



T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞIRNAK ASFALTİT KÜLÜNÜN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burhan ERZEN

ŞIRNAK, 2025

T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞIRNAK ASFALTİT KÜLÜNÜN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan

Burhan ERZEN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Osman Hulusi ÖREN

ŞIRNAK, 2025

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu tez çalışmasının Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlandığını, bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Burhan ERZEN

TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK

“Şırnak Asfaltit Külünün Beton Özellikleri Üzerine Etkisi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu’na uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Burhan ERZEN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Osman Hulusi ÖREN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı

Doç. Dr. Sedat ÖZCANAN

KABUL VE ONAY SAYFASI

Dr. Öğr. Üyesi Osman Hulusi ÖREN danışmanlığında **Burhan ERZEN** tarafından hazırlanan “**Şırnak Asfaltit Külünün Beton Özellikleri Üzerine Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi	Unvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Jüri Başkanı	Doç. Dr. Sedat ÖZCANAN	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Osman Hulusi ÖREN	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Murat DOĞRUYOL	

Savunma Tarihi: 28 /05/ 2025

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun/... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. İbrahim HÜSEYİNİ

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın hazırlanmasında bilgi ve birikimleriyle bana yol gösterip, yoğun iş temposuna rağmen her zaman vakit ayırarak desteklerini esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam Dr.Őėr.Üyesi Osman Hulusi ÖREN'e teőekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	1
TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK	II
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
ABSTRACT	VIII
TABLOLAR LİSTESİ.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
SİMGELER LİSTESİ.....	XII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XIII
GİRİŞ	1
1. ASFALTİT KÜLÜNÜN BETON ÜRETİMİNDE KULLANIMI	3
1.1. Beton	3
1.2. Çimento ve Tarihi.....	4
1.3. Çimento Üretimi.....	4
1.4. Agregası	6
1.5. Katkı Maddeleri	6
1.6. Kömür	7
1.7.Şırnak Asfaltit Kömürü	8
1.8. Silopi Termik Santrali.....	10
1.9. Literatür Taraması.....	11
2. MATERYAL VE METOD	17
2.1. Deney Çalışmalarında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	17
2.1.1. Portland çimento.....	17
2.1.2. Asfaltit külü	18
2.1.3. Agregası	19
2.1.4. Katkı maddesi.....	19
2.1.5. Karışım suyu	20
2.2. Deney Çalışmalarında Kullanılan Alet ve Cihazlar.....	20

2.2.1. Terazı.....	20
2.2.2. Kalıp.....	20
2.2.3. Elek.....	21
2.2.4. Beton test presi	21
2.2.5. Los Angeles aşındırma cihazı.....	22
2.2.6. Beton mikseri	22
2.2.7. Beton kür havuzu.....	23
2.2.8. Etüv fırını	23
2.2.9. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM) cihazı.....	24
2.2.10. XRD analizi cihazı.....	24
2.2.11. Ultrasonik dalga hızı test cihazı	25
2.3. Deneysel Çalışmalar	25
2.3.1. Beton numunelerinin üretilmesi.....	26
2.3.2. Birim hacim ağırlık deneyi	28
2.3.3. Su emme deneyi.....	29
2.3.4. Beton basınç deneyi.....	31
2.3.5. Ultrasonik dalga hızı tayini deneyi.....	33
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	35
3.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonucu	35
3.2. Su Emme Deneyi Sonucu	36
3.3. Beton Basınç Deneyi Sonucu	38
3.4. Ultrasonik Atımlı Dalga Hızı Tayini Deney Sonucu	41
3.5. Beton Numuneleri Görünür Muayenesi	42
3.6. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM).....	42
3.7. X-Işınları Difraksiyon Analizi (XRD).....	48
3.7.1. Asfaltit külü XRD analizi	48
3.7.2. R referans betonu XRD analizi	48
3.7.3. A20 deney betonu XRD analizi.....	49
3.7.4. A40 deney betonu XRD analizi.....	50
SONUÇ VE ÖNERİLER	52
KAYNAKÇA.....	55
ÖZGEÇMİŞ	58

ÖZET

ŞIRNAK ASFALTİT KÜLÜNÜN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

ERZEN, Burhan

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Osman Hulusi ÖREN

Mayıs 2025, 58 sayfa

Bu tez çalışmasında, Şırnak asfaltit kömürünün yakılması ile atık olarak elde edilen asfaltit külünün çimento yerine farklı oranlarda ikame edilmesi durumunda beton özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında öncelikle referans (kül içermeyen) beton numuneleri hazırlanmış ve çimentonun ağırlıkça belirli oranlarda asfaltit külü ile ikame edildiği çeşitli deney serileri oluşturulmuştur. Beton özellikleri üzerinde farklı kür koşulları altında saklanan numuneler üzerinde birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı testi, su emme, ultrases geçiş hızı gibi çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca beton numunelerinin içyapıları Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM), mineralojik yapısı X-Işınları difraksiyon analizi (XRD) ve kimyasal bileşimi (XRF) ile araştırılmıştır.

Beton üretiminde Asfaltit külü çimento ile %10, %20, %30, %40 oranlarında yer değiştirilmiştir. Karışım değerlerine bağlı olarak 28 gün kür ortamında saklanan asfaltit külü içeren beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları $2,22-2,39 \text{ gr/cm}^3$, basınç dayanımı 12,7-35,65 MPa ve ağırlıkça su emme yüzdesi 3,79-7,79, aralığında elde edilmiştir.

Tez bulguları, asfaltit külünün belirli oranlarda çimento ikamesi olarak kullanımının beton özellikleri üzerindeki olumlu veya olumsuz etkileri hakkında önemli veriler sunmakta ve gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturmaktadır. Çalışma sonuçlarının, sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması açısından önem taşıdığı düşünülmektedir. Tezden elde edilen verilerin, asfaltit külünün atık yönetimi ve sürdürülebilir yapı malzemeleri üretimi açısından değerlendirilmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Asfaltit Kömürü, Asfaltit Külü, Beton, Çimento, Atık Değerlendirme.

ABSTRACT

EFFECTS OF SIRNAK ASPHALTITE BOTTOM ASH ON CONCRETE PROPERTIES

ERZEN, Burhan

Master of Science in Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Osman Hulusi ÖREN

May 2025, 58 pages

In this thesis study, it is aimed to determine the effects of substituting cement with different proportions of asphaltite ash, which is obtained as a waste product from the combustion of Şirnak asphaltite coal, on the properties of concrete. Within the scope of the thesis, reference (ash-free) concrete samples were first prepared, and various experimental series were created by partially replacing cement with asphaltite ash at specific weight ratios. Several tests were conducted on samples stored under different curing conditions to evaluate their properties, such as unit weight, compressive strength, water absorption, and ultrasonic pulse velocity. Additionally, the internal structures of the concrete samples were examined using Scanning Electron Microscopy (SEM), their mineralogical composition was analyzed through X-Ray Diffraction (XRD), and their chemical composition was investigated via X-Ray Fluorescence (XRF) analysis.

Asphaltite ash was used to replace cement at rates of 10%, 20%, 30%, and 40% in concrete production. Depending on the mix proportions, the concrete samples containing asphaltite ash and cured for 28 days exhibited unit weights ranging from 2,22 to 2,39 g/cm³, compressive strengths between 12,7 and 35,65 MPa, and water absorption by weight in the range of 3,79% to 7,79%.

The findings of the thesis provide significant insights into the positive or negative effects of using asphaltite ash as a partial cement replacement on the properties of concrete and form a basis for future studies. The results of this study are considered important in terms of developing sustainable construction materials and reducing environmental impacts. The data obtained from the thesis are anticipated to contribute to the evaluation of asphaltite ash in terms of waste management and sustainable construction material production.

Keywords: Asphaltite Coal, Asphaltite Ash, Concrete, Cement, Waste Evaluation

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Çimento ana bileşeni	4
Tablo 2. Şırnak asfaltit kömürü ocakları.....	9
Tablo 3. Şırnak asfaltitlerinin kimyasal özellikleri.....	10
Tablo 4. Portland kompoze çimento içeriği fiziksel özellikleri.....	18
Tablo 5. Küllerin fiziksel özellikleri.....	19
Tablo 6. 1 m ³ C30/37 Betonu karışım oranı	26
Tablo 7. Deney Serileri beton numuneleri karışım oranı.....	26
Tablo 8. Birim hacim ağırlıkları (gr/cm ³) ortalaması.....	35
Tablo 9. Beton deney serileri 7. gün beton basınç testi sonuçları.....	39
Tablo 10. Beton deney serileri 28. gün beton basınç testi sonuçları	39
Tablo 11. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları.....	41
Tablo 12. Asfaltit külü minerolojik yapısı.....	48
Tablo 13. R referans beton numunesi minerolojik yapısı.....	49
Tablo 14. A20 beton numunesi minerolojik yapısı.....	50
Tablo 15. A40 beton numunesi minerolojik yapısı.....	51

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Beton dökümü	3
Şekil 2. Agregta stok sahası	6
Şekil 3. Katkı maddesi	7
Şekil 4. Kömürleşme süreci	7
Şekil 5. Asfaltit kömürü	8
Şekil 6. Şırnak asfaltit kömürü açık ocak madenciliği	8
Şekil 7. Şırnak ili asfaltit haritası	9
Şekil 8. Silopi termik santali	10
Şekil 9. Çimento görselleri	17
Şekil 10. Asfaltit külü	18
Şekil 11. Agregta	19
Şekil 12. Katkı maddesi	19
Şekil 13. Terazî	20
Şekil 14. Beton deney kalıbı	20
Şekil 15. Delikli metal elek	21
Şekil 16. Beton test presi	21
Şekil 17. Los Angeles aşındırma cihazı	22
Şekil 18. Beton mikseri	22
Şekil 19. Beton kür havuzu	23
Şekil 20. Etüv fırını	23
Şekil 21. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	24
Şekil 22. XRD cihazı	24
Şekil 23. Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı	25
Şekil 24. Beton üretim malzemeleri	27
Şekil 25. Beton numuneleri üretimi	28
Şekil 26. Birim hacim ağırlık ölçümü	29
Şekil 27. Su emme deneyi	31

Şekil 28. Beton basınç deneyi	32
Şekil 29. Ultrases geçiş hızı ölçümü	34
Şekil 30. Birim hacim ağırlık ortalaması karşılaştırmalı grafiği	36
Şekil 31. Su emme grafiği	37
Şekil 32. Ağırlıkça su emme karşılaştırmalı grafiği.....	37
Şekil 33. 7. Gün beton basınç testi karşılaştırmalı grafiği	39
Şekil 34. 28. Gün beton basınç testi karşılaştırmalı grafiği.....	40
Şekil 35. 7. Gün - 28. Beton basınç testi karşılaştırmalı grafiği.....	40
Şekil 36. Ultrases geçiş süresi karşılaştırmalı grafiği.....	41
Şekil 37. Beton numuneleri	42
Şekil 38. Asfaltit külü SEM görüntüsü	43
Şekil 39. R betonu numunesi SEM görüntüsü-1	44
Şekil 40. R betonu numunesi SEM görüntüsü-2	44
Şekil 41. A20 betonu numunesi SEM görüntüsü-1	45
Şekil 42. A20 betonu numunesi SEM görüntüsü-2.....	46
Şekil 43. A40 betonu numunesi SEM görüntüsü-1	47
Şekil 44. A40 betonu numunesi SEM görüntüsü-2.....	47
Şekil 45. Asfaltit külü XRD sonucu.....	48
Şekil 46. R betonu numunesi XRD sonucu.....	49
Şekil 47. A20 betonu numunesi XRD sonucu.....	50
Şekil 48. A40 betonu numunesi XRD sonucu.....	50

SİMGELER LİSTESİ

Simge	Açıklama
μs	Mikro saniye
MPa	Mega Paskal
$^{\circ}\text{C}$	Santigrad Derece
g	Gram
g/cm^3	Gram/Santimetreküp
cm	Santimetre
mm	Milimetre
m	Metre
S_a	Ağırlıkça su emme yüzdesi
W_d	Doygun birim ağırlığı
W_k	Kuru birim ağırlığı

KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Asfaltit külü
A10	: %10 Asfaltit külü katkılı beton deneyi
A20	: %20 Asfaltit külü katkılı beton deneyi
A30	: %30 Asfaltit külü katkılı beton deneyi
A40	: %40 Asfaltit külü katkılı beton deneyi
R	: Referans betonu deneyi
UK	: Uçucu kül
SEM	: Scanning Electron Microscope
XRD	: X-ray ışın kırınım cihazı
XRF	: X Işını floresansı

GİRİŞ

Modern inşaat sektörünün temel taşı olan beton, küresel altyapı ve yapılaşmanın omurgasını oluşturmaktadır. Betonun en kritik bileşeni olan Portland çimentosu, sağladığı yüksek bağlayıcılık ve dayanım özellikleri sayesinde vazgeçilmezdir. Ancak, çimento üretimi sırasında yüksek enerji tüketimi gerektirmesi ve atmosferimize önemli miktarda karbon dioksit (CO₂) salımı yapması nedeniyle çevre kirliliği açısından en büyük tehditlerden biri karbon emisyonlarına sebep olmaktadır. Bu emisyonlar, çimento üretimi, agrega üretimi ve taşınması gibi faaliyetler sonucunda ortaya çıkmaktadır (Kul Gül, 2023). Beton hacminin yaklaşık %20' ini çimento oluşturur. Türkiye Hazır Beton Üreticilerinin verilerine göre 2020 yılında ülkemizde toplam üretilen beton miktarı 95.000.000 m³ 'tür bu üretim miktarı her yıl artarak devam etmektedir (Thhb, 2025). Betonun sadece ülkemizde bu denli yaygın kullanılan yapı malzemesi olduğu düşünüldüğünde sürdürülebilirlik hedefleri ve çevresel düzenlemeler, inşaat sektörünü daha çevre dostu ve kaynak verimli çözümler bulmaya teşvik etmektedir. Bu durum, geleneksel çimentoya alternatif veya onu tamamlayıcı nitelikte puzolanik malzemelerin ve endüstriyel atıkların beton teknolojisindeki kullanımını ön plana çıkarmıştır.

Endüstriyel yan ürünlerin, özellikle termik santral küllerinin ve yüksek fırın cürufklarının, beton harcında çimento yerine kısmi ikame olarak kullanılması, hem atık yönetimi sorunlarına çözüm sunmakta hem de betonun çevresel ayak izini azaltmaktadır. Bu tür malzemeler, puzolanik reaksiyonlar yoluyla betonun dayanımını ve özellikle durabilite özelliklerini zamanla artırma potansiyeline sahiptir.

Türkiye'nin Güneydoğu bölgesi Şırnak ili büyük bir asfaltit potansiyeline sahiptir. Çıkan asfaltitin enerji olarak kullanılması sonucu büyük miktarlarda asfaltit külü açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan asfaltit ve kömür atıkları doğal sahalara bırakılarak depolanmaktadırlar. Asfaltit malzemesi bünyesinde birçok ağır metal içerdiği için elde edilen asfaltit külü de doğaya zarar verebilecek ağır metaller içermektedir. Kullanılmayan asfaltit yan ürünlerinin depolanma zorluğundan dolayı doğaya ve canlı yaşamına zarar verebilecek çevre kirliliklerine sebep olmaktadır.

Şırnak asfaltit külünün, betonda çimento yerine ikame malzeme olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, hem bölgesel düzeyde önemli bir endüstriyel atığın değerlendirilmesi açısından stratejik öneme sahiptir hem de çimento tüketimini azaltarak daha ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir beton üretimine katkı sağlama potansiyeli taşımaktadır. Literatürde, genel olarak endüstriyel atıkların betonda kullanımına dair çalışmalar bulunmakla birlikte, Şırnak asfaltit külünün çimento yerine ikame edilmesi durumunda betonun mühendislik performansı üzerindeki etkilerini kapsamlı olarak ele alan çalışma bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, Şırnak asfaltit külünün beton üretiminde bağlayıcı madde olarak kullanılan portland çimentosunun yerini kısmen alabilme potansiyelini değerlendirmektir. Bu kapsamda, Şırnak bölgesinden elde edilen asfaltit külünün, betonda %10, %20, %30 ve %40 oranında çimento yerine ikame edilmesi durumunda, elde edilen betonun birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, su emme ve ultrases geçiş hızı testi gibi temel fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkilerini deneysel olarak araştırmak ve ayrıca beton numunelerinin iç yapılarını Taramalı elektron mikroskopu analizi (SEM), mineralojik yapısını X-Işınları difraksiyon analizi (XRD) ve kimyasal bileşimini (XRF) ile araştırılmasıdır. Tezin özel hedefleri arasında, asfaltit külünün beton üretiminde sürdürülebilir bir alternatif malzeme olarak kullanımının teknik fizibilitesinin ortaya konulması ve çevresel etkilerin azaltılmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Yapılacak bu çalışma ile, Şırnak asfaltit külünün beton üretiminde çimento yerine ikame edilebilirliği bilimsel olarak değerlendirilecek, optimum kullanım oranlarının belirlenmesine yönelik bulgular sunulacak ve bu atık malzemenin inşaat sektöründe katma değer yaratacak şekilde kullanımı için temel veriler sağlanacaktır. Böylelikle asfaltit kömürünün kullanımı sonucunda atık olarak açığa çıkan asfaltit külleri için yeni bir kullanım alanı oluşturulacak ve söz konusu atık malzemelerin faydalı bir şekilde doğadan bertaraf edilmesi için alternatif bir kullanım alanı sağlanmış olacaktır.

Tez çalışmasının kapsamı, belirlenen asfaltit külü ikame oranları, hazırlanan beton karışımları ve yapılan deneyler ile sınırlıdır. Farklı asfaltit külü kaynakları veya farklı beton sınıfları üzerine çalışmalar bu tezin kapsamı dışındadır. Elde edilen sonuçlar, ikame oranlarına bağlı olarak asfaltit külünün beton performansına etkilerini ortaya koyacaktır.

1. ASFALTİT KÜLÜNÜN BETON ÜRETİMİNDE KULLANIMI

1.1. Beton

Kompozit malzemeler birbirlerinin güçsüz taraflarını düzeltmek ve iyi özelliklerini de kullanmak için birçok farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşurlar (Özbey, 2021). Çimento bazlı yapı malzemeleri, dayanıklılıkları, yangın direnci, yalıtım özellikleri ve ekonomik avantajları gibi pek çok sebeple inşaat sektöründe yaygın olarak tercih edilmektedir. Aralarında en çok bilineni ve kullanılanı betondur. Beton ise çimento, su, agrega ve katkı maddelerinin belli bir oranda karıştırılması ile meydana gelen kompozit malzemesidir. Beton taze halde iken akıcı kıvamı sayesinde kolay şekil verilebilir bir haldedir. Daha sonra sertleşerek dayanım kazanırlar çekme gerilmelerinin oluşumu istenmediği için de betonda donatı kullanılmaktadır. Çekme gerilmelerinin oluşturduğu olumsuz etkilere, betonda donatı kullanılarak karşı koyulmaktadır (Binici, Çağatay, & Kaplan, 2000). Beton üretiminde çimentonun görevi, agregaları birbirine bağlamaktır. Beton yapı elemanı olarak inşaat sektöründe geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Betonda çoğunlukla yerel malzemelerin kullanılması, maliyetinin daha düşük olmasını sağlamakta ve standartlara uygun olarak tasarlanıp üretilen beton hizmet ömrü boyunca hiçbir bakım ve onarıma ihtiyaç duymadan uzun yıllar kullanılabilir (Korkmaz, 2005). Şekil 1. de Beton döküm görseli gösterilmiştir.



Şekil 1. Beton dökümü

1.2. Çimento ve Tarihi

Latince Yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki caementum sözcüğünden türemiş olan Çimento; yapı malzemeleri grubunda beton üretiminde kullanılan hidrolik bağlayıcı bir inşaat malzemesidir. yapıların inşasında bağlayıcı malzemelerin kullanımı çok eskilere dayanır; bağlayıcı olarak kullanılan ilk malzeme kireçtir. 1852 yılında betonarme yapı inşa edilmiştir.

1824 yılında İngiltere'nin Leeds şehrinde, Joseph Aspdin adında bir duvar ustası, ince taneli kil ve kalker karışımını pişirerek ve daha sonra öğüterek bağlayıcı bir malzeme elde etmiştir. Bu yapı malzemesine su ve kum eklendiğinde zamanla sertleştiğini görerek ortaya çıkan malzemenin yeni bir bağlayıcı olduğunu anlayarak 21.10.1824 tarihinde "Portland Çimentosu" adı altında 5022 nolu patenti almıştır. Bu bağlayıcı malzeme sonraki yıllarda büyük gelişmeler gösterse de isim olarak portland çimentosu olarak günümüze kadar anılmaya devam etmiştir(Türkçimento, 2025).

1.3. Çimento Üretimi

Çimento üretimin ilk aşaması kalker ve kil' den oluşan hammaddelerin 1450 °C sıcaklık ile 'döner fırın' adı verilen fırında pişirilerek klinker elde edilmesidir. Kalkerin yapısında CaCO_3 (kalsiyum karbonat), kilin yapısında ise SiO_2 (silika) ve Al_2O_3 (alümin) yer almaktadır. Elde edilen klinker soğutulur az miktarda $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (alçı taşı) birlikte öğütülür ve 'Portland Çimentosu' elde edilir (Erdoğan, 2007). Çimento bileşenler olarak çeşitli oksitlerden meydana gelmektedir. Çimento ana bileşenleri Tablo 1. de gösterilmektedir (Erdoğan, 2007).

Tablo 1. Çimento ana bileşeni

Silikatlar		Alüminatlar	
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
Trikalsiyum silikat (C_3S)	Dikalsiyum silikat (C_2S)	Trikalsiyum alüminat (C_3A)	Tetrakalsiyum alüminoferrit (C_4AF)

C₂S (Dikalsiyum Silikat): Reaksiyonu yavaş, tipleri erken dayanıma etkisi düşük ancak geç dayanıma etkisi yüksektir

C₃S (Trikalsiyum silikat): Reaksiyon hızı ve hidrasyon ısısı orta, dayanıma etkisi yüksektir

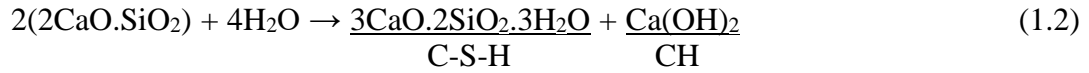
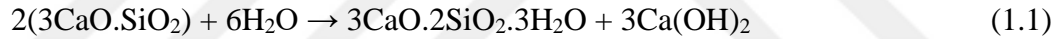
C₃A (Trikalsiyum alüminat): Dayanıma etkisi düşüktür. İlk çözünen bileşen olduğu için katılan alçı taşı ile hidrasyon ısısı yavaşlatılır.

C₄AF (Tetrakalsiyum alüminoferrit): Reaksiyon hızı ve hidrasyon ısısı orta, dayanıma etkisi düşüktür. Çimentoya rengini veren bileşendir.

Çimento hidrasyonu:

Çimentoyu oluşturan klinker bileşikleri, kimyasal potansiyel olarak aktif durumdadır ve aynı zamanda su ile kolaylıkla reaksiyona girerek çözültüde hidroliz reaksiyonları meydana getirir. Çimentoların su ile yaptıkları etkileşime hidrasyon denir (Yalçın & Gürü, 2006).

Denklem (1.1) ve (1.2)' verilen C₃S (Trikalsiyum silikat) ve C₂S (Dikalsiyum silikat) ile H₂O(su)'nun kendi aralarında reaksiyona girerek CH (Kalsiyum hidroksit) ve C₃S₂H₃ (Tobermorit) ürünleri ortaya çıkar.



Ülkemizde genel olarak çimento sınıflarını belirleyen TS EN 197-1 Standardıdır, Standart 27 ayrı çimentonun ve bileşenlerinin tanımı ve özelliklerini belirlemektedir. Ayrıca, 7 çeşit sülfata dayanıklı çimentoyu da içermektedir (Türk çimento 2021).

TS EN 197-1 Standardına göre genel çimentolar beş ana tipte olmak üzere aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

- CEM I – Portland çimentosu
- CEM II – Portland kompoze çimento
- CEM III – Yüksek fırın cürüflü çimento
- CEM IV – Puzolanik çimento
- CEM V – Kompoze çimento

1.4. Agregas

Yapı malzemesi şeklinde kullanılan, doğal kayalar ve mineraller, mineral agregalar ismiyle anılmaktadır. Doğal olan agregaların birleşimi mineral ve kayadır. İnşaat faaliyetlerinin hızlı bir şekilde artması ve gelişen teknolojiyle birlikte kayaların değişik sebeplerle kullanımı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Maden ve petrol aramaları sırasında, hafriyatlarda, inşaatlarda, yol, tünel ve baraj yapımında mühendisler kayalardan faydalanmaktadır. Kıırma taş olarak kullanılan agregalar, bağlayıcılarla bağlandıkları takdirde asfalt betonu, harç, beton ve bunlara benzeyen sağlam yapı malzemelerinin üretilmesinde kullanılır (Değer, 2023). Beton üretimi için kullanılan agrega stok sahası görseli Şekil 2. de verilmiştir.



Şekil 2. Agregas stok sahası

1.5. Katkı Maddeleri

Beton özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için, betonun üretimi esnasında ya da beton dökülmeden önce transmikser içerisinde hazır bulunan betonun içerisine az miktarda katılan maddelere katkı maddeleri denilmektedir (Dedeoğlu, 2010). Katkı maddeleri, daha az su kullanımı ile dayanıklı beton üretmek, mevsim şartlarına karşı dayanıklılığı yüksek beton üretmek için kullanılabilirler. Beton katkı maddesi görseli Şekil 3. te gösterilmiştir.

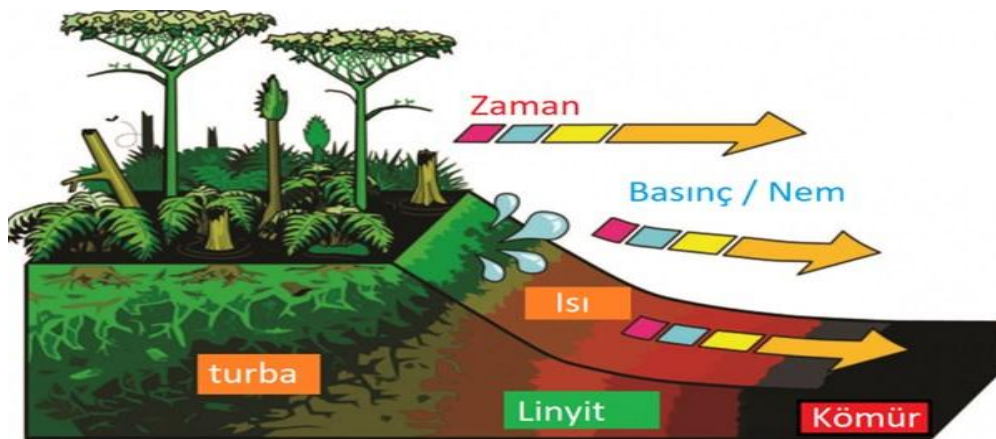


Şekil 3. Katkı maddesi

1.6. Kömür

Kömür, yer altında bulunan maden ocaklarından elde edilebilen organik ve inorganik bileşenlerden oluşan tortul bir kayadır. Ağaç ve bitki kalıntılarının bataklıklarda çökmesiyle kimyasal ve fiziksel etkilerle uzun bir zaman süresince kömürleşme süreci devam eder. Kömürleşmenin derecesine rank adı verilmekte olup en az ranka sahip olan kömür türü tam katılaşmasını tamamlamamış, açık kahverenkli, gözenekli ve yüksek su oranına sahip organik çökelek olan turbalardır (T.K.İ., 2025).

Kömür oluşum süreci görseli Şekil 4. te gösterilmiştir. (T.K.İ., 2025).



Şekil 4. Kömürleşme süreci

1.7. Şırnak Asfaltit Kömürü

Enerji talebinin dünyada yaklaşık %30'u ve Türkiye'de ise %40'ı taş kömürü, linyit ve asfaltit gibi katı yakıtlardan karşılanmaktadır. Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Şırnak ilinde bugüne kadar tahmin edilen yaklaşık 150 milyon ton civarında bir rezerve sahip asfaltit yataklarının olduğu bilinmektedir. Doğada çeşitli şekilde bulunan asfaltit Şırnak yöresinde bulunuş şekli ise fay ve çatlak dolguları biçimindedir. Asfaltit petrol kökenli maden olduğu için kalorisi yüksek olmasına rağmen, katı yakıt olarak kullanıldığında yüksek miktarda kül ve kükürt açığa çıkmaktadır (Şırnak Havzası Asfaltit Sahaları, 2018). Asfaltit kömürü görseli Şekil 5. te gösterilmiştir (yerli ve milli teknoloji, 2025).



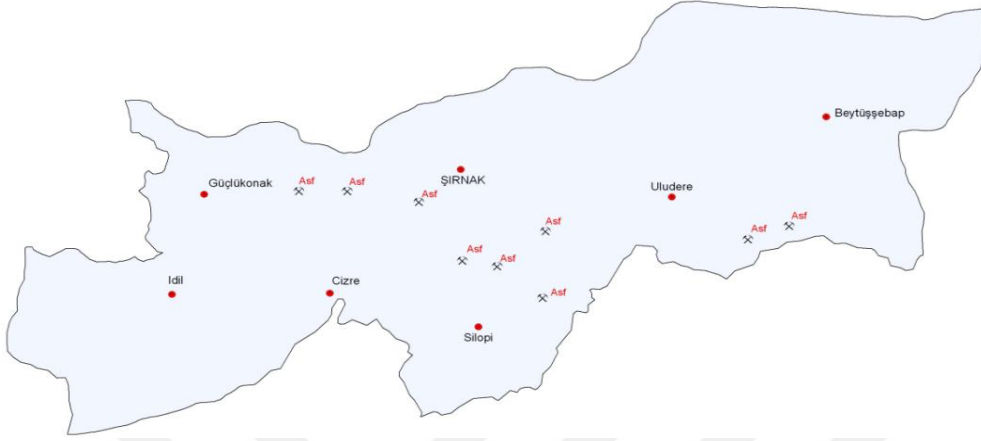
Şekil 5. Asfaltit kömürü

Şırnak İli asfaltit kömürü açık ocak madenciliği görseli Şekil 6. da gösterilmiştir. (Cinergroup, 2025)



Şekil 6. Şırnak asfaltit kömürü açık ocak madenciliği

Petrol kökenli enerji hammaddesi olan asfaltitler, Şırnak yöresinde filonlar şeklinde yer almaktadırlar. Şekil 7. de Şırnak ili haritası görselinde asfaltit kömürü filonları gösterilmektedir (M.T.A., 2025).



Şekil 7. Şırnak ili asfaltit haritası

Şırnak ili asfaltit kömürü ocakları Tablo 2. de gösterilmektedir (M.T.A., 2025).

Tablo 2. Şırnak asfaltit kömürü ocakları

T.K.İ. SİLOPİ KONTROL MÜDÜRLÜĞÜ						
2018 YILI İTİBARIYLA ŞIRNAK ASFALTİT SAHALARI KAYNAK DURUMU						
İLÇESİ	HUKUKİ DURUMU	FİLON ADI	KÖMÜR KAYNAK (Ton)			
			MÜMKÜN	MUHTEMEL	GÖRÜNÜR	TOPLAM
SİLOPİ	T.K.İ.	HARBUL		7.851.000	12.704.241	20.555.241
		SİLİP		1.335.000	3.071.000	4.406.000
		ÜÇKARDEŞLER		10.881.000	8.894.159	19.775.159
		RUTKEKURAT		1.000.000		1.000.000
	TOPLAM			21.067.000	24.669.400	45.736.400
ŞIRNAK MERKEZ	T.K.İ.	AVGAMASIYA		673.000	1.699.752	2.372
		MİLLİ	1.600.000	2.900.000	1.624.647	6.124.647
		ANILMIŞ KARATEPE	2.500.000	2.000.000	11.096	4.511.096
		SERİDAHİLİ	1.279.202	1.254.000	3.290.204	5.823.406
		NİVEKARA	700.000	1.000.000	144.440	1.844.440
		SEGÜRÜK		0	0	0
		ANILMIŞ-İSPIN-DORUK	500.000	500.000	70.875	1.070.875
TOPLAM		6.579.202	8.327.000	6.841.014	21.747.216	
GENEL TOPLAM			6.579.202	29.394.00	31.510.414	67.483.616

Asfaltit kömürü kimyasal özellikleri Tablo 3. te gösterilmiştir (M.T.A., 2025).

Tablo 3. Şırnak asfaltitlerinin kimyasal özellikleri

Filon	Nem (%)	Kül (%)	Kükürt(%)	AID (kcal/kg)
Silopi-Harbul	0,88	35,93	8,23	5.536
Silopi-Silip	1,35	36,25	8,10	5.485
Siloği-Üçkardeşler	1,21	35,55	7,70	5.474
Avgamasiya	0,47	39,68	5,64	4.191
Milli	2,13	47,38	4,01	3.400
Karatepe	3,58	42,56	3,48	3.695
Seridahli	0,22	46,72	4,92	3.174
Nivekara	5,40	42,72	5,83	3.400
Ispindoruk	0,33	51,93	4,76	3.300
Segürük	1,20	38,80	6,36	4.500
Rutkekurat	3,60	42,12	4,40	3.250
Uludere Ortasu	0,40	46,03	5,08	2.876

1.8. Silopi Termik Santrali

2003 yılında Silopi Asfaltit Sahası Harbul ve Silip kömür sahalarının Türkiye Kömür İşletmeleri tarafından açılan ihale sonucunda ihaleyi kazanan Ciner Grubu tarafından asfaltit kömürünün elektrik enerjisi üretiminde kullanılarak ekonomiye kazandırılması amacıyla 135 MW gücünde 3 adet ünite ile Asfaltit kömüründen elektrik enerjisi üretilen termik santral yapımı tamamlanarak faaliyete geçmiştir. Silopi termik santrali görseli Şekil 8. de gösterilmiştir (Cinergroup, 2025).



Şekil 8. Silopi termik santali

1.9. Literatür Taraması

Durmuş G. ve Şimşek O. tarafından 2008 yılında Uçucu küllerin beton kilitli parke taşı yapımında kullanım alanının araştırılması ile ilgili yapılan çalışmada %10, %20, %30 ve %40 oranlarında çimento yerine uçucu kül ilavesi yapılarak parke taşı üretilmiştir. Üretilen numunelere standart ve tuzlu su kürü uygulanmıştır. Deneyde numunelerin, su emme ve aşınma ve yarmada çekme testleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda tuzlu su kürü uygulamasında, erken zamanda, yarmada çekme dayanımını arttırırken, ileriki zamanda düşürmüştür. Yapılan tespitite kilitli parke taşında uçucu kül ikame oranı artkça aşınma kaybı değeri artmakta ve su emme miktarı ise azalmaktadır (Durmuş ve Şimşek, 2008).

Gökhan tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada uçucu külün kireç ve çimento ile birlikte kullanımının araştırılması ile ilgili uçucu kül, çimento, kireç, süper akışkanlaştırıcı katkı ve hava sürükleyici katkının çeşitli oranlarda ilave edilmesi ile farklı karışımlar uygulayarak hafif yapı blokları üretiminde Üretilen numunelerin birim hacim ağırlık değerleri; hafif yapı blokların birim ağırlık değerlerini verdiği saptanmıştır. Basınç dayanımı göz önüne alındığında ise üretilen numunelerde elde edilen basınç dayanım sonuçları; bims blokların minimum ve ortalama düzeydeki basınç değerlerinden daha yüksek olduğu ve yalıtım blokları açısından istenen birim hacim ağırlık değerlerini verdiği görülmüştür. üretilen numunelerin hafif yapı bloğu olarak, bims blokları ve gaz betonun kullanıldığı alanlarda kullanılabileceği tespit edilmiştir. (Gökhan, 2006).

Günindi tarafından 2005 yılında yapılan bir çalışmada, değişik miktarda Yumurtalık Sugözü uçucu külü içeren betonun basınç, eğilme ve aşınmaya karşı mukavemeti deneysel olarak incelenmiştir. uçucu kül kullanılarak farklı beton serileri üretilmiş ve süper akışkanlaştırıcı ile sabit su/çimento oranında betonlar üretilmiştir. Çalışmada uçucu kül ve çimento kullanımından tasarruf edilmiştir. Beton basınç dayanımı yükseldikçe aşınma direncinin de yükseldiği görülmüştür. ağırlıkça %10 yer değiştirme oranına sahip uçucu küllü betonun normal beton dayanımına eşdeğer dayanım elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Uçucu kül içeren betonların dayanım özellikleri ile normal betonun özellikleri arasındaki ilişkinin benzer olduğu sonucuna varılmıştır. Laboratuarda elde edilen gözlemlere dayanılarak uçucu külün çimentoyu %10-%40 arasında ikame edebileceği üretilen betonun yol kaplaması olarak kullanılabileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır (Günindi , 2005).

Haberal, tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmada betonun mukavemetini yükseltmek, işlenebilirliğini, artırarak kaliteli beton üretmek amacıyla, çimento yerine kullanılan uçucu külün, klor iyon geçirgenliği ve donatı korozyonu etkisi üzerine araştırma

yapılmıştır. yapılan çalışmada CEM I 42.5 R çimento ve çimento yerine uçucu kül % 15, % 30, ve % 45 oranlarında kullanılarak % 0.8 kg katkılı olmak üzere beton serileri hazırlanmıştır. numunelere 28 ve 56 günlük iki farklı kür olmak üzere dış ortam koşullarında ve suda bekletilerek uygulanmıştır. 16 farklı seri üretimi yapılarak bu beton serilerinin mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Hızlı klor iyon geçirimsizliği deneyi sonucunda, uçucu kül ilavesinin basınç dayanımı azalttığı, klor iyon geçirimsizliğini düşürdüğü tespit edilmiştir. Hızlandırılmış korozyon deneyi sonrasında beton içerisindeki donatının korozyona uğradığı, betonda genleşmelerin olduğu ve hasar oluşturduğu görülmüştür. Kullanılan uçucu külün artmasıyla oluşan hasar sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Çimento yerine belli oranlarda uçucu kül kullanımının ise hem klor iyon geçirimsizliğini azaltmada hem de korozyona karşı dayanıklılık açısından oldukça faydalı olduğu olacağı sonucu ortaya çıkmıştır (Haberal, 2010).

Kale tarafından 2020 yılında Pomza Agregası Kullanılarak Üretilen Hafif Beton Özelliklerinin Uçucu Kül İkamesi ile İyileştirilmesi Üzerine yapılan çalışmada olan uçucu külün değişik miktarlarda %1, %3 ve %5 çimento yerine ikame olarak üretilen numunelerin hafif betona göre daha özellikli, basınç mukavemeti yüksek ve hafif bir yapı elemanı amaçlanmıştır. Deneyde Nevşehir yöresi asidik pomza agrega olarak kullanılmıştır. Fiziksel özelliklerin tespiti için, kuru birim hacim ağırlık, porozite, kılcal su emme, donma çözülme deneyleri ve kompasite yapılmıştır. Mekanik farklılıkların tespit etmek için ise yarmada çekme testi ve basınç dayanım testi deneyleri uygulanmıştır. yapısal farklılıkları tespiti için SEM deneyi yapılarak deney sonunda; uçucu kül oranının artması ile numunenin mekanik ve fiziksel davranışlarında iyileşme olduğu görülmüştür. %5 uçucu kül ikameli numunelerde en iyi sonuç alınmıştır (Kale, 2020).

Kara tarafından 2008 yılında Seyitömer Termik Santralinde pulverize kömürün yanması sonucunda açığa çıkan uçucu küllerin ve taban küllerinin yapı elemanları üretiminde kullanılmak üzere yapılan çalışmada ve taban külü ve uçucu külün inşaat sektöründe kullanım alanını araştırmak amacıyla 7 ayrı tipte yapı elemanı üretilmiştir. Deneyler sonucunda yapılan tespite göre betonda sepere külün % 20 oranında kullanılması ile C25/30 betonu, öğütülmüş taban külünün % 10 oranında ikame olarak çimentoda kullanılması ile CEM II/ A-V Portland uçucu küllü çimento üretilmiştir. Gazbetonda kuvars kumu yerine % 75 oranında taban külü ile TS 453'e göre G4/0.7 sınıfı gazbeton üretilmiştir. Taban külü ve taban cürufu kullanılarak üretilen flyblok ve gazblokların ısı yalıtımı ve işçilik işlerinin kolay ekonomik olması nedeniyle alternatif duvar elemanları olarak

kullanılabilecekleri tespiti yapılmıştır. Alkalilerle beton ve harç numune üretiminde, uçucu küllerin bağlayıcılık özeliğini daha hızlı arttırması nedeniyle buharda kür yapımında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Seramik döşeme işlerinde yapıştırıcı olarak en iyi sonuçlara uçucu külün % 10 miktarında kullanımı ile elde edilmiştir (Kara, 2008).

Karaer, tarafından 1996 yılında Çayırhan Termik Santrali laboratuvarında yapılan araştırma çalışmasında UK kullanımının PÇ-UK sistemleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Yapılan çalışmada çimento içerisine % 10, 20, 30 ve 40 oranlarında UK ikame edilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre Çayırhan UK'ünün PÇ-UK harçlarının çoğu özelliğini geliştirdiğini tespit etmişlerdir (Karaer, 1996).

Koçak, Subaşı, ve Emiroğlu tarafından 2011 yılında yapılan araştırmada, uçucu külün, betonun özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül, CEM I 42,5 R Portland çimentosu ile ikame edilerek beton numuneleri üretilmiştir. Beton serileri için 3'er adet 15x15x15 cm kalıp beton numuneleri hazırlanarak kapilerite, birim ağırlık, ultrases hızı ölçümü, su emme ve basınç testi deneyleri testlerine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Uçucu kül ilavesi ile elde edilen beton numunelerinin kapiler su emme ve su emme oranlarında artış görülürken; ultrases geçiş hızları, birim ağırlık ve basınç mukavemetlerinde azalış olduğu tespiti yapılmıştır (Koçak, vd, 2011).

Mazloom vd. tarafından 2004 yılında yapılan bir araştırmada %6, %10 ve %15 oranlarında silis dumanı çimento ile ağırlıkça yer değiştirerek üretilen betonların basınç dayanımları incelenmiş ve 7-90 günlük her kür yaşında silis dumanı oranı arttıkça basınç dayanım değerleri de artmıştır. En yüksek basınç dayanım değerini %15 oranında silis dumanı içeren serinin verdiği görülmüştür. 90 günden sonraki kür yaşlarında silis dumanı içeren beton karışımlarının basınç dayanımı, yaşlandırma sonrasında artmadığı görülmüştür (Mazloom, vd, 2004)

Özkan vd. tarafından 2007 yapılan çalışmada, uçucu külün çimento yerine ilave edilerek, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve taban külünün ve ince agrega yerine ikame edilerek üretilen beton serilerinin 7, 28, ve 90. günl basınç dayanım testi gibi özellikleri incelemiştir. Numuneler iki şekilde elde edilmiştir. Birinci beton numunesine öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve kömür taban külünden oluşmuş. İkinci beton numunesi ise taban külü, uçucu kül ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu ilave oluşmuştur. Deney sonucunda betonun basınç dayanımında ve su emme derecesinde önemli derecede bir azalma olduğu, betonun yoğunluğunda da azalma olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak kömür taban külü ve

öğütülmüş yüksek fırın cürufu seviyesi az miktarda tutulursa dayanımının az azalacağından ötürü düşük dayanımlı beton yapımında uygun olabileceğidir (Özkan, vd, 2007).

Sümer, tarafından 1995 yılında Orhaneli Termik Santralinde UK'nün betonun basınç dayanımı ve kılcal su emme oranına olan etkileri ile ilgili yapılan araştırmada çimento yerine % 10, % 20, % 30, %40 oranlarında UK ikame etmiştir. Araştırma sonucuna göre UK kullanımının betonun erken dayanımlarını olumsuz etkilediğini, fakat düşük oranlarda UK kullanılan betonlarda nihai dayanımların sadece çimento ile üretilen betona kıyasla arttığını tespit etmiştir. Aynı zamanda UK kullanılan betonlarda kılcal su geçirimsizliğinin azaldığını da gözlemlemiştir (Sümer, 1995).

Tuygun tarafından 2002 yılında uçucu küllerin, betonun mekanik özelliklerine etkisi üzerine yapılan bir araştırmada, basınç mukavemeti ve uçucu külün yerleştirme yüzdesine bağlı olarak k etkinlik faktörü incelemiştir. Araştırmada Çayırhan termik santralinden elde edilen ASTM C 618'e göre C sınıfı uçucu kül ve Portland Çimento 42,5 kullanmıştır. Beton karışımından %10, %30 ve %50 oranda çimentonun yerine aynı miktarda uçucu kül ilave edilerek farklı oranlarda su/bağlayıcı madde oranına sahip 0,50, 0,60, 0,70, 0,80 ve 0,90 seri betonlar üretilmiştir. kontrol betonu olarak 4 farklı uçucu kül yerleştirme yüzdesi ve 5 farklı su/bağlayıcı madde oranı kullanılarak 20 seri beton numunesi üretilmiştir. Beton numunelerine 20°C ve 65°C rutubetli ortam sağlanarak iki farklı kür ortamı uygulanmıştır. Deneysel neticesinde, uçucu külün betonda su ihtiyacını azalttığını işlenebilirliği artırdığını belirlenmiştir. kontrol betonuna oranla Uçucu küllü betonların erken yaşlarda dayanımın az olduğu, rutubetli kür koşullarında etkinliğinin düştüğü gözlemlenmiştir. uçucu küllerin ikame yüzdesinin k etkinlik faktörüne birbirine bağlı olduğu tespit edilmiştir. düşük yüzdeli uçucu kül ilaveli beton serilerinin 28. gün ve sonrasındaki basınç dayanımı değerleri, kontrol betonunkine yakın veya üzerinde değerler almaktadır. Ultrases deneyleri sonucunda ise uçucu küllerin daha dolu bir beton üretilmesine neden olduğunu gözlemlemiştir. %50 oranında uçucu kül kullanımında ise beton üzerinde mekanik özellikler açısından olumsuz sonuçlara neden olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Tuygun, 2002).

Ünal vd. tarafından yapılan bir araştırmada özellikle kütle betonlarında çimentonun ağırlıkça % 20-25 oranında uçucu külle değiştirilebileceğini ve uçucu külün ince agrega yerine kullanıldığı karışımlarda ise % 25 katkı oranının uygun olacağını düşünmüşlerdir. Ayrıca araştırmalarda uçucu külün yüksek oranda kullanılması halinde betonda alkaliagrega reaksiyonlarına yol açabileceği belirtilmiştir. Betonda kısmen çimento yerine kullanıldığı zaman UK'nın, çimentonun ancak yarısı kadar hidrasyon ısı yaydığı belirlenmiştir.

Fransa'da ki araştırmalarda klinker ile öğütölmüş UK'nın hidratasyon ısısında değişiklik görölmemiştir (Ünal O ve Uygunoğlu, 2004).

Waberi tarafından 2022 yılında uçucu külün kimyasal bileşiminin betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi üzerine yapılan bir araştırmada Uçucu kül ile kısmi çimento ikamesi kullanılan 12 beton numunesinin basınç dayanımı testlerinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu modeller, uçucu külün görünen bileşiminin bir fonksiyonu olarak betonun basınç dayanımını tahmin etmek için 6 numunesi saf betondan oluşan bir referans modelle karşılaştırıldı. bu çalışmada aynı oranlarda çimento, kum ve su kullanılarak beton numuneleri oluşturulmuştur. Uçucu kül içeren beton numuneleri, 1 m³ betona farklı oranlarda %10, %20 uçucu kül eklenerek oluşturulmuştur. Uçucu kül içermeyen beton numunesi ile uçucu kül içeren beton numunelerine 3, 7 gün ve 28 gün kürleme işlemi uygulandı. Deney sonuçlarına göre, uçucu kül miktarının artışı ile birlikte beton numunelerinin basınç dayanımı artmıştır (Waberi, 2022).

Yazıcı ve Baradan tarafından 1995 yılında, Soma Termik Santrali laboratuvarında yaptıkları araştırma çalışmasında çimento yerine % 25 oranında UK ikame ederek yüksek mukavemetli betonların fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığının (durabilite) artırılmasını araştırmışlardır. Çalışma sonucuna göre % 25 oranında ikame edilen UK'ün, yüksek mukavemetli betonda geçirimsizliği önemli ölçüde azalttığını tespit etmişlerdir (Yazıcı ve Baradan, 1995).

Yazıcı, ř. ve Arel, H. ř. tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada 0.50 sabit su/bağlayıcı oranında çimento ile %5, %10 ve %15 oranlarında uçucu kül ağırlıkça ikame edilmiş ve çimento yerine aynı oranda uçucu kül kullanımıyla, uçucu külün inceliği artırılarak beton serileri üretilmiş. İnceliği sabit tutulan bütün serilerde her kür yaşı için uçucu kül miktarı arttıkça basınç dayanımlarında azalmaların olduğu görölmüştür. En yüksek basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerlerine, inceliği en yüksek olan ve %5 oranında uçucu kül içeren serinin sahip olduğu görölmüştür. Çimento yerine aynı oranda uçucu kül kullanılan betonlarda, uçucu külün inceliği arttıkça üretilen betonların basınç ve yarmada çekme mukavemetlerinin arttığı görölmüştür (Yazıcı ve Arel, 2012).

Yıldız tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada, puzolanik katkı malzemesi olarak diyatomit, yüksek fırın cürufu ve uçucu külün beton üzerine etkisini araştırmıştır. Bu amaçla; çimento yerine ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında puzolanları ilave ederek beton serileri üretmiştir. Ürettiği beton numuneleri 28, 90 ve 180 gün kür uyguladıktan sonra basınç ve aşınma dayanımı deneyleri yapmıştır. Ürettiği betonlar, PÇ 42,5 kullanılan kontrol

betonu ile karşılaştırmıştır. Denev sonuçlarına göre üretilen betonlar arasında en yüksek basınç ve aşınma dayanımları %10 Çankırı diyatomit ilave edilen betonda elde edilmiştir (Yıldız, 2006).

Yorulmaz tarafından Uçucu kül ve nano-SiO₂ içeren üçlü çimento sistemlerini özellikleri ve hidratasyonu üzerine yapılan araştırma kapsamında %15, %30, %45, %60, %75 oranlarında uçucu kül içeren ve %0,25, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında nano-SiO₂ ilave edilerek üçlü çimento sistemleri oluşturularak 30 farklı karışım hazırlanmıştır. Tez çalışması kapsamında üretilen çimento sistemleri; 1, 3, 7, 28 ve 90 gün boyunca 21±1°C sıcaklıktaki su içinde kür uygulaması yapılmıştır. Numuneler üzerinde priz süresi tayini, işlenebilirlik, özgül ağırlık ve birim ağırlık, basınç dayanımı, su emme ve boşluk oranı, ultrasonik atımlı dalga hızı, kılcal su emme, izotermal kalorimetre ve yangına dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Uçucu külün miktarı arttıkça priz süreleri, işlenebilirlik, su emme ve boşluk oranı değerlerinin arttığı, nano-SiO₂ miktarı arttıkça ise bu değerlerin azaldığı görülmüştür. uçucu kül miktarı arttıkça basınç mukavemetinde azalma, nano-SiO₂ miktarı arttıkça ise basınç mukavemetinde artış meydana gelmiştir. bu çalışmanın amacından biri olan uçucu külün düşük erken dayanımının nano-SiO₂ kullanımı engellenebileceği görülmüştür (Yorulmaz, 2019).

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma da beton numunelerinin üretimi ve kür hazvuzu uygulaması Şırnak İli Cizre İlçe sınırlarında faaliyet gösteren Meva Beton Santralinde yapılmıştır. Deney çalışmaları Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarları ve Fırat üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında yapılmıştır.

2.1. Deney Çalışmalarında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deney serilerinde kullanılan malzemeler bu bölümde verilmiştir.

2.1.1. Portland çimento

Deney çalışmaları çimento malzemesi olarak Yurtçim Muş Fabrikasında üretilen Cem II A / A – (M/Pl) 42,5 R portland kompoze çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait görseller Şekil 9. da gösterilmiştir.



a. Portland kompoze çimento torbası



b. Portland kompoze çimentosu

Şekil 9. Çimento görselleri

CEM II A / A – M(P-L) 42,5 R portland kompoze çimento: portland çimento klinkerine % 12-20 arası; puzolan, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, kalker, pişmiş şist gibi katkı maddeleri ve priz düzenleyici bir miktar alçıtaşının ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. İçerdiği ince dolgu malzemeleri, beton içindeki mikro gözenekleri sıkılaştırır ve geçirimsizliğini artırır. Kendi sınıfı içinde erken ve nihai dayanımı yüksek çimento grubunda yer alır (Yurtçimento, 2025).

Portland kompoze çimento içeriği fiziksel özellikleri Tablo 4. te gösterilmiştir. (Yurtçimento, 2025)

Tablo 4. Portland kompoze çimento içeriği fiziksel özellikleri

İçeriği	Oranı	Fiziksel özellik	Değeri
Portland çimento klinkeri	%80	Priz başlama süresi	≥ 60 dakika
Doğal puzolan (Tras)	% 14,0	genleşme	$\leq \% 10$ mm
Kalker	% 6,0	2 Günlük dayanım	$\geq 20,0$ MPa
Alçı Taşı	% 5	28 Günlük dayanım	$5,5 \text{ N/mm}^2 \leq 62,5 \text{ N/mm}^2$
		Özgül yüzey (Blaine)	4.300 – 4.900 cm^2/g

2.1.2. Asfaltit külü

Deneyde kullanılan asfaltit külü, Şırnak ili asfaltit kömürü ocaklarından çıkarılan asfaltit kömürün katı yakıt olarak ısınmak amacıyla işyeri ve meskenlerde yakılmasıyla açığa çıkan asfaltit külünün 0.106 mm çaplı elekten geçirilerek üretilmiştir. Şekil 10. da Asfaltit külü görselleri gösterilmiştir.



a. asfaltit külü



b. 0,106 mm çaplı agrega

Şekil 10. Asfaltit külü

Küllerin fiziksel özellikleri Tablo 5. te gösterilmiştir (Aruntaş, 2006).

Tablo 5. Küllerin fiziksel  zellikleri

Çap (�m)	Şekil	Renk	Yoğunluk(g/cm ³)	İncelik (�m)
1-200	Yuvarlak	gri	2,2-2,7	<90

2.1.3. Agregalar

Deneyde kullanılan agregalar Meva Beton santrali agrega stok sahasından temin edilmiştir. Agregalara ait görseller Şekil 11. de gösterilmiştir.



Şekil 11. Agregalar

2.1.4. Katkı maddesi

Deneyde katkı maddesi olarak CHRYSO DELTA 1220-9 ürünü kullanılmıştır. Katkı maddeleri  imento ve mineral katkı taneciklerini beton içerisinde homojen biçimde dağıtarak hidrasyon reaksiyonlarının betonun her noktasında homojen bir biçimde gerçekleŐmesini sağlar betonun dayanımı ve dayanıklılığı iyileŐtirir (Chryso, 2025). Beton katkı maddesine ait görsel Şekil 12. de gösterilmiştir.



Şekil 12. Katkı maddesi

2.1.5. Karışım suyu

Deneyde kullanılan karışım suyu Meva Beton Santrali tarafından hazır Beton üretimi için kullanılan sudan temin edilmiştir.

2.2. Deney Çalışmalarında Kullanılan Alet ve Cihazlar

Deneylerin yapılması için kullanılan alet ve cihazların özellikleri bu bölümde verilmiştir.

2.2.1. Terazi

Deney serilerinde beton numunelrinin ağırlık tartımı için 0.5 gram hassasiyetli Cas marka terazi kullanılmıştır. Terazi görseli Şekil 13. te gösterilmiştir.



Şekil 13. Terazi

2.2.2. Kalıp

Beton üretiminde sert plastik malzemedен oluşan 15 x 15 x 15 cm³ küp kalıp kullanılmıştır. Beton kalıp görseli Şekil 14. te gösterilmiştir.



Şekil 14. Beton deney kalıbı

2.2.3. Elek

Asfaltit külünün beton karışımında işlenebilmesi için 0.106 mm çapında UTEST marka delikli metal plakalı elek kullanılmıştır. Elek görseli Şekil 15. te gösterilmiştir.



Şekil 15. Delikli metal elek

2.2.4. Beton test presi

Kp kalıp numune basınc mukavemetini ölçmek için UTEST marka UTC-4131 1500 kN otomatik basınc dayanım test presi, 220-240 V 50-60 Hz otomatik beton deney presi kullanılmıştır. Beton test presi görseli Şekil 16. da gösterilmiştir.



Şekil 16. Beton test presi

2.2.5. Los Angeles aşındırma cihazı

Asfaltit küllerinin eleme işlemi sırasında elek gözlerinin daha az tıkanması, eleme hızının artırılması ve fire oranının düşürülerek işlemin genel verimliliğinin yükseltilmesi için UTEST marka UTA-0600-T 220-240V, 50 Hz modeli Los Angeles Aşındırma Cihazı kullanılmıştır. Los Angeles aşındırma cihazı görseli Şekil 17. de gösterilmiştir.



Şekil 17. Los Angeles aşındırma cihazı

2.2.6. Beton mikseri

Agrega, kum, çimento ve suyu karıştırıp beton elde etmek için UTEST marka tambur tipi beton mikseri 125 LT kullanılmıştır. Beton mikseri görseli Şekil 18. de gösterilmiştir.



Şekil 18. Beton mikseri

2.2.7. Beton kr havuzu

Üretilen beton kp numunelerinin su içinde 7 ve 28 gün bekletilerek kr uygulanması için beton kr havuzu kullanılmıştır. Beton kr havuzu görseli Şekil 19. da gösterilmiştir.



Şekil 19. Beton kr havuzu

2.2.8. Etüv fırını

Beton numunelerinin kuru birim ağırlıkları ve su emme miktarını incelemek için Şırnak Üniversitesi İnaşat Mühendisliği Laboratuvarında bulunan UTEST marka 50 L, 220-240 V 50-60 H etüv fırını kullanılmıştır. Etüv fırını görseli Şekil 20.de gösterilmiştir.



Şekil 20. Etüv fırını

2.2.9. Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM) cihazı

Beton numunelerin morfolojik yapısını incelemek için optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. SEM analizi Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında yer alan Zeiss EVO MA10 markalı cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. taramalı elektron mikroskobu (SEM) şekil 21. de gösterilmiştir.



Şekil 21. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

2.2.10. XRD analizi cihazı

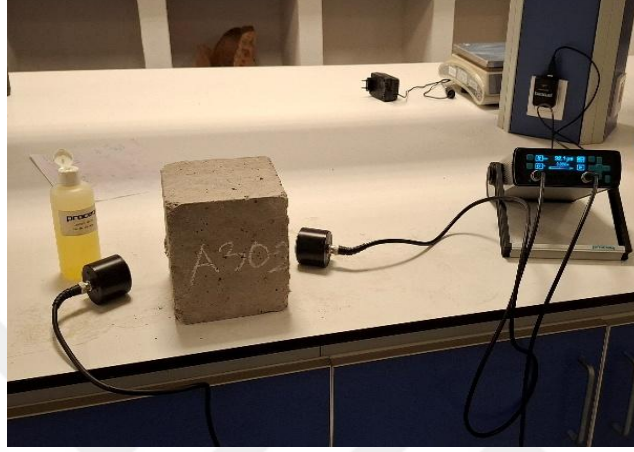
Beton numunelerin kimyasal kompozisyonundaki değişimlerini incelemek için X-ışını kırınımı XRD analizi Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında yer alan Rigaku Ultima IV markalı XRD cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. XRD cihazı görseli Şekil 22. de gösterilmiştir.



Şekil 22. XRD cihazı

2.2.11. Ultrasonik dalga hızı test cihazı

Serleşmiş beton numunelerinin ultrases geçiş hızı testi için Şırnak Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Utest marka proceq Ultrasonik dalga hızı test cihazı kullanılmıştır. Ultrasonik dalga hızı test cihazı görseli Şekil 23. te gösterilmiştir.



Şekil 23. Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı

2.3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışma için çimento malzemesi olarak CEM II a / a – (m/pl) 42.5 r portland kompoze çimento kullanılmıştır. Şırnak Asfaltit külü ile literatürdeki betonlarda kullanılan kül miktarları dikkate alınarak C 30/37 beton sınıfı karışım oranı referans alınarak sırası ile %10, %20, %30, %40 oranında çimento miktarı azaltılarak yerine aynı oranda asfaltit külü ikame edilen A10, A20, A30, A40 olmak üzere dört farklı beton numune serisi ve üretilen beton serilerine referans numune alınması için Asfaltit külü ilave edilmeden bir adet R beton numune serisi üretilmiştir. Beton serilerinde beton numuneleri 15 x 15 x 15 cm³ standart beton kalıplarına dökülerek 6 adet olarak üretilmiştir.

Üretilen beton numunelerine mukavemet kazanması için laboratuvar ortamında kür havuzu işlemi uygulanmıştır. 7. günün sonunda beton numunelerinden 3'er adet kalıp numune kür havuzundan alınarak basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. 28 günün sonunda beton numunelerinden 3'er adet kalıp numune alınarak birim hacim ağırlık, Su emme, Ultrases geçiş hızı, Beton basınç testi deneyleri ile Taramalı elektron mikroskobu analizi (SEM), X- Işınları difraksiyon analizi (XRD) yöntemi ile malzeme iç yapısındaki değişiklikler incelenmiştir.

2.3.1. Beton numunelerinin üretilmesi

Deney serilerinde beton numunelerinin hazırlanması için gerekli olan malzeme miktarı Tablo 6. da gösterilen, C30/37 beton sınıfı 1 m³ beton üretimi için gerekli olan beton karışım oranının %2.4 oranında kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 6. 1 m³ C30/37 Betonu karışım oranı

Bileşen miktarı					
Çimento (kg)	Agrega 5-12 mm (kg)	Agrega 13-25 mm (kg)	Taş tozu 0-5 mm (kg)	Su (kg)	Kimyasal katkı (kg)
320	270	580	1100	180	4,166

Deney serilerinde üretilen beton numunelerin malzeme karışım oranı Tablo 7. de gösterilmiştir.

Tablo 7. Deney Serileri beton numuneleri karışım oranı

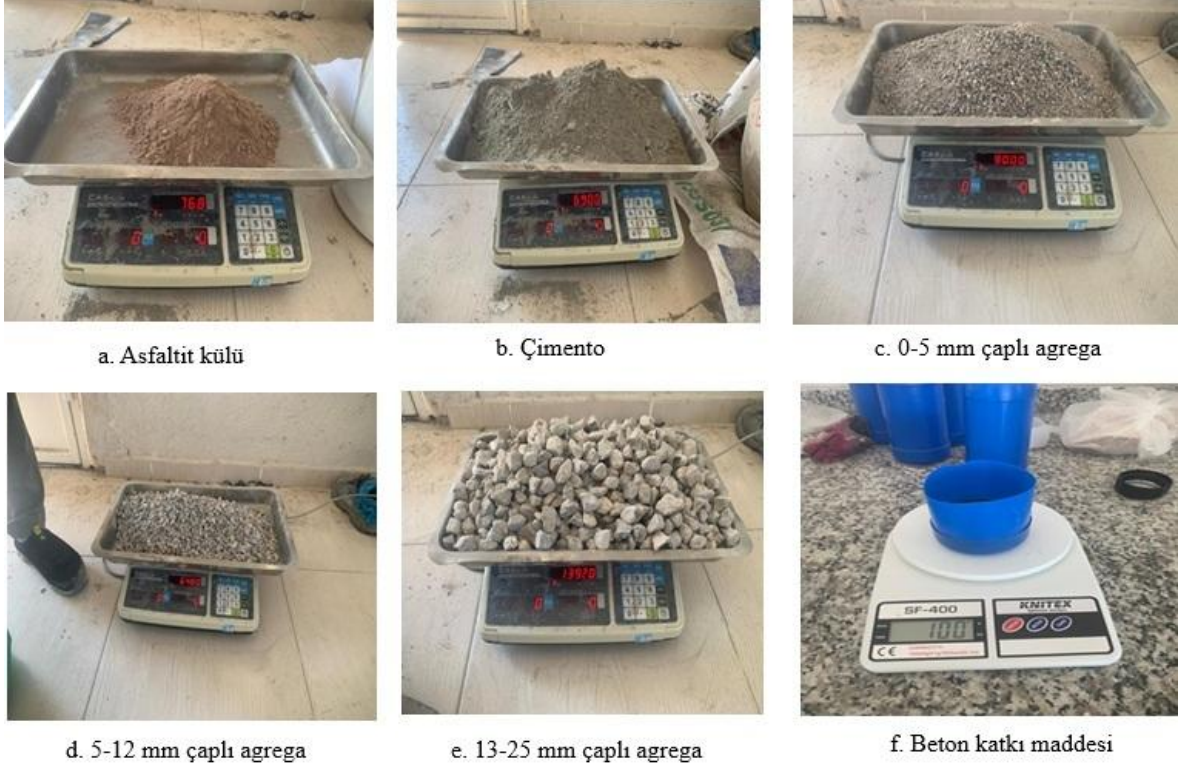
Bileşen miktarı							
Deney serisi	Çimento (kg)	Asfaltit külü(kg)	Agrega 5-12 mm (kg)	Agrega 13-25 mm (kg)	Taş tozu 0-5 mm (kg)	Su (kg)	Kimyasal katkı (kg)
R	7,68	0	6,48	13.920	26,4	4,5	0,1
A10	6,9	0,768	6,48	13.920	26,4	4,5	0,1
A20	6,144	1.536	6,48	13.920	26,4	4,5	0,1
A30	5,376	2.304	6,48	13.920	26,4	4,5	0,1
A40	4,608	3.072	6,48	13.920	26,4	4,5	0,1

Beton numunelerinin hazırlanması ve üretilmesinde izlenen sıra

- Tamamen kuru olan çimento, agrega ve Asfaltit külünün mikserde karıştırılması
- Karışım suyunun eklenmesi ile karıştırma işleminin yapılması
- Beton numuneleri için 6 adet beton küp kalıplarının hazırlanıp yağlanması
- Üretimi yapılan taze betonların hazırlanan beton kalıplara doldurulması ve 24 saat süresince bekletilmesi
- Beton numunelerinin kalıplardan çıkarılması ve kür havuzuna bırakılması

- 7. gün sonunda 3 adet beton küp numunesinin kür havuzundan çıkarılarak basınç dayanım testine tabi tutulması
- 28 gün sonunda 3 adet beton küp numunesinin kür havuzundan çıkarılarak çeşitli deneylere tabi tutulduktan sonra beton dayanım testine tabi tutulması

Beton numunelerinin üretilmesinde kullanılan malzemelere ait görsel Şekil 24. te gösterilmiştir.



Şekil 24. Beton üretim malzemeleri

Beton numuneleri üretimi için Tablo 7. de gösterilen beton karışım dizaynı dikkate alınarak çimento miktarı azaltılarak yerine Asfaltit külü ikame edilip diğer agrega malzemeleri sabit tutularak hazırlanan beton numunelerinin üretilmesi için uygulama görseli Şekil 25. te gösterilmiştir.



a. Beton malzemelerinin karıştırılması



b. Taze beton kalıba alınması



c. Sertleşmiş beton numuneleri



d. Beton kür uygulaması

Şekil 25. Beton numuneleri üretimi

2.3.2. Birim hacim ağırlık deneyi

Sertleşmiş küp beton numunesinin birim hacim ağırlığını (yoğunluğunu) belirleme işlemi, TS EN 12390-7 standardına göre yapılır (Türk Standardları Enstitüsü, 2025). Temel prensip, numunenin kütlesini hassas bir şekilde ölçmek ve hacmini hesaplayarak kütleyi hacme bölmektir. Birim hacim ağırlık deney ölçümü görseli Şekil 26. da gösterilmiştir.

Birim hacim ağırlık deneyi uygulama adımları:

1. Numunenin Hazırlanması:

- Deney yapılacak küp numune, standartlara uygun şekilde (genellikle su küründe) kür edilmiş ve deney yaşına (örneğin 28 gün) gelmiş olmalıdır.
- Numunenin yüzeyi tozdan, kirden ve yüzey suyundan arındırılmış olmalıdır. Numune "doğgun yüzey kuru" veya "kurutulmuş" durumda olabilir; standart genellikle hangi durumda ölçüm yapılacağını belirtir.

2. Boyut Ölçümü:

- Küp numunenin her bir kenarının uzunluğu hassas ölçüm aleti (kumpas gibi) ile ölçülür.

3. Hacim Hesaplama:

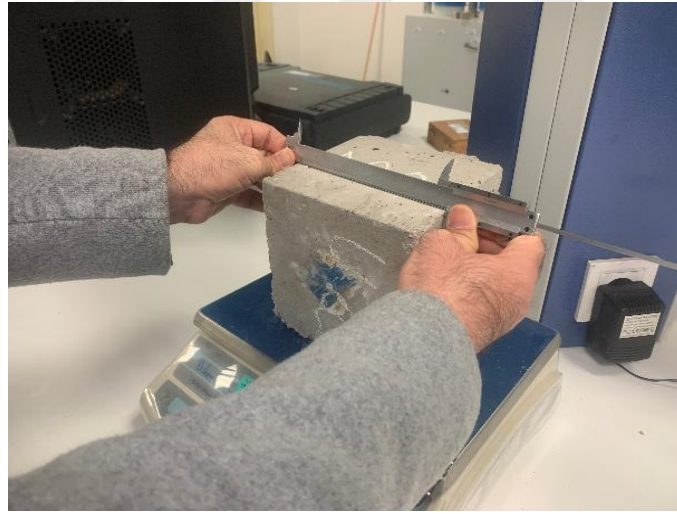
- Numunenin hacmi (v), ölçülen ortalama boyutları çarpılarak hesaplanır. Genellikle (cm³) cinsinden hesaplanır.

4. Kütle Ölçümü:

- Hassas terazi kullanılarak ölçülür (m). Kütle genellikle kilogram (kg) veya gram (g) cinsinden kaydedilir.

5. Birim Hacim Ağırlığı (Yoğunluk) Hesaplama:

- Birim hacim ağırlığı (ρ), numunenin kütesinin (m) hacmine (v) bölünmesiyle hesaplanır: $\rho=m/v$
- Sonuç genellikle kilogram bölü metreküp (kg/m³) veya gram bölü santimetreküp (g/cm³) cinsinden ifade edilir. Örneğin, kütle gram, boyutlar



Şekil 26. Birim hacim ağırlık ölçümü

2.3.3. Su emme deneyi

Beton numunelerinin su emme (water absorption) değeri genellikle TS EN 12390-7 standardına göre belirlenir (Türk Standardları Enstitüsü, 2025). Bu standart, "Sertleşmiş betonda yoğunluk tayini" başlığı altında su emme deneyinin uygulanma yöntemlerini de içermektedir. Su emme deneyi görselleri Şekil 27. de gösterilmiştir.

Su Emme Deneyi Uygulama Adımları:

1. Numune Hazırlığı:

- Deney için standart boyutlarda (örneğin 100 mm veya 150 mm küp) sertleşmiş beton numuneleri kullanılır.
- Numuneler en az 28 gün kür edilmiş olmalıdır.

2. Numunelerin Kurutulması:

- Numuneler, sabit kütleye ulaşıncaya kadar 105 ± 5 °C sıcaklıkta fırında kurutulur.
- Kütledeki değişim 24 saat içinde %0,1'den az olmalıdır.

3. Soğutma ve Tartım (Kuru Kütle – Md):

- Kurutulan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar desikatörde soğutulur.
- Daha sonra hassas teraziyle tartılarak kuru kütle (Md) kaydedilir.

4. Doygun Hale Getirme:

- Numuneler suyun içine tamamen batırılarak 48 saat boyunca bekletilir (standart süre).
- Süre sonunda yüzeydeki fazla su silinir.

5. Tartım (Doygun Kütle – Ms):

- Doygun hale gelmiş beton numunesi tartılır ve bu kütle (Ms) kaydedilir.

Ağırlıkça su emme yüzdesi;

$$S_a = (W_d - W_k) / W_k \times 100 \quad (2.1.)$$

S_a = Ağırlıkça su emme yüzdesi

W_d = Doygun birim ağırlığı

W_k = Kuru birim ağırlığı



a. Etüv fırını



b. Kuru birim ağırlık ölçümü



c. Kür havuzu



d. Islak birim ağırlık ölçümü

Şekil 27. Su emme deneyi

2.3.4. Beton basınç deneyi

Deney serilerinde üretilen beton numuneleri $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ kalıplara alınıp kür havuzu uygulaması yapıldıktan sonra 7. gün sonunda 3 adet kalıp numune ve 28. Gün sonunda 3 adet kalıp numune olmak üzere kür havuzundan alınarak beton basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Beton dayanım testleri TS EN 12390-3 standartına göre yapılmaktadır (Türk Standardları Enstitüsü, 2025).

Beton dayanım testi uygulama adımları:

1. **Numunenin Hazırlanması:** Numunenin boyutları ve ağırlığı doğru bir şekilde ölçülür ve kaydedilir.

2. **Numunenin Yerleştirilmesi:** Numune, deney makinesinin alt basınç plakası üzerine merkezlenerek yerleştirilir. Üst basınç plakası da numunenin üzerine dikkatlice yerleştirilir.
3. **Yükün Uygulanması:** Standartta belirtilen sabit bir hızda (genellikle belirli bir MPa/s aralığında) yük uygulanmaya başlanır. Bu hız, deney boyunca sabit tutulmalıdır.
4. **Maksimum Yükün Belirlenmesi:** Numune kırılana kadar uygulanan en yüksek yük değeri (maksimum yük) kaydedilir. Kırılma genellikle numunede çatlakların oluşması ve yük taşıma kapasitesinin düşmesiyle kendini gösterir.
5. **Basınç Dayanımının Hesaplanması:** Basınç dayanımı, kaydedilen maksimum yükün (Newton) numunenin yük uygulanan yüzeyinin alanına (milimetre kare) bölünmesiyle hesaplanır. Sonuç genellikle megapaskal (MPa) olarak ifade edilir.

$$R_c = F/A_c \quad (2.3.)$$

Burada ;

R_c = Basınç mukavemeti, N/cm²

F = Numunenin kırıldığı andaki yük (Newton)

A_c = Basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (15 cm×15 cm)

Beton basınç deneyine ait uygulama görselleri Şekil 28. de gösterilmiştir.



a. Beton numunesi ağırlık ölçümü



b. Basınç dayanım testi

Şekil 28. Beton basınç deneyi

2.3.5. Ultrasonik dalga hızı tayini deneyi

Ultrasonik geçiş hızı deneyi, beton içerisine kısa süreli ultrasonik ses dalgaları gönderme ve bu dalgaların betonun içinden geçerek belirli bir mesafeyi ne kadar sürede katettiğini ölçme prensibine dayanır. Ses dalgalarının hızı, betonun yoğunluğu, elastik özellikleri ve sürekliliği ile yakından ilişkilidir. Daha yoğun, homojen ve kusursuz betonda ses dalgaları daha hızlı ilerlerken, boşluklu, çatlaklı veya düşük kaliteli betonda daha yavaş ilerler. Deney serilerinde üretilen beton numunelerinin Standart kür koşulunda 28 gün sonrası ortalama ultras ses geçiş hızı Proceq marka Ultrasonic beton test cihazı ile ölçüm yapılmıştır. Ultras ses geçiş hızı deneyi, TS EN 12504-4 Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini standartına göre yapılmaktadır (Türk Standardları Enstitüsü, 2025).

Ultrasonik atımlı dalga hızı tayini deney uygulama adımları:

- 1. Yüzey Hazırlığı:** Deney yapılacak beton yüzeyleri temizlenir ve düzgün bir temas sağlanması için gerekirse pürüzleri giderilir.
- 2. Dönüştürücülerin Yerleştirilmesi:** Verici ve alıcı dönüştürücüler, aralarındaki mesafe (geçiş yolu uzunluğu) doğru bir şekilde ölçülerek beton yüzeyine yerleştirilir. Dönüştürücüler betonla iyi bir akustik temas sağlayacak şekilde bağlantı malzemesi ile sabitlenir.
- 3. Ultrasonik Atımların Gönderilmesi ve Alınması:** Kontrol ünitesi aracılığıyla verici, betonun içine ultrasonik ses dalgaları gönderir. Bu dalgalar betonun içinden geçerek alıcı tarafından algılanır.
- 4. Geçiş Süresinin Ölçülmesi:** Kontrol ünitesi, gönderilen atımın başlangıcından alıcıya ulaştığı ana kadar geçen süreyi (geçiş süresi) otomatik olarak ölçer.
- 5. Geçiş Hızının Hesaplanması:** Ultrasonik geçiş hızı (V), geçiş yolu uzunluğunun (L) geçiş süresine (t) bölünmesiyle hesaplanır: $V=L/t$ Hız metre bölü saniye (m/s) birimleriyle ifade edilir.
- 6. Değerlendirme:** Elde edilen geçiş hızı değeri, betonun kalitesi hakkında bir fikir verir. Yüksek hızlar genellikle iyi kalitede, yoğun ve homojen betonu işaret ederken, düşük hızlar çatlaklar, boşluklar, segregasyon veya düşük dayanımlı betonun varlığına işaret edebilir. Standart, farklı beton kaliteleri için tipik hız aralıkları

hakkında bilgi içerir, ancak beton karışımına ve yaşına bağı olarak bu değerler değişebilir.

Ultrases geçiş hızı deney görseli Şekil 29. da gösterilmiştir.



Şekil 29. Ultrases geçiş hızı ölçümü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

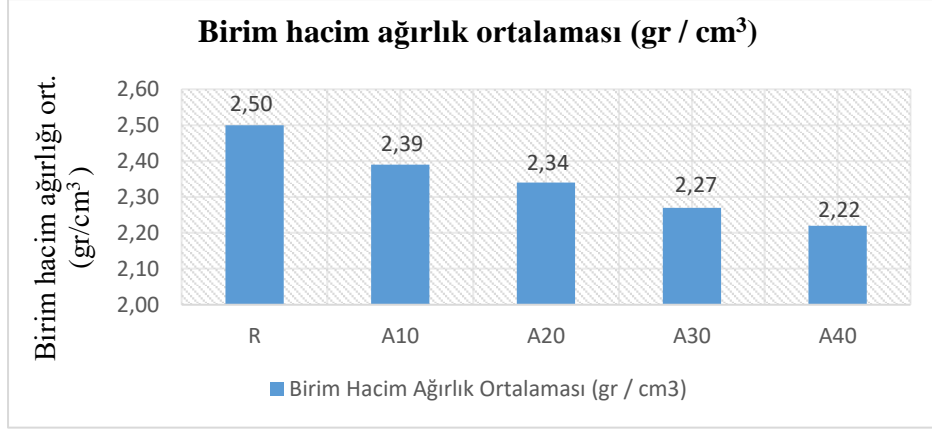
3.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi Sonucu

Birim hacim ağırlıklarının (BHA) beton numunelerinde çimento yerine asfaltit külünün ikame edilmesi ile orantılı olarak azalmaktadır. Birim hacim ağırlığındaki azalma asfaltit külünün özgül ağırlığının çimento özgül ağırlığından düşük olması ve asfaltit külü kullanılan numunelerde hidrasyon tepkimeleri sonucu oluşan ürünlerin kapiler boşlukları doldurmamasından kaynaklı olarak daha boşluklu bir beton elde edilmesinden kaynaklandığı Tablo 8. de görülmektedir. Özgül ağırlığın kısmen düşük olması üretilen betonun birim hacim ağırlığının azaltılmasına katkı sağlayacaktır (Ören, 2017).

Tablo 8. Birim hacim ağırlıkları (gr/cm³) ortalaması

Deney Serisi	Ağırlık (Gr)	Birim Hacim (cm ³)	Birim Hacim Ağırlığı (g r/cm ³)
R	8.219	3.285	2,50
A10	7.847	3.277	2,39
A20	7.685	3.277	2,34
A30	7.443	3.277	2,27
A40	7.277	3.277	2,22

2,50 gr/cm³ değeri veren referans betona en yakın birim hacim ağırlığı değerini %10 Asfaltit külü katkılı A10 beton deney serisi 2,39 gr/cm³ değeri, en düşük değeri 2,22 gr/cm³ ile %40 asfaltit külü katkılı A40 beton deney serisi vermiştir. Asfaltit külünün çimento yoğunluğuna oranla daha hafif olması nedeni ile beton numunelerinde çimento miktarının azaltılıp aynı oranda Asfaltit külü miktarı ikame edildikçe birim hacim ağırlıklarının azaldığı Beton numunelerinin birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılmalı grafiği Şekil 30. da gösterilmiştir.



Şekil 30. Birim hacim ağırlık ortalaması karşılaştırmalı grafiği

3.2. Su Emme Deneyi Sonucu

Su emme deneyinde ağırlıkça su emme yüzdesi olarak referans beton deneyi 2,28 değerini vermiştir. En yakın ağırlıkça su emme yüzdesi 3,79 değeri ile %10 asfaltit külü katkılı A10 beton deneyi beton numuneleri vermiştir. Asfaltit külü miktarı arttıkça en düşük değer 7,79 değeri ile %40 asfaltit külü katkılı A40 beton deneyi vermiştir. Asfaltit külü miktarının artması ile betonda hidratasyonun azalmasına neden olduğu bunda betonda boşlukların oluşmasına ve daha fazla su emmesine neden olduğu görülmektedir. Su emme deneyinde beton numunelerinde çimento yerine asfaltit külünün ikame edilmesi ile orantılı olarak betonda hidratasyonun azalması Şekil 47. de ağırlıkça su emme karşılaştırmalı grafiğinde gösterilmektedir. Ayrıca SEM görüntülerinden elde edilen verilerde kül partiküllerinin kalsiyum hidroksit ile yeterli tepkimeye girmeyerek inert olarak kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum çimento miktarının azaltılmasına bağlı olarak CSH ürünlerinin azalmasına ve yerlerinde kapiler boşlukların kalmasına sebep olmuştur. Kapiler boşlukların varlığı ve külün artmasıyla mikro çatlakların artması sonucu betonun su emme değerinde artış gözlemlenmiştir.

Ağırlıkça su emme yüzdesi;

$$S_a = (W_d - W_k) / W_k \times 100 \quad (3.1.)$$

$$R \text{ deneyi Su emme yüzdesi} \quad S_R : (8.311 - 8.125) / 8.125 \times 100 = 2,28$$

$$A10 \text{ deneyi su emme yüzdesi} \quad S_{A10} : (8.148 - 7.850) / 7.850 \times 100 = 3,79$$

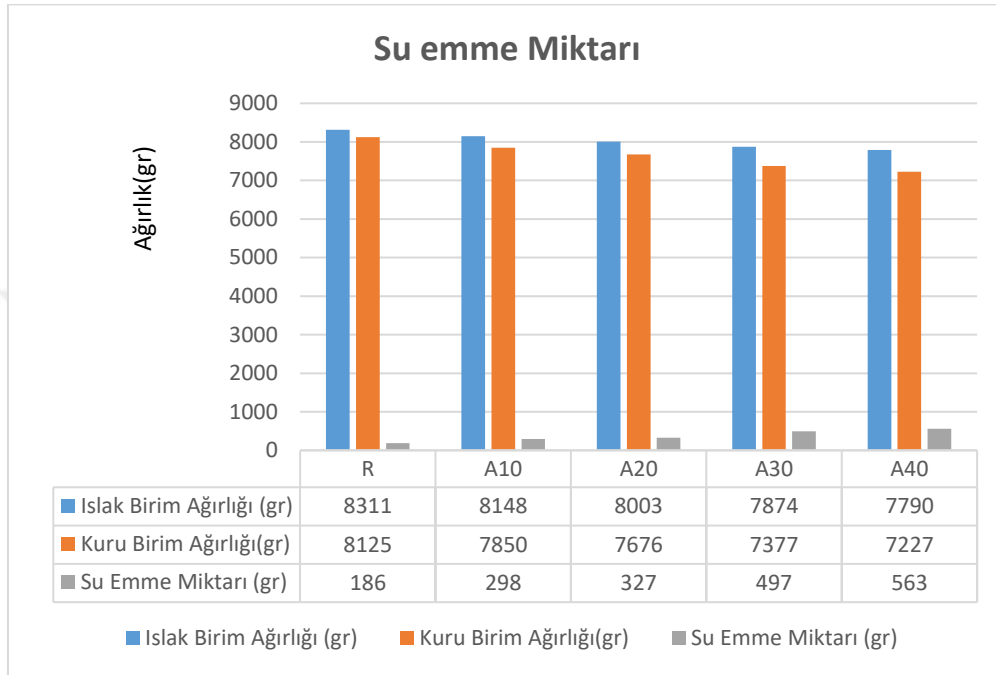
$$A20 \text{ deneyi su emme yüzdesi} \quad S_{A20} : (8.003 - 7.676) / 7.676 \times 100 = 4,26$$

$$A30 \text{ deneyi su emme yüzdesi} \quad S_{A30} : (7.874 - 7.377) / 7.377 \times 100 = 6,73$$

A40 deneyi su emme yüzdesi

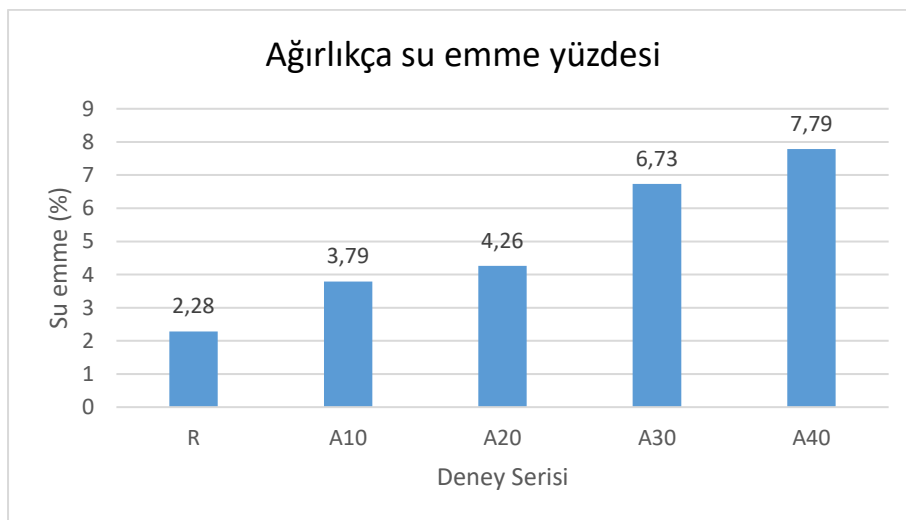
$$S_{A40} : (7.790-7227) / 7.227 \times 100 = 7,79$$

Kuru birim ağırlığı ve ıslak birim ağırlığı arasındaki Su emme miktarı grafiği Şekil 31. de gösterilmiştir.



Şekil 31. Su emme grafiği

Ağırlıkça su emme karşılaştırmalı grafiği Şekil 32. de gösterilmiştir.



Şekil 32. Ağırlıkça su emme karşılaştırmalı grafiği

3.3. Beton Basınç Deneyi Sonucu

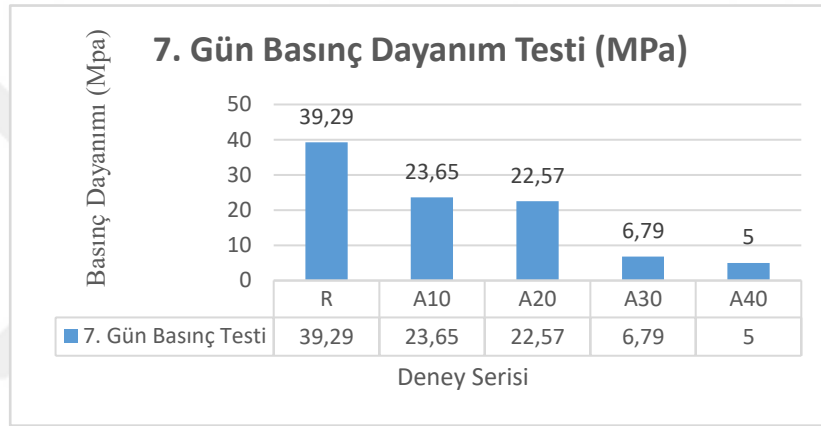
A10, A20, A30, A40 asfaltit külü katkılı deney beton numuneleri 7 günlük beton dayanım testinde beton numunelerinin Asfaltit külü miktarı arttıkça erken dayanımlarının azalarak basınç dayanımının düştüğü görülmüştür. 39,29 MPa beton basınç değeri veren R referans betona en yakın değeri %10 asfaltit külü katkılı A10 beton deneyinde 23,65 MPa ile ölçülmüştür. 7 günlük en düşük basınç değerini %40 asfaltit külü katkılı A40 beton deney serisinde 5,00 Mpa ile ölçülmüştür. A10, A20, A30, A40 deney serileri 28 günlük beton dayanım testinde 47,84 MPa dayanım değeri veren R referans beton numunesine en yakın değerleri A10 ve A20 deney serileri sırasıyla 35,65 Mpa 31,25 MPa vermiştir. Deney serilerinde Asfaltit külü miktarı arttıkça %40 asfaltit külü katkılı A40 beton deneyinde basınç dayanımı 12,70 MPa değerine kadar düşmüştür. 7 günlük dayanımın %40 oranında kül kullanımında oldukça düşük çıkmasının sebebi hidrasyon tepkimelerinde sırasıyla önce çimentonun tepkimeye girerek CSH ve Ca(OH) üretmesi daha sonra oluşan Ca(OH) ile asfaltit külünün tepkimeye girmesidir. 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde %40 oranında kül kullanımıyla 12,70 MPa gibi düşük bir değer elde edilmesi asfaltitin puzolanik aktivitesinin düşük olmasından kaynaklı olarak yeterli jel oluşumunu göstermemesidir. Tepkimeye girmemiş kül parçacıkları SEM görüntülerinde verilmiştir. Deney serilerinde çimento miktarına oranla asfaltit külünün artması ile beton numunelerinde çimentonun bağlayıcı özelliğinin engelleyerek istenilen düzeyde hidrasyon yapmasının önüne geçtiği bunda betonda boşluklara neden olarak basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür.

Elde edilen veriler asfaltit külünün %20 oranına kadar betonda kullanımının betona olumsuz etkisinin tolare edilebilecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Şırnak bölgesinde çok miktarda açığa çıkan bu atığın %20 oranında betonda kullanılmasıyla bu atık malzeme büyük ölçüde bertaraf edilebilecek ve ekonomik değer kazanacaktır. Asfaltit külünün betonda kullanılmasında dikkat edilmesi gereken bir hususda kalıp sökme süreleridir. Erken yaş mukavemeti 7 günlük deneylerin sonunda yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla asfaltit külünün yapı üretiminde betonda kullanılması durumunda kalıp sökme süreleri uzatılmalı ve mutlaka sahada numune bırakılarak 7 gün ve daha sonra numuneler kırılıp betonun yeterli dayanımı kazanıp kazanmadığı kontrol edilmelidir. Deney serileri 7. gün beton basınç testi sonuçları Tablo 9. da gösterilmiştir.

Tablo 9. Beton deney serileri 7. gün beton basınç testi sonuçları

Deney serisi	7. gün ortalama beton basınç testi (MPa)
R	39,29
A10	23,65
A20	22,57
A30	6,79
A40	5,00

Deney serileri 7. gün beton basınç testi grafiği Şekil 33. te gösterilmiştir.



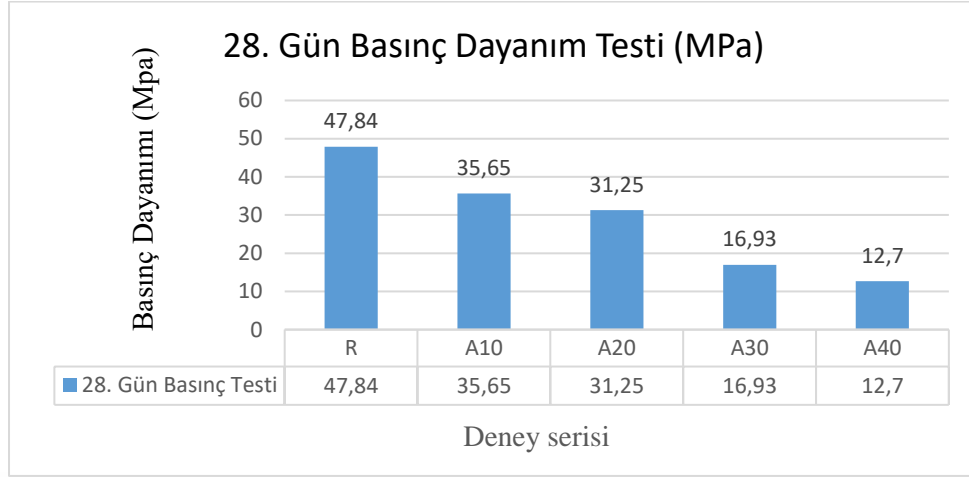
Şekil 33. 7. Gün beton basınç testi karşılaştırmalı grafiği

Deney serileri 28. gün beton basınç testi sonuçları Tablo 10. da gösterilmiştir.

Tablo 10. Beton deney serileri 28. gün beton basınç testi sonuçları

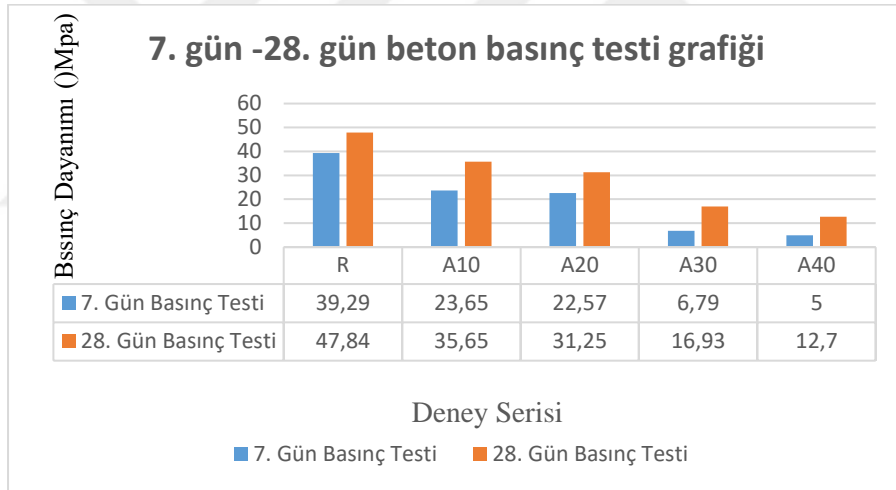
Deney serisi	28. gün ortalama beton basınç testi (MPa)
R	47,84
A10	35,65
A20	31,25
A30	16,93
A40	12,70

28. Gün beton basınç testi karşılaştırmalı grafiği Şekil 34. te gösterilmiştir.



Şekil 34. 28. Gün beton basınç testi karşılaştırmalı grafiği

7. Gün ve 28. Beton basınç testi karşılaştırmalı grafiği şekil 35. te gösterilmiştir.



Şekil 35. 7. Gün - 28. Beton basınç testi karşılaştırmalı grafiği

Yapılan beton numuneleri basınç testi deney sonuçlarına göre 7. Gün ve 28. gün basınç dayanımı testlerinde asfaltit külü ikame edilmeyen referans beton numunesinin en yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Beton numunelerinde basınç dayanımının referans beton numunesine göre daha düşük kalmasının asfaltit külü ikamesi arttıkça çimentonun hidrasyonu yapamamasından kaynaklandığı su emme deneyi sonucu ile uyumlu olduğu görülmektedir. Asfaltit külünün Beton numunelerinde yeterli seviyede C-S-H üretmemesi nedeni boşlukların oluştuğu basınç mukavemetini düşürdüğü beton numuneleri SEM görüntüsünde görülmektedir.

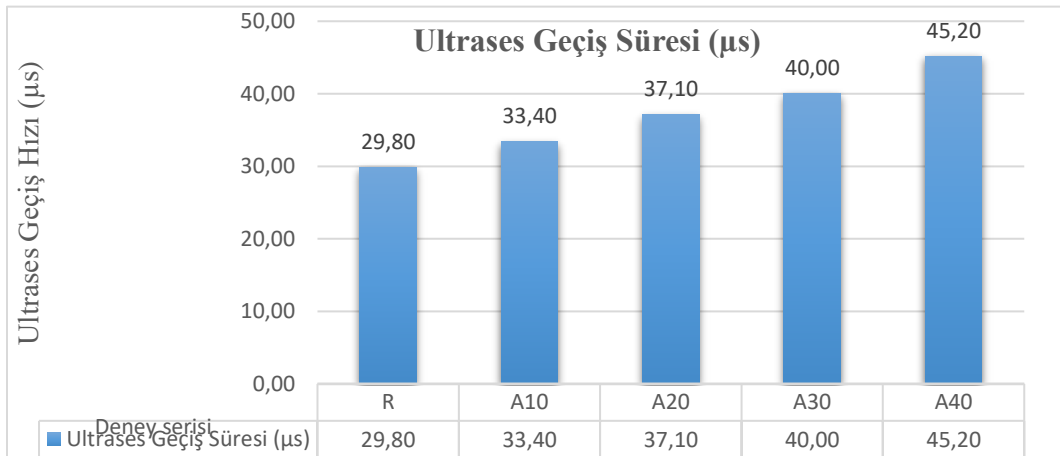
3.4. Ultrasonik Atımlı Dalga Hızı Tayini Deney Sonucu

Ultrases geçiş hızı deneyinde referans beton deneyi ortalama değer olarak 29 μ s değerini vermiştir. en yakın değer %10 asfaltit katkılı A10 beton deneyi 33,40 μ s ile vermiştir. En düşük değer 45,20 μ s değeri ile %40 asfaltit katkılı A40 beton deneyi vermiştir. Deney serilerinde Asfaltit külü miktarının çimentoya yerine ikame edilmesi ile orantılı olarak beton numunelerinde boşluk oluşturduğu ve bu oluşan boşlukların ultrases geçiş süresini artırdığı su emme deneyi, beton basınç deneyi ile uyumlu olarak şekil grafiğinde görülmektedir. Ultrases geçiş sürelerinin asfaltit külünün artmasıyla mikro çatlakların artması da önemli ölçüde etkilemektedir. Kül miktarının artmasıyla boşluk oranının da artması betonu daha hafif ve geleneksel betona göre daha iyi yalıtım özelliğine sahip duruma getirmektedir. İstenilen dayanım değerinin sağlanması durumunda asfaltit külü kullanımının yapılarda yalıtım özelliklerine katkısı bulunacağı düşünülmektedir. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları Tablo 11. de gösterilmiştir.

Tablo 11. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları

Deney Serisi	Ultrases geçiş süresi Sonuçları (μ s)
R	29,80
A10	33,40
A20	37,10
A30	40,00
A40	45,20

Ultrases geçiş süresi karşılaştırmalı grafiği Şekil 36. da grafikte gösterilmiştir.



Şekil 36. Ultrases geçiş süresi karşılaştırmalı grafiği

3.5. Beton Numuneleri Görünür Muayenesi

Yapılan çalışmada deney beton numunelerinin karşılaştırmalı görünür muayenesinde çimento miktarının azaltılıp asfaltit külü miktarının artmasıyla beton numunelerinde aşağıda belirtilen değişimler gözlemlenmiştir.

- 1- Beton yüzeyinde bulunan gözeneklerin sayısı ve çapının belirgin olarak arttığı bununda beton karışımının yeterli tepkimeye girmemesinden dolayı iç yapısında boşluk oranının artmasından kaynaklandığı
- 2- Beton renginin daha koyu bir görünüm aldığı,
- 3- Beton numune ağırlığının azaldığı,
- 4- Aşınmaya karşı dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.

Deney numuneleri görseli Şekil 37. de gösterilmiştir.

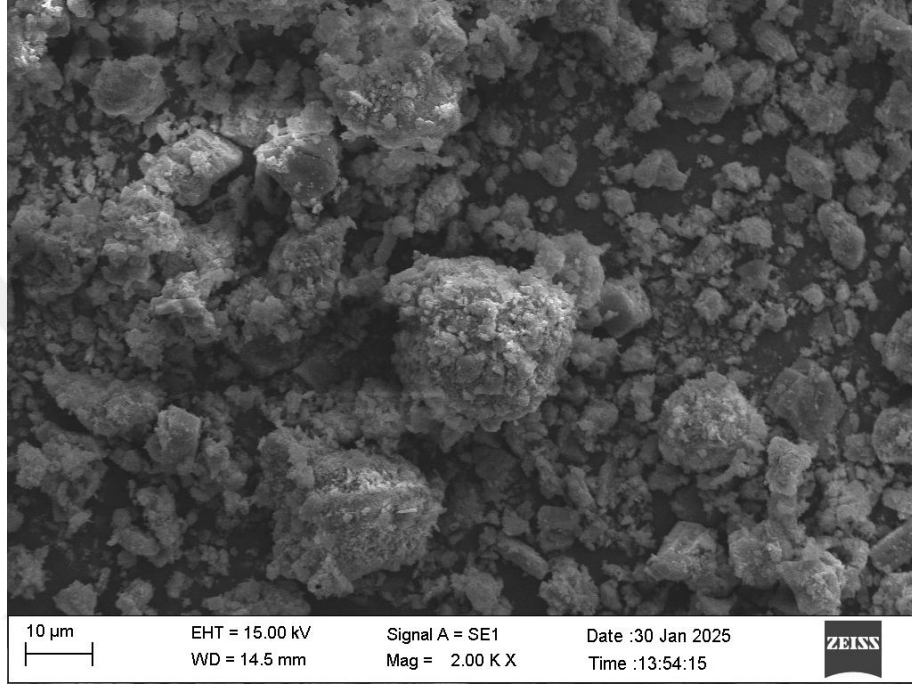


Şekil 37. Beton numuneleri

3.6. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM)

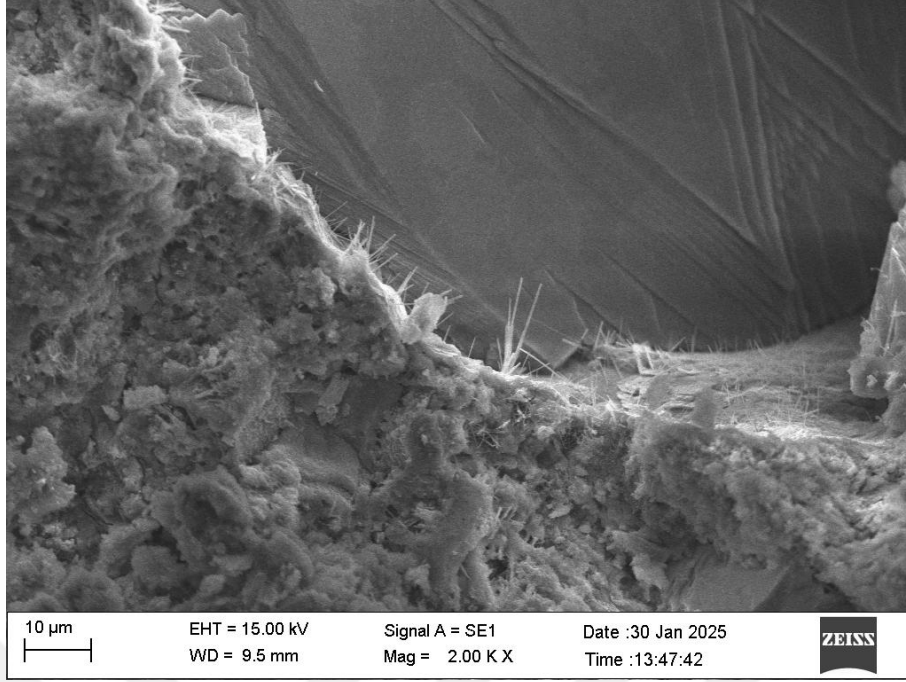
Şekil 38. de, Asfaltit külü numunesine ait partikül morfolojisini gösteren SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüsü yer almaktadır. Görüntü incelendiğinde, Asfaltit külü partiküllerin boyutlarının genellikle 10 μm 'nin altında olduğu gözlemlenmiştir. Numune, büyük oranda küçük ve düzensiz şekilli parçacıklardan oluşmakta; bununla birlikte, keskin kenarlara sahip daha büyük boyutlu parçacıklar da içermektedir. Asfaltit külünün parçacık morfolojisi uçucu küllerin morfolojisinden farklıdır. Uçucu küller genel olarak yuvarlak küreciklerden oluşan görünüme sahipken çalışmada kullanılan asfaltit külü

düzensiz şekilli parçacıklardan oluşmaktadır. Bunun sebebi Asfaltit külünün taban külü olarak elde edilmesi ve gerekli boyuta getirilmesi için mekanik öğütme işlemine tabi tutulmasıdır. Asfaltit külü partikülleri, kaba dokulu ve pudra benzeri bir görünüm sergilemekte olup, açısız ve düzensiz morfolojiye sahiptir. Ayrıca, aglomere olma eğilimi göstermektedir.

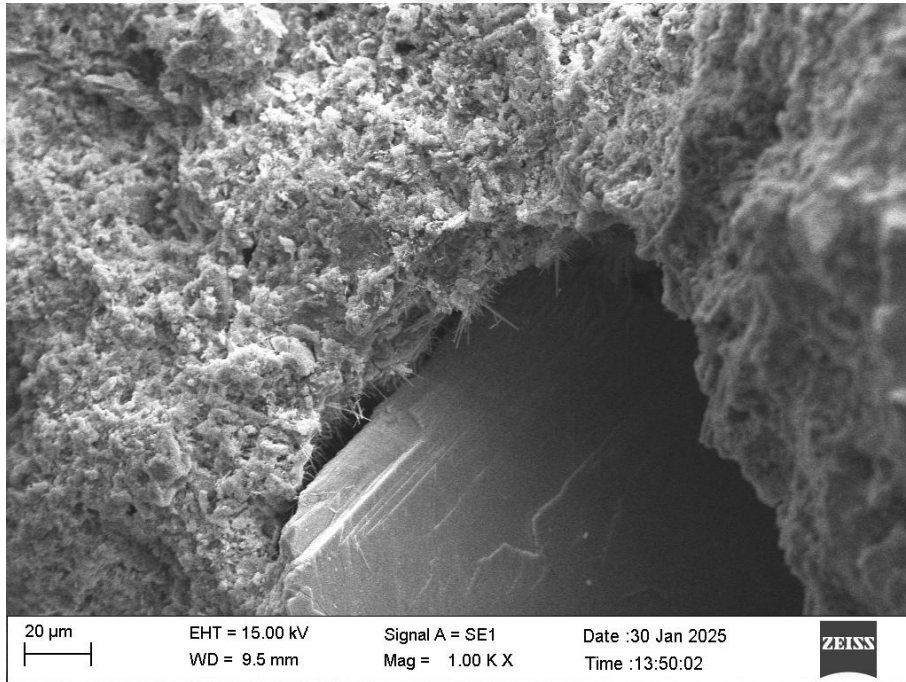


Şekil 38. Asfaltit külü SEM görüntüsü

R referans betonu SEM görüntüsü görseli Şekil 39. ve Şekil 40. ta gösterilmiştir. SEM görüntülerinde açık gri tonlarda iğnemsiz ve tabakamsı yapıda C-S-H jelleri görülmektedir. İğnemsiz çubuk şeklinde yapılar etrenjitlerdir. Şekilde görülen düz pürüzsüz kısım ise agrega tanesidir. SEM görüntülerinde çimento hamuru ile agrega arasındaki bölge daha gözenekli ve çatlaklı olarak gözükabilir. Genellikle bu bölge zayıf bağ yapısı nedeniyle dayanım açısından kritik bir noktadır. Agrega tanesi ile harç fazı arasında Şekil 40. ta görülen boşluk ara yüzey bölgesinin zayıf olduğu, aderansın yeterince olmadığını göstermektedir. Tipik betonda olduğu gibi agreganın etrafını etrenjitler ve köşegenli yapıya sahip kalsiyum hidroksitler kaplamıştır. CSH jelleri matrisi yeterince doldurmuştur. SEM görüntülerinde CSH jellerinin dolduramadığı kısımlarda yer yer boşluklar görünmektedir. Görüntülerde mikro çatlaklara rastlanmamıştır.



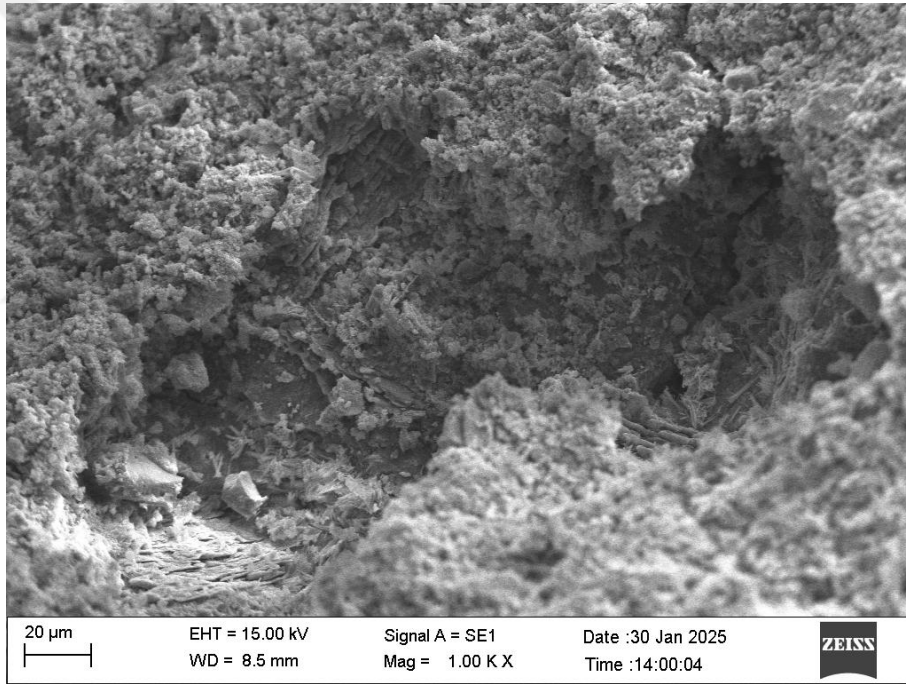
Şekil 39. R betonu numunesi SEM görüntüsü-1



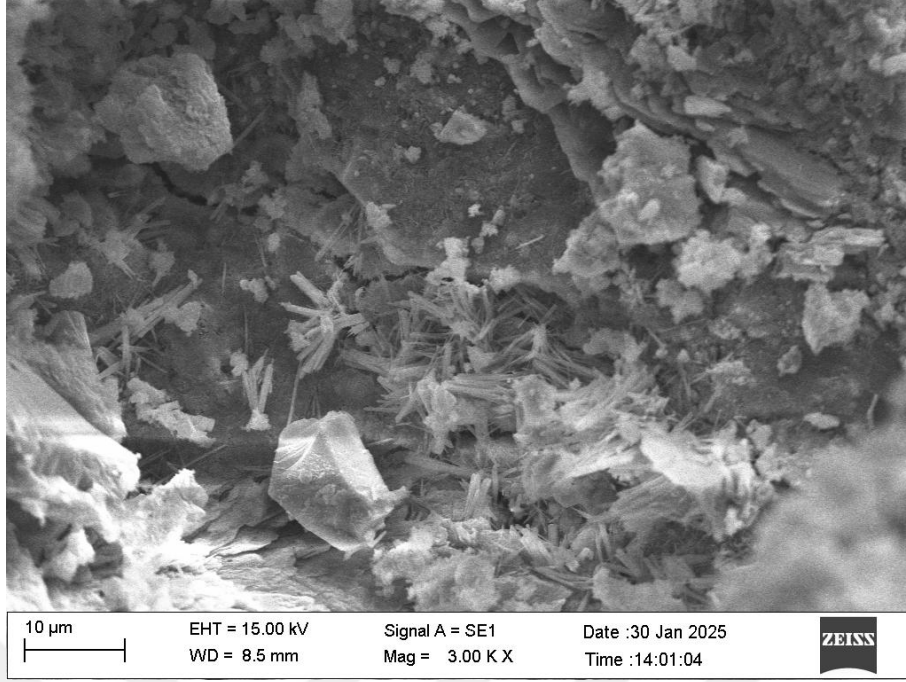
Şekil 40. R betonu numunesi SEM görüntüsü-2

A20 betonu SEM görüntüsü görseli Şekil 41. ve Şekil 42. de gösterilmiştir. SEM görüntüsü incelendiğinde CSH jellerinin R numunesine göre azaldığı gözlemlenmektedir. Hidratasyon ürünleri daha gözenekli yapıya sahiptir ve agreganın etrafını yeterince

sarmamıştır. Aderansı düşüren bu durum betonun daha boşluklu yapıda ve geçirgen olmasına sebep olmuştur. Bu durum diğer mekanik testlerden elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir. Şekil 41. incelendiğinde reaksiyona girmemiş Asfaltit külü parçacıkları gözlemlenmektedir. Çimento yerine ikame edilen Asfaltit külünün reaksiyona girmemesi puzolanik aktivitesinin düşük olduğunu göstermektedir. Puzolanların çalışma mekanizması hidrasyon tepkimeleri sonucu açığa çıkan kalsiyum hidroksit ile tepkimeye girerek suyla birlikte CSH jelleri oluşturması şeklindedir. Çalışmada kullanılan Asfaltit külünün kalsiyum hidroksitle tepkimeye yeterince girmeyerek CSH oluşumunu azalması Asfaltit külü içeren numunelerin mekanik özelliklerinin azalmasının temel nedenidir. Şekil 42. incelendiğinde mikro çatlaklar da gözlemlenmektedir. Bu çatlakların varlığı da basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemiştir.

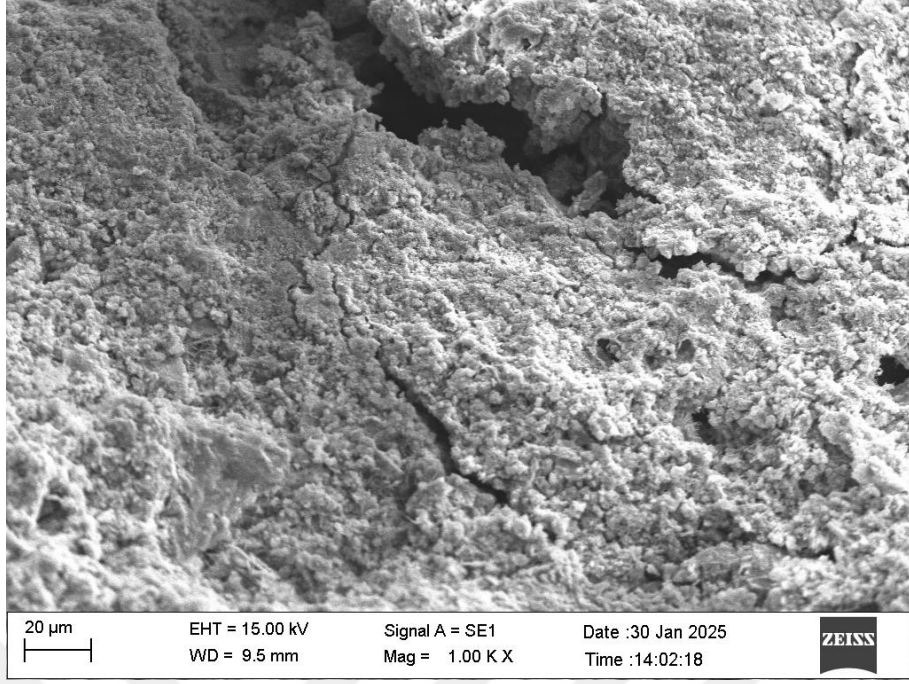


Şekil 41. A20 betonu numunesi SEM görüntüsü-1

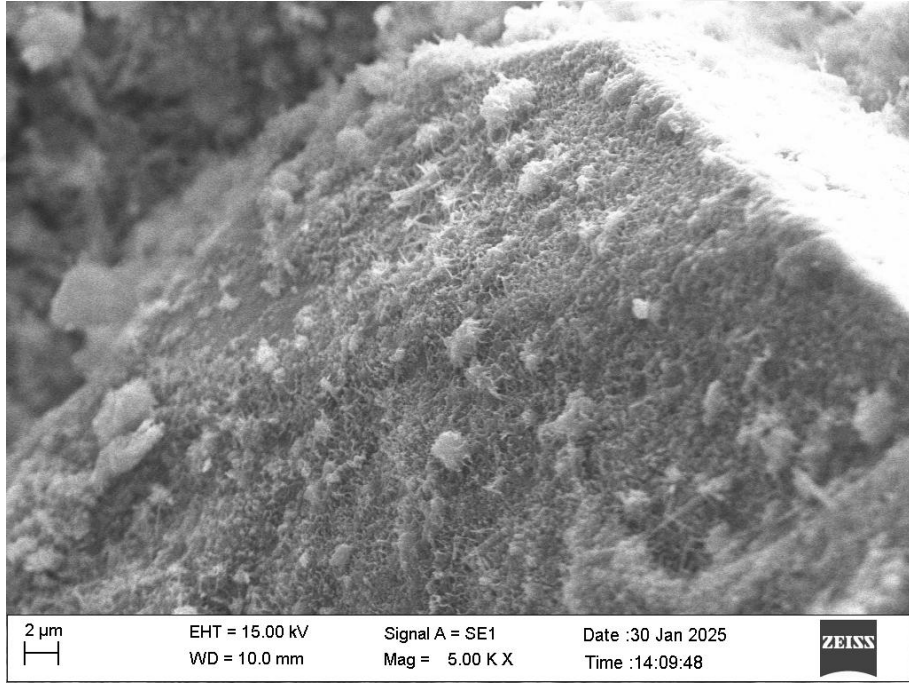


Şekil 42. A20 betonu numunesi SEM görüntüsü-2

A40 betonu SEM görüntüsü görseli Şekil 43. ve Şekil 44. te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde çimento miktarının %40 oranda azaltılmasına bağlı olarak ve Asfaltit külünün yeterince jel oluşturamamasından dolayı boşlukların önemli ölçüde arttığı gözlemlenmektedir. Şekil 43. te Agrega tanesinin etrafının yeterli hidrasyon ürünleriyle sarılmadığı görülmektedir. Reaksiyona girmeye Asfaltit külü tanecikleri agreganın etrafını sararak aderansın ve arayüzey bölgesinin zayıflamasına sebep olmuştur. Şekil 43. incelendiğinde betonda meydana gelen boşluklar ve mikro çatlakların önemli ölçüde arttığı açıkça görülmektedir. Çatlak dağılımı matris yapısı içinde bir bütün şeklinde yer almamasına rağmen mekanik özelliklerin önemli ölçüde azalmasına sebep olmuştur. Her ne kadar çatlaklar mikron mertebesinde olsa da dayanımın büyük ölçüde düşmesine sebep olmuştur. Şekil 44. te 28 günlük numunelerde neredeyse hiç reaksiyona girmemiş Asfaltit külü parçacıklarını göstermektedir. Bunun nedeni, bu parçacıkların yüzeylerinin oldukça düzgün olması ve yalnızca kısmen bazı yabancı bileşenlerle kaplı olmalarıdır.



Şekil 43. A40 betonu numunesi SEM görüntüsü-1



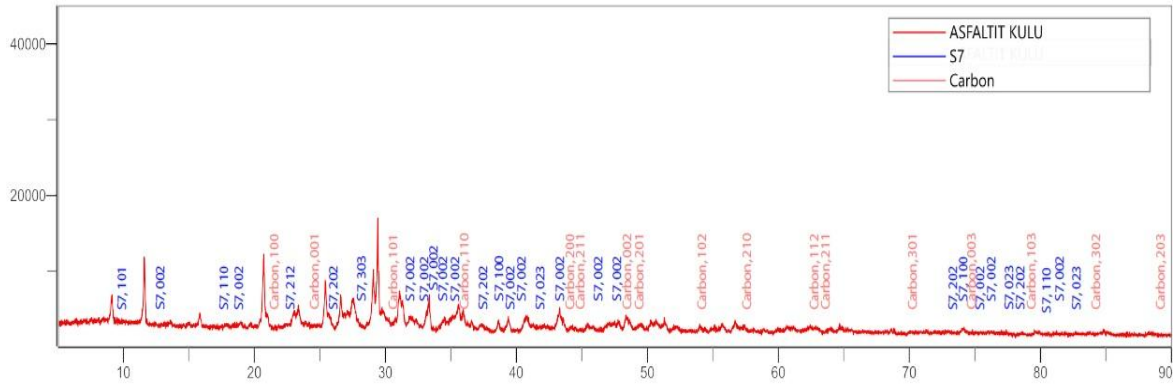
Şekil 44. A40 betonu numunesi SEM görüntüsü-2

3.7. X-Işınları Difraksiyon Analizi (XRD)

Deney serilerinde beton numunelerindeki her bir kristal fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak XRD ile kimyasal değişimi X-ışını difraksiyon analizi (XRD) ile incelenmiştir.

3.7.1. Asfaltit külü XRD analizi

Asfaltit külü XRD analizi sonucu Şekil 45. te gösterilmiştir.



Şekil 45. Asfaltit külü XRD sonucu

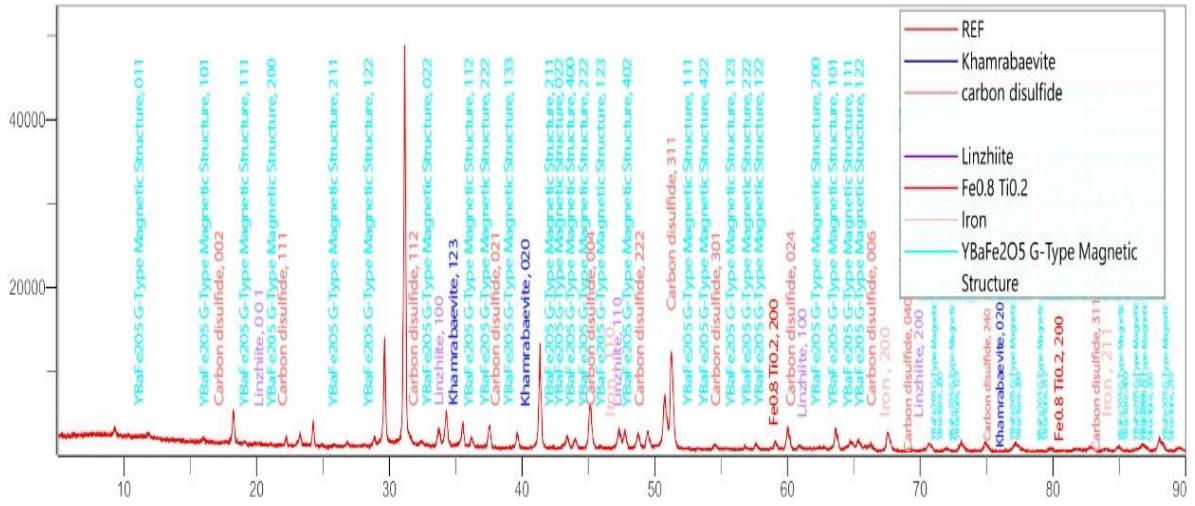
Asfaltit külü minerolojik yapıların isimleri ve kimyasal formülleri Tablo 12. de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde asfaltit külünün genel olarak sulfur ve karbon fazlarından oluştuğu görülmektedir. 20⁰ ile 40⁰ arasındaki piklerde sulfur yoğunluğu fazladır.

Tablo 12. Asfaltit külü minerolojik yapısı

Birleşik ismi	Kimyasal formülü
Sulfur	S7
Carbon	C

3.7.2. R referans betonu XRD analizi

R referans betonu XRD analizi sonucu Şekil 46. da gösterilmiştir.



Şekil 46. R betonu numunesi XRD sonucu

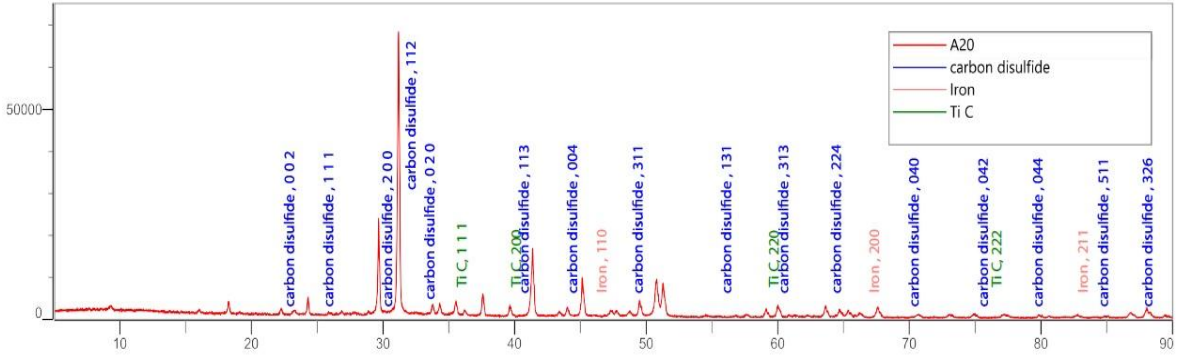
R Referans betonu minerolojik yapıların isimleri ve kimyasal formülleri Tablo 13. te gösterilmiştir.

Tablo 13. R referans beton numunesi minerolojik yapısı

Birleşik ismi	Kimyasal formülü
Khamrabaevite	C Ti
carbon disulfide	C S2
Linzhiite	Fe Si2
Fe0.8 Ti0.2	Fe0.8 Ti0.2
Iron	Fe
YBaFe2O5 G-Type Magnetic Structure	Fe

3.7.3. A20 deney betonu XRD analizi

A20 betonu XRD analizi sonucu Şekil 47. de gösterilmiştir.



Şekil 47. A20 betonu numunesi XRD sonucu

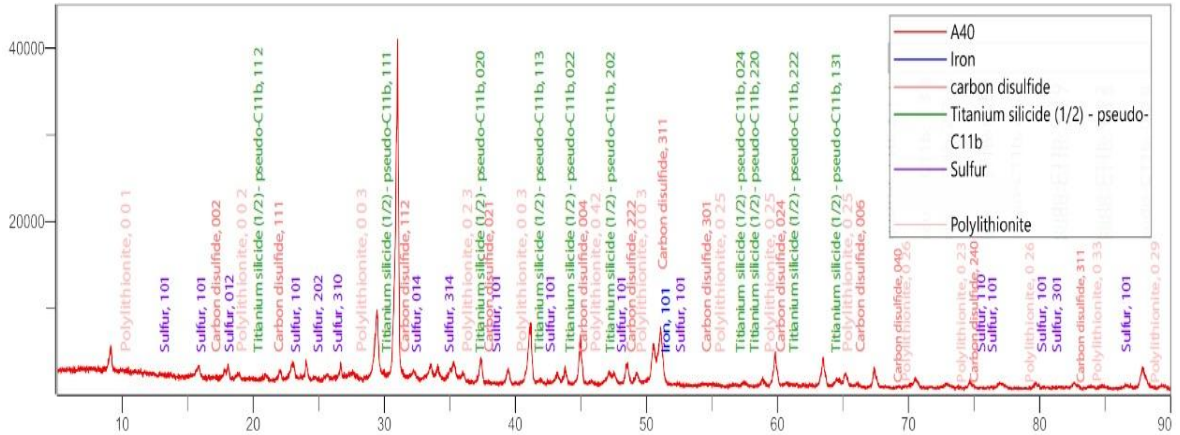
A20 betonu minerolojik yapıların isimleri ve kimyasal formülleri Tablo 14. te gösterilmiştir.

Tablo 14. A20 beton numunesi minerolojik yapısı

Birleşik ismi	Kimyasal formülü
carbon disulfide	C S ₂
Iron	Fe
Khamrabaevite	C Ti

3.7.4. A40 deney betonu XRD analizi

A40 betonu XRD analizi sonucu Şekil 48. de gösterilmiştir.



Şekil 48. A40 betonu numunesi XRD sonucu

A40 betonu minerolojik yapıların isimleri ve kimyasal formülleri Tablo 15. te gösterilmiştir.

Tablo 15. A40 beton numunesi minerolojik yapısı

Birleşik ismi	Kimyasal formülü
Iron	Fe
carbon disulfide	C S2
Titanium silicide (1/2) - pseudo-C11b	Ti Si2
Sulfur	S18
Polyolithionite	Si3.536

Referans numunesinin XRD faz analizi incelendiğinde çoğunlukla carbon içeren bileşenler ve demir içeren bileşenli fazla elde edildiği görülmektedir. Asfaltit külünün çimento yerine ikame edilmesiyle carbon yoğunluğu artmış, beton XRD sonuçlarında sulfur ve titanium silikatlara rastlanmıştır. XRD grafikleri karşılaştırıldığında beton numunesine göre A20 ve A40 numunelerinin farklı XRD faz sonuçları vermesi hidrataston sonrasında külün reaksiyona girmediğinin kanıtıdır. Bu sonuç SEM görüntülerinden elde edilen reaksiyona girmemiş kül parçacıklarının varlığını desteklemektedir. Karışımda puzolan olarak kullanılması amaçlanan asfaltit külü gerekli reaksiyonlara girmeyerek külün puzolanik aktivitesinin düşük olduğunu göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, asfaltit külünün beton üretiminde çimento yerine farklı oranlarda ikame edilmesinin betonun özelliklerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen deneysel bulgular doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmış ve söz konusu olumsuz etkileri gidermeye veya farklı kullanım alanları önermeye yönelik çeşitli öneriler sunulmuştur.

Sonuçlar:

- Asfaltit külü içeren beton karışımlarının sertleşmiş birim hacim ağırlığının kontrol betonuna göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, asfaltit külünün özgül ağırlığının çimentodan daha düşük olmasından ve karışımlardaki artan boşluk hacminden kaynaklanmaktadır. Birim hacim ağırlığındaki bu azalma, betonarme yapıların tasarım ve performansı açısından önemli avantajlar sunabilir. Özellikle deprem bölgelerinde, yapının taşıyıcı sistemlerine binen yükün azaltılması, sismik etkiler altında daha güvenli ve dayanıklı yapılar inşa edilmesine olanak tanıyabilir. Daha hafif bir yapı, deprem sırasında oluşan atalet kuvvetlerinin de daha düşük olmasına katkı sağlayarak, yapısal hasar riskini azaltabilir.
- Asfaltit külü ikamesi, sertleşmiş betonun kılcal su emme oranını ve toplam boşluk hacmini önemli ölçüde artırmıştır. Bu bulgular, kül kullanımının beton matrisinin daha gözenekli bir yapıya sahip olmasına yol açtığını göstermektedir. Ancak kül miktarının artmasıyla boşluk oranının da artması betonu daha hafif ve geleneksel betona göre daha iyi yalıtım özelliğine sahip duruma getirmektedir.
- Beton karışımlarında çimento yerine asfaltit külü ikamesi, hem erken yaşlarda hem de 28 günlük kür sonunda betonun basınç mukavemetlerinde belirgin düşümlere neden olmuştur. Bu durum, kullanılan asfaltit külünün yeterli puzolanik reaksiyon göstermemesi ile ilişkilendirilmektedir. Ancak elde edilen veriler asfaltit külünün %20 oranına kadar betonda kullanımının betona olumsuz etkisinin tolare edilebilecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Şırnak bölgesinde çok miktarda açığa çıkan bu atığın %20 oranında betonda kullanılmasıyla bu atık malzeme büyük ölçüde bertaraf edilebilecek ve ekonomik değer kazanacaktır.
- Beton numunelerinde yapılan ultrases geçiş süresi ölçümlerinde, asfaltit külü ikame oranına bağlı olarak geçiş süresinin uzadığı tespit edilmiştir. Daha uzun geçiş süresi,

beton içerisindeki ses dalgalarının daha yavaş ilerlediğini gösterir ki bu da betonun daha düşük yoğunluklu, daha fazla boşluklu veya daha heterojen bir yapıya sahip olduğunun bir göstergesidir. Ancak, bu heterojenliğin yapısal performansı olumsuz etkilemeyecek düzeyde olduğu varsayılmaktadır, zira %20'ye kadar olan ikame oranlarında kabul edilebilir mukavemet değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak, asfaltit külü ikamesinin ultrases geçiş süresini uzatması, betonun hafiflemesi ve boşluklu yapısının artması ile tutarlı bir sonuçtur. Bu durum, bölgesel bir atık olan asfaltit külünün beton üretiminde değerlendirilmesiyle elde edilebilecek potansiyel avantajları desteklemektedir.

Öneriler:

- Kullanılan asfaltit külünün kimyasal, mineralojik ve fiziksel özellikleri (özellikle puzolanik aktivite indeksi, özgül yüzey alanı, tane boyutu dağılımı, karbon içeriği ve zararlı madde miktarları) son derece detaylı bir şekilde belirlenmelidir. Külün olumsuz etkilere neden olan spesifik özelliklerinin tespit edilmesi, iyileştirme çalışmaları için kritik öneme sahiptir.
- Daha yüksek puzolanik aktiviteye veya daha uygun fiziksel özelliklere sahip asfaltit külleri temin edilmeli veya mevcut külün özellikleri öğütme, sınıflandırma veya diğer ön işlemlerle iyileştirilerek kullanılması denenmelidir.
- Tez çalışmasında incelenen oranların yanı sıra, mukavemet kaybının ve boşlukluluğun kabul edilebilir seviyelerde kaldığı daha düşük ikame oranları araştırılmalıdır. Belirli uygulamalar için düşük oranlarda kül kullanımı ekonomik ve çevresel faydalar sağlayabilir.
- Beton karışımlarının işlenebilirliğini artırarak daha iyi sıkışma sağlayan süperakışkanlaştırıcılar ile boşluk yapısını iyileştirebilecek hava sürükleyici veya diğer özel amaçlı kimyasal katkı maddelerinin asfaltit külü içeren betonlardaki etkinliği ve optimum kullanım dozajları araştırılmalıdır.
- Asfaltit külünün puzolanik reaksiyonunun tam olarak gerçekleşmesi ve matrisin yoğunlaşması için daha uzun süreli ve etkili kür yöntemlerinin beton özellikleri üzerindeki etkileri incelenmelidir.

- Eğer yapılan tüm iyileştirme çabalarına rağmen asfaltit külünün imento yerine kullanımı yapısal betonlar için uygun bulunmazsa, külün daha düşük performans gerektiren uygulamalarda (rneğin, yol temel malzemesi, dolgu malzemesi, parke taşı veya briket üretiminde bağlayıcı dışı katkı olarak) kullanılabilirliği araştırılmalıdır.
- Asfaltit külünün tek başına imento ikamesi yerine, yüksek fırın cürufu veya silis dumanı gibi diğer puzolanik veya hidrolik aktiviteye sahip malzemelerle birlikte bağlayıcı kombinasyonları şeklinde kullanılarak sinerjik etkilerin araştırılması faydalı olabilir.

Asfaltit külü içeren betonların belirtilen olumsuz özelliklerinin zaman içerisindeki değişimi (rneğin, boşluk yapısının kr süresine bağlı gelişimi, uzun dönem mukavemet artışı potansiyeli) daha uzun süreli testlerle takip edilmelidir. İlerleyen çalışmalarda, bu yapısal değişikliklerin betonun uzun dönemli performansı ve durabilite özellikleri üzerindeki etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmesi, uygulamanın kapsamlı bir değerlendirmesi için önem arz etmektedir

KAYNAKÇA

- Aruntaş, H. (2006). Uçucu küllerin İnşaat sektöründe kullanım potansiyeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 193-203.
- Binici, H., Çağatay, İ., & Kaplan, H. (2000). Değişik Faktörlerin Beton Mukevemetine Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. . *Mühendislik Bilimleri Dergisi. Pamukkale Üniversitesi*, ss. 203-209, .
- Chryso. (2025, 05 17). <https://www.chryso.com.tr/catalog/beton-katkilari/> adresinden alındı
- Cinergroup. (2025, 05 04). Silopi termik Santrali: <https://www.cinergroup.com.tr/enerji-madencilik/silopi-elektrik-uretim> adresinden alındı
- Dedeoğlu, R. (2010). *Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Beton Üzerine Etkilerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya Üniversitesi: Sakarya.
- Değer, M. (2023). *Cizre ve Çevresine Ait Bazalt Agregasının Dolomit Agregasına Göre Beton Performansına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. Şırnak Üniversitesi: Şırnak.
- Durmuş, G., & Şimşek, O. (2008). Uçucu küllerin beton kilitli parke taşı üretiminde kullanımının araştırılması. *Tünav Bilim Dergisi*, 1(1), 1-6.
- Erdoğan, T. (2007). *Beton*. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı.
- Gökhan, G. (2006). *Hafif Yapı Blokları Üretiminde Uçucu Külün Kireç ve Çimento İle Birlikte Kullanımının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon Kocatepe Üniversitesi: Afyonkarahisar.
- Günindi , İ. (2005). *Yumurtalık Su Gözü Uçucu Külü İçeren Betonların Basınç, Eğilme, ve Aşınma Dayanımlarının Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Çukurova Üniversitesi: Adana.
- Haberal, Y. (2010). *Uçucu Küllü Betonlarda Klor İyonu Geçirgenliğinin ve Donatı Korozyonunun İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi: Eskişehir.
- Kale, M. (2020). *Pomza Agregası Kullanılarak Üretilen Hafif Beton Özelliklerinin Uçucu Kül İkamesi ile İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Bir Araştırma*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Kastamonu Üniversitesi: Kastamonu.
- Kara, İ. (2008). *Seyitömer uçucu külünün farklı yapı malzemeleri olarak değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi: Eskişehir.
- Karaer, K. (1996). *Çayırhan Uçucu Külünün Portland Çimentosu-Uçucu Kül Hamur ve Harçlarının Özelliklerine Etkileri*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. ODTÜ: Ankara.

- Koçak, Y., Subaşı, S., & Emiroğlu, M. (2011). Uçucu Külün Betonun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, C:7;S:1;S:14-27.
- Korkmaz, Ç. (2005). *Betonun Elastisite Modülüne Çakıl Agregasının Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul Teknik Üniversitesi: İstanbul.
- Kul Gül, N. (2023). *Polimer esaslı atıkların çimento bazlı malzemelerde kullanımının fiziksel ve mekanik özellikler üzerine etkisinin araştırılması*. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Akdeniz üniversitesi: Antalya.
- M.T.A. (2025, 05 16). *Maden Tetkik Arama*. https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Sirnak_Madenler.pdf adresinden alındı
- Mazloom, M., Ramezaniapour, A., & Brooks, J. (2004). Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. *Cem Concr Compos*, (s. c. 26, sy 4, ss. 347-357.).
- Ören, O. (2017). *Granüle yüksek fırın cürufunun köpük beton özelliklerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü , Bartın Üniversitesi: Bartın.
- Özbey, N. (2021). *Farklı Bağlayıcı Miktarlarına Sahip Yüksek Fırın Cürufu İkameli Uçucu Küllü Geopolimer Betonların Durabilitesi*. Yüksek Lisans Tezi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü. İstanbul Gelişim Üniversitesi: İstanbul.
- Özkan, Ö., Yüksel, Y., & Muratoğlu, Ö. (2007). Kömür Taban Külü ve Granül Yüksek Fırın Cürufu İçeren Betonun Mukavemet Özellikleri. *Atık Yönetimi*, 27: 161-167.
- Sümer, M. (1995). *F-Tipi Bir Uçucu Külün Betonun Basınç Dayanımına ve Kılcal Su Emmesine Etkileri*. Ankara.: Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi.
- Şırnak Havzası Asfaltit Sahaları. (2018). *Uluslararası Şırnak Enerji ve Maden Çalıştayı*, (s. 288-291). Şırnak.
- T.K.İ. (2025, 05 14). Türkiye Kömür İşletmeleri: <https://www.tki.gov.tr/enerji-ve-komur> adresinden alındı
- Thhb. (2025, 05 14). Türkiye Hazır Beton Birliği, Türkiye Hazır Beton İstatistikleri: <https://www.thbb.org/media/531827/thbb-%C4%B0statistikler-2020.pdf> adresinden alındı
- Tuygun, C. (2002). *Çayırhan Uçucu Külünün Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi ve Etkinlik Faktörünün İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul Teknik Üniversitesi: İstanbul.
- Türk Standardları Enstitüsü. (2025, 05 17). <https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/standardara.aspx> adresinden alındı
- Türkçimento. (2025, 05 14). 11 18, 2024 tarihinde Çimentonun Tarihçesi ve Türkiye Çimento Sektörü: https://www.turkcimento.org.tr/tr/cimento_uretiminin_tarihcesi adresinden alındı

- Ünal O, & Uygunoğlu, T. (2004). Soma termik santral atığı uçucu külün inşaat sektöründe değerlendirilmesi. *Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı.*, ss. 321-331.
- Waberi, H. (2022). *Uçucu kül kullanılarak hazırlanan beton karışımların basınç dayanımının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Çankırı Karatekin Üniversitesi: Çankırı.
- Yalçın, H., & Gürü, M. (2006). *Çimento ve Beton*. Ankara: Palme Yayıncılık.
- Yazıcı, Ş., & Arel, H. (2012, June). Effects of Fly Ash Fineness on The Mechanical Properties of Concrete. *Indian Academy of Sciences.*, (s. c. 37, sy 3, ss. 389-403.).
- Yazıcı, Ş., & Baradan, B. (1995). Uçucu Kül Katkılı Yüksek Dayanımlı Beton, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi*. Ankara.
- yerli ve milli teknoloji*. (2025, 05 21). Şırnak'tan asfaltit fişkiriyor:
<https://www.yerlivemilliteknoloji.com/sirnaktan-asfaltit-fiskiriyor/> adresinden alındı
- Yıldız, E. (2006). *Farklı Tipteki Puzolanların Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Gazi Üniversitesi: Ankara.
- Yorulmaz, H. (2019). *Uçucu kül ve nano-SiO₂ içeren üçlü çimento sistemlerini özellikleri ve hidrasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Erciyes Üniversitesi: Kayseri.
- Yurtçimento*. (2025, 05 14). yurtcimento.csglobal.com.tr adresinden alındı

ÖZGEÇMİŞ

KİSİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Burhan ERZEN
Uyruğu	T.C.
E-Posta	

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Lisans	Şırnak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği	2018

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev

YABANCI DİL: İngilizce