



KIRMIZI TOPRAKTAN SİNERLEME YÖNTEMİ İLE

AGREGA ÜRETİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Begüm AKÇAY ÇELİK

Kütahya - 2024

T.C.
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

KIRMIZI TOPRAKTAN SİNERLEME YÖNTEMİ İLE AGREGA ÜRETİLMESİ

Danışmanlar:
Prof. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK
Ortak Danışman: Prof. Dr. Veli UZ

Hazırlayan:
Begüm AKÇAY ÇELİK

Kütahya-2024

Kabul ve Onay

KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, 202085431015 öğrenci numaralı, Begüm AKÇAY ÇELİK'in hazırlamış olduğu “*KIRMIZI TOPRAKTAN SİNERLEME YÖNTEMİ İLE AGREGA ÜRETİLMESİ*” başlıklı yüksek lisans tez çalışması ile ilgili tez savunma sınavı jüri tarafından yapılmış ve adayın tezinin OY BİRLİĞİ ile kabul edilmesine karar verilmiştir.

26 /01/2024

Tez Jürisi	İmza	
	Kabul	Ret
Prof. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK (Danışman)		
Prof. Dr. Cenk KARAKURT		
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Haluk SARAÇOĞLU		

Onay

Doç. Dr. Eray ACAR

Enstitü Müdürü

Bilimsel Etik Bildirimi

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırladığım “*Kırmızı Toprakta Sinterleme Yöntemi ile Agregat Üretilmesi*” adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmamda doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, beyan ederim.

26/01/2024

Begüm AKÇAY ÇELİK

Özgeçmiş

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Yüksek lisans eğitimine aynı üniversitede devam etti.



ÖZET

KIRMIZI TOPRAKTAN SİNERLEME YÖNTEMİ İLE AGREGA ÜRETİLMESİ

AKÇAY ÇELİK, Begüm

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK, Prof. Dr. Veli UZ

Şubat 2024, 45 sayfa

Bu çalışmada kırmızı toprak içerisine 5 farklı hammadde katılarak hazırlanan reçetelerden elde edilen malzemelerin sinterlenmesi ile geliştirilmiş hafif agrega üretilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada kırmızı toprak içerisine, %2, %4, %6 ve %8 mermer tozu, %5, %10, %20 tuf, %1, %2, %3 borik asit, %1, %2, %3, %10 geliştirilmiş vermikülit ve %1, %2, %3 sodyum hidroksit eklenmiştir. Daha sonra 100 gr olarak hazırlanan bu karışımlara 30 ml su eklenerek çamur haline getirilmiştir. Elde edilen çamur şekillendirilerek bilye haline getirilmiştir. Hazırlanan bilyeler oda sıcaklığında 1 gün bekletildikten sonra 80 °C sıcaklıkta 2 gün boyunca etüvde kurutulmuştur. Böylece sinterleme öncesi malzeme içerisindeki nem uzaklaştırılmıştır. Kurutulan numunelerin 950°C sıcaklıkta 6 dakika boyunca sinterlenmesi ile hacimce genleşmeleri sağlanmıştır. Sinterleme sonrası numunelerin su emme testi, hacimsel değişimleri, renk ölçümleri ve basınç dayanımları hesaplanmıştır.

İnceleme sonrasında genleşen malzemelerin sinterleme sonucunda kazandığı mekanik ve fiziksel özellikler tespit edilmiştir. En yüksek hacimsel genleşme değeri %20 tuf ve %8 mermer tozu içeren numunede görülmüştür, en yüksek su emme değeri %10 öğütülmemiş vermikülit içeren numunede görülmüştür, en yüksek basınç dayanımı ise %1 NaOH ve %8 mermer tozu içeren numunede görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Geliştirilmiş Kil Agregası, Hafif Agrega, Kırmızı Toprak, Tuf, Vermikülit

ABSTRACT**PRODUCTION OF AGGREGATE FROM RED SOIL BY SINTERING METHOD****AKÇAY ÇELİK, Begüm****Master Thesis, Department of Civil Engineering****Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK, Prof. Dr. Veli UZ****February, 2024, 45 pages**

In this study, it was aimed to sinter the materials obtained from prescriptions prepared by adding 5 different raw materials in red soil and to produce expanded light aggregates. In the study, 2%, 4%, 6%, and 8% marble powder, 5%, 10%, and 20% tuff, 1%, 2%, and 3% boric acid, 1%, 2%, 3%, and 10% expanded vermiculite, and 1%, 2%, and 3% sodium hydroxide were added into the red soil. Then, 30 ml water was added to these 100 gr mixtures and sludge was obtained. The sludge obtained was given the shape of a ball. The balls prepared were kept at room temperature for one day and then, they were dried at 80 °C in a stove for 2 days. Thus, the moisture in the material was removed before sintering. The dried samples were sintered at 950 °C for 6 minutes, and thus they were expanded in volume. After sintering, the water absorption test, volumetric changes, color measurements and compressive strength of the samples were calculated. After the procedures, the mechanical and physical properties gained by the expanded materials as a result of sintering were determined. The highest volumetric expansion value was observed in the sample containing 20% tuff and 8% marble powder, the highest water absorption value was observed in the sample containing 10% unground vermiculite, and the highest compressive strength was observed in the sample containing 1% NaOH and 8% marble powder.

Keywords: Expanded Clay Aggregate, Lightweight Aggregate, Red Soil, Tuff, Vermiculite

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana değerli görüş ve bilgi birikimiyle yol gösteren Sayın Prof. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK ve Sayın Prof. Dr. Veli UZ hocama,

Yaşamım boyunca desteklerini benden hiç esirgemeyen ve her zaman yanımda olan biricik aileme ve bu zorlu dönemde her zaman desteğini hissettiğim canım eşim Fuat Çelik'e teşekkürlerimi sunuyorum.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
GÖRSELLER LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. TOPRAK.....	4
1.1.1. Toprak Strüktürü	4
1.1.2. Toprak Çeşitleri.....	5
1.1.2.1. Zonal Topraklar	5
1.1.2.2. İntrazonal Topraklar	7
1.1.2.3. Azonal Taşınmış Topraklar	7
1.2. KİL MİNERALLERİ	8
1.2.1. Montmorillonit.....	9
1.2.2. İlit.....	9
1.2.3. Kaolinit	9
1.3. KİLLERİN ÖZELLİKLERİ	9
1.3.1. Killerde Sinterleme	9
1.3.4. Killerde Yağlılık ve Yağsızlık	10
1.3.5. Killerde Şişme.....	10
1.3.6. Killerde Kohezyon	10
1.3.7. Killerde Rötire.....	10
1.3.8. Kilin Hidratasyonu	11
1.3.9. Killerde Renk	11
1.4. HAFİF AGREGALAR VE HAFİF BETON	11
1.4.1. Genleştirilmiş Kil Agregaları	13
1.4.2. Hafif Taze Betonun Özellikleri	13
1.4.3. Sertleşmiş Hafif Beton Özellikleri.....	14
1.4.4. Hafif Betonlarda Dayanım	14
1.4.5. Hafif Betonun Sınıflandırılması.....	15
1.4.6. Hafif Betonda Sünme.....	16
1.4.7. Hafif Betonda Birim Ağırlık	16
1.4.8. Hafif Betonlarda Su Emme	17
1.4.9. Hafif betonların dezavantajları.....	18

İKİNCİ BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. KULLANILAN HAMMADDELER	20
2.1.1. Vermikülit.....	20
2.1.2. Tüf.....	22
2.1.3. Mermer Tozu	22
2.1.4. Sodyum Hidroksit (NaOH)	23
2.1.5. Borik Asit (H_3BO_3)	23
2.2. KULLANILAN CİHAZLAR	23
2.3. HAFİF AGREGA REÇETELERİNİN HAZIRLANMASI.....	24
2.3.1. Reçetelerin Hazırlanması	24
2.3.2. Şekillendirme	27
2.3.3. Kurutma ve Sinterleme	28
2.4. YAPILAN DENEYLER.....	29
2.4.1. Sinterlenmiş Numunelerin Yoğunluk Hesaplaması	29
2.4.2. Hacimsel Genleşme Testi	29
2.4.3. Su Emme Testi	29
2.4.4. Mukavemet Testi	29
2.4.5. Renk Testi.....	30

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

3.1. SONUÇ.....	35
3.2. ÖNERİLER	38
KAYNAKÇA.....	39
DİZİN	45

TABLolar LİSTESİ**Sayfa**

Tablo 1.1: Toprak Çeşitleri	5
Tablo 1.2: Hafif Betonlarla Alakalı Özellikler	15
Tablo 1.3: Hafif Betonların Kategorize Edilmesi.....	15
Tablo 1.4: Hafif Betonların Sınıflara Göre Dayanım ve Birim Ağırlıkları	17
Tablo 2.1: Kullanılan Kırmızı Toprağa Ait Kimyasal Analiz Sonuçları.....	20
Tablo 2.2: Kullanılan Vermikülitin Kimyasal Analiz Sonuçları (Ağırlıkça %).....	20
Tablo 2.3: Kullanılan Tüfe Ait Kimyasal Analiz Sonuçları	20
Tablo 2.4: Numunelere Ait Ağırlıkça % Karışım Oranları.....	26
Tablo 2.5: Sinterlenmiş Numunelerin Tane Yoğunluğu (g/cm ³)T	32
Tablo 2.6: Renk Ölçümü Sonuçları	33

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Toprak Strüktürünün Oluşum Aşaması	5
Şekil 2.1: Vermikülit Mineraline Ait Kristal Yapı	21
Şekil 2.2: Hava Atmosferindeki Kalsiyum Karbonata Ait Termal Analiz Sonucu	23
Şekil 2.3: a) Halkalı Değirmen, b) Hassas Terazî, c) Etüv, d) Fırın, e) Renk Ölçüm Cihazı, f) Tek Nokta Yükleme Cihazı	24
Şekil 2.4: a) Kırmızı Toprak, b) Katkı Hammaddeleri, c) Spatül ile Harmanlama İşlemi, d) Havanda Öğütme İşlemi.....	26
Şekil 2.5: a) Çamur Hazırlama İşlemi, b) Hazırlanan Agregalar.....	27
Şekil 2.6: a) Ham Agregalar, b) Oda Sıcaklığında Kurutulmuş Agregalar, c) Kurutma İşlemi, d) Sinterleme İşlemi	28
Şekil 2.7: Sinterlenen Numunelere Ait Görüntü.....	29
Şekil 2.8: Renk Ekseni.....	30
Şekil 2.9: Sinterlenmiş Numunelere Ait Basınç Dayanımları	31
Şekil 2.10: Sinterlenmiş Numunelere Ait Su Emme Değerleri	31
Şekil 2.11: Sinterlenmiş Numunelere Ait Hacimsel Genleşme Sonuçları.....	32

GÖRSELLER LİSTESİ**Sayfa**

Görsel 1.1: Yerleşik Yaşama Geçiş ve Çiftçiler.....	4
Görsel 1.2: Kolezyum, İtalya	11
Görsel 1.3: Pantheon, İtalya	12
Görsel 1.4: Selma Adındaki Betondan İmal Edilmiş Gemi	13
Görsel 1.5: Genleştirilmiş Kil Agregaları ile Alakalı Görsel	17



SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
3DK-8B-1	%8 Mermer tozu , %1 Borik Asit ve % 91 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-8B-2	%8 Mermer tozu , %2 Borik Asit ve %90 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-8B-3	%8 Mermer tozu , %3 Borik Asit ve %89 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-8T-5	%8 Mermer tozu , %5 Tüf içeren ve %87 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-8T-10	%8 Mermer tozu , %10 Tüf içeren ve %82 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-8T-20	%8 Mermer tozu , %20 Tüf içeren ve %72 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-2M	%2 Mermer tozu ve %98 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-4M	%4 Mermer tozu ve %96 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-6M	%6 Mermer tozu ve %94 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-8M	%8 Mermer tozu ve %92 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-1V	%1 Vermikülit ve %99 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-2V	%2 Vermikülit ve %98 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-3V	%3 Vermikülit ve %97 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-10V-0	%10 Öğütülmemiş Vermikülit ve %90 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-10V-1	%10 Öğütülmüş Vermikülit ve %90 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-8S-1	%1 NaOH ve %8 Mermer tozu ve %91 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-8S-2	%2 NaOH ve %8 Mermer tozu ve %90 Kırmızı Toprak içeren reçete
3DK-8S-3	%3 NaOH ve %8 Mermer tozu ve %89 Kırmızı Toprak içeren reçete
°C	Santigrat
%	Yüzde
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
Astm	American Society For Testing And Materials
kg	Kilogram
m	Metre
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Mpa	Megapaskal
t	Ton



TEZ METNİ

GİRİŞ

Bu çalışmada kilin içerisine çeşitli malzemeler eklemek suretiyle üretilen pelet numunelerin fırında genişleştirilerek hafif agrega üretilmesi amaçlanmıştır. Böylece yapının sahip olduğu ölü yükler önemli ölçüde azaltılıp, yapının ağırlığı ile doğru orantılı olarak artıp azalan deprem yüklerinin yapıya yaptıracığı salınımın azalması sağlanacaktır. (Gündüz, Bekar ve Şapcı, 2006). Agrega peletleri mermer tozu gibi atık malzemelerle birleştirilip fırında genişleştirildiğinde bu atıkların üretim döngüsüne yeniden dahil edilmesi mümkün olabilecektir. Böylece sürdürülebilirlik ilkesi doğrultusunda doğaya ve tüm canlılığa büyük katkı sağlayacaktır.

İnsanoğlu, var olduğu ilk günden beri sınımlanabileceği, güvenli bir şekilde yaşayabileceği ve hayatını sürdürebileceği bir alana gereksinim duymuştur. Bu gereksinimler insanlığın gelişmesiyle farklı bir boyut almıştır. İlk insanların en büyük gereksinimleri vahşi hayvanlardan ve insan yaşamını olumsuz, hatta imkansız kılan doğa olaylarından korunmak iken günümüzde bunlara ek daha birçok sebep ihtiyaç haline gelmiştir. Bu ihtiyaçların karşılanması ise insanların güvenli bir ortamda yaşaması ile mümkün olmaktadır.

Abraham Maslow tarafından 1943 yılında yayınlanan çalışmada, insani gereksinimlerin önem sırasına göre ihtiyaçlar karşılandıkça bir üst basamağa geçmesi suretiyle oluşturulan, Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisinde, güvenlik ihtiyacı da ikinci basamakta yer almaktadır (Çoban, 2021). Bu kapsamda düşünüldüğünde insanların daha üst gereksinimlere ulaşabilmesi için güvenlik ihtiyacının tamamen karşılanması gerekir. Bu sebeple bu ihtiyacın en iyi şekilde karşılanabilmesi için mühendislerin, bilimin ışığında yüksek dayanıma sahip hafif yapı malzemeleri üretmeleri ve onları geliştirmeleri gerekmektedir.

Ülkemiz, Alp Himalaya adı verilen deprem kuşağında bulunması sebebiyle çok sık farklı büyüklüklerde depremlere maruz kalmaktadır. Bu yüzden depremlerin yıkıcı etkisini en aza indirmek için yapılan yapıların deprem bilinciyle inşa edilmesi gereklidir. Yapıların deprem anında nasıl bir etki-tepki ile karşı karşıya kalacağının bilinmesi büyük bir önem taşımaktadır.

Ölü yükler nedeniyle ağırlaşan yapıların ağırlığının azaltılabilmesi için kullanılan malzemeleri hafifletmek, depremde etki edecek yükleri azaltmak konusunda

bize avantaj sağlayacaktır. Bu amaçla kullanılan genleştirilmiş kil agregaları betonu hafifleterek yapıyı önemli yüklerden kurtaracaktır (Mercan, 2020).

Bu çalışmada kırmızı toprak, atık mermer tozu, vermikülit, tuf, sodyum hidroksit (NaOH) ve borik asit (H_3BO_3) kullanılarak yüksek mukavemetli genleştirilmiş hafif agrega üretilmesi amaçlanmıştır.





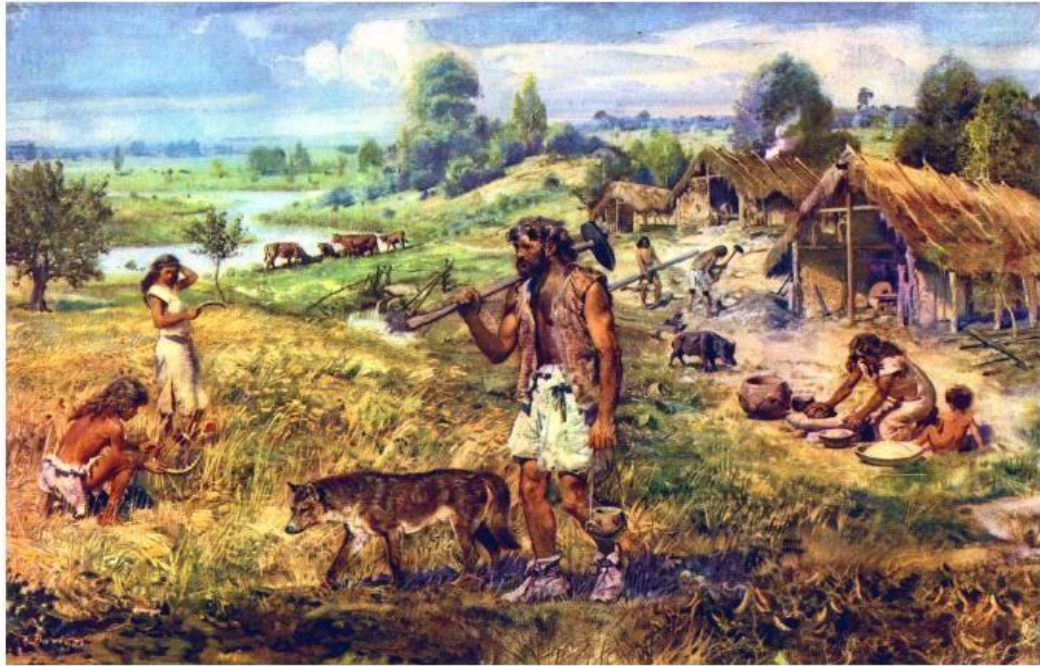
BİRİNCİ BÖLÜM
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1. TOPRAK

Ana malzeme üstündeki materyallerin ayrışmasıyla oluşan toprak, oluşum evresinin başında ana malzemenin sahip olduğu fiziksel ve kimyasal nitelikleri taşımaktadır (Atalay vd., 2020). Oluşumun ilk zamanlarında ana materyal ile jeomorfolojinin toprak oluşumuna katkısı büyüktür. Sonraki evrelerde ise bulunduğu bölgedeki iklimin etkisine girerek zonal ya da klimatik toprak tipini oluşturur (Atalay vd., 1990).

Toprağı oluşturan 5 temel unsur şunlardır; ana materyaller, bitki toplulukları, topografya, zaman ve bulunduğu yerin iklimidir. Oluşan her karış toprak için canlı organizmaların müdahalesi, toprağın fiziksel ve kimyasal ayrışması bunun yanında yıkanıp taşıyıcılar sayesinde birikmesi gerekmektedir ve matris malzemesinin süreç içerisinde bozulması gereklidir. (Atakorkut, 2023).

Görsel 1.1: Yerleşik Yaşama Geçiş ve Çiftçiler



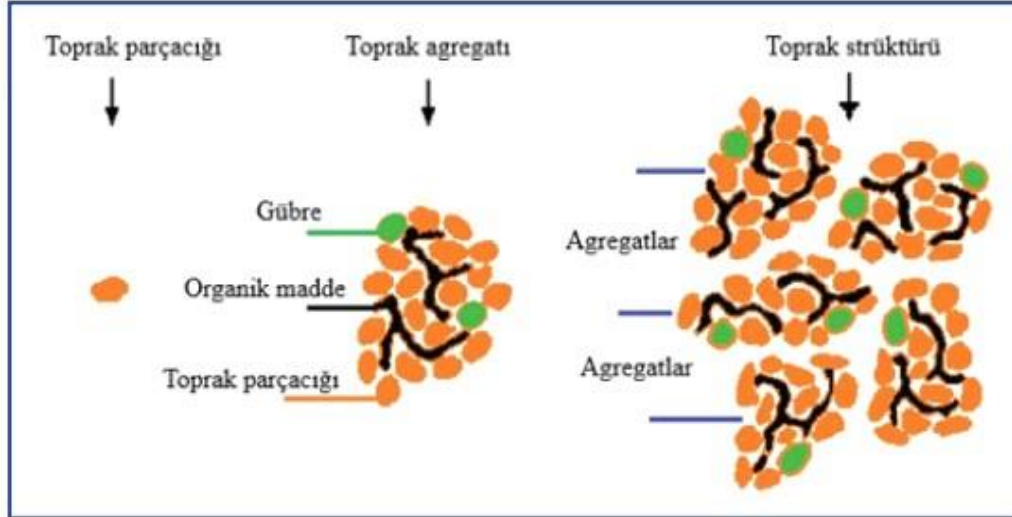
Kaynak: Şeref, 2020

1.1.1. Toprak Strüktürü

Toprak strüktürü diğer bir adıyla toprağın yapısı kavramı topraktaki küçük parçaların kategorize edilmesi, dizilmesi ile ilgili bir kavramdır. Toprak kil oranı %15 den fazla olduğunda toprağın içerisinde var olan küçük mineral parçalar, agregat

dediğimiz yapıya dönüşmeye çalışır. Agregatlar bir dizilim ve düzen oluştururlar, oluşturdıkları bu düzene toprak strüktrü adı verilir. Strüktür iyi olduğunda agregat arası boş kalan yerlerdeki gözenekler bitkinin kök gelişimi için iyi bir alan oluşturduğundan kökler rahatça büyür (Bolat, 2021).

Şekil 1.1: Toprak Strüktürünün Oluşum Aşaması



Kaynak: Bolat, 2021

1.1.2. Toprak Çeşitleri

Toprak çeşitleri 3 kısma ayrılır;

Tablo 1.1: Toprak Çeşitleri

Zonal Topraklar	İntrazonal Topraklar	Azonal Topraklar
Laterit Topraklar	Hidromorfik Topraklar	Alüvyal Topraklar
Kahverengi Orman Toprağı	Halomorfik Topraklar	Kolüvyal Topraklar
Terra Rossa Topraklar	Kalsimorfik Topraklar	Lös Topraklar
Kahverengi Bozkır Toprağı		Moren Topraklar
Podzol Topraklar		Regasol Topraklar
Çernezyom Topraklar		Litosol Topraklar
Tundra Topraklar		
Çöl Topraklar		
Kestane Renkli Bozkır Toprağı		

Kaynak: Toprak Sınıflandırması, 2019

1.1.2.1. Zonal Topraklar

Tablo 1.1’de verildiği gibi zonal topraklar; laterit topraklar, kahverengi orman toprakları, terra rossa topraklar, kahverengi bozkır toprakları, kestane renkli bozkır

toprakları, podzolik topraklar, çernezyom topraklar, tundra topraklar ve çöl toprakları olmak üzere 9 gruba ayrılır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Laterit topraklar, nem ve sıcaklığın olduğu yerlerde yaygındır. Yağış ve sıcaklığın etkisiyle bu topraklarda kimyasal çözünme fazladır. Yağışın etkisiyle oksitlenen demir bileşiklerinden dolayı kiremit kırmızısı bir renge sahiptir (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Kahverengi orman toprakları, humus miktarı fazla olan topraklardır bu yüzden ki verimliliği yüksektir. Geniş yaprakları olan orman bitki örtüsünün bulunduğu yerin altında gelişimini sürdüren topraklardır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Akdeniz bölgesinde oluşan kırmızı renkli topraklara ise terra rossa toprak denir. Kaolen, smektit gibi kil minerallerinin içeriği yüksek olan bu topraklar, tarım ve seramikte tercih sebebidir (Küçükuysal, 2018). Genelde Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü alanlarda sıkça rastladığımız bu topraklara Dünyada birden fazla kıtada ve birçok adada rastlanır (İskenderoğlu, 2020). Kireç yıkanması ve demir oksit birikiminden dolayı renkleri kırmızıya dönüşür (Toprak Sınıflandırması, 2019). Türkiye'nin daha çok batı tarafında Antalya Bölümünde sıkça rastladığımız terra rossa toprakların organik madde miktarı %8'leri bulmaktadır (Hakımı, 2022). Tuğla kiremit endüstrisinde yaygınca kullanıldığı için tuğla-kiremit killeri adıyla da bilinirler (Cengiz ve Kuşçu, 2010).

Kahverengi ve Kestane renkli bozkır topraklar, yağış miktarının az olduğu ve çoğunlukla bozkır bitki örtüsünün bulunduğu yerlerde gelişen topraklardır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Nemin yüksek, hava sıcaklığının ise düşük olduğu yerlerde iğne yapraklı ormanların altında gelişen topraklara da podzolik topraklar denir (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Organik içeriği sebebiyle rengi siyah olan çernezyom toprakların verimliliği fazladır. Büyük çayırların altında büyüyen topraklardır. Kuruyan bitkiler toprağa katılır böylece humus oranı artar. Ülkemizde Erzurum-Kars çevrelerinde rastlanır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

İklim olarak tundra iklimine hakim olan yerlerde oluşan topraklara tundra topraklar denir. Donuk halde olan bu toprakların yaz aylarında buzlarının çözülmesi nedeniyle üst kısımlarında bataklıklar oluşur (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Çöl toprakları ise kuraklığın ve buharlaşma şiddetinin fazla olduğu yerlerde oluşur. Buharlaşma şiddetinin fazla olması ve kaybedilen suyun geri kazanılması az olduğundan üst kısımlarda katman şekilde kireç gözlenir (Toprak Sınıflandırması, 2019).

1.1.2.2. İntrazonal Topraklar

Halomorfik topraklar, hidromorfik topraklar ve kalsimorfik topraklar olmak üzere üç gruba ayrılan bu toprakların oluşumunda topografya ve ana materyal özelliklerinin etkisi vardır. Kalsimorfik topraklar da kendi aralarında ikiye ayrılır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Halomorfik topraklar, içeriğinde su ile eriyik biçimde bulunan tuz ve karbonat gibi maddelerin buharlaşması neticesinde, toprağın üstünde veya farklı derinliklerde birikme yapmasıyla oluşan topraklardır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Hidromorfik topraklar, drenajın iyi olmadığı taban suyu yüksekliğinin fazla olduğu bataklık, sazlık gibi alanlarda görülür (Hidromorfik Toprak, 2023).

Kireç oranı fazla olan kalsimorfik topraklar ise 2 gruba ayrılır. Bunlar vertisoller ve rendzinalardır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Dönen toprak olarak da bilinen, vertisol topraklar kil içeriğinden dolayı kurak zamanlarda çatlar ve toprağın üst tarafından bu çatlaklara toprak dökülür. Bu toprakların, yağışlı zamanlarda suya doymun olması neticesinde toprak şişerek çatlaklarından dökülür tekrar üst tarafa doğru itilir. Bu yüzden bu topraklara dönen toprak manasına gelen vertisol toprak adı verilmiştir (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Rendzina ise yumuşak kireç taşlarının üzerinde gelişmesiyle birlikte oluşan koyu renkli topraklardır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

1.1.2.3. Azonal Taşınmış Topraklar

Dış kuvvetlerin yapmış olduğu aşınma nedeniyle toprak bir yerden bir yere taşınır bu topraklara taşınmış yani azonal topraklar denir. Azonal topraklar; alüvyal topraklar, kolüvyal topraklar, lös topraklar, moren topraklar, regasol topraklar ve litosol topraklar olmak üzere altı gruba ayrılır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Alüvyal topraklar, akarsular ile taşınan malzemelerin birikim yapması sonucu oluşan bu toprakların verimlilikleri oldukça yüksektir (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Kolüvyal topraklar, fiziksel çözünme sonucu yamaçlardan gelen malzemelerin dağın eteğinde birikim yapması sonucu oluşan topraklardır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Lös topraklar, kurak alanlarda rüzgarın taşınması sonucu çok küçük ebatlı malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşmuş topraklardır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Moren topraklar, buzullarla birlikte taşınarak gelen malzemelerin, buzulların eridiği alanlarda birikmesi nedeniyle oluşmuş topraklardır (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Regasol topraklar, dağın etek kısımlarında birikim gösteren kum ebatlarındaki malzemeler ile birlikte, akarsuların birikim yapması ile oluşmuş kum depoları ve volkanlardan çıkan kum ebadındaki malzemeler üzerinde gelişen toprak çeşididir (Toprak Sınıflandırması, 2019).

Litosol Topraklar, Bu topraklar eğimin çok olduğu yamaçlarda fiziksel olarak ayrışmanın etkisinin yanında yüzeysel akım ve erozyonla birlikte biraraya gelmiş topraklardır (Dündar, 2019).

1.2. KİL MİNERALLERİ

Killer doğada sıklıkla bulunan çoğunlukla 0,002 mm'den daha küçük tane içeren malzemelerdir (Kil, 2022).

Killerin mineralojik özellikleri, tane büyüklükleri onların komplike bir yapı kazanmasında etkilidir. Bu yüzden farklı yerlerde farklı davranmaları olağandır. Killerin iyi bir şekilde algılanması için oluşumsal özelliklerinin iyi bir şekilde anlaşılması gerekir. Killer doğada bol miktarda bulunur ve bunun yanında içerik yönünden saf haldeyken kaolen ismini alırlar (Mercan, 2020).

Killerin birden fazla kristal levhadan oluştuğu bilinmektedir. Tetrahedral ve Oktahedral olarak adlandırılan 2 ayrı esas kristal plakanın varlığı kilin iç yapısında tespit edilmiştir (Bilici, 2017).

Oluşan bu yapılar bir arada farklı şekillerde konumlanarak çeşitli kil minerallerini oluştururlar. Kil mineralleri en temel haliyle üç kısma ayrılır; Bunlar kaolonit, montmorillonit ve illit'tir (Sezer, 2021).

1.2.1. Montmorillonit

2 tetrahedral silisyum yapı ile 1 oktahedral alüminyum yapının birbirleri ile bağ oluşturarak yaptıkları oluşumdur (Kolancılar, 2016). Bu kilin sahip olduğu iyonlar tabakaların genişlemesine olanak sağlayarak nanokompozit malzeme üretimi için alan açarlar (Çankaya ve Sökmen, 2017).

1.2.2. İlit

Yapı olarak montmorillonite benzer. Bağların güçlü olmasını potasyum iyonlarına borçludur. Su ile reaksiyona girince şişme özelliği vardır (Sezer, 2021).

1.2.3. Kaolinit

Şişme potansiyeli diğer kil minerallerine göre zayıftır (Şengöz, 2006). Katmanların arasındaki bağlar ve kuvvetler sayesinde suyun girişi engellendiğinden bu kil minerallerinin şişmesinin önüne geçilir (Sezer, 2021). Şişme potansiyelleri çoktan aza doğru montmorillonit, ilit ve kaolin olarak sıralanır (Gör, Aksoy ve Bilgen, 2012).

1.3. KİLLERİN ÖZELLİKLERİ

1.3.1. Killerde Sinterleme

Killerin sinterleme sıcaklıkları değişkenlik gösterir. Kuvars, feldspat, demir oksit, kalker ve kaolonit içeriği çok olan killer çoğunlukla 900 °C dolaylarında sinterlenirler. Refrakter killer ise 1580 °C'ye varan sıcaklıklara kadar kendini muhafaza eder (Mercan, 2020).

1.3.2. Killerde Kuru Mukavemet

Kil kristallerinin çevresindeki suların buharlaşması ile kuruma başlar. Eğer kurumalar eşit olmazsa bazı taraflar kururken bazı taraflar nemli kalır ve iç gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler malzeme dayanımını aştığı zaman ise çatlamlar meydana gelir. Yeteri kadar kurutulmayan killer, dış ortamdan rutubet aldığı anda kuru mukavemetleri düşük olacaktır (Koroğlu, 2007).

1.3.3. Killerde Plastisite

Plastik özelliğini kazanmış bir kilin doğal su içeriği yaklaşık kendi yapısının beşte biri kadardır (Mercan, 2020). Kil taneciklerinin ince plak şekilde birbiri üzerinden kayması suyun varlığı ile mümkündür. Bu şekilde plakların ayrılması daha da zorlaşır ve bu sayede kazandıkları dayanım, onların sanayide birçok alanda kullanılmasına olanak verir. Killerin plastiklik durumu, onların şekil verilebilmesine olanak tanıyacak suyun ölçüsü olarak tanımlanabilir. Şekil verilebilme derecesi, killerin çamura dönüştürülmesine yetecek su miktarı ile ölçülür. Bu aşamada kil, bünyesinde ne kadar fazla su tutarsa plastikliği o kadar büyük olur (Koroğlu, 2007).

1.3.4. Killerde Yağlılık ve Yağsızlık

Şekil verilebilirliği çok iyi olan killer yağlı kil olarak adlandırılır. Yağlı killerin bu özelliğe getirilmesi için eklenmesi gereken su miktarı fazladır. Yağsız killer suda daha kolay açılırlar, ancak bu killerin maddeleri bağlama özelliği, yağlı killerle mukayese edildiğinde daha az olur. Yağ oranı yüksek killerin, yağsız killere göre kuru mukavemetleri daha fazladır (Koroğlu, 2007).

1.3.5. Killerde Şişme

Fiziksel suyun içeri çekilerek, yapıya katılmasıyla yapının genişlemesi durumuna şişme denir. Killerin içine çektikleri su miktarı, onların fiziksel ve kimyasal özelliklerini oldukça etkilemektedir (Kalpaklı, Topal ve Balkan, 2022).

1.3.6. Killerde Kohezyon

Kohezyon bir bütünün parçalarının bir araya gelme isteğidir. Killerin bu özelliği, susuz kaldığında kendi formunu koruma isteğinden anlaşılır. Su ile kazandıkları kohezyon özelliği killerin farklı bir sıvıyla karıştırılması sonucu gerçekleşmez (Mercan, 2020).

1.3.7. Killerde Rötire

Killere su ilave edilip şekil verildikten sonra kuruma durumundayken kil hacimsel olarak küçülür. Hacimsel küçülme fırınlama esnasında da olur. Bu durum killerde rötire olarak adlandırılır (Mercan, 2020).

1.3.8. Kilin Hidratasyonu

Kil mineralleri oldukça küçük parçacıklara sahiptir. İçeriğindeki mineralin cinsine göre taneciklerin birbirini tutma kapasitesi değişir (Bilici, 2017). Kil tanecikleri, içerisine çektiği suyla veya etrafındaki su moleküllü tabakaları ile hidratlanır. Yüzeye çekilen kili yüzeyde tutmak için kilin üzerindeki negatif yükün yüzey yoğunluğu suyun hepsini tutmakta zayıf kalır. Bu yüzden hidrojen bağlanması, suyun yüzeyde kalması için gerekli kuvvetten sorumlu olur (Ödemiş, 2023).

1.3.9. Kilerde Renk

Saf kil olduğunda beyaz renkli olup kaolen ismini alır. Kildeki renk faktörü içeriğindeki organik maddeler ve oksitler hakkında bilgi verebilir (Sezer, 2021).

1.4. HAFİF AGREGALAR VE HAFİF BETON

Tarihi Antik Çağa dayanan köklü uygarlıkların keşfedip hayatlarına dahil ettikleri bu betonlar Babil inşaatı da dahil olmak üzere Kollezium, Panteon tapınağı, Ayasofya gibi önemli eserlerde kullanılıp günümüze kadar gelebilmeyi başarmıştır.

Bu eserlerin günümüze kadar gelebilmesinde çeşitli fikirler olmasının yanı sıra, Romalıların hafif beton ile ürettiği Kolleziumun, günümüzde bile bu kadar sağlam oluşu uzmanlar tarafından araştırma konusu olmuştur.

Görsel 1.2: Kolezyum, İtalya



Kaynak: Roma'nın anıtları nasıl hala ayakta?, 2021; Image credit: Anton Aleksenko/Getty Images

Araştırmalar sonucu uzmanlar o bölgede bulunan reaktif volkanik küçük agrega taneciklerinin var olduğunu, hala reaksiyona girebilen volkanik mineraller sayesinde çatlakların dağılmasını önlediğini ve reaksiyona girebilen bu bileşiklerin kendini sürekli yenileme kapasitesinin olduğunu belirtmiş (Fox, 2021). Romalılar doğal hafif malzemeleri sıklıkla yapılarında kullanmışlardır. MÖ 273 Yılında volkanik tuf kullanarak ürettiği beton iskele yıllarca deniz suyu etkisi altında kalmasına karşın çok az düzeyde deformasyona uğramıştır (Kabay, 2009).

Görsel 1.3: Pantheon, İtalya



Kaynak: Credit: Alexander Spatari/Getty Images) (Roma'nın anıtları nasıl hala ayakta?, 2021)

Kollezyumdan daha sonra inşa edilen Panteon Tapınağının kubbesinin üst kısımlarına doğru volkanik agrega kullanıldığı, alt kısımlarda ise pomza taşı kullanılarak yapının hafifletilmeye çalışıldığı bilinmektedir (Fox, 2021).

Doğal agregalarla çevrili koca bir tarihten sonra yapay agregaların üretiminin yaygınlaşması, doğal agregaların kullanımı sınırlandırmıştır. Yapay agregaların ilk üretildiği zamanlar 1900'lü yıllara dayanır. Ticarileşmesi için üretimi ise birinci dünya savaşı esnasında çelik bulunamaması sebebiyle üretilen ferrocement gemilerdir. Çelik sıkıntısı A.B.D'nin, o dönemde gemilerini donatılı betondan yapma fikrini ateşlemiştir. 1918 yılına gelindiğinde J. Hayde geliştirilmiş şist tipi hafif agreganın buluş belgesini almış ve bu gelişme sonrası doğal agregaların erişim zorluğu ve kontrol edilemez özelliklerine karşı büyük bir gelişme sağlanmıştır. Savaş devam ederken hem hafiflik hem de mukavemetinin iyi olduğu bilinen yapay hafif agreganın üretiminin ileri boyutlara taşınması gemi üretimine büyük bir hız kazandırmıştır (Yolcu, Girgin. 2018).

Görsel 1.4: Selma Adındaki Betondan İmal Edilmiş Gemi



Kaynak: Topçu ve Bahadırlı, 2010

Bu gemilerden en bilinenlerinden biri Selma adlı gemidir. 1918 yılında üretilip bundan 1 yıl sonra kullanıma açılan bu gemi geliştirilmiş şeyl agregasından yapılmış olup bu sayede gemilerin hafifletilmesi amaçlanmıştır (Topçu ve Bahadırlı, 2010).

1.4.1. Genleştirilmiş Kil Agregaları

Hafif agregaların bugünkü kullanımı daha çok doğal agregaların geliştirilmesi ile oluşturulan geliştirilmiş yapay agregalar üzerinedir. Isı verildiklerinde hacimsel olarak büyüyüp iç taraflarında boşluklar oluşan malzemelere genleşen kil denir. Bu killer hafif yapı malzemelerinin içinde mukavemeti en fazla olanlardır (Mercan, 2020). Genleşen kil üretiminde kullanılan ana malzemeler arasında ateş kili, kumlu kil, killi şist veya hızlı sinterlenen kil kullanılabilir. Bu malzemeler pişirildiğinde belirli sıcaklıkta kabuk oluşturur. İç yapısında ise gözenekler homojen bir şekilde yayılmıştır. Özellikle gökdelen gibi çok yüksek yapılarda, köprülerde kullanılan hafif malzemeler bu yapıların geleceği için büyük bir kazanım sağlamıştır (Gündüz, Bekar ve Şapçı, 2006).

1.4.2. Hafif Taze Betonun Özellikleri

Hafif beton üretmek için kullanılan hafif agregalara; Doğal agregalardan pomza, volkanik cüruf, tuf, yapay agregalardan ise geliştirilmiş kil, perlit, şist, yüksek fırın cürufu, uçucu kül örnektir (Dikici, 2010). Hafif agregaların, taze betonun karışması ve yerine yerleştirilmesi esnasında birim ağırlıklarının küçük olması sebebiyle yüzeye çıkma

tehlikesinden olduğundan işlenilebilirlik özellikleri kötü şekilde etkilenebilir. Bu durumlarda betona lif katkısı ayrışmayı engelleyebilir. Hafif beton agregalarının su emme derecesi betonun içerisindeki mevcut boşluk türlerine, onların birbirleriyle bağlantısının bulunup bulunmamasına ve dağılımına bağlıdır. Su emme oranlarının bilinmesinde ilk yarım saat ve 24. saat belirleyici kabul edilir. Taze betonda kullanılan agregaların emdiği suyu bilmek bu durumun taze betonun özelliklerine nasıl yansıtacağını kestirmek açısından çok önemlidir. İster doğal isterse yapay agregalar olsun gün sonunda tüm agregalar karışımın içeriğinde geçen süreye de bağlı olarak bir miktar su emerler. Su emme oranı; taze betondaki işlenilebilirlik özelliklerini, dayanıklılık özelliklerini, ısısal özelliklerini direk kendisi veya kendisinin tetiklediği başka bir özellik vasıtasıyla etkiler. Bir agregalar parçasının zamanla ne kadar su emdiğinin ölçütü, onun konumuna ve yapısal özelliklerine bağlıdır. Su emmeleri, hafif agregaların boşluk hacimlerinden dolayı normal agregalı betonlara göre daha iyi olan bu agregaların tanelerinde tuttukları rezerv sudan ötürü, iyi olmayan kür şartlarına karşı normal betonlarla mukayese edildiğinde daha dayanıklı olurlar (Kabay, 2009).

1.4.3. Sertleşmiş Hafif Beton Özellikleri

Betonda kullanılan agregaların cinsi, boyutları ve birim ağırlıkları gibi bazı özellikleri sertleşmiş hafif beton olarak onların, mukavemet, rötire ve ısı iletim katsayısı gibi en temel özelliklerini değiştirebilir (Kabay, 2009).

1.4.4. Hafif Betonlarda Dayanım

Basınç dayanımı esasen karışımdaki agreganın özellikleriyle değişir. Agregalar parçacıklarının eğer mukavemeti yüksek olmazsa o eksikliği kapatmak için hamur fazını güçlendirmek gerekir. Dolayısıyla karışıma daha fazla çimento ilavesi gerekecektir. Hafif agreganın hafif beton üretiminde kullanıldığı miktar fazlaştıkça, beton basınç dayanımında azalma gözlenir (Kabay, 2009). Basınç dayanımı 35 Mpa üzerinde bir dayanım istenirse hafif betonlarda çimentoyu arttırmak gerekir. Dayanımı en çok etkileyen etkenlerden biri de betonun içerisindeki agregaların dayanımıdır. Agregaların rijitliği ile içerisindeki çimento hamurun rijitliği benzer doğrultuda olduğu zaman belirli yük altına benzer şekilde direnç gösterir. Bu da dayanımına olumlu yönde etki eder (Kabay, 2009).

Tablo 1.2: Hafif Betonlarla Alakalı Özellikler

Beton Tipi	Agrega Boyutu	Agrega Birim Ağırlığı (kg/m ³)	Betonun etüv kurusu yoğunluğu (kg/m ³)	Basınç dayanımı (MPa)	Rötre (10 ⁻⁶)	Betonun ısı iletim katsayısı (Jm/m ² s ⁰ C)
Genleştirilmiş cüruf	İnce	900	1850	21	500	0,69
	İri	650	2100	41	600	0,76
Dönel fırında üretilen genleştirilmiş kil	İnce	700	1200	17	600	0,38
	İri	400	1300	20	700	0,40
Sinterlenmiş uçucu kil	İnce	1050	1500	25	300	-
	İnce	800	1540	30	350	-
Ponza	-	500-800	1200	15	1200	-
Perlit	-	40-200	400-500	1,2-3	2000	-
Vermikülit	-	60-200	300-700	0,3-3	3000	-

Kaynak: Kabay, 2009

Çekme Dayanımı iri agrega tanesinin ve harç fazının ayrı ayrı çekme dayanımına ve bunlar arasındaki kenetlenme durumuna bağlıdır. Karışıma agrega olarak hafif ve ince agrega ilave etmek yerine standart ince agrega ilave edilirse çekme dayanımı yönünden daha avantajlı hale gelir (Kabay, 2009).

Elastisite Modül ise betonu oluşturan malzemelerin tek tek elastisite modüllerine ve karışımdaki miktarlarının yüzdelerine göre şekillenir. Standart normal betonların elastisite modüllerinin hafif betonların elastisite modüllerinden fazla olması karışımda kullanılan agregaların elastisite modülleriyle alakalıdır (Kabay, 2009).

Tablo 1.3: Hafif Betonların Kategorize Edilmesi

Hafif Beton Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)		Beton Yoğunluğu (kg/m ³)		Isı iletim katsayısı (W/m ⁰ K)	
	A	B	A	B	A	B
Taşıyıcı (ACI213R)	>17,0	>15,0	1120-1920	1600-2000	-	-
Taşıyıcı/ Yalıtım	3,4-17,0	>3,5	800-1440	<1600	0,22-0,43	<0,75
Yalıtım	0,7-3,4	>0,5	240-800	<<1450	0,65-0,22	<0,30

Kaynak: Kabay, 2009

1.4.5. Hafif Betonun Sınıflandırılması

Hafif betonlar için üç çeşit sınıflandırma yapmak mümkündür. Bunlar; taşıma özelliği olan hafif beton, yalıtım-taşıma özelliği olan hafif beton ve yalıtım özelliği olan hafif betondur (Kabay, 2009).

Taşıma özelliği olan hafif betonun 28 günlük basınç dayanımları ASTM C 567'ye göre 17 Mpa'ı geçmektedir. Yalıtım-taşıma özelliği olan hafif betonlar, basınç

dayanımları 3,4 Mpa-17 Mpa dolaylarında olan betonlardır. Yalıtım özelliği olan hafif betonlar, basınç dayanımları 0,69-3,4 Mpa dolaylarında olan betonlardır (Kabay, 2009).

Betonların ısı iletkenliklerinin az olması ani sıcaklık yükselişlerinin önüne geçerek betonun yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı olmasını sağlar (Özcan ve Akçaözoğlu, 2018). Hafif olmayan normal betonların taşıyıcılık özellikleri iyidir ancak bu betonların birim ağırlıkları yüksek olduğundan ısı iletkenlikleri de yüksektir (Dikici, 2010).

1.4.6. Hafif Betonda Sünme

Sabit çekme ve basınç yükü, sabit sıcaklık, sabit gerilme durumunda, süreç içerisinde yavaş gerçekleşen plastik deformasyona diğer bir deyişle zamanla gerçekleşen şekil değişimini sünme adlandırmak mümkündür. Hafif betonların elastisite modülleri düşük olduğundan sünme şekil değiştirmesi ve kuruma rötresi daha fazla olur (Mercan, 2020).

1.4.7. Hafif Betonda Birim Ağırlık

Genellikle kullanılan betonların 2400 kg/m^3 hacim kütlede olması bu betonların kullanıldığı yapıların ağır olmasına neden olmaktadır. Normal betonlara kıyasla hafif betonlar yapının birim hacim ağırlığının %20-25 bandında azalmasına olanak tanır. Bu sayede yapının toplam ağırlığı azaltılarak önemli taşıyıcı elemanların kesitlerinin küçültülmesi sağlanabilir (Geçten ve Gül, 2019).

Hafif betonlar birim ağırlığının en fazla 1840 kg/m^3 , 28 günde eriştiği silindir basınç dayanımı ise 17 Mpa'yı geçen betonlardır. S1 sınıfı betonlar taşıyıcılıktan ziyade ısı yalıtımında iş görürken S2 ve S3 sınıfı betonlar yalıtımsal özelliklerinin yanısıra dayanım olarakta orta diyebileceğimiz bir sınıfta yer alır. S2 betonları daha çok duvar malzemesi olarak iş görmektedir. Taşıma görevini üstlenen betonlar S4, S5, S6 türü hafif betonlardır. Betonların sahip olduğu birim ağırlıkları, onların ısı iletkenliği, mukavemeti, yarma mukavemeti ve elastisite modülünü etkileyen önemli bir özelliktir (Taşdemir, 2003).

Tablo 1.4: Hafif Betonların Sınıflara Göre Dayanım ve Birim Ağırlıkları

Hafif Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanım Aralığı (MPa)
S1	800	1-7
S2	800-1200	7-10
S3	1000-1400	10-14
S4	1300-1800	14-25
S5	1500-1800	25-40
S6	1800-1200	40-70

Kaynak: Taşdemir, 2003

Yapıda bilinen klasik beton yerine geliştirilmiş kil agregalı betonların kullanılması yapının ölü yüklerini %42 oranında azalttığı, bu sebeple zemin için gelen yükün 1,9 t/m²'ye yakın kısmının azaldığı, yapı eleman kesitlerinin %15 azaldığı, yapı temel kalınlığında %33 oranında azaldığı bunun yanında yapıyı etkileyecek deprem kuvvetlerinin ise %15 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Subaşı ve Kap, 2009).

1.4.8. Hafif Betonlarda Su Emme

Hafif agregaların tane yoğunlukları azdır bunun sebebi sahip olduğu gözenekli yapıdır. Gözenekli yapı, içerisine katılan birtakım ham maddelerin erime sıcaklığına kadar gelmesiyle oluşur (Mercan, 2020). Gözenekler agregaya yüzeyine yakın ve içinde birbiri içine geçen ilişkili yollarda olursa su emme kabiliyetleri daha fazla olur. Gözenekler suyla doldurulup doygun hale geldiğinde ise betona yavaş yavaş su aktarımı yapar böylece beton susuz kalsa dahi çimento ile suyun reaksiyonun devam etmesine olanak sağlar (Mercan, 2020).

Görsel 1.5: Genleştirilmiş Kil Agregaları ile Alakalı Görsel



Kaynak: Can, 2020

1.4.9. Hafif betonların dezavantajları

- Hafif betonların içerisinde gözenekler bulunması sebebiyle basınç dayanımları düşüktür.
- Klasik betonlar ile mukayese edildiğinde kesme dayanımı, sünme ve rötre değerleri daha az olur.
- Üretimi ve yerinde uygulanması nitelikli işçilik gerektirdiğinden daha maliyetli olabilmektedir.
- Elastisite modülleri düşük olduğundan bu agregalarla yapılan taşıyıcı hafif kirişlerde dönmeler daha fazla olabilmektedir.
- Klasik betonlara göre daha fazla çimento dozajı gerekmektedir (Mercan, 2020).



İKİNCİ BÖLÜM
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada hafif agrega üretimi için kırmızı toprağa farklı oranlarda vermikülit, tuf, mermer tozu, sodyum hidroksit ve borik asit katılarak reçeteler hazırlanmıştır. Kullanılan hammaddelerin hafif agrega özelliklerine olan etkileri incelenmiştir.

2.1. KULLANILAN HAMMADDELER

Yapılan deneysel çalışmalarda kırmızı toprak, vermikülit, tuf, mermer tozu, sodyum hidroksit ve borik asit kullanılmıştır. Kırmızı toprak, vermikülit ve tuf'e ait kimyasal analiz sonuçları sırasıyla Tablo 2.1, 2.2 ve 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.1: Kullanılan Kırmızı Toprağa Ait Kimyasal Analiz Sonuçları

Oksit İçeriği											
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	Cl	SO ₃	^a KK
56,07	15,98	0,14	1,93	6,52	1,91	1,27	0,11	0,57	0,06	0,05	15,25

Kaynak: Çekil, 2022

Tablo 2.2: Kullanılan Vermikülitin Kimyasal Analiz Sonuçları (Ağırlıkça %)

Oksit İçeriği										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Cr ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂
39,3	16,9	14,9	14,2	6,7	4,3	0	0,1	0,3	0	2,4

Kaynak: <https://serakulit.com/serakulit-katalog-2020.pdf>

Tablo 2.3: Kullanılan Tüfe Ait Kimyasal Analiz Sonuçları

Oksit İçeriği											
Örnek Kodu	AZ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	BaO (%)	MnO (%)
K1	5,499	67,702	14,160	1,603	1,547	1,438	1,446	6,273	0,172	0,075	0,085

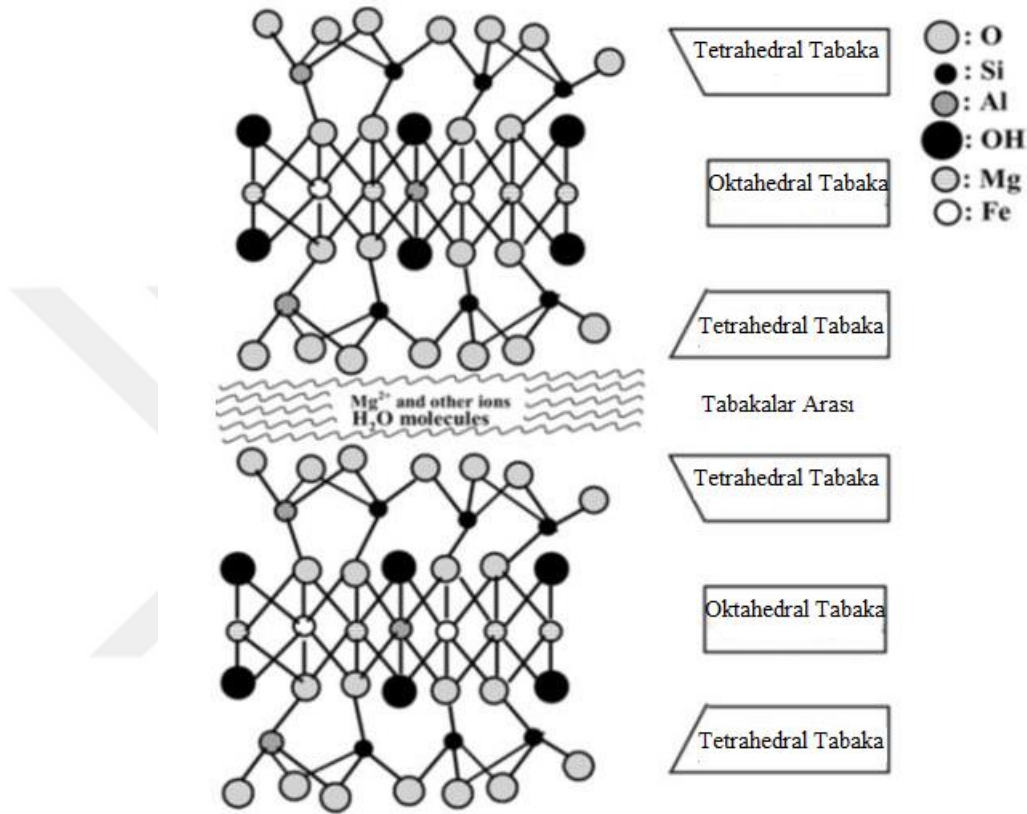
Kaynak: Arslanbaba, 2015

2.1.1. Vermikülit

Vermikülit minerali, volkanik magma kaynaklarından elde edilen bir hammaddedir. 800°C-1100°C gibi yüksek sıcaklıklarda genleşebilen, geçirgenliği artan ve yoğunluğu azalan bir mineraldir (Arslan ve Aktaş, 2018). Genleşme özelliğine sahip bütün mika grubu mineralleri (hidrobiotit, biotit ve flogopit), endüstriyel olarak vermikülit olarak isimlendirilir. Mineralojik olarak ise bir grubu temsil eden vermikülit, sarımsı kahve ve yeşil renkli olabildiği gibi bazen de siyah bir görünüme de sahip

olabilmektedir (Harmancı ve Kalem, 2022). Magnezyum-alüminyum-demir silikatlarından oluşan bir 2:1 filosilikat mineral grubu olan vermikülitin kristal yapısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Tabakalı bir yapıya sahip olan vermikülit mineralinin bu katmanları arasında su molekülleri bulunmaktadır (Duman ve Tunç, 2008).

Şekil 2.1: Vermikülit Mineraline Ait Kristal Yapı



Kaynak: Duman ve Tunç, 2008

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi vermikülit mineralindeki oktahedral tabakalar, tetrahedral tabakalar arasında oluşmaktadır. Vermikülit mineralindeki tabakalar arasında bulunan su molekülleri 1000°C sıcaklıkta su buharına dönüştüğünden vermikülit silikat tabakalarında bozulmalara neden olur ve bu bozulmalardan dolayı genleşme oluşur (Marcos & Radriguez, 2011). Genleşen vermikülitin yığın yoğunluğu 0,8 g/cm³’ten 0,08 g/cm³’e kadar düşmektedir (Harmancı ve Kalem, 2022). Bu çalışmada katkı maddesi olarak öğütülmüş ve öğütülmemiş vermikülit kullanılmıştır.

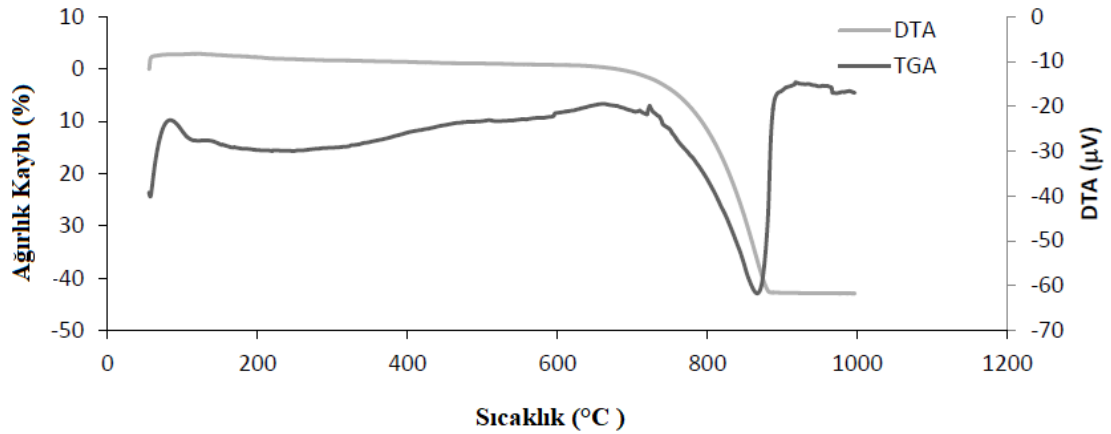
2.1.2. Tüf

Yanardağ patlamaları esnasında kül, kum ve lav taneciklerinden oluşan gözenekli, tabakalı ya da tabakalaşma özelliği göstermeyen kayalar tüf olarak tanımlanmaktadır (Bayırlı ve Pekin, 2013). Eriyik lavın parçalanması esnası ile hızlı soğuma esnasında yapıdaki gazın genleşmesi ile gözenekli bir yapı oluşur. Bu yüzden volkanik tüfler genel olarak düşük birim hacim ağırlığına sahiptir. Yaklaşık 1300°C sıcaklıkta eriyen tüfte, 760°C sıcaklığın altında herhangi bir hacimsel değişim gözlenmemektedir. Sertliği 5,5 ile 6 arasında olan tüfün basınç mukavemeti ise 95 ile 130 kg/m² aralığındadır. Ana bileşeni SiO₂ olan tüfün, SiO₂ ile birlikte yapısındaki Al₂O₃ miktarının da artmasıyla puzolanik aktivitesi artar. Buna bağlı olarak basınç dayanımı da artmaktadır (Kılıçaltan ve Demir, 2022). Bu çalışmada katkı maddesi olarak öğütülmüş tüf kullanılmıştır.

2.1.3. Mermer Tozu

Mermerler, ısı ve basınç altında dolomitik kalker (CaMg(CO₃)₂) ve kalkerlerin (CaCO₃) metamorfizmaya uğraması sonucunda tekrar kristallenerek yeni bir yapı kazanmış taşlardır (Gürü, Akyüz ve Akın, 2005.). Mermer tozu en küçük boyutta olan mermer atıkları olarak tanımlanır (Tatar, 2014). Mermer işleme tesislerinde, genellikle 300 mikronun altında olan ve mermer blokların kesilmesiyle oluşan taneciklerden oluşur (Taşpolat, Zorluer ve Koyuncu 2006)). Mermerin, 2550-2800 kg/m³ arasında değişen yoğunluğu olup içerisinde düşük oranlarda mika, kuvars, limonit, grafit, klorit, hematit ve pirit, en az %95 oranında da CaCO₃ bulunur (Tatar, 2014). Şekil 2.2’de CaCO₃’e ait termal analiz sonucu verilmiştir. Bu sonuca göre yaklaşık 680 °C ile 890 °C arasındaki yüksek kütle kaybının, CaCO₃’ün yapısındaki CO₂’nin yapıdan uzaklaşmasından kaynaklandığını göstermektedir (Ramos, 2012). Bu çalışmada katkı maddesi olarak öğütülmüş mermer tozu kullanılmıştır.

Şekil 2.2: Hava Atmosferindeki Kalsiyum Karbonata Ait Termal Analiz Sonucu



Kaynak: Ramos, 2012

2.1.4. Sodyum Hidroksit (NaOH)

SiO_2 ve Al_2O_3 aktive etmek ve camsı yapının kısmen veya tamamen çok sıkıştırılmış bir kompozite dönüştürülmesini sağlayan sertleştirici katkı maddelerini aktive etmek için güçlü alkalilere ihtiyaç vardır (Khale ve Chaudhary, 2007). Yaygın aktivatörler NaOH, Na_2SO_4 , su camı, Na_2CO_3 , K_2CO_3 , KOH, K_2SO_4 veya az miktarda çimento klinkeridir (Bharti vd., 2020).

NaOH reaktif katı malzemeye ne kadar çok temas ederse, o kadar çok silikat ve alüminat monomeri açığa çıkar (Khale, Chaudhary, 2007).

Bu çalışmada katkı maddesi olarak geometrik şekli küçük levhalar şeklinde olan NaOH kullanılmıştır.

2.1.5. Borik Asit (H_3BO_3)

Borik asit borun zayıf bir asidi olup kimyasal formülü H_3BO_3 olarak gösterilir. Borik asit beyaz toz halinde olup suda kolayca çözünür. Özgül ağırlığı $1,51\text{g}/\text{cm}^3$ olup erim sıcaklığı 450°C , kaynama sıcaklığı ise 1860°C 'dir (Borik asit, 2019). Bu çalışmada katkı maddesi olarak toz H_3BO_3 kullanılmıştır.

2.2. KULLANILAN CİHAZLAR

Hammaddelerin öğütülme işleminde halkalı öğütücü kullanılmıştır. Reçetelerin hazırlanması için malzemelerin tartımları Desis marka terazi ile yapılmıştır. Hazırlanan reçetelerden elde edilen numunelerin kurutma işlemi Sermak marka etüvde yapılmıştır.

Kurutulan numunelerin sinterleme işlemi Protherm marka fırında yapılmıştır. Sinterlenen malzemelerin renk ölçümleri Fru marka spektrofotometre cihazı ile basınç dayanımı testleri de yüksel kaya makina cihazı ile yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda yapılan testlerde ve analizlerde, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı ve Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Laboratuvarındaki cihazlar kullanılmıştır. Kullanılan cihazlara ait resimler Şekil 2.3'te verilmiştir.

Şekil 2.3: a) Halkalı Değirmen, b) Hassas Terazı, c) Etüv, d) Fırın, e) Renk Ölçüm Cihazı, f) Tek Nokta Yükleme Cihazı



2.3. HAFİF AGREGA REÇETELERİNİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada, farklı oranlarda kırmızı toprak, vermikülit, tuf, mermer tozu, sodyum hidroksit ve borik asit kullanılarak reçeteler hazırlanmıştır.

2.3.1. Reçetelerin Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan kırmızı toprak ve vermikülit, halkalı değirmende sırasıyla 3 dakika ve 1 dakika boyunca öğütülmüştür. Öğütülmüş olarak temin edilen tuf ve mermer tozu da kuru olarak kırmızı toprağa katılmıştır. Sodyum hidroksit ve borik asit ise suda çözündürülerek reçetelere karıştırılmıştır.

B serisinde, mermer tozunun ağırlıkça oranı %8 olacak şekilde tartılmış olup, kırmızı toprak miktarları %91, %90 ve %89 olan üç farklı reçeteye ayrı ayrı katılmıştır.

Daha sonra bu karışıma, borik asit sırasıyla %1, %2 ve %3 olacak şekilde tartılıp, 30 ml su içerisinde çözündürülerek karıştırılmıştır. Hazırlanan çamurun homojen olabilmesi için 3 dakika boyunca spatül ile karıştırılmıştır.

T serisinde, ağırlıkça %87, %82 ve %72 olarak tartılan kırmızı toprak içerisine, %8 oranında mermer tozu ilave edildikten sonra sırasıyla %5, %10 ve %20 tuf ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım spatül ile harmanlandıktan sonra daha homojen bir karışım elde etmek amacıyla havanda 3 dakika boyunca öğütülmüştür.

S serisinde, %91, %90 ve %89 oranlarında kırmızı toprağa, ayrı ayrı %8 oranında mermer tozu ilave edilmiştir. Daha sonra sırasıyla %1, %2 ve %3 oranlarında sodyum hidroksit tartılarak 30 ml su içerisinde çözündürülmüş olup hazırlanan karışıma eklenmiştir. Hazırlanan çamurun homojen bir dağılıma sahip olabilmesi için spatül ile 3 dakika boyunca karıştırılmıştır.

M serisinde, ağırlıkça %98, %96, %94 ve %92 oranlarında kırmızı toprak tartılmış olup, sırasıyla %2, %4, %6 ve %8 oranlarında mermer tozu ile karıştırılmıştır. Homojen bir karışım elde edilebilmesi amacıyla spatül ile 3 dakika boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra 3 dakika havanda öğütülmüştür.

V serisinde ise ağırlıkça %99, %98, %97 ve %90 kırmızı toprak tartılmış olup, öğütülmüş vermikülit sırasıyla %1, %2, %3 ve %10 oranlarında eklenmiştir. Ayrıca %90 kırmızı toprağa, %10 oranında öğütülmemiş vermikülit katılmıştır. Bu reçetenin kodu 3DK-10V-0 olarak belirtilmiştir. Hazırlanan reçeteler 3 dakika boyunca spatül ile karıştırıldıktan sonra daha homojen bir karışım olabilmesi için 3 dakika havanda öğütülmüştür. Şekil 2.4’de reçete hazırlama işlemleri gösterilmiştir. Hazırlanan serilere ait reçeteler Tablo 2.4’de verilmiştir.

Şekil 2.4: a) Kırmızı Toprak, b) Katkı Hammaddeleri, c) Spatül ile Harmanlama İşlemi, d) Havanda Öğütme İşlemi



Tablo 2.4: Numunelere Ait Ağırlıkça % Karışım Oranları

Seriler	Reçeteler	Kullanılan Hammaddeler					
		NaOH	H ₃ BO ₃	Vermikülit	Tüf	Mermer Tozu	Kırmızı Toprak
B	3DK-8B-1	-	%1	-	-	%8	%91
	3DK-8B-2	-	%2	-	-	%8	%90
	3DK-8B-3	-	%3	-	-	%8	%89
T	3DK-8T-5	-	-	-	%5	%8	%87
	3DK-8T-10	-	-	-	%10	%8	%82
	3DK-8T-20	-	-	-	%20	%8	%72
M	3DK-2M	-	-	-	-	%2	%98
	3DK-4M	-	-	-	-	%4	%96
	3DK-6M	-	-	-	-	%6	%94
	3DK-8M	-	-	-	-	%8	%92

Tablo 2.4: (devam) Numunelere Ait Ağırlıkça % Karışım Oranları

Seriler	Reçeteler	Kullanılan Hammaddeler					
		NaOH	H ₃ BO ₃	Vermikülit	Tüf	Mermer Tozu	Kırmızı Toprak
V	3DK-1V	-	-	%1	-	-	%99
	3DK-2V	-	-	%2	-	-	%98
	3DK-3V	-	-	%3	-	-	%97
	3DK-10V-0	-	-	%10	-	-	%90
	3DK-10V-1	-	-	%10	-	-	%90
S	3DK-8S-1	%1	-	-	-	%8	%91
	3DK-8S-2	%2	-	-	-	%8	%90
	3DK-8S-3	%3	-	-	-	%8	%89

2.3.2. Şekillendirme

Hazırlanan reçeteler havanda öğütüldükten sonra 30 ml su ilave edilerek 3 dakika boyunca spatül ile karıştırılmıştır. Homojen bir çamur elde edildikten sonra el ile küresel olarak şekillendirilmiştir. Şekil 2.5'te çamur hazırlama ve bu çamurların şekillendirilmesi ile ilgili görsel verilmiştir.

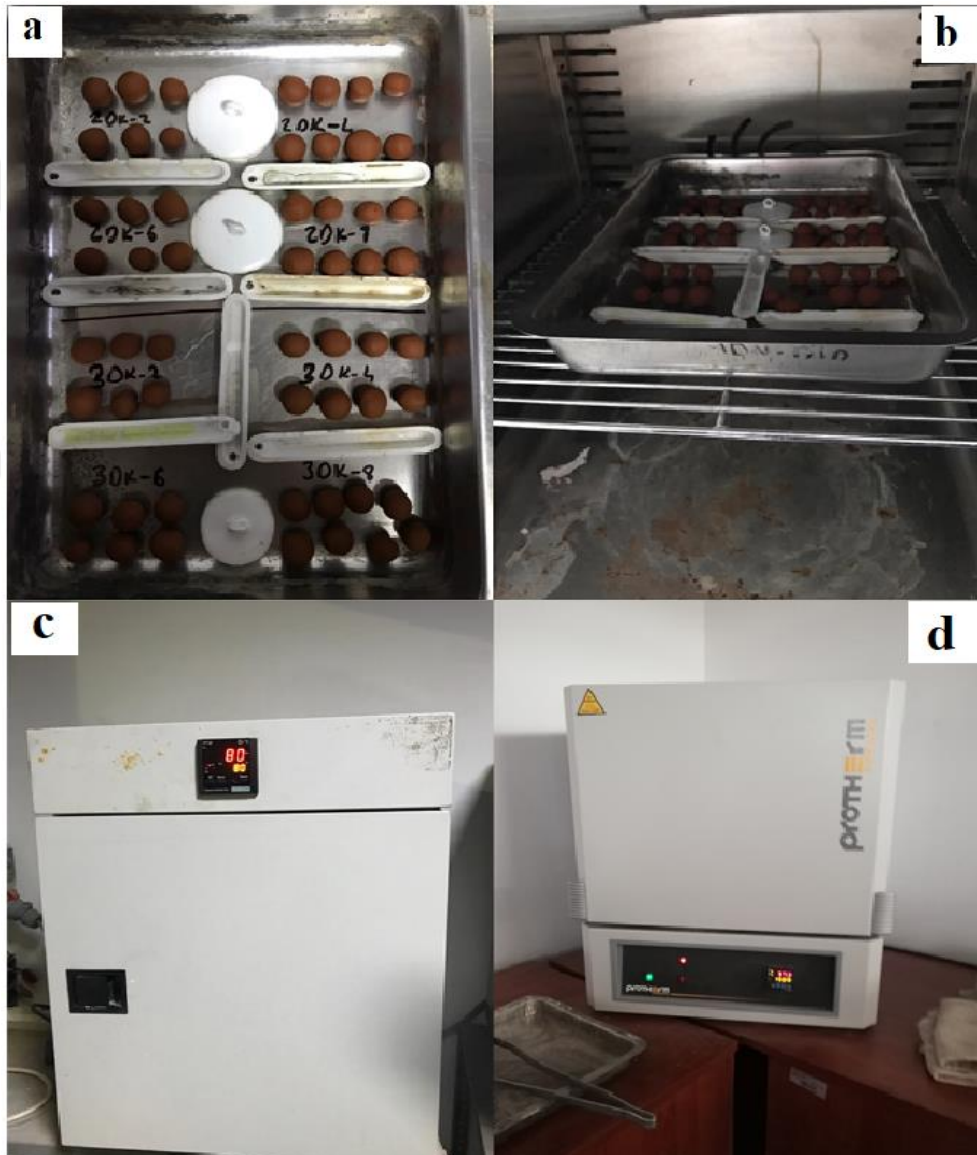
Şekil 2.5: a) Çamur Hazırlama İşlemi, b) Hazırlanan Agregalar



2.3.3. Kurutma ve Sinterleme

Şekillendirilen numunelerde homojen bir nem dağılımının sağlanabilmesi için oda sıcaklığında 1 gün boyunca bekletildi. Daha sonra bu numuneler 2 gün boyunca 80 °C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numuneler, 950 °C sıcaklıkta 6 dakika boyunca sinterlenmiştir. Şekil 2.6'da hazırlanan agregaların kurutma ve sinterleme işlemleri gösterilmiştir. Sinterlenen agregalar ait görüntüler de Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

Şekil 2.6: a) Ham Agregalar, b) Oda Sıcaklığında Kurutulmuş Agregalar, c) Kurutma İşlemi, d) Sinterleme İşlemi



Şekil 2.7: Sinterlenen Numunelere Ait Görüntü



2.4. YAPILAN DENEYLER

2.4.1. Sinterlenmiş Numunelerin Yoğunluk Hesaplaması

Kumpasla çapları ölçülen sinterlenmiş numunelerin hacimleri hesaplandı daha sonra hassas terazi ile tartılan numunelerin kütlesi bulunup, yoğunluklar hesaplanmıştır.

2.4.2. Hacimsel Genleşme Testi

Numunelerin ham ve sinterlemeden sonraki çapları ölçülmüş olup, tüm numuneler için ham ve sinterlenmiş hacimler hesaplanmıştır. Böylece tüm numunelerin hacimce genleşme yüzdeleri belirlenmiştir.

2.4.3. Su Emme Testi

Numunelerin kuru ağırlıkları hassas terazi ile belirlendikten sonra 24 saat suda bekletilmiştir. Daha sonra suda bekletilen numunelerin ağırlıkları ölçülmüş olup tüm numuneler için su tutma kapasiteleri hesaplanmıştır.

2.4.4. Mukavemet Testi

Deney numunelerinin basınç dayanımları ölçülmek için tek nokta yükleme cihazıyla kırılmıştır. Test sonucunda elde edilen veriler Denklem 2.1’de yerlerine yazılarak basınç dayanımları hesaplanmıştır.

$$S=2.8 \times P / \pi \times D^2 \quad (2.1)$$

S= Numunenin basınç dayanımı (Mpa)

P= Numuneye uygulanan yük değeri (Newton)

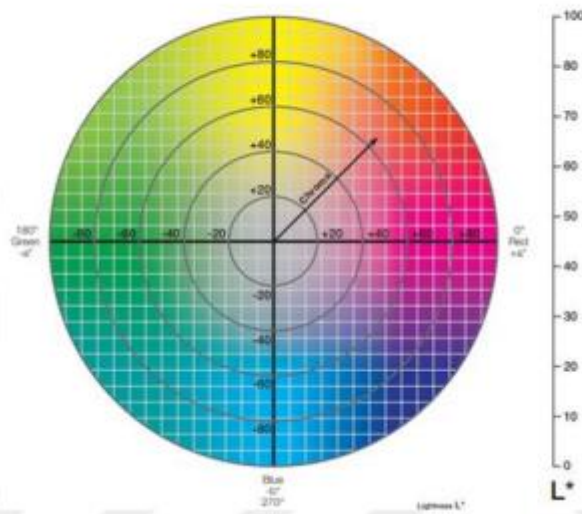
D= Numunenin çap ölçüsü (mm) (Çekil, 2022).

2.4.5. Renk Testi

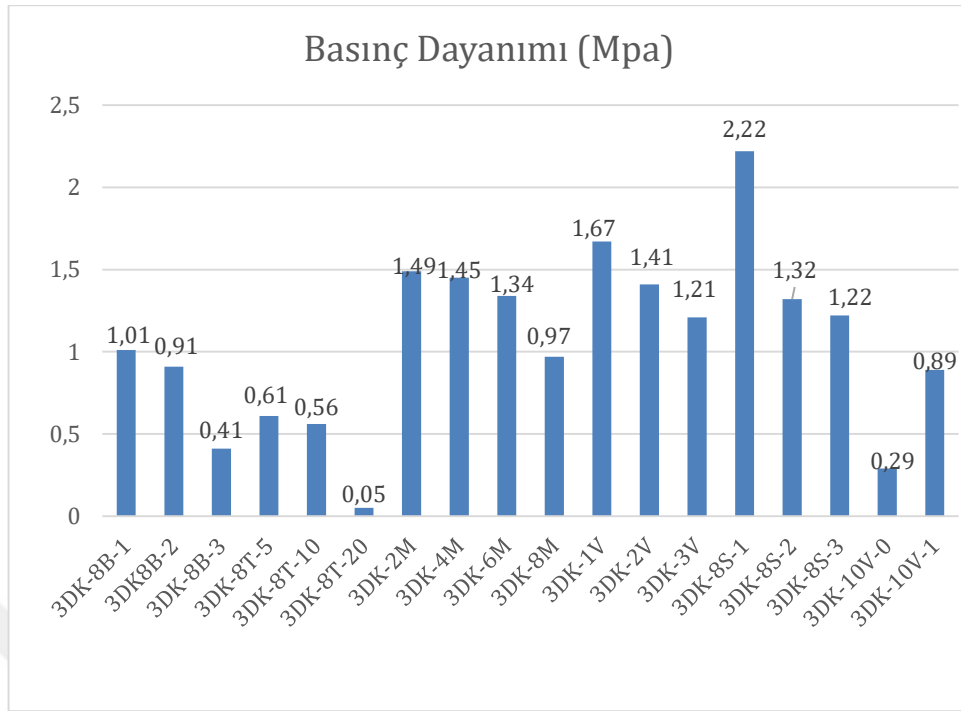
Sinterlenen numunelerin renk ölçümleri, renk ölçüm cihazının uç tarafından yayılan ışığın tamamı numune üzerine düşecek şekilde konumlandırılarak $L^*a^*b^*$ değerleri ölçülmüştür.

L değerleri 0'a yaklaştığında koyuluk ölçüsü yükselirken 100'e yaklaştığında ise açıklık ölçüsü yükselir. Eksende ise +a ile -a değerleri aralığını kırmızı /yeşil yerler, +b den -b değerleri aralığı ise sarı/mavi yerleri temsil eder (Arıyürek, 2021).

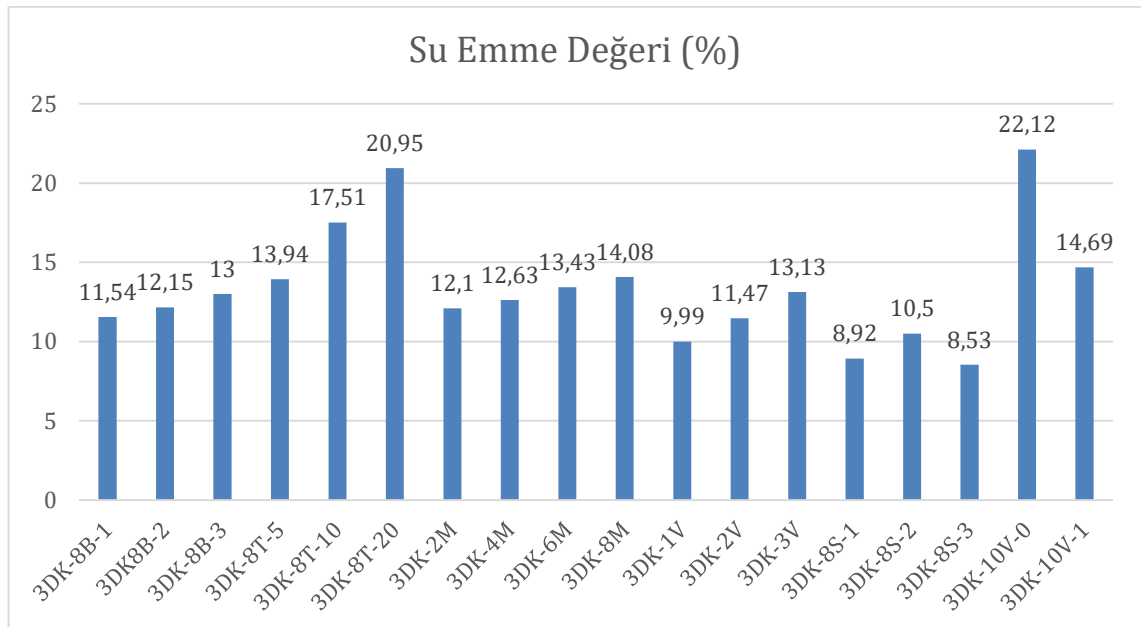
Şekil 2.8: Renk Eksen



Kaynak: Arıyürek, 2021

Şekil 2.9: Sinterlenmiş Numunelere Ait Basınç Dayanımları

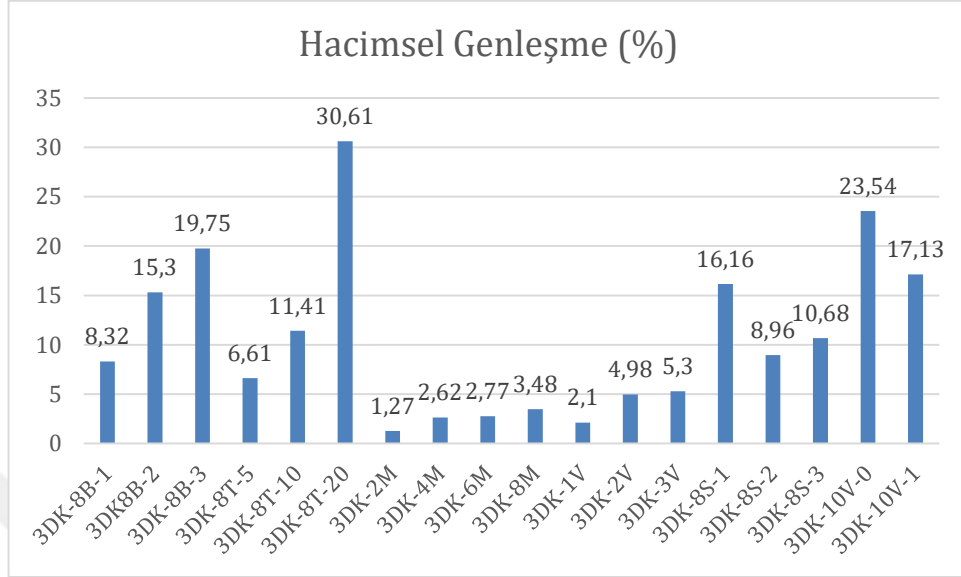
Basınç dayanımları sonuçları incelendiğinde genel olarak artan katkı miktarıyla beraber tüm serilerde basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 2.10: Sinterlenmiş Numunelere Ait Su Emme Değerleri

Su emme sonuçları incelendiğinde genel olarak artan katkı miktarıyla beraber NaOH dışı tüm serilerde su tutma kapasitesinin arttığı gözlenmiştir.

%2 NaOH içeren numunede ise su emme kapasitesinin en yüksekte olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 2.11: Sinterlenmiş Numunelere Ait Hacimsel Genleşme Sonuçları



Hacimsel genleşme sonuçları incelendiğinde genel olarak artan katkı miktarıyla beraber NaOH dışı tüm serilerde hacimsel genleşmenin arttığı gözlenmiştir.

%1 NaOH içeren numunede ise hacimsel genleşme değerinin en yüksekte olduğu gözlenmiştir.

Tablo 2.5: Sinterlenmiş Numunelerin Tane Yoğunluğu (g/cm³)

NUMUNE	Pişmiş Numunelerin Tane Yoğunluğu (g/cm ³)
3DK-8B-1	1,737
3DK-8B-2	1,705
3DK-8B-3	1,474
3DK-8T-5	1,570
3DK-8T-10	1,352
3DK-8T-20	1,308
3DK-2M	1,995
3DK-4M	1,875
3DK-6M	1,779
3DK-8M	1,706
3DK-1V	1,855
3DK-2V	1,736
3DK-3V	1,69
3DK-8S-1	1,614
3DK-8S-2	1,590
3DK-8S-3	2,069
3DK-10V-0	1,2008
3DK-10V-1	1,654

Yoğunluk hesaplamaları incelendiğinde NaOH katkılı numuneler dışındaki tüm numunelerde artan katkı miktarıyla yoğunluğun azaldığı gözlenmiştir.

Tablo 2.6: Renk Ölçümü Sonuçları

Numune	L değeri	a değeri	b değeri
3DK-8B-1	35,22	20,16	28,68
3DK-8B-2	36,95	20,38	27,66
3DK-8B-3	32,09	16,95	25,40
3DK-8T-5	36,27	21,97	32,70
3DK-8T-10	34,64	20,34	33,10
3DK-8T-20	37,54	18,93	27,58
3DK-2M	39,33	25,32	36,03
3DK-4M	24,17	25,28	41,79
3DK-6M	29,98	23,20	36,62
3DK-8M	25,06	23,20	38,98
3DK-1V	40,53	27,57	40,77
3DK-2V	33,14	27,25	43,66
3DK-3V	31,68	25,77	43,36
3DK-8S-1	38,11	21,88	28,36
3DK-8S-2	39,25	19,60	22,06
3DK-8S-3	41,52	19,91	21,06
3DK-10V-0	43,81	20,29	29,33
3DK-10V-1	29,37	23,43	43,13

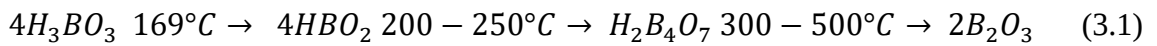
Renk ölçüm sonuçları incelendiğinde L değeri yani koyuluk değeri en fazla olan numuneler %2 borik asit içeren numune, %20 tuf içeren numune, %2 mermer tozu içeren numune, %1 vermikülit ve %3 NaOH içeren numune olmuştur. %10 vermikülit içeren seride ise öğütülmemiş vermikülit içeren numune daha yüksek L değerine sahip olmuştur. Çizelgedeki a ve b değerleri renk eksenindeki belirli yerleri temsil etmesiyle birlikte hep pozitif alanda kaldığı görülmüştür. Eksendeki pozitif a değerleri negatif a ya doğru kırmızı dan yeşile doğru bir alanı temsil ettiğinden grafikte sağ tarafta kalmıştır. Eksendeki pozitif b değeri negatif b değerine doğru sarıdan maviye doğru bir alan kapsadığı düşünüldüğünde ise numuneler eksenin üst tarafında kalmıştır.



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

3.1. SONUÇ

Eşitlik 3.1’de gösterildiği gibi borik asitin (H_3BO_3) ısıtılmasıyla, $169\text{ }^{\circ}C$ ’de metaborik asit (HBO_2), $200-250^{\circ}C$ arasında piroborik asit ($H_2B_4O_7$) ve $300-500\text{ }^{\circ}C$ arasında bortrioksit (B_2O_3) oluşmaktadır. Yani $500\text{ }^{\circ}C$ sıcaklıkta 1 mol borik asit 0,5 mol B_2O_3 ve 1,5 mol su (H_2O) oluşmaktadır (Kılıcı, 2011). Dolayısıyla H_3BO_3 miktarı arttıkça yapıdaki su miktarı daha fazla artacaktır. Bu yüzden B serisi numunelerinde artan borik asit miktarı ile yapıdaki su miktarı da artmaktadır. Bu numuneler sinterlendiğinde artan borik asit miktarı ile yapıyı terk edecek su miktarı da artış gösterecektir. Numune yüzeyindeki su molekülleri yapıyı hızlı bir şekilde terk ederken, daha iç kısımda bulunan su molekülleri ise yüzeye ulaşamadığından dolayı malzeme içerisinde boşluklara sebep olmaktadır. Böylece artan borik asit miktarı ile oluşacak boşlukların sayısı da artış gösterecektir. Dolayısıyla bu gözeneklerin malzemenin basınç dayanımını azaltmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Bu numunelere ait su emme test sonuçları incelendiğinde artan borik asit miktarıyla numunelerin su tutma kapasitesinin de artış gösterdiği tespit edilmiştir. Artan borik asit miktarıyla oluşan gözenek miktarı arttığından dolayı su tutma kapasitesinin de artış gösterdiği düşünülmektedir. Basınç dayanımı ve su emme test sonuçları birbirlerini destekler niteliktedir. Hacimsel genleşme grafiği incelendiğinde artan bor miktarıyla hacimsel genleşmenin arttığı tespit edilmiştir. Artan borik asit miktarıyla, su miktarının da artış göstermesi sonucu oluşan boşluk miktarı artacağından dolayı hacimsel genleşmenin arttığı düşünülmektedir. Bu sonuç, basınç dayanımı ve su emme testi sonuçlarıyla uyum içindedir. Bu numunelerin yoğunluk hesaplama sonuçları incelendiğinde, artan borik asit miktarıyla yoğunluğun azaldığı tespit edilmiştir. Numunelerdeki borik asit miktarının artması daha fazla boşluk oluşturacaktır. Bu boşlukların da hacimsel genleşmeyi artırması ile yoğunluğun azaldığı düşünülmüştür. Dolayısıyla yapılan testlerin tamamı birbirlerini destekler niteliktedir.



Tüf, eriyik lavın parçalanması ile hızlı soğuma esnasında yapıdaki gazın genleşmesi ile oluşan gözenekli bir yapıya sahiptir (Kılıçaltan ve Demir, 2022). T serisi için basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde artan tüf miktarıyla, basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Basınç dayanımındaki bu azalmanın sebebinin artan tüf miktarıyla beraber boşluk miktarının da artması sonucu olduğu düşünülmektedir. Su emme test sonuçları incelendiğinde artan tüf miktarıyla su tutma kapasitesinin de arttığı

gözlenmiştir. Artan tûf miktarıyla gözenek miktarı da arttığından dolayı numunelerin su tutma kapasitesinin arttığı düşünülmektedir. Benzer şekilde hacimsel genleşmenin de artan tûf miktarıyla arttığı tespit edilmiştir. Numunelerdeki tûf miktarının artması ile boşluk miktarı da artacağından hacimsel genleşmenin arttığı düşünülmektedir. Bu numunelere ait yoğunluk hesaplamaları sonucunda artan tûf miktarıyla yoğunluğun azaldığı gözlenmiştir. Yoğunluktaki bu düşüşün, artan boşluk miktarı sonucunda hacimsel genleşmedeki artışın sebep olduğu düşünülmektedir. Test sonuçlarının tamamı birbirlerini destekler niteliktedir.

Şekil 2.2'deki CaCO_3 'e ait termal analiz sonucuna göre, CaCO_3 'ün yapısındaki CO_2 'nin yaklaşık 680 °C ile 890 °C arasında yapıdan uzaklaştığı verilmiştir (Ramos, 2012). Bu sonuca göre 950 °C sıcaklıkta sinterlenen numunelerin dış yüzeyindeki CO_2 'nin yapıyı kolayca terk ettiği ancak numunelerin içerisinde bulunan CO_2 'nin yüzeye ulaşmadan malzeme içerisinde hava kabarcıkları oluşturduğu söylenebilir. Bu yüzden M serisi numunelerinde artan mermer tozu miktarı ile basınç dayanımının azalmasının, oluşan boşluk miktarındaki artışın sebep olabileceği düşünülmektedir. Su emme testi sonuçlarına göre artan mermer tozu miktarıyla su tutma kapasitelerinin de arttığı tespit edilmiştir. Su emme oranlarındaki bu artışın, mermer tozu miktarının artmasına bağlı olarak artan kabarcık miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hacimsel genleşme sonuçları incelendiğinde, artan mermer tozu miktarına bağlı olarak numunelerdeki genleşmenin de arttığı gözlenmiştir. Mermer tozu miktarının artmasıyla oluşan kabarcık miktarı da artacağından hacimsel genleşmenin arttığı düşünülmektedir. Yoğunluk hesaplama sonuçları incelendiğinde artan mermer tozu ile yoğunluğun azaldığı tespit edilmiştir. Mermer tozu miktarının artması ile oluşan CO_2 miktarı artacağından ve buna bağlı olarak boşluk miktarı da artacağından yoğunluğun azaldığı düşünülmektedir. Yapılan analiz sonuçlarının tamamı birbirlerini destekler niteliktedir.

Vermikülit ile hazırlanan numuneler için basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde malzeme içerisindeki vermikülit miktarının artmasıyla basınç dayanımının azaldığı gözlenmektedir. Vermikülitin gözenekli yapısından dolayı, vermikülit miktarı arttıkça numune içerisindeki boşluklar da artacaktır. Bu yüzden, boşluk miktarının artmasıyla basınç dayanımındaki bu azalmanın oluşabileceği düşünülmektedir. Su emme testi sonuçlarında vermikülit miktarının artmasıyla su emme değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Vermikülitin tabakaları arasında bulunan su moleküllerinin artan sıcaklıkla buharlaşması sonucu bu tabakalar arasında boşluklar

oluşacaktır. Bu yüzden artan vermikülit miktarına bağlı olarak numune içerisindeki su moleküllerini tutacak olan boşluk miktarı da artacaktır. Vermikülit miktarının fazla olduğu numunelerin su tutma kapasitelerinin yüksek olmasının sebebinin de bu boşluklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Hacimsel genleşme sonuçları incelendiğinde artan vermikülit miktarıyla numunelerin daha fazla genleştiği tespit edilmiştir. Hacimsel genleşmedeki bu artışın sebebinin artan boşluk miktarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Yoğunluk hesaplamaları incelendiğinde artan vermikülit miktarına bağlı olarak yoğunluğun düştüğü tespit edilmiştir. Yoğunluktaki bu düşüşün sebebinin artan boşluk miktarına bağlı olan hacimsel genleşmedeki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan test sonuçları birbirlerini destekler niteliktedir.

Öğütülmüş ve öğütülmemiş vermikülit katılan numunelerin basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında öğütülmemiş vermikülit katılan numunenin basınç dayanımının, öğütülmüş vermikülit katılan numunenin basınç dayanımından daha düşük olduğu gözlenmiştir. Tabakalı yapıda olan vermikülitin öğütülmesiyle bu tabakalar arasındaki boşlukların giderilmesinden dolayı öğütülmüş vermikülit ile hazırlanan numunenin basınç dayanımının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Su emme testi sonuçları incelendiğinde öğütülmemiş vermikülit ile hazırlanan numunenin su tutma kapasitesinin, öğütülmüş vermikülit ile hazırlanan numunenin su tutma kapasitesinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun, vermikülitin öğütülmesi ile tabakalar arasındaki boşlukların giderilmesi sonucundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde, bu boşluklardan dolayı öğütülmemiş vermikülit ile hazırlanan numunelerin hacimsel genleşme oranı, öğütülmüş vermikülit ile hazırlanan numunelerin hacimsel genleşme oranından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak öğütülmemiş vermikülit ile hazırlanan numunelerin yoğunluklarının, öğütülmüş vermikülit ile hazırlanan numunelerin yoğunluklarından daha düşük olduğu gözlenmiştir.

NaOH ile hazırlanan reçetelere ait numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde artan NaOH miktarı ile basınç dayanımının azaldığı gözlenmiştir. Bu azalmanın, artan hidroksit miktarıyla beraber yapıda oluşan gözenekliliğin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yapıda artış gösteren Na miktarından dolayı camsı fazın artış göstermiş olabileceği ve bunun da mukavemeti düşürebileceği düşünülmektedir. Su emme test sonuçları incelendiğinde %2 NaOH katılan numunelerin su tutma kapasitelerinin %1 NaOH içeren numunelerin su tutma kapasitelerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu artışın sebebinin artan hidroksit miktarı ile yapıda oluşan

kabarcıklardan olduğu düşünölmüştür. %3 NaOH içeren numunelerin su tutma kapasitelerinin diğeri iki numuneye göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. %3 NaOH içeren numunede Na miktarının artması ile yapıda oluşan camsı fazın gözenekleri doldurması sonucu su tutma kapasitesinin azaldığı düşünölmektedir. Yoğunluk hesaplamaları da %3 NaOH içeren numunenin daha yoğun olduğunu göstermiştir. Bu iki sonuç birbirleri ile uyum içindedir.

Hacimsel genişleme sonuçları incelendiğinde genel olarak artan NaOH miktarı ile yapıdaki Na oranı artacağından camsı fazın artmış olabileceği ve daha yoğun bir yapı oluşabileceği düşünölmüştür.

3.2. ÖNERİLER

S serisi numunelerinde artan ve azalan NaOH miktarına göre su tutma kapasiteleri ile ilgili daha detaylı çalışmalar yapılabilir. Benzer şekilde numunelerde artan ve azalan NaOH miktarına bağılı olarak hacimsel genişleme oranlarıyla ilgili ve yoğunluk değişimleri ile ilgili de daha kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Arıyürek, M. (2021). *Bazı süstaşlarının imitasyonlarının yapımı, karakterizasyonları ve ekonomik analizleri* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya.
- Arslan M. A. ve Aktaş M. (2018). İnşaat sektöründe kullanılan yalıtım malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı açısından değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 299-320.
- Arslanbaba, M. (2015). *Kütahya Kırgıllı tüflerinin karakterizasyonu* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Atakorkut, Ö. (2023). *Marmara Bölgesi topraklarının toprak sıcaklığı ve toprak nem rejimlerinin belirlenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Atalay, İ., Altunbaş, S., Coşkun, M. ve Şiler, M. (2020). *Taşların ekolojisi ile topografyanın toprak oluşumu, tarım ve ormancılık açısından önemi*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Atalay, İ., Sezer, L. İ., Temuçin, E., Işık, Ş., Mutluer, M. (1990). Ege bölümü'nde toprak oluşumunu etkileyen faktörler. *Ege Coğrafya Dergisi*, 5, 32-43.
- Bayırlı, M. ve Pekin, A. (2013). Volkanik tüf yüzeyi gözeneklerinin özelliklerinin birikinti geometrisi kullanarak incelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(2), 66-72.
- Bharti, R., Shobharam, Gautam M. & Prabhakar V. (2020). Review: An overview of geopolymer concrete. *International Journal of Technical Research & Science*, V(X), 2454- 2024.
- Bilici, H. (2017). *Aşırı konsolide killerin dayanım özellikleri* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Bolat, İ. (2021). *Toprak strüktürü, strüktürün sınıflandırılması ve toprak strüktürünün önemi: Ziraat, orman ve su ürünlerinde araştırma ve değerlendirmeler*. Ankara: Gece Kitaplığı Yayınevi.

- Can, R. (2020). *Genleştirilmiş kil agregaları ile hazırlanan kompozit malzemelerin geoteknik uygulamalarda kullanılabilirliği* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Cengiz, O. ve Kuşcu, M. (2010). Anamas dağları Isparta terra rossalarının tuğla kiremit üretiminde kullanılabilirliği. *Kil Bilimi ve Teknoloji Dergisi-Kibited*, 1(4), 287-299.
- Çankaya, N. ve Sökmen, Ö. (2017). Biyopolimerler ve montmorillonit kil nanokompozitleri. *Politeknik Dergisi*, 20(3), 663-673.
- Çekil, K. (2022). *Mikroalga sinterleme ile agrega üretimi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya.
- Çoban, G. S. (2021). Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisi kendini gerçekleştirme basamağında gizil yetenekler. *European Journal of Educational and Social Sciences*, 6(1), 111 – 118.
- Dikici, T. (2010). *Taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Duman, O. ve Tunç, S. (2008). Electrokinetic properties of vermiculite and expanded vermiculite: Effects of pH, clay concentration and mono- and multivalent electrolytes. *Separation Science and Technology*, 43, 3755–3776.
- Dündar, Ö. (2019). *Safranbolu Havzası'nda güncel ve paleosol toprakların belirlenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük.
- Eti maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. (2019). *Borik asit*. Erişim adresi: <https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/March2019/1-borik-asit1.pdf>
- Fox, A. (2021, 20 Aralık). *Roma'nın anıtları nasıl hala ayakta?* Retrieved from: <https://www.bbc.com/travel/article/20211213-how-are-romes-monuments-still-standing>
- Geçten, O. ve Gül, R. (2019). Hafif ve normal agregalı betonlarda atmosferik kürün su emme, rötre ve ısı iletkenliği üzerine etkileri. *Tübbas Bilim Dergisi*, 12(3), 20-31.

- Gör, M., Aksoy, H. S. ve Bilgen, G. (2012). Farklı katkı malzemelerinin kil bir zeminin kıvam limitleri üzerinde zamana bağlı etkisi. 15. Ulusal Kil Sempozyumu, Niğde, Türkiye, 19-22. <http://kilbilimleri.org/project/ulusal-kil-sempozyumu-2012/>
- Gündüz, L., Bekar M. ve Şapcı N. (2006). Genleşen killerin doğal yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi. Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu, Denizli, Türkiye, 465-476. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pomzamer.sdu.edu.tr/assets/uploads/sites/98/files/denizlimuhjeolojisisemp-28092012.pdf](https://pomzamer.sdu.edu.tr/assets/uploads/sites/98/files/denizlimuhjeolojisisemp-28092012.pdf)
- Gürü, M., Akyüz, Y. ve Akın, E. (2005). Mermer tozu/polyester kompozitlerde dolgu oranının mekanik özelliklere etkileri. *Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic*, 8(3), 271-274.
- Hakımı, T. (2022). *Sarıkavak (Çamlıyayla-Mersin) yöresindeki terra rossa oluşuklarının mineralojik, jeokimyasal ve kökensel özelliklerinin incelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Hidromorfik Toprak. (2023, 27 Şubat). Erişim adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Hidromorfik>
- Toprak Sınıflandırması. (2019, 9 Aralık). Erişim adresi: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/121801/mod_resource/content/0/Konu%2012.pdf
- İskenderoğlu, A. (2020). Terra Rossa oluşumlarının CBS uygulamaları ile değerlendirilmesi, Akseki (Antalya) örneği. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11(1), 271-282.
- Kabay, N. (2009). *Hafif agregalı betonun boşluk yapısının mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kalem, M. ve Harmancı, F. N. (2022). Betonda atık vermikülit kullanımının betonun mineralojik ve kimyasal yapısına olan etkisinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(3), 848-863.
- Kalpıklı, Y., Topal, A. ve Balkan A. (2022). *Killer, modifikasyon yöntemleri ve asit aktivasyonu*. Ankara: İksad Yayıncılık.

- Khale, D. & Chaudhary, R. (2007). Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: A review. *J Mater Sci*, 42, 729–746.
- Kılıcı, S. (2011). *Borik asidin dehidratasyonu* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kılıçaltan, S. ve Demir, U. (2022). Çanakkale Ayvacık volkanik tüfünün hafif yapı malzemesi üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 201-210.
- Kil. (2022, 6 Ekim) Erişim Adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kil#:~:text=5%20Kaynak%C3%A7a-,Kilin%20%C3%B6zellikleri,kohezyon%2C%20renk%2C%20r%C3%B6tre%20%C3%B6zellikleridir.>
- Kolancılar, H. (2016). Toprakta gelen katalizör: montmorillonit. *Trakya Üniversitesi Journal of Natural Sciences*, 14(1), 43-59.
- Koroğlu, Ç. (2007). *Ağaçlı-Bolluca (İstanbul) yöresi seramik kilerinin malzeme özelliklerinin araştırılması* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Küçüküysal, C. (2018). Muğla polyesi kırmızı Akdeniz toprakları (terra rossa): mineralojik, mikromorfolojik, jeokimyasal ve pedolojik özellikleri. TÜBİTAK. <https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/617844/mugla-polyesi-kirmizi-akdeniz-topraklari-terra-rossa-mineralojik-mikromorfolojik-jeokimyasal-ve-pedolojik-ozellikleri>
- Marcos, C. & Rodríguez, I. (2011). Expansibility of vermiculites irradiated with microwaves. *Applied Clay Science*, 51, 33–37.
- Mercan, C. (2020). *Alkaliler, uçucu kül ve sinterlemenin hafif agrega üretimine etkisi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Ödemiş, M. (2023). *Mevsimsel donma bölgelerinde geotekstil, atık mermer tozu ve kombinasyonlarının zeminlerin dayanım özellikleri üzerinde etkilerinin incelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- Özcan, F. ve Akçaözoğlu K. (2018). Hava sürüklenmiş betonların ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 716-724.
- Ramos, J. P. (2012). Effect of calcium oxide microstructure on the diffusion of isotopes. (Unpublished Master's Dissertation). Universidade de Aveiro, Portugal.
- Sezer, F. (2021). *Mineraller ve endüstriyel atıkların sinterlenmesi ile hafif agrega üretilmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kütahya.
- Subaşı, S. ve Kap, T. (2009). Genleştirilmiş kil agregalı hafif beton kullanımının yapı davranışı ve kaba yapı maliyetine etkisi. *Technological Applied Sciences*, 4(1), 48-54.
- Şengöz, T. E. (2006-2019). Killerin kullanım alanları, killerin mühendislik özellikleri ve imara esas jeolojik-jeoteknik etüt çalışmalarında killerin önemi. Erişim adresi: https://www.researchgate.net/publication/355157914_Killerin_Kullanim_Alanlari_Killerin_Muhendislik_Ozellikleri_ve_Imara_Esas_Jeolojik-Jeoteknik_Etut_Calismalarinda_Killerin_Onemi_C_Copyright_by_Turkay_Ercan_Sengoz
- Şeref, S. (2020, 24 Ocak). *Yerleşik hayata geçişin başlangıcı ve tarım devrimi*. Erişim Adresi: <https://medyaveiletisim.kulup.tau.edu.tr/yerlesik-hayata-gecis-tarim-devrimi/>
- Taşdemir, C. (2003). Hafif betonların ısı yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 427, 57-61.
- Taşpolat, L. T., Zorluer, İ. ve Koyuncu, H. (2006). Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarda donma- çözölmeye etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2), 11 – 16.
- Tatar, E. (2014). *Mermer tozu katkı ı yalıtım levhası yapıştırma harçlarının performanslarının incelenmesi* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon.
- Topçu, İ. B. ve Bahadır ılı, T. (2010). Ferrocementin gemi ve teknelerde kullanımı. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 49-62.

Vermikülit. (2020). Erişim adresi: <https://serakulit.com/serakulit-katalog-2020.pdf>

Yolcu, C. ve Girgin, Z. C. (2018). Dünyada yapay hafif agregalı yapısal beton uygulamaları ve doğal pomza agreganın kullanılabilirliği. *Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 1(2), 59-67.



DİZİN

A

agrega 12, 14, 15, 17, 20, 40, 42
 agregat 4
 Ayasofya 11

B

beton 12, 13, 14, 15, 17, 44
 borik asit , 2, 20, 24, 25, 33, 35

Ç

çernezyom topraklar 6

H

hafif agrega.. 1, 2, 12, 13, 20, 42, 43, 44
 hafif beton 11, 14, 15, 16, 40, 43

K

kaolen 8, 11
 kaolonit 8, 9
 kırmızı toprak , 2, 20, 24, 25
 kil 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 40,
 41, 43
 Kollezyum 11

L

Laterit topraklar 6

M

mermer tozu , 1, 2, 20, 22, 24, 25, 33,
 36, 42, 43
 montmorillonit 8, 9, 40, 42

O

oktahedral tabakalar 21

P

Panteon tapınağı 11
 perlit 13
 podzolik topraklar 6
 pomza taşı 12

R

rötre 10, 14, 18, 40

S

sodyum hidroksit , 2, 20, 24, 25

Ş

şist 12, 13

T

terra rossa toprak 5, 6
 tetrahedral tabakalar 21
 toprak , 4, 5, 7, 8, 20, 39
 toprak strüktürü 39
 tüf., 2, 12, 13, 20, 22, 24, 25, 33, 35, 39

U

uçucu kül 13, 42

V

vermikülit , 2, 20, 21, 24, 25, 33, 36, 37,
 41
 vertisol toprak 7

Y

yüksek fırın cürufu 13

Z

zonal topraklar 5