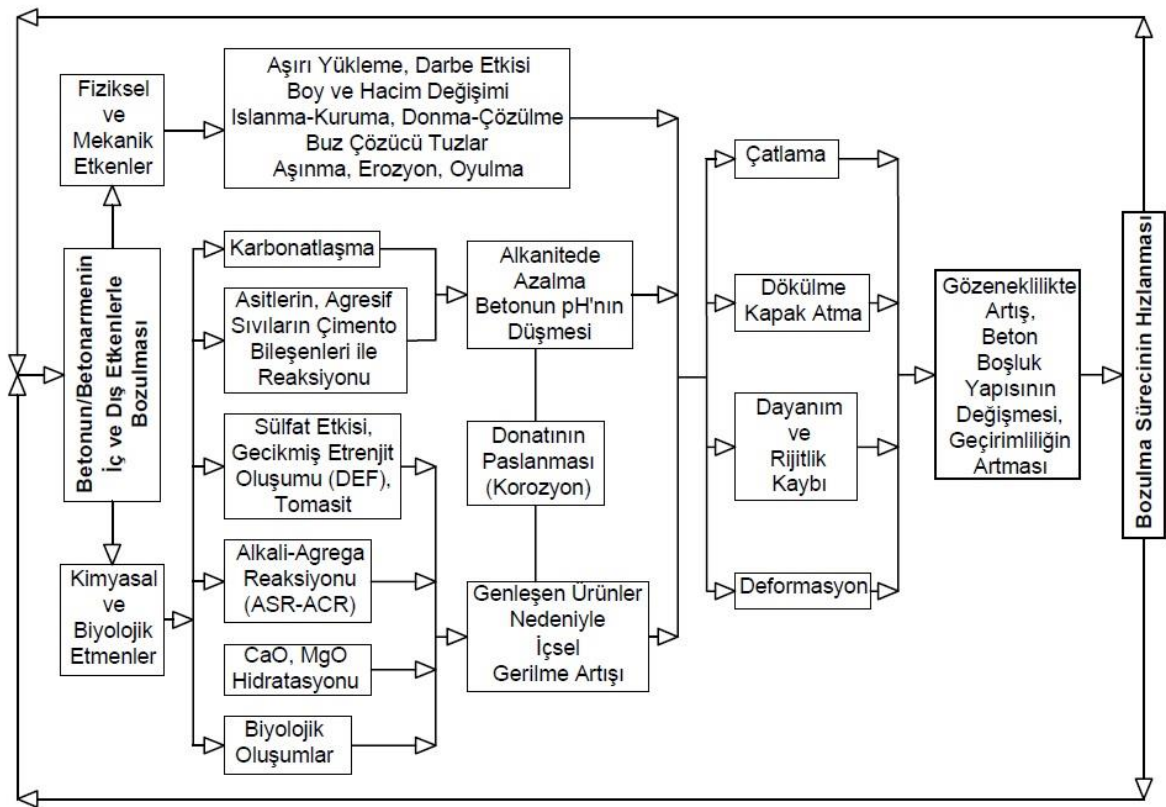
Yapılarda kullanılan betonun içeriği, üretimi, kullanımı ve ortam koşullarının gerektirdiği önlemlerin alınmaması durumunda kalıcılık sorunları ortaya çıkabilir (Baradan & Aydın, 2013). Ülkemizde ve gelişmiş birçok ülkede öngörülemeyen kalıcılık sorunları sebebi ile birçok yapı hizmet dışı kalmakta veya bakım ücretleri yüksek maliyetleri bulmaktadır. Bu binaların yıkılarak yeniden yapılması veya bakım maliyetleri inşaat faaliyetlerinin %40'ını oluşturur (Mather, 2004). Avrupa ve Amerika'da çok sayıda köprü ve sanat yapısı önemli kalıcılık sorunları yaşamış ve yaşamaya devam etmektedir. Ülkemizde de özellikle Marmara depremi başta olmak üzere son zamanlarda yaşanan depremlerde görüldüğü üzere yıkılan binalarda donatı korozyonu sorunu olduğu ve yapılara ciddi zararlar verdiği görülmüştür.

Beton ve betonarme yapı elemanların bozulmasına çeşitli iç veya dış etkenler neden olur. Üretilen betonun boşluksuz ve geçirimsiz olması kalıcılık açısından oldukça önemlidir (Neville & Brooks, 1987). Betonun fazla miktarda boşluğunun olması ve bu boşlukların birbiri ile olan bağlantısının artması sonucunda su ve çeşitli zararlı maddeler betonun içine girmesi ve taşınması kolaylaşır. Bu durum betonun zarar görmesini kolaylaştırır. Bu sebeple

betonun servis ömrünün uzatılabilmesi için betonun boşluk miktarı azaltılmalıdır. Uygun özellikte ve miktarda puzolanik malzeme kullanarak boşluklar azaltılabilir. Puzolanik reaksiyon sonucu ortaya kalsiyum silikat oluşur ve bu betonun boşluk yapısını değiştirmektedir (Şengül *et al.* 2008).

Bu bakımdan betonun boşluksuz ve geçirimsiz olmasında katkı kullanılmaktadır. Özellikle mineral katkıları başta olmak üzere bu konuda çalışmalar her geçen gün artarak devam etmektedir. Tokyay (2016) mineral katkıları üzerine yapmış olduğu çalışmada silis dumanını çimentoya ikame olarak kullanmıştır. Sonuç olarak silis dumanı betonun yapısını incelttiği ve daha sıkı bir içyapı oluşturması ile katkısız betonlara oranla geçirimsizliği azalttığını tespit edilmiştir.

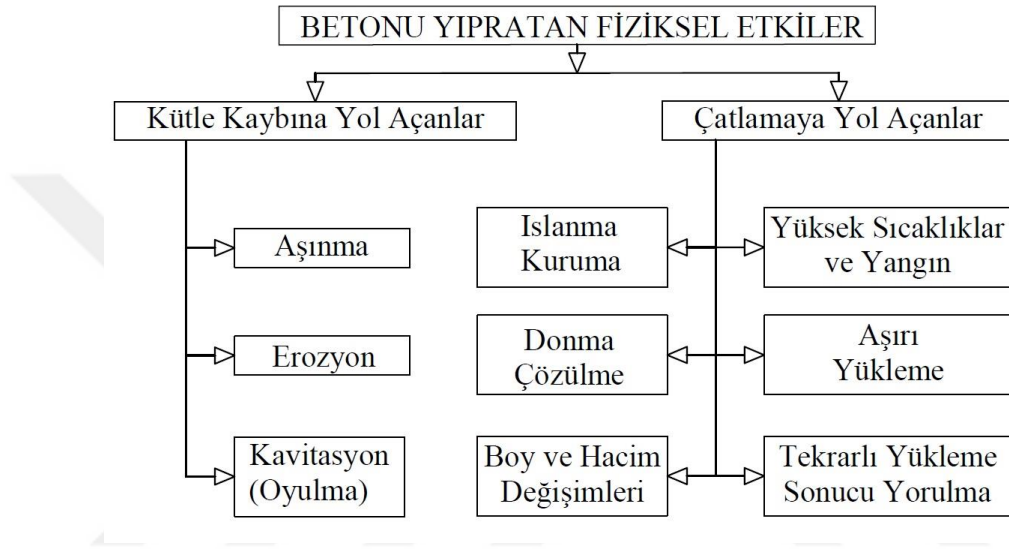
Betonun bozulması tek bir nedenle olabileceği gibi birkaç etkenin bir arada veya peş peşe olması sonucu olabilir. Şekil 11’de beton veya betonarme elemanlarının bozulmasına yol açan etkenler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 11. Beton ve betonarme yapıların iç ve dış etkenlerle bozulması

Fiziksel etkenler

Betonu yıpratın fiziksel etkileri iki gruba ayırabiliriz. Birinci grup etkilerin sonucu olarak kütle kaybına yol açarken ikinci grup etkilerin sonuçları çatlamaya sebep olur. Şekil 12’de betonun yıpranmasına sebep olan etkiler tablo şeklinde gösterilmiştir. Bir yapıda beton veya betonarme yapı elemanı her zaman tek bir etkiye maruz kalmayabilir ve birden çok etkiye maruz kalabilir ve bir etki bir diğersinin gelişimini hızlandırabilir. Örneğin, donma-çözülme veya aşırı yükleme gibi fiziksel etkiye maruz kalmış bir beton, kimyasal nedenlerle bozulmaya daha elverişli hale gelebilir (Baradan *et al.* 2010).



Şekil 12. Betonun fiziksel nedenlerle bozulması

Döşeme, zemin betonu, basamak, yol betonu gibi beton yüzeylerin kuru sürtünme etkisi ile zamanla giderek artın kütle kaybına abrasif aşınma denir. Aşınma bir süreç içerisinde yavaş ilerlemekte olup fiziksel bir bozulmadır. Araç ve yaya trafiği iş makinesi veya ağır cisimlerin sürüklenmesi gibi etkenler aşındırıcı etki oluşturabilir (Baradan & Aydın, 2013).

Erozyon ise özellikle içerisinde askıda madde bulunan sıvıların yüksek hızda (<1,8 m/s) akarak yüzeyi çizmesi ve betonun yüzeyini aşındırmasıdır. Ayrıca sıvının içerisinde askıda madde olması erozyon etkisini artırabilir. Beton borularda ve su yapılarında görülmektedir. Su yapılarında görülen diğers bir aşınma türü kavitasyondur. Özellikle yüzey geometrisinde değişiklik olan dik açılı yüzeylerde oyulma şeklinde görülür (Baradan *et al.* 2010).

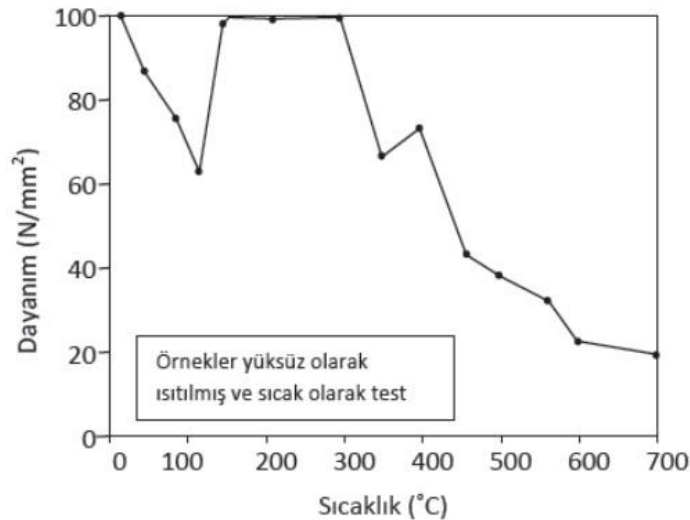
Donma-çözülme, soğuk iklimlerde betonda en sık görülen kalıcılık problemlerinden biridir. Ortam sıcaklığının 0 °C’nin altına inmesi ile betonun içerisinde kapiler boşluklara hapsedilmiş olan su donmaya başlar ve buza dönüşen suyun hacmi yaklaşık %9-10 oranında artma olur (Nergiz, 2007). İslanma nedeniyle suya doymuş duruma gelen betonun özellikle

donma ve çözülme olayının periyodik olarak tekrarlanması ile ciddi çatlama, kabuk atma, ufalanmalara sebep olur (Paşa, 2018). Ayrıca kış günlerinde yollarda buz çözmek için NaCl ve CaCl₂ gibi tuz ve (NH₂CO.NH₂) gibi üre kullanılmaktadır. Özellikle tuzlar düşük yoğunluklarda bile zararlı olmaktadır. Donatının paslanması ve sanat yapılarındaki betonarme yapı elemanlarında hasarlar görülebilir (Neville & Brooks, 1987). Tavasoli et al. (2018) yüksek fırın cürufu katkısı kullanarak yaptığı çalışmada, cüruf çimentonun ağırlıkça %0, %30, %50, %65 ve %80 oranında kullanılarak bu karışımların donma-çözülme karşı performansları karşılaştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığı zaman %50 oranından yüksek numunelerde donma-çözülme direncinin giderek düştüğü ve %80 oranındaki cüruf içeren numunelerde en düşük donma-çözülme direnci olduğu saptanmıştır.

Beton yanıcılık açısından hiç yanmaz sınıf olan A1 grubundadır. Bu malzeme yanmamasına rağmen elastisite modülündeki azalmalar ve içyapısındaki değişimler gibi hasarlar ortaya çıkabilir (Akman, 2001). Ayrıca beton, yanmayan bir madde olması, belirli süreler içinde zarar görmemesi ve yangın sırasında zehirli gazlar çıkarmaması sebebi ile yangın direnci yüksek bir malzemedir (Neville & Brooks, 1987). Bu konuda iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunlardan birincisi sıcaklık derecesi diğeri ise malzemenin bu sıcaklığa maruz kalma süresidir (Baradan et al. 2010).

Yüksek sıcaklığa maruz kalmış bir betonun dış yüzeyinde ayrışma ve kabuk şeklinde dökülmeler olduğu görülür. Betonarme yapılarda ise paspayı oldukça önemlidir. Çünkü paspayı miktarının kısa bırakıldığı veya bazı durumlarda donatının betonun dışında kaldığı durumlarda çeliğin ısıyı çok iyi iletmediği etkisi de düşünüldüğünde hasarın boyutları daha fazladır (Baradan & Aydın, 2013).

Şekil 13'de yüksek sıcaklığın çimento hamurunun mekanik özellikleri üzerinde etkisi gösterilmiştir.



Şekil 13. Çimento hamurunun basınç dayanımı-sıcaklık değişimi (Baradan & Aydın, 2013)

Baradan and Aydın (2013) yaptıkları sıcaklığın beton üzerine etkisi konusundaki çalışmada, 50-120 °C sıcaklık değerinde betonda ilk olarak mukavemet düşüşü tespit etmişlerdir. Bunun sebebi bağların zayıflanması olarak görülmüştür. 300 °C'nin üstündeki bir değerde ise C-S-H ve birtakım kimyasal bağların bozulması ile çatlama başlamaktadır. 400-600 °C aralığında ise bu bağların parçalanması gerçekleşir. Yangın söndürme işlemi sırasında kullanılan su sebebi ile CaO'ı tekrar Ca(OH)₂'e dönüşerek hacimde büyüme gerçekleşir. Bu da bazı çatlamalara sebep olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan akademik çalışmalar genellikle bu bölümde de anlatılan yüksek sıcaklığın beton ve betonarme yapı elemanlarına etkisi üzerinedir. Beton birçok durumda sıcak suya maruz kalmaktadır ancak bu konuda çalışmalar yetersizdir. Jeotermal kaynaklı veya normal sıcak sular ile ilgili çalışmalar daha çok beton üretildikten sonraki 28 günlük kürlenme sırasında maruz kalması ile alakalıdır. Kurbetci (1993)'de beton basınç dayanımının sonuçları için 28 günlük kür dönemini beklememek ve bu süreyi kısaltmak için kürlenmeyi sıcak su ile yapmıştır. Birinci tip numuneler laboratuvar ortamında toplam 24 saat boyunca 43 °C'de su kullanmıştır. İkinci tip numunelerde ise değiştirilmiş sıcak su yöntemi ile hızlandırılmış dayanım değerlerine bakılmıştır. Sonuç olarak sıcak su kullanılan betonlarda 28 günlük standart basınç dayanımının belirlenmesinde yaklaşık %25 iyileştirdiği saptanmıştır.

Taze betonun kürlenme işlemi için jeotermal kaynaklı sularda kullanılmış ve etkileri araştırılmıştır. Lee et al. (2013) tünel çalışmasında kullanılacak olan püskürtme beton ve beton numunelerinin laboratuvar ortamında kürlenmesini kaplıca suyunda yapmış ve mukavemet gelişimini incelemiştir. 40 °C sıcaklığa sahip zayıf kaplıca suyu beton ve püskürtme betonun mukavemetini olumsuz etkilememiş erken yaş (aksine özellikle 28-91 günlük) mukavemet değerini olumlu etkilemiştir.

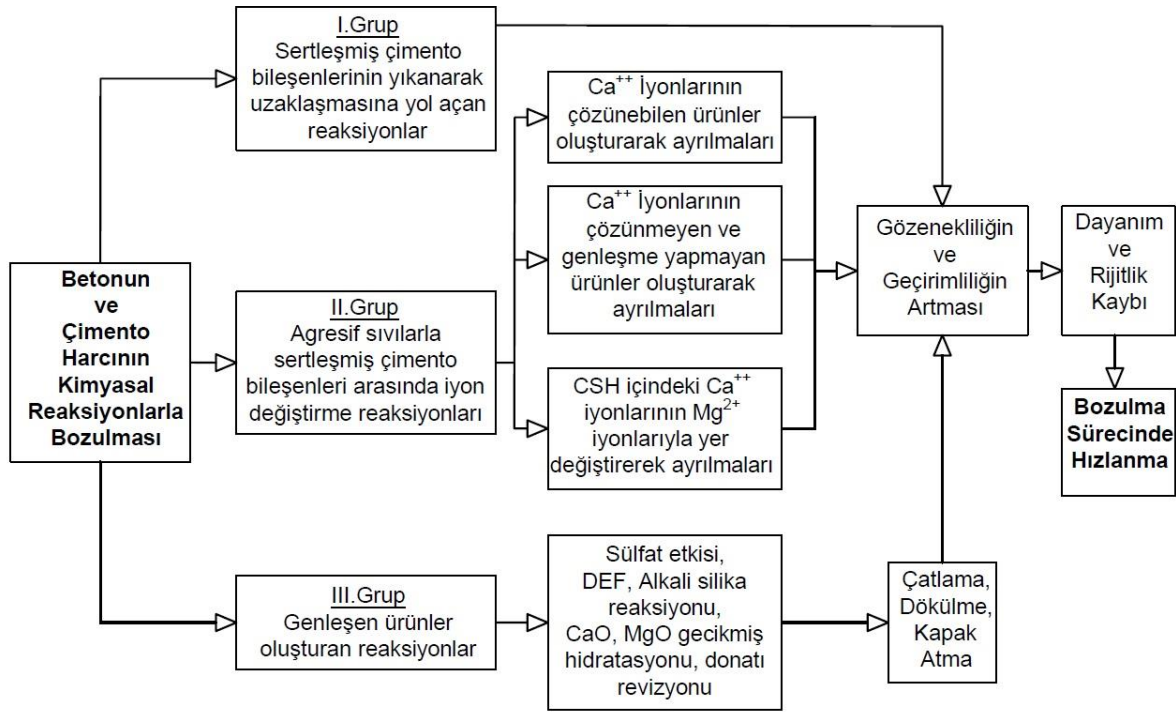
Kimyasal etkenler

Betonun kimyasal etkilerle bozulmasında en önemli etken betonun geçirimsizliğidir. Çünkü beton geçirimsizliği arttıkça betona zarar verebilecek maddelerin betona etkisi artmaktadır. Betonda yaşanabilecek kimyasal reaksiyonlarda diğer önemli etken sıcaklıktır. Bunun sebebi sıcaklık iyon ve moleküllerin hareketliliğini artırarak reaksiyon hızını artırmasıdır (Mehta & Monteiro, 2017).

Betona etki eden kimyasal etken tek başına olabileceği gibi birden fazla etkende olabilir ve bu etkenler arasında biyolojik etkenlerde bulunabilir. Bu etkilerin biri veya birden fazlasının etkisi ile betonda geçirimsizlik ve gözeneklerin artması, çatlama, dökülmesi, kapak atması yumuşaması, dayanım ve rijitlik kaybı gibi bozulmalar görülebilir (Baradan *et al.*

2010). Ayrıca sülfat, asit ve alkali saldırılar betonun en çok maruz kaldığı kimyasal etkilerdir. Deniz suyu, akarsuların denize döküldüğü ağzlardaki deniz suyu ve acı sular, bataklık suyu, yeraltı ve diğer zemin suları, atık su ve tuzlu sular önemli kimyasal ve fiziksel etkileri olan saldırı kaynaklarıdır (TS 3440, 2014).

Şekil 14’da betonda gelişebilecek kimyasal etki mekanizmaları toplu bir şekilde gösterilmiştir.



Şekil 14. Betonun bozulmasına yol açan kimyasal reaksiyon türleri

Birinci grup reaksiyonlarda düşük sertlikteki sular betonda bulunan çimentonun hidrate bileşenlerini çözerek bunların betondan uzaklaşması şeklinde gelişir.

İkinci grup reaksiyonlarda ise çimento bileşenlerinin çözülmesine sebep olan kimyasal agresif sıvılardır. Çözünmüş olan bileşenler iki yolla betondan uzaklaştırılır. Bu yollardan birincisi yıkanarak diğeri ise suda çözünmeyen bir yapı oluşturmak şeklindedir.

Üçüncü grup reaksiyonlar ise reaksiyon sonucu oluşan ürünlerin genişleyerek betona hasar vermesidir. Bu tip örnekler; “sülfat etkisi, MgO ve CaO gibi bileşenlerin hidratasyonu, ASR (Alkali silika reaksiyonu), betonarme yapıdaki çelik donatının korozyona uğraması” gibidir (Baradan *et al.* 2010; Mehta & Monteiro, 2017). Bu kimyasal reaksiyonlar ayrıntılı bir şekilde aşağıda verilmiştir.

- **Sertleşmiş Çimento Bileşenlerinin Hidrolizi ve Yıkınması**

C-S-H, Ca(OH)₂, CAH gibi nispeten az çözünen kalsiyum hidratlar hidrate çimentonun katı fazını oluşturur. Beton Na⁺, K⁺ ve (OH)⁻ iyonlarından dolayı pH değeri 12.5-

13.5 arasındadır ve bu durumdan dolayı kalsiyum hidratları kararlı yapıdadır. Betonun yapısının bazik olması dolayısı ile asidik ortam ile karşılaştığında kimyasal kararlılığını kaybeder. Asidik değerli sular çimentonun hidrate bileşenlerinin çözünmesine sebep olur ve bu durum asidik karaktere sahip birçok su ve endüstriyel atık betona zarar verebilir. Bu bakımdan betonun maruz kaldığı sıvının pH değeri ve betonun geçirimsizliği oldukça önemlidir. Eğer sıvının pH değeri yüksek ve betonda geçirimsiz ise bu reaksiyon çok yavaş ilerler ve ihmal edilebilir seviyelerde kabul edilir. Bu reaksiyonlara sülfat ve klor iyonları içeren yeraltı suları, deniz suyu, serbest CO₂ veya H⁺ iyonu içeren sular, endüstriyel atıklar sebep olur (Yeğinobalı, 1999). Ayrıca sertliğine bağlı olmak şartı ile “yeraltı, nehir ve göl suları, erimiş kar suyu, yağmur suyu” gibi saf sular çimento hamurunun içindeki kalsiyumlu bileşenlerin çözülmesine neden olur. Sürekli olarak maruz kalması durumunda kalsiyum hidroksit tamamen çözünerek hamur dışına atılabilir ve çözünme sırası C-S-H jellerinde başlar. Betonda kirecin azalması dayanım kaybına ve geçirimsizlik artışına sebep olur. Ayrıca betondan çıkan kalsiyum hidroksit havada bulunan CO₂ ile reaksiyona girerek CaCO₃ oluşmasına sebep olur ve çiçeklenme denilen beyaz kabuk ve toz şeklinde görüntü oluşur (Baradan & Aydın, 2013).



Bazı kaynaklarda “Beton Kanseri” şeklinde de geçen karbonatlaşma olayının betona bir takım faydaları ve zararları vardır.

Birinci faydası karbonatlaşma olayı sonunda bir miktar serbest su ortaya çıkmaktadır. Bu su, çimentoda yer alan hidratasyona yardımcı olarak beton dayanımında çok azda olsa artışa sebep olur. Diğer bir faydası ise karbonatlaşma sonucu oluşmuş olan CaCO₃ beton içerisinde bulunan boşluklarda çöker ve porozitenin azalmasına sebep olur. Bu nedenle karbonatlaşma betonun bir miktar geçirimsiz olmasını ve betonun dayanımının artmasına sebep olur.

Betonda oluşturmuş olduğu zararlar daha fazladır. Bunlardan birincisi karbonatlaşma olayı sonucu sertleşmiş çimento hamuru büzülür ve betonda çatlaklara sebep olur. Ayrıca betonda kalsiyum hidroksit çözünür ve betonun alkali seviyesinin düşmesine sebep olur (Yalçın & Koç, 2004).

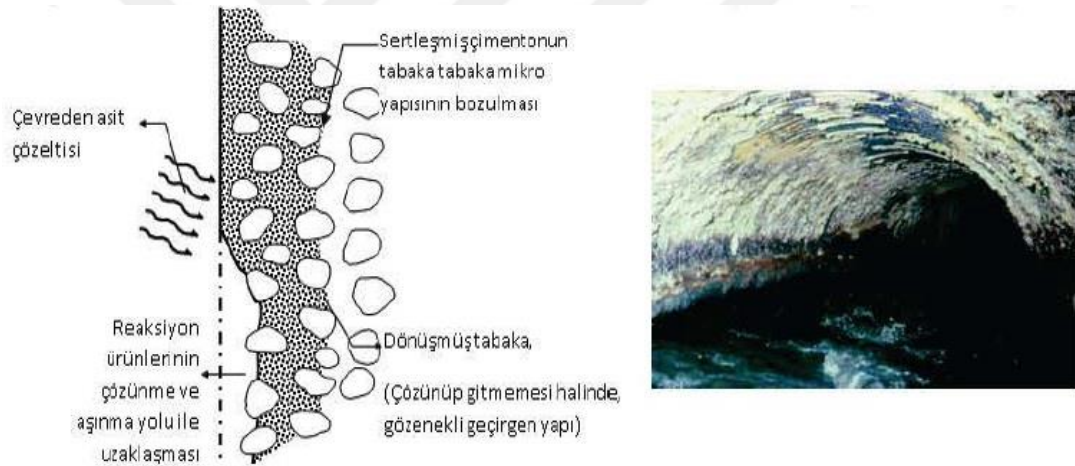
Karbonatlaşma olayını etkileyen faktörlerden biri sıcaklıktır. Sıcaklık artışı karbonatlaşma olayının hızını artırmaktadır (Akman, 2001). Diğer bir faktör ise CO₂ miktarıdır. Ortamdaki CO₂ artışı olayın daha fazla tetiklemektedir. Ayrıca CO₂ mevcut basınç ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak katı, sıvı ve gaz halde bulunabilir. Jeotermal kaynaklı

sularda sıvı halde bulunur ve “kurubuz” elde edilmesinde kullanılabilir (Şimşek & Baharavar, 2014).

Betonda boşluk miktarını ve karbonatlaşma olayını etkileyen diğer bir husus ise betonu kür süresidir. Kür süresinin ilerleyen sürelerinde puzolanik katkıları sebebi ile boşluklar tıkanıp karbonatlaşma olayı azalmaktadır (Gönen, 2003).

• Betona Asitlerin Etkisi

Portland çimentosu yüksek seviyede alkali olması sebebi ile baziktir ve asidik karakterli maddelerin saldırısı karşısında dayanıksızdır. Kimyasal saldırılar genellikle Ca(OH)_2 , CSH, CAH gibi kalsiyum bileşenli çimento hidratasyon ürünlerinin ayrışması ve kalsiyum tuzu gibi eriyebilir yeni ürünlerin betondan ayrılması ve eriyemez olanların betonu parçalayarak kendini göstermektedir (Béton, 1992). Şekil 15’de asit etkisi ile betonun bozulma mekanizması ve asit etkisiyle bozulmuş bir kanalizasyon tüneli örneği bulunmaktadır.

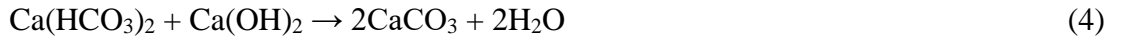


Şekil 15. Asit etkisi ile betonun bozulma mekanizması ve asit etkisiyle bozulmuş bir kanalizasyon tüneli örneği (Baradan & Aydın, 2013)

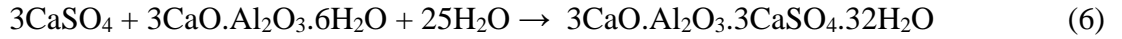
Betonun maruz kalmış olduğu asidin tipi, yoğunluğu ve etkileşim süresi reaksiyonun hızı ve şiddetini belirleyen ölçütlerdir. Asidin etki yeri ve reaksiyonun gelişimine bağlı olarak betonun dış yüzeyinden başlayarak yumuşama ve gözenekler oluşur. Özellikle kanalizasyon bölgelerinde görülen biyolojik oluşumlar dolayısı ile zayıf asitler de kuvvetli asit haline dönüşebilir (Baradan *et al.* 2010).

Gaz veya katı halde bulunan CO_2 suda çözülmesi ile karbonik asit (H_2CO_3) oluşur. Reaksiyonlar sonucunda tekrardan CaCO_3 oluşur (Baradan & Aydın, 2013).





Sülfürik asit çok agresif bir asit türü olup beton bünyesinde bulunan serbest kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile reaksiyona girerek “ $\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$ ” yani alçı taşına dönüşür. Bu ara ürün ile kalsiyum alüminat reaksiyona girer ve yıkıcı bir etki oluşturur ve az çözünebilir bir ürün olan etrenjit “ $3\text{CaO}.Al_2O_3.3\text{CaSO}_4.32\text{H}_2\text{O}$ ” oluşur. Etrenjitin en önemli özelliklerinden birisi çok genleşmesidir ki bu zamanla betonda iç basınç oluşturur. Bu olay betonda çatlaklara sebep olmaktadır (Monteny *et al.* 2001).



Betonun yapısında bulunan kalsiyum hidroksit, sulu ortamlarda asit ile temas etmesi durumunda çözünmektedir. Hidrojen iyonu, kalsiyum hidroksitin çözünme hızını artırmaktadır (Karahana *et al.* 2003).



Anıl (2019) farklı mineral katkıları içeren beton numunelerine %3,5 deniz suyu ve %5 sülfürik asit içeren ortamda durabilite performansı izlenmiştir. Kontrol numuneleri, %25 uçucu kül katkılı, %50 yüksek fırın cürufu katkılı ve %30 ve %8 silis dumanı katkılı beton olmak üzere dört farklı tipte numune üretilmiş ve 28 günlük su kürünün sonunda belirtilen ortama bırakılarak 60 ve 90 gün beklenmiştir. Sonuçlara bakıldığında zamanla ise uçucu kül ve silis dumanı içeren numuneler kimyasal etkilere karşı en iyi dayanım sonuçlarını vermiştir. En düşük performans ise cüruf ve kontrol numunelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Yüksek fırın cürufu katkılı betonların sülfat etkisine karşı daha dayanıklı olduğu saptanmıştır. Cürufun çimentonun en az %50’si kadar kullanılması sülfata karşı yüksek durabilite sağladığı için önerilmiştir (Tokyay, 2013).

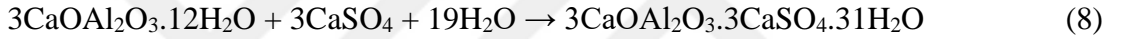
- **Sülfatların Betona Etkisi**

Beton ile reaksiyona giren sülfat iyonları çoğu zaman toprak veya zemin sularından betona sızmaktadır. Sülfat iyonları betonun içine sızarak çimentoda bulunan bazı bileşenler ile tepkimeye girer ve zamanla betonda deformasyonlara yol açar. Reaksiyon sonucu ortaya çıkan ürünler betonda genleşmelere neden olarak küçük kılcal çatlaklara ve bunların zamanla büyümesi ile parçalanmalara neden olur. Ayrıca zamanla betonda basınç dayanımlarında da düşüş olur ve süreç içerisinde yumuşama ve ufalanma olabilir. Bu şekilde sülfat iyonlarının beton bileşenleri ile reaksiyona girerek oluşturduğu deformasyona “sülfat hücumu” denir. Bu tip olumsuzlukları temellerde, istinat duvarlarında, beton borularda sıklıkla görülebilir (Nergiz, 2007).

Yer altı suların çoğunluğunun muhtevasında karbonik asit, magnezyum asit ve sülfatlar görülebilir. Bu yüzden içeriği sebebi ile yeraltı suları beton için tehlikedir. Ayrıca jips yataklarında ve bataklık sularında da sülfat ve sülfür bileşenleri de hasarlara sebep olmaktadır (Neville & Brooks, 1987).

Su içinde çözülmüş olan sülfat iyonları beton içerisine sızarak iki farklı etki oluşturabilir. Birinci etki olarak, betonun boşluklarında bulunan kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ile magnezyum sülfat (MgSO_4) birleşerek kalsiyum sülfat (CaSO_4) ve magnezyum hidroksit $\text{Mg}(\text{OH})_2$ oluşur. Oluşan magnezyum hidroksitin çözünürlüğü az olması sebebi ile çöker. Bu durum %15 oranında bir hacim genişlemesine sebep olur (Yalçın & Gürü, 2006).

Sülfatın betona vermiş olduğu asıl zarar, kalsiyum sülfat (CaSO_4) ile C_3A ile reaksiyona girmesi sonucu oluşur. Aşağıda denklemde belirtildiği üzere reaksiyon sonucu 31 mol kristal su içeren “trikalsiyum alüminat (Candlot tuzu)” oluşur. Bu bileşiğin mukavemet değeri yoktur. Ayrıca hacimde yaklaşık %227 oranında artışa neden olur ve betonun çatlamasına sebep olur (Yalçın & Gürü, 2006).



Sülfat saldırısının bir diğer türü olan gecikmiş etrenjit oluşumu (DEF) ise buhar kürü gibi yüksek sıcaklıklarda görülür. 70-80 °C gibi yüksek sıcaklıklarda alçı taşının da çözünürlüğünün düşmesi ile C_3A ile erken zamanlarda reaksiyona giremez ve bu reaksiyon daha sonra beton sertleştikten sonra ortamda bulunan nemin varlığı ile gerçekleşir (Baradan *et al.* 2010).

Beton ve betonarme yapı elemanlarının sülfata dayanıklılığını artırmak için çimento tipi olarak sülfata dayanıklı çimento kullanılabilir. Diğer bir çözüm yolu ise beton karışımında uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi puzolanik katkı kullanmaktır. Puzolanlar, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ve C_3A oranını azaltarak sülfatlarla reaksiyonu önler (Yeğinoğlu, 1999). Bu bilgiler doğrultusunda Monteiro and Kurtis (2003) yaptığı çalışmada çimento yerine %25 ve %45 uçucu kül kullanımının betonun sülfat saldırısında zarar görmemesi için kritik sınır olarak tespit etmiştir. Ayrıca C_3A miktarının %8'den az, s/ç oranının %45'in altında olması durumunda uzun sürelerde dahi sülfatın betona zarar vermediği görülmüştür.

• Magnezyum İyonu İçeren Çözeltilerin Kimyasal Saldırıları

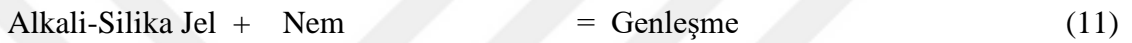
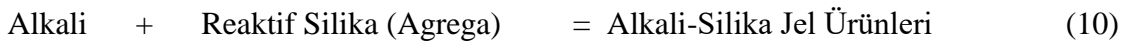
Yeraltı sularında, deniz suyunda ve endüstriyel atık sularda magnezyum klorür (MgCl_2), magnezyum bikarbonat ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) veya magnezyum sülfat (MgSO_4) bulunmaktadır.



Denkleme de görüldüğü üzere magnezyum klorür betonda bulunan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek çözünen kalsiyum klorür ve çözünmeyen brusit oluşur. Bu durum betonun mukavemetinde ve rijitliğinde kayıplara sebep olur. Ayrıca magnezyum sülfat betonda sülfat etkisine de sebep olabilir (Baradan *et al.* 2010).

- **Alkali-Silika Reaksiyonu (ASR)**

Alkali-silika reaksiyonu kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi açısından oldukça komplekstir. Çimento tipine bağlı olarak bazılarında oldukça fazla Na₂O (Sodyum oksit) ve K₂O (potasyum oksit) gibi alkaliler içermektedir. Bu alkaliler içeriğinde aktif silis bulunan agregalar ile tepkimeye girerek betonda deformasyona yola açabilen bir jel üretilir. Bu saldırı kısaca şu şekilde gösterilebilir (Baradan *et al.* 2010).



Bu reaksiyonun gerçekleşmesinde nem önemli bir faktördür. Diğer faktörler beton karışım oranları, hava etkisi, agregaya boyutu, ortam sıcaklığı, mineral ve kimyasal katkılarıdır.

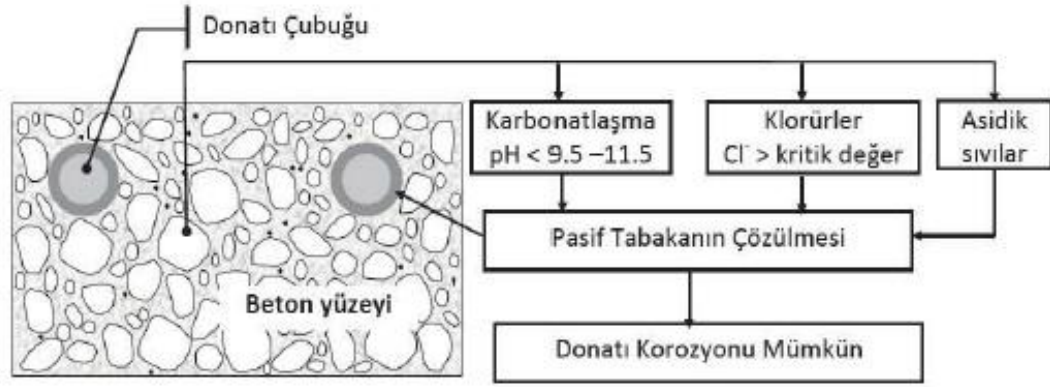
Puzolanik maddelerin içeriğinde bulunan reaktif silisler, alkaliler ile agregada bulunan silise göre daha erken zamanlarda reaksiyona girerek alkali bileşenlerini bağlamaktadır. Ayrıca puzolanik madde eklenmesi çimentodaki alkali miktarının azalmasına veya düşmesine neden olarak alkali silis reaksiyonları sonucu oluşan hasar miktarını azaltmaktadır (Aşık *et al.* 2004).

- **Kalsiyum Oksit (CaO) ve Magnezyum Oksidin (MgO) Gecikmiş Hidratasyonu**

CaO ve MgO çimento içinde bulunur ve betonda gecikmiş hidratasyonlara sebep olur. Bu durum genleşme ve çatlamalara sebep olur. Bu bileşenler çimentonun üretimi sırasında yüksek sıcaklıklarda pişirilerek kristal yapıya gelirler ve nispeten daha geç reaksiyon verirler. Bu sebeple bu bileşenlerin çimentoda az miktarda olması gerekmektedir (Baradan & Aydın, 2013).

- **Betonda Karbonatlaşma ve Çelik Donatının Korozyonu**

Bir yapının projelendirilmesi doğru bir şekilde yapılmış ve uygulanmış, yapımında ise geçirimsiz, kaliteli bir beton kullanılmış ise çelik donatı korozyondan korunmuş olur. Bu şekilde beton fiziksel olarak korunmuş olur. Ayrıca betonun alkanite seviyesini kontrol altında tutmak da kimyasal korumadır. Korozyon oluşmasında en önemli etken uygulama sırasındaki hatalardır. Şekil 16'de korozyonun oluşma ve gelişme mekanizması ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir (Béton, 1992).



Şekil 16. Korozyon oluşma mekanizması (Béton, 1992)

Gözenek suyu içinde çözülmüş kireç ve alkali hidroksitler betonun alkali bir karakter taşımaya sebep olur. Bu durumdan dolayı betonun pH seviyesi 13 seviyesine kadar çıkar. Ancak betonu korozyondan koruyan bu ortam zamanla karbonatlaşma adı verilen kimyasal bir reaksiyon sebebi ile bozulabilir (Baradan *et al.* 2010). Bu reaksiyonların formülleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.



O₂ ve H₂O difüzyon hızına etki eden önemli etkenlerdir. Ayrıca betonun yapısının boşluklu olup olmadığı, s/ç oranı diğer önemli parametrelerdir.

- **Klorür Etkisi**

Beton içerisinde bulunan klorürün kaynağı başta çevrede bulunan klorür olmak üzere yüksek miktarda klorür içeren agregalar, içeriğinde CaCl₂ bulunan priz hızlandırıcılar veya beton üretiminde deniz suyu kullanılması olarak sıralanabilir. Korozyon durumunda klorür iyonları katalizör olarak çalışarak reaksiyon hızını ciddi miktarda artırmaktadır. Ayrıca eğer çimentonun içeriğinde C₃A bulunuyorsa hasar genişleme yolu ile değil katı bileşenlerin erozyona uğraması şeklinde görülür. Betonun magnezyum tuzlarına uzun sürelerde maruz kalması durumunda Mg iyonu C-S-H içerisindeki kalsiyum ile yer değiştirerek herhangi bağlayıcılık özelliği bulunmayan M-S-H bağlarının oluşmasına sebep olur. Bu durum betonun kolayca parçalanmasına bir süre sonrada rijitlik ve mukavemet kayıplarına yol açar (Baradan *et al.* 2010).



Biyolojik etkenler

Beton yapıların üzerinde veya çevresinde biyolojik oluşumlar oluşabilir veya bulunabilir. Bu oluşumlar betonu zamanla etkileyebilir. Çevrede bulunan bitkilerin ve ağaçların kökleri özellikle betonun boşluk ve çatlak bulunan kısımlarından içine sızarak yavaş yavaş büyür ve zamanla genişlerler. Bu olay sonrasında betonarme yapılarda çatlamaya sebep olarak hasara yol açarlar. Ayrıca beton borulara sızan kökler zamanla boruların tıkanmasına neden olur.

Sahada en çok görülen problemlerden biri kanalizasyon sistemlerinde asidin etkisi ile oluşan biyolojik oluşumlardır. Çünkü alkali karakterde olan evsel atıklar kükürt içermektedir ve oksijensiz ortamda sülfat ve bazı proteinlerle birleşerek hidrojen sülfid (H_2S) oluşturur. Uygun ortamın yakalanması ile hidrojen sülfür kanalizasyon suyundan ayrılarak nem içerisinde erir. Sonuç olarak çimento kireci ile birleşerek alçıtaşına dönüşür.

Deniz yapılarında ise yosun türü canlılar beton için tehdit oluşturmaktadır. Özellikle açıkta kalan kısımlarda bozulma görülebilir. Ayrıca bazı deniz canlılarında ise betondaki kireci tüketerek zarar verdikleri tespit edilmiştir (Baradan *et al.* 2010).

Çevresel koşulların değerlendirilmesi

Beton ve betonarme yapılarda bozulma sebeplerinin başında malzeme özellikleri gelmektedir. Ancak bunun yanında çevresel koşullarda oldukça önemlidir. Çevresel koşulları da değerlendirirken yerel iklim diyebileceğimiz mikro iklim, o bölgenin genel iklimi olan makro iklimten daha önemli durumdadır. Ayrıca bir binanın maruz kalmış olduğu sular, toprak gibi etmenlerde betona etki eden önemli etmenlerdir (Baradan & Aydın, 2013).

TS 3440/Ocak 2014’da doğal zeminler ve yeraltı sularından kaynaklı kimyasal etkiler için etki sınır değerleri belirlenmiştir ve Tablo 9’da gösterilmiştir.

Beton yukarıda ifade edilen kimyasal maddelerden birine maruz kalabileceği gibi birden fazla etki sınıfına da maruz kalabilir. Buna etki sınıflarının birleşimi de denilebilir ve bu durumda tasarlanması gereken beton reçetesi TS EN 206’da belirtilmiştir. Tablo 10’da bu bilgiler verilmiştir.

Tablo 9. Doğal Zeminler ve Yeraltı Sularından Kaynaklanan Kimyasal Etkiler İçin Etki Sınıflarının Sınır Değerleri (TS 3440, 2014)

Kimyasal Özellik		Referans deney yöntemi	XA1	XA2	XA3
Yeraltı suyu					
1	SO ₄ ^{-2a} mg/L	TS EN 196-2	≥ 200 ve ≤ 600	> 600 ve ≤ 3000	> 3000 ve ≤ 6000
2	pH- Değeri	TS ISO 4316	≤ 6,5 ve ≥ 5,5	< 5,5 ve ≥ 4,5	< 4,5 ve ≥ 4,0
3	CO ₂ mg/L Zararlı etkili	TS EN 13577	≥ 15 ve ≤ 40	> 40 ve ≤ 100	> 100 doygunluğa kadar
4	NH ₄ ⁺ mg/L	TS ISO 7150-1	≥ 15 ve ≤ 30	> 30 ve ≤ 60	> 60 ve ≤ 100
5	Mg ⁺² mg/L	TS 6228 EN ISO 7980	≥ 300 ve ≤ 1000	> 1000 ve ≤ 3000	> 3000 doygunluğa kadar
Zemin					
6	SO ₄ ⁻² mg/kg ^a (toplam)	TS EN 196-2 ^b	≥ 2000 ve ≤ 3000 ^c	> 3000 ^c ve ≤ 12 000	> 12 000 ve ≤ 24 000
7	Asitlik derecesi	Madde 8.3.2	>200 Baumann-Gully	uygulamada karşılaşılmaz	
<p>^a Geçirgenliği (permeabilitesi) 10⁻⁵ m/s'den düşük olan kil zeminler daha düşük sınıflara alınabilirler.</p> <p>^b Deney yönteminde, SO₄⁻²'ün hidroklorik asitle özütlenmesi tarif edilmiştir. Asitle özütleme yerine su ile özütleme yönteminin kullanılabilmesi için, daha önce aynı bölgede inşa edilen yapılarda herhangi bir zararlı etki gözlenmemiş olmalıdır.</p> <p>^c İslanma kuruma döngüleri veya kapiler emme nedeniyle, betonda sülfat iyonu birikimi tehlikesi olan yerlerde 3000 mg/kg olan sınır 2000 mg/kg'a indirilir.</p>					

Tablo 10. Beton Karışımı ve Özellikleri İçin Önerilen Sınır Değerleri (TSE, 2017)

	Çevre etki sınıfları																	
	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 dayanaklı çimento ^b	

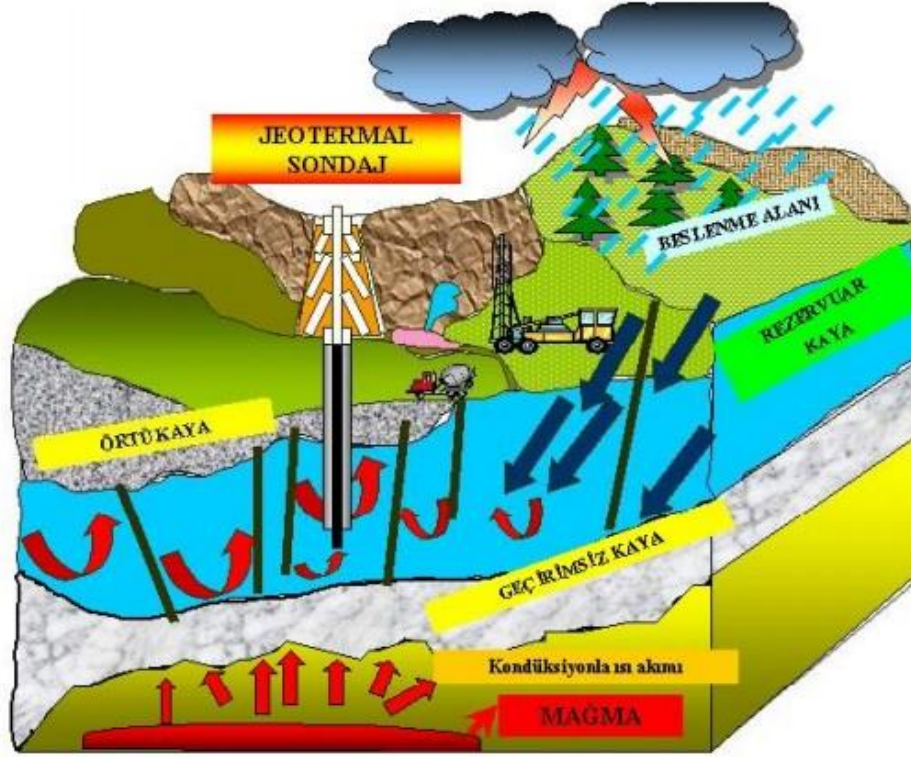
^a Hava sürüklenmemiş betonun performansı, ilgili etki sınıfı için donma/çözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla karşılaştırılarak, uygun deney yöntemine göre yapılacak deneyle belirlenmelidir.

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

Jeotermal Enerji

Jeotermal kelimesi anlam olarak baktığımızda, İngilizce’ de ki “yer-dünya” anlamına gelen “geo” ve “ısı” anlamına gelen “thermal” kelimelerinin birleşmesi ile oluşmuştur (Redhouse, 1880). 5686 sayılı “Jeotermal Kaynaklar ve Mineralli Sular” kanununda tanımlar başlıklı üçüncü maddesinde belirtildiği üzere jeotermal kaynak, jeolojik oluşumuna bağlı olarak yerkabuğunda oluşan ve sürekli bulunduğu yerel alanın atmosferik yıllık ortalama sıcaklığının üzerinde olan çevresinde bulunan sulara göre kendi muhtevasında daha fazla miktarda çözülmüş mineral, erimiş tuzlar ve gaz içerebilen, doğal yollar ile çıkan veya çıkarılabilen su, buhar ve gazlardır (Gazete, 2007). Şekil 17’de jeotermal oluşum sistemi gösterilmiştir.



Şekil 17. Jeotermal sistemin oluşum modeli (Arslan *et al.* 2001)

Jeotermal enerji genellikle yeryüzüne ulaşırken çatlak veya kırıkların oluşturduğu zayıf yüzeyleri kullanır. Ancak sondaj kuyuları kullanmakta mümkündür (Arslan *et al.* 2001).

Dünya yüzeyinden çekirdeğine doğru inilirken her 33 metrede sıcaklık 1°C artmaktadır. Dünyanın 10 km derinliğinde bulunan mevcut enerji dünya nihai enerji talebinin 5 milyon katı kadardır (Özsabuncuoğlu & Uğur, 2005). Bu bakımdan jeotermal enerjinin kullanılması mevcut enerji ihtiyacının giderilmesi açısından oldukça önemlidir.

Jeotermal sistem

Biri değiştiğinde diğerinde de değişikliğe sebep olan birbiri ile etkileşim içerisinde olan ısı kaynağı, ısı taşıyan akışkan, kayaç ortamı, basınç ve sıcaklık durumları, kimyasal bileşenler, bunların beslenme ve boşalma cepheleri ile birbirlerine benzerlerin tümünü ifade eden ve doğal yollar ile aralarında bağ oluşturan sistemdir (Akkuş & Alan, 2016).

Jeotermal alan

Yeryüzünün derinliklerinde bulunan jeotermal kaynağın, jeolojik araştırmalar ve çeşitli aletlerle ölçülerek sınırları belirlenmiş yüzeydeki izdüşümü olan yeryüzü parçasıdır (Akkuş & Alan, 2016).

Jeotermallerin sınıflandırılması

Jeotermal kaynaklar sahip oldukları özelliklere göre birçok şekilde sınıflandırmak mümkündür. Su yoğunluğuna ve buhar yoğunluğuna göre sınıflandırmak mümkündür ancak en fazla tercih edilen kriter sıcaklıktır. Sıcaklık derecesine göre jeotermaller üçe ayrılır (Külekcı, 2009);

- Düşük Sıcaklıklı Sahalar (20-70 °C)
- Orta Sıcaklıklı Sahalar (70-150 °C)
- Yüksek Sıcaklıklı Sahalar (150 °C'den yüksek)

Düşük ve orta sıcaklıklı sahalarda günümüz teknoloji ve ekonomik şartlarında sera, bina, zirai kullanımlar gibi ısıtmacılık alanında, yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayii, dericilik, soğutma işlemleri gibi endüstri alanında, borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, CO₂'den kurubuz eldesi gibi kimyasal madde üretimi alanlarında kullanılmaktadır (Anonim, 2001). Ayrıca günümüz teknolojisinin gelişmesi ile orta entalpili sahalarda da elektrik üretimi yapılmaktadır.

Yüksek sıcaklıklı sahalarda ise esas olarak elektrik üretiminin yanında entegre tesislerde ısı uygulamalarda da kullanılmaktadır (Anonim, 2001).

Jeotermallerin kullanım alanları

Sıcaklığı 40 °C'den yüksek jeotermal kaynakları aşağıda belirtilen ısıtma alanlarında kullanabilir (Akkuş & Alan, 2016);

- Kent merkezi ve binaları merkezi sistem ile ısıtılmasında,
- Seraların ısıtılmasında,

- Tropikal bitki ve hayvan yetiştirilmesinde,
- Tavuk ve hayvan çiftliklerinin ısıtılmasında,
- Cadde, toprak, havaalanı pistlerinin ısıtılmasında,
- Yüzme havuzu, turistik ve sağlık sektöründe,
- Konservacilik, yiyeceklerin kurutulması ve sterilizasyon işlemlerinde kullanılmaktadır.

Endüstriyel uygulamalar alanında ise;

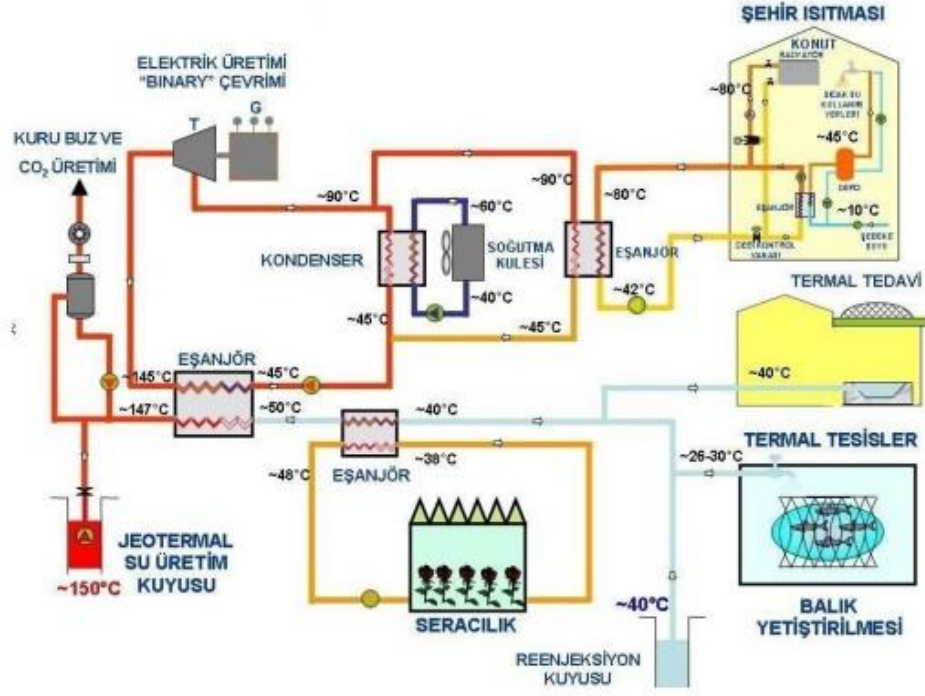
- Kerestecilik ve ağaç kaplama (emprenye) sanayiinde,
- Dokuma ve boyacılıkta,
- Deri kurutma ve işlemede,
- Bira ve buna benzer ürünlerin mayalanma ve damıtma endüstrilerinde,
- Soğutma tesislerinde ve beton blok kurutulması işlemlerinde kullanılmaktadır.

Kimyasal madde üretiminde ise;

- Borik asit(H_3BO_3), amonyum bikarbonat(NH_4HCO_3), ağır su (D_2O), amonyum sülfat ($(NH_4)_2SO_4$), potasyum klorür (KCl) vb. kimyasal maddelerin elde edilmesinde
- Jeotermal akışkanlardaki CO_2 'den kuru buz elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Ayrıca jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi konvansiyonel (>150 °C) veya organik rankine çevrimi (100-150 °C) kullanılan santrallerde üretilir. Konvansiyon elektrik santrallerinde kuyularda üretilen akışkan, ayrıştırıcılarda buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra buhar, türbinlere gönderilerek jeneratör vasıtası ile elektrik üretilir (Akkuş & Alan, 2016).

Şekil 18'de jeotermal enerjinin entegre kullanımı ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir (Ülker, 1994).



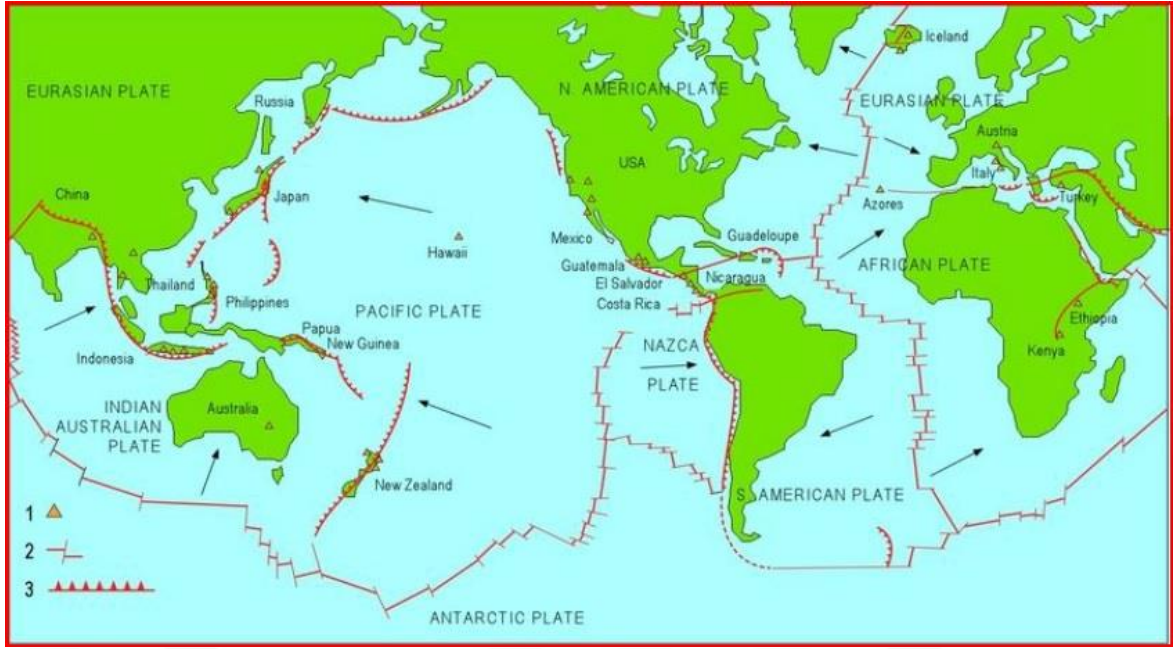
Şekil 18. Jeotermal enerji entegre kullanımını (Ülker, 1994)

Jeotermal kaynakların dünyadaki yayılım alanları

Dünya, genç tektonizma ve volkanizma gibi çeşitli jeolojik özelliklere sahip olması sebebi ile birçok jeotermal kuşak bulunmaktadır (İlgar, 2005). Bu kuşaklar;

1. And Volkanik Kuşağı; Güney Amerika'nın batı sahillerinden başlayarak, Venezuela, Kolombiya, Ekvator, Peru, Bolivya, Şili ve Arjantin'i kapsamaktadır.
2. Alp-Himalaya Kuşağı; Dünyanın en büyük jeotermal kuşakları birisidir. İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Yunnan (Çin), Myanmar (Burma) ve Tayland'ı içine almaktadır.
3. Doğu Afrika Rift Sistemi; Zambiya, Malavi, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etiyopya, Djibuti gibi ülkeleri içine alır ve aktif bir kuşaktır.
4. Karayip Adaları; Aktif volkanizmanın hâkim olduğu ve önemli potansiyellerin bulunduğu bir kuşaktır.
5. Orta Amerika Volkanik Kuşağı; Guatamela, El Salvador, Nikaragua, Kosta Rika ve Panama'yı içine alır ve çok sayıda jeotermal sistem bulunmaktadır.

Şekil 19'da dünya üzerindeki önemli jeotermal kuşaklar gösterilmiştir.

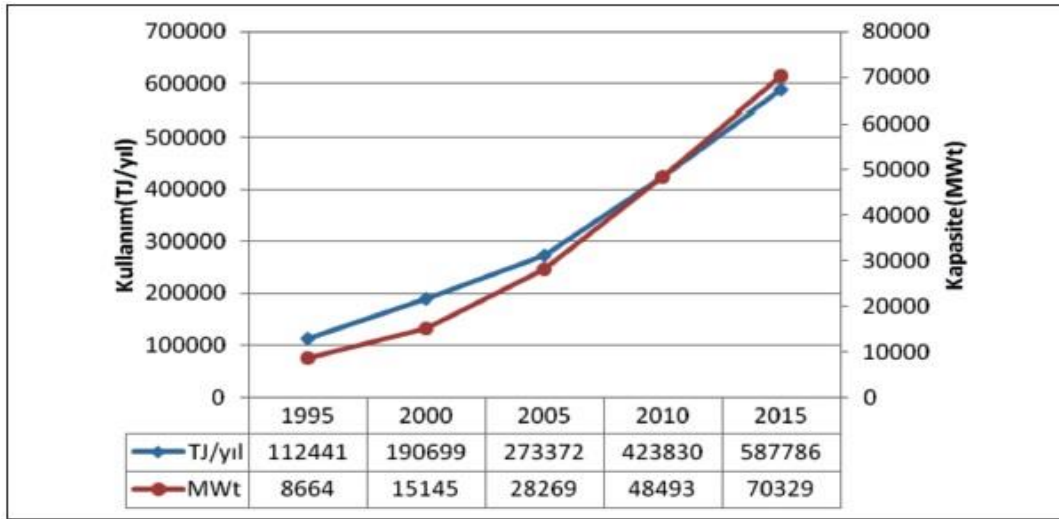


Şekil 19. Dünyadaki önemli jeotermal kuşaklar (Ilgar, 2005)

Jeotermal kaynaklar insanlığın ilk zamanlarından beri su sağlamak ve yıkanmak gibi günlük hayatta kullanılmış ve halk biliminde söz edilmiştir. Özellikle 20. yüzyıldan itibaren enerji ihtiyacının artması ile jeotermal enerji endüstriyel ölçekte kullanılmaya başlanmıştır (Erkul, 2012).

Dünya tarihinde ilk olarak endüstriyel ölçekte elektrik üretimi 1913'te İtalya Larderello'da, açılmış kuyulardan kuru buhar üretimine dayalı bir sistem ile elde edilmiştir.

Dünyada özellikle 2005 yılından itibaren jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı artarak devam ettiği görülmüştür. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım kapasitesi, 2015'de 70,329 MWt'a ulaşırken yıllık enerji kullanımının ise bu yıllarda toplam 587,786 TJ (163,287 GWh) bulunduğu görülmüştür (Lund & Boyd, 2016). Doğrudan kurulu kapasite büyüklüğüne göre Türkiye ilk beş ülke içindedir. Çin, Amerika, İsveç, Almanya ise diğer 4 ülkedir. Bu beş ülke 46,620 MWt kapasiteye sahiptir ve dünya kapasitesinin % 66.28'lik bir kısmını oluşturmaktadır (Lund & Boyd, 2016). Şekil 20'de 1995-2015 yılları arasında ki doğrudan kullanım kapasitesi ve yıllık enerji kullanımı arasındaki fark gösterilmiştir.



Şekil 20. Doğrudan kullanım kapasitesi ve yıllık enerji kullanımının 1995-2015 yılları arasındaki değişimi (Lund & Boyd, 2016)

Doğrudan kullanımda ise ilk 5 ülke Tablo 11’de gösterilmiştir.

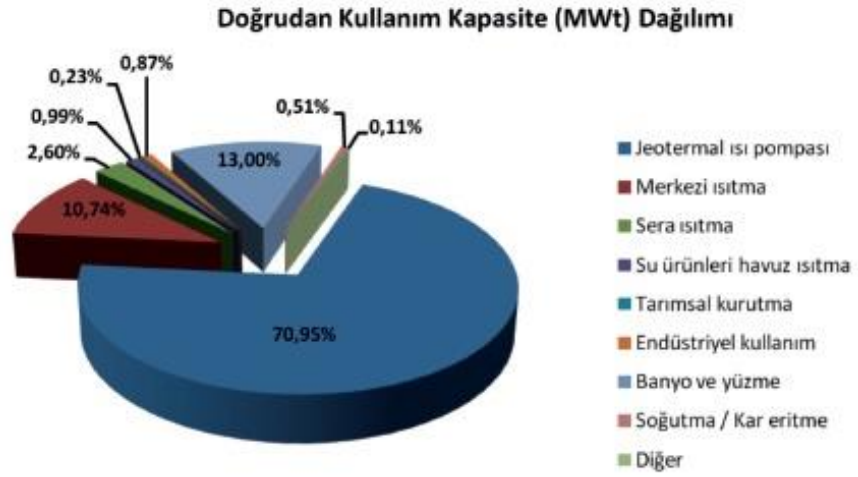
Tablo 11. Doğrudan Kullanımda Dünyadaki İlk 5 Ülke Sıralaması (Lund & Boyd, 2016)

Ülke	MWt	TJ/yıl
Çin	17.870,00	174.352,00
ABD	17.415,91	75.862,20
İsveç	5.600,00	51.920,00
Türkiye	2.886,30	45.126,00
Almanya	2.848,60	19.531,30
Toplam	46.620,81	366.791,50

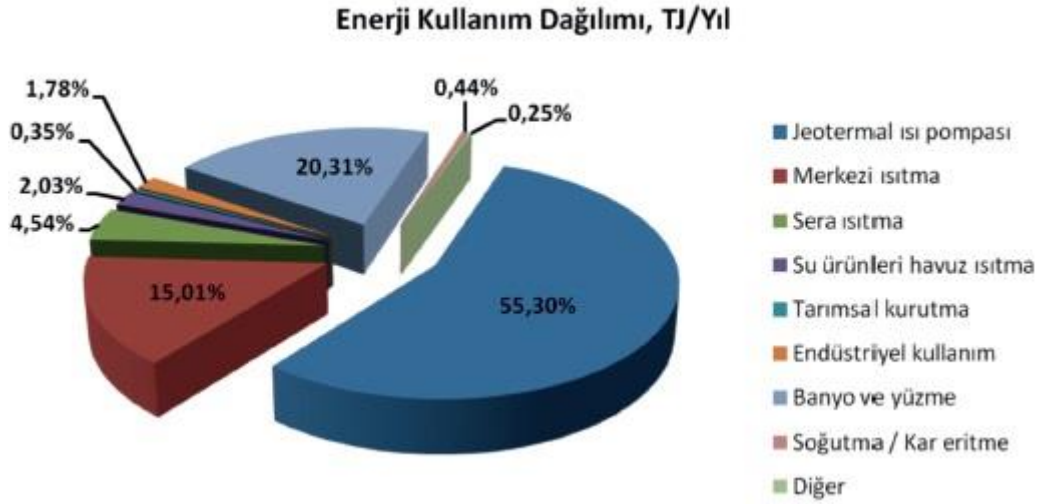
Tablo 12’de 2015 yılı jeotermal enerji kullanım kapasiteleri ve enerji kullanım yüzdeleri gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 21 ve Şekil 22’de bu kullanımların grafiksel dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 12. 2015 Yılı Jeotermal Enerji Doğrudan Kullanım Kapasitesi ve Enerji Kullanım Yüzdeleri (Lund & Boyd, 2016)

	Kapasite		Kullanım	
	(MWt)	%	(TJ/yr)	%
Jeotermal ısı pompası	49,898	70,95	325,028	55,3
Merkezi ısıtma	7,556	10,74	88,222	15,01
Sera ısıtma	1,83	2,6	26,662	4,54
Su ürünleri havuz ısıtma	695	0,99	11,958	2,03
Tarımsal kurutma	161	0,23	2,03	0,35
Endüstriyel kullanım	610	0,87	10,453	1,78
Banyo ve yüzme	9,14	13	119,381	20,31
Soğutma / Kar eritme	360	0,51	2,6	0,44
Diğer	79	0,11	1,452	0,25
Toplam	70,329	100	587,786	100



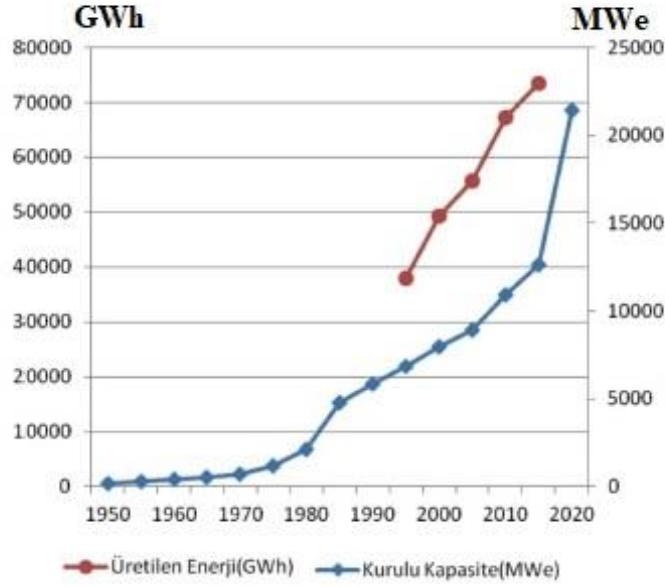
Şekil 21. Dünya doğrudan kullanım uygulamalarının kurulu kapasite dağılımı (Lund & Boyd, 2016)



Şekil 22. 2015 yılı dünya jeotermal doğrudan kullanım uygulamalarının toplam enerji kullanım dağılımı (Lund & Boyd, 2016)

Dünya da hızla gelişen teknolojik ilerlemelere paralel olarak elektrik tüketiminde artmıştır. Elektrik üretiminde de yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerjiye yatırımlar artarak devam etmiştir. Şekil 23'de 1950-2015 yılları arasında kurulu kapasite ve üretilen enerji kullanımı bilgileri gösterilmiştir (Lund & Boyd, 2016).

Dünyada Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimini Gelişimi



Şekil 23. 1950-2015 Yılları arasında kurulu kapasite ve üretilen enerji kullanımı (Bertani, 2016)

Türkiye’de jeotermal enerji

Ülkemizde yeraltı kaynaklarının araştırılması görevi MTA’ya aittir ve MTA Genel Müdürlüğü’nün envanter belirlenmesine yönelik çalışmalar 1960’lı yıllara dayanmaktadır. 1963 yılında ilk arama sondajı İzmir- Balçova’da açılmış ve 40 metre derinlikte 124 °C sıcaklığında sıcak su ve buhar bulunmuştur. Jeotermal enerji arama çalışmaları 1970-1980 yılları arasında yüksek sıcaklı jeotermal kaynaklı akışkanların keşfedilmesi ile önemli bir boyut kazanmıştır. Özellikle 1990’lı yıllardan itibaren MTA’ya ek olarak İller Bankası, TPAO, belediyeler gibi kurum ve özel teşebbüslerinde konuya ilgisi artmıştır (Akkuş & Alan, 2016).

Türkiye, Alp Orojenezine bağlı olarak gelişmiş olan farklı tektonik kuşakların etkisi sebebi ile zengin jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de jeotermal kaynaklar, jeotermal sistemlerin genç tektonik ve volkanik faaliyetlere bağlı olarak dağıldığı görülmektedir. Tektonizmanın etkisi ile ülkenin batısında kabuk incelerek jeotermal kaynakların oluşmasına ve doğal yollar ile yüzeye çıkmasına sebep olur. Bu yüzden ülkenin batısında yüksek entalpili jeotermal kaynaklar bulunmakta iken, doğu bölgelerde tektonik sıkışma sebebi ile gelişen daha düşük entalpili kaynaklar görülebilir (Haklıdır, 2008).

Şekil 24’de Ülkemizin MTA tarafından oluşturulan jeotermal haritası mevcuttur.

Güncel bilgilere göre ülkemizde toplam 1.113.616 adet aktif kuyu bulunmaktadır. Bu kuyuların bulunduğu il, kuyu sayısı ve metraj bilgisi Tablo 13’de verilmiştir (Akkuş & Alan, 2016).

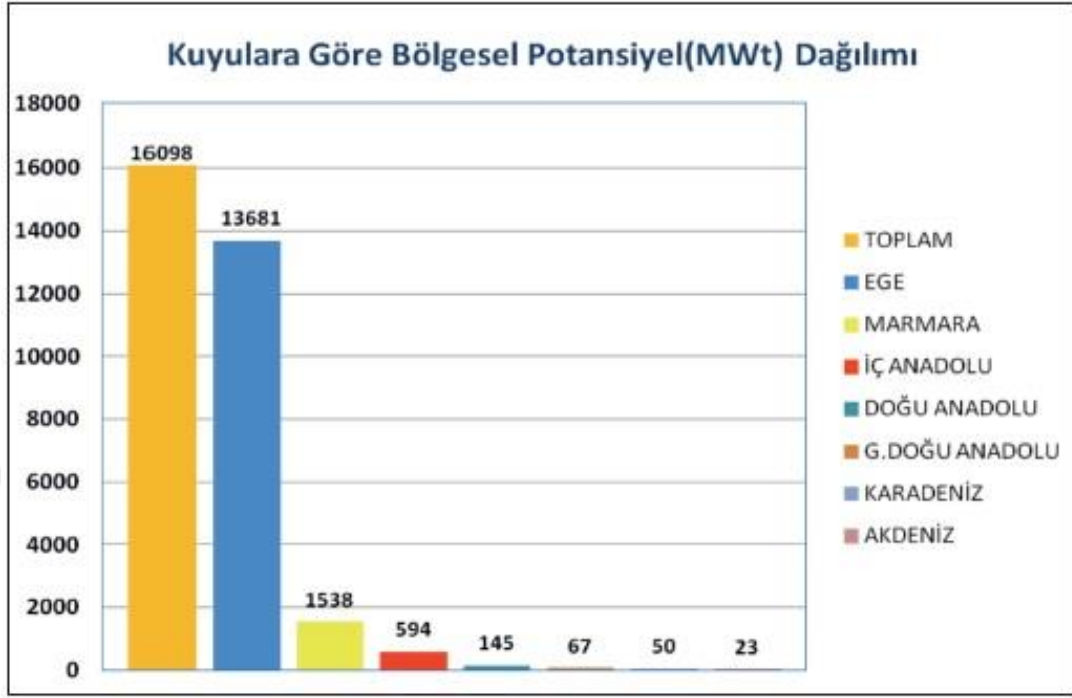


Şekil 24. Türkiye'nin jeotermal haritası (MTA, 2017)

Tablo 13. Jeotermal Alanlarda Açılan Kuyu Sayısı Ve Toplam Derinlikleri (Akkuş & Alan, 2016)

No	İl	Kuyu (Adet)	Metraj (m)	No	İl	Kuyu (Adet)	Metraj (m)
1	Afyonkarahisar	148	57.887,0	30	Kayseri	6	1.947,0
2	Ağrı	6	909,0	31	Kırklareli	2	2.075,0
3	Aksaray	8	5.430,0	32	Kırşehir	23	7.731,5
4	Amasya	7	3.423,0	33	Kilis	1	350,0
5	Ankara	61	36.986,4	34	Kocaeli	3	940,0
6	Artvin	1	-	35	Konya	24	10.081,9
7	Aydın	235	361.690,0	36	Kütahya	82	33.818,0
8	Balıkesir	69	23.021,0	37	Malatya	1	500,0
9	Batman	1	2.400,0	38	Manisa	172	191.759,4
10	Bilecik	1	250,0	39	Mersin	4	900,0
11	Bingöl	4	1.930,2	40	Muğla	17	6.476,0
12	Bolu	23	9.959,0	41	Muş	1	320,0
13	Bursa	6	2.868,0	42	Nevşehir	53	23.529,8
14	Çanakkale	45	34.829,0	43	Niğde	15	8.466,9
15	Çankırı	5	3.169,0	44	Ordu	2	570,0
16	Çorum	10	4.107,0	45	Osmaniye	2	700,0
17	Denizli	104	108.466,3	46	Rize	4	780,0
18	Diyarbakır	7	2.325,5	47	Sakarya	13	7.124,0
19	Elazığ	1	400,0	48	Samsun	12	5.756,0
20	Erzincan	3	1.903,0	49	Siirt	1	695,0
21	Erzurum	11	4.792,5	50	Sivas	15	4.372,0
22	Eskişehir	23	7.105,0	51	Şanlıurfa	25	8.839,0
23	Gaziantep	2	750,0	52	Tekirdağ	1	1.500,0
24	Hatay	9	7.575,0	53	Tokat	7	1.204,3
25	Isparta	1	620,0	54	Tunceli	2	324,0
26	İstanbul	10	5.308,0	55	Uşak	19	7.675,0
27	İzmir	184	91.361,1	56	Van	7	3.698,0
28	Kahraman Maraş	6	2.913,0	57	Yalova	13	6.662,0
29	Karabük	1	266,0	58	Yozgat	40	12.179,0
		992	782.643,9			567	350.973,6

Şekil 25 ve Şekil 26'da daha önce ayrıntılı bilgileri verilmiş olan kuyuların bölgesel potansiyel (MWt) dağılımı ve bölgelere göre kuyu dağılımı gösterilmiştir (Akkuş & Alan, 2016).



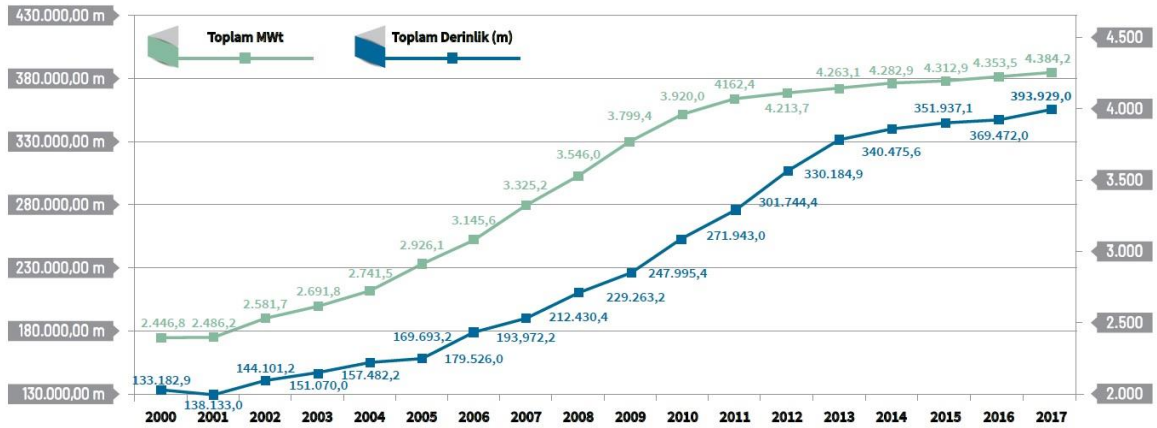
Şekil 25. Bölgesel potansiyel dağılımı (Akkuş & Alan, 2016)



Şekil 26. Bölgelere göre kuyu dağılımı (Akkuş & Alan, 2016)

2007 yılında yürürlüğe girmiş olan 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunuyla beraber özel sektör de jeotermal kaynakların işletilmesi konusunda çalışmalar yapmış ve son yıllarda sondaj sayısı ve kazanılan enerji miktarlarında ciddi artışlar

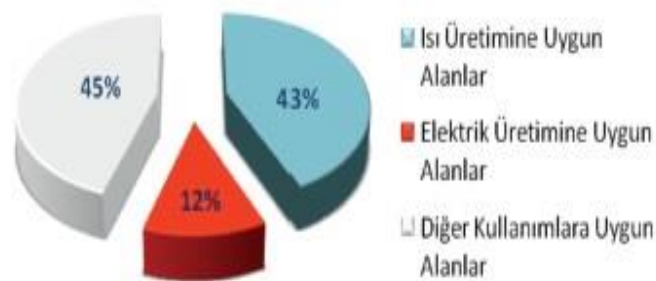
görülmüştür. Şekil 27’de ülkemizde 2000-2017 yılları arasında kümülatif olarak jeotermal sondajları ve kazanılan enerji miktarları gösterilmiştir (MTA, 2017).



Şekil 27. Yıllar itibariyle kümülatif jeotermal sondajları ve kazanılan enerji miktarı (MTA, 2017)

Ülkemizdeki jeotermal alanlar, kaynak ve kuyu sıcaklık değerleri dikkate alınarak sınıflandırdığında % 88 düşük ve orta, % 12 ise sıcaklık değeri 287 °C kadar ulaşan yüksek sıcaklıklı sahalar olarak değerlendirilebilir. Şekil 28’de grafiksel olarak gösterilmiş olan toplam alanların % 43’ü konut, termal tesis ısıtmasında kullanılırken % 45’i ise sera, termal turizm ve balneoloji gibi diğer alanlarda kullanılmaktadır. Elektrik üretimi yapılabilecek olan kuyu sayısı 39 adettir ve ısıtma alanında kullanılabilen sahalar ile entegre edilirse 153 rakamına ulaşmaktadır (Akkuş & Alan, 2016).

Kullanım Olanaklarına Göre Alan Dağılımı



Şekil 28. Yıllar itibariyle kümülatif jeotermal sondajları ve kazanılan enerji yüzdeleri (Akkuş & Alan, 2016)

Türkiye’de 2017 yılı jeotermallerden elde edilen kurulu güç miktarı ve 2002-2017 yılları arasındaki değişim Tablo 14’de gösterilmiştir.

Tablo 15. Erzurum’da Bulunan Termal Alanların Listesi (Toy *et al.* 2010)

İlçe	Termal Alan	İlçe	Termal Alan	
Aşkale	Kızlarkale Çermiği	Çat	Köseler Çermiği	
	Kızıl Şorak Çermiği		İkiler Çermiği	
	Cinis Çermiği		Hölenk Çermiği	
	Kesik Köprü Acı Suyu		Budak Çermiği	
Hınıs	Dere Çermik	Aziziye	Yel Çermiği	
	Demirci Çermik		Aziziye Çermiği	
	Gemik Çermiği		Oluklu Çermik	
	Yelpis Çermiği		Zincirli Çermik	
Pasinler	Pasinler Kaplıcaları	Aziziye	Tuzlu Çermik	
	Soğuk Çermik		Adsız Çermik	
	Küçük Çermik		Çatak Çermik	
	Büyük Çermik		Akkaynarca Çermiği	
	Pancar Çermiği		Balıklı Çermiği	
	Değirmen Çermiği		Sondaj Çermiği	
	Gözeler Çermiği		Gelingeldi Çermiği	
	Camış Çermiği		Kaşmuşat Kaynarçası	
	Serçe Boğazı Çermiği		Şenkaya	Acısu
	As Boğa Çermiği			Sarısu
Horasan	Balıklıya İçmesi	Tekman	Yelsu	
	Acı Kurun İçmesi		Çamurlu Çermik	
	Çermik		Gökoğlan Çermiği	
	Kantarkaya Çermiği		Hamzan Çermiği	
Karayazı	Gücür Çermiği	Tekman	Yukarı Meman Çermiği	
	Yekmal Çermiği		Orta Meman Çermiği	
Narman	Çarıklı Çermiği	Oltu	Başaklı Çermiği	
	Taşburun İçmesi		Uzun Hamam Çermiği	
Olur	Ilıkkaynak	Tortum	Esendurak Çermiği	
	Süngübayırı Çermiği	Köprüköy	Deliçermik	

Erzurum şehir merkezi ve ilçeleri Tablo 15’de gösterildiği üzere jeotermal kaynaklar bakımından yüksek potansiyele sahip olmasına rağmen bu kaynaklar yeterli derecede kullanılamamaktadır. Birçok kaynak üzerinde tesis bulunmamaktadır ve kurulu tesislerin birçoğu ilkel durumdadır. Tablo 16’da Erzurum’da bulunan önemli termal alanlar gösterilmiştir. Ayrıca bu tabloda yer almayan Nene Hatun Termal’ de bölgenin önemli termal alanlarından birisidir.

Tablo 16. Erzurum'un Önemli Termal Alanları (Toy *et al.* 2010)

Sıra No	Cinsi	Yeri	Sıcaklık (°C)	Debi (lt/sn)	Açıklama
1	Termal Su	Pasinler (sondaj)	40-43	325,0	Termal Otel ve Kaplıca
2	Termal Su	Aziziye (sondaj)	38	75,0	Termal Otel ve Kaplıca
3	Termal Su	Hamamderesi	30	22,0	Tesis yok
4	Termal Su	Akdağ	30	5,0	İlkel Tesis
5	Termal Su	Arzuti	31	5,0	İlkel Tesis
6	Termal Su	Köseahmet	25	10,0	Tesis yok
7	Termal Su	Hölenk (Çat)	32	4,0	Tesis yok
8	Termal Su	Olur	38	5,0	Tesis yok
9	Termal Su	Köprüköy	27	10,0	Çamur Havuzları
10	Termal Su	Meman (Tekman)	45	2,0	İlkel Tesis
11	Termal Su	Hamzan (Tekman)	56	12,0	İlkel Tesis
12	Termal Su	Çimenözü (Çat)	33-56	14,0	İlkel Tesis
13	Termal Su	Hızırilyas (Horasan)	57	11,0	İlkel Tesis

Çalışmamızda üç farklı termal tesis kullanılmıştır. Bu tesisler; Ilıca Termal tesisleri, Pasinler Termal tesisleri ve Nene Hatun Termal tesisleridir. Şekil 30'da Nene Hatun Termal, Şekil 31'de Pasinler Termal ve Şekil 32'de Ilıca Termale tesislerine ait görseller bulunmaktadır.



Şekil 30. Nene Hatun Termal Tesisleri



Şekil 31. Pasinler Termal Tesisleri



Şekil 32. Ilica Termal Tesisleri

Jeotermal Kaynaklı Suların Hidrokimyasal Özellikleri

Jeotermal kaynaklı suların her biri aynı fay hattı boyunca yeryüzüne çıkmış olsa dahi hidrokimyasal özellikler bakımından farklılıklar göstermektedir. Bu bölümde hidrokimyasal

özellikler ve farklı jeotermal sular için farklılık gösterme sebepleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca jeotermal sularda birçok iyon içermesine rağmen bu bölümde su analiz sonuçlarına göre toplam iyon içeriğinin % 90 oranında daha fazla olan ve majör iyon olarak sınıflandırılan “Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, HCO³⁻, Cl⁻ ve SO⁴⁻²⁻” iyonları hakkında bilgi verilmiştir.

- **Sıcaklık (°C)**

Sıcaklık, yer altı ve yüzey sularının kullanılması ve belirli yerlerde birikmesi açısından oldukça önemli bir etkidir. Yüzey sularının sıcaklığının belirlenmesinde mevsim, akarsu debisi, derinlik ve yükselti önemlidir. Yer altı sularında sıcaklık homojen dağılım gösterirken genel olarak sıcaklığı yüzey sularına göre daha düşüktür. Ayrıca su sıcaklığı arttıkça suda bulunan oksijen miktarı azalmaktadır (Stevens *et al.* 1975).

- **Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH Seviyesi)**

Sudaki hidrojen iyonunun konsantrasyonunu ölçmede kullanılan pH, suyun asit ve baz arasındaki dengeyi göstermektedir. Su içinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar suyun pH'ı üzerinde önemlidir. Termal sularda düşük pH değerleri görülmesine rağmen genellikle doğal yer altı sularının pH seviyesi 6.0-8.5 olarak değişmektedir. Suyun bazik özelliklerinin artmasında karbonat (CO₃²⁻), hidroksit (OH⁻) ve bikarbonat (HCO³⁻) etkili iken, asidik özelliklerinin artmasında serbest mineral asitleri ve karbonik asit (H₂CO₃) etkilidir. pH seviyesi düşük sular aşındırıcı, yüksek sular ise kabuk bağlayıcı özellik taşımaktadır. Aşındırıcı özellik atmosferde bulunan CO₂ gazı fiziksel çözünme yolu ile suya geçer ve hidrasyon sonucu karbonik aside (H₂CO₃) dönüşmesidir (Hem, 1985).

Asitlerin betonda etkisi iyon değişimi ile olur ve çimento hamuru içerisindeki bileşenlerden çözünebilen veya çözünemeyen kalsiyum tuzları oluşturur. Bu oluşan tuzlar C-S-H jelinde bulunan kalsiyumun yerini alır ve jel bağlayıcılık özelliğini kaybeder. Kalsiyum tuzları zamanla suda çözündükleri için çimento harcında süreç içerisinde çözümler görülür ve beton aşınarak harap olur (Baradan *et al.* 2010).

- **Elektriksel İletkenlik (EC)**

Suda elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletme miktarı olarak ifade edilebilir. Suyun elektriksel iletkenliğini “suda çözülmüş toplam madde (TDS) miktarı, suyun yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yol, temasta olduğu kayaların türü, çözünürlükleri, iklim, bölgedeki hidrolojik koşullar ve suyun sıcaklığı” gibi etmenler belirlemektedir. EC artışının sebeplerinden biri su sıcaklığının artmasıdır. Ayrıca TDS artışı ile iyon değişimi olur ve elektriksel iletkenliğin artmasına neden olur (Hem, 1985).

- **Toplam Çözünmüş Madde Miktarı (TDS)**

Suda içerisindeki “Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, HCO³⁻, Cl⁻, SO⁴⁻²” gibi çözünmüş inorganik tuzlar ve organik maddelerin toplamından oluşur. TDS miktarı dış etki sebebi ile artabilir (Gültekin & Temizel, 2014).

- **Sodyum (Na⁺)**

Sodyum, alkali gurubunda bulunan bir elementtir. Sodyum klorür suda çözünme oranı oldukça yüksektir ve bütün Na⁺ bileşikleri de suda kolayca çözünür. Yer altı sularındaki sodyum ve miktarı, “mineral cinsi ve miktarına, pH seviyesine, suyun akma hızına, ortamın kalsiyum iyon miktarına, yapay ve doğal kirlenme miktarına” bağlı olarak değişir. Suda kolay çözünebilen NaCl (Evaporitlerden halit) ve Na₂SO₄.10H₂O (mirablit) gibi bileşenler Na⁺ ana kaynağını oluşturur. Ayrıca Na/K oranının düşüklüğü suyun yüzeye çıkışının hızlı olduğunu göstermektedir (Nicholson, 2012).

- **Potasyum (K⁺)**

Yeraltı sularındaki “çökel kayaçlar, feldspatlar, mikalar, feldispatoidler ve kil mineraller” potasyum içeriği potasyum miktarı üzerinde önemli etkenlerdir. Sıcak sularda potasyum miktarı artmaktadır (Gültekin & Temizel, 2014).

Özellikle potasyum klorür (KCl) asit sebebi ile oluşur ve betonda çiçeklenmeye sebep olur (Baradan *et al.* 2010).

- **Kalsiyum (Ca⁺²) ve Magnezyum (Mg⁺²)**

Kalsiyum, önemli toprak alkali metaldir ve canlıların yaşamında ve doğal sularda bulunmaktadır. Kalsiyumun suda çözünürlüğü, atmosfer basıncı ve sıcaklık arttıkça artmaktadır. Kalsiyumun kaynağı olarak “kalsit (CaCO₃), aragonit (CaCO₃), dolomit ((CaMg(CO₃)₂), jips (CaSO₄.2H₂O), anhidrit (CaSO₄), florit (CaF₂), plajiyoklas (anortit, CaAl₂Si₂O₈), piroksen (diyopsit, CaMgSi₂O₆) ve amfiboller (NaCa₂(Mg, Fe, Al), Si₈O₂₂(OH)₂)” gösterilebilir (Hounslow, 2018).

Kalsiyum iyon miktarı ve çökmesinde pH değeri oldukça önemlidir. pH değerinin artması ile CO₃/HCO₃ oranı artar ve kalsit çökelişi oluşur. Ayrıca CO₂'in ortamdan uzaklaşması kalsit çökelişine sebep olur. Bu nedenle jeotermal kaynaklı sularda genellikle sıcaklık arttıkça kalsiyum içeriği düşer.

Jeotermal sularda magnezyum iyonu kalsiyumdan sonra en çok bulunan iyondur. Jeotermal sularda magnezyumun kaynağı olarak “dolomit, evaporit, magmatik kayaç minerallerinden (olivin, biyotit, hornblend, ojit) ve serpantinleşme sonucu açığa çıkan

magnezyum karbonatın çözünmesi” olarak gösterilebilir. Ayrıca suyun sertliğinin belirlenmesinde önemli etkidir (Nicholson, 2012).

Betonun uzun sürede Mg tuzları ile temas halinde olması C-S-H jelindeki kalsiyum ile yer değiştirerek M-S-H jeline dönüşür ve bu yeni jelin bağlayıcılık özelliği bulunmaz. Bu durum dayanım kayıplarına sebep olur.

Çimento içerisindeki CaO ve MgO gecikmiş hidrasyona sebep olur ve bu durum betonda genleşme ve çatlamalara yol açar (Erdoğan, 2003).

- **Alkalinite (HCO_3^- ve CO_3^{2-})**

Doğal sulardaki alkanite kaynağı, atmosferdeki CO_2 ile toprakta ve doygun olmayan bölgelerde üretilen gazlardır ve “karbonat (CO_3) ve hidroksit (OH)” iyonları sebebi ile ortaya çıkmaktadır. HCO_3^- değerinin artması ile su-kayaç ilişkisi artmaktadır. Ayrıca sıcak sularda bikarbonat oranı yüksektir ve sebebi evaporitik kayaçların etkileşimde olmadığı gösterilebilir (Mazor, 1997).

- **Klorür (Cl^-) ve Florür (F^-)**

Sulardaki klorür halit çözünmesi ile gerçekleşir. Jeotermal sulardaki klorür içeriği beslenmiş olduğu rezervuar kayacın derinliğine bağlı olarak artmaktadır.

Florürün kaynağı ise; “florit, apatit, mika ve amfibol” gibi mineraller gösterilebilir. Jeotermal sularda F^- içeriği 10 mg/l’den daha düşüktür (Nicholson, 2012).

- **Sülfat (SO_4^{2-})**

Kükürt, magmatik ve sedimenter kayaçlarda indirgenmemiş halde metal sülfürleri yaygın olarak bulunur. Ortaya çıkan sülfür mineralleri su ile temas ederek bozular ve oksit ile birleşerek sülfat iyonunu oluşturur (Hem, 1985).

Sülfatın etkisi su basıncı, sıcaklığın artması, ıslanma-kuruma, çarpma, sürtünme gibi olaylar etkinliğin artmasına sebep olur. Sülfatlar, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve C_3A gibi çimento bileşenleri reaksiyona girerek alçıtaşı ve kalsiyum sülfü alüminat oluşmasına sebep olur. Oluşan ürünler genleşmeye sebep olarak hasarlara sebep olur. Dayanım kayıplarına neden olur. Reaksiyonlarda önemli etkenler betonun sülfata sürekli maruz kalması ve ortamda suyun varlığıdır (Baradan *et al.* 2010).

- **Alüminyum (Al) ve Silisyum (Si)**

Alüminyum, “feldspat, feldispatoid, mika ve amfibol” gibi minerallerde bolca bulunur. Alüminyum, doğada fazla miktarda bulur ancak yer altı sularında az miktarda bulur. Bunun

nedeni doğal süzülmedir. Genellikle silis elementi ile beraber hareket eder. Asidik sulara yüksek miktarda bulunabilirler (Nicholson, 2012).

Silisyum elementi yer kabuğunda bol miktarda bulunur ve suda çözünmesi zordur. Bu sebeple yer altı sularında az miktarda bulunur (Hem, 1985).

- **Amonyum (NH₄)**

Azotun indirgenmiş inorganik bileşiği amonyaktır. Suda çözülmüş NH₃ ve NH₄ iyonlarından oluşur. Yer altı sularında toprak taneleri ve kil minerallerinin derişiminin artması sebebi ile çoğunlukla düşüktür. pH seviyesi ve sıcaklık amonyum miktarını üzerinde önemli etkendir (Gültekin & Temizel, 2014).

- **Nitrat (NO₃⁻)**

En önemli azot bileşiğidir. Yer altı sularındaki nitratın ana kaynağı genellikle organik veya insanlardır. Dışarıdan etkilenmeyen yer alt sularında nitrat miktarı genellikle 20 mg/l den daha az miktardadır (WHO, 2011).

Jeotermal Kaynaklı Suların Betona Etkisi

Jeotermal kaynakların özelliklerini önceki bölümlerde de belirtildiği üzere jeotermal kaynaklı suların muhtevası geldiği derinlik, geçtiği kayaç türü gibi birçok etken belirlemektedir. Bu yüzden aynı rezervuardan beslenmemek şartı ile her bir kaynağın kendine özel içerikte suyu bulunmaktadır (Özdemir & Tezelli, 2008). Bu muhtevaların biri veya birden fazlası betona zararlı etkilerde bulunabilir ve bazı kalıcılık problemlerine neden olabilir. Bu problemlerin nedenlerini fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak sıralanabilir.

Fiziksel nedenlerin başında sıcaklık gelir. Özdemir and Tezelli (2008) Türkiye’de bulunan jeotermal suların jeokimyasal özellikleri üzerinde çalışma yapmışlar ve kaynakların sıcaklık ve kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Bu çalışmada ülkemizde bulunan jeotermal kaynaklı suların sıcaklığının 242 °C’ye kadar çıktığı görülmüştür. Yüksek sıcaklıklı sular kalıcılık bölümünde anlatıldığı üzere zaman içerisinde betona zararlar vermektedir.

Jeotermal kaynaklı sular, içeriği sebebi ile kimyasal etkide bulunabilir. Suyun asidik olması, betonun bazik yapıda olduğu göz önünde bulundurulursa kalıcılık bölümünde anlatıldığı üzere betonda asit etkisi oluşturabilir. Ayrıca sulara bulunan “K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, HCO₃, CO₃, SO₄, Cl⁻, SiO₂” gibi element ve iyonlar bulunma ve miktarlarına göre betona zararlar verebilir. Diğer taraftan muhtevalarında bulunan biyolojik etkenler sebebi ile zararlar oluşturabilir (Baradan & Aydın, 2013).

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler dikkate alındığında yenilenebilir bir enerji kaynağı olan jeotermal kaynaklar üzerine inşa edilmiş olan yapılara zarar vermektedir. Bu durum doğaya yenilenemeyen atıkların oluşmasına sebep olmaktadır. Özellikle betona birçok

açından zarar vermektedir. Bu konuda jeotermallerin içeriğine göre beton reçetesi yapılabilecek standart veya yönetmelik bulunmamaktadır. Ülkemizin beton standardı olan TS EN 206'da çevresel etki sınıfları bulunmakta olup jeotermal kaynaklı sular ile alakalı bölüm çok kısa ve teferruat içermemektedir. Bu standartta sadece doğal ve yer altı sularının 5 °C ila 25 °C arasında sıcaklığa sahip olması durumu belirtilmiştir. Ancak Türkiye'deki kaynakların sıcaklık ve muhteva çeşitliliği göz önünde bulundurulursa daha detaylı bir çalışma yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır (TSE, 2017).

Literatürde ise daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere bu konu üzerinde yapılan çalışmalar yetersizdir. Bu konu hakkında yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Fontana et al. (2009) tarafından yapılan çalışmada ultra yüksek performanslı betonun kürlenmesinin jeotermal su ile yapılarak betonun mikro yapısı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca beton karışımında silis dumanı, uçucu kül içermektedir. 6 farklı numune üretilmiş olup bunlar 23°C (6 gün), 90°C (2 gün), 150°C (8 saat ve 2 gün), 200°C (8 saat ve 2 gün) sıcaklık ve sürelerde laboratuvar koşullarında jeotermal suda kür işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda termal kürlenmenin betonun mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Termal kürlenme çimento ve ikincil çimentolu malzemeler için daha iyi hidrasyona sebep olur. Mikro yapısına bakılacak olursa kusurlar, daha homojen bir mikro yapı oluşturan kristalli reaksiyon ürünleri ile doldurulur. Ayrıca en iyi mekanik sonuçlar 2 gün süre ile 200°C'de kürde bekletildiği numunelerde elde edilmiştir.

Chen et al. (2009) jeotermal kaynaklı sular ile kürlenme işlemlerini betonun basınç dayanımına etkileri üzerine çalışma yapmıştır. Tayvan'da sıcaklıkları 40 ila 90 °C arasında değişiklik gösteren üç farklı termal tesisden alınan numuneler laboratuvar ortamında üretilen betonların kür işleminde kullanılmıştır. Ayrıca bazı beton karışımlarında %30 oranında puzolanik katkı malzemeside kullanılmıştır. Numunelerin test edilme süreleri ise 1, 3, 7, 28, 135, ve 180 gün olmuştur. Özellikle puzolanik katkı maddesi kullanılan numunelerde erken yaş basınç dayanımında ciddi artışlar sağlamış ancak sonrasında zamanla düşmüş ve daha sonraki zaman dilimlerinde normal kür suyunda tutulan numunelerin mukavemet değerinin de altına düşmüştür.

Lee et al. (2013) ise "The Tsengwen Reservoir Transbasin Diversion" tünel projesinin yapımı sırasında kullanılan püskürtme betonun yaklaşık 650 metre yakınında bulunan termal tesisin sularından etkilenebileceği farkedilmiş ve bu konuda araştırma yapmıştır. Beton ve püskürtme beton numunesine uçucu kül, cüruf gibi mineral katkıları da eklenmiştir. İki farklı kür metodu takip edilmiştir. Birincisinde oda sıcaklığında (yaklaşık 25-30 °C) diğeri ise 40

°C’de termal tesisde ve termal suda kütleme işlemi yapılmıştır. Betonların mukavemet değerlerine bakıldığı zaman 40 °C’de kürlenmiş betonlarda ciddi basınç dayanımı değişiklikleri olmamıştır. Ayrıca uçucu kül ve cüruf içeren betonlarda erken yaş basınç dayanımı katkısız betonlara göre daha yüksek çıkmıştır.

Shatat (2014) yapmış olduğu çalışmada metakolin katkıli çimento ile hem silis dumanı katkıli hemde katkısız olarak üretilmiş olan numuneler jeotermal kaynaklı suya maruz bırakılmıştır. Harç numuneri 180 °C sıcaklığı sağlayabilen kapalı kapsül şeklinde bir cihaza 2, 4, 6, 12 ve 24 saatlik sürelerde çıkarılmak üzere bırakılmıştır. Basınç dayanım deneylerinin yanında kimyasal içeriği, geçirgenlik gibi deneyler de uygulanmıştır. Sonuç olarak ise metakolin karışımı numuneler 6 saatten sonraki mukavemet dayanımı oldukça artmıştır. Ayrıca silis dumanı katkıli harç numunelerinin katkısız numuneler göre 6 saat sonrası basınç dayanımı değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Abd Elrahman and Hillemeier (2015) sertleşmiş yüksek performanslı betonların sıcaklığı 100 °C üstünde sularda davranışını araştırmıştır. Sıcaklık artışı otoklavlama yolu ile yapılmış olup 50 kez tekrarlanmıştır. Portland çimentosu ile uçucu kül, cüruf ve silis dumanı gibi katkıli kullanılarak numuneler üretilmiştir. Bu işlemler sonunda katkıli numunelerin mukavemet değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Wang et al. (2019) ise jeotermal tünellerde kullanılacak olan betonun değişken sıcaklıkta kütleme koşullarında mukavemet özellikleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Kayaların ısı iletimi ve yüksek sıcaklıklardaki jeotermal tünellerde havalandırma koşulları beton ve beton malzemelerinin sertleşme sıcaklığı ve neminde önemli değişimlere sebep olur ve bu da betonun performansını önemli derecede etkileyen bir etmendir. Bu çalışmada numuneler laboratuvar ortamında sıcaklığı sabit tutabilen bir cihazda kür işlemi yapılmış ve farklı sıcaklık (40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C) ve farklı bağıl neme (RH - %25-%55-%95) maruz bırakılmıştır. Yapılan muayene ve deneyler ışığında özellikle ilk 7 günde betonun mukavemeti hızlı bir şekilde yükselmesine rağmen uzun süreli kürde mukavemet değerleri ciddi bir şekilde düştüğü görülmüştür. Bağıl nemin başlangıç mukavemetinin artmasına olumlu etkisi olurken yüksek sıcaklığın uzun vadede mukavemet kaybına neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Dünyadaki bilimsel çalışma literatüründe yukarıda belirtilen örnek çalışmalar mevcut iken ülkemizde bu konuyu tam olarak kapsayan bir çalışma mevcut değildir. Ancak jeotermal sulardan faydalanarak farklı malzemeler üzerindeki etkisine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

Var et al. (2015) yapmış olduğu tez çalışmasında Kütahya-Simav bölgesinde jeotermal kaynakların özellikle ahşap olmak üzere emprenye maddeleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Jeotermal akışkanların ahşap koruması için birincil malzeme olarak kullanılması muhtevasında bulundurduğu yetersiz mineral madde miktarından dolayı uygun bulunmamıştır. Ayrıca jeotermalden elde edilen akışkanın eğilme direnci ve liflerin direncini düşürdüğü için performans kayıplarına sebep olduğu görülmüştür. Sonuç olarak ağaç malzemesine önemli bir değişiklik katmadığı görülmüştür.

Bu çalışmalara paralel olarak benzer konularda bir çok çalışma yapılmıştır. Demirtaş (2015) Uşak ili Banaz ilçesi Hamam boğazı jeotermal üzerine çalışma yapmıştır. Ayhan (2016) ise Erzurum ilindeki üç farklı ilçede bulunan jeotermal akışkanların odun koruma işlemlerinde kullanılması üzerine çalışma yapılmıştır. Var and Kaplan (2018) yaptıkları araştırmada Konya yöresindeki jeotermalleri esas almışlardır. Sonuç olarak bu yapılan çalışmalar jeotermal akışkanların ağaç malzemesine ciddi bir katkısı olmadığını göstermiştir.

Bu çalışma kapsamında numunelerin yerleştirilmiş olduğu kaplıcalarda bir takım durabilite problemleri görülmüştür. Bunun yanı sıra metal borularda, makinelerde de ciddi deformasyonlar görülmüştür. Ayrıca Nene Hatun Termal ve Pasinler Termalde bazı çevresel problemler tespit edilmiştir. Şekil 33’de Pasinler Termal, Şekil 34 ve Şekil 35’de Nene Hatun Termal’ de tespit edilen durabilite problemlerine ait görseller mevcuttur.



Şekil 33. Pasinler Termal’de tespit edilen durabilite sorunlarına ait görsel



Şekil 34. Nene Hatun Termal’de tespit edilen durabilite sorunlarına ait görsel - 1



Şekil 35. Nene Hatun Termal’de tespit edilen durabilite sorunlarına ait görsel - 2

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, bütün harç numunelerinin karışımlarında aynı tip çimento kullanılmıştır. Mineral katkısız olarak üretilen numuneler, kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı %5, %10 ve %15 oranlarında çimento ile ikame edilerek mineral katkılı numuneler elde edilmiştir. Toplamda, biri kontrol numunesi olmak üzere toplam on farklı karışım üretilmiştir. Üretilen numuneler 3 farklı gruba ayrılmıştır. Birinci grup 28 günlük kür havuzundan çıkarıldıktan sonra, ikinci grup 9 ay boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiş ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Diğer üçüncü grup kendi içinde üç gruba ayrılarak üç farklı tesise yerleştirilmiş ve bunlarda üç, altı ve dokuz aylarda çıkarılarak basınç deneyleri yapılmıştır.

Bu bölümde, hazırlanan numuneler için kullanılan malzemeler ve taze ve sertleşmiş harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Malzemeler

Çimento

Bu çalışmada, Erzurum Aşkale Çimento fabrikasından temin edilmiş olan ve TS EN 197-1 standardına uygun üretilmiş CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Üretici firma tarafından yapılmış analizlere göre kimyasal özellikleri Tablo 17’de ve fiziksel ve mekanik özellikleri ise Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 17. Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Özellikler	Standartlar	Değerler (%)
Toplam SiO₂		17,16
Çözünmeyen Kalıntı	mak 5,0	0,85
Al₂O₃		4,84
Fe₂O₃		2,98
CaO		65,43
MgO		2,11
SO₃	mak 4,0	2,82
Kızdırma Kaybı	mak 5,0	3,08
Na₂O		0,32
K₂O		0,67
Cl-	mak 0,1	0,02
Toplam		99,43
Serbest CaO		0,99
Toplam Katkı		-

Tablo 18. Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Özellikler	Standartlar	Değerler
Fiziksel Denemeler	32 mikron elekte kalıntı (%)	8,78
	90 mikron elekte kalıntı (%)	-
	Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3.501,00
	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,12
	Priz Süresi (Dakika)	Başlangıç min 60 Bitiş 202
	Su İhtiyacı (%)	30,61
	Hacim Genleşmesi (mm)	mak 10
	Klinker C ₃ A	-
	Basınç Dayanımı (Mpa)	2 Gün
28 Gün		min 42,5 mak 62,5 53,8

Agrega

Agrega olarak TS EN 196-1 standardına uygun olarak üretilmiş CEN standart kum kullanılmıştır. Her biri 1350 ±5 gram olarak torbanmış şekilde teslim alınmıştır. Şekil 36'da kullanılan standart kuma ait görsel mevcuttur. Tablo 19'da standart kuma ait agrega elek analiz bilgileri bulunmaktadır.

**Şekil 36.** CEN standart kum

Tablo 19. CEN Standart Kuma Ait Elek Analizi

Kare Göz Açıklığı (mm)	Standart (%)	Kümülatif Elekte Kalan (%)
0.08	99±1	99,1
0.16	87±5	88,2
0.50	67±5	68,2
1.00	33±5	33,2
1.60	7±5	8,6
2.00	0	0,0

Su

Çalışmalarda karışımların hazırlanması, bakımı ve deneylerde Atatürk Üniversite’si Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı’nda kullanılan şebeke suyundan faydalanılmıştır.

Jeotermal Su

Numunelerin yerleştirilmiş olduğu termal tesisler ait jeotermal su analizleri Atatürk Üniversitesi DAYTAM (Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi) ve Erzurum Hıfzıssıhha Enstitüsü’ne yaptırılmıştır.

Jeotermal kaynaklı sulara çözünmüş halde bulunan kimyasal madde miktarı yüksektir. Elementlerin çözünürlüğü su ve mineral ilişkisine bağlıdır ve genellikle mineral şeklindedir. Jeotermal kaynaklı sulara silika, arsenik ve bor gibi nötr bileşikler bol miktarda bulunabilir. Ayrıca katyon olarak “Na⁺, K⁺, Li⁺” gibi alkaliler, “NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺” gibi toprak alkaliler, “Al³⁺ ve Fe²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺” gibi geçiş elementleri bulunur. Anyon olarak da “HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, F⁻, Br⁻ ve I⁻” görülmektedir (Yılmaz, 2013).

Numunelerin tesislerden çıkarılması sırasında sıcaklık ölçümü yapılmış olup Tablo 20’de gösterilmiştir. Tablo 21 ve Tablo 22’de Nene Hatun Termal, Pasinler Termal ve Aziziye Ilıca Termal tesislerine ait analiz bilgileri mevcuttur. Analizlerde IC (iyon kromatografisi) ve ICP-MS (Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi) yöntemleri kullanılmıştır. Tablo 21 ve Tablo 22’de aynı elementler farklı miktarlarda tespit edilmiştir. Bunun sebebi IC metodunda sadece çözünmüş madde miktarı ölçülürken ICP metodunda çözünmüş ve çözünmemiş bütün maddelerin ölçülmesidir.

Tablo 20. Termal Tesislere Ait Sıcaklık Değerleri

Tesis/Zaman	3. Ay	6. Ay	9. Ay
	(Nisan 2020)	(Temmuz 2020)	(Ekim 2020)
Nene Hatun Termal	46,50 °C	46,10 °C	49,40 °C
Pasinler Termal	37,00 °C	36,00 °C	34,50 °C
Ilca Termal	36,50 °C	35,40 °C	34,50 °C

Tablo 21. Termal Tesislere Ait Su Analiz Bilgileri – 1

Parametre	Birim	Termal Tesisler		
		Nene Hatun	Pasinler	Ilca
B	mg/L	0,008	0,003	0,013
Mn	mg/L	0,022	0,169	0,030
Fe	mg/L	T.E.*	0,151	0,339
As	mg/L	0,019	0,005	0,018
Bikarbonat (HCO₃-)	mg/L	2.684,000	1.708,000	1.952,000
Nitrat (NO₃-)	mg/L	6,010	2,310	0,350
Bromür (Br-)	mg/L	<0,3	<0,3	<0,3
PO₄³⁻	mg/L	<0,6	<0,6	<0,6
F-	mg/L	0,540	0,080	0,750
Cl-	mg/L	29,000	363,000	105,000
SO₄²⁻	mg/L	623,000	153,000	143,000
Na+	mg/L	-	163,000	239,000
Ca	mg/L	251,000	301,000	505,000
NO₂	mg/L	<0,09	<0,09	<0,09
Mg	mg/L	44,000	19,000	106,000
K	mg/L	3,060	15,000	-
CO₂	%	10,200	12,400	8,200
NH₄	mg/L	<0,08	0,200	0,800
TDS	mg/L	3.640,659	2.724,919	3.052,300
Elektriksel İletkenlik	µS/cm	6.198,000	5.580,000	7.393,000
Yoğunluk	g/cm ³	1,004	1,003	1,004
pH		6,860	6,530	6,610

*T.E.: Tespit Edilemedi

Tablo 22. Termal Tesislere Ait Su Analiz Bilgileri – 2

Parametre	Birim	Termal Tesisler		
		Nene Hatun	Pasinler	Ilıca
Li ⁺	mg/L	0,468	1,138	0,374
B	mg/L	28,778	11,078	29,408
Na ⁺	mg/L	1.006,989	1.136,273	1.629,852
Mg ²⁺	mg/L	230,648	93,562	46,210
Al ³⁺	mg/L	0,001	0,001	44,348
Si	mg/L	103,057	76,917	70,493
K ⁺	mg/L	128,781	93,386	45,554
Ca ²⁺	mg/L	72,491	41,936	10,253
Fe ²⁺	mg/L	0,037	0,004	0,172
As	mg/L	0,080	0,011	0,043

Kimyasal katkı

BASF firmasından temin edilen Master Ease 3440 tipindeki süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Tablo 23’de bu katkıya ait özellikler gösterilmiştir.

Tablo 23. Kimyasal Katkı Maddesine Ait Özellikler

Teknik Özellikleri	
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Kahverengi - sıvı
Özgül Ağırlık (20°C’de)	1.023 - 1.063 kg/lt
pH değeri	6-7
Alkali İçeriği (%)	mak. 3.00 (ağırlıkça)
Klor İyon İçeriği (%)	mak. 0.10 (ağırlıkça)

Mineral katkılar

Çalışmada kullanılmış olan silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve uçucu küle ait üretici firmalarından temin edilmiş analiz bilgileri Tablo 24, Tablo 25 ve Tablo 26’da verilmiştir.

Tablo 24. Silis Dumanı Analiz Bilgileri

Analiz Bilgileri	
İçerik	(%)
SiO ₂	79,94
Al ₂ O ₃	0,83
Fe ₂ O ₃	0,41
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	81,18
MgO	7,68
Cr ₂ O ₃	0,38
C	1,22
S	0,92
CaO	2,53
Kızdırma Kaybı	1,68
Puzolanik Aktivite İndeksi	
28 Günlük	128,00

Tablo 25. Yüksek Fırın Cürufu Analiz Bilgileri

Analiz Bilgileri			
Kimyasal Analiz		Fiziksel Özellikler	
İçerik	(%)	Özgül Ağırlık(g/cm³)	2,88
SiO ₂	37,40	Rutubet (%)	0,1
Al ₂ O ₃	10,38	Özgül Yüzey (cm²/g)	4183
Fe ₂ O ₃	1,30		
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	49,08		
CaO	30,93	Puzolanik Aktivite İndeksi	
MgO	7,21	7 Gün (%)	55,3
SO ₃	0,77	28 Gün (%)	74,2
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 26. Uçucu Kül Analiz Bilgileri

Analiz Bilgileri			
Kimyasal Analiz		Fiziksel Özellikler	
İçerik	(%)	Özgül Ağırlık(g/cm³)	2,4
SiO ₂	59,92	Özgül Yüzey (cm²/g)	3050
Al ₂ O ₃	19,45		
Fe ₂ O ₃	7,84		
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	87,21		
CaO	2,14		
MgO	1,85		
SO ₃	0,00		
K ₂ O	2,09		
Na ₂ O	1,60		
SO ₃	0,32		
Cl-	0,01		

Kullanılan Cihazlar

Harç karıştırıcı

Harç karışımlarında TS EN 196-1 standardına uygun homojen şekilde karıştırılabilir ve 10 litre kapasite ve 280 devir/dakika karıştırma hızına sahip, harç karıştırıcı cihaz kullanılmıştır (Şekil 37).



Şekil 37. Harç karıştırıcı

Numune kalıpları

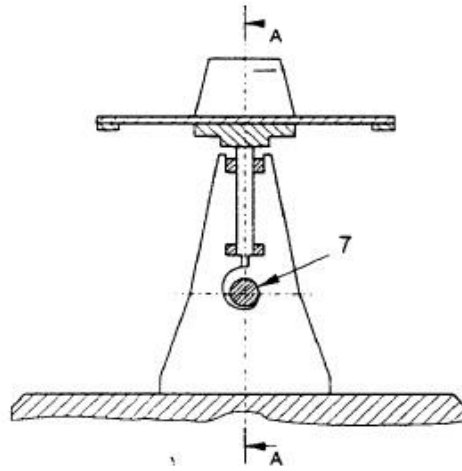
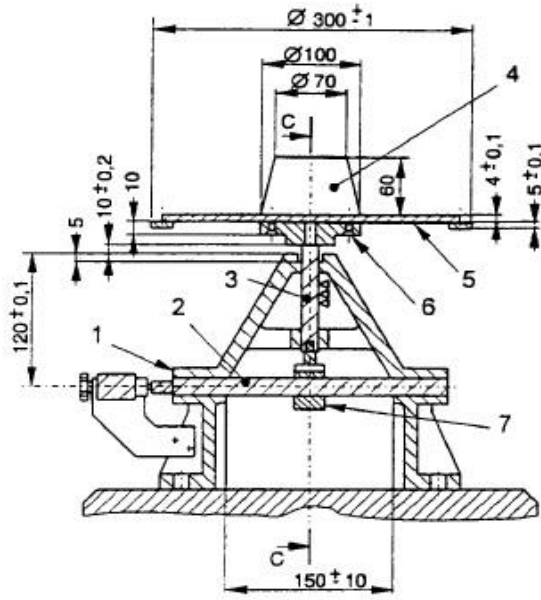
Harç numunelerinin üretimi EN 196-1, ASTM C109 ve BS 4550 standartlarına uygun 50x50x50 mm üç gözlü küp çelik kalıplarda üretilmiştir (Şekil 38).



Şekil 38. Çelik numune kalıpları

Yayılma tablası

Numunelerin karışım işlemi sonrasında kıvamını belirlemek için yayılma tablası kullanılmıştır. Yayılma tablası hakkında bilgiler TS EN 1015-3 standardından faydalanılarak Şekil 39’da gösterilmiştir.



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 39. Yayılma tablası (TSE, 2000)

Basınç dayanımı tespit cihazı

Numunelerin basınç dayanımı testleri 3000 kN yükleme kapasitesine sahip ve bilgisayardan kontrol edilebilen tek eksenli cihazda yapılmaktadır (Şekil 40).



Şekil 40. Beton basınç dayanımı test cihazı

Hava dolaşımli etüv

Numuneler etüvde 105 ± 5 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa ulaşana kadar bekletme işlemleri yapılmıştır (Şekil 41).



Şekil 41. Etüv

Ultrases hız ölçüm cihazı

ASTM C597 standardına uygun olarak betonun pürüzsüz iki yüzeyine tutulan diskler arası ultra ses akımı verilerek geçiş hızı hesaplanır. Şekil 42’de kullanılmış olan cihaz gösterilmiştir.



Şekil 42. Ultrases hız ölçüm cihazı

ICP-MS (İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma-kütle spektrometresi) cihazı

Beton numuneleri ve jeotermal kaynaklardan alınan su numunelerinin analizleri için DAYTAM' da (Doğu Anadolu Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi) bulunan Agilent 7800 markalı ICP-MS (İndüktif olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi) cihazı kullanılmıştır. Şekil 43'de kullanılan cihaz gösterilmiştir.



Şekil 43. ICP-MS cihazı (DAYTAM, 2021)

Su kr havuzu

Bu çalışmada üretilen numuneler 28 gün süre ile 20 ± 2 °C sıcaklığında sabit tutabilen kirece doymuş standart su kr havuzunda bekletilmiştir. Kr havuzu Şekil 44'de gösterilmiştir.



Şekil 44. Standart kr havuzu

Diğer cihazlar

Çalışma kapsamında numunelerin üretiminde ve deneyleri sırasında daha önce belirtilen cihazlar hariç cetvel, sıcaklık ölçer, hassas terazi gibi cihazlarda kullanılmıştır.

Karışım Oranları

Yapılan n çalışmalar sonucunda karışım oranları belirlenmiş olup kontrol numuneleri bu oranlar üzerinden hesaplanarak dklmştir. Kontrol numunelerine ait karışım bilgileri;

- 1/2.5 - imento/kum
- 0.4 - su/imento
- % 1.5-2.5 - süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

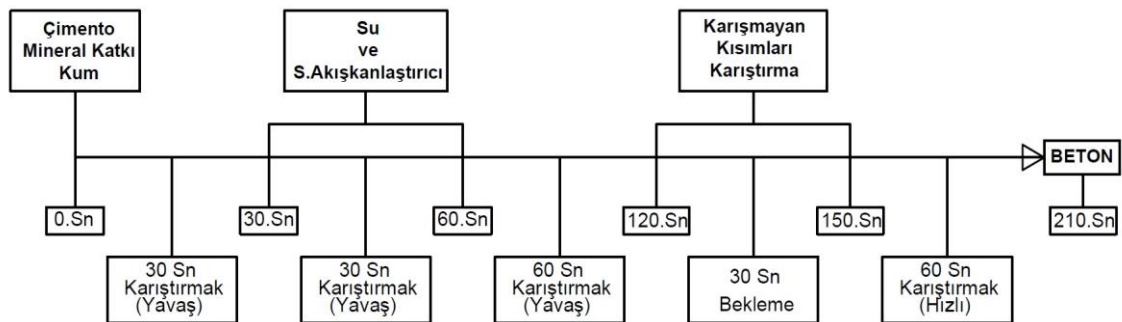
3 farklı mineral katkı ve 3 farklı yüzde kullanılarak hazırlanan numunelerde ise belirtilen yüzde oranında mineral katkı çimentonun miktarından düşülmüş yani ikame edilmiştir. Dikkat edilmesi gereken bir konu ise mineral katkılar tek başına kullanılmış sadece yüzde miktarlarında (%5-%10-%15) değişiklik yapılmıştır. Birden fazla mineral katkı bir karışımda kullanılmamıştır. Her bir karışımdan 33 olmak üzere toplam 330 numune üretilmiştir. Tablo 27'de ayrıntılı karışım miktarları gösterilmiştir.

Tablo 27. Harç Karışım Oranları ve Miktarları

Katkı İsmi	Numune Kodu	Yüzdesi (%)	Çimento (g)	Mineral Katkı (g)	Kum (g)	Su (g)	Süper Akışkanlaştırıcı Katkı (g)
Kontrol Numunesi	KN	-	540,00	-	1.350,00	216,00	8,10
Uçucu Kül	UK5	% 5	513,00	27,00	1.350,00	216,00	8,10
	UK10	% 10	486,00	54,00	1.350,00	216,00	8,10
	UK15	% 15	459,00	81,00	1.350,00	216,00	8,10
Yüksek Fırın Cürufu	YFC5	% 5	513,00	27,00	1.350,00	216,00	5,40
	YFC10	% 10	486,00	54,00	1.350,00	216,00	5,40
	YFC15	% 15	459,00	81,00	1.350,00	216,00	5,40
Silis Dumanı	SD5	% 5	513,00	27,00	1.350,00	216,00	8,10
	SD10	% 10	486,00	54,00	1.350,00	216,00	8,10
	SD15	% 15	459,00	81,00	1.350,00	216,00	8,10

Karıştırma Yöntemi

Karışımlar, TS EN 480-1/Aralık 2014 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Karışımlarda mineral katkıları, çimento ile ikame edildiği için çimento ve kum ile aynı zamanda karıştırıcıya eklenmiş ve kronometre çalıştırılmıştır. Çimento, kum ve mineral katkı, 30 saniye süre ile karıştırıldıktan sonra su ve süper akışkanlaştırıcı madde 30 saniye boyunca yavaş bir şekilde karışıma eklenmiştir. Bu işlem bitince 60 saniye süre ile yavaş bir şekilde karıştırılmaya devam edilmiştir. Başlangıçtan 120. saniyeye gelindiğinde karıştırıcı durdurulup kazanın yan kısımlarında karışmayan malzemeler bir aparat yardımıyla karışıma dâhil edilmiş ve bu işlem 30 saniye sürmektedir. Karıştırma işlemi bittikten sonra 60 saniye hızlı bir şekilde karıştırarak nihai karışım elde edilmiştir. Bu işlem toplamda 210 saniye sürmüştür. Bu işlem Şekil 45’de akış şeması şeklinde gösterilmiştir.

**Şekil 45.** Karıştırma yöntemi

Deney Yöntemleri

Basınç mukavemeti tayini

Karışım oranları kısmında Tablo 27’de verilmiş olan karışım bilgilerine göre numune üretimi yapılmıştır. Bu numuneler 28 günlük su küründen sonra ve kaplıca tesislerine yerleştirdikten sonraki her 3 ayda ve her seferinde üç adet numune üzerinde basınç dayanımları test edilmiştir. Basınç dayanımı belirlenirken, teste tabi tutulan üç numunenin basınç dayanım sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır.

Numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyleri, TS EN 12390-3/2019 standardına uygun olarak yapılmıştır.

$$F_c = \frac{P}{A_c} \quad (14)$$

Bu denklemde;

F_c : Basınç dayanımı, MPa.

P : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N.

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

Kıvam (işlenebilirlik) tayini

Üretilen taze haldeki karışım üzerinde işlenebilirlik deneyi TS EN 1015-3/2007 standardına uygun olarak yayılma tablası kullanılarak yapılmıştır. Şekil 46’ de gösterildiği üzere önce harç karışımından bir miktar alınır ve kesik koni şekilli kalıbın içine iki aşamada ve her seferinde 10 adet şişleme işlemi yapılarak doldurulur. Koninin üst yüzeyi düzeltilir ve 15 saniye boyunca yavaş bir şekilde koni çıkarılır. Yayılma tablasında bulunan tokmak sabit zaman aralıkları ile 15 kez vurulur. Harç kütlelerinin çapı, birbirine dik şekilde iki defa ölçülmüş ve aritmetik ortalaması alınarak yayılma miktarı bulunmuştur.



Şekil 46. Yayılma tablası ile kıvam tayini deneyi

Ultrases geçiş hızı tayini

Ölçümler ultrases test cihazı ile yapılmıştır. 28 günlük kür sonrası ve her üç aylık periyot sonrası tesislerden çıkarılan numuneler önce etüv kurusu hale getirilerek deney işlemleri yapılmıştır. Deney işlemleri sırasında TS EN 12504-4/2012 standardından faydalanılmıştır. Öncelikle iki yüzeyi kumpas ile ölçülür ve ölçüm yapılacak iki yüzeyler ultrason jeli sürülerek pürüzsüz hale getirilir. Numune iki prob (verici-alıcı) arasına yerleştirilerek aynı hizaya getirilir ve cihaz, ses dalgasının geçiş süresini hesaplar. Standartta verilmiş olan Denklem 6 ile geçiş hızı hesaplanır.

$$V(m/s) = X(m)/t (s) \quad (15)$$

Bu denklemde;

V(m/s): Ultrases geçiş hızı

X(m): Ses dalgasının aldığı yol

t(s): Ses dalgasının geçiş süresi

Ultrases geçiş hızı hesaplanırken gönderilen dalgalar beton numunesi içerisinde ilerken beton içerisindeki boşluklara rastlayabilir. Bu boşluklara gelince direk karşı tarafa geçemez ve boşluğun etrafını dolaşması gerekir. Bu durum ultrases geçiş hızının azalmasına sebep olur. Buna bağlı olarak da beton basınç dayanımının azaldığını çıkarabiliriz. Bir başka ifade ile ultrases geçiş hızı artarsa betonun kalitesi artar, hız azalırsa beton kalitesi düşer (Bhavan & Marg, 2010). Ayrıca Tablo 28’de ultrases geçiş hızına göre beton kalitesi hakkında bilgi verilmiştir.

Tablo 28. 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

Araştırma bulguları ve tartışma kısmına bakıldığı zaman ölçüm değerlerinin 11.0 ile 12.9 km/sn arasında çıktığı görülmektedir. Ölçümlerimizin bu kadar yüksek çıkmasının sebebi olarak üretilen numunelerin beton değil harç numunesi olmasına bağlanabilir.

Birim ağırlık tayini

Numuneler 28 günlük kür ve tesislerden her çıkarılmasında 24 saat süre ile etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarıldıktan sonra ortam sıcaklığına ulaşmaya kadar 23±2°C’deki laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Bu şekilde kuru ağırlığı ölçülerek m₂ olarak kaydedilmiştir. Numune hacmi hesaplanırken düzgün malzemenin hacmi kabul edilmiştir (50*50*50 mm). Ölçülmüş olan numune ağırlığı, numune hacmine bölünerek birim ağırlık bulunmuştur.

$$\text{Birim Ağırlık (g/cm}^3\text{)} = \text{Numune Ağırlığı (g) / Numune Boyutları (cm}^3\text{)} \quad (16)$$

Su emme tayini

Birim ağırlık deneyi yapılırken ölçümü yapılmış olan kuru ağırlık değeri m_2 bu deneyde de kullanılmıştır. Daha sonra bu numuneler 24 saat süre ile su içerisinde tutularak suya doymun hale getirilir. Sudan çıkarılarak bir bez yardımı ile silinerek ağırlığı ölçülür ve m_1 olarak kaydedilir. Su emme oranı aşağıda belirtilen Denklem 8 ile bulunur;

$$\text{SE (\%)} = ((m_1 - m_2) / m_2) * 100 \quad (17)$$

Bu denklemde;

SE: Su emme değeri (%)

m_1 : Doymun ağırlık (g)

m_2 : Etüv kurusu ağırlık (g)

Şekil 47’de su emme deneyine ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 47. Su emme deneyi

Kılcal su emme tayini

Kılcal su emme direnci tayini TS EN 13057/2004 standardından faydalanılmıştır. Deneye tabi tutulacak numuneler $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ’de 24 saat etüvde bekletilmiş ve deneye tabi tutulmuştur. Daha önceki deneylerde kuru ağırlığı kaydedildiği için tekrar ölçüm işlemi yapılmamıştır. Her bir numune suya (2 ± 1) mm batacak şekilde mesnetler üstüne yerleştirilir ve kronometre çalıştırılır. Şekil 48’de düzenek ve ölçümler gösterilmiştir. Standartta belirtildiği üzere 24 saat sonra ağırlık ölçümü tekrar yapılmıştır. Kılcal su emmesi, su emme (S.E.) hesaplanması gibi hesaplanmıştır. Ayrıca 24 saat sonrasında suyun ne kadar kılcal yollarla ilerlediğini tespit edebilmek için suyun ilerlediği mesafenin ölçümü yapılmıştır.

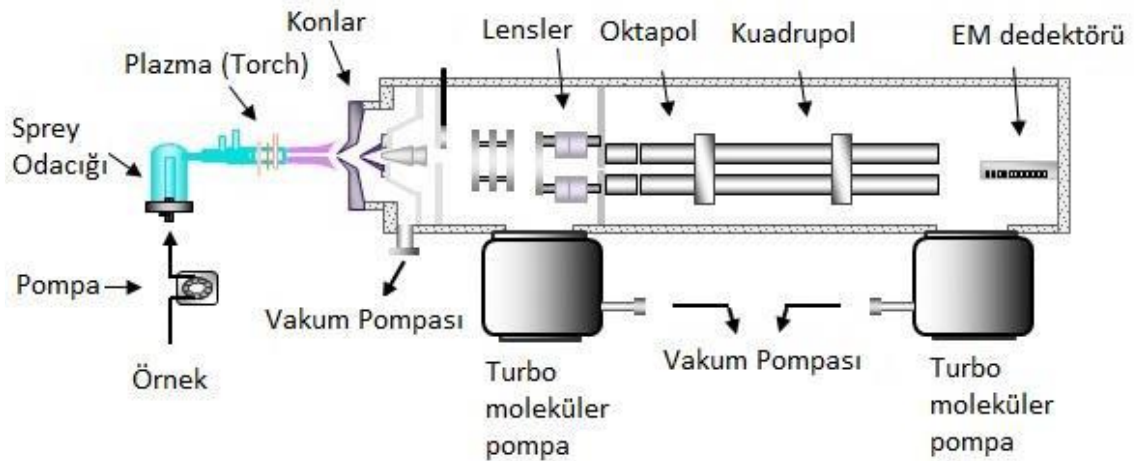


Şekil 48. Kılcal su emme direnci deneyi

ICP-MS yöntemi

ICP-MS; katı ve sıvı numunelerde aynı zamanlarda birçok elementin hızlı, ucuz ve hassas bir şekilde ölçümünü yapan gelişmiş teknoloji ürünü olan analitik bir cihazdır. Bu yöntemin en önemli özelliği çok sayıda elementi aynı anda analiz edebilir. Periyodik cetvelde bulunan elementlerin büyük çoğunluğu bu yöntem aracılığı ile tespit edilebilir. Bu cihaz ile her türlü bitki, toprak çeşidi, idrar, gıda maddeleri, içme suyu veya diğer sıvılar başta olmak üzere birçok madde örneği üzerinde mg/L düzeyinde analiz yapabilmektedir.

ICP-MS' in çalışma prensibi ise numuneler öncelikle en küçük parçacığa kadar parçalanır. Bu parçacıkların spektrometrik analizi dört basamaktan oluşur. Birinci aşamada atomlaşma oluşur. İkinci aşamada, oluşan atomların büyük kısmı pozitif yüklü iyon haline getirilir. Üçüncü aşamada, bu iyonlar kuadrapolde kütle/yük (m/z) oranlarına göre ayrılır. Son aşamada ise bu ayrımı yapılan iyonların miktarlarının ölçümü yapılır (Thomas, 2013). Şekil 49'da cihazın şematik görünümü gösterilmektedir.



Şekil 49. ICP-MS cihazı şematik görünümü (Thomas, 2013)

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

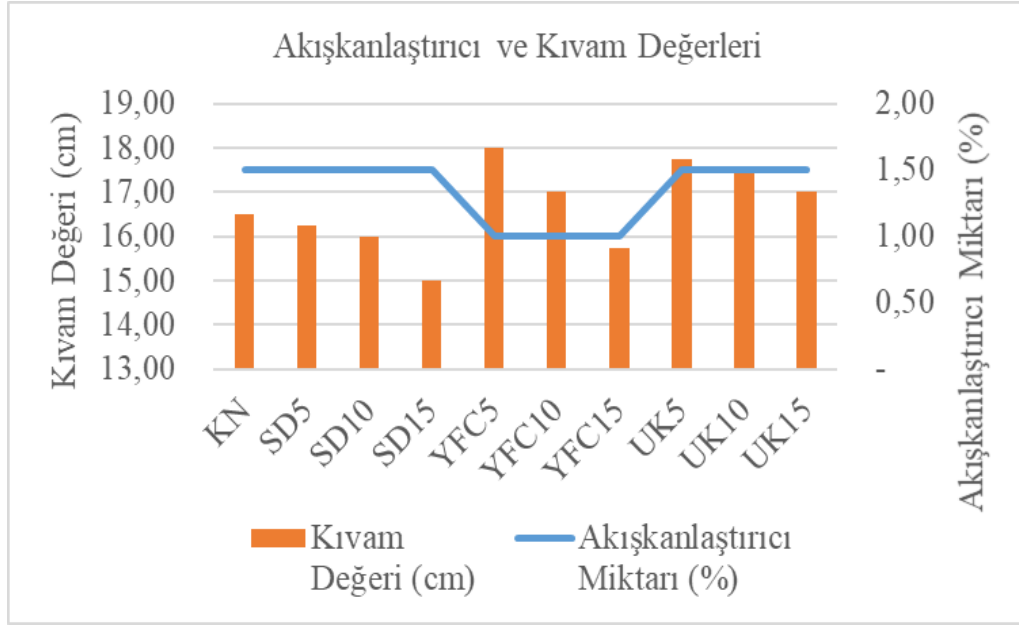
Bu bölümde, ilk olarak taze betonda yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir. İkinci olarak ICP-MS analiz bilgileri paylaşılmıştır. Çünkü bir sonraki bölümde bilgileri verilmiş olan sertleşmiş harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları ICP-MS analiz sonuçlarından da faydalanılarak yorumlanmıştır. Ayrıca sertleşmiş beton üzerinde yapılan deney sonuçları her bir termal tesis için ayrı ayrı verilmiş ve bu sonuçlar her bir termal tesise ait sonuçlar kendi bölümü içinde değerlendirilmiştir. En son bölümde ise üç termale ait genel bir karşılaştırma ve değerlendirme yapılmıştır.

Yayılma Ölçümleri

Yapılan ön çalışmalar sonucunda karışım oranları belirlenmiştir. Karışımlarda kıvam değerini tüm karışımlar için ortalama bir değere sahip olması için süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının çimento miktarının %1-%2 oranında kullanılması kararlaştırılmıştır. Ayrıca birbirine dik olarak ölçülen iki yayılma miktarının aritmetik ortalaması alınarak kıvam değeri bulunmuştur. Kullanılan akışkanlaştırıcı miktarları ve kıvam değerleri Tablo 29 ve Şekil 50'de verilmiştir.

Tablo 29. Karışımlara Ait Akışkanlaştırıcı ve Kıvam Değerleri

Numune Kodu	KN	SD5	SD10	SD15	YFC5	YFC10	YFC15	UK5	UK10	UK15
Akışkanlaştırıcı Miktarı (%)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50
Kıvam Değeri (cm)	16,50	16,25	16,00	15,00	18,00	17,00	15,75	17,75	17,50	17,00



Şekil 50. Numunelere ait akışkanlaştırıcı ve kıvam değerleri

Yayılma deneyi değerlerine bakıldığında zaman her bir mineral katkı kendi içerisinde yüzde olarak miktarı arttıkça yayılma miktarında azalma olmuştur. Bunun sebebi mineral katkıların çok ince taneli olmasından dolayı betonda su ihtiyacını artırması ve işlenebilirliğini düşürmesidir. Mineraller içerisinde ise en yüksek kıvam değeri katkı miktarı daha az olmasına rağmen %5 YFC karışımında 18 cm olarak ölçülmüştür. Yüksek fırın cürufunun içerisinde bol miktarda kalsiyum oksit içerir ve bu bileşen, yüksek fırın cürufuna kendiliğinden bir miktar bağlayıcılık özelliği katmaktadır. Bu özellik sayesinde hidrasyon sırasında daha az suya ihtiyaç duyarak işlenebilirliği artırmaktadır (Uysal, 2010).

ICP-MS Ölçümleri

ICP-MS yöntemi ile daha önceki bölümlerde belirtildiği üzere jeotermal kaynaklı suların analizlerinde kullanılmıştır. 9 aylık laboratuvar ortamında bekletilen numuneler ve kaplıcalara yerleştirilmiş numunelerin ICP-MS yöntemiyle element ölçümü yapılmıştır. Bu şekilde kaplıca sularının betona etkisi tespit edilmek istenmiştir. Karşılaştırmalar ortamda tutulan numunelerle yapılmıştır. Böylelikle hangi elementin ne kadar tutulduğu tespit edilerek diğer deneylere etkisi araştırılmıştır. Tablo 30'da Nene Hatun Termal, Tablo 31'de Pasinler Termal ve Tablo 32'de Ilıca Termale ait ölçümler ve ortam numuneleri ile değişim miktarları yüzdece gösterilmiştir.

Tablo 30. Nene Hatun Termale Ait ICP-MS Ölçümleri ve Değişim Miktarları

	Li ⁺ (mg/L)	B (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Al ³⁺ (mg/L)	Si (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	As ³⁺ (mg/L)
KN	1,0	84,0	7.577,5	5.240,3	24.862,1	87.265,0	12.460,8	24.672,9	8.112,7	8,1
Ortam KN	5,9	13,0	6.108,1	3.514,5	16.823,2	53.884,8	9.920,5	17.729,2	5.169,3	2,3
Değişim (%)	-82,2	546,39	24,06	49,10	47,78	61,95	25,61	39,17	56,94	257,90
SD5	6,17	12,82	8.456,09	5.203,61	22.787,42	78.984,79	13.414,48	22.373,27	6.490,59	5,53
Ortam SD5	6,52	5,24	6.104,91	4.374,70	16.919,64	56.334,81	6.756,56	18.764,93	5.353,81	3,59
Değişim (%)	-5,4	144,9	38,5	18,9	34,7	40,2	98,5	19,2	21,2	54,1
SD10	6,0	14,2	7073,2	5755,8	19819,4	90817,8	9150,3	22268,7	6033,4	7,5
Ortam SD10	4,5	6,8	6584,4	4548,6	17905,5	61525,0	8175,3	17136,6	4866,2	16,6
Değişim (%)	31,4	109,4	7,4	26,5	10,7	47,6	11,9	29,9	24,0	-55,1
SD15	6,0	12,7	6398,5	7110,1	20999,8	80174,2	11667,3	22722,7	6326,2	6,4
Ortam SD15	4,8	7,0	10032,3	4716,5	21789,8	72088,9	12209,3	15290,9	4571,3	2,4
Değişim (%)	25,5	81,3	-36,2	50,7	-3,6	11,2	-4,4	48,6	38,4	164,4
YFC5	5,0	11,5	7748,1	4659,6	22626,9	76355,4	14467,4	21084,4	6064,0	3,2
Ortam YFC5	4,5	10,7	6493,4	3622,7	14530,0	63852,9	11968,1	17705,0	5182,0	2,4
Değişim (%)	10,9	7,2	19,3	28,6	55,7	19,6	20,9	19,1	17,0	36,6
YFC10	10,9	9,2	6717,1	5432,8	25545,5	86587,5	15306,8	22319,7	5969,4	4,0
Ortam YFC10	2,7	10,9	4913,1	4722,2	16308,4	56090,1	9427,2	19628,5	5728,2	2,4
Değişim (%)	308,9	-15,5	36,7	15,0	56,6	54,4	62,4	13,7	4,2	65,1
YFC15	6,3	8,2	7230,2	6008,4	25999,5	86253,8	18233,9	21937,0	5609,0	2,9
Ortam YFC15	6,4	10,9	5084,7	4724,0	15860,1	58121,6	12310,1	18195,7	5148,0	2,3
Değişim (%)	-2,0	-25,0	42,2	27,2	63,9	48,4	48,1	20,6	9,0	22,1
UK5	5,9	23,4	7191,9	6726,6	20564,7	78616,5	10195,2	31954,3	9899,7	8,3
Ortam UK5	4,2	13,2	5297,3	3998,4	15767,9	51861,7	9320,5	18769,4	6084,6	3,6
Değişim (%)	42,3	77,2	35,8	68,2	30,4	51,6	9,4	70,2	62,7	127,8
UK10	7,0	26,1	7581,2	6027,3	27155,4	84498,2	18027,4	26679,6	9720,5	7,3
Ortam UK10	8,0	18,4	3640,8	4052,8	12198,3	45322,3	6032,1	18083,6	6952,6	4,9
Değişim (%)	-12,4	41,6	108,2	48,7	122,6	86,4	198,9	47,5	39,8	48,9
UK15	7,9	27,4	7451,3	5334,0	25501,2	96869,0	23834,9	22751,2	9168,4	13,5
Ortam UK15	7,4	28,1	6798,8	5313,9	18986,1	72593,1	12998,2	23800,8	9570,9	7,6
Değişim (%)	7,1	-2,6	9,6	0,4	34,3	33,4	83,4	-4,4	-4,2	77,5

Tablo 31. Pasinler Termale Ait ICP-MS Ölçümleri ve Değişim Miktarları

	Li ⁺ (mg/L)	B (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Al ³⁺ (mg/L)	Si (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	As ³⁺ (mg/L)
KN	3,6	6,0	5.896,1	3.930,0	26.054,7	80.026,4	21.706,4	18.410,5	5.573,7	3,1
Ortam KN	5,9	13,0	6.108,1	3.514,5	16.823,2	53.884,8	9.920,5	17.729,2	5.169,3	2,3
Değişim (%)	-38	-54	-3	12	55	49	119	4	8	38
SD5	4,2	14,7	8444,2	3084,6	24033,5	80095,0	15621,7	12736,4	5229,6	3,7
Ortam SD5	6,5	5,2	6104,9	4374,7	16919,6	56334,8	6756,6	18764,9	5353,8	3,6
Değişim (%)	-35,3	181,6	38,3	-29,5	42,0	42,2	131,2	-32,1	-2,3	2,2
SD10	4,1	22,1	7110,0	5177,6	19046,6	81691,5	9893,2	19359,2	6766,1	6,6
Ortam SD10	4,5	6,8	6584,4	4548,6	17905,5	61525,0	8175,3	17136,6	4866,2	16,6
Değişim (%)	-10,8	226,7	8,0	13,8	6,4	32,8	21,0	13,0	39,0	-60,1
SD15	6,4	14,4	7400,0	5274,8	21482,6	82462,4	12778,4	17128,1	6319,5	6,5
Ortam SD15	4,8	7,0	10032,3	4716,5	21789,8	72088,9	12209,3	15290,9	4571,3	2,4
Değişim (%)	32,8	106,1	-26,2	11,8	-1,4	14,4	4,7	12,0	38,2	167,9
YFC5	4,2	18,0	6948,8	4171,0	20575,3	70078,4	12568,1	17967,5	5897,7	3,1
Ortam YFC5	4,2	13,2	5297,3	3998,4	15767,9	51861,7	9320,5	18769,4	6084,6	3,6
Değişim (%)	-0,3	36,1	31,2	4,3	30,5	35,1	34,8	-4,3	-3,1	-15,3
YFC10	3,1	18,2	5829,8	4597,4	19195,6	64689,9	9379,6	17670,4	5821,3	3,1
Ortam YFC10	8,0	18,4	3640,8	4052,8	12198,3	45322,3	6032,1	18083,6	6952,6	4,9
Değişim (%)	-61,7	-1,1	60,1	13,4	57,4	42,7	55,5	-2,3	-16,3	-36,7
YFC15	5,4	12,3	4886,9	3581,7	16018,3	53358,8	11212,5	13738,0	4205,9	2,4
Ortam YFC15	7,4	28,1	6798,8	5313,9	18986,1	72593,1	12998,2	23800,8	9570,9	7,6
Değişim (%)	-26,7	-56,4	-28,1	-32,6	-15,6	-26,5	-13,7	-42,3	-56,1	-67,9
UK5	6,0	18,7	6363,5	3937,2	21438,1	73154,2	10828,1	17796,4	7108,5	5,0
Ortam UK5	4,5	10,7	6493,4	3622,7	14530,0	63852,9	11968,1	17705,0	5182,0	2,4
Değişim (%)	33,4	74,0	-2,0	8,7	47,5	14,6	-9,5	0,5	37,2	111,2
UK10	5,4	27,0	6526,3	4233,0	24795,3	80531,5	15332,1	17710,1	7998,3	6,6
Ortam UK10	2,7	10,9	4913,1	4722,2	16308,4	56090,1	9427,2	19628,5	5728,2	2,4
Değişim (%)	103,1	148,0	32,8	-10,4	52,0	43,6	62,6	-9,8	39,6	170,6
UK15	5,1	23,4	7907,1	3946,1	23349,3	72325,0	11559,1	15397,1	6957,2	6,1
Ortam UK15	6,4	10,9	5084,7	4724,0	15860,1	58121,6	12310,1	18195,7	5148,0	2,3
Değişim (%)	-20,9	114,8	55,5	-16,5	47,2	24,4	-6,1	-15,4	35,1	158,3

Tablo 32. Ilıca Termale Ait ICP-MS Ölçümleri ve Değişim Miktarları

	Li ⁺ (mg/L)	B (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Al ³⁺ (mg/L)	Si (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Fe ²⁺ (mg/L)	As ³⁺ (mg/L)
KN	3,6	-	7.465,1	4.767,2	22.654,8	78.389,8	14.630,5	24.049,7	6.570,0	-
Ortam KN	5,9	13,0	6.108,1	3.514,5	16.823,2	53.884,8	9.920,5	17.729,2	5.169,3	2,3
Değişim (%)	-38,3	-100,0	22,2	35,6	34,7	45,5	47,5	35,7	27,1	-100,0
SD5	1,7649	34,3037	5857,26	3853,283	23116,734	86558,3	16579,93	14779,89	5670,588	3,3828
Ortam SD5	6,5	5,2	6104,9	4374,7	16919,6	56334,8	6756,6	18764,9	5353,8	3,6
Değişim (%)	-72,9	555,2	-4,1	-11,9	36,6	53,6	145,4	-21,2	5,9	-5,7
SD10	3,484	50,9647	9310,17	5753,559	22668,839	85330,7	7960,37	17956,72	7354,219	4,7461
Ortam SD10	4,5	6,8	6584,4	4548,6	17905,5	61525,0	8175,3	17136,6	4866,2	16,6
Değişim (%)	-23,4	653,6	41,4	26,5	26,6	38,7	-2,6	4,8	51,1	-71,4
SD15	4,149	26,9081	6071,83	5316,986	20429,084	78106,63	12320,56	16425,45	6170,304	3,7076
Ortam SD15	4,8	7,0	10032,3	4716,5	21789,8	72088,9	12209,3	15290,9	4571,3	2,4
Değişim (%)	-13,3	284,8	-39,5	12,7	-6,2	8,3	0,9	7,4	35,0	52,7
YFC5	0	0	7159,22	4011,812	21639,031	76488,69	11057,08	15798,83	6266,83	0
Ortam YFC5	4,2	13,2	5297,3	3998,4	15767,9	51861,7	9320,5	18769,4	6084,6	3,6
Değişim (%)	-100,0	-100,0	35,1	0,3	37,2	47,5	18,6	-15,8	3,0	-100,0
YFC10	5,3867	74,432	8440,58	6110,837	25539,394	84413,87	12336,07	23413,21	7839,244	4,9114
Ortam YFC10	8,0	18,4	3640,8	4052,8	12198,3	45322,3	6032,1	18083,6	6952,6	4,9
Değişim (%)	-33,0	304,3	131,8	50,8	109,4	86,3	104,5	29,5	12,8	0,3
YFC15	4,5784	61,9592	7974,28	6005,829	26484,423	79200,7	13715,7	19920,66	6624,256	3,4553
Ortam YFC15	7,4	28,1	6798,8	5313,9	18986,1	72593,1	12998,2	23800,8	9570,9	7,6
Değişim (%)	-37,9	120,4	17,3	13,0	39,5	9,1	5,5	-16,3	-30,8	-54,6
UK5	0	0	7842,16	5935,545	24686,474	87246,77	8337,56	25964,04	9581,514	0
Ortam UK5	4,5	10,7	6493,4	3622,7	14530,0	63852,9	11968,1	17705,0	5182,0	2,4
Değişim (%)	-100,0	-100,0	20,8	63,8	69,9	36,6	-30,3	46,6	84,9	-100,0
UK10	0	0	2751,89	1734,094	9010,774	28620,4	4270,262	6443,496	3139,46	0
Ortam UK10	2,7	10,9	4913,1	4722,2	16308,4	56090,1	9427,2	19628,5	5728,2	2,4
Değişim (%)	-100,0	-100,0	-44,0	-63,3	-44,7	-49,0	-54,7	-67,2	-45,2	-100,0
UK15	0	0	6583,41	4379,142	20924,346	82952,31	9340,869	15628,87	8458,471	0
Ortam UK15	6,4	10,9	5084,7	4724,0	15860,1	58121,6	12310,1	18195,7	5148,0	2,3
Değişim (%)	-100,0	-100,0	29,5	-7,3	31,9	42,7	-24,1	-14,1	64,3	-100,0

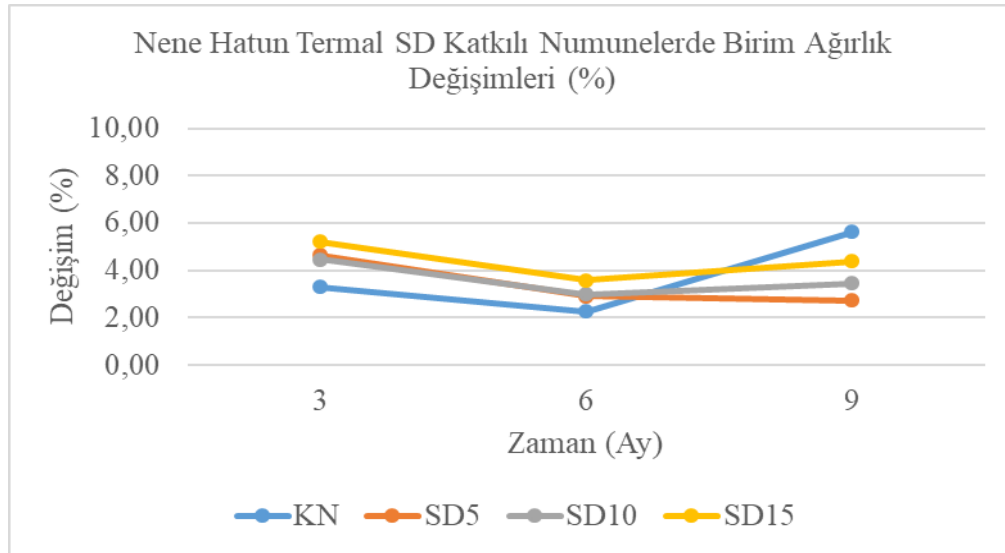
Nene Hatun Termale Yerleştirilen Numunelerde Yapılan Deney Sonuçları

Birim ağırlık tayini

Çalışma kapsamında üretilen numuneler öncelikle 28 günlük kürlenme işleminden sonra etüv kurusu durumuna getirilmiş ve ağırlıkları ölçülmüştür. Bu numuneler tesislere yerleştirilmiş ve çıkarıldıkları ilgili zaman aynı işlemler uygulanarak birim ağırlık değerleri bulunmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken husus her bir numune kendi içinde karşılaştırılmıştır. Örneğin 28 günlük ölçümle 9 aylık ölçüm karşılaştırılmıştır. Ayrıca birim ağırlık değerleri bulunurken numunelerin hacimleri sabit olarak 50*50*50 mm olarak alınmıştır. Tablo 33'de birim ağırlık ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 51'de silis dumanına ait, Şekil 52'de yüksek fırın cürufuna ait ve Şekil 53'de uçucu küle ait grafik bilgileri mevcuttur. Ayrıca ölçümlerin birimi g/cm³ iken değişimler % olarak ifade edilmiştir.

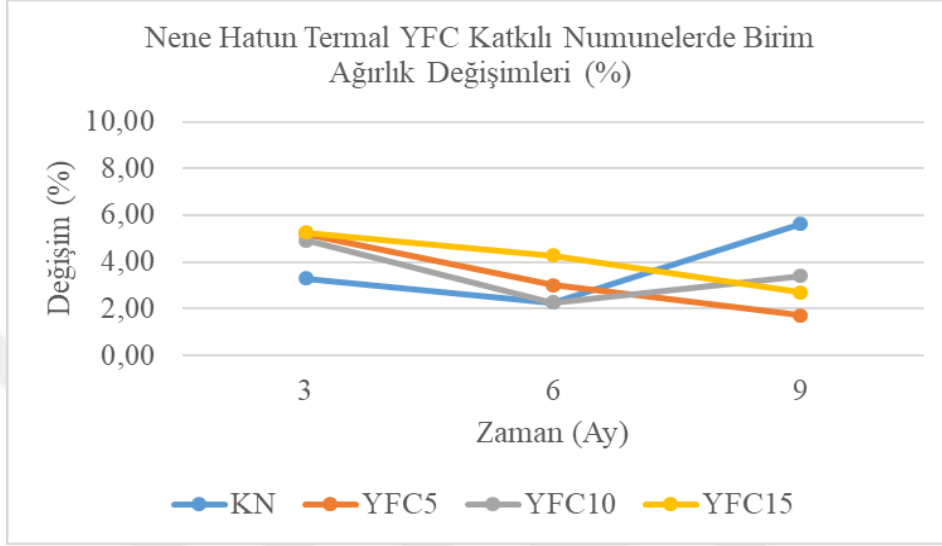
Tablo 33. Nene Hatun Termale Yerleştirilen Numunelerin Birim Ağırlık Değerleri ve Karşılaştırması

Nene Hatun Termale Yerleştirilen Numunelerin Birim Ağırlık Değerleri ve Karşılaştırması									
Numune Kodu	28 Günlük (g/cm ³)	3 Aylık (g/cm ³)	Değişim (%)	28 Günlük (g/cm ³)	6 Aylık (g/cm ³)	Değişim (%)	28 Günlük (g/cm ³)	9 Aylık (g/cm ³)	Değişim (%)
KN	2,19	2,12	3,28	2,18	2,13	2,27	2,23	2,11	5,61
SD5	2,19	2,09	4,63	2,21	2,14	2,92	2,19	2,13	2,73
SD10	2,22	2,12	4,45	2,22	2,16	2,98	2,24	2,17	3,44
SD15	2,25	2,14	5,21	2,26	2,18	3,58	2,28	2,18	4,37
YFC5	2,25	2,13	5,22	2,23	2,17	3,01	2,22	2,18	1,71
YFC10	2,17	2,06	4,91	2,18	2,13	2,27	2,18	2,11	3,39
YFC15	2,13	2,02	5,25	2,23	2,14	4,27	2,20	2,14	2,71
UK5	2,18	2,07	5,26	2,07	2,00	3,49	2,11	2,05	2,72
UK10	2,12	2,00	5,90	2,14	2,07	3,34	2,16	2,08	3,78
UK15	2,13	2,00	6,26	2,17	2,10	2,92	2,14	2,07	3,15



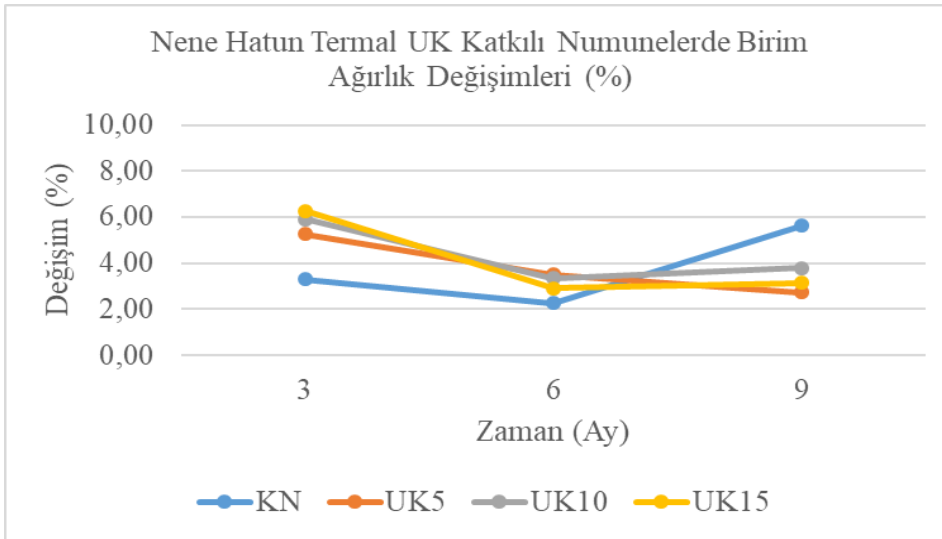
Şekil 51. Nene Hatun Termale yerleştirilen SD numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması

Silis dumanına ait numunelerinin birim ağırlık değerlerine bakıldığında ilk 3 aylık ölçümlerde % 3.28 ile en az değişim kontrol numunesinde görülmüştür. Silis dumanı katkılı numunelerde ilk 3 ayda değişim % 2.09, %2.12 ve % 2.14'lük değişimlerle daha fazla iken birim ağırlık değişimi 9 aylık değerlerde daha az olmuştur. 9 aylık sonuçlarda en az değişim % 2.73 ile SD5 numunesinde görülmüştür. Diğer taraftan 9 aylık değişimlerde en çok değişim % 5.61 ile kontrol numunesine aittir.



Şekil 52. Nene Hatun Termale yerleştirilen YFC numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması

Yüksek fırın cürufuna ait numunelerde de ilk 3 aylık birim ağırlık % 2.19 ile kontrol numunesinde en az değişim oranına sahiptir. 6 aylık ve 9 aylık ölçümlerde YFC' ye ait birim ağırlık değişim oranları düşmüştür. En düşük oran % 1.71 ile YFC5 numunesine aittir. 9 aylık ölçümlerde en az birim ağırlık değişim oranı %5 katkılı YFC5 numunesinde % 1.71'lik oranla görülmüştür.



Şekil 53. Nene Hatun Termale yerleştirilen UK numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması

Uçucu kül katkılı betonlarda birim ağırlık değişim oranlarında SD ve YFC' ye benzerlik göstermektedir. İlk 3 aylık ölçümlerde en düşük değişim oranı % 2,19 ile kontrol numunesinde ölçülmüştür. En düşük birim ağırlık değişimleri 6 ve 9 ayda görülmüştür. 3 aylık değerlerde kontrol numunesinden fazla iken 9 aylık değerlerde bu değişim oranı daha azdır.

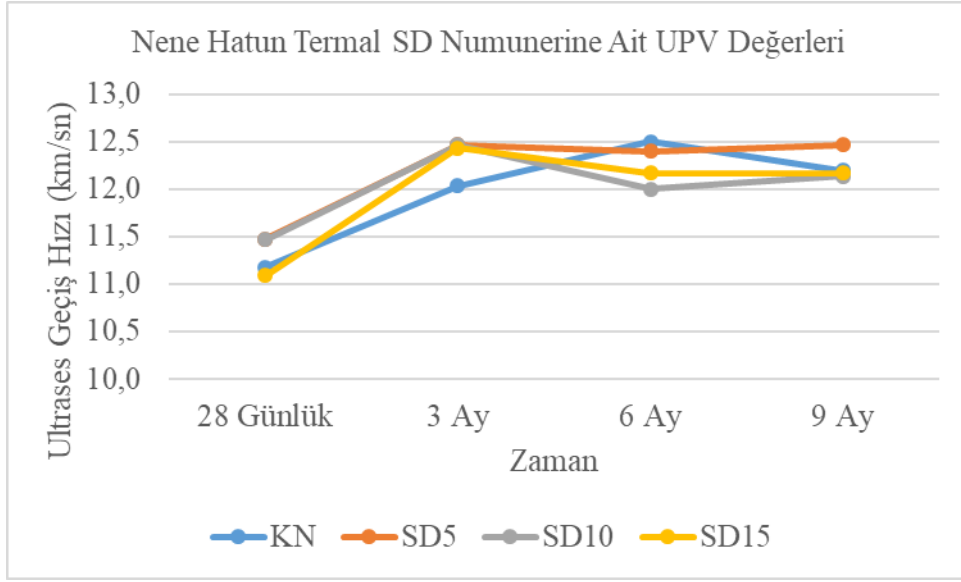
Nene Hatun Termale yerleştirilen numunelerde genel olarak 3 aylık ölçümlerde KN değerleri daha düşük iken 9 aylık sonuçlarda katkılı numunelerin değişim oranları daha düşük çıkmıştır. 9 aylık ölçümlerde en düşük ölçüm YFC katkılı numunelerde hesaplanmıştır. YFC içinde ise en küçük değişim oranı %5 YFC katkılı numunelerdir.

Ultrases hızı ölçümleri

Numuneler üretilip 28 gün süre ile kür havuzunda tutulduktan sonra etüvde tutularak kurutulmuş ve ultrases hız ölçüm cihazı ile ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçüm işlemi 3, 6 ve 9 ay sonunda tesislerden çıkarılan numuneler için tekrarlanmıştır. Tablo 34'de ultrases hız ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 54'de silis dumanı içeren numunelere ait, Şekil 55'de yüksek fırın cürufu içeren numunelere ait ve Şekil 56'da uçucu kül içeren numunelere ait grafik bilgileri mevcuttur.

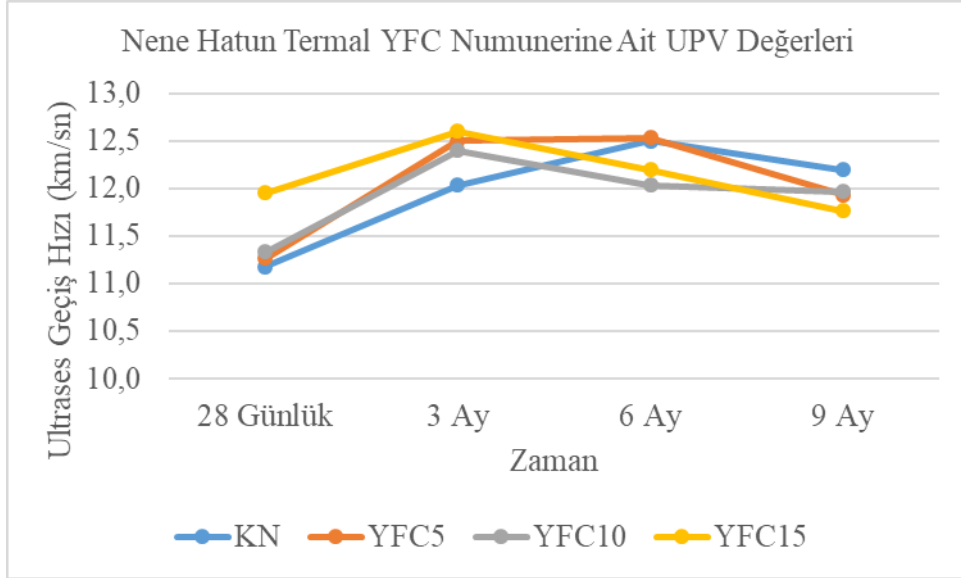
Tablo 34. Nene Hatun Termal UPV Değerleri ve Karşılaştırması

Numune Kodu	28	3 Ay		6 Ay		9 Ay	
	Günlük km/sn	km/sn	Değişim (%)	km/sn	Değişim (%)	km/sn	Değişim (%)
KN	11,2	12,0	7,1	12,5	11,8	12,2	9,1
SD5	11,5	12,5	7,9	12,4	8,0	12,5	8,6
SD10	11,5	12,5	8,0	12,0	4,7	12,1	5,8
SD15	11,1	12,4	10,8	12,2	9,7	12,2	9,7
YFC5	11,3	12,5	9,9	12,5	11,2	11,9	5,9
YFC10	11,3	12,4	8,6	12,0	6,2	12,0	5,6
YFC15	12,0	12,6	5,1	12,2	2,0	11,8	-1,6
UK5	11,9	12,6	5,6	12,8	7,6	12,4	4,5
UK10	12,1	12,8	5,0	12,6	3,7	12,4	2,6
UK15	12,2	12,7	3,7	12,9	5,4	12,2	-0,3



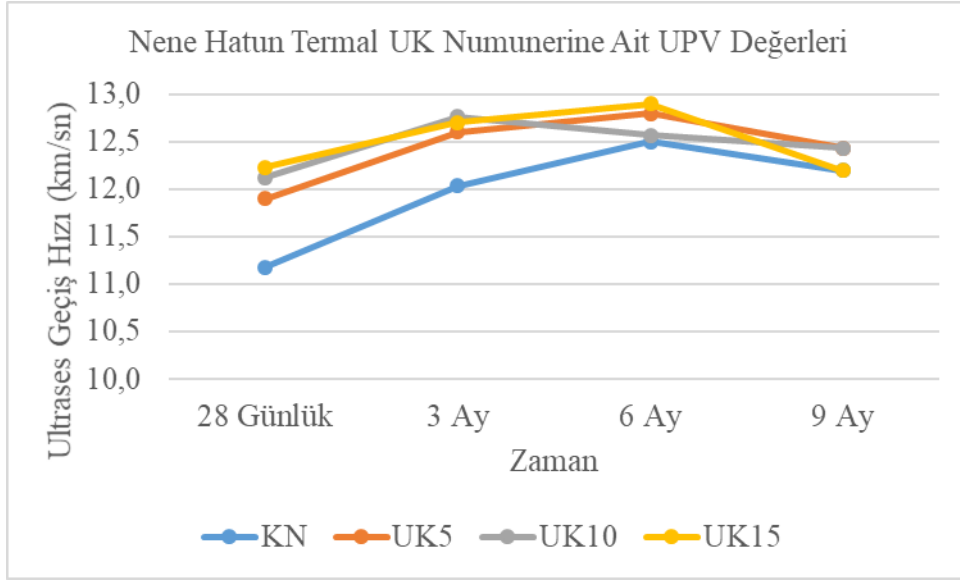
Şekil 54. Nene Hatun Termale ait SD numunelerinin UPV değerleri

Standart 28 günlük kür işlemi sonrası ve Nene Hatun Termale yerleştirilen numuneler üzerinde yapılan ultrases hız ölçüm değerlerine bakıldığı zaman 28 günlük ölçümlerde birbirine yakın değerler elde edilmiştir. En düşük ölçüm SD15 numunesinde 11.1 km/sn olarak ölçülmüştür. 3 ve 6 aylık verilere bakıldığında giderek artmıştır. Ancak 9 aylık ölçümlerde ise bu değerde düşüş görülmüştür. 9 aylık ölçümlerde en büyük değişim oranı % 9.7 ile SD15 numunesinde ölçülmüştür.



Şekil 55. Nene Hatun Termale ait YFC numunelerinin UPV değerleri

YFC' ye ait ölçümlerde ise genel olarak ölçüm hızlarında artış olmuştur. En düşük ölçüm 11,2 km/sn ile kontrol numunesinde ölçülmüştür. YFC15 numunesinde 12,6 km/sn ile ölçülen en yüksek değer olmuştur. YFC15 numunesinde ise düşüş yaşanmıştır.



Şekil 56. Nene Hatun Termale ait UK numunelerinin UPV değerleri

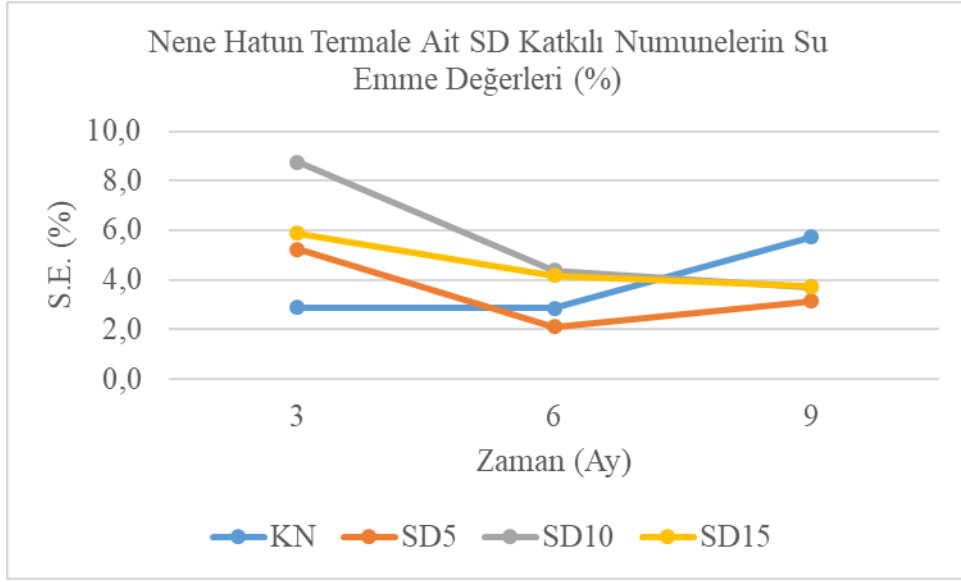
UK numunelerinde 28 günlük ölçümlerde KN' ye göre ölçüm değerleri yüksek çıkmıştır. UK numunelerinin ölçümleri 9 aylık ölçümlerde sabit kaldığı söylenebilir. En yüksek ölçüm değeri 3 aylık numunelerde 12.9 km/sn ile UK15 numunesinde ölçülmüştür.

Su emme ölçümleri

Tablo 35'de su emme deneyine ait ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 57'de silis dumanına ait, Şekil 58'de yüksek fırın cürufuna ait ve Şekil 59'da uçucu küle ait grafik bilgileri mevcuttur.

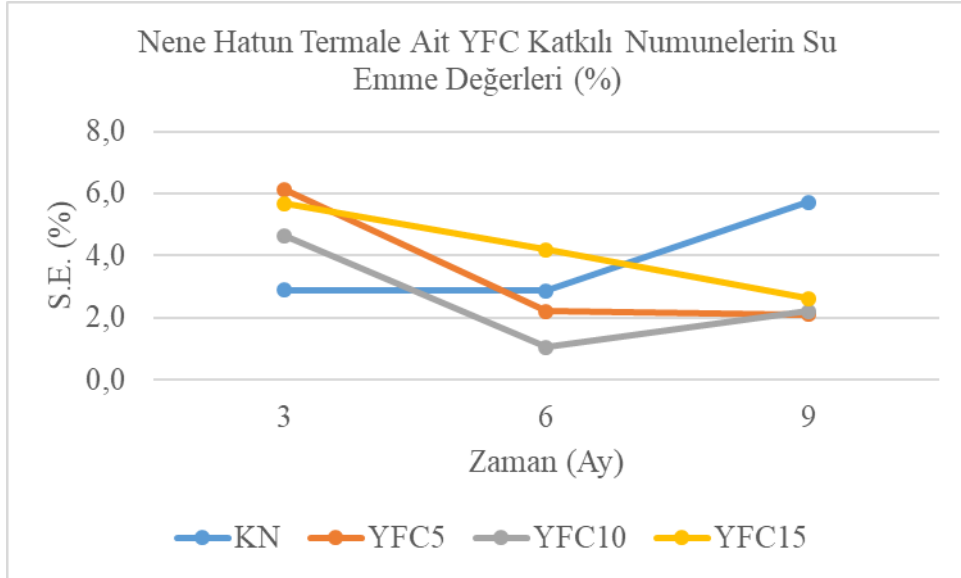
Tablo 35. Nene Hatun Termalden Çıkarılan Numunelerin Su Emme Değerleri

Numune Kodu	3 Aylık	6 Aylık	9 Aylık
KN	2,9	2,9	5,7
SD5	5,2	2,1	3,2
SD10	8,7	4,4	3,7
SD15	5,9	4,2	3,7
YFC5	6,1	2,2	2,1
YFC10	4,7	1,0	2,2
YFC15	5,7	4,2	2,6
UK5	4,6	1,7	1,5
UK10	5,7	1,2	1,8
UK15	6,5	1,4	2,2



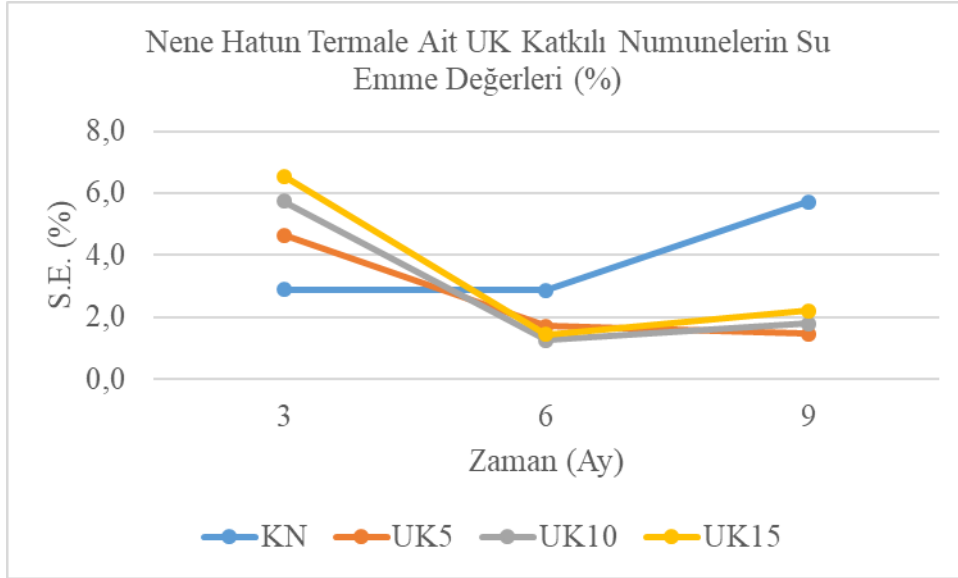
Şekil 57. Nene Hatun Termale ait SD katkılı numunelerin su emme değerleri

Nene Hatun Termale yerleştirilen SD katkılı numunelerin su emme (SE) değerlerine bakıldığında zaman ilk 3 aylık ölçümlerde en düşük SE değeri KN' de % 2.9 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca 9 aylık ölçümlerde numunelerdeki silis dumanı katkı miktarı arttıkça SE değerinin arttığı görülmüştür. KN 6 aylık SE ölçümlerinde 3 aylık ölçümler ile aynı değer elde edilmiştir. 9 aylık ölçümde ise % 5.7 olarak ölçülmüştür. SD katkılı numunelerde ise 9 aylık ölçümler 3 aylık ölçümler göre azalma görülmüştür. En düşük SE değeri % 3.2 ile SD5' de ölçülmüştür.



Şekil 58. Nene Hatun Termale ait YFC katkılı numunelerin su emme değerleri

YFC ölçümlerinde de ilk 3 aylık ölçümler KN'ye göre daha yüksek çıkmıştır. En yüksek ölçüm % 6.1 ile YFC5 numunesinde ölçülmüştür. 9 aylık verilerde ise SE değerleri düşmüştür. En düşük ölçüm % 2.1 ile YFC5 ölçümünde elde edilmiştir.



Şekil 59. Nene Hatun Termale ait UK katkılı numunelerin su emme değerleri

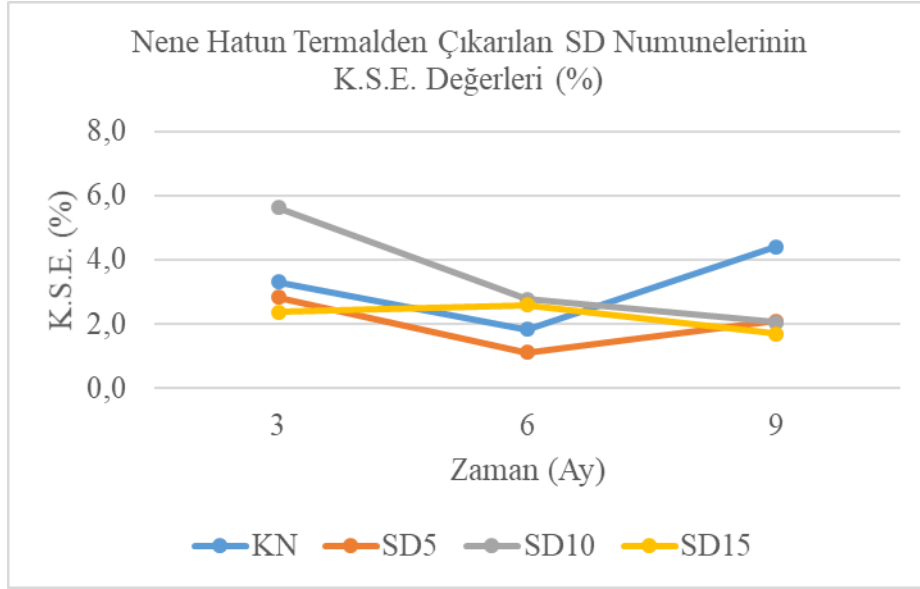
UK katkılı numunelerde SE değerleri SD ile paralellik göstermektedir. UK katkı miktarı arttıkça SE değeri artmıştır. 3 aylık SE değerleri UK5’ de % 4.6, UK10’da %5.7, UK15’de 6.5 olarak ölçülmüştür. 9 aylık ölçümlerde ise düşüş hesaplanmıştır. 9 aylık sonuçlarada en düşük SE değeri %1.5 ile UK5 olarak ölçülmüştür.

Kılcal su emme tayini

Tesislere yerleştirilen numuneler üzerinde kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 36’da Nene Hatun Termale ait kılcal su emme deneyine ait ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 60’da silis dumanına ait, Şekil 61’de yüksek fırın cürufuna ait ve Şekil 62’de uçucu küle ait grafik bilgileri mevcuttur.

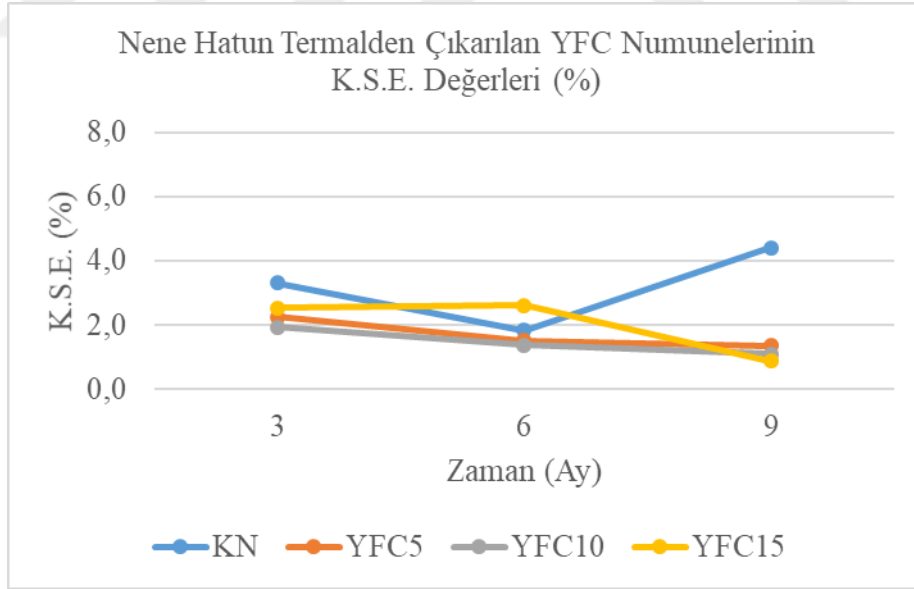
Tablo 36. Nene Hatun Termalden Çıkarılan Numunelerin Kılcal Su Emme Değerleri

Numune Kodu	3 Aylık		6 Aylık		9 Aylık	
	K.S.E.(%)	Kılcal Yükselme (h)	K.S.E.(%)	Kılcal Yükselme (h)	K.S.E.(%)	Kılcal Yükselme (h)
KN	3,3	3,5	1,83	4,2	4,4	2,5
SD5	2,8	2,1	1,12	4,7	2,1	4,2
SD10	5,6	2,0	2,77	4,4	2,1	4,1
SD15	2,4	2,0	2,60	3,6	1,7	3,5
YFC5	2,3	2,0	1,52	4,3	1,3	2,8
YFC10	1,9	2,2	1,37	4,0	1,1	2,9
YFC15	2,5	2,1	2,62	4,1	0,9	2,6
UK5	2,7	2,0	0,44	3,8	0,7	2,5
UK10	2,8	1,9	1,00	4,0	0,7	2,8
UK15	2,9	2,0	0,33	4,0	0,7	2,6



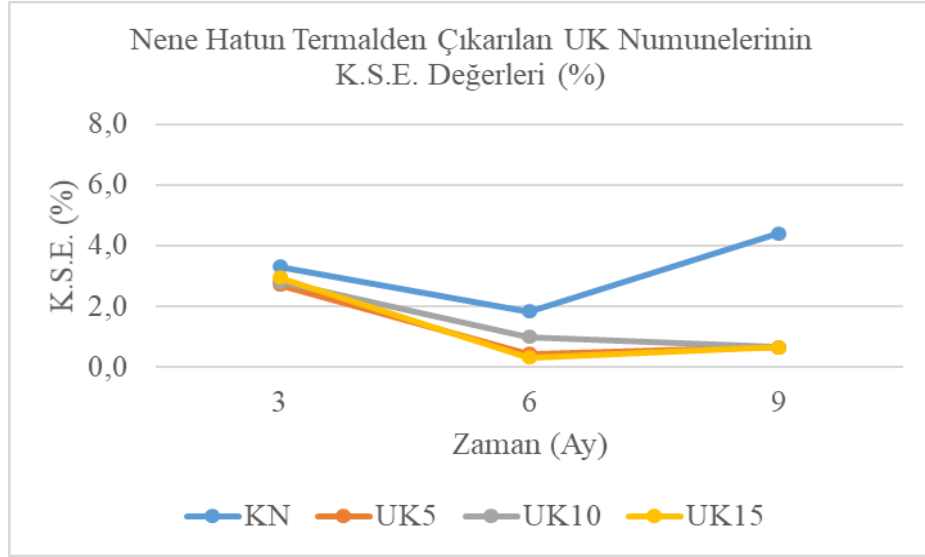
Şekil 60. Nene Hatun Termalden çıkarılan SD numunelerinin K.S.E. değerleri

3 aylık kılcal su emme deneylerinde en fazla su emme % 5.6 ile SD5 numunelerinde görülürken bu oran 6 ayda % 2.8 ve 9 ayda % 2.1 seviyesine düşmüştür. Kontrol numunesi ise 3 ayda % 3.3 iken 9 ayda % 4.4 seviyesine çıkmıştır. İlk 3 ayda % 2.4 ile SD15 ve 9 ayda % 1.7 ile en düşük K.S.E. değerlerine sahiptir.



Şekil 61. Nene Hatun Termalden çıkarılan YFC numunelerinin K.S.E. değerleri

İlk 3 ve 9 aylık ölçümlerde YFC kılcal su emme değerleri KN oranlarının altında kalmıştır. İlk 3 ayda YFC10 numunesi % 1.9 ile 9 ayda ise 0.9 oranı ile YFC15 numunesi en düşük kılcal su emme değerlerine sahiptir.



Şekil 62. Nene Hatun Termalden çıkarılan UK numunelerinin K.S.E. değerleri

UK numunelerinde en yüksek oran ilk 3 ayda çıkmıştır. 3 aylık ölçümlerde UK5 için 2.7, UK10 2.8 ve UK15 için 2.9 oranları elde edilmiştir. 9 aylık sonuçlarda ise her üç numune için % 0.7 olarak bulunmuştur.

Basınç dayanımı tayini

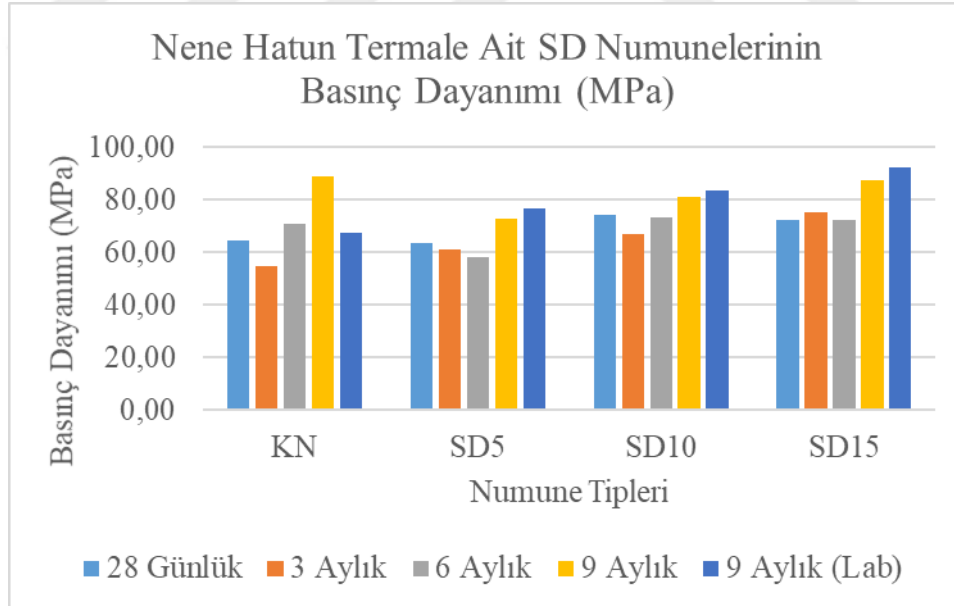
Üretilen numuneler 28 gün standart kür havuzunda tutulduktan sonra basınç dayanımı deneyleri yapılması için beş gruba ayrılmıştır. Birinci grup 28 günlük kür havuzundan çıkarıldıktan sonra, ikinci grup 9 ay boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiş ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Diğer üç grupta kendi içinde üç gruba ayrılarak üç farklı tesise yerleştirilmiş ve bunlarda üç, altı ve dokuz aylarda çıkarılarak basınç deneyleri yapılmıştır. Tablo 37’de tesise ait bütün numunelerin test sonuçları, Tablo 38’de ise 9 aylık basınç dayanımı sonuçları ile birlikte ICP-MS analiz bilgileri bir arada verilmiştir. Ayrıca Şekil 63’de silis dumana, Şekil 64’de yüksek fırın cürufuna ve Şekil 65’de uçucu küle ait basınç dayanımı deney sonuçlarına ait bilgiler bulunmaktadır.

Tablo 37. Nene Hatun Termale Ait Numunelerinin Basınç Dayanımları

Numune Tipi	28 Günlük	3 Aylık	6 Aylık	9 Aylık	9 Aylık (Lab)
KN	64,65	54,69	70,86	88,68	67,53
SD5	63,46	61,13	58,10	72,60	76,52
SD10	74,40	66,72	73,08	81,21	83,54
SD15	72,13	75,27	72,46	87,20	92,03
YFC5	67,46	65,48	65,23	72,74	80,64
YFC10	65,52	59,46	72,03	80,13	73,49
YFC15	59,75	54,83	67,95	72,49	80,28
UK5	61,80	66,42	53,43	70,31	71,03
UK10	70,67	57,30	63,92	79,98	75,69
UK15	75,61	54,84	59,16	70,89	71,81

Tablo 38. Nene Hatun Termale Ait 9 aylık Numunelerde Basınç Dayanımı ve ICP-MS Element Analiz Bilgileri

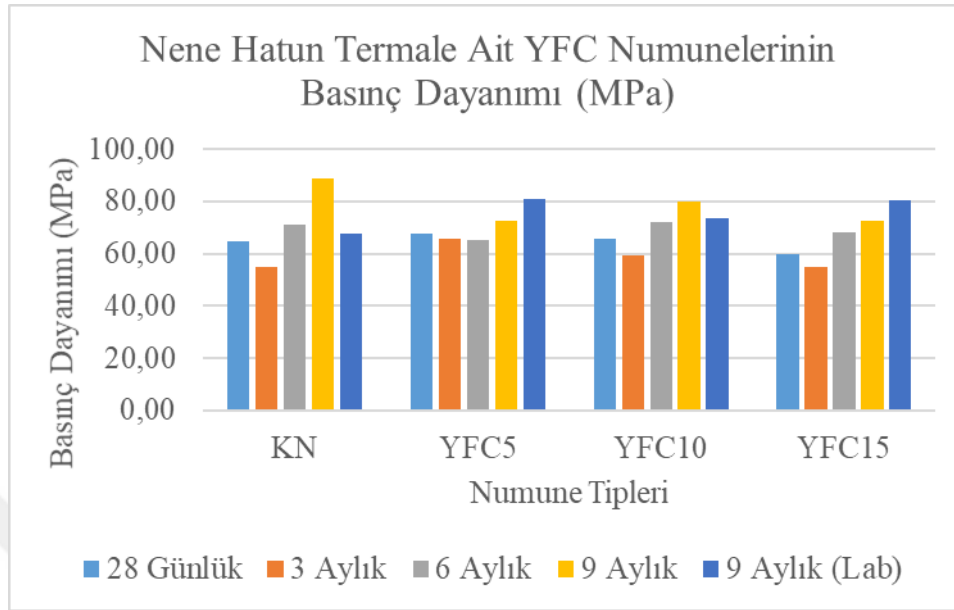
	Nene Hatun Termal			Ortam		
	(Si+Mg+K+Ca) (mg/l)	(Si+Ca+Fe+Al) (mg/l)	9 aylık (MPa)	(Si+Mg+K+Ca) (mg/l)	(Si+Ca+Fe+Al) (mg/l)	9 aylık (MPa)
KN	129.639,04	144.912,82	88,68	85.049,05	93.606,58	67,53
SD5	119.976,16	130.636,07	72,60	86.231,01	97.373,19	76,52
SD10	127.992,52	138.939,21	81,21	91.385,52	101.433,33	83,54
SD15	121.674,27	130.222,94	87,20	104.305,68	113.740,86	92,03
YFC5	127.492,57	141.035,20	72,74	83.949,91	92.483,59	80,64
YFC10	135.232,53	148.053,69	80,13	73.490,82	82.556,75	73,49
YFC15	148.789,11	154.289,85	72,49	114.705,97	124.950,98	80,28
UK5	116.566,84	126.130,70	70,31	97.148,67	101.269,91	71,03
UK10	129.646,75	140.422,16	79,98	89.867,97	97.755,13	75,69
UK15	132.433,21	139.799,34	70,89	93.351,49	97.325,49	71,81



Şekil 63. Nene Hatun Termale ait SD numunelerinin basınç dayanımları

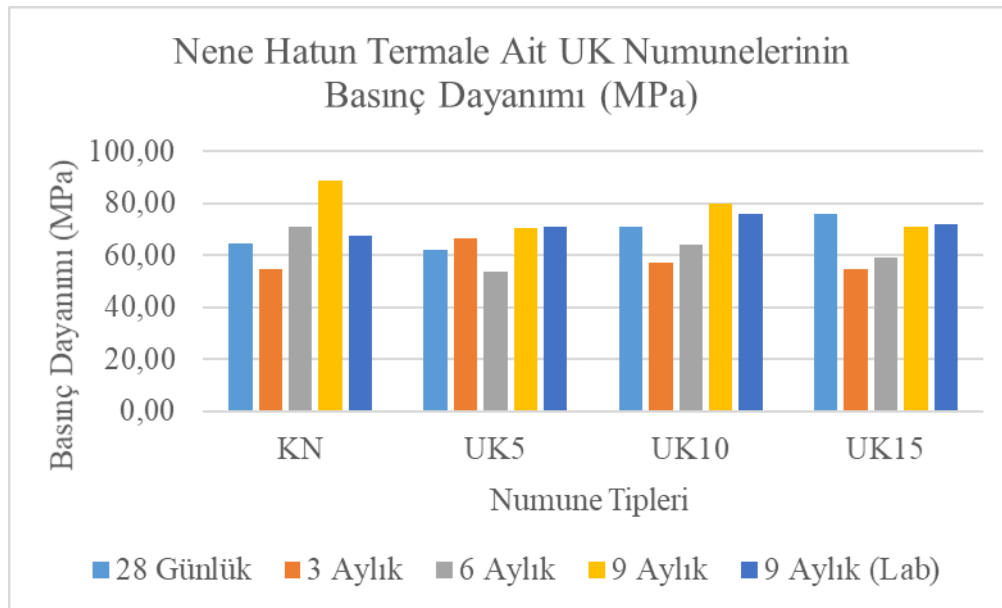
Nene Hatun Termale yerleştirilen silis dumanı katkılı numunelerin ilk altı ayda dayanım değerleri düştüğü ve 9 aylık sonuçlarda ise yükselme olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca laboratuvar ortamında bekletilen numunelerin dayanımı da artmıştır. SD' ye ait numunelerde laboratuvar ortamında basınç dayanım testine tabi tutulan numunelerin değerleri 9 aylık kaplıcadan çıkartılıp teste tabi tutulan numunelerin sonuçlarına göre daha yüksek çıkmıştır.

Tesisten çıkarılan 9 aylık numunelerde silis dumanı katkı miktarı arttıkça dayanımın arttığı görülmüştür. SD5 için 72,60 MPa, SD10 için 81,21 MPa, SD15 için 87,20 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 64. Nene Hatun Termale ait YFC numunelerinin basınç dayanımları

Nene Hatun Termale yerleştirilen numunelerde %5 ve %10 oranında YFC katkıli karışımlarda ilk 6 ay sonuçlar yaklaşık olarak aynı çıkmış ancak 9 aylık verilere bakıldığında zaman mukavemet değerlerinde yükselme görülmüştür. YFC5 ve YFC15 kaplıca numunelerinin değerleri laboratuvar numunelerinin basınç dayanım değerlerinden düşük çıkmıştır. En yüksek ölçüm YFC10' da 80,13 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 65. Nene Hatun Termale ait UK numunelerinin basınç dayanımları

Nene Hatun Termale yerleştirilen uçucu kül katkılı numunelerde ilk 3 ve 6 aylarda dayanım kayıpları tespit edilmiştir. Ancak UK5 ve UK10 numunelerinin 9 aylık sonuçları, 28 günlük standart kür sonrası yapılan basınç dayanımı sonuçlarına göre yüksek çıkmıştır. UK15 numunesi ise 9 aylık basınç dayanımı sonuçlarında düşüş görölmüştür. Ayrıca 9 aylık termal tesise yerleştirilmiş numunelerin basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığı zaman UK5 ve UK15 numunelerinin basınç dayanımı değerleri 9 aylık ortam numunelerinin değerlerinden düşük çıkmıştır. UK10 numuneleri ise daha yüksek çıkmıştır. En yüksek ölçüm 79,98 MPa ile UK10 numunelerinde ölçölmüştür.

Nene Hatun Termale yerleştirilmiş sertleşmiş beton numunelerinde yapılan deney sonuçları birbirini desteklemektedir. İlk 3 ayda birim ağırlık değişim oranları fazla iken su emme ve kılcal su emme değerleri de yüksek çıkmıştır. Aynı zamanda basınç dayanım değerlerinde en büyük düşüşler ilk 3 ayda görölmüştür. 6 aydan sonra özellikle 9 aylık ölçümlerde ise birim ağırlık değişimi, su emme, kılcal su emme oranlarında azalmalar görölmektedir. Buna paralel olarak basınç dayanım sonuçlarında ise en yüksek değerler 9 aylık numunelerde ölçölmüştür. SD ve YFC numuneleri 9 aylık basınç dayanımı sonuçlarında laboratuvar ortamında bekletilen numunelerinin basınç dayanımı değerlerinden düşük çıkmıştır. Ayrıca UK numunelerinin mukavemet değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Jeotermal su analiz bilgilerine bakıldığı zaman sülfat (SO_4^{2-}) miktarı 623 mg/l olarak tespit edilmiştir. TS 3440 standardında “doğal zeminler ve yeraltı sularından kaynaklanan kimyasal etkiler için etki sınıflarının sınır değerlerinin” belirtildiği Tablo 9’ da SO_4^{2-} miktarı için XA2 referans kodu olarak belirlenmiş ve kuvvetli saldırı olarak sınıflandırılmıştır. Sülfat iyonlarının betona sızarak çimento bileşenleri ile reaksiyona girmesi sonucu deformasyonlar oluşur ve bu genleşmeler küçük kılcal çatlaklara yol açar. Kılcal çatlaklardan suyun etkisi ile madde taşınması sonucu birim ağırlık değerlerinde düşüşler, su emme ve kılcal su emme ölçümlerinde ise artışlara sebep olur. Ayrıca basınç dayanımında düşüşlere sebep olur (Nergiz, 2007). Bu sebeple 3 aylık mukavemet düşüşlerinde kuvvetli sülfat etkisi olduğu düşünölmektedir.

Kükürt, genellikle metal sülfürleri olarak bulunur. Sülfür minerallerinin su ile teması ile bozunur ve oksitlenerek sülfat iyonlarını oluşturur (Hem, 1985). şekil 66’ da göröldüğu gibi numunelerde kükürt etkisi, sarı renk olarak açıkça görölmektedir.



Şekil 66. Nene Hatun Termale yerleştirilen numunelerde kükürt etkisi

Nene Hatun Termale ait su analiz bilgilerinde magnezyum miktarı 44 mg/L, kalsiyum miktarı ise 251 mg/l olarak ölçülmüştür. Baradan et al. (2010) göre kimyasal etki sonucunda magnezyum sülfatın kalsiyum oksit ile tepkimeye girmesi sonucu kalsiyum sülfat ve magnezyum oksit yani “brusit” oluşur. Brusit çökelerek yüzeyde bulunan gözenekleri tıkayarak koruyucu bir tabaka oluşur. Bu tabaka reaksiyon gelişimini yavaşlatır. Ayrıca Ca(OH)_2 ile CO_2 reaksiyona girerek CaCO_3 oluşur ve bu üründe çökelir ve koruyucu tabaka şeklini alır. Bu tabaka 20-50 μm kalınlığında olabilir ve betonarme yapı elemanının suya tamamen gömülü bölgelerinde görülür. Bizim yaptığımız çalışmalarda da numuneler jeotermal kaynakların çıkmış olduğu kuyuların dip kısmına yerleştirilmiştir. Şekil 66’ da görüldüğü üzere oluşan tabaka magnezyum ve kalsiyumdan dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Bu tabaka suyun betona difizyonunu engellediği düşünülmektedir. Bu durum daha az geçirimsizliği sağlamış ve birim ağırlık değişim oranlarının azalmasına, su emme ve kılcal su emme değerlerinin de düşmesine yol açtığı sanılmaktadır. Ayrıca bu yapı basınç dayanımı olumlu etkilediği düşünülmektedir.

SD ve YFC numunelerinde termalden çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında bekletilen numunelere göre basınç dayanımı sonuçları daha düşük çıkmıştır. Uzun sürelerde betonun magnezyum tuzları ile teması ile CSH içindeki kalsiyum magnezyum iyonları ile yer değiştirir ve bağlayıcılık özelliği olmayan MSH oluşur ve bu dayanım kaybına sebep

olmaktadır (Baradan *et al.* 2010). Bu durum laboratuvar ortamındaki numunelerin basınç dayanımlarına göre daha düşük değerler elde edilmesinin sebebi olarak düşünülmektedir.

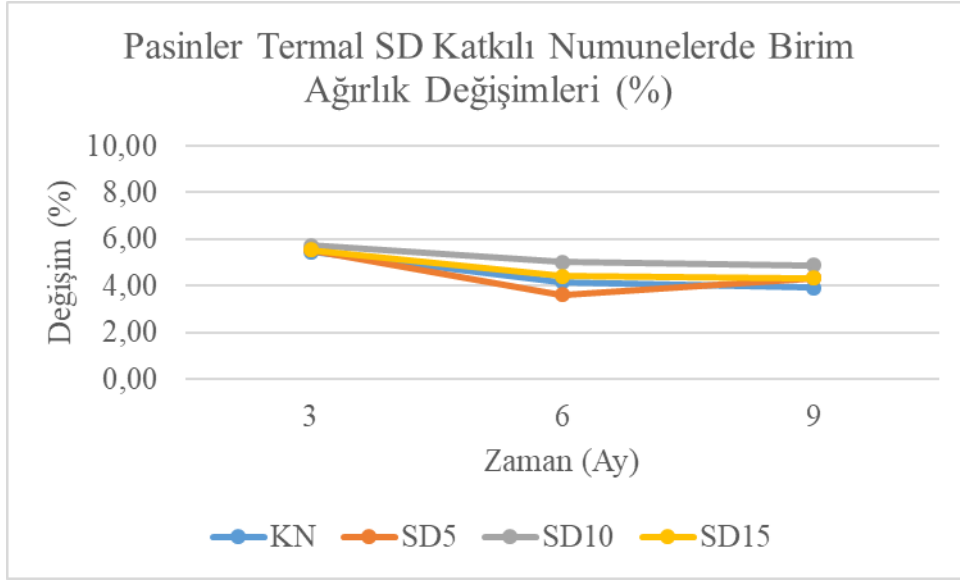
Pasinler Termale Yerleştirilen Numunelerde Yapılan Deney Sonuçları

Birim ağırlık tayini

Çalışma kapsamında üretilen numuneler öncelikle 28 günlük kütleme işleminden sonra etiv kurusu durumuna getirilmiş ve ağırlıkları ölçülmüştür. Bu numuneler tesislere yerleştirilmiş ve çıkarıldıkları ilgili zaman aynı işlemler uygulanarak birim ağırlık değerleri bulunmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken husus her bir numune kendi içinde karşılaştırılmıştır. Örneğin 28 günlük ölçümle 9 aylık ölçüm karşılaştırılmıştır. Ayrıca birim ağırlık değerleri bulunurken numunelerin hacimleri sabit olarak 50*50*50 mm olarak alınmıştır. Tablo 39’da birim ağırlık ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 67’de silis dumanına ait, Şekil 68’de yüksek fırın cürufuna ait ve Şekil 69’da uçucu küle ait grafik bilgileri mevcuttur. Ayrıca ölçümlerin birimi g/cm³ iken değişimler % olarak ifade edilmiştir.

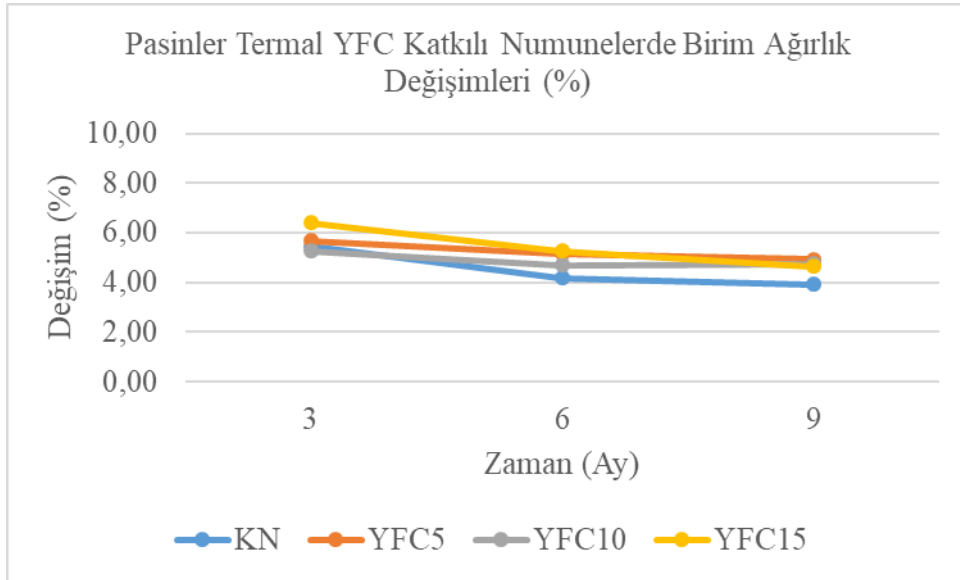
Tablo 39. Pasinler Termale Yerleştirilen Numunelerin Birim Ağırlık Değerleri ve Karşılaştırması

Pasinler Termale Yerleştirilen Numunelerin Birim Ağırlık Değerleri ve Karşılaştırması									
Numune Kodu	28 Günlük (g/cm ³)	3 Aylık (g/cm ³)	Değişim (%)	28 Günlük (g/cm ³)	6 Aylık (g/cm ³)	Değişim (%)	28 Günlük (g/cm ³)	9 Aylık (g/cm ³)	Değişim (%)
KN	2,20	2,08	5,44	2,19	2,10	4,17	2,20	2,11	3,93
SD5	2,24	2,12	5,53	2,21	2,13	3,60	2,21	2,12	4,32
SD10	2,24	2,11	5,72	2,23	2,11	5,03	2,22	2,12	4,86
SD15	2,24	2,12	5,54	2,23	2,13	4,40	2,22	2,12	4,34
YFC5	2,26	2,13	5,66	2,23	2,12	5,15	2,21	2,10	4,92
YFC10	2,21	2,09	5,25	2,19	2,09	4,68	2,17	2,07	4,73
YFC15	2,25	2,10	6,41	2,22	2,10	5,25	2,23	2,13	4,64
UK5	2,04	1,93	5,30	2,06	1,95	5,21	2,11	2,01	4,77
UK10	2,14	2,02	5,97	2,12	2,00	5,88	2,16	2,04	5,88
UK15	2,09	1,97	5,93	2,13	2,00	5,78	2,15	2,04	5,35



Şekil 67. Pasinler Termale yerleştirilen SD numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması

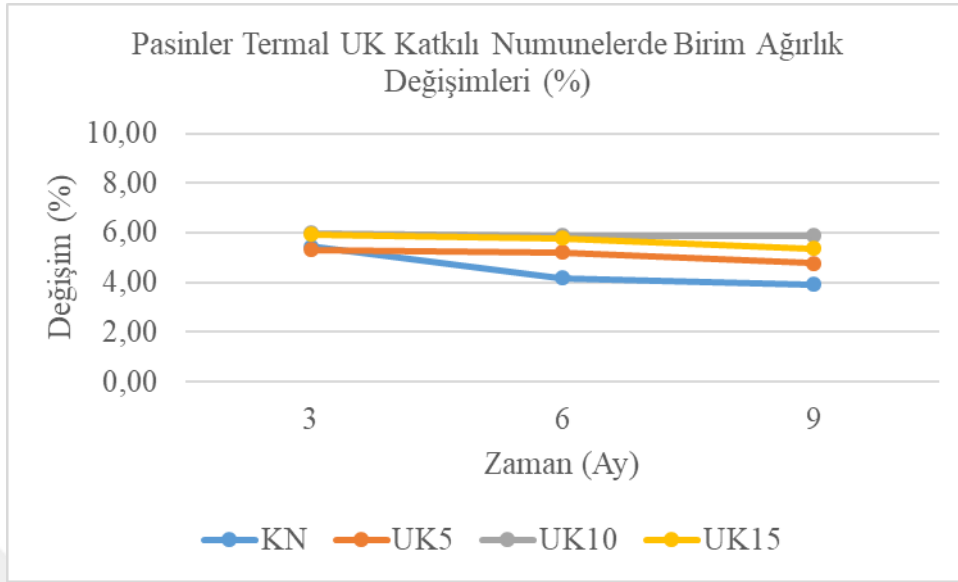
Pasinler Termale yerleştirilen SD numunelerinde birim ağırlık değişim oranları birbirine oldukça yakındır. İlk 3 aylık ölçümlerde KN birim ağırlık değişimi %5,44 ölçülürken SD numunelerinde sıra ile % 5.53, %5.72 ve %5.54 olarak ölçülmüştür. 9 aylık değerlerin 3 aylık değerlere oranla daha az oranda değişim olduğu görülür. Ayrıca 9 aylık değerlerde SD katkılı numunelerin değişim oranları KN' ye göre daha yüksek çıkmıştır. En yüksek ölçüm %4.86 ile SD10 numunesinde görülmüştür.



Şekil 68. Pasinler Termale yerleştirilen YFC numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması

YFC katkılı betonlarda da değerler birbirine oldukça yakındır. Ancak 9 aylık değerler az miktarda da olsa düşüş görülmüştür. 3 aylık ölçümlerde en düşük oran %5.25 ile YFC10 numunesinde ölçülmüştür. 9 aylık değerlerde en az birim ağırlık değişim oranları yine kontrol

numunelerine aittir. En fazla birim ağırlık değişimi %4.92 ile YFC5' de %4.92 olarak ölçülmüştür.



Şekil 69. Pasinler Termale yerleştirilen UK numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması

UK numunelerinde değişim oranı yaklaşık olarak aynı kalmıştır. Ancak 9 aylık değerlerde UK numunelerinin birim ağırlık değişim oranı daha yüksek çıkmıştır. En yüksek ölçüm % 5.88 ile UK10' da ölçülmüştür.

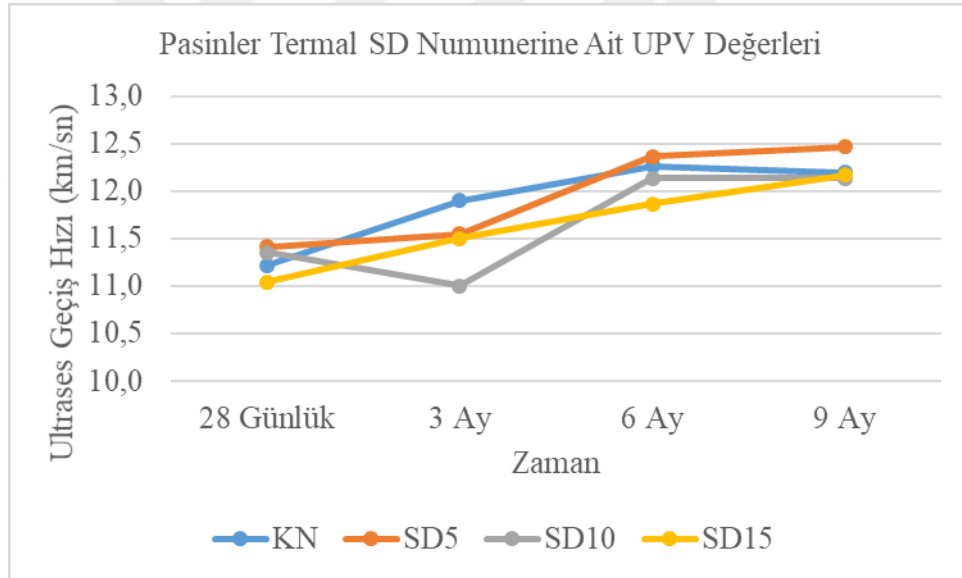
Pasinler Termalde yapılan birim ağırlık deneylerinde YFC ve UK katkılı numunelerin birim ağırlık değişim oranları KN' den fazla çıkmıştır. Sadece SD numunelerinin değeri KN ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. 3 katkı içinde en düşük değerlere SD' de ulaşılmıştır.

Ultras hız ölçümleri

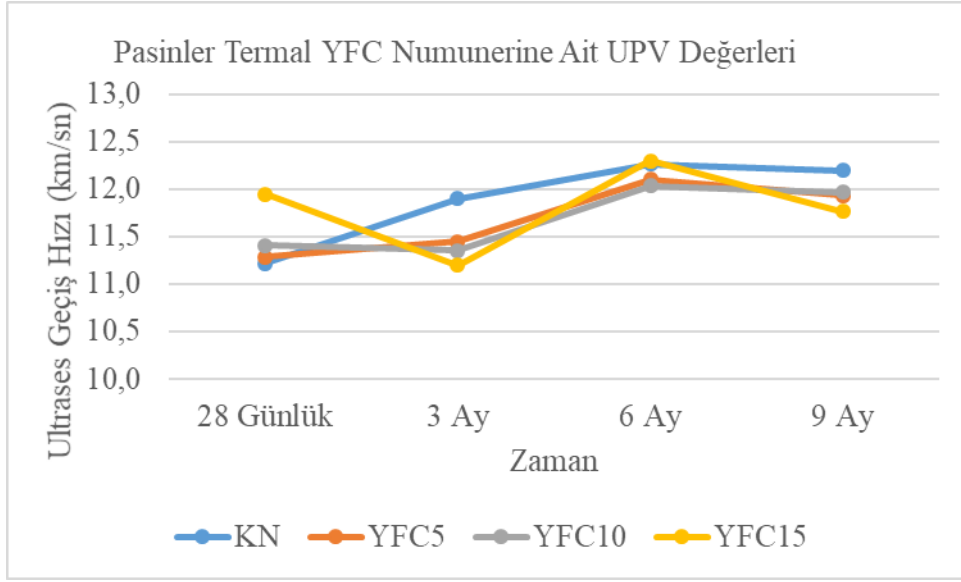
Tablo 40'da ultras hız ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 70'de silis dumanı içeren numunelere ait, Şekil 71'de yüksek fırın cürufu içeren numunelere ait ve Şekil 72'de uçucu kül içeren numunelere ait grafik bilgileri mevcuttur.

Tablo 40. Pasinler Termal UPV Değerleri ve Karşılaştırması

Numune Kodu	28 Günlük		3 Ay		6 Ay		9 Ay	
	km/sn	km/sn	Değişim (%)	km/sn	Değişim (%)	km/sn	Değişim (%)	
KN	11,2	11,9	6,1	12,3	9,4	12,2	8,8	
SD5	11,4	11,6	1,2	12,4	8,4	12,5	9,3	
SD10	11,4	11,0	-3,1	12,1	6,9	12,1	6,9	
SD15	11,0	11,5	4,1	11,9	7,4	12,2	10,2	
YFC5	11,3	11,5	1,5	12,1	7,2	11,9	5,8	
YFC10	11,4	11,4	-0,5	12,0	5,5	12,0	4,9	
YFC15	12,0	11,2	-6,3	12,3	2,9	11,8	-1,5	
UK5	12,1	12,1	-0,7	12,6	4,1	12,4	2,4	
UK10	12,0	11,8	-2,4	12,3	2,5	12,4	3,3	
UK15	12,2	11,8	-3,8	12,6	3,4	12,2	-0,1	

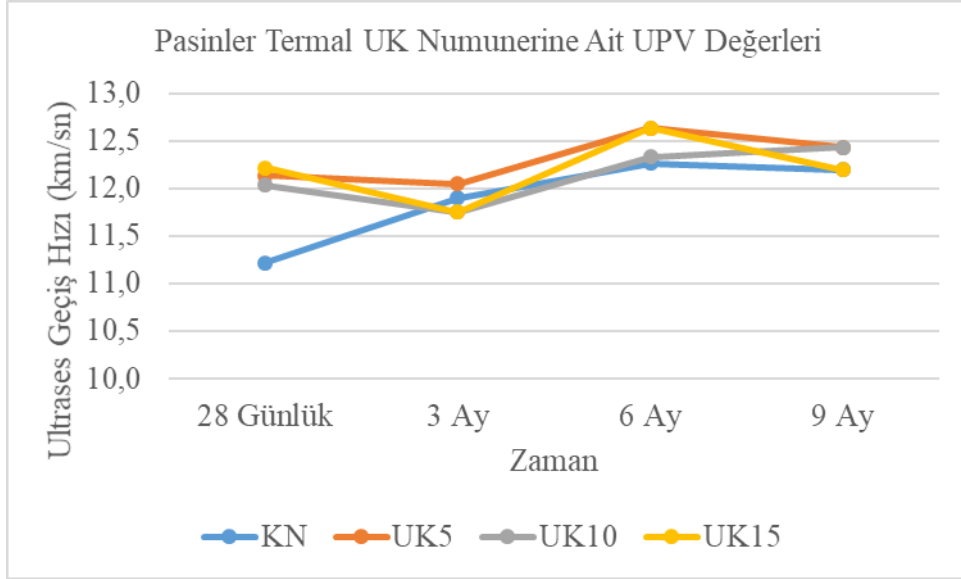
**Şekil 70.** Pasinler Termale ait SD numunelerinin UPV değerleri

Pasinler Termale yerleştirilmiş numunelerde 28 günlük ölçüm değerleri birbirine yakınken 9 aylık periyotta bu ölçüm değerleri yükselmiştir. En yüksek değere 12.5 km/sn ile SD5 numunesinden elde edilmiştir.



Şekil 71. Pasinler Termale ait YFC numunelerinin UPV değerleri

Pasinler Termale ait YFC numunelerinde 3 aylık ölçümlerinde düşüşler görülmüş olsada 9 aylık ölçümlerde ultrases ölçüm değerleri daha yüksek ölçülmüştür.



Şekil 72. Pasinler Termale ait UK numunelerinin UPV değerleri

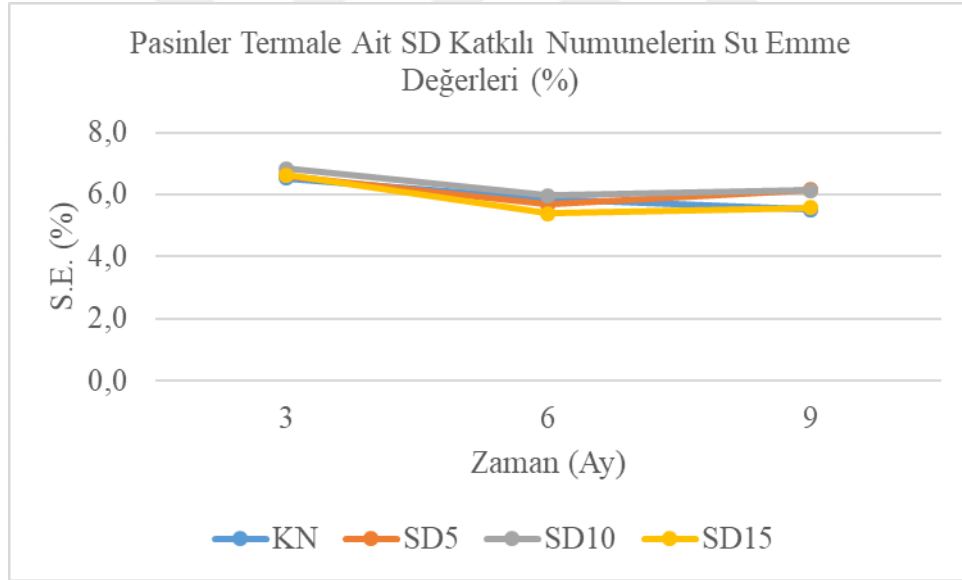
Pasinler Termale yerleştirilen UK numunelerinde KN'ne göre değerler yüksek çıkmıştır. 9 aylık değerler az miktarda da olsa artmıştır.

Su emme tayini

Tablo 41'de su emme deneyine ait ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 73'de silis dumanına ait, Şekil 74'de yüksek fırın cürufuna ait ve Şekil 75'de uçucu küle ait grafik bilgileri mevcuttur.

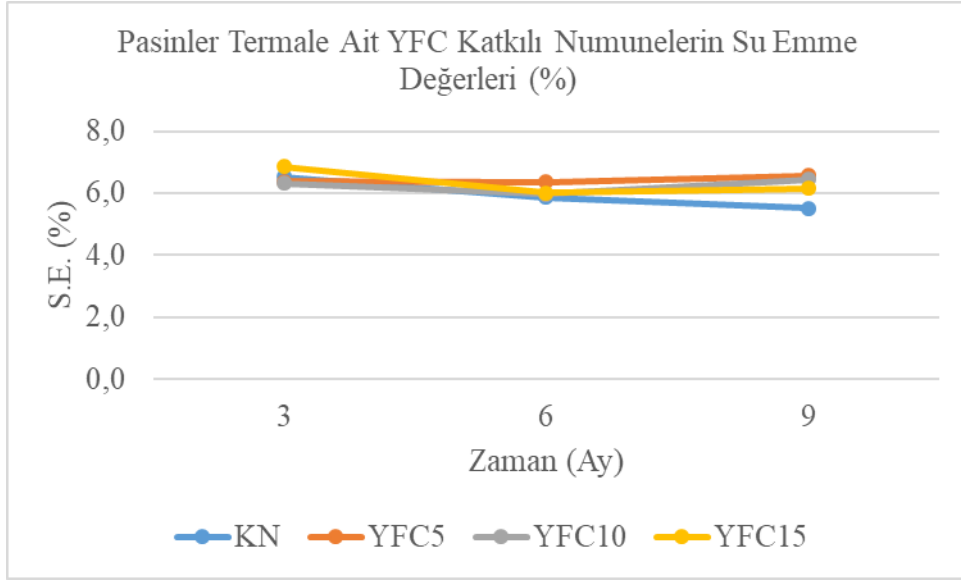
Tablo 41. Pasinler Termalden Çıkarılan Numunelerin Su Emme Değerleri

Numune Kodu	3 Aylık	6 Aylık	9 Aylık
KN	6,5	5,9	5,5
SD5	6,6	5,7	6,2
SD10	6,8	6,0	6,1
SD15	6,6	5,4	5,6
YFC5	6,4	6,4	6,6
YFC10	6,3	6,0	6,4
YFC15	6,8	6,0	6,1
UK5	6,6	6,4	6,8
UK10	6,7	6,8	7,2
UK15	7,3	7,2	6,9



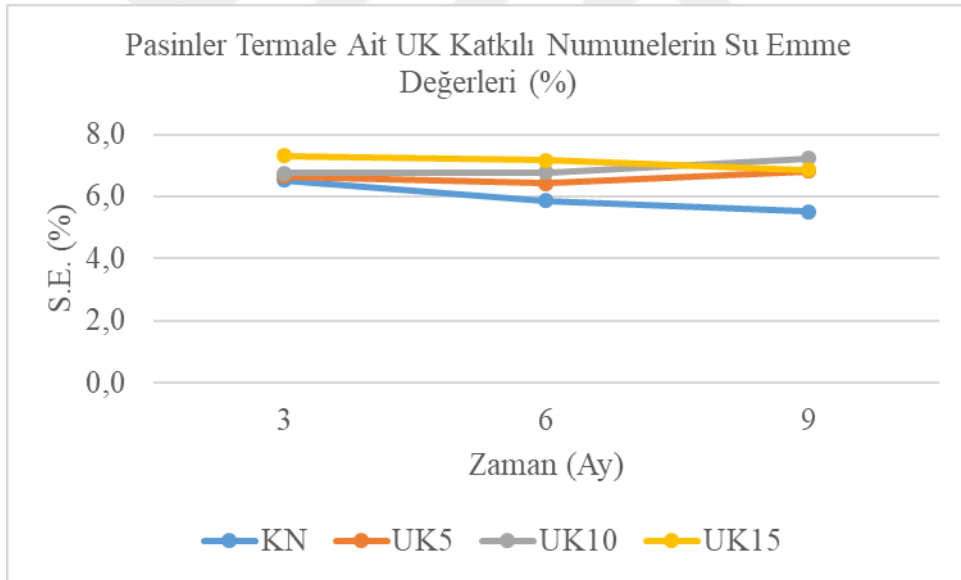
Şekil 73. Pasinler Termale ait SD katkılı numunelerin su emme değerleri

Pasinler Termale yerleştirilmiş olan SD katkılı numunelerin SE değerleri KN' ye oranla çok az miktarda fazla çıkmıştır. 9 aylık SE değerlerine bakıldığında zaman ilk 3 aylık ölçümlere göre düşüş görülmüştür. En düşük ölçüm ise % 5.6 SE değeri ile SD15' e aittir. Ancak % 5.5 SE değeri ile kontrol numunesine ait SE değerinden fazla ölçülmüştür.



Şekil 74. Pasinler Termale ait YFC katkılı numunelerin su emme değerleri

Pasinler Termalde YFC katkılı numunelerin SE değerleri KN numuneleri ile yakın değerler çıkmış ancak 9 aylık ölçümlerde ise SE değerleri aynı çıkmış ancak SD katkılı numunelere göre yüksek çıkmıştır.



Şekil 75. Pasinler Termale ait UK katkılı numunelerin su emme değerleri

UK katkılı numunelerde ise YFC numuneleri ile paralel değerler taşımaktadır. 3 ve 9 aylık ölçümler yakın değerler taşımaktadır. 9 aylık ölçümlerde UK' ye ait SE değerleri KN göre daha düşük çıkmıştır.

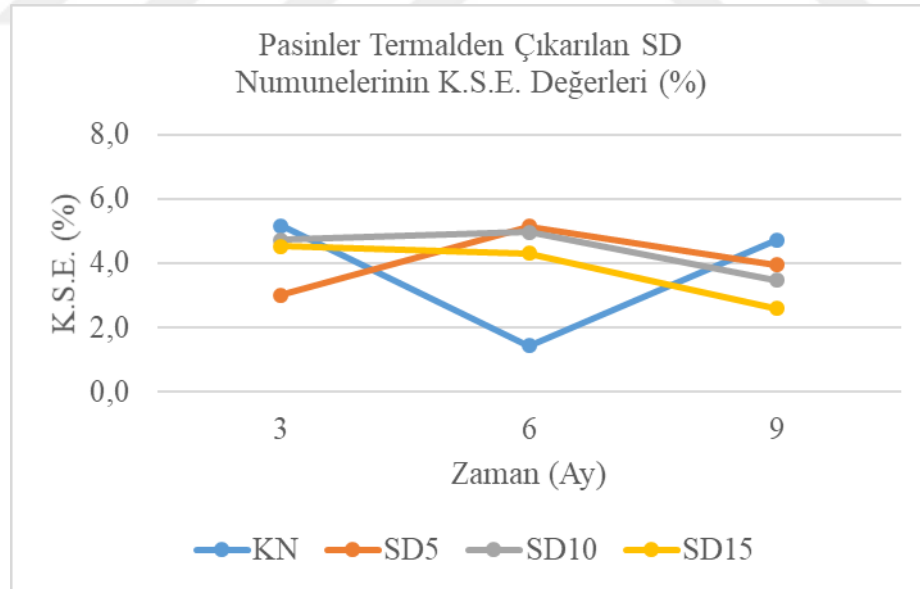
Kılcal su emme tayini

Tesislere yerleştirilen numuneler üzerinde kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 42'de Nene Hatun Termale ait kılcal su emme deneyine ait ölçüm

değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 76'da silis dumanına ait, Şekil 77'de yüksek fırın cürufuna ait ve Şekil 78'de uçucu küle ait grafik bilgileri mevcuttur.

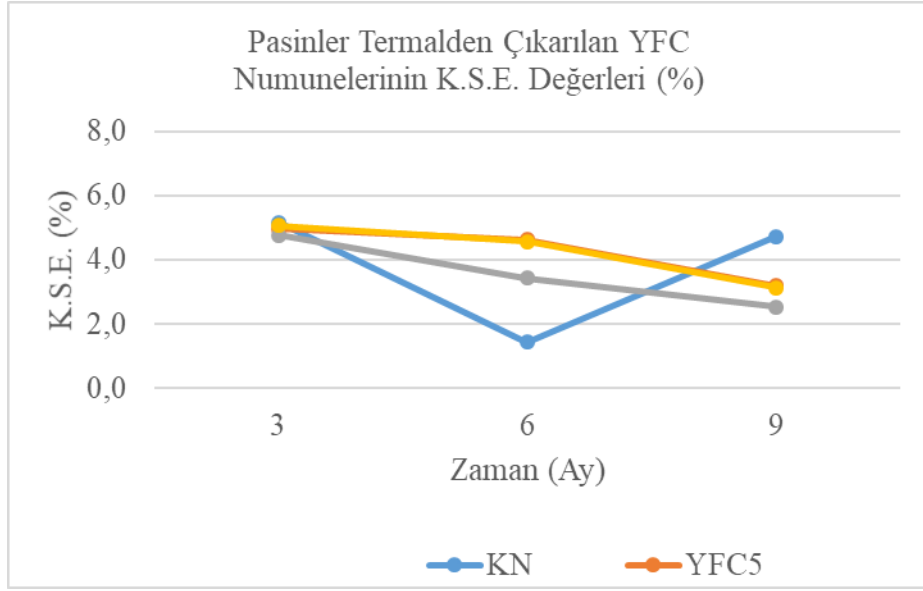
Tablo 42. Pasinler Termalden Çıkarılan Numunelerin Kılcal Su Emme Değerleri

Numune Kodu	3 Aylık		6 Aylık		9 Aylık	
	K.S.E.(%)	Kılcal Yükselme (h)	K.S.E.(%)	Kılcal Yükselme (h)	K.S.E.(%)	Kılcal Yükselme (h)
KN	5,2	2,5	1,4	4,0	4,7	2,7
SD5	3,0	2,6	5,1	4,3	3,9	2,2
SD10	4,7	2,4	5,0	3,8	3,5	1,7
SD15	4,5	2,6	4,3	3,4	2,6	1,8
YFC5	5,0	2,5	4,6	3,2	3,2	0,9
YFC10	4,8	3,3	3,4	3,2	2,5	1,2
YFC15	5,1	3,3	4,6	3,5	3,1	1,9
UK5	4,8	2,1	3,6	3,5	2,2	0,7
UK10	4,6	2,5	4,9	3,5	3,6	1,1
UK15	5,1	2,5	5,3	3,3	3,3	1,3



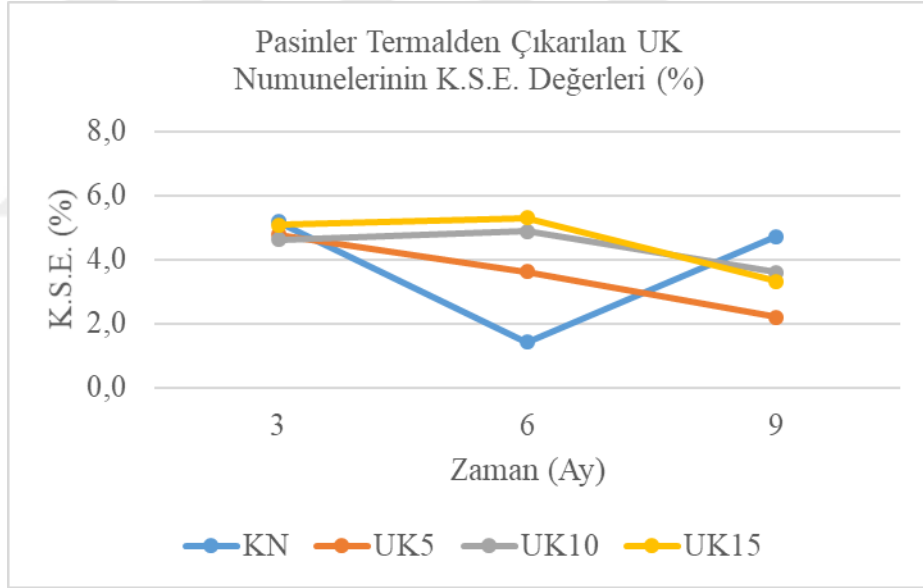
Şekil 76. Pasinler Termalden çıkarılan SD numunelerinin K.S.E. değerleri

Pasinler Termale yerleştirilen SD numunelerinin kılcal su emme değerlerinde 3 aylık sonuçlarda % 5.2 ve 9 aylık da % 4.7 oranı ile en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. SD5 numunelerinde 3 ayda % 3.0, 6 ayda % 5.1 ve 9 ayda % 3.9 dokuz elde edilmiştir. SD10 ve SD15 numunelerinde ilk 3 aya oranla 9 aylık K.S.E. oranları düşmüştür. 9 aylık sonuçlarda en düşük K.S.E. oranı % 1.8 ile SD15 numunesinde elde edilmiştir.



Şekil 77. Pasinler Termalden çıkarılan YFC numunelerinin K.S.E. değerleri

YFC numunelerinde en yüksek K.S.E. oranları 3 ayda en düşük oranlar 9 ayda ölçülmüştür. 9 aylık sonuçlarda en düşük oran % 0.9 ile YFC5 numunesinde ölçülmüştür.



Şekil 78. Pasinler Termalden çıkarılan UK numunelerinin K.S.E. değerleri

UK numunelerinde ilk 3 ve 6 aylık K.S.E. oranları 9 aylık oranlara göre daha yüksek çıkmıştır. En yüksek K.S.E. oranı KN numunesinden sonra YFC15'de % 5.1 çıkmıştır. 9 aylık periyotta ise en düşük oran % 0.9 ile YFC5 numunelerinde elde edilmiştir.

Basınç dayanımı tayini

Üretilen numuneler 28 gün standart kür havuzunda tutulduktan sonra basınç dayanımı deneyleri yapılması için beş gruba ayrılmıştır. Birinci grup 28 günlük kür havuzundan çıkarıldıktan sonra, ikinci grup 9 ay boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiş ve basınç

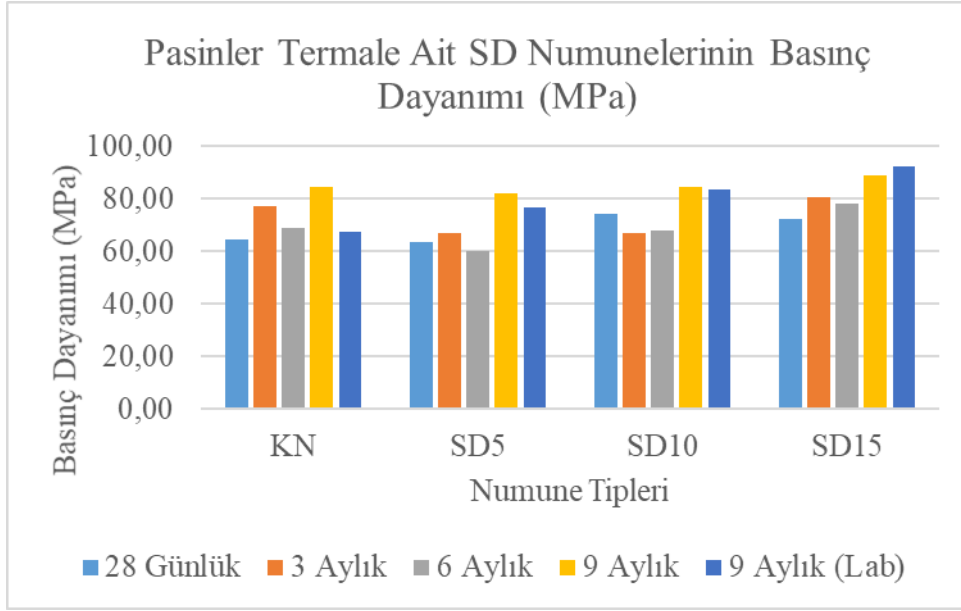
dayanımı deneyleri yapılmıştır. Diğer üç grupta kendi içinde üç gruba ayrılarak üç farklı tesise yerleştirilmiş ve bunlarda üç, altı ve dokuz aylarda çıkarılarak basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Tablo 43’de tesise ait bütün numunelerin test sonuçları, Tablo 44’de ise 9 aylık basınç dayanımı sonuçları ile birlikte ICP-MS analiz bilgileri bir arada verilmiştir. Ayrıca Şekil 79’da silis dumanı, Şekil 80’de yüksek fırın cürufuna ve Şekil 81’de uçucu küle ait basınç dayanımı deney sonuçlarına ait bilgiler bulunmaktadır.

Tablo 43. Pasinler Termale Ait Numunelerinin Basınç Dayanımları

Numune Tipi	28 Günlük	3 Aylık	6 Aylık	9 Aylık	9 Aylık (Lab)
KN	64,65	76,99	68,83	84,27	67,53
SD5	63,46	66,70	59,88	82,21	76,52
SD10	74,40	66,78	67,70	84,37	83,54
SD15	72,13	80,62	78,06	88,80	92,03
YFC5	67,46	77,10	65,78	94,57	80,64
YFC10	65,52	70,21	48,72	91,81	73,49
YFC15	59,75	81,43	69,29	101,17	80,28
UK5	61,80	47,10	53,35	80,30	71,03
UK10	70,67	69,28	61,78	73,10	75,69
UK15	75,61	57,37	56,33	80,26	71,81

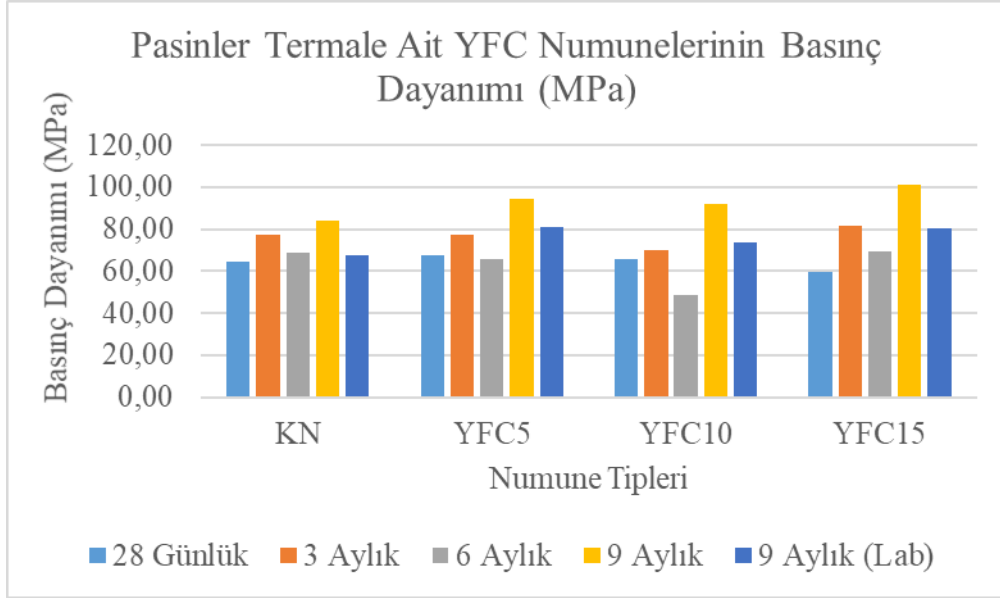
Tablo 44. Pasinler Termale Ait 9 aylık Numunelerde Basınç Dayanımı ve ICP-MS Element Analiz Bilgileri

	Pasinler Termal			Ortam		
	(Si+Mg+K+Ca) (mg/l)	(Si+Ca+Fe+Al) (mg/l)	9 aylık (MPa)	(Si+Mg+K+Ca) (mg/l)	(Si+Ca+Fe+Al) (mg/l)	9 aylık (MPa)
KN	124.073,31	130.065,23	84,27	85.049,05	93.606,58	67,53
SD5	111.537,67	122.094,50	82,21	86.231,01	97.373,19	76,52
SD10	116.121,41	126.863,30	84,37	91.385,52	101.433,33	83,54
SD15	117.643,63	127.392,58	88,80	104.305,68	113.740,86	92,03
YFC5	105.715,90	119.497,24	94,57	83.949,91	92.483,59	80,64
YFC10	117.806,70	131.035,17	91,81	73.490,82	82.556,75	73,49
YFC15	103.227,34	118.028,64	101,17	114.705,97	124.950,98	80,28
UK5	104.785,01	114.518,88	80,30	97.148,67	101.269,91	71,03
UK10	96.337,25	107.377,19	73,10	89.867,97	97.755,13	75,69
UK15	81.891,02	87.320,94	80,26	93.351,49	97.325,49	71,81



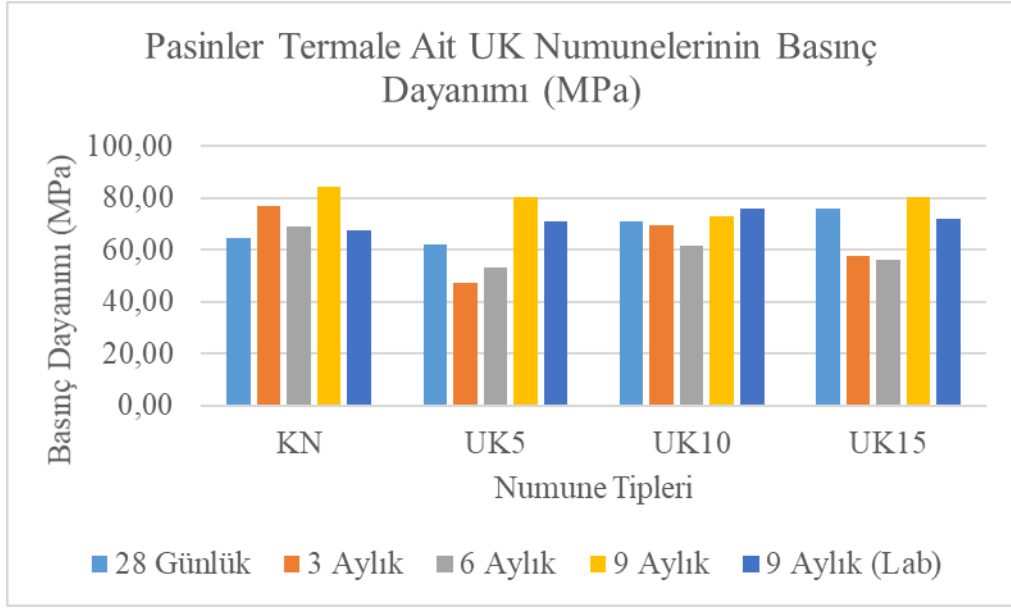
Şekil 79. Pasinler Termale ait SD numunelerinin basınç dayanımları

Pasinler termale yerleştirilen numunelerde ise ilk 6 ayda dalgalı sonuçlar görülmüştür. Ancak dokuzuncu aydaki sonuçların daha iyi olduğu hatta SD5 ve SD10 numuneleri için laboratuvar ortamında bekletilen numunelerden daha iyi olduğu görülmüştür.



Şekil 80. Pasinler Termale ait YFC numunelerinin basınç dayanımları

Pasinler Termalde ise üç ayda dayanım değerlerinde yükselmeler görülürken 6 aylık değerler düşmüş ancak 9 aylık dayanımlar yükselmiştir. Ayrıca dikkat edilmesi gereken önemli bir noktada tüm 9 aylık YFC numunelerinin basınç dayanımı ölçümleri laboratuvar ortamından yüksek çıkmıştır.



Şekil 81. Pasinler Termale ait UK numunelerinin basınç dayanımları

Pasinler termalde bulunan uçucu kül katkılı numunelerde ilk 3 ve 6 ayda düşüşler yaşanmış ancak 9 aylık sonuçlar en yüksek değerlere sahiptir. UK5 ve UK15 numunelerinde 9 aylık tesise yerleştirilen numunelerin basınç dayanımı sonuçları ortam numunelerinin değerlerinden yüksek çıkmış ve UK10 numunesinde düşüş görülmüştür. 9 aylık ölçümlerde en yüksek değer 80,30 MPa ile UK5 numunesinde görülmüştür.

Pasinler Termale yerleştirilmiş sertleşmiş beton numunelerinde yapılan deney sonuçları birbirini desteklemektedir. İlk 3 ayda birim ağırlık değişim oranları fazla iken su emme ve kılcal su emme değerleri de yüksek çıkmıştır. Aynı zamanda basınç dayanım değerlerinde en büyük düşüşler ilk 3 ayda görülmüştür. 6 aydan sonra özellikle 9 aylık ölçümlerde ise birim ağırlık değişimi, su emme, kılcal su emme oranlarında azalmalar görülmektedir. Buna paralel olarak basınç dayanım sonuçlarında ise en yüksek değerler 9 aylık numunelerde ölçülmüştür. İlk 3 aylık ile 28 günlük sonuçlar karşılaştırıldığında KN, YFC numunelerinin basınç dayanımlarında artış görülürken UK numunelerinde düşüş, SD numunelerinde ise artış ve azalışlar tespit edilmiştir. 9 aylık sonuçlarda ise KN dâhil tüm mineral katkılı numunelerinin basınç dayanım değerleri 9 ay boyunca laboratuvar ortamında bekletilen numunelerin değerlerinden yüksek çıkmıştır. En yüksek basınç dayanımı değerleri ise YFC numunelerinde elde edilmiştir.

Jeotermal su analiz bilgilerine bakıldığı zaman betona zarar veren ve basınç dayanım değerlerinde ciddi düşüslere sebep olan sülfat (SO_4^{2-}) miktarının 153 mg/l ile düşük olduğu ve TS 3440 standardına göre zararlı seviyenin altında olduğu görülmektedir.

İlk 3 ayda ve 9 aylık sonuçlarda basınç dayanımı değerlerinin 28 günlük sonuçlara göre daha yüksek çıkmasının öncelikli sebebi olarak betonda sıcak kür etkisi olduğu

düşünülmektedir. Lee et al. (2013) sıcak kür üzerine çalışmış ve erken yaşta dayanımın artmasını sıcak suyun kimyasal reaksiyonları hızlandırması ve hızlı C-S-H oluşumuna bağlamıştır. Bu çalışmada da sıcak suyun basınç dayanımında artışa sebep olduğu düşünülmüştür.

Jeotermal sularda TDS (Toplam Çözünmüş Madde Miktarı) miktarı “Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺, HCO³⁻, Cl⁻, SO⁴⁻²” gibi çözülmüş inorganik tuzlar ve organik maddelerden oluşur. Elektriksel iletkenlik (EC) ile sıcaklık artışı ve TDS doğru orantılıdır (Gültekin & Temizel, 2014; Hem, 1985). Tablo 21’de verilmiş olan jeotermal su analiz raporlarında TDS miktarı toplam 2.724,919 mg/l olarak ölçülmüştür. TDS ile basınç dayanımı arasında ters orantı olduğu görülmüştür. Ayrıca Na⁺, HCO³⁻, Cl⁻, SO⁴⁻² gibi çözülmüş maddelerin betona aşındırıcı etkisi olduğu bilinmektedir. Pasinler Termalde TDS miktarının az olduğu ve basınç dayanımının artmasında etkili olduğu düşünülmektedir.

SD ve YFC numunelerinde termalden çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında bekletilen numunelere göre basınç dayanımı sonuçları daha düşük çıkmıştır. Uzun sürelerde betonun magnezyum tuzları ile teması ile CSH içindeki kalsiyum magnezyum iyonları ile yer değiştirir ve bağlayıcılık özelliği olmayan MSH oluşur ve bu dayanım kaybına sebep olmaktadır (Baradan *et al.* 2010). Bu durum laboratuvar ortamındaki numunelerin basınç dayanımlarına göre daha düşük değerler elde edilmesinin sebebi olarak düşünülmektedir.

Mineral katkılı numunelerde 9 aylık basınç dayanımı değerlerinde 28 günlük numunelere göre ciddi artışlar görülmüştür. Dikici (2010) mineral katkıları üzerine yapmış olduğu çalışmada silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve silis dumanının beton basınç dayanımına uzun sürede dayanım artışının daha fazla olduğu göstermiştir. Dayanım artışlarının bu olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca Pasinler Termalde basınç dayanımlarında en fazla artış yüksek fırın cürufuna aittir. Bunun sebebi olarak yüksek fırın cürufu ile üretilmiş betonlar, ortamın nem ve sıcaklığı, cüruf yüzdesi, çimento ve cürufun kimyasal içeriğine bağlı olarak hidrasyon hızı daha yavaş ilerlemektedir. Bu yüzden cürufu betonların kür süresi uzun olması gerekir (Bilim & Atış, 2011). Sonuçlara bakıldığında en iyi sonuçların uzun süre jeotermal suda kalan numunelerde görülmüştür.

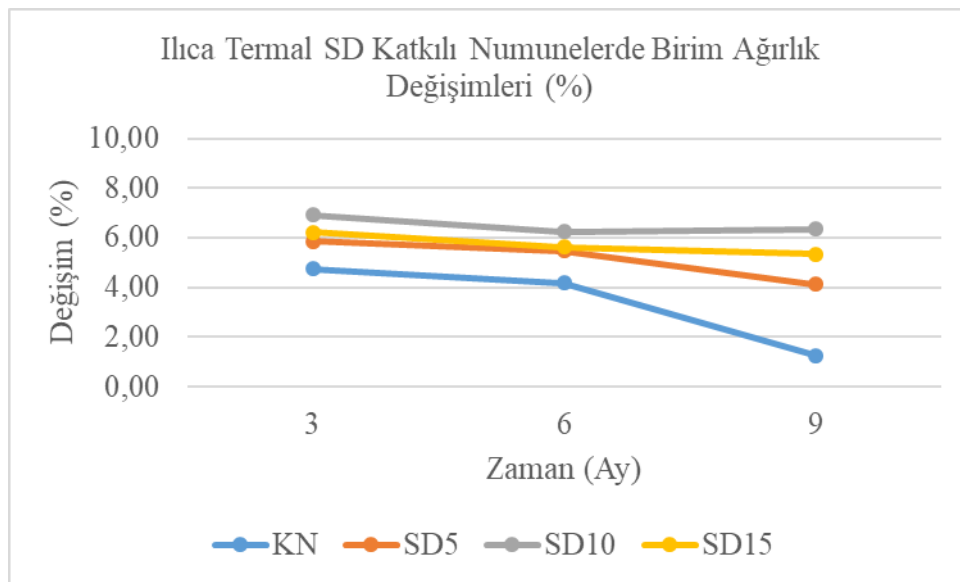
Ilıca Termale Yerleştirilen Numunelerde Yapılan Deney Sonuçları

Birim ağırlık tayini

Çalışma kapsamında üretilen numuneler öncelikle 28 günlük kürlenme işleminden sonra etüv kurusu durumuna getirilmiş ve ağırlıkları ölçülmüştür. Bu numuneler tesislere yerleştirilmiş ve çıkarıldıkları ilgili zaman aynı işlemler uygulanarak birim ağırlık değerleri bulunmuştur. Tablo 45’de birim ağırlık ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 82’de silis dumanına ait, Şekil 83’de yüksek fırın cürufuna ait ve Şekil 84’de uçucu küle ait grafik bilgileri mevcuttur. Ayrıca ölçümlerin birimi g/cm^3 iken değişimler % olarak ifade edilmiştir.

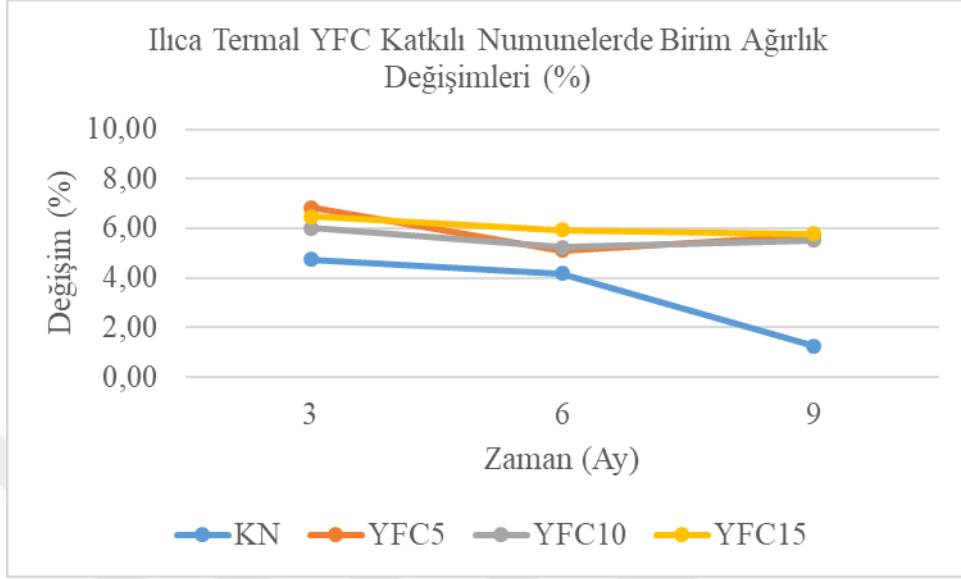
Tablo 45. Ilıca Termale Yerleştirilen Numunelerin Birim Ağırlık Değerleri ve Karşılaştırması

Ilıca Termale Yerleştirilen Numunelerin Birim Ağırlık Değerleri ve Karşılaştırması									
Numune Kodu	28 Günlük (g/cm^3)	3 Aylık (g/cm^3)	Değişim (%)	28 Günlük (g/cm^3)	6 Aylık (g/cm^3)	Değişim (%)	28 Günlük (g/cm^3)	9 Aylık (g/cm^3)	Değişim (%)
KN	2,19	2,09	4,74	2,19	2,10	4,17	2,20	2,17	1,25
SD5	2,25	2,12	5,86	2,23	2,11	5,46	2,21	2,12	4,12
SD10	2,20	2,04	6,92	2,25	2,11	6,23	2,23	2,09	6,35
SD15	2,25	2,11	6,22	2,27	2,14	5,63	2,23	2,12	5,34
YFC5	2,23	2,08	6,82	2,22	2,11	5,12	2,22	2,10	5,69
YFC10	2,27	2,13	6,00	2,17	2,06	5,22	2,21	2,09	5,51
YFC15	2,16	2,02	6,48	2,15	2,02	5,93	2,18	2,05	5,79
UK5	2,17	2,02	6,83	2,11	1,98	6,13	2,13	1,99	6,35
UK10	2,16	2,00	7,42	2,14	2,00	6,70	2,19	2,03	7,23
UK15	2,12	1,98	6,43	1,44	1,36	5,94	2,19	2,05	6,32



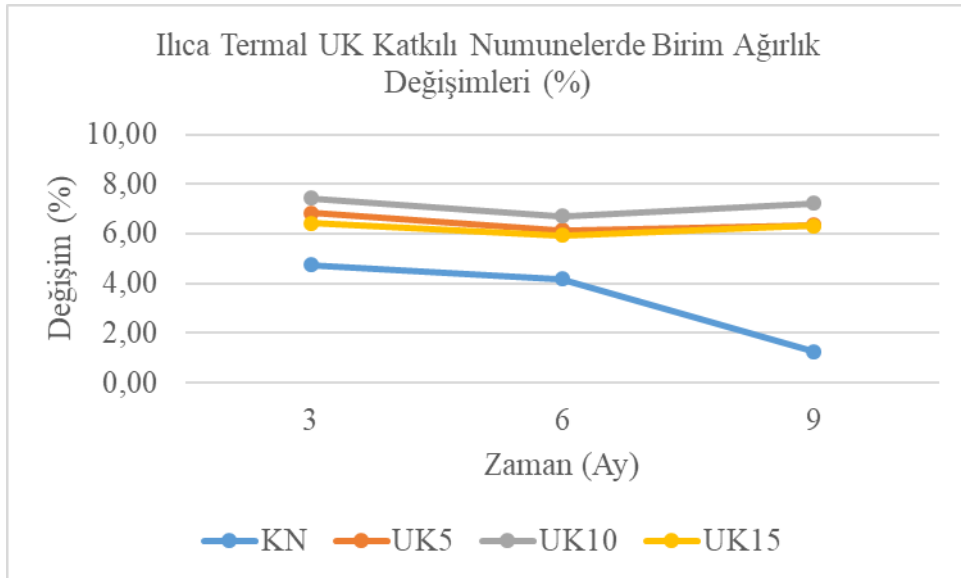
Şekil 82. Ilıca Termale yerleştirilen SD numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması

Ilıca Termaldeki SD katkılı numunelerin birim ağırlık değişim oranları her üç aylık ölçümde de kontrol numunelerinin değerlerinin üstünde çıkmıştır. Kontrol numunesinin birim ağırlık değişimi zaman geçtikçe düşüş yaşanmıştır. Kendi içinde ise oranlar her üç ayda da birbirine yakın çıkmıştır.



Şekil 83. Ilıca Termale yerleştirilen YFC numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması

YFC katkılı beton numunelerinde de birim ağırlık değişim oranları kontrol numunesinden yüksek çıkmıştır.



Şekil 84. Ilıca Termale yerleştirilen UK numunelerinin birim ağırlık değerleri ve karşılaştırması

UK katkılı numunelerde de birim ağırlık değişim oranları kontrol numunesinin üstünde çıkmıştır. Kendi içinde ise yakın oranlara sahip ve üç farklı ölçümde de aynı oranlar çıkmıştır.

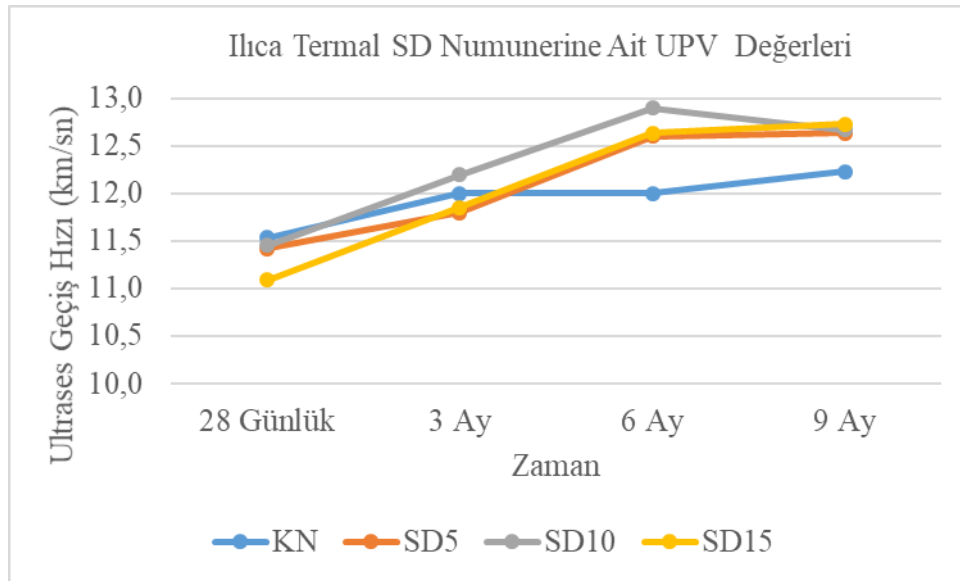
İlica Termale yerleştirilen numunelerde yapılan birim ağırlık deneylerine bakıldığında zaman üç katkı çeşidinde de birim ağırlık değişim oranları kontrol numunesinden yüksek çıkmıştır. En yüksek birim ağırlık değişimleri YFC' de görülmüştür.

Ultrases Hızı Ölçümleri

Tablo 46'da ultrases hız ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 85'de silis dumanı içeren numunelere ait, Şekil 86'da yüksek fırın cürufu içeren numunelere ait ve Şekil 87'de uçucu kül içeren numunelere ait grafik bilgileri mevcuttur.

Tablo 46. İlica Termal UPV Değerleri ve Karşılaştırması

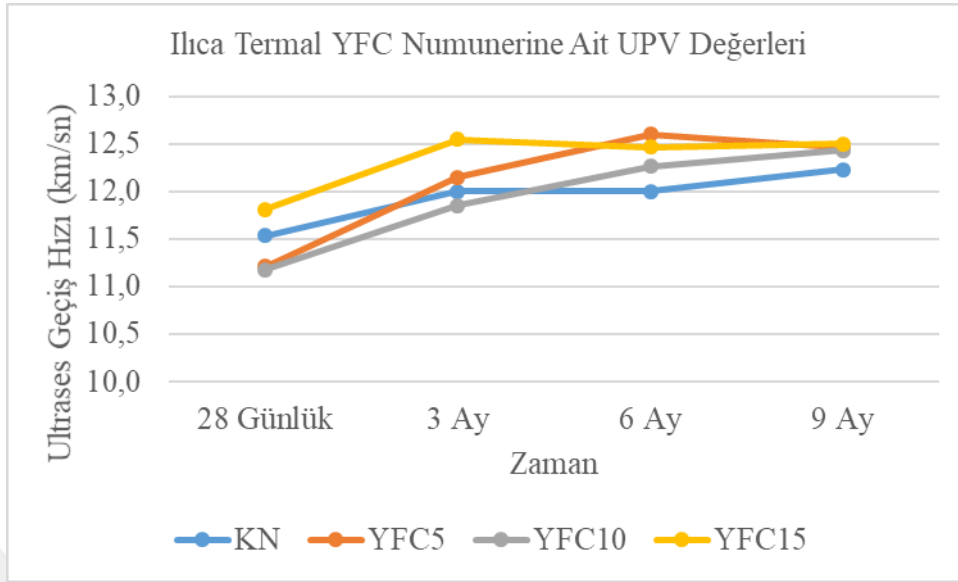
Numune Kodu	28 Günlük		3 Ay		6 Ay		9 Ay	
	km/sn	km/sn	Değişim (%)	km/sn	Değişim (%)	km/sn	Değişim (%)	
KN	11,5	12,0	4,0	12,0	4,0	12,2	6,1	
SD5	11,4	11,8	3,3	12,6	10,3	12,6	10,6	
SD10	11,5	12,2	6,5	12,9	12,6	12,7	10,6	
SD15	11,1	11,9	6,9	12,6	13,9	12,7	14,8	
YFC5	11,2	12,2	8,4	12,6	12,4	12,5	11,2	
YFC10	11,2	11,9	6,0	12,3	9,7	12,4	11,2	
YFC15	11,8	12,6	6,3	12,5	5,6	12,5	5,8	
UK5	12,0	12,0	0,1	12,8	7,0	12,9	7,6	
UK10	12,2	12,1	-1,0	12,7	3,9	12,7	3,6	
UK15	12,2	12,2	0,0	12,4	2,1	12,8	5,6	



Şekil 85. İlica Termale ait SD numunelerinin UPV değerleri

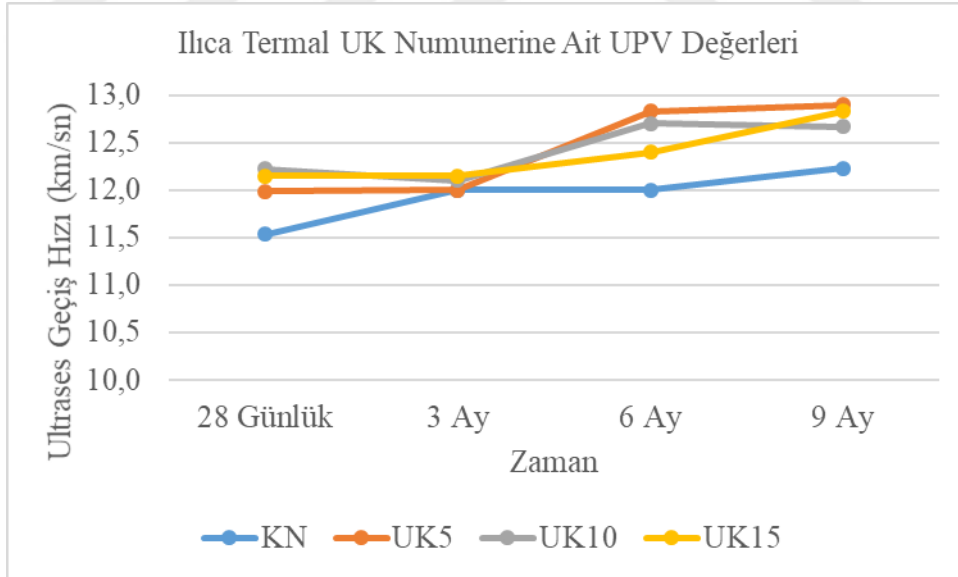
İlica Termale yerleştirilen SD5 ve SD10 numunelerinin 28 günlük ultrases hız ölçümleri KN ile yakın değerler çıkmıştır. SD15 numunesinin 28 günlük ölçüm değeri ise

11.1 km/sn ile en düşük değer olarak bulunmuştur. Bütün numunelerin ölçüm değerleri 9 aylık sürede artış görölmüştür.



Şekil 86. Ilica Termale ait YFC numunelerinin UPV değerleri

Ilica Termale yerleştirecek numunelerde YFC5 ve YFC 10 numunelerinin ölçüm değerleri, KN değerinden düşük çıkmış ancak YFC15 yüksek çıkmıştır. 9 aylık ölçümlerde ise en düşük KN ölçölmüştür.



Şekil 87. Ilica Termale ait UK numunelerinin UPV değerleri

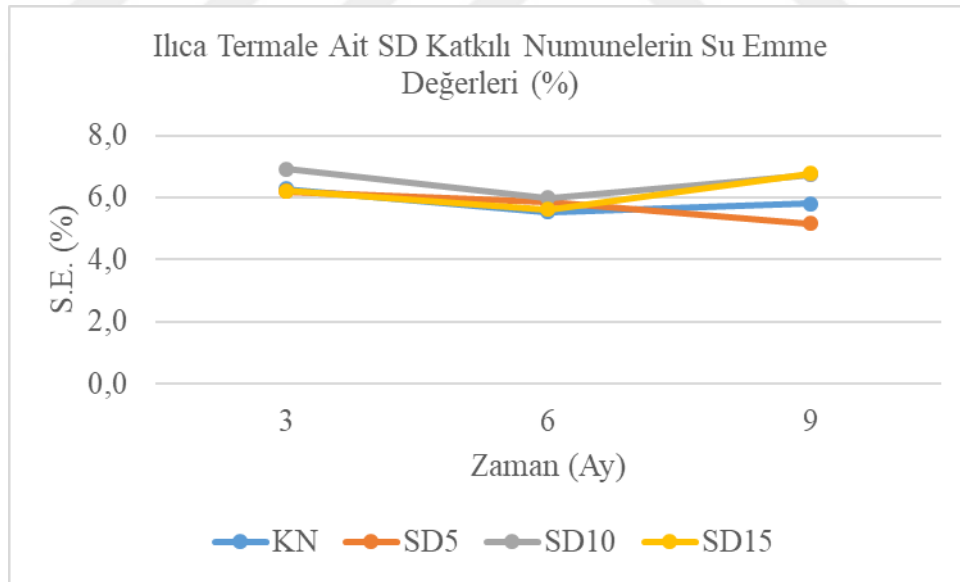
Ilica Termale ait UK ultrases hız ölçümlerinde UK numunelerinin ölçümleri 28 günlüklerde daha yüksek çıkmıştır. 9 aylık sonuçlarda ise bu değer daha da artmıştır.

Su emme tayini

Tablo 47’de su emme deneyine ait ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 88’de silis dumanına ait, Şekil 89’da yüksek fırın cürufuna ait ve Şekil 90’da uçucu küle ait grafik bilgileri mevcuttur.

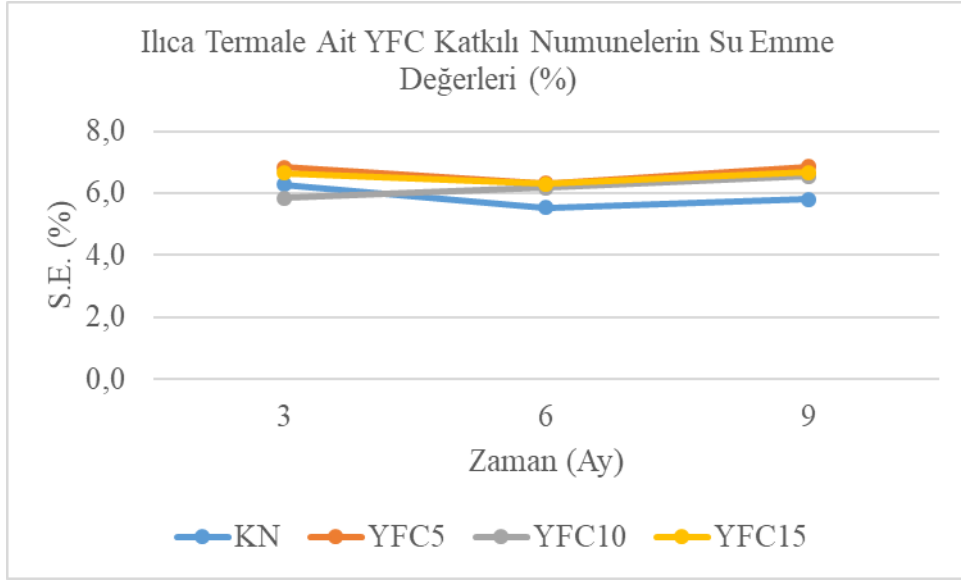
Tablo 47. Ilıca Termalden Çıkarılan Numunelerin Su Emme Değerleri

Numune Kodu	3 Aylık	6 Aylık	9 Aylık
KN	6,3	5,5	5,8
SD5	6,2	5,9	5,2
SD10	6,9	6,0	6,7
SD15	6,2	5,6	6,8
YFC5	6,8	6,3	6,9
YFC10	5,8	6,2	6,5
YFC15	6,7	6,3	6,7
UK5	6,5	6,6	7,3
UK10	7,1	6,4	7,6
UK15	9,7	6,4	7,1



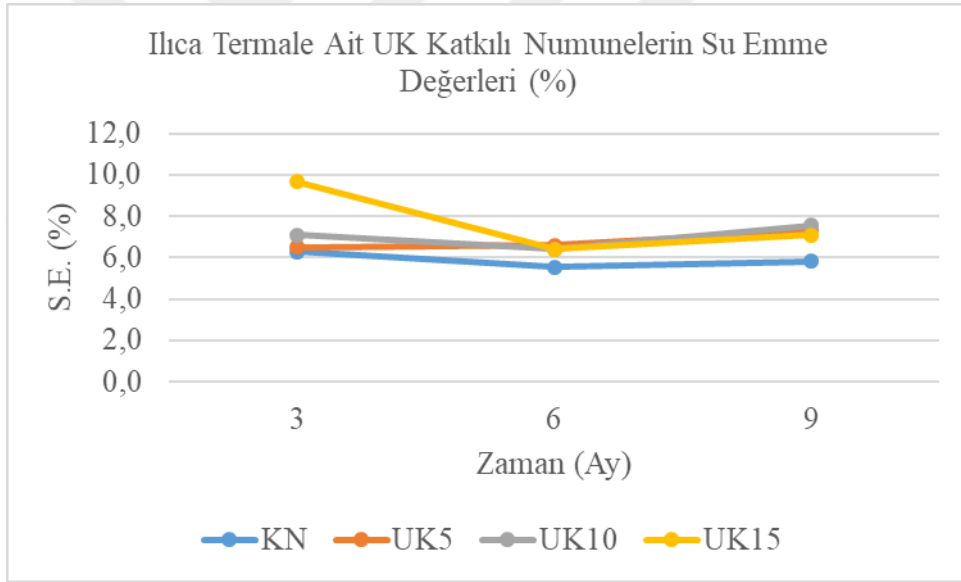
Şekil 88. Pasinler Termale ait SD katkılı numunelerin su emme değerleri

Ilıca Termale ait KN’ nin su emme değeri özellikle 9 aylık ölçümlerde %1.4 ile en düşük ölçüm tespit edilmiştir. SD katkılı betonlarda ise en düşük SE değerine %5.2 ile 9 aylık ölçümlerde elde edilmiştir.



Şekil 89. Pasinler Termale ait YFC katkıli numunelerin su emme değerleri

YFC katkıli numunelerde ölçüm değerleri 3, 6 ve 9 aylık ölçümlerde yaklaşık olarak aynıdır. 9 aylık ölçümlerde de KN' ye göre tüm ölçümler daha yüksektir.



Şekil 90. Pasinler Termale ait UK katkıli numunelerin su emme değerleri

UK su emme değerlerinde %9.7 ile UK15' de en yüksek değer ölçülmüştür. 9 aylık ölçümlerde ise UK' ye ait ölçümler yakın çıkmıştır ancak KN ye göre yüksek çıkmıştır.

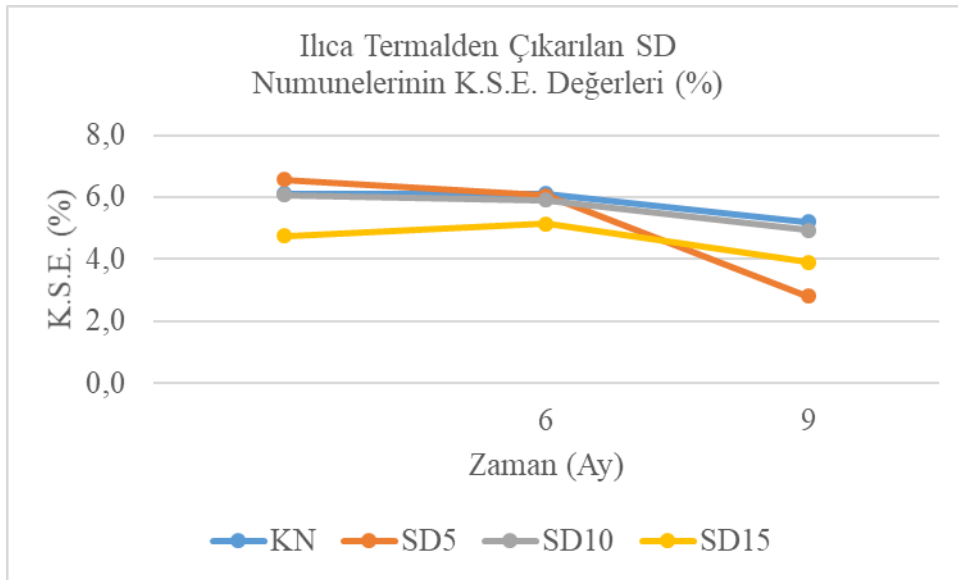
Sonuçlara bakıldığı zaman su emme, üç tesis için en yüksek oranlara 3 aylık ölçümlerde görülmüştür. Bu oranlar 6 ayda düştüğü ve 9 aylık sonuçlarda en düşük rakamlara ulaştığı görülmüştür. En yüksek su emme oranlarına ise her üç zaman dilimi için Ilıca Termale yerleştirilen numunelerde olduğu tespit edilmiştir. En yüksek su emme oranı üçüncü ayda yapılan Ilıca Termale ait UK numunelerinde görülmüştür. Kontrol numunelerinde ise bu oranın ilerleyen zamanla ya sabit kaldığı ya da arttığı tespit edilmiştir.

Kılcal su emme tayini

Tesislere yerleştirilen numuneler üzerinde kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tablo 48’de Nene Hatun Termale ait kılcal su emme deneyine ait ölçüm değerleri bulunmaktadır. Ayrıca Şekil 91’de silis dumanına ait, Şekil 92’de yüksek fırın cürufuna ait ve Şekil 93’de uçucu küle ait grafik bilgileri mevcuttur.

Tablo 48. Ilıca Termalden Çıkarılan Numunelerin Kılcal Su Emme Değerleri

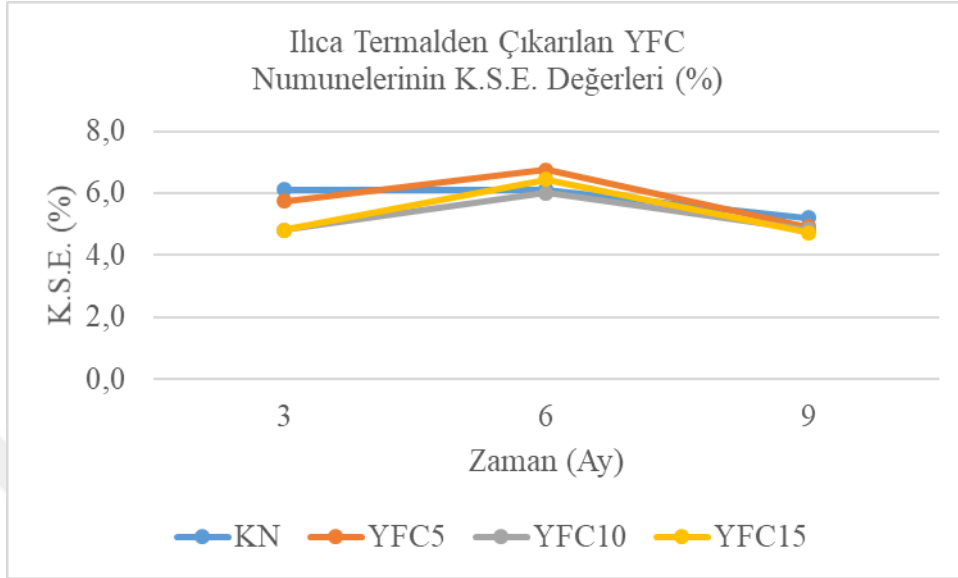
Numune Kodu	3 Aylık		6 Aylık		9 Aylık	
	K.S.E.(%)	Kılcal Yükselme (h)	K.S.E.(%)	Kılcal Yükselme (h)	K.S.E.(%)	Kılcal Yükselme (h)
KN	6,1	2,5	6,0	4,3	5,0	4,03
SD5	6,6	2,7	6,0	4,5	2,8	3,27
SD10	6,1	2,3	5,9	3,6	4,9	3,27
SD15	4,7	2,4	5,1	4,2	3,9	3,60
YFC5	5,7	3,8	6,7	4,8	4,9	2,10
YFC10	4,8	3,3	6,0	4,3	4,8	2,53
YFC15	4,8	2,5	6,4	4,5	4,7	2,97
UK5	5,8	2,6	6,8	4,7	5,2	2,33
UK10	6,4	2,7	6,4	4,5	5,1	3,20
UK15	5,4	3,1	6,3	4,2	3,9	2,77



Şekil 91. Pasinler Termalden çıkarılan SD numunelerinin K.S.E. değerleri

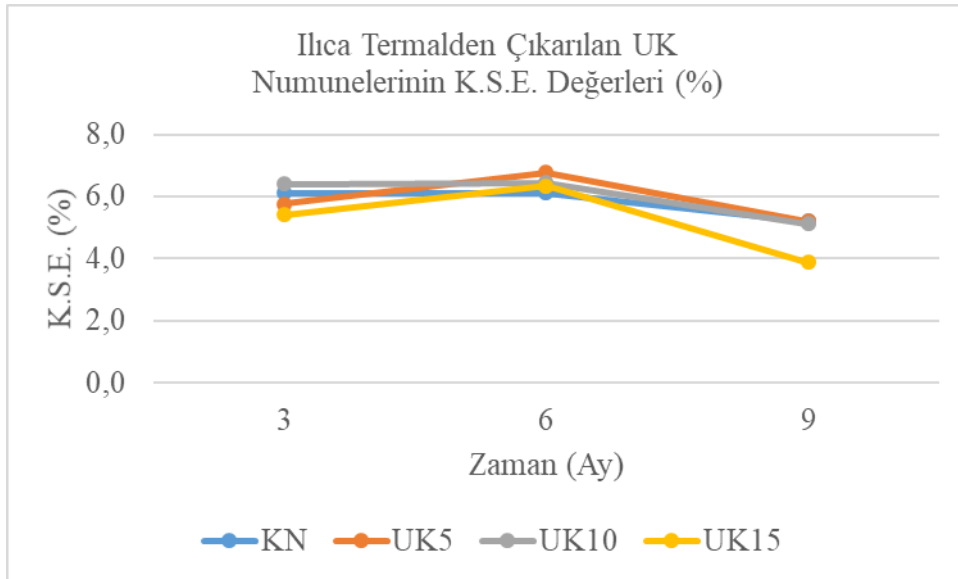
SD numunelerinde en yüksek K.S.E. değerleri 3 aylık ölçümlerde elde edilmiştir. Bu oranlar 6 aylık sonuçlarda düştüğü 9 aylık sonuçlarda ise en düşük değere ulaştığı

görülmektedir. İlk 3 aylık ölçümlerde en yüksek KSE değeri % 6.6 ile SD5 de ölçülmüştür. 9 aylık sonuçlarda en yüksek K.S.E. değeri % 5.2 ile KN numunesinden elde edilmiştir. SD numunelerinde ise düşüş olmuş ve SD5 ve SD10 numunelerinde % 3.3 civarı SD15’de ise %3.6 olarak ölçülmüştür.



Şekil 92. Pasinler Termalden çıkarılan YFC numunelerinin K.S.E. değerleri

YFC numunelerinde 6 aylık ölçümlerde 3 aylık ölçümlere göre artışlar görülmüş ancak 9 aylık sonuçlarda ise 3 aylık sonuçlarla aynı değerler elde edilmiştir. En yüksek K.S.E. değeri YFC5 numunesinde 6 aylık ölçümde % 6.7 olarak ölçülmüştür.



Şekil 93. Pasinler Termalden çıkarılan UK numunelerinin K.S.E. değerleri

UK numunelerinde ilk 3 ve 9 aylık numuneler KN numunelerinin K.S.E. değerinin altında çıkmıştır. K.S.E. değerleri 6 aylık ölçümlerde artmasına rağmen 9 aylık ölçümlerde 3 aylık ölçüm değerlerinin altına düşmüştür.

Kılcal su emme değerlerine bakıldığı zaman su emme sonuçları ile paralellik taşımaktadır. En düşük K.S.E. değeri ise 9 aylık ölçümlerde YFC5 numunelerinde % 2.1 olarak ölçülmüştür.

Basınç dayanımı tayini

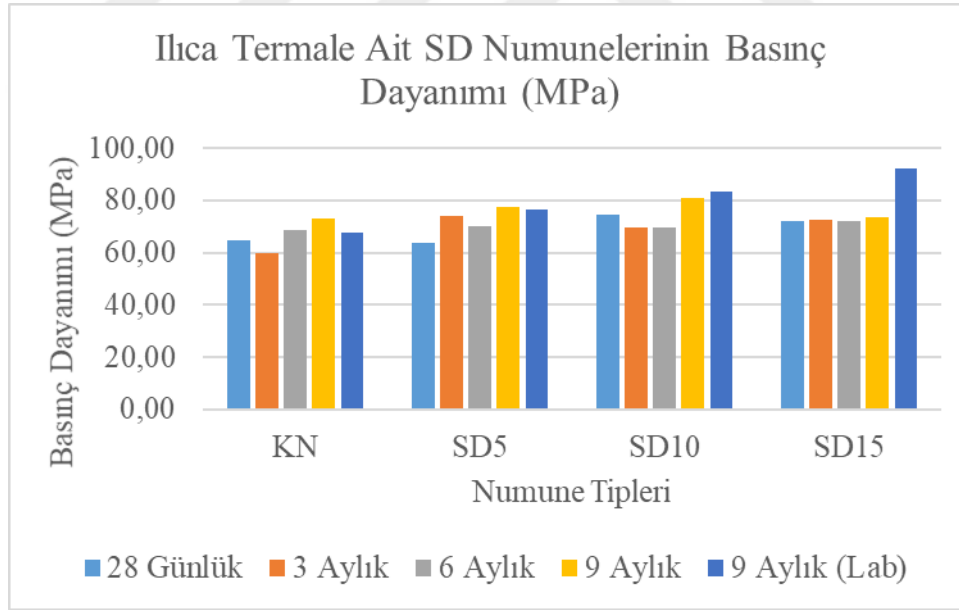
Üretilen numuneler 28 gün standart kür havuzunda tutulduktan sonra basınç dayanımı deneyleri yapılması için beş gruba ayrılmıştır. Birinci grup 28 günlük kür havuzundan çıkarıldıktan sonra, ikinci grup 9 ay boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiş ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Diğer üç grupta kendi içinde üç gruba ayrılarak üç farklı tesise yerleştirilmiş ve bunlarda üç, altı ve dokuz aylarda çıkarılarak basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Tablo 49’de tesise ait bütün numunelerin test sonuçları, Tablo 50’de ise 9 aylık basınç dayanımı sonuçları ile birlikte ICP-MS analiz bilgileri bir arada verilmiştir. Ayrıca Şekil 94’de silis dumanı, Şekil 95’de yüksek fırın cürufuna ve Şekil 96’da uçucu küle ait basınç dayanımı deney sonuçlarına ait bilgiler bulunmaktadır.

Tablo 49. Ilıca Termale Ait Numunelerinin Basınç Dayanımları

Numune Tipi	28 Günlük	3 Aylık	6 Aylık	9 Aylık	9 Aylık (Lab)
KN	64,65	60,00	68,65	73,07	67,53
SD5	63,46	74,01	70,11	77,36	76,52
SD10	74,40	69,51	69,53	80,83	83,54
SD15	72,13	72,69	72,24	73,57	92,03
YFC5	67,46	74,68	72,49	85,03	80,64
YFC10	65,52	82,00	72,05	98,23	73,49
YFC15	59,75	72,32	67,54	89,46	80,28
UK5	61,80	69,56	60,06	78,65	71,03
UK10	70,67	68,34	65,34	85,62	75,69
UK15	75,61	59,88	56,68	88,28	71,81

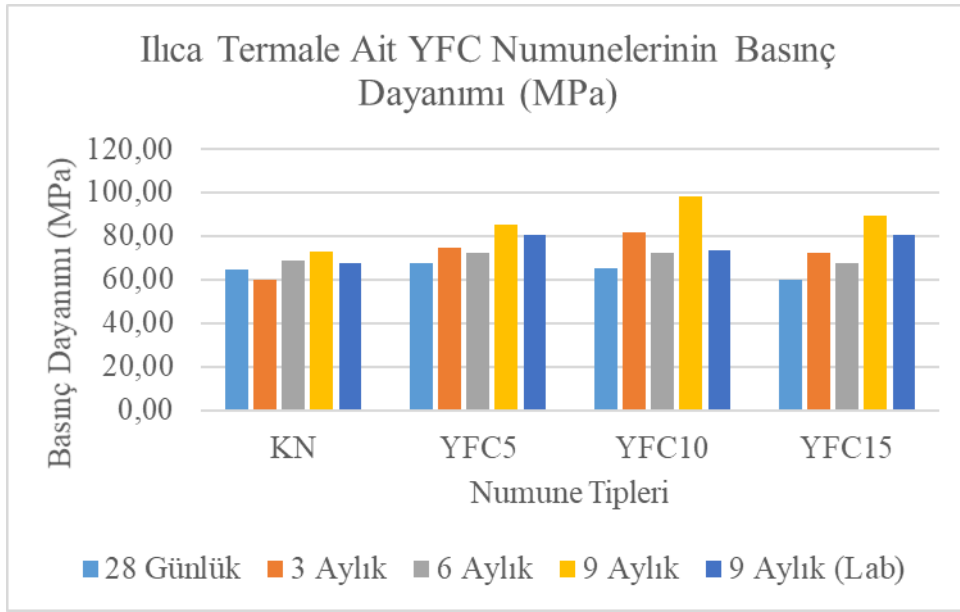
Tablo 50. Ilıca Termale Ait 9 aylık Numunelerde Basınç Dayanımı ve ICP-MS Element Analiz Bilgileri

	Ilıca Termal			Ortam		
	(Si+Mg+K+Ca) (mg/l)	(Si+Ca+Fe+Al) (mg/l)	9 aylık (MPa)	(Si+Mg+K+Ca) (mg/l)	(Si+Ca+Fe+Al) (mg/l)	9 aylık (MPa)
KN	121.837,21	131.664,26	73,07	85.049,05	93.606,58	67,53
SD5	121.771,41	130.125,52	77,36	86.231,01	97.373,19	76,52
SD10	117.001,35	133.310,48	80,83	91.385,52	101.433,33	83,54
SD15	112.169,62	121.131,47	73,57	104.305,68	113.740,86	92,03
YFC5	127.483,92	147.478,80	85,03	83.949,91	92.483,59	80,64
YFC10	41.068,25	47.214,13	98,23	73.490,82	82.556,75	73,49
YFC15	112.301,19	127.963,99	89,46	114.705,97	124.950,98	80,28
UK5	107.356,41	120.193,38	78,65	97.148,67	101.269,91	71,03
UK10	126.273,99	141.205,72	85,62	89.867,97	97.755,13	75,69
UK15	118.842,89	132.230,04	88,28	93.351,49	97.325,49	71,81



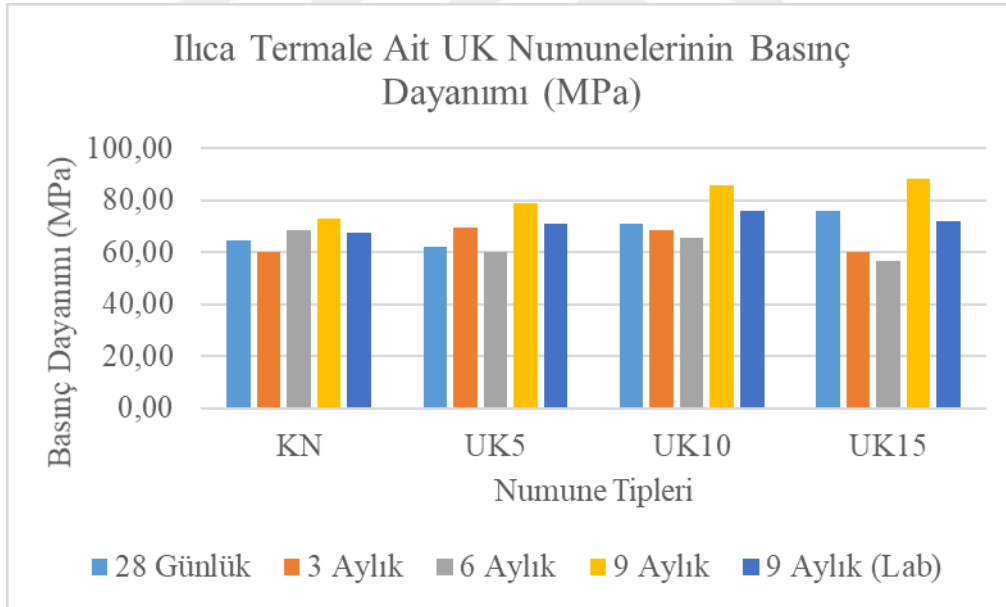
Şekil 94. Ilıca Termale ait SD numunelerinin basınç dayanımları

Ilıca Termalden elde edilen sonuçlara bakılırsa %15 silis dumanı katkılı betonlar da ilk altı ayda çok fazla bir değişiklik olmamıştır. Ancak dokuz aylık numunelerin değerleri daha yüksek çıkmıştır. SD için 9 aylık kaplıca ölçümleri laboratuvar ölçümlerinden daha düşük çıkmıştır.



Şekil 95. Ilıca Termale ait YFC numunelerinin basınç dayanımları

Ilıca termalde değerlerde düşme görülmemiş olup en yüksek değerler dokuzuncu ayda görülmüştür. Ayrıca 9 aylık kaplıca ölçümleri laboratuvar ölçümlerinden yüksek çıkmıştır. Kaplıca suyu numunelere 9 aylık sürede basınç dayanımı açısından olumlu etkiler yapmıştır.



Şekil 96. Ilıca Termale ait UK numunelerinin basınç dayanımları

Uçucu küle ait Ilıca termalde en düşük basınç dayanımı %15 ile altıncı ayda ölçülmüştür. Ancak en yüksek değerlere dokuzuncu ayda ulaşılmıştır. KN dâhil tüm numunelerde 9 aylık ölçüm değerleri laboratuvar ortamından yüksek çıkmıştır.

Pasinler Termal kısmında anlatıldığı üzere basınç dayanım miktarları TDS miktarı ile ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Ilıca Termal jeotermal su analizinde TDS miktarı 3.052,300 mg/l olarak ölçülmüştür. Pasinler Termale göre TDS miktarı artmış ve buna bağlı

ters orantılı olarak basınç dayanımlarının düştüğü görülmüştür. Basınç dayanımlarındaki düşüş sebebini TDS miktarının fazlalığı olarak düşünülmektedir.

Su analizlerine bakıldığı zaman Ilıca jeotermal suyunun içindeki magnezyum ve klor iyon miktarının fazla olduğu görülmüştür. $MgCl_2$ betonun yapısının çözülmesine etki ederek betonun yapısını aşındırmaktadır (Baradan & Aydın, 2013). 3 aylık ve 6 aylık sonuçlarda düşüşlerin sebebi magnezyum ve klor iyonları olduğu düşünülmektedir.

Baradan and Aydın (2013) yapmış olduğu çalışmada belirttiği üzere C_3A içeriği nispeten fazla çimentolar kullanılarak üretilen betonlar magnezyum tuzlarına uzun süre maruz kalır ise bu betonlarda C-S-H içerisindeki kalsiyum bir süre sonra Mg iyonları ile yer değiştirir. Bu durumda yeni oluşan M-S-H yani magnezyum silikat hidratının bağlayıcılık özelliği yoktur. Ayrıca bu yeni bağ sebebi ile beton kolay bir şekilde parçalanabilir. Bozulma şekli genellikle erozyon şeklinde görülür.

Çimento " C_3S , C_2S ," gibi silikat ve " C_3A , C_4AF " gibi alüminatlardan oluşmaktadır. Bu iki grubun birleşmesi ile silikat hidratlar (C-S-H) ve alüminat hidratlar (C-A-H) bağları meydana gelir. Ayrıca silikatların hidratasyonu sonucu "C-H" açığa çıkar ve bu bazik ortam oluşturur. Ancak serbest kireç, CO_2 ile temas ederek karbonatlaşır. Bu durum betonda yüzey sertliğini artırır ve suda çözülmez hale getirir (Şimşek & Baharavar, 2014). 9 aylık ölçümlerde tespit edilen birim ağırlık değişiminin azalmasının nedeni karbonatlaşma olduğu düşünülebilir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın amacı doğrultusunda üç farklı oranda üç farklı mineral katkı ile üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler ve sonuçları önceki bölümde tablo ve şekiller halinde detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Mineral katkılı numunelerin basınç dayanımı sonuçları ilk 3 aylık ölçümlerde 28 günlük ölçüm değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Ancak 6 ve 9 aylık sonuçlarda bu değerler yükselmiş ve 28 günlük basınç dayanım sonuçlarının üstüne çıkmıştır.

Silis dumanı katkılı numunelerde 9 aylık basınç dayanımı sonuçları dikkate alındığında en düşük dayanım değeri Ilıca Termal tesise yerleştirilen SD15 numunelerinde, en yüksek dayanım değeri ise Pasinler Termal tesise yerleştirilen SD15 numunelerinde ölçülmüştür.

Yüksek fırın cürufu katkılı numunelerde 9 aylık basınç dayanımı sonuçları dikkate alındığında en düşük dayanım değeri Nene Hatun Termal tesise yerleştirilen YFC15 numunelerinde, en yüksek dayanım değeri ise Pasinler Termal tesise yerleştirilen YFC15 numunelerinde ölçülmüştür.

Uçucu kül katkılı numunelerde 9 aylık basınç dayanımı sonuçları dikkate alındığında ise en düşük dayanım değeri Nene Hatun Termal tesise yerleştirilen UK5 numunelerinde, en yüksek dayanım değeri ise Ilıca Termal tesise yerleştirilen UK15 numunelerinde ölçülmüştür.

Mineral katkılı numunelerde her üç katkı içinde %15 katkılı numunelerde en yüksek dayanım sonuçları görülmüştür.

Bu sonuçların elde edilmesinde jeotermal kaynaklı suların sıcaklığı ve içeriğindeki asit, sülfat, karbondioksit, magnezyum, klor ve TDS miktarları ve mineral katkı olarak kullanılan maddelerin içerik ve karışımlarda kullanılma oranları önemli etken olmuştur.

Nene Hatun Termalde jeotermal su analizinde sülfat miktarının fazla olduğu ve kuvvetli asit olarak sınıflandırıldığı tespit edilmiştir. Sülfatın birinci etkisi basınç dayanımlarını düşürmesidir. Diğer bir etkisi ise beton numunelerinin sarı renk alması olmuştur.

Sonuçlar göstermiştir ki her jeotermal suyunun içeriği sebebi ile betona farklı etkiler oluşturmaktadır. Daha iyi sonuçlar elde edebilmek için daha fazla jeotermal tesis ve daha farklı katkıları ile çalışmak gerekmektedir.

Jeotermal kaynaklı suların betona etkisini daha iyi anlamak için bazı etkenleri sabitlemek gerekmektedir. İlk olarak sıcaklık etkisini hem tespit etmek hem de en aza indirmek için bir miktar kontrol numunesi laboratuvar ortamında jeotermal su sıcaklığı ile aynı sıcaklıkta su havuzunda bekletilebilir. Ayrıca kimyasal içerik olarak benzer ve bir veya iki maddenin baskın şekilde farklı jeotermaller ile çalışılması kimyasal içeriklerin betona etkisinin anlaşılması açısından daha net sonuçlar verebilir.

Jeotermal tesislerde en uygun beton tercihini yapabilmek için jeotermallerin jeokimyasal olarak sınıflandırması üzerinden çalışmalar yapılmalıdır.

Bu çalışma kapsamında basınç dayanımı yüksek harç numuneleri ile çalışılmıştır. Daha iyi sonuçlar için farklı dayanım sınıflarına ait harç ve beton numuneleri ile çalışma yapılması gerekmektedir. Ayrıca jeotermalin betonun durabilite özellikleri üzerinde etkisini daha iyi anlayabilmek için uzun süreli çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Jeotermal kaynaklar üzerine inşa edilen tesislerin servis ömrünün uzun olması hem daha temiz bir çevreye hem de ekonomik olarak dışa bağımlılığı azaltacaktır.

KAYNAKLAR

- Abd Elrahman, M., & Hillemeier, B. (2015). Influence of hydrothermal conditions with 200° C and 15.5 bars on the properties of hardened HPC. *Construction and Building Materials*, 85, 38-48.
- Aİtcin, P.-C., & Flatt, R. J. (2015). *Science and technology of concrete admixtures*. Woodhead Publishing.
- Akkuş, İ., & Alan, H. (2016). Türkiye'nin jeotermal kaynakları, projeksiyonlar, sorunlar ve öneriler raporu. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası*, 89s.
- Akman, M. (2001). Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığın Belirlenmesi. *Sika Teknik Bülten, İstanbul, Türkiye*.
- Albayrak, K. (2019). *Türkiye'nin enerji ekonomisi ve cari açık için yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi/The importance of renewable energy source for Turkey's energy economy and current account deficit*
- Anıl, N. (2019). Mineral katkılı betonların kimyasal durabilitesinin toplam bağlayıcı miktarı ve eşdeğer su/çimento parametreleriyle beraber incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 459-473.
- Arslan, S., Darıcı, M., & Karahan, Ç. (2001). Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli. *Jeotermal Enerji Semineri*, 21-27.
- Aßbrock, O., Brameshuber, W., Droll, K., Lang, E., Motz, H., Müller, C., Pierkes, R., Urbonas, L., & Siebel, E. (2007). Ground granulated blast furnace slag (GGBS) as a concrete additive. *The Federal Association of the German Ready-Mixed Concrete Industry, Dusseldorf*, 135.
- ASTM, C. (1958). ASTM Standards.
- Aşık, İ., Şen, H., Ergintav, Y., Ünsal, A., Şentürk, E., & Bayrak, E. (2004). Alkali Agregat Reaksiyonu Yönünden Zararlı Olan Bir Ocağın İyileştirilmesi.
- Ayhan, Y. (2016). *Erzurum yöresindeki jeotermal akışkanların odun koruma endüstrisinde değerlendirilme olanaklarının araştırılması* Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Baradan, B., & Aydın, S. (2013). Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık). *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, 265-288.
- Baradan, B., Yazıcı, H., & Ün, H. (2010). Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). *Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul*.
- Barrow, R. S., Hadchiti, K. M., Carrasquillo, P. M., & Carrasquillo, R. L. (1989). Temperature rise and durability of concrete containing fly ash. *Special Publication*, 114, 331-348.
- Bertani, R. (2016). Geothermal power generation in the world 2010–2014 update report. *Geothermics*, 60, 31-43.
- Béton, C. e.-i. d. (1992). *Durable Concrete Structures: Design Guide* (Vol. 183). Thomas Telford Services Limited.
- 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*.
- Bilim, C., & Atiş, C. D. (2011). Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Harçların Aşınma ve Mukavemet Özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 101-107.
- Chen, H.-J., Yang, T.-Y., & Tang, C.-W. (2009). Strength and durability of concrete in hot spring environments. *Comput. Concrete*, 6(4), 269-280.
- Çimento, B. V. (2020). <https://www.betonvecimento.com>.

- DAYTAM (2021). DAYTAM. <https://daytam.atauni.edu.tr/>
- Demirel, C., & Şimşek, O. (2017). Atık Betonların Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılmasının Basınç Dayanımı Üzerine Etkisinin Araştırılması.
- Demirtaş, M. (2015). Jeotermal akışkan ile emprenyeli ahşabın açık hava ortamındaki dayanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta*, 65s.
- Dikici, T. (2010). *Taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi* DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü].
- EIA Annual Energy, O. (2019). Technical report, US Energy Information Administration, 2019. URL <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/aeo2019.pdf>.
- Erdoğan, T. (1996). High-Lime Fly Ash Concretes. Proceedings, Cairo First International Conference on Concrete Structures,
- Erdoğan, T. (2004). Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri. *Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul*, 975-92122.
- Erkul, H. (2012). Jeotermal enerjinin ekonomik katkıları ve çevresel etkileri: Denizli-Kızıldere jeotermal örneği.
- Fontana, P., Lehmann, C., & Müller, U. (2009). Influence of hydrothermal curing on micro structure and mechanical properties of ultra-high performance concrete. In A. M. Brandt & J. Olek (Eds.), *Brittle Matrix Composites 9* (pp. 391-398). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845697754.391>
- Gazete, R. (2007). Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu. *Resmi Gazete Tarihi*, 13, 2007.
- Gönen, T. (2003). *Betonda Sıkıştırma Faktörünün Karbonatlaşmaya Etkisi* Yüksek lisans tezi, Fırat üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ].
- Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M. S., & Demir, İ. (2009). Uçucu Kül Bölüm II: Kimyasal, Mineralojik ve Morfolojik Özellikler. *Electronic Journal of Construction Technologies/Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2).
- Grubeša, I. N., Barisic, I., Fucic, A., & Bansode, S. S. (2016). *Characteristics and uses of steel slag in building construction*. Woodhead Publishing.
- Gültekin, F., & Temizel, E. H. (2014). Pasinler (Erzurum) Jeotermal Sisteminde Akışkan Akımının Modellenmesi Ve Jeotermal Suların Hidrojeokimyası. *Doktora Tezi*, 186.
- Haklıdır, F. S. T. (2008). Türkiye'deki jeotermal alanlar ve bu alanlardaki farklı güncel uygulamalara bakış. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES*, 645-650.
- Hem, J. D. (1985). *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water* (Vol. 2254). Department of the Interior, US Geological Survey.
- Hobbs, D. (1982). Influence of pulverized-fuel ash and granulated blastfurnace slag upon expansion caused by the alkali-silica reaction. *Magazine of concrete Research*, 34(119), 83-94.
- Hounslow, A. (2018). *Water quality data: analysis and interpretation*. CRC press.
- Ilgar, R. (2005). Ekolojik bakışla jeotermal kaynaklara dualist yaklaşım. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(13), 88-98.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., & Wiese, A. (2007). *Renewable energy: technology, economics and environment*. Springer Science & Business Media.
- Karahan, O., Arı, K., Haktanır, T., & Atış, C. (2003). Farklı Portland Çimentolu Betonların Sülfürik Asitli Ortamdaki Dayanıklılığının Karşılaştırılması, 5. *Ulusal Beton Kongresi,(1-3 Ekim 2003), İstanbul*, 575-584.
- Koç, E., & Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
- Kurbetci, Ş. (1993). *Beton basınç dayanımının erken tahmininde kullanılan standart sıcak su yönteminin geliştirilmesi* Karadeniz Teknik Üniversitesi].
- Küleççi, Ö. C. (2009). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-91.

- Lee, C.-H., Wang, T.-T., & Chen, H.-J. (2013). Experimental study of shotcrete and concrete strength development in a hot spring environment. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 38, 390-397. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.07.019>
- Lund, J. W., & Boyd, T. L. (2016). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 60, 66-93.
- Mather, B. (2004). Concrete durability. *Cement and Concrete Composites*, 26(1), 3-4.
- Mazor, E. (1997). *Chemical and isotopic groundwater hydrology: the applied approach*. Marcel Dekker Inc.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2017). *Concrete microstructure, properties and materials*.
- Mengi, A. T. D., & Saner, H. S. Y. (2015). *Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin yer seçimi ve çevresel etkileri: karapınar ve karaman enerji ihtisas endüstri bölgeleri örneklerinin değerlendirilmesi* Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyaset Bilimi ve Kamu ...].
- Monteiro, P. J., & Kurtis, K. E. (2003). Time to failure for concrete exposed to severe sulfate attack. *Cement and Concrete Research*, 33(7), 987-993.
- Monteny, J., De Belie, N., Vincke, E., Verstraete, W., & Taerwe, L. (2001). Chemical and microbiological tests to simulate sulfuric acid corrosion of polymer-modified concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(9), 1359-1365.
- MTA, M. T. v. A. G. M. (2017). Faaliyet Raporu - Türkiye Jeotermal Kaynaklar Dağılımı ve Uygulama Haritası, Enerji Haritaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Murphy, E. F. (1980). Energy and environmental balance.
- Nergiz, V. (2007). *Yüksek Dayanımlı Betonlarda Durabilite ve İşlenebilirlik* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat ...].
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (1987). *Concrete technology*. Longman Scientific & Technical England.
- Nicholson, K. (2012). *Geothermal fluids: chemistry and exploration techniques*. Springer Science & Business Media.
- Onat, O. B. (1998). *Türkiye'de üretilen yüksek fırın cürüflerinin çimento özelliklerine etkisi*
- Özdemir, A., & Tezelli, O. (2008). Türkiye Jeotermal Sularının Jeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi. *Sondaj ve Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 7, 52-67.
- Özsabuncuoğlu, İ., & Uğur, A. (2005). Doğal Kaynaklar Ekonomi. *Yönetim ve Politika, İmaj Kitapevi Yayını, Ankara*.
- Paşa, O. (2018). *Uçucu kül ve silis dumanı katkılı yüksek dayanımlı betonların kalıcılık özellikleri* Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Ramyar, K., Dönmez, H., & Andiç, Ö. (2002). Alkali Silis Reaksiyonunun Mineral ve Kimyasal Katkılar Yardımı ile Kontrol Altına Alınması. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü*.
- Redhouse, J. W. (1880). *Redhouse's Turkish Dictionary: In Two Parts, English and Turkish, and Turkish and English*. Quaritch.
- Saran, A. G. (2007). *Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi* Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Schießl, P., & Härdtl, R. (1989). The change of mortar properties as result of fly ash processing. Third CANMET/ACI International Conference Fly Ash, Silica Fume, Slag & Natural Pozzolans in Concrete,
- 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.
- Stevens, H. H., Ficke, J. F., & Smoot, G. F. (1975). *Water temperature-influential factors, field measurement, and data presentation*. US Government Printing Office Washington.

- Sua-iam, G., & Makul, N. (2015). Rheological and mechanical properties of cement–fly ash self-consolidating concrete incorporating high volumes of alumina-based material as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 95, 736-747.
- Şengül, Ö., Taşdemir, M., Koç, İ., Tarhan, M., & Erenoğlu, T. (2008). Doğal ve endüstriyel mineral katkıları içeren betonların tasarımı, mekanik özellikleri ve dürabilitesi. *Đnşaat Mühendisleri Odası e-kütüphane*.
- Şimşek, O. (2007). *Beton ve beton teknolojisi*. Seçkin Yayıncılık.
- Şimşek, O., & Baharavar, S. (2014). Karbonatlaşmanın çelik lifli ve uçucu küllü betonlarda etkisi.
- Tavasoli, S., Nili, M., & Serpoush, B. (2018). Effect of GGBS on the frost resistance of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 165, 717-722.
- Thomas, R. (2013). *Practical guide to ICP-MS: a tutorial for beginners*. CRC press.
- Tokyay, M. (1992). *ACADEMIC POSITIONS* Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Turkey].
- Tokyay, M. (1993). Betonda Uçucu Kül Kullanımı Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu. *Ankara, Türkiye*, S26-36.
- Tokyay, M. (2013). Betonda UK, GYFC ve SD'nin Rolü: Mevcut Bilgi Birikimi. *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 21-23 Şubat*, 201-238.
- Tokyay, M. (2016). *Cement and concrete mineral admixtures*. CRC Press.
- Tokyay, M., & Erdoğan, K. (2009). *Cüruflar ve cürüflü çimentolar*. TÇMB.
- Toy, S., Çatakçı, S., Eymirli, E., & Karapınar, M. (2010). Erzurum Termal Turizm Potansiyeli. *Turizm Raporları No.: Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı: Erzurum*.
- TS 3440, T. (2014). Betona zararlı etkileri olan su, zemin ve gazların değerlendirilmesi - Prensipler, sınır değerler, su ile zemin numunelerinin alınması ve analizleri. *TSE, Ankara*.
- TSE. (2012). TS EN 197-1 (2012). *Ankara: Turkish Standardization Institute. TSE Cement-Part, 1*.
- TSE. (2017). TS EN 206: 2013+ A1: Beton-Özellik, performans, imalât ve uygunluk. *Ankara: TSE*.
- TSE, T. S. E. (1998). TS EN 450. *Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Tarifler, Özellikler Ve Kalite Kontrol, Ankara*.
- Tuygun, C. S. (2002). *Çayırhan Uçucu Külünün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi ve Etkinlik Faktörünün İncelenmesi* Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., & Yeğinoğlu, A. (2009). Türkiye'deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri. *Ankara, TÇMB*.
- Türkyılmaz, O. B., Y., Aytaç, O. (2017). *Türkiye'de Enerji Görünümü Panel Bildirisi Kitabı, ODTÜ MD*.
- Uysal, M. (2010). *Mineral Katkılar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özelliklerinin ve Dayanıklılığının İncelenmesi* Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya].
- Ülker, İ. (1994). *Sağlık turizmi: kaynaklar, planlama, tanıtım*. TC Turizm Bakanlığı.
- Üstün, A., Apaydın, M., Filik, Ü., & Kurban, M. (2009). Kyoto protokolü kapsamında Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikalarına genel bir bakış. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 23-28.
- Var, A. A., & Kaplan, Ö. (2018). Bazı Jeotermal Sularla Muamele Edilmiş Kızılçam Odununun Yoğunluk, Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü: Konya Bölgesinden Bir Çalışma. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 6(1), 181-192.
- Var, A. A., Kardaş, İ., & Genç, A. (2015). Kütahya-Simav yöresi jeotermal sularının emprenye maddesi potansiyeli ile ahşaptaki absorpsiyon, retensiyon ve yoğunluk üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 16(1), 42-49.
- Wang, M., Hu, Y., Wang, Q., Tian, H., & Liu, D. (2019). A study on strength characteristics of concrete under variable temperature curing conditions in ultra-high geothermal

- tunnels. *Construction and Building Materials*, 229, 116989.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116989>
- WHO, F. E. (2011). Guidelines for drinking-water quality. *WHO chronicle*, 38(4), 104-108.
- Wojciech, K. (2012). Study on the properties of cement mortars with basalt fibres. In *Brittle Matrix Composites 10* (pp. 155-166). Elsevier.
- Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., & Tandiroğlu, A. (2016). Parametric optimization and exergetic analysis comparison of subcritical and supercritical organic Rankine cycle (ORC) for biogas fuelled combined heat and power (CHP) engine exhaust gas waste heat. *Energy*, 111, 923-932.
- Yalçın, H., & Gürü, M. (2006). *Çimento ve beton*. Palme Yayıncılık.
- Yalçın, H., & Koç, T. (2004). Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Önlenmesi.
- Yazıcı, H. (2006). Yüksek Fırın Curufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 51-58.
- Yeğınobalı, A. (1999). Betonun Dayanıklılığı I, Fiziksel Etkenler. *TÇ MB Çimento ve Araştırma Enstitüsü Seminer Notları, Ankara*.
- Yeğınobalı, A., & Dumanoı, S. (2007). Çimento ile Betonda Kullanımı. *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı Ar-Ge, Ankara*.
- Yılmaz, N. S. (2013). *Aydın ve çevresindeki jeotermal sulardaki bazı elementlerin ve iyonların Icp-Oes ve Ic ile analizi* Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü].

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Ahmet Tuğrul YILDIZ
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Sivas Cumhuriyet A.L. (2003-2007)
Lisans:	ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. (2007-2013)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı (2018-2021)
Doktora:	--
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Çok İyi
Rusça:	Orta
Arapça:	Orta
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
	--
Tezden Üretilmiş Yayınlar	
	--