

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

**ENDÜSTRİYEL ATIK KATKILI KENDİLİĞİNDEN
YERLEŞEN HAFİF BETON ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN
ARAŞTIRILMASI**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2017

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENDÜSTRİYEL ATIK KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF
BETON ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

DOKTORA TEZİ

Bu Tez 21/12/2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul Edilmiştir

.....
Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Suphi URAL
ÜYE

.....
Doç. Dr. Tolga DEPCİ
ÜYE

.....
Doç. Dr. Soner GÜLER
ÜYE

.....
Yrd. Doç Dr. Baki BAĞRIAÇIK
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: MMF2010D20

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

ENDÜSTRİYEL ATIK KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HAFİF BETON ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ
Yıl: 2017, Sayfa: 251
Jüri : Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ
: Doç. Dr. Tolga DEPCI
: Doç. Dr. Soner GÜLER
: Yrd. Doç. Dr. Baki BAĞRIAÇIK

Sanayileşmenin gelişmesine paralel olarak endüstriyel atık miktarlarında da artış olmaktadır. Endüstriyel atıkların neden olduğu çevresel ve ekonomik problemleri çözmek için bu atıkların farklı kullanım alanları araştırılmalıdır. Bu bağlamda, bu çalışmanın asıl amacı endüstriyel atık katkılı kendiliğinden yerleşen hafif betonların üretilebilirliğini araştırmaktır. Kendiliğinden yerleşen hafif betonların (KYHB) üretiminde, mineral katkı olarak mermer tozu, granit tozu, bazalt tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru gibi endüstriyel atıklar kullanılırken, agrega olarak Van yöresi pomzası kullanılmıştır. Endüstriyel atıklar KYHB karışımlarına ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında çimento ile ikame edilen oranlarda katılmıştır. Ek olarak, KYHB'lerin taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri incelenmiştir. Taze beton özelliklerini belirlemek için; birim hacim ağırlık, çökme-yayılma, V hunisi ve L kutusu ve U kutusu deneyleri yapılırken sertleşmiş beton özelliklerini belirlemek için, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultra ses geçiş hızı, kapiler su emme, ısı iletkenlik ve kuru birim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, betonlar 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklara maruz bırakılarak sertleşmiş KYHB'nin yüksek sıcaklık etkisi de araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, endüstriyel atıkların hepsinin %10 oranına kadar çimento ile yer değiştirilerek, KYHB üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bu çalışma, endüstriyel atıkların KYHB üretimine pozitif katkısını kanıtlayarak bu atıkların sebep olduğu çevresel problemleri azaltmadaki rolünü ve atık kullanımının ekonomik faydalarını vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Atıklar, Pomza, Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton, Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri

ABSTRACT

PhD THESIS

THE INVESTIGATION OF PRODUCIBILITY SELF COMPACTING LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH INDUSTRIAL WASTES ADDITIVES

Zehra Funda TRKMEENOĞLU

**ĐUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ
Year: 2017, Pages: 251
Jury : Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Ahmet M. KILIÇ
: Assoc. Prof. Dr. Tolga DEPCI
: Assoc. Prof. Dr. Soner GÜLER
: Asst. Prof. Dr. Baki BAĞRIAĞIK

The amount of industrial waste has been increasing due to the development of industrialization. The use of the industrial waste in different areas should be investigated in order to solve the environmental and economic problems caused by these waste. In this respect, the main aim of this study is to investigate the producibility of self-compacting lightweight concrete (SCLC) containing an admixture of industrial waste. In the production of SCLC, while marble, granite, basalt dusts, fly ash and filter cake waste of a sugar factory were used as mineral admixture, pumices of Van region were used as aggregates. SCLC mixtures were produced by replacing industrial waste with the cement at the ratios of 0%, 10%, 20% and 30% by weight. In addition, fresh and hardened properties of SCLC were examined. In order to determine the properties of fresh SCLC, unit volume weight, slump-flow, T_{50} , V-funnel, L-box and U-box tests were conducted, while compressive strength, splitting tensile strength, ultrasonic pulse velocity, capillary water absorption, thermal conductivity and dry unit weight tests were performed to determine the properties of hardened SCLC. Furthermore, hardened samples were exposed to the temperatures of 300°C, 600°C and 900°C to determine the effects of high temperature on the samples. As a result of the experiments, it was found that industrial wastes could be used for the production of SCLC by replacing all of them with cement up to a ratio of 10%. This study emphasizes the role of usage of industrial waste in the production SCLC in the reduction of environmental problems caused by these waste and the economic benefits of its usage.

Key Words: Industrial Wastes, Pumice, Self Compacting Lightweight Concrete, Fresh and Hardened Concrete Properties

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Endüstri tesislerinden kaynaklanan atık miktarı, sanayinin gelişmesine paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Atık miktarlarındaki artış, çevresel ve ekonomik açıdan birçok probleme neden olmaktadır. Bu problemlerin çözülmesine yönelik yapılan çalışmalar sonucu atık yönetimi kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavrama göre, bir atığın oluşumundan bertarafına kadar geçen süreçte, çevre ve insan sağlığını olumsuz etkilemeyecek şekilde yönetimi sağlanmalıdır. Atığın yönetimi süreci, atığın oluşumun önlenmesi, azaltılması, yeniden kullanımı ve geri dönüşümü gibi yollar ile sağlanabilmektedir.

Ülkemizde endüstri tesislerinden her yıl ortaya tonlarca atık ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu atıkların birçoğunun ekonomik değeri bulunmaktadır. Atık ortaya çıkan endüstrilerden birisi de mermer endüstrisileridir. Mermer işleme tesislerinde, işlenen mermerlerin yaklaşık olarak %70'ini mermer atıkları oluşturmaktadır. Bir diğer endüstri ise termik santrallerdir. Termik santraller, elektrik enerjisinin önemli bir bölümünün üretildiği tesislerdir. Bu tesislerde, elektrik enerjisi üretimi sırasında taşkömürü ve linyit gibi doğal kaynaklar kullanılmakta ve uçucu kül adı verilen atıklar ortaya çıkmaktadır. Bu tesislerden başka, atık üretimin söz konusu olduğu bir diğer tesis ise şeker endüstrileridir. Şeker üretim tesislerinde, şeker dışı maddelerin uzaklaştırılması amacı ile şerbete kireç sütü katılmaktadır. Şerbete katılan kireç sütünün fazlası, karbondioksit gazı kullanılarak kalsiyum karbonat olarak çöktürülmektedir. Çöktürme işlemi sonrasında şerbet süzülerek içerisindeki çamur uzaklaştırılır. Şeker üretimi sonrasında yüksek oranda CaO içeriğine sahip atık çamurlar ortaya çıkmaktadır. Ekonomik değeri olan bu atıkların değerlendirilmesinin, ülkemiz kaynaklarının kullanımı açısından önemi büyüktür.

Endüstriyel atıkların değerlendirilmesi ile ilgili yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde, atıkların inşaat sektöründe beton üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabileceği ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Genel olarak beton

üretiminde, betonun işlenilebilirliğini ve dayanımını arttırmak ve beton maliyetini düşürmek amacıyla katkılar kullanılmaktadır. Bu katkılar, betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemede önemli bir role sahiptirler.

Tez çalışmasında, Van yöresi pomzası ve endüstriyel atık katkıları kullanılarak kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilebilirliği araştırılmıştır. Çalışmada mineral katkı olarak mermer tozu, granit tozu, bazalt tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru gibi endüstriyel atıklar kullanılarak, kendiliğinden yerleşen hafif betonlar üretilmiş ve üretilen betonların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri araştırılmıştır. Van ili pomza yatakları açısından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Ayrıca, kendiliğinden yerleşen hafif betonlarda kullanılan endüstriyel atıklar, Van ilinde bulunan mermer işleme tesis ve atölyelerinden temin edilmiştir. Yine çalışmada İske Su Gözü termik santral atığı olan uçucu kül ve Van Erciş Şeker fabrikası filtre çamuru kullanılmıştır. Bu atıkların ortak özellikleri hepsinin endüstriyel atık olması ve uçucu kül hariç diğerlerinin Van ilinde bulunmasıdır. Çalışmanın, ilk aşamasında kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan, malzemelerin karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Malzeme özelliklerinin belirlenmesinde; X-Işınları Flüoresans Spektroskopisi (XRF) analizi, X-Işınları Toz Kırınım Difraktometresi (XRD) analizi, Diferansiyel Termal Analiz (DTA) – Termogravimetrik Analiz (TGA), Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) analizi, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizi gibi kimyasal analizlerden ve elek analizi, petrografik analiz, özgül ağırlık, su emme ve gevşek birim hacim ağırlık gibi fiziksel analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır. Malzeme özellikleri belirlendikten sonra hafif beton üretiminde kullanılacak malzeme oranlarının belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada; kendiliğinden yerleşen beton klavuzu ve literatür çalışmalarından faydalanılmıştır. Beton karışım oranlarının nihai hale dönüştürülmesi için pek çok deneme karışımı yapılmıştır. Deneme karışımları neticesinde, beton karışımında kullanılan bileşenlerin (agrega, su ve akışkanlaştırıcı vb.) optimum miktarı belirlenmiştir. Bu denemeler esnasında karışımların genel olarak çökme yayılma, segregasyon,

stabilite ve terleme durumları incelenmiştir. En uygun karışım oranlarının belirlenmesinden sonra nihai karışım reçetesi hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında beş farklı endüstriyel atık kullanılarak, biri kontrol olmak üzere toplam 16 KYHB karışımı hazırlanmıştır. Beton karışımlarında endüstriyel atıklar, ağırlıkça çimento ile %10, %20 ve %30 oranında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Hazırlanan karışım reçetelerine göre, kendiliğinden yerleşen hafif betonlar üretilmiştir. Üretilen taze betonlar üzerinde; çökme-yayılma, V hunisi, L kutusu, U kutusu ve yoğunluk deneyleri gerçekleştirilmiştir. Taze beton deney sonuçları, EFNARC'ın 2005 yılında yayımladığı raporda yer alan KYB (kendiliğinden yerleşen beton) genel kabul kriterleri ile karşılaştırılmış ve uygun aralıklarda değerler alan KYB'ler, sertleşmiş beton deneyleri yapmak üzere kalıplara konulmuştur. Sertleşmiş betonlar üzerinde; kuru birim ağırlık, su emme, kapiler su emme, ultra ses geçiş hızı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ısı iletkenlik, deneyleri yapılmıştır. Endüstriyel atık katkı oranlarının, KYHB özelliklerinin mikroyapısı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacı ile de sertleşmiş betonlar üzerinde, X-Işınları Toz Kırınım Difraktometresi (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), Diferansiyel Termal Analiz - Termogravimetrik Analiz (DTA-TGA) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yüksek sıcaklığın etkisinin belirlenmesi amacıyla, kendiliğinden yerleşen hafif beton numuneleri 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklara maruz bırakılarak, ağırlık ve basınç dayanımı kayıpları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan endüstriyel atıkların, KYHB özellikleri üzerindeki etkileri bir bütün olarak değerlendirildiğinde, tüm endüstriyel atıkların çimento ile %10 oranına yer değiştirilebileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışma sonucunda, farklı endüstrilere ait atıkların kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde değerlendirilebileceği belirlenmiş olup, genelde ülke ekonomisine özelde ise deprem sonrası kalkınmaya çalışan Van ilinin ekonomisine katkı sağlamak ve ayrıca atıkların değerlendirilmesi ve bertarafı ile de çevreye karşı duyarlı olmak amaçlanmıştır.



TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamın her aşamasında yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren Danışmanım Sayın Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmamı değerli önerileri ile güçlendiren hocam Sayın Doç Dr. Tolga DEPCI'ye katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez izleme komitesinde yer alan ve fikir ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, Sayın Prof. Dr. Mesut ANIL'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, doktora tez jürimde bulunan ve katkı sağlayan saygıdeğer hocalarım Sayın Prof. Dr. Suphi URAL'a, Sayın Doç. Dr. Soner GÜLER'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Baki BAĞRIAÇIK'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarında destek ve yardımlarını esirgemeyen, Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Esma KAHRAMAN'a ve Arş. Gör. Dr. Mahmut ALTINER'e teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında kullandığım pomzasının teminini sağlayan Termo Blok Bims A.Ş.'ye, beton kimyasal katkısının teminini sağlayan BASF Türk Kimya Sanayi Tic. Ltd. Şti.'ne ve çimento'nun teminini sağlayan Van Aşkale Çimento Sanayi A.Ş.'ye ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmamı maddi olarak destekleyen, Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje no: MMF2013D20) teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli eşim Yrd. Doç. Dr. Mehmet TÜRKMENOĞLU'na, biricik kızım Buse TÜRKMENOĞLU'na, tüm aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XVI
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XXII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER	13
3.1. Hafif Betonun Tanımı ve Tarihsel Gelişi.....	13
3.1.1. Hafif Betonların Özellikleri	13
3.1.2. Hafif Betonların Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları.....	15
3.1.3. Hafif Betonların Tasarım Yöntemleri	17
3.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton	18
3.2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı ve Tarihsel Gelişimi	18
3.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Bileşiminde Kullanılan	
Malzemeler.....	18
3.2.2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Çimento.....	19
3.2.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Mineral	
Katkılar.....	19
3.2.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Agrega	21
3.2.2.4. Kimyasal Beton Katkıları.....	23
3.2.2.5. Hava Sürükleyici Katkıları.....	25
3.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Tasarım Yöntemleri.....	25
3.2.3.1. Toz Tipi Metodu.....	26

3.2.3.2. Stabilizatör Tipi Metodu	26
3.2.3.3. Kombinasyon Metodu	26
3.2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Haldeki Özellikleri	27
3.2.4.1. Doldurma Yeteneği	28
3.2.4.2. Geçiş Yeteneği	29
3.2.4.3. Ayırmaya Karşı Direç	29
3.2.5. Kendiliğinden Yerleşen Taze Betonun Sınıflandırılması	29
3.2.6. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Kullanım Yerleri	31
3.2.7. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kullanmanın Avantaj ve Dezavantajları	34
3.3. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton	35
3.4. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonun Maliyeti	35
4. ÇALIŞILAN MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ	39
4.1. Pomza	39
4.1.1. Pomzanın Tanımı ve Genel Yapısı	39
4.1.2. Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	39
4.1.3. Pomzanın Oluşumu	41
4.1.4. Pomza Üretim Yöntemleri	41
4.1.5. Dünya ve Türkiye Pomza Rezervleri ve Üretimi	44
4.2. Çalışmada Kullanılan Endüstriyel Atıklar	45
4.2.1. Mermer Endüstrisi Atıkları	46
4.2.1.1. Mermer Atıklarının Tanımı ve Genel Yapısı	47
4.2.1.2. Mermer Atık Miktarları	48
4.2.1.3. Mermer Atıklarının Kullanım Alanları	48
4.2.2. Termik Santral Atıkları	51
4.2.2.1. Uçucu Küllerin Tanımı ve Genel Yapısı	52
4.2.2.2. Uçucu Kül Atık Miktarları	52
4.2.2.3. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları	53
4.2.3. Şeker Fabrikası Atıkları	55

4.2.2.1. Şeker Fabrikası Atıklarının Tanımı ve Genel Yapısı	55
4.2.2.2. Şeker Fabrikası Atık Miktarları.....	57
4.2.2.3. Şeker Fabrikası Atık Kullanım Alanları.....	58
5. MATERYAL VE METOD	59
5.1. Materyal	59
5.1.1. Kullanılan Malzemeler Hakkında Bilgiler	59
5.1.1.1. Van (Erciş-Kocapınar) Pomzası.....	59
5.1.1.2. Mermer Tozu.....	63
5.1.1.3. Bazalt Tozu	64
5.1.1.4. Granit Tozu	65
5.1.1.5. Uçucu Kül	65
5.1.1.6. Şeker Fabrikası Filtre çamuru	65
5.1.1.7. Çimento	66
5.1.1.8. Akışkanlaştırıcı ve Hava Sürükleyici Katkı	66
5.1.1.9. Su.....	67
5.1.2. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar	67
5.1.2.1. Beton Mikseri.....	67
5.1.2.2. Slump Hunisi	68
5.1.2.3. V Hunisi	68
5.1.2.4. L Kutusu.....	69
5.1.2.5. U Kutusu..	69
5.1.2.6. Kalıplar.....	70
5.1.2.7. Kür Havuzu	70
5.1.2.8. Ultra Ses Geçiş Hızı Cihazı	70
5.1.2.9. Basınç Dayanım Cihazı.....	71
5.1.2.10. Yarmada Çekme Dayanım Cihazı.....	72
5.1.2.11. Isı İletkenlik Ölçüm Cihazı	72
5.1.2.12. X-Işınları Toz Kırınım Difraktometresi Analiz Cihazı	73
5.1.2.13. Tane Büyüklüğü Dağılım Cihazı.....	74

5.1.2.14. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	74
5.1.2.15. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetrik Analiz (TGA).....	74
5.1.2.16. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi	74
5.2. Metod	75
5.2.1. MalzemelereYapılan Analizler	77
5.2.1.1. Kimyasal Analiz.....	77
5.2.1.2. Elek Analizi.....	78
5.2.1.3. Gevşek Birim Ağırlık	80
5.2.1.4. Su Emme Deneyi.....	80
5.2.1.5. Özgül Ağırlık Faktörü	81
5.2.1.6. Organik Madde İçeriği	81
5.2.1.7. Puzolanik Aktivite Deneyi	82
5.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Karışım Hesap ve Üretimleri.....	82
5.2.2.1. Karışımında Kullanılacak Agrega Boyut ve Oranlarının Belirlenmesi	83
5.2.2.2. Karışımında Kullanılacak Çimento Miktarının Belirlenmesi.....	83
5.2.2.3. Karışımında Kullanılacak Mineral Katkı Oran ve Özellikleri	84
5.2.2.4. Karışımında Kullanılacak Su/Çimento Oranının Belirlenmesi	84
5.2.2.5. Karışımında Kullanılacak Kimyasal Katkı Oranlarının Belirlenmesi	85
5.2.2.6. Kontrol Beton Karışım Hesabı.....	85
5.2.2.7. Endüstriyel Atık Katkılı Betonların Karışım Hesabı.....	85
5.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Üretimi	88
5.2.4. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Deneylerinde Kullanılan Numune Sayı ve Boyutları	
5.2.5. Taze Beton Deneyleri.....	90
5.2.5.1. Çökme Yayılma Deneyi	90
5.2.5.2. V Hunisi	91

5.2.5.3. L Kutusu.....	92
5.2.5.4. U Kutusu	92
5.2.5.5. Taze Beton Yoğunluk Deneyi	93
5.2.6. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	94
5.2.6.1. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini	94
5.2.6.2. Su Emme Deneyi.....	94
5.2.6.3. Kapiler Su Emme Deneyi.....	95
5.2.6.4. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi	96
5.2.6.5. Basınç Dayanımı Deneyi.....	96
5.2.6.6. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi.....	97
5.2.6.7. Isı İletkenlik Deneyi	94
5.2.6.8. Yüksek Sıcaklık Deneyi	98
5.2.6.9. X-Işınları Toz Kırınım Difraktometresi Analizi	99
5.2.6.10. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	98
5.2.6.11. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi.....	99
5.2.6.12. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetrik Analiz (TGA).....	99
6. ARAŞTIRMA BULGULARI	101
6.1. Malzemelere Ait Deney Sonuçları	101
6.1.1. Kimyasal Analiz Sonuçları.....	101
6.1.2. X-Işınları Toz Kırınım Difraktometresi Analiz Sonuçları	105
6.1.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları	109
6.1.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analiz Sonuçları.	110
6.1.5. Malzeme Fiziksel Özellikleri	115
6.1.5.1. Gevşek Birim Ağırlık.....	115
6.1.5.2. Özgül Ağırlık Faktörü ve Su Emme Oranı Deney Sonuçları	116
6.1.5.3. Elek Analizleri ve Tane Boyut Dağılımları.....	118
6.1.5.4. Organik Madde İçeriği	121
6.1.5.5. Puzolanik Aktivite Deney Sonuçları	122

6.2. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme	
Miktarları...	122
6.3. Taze Betonlara Ait Deney Sonuçları	124
6.3.1. Çökme Yayılma Deney Sonuçları	127
6.3.2. V Hunisi Deney Sonuçları	132
6.3.3. L Kutusu Deney Sonuçları	134
6.3.4. U Kutusu Deney Sonuçları	135
6.3.5. KYB'lerin Taze Beton Birim Ağırlıkları	137
6.4. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	137
6.4.1. Fiziksel Deney Sonuçları	137
6.4.1.1. Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları	137
6.4.1.2. Su Emme Oranı Deney Sonuçları	138
6.4.1.3. Kapiler Su Emme Deney Sonuçları	139
6.4.1.3. Ultra Ses Geçiş Hızı Deney Sonuçları	141
6.4.2. Mekanik Deneyler	143
6.4.2.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	143
6.4.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları	149
6.4.3. Isı İletkenlik Katsayısı Deney Sonuçları	151
6.4.4. X-Işınları Toz Kırınım Difraktometresi (XRD) Analiz Sonuçları	154
6.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları	158
6.4.6. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analiz Sonuçları	163
6.4.7. Diferansiyel Termal Analiz ve Termogravimetrik Analiz (DTA-TGA) Sonuçları	170
6.4.8. Yüksek Sıcaklık Deney Sonuçları	177
6.4.8.1. Yüksek Sıcaklığın KYHB'nin Görünüş ve Ağırlığına Etkisi	177
6.4.8.2. Yüksek Sıcaklığın Beton Basınç Dayanımına Etkisi	180
6.5. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Maliyet Analizi	182
6.6. Endüstriyel Atık Katkılı KYHB'lerin Genel Değerlendirilmesi	184

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	187
KAYNAKLAR.....	191
ÖZGEÇMİŞ.....	229
EKLER	230





ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1.	Hafif betonun birim hacim ağırlığına göre sınıflandırılması.....	15
Çizelge 3.2.	Hafif betonların 28 günlük basınç dayanım sınıfları.....	16
Çizelge 3.3.	Hafif betonların işlevlerine göre sınıflandırılması	17
Çizelge 3.4.	Mineral katkıları için sınıflandırması	20
Çizelge 3.5.	Geleneksel beton ve KYB için tipik tasarım parametreleri.....	26
Çizelge 3.6.	Kendiliğinden yerleşen beton karışım oranları için önerilen deney aralıkları.....	27
Çizelge 3.7.	KYB'ler için genel kabul kriterleri	30
Çizelge 3.8.	Çeşitli uygulama alanları için KYB'nin özellikleri.....	32
Çizelge 3.9.	Prefabrik olarak üretilen geleneksel betonla KYB arasında toplam maliyet karşılaştırılması	37
Çizelge 4.1.	Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri	40
Çizelge 4.2.	Asidik ve bazik pomzaların bileşimi	40
Çizelge 4.3.	Türkiye pomza rezerv dağılımı	42
Çizelge 4.4.	Dünya pomza üretimi	44
Çizelge 5.1.	TS 1114 EN 13055-1'de verilen hafif agregaların granülometrik özellikleri.....	79
Çizelge 5.2.	Hafif betonda kullanılan agregalar için elek analizi sınır değerleri.....	79
Çizelge 5.3.	Üretilen beton kodları ve açıklamaları	87
Çizelge 5.4.	Sertleşmiş beton deneyleri numune boyut, yaş ve sayıları.....	89
Çizelge 6.1.	Pomza agregasının kimyasal analiz sonucu	101
Çizelge 6.2.	Endüstriyel atık malzemelere ait kimyasal analiz sonuçları.....	102
Çizelge 6.3.	Çimentonun kimyasal özellikleri.....	104
Çizelge 6.4.	Kimyasal katkının özellikleri	104
Çizelge 6.5.	Pomza agregasının gevşek birim ağırlık deney sonuçları	115

Çizelge 6.6. Pomza agregalarının özgül ağırlık faktörü ve su emme oranı deney sonuçları.....	116
Çizelge 6.7. Endüstriyel atıkların özgül ağırlıkları.....	117
Çizelge 6.8. Çimentonun fiziksel özellikleri	117
Çizelge 6.9. Tüvenan Van pomzasının elek analiz değerleri.....	118
Çizelge 6.10. TS 706 EN 12620 standardı sınır değerleri ve kullanılan agrega miktarı	119
Çizelge 6.11. Çimento ve endüstriyel atıkların d10, d50 ve d90 değerleri.....	120
Çizelge 6.12. Uçucu kül, bazalt tozu ve granit tozu puzolanik aktivite deney sonuçları	122
Çizelge 6.13. Kendiliğinden yerleşen hafif betonların karışım miktarları	124
Çizelge 6.14. KYHB karışımların taze beton özellikleri.....	125
Çizelge 6.15. KYHB karışımlarının KYB genel kabul kriterlerine göre sınıflandırılması.....	136
Çizelge 6.16. Kuru birim ağırlık deney sonuçları	138
Çizelge 6.17. KYHB numunelerine ait kapiler su emme katsayıları ve su emme oranları.....	138
Çizelge 6.18. KYHB numunelerinin ultra ses geçiş hızı deney sonuçları.....	142
Çizelge 6.19. KYHB numunelerinin basınç dayanım deney sonuçları	149
Çizelge 6.20. KYHB numunelerinin yarmada çekme dayanım deney sonuçları	150
Çizelge 6.21. KYHB numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları.....	153
Çizelge 6.22. KYHB numunelerinin farklı sıcaklıklardaki ağırlık kayıpları.....	180
Çizelge 6.23. KYHB numunelerinin farklı sıcaklıklardaki basınç dayanım kayıpları.....	181
Çizelge 6.24. KYHB’de kullanılacak malzeme birim fiyatları	183
Çizelge 6.25. Kendiliğinden yerleşen hafif betonların maliyet analizi.....	184
Çizelge 6.26. Endüstriyel atık katkılarının KYHB özelliklerine etkisinin değerlendirilmesi	185

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Geleneksel betonla kendiliğinden yerleşen betonun karşılaştırılması	23
Şekil 3.2. Kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları	33
Şekil 4.1. Pomza görünümü.....	38
Şekil 4.2. Türkiyedeki pomza yatakları haritası	42
Şekil 4.3. Şeker üretim prosesi ve yan ürünler	55
Şekil 5.1. Van (Erciş-Kocapınar) jeoloji haritası.....	60
Şekil 5.2. Van (Erciş-Kocapınar) pomza sahası görünümü.....	61
Şekil 5.3. Van asidik pomzalarının görünümü	62
Şekil 5.4. Mermer çamurunun alındığı tesisden bir görünüm	63
Şekil 5.5. Mermer çamurunun laboratuarda kurutulma aşaması, kurutulmuş mermer tozu örneği	64
Şekil 5.6. Bazalt çamurununa ait görünüm, granit çamuruna ait görünüm	65
Şekil 5.7. Beton mikseri ve slump hunisi	68
Şekil 5.8. V hunisi, L kutusu ve U kutusu.....	69
Şekil 5.9. Küp kalıp 15x15x15 cm'lik, küp kalıp 10x10x10 cm'lik	70
Şekil 5.10. Kür havuzu	71
Şekil 5.11. Ultra ses geçiş hızı cihazı	71
Şekil 5.12. Basınç dayanım ve yarmada çekme dayanım cihazı	72
Şekil 5.13. Isı iletkenlik cihazı	73
Şekil 5.14. Kendiliğinden yerleşen beton üretim prosesi akım şeması	77
Şekil 5.15. Slump hunisi deney düzeneği.....	90
Şekil 5.16. V hunisi deney aparatı ve ölçüleri.....	91
Şekil 5.17. L kutusu deney aparatı ve ölçüleri.....	92
Şekil 5.18. U kutusu deney aparatı ve ölçüleri	93
Şekil 6.1. Pomza agregası XRD	105
Şekil 6.2. Mermer tozu XRD deseni.....	106

Şekil 6.3. Bazalt tozu XRD deseni	107
Şekil 6.4. Granit tozu XRD deseni	107
Şekil 6.5. Uçucu kül XRD deseni.....	108
Şekil 6.6. Şeker fabrikası filtre çamuru XRD deseni.....	108
Şekil 6.7. Pomza ve endüstriyel atık malzemelerine ait SEM görüntüleri	109
Şekil 6.8. Mermer tozu örneğinin FTIR spektrumu	111
Şekil 6.9. Bazalt tozu örneğinin FTIR spektrumu	111
Şekil 6.10. Granit tozu örneğinin FTIR spektrumu	112
Şekil 6.11. Uçucu kül örneğinin FTIR spektrumu.....	112
Şekil 6.12. Isıl işlem öncesi şeker fabrikası atık çamuru örneğinin FTIR spektrumu	113
Şekil 6.13. Şeker fabrikası filtre çamuru örneğinin FTIR görüntüsü	113
Şekil 6.14. Karışımda kullanılan agreganın granülometri eğrisi	119
Şekil 6.15. Endüstriyel atıklara ait tane boyut dağılım grafiği	120
Şekil 6.16. KYHB karışımlarının çökme yayılma çapı	127
Şekil 6.17. KYHB karışımlarının T50 yayılma süresi.....	130
Şekil 6.18. KYHB karışımlarının V hunisi akış süresi.....	132
Şekil 6.19. KYHB karışımlarının L kutusu geçiş oranı.....	134
Şekil 6.20. KYHB numunelerinin kapiler su emme katsayı sonuçları	140
Şekil 6.21. KYHB numunelerinin su emme oranları.....	141
Şekil 6.22. KYHB'lerin ultra ses geçiş hızı sonuçları	143
Şekil 6.23. 7 ve 28 günlük KYHB numunelerinin basınç dayanım grafiği	145
Şekil 6.24. 7 ve 28 günlük KYHB numunelerinin yarmada çekme dayanım grafiği	151
Şekil 6.25. KYHB numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları	154
Şekil 6.26. Mermer tozu katkılı beton numunelerine ait XRD desenleri	155
Şekil 6.27. Bazalt tozu katkılı beton numunelerine ait XRD desenleri	155
Şekil 6.28. Granit tozu katkılı beton numunelerine ait XRD desenleri	157
Şekil 6.29. Uçucu kül katkılı beton numunelerine ait XRD desenleri.....	157

Şekil 6.30. Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunelerine ait XRD desenleri.....	158
Şekil 6.31. Kontrol ve mermer tozu katkılı beton numunelerine ait SEM görüntüsü.....	159
Şekil 6.32. Kontrol ve bazalt tozu katkılı beton numunelerine ait SEM görüntüsü.....	160
Şekil 6.33. Kontrol ve granit tozu katkılı beton numunelerine ait SEM görüntüsü.....	161
Şekil 6.34. Kontrol ve uçucu kül katkılı beton numunelerine ait SEM görüntüsü.....	162
Şekil 6.35. Kontrol ve şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunelerine ait SEM görüntüsü.....	163
Şekil 6.36. Kontrol ve mermer tozu katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları.....	164
Şekil 6.37. Kontrol ve bazalt tozu katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları.....	165
Şekil 6.38. Kontrol ve granit tozu katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları.....	166
Şekil 6.39. Kontrol ve uçucu kül katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları.....	167
Şekil 6.40. Kontrol ve şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları	168
Şekil 6.41. Kontrol beton numunesi DTA-TGA dönüşüm eğrisi	170
Şekil 6.42. Mermer tozu katkılı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi.....	172
Şekil 6.43. Bazalt tozu katkılı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi	173
Şekil 6.44. Granit tozu katkılı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi	174
Şekil 6.45. Uçucu kül katkılı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi	175
Şekil 6.46. Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi	176

Şekil 6.47. Mermer ve granit tozu katkılı beton numunelerinde yüksek sıcaklık etkisi.....	178
Şekil 6.48. Granit ve uçucu kül katkılı beton numunelerinde yüksek sıcaklık etkisi	178
Şekil 6.49. Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunelerinde yüksek sıcaklık etkisi.....	179



SİMGELER VE KISALTMALAR

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Test ve Standart Oluşturma Birliği
BET	: Brunauer-Emmet-Teller Yöntemi
BHA	: Birim Hacim Ağırlık
BIBM	: Prefabrike Beton Üreticileri Birliği
CEB-FIB	: İsviçre Beton Standardı
CEMBUREU	: Avrupa Çimento Birliği
C ₂ S	: Dikalsiyum Silikat (Belit)
C ₃ A	: Trikalsiyum Alüminat
C ₃ S	: Trikalsiyum Silikat (Alit)
C ₄ AF	: Tetrakalsiyum Alüminaferrit (Ferrit)
CSH	: Kalsiyum Silika Hidrat
DIN	: Alman Standartları Enstitüsü
EFCA	: Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu
EFNARC	: Prefabrike Beton Üreticileri Birliği (BIBM), Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU), Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) ve Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) birleşerek, 2005 yılında oluşturdukları rapor
EN	: Avrupa Standartları
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
ERMCO	: Avrupa Hazır Beton Birliği
FTIR	: Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi
h ₁	: L Kutusu Bitiş Noktasındaki Taze Beton Yüksekliği

h ₂	: L Kutusu Başlangıç Noktasındaki Taze Beton Yüksekliği
K	: Kontrol Numunesi
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
KYHB	: Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton
MEGEP	: Milli Eğitim Bakanlığı Bireysel Öğrenme Modülü
MT10	: %10 Mermer Tozu Katkılı Numune
MT20	: %20 Mermer Tozu Katkılı Numune
MT30	: %30 Mermer Tozu Katkılı Numune
BT10	: %10 Bazalt Tozu Katkılı Numune
BT20	: %20 Bazalt Tozu Katkılı Numune
BT30	: %30 Bazalt Tozu Katkılı Numune
GT10	: %10 Granit Tozu Katkılı Numune
GT20	: %20 Granit Tozu Katkılı Numune
GT30	: %30 Granit Tozu Katkılı Numune
UK10	: %10 Uçucu Kül Katkılı Numune
UK20	: %20 Uçucu Kül Katkılı Numune
UK30	: %30 Uçucu Kül Katkılı Numune
ŞK10	: %10 Şeker Fabrikası Filtre çamuru Katkılı Numune
ŞK20	: %20 Şeker Fabrikası Filtre çamuru Katkılı Numune
ŞK30	: %30 Şeker Fabrikası Filtre çamuru Katkılı Numune
PA	: Geçebilme Yeteneği
SCC	: Self Compacting Concrete (Kendiliğinden Yerleşen Beton)
SCLC	: Self Compacting Lightweight Concrete (Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SF	: Akıcılık
SF1	: Kendiliğinden yerleşen beton kriterine göre 55-65 cm çökme yayılma değeri gösteren beton

SF2	: Kendiliğinden yerleşen beton kriterine göre 66-75 cm çökme yayılma değeri gösteren beton
SF3	: Kendiliğinden yerleşen beton kriterine göre 76-85 cm çökme yayılma değeri gösteren beton
SR	: Ayrışma Direnci
T ₅₀	: Taze Betonun 50 cm Çapa Yayılma Süresi
DTA-TGA	: Termogravimetrik Analiz-Diferansiyel Termal Analiz
THBB	: Türkiye Hafif Beton Birliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜRKŞEKER	: Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Şirketi
XRF	: X-Işınları Flüoresans Spektroskopisi
XRD	: X-Işınları Toz Kırınım Difraktometresi
VAK	: Viskozite Düzenleyici Katkı
VS	: Viskozite



1. GİRİŞ

Yapı sektöründe en yaygın kullanılan malzemelerinden birisi de beton'dur. Beton teknolojisinde yaşanan gelişmeler, özel betonlar adı altında bir araştırma alanı ortaya çıkmıştır. Bu betonlar, farklı kullanım alanlarındaki ihtiyaçları karşılamak amacıyla üretilmişlerdir. Ağır betonlar, taşıyıcı hafif betonlar, kendiliğinden yerleşen betonlar ve yalıtım özellikli betonlar, bu özel beton türlerinden bazılarıdır (Subaşı ve ark, 2009).

Yapılarda hafif beton kullanılması için günümüzde agrega olarak hafif malzemeler ve kayalar tercih sebebi olmuştur ve hafif agrega kullanarak hafif beton üretilmesi konusunda birçok çalışma yapılmıştır. Bunların başında agrega olarak volkanik küller, pomza, perlit, vermikülit gibi hafif malzemeler tercih edilmektedir. Ülkemizde, en çok boşluklu doğal veya yapay agrega kullanılarak hafif beton üretimi gerçekleştirilmeye çalışılmaktadır (Türkel ve Kadiroğlu, 2007). Yapıda hafif agrega kullanmanın pek çok avantajı bulunmaktadır. Örneğin; yapının ölü yükünü ve yanal deprem kuvvetlerini azaltması, normal ağırlıklı betona göre yüksek izolasyon yeteneğine sahip olması gibi. Yukarıda belirtildiği gibi pomza hafif agrega olarak beton üretiminde sıklıkla kullanılan volkanik camı bir kayadır.

Maden rezervleri açısından dünyanın en zengin ülkeleri arasında bulunan ülkemizde 18 milyar m³ civarında pomza bulunmaktadır. Bu rezerv, dünya pomza rezervinin yaklaşık %40'ına (7.4 milyar m³'den fazla) eşittir (TÜİK, 2009; Efe, 2011). Pomza, hafif, gözenekli, geçirgenliği düşük, ısı ve ses yalıtımı yüksek olan volkanik kökenli bir kayadır. Pomza, sahip olduğu bu özellikler sayesinde inşaat, tekstil, tarım ve kimya gibi pek sektörde kullanılmaktadır. İnşaat sektöründe de genellikle yapı malzemesi üretiminde yoğun olarak kullanılmakta olup, hafif beton gibi alanlarda kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır. Van yöresi pomza rezervleri açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Van'da genellikle pomza, hafif yapı elemanı üretiminde (bimsblok) kullanılmaktadır. Bilindiği üzere, maden ve maden

ürünleri endüstrilerin en önemli girdisini oluşturmaktadır. Bu kaynakların ülke ekonomisine kazandırılması kullanım alanlarının çeşitlendirilmesi ile mümkündür.

Diğer taraftan hafif agregaların beton üretiminde kullanılmasında düşük yoğunluğa sahip olmalarından dolayı segregasyona neden olabilmektedirler. Ayrıca, çoğu prefabrike beton elemalarının üretimi sırasında dış vibratör kullanımı gerekmekte olup, bu da segregasyona neden olabilmektedir. Betondan beklenen bu özelliklerin sağlanmasında kendiliğinden yerleşen betonların iyi bir alternatif olabilir (Yoğurtçu ve ark, 2011).

İşlenilebilirlik özelliği düşük olan taze betonların, sık donatılı kalıplara yerleştirilmesi oldukça zordur. Betonun herhangi bir sıkıştırma enerjisine gerek olmadan kendi ağırlığı ile kalıbına yerleşebilmesi gereksinimi ve yeni nesil akışkanlaştırıcı katkılardaki gelişmeler sayesinde bilim adamları yeni bir beton türü geliştirmişlerdir (Felekoğlu ve ark, 2004). Kendiliğinden yerleşen beton olarak adlandırılan bu beton, dünyada ilk olarak 1980'lerin ikinci yarısında Japonya'da deprem bölgelerindeki sık donatılı betonarme elemanların yapımında kullanılmıştır (Okamura ve Quchi, 1999). Bu betonlar; akıcılık, minimum işçilik gerektirme, ekonomiklik, hızlı uygulanma, gürültü kirliliğine engel olma, sık donatılar arasından ayrışma oluşmadan geçebilme, vibrasyona gerek duymadan her türlü kalıba kendi ağırlığı ile yerleşebilme gibi pek çok avantaja sahiptir (Kılınç, 2012).

Günümüzde kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır. KYB'nin Dünya toplam beton üretimi içindeki kullanım oranı %2'dir. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) 2010 yılı verilerine göre KYB kullanım oranı ülkemizde %1 civarında iken Danimarka'da %35 civarındadır (ERMCO, 2010). KYB'nin kullanımının yaygınlaştırılması için, bu beton üzerinde yapılacak teorik ve uygulamaya dönük çalışmaların artırılması ve kullanıcıların bilinçlendirilmesi gerekmektedir.

Kendiliğinden yerleşen betonda (KYB), agregalar arasındaki sürtünme kuvvetini azaltmak ve akıcılığı sağlamak için çimento hamur miktarının artırılması gerekmektedir. Hamur miktarının artırılmasını sağlamada sadece çimento

kullanılması durumunda betonda hidratasyon ısısından dolayı termal çatlamlar olmakta ve rötre miktarı artmaktadır. Bu nedenle kendiliğinden yerleşen betonlar da çimento ile birlikte mineral katkı malzemeleri kullanılmaktadır. KYB'lerde çoğunlukla kullanılan mineral katkı malzemelerini; uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, silis dumanı, kırma taş tozu ve mermer tozu gibi endüstriyel atık malzemeler kullanılabilmektedir.

Ülkemizde endüstri tesislerinden her yıl tonlarca atık ortaya çıkmakta fakat bu atıkların değerlendirilmesi maalesef çok düşük seviyelerde kalmaktadır. Oysaki Türkiye üyesi olduğu Avrupa Birliği Çevre Ajansının uyguladığı çevre ve atıklarla ilgili stratejilere de uymak zorundadır. Özellikle teknolojik ve ekonomik değeri olan bu atıkları değerlendirilmesi ile hem doğal kaynak kullanımı azaltmış hem de atıkların depolanması sonucu oluşacak çevre problemleri en aza indirilmiş olacaktır. Böyle bir potansiyeli sanayide değerlendirmek ulusal ekonomiye önemli kazanımlar sağlayacaktır.

Mermer işleme tesisleri, atık üreten tesisler arasındadır. Mermer işleme tesislerinde, mermer blok ve plakalarının kesilmesi sırasında çoğunluğu 1 mm altında olan atıklar ortaya çıkar. Bu atıklar, mermer kesimi sırasında su kullanılması nedeniyle, suya karışır ve çöktürme havuzlarında çöktürülerek, tesis çevresinde depolanır.

Mermer işleme tesislerinde, işlenen mermerlerin yaklaşık olarak %70'ini mermer atıkları oluşturmaktadır. Ülkemizde 2016 yılı itibarıyla 5.287.780 m³ mermer, 24.883.169 ton bazalt ve 314.059 ton granit üretimi yapılmıştır. Her yıl yapılan bu üretimin yaklaşık %30'unun değerlendirilmeden atıldığı düşünülürse, ortaya çıkan atık miktarının çok önemli boyutlara ulaşması kaçınılmazdır.

Atık üreten endüstri tesislerden birisi de termik santrallerdir. Termik santrallerde elektrik üretimi sırasında uçucu kül adı verilen çok ince boyuta sahip malzemeler açığa çıkmaktadır. Dünyada her yıl yaklaşık 450 milyon ton uçucu kül üretilmektedir. Bu miktarın sadece %6'sı çimento ve beton endüstrisinde

kullanılmaktadır (Mehta, 2000). Türkiye’deki uçucu kül üretimi ise yıllık yaklaşık 15 milyon tondur.

Şeker endüstrileride atık üreten tesisler arasında yer almaktadır. Şeker fabrikalarında şekerin arıtılması sırasında kireç kullanılmaktadır. Şeker üretim prosesi sonunda açığa çıkan filtre çamurları kireçce zengin olup, tesisin dışında depolanmaktadır. Dünyada her yıl şeker üretimi sonucunda yaklaşık 30 milyon ton filtre çamuru (karbonatlama çamuru) açığa çıkmaktadır.

Endüstrilerden ortaya çıkan atık miktarları oldukça fazladır ve bu atıkların değerlendirilmesi konusundaki araştırmaların yoğunlaştırılması gerekmektedir. Kaynaklarımızın hızla tükenmek üzere olduğu düşünülürse, bu atıkların değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında, Van yöresi pomzası ve endüstriyel atık katkıları kullanılarak kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilebilirliği araştırılmıştır. Çalışmada mineral katkı olarak mermer tozu, granit tozu, bazalt tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru gibi endüstriyel atıklar kullanılarak, kendiliğinden yerleşen hafif betonlar üretilmiş ve üretilen betonların özellikleri araştırılmıştır. Van ili pomza yatakları açısından oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Ayrıca, üretilmesi planlanan kendiliğinden yerleşen hafif betonlarda kullanılacak endüstriyel atıklar olarak Van ilinde bulunan mermer işleme tesis ve atölyelerinde, mermer kesim sonucu ortaya çıkan mermer tozu, granit tozu ve bazalt tozu gibi atıklar kullanılacaktır. Yine çalışmada İsken Su Gözü termik santral atığı olan uçucu kül ve Van Erciş Şeker fabrikası filtre çamuru kullanılacaktır. Bu atıkların ortak özellikleri hepsinin endüstriyel atık olması ve uçucu kül hariç diğerlerinin Van ilinde bulunmasıdır. Bu çalışmanın amacı, farklı endüstrilere ait atıkları kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde değerlendirerek genelde ülke ekonomisine özelde ise deprem sonrası kalkınmaya çalışan Van ilinin ekonomisine katkı sağlamak ve ayrıca atıkların değerlendirilmesi ve bertarafı ile de çevreye karşı duyarlı olmaktır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hafif betonlar, ısı yalıtım kapasitesilerinin yüksek oluşu ve özgül ağırlıklarının düşük olması gibi üstün özelliklere sahip olmalarından dolayı, yapı sektöründe uzun bir süredir kullanılmaktadırlar. Son yıllarda, yapı sektöründe atılan yenilikçi adımlardan birisi de kendiliğinden yerleşen hafif betonlardır. Bu beton, hafif beton ve kendiliğinden yerleşen beton gibi üstün özelliklere sahip iki beton türünün birleştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Literatürde hem hafif betonlar hem de kendiliğinden yerleşen betonlar hakkında birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak, yapılan literatür taramalarında kendiliğinden yerleşen hafif beton ile ilgili çalışmaların sayısının oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Buradan hareketle bu çalışmada endüstriyel atık katkılı kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilebilirliği konusu araştırılmıştır. Bu amaçla, mermer tozu, granit tozu, bazalt tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru gibi farklı endüstrilere ait atıklar çimento ile belirli oranlarda yer değiştirilerek, bu katkıların kendiliğinden yerleşen hafif betonun, taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Shi ve Wu (2005), yaptıkları çalışmalarında boşluk hacmi düşük ve çimento hamur içeriği yüksek olacak şekilde kendiliğinden yerleşen hafif betonları tasarlamışlardır. Beton karışımlarında cam tozu ve uçucu külü tekli ve ikili karışımlar halinde kullanmış ve beton özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Taze betonlar üzerinde çökme yayılma, L kutusu, V hunisi ve penetrasyon deneylerini yapmışlardır. Sertleşmiş betonlar üzerinde ise basınç dayanımı, kuruma büzülmesi, klörür geçişi deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, tüm karışımların taze beton özelliklerinin kendiliğinden yerleşebilirlik standardında belirtilen sınır değerleri sağladığı belirlenmiştir. Cam tozu katkılı betonların 28 günlük basınç dayanımları, cam tozu ve uçucu kül katkılı betonlardan daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeninin cam tozunun puzolanik aktivitesinin daha yüksek olması ile açıklamışlardır.

Aruntaş ve arkadaşları (2007), tarafından yapılan çalışmada kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri üzerine atık mermer tozunun etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, atık mermer tozunu çimento ile ağırlıkça %5, %10, %20 ve %25 oranlarında ikame ederek KYB'ler üretmişlerdir. Ürettikleri KYB'lerin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını belirlemiştir. Deneyler sonucunda, KYB'ler arasında en yüksek basınç dayanımını %20 mermer tozu katkılı betonların verdiğini ve atık mermer tozunun KYB üretiminde kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Uygunoğlu (2008), KYB'lerin birim hacim ağırlıklarının azaltılmasını amaçladığı çalışmasında, KYB üretiminde kullanılan normal agregayı farklı hafif agregalarla (pomza, volkanik tüf ve diatomit) yer değiştirerek beş farklı su oranında, toplam 20 farklı tasarımda beton üretmiştir. Ürettiği taze betonlar üzerinde; çökme yayılma çapı, çökme yayılma süresi, V-kutusu akış süresi, L-kutusu, U-kutusu, doldurma kutusu ve J halkasında çökmede yayılma deneylerini gerçekleştirmiştir. Sertleşmiş betonlar üzerinde ise basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, ultra ses geçiş süresi, yoğunluk, porozite, su emme, ısı iletkenlik, ısı şekil değiştirme, ısı genleşme, kılcal su emme ve yüzeysel aşınma deneylerini uygulamıştır. Sonuçta, düşük su-toz oranında üretilen KYB'lerde hafif agreganın kullanılmasıyla yüksek doldurma, geçebilme ve ayrışma direnci elde etmiştir. Yazar, hafif agreganın betonun mekanik özelliklerini ve yüksek sıcaklık etkisindeki ısı genleşme katsayılarını azalttığını, yalıtım değerlerini artırdığını ve KYB'lerin yoğunluklarını da önemli derecede azalttığını belirtmiştir.

Esping (2008), farklı yüzey alan özelliklerine sahip kireçtaşının kendiliğinden yerleşen betonların taze ve sertleşmiş haldeki beton özelliklerine etkisini incelemiştir. Kireçtaşlarının yüzey alanlarını belirlemede BET yöntemini kullanmıştır. Deneyler sonucunda, yüzey alanı yüksek olan kireçtaşı kullanmanın kendiliğinden yerleşen betonun akışkanlığını azalttığını ve otojen rötresinin ise arttığını belirtmiştir. Ayrıca, KYB'lerde istenilen çökme yayılma değerinin sağlanabilmesi amacıyla yüzey alanı yüksek malzeme kullanıldığında su ihtiyacını

artırmak gerektiği, fakat bunun neticesinde de betonun dayanımının olumsuz etkileneceğini belirtmiştir.

Abdelaziz (2009), yaptığı çalışmada, kendiliğinden yerleşen hafif betonların taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri üzerinde akışkanlaştırıcı katkı maddesi dozajı ve farklı oranlarda agregası kullanımı, normal agregası yerine kısmi oranlarda hafif agregası kullanımı gibi birçok parametrenin etkisini araştırmıştır. Bu amaçla taze betonlarda akış hızı ve beton hava içeriği testleri yapmıştır. Sertleşmiş betonlarda ise basınç dayanımı, porozite, ultrasonik geçiş hızı testleri yapılmıştır. Sonuç olarak, kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında akışkanlaştırıcı katkı miktarının artırılmasının, betonun akışkanlığını, homojenliğini, kalıba yerleşebilirliğini ve dayanımını olumlu yönde etkilediğini belirtmiştir.

Güneyisi (2009), yaptığı çalışmada, mermer tozu ve yüksek fırın cürufunun kendiliğinden yerleşen harcın özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, 19 farklı harç karışımı oluşturmuştur. Taze harçlar üzerinde; mini çökme yayılma ve V hunisi deneyleri gerçekleştirmiştir. Sertleşmiş harçlar üzerinde, basınç dayanımı deneyi gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, mermer tozunun çimento ile (%5, %10, %15 ve %20) yer değiştirilmesinin hem betonun akışkanlığını azalttığı hem de basınç dayanımını azalttığını belirlemiştir. Yüksek fırın cürufunu çimento ile yer değiştirmenin ise betonun akışkanlığı ve basınç dayanımı üzerinde olumlu etkisi olduğunu belirlemiştir. Ayrıca, iki farklı mineral katkı kullanılarak hazırlanan karışımlarda ise mermer tozu kullanımından dolayı harcın, akışkanlık ve dayanımın olumsuz etkilendiğini belirlemiştir.

Uysal (2010), çalışmada farklı mineral katkıların çimento ile değişik ikame oranlarında kullanarak kendiliğinden yerleşen betonlar üretmiş ve bu betonların taze haldeki işlenebilirlik özelliklerini, sertleşmiş halde ise mekanik ve dayanıklılık özelliklerini incelemiştir. Mineral katkı olarak; uçucu kül, doğal zeolit, kalker tozu, bazalt tozu, mermer tozu ve yüksek fırın cürufu kullanmıştır. Deney sonucunda, yüksek fırın cürufu'nun çimento ile %60 oranında ikame edilmesiyle üretilen karışımın işlenebilirlik deneylerinde en yüksek işlenebilirlik değerini

verdiğini, erken yaş dayanımı olarak da en yüksek dayanımı %10 mermer tozlu karışımın verdiğini ve 400 günlük numunelerde ise %25 uçucu küllü karışımların en iyi sonucu verdiğini belirlemiştir.

Maghsoudi ve arkadaşları (2011), genleştirilmiş kil agregasının kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmalarında, kendiliğinden yerleşen hafif betonlara genleştirilmiş kil agregasının, betonunun işlenebilirlik, dayanım ve elastisite modüllü özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Elastisite modüllerini hem İngiliz, hem de Avrupa standartlarında belirtilen yönetmelikteki formülleri kullanılarak belirlemiştir. Sonuçta, Avrupa standardına göre hesaplama yapmanın daha yüksek değerler verdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, bu değerleri normal betonlar ile kıyasladıklarında KYHB'lerin daha düşük değerler aldıklarını ve daha kırılgan bir yapılarının olduğunu belirtmişlerdir.

Valdez ve arkadaşları (2011), mermer tozu ve kireçtaşı tozunun kendiliğinden yerleşen beton üretiminde filler malzeme olarak kullanılabilirliğini ve betonlar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla çimentoyu %30 oranında mermer tozu ve kireçtaşı tozu ile yer değiştirerek betonlar üretmişlerdir. Ürettikleri betonların reolojik, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyerek, karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, aynı oranlarda değişim yapılarak üretilen mermer tozu katkılı ve kireçtaşı tozu katkılı betonları karşılaştırdıklarında, mermer tozu katkısının betonun akışkanlığını geliştirdiğini ve mekanik özellikler açısından ise sonuçların eşdeğer olduklarını belirtmişlerdir.

Juradin ve arkadaşları (2012), kendiliğinden yerleşen hafif beton özellikleri üzerinde ince malzeme etkisini deneysel olarak test etmişlerdir. Bu amaçla, agrega olarak genleştirilmiş kil ve mineral katkı olarak ise silis dumanı, uçucu kül ve katkısı kullanarak farklı karışım oranlarında deney setleri hazırlamışlardır. Toplamda sekiz farklı karışım hazırlamışlardır. İlk grupta, agrega olarak genleştirilmiş kil, ikinci grupta, agrega olarak genleştirilmiş kil ve kireçtaşı kullanarak karışımlar hazırlamışlardır. Üçüncü grupta ise agrega olarak

genleştirilmiş kil, silis dumanı (2/3) ve filler (1/3) karıştırarak bir karışım ve 1/2 - 1/2 oranlarında da bir karışım hazırlamışlardır. Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde en iyi sonuçları (2/3) oranında silis dumanı ve (1/3) oranında filler katkılı örneğin gösterdiğini belirlemişlerdir.

Elyamany ve arkadaşları (2014), kendiliğinden yerleşen beton ve akıcı betonun fiziksel, mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerinde filler malzeme tipinin etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, puzolanik (silis dumanı ve metakaolin), ve puzolanik olmayan (kireçtaşı, granit tozu, mermer tozu) iki farklı grup filler %7,5, %10 ve %15 oranlarında beton karışımlarına ilave ederek betonlar üretmişlerdir. Ürettikleri betonların; taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini belirlemişlerdir. Taze haldeki betonda; çökme yayılma ve ayrışma direnci gibi özellikleri test etmişlerdir. Sertleşmiş haldeki betonda; birim ağırlık, boşluk oranı, gözeneklilik, su emme ve basınç dayanımı özelliklerini belirlemişlerdir. Ayrıca, filler tipinin betonun mikro yapı özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla, termo gravimetrik analiz, X-ışını kırınım analizi ve taramalı elektron mikroskopu analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak fillerin betonun birim ağırlık, su emme ve gözeneklilik üzerinde önemli etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Puzolanik olmayan fillerin ayrışma direncinin puzolanik fillerden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, silis dumanı hariç tüm fillerlerin basınç dayanımı üzerinde etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Aliabdo ve arkadaşları (2014), çimento ve beton üretiminde mermer tozunun kullanımını araştırmışlardır. Ürettikleri çimento ve betonların mekanik, fiziksel ve mikroyapı özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda, çimento harcında ve beton üretiminde mermer tozu kullanımının betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Ayrıca, mermer tozunun betonda sadece filler etki gösterdiğini, hidrasyon sürecinde etkisinin olmadığını belirtmişlerdir.

Saraya (2014), bazalt, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve kireçtaşı tozu katkılarını kullanarak çimento harç karışımları hazırlamıştır. Tüm karışımlarında

mineral katkı oranını %20 olarak belirlemiştir. Hazırladığı katkılı harçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini belirleyerek birbirleri ile kıyaslamıştır. Çalışması sonucunda bazaltın puzolanik aktivitesinin silis dumanı ve yüksek fırın cürufundan daha düşük olduğunu, bazaltın puzolanik aktivitesinin geç dönemde daha belirgin olduğunu ve bazaltın fizikomekanik özelliklerinin kireçtaşı tozundan daha iyi olduğunu tespit etmiştir.

Vardhan ve arkadaşları (2015), mermer tozu katkısının betonun işlenebilirlik, dayanım ve mikro yapı özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, mermer tozunun çimento ile %10 oranında değiştirilmesinin işlenebilirlik ve dayanım açısından olumlu etkisinin olduğunu ve bu oranın üzerinde mermer tozu kullanımının ise mikroyapıda gözenekliliğe ve hidratasyon gecikmesine neden olduğunu belirlemişlerdir.

Ünal ve arkadaşları (2015), uçucu külün hafif agregalı blok üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Hafif agregalı blok üretiminde agrega olarak, pomza, diatomit ve tuf kullanmışlardır. Mineral katkı olarak ise, çimento ağırlığının %10, %20 ve %30'u oranlarında uçucu kül kullanmışlardır. Ürettikleri hafif agregalı blokların basınç, kılcallık ve ultra ses özelliklerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, uçucu külün tüflü numularda %10 oranında ikamesinin ve diatomit ve pomzalı numunlerde ise %20 oranında ikamesinin beton özelliklerini olumlu etkilediğini belirtmişlerdir. Uçucu kül oranı ikamesinin %30 oranında kullanılmasının her üç agrega açısından da beton özelliklerini olumsuz yönde etkilediğini belirlemişlerdir.

Delikurt ve Sevim (2015), Sugözü termik santrali uçucu külünün betonda mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Uçucu külün beton özelliklerine etkisini belirleyebilmek amacıyla hazırladıkları karışımlarda, uçucu külü çimento ile %0, %10, %20, %30, %40 oranlarında yer değiştirmişlerdir. Hazırladıkları beton numunelerine, su emme, kapilarite, ultrasonik ses geçirgenlik, aşınma, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yangın dayanımı gibi testler uygulamışlardır. Deneysel çalışmaları sonucunda, uçucu külün ağırlıkça %10 ve

%20 oranında çimento yerine kullanılması ile betonun dayanım değerlerini yükselttiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, uçucu külün betonun su emme ve kapiler geçirgenlik özelliğini azalttığını belirtmişlerdir.

Lotfy ve arkadaşları (2016), fırın cürufu, genleştirilmiş kil ve genleştirilmiş şeyl gibi hafif agregaya kullanılarak üretilen, kendiliğinden yerleşen hafif betonların durabilite özelliklerini araştırmışlardır. Betonların durabilite özelliklerini belirlemek amacıyla, yüksek sıcaklıklara dayanım, tuz saldırısı, sülfürik asit saldırısı ve donma çözünme gibi testler uygulamışlardır. Sonuç olarak, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan üç hafif agregasında, yüksek sıcaklık ve sülfürik asit saldırısı karşısında iyi performans gösterdiklerini belirlemişlerdir. Tuz saldırısında en iyi sonucu fırın cürufu kullanılarak üretilen betonların verdiğini belirlemişlerdir.

Rajamanickam ve Vaiyapuri (2016), çalışmalarında uçucu kül ve genleştirilmiş kili ince agregaya ile hacimce %5, %10, %15 ve %20 belirli oranlarda yer değiştirerek, 8 farklı kendiliğinden yerleşen beton karışımı hazırlamışlardır. Ürettikleri betonların taze ve sertleşmiş beton özelliklerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak, hem uçucu kül hem de genleştirilmiş killi karışımlarının hepsinin EFNARC standardı ile uyumlu olduklarını belirlemişlerdir. Ayrıca, ince agregaya yerine hacimce %15 uçucu kül kullanılarak hazırlanan karışımların genleştirilmiş kil kullanılarak hazırlanan karışımlardan daha yüksek basınç dayanım özelliği gösterdiklerini belirlemişlerdir.

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, kendiliğinden yerleşen beton ve çimento üretiminde uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik katkıların yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. İnert özelliğe sahip katkıların (örneğin; mermer tozu gibi) ise beton katkı uygulamalarında kullanımının sınırlı olduğu tespit edilmiştir.



3. BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER

3.1. Hafif Betonun Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Hafif beton, etüv kurusu yoğunluğu $800-2000 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betondur (TS EN 206-1, 2002). Hafif betonlar, geçmişten bugüne kadar çok çeşitli metotlarla üretilmektedir (Şimşek, 2012).

Hafif betonlar, ilk olarak M.Ö 3000’li yıllarda Sümerler tarafından Babil’in inşasında kullanılmıştır. Bilinen ilk taşıyıcı hafif betonlarda, agregası olarak pomza, cüruf ve tuf gibi volkanik kayalar kullanılmıştır. Hafif betonun kullanıldığı antik eserlerden bazıları; Pantheon, Colosseum, Maya piramitleri’dir (Chandra ve Berntsson, 2002).

3.1.1. Hafif Betonların Özellikleri

Hafif betonu oluşturan bileşenlerin özellikleri, hafif betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkiler. Clarke 2010’a göre, Hafif betonun yoğunluğu normal betona göre oldukça düşüktür. Hafif betonun yoğunluğunu etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar; çimento miktarı, sürüklenmiş hava miktarı ve agreganın nem oranıdır.

Hafif betonun su emme oranı normal betondan daha fazladır. Çünkü hafif agreganın gözenekli yapısı, su emme oranı üzerinde büyük rol oynamaktadır. Hafif agregalı hafif beton üretimlerinde, beton karışımına geçilmeden önce hafif agregaların mutlaka su içerisinde bekletilerek suya doygun hale getirilmeleri gerekmektedir. Aksi takdirde agregalar, hidrasyon ve işlenebilme için gerekli olan yağurma suyunun büyük bir bölümünü hemen emerek, beton bünyesinde ağ şeklinde rötre çatlaklarının oluşmasına neden olmaktadır (Akman, 1990). Hafif betonun su emmesi ile ilgili yapılan bir çalışmada, hafif betonun normal betona kıyasla %12-20 daha fazla su emdiği belirtilmiştir (Topçu, 1988). Hafif betonlarda, hem harç içerisinde bulunan boşluklar hem de agregadaki kılcal boşluklar nedeniyle kılcallık katsayısı daha fazla olmaktadır (Uygunoğlu, 2008).

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

Hafif betonun ısı iletkenliği normal betonunkinden daha düşüktür. Bunun nedeni, hafif betonda kullanılan hafif agregaların yapılarındaki hava boşluklarının ısıyı transfer etme özelliğinin yavaş olmasından kaynaklanmaktadır (Clarke, 2010). Hafif betonun birim ağırlıklarına ve kullanılan hafif agrega cinsine bağlı olarak ısı iletkenliği önemli ölçüde değişmektedir (Taşdemir, 2003).

Hafif agregalı betonlar yüksek sıcaklıklarda, daha az mukavemet kaybına uğramaktadır. Hafif agregalı betonların ısı genleşme katsayıları daha düşük olduğundan daha az yüzey dökülmesi olmaktadır. Dolayısıyla da yangına karşı normal ağırlıklı betonlardan daha dayanıklıdır (Clarke, 2010).

Betonun, mekanik özellikler arasında en önemli özelliği basınç dayanımıdır. Betonun basınç dayanımı, matrisin (çimento hamuru) dayanımı, agreganın dayanımı ve agrega-çimento ara yüzeyinin dayanımı olmak üzere üç faktörden etkilenmektedir (Popovics, 1998). Matris, agrega ve agrega- çimento ara yüzeyi dayanımı değişik sınıflardaki betonların dayanımlarına farklı şekillerde etki eder. Hafif betonlarda çimento hamurunun mukavemet ve elastisite modülü değerleri agreganinkinden daha büyüktür ve kırılmalar agreganın göçmesi şeklinde gözlenir (Azizi, 2007). Normal betonlarda ise agreganın mukavemeti ve elastisite modülü değerleri çimento hamurununkinden büyük olduğu için kırılmalar nispeten daha zayıf olan agrega-çimento ara yüzeyinde meydana gelir (Uygunoğlu, 2008).

Hafif agregalı betonlarda, hafif agrega ve çimento hamurunun elastisite modülleri arasındaki fark normal betonlara kıyasla daha düşüktür. Bu farkın düşük olması, iki malzeme arasında iyi bir bağ oluşmasını ve betonun iyi kompozit davranış göstermesini sağlamaktadır (Neville, 1996).

Hafif betonlar donma çözölmeye karşı normal betonlardan daha dayanıklıdır. Çünkü hafif betonun içindeki hafif agregalar birbirinden bağımsız boşluklara sahiptir. Bu boşlukların tamamı su ile dolmadığından donma çözölme nedeniyle oluşacak içsel gerilmelerden çok az etkilenirler (Şimşek, 2012). Hafif ve çok hafif betonların bir diğer özelliği de sesin yayılma hızının düşük olmasıdır.

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

Hafif betonların ses yayılma hızı normal betonlar ile karşılaştırıldığında %30-50 daha düşüktür (Gündüz ve ark, 1998).

3.1.2. Hafif Betonların Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları

Hafif betonun sınıflandırılması ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Hafif betonların sınıflandırılmasında genellikle, hafif betonların birim ağırlıkları, basınç dayanımları ve kullanım yerleri göz önüne alınmıştır. Türk Standartları Enstitüsü TS EN 206-1 standardı, hafif betonları birim hacim ağırlığına göre sınıflandırmıştır. (TS EN 206-1, 2002). Bu standarda göre, hafif betonların birim hacim ağırlığı D 1,0 ile D 2,0 arasındadır. Hafif betonların birim hacim ağırlıklarına göre sınıflandırılması Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hafif betonun birim hacim ağırlığına göre sınıflandırılması (TS EN 206-1, 2002)

Birim Hacim Ağırlık Sınıfı	Birim Hacim Ağırlık Sınır Aralığı (kg/m ³)
D 1,0	800-1000
D 1,2	1000-1200
D 1,4	1200-1400
D 1,6	1400-1600
D 1,8	1600-1800
D 2,0	1800-2000

TS EN 206-1 standardı hafif betonları basınç dayanımlarına göre sınıflandırmıştır (TS EN 206-1, 2002). Bu standartta hafif betonların en düşük karakteristik silindir dayanımlarını 8 MPa’dan 80 MPa’a kadar sınıflandırılmış ve en düşük karakteristik küp dayanımlarını ise 9 MPa’dan 88 MPa’a kadar sınıflandırmıştır. Hafif betonların 28 günlük basınç dayanımlarına göre sınıflanması Çizelge 3.2’de verilmiştir.

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

Çizelge 3.2. Hafif betonların 28 günlük basınç dayanım sınıfları (TS EN 206-1, 2002)

Basınç dayanım sınıfı	En düşük karakteristik silindirik dayanımı (MPa)	En düşük karakteristik küp dayanımı (MPa)
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

Amerikan Beton Enstitüsü'nün yayınladığı, rapora göre hafif betonlar üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar; taşıyıcı hafif beton, yarı hafif beton ve yalıtım betonudur (ACI Committee 213, 1987). Bu rapora göre; birim kütlesi 1350-1900 kg/m³ arasında değer alan ve minimum basınç dayanımı 17 MPa olan betonlar taşıyıcı hafif betonlar olup, yapısal amaç için kullanılabilirler. Birim kütlesi 300-800 kg/m³ arasında değer alan betonlar, düşük birim kütleli betonlar olup, bu betonlar ısı yalıtımı gibi yapısal olmayan amaçlar için kullanılabilirler. Silindirik basınç dayanımları 7-17 MPa arasında kalan betonlar ise yarı hafif betonlar olup, ısı ve yapısal amaçlar için kullanılabilirler. Isı yalıtım karakteristikleri diğer iki beton grubunun arasında kalmaktadır (ACI Committee 213, 1987).

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

Hafif betonlara ait bir başka sınıflama ise, İnşaat Malzemeleri, Sistemleri ve Yapıları Laboratuvar ve Uzmanları Uluslararası Birliği (RILEM) ile Avrupa Beton Komitesi (CEB) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflamaya göre hafif betonlar kullanım alanlarına göre taşıyıcı, taşıyıcı ve yalıtım ve yalıtım betonları olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır.

Çizelge 3.3. Hafif betonların işlevlerine göre sınıflandırılması (RILEM, 1978)

Hafif betonun türü	Taşıyıcı	Taşıyıcı ve yalıtım	Yalıtım
Yoğunluk (kg/m ³)	<2000	-	-
Basınç dayanımı (MPa)	>15,0	>3,5	>0,5
Isı iletkenliği (W/mK)	-	<0,75	<0,30

3.1.3. Hafif Betonların Tasarım Yöntemleri

Hafif betonlar, perlit, pomza ve vermikülit gibi doğal hafif agrega kullanılarak ya da yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil ve uçucu kül gibi yapay hafif agrega kullanılarak üretilbildiği gibi beton içerisine kimyasal katkı maddesi katılarak da üretilbilmektedir (Şimşek, 2013). Hafif beton üretim yöntemleri içerisinde en yaygın ve ekonomik olanı; doğal ya da hafif agregalar kullanılarak hafif beton üretimidir.

Hafif beton üretiminde kimyasal katkı maddesi kullanılarak üç farklı yöntemle beton üretilmektedir. Birinci yöntemde; taze betonun içine hava sürükleyici kimyasal katkı maddesi katılarak betonun birim hacim ağırlığının 2000 kg/m³'ün altına indirilmesi sağlanır. İkinci yöntemde; taze betonun içine çimento ile birlikte alüminyum tozu ilave edilerek beton bünyesinde boşluklar oluşturulması sağlanır. Son yöntemde ise; taze betonun içine hidrojen peroksit ve beyazlatma tozu ilave edilerek yine beton içinde boşluklar oluşturulması sağlanır (Şimşek, 2012).

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

3.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton

3.2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kendi ağırlığı ile sık donatılı, dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler oluşturmayarak kohezyonunu koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Felekoğlu ve Baradan, 2004).

KYB ilk kez 1980'li yıllarda Japonya'da su altı beton uygulamalarında suda ayrışmayan beton üretim amacı ile geliştirilmiştir. Betonda “kendiliğinden yerleşebilirlik” kavramı ise ilk olarak Okamura tarafından ortaya atılmıştır (Okamura, 1997). Su altında beton dökümü uygulamalarında, vibrasyonsuz beton dökümlerinden edinilen deneyim ile KYB üretilmesi amaçlanmıştır. Okamura'nın başlattığı çalışmaları Ozawa, Ouchi ve Maekawa devam ettirmiştir. 1988 yılında Tokyo'da yüksek performanslı KYB prototipi üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu özel tip betonun geliştirilmesinde öncelikli amaç, dayanımın yanı sıra, dayanıklılık açısından da yüksek performansı sağlamaktır (Ouchi, 1999). İlk KYB uygulaması ise 1980'lerin başında İtalya'da bir deniz yapısı inşasında, sualtı temel betonu olarak reoplastik özelliklerde bir beton dökümü gerçekleştirilerek yapılmıştır. Üretilen bu beton, oldukça yüksek viskoziteli (kohezif), sıkıştırmaya gerek kalmadan su altında kalıba kolayca yerleşebilen ve bu kohezyonuyla deniz ortamının yıkayıcı etkisine karşı durabilen bir beton olmuştur (Collepari, 2001).

3.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton Bileşiminde Kullanılan Malzemeler

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), karışımının geleneksel betondan en büyük farkı, mineral katkı ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların kullanılmasıdır. Kullanılan bu malzemelerle, taze betona kendiliğinden yerleşebilirlik, sertleşmiş betona ise yüksek performans özellikleri kazandırılmaya çalışılmaktadır (Alyamaç, 2008).

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

3.2.2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Çimento

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılacak çimentonun Al_2O_3 oranının %10'un altında olması gerekmektedir. Çünkü Al_2O_3 oranı %10'dan yüksek olan çimento kullanılması, hızlı etrenjit oluşumuna ve yüksek hidrasyon ısısına neden olur. Dolayısıyla betonun işlenilebilirliğini azaltır ve kendiliğinden yerleşen betonun yerleşebilirlik özelliğini olumsuz yönde etkiler (EFNARC, 2002).

Beton üretiminde, çimento miktarı arttıkça plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi artacağından yüksek çimento dozajlarında akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı artar. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde genel olarak çimento dozajının 350 ile 400 kg/m^3 arasında olması önerilmektedir. Çimento dozajının 500 kg/m^3 'ün üstünde olması betonun kuruma büzülmesine dolayısıyla da çatlaklara sebep olabilmektedir. Çimento dozajının 350 kg/m^3 'ün altında olması durumunda ise, ilave filler malzeme veya viskozite düzenleyici kimyasal katkı kullanılması önerilmektedir (EFNARC, 2002). Ayrıca, kendiliğinden yerleşen beton karışımında viskozite düzenleyici kimyasal katkı kullanılmıyorsa, toplam toz madde miktarı hiçbir zaman 500 kg/m^3 'ün altına inmemelidir (Zhu ve ark, 2005).

KYB'de kullanılacak çimentonun önemli özelliklerinden bir diğeri de inceliğidir. Bilindiği üzere, çimentonun incelik miktarı arttıkça harçta kullanılması gereken su miktarı artmaktadır. Harçta kullanılacak fazla su miktarı ise beton dayanımını olumsuz etkilemektedir. Burada optimum değer çimento özellikleri veya çeşidi ile belirlenmelidir.

3.2.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Mineral Katkılar

Mineral katkıları, betonun özelliklerini iyileştirmek veya betona özel nitelikler kazandırmak amacıyla kullanılan ince öğütülmüş malzemelerdir. EFNARC tarafından 2005 yılında hazırlanan raporda, kendiliğinden yerleşen beton (KYB)'da kullanılacak mineral katkıları ve özellikleri belirtilmiştir (THBB, 2007).

Mineral katkıları reaktivliklerine göre Tip I ve Tip II olmak üzere 2'ye ayrılır (THBB, 2007). Kendiliğinden yerleşen betonların taze haldeki şartları

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

nedeniyle, puzolanik olmayan ve puzolanik/hidrolik olan mineral katkıları kullanılır. Bu mineral katkıları, taze betonun ayrışma ve kohezyona karşı direncini sağlamak ve artırmak için yaygın olarak kullanılır (THBB, 2007). Mineral katkıları için sınıflandırma Çizelge 3.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Mineral katkıları için sınıflandırma (THBB, 2007)

TİP I	Puzolanik olmayan ya da yarı puzolanik	Mineral filler (kireçtaşı, dolomit)	TS 706 EN 12620+A1
		Pigmentler	TS EN 12878
TİP II	Puzolanik	Uçucu kül	TS EN 450-1
		Silis dumanı	TS EN 13263-1
	Hidrolik	Öğütülmüş Yüksek fırın cürufu	TS EN 15167-1
	Hidrolik	Tras	TS 25

KYB’de mineral katkı kullanımının amacı betonun viskozitesini artırmaktır. Betonda kullanılacak mineral katkının parçacık boyutu ne kadar küçük olursa, parçacıklar arası etkileşim o kadar fazla olur. Dolayısıyla da bu etkileşim betonun viskozitesini artırır (Fang ve ark, 1999).

Genel olarak kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılacak mineral katkıları ve sağlaması gereken özellikler belirli standartlarca belirlenmiştir. Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılacak filler tozunun, TS 706 EN 12620+A1 standardına uygun olması gerekmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılacak uçucu külün TS EN 450-1 standardına uygun olması gerekmektedir. Uçucu küller, puzolonik özellikli ince malzemelerdir. Bu malzemeler, kendiliğinden yerleşen betonların özelliklerini geliştirmek için kullanılabilirler (THBB, 2007).

Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılacak silis dumanının TS EN 13263-1 standardına uygun olması istenir. Silis dumanı, çimentodan yaklaşık 100 kat daha ince bir malzeme olup, agrega-çimento hamuru ara yüzeyindeki tüm boşlukları doldurarak yüksek aderans ve geçirimsizlik sağlar. Silis dumanı,

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

betonun; dayanım ve sülfat, klor ve diğer kimyasallara karşı dayanıklılığını önemli ölçüde arttıran bir puzolandır. Betonun mekanik özelliklerini artıracak gibi, kimyasallara da dirençli hale getirerek beton durabilitesini olumlu yönde etkiler (MEGEP, 2012).

Kendiliğinden yerleşen beton tasarımında ince öğütülmüş (Blaine değeri $>2500 \text{ cm}^2/\text{g}$) kireçtaşı, granit ve kuvars kumu tozu kullanılabilir. Bu tozların etkinliği inceldikçe artar. Ancak, KYB üretiminde, kullanılacak tozun, en büyük tane boyutunun 0,125 mm altında olması önerilmektedir. Dolomit kökenli kireçtaşı tozu ince öğütülmesi halinde, reaktifliği artırdığından alkali karbonat reaksiyonuna yol açabilir. Bu nedenle kullanımı riskli olabilir (Şahmaran, 2006).

Beton için öğütülmüş taneli (granüle) yüksek fırın cürufu TS EN 15167-1'e uygun olmalıdır. Yüksek fırın cürufu; hidrasyon ısısı düşük reaktif ince bir malzemedir. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde, yüksek miktarda yüksek fırın cürufu kullanımı, betonun stabilitesini etkileyerek betonun yavaş priz almasına neden olabilir (THBB, 2007).

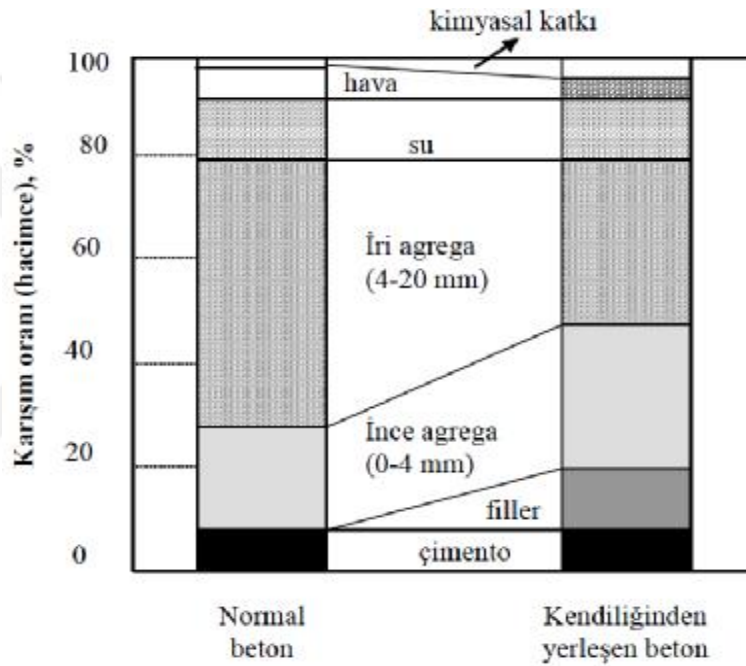
3.2.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Agrega

Geleneksel beton üretiminde olduğu gibi, kendiliğinden yerleşen beton (KYB), üretiminde de kullanılacak agreganın tipi, agreganın tane dağılımı ve en büyük agreganın tane boyutu önemlidir. Kendiliğinden yerleşen betonda iri agreganın olarak kırma kireçtaşı ve ince agreganın olarak da doğal kum veya kırma kum kullanılabilir. KYB'de doğal kum, kırma kum göre işlenebilirlik açısından daha avantajlıdır. Aynı şekilde iri agreganın olarak, dere çakılı kullanılması iç sürtünmeyi azalttığı için ve akışkanlığı artırdığı için kırmataş agregasına göre daha avantajlıdır (Topçu, 2008). KYB'de kullanılacak hafif agregalar TS EN 13055-1'e uygun olmalıdır (THBB, 2007).

KYB'de agreganın tane boyut dağılımı önemli bir parametredir. Çünkü agreganın tane dağılımı, taze beton özelliklerini etkilemektedir. Ayrıca, KYB 'de iri agreganın/ince agreganın oranının düşük olması gerekmektedir. Aksi takdirde, içsel

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

sürtünme açısı artmakta ve betonun geçiş yeteneği olumsuz etkilenmektedir. Yine, ince agrega oranının yüksek tutulması donatılar arasından geçiş yeteneğini de önemli oranda artırır. Ancak iri agreganın miktarının azalması basınç dayanımını olumsuz etkileyebilir. KYB üretiminde kullanılacak agregaların en büyük agrega tane boyutunun genellikle 20 mm'nin altında olması önerilmektedir. Şekil 3.1'de geleneksel betonla kendiliğinden yerleşen betonun karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil 3.1. Geleneksel betonla kendiliğinden yerleşen betonun karşılaştırılması (Felekoğlu, 2003)

Geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar kendiliğinden yerleşen betonda da kullanılabilir (Sağlam ve ark, 2004). Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, kendiliğinden yerleşen betonların geleneksel betondan farkı, karışımda kullanılan ince agrega oranının iri agrega oranından fazla olmasıdır. Ayrıca, kimyasal katkı (yüksek oranda su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı özelliği olan) oranının yüksek olmasıdır.

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

3.2.2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Kimyasal Beton Katkıları

Kimyasal katkı teknolojisindeki gelişmeler ve süper akışkanlaştırıcı katkıların keşfi, günümüzde kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimini oldukça kolaylaştırmıştır. Kimyasal katkılar ile çimento arasındaki etkileşim fizikseldir. Katkısız çimento hamuru, karma oksitlerinin elektro-potansiyellikleri gereği, birbirlerini elektrostatik etkiyle çekerek kümelenir. Çimentodaki karma oksitlerin oranı bu etkiyi artırır veya azaltır. Çimento, ana bileşenleri silikatlar ve alüminatlar olmak üzere iki ana gruptan oluşmaktadır. Çimentonun yaklaşık %20'si SiO_2 ve yaklaşık %60-65'i CaO 'den oluşur. Bu iki oksitin birleşmesi ile silikatlar oluşur. Çimentonun ana bileşenlerinden olan alümina, kalsiyum oksitle birleşerek trikalsiyum alüminat (C_3A) ve demir oksitle birleşerek tetrakalsiyum alüminoferrite (C_4AF) oluşturur. Alüminatlar yaklaşık olarak çimentonun %20'sini oluşturur. Çimento silikat grubundan olan Alit (C_3S) ve Belit (C_2S) negatif zeta potansiyeline sahipken, alüminat grubundaki trikalsiyum alüminat (C_3A) ve tetrakalsiyum alüminoferrit (C_4AF) pozitif zeta potansiyeline sahiptir. Bu da çimento taneciklerinin su ile temas ettiğinde topaklanmasına sebep olur. Katkı ilavesi ile tüm çimento karma oksitlerinin, negatif zeta potansiyeline sahip olduğu deneysel olarak ortaya konulmuştur (Tandırılı ve ark, 2000; Yoshioka ve ark., 2002).

Kimyasal katkılar, içerdikleri dağıtıcı katkı maddesinin özelliğine göre 4 gruba ayrılır. Bunlar; akışkanlaştırıcı, süper akışkanlaştırıcı, su azaltıcı, yüksek su azaltıcı katkılardır. Bu katkılar çimento partiküllerinin yüzeyine tutunarak sulu ortamdaki partikül dağılımının daha düzgün olmasını ve beton karışımın akışkanlığının artırılmasını sağlarlar (Newman, 2003).

Süper akışkanlaştırıcı veya yüksek oranda su azaltıcı katkılar, kendiliğinden yerleşen beton üretiminde son derece önemlidir. Bu katkılar betonun yüksek akıcılık, yüksek ayrışma direnci ve yüksek doldurma kapasitesi özelliklerini artırır. Son yıllarda özellikle farklı türdeki çimentolarla uyumlu polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkılar geliştirilmiştir. Betonda, polikarboksilik asit

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

bazlı katkılar kullanıldığında, çimento taneciklerinin beton içerisindeki dispersiyonu yalnızca elektriksel etki ile değil, aynı zamanda uzun yan dallar içeren polimer zincirlerinin çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir itki oluşturması ile sağlanır. Bu sayede de beton, hem yüksek oranda su azaltma özelliği kazanmakta, hem de uzun süre kendiliğinden yerleşme özelliğini korumaktadır (Çavdar ve Sağlam, 1998).

Kendiliğinden yerleşen betonun akışkanlığını önemli bir şekilde değiştirmeden kohezyonunu modifiye eden katkılara, viskozite düzenleyici katkılar denir. Bu katkılar, diğer bileşenlerin oranlarındaki ve durumlarındaki küçük değişimlere karşı kendiliğinden yerleşen betonu daha sağlam ve daha az duyarlı kılar. Ayrıca; nem içeriğindeki değişiklikler, kumdaki ince tanelerin veya kumun tane büyüklüğü dağılımının etkilerini minimum seviyeye indirmeyi sağlar (THBB, 2007). Genel olarak viskozite düzenleyici katkılar (VAK) şu şekilde gruplandırılabilir;

- Nişasta ve doğal zamk (sakız) gibi doğal polimerler,
- Ayrışmış nişasta ve türevleri; selüloz eter türevleri, sodyum alginat ve benzeri elektrolitler,
- Poletilen oksit ve polivinil alkol gibi sentetik polimerler (Kawai, 1987).

Hava sürükleyici katkılar sürfaktan adı verilen kimyasal gruptadırlar. Bu gruptaki moleküllerin bir ucu hidrofil diğer ucu hidrofobtur (Özyıldırım, 2007). Betonda kullanılan hava sürükleyici katkıların birçok işlevi bulunmaktadır. Bunlar betonun; donma çözülme dayanıklılığını artırmak, işlenebilme özelliğini geliştirmek, kılcal su emme özelliğini azaltmak ve yüzey görünümünü düzeltmektir. Beton içerisinde kullanılan hava sürükleyici katkılar ortalama 10 µm ile 1mm aralıklarında değişiklik gösteren hava kabarcıkları oluşturarak beton içerisinde homojen bir şekilde dağılırlar ve betonu donma çözülmeye karşı

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

korurlar. Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılacak akışkanlaştırıcı katkı ve hava sürükleyici katkıları, TS EN 934-2 standardında belirtilen kurallara uygun olmalıdır (TS EN 934-2, 2006).

3.2.2.5. Karışım Suyu

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımlarında kullanılacak karışım suyunun, TS EN 1008 standardına uygun olması gerekmektedir. Bu standarda göre; beton üretiminde içilebilir özellikte su kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, TS EN 1008 standardı, bu tip içme sularında deney yapılmasına gerek olmadığı bildirmektedir (TS EN 1008, 2003).

3.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Tasarım Yöntemleri

Kendiliğinden yerleşen beton tasarımı, geleneksel betona göre daha fazla deneyim ve bilgi birikimini gerektirir. Kendiliğinden yerleşen betondan beklenen performans geleneksel betondan farklıdır. Geleneksel betonların dizaynında belirli bir çökme ve basınç dayanımı hedeflenirken, kendiliğinden yerleşen betonların dizaynında; akıcılık özelliğine ve düşük eşik kayma direncine sahip, fakat aynı zamanda bu özellikleri gösterirken, terleme ve ayrışmaya yeterince dirençli olması istenmektedir (Gönen, 2009).

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışım tasarımı için standart bir metot yoktur. Tasarım konusunda, birçok akademi, enstitü, katkı firmaları, hazır beton firmaları ve prefabrik ürün firmaları kendi karışım oranlama metotlarını geliştirmişlerdir (THBB,2007). Fakat, bu yöntemlerin karmaşıklığı ve özellikle malzeme kalite kontrolü açısından daha çok deneysel çalışma gerektirmesi nedeniyle, Japon İnşaat Mühendisleri Birliği (JIS) tasarım yöntemlerini üç ana grupta toplamıştır. Bu tasarım yöntemlerinin isimlendirilmesi viskoziteyi arttırmada kullanılan malzemelere göre yapılmıştır. Buna göre kendiliğinden yerleşen betonların tasarımında kullanılan yöntemler; toz tipi metot, stabilizatör tipi metot ve kombinasyon metodudur.

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

3.2.3.1. Toz Tipi Metodu

Kendiliğinden yerleşen betonların tasarımında kullanılan yöntemlerden birisi olan toz tipi metodunun amacı, beton karışımının viskozitesini filler veya puzolanik filler malzeme kullanarak arttırmaktır. Kendiliğinden yerleşen beton ve geleneksel beton için tipik tasarım parametreleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Geleneksel beton ve KYB (toz tipi) için tipik tasarım parametreleri

Bileşen	Geleneksel Beton	Kendiliğinden Yerleşen Beton
Harç %'si	55-60	60-67
İri agrega/toplam agrega oranı (hacim)	0.42-0.50	0.50-.0.57
Su/toz oranı (hacim)	1.20-1.30	1.00-1.16
Su/çimento oranı (ağırlık)	0.37-0.40	0.37-0.41

3.2.3.2. Stabilizatör Tipi Metodu

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde viskozite arttırmak amacıyla, toz madde dışında kimyasal katkıları da kullanılabilir. Bu katkılara viskozite düzenleyici veya stabilizatör denilmektedir.

3.2.3.3. Kombinasyon Metodu

Toz ve stabilizatör tipi metodunun bir arada kullanıldığı metoda kombinasyon metodu adı verilir. Bu metotta kendiliğinden yerleşebilme şartı olarak optimum viskozite ve düşük eşik kayma gerilmesi aranır. Kombinasyon metodunda, viskozite artırıcı katkı olarak doğal polimerler (polisakkaritler) tercih edilmelidir (Nagataki 2000; Kurt,2008).

Kendiliğinden yerleşen betonun özelliklerinin test edilebilmesi için ilk olarak 2002 yılında EFNARC komitesi (The European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) tarafından kendiliğinden yerleşen

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

beton ile ilgili gerekli tüm bilgileri içeren “Kendiliğinden Yerleşen Betonlar İçin Beton Klavuzu” isimli bir doküman yayımlanmıştır (EFNARC, 2002). Daha sonrada 2005 yılında, Prefabrike Beton Üreticileri Birliği (BIBM), Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU), Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) ve Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) birleşerek ortak bir proje raporu hazırlamışlardır (EFNARC, 2005). Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışım oranları için önerilen deney aralıkları, Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kendiliğinden yerleşen beton karışım oranları için önerilen deney aralıkları

Bileşen	EFNARC 2002		EFNARC 2005	
	Ağırlık (kg/m ³)	Hacim (l/m ³)	Ağırlık (kg/m ³)	Hacim (l/m ³)
Toz	400-600	160-240	380-600	-
Pasta	-	-	-	300-380
Su	-	<200	150-210	150-210
İri agreg	Karışımın hacimce %28-35		750-1000	270-360
İnce agreg	-	-	Toplam agreg ağırlığının %48-55	-
Su/Toz	0,80-1,10 hacimce		-	0,85-1,10 hacimce

3.2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Haldeki Özellikleri

Taze haldeki kendiliğinden yerleşen betonların (KYB), kendiliğinden yerleşebilirlik özelliğini sağlayabilmesi için hem reolojik hem de işlenebilme özelliği açısından belirli kriterlere sahip olması gerekmektedir. Reoloji, maddenin deformasyon ve akış bilimi olarak tanımlanmaktadır. Burada madde; elastik katıdan sıvıya kadar her durumda olabilir (Bartos, 1992; Özkul, 2002). Reolojik

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

kavramlar, KYB'nin geliştirilmesi ve taze haldeki davranışının daha iyi anlaşılması için kullanılmaktadır (Uysal, 2010). İşlenebilme özelliği taze betonun yapısından kaynaklanan; taze beton kütleinde akma başlatacak kuvvete karşı betonun gösterdiği direnç (kayma dayanımı), yerleştirme ve yüzeyinin düzeltilmesini etkileyen yapışkanlık özellikleri ile ilgilidir (Baradan, 2004).

Taze betonun işlenebilirliği birçok faktöre bağlıdır. Bunlar; çimentonun bileşimi ve miktarı, agreganın en büyük tane boyutu, granülometrik dağılımı, kullanılan katkı türü ve miktarı, betonun içindeki hava miktarı, beton ve havanın sıcaklığı, betonun su ile karıştırılmaya başladığı andan itibaren kullanıldığı ana kadar geçen süre ve ortam şartları da beton kalitesini ve işlenebilirliğini etkilemektedir (Demirel, 2010).

Beton bileşiminin karmaşık yapısı nedeni ile bileşenlerin özelliklerinden betonun akışkanlığının tahmin edilmesine dönük belirgin bir yöntem maalesef bulunmamaktadır. Beton içinde, 1 mikron çapındaki çimento taneciklerinden 30 mm çapındaki kaba agrega tanelerine kadar oldukça geniş bir aralıkta tanecik boyutu dağılımı bulunduğundan, reolojik parametrelerin ölçümü dahi güçlüklerle yapılabilmektedir. Bu nedenle üretilmiş bir betonun akıcılığı genellikle, malzemenin gerçek akışkanlık özelliklerinin kısmen ölçümlenmesine imkan sağlayan standart test metotlarından birinin kullanılması ile ölçülmektedir (Yücel, 1997; Ferraris, 1996). Kendiliğinden yerleşme yeteneği üç parametre ile karakterize edilebilir. Bunlar; doldurma yeteneği, geçiş yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç yeteneğidir (Skarendahl, 2000).

3.2.4.1. Doldurma Yeteneği

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve deforme olma özelliğine sahip olmalıdır. Doldurma yeteneği, betonun boşaltma noktasından ne kadar uzaklığa akabildiği ve bu akışın hızı (deformasyon kapasitesi) kavramlarını içermektedir. Betonun doldurma yeteneği, yayılma deneyinden elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenebilir. Yayılma deneyi

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

sonucunda, betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre gibi bilgiler elde edilir. İyi bir doldurma yeteneği için, deformasyon kapasitesi ile deformasyon hızı arasında bir denge olmalıdır (Bui ve ark, 2002). Uygun doldurma yeteneği için; çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin arttırılması ve tanecikler arası sürtünmenin azaltılması gerekmektedir.

3.2.4.2. Geçiş Yeteneği

Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) dar geçişlerin ve çok sık donatının kullanıldığı kesitlerden bloklaşmadan geçebilme yeteneğine sahip olmalıdır. Mükemmel doldurma yeteneğine ve ayrışma direncine sahip olan KYB’de bile, agreganın en büyük dane çapının çok büyük olması ve iri agreganın içeriğinin yüksek olması gibi durumlarda bloklaşma riski bulunmaktadır (Kurt, 2009). KYB’nin geçiş yeteneğini daha iyi duruma getirmek için; kohezyonu arttırmak, düşük su/bağlayıcı oranı kullanmak, viskoziteyi arttırmak, uygun iri agreganın kullanılması, düşük kaba agreganın hacmi kullanmak ve düşük en büyük dane çaplı agreganın kullanılması gerekmektedir.

3.2.4.3. Ayrışmaya Karşı Direnç

Taze haldeki beton bileşenlerinin dağılımının homojen olmaması ve betonun yapısındaki özellikleri de dağılıma uğratması olayına segregasyon denilmektedir. Taze beton hem durağan, hem de akış halinde; terleme, dağılımda düzensizlik ve ayrışma gibi durumları göstermemelidir. Taze haldeki betonun ayrışma direnci için çeşitli yollara başvurulabilmektedir. Bunlar; katı maddelerin ayrılmasını azaltmak, sınırlı agreganın içeriği kullanmak, en büyük agreganın tane boyutu kullanımını azaltmak ve viskoziteyi arttırmaktır.

3.2.5. Kendiliğinden Yerleşen Taze Betonun Sınıflandırılması

Kendiliğinden yerleşen betonlar, KYB genel kabul kriterlerine göre sınıflandırılmış olup, yapılan sınıflandırmaların alt ve üst sınır değerleri Çizelge

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

3.7’de verilmiştir (EFNARC, 2005). Kendiliğinden yerleşen beton (KYB)’lerin taze durumdayken istenilen karakteristik özelliklere ve kararlılığa sahip olmaları için bir sınıflama yöntemi bulunmaktadır. Bu sınıflandırma KYB’lerin; akıcılık, viskozite, geçebilme yeteneği ve ayrışma direnci gibi özellikleri dikkate alınarak yapılmış olup, her özellik farklı harflerle ifade edilmiştir. KYB’nin akıcılık özelliği (SF), KYB’nin viskozite özelliği (VS veya VF), KYB’nin geçebilme yeteneği (PA) ve KYB’nin ayrışma direnci (SR) olarak ifade edilmiştir. Çizelge 3.7’de KYB’ler için genel kabul kriterleri verilmiştir.

Çizelge 3.7. KYB’ler için genel kabul kriterleri (EFNARC, 2005)

Deney Adı	Sınıflandırma	Değer Aralığı
Çökmede Yayılma	SF1	55 cm- 65 cm
	SF2	66 cm- 75 cm
	SF3	76 cm- 85 cm
Çökmede Yayılma, T50 süresi	VS1	≤ 2 sn
	VS2	>2 sn
L Kutusu	PA1	≥ 0,8 (2 donatılı)
	PA2	≥ 0,8 (3 donatılı)
V hunisi	VF1	≤ 8 sn
	VF2	9-25 sn
Elek Ayrışma Direnci	SR1	≤ %20
	SR2	≤ %15

Çizelge 3.7’ye göre KYB’ler akıcılık özelliklerine göre SF1, SF2, SF3 olarak, viskozite özelliklerine göre; VS1, VS2, VF1 ve VF2 olarak, geçebilme yeteneği özelliklerine göre; PA1, PA2 olarak ve ayrışma direnci özelliklerine göre; ise SR1 ve SR2 olarak sınıflandırılmıştır.

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

3.2.6. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Kullanım Yerleri

Genellikle büyük boyutlu inşaatlarda, sık donatılı dar kesit özelliklerinin bir arada olduğu perde tipi elemanlarda, dar kesitli elemanların tamir, bakım ve yenileme işlerinde, vibratör uygun olmayan yüzeylerde, tünel gibi özel kalıp gerektiren işlerde KYB kullanılması tercih edilmektedir (Şimşek, 2012). Ayrıca, saha betonlarında, mimari panellerde, cephe elemanları ve geniş yapı elemanlarında da KYB kullanılabilmektedir (Uysal ve Yılmaz, 2011).

EFNARC 2005 raporuna göre; KYB'ler yayılma çapına göre SF1, SF2, SF3 olmak üzere üç grupta sınıflandırmıştır. Buna göre bu beton sınıflarına ait betonların yapıda kullanılabilecekleri yerler de her bir sınıf için tanımlanmıştır (EFNARC, 2005). Kendiliğinden yerleşen hafif betonlar özellikle prefabrike elemanların üretiminde ve binaların tamir, tadilat işlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Sonebi ve Bartos, 1999).

SF1 sınıfındaki kendiliğinden yerleşen betonların kullanım yerleri:

- Kendiliğinden yerleşen beton genel kabul kriterleri sınıflandırma tablosuna göre, çökme yayılma değer aralığı 55-65 cm arasında olan betonlar SF1 sınıfında yer almaktadır.
- SF1 sınıfında yer alan betonlar; salınma noktasından, serbest yer değiştirmeye üstten dökülen, donatısız ya da çok az donatılı yapılarda (örneğin; konut döşemeleri), pompa enjeksiyon yöntemi ile döküm yapılan yerlerde (örneğin; tünel kaplaması) ve uzun yatay akışları engelleyecek kadar küçük kesitler içeren yerlerde (örneğin; kazıklar ve bazı derin temeller) kullanılır.

SF2 sınıfındaki kendiliğinden yerleşen betonların kullanım yerleri:

- Kendiliğinden yerleşen beton genel kabul kriterleri sınıflandırma tablosuna göre, çökme yayılma değer aralığı 66-75 cm arasında olan betonlar SF2 sınıfında yer almaktadır.

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

- SF2 sınıfında yer alan betonlar; yapıların birçok yerlerindeki elemanların dökümünde (örneğin; duvarlar, kolonlar) kullanılır.

SF3 sınıfındaki kendiliğinden yerleşen betonların kullanım yerleri:

- Kendiliğinden yerleşen beton genel kabul kriterleri sınıflandırma tablosuna göre, çökme yayılma değer aralığı 76-85 cm arasında olan betonlar SF3 sınıfında yer almaktadır.
- SF3 sınıfında yer alan betonlar; çok yoğun donatılı yapılarda, karmaşık şekillere sahip yapılarda düşey uygulamalar için ya da kalıp altından doldurmalarında kullanılır (Uygunoğlu, 2008).

Kendiliğinden yerleşen betonların yapısal uygulama alanlarındaki kullanım yerleri KYB kıvam sınıfları doğrultusunda gruplandırılmıştır. KYB 'lerin çeşitli uygulama alanlarındaki özellikleri Çizelge 3.8'de verimiştir.

Çizelge 3.8. Çeşitli uygulama alanları için KYB'nin özellikleri (Walraven, 2003)

Viskozite				Ayrışma direnci veya geçme yeteneği
VS2 VF2	Rampalar			SF1 ve SF2 için geçme yeteneği belirtmek
VS1 yada VS2 VF1 yada VF2	Duvarlar ve kazıklar			SF3 için SR belirtmek
VS1 VF1	Katlar ve döşemeler			SF2 SF3 için SR belirtmek
	SF1	SF2	SF3	
	Çökmede yayılma			

Kendiliğinden yerleşen betonların bir başka kullanım alanı kontrollü düşük dayanımlı beton uygulamalarıdır. Taşıyıcı sistemde kullanılan kendiliğinden

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

yerleşen beton farklı olarak yüksek su/çimento oranı, düşük çimento dozajı ve az miktarda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımıyla kontrollü düşük dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretmek mümkündür. Kontrollü düşük dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonlar reolojik açıdan yapısal kendiliğinden yerleşen beton'a kıyasla oldukça düşük kohezyona sahiptir. Kontrollü düşük dayanımlı Kendiliğinden yerleşen betonlar özellikle altyapı inşaatlarında inşaat hızını artırmak ve şehir içi altyapının tamirini kolaylaştırmak amacıyla tercih edilebilir (Felekoğlu ve ark, 2004). Şekil 3.2'de sık donatıların kullanıldığı bir yapıda kendiliğinden yerleşen beton uygulaması gösterilmektedir.

Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde suni kar yapma sistemleri, kontrol ve hidrant noktası, rögar projelerinde kendiliğinden yerleşen beton kullanılmıştır. Türkiye'de kendiliğinden yerleşen beton uygulaması, ilk olarak 2003 yılında Bursa'da Cemal Nadir karikatürleri anı duvarı projesinde kullanılmıştır (MEGEP, 2012).



Şekil 3.2. Kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları (MEGEP, 2012)

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

3.2.7. Kendiliğinden Yerleşen Beton Kullanımının Avantajları ve Dezavantajları

Kendinden yerleşen beton kullanım alanları ve özelliklerine göre pek çok avantaj sağlamakla beraber dezavantaj oluşturan özellikleri de mevcuttur.

Kendiliğinden yerleşen beton kullanımının avantajları şunlardır:

- Taze betonu vibratörle sıkıştırma ihtiyacının ortadan kalkması,
- Vibratör kullanmanın çevreye yaydığı gürültü kirliliğini önlemesi,
- Prefabrike beton sektöründe, kalıpların ekonomik ömürlerinin artması,
- Şantiyede işçilikte azalma,
- Kolay yerleştirme ve dayanıklılıkta artış,
- Tasarımda özgürlük,
- Betonun sık donatılı, dar ve derin kesitlere kendi ağırlığı ile boşluk bırakmadan yerleşmesini sağlaması ve betonun mekanik performansını artırması,
- Özellikle deprem riski olan bölgelerde perde tipi kolon kullanımının yoğun olmasında dolayı vibratör kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu zorlukların KYB kullanımı ile çözümlenebilmesi,
- Beton döküm süresini önemli derecede hızlandırması,
- Prefabrike beton sektöründe, sık donatı ve ince kesitlerin kullanıldığı yerlerde, yetersiz vibrasyondan kaynaklanan boşluklar oluşmaktadır. Karşılaşılan bu problemin kendiliğinden yerleşen beton kullanımı ile çözümlenebilmesi (Şimşek, 2012).

Kendiliğinden yerleşen beton kullanmanın dezavantajları şunlardır:

- Kendiliğinden yerleşen beton, geleneksel betona kıyasla daha pahalıdır.
- Geleneksel betona göre daha sıkı kontrol gerektirir.

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

- Kendiliğinden yerleşen betonun üretimi sırasında müdahale zorluğu vardır.
- Kesinleşmiş tasarım yöntemi ve standart kalite kontrol testleri yoktur.
- Prefabrike beton üretimindeki mevcut kalıp sistemlerinin bir kısmı kendiliğinden yerleşen beton kullanımına uygun değildir (Şimşek, 2012).

3.3. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton

Kendiliğinden yerleşen hafif beton uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB), iki beton çeşidinin üstün özelliklerini birarada bulunduğu yeni bir beton çeşididir. Bu beton çeşidinin üretilmesindeki amaç hem kendiliğinden yerleşebilir özellikğe sahip hem de hemde hafif özelliğe sahip olan bir beton elde edilmektedir. Böylece iki farklı beton çeşidinin avantajlı özelliklerini bir beton çeşidinde toplamaktır.

Literatürde, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde hafif agrega olarak genellikle; genleştirilmiş kil, genleştirilmiş şeyl, pomza ve genleştirilmiş polistiren kullanılmaktadır (Madandoust ve ark, 2011). Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde en önemli sorunlar yüksek oranda toz madde kullanılmasının tasarımda yapacağı ağırlaştırıcı etki ve hafif agregaların çok yüksek su tutma kapasitesinin tasarımda doğuracağı sıkıntılardır (Akkaya ve ark, 2002; Dehn, 2002). Kendiliğinden yerleşen hafif betonun (KYHB), yapının ömrüne getireceği katkı, bakım ve onarım harcamalarındaki azalmalar, yapım süresinin kısılması ve işçiliğin azalması, gürültü faktörünün düşürülmesi ekonomik olması gibi birçok avantajı vardır. Bunun yanı sıra kendiliğinden yerleşen hafif betonlarda ayrışma problemi gibi bir dezavantaj bulunmaktadır (Açıkel ve Günaydın, 2007).

3.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Maliyet Analizi

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) malzeme maliyeti, geleneksel betonla karşılaştırıldığında, farklı araştırmacılar farklı sonuçlar elde etmiştir.

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

Kendiliğinden yerleşen betonun malzeme maliyetinin daha yüksek olmasına karşın, bazı durumlarda geleneksel beton kullanımı ekonomik olmayabilir. Bu sebeple, kendiliğinden yerleşen betonu geleneksel betonla kıyaslarken sadece malzeme maliyeti göz önünde bulundurulmamalıdır. Örneğin, tünel inşaatlarında tünel taşıyıcı sistemi oluşturulduktan sonra kaplama betonu yapılmaktadır. Bu beton için hareketli bir kalıp sistemi hazırlanmakta ve bu kalıp sistemi vibratörlerle donatılmaktadır. Vibrasyon hem kalıp sisteminde hasara sebep olmakta hem de inşaat hızını yavaşlatarak maliyeti arttırmaktadır Özellikle tünel inşaatlarında donatı yoğunlaşmakta ve aşırı vibrasyona gerksinim duyulmaktadır. Böyle durumlarda kendiliğinden yerleşen betonun kullanımının inşaat hızını artırıcı etkisini de gözönünde bulundurmak gerekir (Felekoğlu, 2004).

Kendiliğinden yerleşen betonda maliyeti arttırıcı ana etkenler, efektif kimyasal katkıları ve yüksek miktarda çimento kullanılmasıdır. Kendiliğinden yerleşen betonda, segregasyonu (ayrışmayı) önlemek için, kaba agrega içeriği azaltıldığından çimento miktarı artar. Bu durum, betonda yüksek maliyetin yanı sıra, yüksek hidrasyon ısı oluşumuna da neden olacağı için ayrı bir dezavantaj oluşturur. Betondaki bu olumsuzluğu gidermek amacıyla, beton içerisine çeşitli mineral katkı malzemeleri katılmaktadır. Beton içerisine ise mineral katkı malzemesi eklenmesinde iki farklı yol kullanılmaktadır. Birinci yöntem çimento miktarını azaltarak yerine mineral katkı malzemesi eklemektir. Bir diğer yöntem ise beton içerisindeki ince malzemenin bir kısmının yerine mineral katkı malzemesi ekleme yöntemidir. Beton içerisine çimento miktarını azaltmak suretiyle kireçtaşı tozu, doğal ve yapay puzolan gibi mineral katkı malzemeleri katılabilir. Ancak, sırf malzeme açısından bakıldığından her ne kadar kendiliğinden yerleşen betonun maliyeti henüz istenilen düzeye indirilememiş olsa da artan durabilite ile ilgili tasarruflar ve yukarıda belirtilen diğer avantajları nedeniyle, yaşam döngüsü analizi yapıldığında toplam maliyetinin geleneksel betondan daha düşük olabileceği söylenebilir (Demirci, 2012).

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU

Yurtdışında bir prefabrike beton üreticisinin aynı basınç dayanımına sahip geleneksel beton ve kendiliğinden yerleşen betonun metreküp fiyatlarının karşılaştırmasına ait bir çizelge verilmiştir (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.9. Prefabrik olarak üretilen geleneksel betonla KYB arasında toplam maliyet karşılaştırılması (Felekoğlu ve ark, 2004)

Maliyet Unsurları	Geleneksel Beton	KYB
	\$/m ³	\$/m ³
Beton (çimento, agrega)	55,46	57,91
Kimyasal katkı	5,31	12,59
Kalıp montaj işçiliği	7,57	7,57
Kalıba yerleştirme, sıkıştırma ve perdahlama	40,4	4,55
Kalıp sökümü	11,3	7,57
Vibrasyon hasarı ve bakımı	1,50	0
Toplam maliyet	121,60	90,21

Çizelgeden görüldüğü gibi, sırf malzeme açısından bakıldığında KYB daha pahalı olmakta ama fabrika içindeki diğer işlemlerin maliyetlerinin ilave edilmesi durumunda, KYB'nin çok daha ekonomik olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır (Felekoğlu ve ark, 2004). Fakat Türkiye şartlarında işçiliğin çok daha ucuz olması, kendiliğinden yerleşen betonun ekonomikliğini etkileyebilir.

3.BETON ÇEŞİTLERİ HAKKINDA BİLGİLER Zehra. Funda TÜRKMENOĞLU



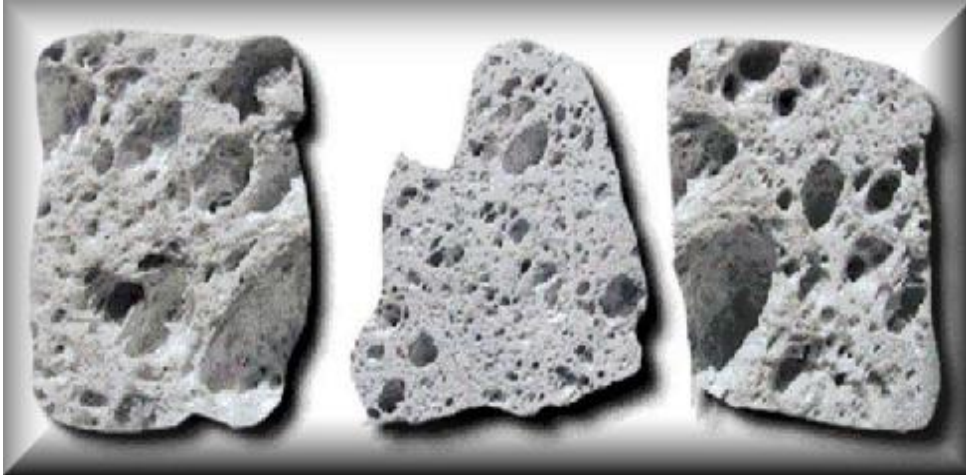
4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ

Tez çalışmasının bu bölümünde kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan malzemelerin genel özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

4.1. Pomza

4.1.1. Pomzanın Tanımı ve Genel Yapısı

Pomza, Türkçe’de sünger taşı, köpük taşı nasır taşı, topuk taşı olarak adlandırılmaktadır. Pomza, birbirinden bağıntısız boşluk içeren, silikat içeriğe sahip, birim hacim ağırlığı genelde 1 gr/cm³’den küçük, sünger görünümünde olan ve camsı doku gösteren volkanik bir maddedir (TS 3234, 1978). Şekil 4.1’de pomza örnekleri görülmektedir.



Şekil 4.1. Pomza görünümü (Arı, 2009)

4.1.2. Pomzanın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Pomza, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli, camsı bir kayadır. Bünyesinde kristal suyu yoktur, yüksek oranda kapalı gözeneklere sahip olup yaklaşık %70 boşluk içermektedir (Yeğinboğalı, 1997). Pomzanın en önemli yapısal özelliklerinden biri de gözenekler arası bağlantısız boşluklara sahip

4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

olmasıdır. Pomzanın bu özelliği sayesinde düşük bir permeabiliteye ve yüksek ısı ve ses yalıtım özelliğine sahiptir. Pomzanın sertliği, Mohs skalasına göre 5-6'dır. Çizelge 4.1'de ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikler verilmektedir.

Çizelge 4.1. Ülkemizdeki pomza kayaçlarının genel fiziksel özellikleri

Renk	Açık griden, kirli beyaza
Kristal Şekli	Amorf
Kristal Suyu	Yok
Sertlik	5,5-6,0
Kuru Birim Hacim Ağırlık (gr/cm ³)	0,32-0,97
Gerçek Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,15-2,65
Porozite (%)	45-90
Isı iletkenlik Katsayısı	<1
Su Emme (Ağırlıkça %)	30-70

Asidik ve bazik karakterde olmak üzere pomzanın iki türü bulunmaktadır. Çizelge 4.2'de Asidik ve bazik pomzaların kimyasal bileşimi verilmektedir.

Çizelge 4.2. Asidik ve bazik pomzaların kimyasal bileşimi (Çiftçi, 2003; Arı, 2009)

Bileşen (%)	Asidik pomza	Bazik pomza
SiO ₂	70	45
Al ₂ O ₃	14	21
Fe ₂ O ₃	2,5	7
CaO	0,9	11
MgO	0,6	7
Na ₂ O+K ₂ O	9	8
Kızdırma Kaybı	3	1

Pomzanın yeryüzünde en yaygın bulunan türü asidik pomzadır (Erdoğan, 2007). Asidik pomzanın yoğunluğu, 0,5 ile 1,0 gr/cm³ değerleri arasında iken bazik pomzaların yoğunluğu 1 ile 2 gr/cm³ arasında değişmektedir. Asidik karakterli pomzalar; beyaz, kirli beyaz, açık gri ve grimsi renklerde (Gündüz, 2005). Bazik pomzalar ise genellikle koyu renkli, kahverengimsi, siyahımsı renklerde (Özbayoğlu ve Gürel, 1997; Gündüz, 2005).

Pomzanın kimyasal yapısı incelendiğinde, asidik karakterli pomzaların bazik karakterli pomzalardan daha yüksek silis oranına ve daha düşük demir oranına sahip olduğu görülmüştür (Gündüz ve ark., 1998). Pomzanın yapısında bulunan SiO₂ kayaca aşındırıcı özellik sağlarken Al₂O₃ ateşe ve ısıya yüksek dayanım özelliği sağlamaktadır (Gündüz, 2005).

4.1.3. Pomzanın Oluşumu

Pomza, volkanik aktivite ile oluşan ve gaz çıkışları sonucunda gözenekli bir yapıya sahip volkanik bir kayadır (Nevile, 1995). Volkan bacasının içerisindeki basıncın artmasıyla asidik malzeme ve magmadaki erimiş gazlar büyük patlamalar şeklinde bacadan püskürmeye başlar. Bu olay, ani basınç serbestleşmesi ve ani genişlemelere neden olur. Uçucu gaz çıkışının ardından erimiş halde bulunan küresel parçalar, atmosfere temas eder ve hızla soğurlar. Böylelikle pomza oluşumu gerçekleşir. Pomzalar, volkan bacaların yakınından itibaren uzak mesafelere doğru hava akımının etkisiyle, topografya şekline uygun olarak depolanır. Bu pomza yatakları, zamanla akarsular tarafından taşınarak uygun havzalarda depolanabilmektedir. Bu şekilde oluşan pomza yataklarında, %1 ile %3 oranında andezit, traki-andezit, bazalt, obsidyen gibi volkanik kayaç parçaları bulunur (Gündüz ve ark, 1998).

4.1.4. Dünya ve Türkiye Pomza Rezervleri ve Üretimi

Dünyada, farklı karakteristik ve yapıya sahip birçok pomza yatağı bulunmakta olup, bu pomza yataklarının bulunduğu ülkeler arasında İtalya,

4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

Yunanistan, Almanya, ABD, Meksika, Fransa, İzlanda, Çin, Kanada ve Endonezya yer almaktadır. Dünya pomza rezervinin yaklaşık %40'ı ülkemizde bulunmaktadır. Ülkemizde yaklaşık 7,4 milyar m³ pomza rezervi bulunmakta olup, rezerv dağılımı Çizelge 4.3'te verilmektedir (TÜİK, 2009).

Çizelge 4.3. Türkiye pomza rezerv dağılımı (DPT, 2001; Gündüz, 2005)

Yeri	Rezerv miktarı (ton)	Rezerv kategorisi
Nevşehir-Avanos-Ürgüp	404.412.834	Görünür+Mümkün
Nevşehir- Derinkuyu	48.660.500	Muhtemel
Kayseri-Gömeç	13.250.000	Görünür+Mümkün
Kayseri-Develi	58.500.000	Görünür+Mümkün
Kayseri-Talas-Tomarza	241.000.000	Görünür+Mümkün
Kayseri- Talas-Tomarza	284.000.000	Mümkün
Bitlis-Tatvan	1.100.000.000	Mümkün
Van-Erciş-Kocapınar	154.625.000	Görünür+Mümkün
Van-Mollakasım	5.950.000	Görünür+Mümkün
Ağrı-Patnos	27.812.000	Görünür+Mümkün
Ağrı-Doğubeyazıt	26.875.000	Görünür+Mümkün
Kars-Iğdır-Kavaktepe	40.156.250	Mümkün
Kars-Digor	11.718.750	Mümkün
Kars-Sarıkamış	1.875.000	Mümkün
Ankara-Güdül Tekköy	8.070.000	Görünür+Mümkün
Isparta-Gölcük	30.983.250	Görünür+Mümkün+ Muhtemel

Pomza rezervinin en fazla olduğu bölge Doğu Anadolu bölgesidir. İl bazında pomza yataklarının dağılımına bakıldığında Bitlis, Kayseri, Nevşehir ve

4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ Zehra Funda TÜRKMENÖĞLU

Van'ın en büyük paya sahip olduğu görülmektedir. Şekil 4.2'de ise Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanmış, Türkiye pomza yatakları haritası verilmektedir.



Şekil 4.2. Türkiye'deki pomza yatakları haritası (MTA, 2008)

Dünyanın en önemli pomza üreticileri sırasıyla; Türkiye, İtalya, Yunanistan, Sudi Arabistan ve Ekvador'dur. Ülkemiz 30'dan fazla ülkeye pomza ihracatı yapılmaktadır. Pomza ihracatı yaptığı ülkeler arasında Avrupa birliği ülkeleri ve Amerika Birleşik Devleti büyük paya sahiptir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmaya (Birleşmiş Milletler Jeoloji Araştırmaları, Maden Meta Özeti, Haziran, 2016) sonucuna göre, 2014 yılında Dünya'da yaklaşık 16.800.000 ton pomza üretimi yapıldığı ve 2015 yılında ise bu değer 17.200.00 ton'a ulaştığı belirlenmiştir. Yine bu araştırmanın sonucuna göre, 2014 ve 2015 yıllarında Dünya'da en çok pomza üretimi yapan ülkenin Türkiye olduğu görülmüştür. Çizelge 4.4'te 2014 ve 2015 yılları dünya pomza üretimi yapan ülkeler ve miktarları verilmiştir.

4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

Çizelge 4.4. Dünya pomza üretimi (Birleşmiş Milletler Jeoloji Araştırmaları, Maden Meta Özeti, Haziran, 2016)

Ülkeler	2014 (ton)	2015 (ton)
A.B.D.	278.000	280.000
Cezayir	315.000	350.000
Kamerun	600.000	650.000
Şili	830.000	830.000
Ekvador	1.050.000	1.100.000
Etiyopya	420.000	420.000
Fransa	276.000	280.000
Yunanistan	1.230.000	1.200.000
Guadalup	200.000	200.000
İtalya	4.030.000	4.030.000
Sudi Arabistan	1.000.000	1.100.000
İspanya	195.000	200.000
Suriye	324.000	315.000
Türkiye	5.200.000	5.500.000
Diğer Ülkeler	850.000	850.000
Toplam	16.800.000	17.200.000

4.1.5. Pomza Kullanım Alanları

Pomza, üstün özelliklerinden dolayı eski dönemlerden beri yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Pomza, amfi tiyatrolar, mahzenler, tapınaklar, su kemerleri, hamamlar ve konutlar gibi birçok yapıda kullanılmıştır (Davraz, 2001).

4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

Pomza inşaat sektörü, tekstil sektörü, tarım sektörü, kimya sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Erkoyun, 2005; Türkmenoğlu, 2015). Pomzanın en yaygın kullanım alanı inşaat sektörüdür. İnşaat sektöründe; hafif ve prefabrik yapı elemanlarının üretiminde, hafif beton üretiminde, çatı kaplama elemanı üretiminde ve hazır sıva üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca, pomza çimento sanayinde de katkı malzemesi olarak geniş kullanım alanına sahiptir Hem asidik hem de bazik pomzalar bu amaçla kullanılabilirler (Efe, 2011). Tekstil sektöründe kot taşlamada, kot kumaşlarının renginin açılmasında ve kumaşın yumuşatılmasında kullanılmaktadır (Erkoyun, 2005; Türkmenoğlu, 2015). Pomzanın kullanıldığı bir başka sektör ise tarım sektörüdür. Pomza, gözenekli bir yapıya sahip olduğu için, bünyesine aldığı suyu uzun süre korur ve nemli bir ortam oluşmasını sağlar. Bu özelliği sayesinde tarımda kuraklığa çare olarak birçok ülkede pomza kullanılmaktadır. Günümüzde, İsrail, Suudi Arabistan, Kuveyt gibi ülkeler, su kaynak sıkıntısı yaşamaktadırlar. Bu problemi çözebilmek amacıyla, tarımsal uygulamalarda pomzadan yararlanmaktadırlar. Toprağın tabanına belirli bir derinlikte ve kalınlıkta pomza serilerek, toprak altına su verme işlemi gerçekleştirmektedir. Bu şekilde, hem bitkilerin ihtiyacı olan suyun doğrudan köklere ulaşması sağlanmış, hem de buharlaşmadan kaynaklanan su kaybının önüne geçilmiş olur (Reyhanoğlu, 1988). Pomza, kimya sektöründe, hammadde olarak birçok alanda kullanılmaktadır. Diş macunlarında, deterjan üretiminde, özel tip boyalarda kullanılmaktadır (Reyhanoğlu, 1988). Ayrıca, metal sanayinde, mobilya sanayinde ve elektronik sanayinde de kullanılmaktadır.

4.2. Çalışmada Kullanılan Endüstriyel Atıklar

Beton üretiminde endüstriyel atık katısı kullanmanın birçokolumlu etkisi bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri; betonun maliyetini düşürmek, betonun işlenebilirliğini artırmak, betonun dayanıklılığına katkı sağlamak ve atık malzeme kullanarak çevreye katkı sağlamaktır (Beery, 2002; Aprianti ve ark, 2015, Sua-iam ve Makul, 2014).

Son yıllarda, beton üretiminde, farklı endüstrilere ait atıkların katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmaların sayısı artmaya başlamıştır. Beton katkı malzemesi olarak bilinen (uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu gibi) atıklardan başka (plastikler, boya atıkları, atık lastikler, ve pirinç kabuğu külü gibi) farklı endüstriyel ve tarımsal atıkların betonda kullanımı büyük bir ilgi görmektedir (Beery, 2002; Gönen ve ark, 2012).

4.2.1. Mermer Endüstrisi Atıkları

Dünya doğal taş rezervleri ile ilgili yapılan çalışmalar, Alp-Himalaya kuşağında yer alan kalan Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, Türkiye, İran ve Pakistan gibi ülkelerin karbonatlı kayaç rezervi açısından zengin olduğunu belirtmektedir. Bu ülkelerin aksine İspanya, Norveç, Finlandiya, Ukrayna, Rusya, Pakistan, Hindistan, Çin, Brezilya ve Güney Afrika gibi ülkelerin ise magmatik kayaç rezervi açısından zengindir.

Ülkemiz dünya doğal taş rezervlerinin yaklaşık %40'ına sahiptir. Türkiye'de 4 milyar m³ işletilebilir mermer rezervi, 2,8 milyar m³ işletilebilir traverten rezervi ve 1 milyar m³ granit rezervi bulunmaktadır (Anonim, 2016). Ülkemizde 2016 yılı itibariyle, 51.639.919 milyon ton doğal taş üretimi gerçekleşmiştir. Bu üretimin %33'ü mermer, ignimbirit ve oniks gibi doğal taşlar oluşturmakta ve geri kalanını ise andezit, bazalt, granit gibi doğal taşlar oluşturmaktadır. 2016 yılı itibariyle, mermer sektöründe, faaliyet gösteren 2000 kadar tesis, 9000 kadar da orta ve küçük ölçekli atölye bulunmaktadır. İstihdam edilen kişi sayısı yaklaşık 300.000 civarındadır (Anonim, 2016).

TRB2 Bölgesi (Bitlis- Hakkari-Muş-Van) için mermer önemli bir maden olmasına rağmen bölgedeki yetersiz çalışmalardan dolayı tam rezerv ortaya konulamamıştır. Son yıllarda TRB2 bölgesinde yoğun bir şekilde mermer üretimi gerçekleştirilmekte olup her geçen yıl yeni mermer ocakları açılmaktadır (Anonim, 2011). Van ilindeki mermer rezervinin (mümkün rezerv) 5 milyon m³ olduğu tahmin edilmektedir (Önem, 1997). Van ilinde, Edremit, Başkale, Gürpınar ve

Güzelsu da mermer yatakları bulunmaktadır. Ayrıca, Edremit ilçesinde bulunan travertenler de kaplama taşı ve mermer olarak önemli potansiyele sahiptir (Anonim, 2011).

4.2.1.1. Mermer Endüstrisi Atıklarının Tanımı ve Genel Yapısı

Mermerin ocaktan çıkarılması, ocaktan çıkarılan mermerin fabrikada işlenmesi esnasında ortaya çıkan ve mamül mermer üretiminden geriye kalan bütün mermer parça ve tozları, mermer artığı olarak değerlendirilmektedir (Ağdağ ve Kırımhan, 1999). Mermer atıklarını oluşum yerlerine ve boyutlarına göre sınıflamak mümkündür. Oluşum yerlerine göre mermer atıkları ocaklarda ve fabrikalarda oluşan atıklar olarak sınıflandırılabilir.

Mermer ocaklarında, mermerin yapısından kaynaklanan arızalar (kırık, çatlak, fay v.s.) nedeniyle blok üretimi esnasında blok elde edilemeyen iri boyutta molozlar açığa çıkmaktadır. Mermer ocaklarında oluşan bu atıklar, ocakların kenarlarında biriktirilerek kendi haline terk edilmektedir. Bu atıkların çok az bir kısmı ise, mozaik yapımında veya döşeme ve dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Yıldız ve Eskikaya, 1995). Mermer ocaklarında, molozların dışında blokların sayılanması işlemi nedeniyle de kapak adı verilen iri boyutta mermer parçaları açığa çıkmaktadır. Bu parçalar, ocak içerisinde pasa döküm sahasında biriktirmektedir.

Mermer fabrikalarında ise, parça ve toz olmak üzere iki tür atık oluşumu söz konusudur. Birincisi, mermer bloklarından belirli ebatlarda plaka elde edilmesi sırasında oluşan parça mermer atıklarıdır. Diğeri ise, mermerlerin kesilmesi sırasında, ortaya çıkan mermer toz atığıdır. Mermer tozu, mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan ve çoğunluğu 200 mikron altı mermer tanecikleridir (Demir ve ark, 2008). Mermer kesme işleminde su kullanılmaktadır. Bu su, çöktürme havuzlarında veya tanklarda dinlendirildikten sonra tekrar sistemde kullanılmaktadır. Çöktürme havuz ve tanklarının tabanında

çökelen kek şeklindeki bu çamurlar ise, daha sonra atık sahalarına taşınmaktadır (Emrullahoğlu ve Çelik, 1999).

4.2.1.2. Mermer Endüstrisi Atık Miktarları

Mermer atıklarını, ortaya çıktıkları yere göre iki gruba ayırabilir. Bunlar; mermer ocak atıkları ve mermer fabrika atıklarıdır. Mermer ocaklarında, blok mermer üretimi yapılırken, moloz ve pasa atıkları ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar, ocak üretim miktarının yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır (Bilgin ve Koç, 2013).

Mermer fabrikalarında ise blok mermerin kesilmesi ve sayalanması işlemleri sonucunda, parça ve çamur atıklar ortaya çıkmaktadır. Bir mermer bloğunun kesim ve sayalama işleminden sonra yaklaşık %40'ı mermer çamuru ve %30'u mermer kırığı atığına dönüşmektedir (Hebhoub ve ark, 2011; Alyamaç ve ark, 2017).

Son yıllarda, mermer üretimin yoğun olarak gerçekleştirildiği ülkelerde atıklar ve depolanması konusunda sıkıntı çekmektedirler. Bu ülkeler ve atık miktarları ile ilgili örnek verecek olursak; İspanya da 700.000 tondan fazla mermer atığı depolama sahalarına boşaltılmıştır (Valdez ve ark, 2011). Mısırda 2.000.000 tondan fazla mermer atığı üretilmektedir (Aliabdo ve ark, 2014).

Ülkemizde 2016 yılında yaklaşık olarak 5.700.000 ton blok mermer üretimi yapılmıştır. Her yıl yapılan bu üretimin yaklaşık %70'inin değerlendirilmeden atıldığı düşünülürse, ortaya çıkan atık miktarının çok önemli boyutlara ulaşacağı kaçınılmazdır.

4.2.1.3. Mermer Endüstrisi Atıklarının Çevresel Etkileri ve Kullanım Alanları

Günümüzde mermer kullanımının yaygınlaşması ile birlikte mermer ocak ve işleme tesislerinde ortaya çıkan atık miktarında da artış olmuştur. Ülkemizde atıklar ve değerlendirilmesi konusunda birçok kanun ve yönetmelik bulunmaktadır. Mermer atıkları, madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan atıklar arasında yer almaktadır. Ülkemizde, maden atıkları, 15 Temmuz 2015 tarih ve 29417 sayılı

4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

Resmi Gazete’de yayımlanan Maden Atıkları Yönetmeliği kapsamında değerlendirilmektedir. Bu yönetmelik; madenlerin aranması, çıkarılması, hazırlanması/zenginleştirilmesi veya depolanması sonucunda ortaya çıkan atıkların üretiminden nihai bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde yönetilmesine ilişkin usul ve esasları içermektedir. Bu yönetmelikte, Ek 4/A’da inert maden atıkları listesi verilmektedir. Bu listeye göre, mermer atıkları inert maden atıkları kapsamında yer almaktadır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015).

Mermer üretimi sırasında tonlarca atık ortaya çıkmakta ve bu atıklar da birçok probleme sebep olmaktadır. Bunlar; çevresel kirlilik, çevre sağlığının bozulması ve ekonomik kayıplardır (Sudarshan ve Vyas, 2016; Mashaly, 2016).

Mermer atıkları, çevresel kirlilik açısından değerlendirildiğinde, çevre ekosisteminin fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısı için tehdit oluşturduğu görülmüştür. Toprağa dökülmüş mermer çamuru kuruduğu zaman küçük patıküller havada uçarak hava kirlenmesine neden olmaktadır (Bilgin ve Koç, 2013). Dere yataklarının doldurulması, dere kesitinin daralmasına neden olmaktadır. Yağmurlu mevsimlerde mermer çamurları nehirlere, kanallara ve yollara akarak suyun kalitesini olumsuz etkilemektedir (Acchar ve ark., 2006; Maroto ve ark, 2017). Araziye boşaltıldığında ise porozite (gözeneklilik), su absorpsiyonu ve permeabiliteyi (su geçirgenliği) azaltması nedeniyle arazi verimliliğini olumsuz şekilde etkilemektedir. Fabrikanın her tarafına dağıtılan çamur atık yığınları, bir görüntü kirliliği oluşturarak tüm bölgenin estetiğini bozar. Sonuçta ülkenin turizm ve endüstriyel potansiyeli olumsuz olarak etkilenmektedir (Bilgin ve Koç, 2013).

Mermer atıkları çevre sağlığı açısından çeşitli riskler oluşturmaktadır. Bu atıklar, çok ince patıküllere sahiptirler ve bu atıklar genellikle mermer fabrikaları çevresinde açıkta depolanmaktadır. Açıkta depolanan bu atıklar, havaya ve suya karışma oranları çok yüksektir. Suya karışan bu atıklar, suda yaşayan canlılara zarar verebilmektedir.

4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

Mermer atıkları, ekonomik açıdan değerlendirildiğinde; atıkların miktarının fazlalığı doğal kaynağımızı ekonomik olmayan bir şekilde tükettiğimiz anlamını taşımaktadır. Ayrıca, bu atıkların depolanması ve taşınması işlemleri sırasında da ekonomik kayıplar söz konusudur Mermer atıklarının geri kazanımı ve yeniden kullanımı, çevresel kirlilik, çevre sağlığı ve ekonomik açıdan büyük önem taşımaktadır (Corinaldesi ve ark, 2010).

Mermer atıklarının değerlendirmesinin yapıldığı alanlar şunlardır. Yapı ve inşaat, seramik, çimento, plastik, kağıt, tarım ve gübre, yem, boya ve cam sanayinde kullanılabilmektedir.

İnşaat alanında mozaik, yapıtaşı, çimento, harç ve sıva olarak kullanıldığı gibi kireç elde edilen en önemli hammaddelerden biridir. Ancak, kireç elde edilecek kireçtaşlarının kil oranı %5'i aşmamalıdır. Ayrıca, mermer parçaları bağlayıcı kullanılarak karo üretimi gerçekleştirilmektedir.

Seramik sanayiinde yaklaşık %5-6 civarında mermer kullanılabilmektedir. Seramik bünye ve seramik sırları üretiminde CaO olarak reçeteye kalsit, dolomit ve mermerden hammadde olarak girebilir. Karışık ve katkılı akçini çamurlarının mineralojik bileşiminde %5-20 arasında CaCO_3 kullanılır. Bu CaCO_3 'ün çok ince öğütülmüş mermer halinde bileşime katılması gerekir. Özsüz bir seramik hammaddesidir ve seramik çamurunda gözenekliliği azaltır. Bünyedeki CaO sırdaki SiO_2 ile reaksiyona girerek bir ara tabaka oluşturur. Bu ara tabaka sayesinde gerilimleri emerek çatlamları önler (Kavas ve Kibici, 2001).

Çimento, CaO, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve eser miktarda MgO ihtiva eden, ana hammadde olarak da kireçtaşı ve kıltaşı karışımı olan, klinkerleşme sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra alçıtaşı gibi, tras ve katkı maddeleri gibi maddelerin öğütülerek homojen bir şekilde karıştırılmasıyla elde edilen bir bağlayıcıdır. Çimentonun bünyesinde her ne kadar çok miktarda CaCO_3 bileşimli hammaddeler kullanılıyor olsa bile, mermerin yapısı ve oluşum mekanizmasından dolayı çimento sanayiinde özellikle beyaz çimento üretiminde kullanılır (Kavas ve Kibici, 2001).

4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

Plastik malzemelere doluluk ve sıklık vermek amacı ile bünyeye çeşitli dolgu maddeleri katılmaktadır. Bu dolgu maddelerinden biri de mermerdir. Ayrıca, mermer plastik bünyeye girince yüksek sıcaklığa karşı dayanım ve taneli yapı kazandırma gibi özellikleri bünyeye katar. CaCO_3 kağıt sektöründe dolgu ya da kaplama malzemesi olarak kullanılır. Özellikle sigara kâğıdı başta olmak üzere (düzenli yanmayı sağlar) gazete kâğıdı, kaliteli kitap ve dergi kâğıtları üretiminde kullanılmaktadır. CaCO_3 'ın yağ emme özelliğinden dolayı matbaada mürekkebin hızlı kurumasını sağlar.

Topraktaki kalsiyum miktarına bağlı olarak toprağın ihtiyaç duyduğu kireç miktarı ile onun asit, baz ya da nötr karakteri ile pH değeri belirlenir. Toprak için ihtiyaç duyulan kalsiyum miktarı sürekli olarak doğal etkilerle (yağmur gibi) azaldığı için belirli sürelerde toprağa kalsiyum ilavesi (mermer atıkları ya da kireç gibi maddelerle) yapmak toprak ıslahı için gereklidir.

Kalsiyum karbonat bileşiklerinin, kanatlı hayvanların yemlerinde hayvan yemi olarak kullanımı oldukça yaygındır. Kullanım esnasında tane boyutu 2 mm'nin altında olması gerekir. Katkı oranı genellikle %10 civarındadır. Kanatlı hayvan yemine katılacak olan katkının en az %92 oranında CaCO_3 içermesi gerekir (Sabah ve Çelik, 2001).

Kalsiyumca zengin kireçtaşları; şişe ve pencere camı, magnezyumca zengin kireçtaşları ise özel cam imalinde kullanılırlar. Cam sektöründe kullanılacak olan kireçtaşlarının; CaCO_3 oranının (%98,5), FeO oranının (%0,2), organik madde oranının (%0,3) ve silikat oranının ise (%1,0) olması istenilir (Kavas ve Kibici, 2001).

4.2.2. Termik Santral Atıkları

Ülkemizde elektrik enerjisi üretimi termik santraller, hidroelektrik santraller ve doğalgaz santrallerinden elde edilmektedir (Aruntaş, H.Y, 2006). Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu verilerine göre, 2016 yılı itibariyle ülkemizin elektrik enerjisi üretimindeki toplam kurulu güç kapasitesi 77.736 MW'tır. Enerji,

kaynakları açısından bakıldığında 2016 yılı itibariyle toplam elektrik üretiminin %32,16 'sı doğal gaz, % 24,69 'sı hidrolik kaynaklar % 16,40'ı yerli kömür ve % 17,52 'si ithal kömürden karşılanmıştır (EPDK, 2016).

2016 yılı Mayıs ayı verilerine göre Türkiye'de lisanslı 367 adet termik santral bulunmaktadır. Bu termik santrallerden 29 adedi yerli kömür santrali ve 9 adedi de ithal kömür santralidir (TEİAŞ, 2016).

4.2.2.1. Uçucu Küllerin Tanımı ve Genel Yapısı

Termik santrallerde elektrik üretimi sırasında, düşük kalorili linyit kömürleri yakılmaktadır. Bu kömürlerin yanması sonucunda mikron boyutunda kül tanecikleri meydana gelmektedir. Meydana gelen bu küller, termik santrallerdeki elektro filtrelerle tutulmakta ve atmosfere çıkışı önlenmektedir (Dikmen, 2017).

Uçucu küller, küresel bir şekle ve düşük yoğunluğa sahip malzemelerdir. (Šešlija ve ark, 2016). Uçucu küllerin tane boyutları 1 ile 150 mikron ve yüzey alanları ise 400-700 m²/kg arasında değişmektedir. Uçucu küllerin özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar kömür kaynağı ve kömürün yakılma yönteminden kaynaklanmaktadır. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri incelik, yoğunluk, tane dağılımı ve tane şeklidir (Şimşek, 2014).

Uçucu külün içinde majör olarak SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve CaO gibi bileşenler ve MgO, SO₃, alkali oksitler gibi minör bileşenler bulunmaktadır (Görhan ve ark, 2008). Bu bileşenlerin oranları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Uçucu küller silisli veya kalkersi yapıda olabilmektedirler. Bileşiminde reaktif SiO₂ oranı kütleli olarak % 25'den fazla ve CaO oranı %10'dan az olan uçucu küle silisli uçucu kül denilmektedir. Bileşiminde reaktif SiO₂ oranı kütleli olarak %25'den fazla ve CaO oranı %10'dan fazla olan uçucu küle kalkersi uçucu kül denilmektedir (Yalçın ve Gürü, 2006). Ülkemizde bulunan uçucu küllerin tane boyut analizlerine göre, uçucu küllerin yaklaşık %65-70'i 45 mikronun altında tane boyutuna sahiptir (Kolukisa, 1999).

4.2.2.2. Uçucu Kül Atık Miktarları

Elektrik enerjisinin önemli bir bölümünün üretildiği termik santrallerde, elektrik üretimi için taşkömürü ve linyit gibi doğal kaynaklar kullanılmaktadır. Genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10-15'i, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. (Morrison, 1970). Türkiye'de 2014 yılında tüketilen kömürün, 31,8 milyon tonu taşkömürü ve 64,7 milyon tonu ise linyit ve asfaltit'dir. 2014 yılı taş kömürü arzının %44,6 oranındaki en büyük kısmı elektrik üretiminde kullanılmıştır. Türkiye'de üretilen linyit kömürleri en çok elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde kullanılmaktadır. 2014 yılında 64,7 milyon ton linyit arzının %88,8'i elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde tüketilmiştir (ETKB, EİGM, 2016a).

Dünyada uçucu kül üretimi yıllık yaklaşık 450 milyon ton olup, bunun sadece %6'sı çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaktadır (Mehta, 2000). Türkiye'de her yıl 15 milyon tondan fazla uçucu kül üretilmektedir (Derun ve ark, 2010).

4.2.2.3. Uçucu Küllerin Çevresel Etkileri ve Kullanım Alanları

Dünyada enerjiye olan ihtiyacın gün geçtikçe artması çevre üzerindeki baskıların da artmasına neden olmaktadır. Birincil enerji kaynaklarından olan kömür, petrol ve doğalgaz, enerji üretiminde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaynakların kullanımının çevre ve halk sağlığı üzerindeki etkileri azımsanamayacak kadar çoktur.

Enerji kaynakları arasında özellikle kömürün yapısında büyük oranda organik bileşikler bulunmaktadır. Bu bileşikler kömürün bulunduğu coğrafi bölgeye ve yatağa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genel olarak kömürün yapısında; kurşun, civa, arsenik, kadmiyum, antimuan, selenyum, kalay ve çinko gibi bazı toksik elementler bulunabilmektedir (Dikmen, 2017).

Kömürü yakıt olarak kullanan termik santrallerin başlıca çevre sorunları arasında; kömürün yanması sonucu oluşan baca gazları (SO_x, NO_x ve CO₂ gibi),

filtrelerde tutulan uçucu kül, kazan altında biriken cürufun depolanması ve bertaraf edilmesini sayabiliriz. Termik santrallerde kömürün yanması sonucu oluşan baca gazlarının, bacalardan atılarak alıcı ortama verilmesi insan sağlığını olumsuz etkiler. Bacalardan rüzgâr ile birlikte atmosfere karışan bu zararlı gazlar su partikülleri ve diğer bileşenler ile tepkimeye girerek sülfirik asit ve nitrik asit meydana getirirler. Bu da asit yağmurlarına neden olur (Dikmen, 2017).

Günümüzde kömür yakıt kullanan termik santrallerin tamamında elektro statik filtre veya toz filtreler bulunmaktadır. Bu filtreler sayesinde baca gazındaki partiküller tutulmaktadır. Filtrelerle tutulan uçucu kül, pnömatik hatlarla kül silolarına depolanmaktadır. Yine santrallerde, kazanın dibinden çıkarılan cüruflarda, cüruf bunkerlerinde depolanmaktadır. Daha sonra, kül ve cüruflar kül döküm sahasına ya da kül barajına taşınmaktadır. Kül barajı ya da kül döküm sahasında yeterli tedbirler alınmaması durumunda külün çevreye yayılması ve külün içeriğinde bulunan zararlı bileşenlerin yer altı sularına karışması söz konusudur (Büyükhatipoğlu ve Uçar, 2017).

Kömürün yanması sonucu termik santrallerde açığa çıkan cüruf ve uçucu kül gibi atıkların çevreye boşaltılması ile atıkların içerdikleri toksik iz elementler, atmosfer, yeryüzü ve okyanuslara kadar taşınabilir (Baba, 2000a; Bertme ve Goldberg, 1971). Dolayısıyla da bu atıkların su, toprak ve hava kirliliği üzerinde önemli çevresel etkileri bulunmaktadır.

Uçucu küller sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri nedeniyle; çimento üretiminde, beton üretiminde, baraj uygulamalarında, köprü ayaklarında, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonunda, yol ve briket yapımında, asfalt içine dolgu maddesi olarak, atık stabilizasyonunda, tarımsal amaçlı zemin ıslahı ve gübreleme uygulamalarında kullanılmaktadır (Güler ve ark, 2005; Luther, 2010).

Uçucu küllerin kullanım alanları hakkında çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan birinde, evsel atık suların arıtılmasında uçucu küllerin koagulant

olarak kullanımının diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında maliyetinin daha düşük olduğu belirtilmiştir (Sarı ve Bayat, 2002).

Beton içerisinde uçucu kül kullanımının birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar; taze beton karışımının su ihtiyacını azaltmak, betonda terlemeyi, hidratasyon ısını ve geçirimliliği azaltarak, betonun durabilitesini artırmak, betonun işlenebilirliğini artırmak ve betonun ekonomik olmasını sağlamaktır. Bu kadar avantajının yanında bir de dezavantajı bulunmaktadır. Uçucu kül katkılı betonların ilk dayanımları düşüktür (Erdoğan, 2003).

4.2.3. Şeker Fabrikası Atıkları

Dünyada üretilen şekerin büyük çoğunluğu şeker kamışından üretilmektedir. Geri kalan kısmı ise şeker pancarından üretilmektedir. Dünyada 2015/2016 pazarlama yılında 166 milyon ton şeker üretilmiş olup, bunun %81'i şeker kamışından ve %19'u şeker pancarından üretilmiştir. 2016/2017 pazarlama yılı üretiminin ise 168 milyon ton olacağı tahmin edilmektedir. Dünyanın en büyük şeker üreticisi Brezilya olup, Brezilya'yı sırası ile Hindistan, Tayland ve Çin takip etmektedir. Dünya genelinde şeker kamışı ve şeker pancarından şeker üreten ülkeler arasında Türkiye 18. Sıradadır (Türkşeker, 2017).

Türkiye'de pancar şekeri ve nişasta bazlı şeker olmak üzere iki temel tür şeker üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde bir tanesi kamuya ait olmak üzere 7 adet pancar şekeri üreten şirket, değişik kapasitelere sahip 33 adet şeker fabrikası ile faaliyet göstermektedir (Türkşeker, 2017).

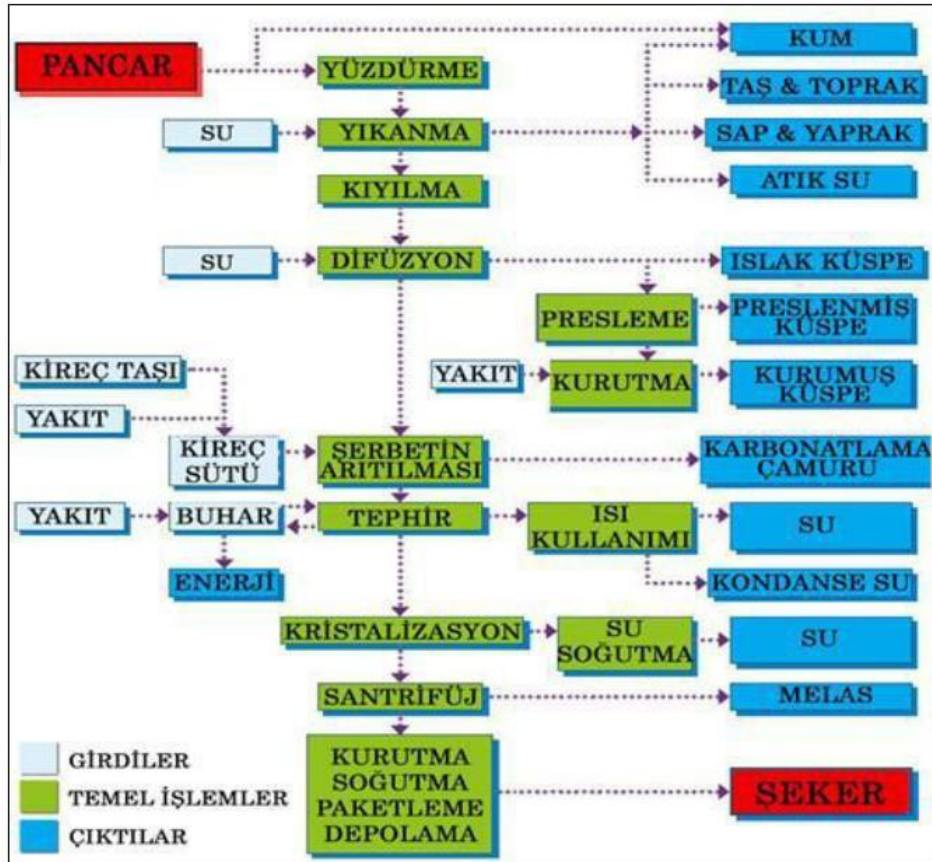
4.2.3.1. Şeker Fabrikası Atıklarının Tanımı ve Genel Yapısı

Şeker üretimi sırasında birçok yan ürün (melas ve küspe) ve atık (filtre çamuru ve atık su) ortaya çıkmaktadır. Şeker fabrikalarında ortaya çıkan bu atıklar miktarı oldukça fazladır.

Melas, şekerin kristal hale gelmesi işlemleri sonucunda kalan, içinde %50 oranında şeker ihtiva eden koyu kahverenkli, yapışkan şuruptur (Görgülü, 1967).

4. ÇALIŞILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ Zehra Funda TÜRKMENOĞLU

Küspe, difüzyondan çıkan şekeri alınmış pancar posasına denilmektedir. Kurutulmuş küspenin içinde yaklaşık %10,45-13,39 su; %8,00-8,63 ham protein, %0,30-%0,60 ham yağ; %13,56-%16,24 ham selüloz, %56,44-%59,39 nitrojeniz maddeler, %3,42-%4,00 kül ve %52,10-%55,20 nişasta bulunmaktadır (Türkşeker, 2011). Şeker üretim prosesi ve oluşan yan ürünler ürünler Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 Şeker üretim prosesi ve oluşan yan ürünler (Alkaya ve ark, 2006)

Şeker üretiminde, şeker dışı maddelerin uzaklaştırılması amacı ile şerbete kireç katılmaktadır. Şerbet ortamına katılan bu kirecin fazlasının çöktürülmesi gerekir. Bu işlem için karbondioksit gazı kullanılır. Karbondioksit gazı, şerbet içindeki kirecin fazlasının kalsiyum karbonat olarak çökmesini sağlar. Çöktürme

işleminden sonra şerbet süzülür ve çöken çamur filtre edilerek, uzaklaştırılır. Bu çöken çamura filtre çamuru denilmektedir. Filtre çamurları şeker üretiminde ortaya çıkan yüksek su içeriği olan, hafif ağırlıklı, amorf, koyu kahve veya siyah renkli materyallerdir. Bir kuru filtre pastası % 60-75 CaCO_3 , % 10-15 organik malzeme, 0.2-0.7 N, % 0.2-0.9 P_2O_5 , 0.3-1 K_2O ve mikro elementleri içerir.

4.2.3.2. Şeker Fabrikası Atık Miktarları

Dünyada şeker üretiminin büyük bir bölümü, şeker kamışından yapılmaktadır. Dünyada şeker kamışından şeker üreten tesislerden açığa çıkan, filtre çamur atığının 2013 yılı itibariyle 61.94 milyon tona ulaştığı bilinmektedir (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, 2012; Makul ve Iam, 2016). Hindistan dünyanın ikinci büyük şeker üreticisidir. Şeker üretim tesislerinden yılda yaklaşık 5 milyon ton filtre çamuru, 45 milyon ton küspe ve 7,5 milyon ton melas açığa çıkmaktadır (Satisha ve Devarajan, 2007).

Ülkemizde ise şeker üretiminin büyük bir bölümü şeker pancarından üretilmektedir. Türkiye’de 2016 yılı sonu itibariyle 10.617.000 ton şeker pancarı işlenerek, 1.404.000 ton şeker ve 502.000 ton melas üretilmiştir (Türkşeker, 2017). Ülkemizde, şeker üretiminin en fazla gerçekleştirildiği fabrikalar sırasıyla; Ereğli, Ilgın ve Afyon şeker fabrikaları’dır. 2016 yılı itibariyle, şeker üretiminin %10,94’ü Ereğli şeker fabrikasında, %9,81’i Ilgın şeker fabrikasında ve 9,78’i Afyon şeker fabrikasında gerçekleştirilmiştir.

Van ilinde bulunan Erciş Şeker fabrikasında ise, 2016 yılı kampanya döneminde 170.500 ton şeker pancarı işlenerek 25.374 ton şeker üretimi gerçekleştirilmiştir (Türkşeker, 2017). 2016 yılı itibariyle, şeker üretiminin %,1,8’i Van Erciş şeker fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Şeker endüstrisinde yan ürün olan küspe, ülkemizde her yıl yaklaşık 2.486.088 ton açığa çıkmaktadır (Yılmaz ve Alagöz, 2013).

Şeker üretimi, suyun yoğun olarak kullanıldığı bir sektördür. Şeker üretiminde 100 ton pancar için ortalama 1.500-2.000 m^3 su kullanılmaktadır. Şeker

fabrikalarında, pancarın yıkanması, şerbetin arıtılması sırasında, bez yıkama sırasında ve şerbetin buharlaştırılması işlemleri sırasında, proses kaynaklı sular çıkmaktadır. Şeker fabrikası atık suları, çeşitli organik ve inorganik maddeler içermektedirler.

4.2.3.3. Şeker Fabrikası Atıklarının Çevresel Etkileri ve Kullanım Alanları

Şeker endüstri tesis atıklarının depolanması ve bertaraf edilmesi şeker üreten ülkeler için önemli bir sorundur. (Makul ve Iam, 2016). Şeker fabrikalarında filtre çamurları ve tesis suları gibi atıklar ortaya çıkmaktadır. Şeker fabrikalarında açığa çıkan filtre çamurları ve atık sular çeşitli organik ve inorganik maddeler içermektedirler. Bu suların alıcı ortama deşarj edilmesi için önemli derecede kirlilik meydana getirmektedir. Bu da çevresel açıdan problemlere neden olmaktadır.

Şeker üretiminde, şerbetin arıtılması aşamasından sonra kalan filtre çamuru organik ve inorganik bileşiklerden oluşmaktadır. Şeker üretim prosesi sonucunda açığa çıkan bu atık, ya sulandırılarak pompa ile derelere deşarj edilmekte veya çöktürme çukurlarında toplanarak fabrika çevresinde depolanmaktadır. Filtre çamurlarının sulandırılarak pompajla derelere ve akarsulara verilmesi, sulama kalitesinin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Bunun sebebi, filtre çamurunun yüksek miktarda kalsiyum karbonat ve organik madde içermesidir. Fabrika çevresinde toplananlar ise yığın oluşturarak çeşitli çevre sorunlarına neden olmaktadır (Aksoy ve Danışman, 1989).

Şeker fabrikası filtre çamur atıklarının kullanım alanları ile ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, genellikle tarımsal ve endüstriyel uygulamalarda kullanıldığı belirlenmiştir (Partha ve Sivasubramanian, 2006).

Şeker kamışı filtre kekinde kireç içeriğinin yüksek oranda bulunması nedeniyle, kalsinasyon işlemine tabii tutulup çimentolu malzemelerde kullanılabileceği ile ilgili yapılan bir çalışma bulunmaktadır (Tran, 2012; Yadav ve Solomon, 2006).

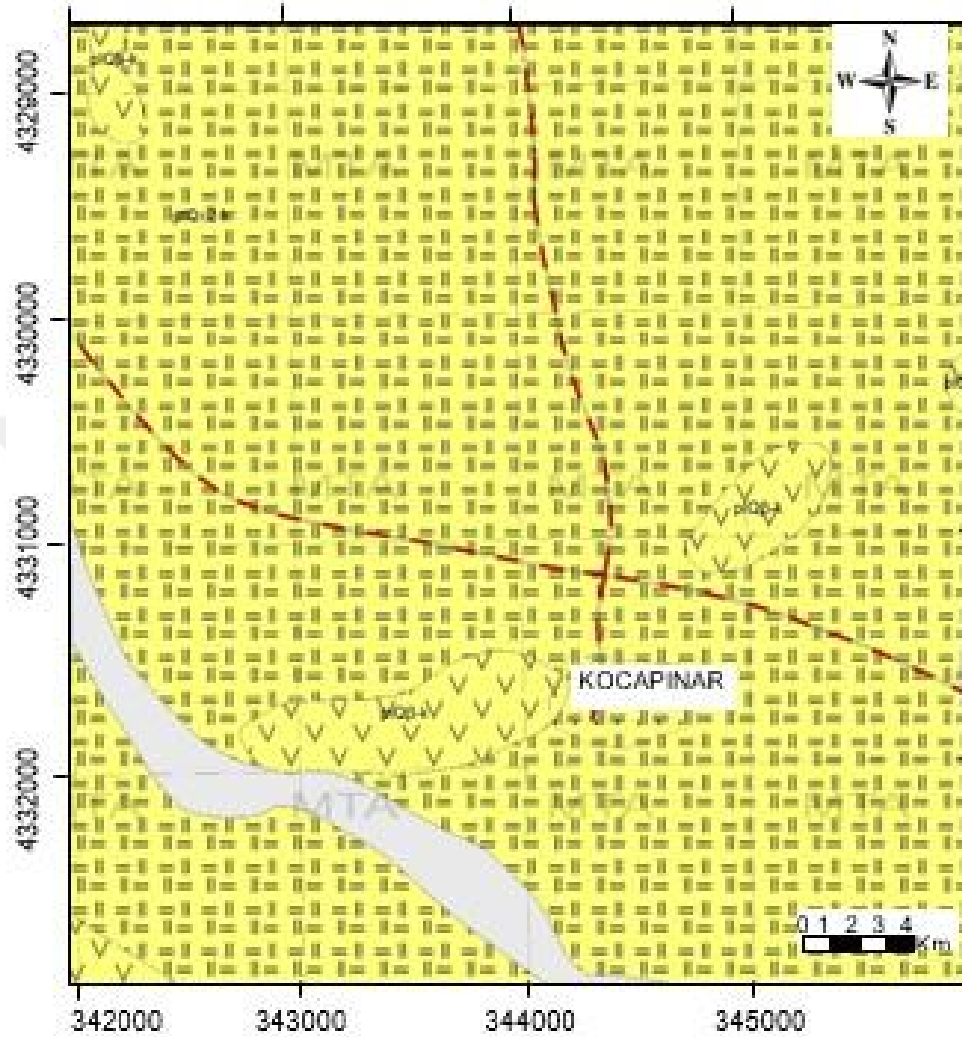
5. MATERYAL VE METOD**5.1. Materyal**

Tez çalışmasında, endüstriyel atık katkıli kendiliğinden yerleşen hafif beton retilbilirliğı araştırılmıştır. Bu amaçla farklı endüstrilere ait atıklar kullanılmış ve atıkların kendiliğinden yerleşen betonun taze ve sertleşmiş haldeki özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Tez çalışmasının bu bölümünde, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilmiştir. Çalışmada, hafif agrega olarak pomza, mineral katkı olarak ise; mermer tozu, bazalt tozu, granit tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru kullanılmıştır. Ayrıca taze betonun işlenebilirliğini artırmak amacıyla süperakışkanlaştırıcı katkı ve hava sürükleyici katkı kullanılmıştır.

5.1.1. Kullanılan Malzemeler Hakkında Bilgiler**5.1.1.1. Van (Erciş-Kocapınar) Pomzası**

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde, ana hammadde olarak Van (Erciş-Kocapınar) asidik pomzası kullanılmıştır. Pomza, Van ili, Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren Termo Blok Bims A.Ş.'nin depolama sahasından temin edilmiştir. Pomza agregalarının bulunduğu saha, Van ili, Eris İlçesi, Kocapınar Köyü sınırları içerisinde olup, saha Erciş ilçesine 9 km ve Van iline 110 km mesafededir.

Van ili sahip olduğı jeolojik yapı gereğı önemli perlit ve pomza yataklarına ev sahipliğı yapmaktadır. Van (Erciş-Kocapınar) pomza sahasına ait jeoloji haritası Şekil 5.1'de verilmektedir.



AÇIKLAMALAR



Pli2-k

Pliosen-Kuvaterner, Tüf, Karasal, Volkanik Kaya



Pli2-k

Pliosen-Kuvaterner, Bazalt, Karasal, Volkanik Kaya



Q-21-k

Kuvaterner, Alüvyon, Karasal, Çökel Kaya

Şekil 5.1. Van (Erciş-Kocapınar) pomza sahası jeoloji haritası (Ağrı j50 d3paftası, 1/25.000 ölçekli MTA jeoloji haritasından değiştirilerek alınmıştır)

Van Gölü Havzası, Paleozoyik'ten güncel çökellere kadar çok geniş bir yaş aralığında ve farklı kökenlerdeki kayaç gruplarından oluşmaktadır. Ancak, ağırlıklı kayaç gruplarına göre bir genelleme yapıldığında, havzanın güneyinin Bitlis Masifi'ne ait metamorfik kayaçlardan kurulu olduğu; batı ve kuzeyinin genç volkanik ve volkanoklastik kayaçlarla örtülü olduğu görülür. Havzanın doğusunun ise, Mesozoyik yaşlı okyanusal kabuk ve bunun üzerinde gelişmiş karmaşık yapılı kayaç gruplarından oluşan Tepedam metamorfikleri, Hasandağ Grubu, Mordağ Grubu, Mehmet alan Grubu ve Yüksekova Karmaşığı ile kaplıdır. Senozoyik dönemindeki neotektonik olaylara bağlı olarak gelişmiş Doğu-Batı uzanımlı küçük havzalar da genç-güncel akarsu ve gölsel kırıntılar ve karbonatlarla doldurulmuştur (Çifti ve ark, 2008). Meydan volkanizmasının pliniyen tipteki yüksek şiddetli patlamasıyla ilişkili olarak oluşan ve Kocapınar köyü yakınlarında çok geniş rezervlere sahip olan pomza geri düşme ürünleri iki farklı püskürme safhasında istiflenme göstermişlerdir. İlk safha çok ince taneli kül ve pomza araldanması ile oluşmuş ve ikinci safhada pomza geri düşme ürünleri çökelmiştir. Pomzalar çoğunlukla 1-5 cm arasında tane boyuna sahip, litik malzemece zengin olarak gözlenmektedirler (Kaplan, 2005; Efe, 2011).

Pomza ve perlit yatakları özellikle Erciş ilçesinde yoğunlaşmaktadır. İlçedeki pomza yatakları Ekiciler Köyü ve Kırkpınar Köyü mevkieinde yer almakta olup, bunların toplam rezervi 154.625.000 ton rezerve sahip pomza sahası bulunmaktadır. Ayrıca Merkez ilçe Mollakasım köyünde de 5.950.000 ton rezerve sahip pomza sahası bulunmaktadır (DPT, 2001). Tez çalışması kapsamında, Van ili, Erciş ilçesi, Kocapınar köyü pomzası kullanılmıştır (Şekil 5.2).

Çalışmada, Van İli, Erciş İlçesi, Kocapınar Köyü asidik pomzası kullanılmıştır. Pomza, Van İli, Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren Termo Blok Bims A.Ş.'nin depo sahasından temin edilmiştir. Laboratuara getirilen pomza, eleklerden elenerek sınıflandırılmıştır. Çalışmada, dört farklı boyutta pomza agregası (0/2 mm, 2/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm) kullanılmış olup, Van asidik pomzanın görünümü Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.2. Van (Erciş-Kocapınar) pomza sahası görünümü



Şekil 5.3. Van asidik pomzalarının görünümü (a: 8/16mm, b: 4/8 mm, c: 2/4 mm ve d:0/2 mm boyutu)

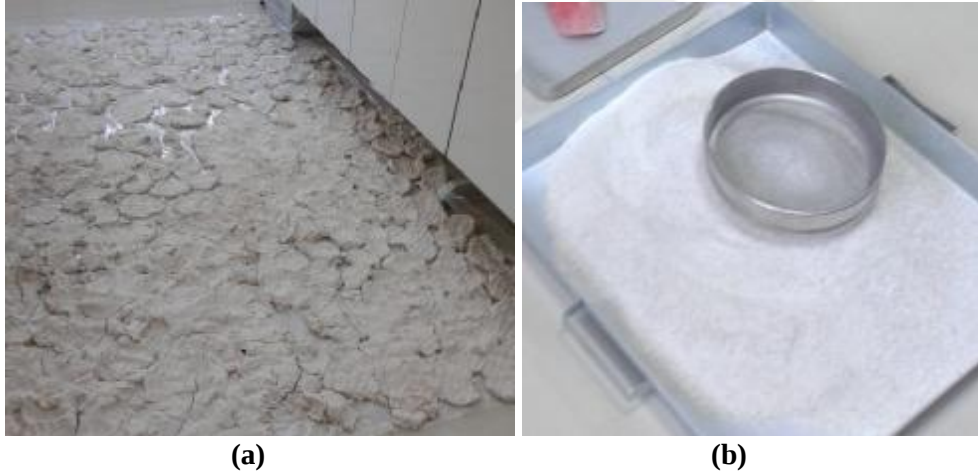
5.1.1.2. Mermer Tozu

Van ilinde, özellikle son dönemde büyük firmaların yapmış oldukları yatırımlarla birlikte entegre üretim yapan tesislerin de devreye girmesiyle işlenmiş mermer üretiminde büyük artış kaydedilmiştir. Van ilinde 4 adet mermer işleme tesisi ve yaklaşık 75 adette mermer atölyesi faaliyet göstermektedir. Mermer işleme tesis ve atölyelerinde yılda yaklaşık 150.000 ton mermer işlendiği düşünülmektedir. Bu rakamlardan hareket ederek Van ilinde işlenen mermer atık toz miktarını bulmak mümkündür. Mermer  retim tesislerinde ortaya çıkan atıkların %30'unun toz atık olduğu göz önünde bulundurulursa yıllık oluşan toz miktarı yaklaşık olarak 45.000 ton olacaktır. Bu atıkların her geçen yıl artacağı düşünülürse mermer atıklarının değerlendirilmesinin önemli olduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan mermer çamurunun alındığı işletmeye ait görünüm şekil 5.4'te verilmiştir.



şekil 5.4. Mermer  amurunun alındığı tesisden bir görünüm

Çalışmada, kendiliğinden yerleşen hafif beton da mineral katkı olarak kullanılan mermer tozu, Van İli Organize Sanayi bölgesinde faaliyet gösteren Van Mermer A.Ş.'ye ait mermer işleme tesisinin atık çamur sahasından alınmıştır. Daha sonra, mermer çamurları, laboratuvar ortamında getirilip, 1 hafta boyunca açık havada kurutulmuştur. Bünyelerindeki suyun büyük bir kısmını kaybeden örnekler mekanik olarak parçalanmıştır. Parçalama sırasında açık havada kurutmanın yetersiz olduğu görülmüş ve örnekler 105°C'lik etüve 24 saat süre ile kurutulmuştur ve toz haline getirilmiştir. Etüvde kurutulan mermer tozları 0,125 mm'lik elekten geçirilerek mineral katkı malzemesi olarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Şekil 5.5 (a)'da mermer çamurunun laboratuvarda kurutulma aşamasına ait görünümü ve Şekil 5.5 (b)'de ise kurutma işlemi sonrası mermer tozu haline ait görünüm verilmiştir.



Şekil 5.5. (a) Mermer çamurunun laboratuvarda kurutulma aşaması (b) Kurutulmuş mermer tozu

5.1.1.3. Bazalt Tozu

Çalışma kapsamında mineral katkı olarak kullanılan bazalt tozu, Van İli Organize Sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir mermer işleme tesisinin atık çamur sahasından alınmıştır.

5.1.1.4. Granit Tozu

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde, mineral katkı olarak kullanılan malzemelerden birisi de granit tozu'dur. Van İli Organize Sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir mermer işleme tesisinin atık çamur sahasından temin edilen granit çamurları, laboratuvar ortamına getirilerek kurutulmuş ve daha sonra katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Şekil 5.7 (a)'da bazalt çamurunun ve Şekil 5.7 (b).’de ise granit çamurunun alındığı tesise ait görünüm verilmiştir.



Şekil 5.6. (a) Bazalt çamuruna ait görünüm, (b) Granit çamuruna ait görünüm

5.1.1.5. Uçucu Kül

Çalışmada, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde mineral katkı malzemesi olarak Adana, Yumurtalık ilçesinde bulunan İsken Sugözü Termik Santralinde üretilen uçucu kül kullanılmıştır. ASTM C618 (1998) standardına göre, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ değerlerinin toplamı %70'nin üzerinde ve CaO miktarı %10'dan az olan uçucu küllere F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül denilmektedir. Çalışmada kullanılan uçucu külün, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ değerlerinin toplamı %70'in üzerinde (%93,52) ve CaO içeriği ise %10'nun altındadır (%1,97). Bu nedenle, İsken Sugözü termik santralinden alınan uçucu kül, F sınıfı uçucu kül'dür. Çalışmada kullanılan uçucu kül, TS EN 197-1, ASTM C 618, TS 639 ve TS EN 450 standartlarında belirtilen koşullara uygun olarak üretilmiştir. Ayrıca, İsken

Sugözü termik santralinden temin edilen, uçucu külün özgül ağırlığı 2.31 gr/cm³ ve Blaine zgl yüzeyi ise 2900 cm²/gr dır.

5.1.1.6. eker Fabrikası Filtre amuru

Çalışmada, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde, mineral katkı olarak kullanılan endüstriyel atıklardan birisi de şeker fabrikası filtre çamuru'dur. Bu amur, Van ili, Erciş ilçesinde bulunan, Erciş şeker fabrikasına ait atık depolama sahasından temin edilmiştir. Temin edilen filtre çamuru, beton karışımına katılmadan önce açık havada kurutulmuştur. Daha sonra filtre çamuru, içerisinde bulunan organik maddelerin uzaklaştırılması amacıyla, yüksek sıcaklık fırınında 550°C de 5 saat süreyle yakılmıştır. Çalışma kapsamında, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde ısıl işlem uygulamasına tabii tutulan çamurlar kullanılmıştır.

5.1.1.7. Çimento

Çalışmada, kendiliğinden yerleşen hafif beton retiminde, Aşkale imento Sanayi A.ř.'nin Van fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R tipi Portland imentosu kullanılmıştır. Temin edilen imento, TS 197-1'e uygun olarak üretilmiştir.

5.1.1.8. Akışkanlaştırıcı ve Hava Sürükleyici Katkı

Süper akışkanlaştırıcı katkılar, taze betonun kıvamını veya işlenebilirliini geliştirmekte kullanılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretimlerinde de, polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltma özelliği olan ve ve TS EN 934-2'ye uygun süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) retiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkı, BASF Türk Kimya Sanayi Tic. Ltd. şti.'den temin edilmiştir.

Betonun içerisine katılan hava sürükleyici katkılar; betonda 10 µm ile 1 mm aralığında değişen hava boşluğu oluşmasını salar. Betonda bulunan hava

boşluklarının miktarı, boyutu ve dağılımı da betonun dayanıklılığını ve işlenilebilirliğini etkiler. Bu amaçla, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde, BASF Türk Kimya Sanayi Tic. Ltd. Şti.'den temin hava sürükleyici katkı kullanılmıştır.

5.1.1.9. Su

Beton imalinde kullanılan suyun kalitesi, betonun priz süresini, dayanım kazanma hızını ve donatının korozyona karşı korunmasını etkileyebilir. Bu nedenle beton üretiminde kullanılacak su, TS EN 1008 (2003)'e uygun olmalıdır. Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan su, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi içme suyu şebekesinden temin edilmiştir. TS EN 1008 (2003) standardına göre, içme suyu şebekesi suları, içilebilen sular sınıfına girmekte olup, beton yapımında kullanım için uygun kabul edilmektedir. Standarda göre bu tip sularda deney yapılmasına gerek yoktur (TS EN 1008, 2003).

5.1.2. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Deneylerinde Kullanılan Ekipmanlar

Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımları beton mikseri kullanılarak karıştırılmıştır. Karışım sonucunda beton mikseri içerisinden alınan kendiliğinden yerleşen taze hafif betonların, kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği taşıyıp taşımadığına, slump hunisi, V hunisi, L kutusu ve U kutusu kullanılarak yapılan deneyler sonucunda karar verilmiştir. Kendiliğinden yerleşebilirlik özelliğini taşıyan taze hafif betonlar küp kalıplara doldurularak 24 saat süre ile kalıpta bekletilmiştir. 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılan beton numuneleri, 23 ± 2 °C sıcaklığındaki kür havuzuna konulmuş ve kür süresi sonuna kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Kür süresini tamamlayan kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin sertleşmiş beton özelliklerini belirlenmiştir. Sertleşmiş betonlar üzerinde; fiziksel, mekanik ve mikro yapı özelliklerini belirlemeye yönelik testler

yapılmıştır. Ayrıca, kendiliğinden yerleşen hafif betonlar üzerinde yüksek sıcaklığın etkisi araştırılmıştır.

5.1.2.1. Beton Mikseri

Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarının hazırlanması sırasında, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnaaat Mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan 40 dm³ kapasiteye ve düşey eksenli cebri karıştımaya sahip beton mikser kullanılmıştır. Beton mikserine ait görüntü şekil 5.7 (a)'da verilmiştir.

5.1.2.2. Slump Hunisi

Kendiliğinden yerleşen taze betonların işlenilebilirlik ve akıcılığını belirlemek amacıyla çökme yayılma deneyi yapılmıştır. Çökme yayılma deneyi sırasında kullanılan slump hunisi şekil 5.7 (b)'de verilmiştir.



(a)

(b)

şekil 5.7. (a) Beton mikseri, (b) Slump hunisi

5.1.2.3. V Hunisi

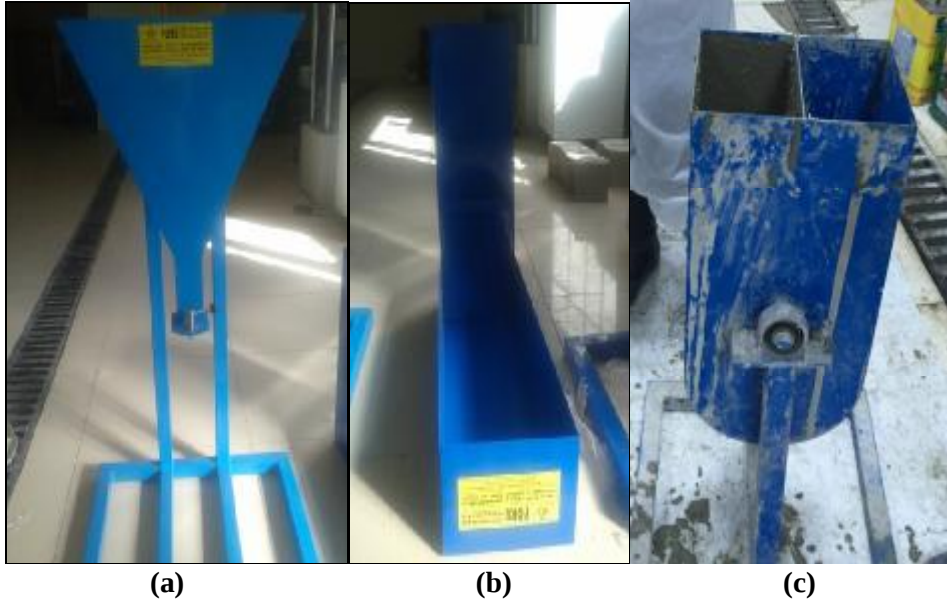
Kendiliğinden yerleşen taze betonun viskozite ve geĐiŐ yeteneğinin belirlemek amacıyla V hunisi akış hızı deneyi yapılmıştır. V hunisi deneyi sırasında kullanılan V hunisi aparatı Şekil 5.8 (a)'da verilmiştir.

5.1.2.4. L Kutusu

Kendiliğinden yerleşen taze betonun geĐiŐ yeteneğinin belirlenmesi amacıyla L kutusu deneyi yapılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen hafif beton deneylerinde kullanılan L kutusu Şekil 5.8 (b)'de verilmiştir.

5.1.2.5. U Kutusu

Kendiliğinden yerleşen taze betonun akış yeteneği ve doldurma kapasitesini belirlemek amacıyla U Kutusu deneyi yapılmıştır. Deneyde kullanılan U kutusu Şekil 5.8 (c)'de verilmiştir.



Şekil. 5.8. (a) V hunisi, (b) L kutusu, (c) U kutusu

5.1.2.6. Kalıplar

Kendiliğinden yerleşen hafif betonlar, TS EN 12390-1 (2010) standardında belirtilen özellikleri sağlayan numune kalıplarına konulmuştur Deneylerde 15x15x15 cm ve 10x10x10 cm ebatlarında polyster malzemeden imal kp kalıplar kullanılmıştır (Şekil 5.9).

**(a)****(b)**

Şekil. 5.9. (a) Kp kalıp 15x15x15 cm’lik, (b) Kp kalıp 10x10x10 cm’lik

5.1.2.7. Kr Havuzu

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numuneleri, deney yapılacak güne kadar sıcaklık kontrollü ve sirkülasyonlu kr havuzlarında saklanmıŐtır. Üretilen betonların $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki kr havuzunda saklanmıŐtır. 7. ve 28. günler sonunda numunler kr havuzundan alınarak sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır (Şekil 5.10).

5.1.2.8. Ultra Ses Geçiş Hızı Cihazı

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin ultra ses geçiş hızı deneyi TS EN 12504-4 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TS EN

12504-4, 2012). Üretilen beton numunelerinin ultra ses geçiş hızları, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölüm laboratuvarında bulunan ultrases geçiş hızı cihazı ile gerçekleştirilmiştir (şekil 5.11).



şekil. 5.10. Kr havuzu



şekil 5.11. Ultra ses geçiş hızı cihazı

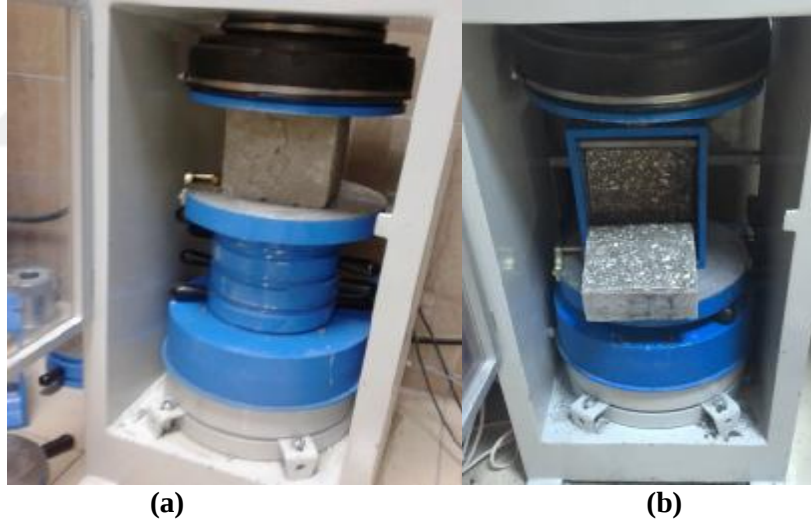
5.1.2.9. Basınç Dayanım Cihazı

retimi gerçekleştirilen kendiliğinden yerleşen hafif beton numunlerinin basınç dayanım testleri Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden

Mühendisliği Bölüm laboratuvarında bulunan 300 tonluk preste gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı testinde yükleme hızı 0,5 MPa/sn olarak seçilmiştir. Basınç deneyleri; 7 ve 28 günlük olan 15x15x15 cm ebadındaki standart boyutlu küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanım cihazı ve basınç dayanım deneyi şekil 5.12 (a)'da verilmiştir.

5.1.2.10. Yarmada ekme Dayanımı Deney Düzeneği

Yarmada ekme dayanımı deneyleri; 7 gün ve 28 gün kr süresini tamamlayan kendiliğinden yerleşen hafif beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde; 15x15x15 cm ebadındaki standart boyutlu küp numuneler kullanılmıştır. Yarmada ekme dayanım deneyinde kullanılan cihaz ve aparat şekil 5.12 (b)'de verilmiştir.

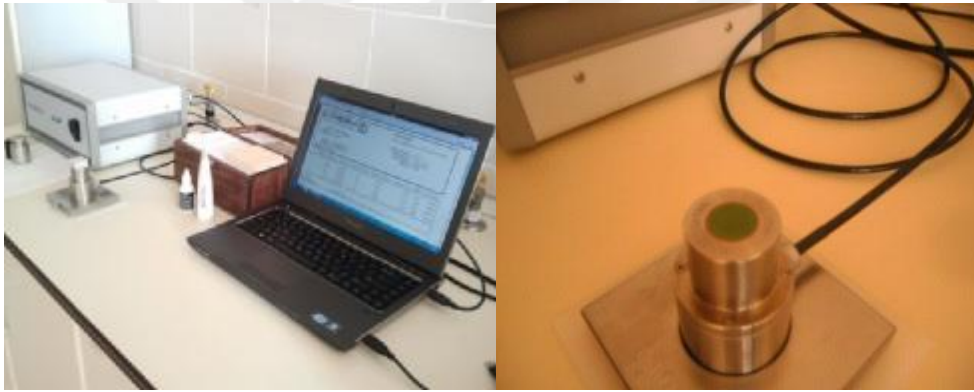


şekil 5.12. (a) Basınç dayanım deneyi, (b) Yarmada ekme dayanım deneyi

5.1.2.11. Isı iletkenlik lm Cihazı

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin ısı iletkenlikleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkez Laboratuvar'ında bulunan, TCİ- Thermal Conductivity Analyzer model ısı iletkenlik katsayısı ölçüm

analiz cihazı ile belirlenmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin ısı iletkenlik lmleri ASTM C 1113-90 (1990), standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneyde kullanılan ısı iletkenlik cihazının ölçüm aralıkları 0,0116 ile 6 W/mK arasında olup, cihaz, -100 ile 1000°C sıcaklık aralıklarında ölçüm yapabilmektedir. Cihazının ölçüme metodu, ısı iletim katsayısı bilinen yalıtkan bir malzemeye, ısı iletim katsayısı ölçülmek istenen malzeme arasına ısıtıcı tel yerleştirilmesi suretiyle ölçüm yapılmaktadır. Isı iletkenlik katsayısı ölçümleri yarmada çekme deneyinden artan 7x7x2 cm boyutlarındaki kendiliğinden yerleşen hafif beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Isı iletkenlik katsayısı ölçüm analiz cihazı şekil 5.13'te verilmiştir.



şekil 5.13. Isı iletkenlik katsayısı ölçüm analiz cihazı

5.1.2.12. X- Işınları Toz Kırınım Difraktometresi (XRD) Analizi

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan malzemelerin ve üretilen beton numunelerinin nitel incelemelerini yapmak ve kristal yapılarını belirlemek amacıyla X-Işınları toz kırınım difraktometresi (XRD) analiz cihazı kullanılmıştır. Analizler, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarında yapılmıştır. X-Işınları toz kırınım difraksiyonu sonuçları, Rigaku Flex II X-ray Diffractometer Cu K α (30 Kv, 15 Ma, $\lambda=1.54051$ Å) kullanılarak elde edilmiştir.

5.1.2.13. Tane Büyüklüğü Dağılım Analiz Cihazı

Çalışma kapsamında kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde mineral katkı olarak kullanılan malzemelerin tane boyut dağılım analizi, Malvern Mastersizer 2000 cihazında lazer kırınım yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tane boyut dağılım analizleri, Seramik Araştırma Merkezi Laboratuvarında yapılmıştır.

5.1.2.14. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM)

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan malzemelerin ve üretilen beton numunelerinin mikro yapılarının belirlenmesinde, taramalı elektron mikroskopundan (SEM) yararlanılmıştır. SEM görüntüleri, İnönü Üniversitesi Merkezi Laboratuvar'ında bulunan Leo EVO 40 marka taramalı elektron mikroskopu ile çekilmiştir.

5.1.2.15. Diferansiyel Termal Analiz ve Termogravimetrik Analiz (DTA-TGA) Cihazı

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin, DTA-TGA (Diferansiyel Termal Analiz- Termogravimetrik Analiz) analizleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvar'ında bulunan Netzsch marka DTA-TGA cihazı ile yapılmıştır. Isıtma azot gazı altında ve 10°C/dk ile gerçekleştirilmiştir.

5.1.2.16. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi (FTIR)

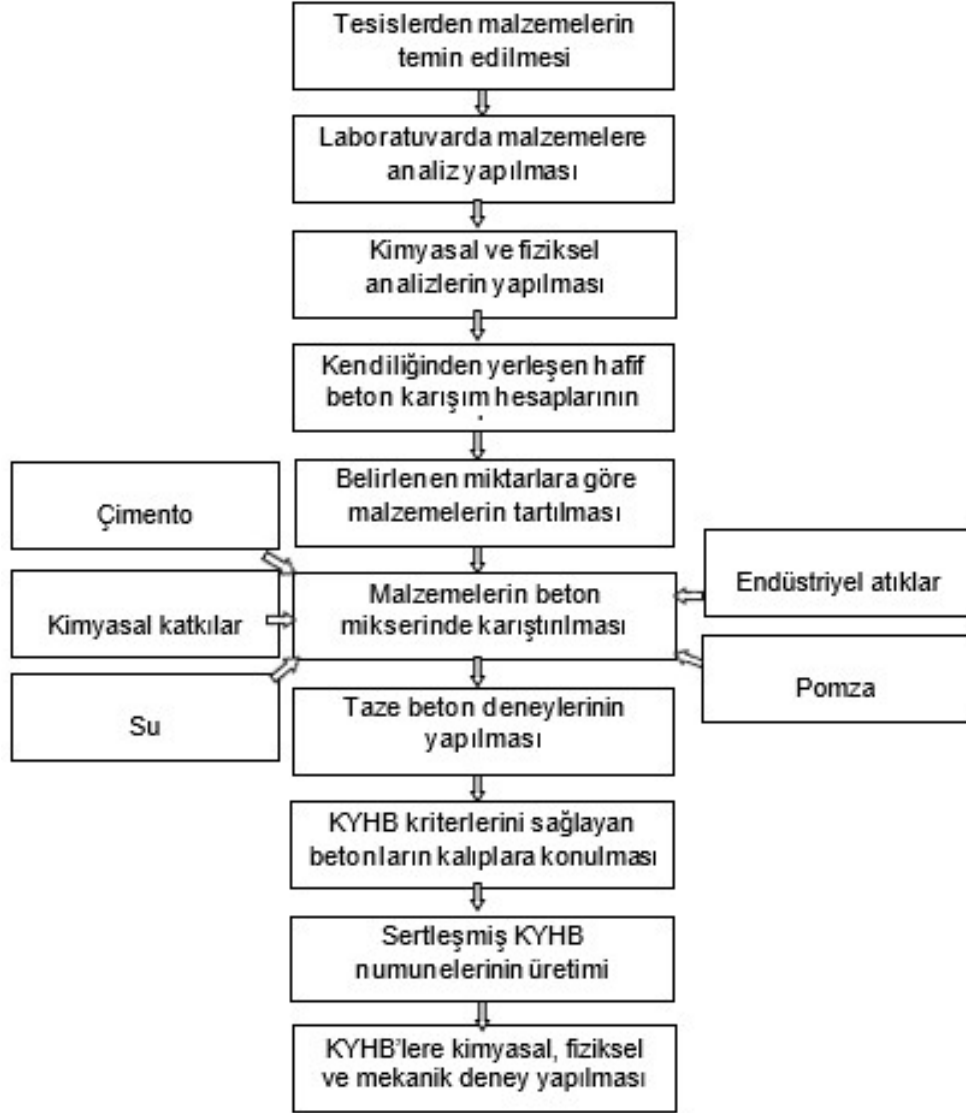
Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan endüstriyel atıkların ve üretilen beton numunelerinin kafes ve moleküler yapılarının belirlenmesi için Fourier dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi analizi yapılmıştır. Analizler, İnönü Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Spectrum One FTIR-ATR model FT-IR Spektroskopisi cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma frekans aralığı 4000-650cm⁻¹ olarak belirlenmiştir

5.2. Metod

Tez çalışmasının bu bölümünde, kendiliğinden yerleşen hafif betonların (KYHB) üretiminde kullanılan Van pomzası ve endüstriyel atıkların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi yöntemleri, kendiliğinden yerleşen hafif beton karışım hesap yöntemleri, taze ve sertleşmiş haldeki beton özelliklerini belirlemede kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde, hafif agrega olarak Van-Erciş-Kocapınar yöresi asidik pomzası kullanılmış olup, pomza Van İli, Organize Sanayi bölgesinde bulunan, Termo Blok Bims A.Ş.'ye ait blok bims tesisi stok sahasından alınmıştır. Endüstriyel atıklardan mermer, granit ve bazalt çamuru Van İli Organize Sanayinde bulunan bir mermer işleme tesisinin atık çamur sahasından alınmıştır. Uçucu kül, İşken Su Gözü Termik Santralinden temin edilen F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Şeker fabrikası filtre çamuru ise, Van İli, Erciş ilçesinde bulunan Erciş şeker fabrikasının atık depolama sahasından temin edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan, CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu, Aşkale Çimento Sanayi A.Ş.'nin Van'daki fabrikasından, temin edilmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici kimyasal katkıları ise BASF Türk Kimya Sanayi Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Temin edilen malzemeler, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarları'na getirilerek karakteristik özellikleri belirlenmiştir. Malzemelerin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla fiziksel (özellik ağırlık, gevşek birim ağırlık ve su emme gibi) ve kimyasal (XRF, XRD, SEM ve FT-IR gibi) analizler gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin karakteristik özellik sonuçları belirlendikten sonra, beton deneme karışımında kullanılacak malzeme miktarları hesaplanmıştır. Belirlenen malzeme miktarları tartılarak beton mikseri içerisine konulmuştur. Beton mikseri içerisinde belirli bir süre karıştırma işlemine tabii tutulduktan sonra taze beton deneylerini yapmak üzere beton mikseri durdurulmuş ve beton mikseri içerisinden taze beton alınarak taze beton deneyleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen taze betonların, kendiliğinden

yerleŖebilirlik özellikleri; çökme-yayılma, V hunisi, L kutusu, U kutusu ve yoğunluk deneyleri ile belirlenmiŖtir. Taze beton deney sonuçları, kendiliğinden yerleŖen betonlar için EFNARC tarafından hazırlanan rapordaki sınır değerlerle karŖılaŖtırılmıŖtır. Taze beton deney sonuçlarına bakılarak en uygun karıŖım oranı ve karıŖım reçetesi belirlenmiŖtir. KYB raporunda belirtilen sınır değerleri sağlayan taze betonlar, kalıplara doldurulmuŖ ve 24 saat kalıpta bekletilmiŖtir. Kalıplardan ıkarılan numuneler $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki kr havuzuna konulmuŖtır. Kr süresi (7 ve 28 gün) sonunda kr havuzundan alınan beton numuneleri üzerinde sertleŖmiŖ beton deneyleri yapılmıŖtır. Kr süresini tamamlayan sertleŖmiŖ betonlara; ultra ses geiŖ hızı, kapiler su emme, kuru birim arlık ve ısı iletkenlik gibi fiziksel deneyler ile basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı gibi mekanik deneyler uygulanmıŖtır. Ayrıca, KYHB numunelerinin mikroyapı özelliklerini belirlemek amacıyla da XRD, SEM ve FT-IR analizleri gerekleŖtirilmiŖtir. Son olarak, yüksek sıcaklığın, etkisinin belirlenmesi amacıyla, kendiliğinden yerleŖen hafif beton numuneleri 300°C , 600°C ve 900°C 'de sıcaklıklara maruz bırakılmıŖtır. Yüksek sıcaklığın kendiliğinden yerleŖen hafif betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi araŖtırılmıŖtır. Yüksek sıcaklığının KYHB'lerin fiziksel özelliklerine olan etkileri arlık kaybı ve beton grnŖ üzerindeki deiŖiklikler ile tespit edilmiŖtir. Yine yüksek sıcaklığın KYHB'lerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi ise yapılan basınç dayanım deneyleri sonucu belirlenmiŖtir. Ŗekil 5.14'te kendiliğinden yerleŖen hafif beton numune üretim prosesi akım Ŗeması verilmiŖtir.



Şekil 5.14. Kendiliğinden yerleşen beton üretim prosesi akım şeması

5.2.1. Malzemelere Yapılan Analizler

5.2.1.1. Kimyasal Analiz

Çalışmada kullanılan hafif agrega ve endüstriyel atıkların (mermer tozu, granit tozu, bazalt tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru) kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi amacıyla kimyasal analiz yapılmıştır. Malzeme

kimyasal analizleri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Kimya laboratuvarlarında bulunan X-Işınları Floresans spektroskopisi (XRF Spectro IQ) cihazı kullanılarak yapılmıştır.

5.2.1.2. Elek Analizi

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılmak üzere temin edilen pomza agregası, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği bölüm laboratuvarına getirilerek elek analizine tabii tutulmuştur. Literatürden de bilindiği üzere, pomza hafif agregası sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle, pomza gibi hafif agregaların granülometrik özelliklerinin belirlenmesinde, TS 1114 EN 13055-1 standardı kullanılmaktadır. Bu standartta kare gözlü ve kare delikli elek göz açıklık değerleri için bir izelge verilmiştir. Bu izelgede (izelge 5.1) elek % değerleri, net olarak sayısal bir ifadeyle tanımlanmamış olup, çizelgeyi kullananlar arasında farklı uygulamalar grlmştir. Bu farklılıkları kaldırmak için, konu üzerinde çalışma yapan araştımacılar, izelge 5.1'i revize ederek, izelge 5.2'de belirtilen değerler şeklinde belirlemişlerdir.

Elek analizi sonuçları TS 1114 EN 13055-1'de verilen hafif agregalar için elek analizi sınır değerleri tablosu ile karşılaştırılarak hafif agreganın betonda kullanım için uygun olup olmadığına karar verilmiştir.

Çalışma kapsamında, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan mermer tozu, granit tozu, bazalt tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru gibi mineral katkılar çok ince tane boyutuna sahiptir. Bu nedenle mineral katkılarının tane boyut dağılımlarını belirlerken elek analizi yöntemi yerine lazer tane boyut analiz yönteminden yararlanılmıştır.

Çizelge 5.1. TS 1114 EN 13055-1’de verilen hafif agregaların granülometrik özellikleri

		TS 1227 Kare Gözlü Elek Göz Açıklıkları					TS 1226 Kare Delikli Elek Göz Açıklıkları				
		0,1 25	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	63
İnce Agrega	0/2 0/4 2/4	1 1 1	1 1 £5	1 1 1	1 1 1	³ 90 £15	100 ³ 90 ³ 90	100 100	-	-	-
Karışık Agrega	0/8 0/16 0/32	-	1 1 1	-	-	-	-	³ 90	100 90	100 ³ 90	100
İri Agrega	4/8 4/16 8/16 16/32	-	£5 £5 £5 £5	-	-	-	£15 £15	³ 90 £15	100 ³ 90 ³ 90 £15	100 100 ³ 90	100

Çizelge 5.2. Hafif betonda kullanılan agregalar için elek analizi sınır değerleri

Kare Delikli Elekler İçin				
Elek Açıklığı	İnce Agrega	İnce+İri Agrega Karışımı	Tüvenan Agrega	
			0-4 cm Agrega	0-2 cm Agrega
32	-	100	100	-
16	-	62-89	95-100	100
8	100	38-77	-	-
4	61-85	23-65	25-45	30-50
2	36-71	14-53	-	-
1	21-57	8-42	-	-
0,5	13-39	5-28	8-30	10-35
0,25	5-21	2-15	-	-

5.2.1.3. Gevşek Birim Ağırlık

Pomza tanelerinin gevşek birim ağırlık ve sıkışık birim ağırlık değerleri TS EN 1097-3 standardında belirtilen prensipler çerçevesinde ölçülebilmektedir (TS EN 1097-3, 2010). Pomza tanelerinin gevşek birim ağırlık değerleri eşitlik (5.1) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$B_g = \frac{G_2 - G_1}{V} \quad (5.1.)$$

Eşitlikte;

B_g: Gevşek birim ağırlığı, gr/cm³

G₁: Ölçü kabının boş ağırlığı, g

G₂: Ölçü kabı ile gevşek tane ağırlığının toplamı, g

V: Ölçü kabının iç hacmi, cm³

5.2.1.4. Su Emme Deneyi

Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi kayaç örneklerinin ağırlıklarına ve hacimlerine oranla, içerdikleri boşlukların alabileceği su miktarının hesaplanması amacı ile yapılır. Agregaların su emme deneyi TS EN 1097-6 standardına uygun olarak yapılır. Su emme deneyinde numuneler ilk olarak (22±3)°C'deki su içerisinde 24 saat bekletilir ve sonra yüzeyleri kurutularak tartılır. Daha sonra (110±5)°C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulur ve tartılır. Tartım sonuçları, eşitlik (5.2)'de yerine konularak numunelerin su emme oranları belirlenir.

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4} \quad (5.2.)$$

Eşitlikte;

W_{A24} : 24 saatlik su emme, %

M_1 : Suya doymuş, yüzey kuru örnek ağırlığı, g

M_4 : Etüv kurusu örnek ağırlığı, g

5.2.1.5. Özgül Ağırlık Faktörü

Pomza agregalarının özgül ağırlık ve su emme değerlerini yeterli bir şekilde belirlemedeki zorluklardan dolayı, bu değerleri bilmeyi gerektirmeyen bir yöntem kullanmak gerekir. Bunun için, agregaların özgül ağırlıkları yerine, değişik nem durumlarındaki özgül ağırlık faktörü geliştirilmiştir. Özgül ağırlık faktörü, özgül ağırlıktan farklı ancak hesaplarda özgül ağırlık gibi kullanılabilen sayısal bir büyüklüktür (TS 2511). Değişik nem yüzdelere sahip pomza agregalarının özgül ağırlık faktörü, eşitlik (5.3) kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$S_{gf} = \frac{B}{B + D - C} \quad (5.3.)$$

Eşitlikte;

S_{gf} : Bims agregası özgül ağırlık faktörü,

B: Bims agregasının kullanıldığı nemlilikteki ağırlığı, g

C: Piknometre, su ve bims agregasının toplam ağırlığı, g

D: Piknometre ve 500 ml işaret yerine kadar su dolu ağırlık, g

5.2.1.6. Organik Madde İçeriği

Organik maddelerin beton hammaddesi olarak kullanılacak agregaların bileşiminde bulunması istenmez. Organik bileşiklerin varlığı betonun mukavemetini düşürür, zamana bağlı olarak paslanma, betonda yumuşama ve en önemlisi beton bağlayıcısı olarak kullanılan çimentonun bağlayıcılık özelliğini kaybetmesine neden olur. Agregalarda organik madde içeriği tayini, TS EN 1744-1

standardına göre yapılır. Bu standarda göre %3-6 arasında hazırlanan NaOH çözeltisinde agregalar 24 bekletilir ve 24 saatin sonunda çözeltinin almış olduğu (açık sarı, koyu kahve ve kırmızı) renklerin varlığına göre organik maddenin var olup olmadığına karar verilir.

5.2.1.7. Puzolanik Aktivite Deneyi

Puzolanik malzemelerin sndrlmş kireçle ve su ile ne ölçüde reaksiyona girebileceği, ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği "puzolanik aktivite" olarak tanımlanmaktadır. Puzolanik malzemenin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için, yeterince ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda "silis+alumin+demir oksit" içermesi gerekmektedir.

Puzolanik aktivite, puzolanik malzemeyle yapılan deneyler sonucunda tayin edilmektedir: TS EN 450 nolu standarda göre, birisi " ktलेce % 75 referans imento +% 25 puzolan " ile hazırlanmış standart harç numunesi ve diğeri sadece referans çimentodan hazırlanmış standart harç numunesi üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmaktadır. TS EN 450 standardına göre puzolanik aktivite değeri doğal puzolanlar için, en az %70 olmalıdır. Mineral katkı malzemeli numunelerin Puzolanik aktiviteleri eşitlik (5.4) yardımıyla belirlenir.

$$P = \frac{A}{B} \times 100 \quad (5.4.)$$

Eşitlikte;

P: Puzolanik aktivite indeksi

A: Mineral katkılı numunelerin ortalama basınç dayanımları, MPa

B: Kontrol numunelerinin ortalama basınç dayanımları, MPa

5.2.2. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Karışım Hesap ve üretimleri

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların karışım oranlarına etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Bunlar betonun karıştırma süresi, su/imento oranı,

agrega nem durumu, agrega su emme miktarı, akışkanlaştırıcı miktarı'dır. Karışıma etki eden parametrelerin belirlenmesinde daha önce yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır.

5.2.2.1. Karışımında Kullanılacak Agregaya Boyut ve Oranının Belirlenmesi

Kendiliğinden yerleşen beton klavuzunda, beton üretiminde kullanılacak en büyük agrega çapı için farklı görüşler mevcuttur. Bu görüşlerin çoğunluğu agrega en büyük agrega çapının 20 mm geçmemesini tavsiye etmektedir. Çalışmada da en büyük agrega boyutu 16 mm olarak belirlenmiştir. Çalışmada 4 farklı tane boyutunda (16-8 mm, 8-4 mm, 4-2 mm ve 2-0 mm) agrega kullanılmıştır. Agregaların tane dağılımı ise en büyük tane çapına bağlı olarak TS 706'da verilen sınır değerler içinde kalacak şekilde ayarlanmıştır.

Karışımında kullanılacak agregaların, hafif agrega olması nedeniyle nem ve su emme değerleri değişkendir. Bu değişkenlik agreganın gözenekli ve hafif agrega olmasındandır. Hafif agregaların, özgül ağırlık ve su emme değerlerini yeterli bir şekilde belirlemenin zorluğundan dolayı özgül ağırlık yerine özgül ağırlık faktörü adı verilen bir büyüklüğün kullanılmaktadır. Özgül ağırlık faktörü, agreganın kullanıldığı andaki nem durumuna göre hesaplanan bir büyüklüktür. Deneylerde kullanılan pomzanın her bir tane sınıfı için özgül ağırlık faktörü TS 2511 (1977) ve TS 3234 (1978) standardına uygun olarak belirlenmiştir.

5.2.2.2. Karışımında Kullanılacak Çimento Miktarının Belirlenmesi

Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımında kullanılacak çimento miktarının belirlenmesinde, kendiliğinden yerleşen beton klavuzunda tavsiye edilen toz malzeme sınır değeri aralığı kullanılmıştır. EFNARC 2005'e göre, KYB'da 400-600 kg arasında toz malzeme (çimento+mineral katkı) kullanılmasını tavsiye etmektedir. Bu çalışmada da toplam bağlayıcı miktarı 550 kg olarak alınmış olup, tüm karışımlarda sabit tutulmuştur.

5.2.2.3. Karışımda Kullanılacak Mineral Katkı Oran ve zellikleri

Mineral katkıların beton içerinde kullanılmalarında farklı yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden birincisi; basit ikame yöntemidir. Bu yöntemde belirli bir miktarda imento beton karışımından çıkarılır ve yerine mineral katkı, malzemesi konulur. İkinci yöntem, ilave yöntemidir. Bu yöntemde, karışımdaki imento miktarı değiştirilmez ve karışıma mineral katkı malzemesi eklenir. Mineral katkı malzemesinin eklenmesi ile karışımdaki bağlayıcı miktarı arttırılmış olur. nc yöntem ise, kısmi ikame yöntemidir. Bu yöntemde, mineral katkı malzemesi kısmi olarak imento veya ince agrega yerine kullanılır. Karışımdan ıkarılan imento yerine farklı miktarda mineral katkı malzemesi konulmaktadır. Bundan sonra ise ince agrega ve su miktarında değişiklik yapılarak ayarlanmaktadır.

Çalışmada kullanılan mineral katkılar, betona katılmadan önce ilgili beton mineral katkısı özellikleri standartlarına göre test edilmişlerdir. İlgili standartlara göre yapılan kimyasal deneyler sonucunda katkı malzemesi olarak kullanımlarına karar verilmiştir. Betonda kullanılan mermer tozu, granit tozu, bazalt tozu ve şeker fabrikası filtre çamuru gibi inert özelliğe sahip filler malzemeler TS EN 12620 standardına göre, uçucu kül ise TS EN 450-1 standardında belirtilen kimyasal deneylere tabii tutulduktan sonra katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Çalışmada mineral katkı malzemeleri, imento miktarının %10, %20 ve %30 oranında kullanılmıştır. Bu karışım oranlarına literatür araştırmaları sonucu karar verilmiştir.

5.2.2.4. Karışımda Kullanılacak Su/imento Oranının Belirlenmesi

Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımında kullanılacak su/imento oranının belirlenmesi için ön denemeler yapılmış ve kullanılacak su miktarının kendiliğinden yerleşen beton klavuzunda belirtilen sınır değerler arasında kalmasına dikkat edilmiştir. Çalışmalarda karışım suyu olarak, içme suyu şebekesinden alınan su kullanılmıştır.

5.2.2.5. Karışımda Kullanılacak Kimyasal Katkı Oranlarının Belirlenmesi

Kimyasal katkı olarak su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı özelliğe sahip bir süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Beton karışımlarında kullanılan kimyasal katkı malzemelerinden birisi de hava sürükleyici katkıdır. Bu katkılar değişik hammaddelerin birleşmesinden meydana gelirler. Genel olarak hava sürükleyici katkı maddeleri; ağaç reçinesi tuzları (çam kütüklerinden), sentetik deterjan (petrol fraksiyonunda), linyosülfonatlar (kâğıt endüstrisinden), asitli tuzlar (petrol arıtmadan), proteinli tuzlar (hayvan derisinden), yağlı ve reçineli tuzlar (kağıt endüstrisi, hayvan derisinden), sülfonatlı hidrokarbon tuzları (petrol rafinesinden) içerirler (Kevorkian, 2006). Bu çalışmada, hafif agregaların harç içerisinde ayrışmasını ve aşırı yayılmasını önlemek amacıyla hava sürükleyici katkı kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarında kullanılacak akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı miktarının belirlenmesine yapılan ön deneme karışımları sonucu karar verilmiştir. Tüm karışımlarda taze beton içinde hapsolmuş hava toplam bağlayıcı miktarının %3'ü oranında kullanılmıştır.

5.2.2.6. Kontrol Beton Karışım Hesabı

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların üretilmesinde, kendiliğinden yerleşen beton karışım oranları için önerilen deney aralıkları çizelgesinden ve hafif beton standardından yararlanılmıştır. Beton karışımında kullanılacak malzemelerin kendiliğinden yerleşen beton klavuzunda belirtilen sınır değer aralıklarında kullanılmasına çalışılmıştır. Beton hesapları, mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Mutlak hacim metoduna göre, ilk olarak 1 m³ betonda kullanılacak agregaların hacmi eşitlik (5.5.) yardımıyla hesaplanmıştır Daha sonra, hesaplanan agrega hacim değeri eşitlik (5.6)'da yerine konularak, 1 m³ betonda kullanılacak agrega miktarları hesaplanmıştır.

$$V_a = 1000 - \left(\frac{C}{g_c} + \frac{SA}{g_{sa}} + \frac{HA}{g_{ha}} + H + S \right) \quad (5.5.)$$

Eşitlikte;

V_a: 1 m³ betonda bulunacak agreganın hacmi, dm³

Ç: Karışıma girecek çimentonun ağırlığı, kg

γ_c: Çimentonun özgül ağırlığı, kg/dm³

SA: Karışıma girecek akışkanlaştırıcının ağırlığı, kg

γ_{sa}: Akışkanlaştırıcının özgül ağırlığı, kg/dm³

HA: Karışıma girecek hava sürükleyici katkı ağırlığı, kg

γ_{ha}: Hava sürükleyici katkının özgül ağırlığı, kg/dm³

H: Hava hacmi, dm³

S: Karışıma girecek suyun hacmi, dm³

A_{su}: Karışıma girecek suyun ağırlığı, kg

1m³ betonda kullanılacak agrega miktarları eşitlik (5.6.) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$G_i = V_a \cdot P_i \cdot \gamma_i \quad (5.6.)$$

Eşitlikte;

G_i: i agregasının ağırlığı (kg),

P_i: i agregasının karışım yüzdesi (%),

γ_i: i agregasının doygun kuru yüzey özgül ağırlığı (kg/dm³)

Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarında kullanılacak malzeme oranlarının tespit edilebilmesi amacıyla birçok ön deneme karışımı yapılmıştır. Yapılan ön deneme karışımlarının çökme yayılma, segregasyon, stabilite ve terleme durumları incelemesi sonucunda, karışım içerisinde kullanılacak pomza agregalarının oranları, optimum su miktarı, süperakışkanlaştırıcı katkı miktarı ve hava sürükleyici katkı miktarları belirlenmiştir. Karışım hesaplarına göre üretilen deneme beton karışımları üzerinde, taze beton deneyleri yapılmıştır. Yapılan taze

beton deneyleri sonucunda, betonların kendiliğinden yerleşebilirlik özellikleri belirlenerek birbirleri ile kıyaslanmıştır. Betonların çökme-yayılma çapı, çökme yayılma süresi ve segregasyon durumları göz önünde bulundurularak en uygun beton karışım reçetesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Beton karışımlarının taze beton özellik sonuçlarına göre kıyaslanması neticesinde, su/(çimento+mineral katkı) oranı 0,40 olan beton karışımının tüm karışımlarda kullanılmasına karar verilmiştir.

5.2.2.7. Endüstriyel Atık Katkılı Betonların Karışım Hesabı

Endüstriyel atık katkı KYHB'lerin üretilebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, biri kontrol olmak üzere toplam 16 farklı KYHB üretilmiştir. Üretilen, bu betonlara ait kodlar ve açıklamaları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Üretilen beton kodları ve açıklamaları

	Beton Kodu	Açıklama
1	Kontrol	Kontrol betonu
2	MT10	%10 Mermer tozu katkılı
3	MT20	%20 Mermer tozu katkılı
4	MT30	%30 Mermer tozu katkılı
5	BT10	%10 Bazalt tozu katkılı
6	BT20	%20 Bazalt tozu katkılı
7	BT30	%30 Bazalt tozu katkılı
8	GT10	%10 Granit tozu katkılı
9	GT20	%20 Granit tozu katkılı
10	GT30	%30 Granit tozu katkılı
11	UK10	%10 Uçucu kül katkılı
12	UK20	%20 Uçucu kül Katkılı
13	UK30	%30 Uçucu Kül katkılı
14	ŞK10	%10 Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı
15	ŞK20	%20 Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı
16	ŞK30	%30 Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı

Çalışma kapsamında mineral katkılı ve katkısız olmak üzere toplam 16 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların adlandırılmasında, betonların içeriklerindeki mineral katkı oranı ve mineral katkı çeşidine göz önünde bulundurulmuştur. KYHB retiminde mineral katkı olarak; mermer tozu, bazalt tozu, granit tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru gibi endüstriyel atıklar kullanılmış ve kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan atıklar, imento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilmek suretiyle beton karışımına katılmıştır.

5.2.3. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların retimi

Beton karışımları için, 40 dm³ kapasiteli beton mikseri kullanılmıştır. Beton mikseri, malzemeler konulmadan önce nemlendirilmiştir. Öncelikle tüm agregalar mikserle konulmuş ve kuru olarak 2 dk karıştırılmıştır. Ardından hesaplanan suyun belli bir kısmı (2/3') ilave edilerek, 2 dk süre ile karıştırılmıştır. Son olarak da, suyun geri kalanı ve akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı eklenmiş ve 2 dk daha karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi tamamlandığında bir miktar taze beton mikser içinden alınarak taze beton deneyleri yapılmıştır. Taze beton deneylerinin uygun çıkması üzerine beton harçları, 15x15x15 cm'lik küp ve 10x10x10 cm'lik kp kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplar doldurulurken sıkışık hava boşluğunu azaltmak için kalıplar iki tabaka halinde doldurulmuş ve ikinci tabaka doldurulmadan önce bir süre beklenmiştir. Tüm numunelerde yüzey tesviye işlemi yapılmış ve 24 saat süre ile kalıpta bekletilmiştir. Kalıptan ıkarılan numuneler 23±2°C sıcaklıktaki kr havuzuna konularak, deney gününe kadar bekletilmiştir. Daha sonra sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi aşamalarına geçilmiştir.

5.2.4. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Deneylerinde Kullanılan Numune Sayısı ve Boyutları

Kendiliğinden yerleşen hafif betonun mekanik, fiziksel ve ısı özelliklerini belirlemek amacıyla, sertleşmiş beton numuneleri üzerinde bir takım deneyler

uygulanmıştır. Tüm sertleşmiş beton deneyleri üç adet numune üzerinde gerçekleştirilmiş olup, aritmetik ortalama değerleri kullanılmıştır.

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların basınç ve yarmada çekme dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla, 15x15x15 cm boyutlarında toplam 192 adet küp numune üretilmiştir. Ultra ses geçiş hızı deneyleri, basınç dayanımı deneyi için hazırlanan 15x15x15 cm³ numunler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif betonlarda yüksek sıcaklık etkisinin araştırılması amacıyla 10x10x10 cm boyutunda toplam 135 adet küp numune üretilmiştir. Su emme ve kılcal su emme deneyleri 10x10x10 cm boyutunda üretilen küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.4'te sertleşmiş beton deneylerinde kullanılan numune boyut, yaş ve sayılarına ait bilgiler verilmiştir.

Çizelge 5.4. Sertleşmiş beton deneyleri numune boyut, yaş ve sayıları

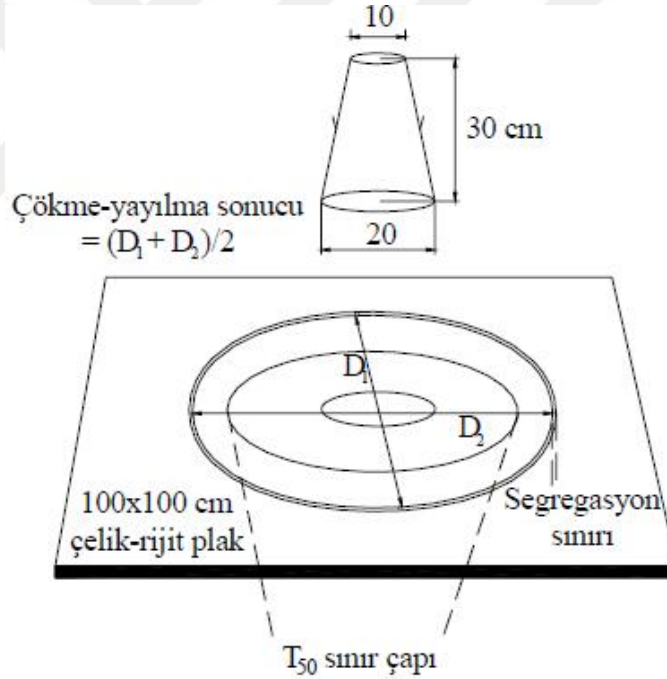
Deney Adı	Numune boyutları (cm)	Deney yaşı (gün)	Numune sayısı (adet)	Toplam numune sayısı (adet)
Basınç dayanımı	Kp 15x15x15	7, 28	48	96
Yarmada ekme dayanımı	Kp 15x15x15	7, 28	48	96
Ultra ses geçiş hızı	Kp 15x15x15	7, 28	-	-
Su emme	Kp 10x10x10	28	48	48
Yüksek sıcaklık direnci	Kp 10x10x10	28	135	135
Kılcal su emme	Kp 10x10x10	28	-	-
Isı iletkenlik katsayısı	Prizma 5x5x3	28	-	-

5.2.5. Taze Beton Deneyleri

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde en önemli aşamalardan biri, taze betonun özelliklerinin belirlenmesidir. Taze betonlar üzerinde, çökme - yayılma, V hunisi, L Kutusu, U kutusu ve yoğunluk deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarının KYB genel kabul kriterlerinde belirtilen sınır değerleri sağlaması durumunda kendiliğinden yerleşen betonlar kalıplara konulur ve küre tabii tutulur.

5.2.5.1. Çökme – Yayılma Deneyi

Bu deney, geleneksel çökme hunisi ve yayılma tablası kullanılarak yapılmaktadır. Şekil 5.15'te slump hunisi deney düzeneği gösterilmektedir.



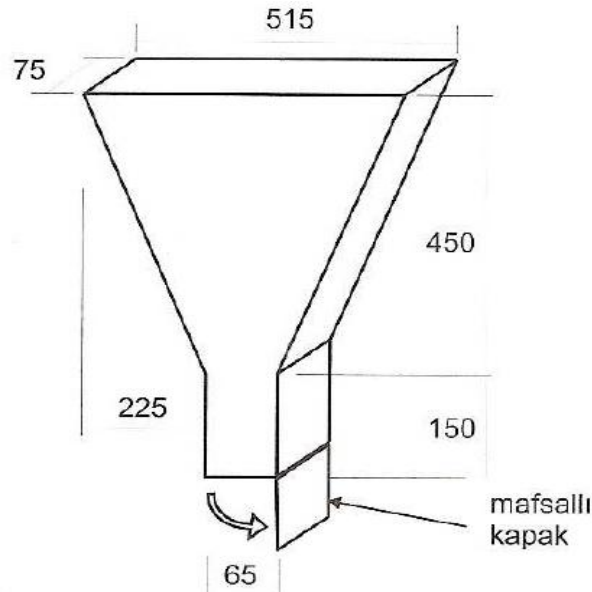
Şekil 5.15. Slump hunisi deney düzeneği (EFNARC, 2005)

Deneyde, yayılma tablası üzerine çizilen 50 cm çaplı bir dairenin merkezine yerleştirilen slump hunisi, betonla doldurulduktan sonra yukarıya doğru çekilir. Betonun kendi ağırlığı ile yayılması beklenir. İki farklı doğrultuda yayılma

Çapları lrk kaydedilir. Deney sonucunda, betonun 50 cm çaplı daireye yayılma süresi (T_{50}) ve maksimum yayılma çapı lr (TS EN 12350-2, 2010). Kendiliğinden yerleşen betonun, doldurma yeteneğinin olması için yayılma değerinin en az 55 cm olması gerekmektedir. Bu değerin büyük olması, doldurma yeteneğinin gittikçe artması anlamına gelmektedir. Ancak yayılma değeri arttıkça betonun segregasyon riskinin artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Betonda, segregasyon olup olmadığı yayılma sınır bölgesinde fazla suyun birikmesi ile anlaşılmaktadır.

5.2.5.2. V Hunisi Deneyi

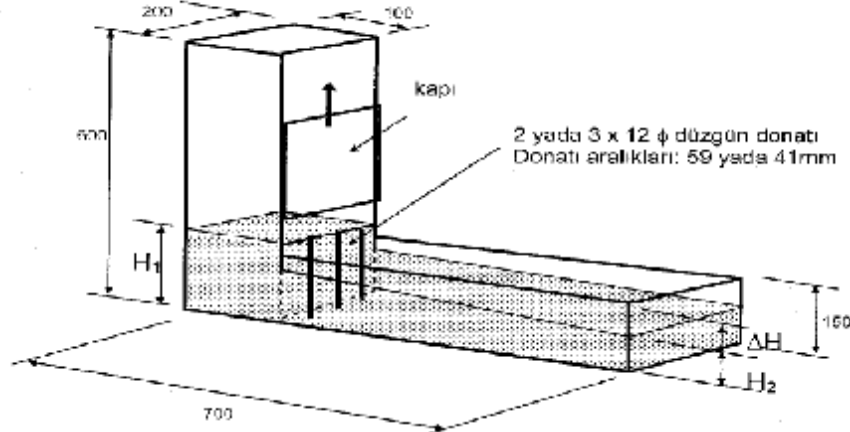
Bu deney, taze KYB'nun kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar ağzından boşalma süresinin lmesini içerir. Deney, KYB'un viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir. Huniye, KYB doldurulduktan sonra en altta bulunan sürgülü kapak açılır ve huninin içindeki tüm betonun boşalma süresi lr. şekil 5.16'da V hunisi deney aparatı ve leri gösterilmektedir.



şekil 5.16. V hunisi deney aparatı ve leri (EFNARC, 2005)

5.2.5.3. L Kutusu Deneyi

Bu deney, kendiliğinden yerleşen taze betonun geçiş yeteneğinin ve doldurma kabiliyetinin belirlemesi amacıyla kullanılmaktadır. Deneyde L şeklinde bir kutu kullanılır. L kutusunun ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda, taze betonun geçişine engel teşkil edecek demir çubuklar bulunmaktadır. Taze beton, kutunun dikey haznesine doldurulduktan sonra, sürgülü kapak çekilir ve betonun engeller arasından geçerek yatay haznede seviyelenmesi beklenir. Hareket durduğunda dikey bölmede ve yatay bölmenin en ucundaki beton yükseklikleri ölçülür. Bu yükseklikler arası oran (h_2/h_1) hesaplanır. Bu değer, L kutusu oranı (bloklanma oranı) olarak adlandırılır. EFNARC tarafından hazırlanan raporda, bu değer 0,8'den küçük olması halinde agreganın bloke olma riski olduğunu belirtmiştir. Bu değer ancak su gibi çok akışkan bir malzemede 1'e eşit olur. Şekil 5.17'de L kutusu deney aparatı ve ölçüleri gösterilmektedir.

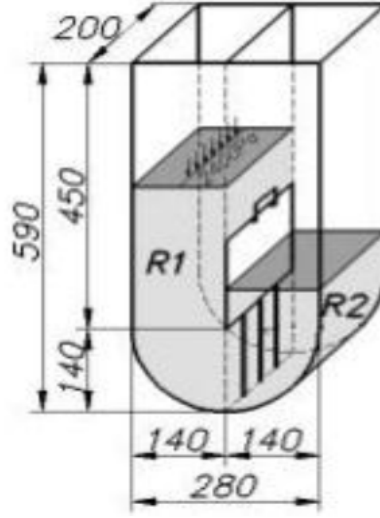


Şekil 5.17. L kutusu deney aparatı ve ölçüleri (EFNARC, 2005)

5.2.5.4. U Kutusu Deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonun geçme yeteneğinin ölçülmesini sağlar. Deneyde, U şeklinde, alt ortasında sürgülü kapak olan ve demir çubuklar bulunan bir kutu kullanılır. Kendiliğinden yerleşen beton sıkıştırılmadan U şeklindeki

kutuya doldurulur ve 1dk dinlendirilir. Kutunun ortasındaki sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme doğru dolarak yükselmesi beklenir. Blmelerdeki beton yüksekliklerinin farkı betonun geçme yeteneğini gösterir. Yükseklik farkının maksimum 3cm olması istenir. Şekil 5.18’de U kutusu deney aparatı ve ölçüleri gösterilmektedir.



Şekil 5.18. U kutusu deney aparatı ve lleri (EFNARC, 2005)

5.2.5.5. Taze Beton Yoğunluk Tayini

Taze betonun yoğunluğunun belirlenmesinde, 10 lt hacme sahip kap kullanılmıştır. Sabit ve düzgün bir yere konan boş kabın içerisine, karışım işlemi tamamlanmıŐ olan taze beton sıkıştırma işlemi yapılmaksızın doldurulmuştur. Kabın st yüzeyi düzeltildikten sonra tartılmıştır. Beton ağırlılığının konulduğu hacme oranlanması suretiyle, taze betonun yoğunluk değeri belirlenmiştir (TS EN 12350-6, 2010).

5.2.6. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların, fiziksel, mekanik ve ısı özelliklerini belirlemek için sertleşmiş beton numuneleri üzerinde fiziksel, mekanik ve ısı deneyler gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş beton numuneler üzerinde; ilk olarak yoğunluk, su emme, kılcal su emme ve ultra ses geçiş hızı deneyleri gibi fiziksel deneyler yapılmıştır. Daha sonra, mekanik ve ısı özellikleri belirlemek amacıyla, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ısı özellik testleri yapılır.

5.2.6.1. Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini

TS EN 12390-7 standardında, deney numunelerinin hacminin belirlenmesinde üç yöntem kullanılmaktadır. Birincisi; su ile yer değiştirme, ikincisi numunenin gerçek ölçülerini kullanarak hesaplama ve üçüncü yöntem ise küp şekilli numunelerde, belirtilmiş boyutların kontrol edilerek kullanılmasıdır. Numunenin hacmi üç yöntemden birisi kullanılarak hesaplanır. Daha sonra, hacimleri bulunan numuneler, 105°C sıcaklığa ayarlanmış etüve konularak değişmez ağırlığa kadar kurutulur. Değişmez ağırlığa gelen numuneler, 0.1 gram hassasiyetle tartılır. Elde edilen numuneye ait kütle, numunenin hacmine bölünerek sertleşmiş betonun yoğunluğu belirlenir (TS EN 12390-7, 2010).

5.2.6.2. Su Emme Deneyi

Üretilen kendiliğinden yerleşen hafif beton numuneleri üzerinde su emme deneyleri yapılmıştır. Deneyler için, her seriden 7x7x7 cm'lik küp numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler, yarmada çekme deneyinden artan numunelerden kesilerek çıkarılmıştır. Numuneler, 24 saat su içerisinde bekletildikten sonra doymun halde terazide havada tartılmıştır. Daha sonra, 105 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Numunelerin su emme oranları eşitlik (5.7) yardımıyla belirlenir.

$$W_w = \frac{W_0}{W_1 - W_0} \times 100 \quad (5.7.)$$

Eşitlikte;

W_w : Su emme, %

W_0 : Etüv kurusu ağırlık, kg

W_1 : Suya doygun havada ağırlık, kg

5.2.6.3. Kapiler Su Emme Deneyi

Kapiler su emme deneyi, 7x7x7 cm'lik küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler 28 günlük krden sonra 24 saat boyunca 105 °C deki etüvde fırın kurusu haline getirilmiştir. Fırın kurusu ağırlıkları tartıldıktan sonra, her bir deney numunesinin yan yüzeyleri ısıtılmış parafin ile izole edilmiştir. Parafinli ağırlıkları da tartıldıktan sonra, su yüksekliği yaklaşık olarak 5 mm olacak şekilde ayarlanmış ve deney boyunca seviye korunmuştur (şekil 5.22). Deney numunelerinin 0, 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360, 720 ve 1440. dakikalarda su emme miktarları ölçülmüştür. Kapiler su emme katsayıları eşitlik (5.8)'de verilen bağıntı kullanılarak belirlenmiştir.

$$\frac{Q}{A} = k\sqrt{t} \quad (5.8.)$$

Eşitlikte;

Q: Emilen su miktarı, cm³

A: Su ile temas eden yüzey alanı, cm²

t: Geçen zaman, sn

k: Kapilarite katsayısı, cm²/sn

5.2.6.4. Ultra ses Geçiş Hızı Deneyi

Ultrasonik test cihazının kullanımı ile betonun içerisine gönderilen ses üstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğ er yüzeyine geçme süresi ölçülmekte, ses hızı hesaplanmaktadır (TS EN 12504-4, 2012). Ultra ses geçiş hızı aşağıdaki eşitlik (5.9)'da verilen bağıntı kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$U = \frac{L}{t} \quad (5.9.)$$

Eşitlikte;

U: Ultra ses geçiş hızını, km/sn

L: Numunedeki proplar arasındaki mesafeyi, mm

t: Numunedeki ultra ses geçiş süresini, μs

5.2.6.5. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyleri, TS EN 12390-3 (2010) standardına göre uygun olarak yapılır. Basınç dayanım deneyi için hazırlanan küp numune örnekleri hidrolik presin elik plakaları arasına yerleştirilir. Numune kırılıncaya kadar yükleme yapılır. Numunenin kırıldığı andaki yükü ve numunenin yüzey alanı verileri eşitlik (5.10.) nolu bağıntıda yerine konularak basınç dayanım hesabı yapılmaktadır.

$$s_b = \frac{P}{A} \quad (5.10.)$$

Eşitlikte;

σ_b : Basınç dayanımı, kg/cm²

P: Kırılma yükü, kg

A: Numunenin kesit alanı cm²

5.2.6.6. Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Yarmada çekme deneyleri TS EN 12390-6 (2010) standardına göre yapılmıştır. Küpler kırma aparatı içerisine yerleştirildikten sonra, basınç cihazına yerleştirilmiştir. Yükleme hızı 0,06 Mpa/sn olarak ayarlanmıştır. Kırılma yükünün %20'sini aşmayacak şekilde başlangıç yükü uygulandıktan sonra, yük sabit hızda artırılarak kırılma gerçekleştirilmiştir. Yarmada çekme dayanımı eşitlik (5.11) nolu bağıntı yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$S_{yç} = \frac{2P}{pL^2} \quad (5.11.)$$

Eşitlikte;

$S_{yç}$: Yarmada çekme dayanımı, Mpa

P: Maksimum yarıлма yükü, N

L: Yükn uygulandığı düzlemin uzunluğu, mm

5.2.6.7. Isı İletkenlik Deneyi

Hafif betonların ısı iletkenliği betonun birim ağırlıklarına ve kullanılan hafif agrega cinslerine bağılı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Homojen bir malzemenin ısı iletkenliği denge koşullarında iki yüzey arasındaki sıcaklık farkı 1°C olduğunda, birim zamanda, birim alanda ve bu alana dik yöndeki birim kalınlıktan geçen ısı miktarı ile ölçülür. Isı iletkenliğin birimi W/m²K'dır (Taşdemir, 2003).

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayılarının belirlenmesinde sıcak tel metodu kullanılmıştır. Beton numuneleri, ısı iletkenlik deneyinden önce, 105°C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Daha sonra çalışır halde bulunan cihaza bağılı olan prop, ısı iletkenlik katsayısı ölçülecek numune üzerine konularak 2 dk boyunca bekletilir. Prop yardımıyla numune üzerine yerleştirilmiş olan tele, cihaz kontrolüyle akım uygulanmaya başlanır. Termokopullar ile teldeki ısı değişimi ölçülür. Numune

üzerindeki tele uygulanan akım şiddeti, telde oluşan ısı farkı ve gerilimden yola çıkarak eşitlik (5.13) yardımıyla ısı iletkenlik katsayısı belirlenmektedir.

$$l = \frac{KI^2 \ln(t_2 - t_1)}{(V_2 - V_1)} - H \quad (5.13.)$$

Eşitlikte;

λ : Isı iletkenlik katsayısını, W/Mk

V_1, V_2 : Cihazdan prop üzerindeki tele uygulanan gerilimleri, V

t_1, t_2 : Termokopul yardımıyla numune üzerindeki telin iki ucunda ölçülen sıcaklıkları,

K, H: Cihaza ait sabit katsayılarıdır.

5.2.6.8. Yüksek Sıcaklık Deneyi

Yüksek sıcaklık deneyleri için 10x10x10 cm boyutlarındaki küp numune kullanılmıştır. 28 günlük numuneler, 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa 1 saat süreyle maruz bırakılmışlardır. Daha sonra oda sıcaklığına kadar soğumaları beklenmiştir. Yüksek sıcaklık deneyi, Protherm HLF 150 marka laboratuvar tipi fırında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu fırın 1200°C maksimum ısıtma kapasiteli, istenilen sıcaklıkta ve sürede bekletilerek otomatik olarak soğutabilen bir cihazdır. Deney sonucunda, önce numunelerin ağırlıkları tartılmış, sonra ultrasonik ses geçirgenlikleri ölçülmüş ve son olarak da preste kırılarak basınç dayanımları belirlenmiştir.

5.2.6.9. X-Işınları Toz Kırınım Difraktometresi (XRD)

Çalışmada kullanılan malzemelerin ve üretilen kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin nitel incelemelerini yapmak ve kristal yapılarını belirlemek amacıyla X-Işını Toz Kırınım Difraktometresi (XRD) kullanılmıştır. Analizler,

Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında yapılmıştır. X-Işını Difraksiyonu sonuçları, Rigaku Flex II X-ray Diffractomer Cu K α (30 Kv, 15 Ma, $\lambda=1.54051$ Å) kullanılarak elde edilmiştir. Taramalar, $5^\circ < 2\theta < 90^\circ$ aralığında 0.05 steple, dakikada 1° lik hızla kaydedilmiştir.

5.2.6.10. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan malzemelerin ve beton örneklerinin mikro yapılarını incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskop görüntülerinden yararlanımıştır. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri İnönü Üniversitesi Merkezi araştırma laboratuvarında çekilmiştir.

5.2.6.11. Fourier Dönüşümlü Kızıl tesi Spektrometre (FT-IR) Analizi

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan endüstriyel atıkların ve üretilen beton numunelerinin kafes ve moleküler yapılarının belirlenmesi için Fourier dönüşümlü Kızılötesi Spektrokopisi analizi yapılmıştır. Analizler, İnönü Üniversitesi Merkezi Laboratuvarında bulunan Perkin Elmer Spectrum One FTIR-ATR model IR Spektroskopisi cihazı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma frekans aralığı $4000-650\text{cm}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

5.2.6.12. Diferansiyel Termal Analiz (DTA) ve Termogravimetrik Analiz (TGA)

Malzemeler ısıtılırken, soğutulurken ve/veya sabit bir sıcaklıkta tutulurken soğrulan veya salıverilen enerji miktarını ölçmek, sıcaklığa ve zamana bağlı olarak malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde meydana gelecek değişiklikleri belirlemek amacıyla DTA-TGA (Diferansiyel termal analiz-Termogravimetrik analiz) yönteminden faydalanılmaktadır.

Diferansiyel termal analiz (DTA), farklı sıcaklıklarda numuneler arasında yapılan ve numunelerin ısıtılarak kontrollü olarak ölçüldüğü bir analiz metodudur. DTA ile çimentoyu oluşturan ana bileşiklerde hidratasyon ısısının etkisiyle birlikte

meydana gelen dönüşümler izlenebilmektedir. Termogravimetrik analiz (TGA) ise, numunenin ısıtıldığında ağırlığında meydana gelen değişikliği ölçerek, ısı ile bozulan fazların miktarını tespit etmeye olanak sağlayan bir analiz yöntemidir ve sertlemi imento sistemlerinde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'in ölçülmesinde kullanılan yöntemlerden birisidir (Turanlı ve ark, 2005).

Diferansiyel termal analizde bir numune ile diğer standart başka bir numune aynı anda ısıtılarak veya soğutularak arada oluşan sıcaklık değişimi sıcaklığa ve zamana bağlı olarak bir diyagrama dökülür. Bu diyagramda ısıılan (endotermik) ve ısıveren (ekzotermik) bölgeler çeşitli amaçlar doğrultusunda analiz edilen numune için parmak izi niteliği taşıyabilir. DTA diyagramları ile dekompozisyon sıcaklıkları, kristalin faz değişimleri, kimyasal değişimler hakkında bilgi elde etmek mümkündür. Termogravimetrik analizde ise yine sıcaklığa bağlı olarak kütle kaybı (% olarak) zaman ve sıcaklığın birer fonksiyonu olarak incelenebilir (İssi, 2005).

Simultane termal analiz ile ilgili yapılan daha önceki termal analiz testleri portland imentosu, mineral katkılı ve kimyasal katkılı imento harcında meydana gelen temel reaksiyonların genel olarak aşağıdaki sıcaklık aralıklarında meydana geldiklerini göstermektedir. 0-100°C: Gözeneklerdeki kimyasal ve fiziksel suyun dehidratasyonu, 100-450°C: Kalsiyum silikat hidrat (CSH), kalsiyum alümina silikat hidrat, alüminat, alüminasilikat ve diğer hidratların dehidratasyonu, 450-580°C: Kalsiyum hidroksitin ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)'ın dehidroksilasyonu ve 750-825°C: CaCO_3 'n dekarbonasyonu (Koçak, 2008).

6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında, endüstriyel atık katkıları kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilebilirliği araştırılmıştır. Bu bölümde kendiliğinden yerleşen hafif beton üretimi kapsamında yapılan analizler ve sonuçları ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

6.1. Malzemelere Ait Deney Sonuçları

6.1.1. X-Işınlari Flüoresans Spektroskopisi Analiz Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan malzemelerin kimyasal analizleri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarında bulunan MiniPal marka X-Işınlari Flüoresans (XRF) spektroskopisi analiz cihazı ile yapılmıştır. Pomza agregasının kimyasal analiz sonucu Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Pomza agregasının kimyasal analiz sonucu

Bileşenler	(%)
SiO ₂	75,5
Al ₂ O ₃	14,5
Fe ₂ O ₃	2,55
Na ₂ O	0,2
MgO	0,05
K ₂ O	5,30
CaO	1,34
TiO ₂	0,56
Kızdırma Kaybı	3,33

Pomzanın kimyasal bileşimi incelendiğinde, SiO₂ içeriğinin %75,5 ve Al₂O₃ içeriğinin %14,5 olduğu tespit edilmiştir. Pomzanın kimyasal bileşiminin literatürle uyumlu olduğu görülmüştür (Efe, 2011; Tapan ve ark, 2013; Yücel ve ark, 2016). Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunesi üretiminde kullanılan

endüstriyel atık malzemelere ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Endüstriyel atık malzemelere ait kimyasal analiz sonuçları

Bileşenler	Mermer Tozu	Bazalt Tozu	Granit Tozu	Uçucu kül	Şeker fabrikası filtre çamuru
SiO ₂	-	50,70	63,50	61,10	2,76
Al ₂ O ₃	0,30	20,70	14,10	24,20	0,94
Fe ₂ O ₃	0,21	10,37	4,88	8,22	0,80
CaO	55,30	12,30	10,67	1,97	50,77
MgO	0,24	3,60	0,59	2,42	0,66
TiO ₂	0,04	1,34	0,31	1,27	0,10
K ₂ O	-	0,64	3,37	-	0,13
Na ₂ O	-	-	2,10	-	-
NiO	-	0,012	-	-	-
SO ₃	0,11	-	-	0,54	-
V ₂ O ₅	0,009	-	-	0,01	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	1,18
Kızdırma Kaybı	43,26	0,77	4,53	2,48	41,63

Çizelge 6.2 incelendiğinde, mermer tozunun CaO içeriğinin %55,30 ve kızdırma kaybının %43,26 olduğu tespit edilmiştir. Mermer tozunun kimyasal bileşiminin literatürle uyumlu olduğu görülmüştür (Çelik ve Tur, 2012; Soliman, 2013; Gamberio ve ark, 2014; Türkmenoğlu ve ark, 2015).

Bazalt tozunun kimyasal bileşimi incelendiğinde SiO₂ içeriğinin %50,70, Al₂O₃ içeriğinin %20,70 ve Fe₂O₃ içeriğinin %10,37 olduğu tespit edilmiştir. Bazalt tozunun kimyasal bileşiminin literatürle uyumlu olduğu görülmüştür (Karakuş, 2011; Nunes ve ark, 2014).

Granit tozunun SiO₂ içeriğinin %63,50, Al₂O₃ içeriğinin %14,10 ve Fe₂O₃ içeriğinin %4,88 olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında, granit tozu olarak

isimlendirilen örneğin SiO_2 içeriği, her ne kadar granitik kayalar için sınır değerde de olsa örnek mermer işleme tesisin granit atık çamur sahasından alındığı için çalışmada granit tozu olarak adlandırılmıştır. Granitin silisyum oksit miktarı sınır değerlerde olmasına rağmen kimyasal bileşiminin literatürle uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Marmol ve ark, 2010; Bacarji ve ark, 2013; Kartini ve ark, 2014; Dina ve ark, 2016).

Uçucu külün SiO_2 içeriğinin %61,10, Al_2O_3 içeriğinin %24,20 ve Fe_2O_3 içeriğinin %8,22 olduğu tespit edilmiştir. Uçucu külün kimyasal bileşiminin literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir (Delikurt ve Sevim, 2015; Acar ve ark, 2016; Korkut ve ark, 2017). Çalışmada kullanılan uçucu kül, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesinin %70'i geçmesi (%93,52) ve CaO miktarının %10'un altında olması nedeniyle ASTM C 618'de belirtilen F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül sınıfına girmektedir. TS EN 450-1 standardına göre, uçucu küllerin SO_3 içeriğinin %3'ün altında (%0,54) ve serbest kireç miktarının ise %1'in altında olması gerekmektedir (TS EN 450-1, 2013). Su gözü Termik santrali uçucu külünün, TS EN 450-1 standardında verilen sınır değerleri sağladığı belirlenmiştir.

Şeker fabrikası filtre çamurunun CaO içeriğinin %50,77 ve kızdırma kaybının %41,63 olduğu tespit edilmiştir. Şeker fabrikası filtre çamurunun kimyasal bileşiminin literatürle uyumlu olduğu görülmüştür (Sua-iam ve Makul 2017).

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan çimentonun kimyasal ve mekanik özelliklerine ait analiz sonucu Çizelge 6.3'te verilmiştir. Çimento'ya ait kimyasal ve mekanik analiz sonuçları, Van Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilmiştir.

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı, polikarboksilik eter esaslı olup, su azaltma ve akışkanlaştırma özelliğine sahiptir. Kullanılan kimyasal katkının özellikleri BASF Türk Kimya Sanayi Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiş olup, Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz	(%)	TS EN 197-1
SiO ₂	18,33	C+S ≥%50
CaO	61,4	
Fe ₂ O ₃	3,45	-
Al ₂ O ₃	4,97	-
MgO	3,76	≤%5
SO ₃	2,73	≤%4
K ₂ O	0,75	-
Na ₂ O	0,56	-
Cl ⁻	0,01	<%0,1
Çözünmeyen Kalıntı	1,19	-
Kızdırma Kaybı	3,6	≤%5

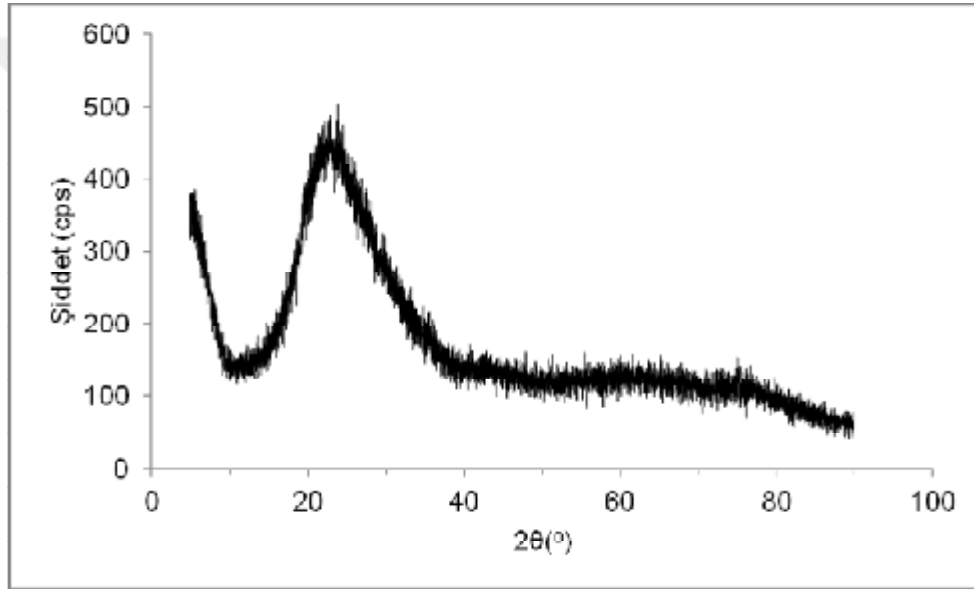
Çizelge 6.4. Kimyasal katkıının özellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	Opak
Yoğunluk	1,063-1,103 kg/litre
Klor İçeriği	< %0,1
Alkali İçeriği	< %3

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretimi sırasında, hem beton karışımlarında hem de betonların kürlenmesi aşamasında su kullanılmıştır. Beton üretiminde kullanılacak suların TS EN 1008 standardına uygun olması gerekmektedir. TS EN 1008 standardına göre içilebilir sular, beton karma suyu olarak kullanılabilir (TS EN 1008, 2003). Bu çalışma kapsamında beton üretimi ve kürlenmesi esnasında içme suyu şebekesi suyu kullanılmıştır.

6.1.2. X-Işınları Toz Kırınım Difraktometresi (XRD) Analiz Sonuçları

Çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin mineral bileşimi ve kristal yapısının belirlenmesi amacıyla X-ışınları Toz Kırınım Difraktometresi (XRD) analizinden yararlanılmıştır. XRD analiz sonuçları, Rigaku Flex II X-ray Diffractometer kullanılarak elde edilmiştir. Taramalar $5^{\circ} < 2\theta < 90^{\circ}$ aralığında 0.05° derece steple, dakikada 1 derecelik hızla kaydedilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan malzemelere ait XRD desenleri Şekil 6.1-6.5'te verilmiştir.



Şekil 6.1. Pomza agregası XRD deseni

Pomza agregasına ait XRD deseni (Şekil 6.1) incelendiğinde, herhangi bir kristalli yapıya rastlanmamıştır. Bu durumun nedeni, pomza agregasının ana yapısının amorf silika olmasından kaynaklanmaktadır. XRD sonucunun literatürle uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir (Efe, 2011; Yücel ve ark, 2016).

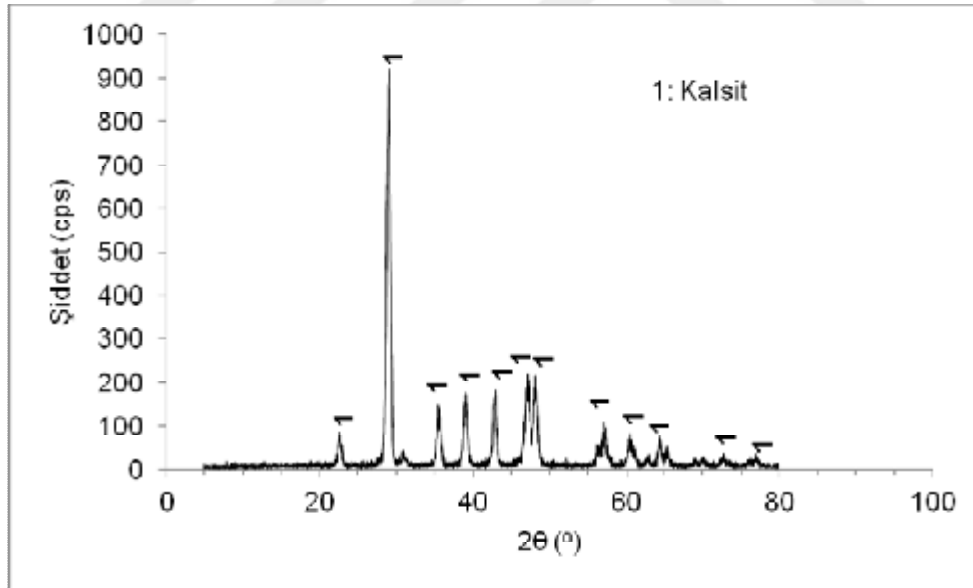
Mermer tozuna ait XRD deseni, (Şekil 6.2) Uluslararası Difraksiyon Veri Merkezinin 01-086-2335 kartı ile karşılaştırıldığında mermer tozunda, ana mineralin kalsit (CaCO_3) olduğu tespit edilmiştir. XRD sonucunun literatür ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Sayın ve Aksoy, 2012).

Bazalt tozu XRD deseni (Şekil 6.3) incelendiğinde, ana minerallerin albit ve anortit olduğu tespit edilmiş olup, bu sonuç literatür tarafından desteklenmektedir (Laibao ve ark, 2013).

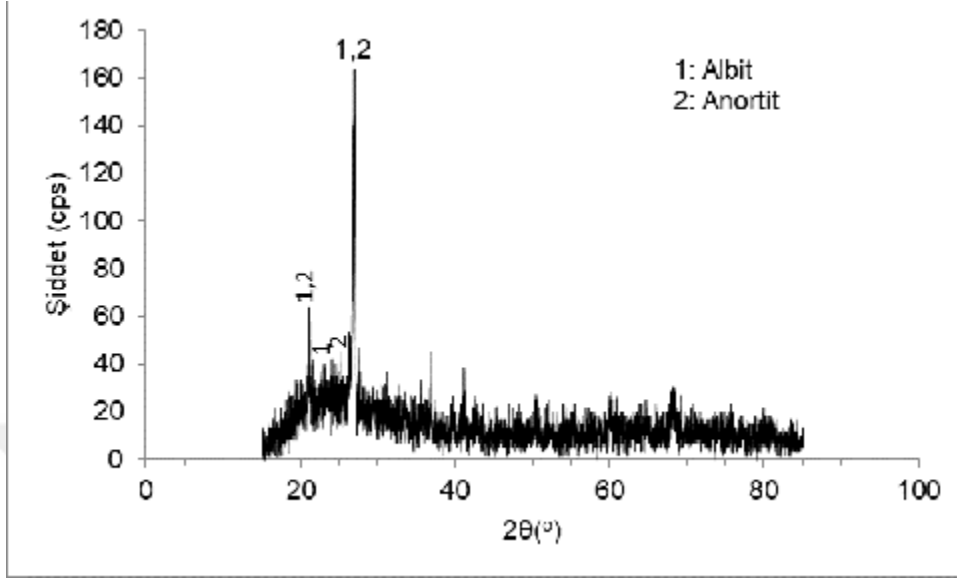
Granit tozu XRD deseni (Şekil 6.4) incelendiğinde, ana minerallerin kuvars, albit, mikroklin ve biyotit olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca XRF analiz sonucu, mineralojik yapıyı desteklemektedir. Elde edilen veriler literatürle uyumludur (Hinnawi ve Abayazeed, 2011; Vijayalakshmi ve ark, 2013).

Uçucu kül XRD deseni (Şekil 6.5) incelendiğinde, ana minerallerin kuvars, mullit, hematit ve kalsit olduğu tespit edilmiş olup, bu sonuç literatür tarafından desteklenmektedir (Türkmenoğlu, 2010; Acar ve ark, 2016).

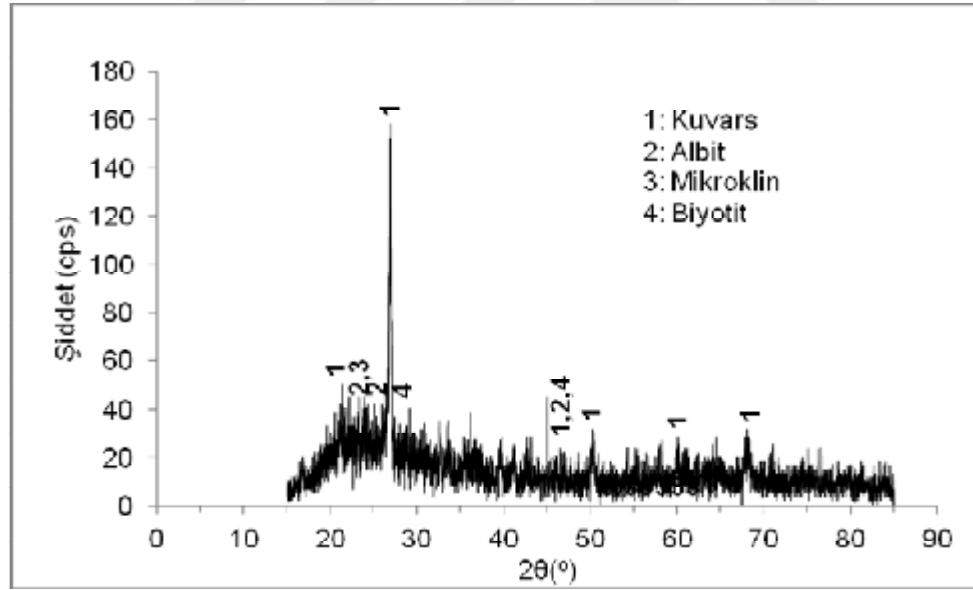
Şeker fabrikası filtre çamuruna ait XRD deseni incelendiğinde, ana mineralin kalsit (CaCO_3) olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.6). Bu sonucun literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür (Ming ve Chun, 2005).



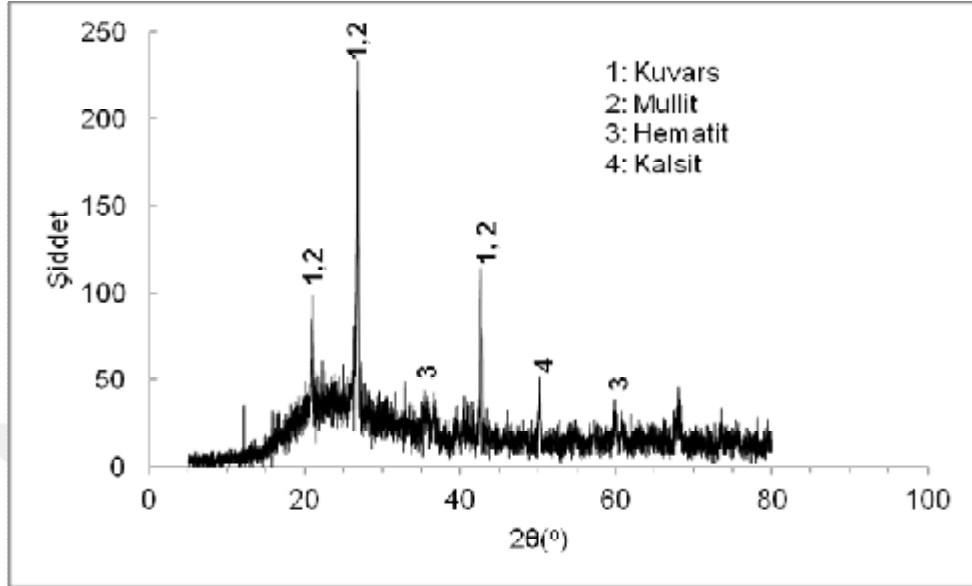
Şekil 6.2. Mermer tozu XRD deseni



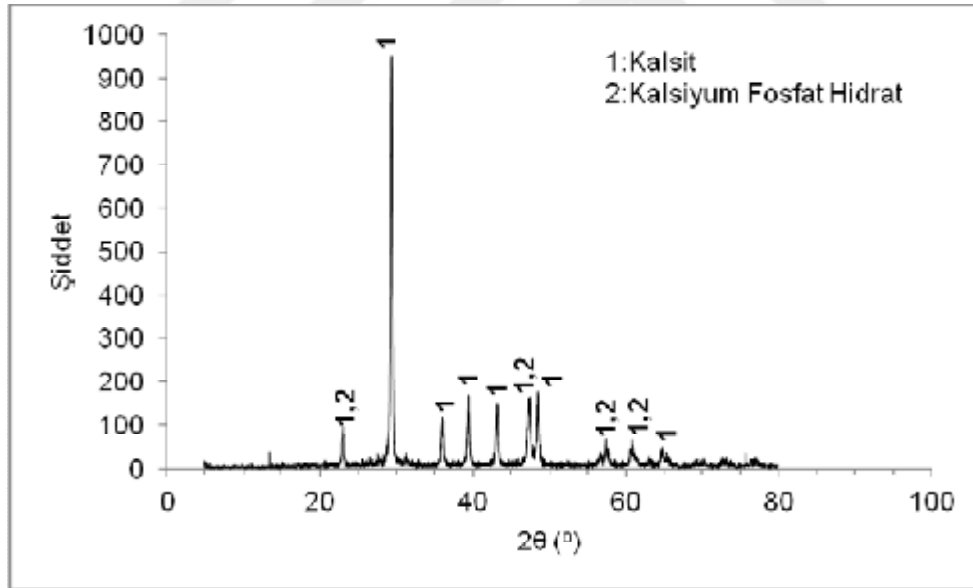
Şekil 6.3. Bazalt tozu XRD deseni



Şekil 6.4. Granit tozu XRD deseni



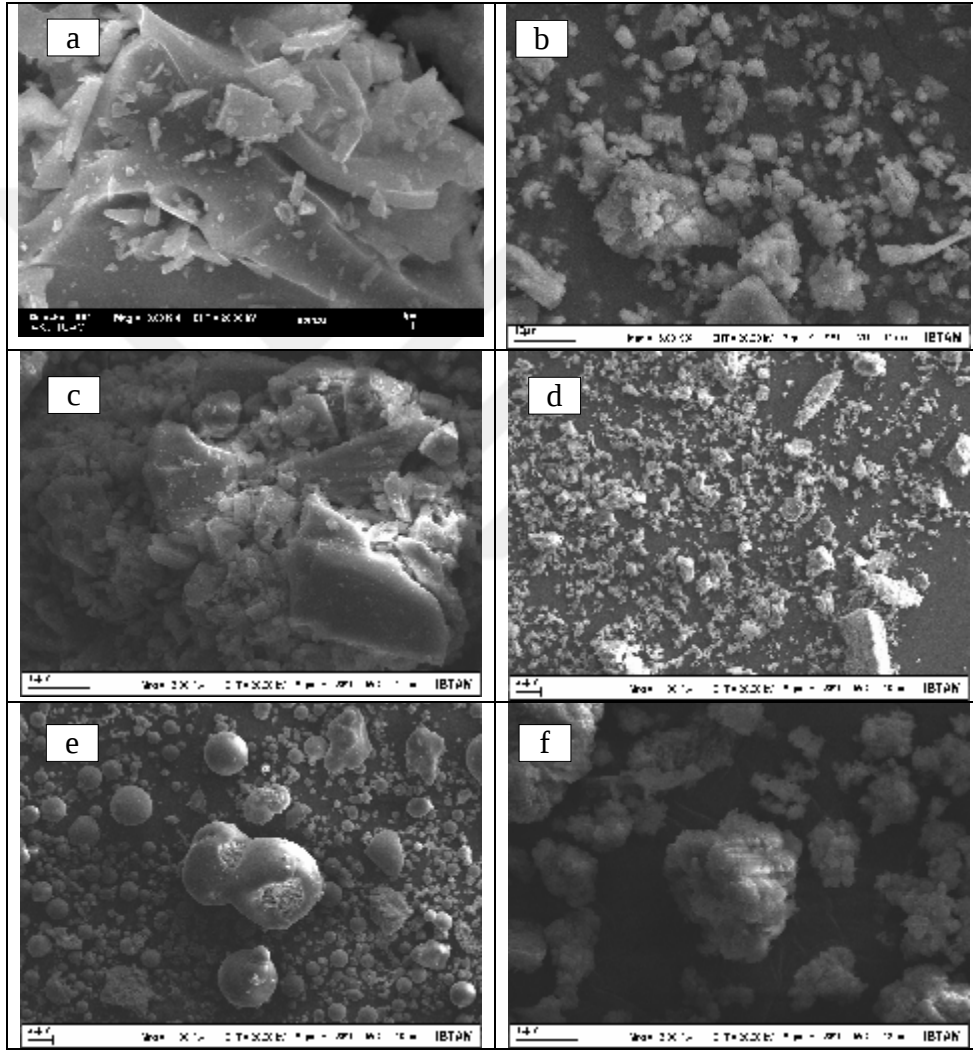
Şekil 6.5. Uçucu kül XRD deseni



Şekil 6.6. Şeker fabrikası filtre çamuru XRD deseni

6.1.3. SEM Analiz Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların üretiminde kullanılan pomza agregasına ve endüstriyel atık malzemelerine ait SEM görüntüleri Şekil 6.7’de verilmiştir. SEM görüntüleri ayrıntılı görünimleri ise Ek.1’de verilmiştir.



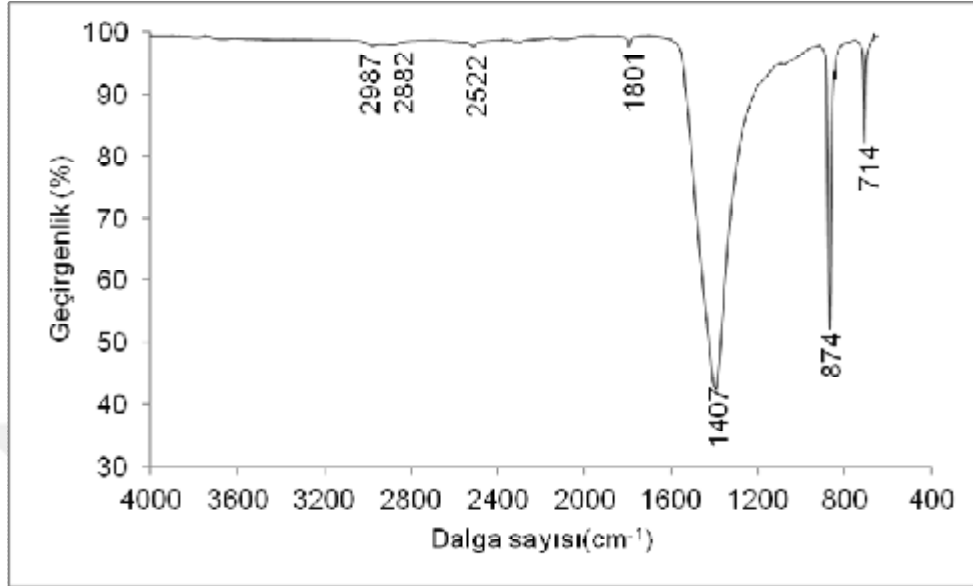
Şekil 6.7. Pomza ve endüstriyel atık malzemelerine ait SEM görüntüleri (a: pomza, b: mermer tozu, c: bazalt tozu, d: granit tozu, e: uçucu kül, f: şeker fabrikası filtre çamuru)

KYHB 'de kullanılan malzemelerin (mermer tozu, bazalt tozu, granit tozu, uçucu kül, şeker fabrikası filtre çamuru), mikroyapı özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla SEM analizinden yararlanılmıştır. Pomza örneğine ait SEM görüntüsü incelendiğinde, pomzanın camsı (amorf) bir yapısının olduğu gözlenmiştir. Mermer tozu örneğine ait SEM görüntüsü incelendiğinde, tanelerin keskin köşeli ve yüzey dokusunun da pürüzlü olduğu görülmüştür. Bazalt tozu ve granit tozu örneklerine ait SEM görüntüsü incelendiğinde, tanelerin köşelerinin keskin ve yüzeylerinin pürüzlü olduğu görülmüştür. Uçucu kül örneğine ait SEM görüntüsü incelendiğinde, tanelerin küresel ve yüzeyinin pürüzsüz olduğu görülmüştür. Şeker fabrikası filtre çamuru örneğine ait SEM görüntüleri incelendiğinde ise, tanelerin köşeli olduğu görülmüştür.

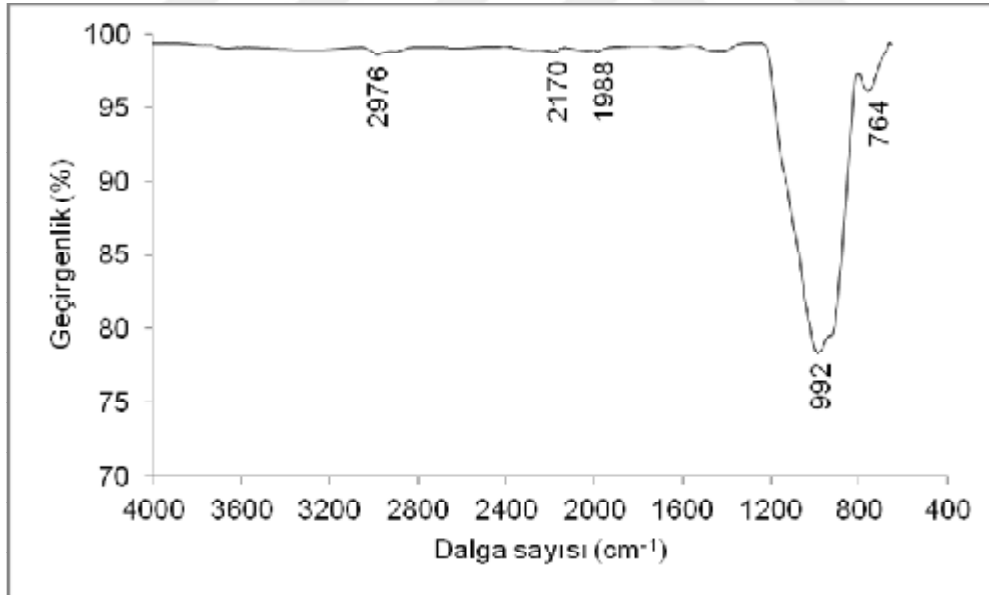
6.1.4. FTIR Analiz Sonuçları

Çalışmada mineral katkı olarak kullanılan (mermer tozu, bazalt tozu, granit tozu, uçucu kül, ısıtma işlem öncesi şeker fabrikası filtre çamuru ve şeker fabrikası filtre çamuru) örneklerin, moleküler bağ yapı karakterizasyonları Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisi ile belirlenmiştir. Şekil 6.8-6.13'te çalışmada kullanılan endüstriyel atıklara ait FTIR spektrumları verilmiştir.

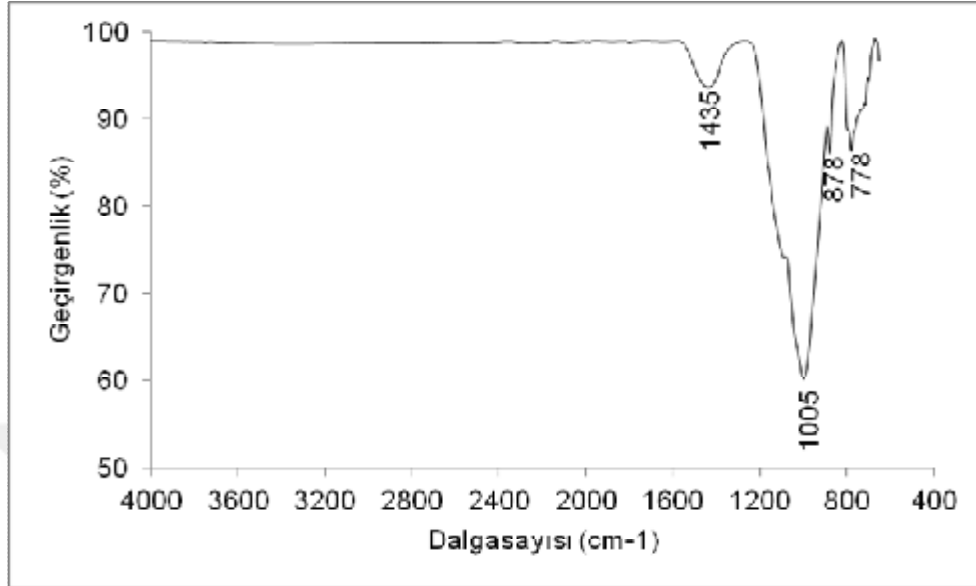
Şekil 6.8'de mermer tozu örneğinin IR spektrumları verilmiştir. FTIR spektrumlarında gözlenen piklerin hangi bağlara ait olduğu literatür verileri yardımıyla (Plevova ve ark, 2010; El-Alfi ve Gado,2016; Xyla ve Koutsoukos, 1989) belirlenmiştir. Mermer tozunun IR analizi sonucunda 714, 874, 1407, 1801, 2522, 2882 ve 2987 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim pikleri görülmekte olup bu pikler kalsitin karakteristik pikleridir. 1407 cm^{-1} 'de gözlenen şiddetli band kalsitin yapısındaki C-O gerilmesinden kaynaklanmaktadır. 874 cm^{-1} band C-O deformasyon gerilmesinden kaynaklanmaktadır. 714 cm^{-1} deki band ise (O-C-O yönelmesi) titreşiminden kaynaklanmaktadır. Numunenin kalsit yapıda olduğu XRD ve IR analizi ile doğrulanmıştır.



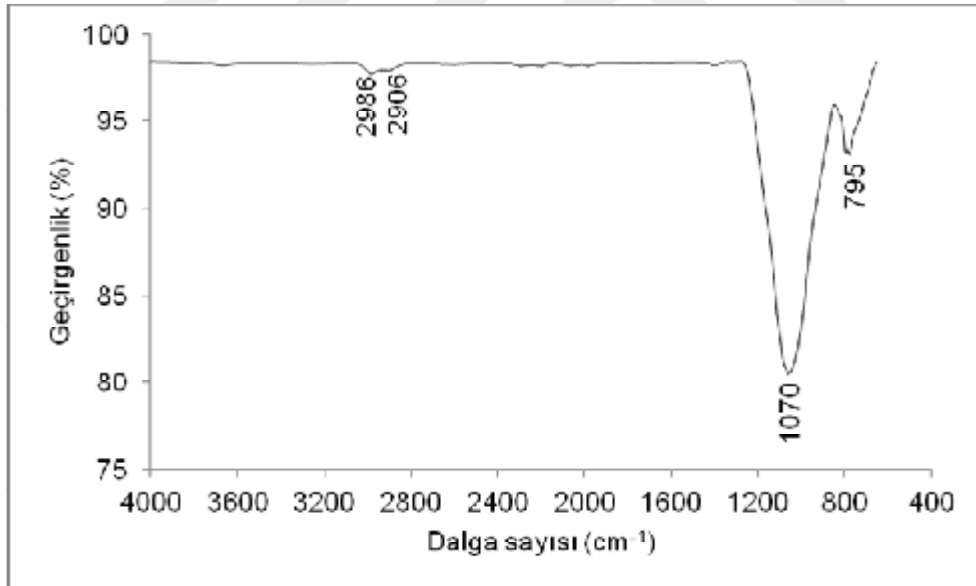
Şekil 6.8. Mermer tozu örneğinin FTIR spektrumu



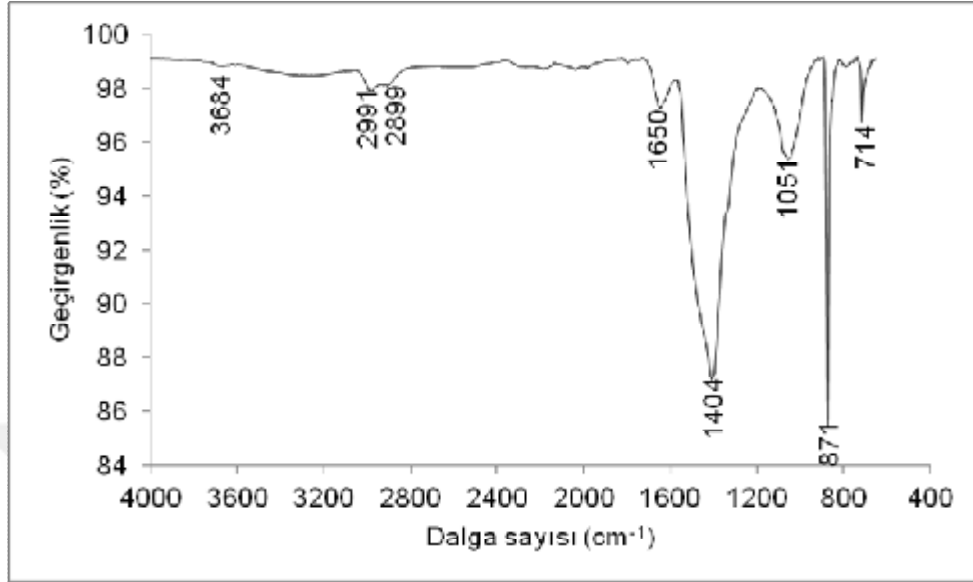
Şekil 6.9. Bazalt tozu örneğinin FTIR spektrumu



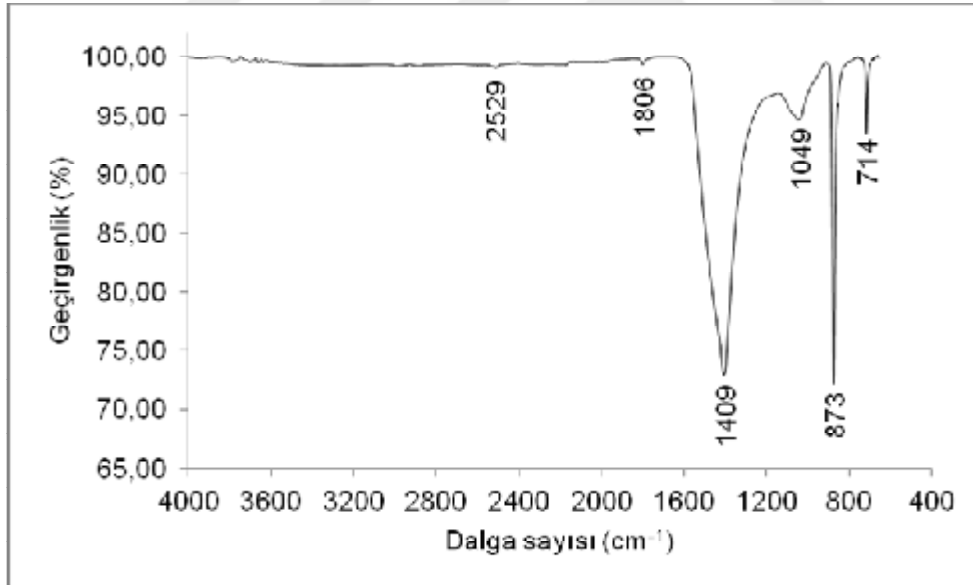
Şekil 6.10. Granit tozu örneğinin FTIR spektrumu



Şekil 6.11. Uçucu kül örneğinin FTIR spektrumu



Şekil 6.12. Isıl işlem öncesi şeker fabrikası filtre çamur örneği FTIR spektrumu



Şekil 6.13. Şeker fabrikası filtre çamur örneğinin FTIR spektrumu

Bazalt tozu örneğinin FTIR spektrumları Şekil 6.9'da verilmiştir. FTIR spektrumlarında gözlenen piklerin hangi bağlara ait olduğu literatür verileri

yardımıyla (Ramachandran ve Beaudoin, 2000; Saraya, 2014; Dalmora ve ark, 2016) belirlenmiştir. Bazaltın FTIR analizi sonunda 764, 992, 1988, 2170 ve 2976 cm^{-1} dalga sayılarında titreşimler görülmektedir. 992 cm^{-1} 'de gözlenen şiddetli pik Si–O–Si asimetrik gerilmesinden kaynaklanmakta ve 776 cm^{-1} 'de gözlenen pik ise Si–O–Si simetrik gerilmesinden kaynaklanmaktadır.

Granit tozu örneğinin FTIR spektrumları Şekil 6.10'da verilmiştir. FTIR spektrumlarında gözlenen piklerin hangi bağlara ait olduğu literatür verileri yardımıyla (Plevova ve ark, 2016; Swann ve Patwardhan, 2011) belirlenmiştir. Granit çamurunun FTIR analizi sonucunda 778, 878, 1005 ve 1435 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim pikleri görülmektedir. 1005, 878 ve 778 cm^{-1} 'de gözlenen pikler granitin yapısındaki Si-O gerilmesinden kaynaklanmaktadır. 1435 de görülen pik biyotit mineralinden kaynaklanmaktadır. Uçucu kül örneğine ait FTIR spektrumları Şekil 6.11'de verilmiştir.

Uçucu kül örneğine ait FTIR spektrumlarında gözlenen piklerin hangi bağlara ait olduğu literatür verileri yardımıyla (Muzek ve ark, 2012) belirlenmiştir. Uçucu külün FTIR analizi sonucunda 2986, 2906, 1070 ve 795 cm^{-1} dalga sayılarında titreşim pikleri görülmektedir. 1070 cm^{-1} 'de gözlenen pik Si–O–Si asimetrik gerilmesinden kaynaklanmaktadır.

Isıl işlem öncesi şeker fabrikası filtre çamur örneğinin FTIR spektrumları Şekil 6.12'de ve şeker fabrikası filtre çamuruna ait FTIR spektrumları ise Şekil 6.13'te verilmiştir. Isıl işlem öncesine ait şeker fabrikası filtre çamuru ve şeker fabrikası filtre çamuruna ait FTIR spektrumlarında gözlenen piklerin hangi bağlara ait olduğu literatür verileri yardımıyla (Paleckienė ve ark, 2007; Saleh ve ark, 2012; Afshar ve ark, 2014) belirlenmiştir. Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te verilen FTIR spektrumları incelendiğinde numunelerin CaCO_3 ile ilişkili bandlara sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca FTIR spektrumunda 2991 ve 2899 cm^{-1} de görülen geniş piklerin ise su molekülleri le ilişkili olduğu söylenebilir. 1400-1650 cm^{-1} görülen pikin yapıda CO_3^{2-} ve $\text{CH}(\text{CO})$ bağlarından kaynaklabileceği söylenebilir. 714 cm^{-1}

de görülen pik ise Si-O gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır FTIR analiz sonucu, XRD analiz sonuçlarını desteklemektedir.

6.1.5. Malzeme Fiziksel Özellikleri

Çalışma kapsamında kullanılan pomza agregası ve endüstriyel atık malzemelere ait fiziksel özellikler (gevşek birim hacim ağırlık, su emme, özgül ağırlık) Türk Standartlarına uygun olarak (TS 1114 EN 13055-1, TS 3529), Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında yapılmıştır. KYHB üretiminde kullanılan çimentoya ait fiziksel özellik deney sonuçları ise Van Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilmiştir.

6.1.5.1. Gevşek Birim Ağırlık Deney Sonuçları

Pomza agregalarının, gevşek birim ağırlık değerleri, TS EN 1097-3 standardına uygun olarak Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında belirlenmiştir. Hafif agregalar darbe etkisine dayanıksız olduklarından pomza için sadece gevşek birim ağırlık deneyi yapılmış olup, sıkışık birim ağırlık deneyi yapılmamıştır. TS 1114 EN 13055-1 standardında, gevşek birim ağırlığı, 1200 kg/m^3 'ü aşmayan mineral kökenli agregalar, hafif agrega olarak tanımlanmaktadır. Pomza agregasının gevşek birim ağırlık deney sonuçları Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Pomza agregasının gevşek birim ağırlık deney sonuçları

Agrega Grubu	Gevşek Birim Ağırlık (kg/m^3)
8-16 mm	345
4-8 mm	386
2-4 mm	459
0-2 mm	636

Çizelgeye göre, pomza agregalarının gevşek birim ağırlıkları; 8-16 mm için 345 kg/m^3 , 4-8 mm için 386 kg/m^3 , 2-4 mm için 459 kg/m^3 ve 0-2 mm için 636 kg/m^3 'dür. Bulunan bu değerler, TS 1114 EN 13055-1 standardında hafif agregalar için belirtilen sınırlar içerisinde kalmaktadır.

6.1.5.2. Özgül Ağırlık Faktörü ve Su Emme Oranı Deney Sonuçları

Hafif agreganın özgül ağırlığı bulunduğu nem durumuna göre farklılık gösterir. Bu nedenle beton karışım hesaplarında, hafif agreganın özgül ağırlığı yerine, özgül ağırlık faktörü adı verilen değer kullanılmaktadır. Çalışma kapasamında kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılacak agregalar, beton karışımına katılmadan önce, 30 dakika suyun içerisinde bekletilmişlerdir. Karışım hesaplarında, agregaların 30 dakika sonundaki özgül ağırlık faktörü değerleri kullanılmıştır. Pomza agregalarının özgül ağırlık faktörü ve su emme oranı deney sonuçları, Çizelge 6.6'da verilmiştir. Pomza agregalarının 30 dakikalık özgül ağırlık faktörleri sırasıyla; 8-16 mm 0,89, 4-8 mm 1,02, 2-4 mm 1,16 ve 0-2 mm 1,72 olarak belirlenmiştir. Pomza agregalarının su emme oranları ile ilgili yapılan bir çalışmaya göre su emme oranlarının %30-40 arasında olduğu belirtilmiştir (Newman ve Owens, 2003). Yine başka çalışmada pomza agregalarının 24 saatlik su emme yüzdelerinin, ince agregada %20, iri agregada %30 civarında olduğunu belirtmiştir (Gündüz, 2005).

Çizelge 6.6. Pomza agregalarının özgül ağırlık faktörü ve su emme oranı deney sonuçları

Agrega Grubu	Özgül Ağırlık Faktörü	Su Emme Oranı (%)
8-16 mm	0,89	37,69
4-8 mm	1,02	38,53
2-4 mm	1,16	36,79
0-2 mm	1,72	-

Çizelge 6.6’da verilen değerler incelendiğinde, pomza agregalarının 24 saatlik su emme yüzdelerinin; 8-16 mm göz açıklığına sahip agregalarda % 37,69 4-8 mm göz açıklığına sahip agregalarda %38,53 ve 2-4 mm göz açıklığına sahip agregalarda ise %36,79 olduğu görülmektedir. KYHB üretiminde kullanılan endüstriyel atıklara ait özgül ağırlıklar Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Endüstriyel atıkların özgül ağırlıkları

Malzeme Adı	Özgül ağırlık g/cm ³
Mermer Tozu	2,70
Bazalt Tozu	2,80
Granit Tozu	2,67
Uçucu Kül	2,35
Şeker Fabrikası Filtre çamuru	2,52

Çizelge 6.7 incelendiğinde, mermer tozunun 2,70 g/cm³, bazalt tozunun 2,80 g/cm³, granit tozunun 2,67 g/cm³, uçucu külün 2,35 g/cm³ ve şeker fabrikası filtre çamurunun 2,52 g/cm³ yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Deneyisel çalışmalarda, Van Aşkale Çimento Fabrikasında üretilen CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmış olup, çimentoya ait fiziksel özellikler, Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler		
Özgül Ağırlık	gr/cm ³	3,09
Özgül Yüzey Alanı	cm ² /gr	3685
Priz Başlangıcı	dk	175
Priz Sonu	dk	235
0,045 mm Elekte Kalıntı	%	3,8
0,090 mm Elekte Kalıntı	%	0,1

6.1.5.3. Elek Analizleri ve Tane Boyut Dağılımları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılan pomza, TS 1114 EN 13055-1 standartlarında belirtilen koşullara uygun olarak, elek analizine tabii tutulmuştur. Tüvenan Van pomzasına ait elek analizi değerleri Çizelge 6.9’da verilmiştir. Çizelge 6.9 incelendiğinde, çalışma kapsamında kullanılan pomzaların TS 1114 EN 13055-1 standardına uygun olduğu ve granülometrik açıdan hafif agrega olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Çizelge 6.9. Tüvenan Van pomzasının elek analiz değerleri

Elek Aralığı (mm)	Elek Üstü (gr)	Kümülatif Elek Üstü (gr)	Elek Üstü (%)	Elek Geçen (%)
16	0	0	0	100
8	1169,2	1169,2	23,26	76,74
4	2042,1	3211,3	63,89	36,11
2	1206,8	4418,1	87,9	12,1
1	346	4764,1	94,78	5,217
0,5	63,8	4827,9	96,05	3,947
0,25	63,1	4891	97,31	2,692
0,125	30,7	4921,7	97,92	2,081
Kalan	104,6	5026,3	100	0

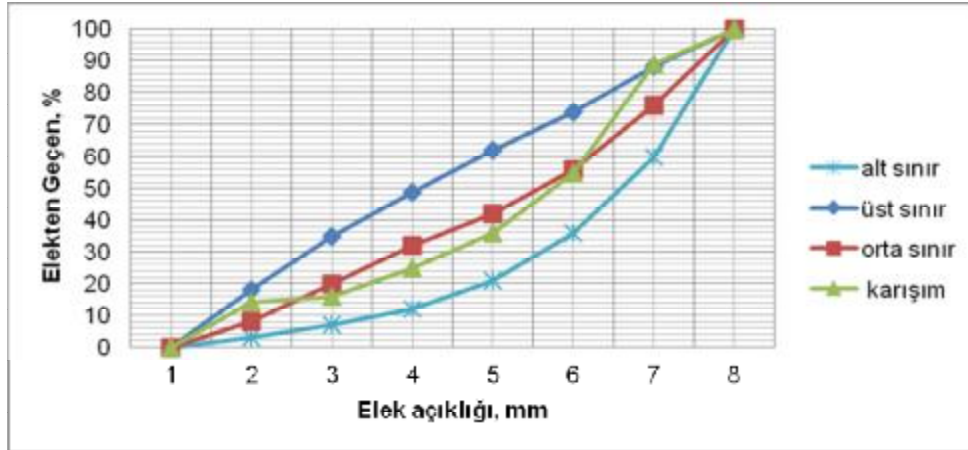
Kendiliğinden yerleşen hafif beton yapımında kullanılacak pomza agregalarının, hangi tane boyutunda ve yüzde kaç oranında kullanılacağını tespiti için, TS 706 EN 12620 (2009) standardında verilen, sınır değerler dikkate alınarak agrega miktarları belirlenmiştir. TS 706 EN 12620 (2009) standardı sınır değerleri ve kullanılan agrega analiz sonuçları Çizelge 6.10’da verilmiştir.

KYHB karışımlarında kullanılan agreganın granülometri eğrisi Şekil 6.14’te verilmiştir. Karışımda kullanılan pomza agregası için D_{maks} değeri 16 mm alınmıştır. TS 706 EN 12620’de verilen D_{maks} sınır değerleri ve eğrilerle karşılaştırıldığında pomzanın kullanılabilir bölgede kaldığı görülmektedir. İri ve

ince agregalara ait numunelerin tane büyüklüklerine göre dağılımı elek analizi sonucuna göre belirlenebilir. Belirlenen iri ve ince agreganın tane dağılımları için karışık agreganın dağılımını belirleyebilmek amacıyla, belirli yüzdelere deneyerek, TS 706 EN 12620 (2009) standardında verilen, maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan eğriye ait alt, orta ve üst sınırlara uygun düşecek şekilde, karışık agreganın granülometrisi ayarlanmıştır.

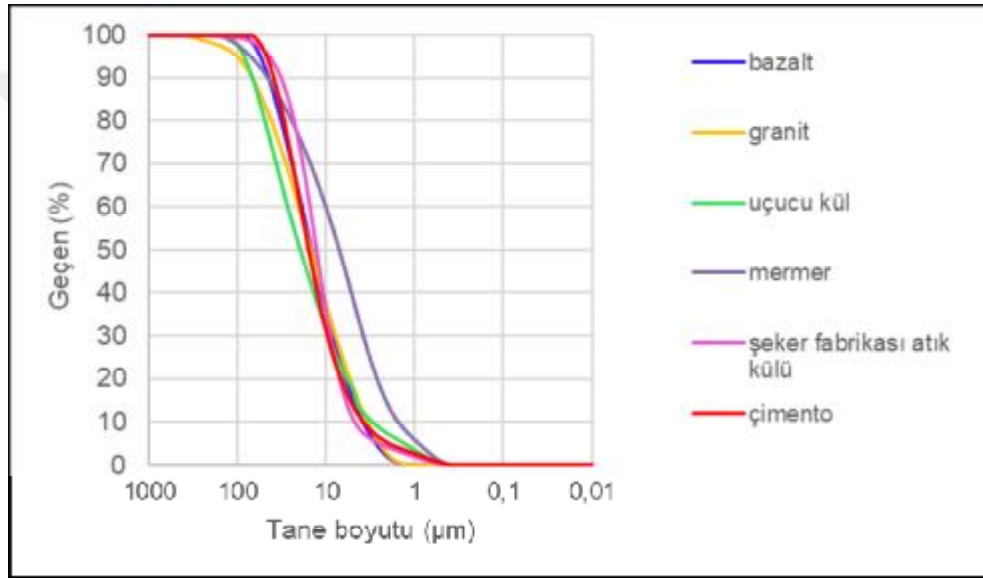
Çizelge 6.10. TS 706 EN 12620 standardı sınır değerleri ve kullanılan agreganın miktarı

Elek serisi (mm)	Elekten Geçen Malzeme Miktarı (%)			
	Alt sınır	Orta sınır	Üst sınır	Kullanılan agreganın miktarı
16	100	100	100	100
8	60	76	88	89
4	36	56	74	55
2	21	42	62	36
1	12	32	49	25
0,25	3	8	18	14



Şekil 6.14. Karışımında kullanılan agreganın granülometri eğrisi

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan çimento ve endüstriyel atıkların (mermer tozu, bazalt tozu, granit tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru) tane boyut analizleri, Malvern Mastersizer 2000 cihazında, Lazer kırınım yöntemi ile belirlenmiştir. Endüstriyel atıklara aittane boyut dağılım grafiği Şekil 6.15'te ve çimento ve endüstriyel atıkların d10, d50 ve d90 değerleri ise Çizelge 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.15. Endüstriyel atıklara ait tane boyut dağılım grafiği

Çizelge 6.11. Çimento ve endüstriyel atıkların d10, d50 ve d90 değerleri

Numune adı	d(10)	d(50)	d(90)
Çimento	3,79	15,74	38,97
Mermer tozu	1,53	7,10	45,52
Bazalt tozu	3,83	14,55	44,53
Granit tozu	3,40	14,82	67,87
Uçucu kül	2,61	19,56	67,97
Şeker fabrikası filtre çamuru	4,75	12,83	32,29

Çimento'ya yapılan tane boyut analizi sonucunda, çimentonun %90'ı, 38,97 mikronun altında, %50'si 15,74 mikronun altında ve %10'u, 3,79 mikronun altında olduğu tespit edilmiştir.

Mermer tozu örneğine yapılan tane boyut analizi sonucunda, mermer tozunun %90'ının, 45,52 mikronun altında, %50'sinin 7,10 mikronun altında ve %10'nunun, 1,53 mikronun altında olduğu tespit edilmiştir.

Bazalt tozu örneğine yapılan tane boyut analizi sonucunda, bazalt tozunun %90'ının, 44,53 mikronun altında, %50'sinin, 14,55 mikronun altında ve %10'nunun, 3,83 mikronun altında olduğu tespit edilmiştir.

Granit tozu örneğine yapılan tane boyut analizi sonucunda, granit tozunun %90'ının, 67,87 mikronun altında, %50'sinin, 14,82 mikronun altında ve %10'nunun, 3,40 mikronun altında olduğu tespit edilmiştir.

Uçucu kül örneğine yapılan tane boyut analizi sonucunda, uçucu külün %90'ının, 67,97 mikronun altında, %50'sinin, 19,56 mikronun altında ve %10'nunun, 2,61 mikronun altında olduğu tespit edilmiştir.

Şeker fabrikası filtre çamuru örneğine yapılan tane boyut analizi sonucunda, şeker fabrikası filtre çamurunun %90'ının 32,29 mikronun altında, %50'sinin 12,83 mikronun altında ve %10'nunun, 4,75 mikronun altında olduğu tespit edilmiştir. Endüstriyel atıklara ait tane boyut dağılım grafiği Şekil 6.16'da verilmiştir.

6.1.5.4. Organik Madde İçeriği

Tez çalışmasında kullanılan agrega ve endüstriyel atıklar, TS EN 1744-1 standardına göre organik madde içeriği tayini yapılmıştır. Tüm malzemeler, %3'lük NaOH çözeltisi içersisinde 24 saat bekletilmiş ve 24 saat sonunda çözeltinin almış olduğu (açık sarı, koyu kahve ve kırmızı) renklerin varlığına göre, organik maddenin var olup olmadığına karar verilmiştir. TS EN 1744-1'de belirtilen deney kriterlerine göre yapılan deney sonucunda hiçbir malzemedede organik madde içeriğine rastlanmamıştır.

6.1.5.5. Pozolanik Aktivite Deney Sonuçları

Endstriyel atıkların pozolanik aktivitesi TS 25 standardına göre hazırlanan harç numunleri ile araştırılmıştır. TS 25 standardına göre, bir malzemenin pozolanik malzeme sayılabilmesi için; 28 gün sonundaki pozolanik aktive indeks değeri %70'in üzerinde olmalıdır. Çalışma kapsamında kullanılan uçucu kül, bazalt tozu ve granit tozunun pozolanik aktivite deney sonuçları Çizelge 6.12'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, en yüksek pozolanik aktivite indeks değerinin, uçucu kül katkılı örneğin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, uçucu kül, granit tozu ve bazalt tozu numunelerine ait pozolanik indeks sonuçları, TS 25 standardı ile karşılaştırıldığında, her üç numuneninde pozolanik özellik gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 6.12. Uçucu kül, bazalt tozu ve granit tozu pozolanik aktivite deney sonuçları

	Beton Kodu	Açıklama		Basınç Dayanımı (MPa)	Pozolanik Aktivite İndeksi (%)
1	K	%0	Kontrol betonu	51,4	-
2	UK25	%25	Uçucu kül	41,86	81,43
3	B25	%25	Bazalt tozu	40,86	79,49
4	G25	%25	Granit tozu	39,05	75,97

6.2. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme Miktarları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılacak malzeme miktarlarının belirlenebilmesinde, kendiliğinden yerleşen betonlar için önerilen toz tipi metod kullanılmıştır. Toz tipi metodunun amacı, taze betonun akıcılığını (viskozite) filler veya pozolanik özelliğe sahip katkıları kullanarak artırmaktır. Taze betonun akıcılık özelliğini artırabilmenin bir yolu da çimento hamur hacmini artırmaktır.

Kendiliğinden yerleşen beton tasarımlarında da çimento hamur hacmini artırmak için filler veya puzolanik özellikli malzemeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada da çimento hamur hacminin artırılmasında mermer tozu, bazalt tozu, granit tozu, uçucu kül ve şeker fabrikası filtre çamuru gibi endüstriyel atıklar kullanılmıştır. Belirlenen karışım hesaplarına göre hazırlanan beton karışımları üzerinde ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Ön denemeler sonucunda, kendiliğinden yerleşebilirlik özelliğini sağlayan en uygun karışım reçetesine karar verilmiştir.

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan, malzemelerin karışım miktarları Çizelge 6.13'te verilmiştir. Çizelge 6.13'te D kodu ile adlandırılan karışımlar, deneme karışımlarıdır. Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarının adlandırılması, kullanılan atık türü ve atık oranları baz alınarak yapılmıştır. Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarında, beş farklı endüstriyel atık katkı kullanılmıştır. Bu atıklar; mermer tozu (MT), bazalt tozu (BT), granit tozu (GT), uçucu kül (UK) ve şeker fabrikası filtre çamuru (ŞK)'dur. Çizelgede, çimento (Ç), mineral katkı (K), akışkanlaştırıcı katkı (A), hava sürükleyici katkı (HS) ve su/(çimento+mineral katkı) ($s/(\ç+k)$) kodu ile gösterilmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarında endüstriyel atıklar, çimento ile üç farklı oranda (%10, %20 ve %30) yer değiştirilerek üretilmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarının tamamında 4 farklı boyutta (0/2, 2/4, 4/8 ve 8/16 mm) pomza agregası kullanılmıştır. KYHB karışımlarının hepsinde toz malzeme (çimento+mineral katkı) miktarı 550 kg/m^3 ve su/çimento+mineral katkı oranı 0,40 kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşebilirlik özelliğinin sağlanabilmesi amacıyla tüm karışımlarda süper akışkanlaştırıcı katkı ve hava sürükleyici katkı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan tüm karışımlarda; toz malzeme, su/toz malzeme oranı ve hava sürükleyici oranı sabit tutulmuştur.

Çizelge 6.13. Kendiliğinden yerleşen hafif betonların karışım miktarları

No	Kod	Ç (kg)	K (%)	Pomza (mm)				A (%)	HS (%)	S/Ç+K
				0/2	2/4	4/8	8/16			
1	D1	550	-	249	134	236	77	1,36	0,2	0,37
2	D2	550	-	235	127	234	73	1,36	0,2	0,43
3	D3	550	-	242	130	230	75	1,36	0,1	0,40
4	Kontrol	550	-	242	130	230	75	1,36	0,2	0,40
5	MT10	495	10	241	130	229	74	1,37	0,2	0,40
6	MT20	440	20	240	129	228	75	1,38	0,2	0,40
7	MT30	385	30	239	129	226	74	1,40	0,2	0,40
8	BT10	495	10	241	130	229	75	1,36	0,2	0,40
9	BT20	440	20	240	129	228	74	1,35	0,2	0,40
10	BT30	385	30	240	129	227	74	1,34	0,2	0,40
11	GT10	495	10	241	130	228	75	1,36	0,2	0,40
12	GT20	440	20	240	129	228	74	1,36	0,2	0,40
13	GT30	385	30	238	129	226	74	1,35	0,2	0,40
14	UK10	495	10	240	129	227	74	1,34	0,2	0,40
15	UK20	440	20	237	128	225	73	1,32	0,2	0,40
16	UK30	385	30	235	126	223	73	1,30	0,2	0,40
17	ŞK10	495	10	240	130	228	74	1,65	0,2	0,40
18	ŞK20	440	20	239	128	226	74	1,70	0,2	0,40
19	ŞK30	385	30	237	128	225	73	1,90	0,2	0,40

6.3. Taze Beton Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların taze haldeki özellikleri, çökme-yayılma çapı, yayılma süresi (T_{50} süresi), V hunisi, L kutusu ve U kutusu deneyleri

ile belirlenmiştir. Çizelge 6.14'te KYHB karışımlarının taze beton deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.14. KYHB karışımların taze beton özellikleri

Numune Kodu	Yayılma Çapı cm	Yayılma Süresi sn	V Hunisi sn	h_2/h_1	U kutusu cm	Taze Beton BHA kg/m^3
D1	55	8	17	0,78	8	1385
D2	75	1,2	7	0,98	4	1380
D3	62	6	15	0,82	3	1376
Kontrol	67	3	6,5	0,90	1	1381
MT10	66	3,3	7,2	0,88	2	1368
MT20	65	3,9	9,4	0,86	2	1276
MT30	62	5,7	10,8	0,85	3	1238
BT10	67	2,9	7,5	0,88	1	1392
BT20	72	1,5	5,3	0,92	0	1363
BT30	70	1,8	10,4	0,90	0	1310
GT10	67	1,8	6	0,87	1	1350
GT20	71	1,5	10,3	0,90	2	1285
GT30	65	2,8	9,4	0,86	2	1291
UK10	69	2,5	6,2	0,91	1	1340
UK20	70	2	5	0,94	0	1306
UK30	75	1,4	4	0,96	0	1225
ŞK10	64	3,5	7,2	0,89	2	1260
ŞK20	61	6,5	11	0,87	3	1200
ŞK30	60	15	18	0,85	3	1180

Kendiliğinden yerleşen taze betonlar üzerinde gerçekleştirilen deneyler neticesinde, betonların kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği taşıyıp taşımadığına

KYB'ler için EFNARC tarafından hazırlanan raporda yer alan, KYB genel kabul kriterlerini tablosuna (Çizelge 3.7) bakılarak karar verilir. Bu tabloda verilen sınır değer aralıklarında bulunan taze betonların kendiliğinden yerleşebilir özellikte olduğu kabul edilir. Bir betonun kendiliğinden yerleşebilirlik özelliği sağlayabilmesi için doldurma yeteneği, geçebilme yeteneği ve ayrışma direncine sahip olması gerekir. Çalışmada da kendiliğinden yerleşen betonun yerleşebilirlik özelliklerini sağlayabilmek amacıyla, su/çimento oranı ve hava hacmi gibi parametreler değiştirilerek, en uygun karışım oranları belirlenmiştir.

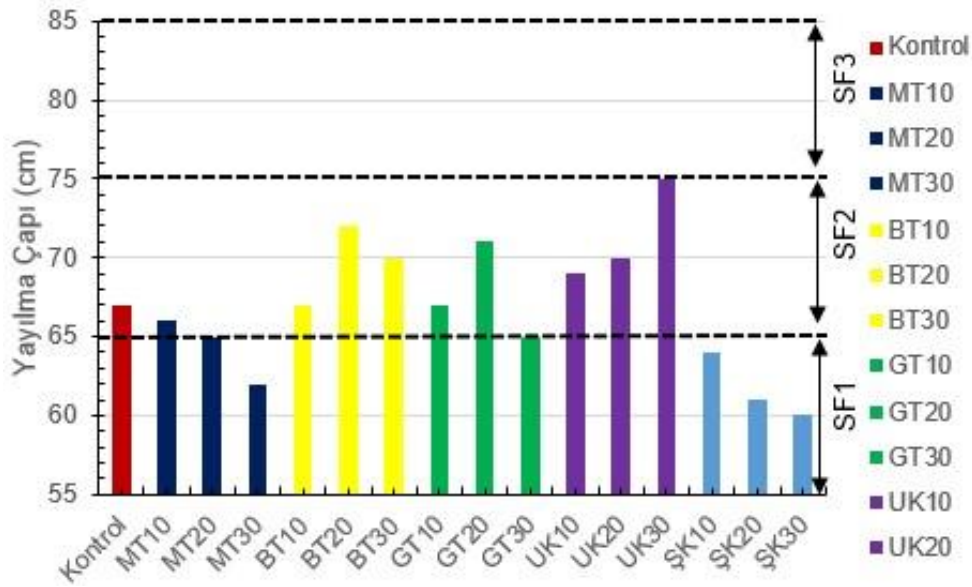
D1 betonu deneme karışımlarına ait çizelge incelendiğinde, D1 beton karışımının yayılma çapının 55 cm, yayılma süresinin 8 sn, V hunisinden akma süresinin 17 s, L kutusu oranı 0,75 ve U kutusu yükseklik farkı 8 cm olduğu tespit edilmiştir. KYB genel kabul kriterleri tablosuna göre kendiliğinden yerleşen betonların iyi bir doldurma yeteneğine sahip olması için çökme yayılma çapının 55-85 cm arasında olması gerekmektedir. Bu sınır değerler göz önünde bulundurulduğunda, kendiliğinden yerleşen betonun yayılma çapının alt sınır olan 55 cm olduğu belirlenmiştir. KYB genel kabul kriterleri tablosuna göre; betonun yayılma çapının, 55 cm'nin altında olması durumunda, betonun konulduğu kalıbı doldurmasının güçleşeceği ve yayılma çapının 85 cm'nin üzerinde olması durumunda ise betonun aşırı akışkan bir halde olmasından ötürü agrega ve harç kısmının birbirinden ayrılacağı belirtilmektedir. D1 beton karışımının taze beton özellikleri değerlendirildiğinde karışımın KYB genel kabul kriterleri sınır değerlerini sağlamadığı tespit edilmiştir.

D2 beton karışımına ait taze beton sonuçları incelendiğinde yayılma çapı, yayılma süresi, V hunisinden akış süresi ve L kutusundan geçme oranı değerlerinin KYB genel kabul kriterleri sınır değerlerini sağladığı fakat U kutusu yükseklik farkı değerinin sağlamadığı tespit edilmiştir. Ayrıca yayılma çapı deneyinde beton karışımı halkasının etrafında çok az da olsa su halkası gözlenmiştir. Bu da kendiliğinden yerleşen betonlarda istenmeyen bir durumdur.

D3 beton karışımına ait taze beton sonuçları incelendiğinde; çökme yayılma çapının 62 cm olduğu çökme yayılma süresinin 6 sn ve V hunisinden akış süresinin 15 sn olduğu ve L kutusundan geçme oranının ise 0,82 olduğu tespit edilmiştir. Tüm değerlerin KYB genel kabul kriterleri sınır değerlerini sağladığı tespit edilmiştir. D3 karışımının sınır değerleri sağlamasına rağmen V hunisinden akış süresinin uzun olması ve L kutusundan geçme oranının sınır değerlere çok yakın olmasından dolayı bu karışım nihai karışım olarak kullanılmamıştır.

6.3.1. Çökme-Yayılma Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarının doldurma yeteneği çökme-yayılma deneyi ile belirlenmiştir. Şekil 6.16'da KYHB karışımlarına ait çökme yayılma değerleri verilmiştir.



Şekil 6.16. KYHB karışımlarının çökme yayılma değerleri

KYB'ler için EFNARC tarafından 2005 yılında bir rapor yayımlanmıştır. Bu rapora göre; KYB'ler yayılma çapına göre SF1, SF2, SF3 olmak üzere üç sınıfa

ayrılmıştır. Bu sınıflamaya göre yayılma çapı, 55-65 cm arasında olanlar SF1, yayılma çapı 66-75 cm arasında olanlar SF2 ve yayılma çapı 76-85 cm arasında olanlar SF3 sınıfına girmektedir.

Şekil 6.16 incelendiğinde, KYHB'lerin çökme yayılma değerlerinin 60 ile 75 cm arasında değiştiği görülmektedir. Kontrol betonu çökme yayılma değerlerinin 67 cm olduğu tespit edilmiştir.

KYHB karışımların çökme yayılma değerleri incelendiğinde, mermer tozu katkılı KYHB karışımlarının çökme yayılma değerlerinin 62 ile 66 cm arasında değiştiği, en düşük yayılma çapı değerini (62 cm) %30 mermer tozu katkılı karışımın gösterdiği ve en yüksek yayılma çapı değerini (66 cm) ise %10 mermer tozu katkılı karışımının gösterdiği belirlenmiştir (Ek 2.1). Literatürde de mermer tozu katkısının, taze betonun çökme yayılma değerine etkisi ile ilgili birçok farklı görüş bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların bir kısmı mermer tozunun betonun işlenebilirliğini artırdığı yönündedir (Bonavetti ve ark, 2003; Şahmaran ve ark, 2006; Hallal ve ark, 2010; Uysal ve Sümer, 2011). Bir diğer görüş ise mermer tozunun betonun işlenebilirliğini azalttığı yönündedir (Gesoğlu ve ark, 2012). Çalışmamızda da mermer tozu katkısının kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliğini azalttığı tespit edilmiştir.

Bazalt tozu katkılı KYHB karışımlarının çökme yayılma değerlerinin 67 ile 72 cm arasında değiştiği, en düşük yayılma çapı değerini (67 cm) %10 bazalt tozu katkılı karışımının gösterdiği ve en yüksek yayılma çapı değerini (72 cm) ise %20 bazalt tozu katkılı karışımın gösterdiği belirlenmiştir (Ek 2.2).

Granit tozu katkılı KYHB karışımlarının çökme yayılma değerlerinin 65 ile 71 cm arasında değiştiği, en düşük yayılma çapı değeri (65 cm) %30 granit tozu katkılı karışımının gösterdiği ve en yüksek yayılma çapı değerini (71 cm) ise %20 granit tozu katkılı karışımının gösterdiği belirlenmiştir (Ek 2.3).

Uçucu kül katkılı KYHB karışımlarının çökme yayılma değerlerinin 69 ile 75 cm arasında değiştiği, en düşük yayılma çapı değerini (69 cm) %10 uçucu kül

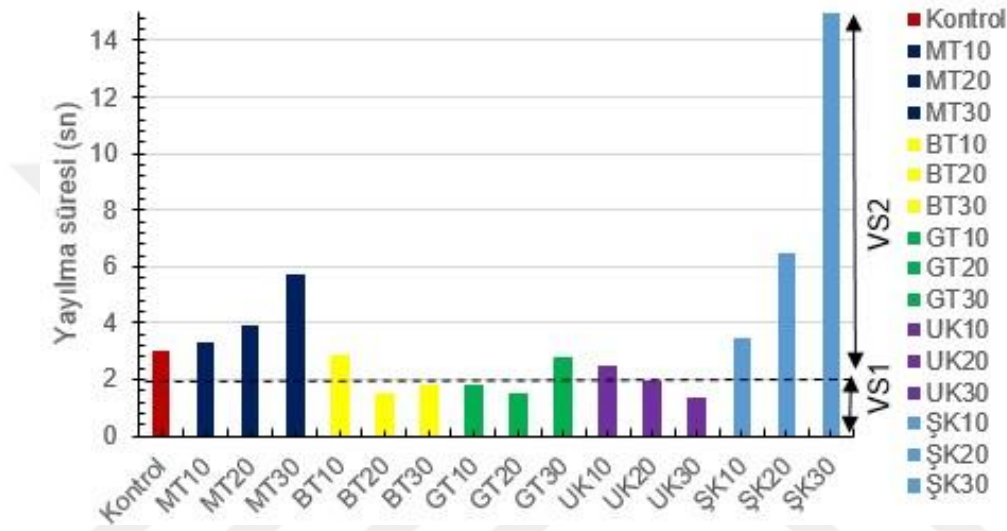
katkılı karışımının gösterdiği ve en yüksek yayılma çapı değerini (75 cm) ise %30 uçucu kül katkılı karışımının gösterdiği belirlenmiştir (Ek 2.4).

KYHB karışımlarında uçucu kül oranının artmasıyla, süper akışkanlaştırıcı katkı gereksinimi azalmıştır. Bunun nedeni uçucu kül taneciklerinin küresel bir morfolojisinin olması, düzgün bir yüzey dokusu ve düşük gözenekliliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Literatürde de uçucu küllerin küresel bir şekle sahip olmaları bu nedenle de yüzey alanlarının küçük olduğu belirtilmiştir. Bu özelliklerinden dolayı, içsel sürtünmeyi azalttığı ve betonun akışkanlığını artırdığı belirtilmiştir (Erdoğan,1997). Bir başka çalışmada ise uçucu küllerin yoğunluğunun çimentodan düşük olması nedeniyle çimento pasta hacminin artmasına sebep olduğu ve bunun da ince agrega ve çimento pastası ara yüzündeki sürtünmenin azalmasına neden olduğu şeklinde açıklanmıştır (Yahia,2005). Dadsetan ve Bai kendiliğinden yerleşen betonda %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu külü çimento ile yer değiştirmiş ve uçucu kül oranı artışıyla birlikte yayılma çapı değerinin arttığını yayılma süresinin kısaldığını belirlemiştir. Ardalan ve ark, (2017) yılında yaptıkları çalışmada F sınıfı uçucu külü çimento ile yer değiştirerek (%10, %20, %30, %40 ve %50) kendiliğinden yerleşen betonlar üretmiş ve uçucu külün beton özelliklerine etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda, uçucu kül katkı oranı artışının taze betonun akışkanlaştırıcı katkı gereksinimini azalttığı ve çökme yayılma değerini ise artırdığını belirlemişlerdir.

Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı KYHB karışımlarının çökme yayılma değerlerinin 60 ile 64 cm arasında değiştiği, en düşük yayılma çapı değerini (60 cm) %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı karışımının gösterdiği ve en yüksek yayılma çapı değerini (64 cm) ise %10 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı karışımının gösterdiği belirlenmiştir (Ek 2.5).

Kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının akıcılık (viskozite) özelliğini belirlemek amacıyla betonun yayılma süreleri (T_{50} süresi) ölçülmüştür. KYB'lerin yayılma süreleri EFNARC tarafından 2005 yılında hazırlanan raporda belirtilen KYB genel kabul kriterleri tablosu ile karşılaştırılmıştır. Bu rapora göre; KYB'ler

yayılma sürelerine göre VS1 ve VS2 olmak üzere iki grupta sınıflandırmıştır. Bu sınıflamaya göre, kendiliğinden yerleşen betonun yayılma süresi ≤ 2 s olanlar VS1 sınıfında ve yayılma süresi >2 sn olanlar ise VS2 sınıfında bulunmaktadır. Şekil 6.17’de KYHB karışımlarının yayılma süreleri (T_{50} süresi) verilmiştir.



Şekil 6.17. KYHB karışımlarının yayılma süreleri (T_{50} süresi)

Şekil 6.17 incelendiğinde, KYHB’lerin yayılma sürelerinin 1,5 ile 15 sn arasında değiştiği görülmektedir. Kontrol betonu karışımının yayılma süresinin ise 3 sn olduğu tespit edilmiştir.

Mermer tozu katkılı KYHB karışımlarının yayılma süresinin 3,3 ile 5,7 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. En hızlı yayılma süresi 3,3 sn ile %10 mermer tozu katkılı beton ölçülürken, en yavaş yayılma süresi 5,7 sn ile %30 mermer tozu katkılı beton karışımında ölçülmüştür. Mermer tozu katkılı karışımların T_{50} süreleri kontrol karışımına göre azalmıştır. Mermer tozu katkı oranının artışıyla T_{50} sürelerinde düzensizlik olduğu belirlenmiştir. Literatürde de mermer tozu katkısının, taze betonun T_{50} süresine etkisi ile ilgili birçok farklı görüş bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların bir kısmı mermer tozunun T_{50} süresini uzattığı

(Aruntaş ve ark, 2007; Uysal, 2010; Gesoğlu ve ark, 2012;) bir kısmında ise T_{50} süresini kısalttığı belirtilmektedir (Vardhan ve ark, 2015). Yapılan çalışmalarda mermer tozu tanelerinin pürüzlü bir yapıya sahip olması ve yüksek yüzey alanına sahip olması gibi nedenlerden dolayı taneler arasında sürtünmenin arttığı ve işlenilebilirliği azalttığı belirtilmiştir (Uysal, 2010).

Bazalt tozu katkılı KYHB karışımlarının yayılma süresinin 1,5 ile 2,9 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. En hızlı yayılma süresi 1,5 sn ile %20 bazalt tozu katkılı beton ölçülürken, en yavaş yayılma süresi 2,9 sn ile %10 bazalt tozu katkılı beton karışımında ölçülmüştür. Bazalt tozu katkılı karışımların T_{50} süreleri kontrol karışımı ile karşılaştırıldığında, bazalt tozu ikamesinin betonun T_{50} süresini kısalttığı tespit edilmiştir. Literatürdeki çalışmaların sonuçlarıyla uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Uysal ve Yılmaz,2011).

Granit tozu katkılı KYHB karışımlarının yayılma süresinin 1,5 ile 2 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. En hızlı yayılma süresi 1,5 sn ile %20 Granit tozu katkılı beton ölçülürken, en yavaş yayılma süresi 2,8 sn ile %30 Granit tozu katkılı beton karışımında ölçülmüştür.

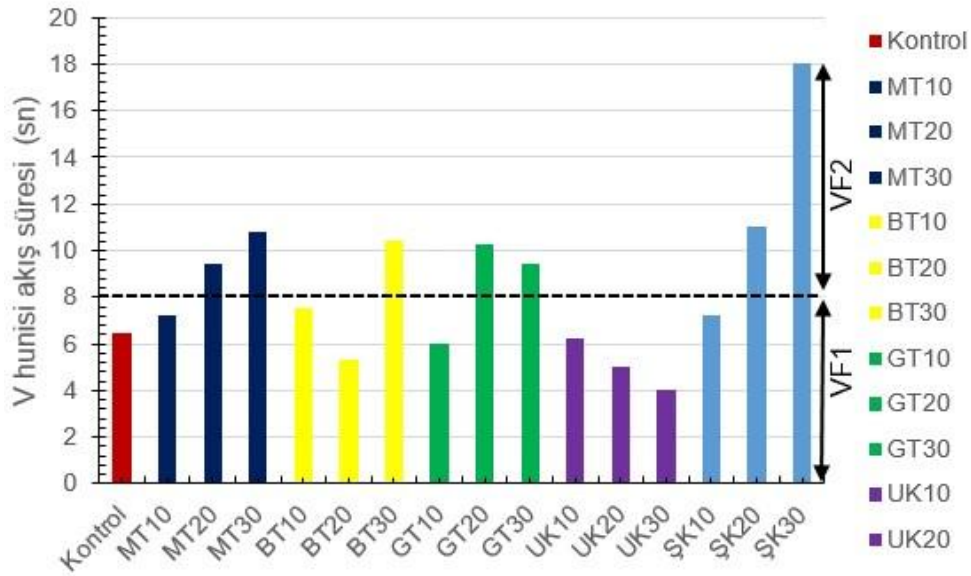
Uçucu kül katkılı KYHB karışımlarının yayılma süresinin 1,4 ile 2,5 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. En hızlı yayılma süresi 1,4 sn ile %30 uçucu kül katkılı beton ölçülürken, en yavaş yayılma süresi 2,5 sn ile %10 uçucu kül katkılı beton karışımında ölçülmüştür. Uçucu kül katkılı karışımların T_{50} süreleri kontrol karışımı ile karşılaştırıldığında, uçucu kül ikamesinin betonun T_{50} süresini kısalttığı tespit edilmiştir.

Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı KYHB karışımlarının yayılma süresinin 3,5 ile 15 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. En hızlı yayılma süresi 3,5 sn ile %10 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton ölçülürken, en yavaş yayılma süresi 15 sn ile %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton karışımında ölçülmüştür. Şeker fabrikası filtre çamuru karışımların T_{50} süreleri kontrol karışımı ile karşılaştırıldığında, şeker fabrikası filtre çamuru ikamesinin betonun T_{50} süresini uzattığı tespit edilmiştir. Literatürde bu çalışmanın sonuçlarına benzer çalışmalar

bulunmaktadır. Şeker fabrikası filtre çamuru katkısının artmasının betonun çökme yayılma değerini azaltmasının nedeni olarak şeker fabrikası filtre çamurunun çimentodan daha yüksek emiciliğe sahip olması ve karışımdaki su/bağlayıcı oranının yetersiz kalması olması olarak açıklamışlardır (Nambiar ve Ramamurthy, 2013; İam ve Makul, 2017).

6.3.2. V Hunisi Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) karışımlarının viskozite özellikleri V hunisi deneyi ile belirlenmiştir. Şekil 6.18’de KYHB karışımlarının V hunisinden akış süreleri verilmiştir.



Şekil 6.18. KYHB karışımlarının V hunisi akış süreleri

EFNARC tarafından 2005 yılında hazırlanan rapora göre, KYB’ler viskozite yeteneklerine göre, VF1 ve VF2 olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflamaya göre, kendiliğinden yerleşen betonun V hunisinden akış süresi ≤ 8 s olanlar VF1

sınıfında ve KYB'nin V hunisinden akış süresi 9-25 sn olanlar ise VF2 sınıfında bulunmaktadır.

KYHB'lerin V hunisi akış süreleri incelendiğinde; V hunisi akış süreselerinin 4 ile 18 sn arasında değiştiği görülmektedir. En hızlı akış süresi 4 sn ile %30 uçucu kül katkılı karışımda ölçülürken, en yavaş akış süresi 18 sn ile %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı karışımda ölçülmüştür. Şekil 6.18 incelendiğinde, kontrol beton karışımının V hunisinden akış süresinin 6,5 sn olduğu tespit edilmiştir.

Mermer tozu katkılı KYHB karışımlarının V hunisi akış sürelerinin 7,2-10,8 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. Mermer tozu katkı oranı artışının betonun V hunisi akış süresini uzattığı tespit edilmiştir. Literatürde de bu görüşü destekleyen çalışmalar mevcuttur (Gesoğlu ve ark, 2012).

Bazalt tozu katkılı KYHB karışımlarının V hunisi akış sürelerinin 5,3-10,4 sn arasında değiştiği belirlenmiştir.

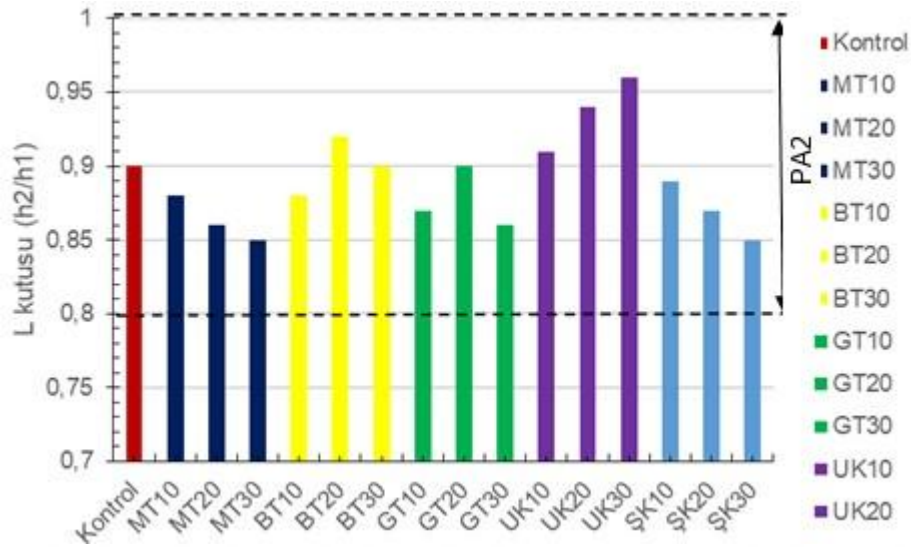
Granit tozu katkılı KYHB karışımlarının V hunisi akış sürelerinin 6-10,3 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. Sonuçların literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür (Nepomuceno ve ark, 2012). Granit tozu katkısının kendiliğinden yerleşen beton özellikleri üzerindeki etkisinin incelendiği bir çalışmada, granit tozunun kendiliğinden yerleşen betonun işlenilebilirliğini artırdığı ve süper akışkanlaştırıcı gereksinimini azalttığı belirlenmiştir (Li ve ark, 2016).

Uçucu kül katkılı KYHB karışımlarının V hunisi akış sürelerinin 4-6,2 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. Literatürden de bilindiği üzere, uçucu kül ve betonun işlenilebilirlik özelliklerini geliştirir ve akışkanlaştırıcı katkı gereksinimi azaltır. Uçucu külün küresel bir yapısı olması sayesinde kendiliğinden yerleşen betonun işlenilebilirliğini, doldurma yeteneğini geliştirir (Miura ve ark, 1993).

Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı KYHB karışımlarının V hunisi akış sürelerinin 7,2-18 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. Şeker fabrikası filtre çamuru katkı oranının artışıyla beraber V hunisi akış süresinin uzadığı tespit edilmiştir. Literatürde bu görüşü destekleyen çalışmalar mevcuttur (Iam ve Makul, 2017).

6.3.3. L Kutusu Deney Sonuçları

KYHB karışımlarının, doldurma ve geçiş yeteneği, L kutusu deneyi ile belirlenmiştir. KYHB karışımlarına ait L kutusundan geçiş süreleri Şekil 6.19'da verilmiştir.



Şekil 6.19. KYHB karışımlarının L kutusu geçiş oranı

EFNARC 2005'te KYB'ler geçebilme yeteneklerine göre ise PA1 ve PA2 olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflamaya göre, kendiliğinden yerleşen betonun iki çubuklu L kutusunda ölçülen geçiş yeterlilik oranı 0,80'e eşit veya büyük ise PA1, üç çubuklu L kutusunda ölçülen geçiş yeterlilik oranı değeri 0,80'e eşit veya büyük ise PA2 olarak sınıflandırılmaktadır. KYB karışımının, L kutusundan geçiş oranının 0,80'nin altında olması durumunda bloklanma gözlenmektedir. Bu nedenle KYB karışımlarının L kutusundan geçiş oranlarının 0,80'nin üzerinde olması istenmektedir. Çalışmada, üç çubuklu L kutusu kullanılmış olup, Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarının L kutusundan geçiş süreleri incelendiğinde, h_2/h_1 oranlarının 0,85 ile 0,96 arasında değiştiği tespit edilmiştir. KYHB karışımlarının L kutusundan geçiş oranları kıyaslandığında, en

yüksek geçiş oranına sahip karışımın 0,96 ile % 30 uçucu kül katkılı olduğu ve en düşük geçiş oranına sahip karışımın ise 0,85 ile %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı karışım olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6.20 incelendiğinde, kontrol beton karışımının L kutusundan geçiş oranının 0,90 olduğu tespit edilmiştir.

Mermer tozu katkılı KYHB karışımlarının L kutusundan geçiş oranlarının 7,2-10,8 sn arasında değiştiği belirlenmiştir. Mermer tozunun, kendiliğinden yerleşen betonun geçebilme yeteneği üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmalardan birinde, mermer tozu katkı oranı artışının L kutusundan geçebilme yeteneğini artırdığını belirtmişlerdir (Uysal ve Yılmaz,2011). Bir başka çalışmada ise, mermer tozu katkı oranı artışıyla birlikte, betonun L kutusundan geçebilme yeteneğinin azaldığı tespit edilmiştir (Gesoğlu ve ark, 2012).

Bazalt tozu oranının artışının betonun geçebilme yeteneğini azaltmadığını tespit etmişlerdir (Uysal ve Yılmaz, 2011).

Uçucu kül oranının artışının kendiliğinden yerleşen taze beton özelliklerinin belirlendiği bir çalışmada, %0, %10, %20 ve %30 oranlarında çimento ile yerdeğiştirilen uçucu külün L kutusundan geçme oranlarının sırasıyla (0,94;0,95;0,95 ve 0,98) olduğunu tespit etmişlerdir (Dadestan ve Bai, 2017).

Şeker fabrikası filtre çamuru katkı oranının artışıyla beraber kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının geçebilme yeteneklerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Literatürde, betonun ile geçebilme yeteneğinin ölçüldüğü (J ring yöntemi kullanılarak) bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Iam ve Makul, 2017).

KYHB karışımlarının L kutusundan geçiş oranlarının 0,80'in üzerinde olduğundan dolayı, hiç bir beton karışımında bloklanma gözlenmemiştir.

6.3.4. U Kutusu Deney Sonuçları

KYHB karışımlarının, doldurma ve geçiş yeteneği, U kutusu deneyi ile belirlenmiştir. KYB genel kabul kriterlerine göre, U kutusu deneyi sonucunda, U kutusunun kolları arasındaki yükseklik farkının maksimum 3 cm olması

gerekmektedir. Bu değerin altındaki değerler, betonun donatılar arasından geçiş yeteneğinin yüksek olduğunu gösterir. Bu değerin üzerindeki değerler, betonun donatılar arasından geçiş yeteneğinin düşük olduğunu gösterir. Yapılan çalışmada tüm karışımlar, EFNARC tarafından hazırlanan raporda yer alan KYB kabul kriterleri sınır değerlerini sağlamıştır.

Çalışma kapsamında hazırlanan KYHB karışımlarının tamamının EFNARC 2005'te verilen KYB genel kabul kriterlerinde belirtilen sınır değerleri sağladığı tespit edilmiştir. Çizelge 6.15'te KYHB karışımlarının KYB genel kabul kriterlerine göre sınıflama çizelgesi verilmiştir.

Çizelge 6.15. KYHB karışımlarının KYB genel kabul kriterlerine göre sınıflandırılması

Beton Kodu	Yayılma sınıfı	Viskozite Sınıfı	Viskozite Sınıfı	Geçme Sınıfı
Kontrol	SF2	VS2	VF1	PA2
MT10	SF2	VS2	VF1	PA2
MT20	SF1	VS2	VF2	PA2
MT30	SF1	VS2	VF2	PA2
BT10	SF2	VS2	VF1	PA2
BT20	SF2	VS1	VF1	PA2
BT30	SF2	VS1	VF2	PA2
GT10	SF2	VS1	VF1	PA2
GT20	SF2	VS1	VF2	PA2
GT30	SF1	VS2	VF2	PA2
UK10	SF2	VS2	VF1	PA2
UK20	SF2	VS1	VF1	PA2
UK30	SF2	VS1	VF1	PA2
ŞK10	SF1	VS2	VF1	PA2
ŞK20	SF1	VS2	VF2	PA2
ŞK30	SF1	VS2	VF2	PA2

6.3.5. Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarının, taze betonların birim hacim ağırlıkları, TS EN 12530-6 standardına göre belirlenmiştir (TS EN 12530-6, 2010). Çalışma kapsamında üretilen KYHB karışımlarının taze haldeki birim hacim ağırlıklarının 1136 ile 1392 kg/m³ arasında değiştiği tespit edilmiştir.

6.4. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen sertleşmiş hafif betonlar üzerinde fiziksel, mekanik ve mikro yapısal özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir.

6.4.1. Fiziksel Deneyler

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların, fiziksel özellikleri; kuru birim hacim ağırlık, su emme, kapiler su emme, ultra ses geçiş hızı deneyleri ile belirlenmiştir.

6.4.1.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin, kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları Çizelge 6.16'da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, kendiliğinden yerleşen hafif betonların, kuru birim ağırlık değerlerinin 906 kg/m³ ile 1205 kg/m³ arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca, en yüksek kuru birim hacim ağırlık değerine sahip numunenin kontrol numunesi olduğu ve en düşük kuru birim hacim ağırlık değerine sahip numunenin ise %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkısı içeren beton numunesi olduğu tespit edilmiştir.

Kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları, TS EN 206-1 standardı kapsamında değerlendirildiğinde, kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin tamamının etüv kurusu durumundaki yoğunlukları gözönüne alındığında orta dayanımlı hafif beton sınıfında olduğu tespit edilmiştir (TS EN 206-1, 2010).

Çizelge 6.16. Kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları

	Beton Kodu	Kuru Birim Ağırlık (kg/m ³)
1	Kontrol	1205
2	MT10	1136
3	MT20	1033
4	MT30	975
5	BT10	1177
6	BT20	1142
7	BT30	1065
8	GT10	1150
9	GT20	1084
10	GT30	1053
11	UK10	1137
12	UK20	1073
13	UK30	961
14	ŞK10	1068
15	ŞK20	990
16	ŞK30	906

6.4.1.2. Su Emme Oranı Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen beton numunelerine ait su emme deney sonuçları Çizelge 6.17’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, en düşük su emme değerine sahip karışımın %14,6 ile kontrol betonu numunesi olduğu ve en yüksek su emme değerine sahip numunenin ise %23,2 ile %30 şeker fabrikası filtre çamuru içeren numune olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, KYHB numunelerinin su emme değerleri katkı oranının artışıyla birlikte artmıştır. KYHB numunelerinin su emme değerlerindeki artışa, genel olarak beton gözenekliliğinin artması ve çimento pasta matrisinin hacminin artmasının neden olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmanın

sonucunu destekleyen benzer çalışmalar literatürde de bulunmaktadır (Chindaprasirt ve Rattanasak, 2011; Jitchaiyaphum ve ark, 2013).

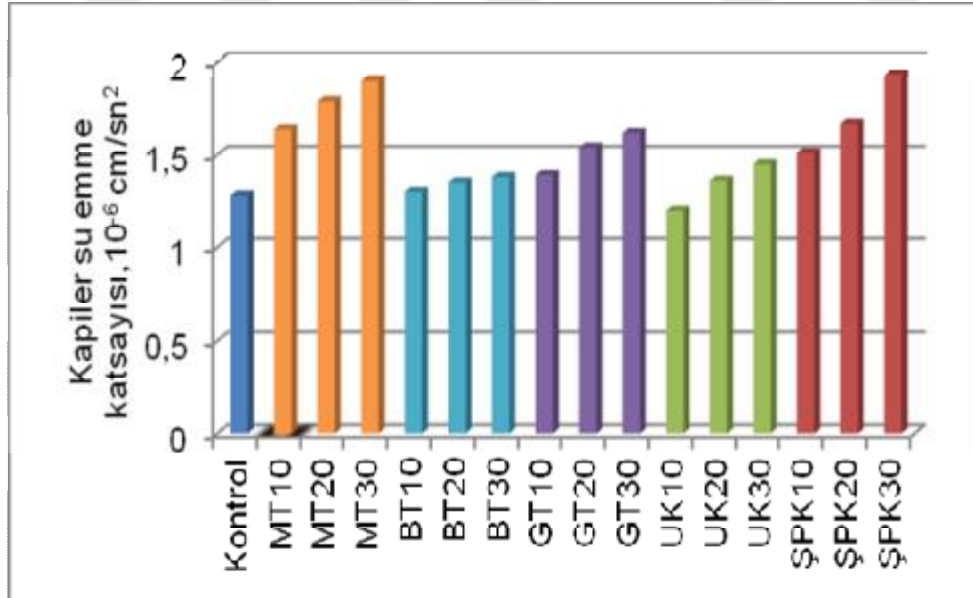
6.4.1.3. Kapiler Su Emme Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerine ait kapiler su emme katsayı değerleri ve su emme oranları Çizelge 6.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.17. KYHB numunelerine ait kapiler su emme katsayıları ve su emme oranları

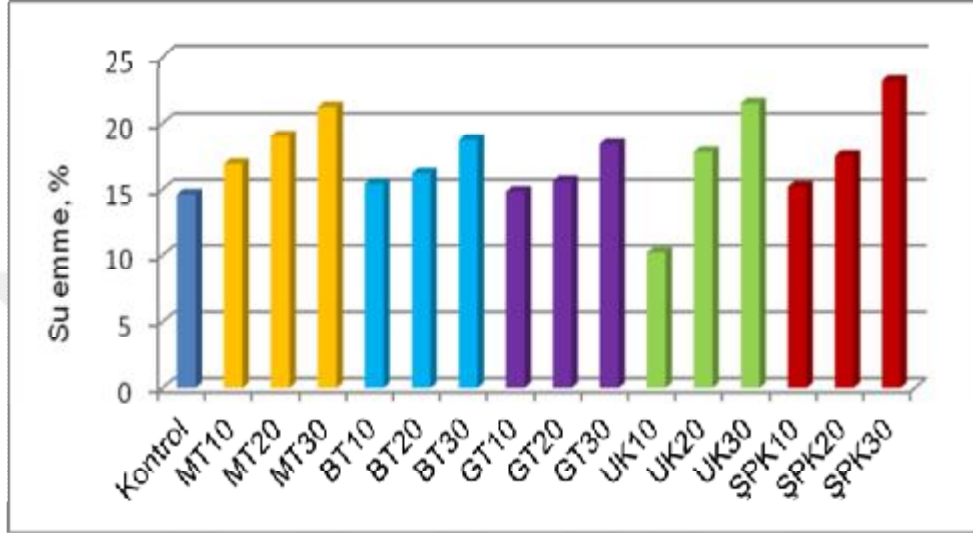
	Beton Kodu	Kapiler su emme katsayıları (cm ² /sn)	Su Emme Oranı (%)
1	Kontrol	1,28x10 ⁻⁶	14,6
2	MT10	1,64x10 ⁻⁶	16,9
3	MT20	1,79x10 ⁻⁶	19
4	MT30	1,90x10 ⁻⁶	21,2
5	BT10	1,30x10 ⁻⁶	15,4
6	BT20	1,35x10 ⁻⁶	16,2
7	BT30	1,38x10 ⁻⁶	18,7
8	GT10	1,39x10 ⁻⁶	14,8
9	GT20	1,54x10 ⁻⁶	15,6
10	GT30	1,62x10 ⁻⁶	18,4
11	UK10	1,20x10 ⁻⁶	10,2
12	UK20	1,36x10 ⁻⁶	17,8
13	UK30	1,45x10 ⁻⁶	21,5
14	ŞK10	1,51x10 ⁻⁶	15,2
15	ŞK20	1,67x10 ⁻⁶	17,5
16	ŞK30	1,93x10 ⁻⁶	23,2

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların kapiler su emme katsayısı, emilen su miktarının (Q), taban yüzeyinin alanına oranı (A), ile karekök zaman ($\sqrt{t}$) değeri, arasında gerçekleştirilen regresyon analizi ile belirlenen, regresyon grafiğinin eğiminden hesaplanmıştır. Kapiler su emme katsayıları, kontrol betonu ve mineral katkılı betonlar için cm^2/sn cinsinden belirlenmiştir. Çizelge 6.17 incelendiğinde, en düşük kapilarite katsayısı değeri $1,10 \times 10^{-6}$ (cm^2/sn) ile %10 uçucu kül içeren numunenin, en yüksek değer $1,96 \times 10^{-6}$ (cm^2/sn) ile %30 mermer tozu katkılı numunede görülmüştür. Literatürde de mermer tozu katkısının kapiler su emme katsayısını artırdığı ile ilgili çalışmalar mevcuttur (Yazıcıoğlu ve Kara, 2017). Literatürde de uçucu kül katkısının kapiler su emme katsayısını artırdığı ile ilgili çalışmalar mevcuttur (Karahan, 2006). Kapiler su emme katsayı değerlerinin 10^{-6} olduğu göz önünde bulundurulursa bu artış miktarının çok da belirleyici bir etkisinin olmadığı görülmektedir. KYHB numunelerinin kapiler su emme katsayılarını gösteren grafik Şekil 6.20’de verilmiştir.



Şekil 6.20. KYHB numunelerinin kapiler su emme katsayıları

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin su emme oranlarını gösteren grafik Şekil 6.21’de verilmiştir.



Şekil 6.21. KYHB numunelerinin su emme oranları

6.4.1.4. Ultra Ses Geçiş Hızı Deney Sonuçları

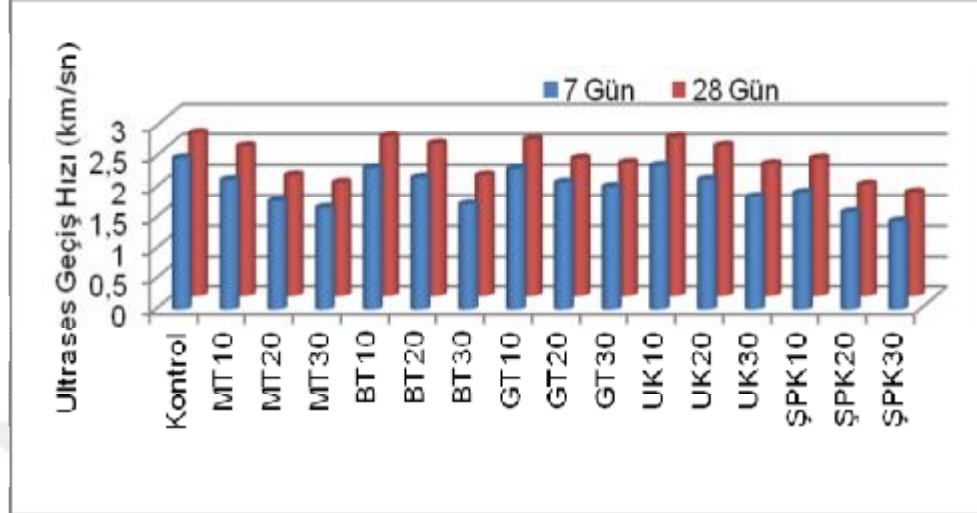
Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin, ultra ses geçiş hızı deneyleri 7 ve 28 ci günlerde ve 15x15x15 cm ebadındaki standart boyutlu küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş olup, deneyler TS EN 13504 (2010)’a uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerine ait ultra ses geçiş hızı değerleri Çizelge 6.18’de verilmiştir.

KYHB numuneleri karşılaştırıldığında, en yüksek ultra ses geçiş hızı değerine sahip betonunun ultra ses geçiş hızı değerinin 3,32 km/sn ile kontrol betonuna ait olduğu ve en düşük değer ise 2,52 km/sn ile %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunesine ait olduğu tespit edilmiştir. KYHB numunelerinin tamamının, 28 günlük ultra ses geçiş hızı değerleri kontrol betonu numunesi ultra ses geçiş hızı değerinden düşük çıkmıştır. Bunun nedeni betonda katkı oranlarının artışının betonun yoğunluğunu azaltması ve gözenekliliğini

artırması olarak açıklanabilir. KYHB'ların ultrases özellikleri üzerinde mineral katkısının ve mineral yoğunluğunun da etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 6.18. Ultra ses geçiş hızı deney sonuçları

	Beton Kodu	Ultra Ses Geçiş Hızları (km/sn) 7 Gün	Ultra Ses Geçiş Hızları (km/sn) 28 Gün
1	Kontrol	3,02	3,32
2	MT10	2,71	2,9
3	MT20	2,67	2,71
4	MT30	2,6	2,68
5	BT10	2,73	3,02
6	BT20	2,6	2,85
7	BT30	2,68	2,79
8	GT10	2,92	2,97
9	GT20	2,72	2,92
10	GT30	2,65	2,81
11	UK10	2,98	3,26
12	UK20	2,64	3,02
13	UK30	2,49	2,71
14	ŞK10	2,75	2,91
15	ŞK20	2,63	2,74
16	ŞK30	2,46	2,52



Şekil 6.22. KYHB numunelerinin ultra ses geçiş hızı deney sonuçları

6.4.2. Mekanik Deneyler

6.4.2.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların basınç dayanımı deneyleri; 7 ve 28 ci günlerde ve 15x15x15 cm ebadındaki standart boyutlu küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton (KYHB) numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 6.19’da verilmiştir.

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin (KYHB), basınç dayanımı deneyi, TS EN 12390–3 (2010)’a uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin; 7 ve 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında, en yüksek basınç dayanım değerinin 14,74 ile %10 uçucu kül katkılı beton karışımının olduğu ve en düşük değere sahip karışımın ise 9,38 MPa ile %30 şeker fabrikası filtre çamuru içeren karışımının olduğu görülmüştür.

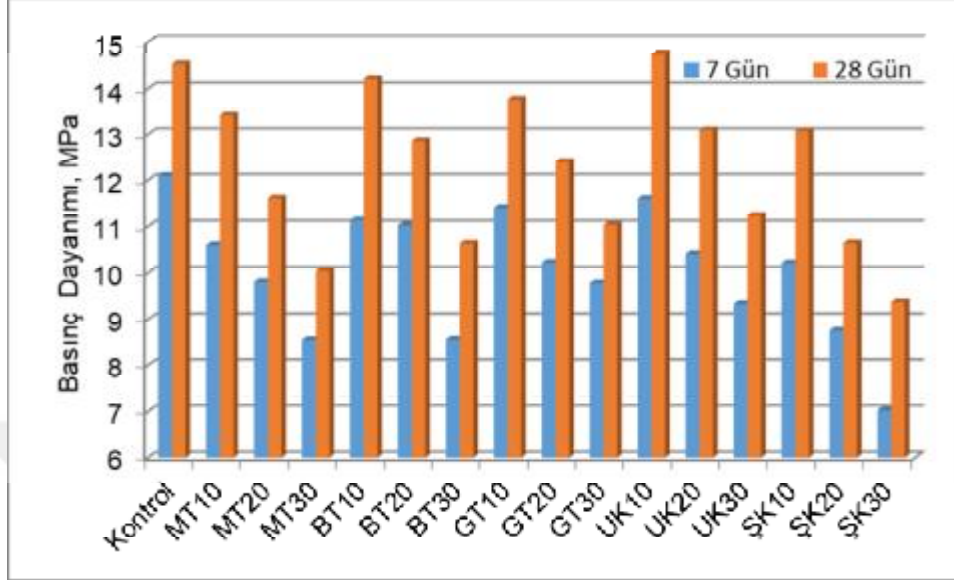
Genel olarak, kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde iki farklı tür mineral katkı kullanılmaktadır. Bunlardan birisi inert mineral katkısı diğeri ise puzolanik mineral katkısıdır. Çalışma kapsamında kullanılan uçucu kül, bazalt ve granit tozunun puzolanik özellik gösterdiği, mermer tozu ve şeker fabrikası filtre

çamurunun ise inert mineral katkısı olduğu yapılan testler sonucunda tespit edilmiştir.

Çizelge 6.19. KYHB numuneleri basınç dayanımı deney sonuçları

	Beton Kodu	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanım Farkları (%)
1	Kontrol	12,1	14,53	-
2	MT10	10,61	13,42	-7,6
3	MT20	9,81	11,62	-20
4	MT30	8,55	10,05	-30,8
5	BT10	11,14	14,21	-2,2
6	BT20	11,03	12,86	-11,5
7	BT30	8,56	10,64	-26,7
8	GT10	11,41	13,77	-5,2
9	GT20	10,23	12,40	-14,7
10	GT30	9,78	11,04	-24
11	UK10	11,61	14,74	1,4
12	UK20	10,42	13,10	-4,8
13	UK30	9,34	11,24	-16,7
14	ŞK10	10,22	13,08	-9,9
15	ŞK20	8,76	10,65	-26,7
16	ŞK30	7,03	9,38	-35,4

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını gösteren grafik ise Şekil 6.23'te verilmiştir.



Şekil 6.23. 7 ve 28 günlük KYHB numunelerinin basınç dayanım grafiği

Çimento yerine %10, %20 ve %30 oranında mermer tozu kullanılan karışımların 28 günlük basınç dayanımları kontrol betonu ile kıyaslandığında, sırasıyla %7,60, %20,0 ve %30,8 oranlarında bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Literatürde mermer tozu katkısının betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi hakkında birçok çalışma bulunmaktadır. Rodrigues ve ark (2015), yılında yaptıkları çalışmada çimento ile ağırlıkça mermer tozunu yaklaşık %5 oranında yer değiştirmenin basınç dayanımını etkilemediği, %10 ve %20 mermer tozu ikamesinin ise basınç dayanımını sırasıyla %8 ve %29,2 oranlarında azalttığını belirtmişlerdir. Corinaldesi ve ark (2010) kendiliğinden yerleşen beton karışımında mermer tozunun etkisini araştırdığı çalışmasında %10 oranında çimento ile mermer tozunun yer değiştirmenin basınç dayanımı azalttığını belirtmiştir. Gesoğlu ve ark (2012), yılında yaptıkları çalışmada %5, %10 ve %20 oranlarında mermer tozunu çimento ile yer değiştirmiş ve betonun basınç dayanımının azaldığını tespit etmişlerdir. Yine yapılan bir çalışmada %15 oranında mermer tozunun çimento ile

yer değiştirilmesinin betonun basınç dayanımını yaklaşık %15 azalttığını belirten çalışmalarda bulunmaktadır (Vaidevi, 2013; Arshad ve ark, 2014).

Mermer tozlarının betonun basınç dayanımını olumsuz etkilemesinin nedeni olarak, mermer tozlarının yüzeyi ile çimento arasındaki yapışma mukavemetindeki düşüşten kaynaklandığını belirtmişlerdir (Rai ve ark, 2011). Literatürde, mermer tozunun basınç dayanımını artırdığı yönünde de çalışmalar bulunmaktadır. Ergün (2011), yılında yapmış olduğu çalışmada mermer tozu katkısının beton mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Mermer tozlarını çimento ile %5, %7,5 ve %10 oranlarında yer değiştirmiştir. Sonuçta mermer tozunun %10 oranında yer değiştirmenin beton basınç dayanımını %12,1 azalttığını belirtmiştir.

Literatürde mermer tozunun basınç dayanımını artırdığı yönünde çalışmalarda mevcuttur. Yapılan bu çalışmaların birçoğunda çimento oranı sabit tutulup mermer tozu ince agrega ile yer değiştirilmiştir (Hebhoub ve ark, 2011; Aruntaş ve ark,2010). Shirule ve ark, (2012) yaptıkları çalışmada, mermer tozunun çimento ile %10 oranında değiştirmenin betonun basınç dayanımını %17 artırdığını belirtmiştir. Mermer tozlarının beton basınç dayanımı olumlu yönde etkilediğini savunan araştırmacılar, mermer tozlarının inert özelliğe sahip malzemeler olduğunu ve çimentonun yapısında bulunan trikalsiyum alüminat (C_3A) ile mermer tozlarının reaksiyona girerek kalsiyum karbo alüminatları oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bunun sonucu olarak da çimento hidratasyonunun hızlandığını ve basınç dayanımını artırdığını bildirmişlerdir (Jambor,1980; Vuk ve ark, 2000; Bonavetti ve ark, 2001). Yine yapılan çalışmaların birinde mermer tozlarının basınç dayanımını artırmasının nedeni olarak mermer tozunun içindeki aktif silisin $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girerek ikincil kalsiyum silika hidratları oluşturduğunu belirtmişlerdir (Omar ve ark, 2012).

Çimento yerine %10, %20 ve %30 oranında bazalt tozu kullanılan karışımların 28 günlük basınç dayanımları kontrol betonu ile kıyaslandığında, sırasıyla %2,2, %11,5 ve %26,7 oranlarında bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda da benzer sonuçlarla karşılaşmıştır (Laibao ve ark, 2013). Saraya (2014), bazaltın beton basınç dayanımını erken yaşlarda (3, 7 ve 28 gün) olumsuz etkilediğini fakat ilerleyen yaşlarda (180 gün) olumlu etkilediğini ve betonda katkı olarak kullanılabileceğini belirtmiştir. Bunun nedeni olarak ise hidratasyonun başlarında bazaltın, çimentodan daha az reaktif olması olarak açıklamıştır. 180. günden sonra bazalt katkılı betonun basınç dayanımı kontrol betonu değerine ulaşmıştır. Bu bazalt tozlarının çimento tanelerinin boşluklarını doldurması ve geçirimsiz bir yapı oluşması ile açıklamıştır. İtim ve ark (2011), betonda seyreltme etkisi nedeniyle mineral katkıların genellikle betonun erken yaş dayanımlarının düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bazalt katkılı harçların erken yaş dayanımının düşük olmasının nedeninin puzolanik reaksiyonların yavaş olmasından kaynaklandığını belirtmiştir (Ghirici, 2006).

Çimento yerine %10, %20 ve %30 oranında granit tozu kullanılan karışımların 28 günlük basınç dayanımları kontrol betonu ile kıyaslandığında, sırasıyla %5,2 %14,7 ve %24,0 oranlarında bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde çimento yerine %10 oranına kadar granit tozu katılmasının betonun basınç dayanımını çok fazla olumsuz etkilemediği tespit edilmiştir. Beton dayanımında çok fazla bir azalma olmayışının nedeni, granit tozlarının çimento hamuru agrega ara yüzeyinin yoğunluğunu artırması ve boşlukları doldurucu etki yapması şeklinde açıklanabilir. Bu oranın üzerinde granit tozu kullanımında ise dayanıma olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Granit tozunun %10 oranının üzerinde kullanılması durumunda, ise bağlayıcı matriks içeriğinin negatif etkilenmesinden kaynaklanabilir. Granit tozunun makul oranlarda kullanılması, hem toplam bağlayıcı maliyetini azaltır hem de atık tekrar kullanılabilirdiği için sürdürülebilirliğe katkı sağlar (Marmol ve ark, 2010; Elmoaty, 2013; Vaitkevicius ve ark, 2013; Soman ve Abubeker, 2014 Gao ve ark, 2017). Literatürde yapılan çalışmalarda granit tozunun ince agrega ile yer değiştirilmesinin basınç dayanımını olumlu yönde etkilediği bildirilmiştir (Zhao ve ark, 2014; Sing ve ark, 2016). Ghannama ve ark 2016 yılında yaptıkları çalışmalarında, granit tozunu

(%5, %10, %15 ve %20) oranlarında ince agrega ile yer değiştirmişlerdir. Sonuçta granit tozunun %10 oranında kullanımının betonun basınç dayanımını %36 oranında ve %20 oranında kullanımının ise beton basınç dayanımını %8 oranında artırdığını belirtmişlerdir. Betonun basınç dayanımını artırmasının nedeni olarak puzolanik özelliğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Çimento yerine %10 oranında uçucu kül kullanılan karışımın 28 günlük basınç dayanımları kontrol betonu ile kıyaslandığında, %1,4 oranında bir artmanın olduğu tespit edilmiştir. Çimento yerine %20 ve %30 oranında uçucu kül konulan karışımların 28 günlük basınç dayanımlarında ise sırasıyla %4,80 ve %16,70 oranlarında bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir.

Uçucu kül katkılı betonlarla ilgili yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda da uçucu külün erken dönemde beton basınç dayanımının kontrol beton dayanımından az olduğu belirtilmiştir. Beton kür süresi uzadıkça uçucu küllü betonların dayanımının, kontrol betonu dayanımını geçtiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, %10 uçucu kül katkılı numunelerin 28 günlük basınç dayanımının kontrol betonu basınç dayanımı geçtiği gözlenmiştir. Bilindiği üzere uçucu külün maliyeti çimentoya göre oldukça düşüktür ve hidrasyona olumlu etkisi söz konusudur. Bu nedenle kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarında çimento yerine %10 oranında uçucu kül kullanılabilir.

Uçucu külün çimento hidrasyonundaki rolünü ve puzolanik reaksiyon mekanizmasını araştırmak amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Araştırmacıların büyük çoğunluğu uçucu külün erken hidrasyon döneminde su ile reaksiyon vermediğini ancak filler etkisi göstererek çimento hidrasyonunu hızlandırabileceğini belirtmişlerdir (Rahhal ve Talero, 2005; Weerdte ve ark, 2011; Moon ve ark, 2016). Ancak, uçucu kül içindeki silikat ile çimentonun hidrasyonun betonun karışımından yaklaşık 7 gün sonra CSH ve diğer çimento bileşiklerini oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bu duruma da puzolanik reaksiyon neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca puzolanik reaksiyonun, betonun gözenek boyutunu azalttığını ve geçirgenliğini artırdığını belirtmişlerdir (Hou ve ark, 2013;

Wang ve ark, 2013). Ardalan ve ark (2017) yılında yaptıkları çalışmada F sınıfı uçucu kül kullanarak katkılı betonlar üretmişlerdir. Beton karışımlarında %20 oranına kadar uçucu kül kullanmanın basınç dayanımını az oranda etkilediğini belirtmişlerdir. Bu oranın üzerinde uçucu kül kullanımı durumunda ise basınç dayanımının olumsuz yönde etkilediğini tespit etmişlerdir.

Çimento yerine %10, %20 ve %30 oranında şeker fabrikası filtre çamuru kullanılan karışımların basınç dayanımlarının kontrol betonu ile kıyaslandığında sırasıyla %,9,90 %26,7 ve %35,4 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde bu çalışmanın sonuçlarını desteklediği görülmüştür. Yapılan bir çalışmada, 850 °C’de yakılmış şeker kamışı filtre çamuru çimento ile %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yer değiştirerek beton üretilmiştir. Üretilen betonlarda filtre çamurunun artışının beton basınç dayanımı düşürdüğü belirtilmiştir. Basınç dayanımının düşmesinin nedeni olarak ise, çamur katkısının betonun boşluk oranını artırması olarak açıklamışlardır (İam ve Makul, 2017). Köpük betonda katkı olarak şeker fabrikası filtre çamurunun kullanıldığı bir başka çalışmada ise, basınç dayanım azalmasının nedenini çimento pastası içerisindeki Ca/Si oranının azalması ve dolayısıyla da çimento hidratasyonu için gerekli olan kalsiyum hidroksit oranının azalmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (Jones ve McCarthy, 2005)

6.4.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif betonların yarmada çekme dayanımı deneyleri, TS EN 12390-6 (2010)’a uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yarmada çekme dayanımı deneyleri için 15x15x15 cm boyutlarında küp numunler kullanılmıştır. KYHB numunelerine ait yarmada çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 6.20’de verilmiştir.

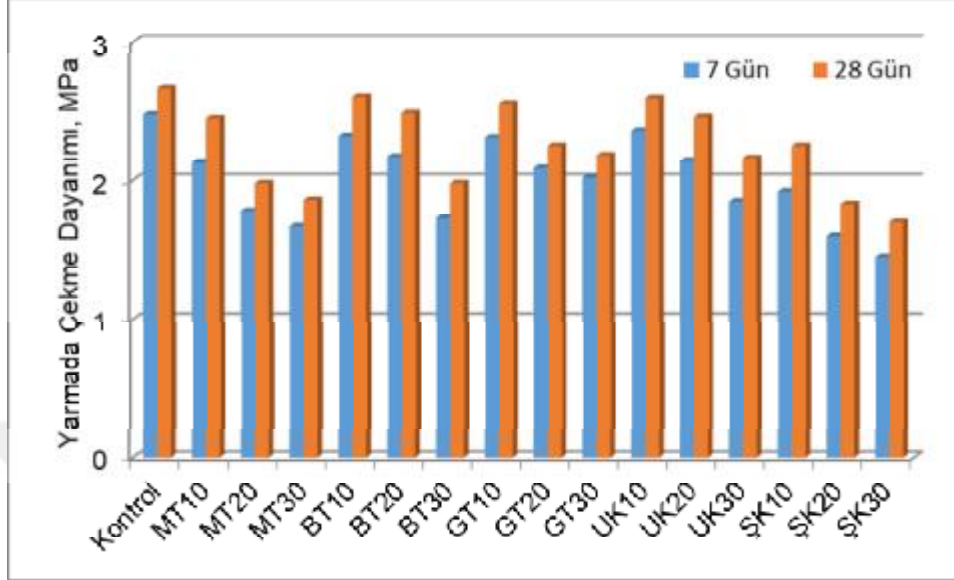
Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin; 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımları karşılaştırıldığında, en yüksek yarmada çekme dayanımına sahip beton numunesinin, 2,67 ile kontrol betonu olduğu ve en düşük yarmada

çekme dayanımına sahip betonun ise, 1,70MPa ile %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı betona ait olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 6.20. KYHB numuneleri yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

	Beton Kodu	7 Günlük Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	28 Günlük Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	28 Günlük Beton Dayanım Farkı (%)
1	Kontrol	2,48	2,67	-
2	MT10	2,13	2,45	-8,23
3	MT20	1,78	1,98	-25,8
4	MT30	1,67	1,86	-30,3
5	BT10	2,32	2,61	-2,24
6	BT20	2,17	2,49	-6,74
7	BT30	1,73	1,98	-25,8
8	GT10	2,31	2,56	-4,11
9	GT20	2,09	2,25	-15,7
10	GT30	2,02	2,18	-18,35
11	UK10	2,36	2,60	-,2,62
12	UK20	2,14	2,46	-7,86
13	UK30	1,85	2,16	-19,1
14	ŞK10	1,92	2,25	-15,7
15	ŞK20	1,6	1,83	-31,4
16	ŞK30	1,45	1,7	-36,3

Beton tasarım hesaplarında genellikle basınç dayanımı kullanılmaktadır, ancak beton gevrek bir malzeme olduğu için çekme kuvvetlerine karşı direnci çok düşüktür. Çekme dayanımının değeri betonun içindeki çatlakların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle betonun çekme dayanımının bilinmesi, çatlakların ve yapı ile ilgili analizlerin yapılması bakımından önemlidir (Karataş ve ark, 2009). Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin 7 ve 28. günlerine ait yarmada çekme dayanım grafiği Şekil 6.24'te verilmiştir.



Şekil 6.24. 7 ve 28 günlük KYHB numunelerinin yarmada çekme dayanım grafiği

Literatürde, mermer tozu katkısının betonun yarmada çekme dayanımına etkisi ile de ilgili farklı görüşler bulunmaktadır. Rodrigues ve ark (2015) mermer tozu ile çimentoyu belirli oranlarda yer değiştirerek hazırladıkları betonlar üzerinde gerçekleştirdikleri yarmada çekme deneyi sonucunda mermer tozu oranı artışının betonun yarmada çekme dayanımı değerini azalttığını ileri sürmüşlerdir. Arshad ve ark (2014), ise çimento ile %10 oranında yer değiştirilen mermer tozunun betonun yarmada çekme dayanımını %6 artırdığını belirtmişlerdir. Endüstriyel atık katkılı betonların yarmada çekme dayanımları, kontrol betonu ile karşılaştırıldığında katkı oranı artışıyla birlikte, yarmada çekme dayanım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucu literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında, sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür (Elmoaty, 2013).

6.4.3. Isı İletkenlik Katsayısı Deney Sonuçları

KYHB numunelerinin ısı iletkenlik deneyleri ASTM C 1113-90 (1990) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton

numunelerinin ısı iletkenlik katsayılarına ait çizelge incelendiğinde, beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayısının 0,19 W/mK ile 0,69 W/mK arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 6.21). Çizelgeye göre en yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahip betonun kontrol betonu ve en düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip betonun ise %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, KYHB numunelerinin birim ağırlıklarının azalması ile birlikte ısı iletkenlik katsayısı değerlerinde azaldığı tespit edilmiştir. Isı iletkenlik katsayısının artışının betonun gözenekliliğinden ve beton bileşenlerin harç içerisindeki dağılım düzeninden etkilendiği bilinmektedir. Bu faktörler gözönünde bulundurulduğunda çalışmadaki sonuçların bu görüşü desteklediği görülmektedir.

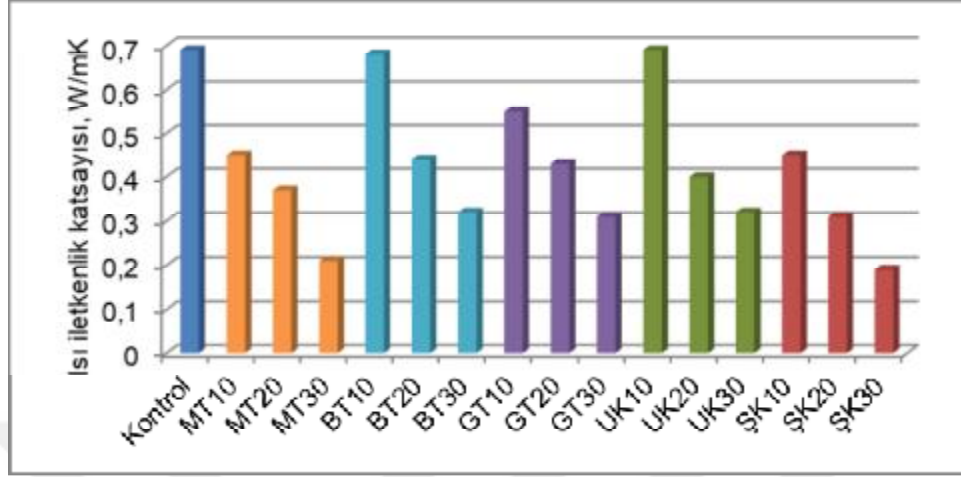
Termal iletkenlik ve yoğunluk arasında yüksek bir ilişki olduğu ve yoğunluk arttıkça termal iletkenlik değerinin arttığı literatürden de bilinmektedir. Yapılan birçok çalışmada da bu görüş desteklenmektedir (Narayanan ve Ramamurthy, 2000; Blanco ve ark, 2000; Demirboğa, 2003). Kurt ve ark (2016), yılında yaptıkları çalışmalarında, hafif agregası kullanılarak ortalama kuru birim ağırlıkları 1000-1200 kg/m³ olan betonlar üretmişlerdir. Ürettikleri betonların termal iletkenlik değerlerini 0,53-0,64 W/mK arasında belirlemişlerdir. Ramamurthy ve ark (2009), tarafından yapılan çalışmada ise şeker fabrikası filtre çamuru katkısının betonun termal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, şeker fabrikası atık çamur oranı artışının, betonun termal iletkenlik değerini azalttığını tespit etmişlerdir. Demirboğa (2007)'de uçucu kül çimento ile %15 ve %30 oranlarında yer değiştirerek termal iletkenliklerini belirlemiştir. Sonuç olarak uçucu kül artışının termal iletkenlik değerini %12 ve %23 oranlarında azalttığını tespit etmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayı Çizelge 6.21'de verilmiştir. KYHB'lerin ısı iletkenlik değerlerini gösteren grafik ise Şekil 6.25'te verilmiştir.

KYHB numunelerinin ısı iletkenlik deneyinden elde edilen veriler, RILEM tarafından hafif betonlar için belirlenen sınıflama tablosu (Çizelge 3.3) ile karşılaştırıldığında, betonların hepsinin yapısal ve yalıtım amaçlı kullanılacak

beton sınıf özelliklerini sağladığı tespit edilmiştir. Yapısal ve yalıtım özelliği gösteren betonların ısı iletkenlik katsayılarının 0,75'in atında olması, birim ağırlıklarının 1600 kg/m^3 'den büyük olması gerekmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin tamamı bu değerleri sağladığı tespit edilmiştir.

Çizelge 6.21. KYHB numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları

	Beton Kodu	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	Kuru Birim Hacim Kütlesi (kg/m^3)
1	Kontrol	0,69	1205
2	MT10	0,45	1156
3	MT20	0,37	1053
4	MT30	0,21	975
5	BT10	0,68	1177
6	BT20	0,44	1142
7	BT30	0,32	1065
8	GT10	0,55	1150
9	GT20	0,43	1084
10	GT30	0,31	1053
11	UK10	0,69	1138
12	UK20	0,40	1073
13	UK30	0,32	961
14	ŞK10	0,45	1068
15	ŞK20	0,31	990
16	ŞK30	0,19	906

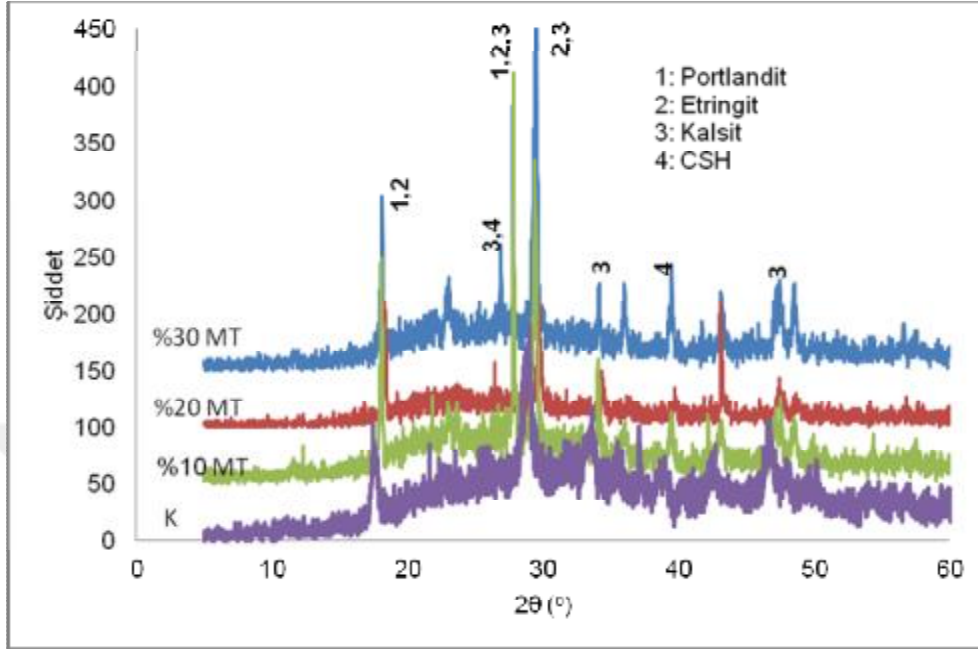


Şekil 6.25. KYHB numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları

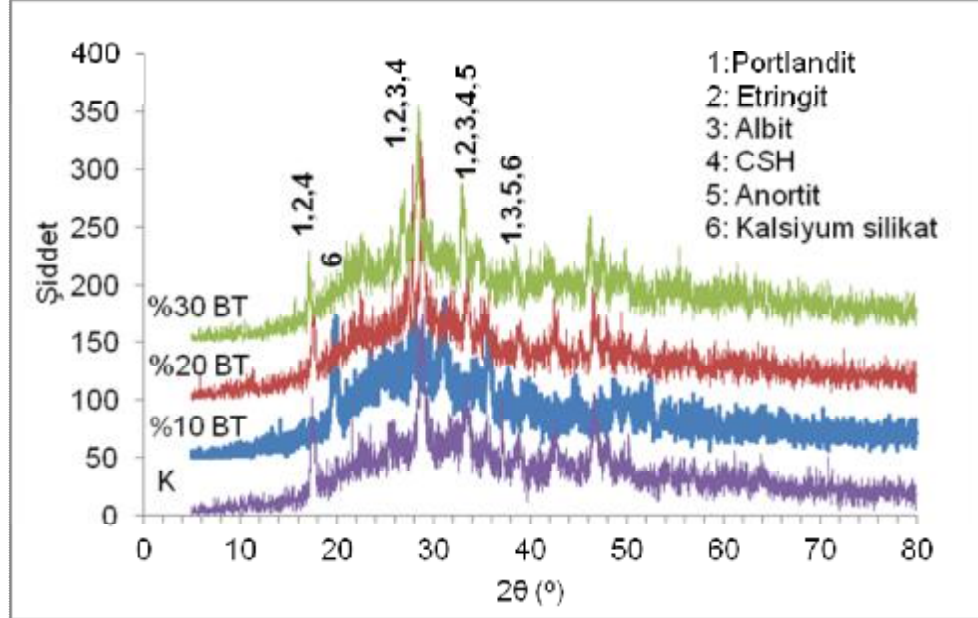
6.4.4. XRD Analiz Sonuçları

Tez çalışması kapsamında üretilen kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin mineralojik yapısının anlaşılması için X-Işınları toz kırınım difraktometresi yönteminden yararlanılmıştır.

Mermer tozu katkılı betonlara ait XRD sonuçları Şekil 6.26'da verilmiş olup, yapılarında portlandit, kalsit minerali ve CSH jelinin olduğu belirlenmiştir. Hidratasyon reaksiyonlarının hızla devam ettiği oluşan portlandit ve CSH'den anlaşılmaktadır. Betonda, mermer tozu katkısının artışıyla birlikte kalsit pikinin yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Literatürden de bilindiği üzere, mermer tozlarının bağlayıcılık etkisi yoktur. Bu nedenle, diğer malzemelerle bir reaksiyona girmez. Fakat bu tozlar, harç içerisinde çekirdeklenme ve doldurma etkisi göstererek hacin dayanımını artırır (Magdy ve ark, 2014). Literatürde mermer katkılı betonların mineralojik analiz sonuçları incelendiğinde, bu çalışma ile benzer sonuçların olduğu görülmüştür. Mermer tozu katkı oranının değişmesiyle birlikte fazlarda küçük değişiklikler olabilmektedir. Buna hidratasyon sırasında farklı oranlarda su kullanılmasının neden olduğu söylenebilir (Singh ve ark, 2017).



Şekil 6.26. Mermer tozu katkılı beton numunelerine ait XRD desenleri



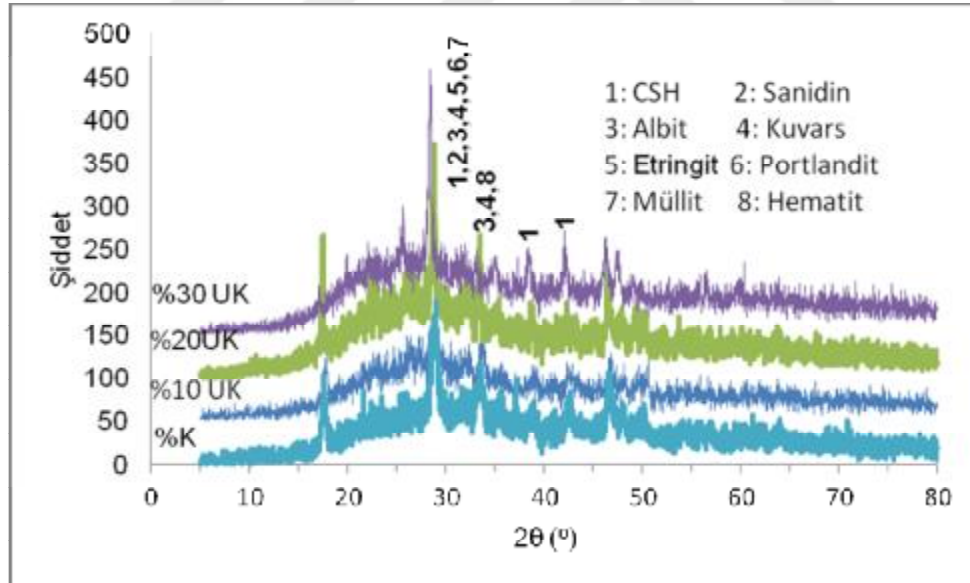
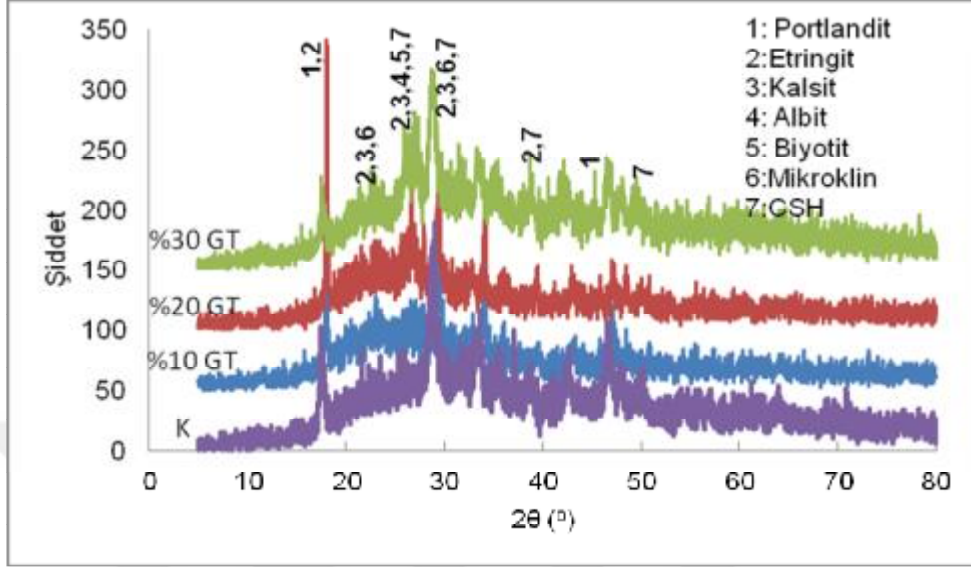
Şekil 6.27. Bazalt tozu katkılı beton numunelerine ait XRD desenleri

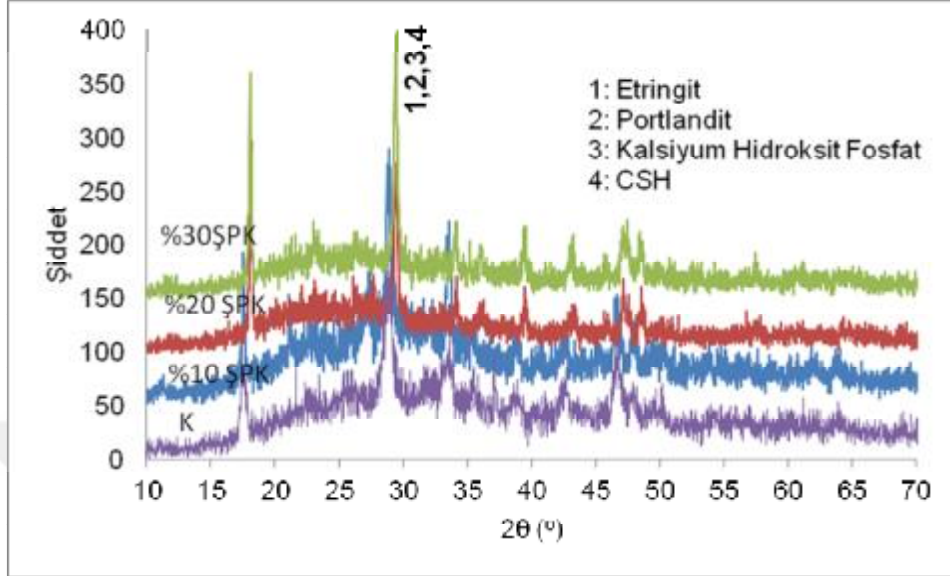
Bazalt tozu katkılı betonlara ait XRD analiz sonucu Şekil 6.27’de verilmiştir. Bazalt tozu katkılı betonlara ait XRD sonucu incelendiğinde, yapıda portlandit, etringit, albit, anortit, kalsiyum silikat mineralleri ve CSH jeli görülmüştür.

Granit tozu katkılı betonlara ait XRD analiz sonucu Şekil 6.28’de verilmiştir. Granit tozu katkılı betonlara ait XRD analiz sonucu incelendiğinde, yapıda portlandit, etringit, albit, biyotit, mikroklin ve CSH jeli görülmüştür. Elmoaty ve ark yaptıkları çalışmada granit tozunun %5 oranında çimento ile yer değiştirmenin basınç dayanımı artırdığını ve granit tozu katkılı betonun mikroyapısında hidrasyon ürünleri açısından bir değişiklik olmadığını bildirmişlerdir. Singh ve ark (2016) granit atıklarının betondaki performansını belirlemek üzere yaptıkları çalışmalarında granit tozunu ince agrega ile yer değiştirerek betonlar üretmişler ve mineralojik yapısını belirlemişlerdir. Çalışmalarında granit tozu katkılı betonlarda Etringit, portlandit, CSH, kalsit, dolomit, sodyum oksit, potasyum oksit ve magnezyum oksit belirlemişlerdir. %20 oranında granit tozu katılan betonların CSH jeli pikinde bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Gao ve ark (2017) yaptıkları çalışmalarında atık granit tozunun karakterizasyon özelliklerini belirlemişlerdir. Granit tozunun yapısında; kuvars, plajiyoklas ve ortoklas minerallerinin olduğunu tespit etmişlerdir.

Uçucu kül katkılı betonlara ait XRD sonuçları Şekil 6.29’da verilmiştir. XRD desenindeki, piklerin şiddetinin artma ve azalması beton içerisine konulan katkı oranından etkilenmektedir. Uçucu kül katkılı betonlara ait XRD deseni incelendiğinde, yapıda portlandit, etringit, albit, sanidin, kuvars, müllit, hematit ve CSH jeli görülmüştür.

Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı betonlara ait XRD sonuçları Şekil 6.30’da verilmiştir. Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı betonlara ait XRD deseni incelendiğinde, yapıda portlandit, etringit, kalsiyum hidroksit fosfat ve CSH jeli görülmüştür.





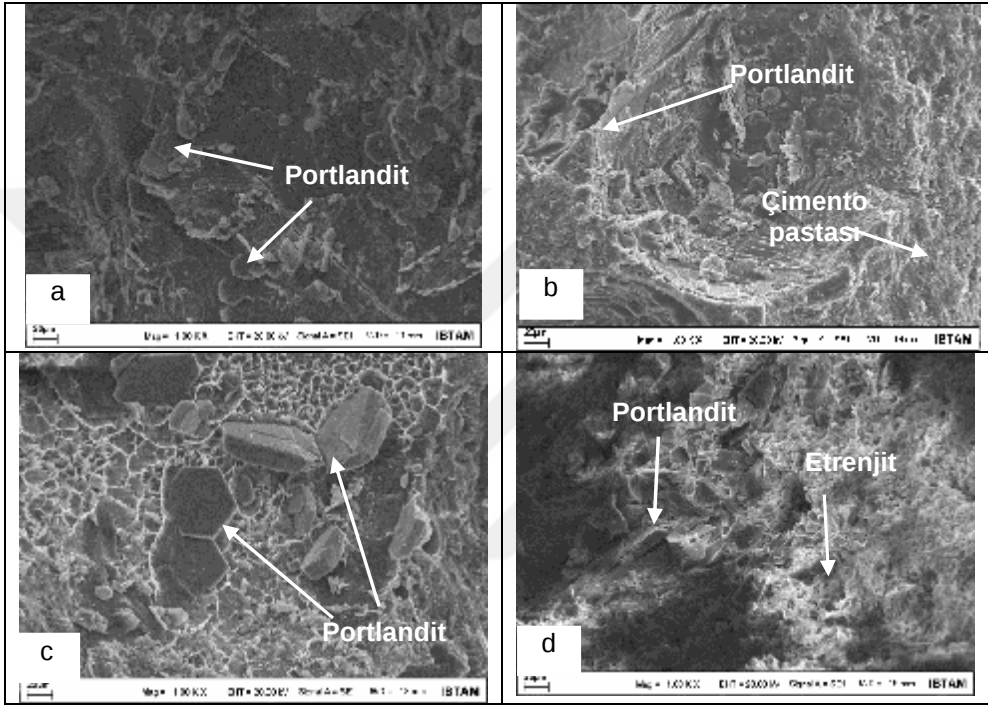
Şekil 6.30. Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunelerine ait XRD desenleri

6.4.5. SEM Analiz Sonuçları

Literatürde, su-bağlayıcı oranı %50–55 arasında olan bir Portland çimentosu pastasının hidrasyonunun yapısında, %50–60 kalsiyum silika hidrat, %20–25 kalsiyum hidroksit, %15–30 kalsiyum sülfoalüminat (Aft) (Etringit), mono sülfat (AFm), hidrate olmamış çimento tanecikleri ve boşluk olduğu belirtilmiştir (Kırız, 2011).

SEM görüntüsünde CSH jelinin başlangıçta iğnemi biçimde olduğu, zamanla düzensiz taneli ağ biçiminde görüldüğü ve amorf bir yapıya yaklaşan karaktere sahip olduğu bilinmektedir. Yine kalsiyum hidroksit kristallerinin SEM görüntüsünde masif, yassı, hekzagonal prizma şekilli veya büyük zayıf uzun kristaller şeklinde görülebildiği belirtilmiştir. Ayrıca SEM cihazının etrenjiti, kalsiyum sülfoalüminat (etrenjit, Aft) ve mono sülfat hidrat (AFm) olarak iki farklı mineralojik özellikte tanımladığı ve mono sülfatın yassı ve/veya düz hekzagonal kristalli olarak görüldüğü belirtilmiştir (Kırız, 2011). Postacıoğlu, 1986’da yaptığı çalışmasında CSH jellerinin zamanla artması sonucunda, lifler ve levhaların

büyüyerek birbiri içine girmesi ve birbiriyle kaynaşması nedeniyle çimentonun mukavemetinin artırdığını belirtmişlerdir. Kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait SEM görüntüleri Şekil 6.31 ile Şekil 6.35 arasında verilmiştir. KYHB betonlarına ait ayrıntılı SEM görüntüleri Ek 2 ile Ek 6 arasında verilmiştir.

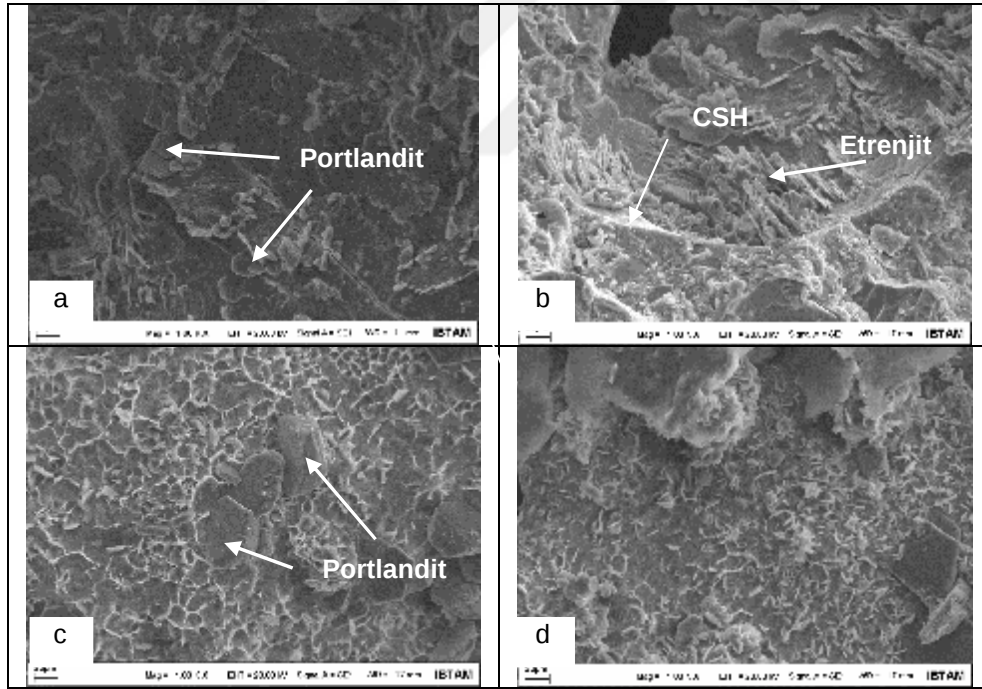


Şekil 6.31. Kontrol ve mermer tozu katkılı beton numunelerine ait SEM görüntüsü (a: kontrol, b: %10 mermer katkısı, c: %20 mermer katkısı ve d: %30 mermer katkısı)

Şekil 6.31’de SEM görüntüleri verilen, kendiliğinden yerleşen hafif beton numuneleri genel olarak incelendiğinde gözenekli camsı yapıya sahip olduğu ve içerisinde portlandit etrenjit, kasit mineralleri ve CSH jeli bulunduğu belirlenmiştir. Bu durum beton numunelerinin XRD sonuçları ile de desteklenmektedir. Kontrol betonun SEM görüntüsü incelendiğinde, sıkı bir yapısının olduğu, portlandit minerallerinin küçük olduğu ve kristallerin dağılımının düzenli olduğu belirlenmiştir. Mermer tozu katkısı arttıkça yapıdaki beton filler etki göstererek,

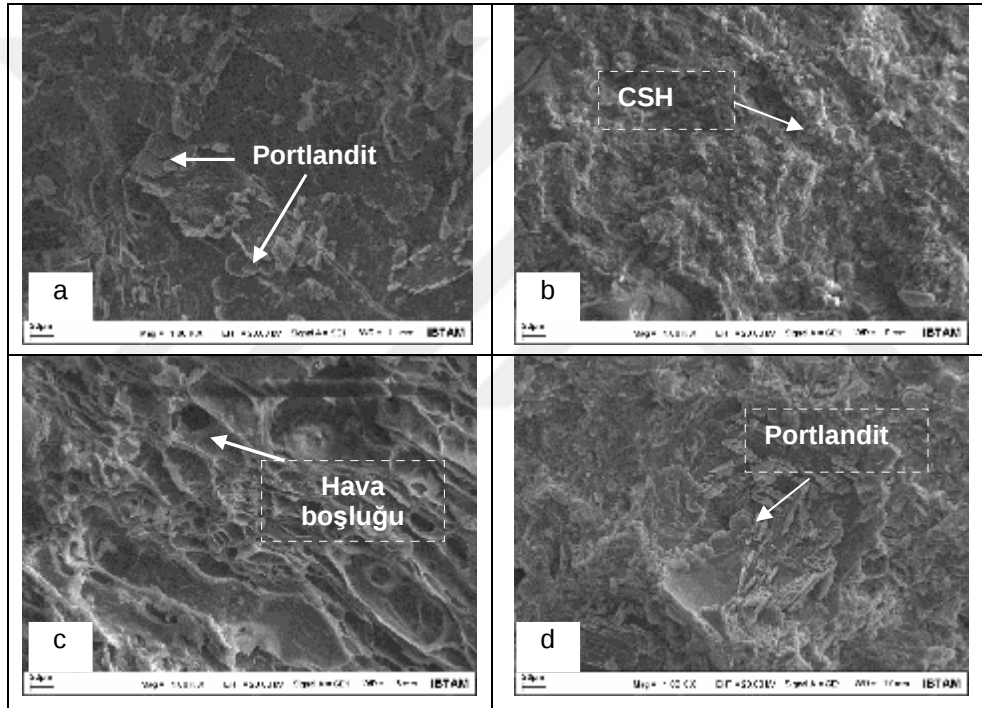
boşluk yapısını ve poroziteyi azalttığı tespit edilmiştir. Bu da literatürle uyum sağlamaktadır (Türker ve ark, 2002; Demirel, 2010).

SEM görüntüleri incelendiğinde, hidratasyon reaksiyonlarının hızla devam ettiği oluşan portlandit ve CSH'den anlaşılmaktadır. Betonda, mermer tozu katkısının artışıyla birlikte kalsit pikinin yoğunluğunun arttığı görülmüştür. XRD sonuçlarında görülen CSH ve portlandit pikleri bize mermer tozu katkısının dayanıma olumlu ya da olumsuz bir etki yapıp yapmadığı konusunda bir bilgi vermemektedir. Çünkü literatürden de bilindiği üzere mermer tozunun hidratasyon sırasında bağlayıcılık etkisi olmadığı için diğer malzemelerle bir reaksiyona girmez. Fakat bu tozlar, harç içerisinde çekirdeklenme ve doldurma etkisi gösterir (Magdy ve ark, 2014). Bazalt tozu katkılı kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait SEM görüntüleri Şekil 6.32'de verilmiştir.



Şekil 6.32. Kontrol ve bazalt tozu katkılı beton numunelerine ait SEM görüntüsü (a: kontrol, b: %10 bazalt katkısı, c: %20 bazalt katkısı ve d: %30 bazalt katkısı)

Bazalt tozu katkılı numunelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde her üç katkı oranında da hidratasyon ürünlerinin olumaya devam ettiği görülmüştür. Literatürden de bilindiği üzere, bazalt tozları yapısı itibarıyla puzolanik özellik gösterirler. Puzolanik özellik reaksiyonu yavaş gerçekleşmektedir (Hwang, 2004). Yapılan çalışmalar ileri yaşlarda bazalt katkılı betonların boşluk yapısının ve porozitesinin azaldığını bildirmiştir (Laibao ve ark, 2013). Granit tozu katkılı kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait SEM görüntüleri Şekil 6.33'te verilmiştir.

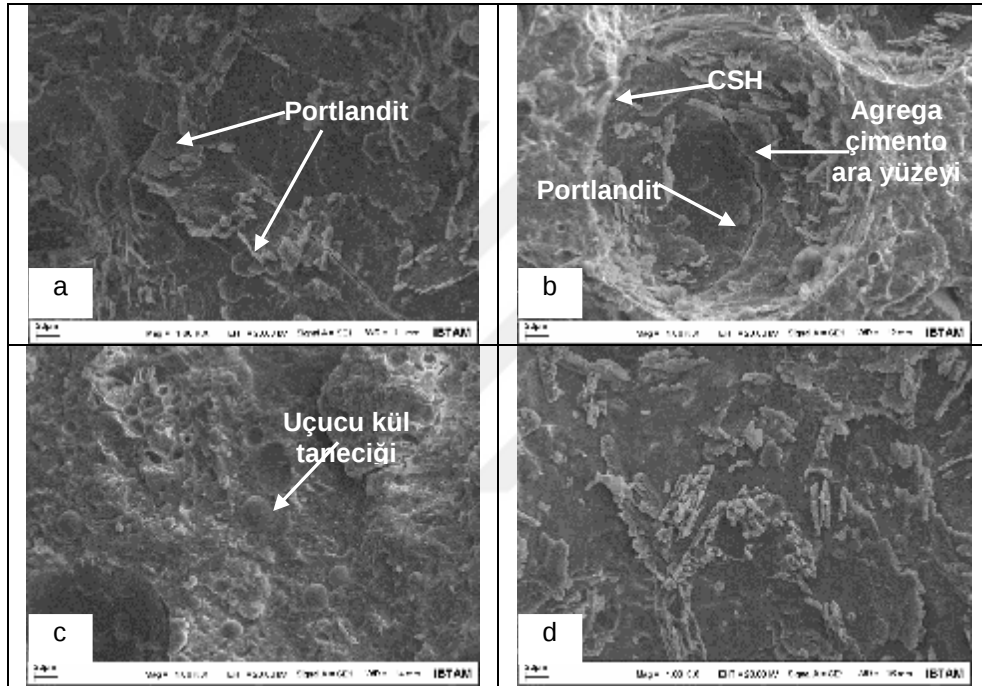


Şekil 6.33. Kontrol ve granit tozu katkılı beton numunelerine ait SEM görüntüsü (a: kontrol, b: %10 granit katkısı, c: %20 granit katkısı ve d: %30 granit katkısı)

Granit tozu katkılı betonlara ait SEM görüntüsü incelendiğinde, granit tozunun da boşluk doldurma etkisi olduğu görülmüştür. Granit tozlarının, bu etkiyi göstermesinde birkaç faktörün etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, granit tozlarının kimyasal analiz sonucunda da yüksek oranda SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3

olduğu tespit edilmiştir. Bu da granitin az da olsa puzolanik etkinliğe sahip olmasına neden olmuş olabilir. Literatür tarafından da bu olgu desteklenmektedir (Dina ve ark, 2016).

Uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait SEM görüntüleri Şekil 6.34'te verilmiştir.

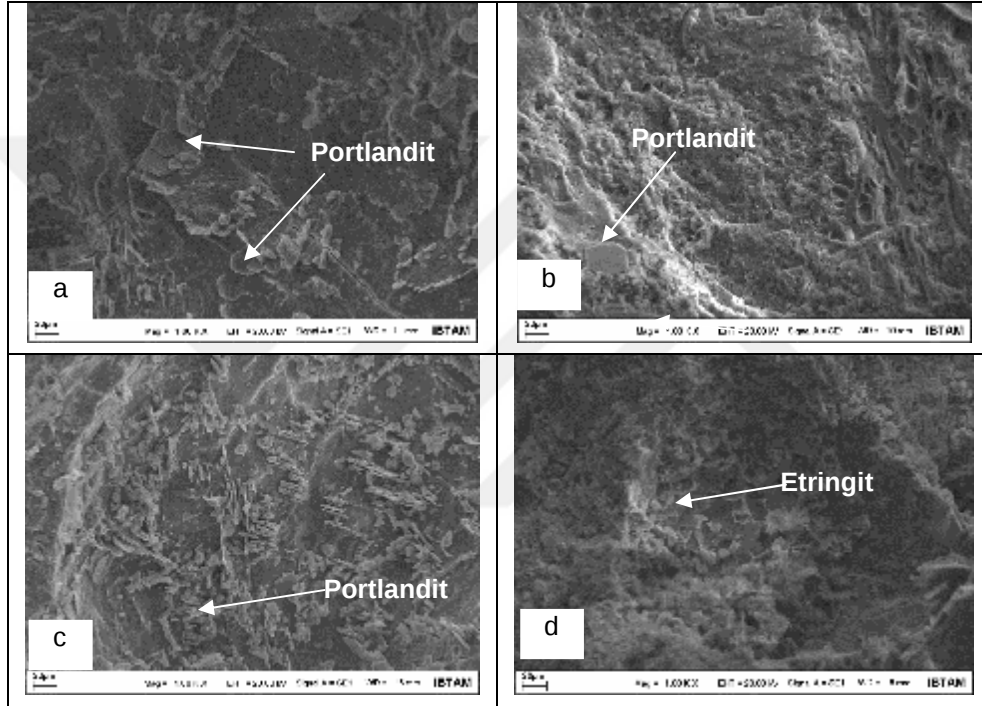


Şekil 6.34. Kontrol ve uçucu kül katkılı beton numunelerine ait SEM görüntüsü (a: kontrol, b: %10 uçucu kül katkısı, c: %20 uçucu kül katkısı ve d: %30 uçucu kül katkısı)

Uçucu küller puzolanik etkiye sahip malzemelerdir. SEM görüntüsü incelendiğinde uçucu kül katkı oranının artmasının betonun boşluk yapısını azalttığı tespit edilmiştir. Literatürde, uçucu küllerin erken dönemde inert malzeme olduğu görüşü de bulunmaktadır (Wei ve ark, 1985; Langana, 2002).

Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait SEM görüntüleri Şekil 6.35'de verilmiştir. Şeker fabrikası filtre çamuru, beton

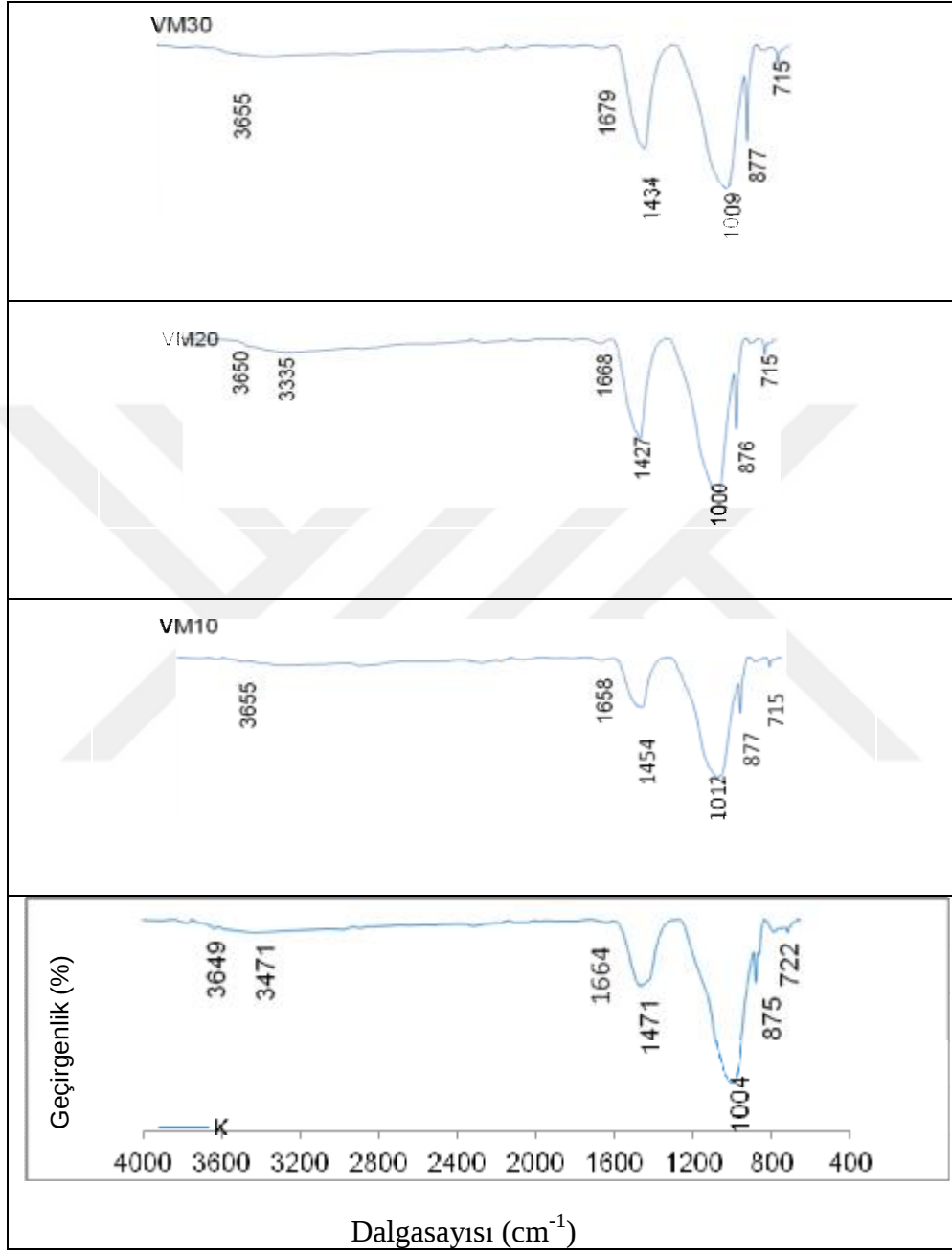
karışımına katılmadan önce sahip olduğu organik maddenin uzaklaştırılması amacıyla, 550°C'de yüksek sıcaklık fırınında yakılmış ve beton karışımında katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Şeker fabrikası filtre çamuru katkıli betonlara ait SEM görüntüsü incelendiğinde, yapısında kalsit, portlandit ve etringit mineralleri ve CSH jeli olduğu tespit edilmiştir.



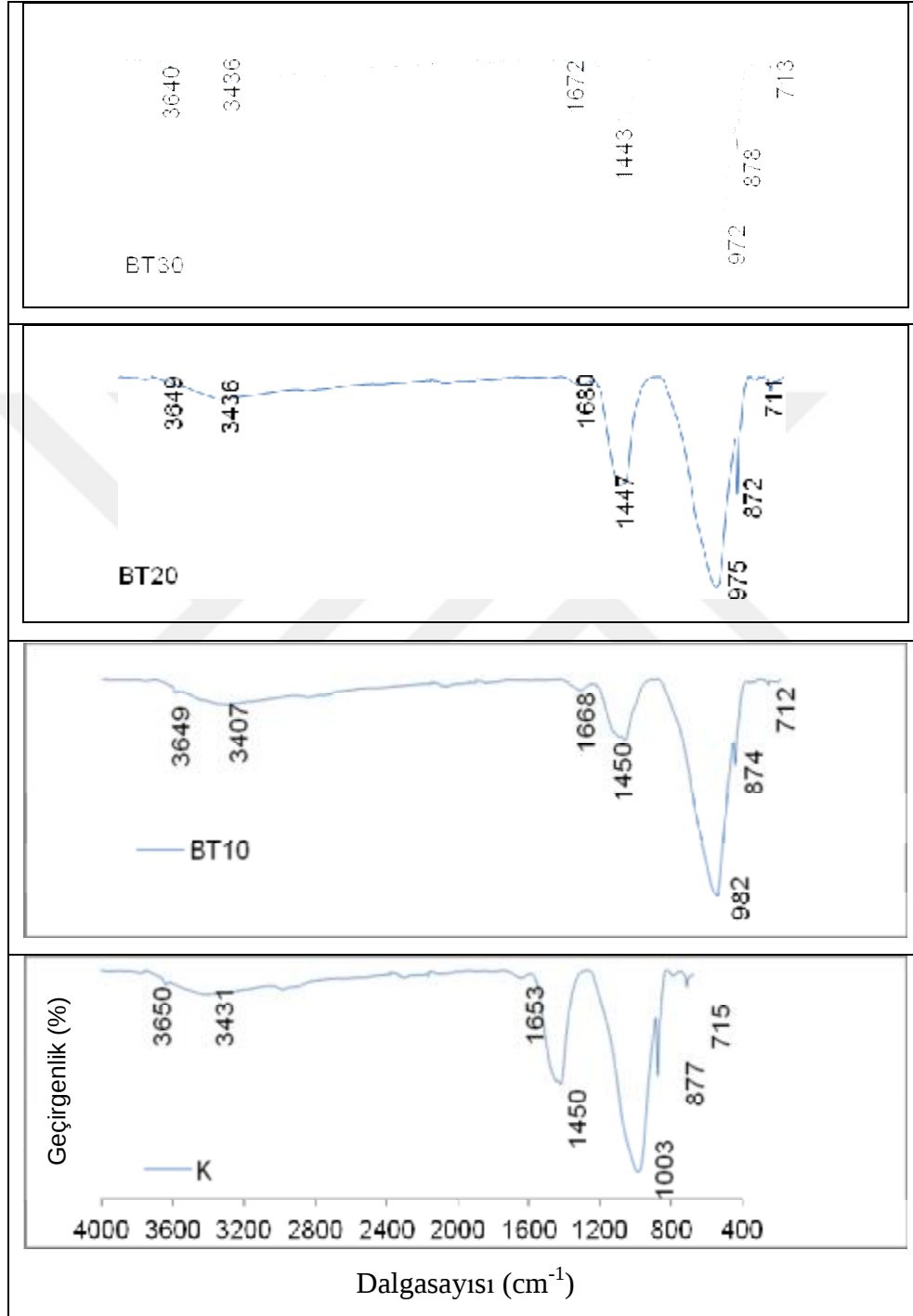
Şekil 6.35. Kontrol ve şeker fabrikası filtre çamuru katkıli beton numunelerine ait SEM görüntüsü (a: kontrol, b: %10 şeker fabrikası filtre çamuru katkısı, c: %20 şeker fabrikası filtre çamuru katkısı ve d: %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkısı)

6.4.6. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların FTIR Analiz Sonuçları

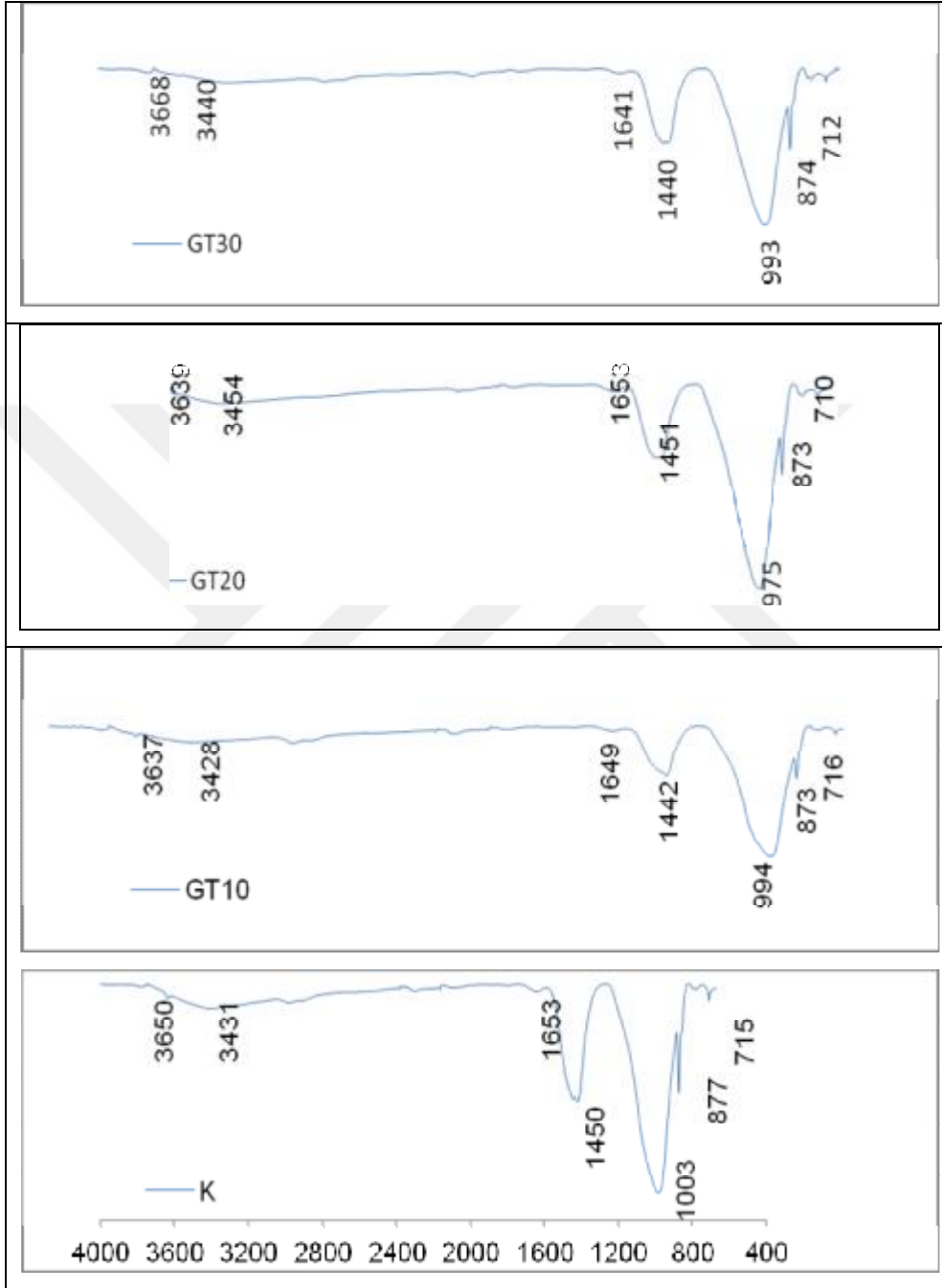
Çalışmada, Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi tekniği kullanılarak, tanecik yüzeyindeki molekül grupları belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında üretilen kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait FTIR spektrumları Şekil 6.36 ile Şekil 6.40 arasında verilmiştir.



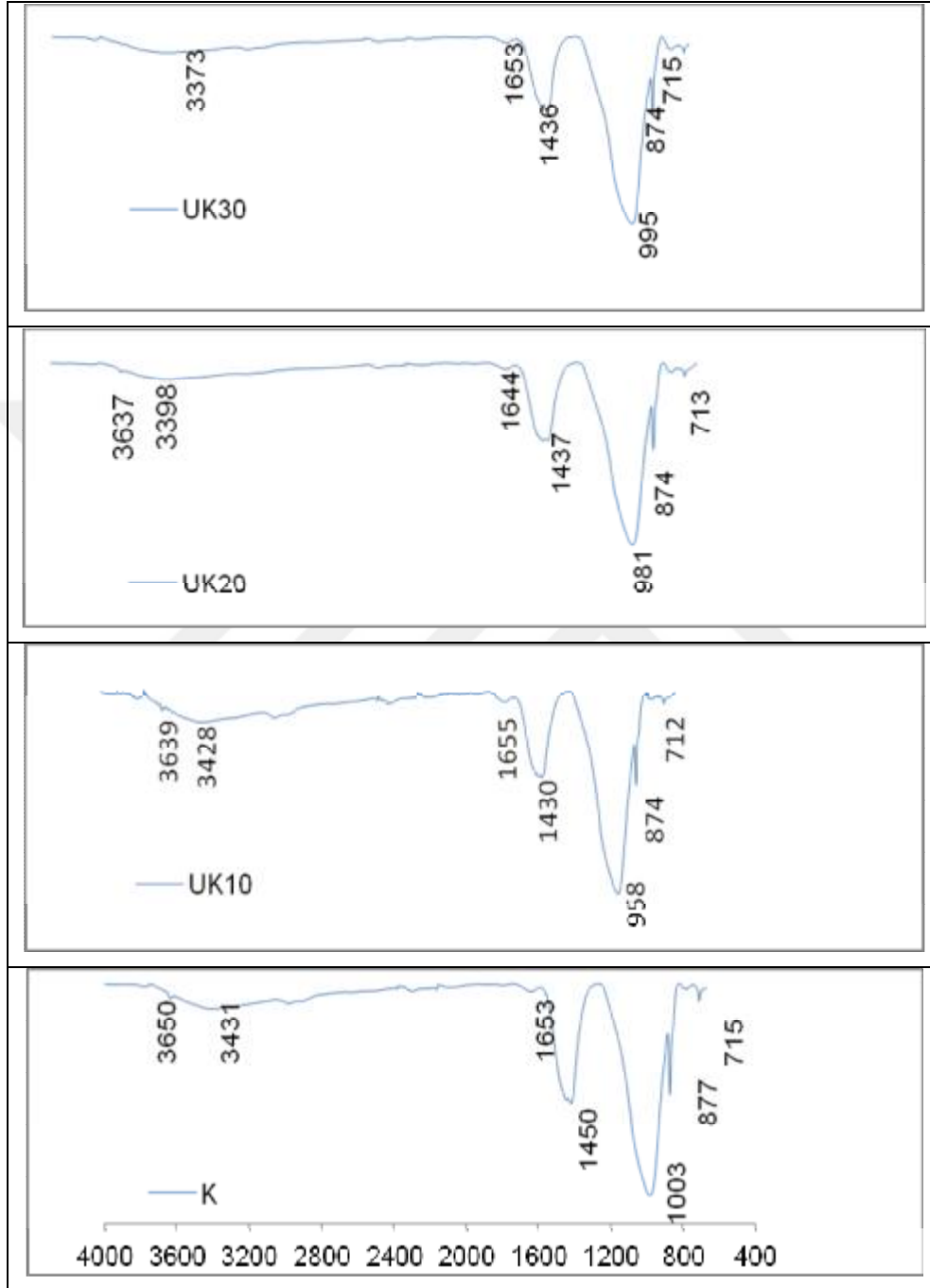
Şekil 6.36. Kontrol ve mermer tozu katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları



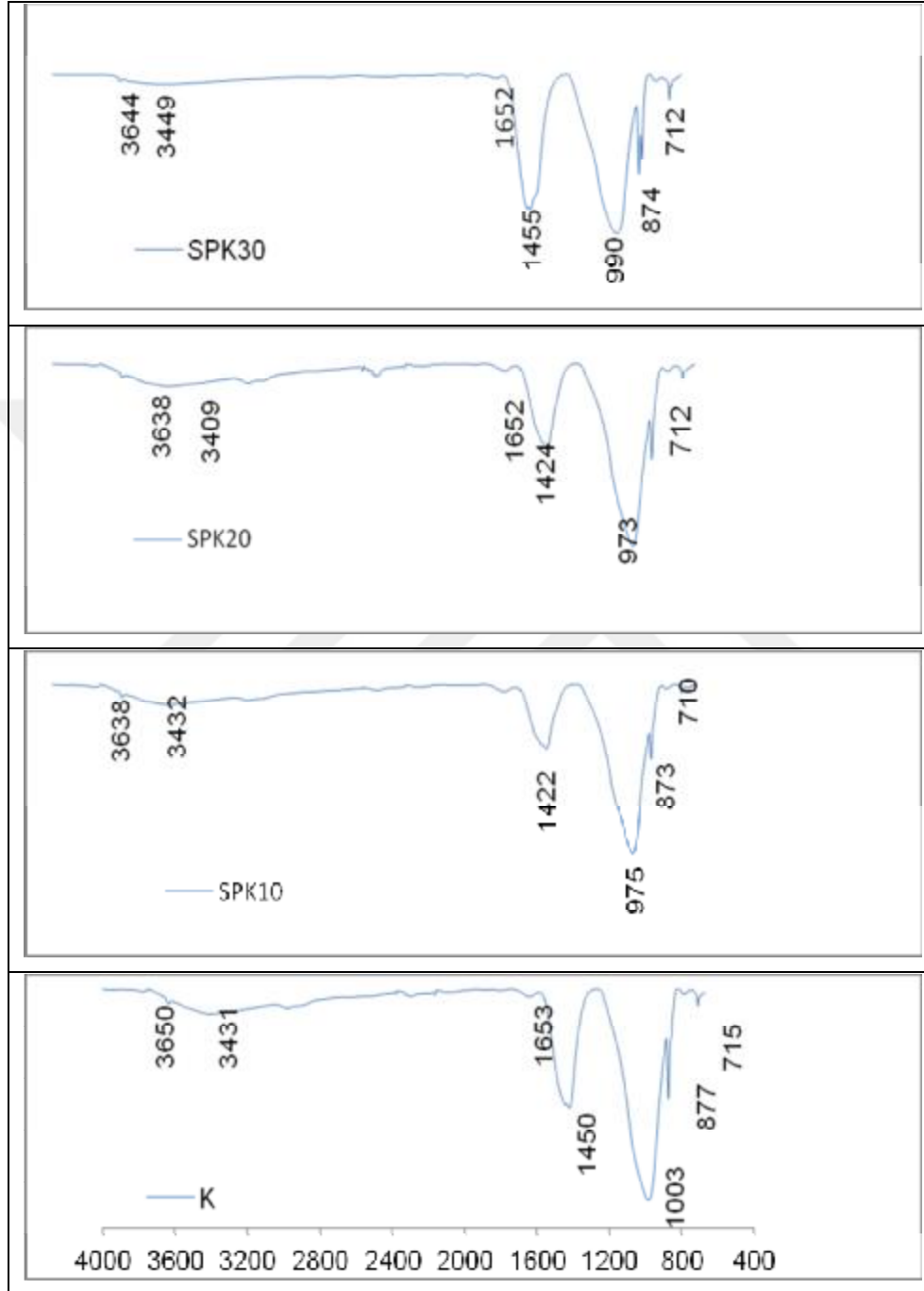
Şekil 6.37. Kontrol ve bazalt tozu katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları



Şekil 6.38. Kontrol ve granit tozu katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları



Şekil 6.39. Kontrol ve uçucu kül katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları



Şekil 6.40. Kontrol ve şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunelerine ait FTIR spektrumları

Genel olarak, kontrol ve katkılı betonların FTIR spektrumları başlıca 4 geniş band bölgesinde değerlendirilmiştir. Bunlar Si-Al, S, C ve OH titreşim ve deformasyon bağlarındaki titreşim sayılarından oluşmaktadır.

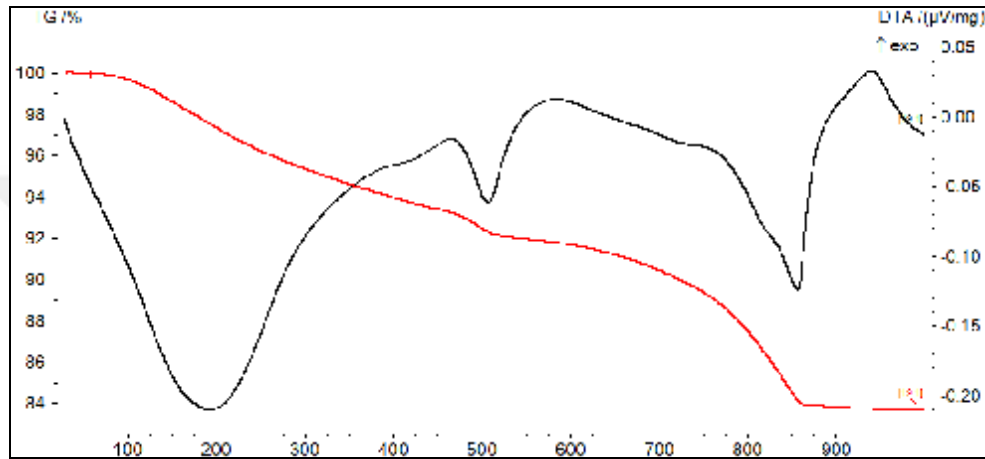
Mermer tozu katkılı betonlara ait FTIR spektrumları incelendiğinde, 3655-3659 cm^{-1} bölgesinde gözlenen geniş pikler CSH kristallerindeki (bağlı) suyu, 3471-3335 cm^{-1} bölgesinde gözlenen pikler yapıya tutunmamış suyu ve 1664-1668 cm^{-1} bölgesinde gözlenen pik ise moleküler suyu göstermektedir. 1471-1434 cm^{-1} bölgesi, 875-877 cm^{-1} ve 722-715 cm^{-1} bölgelerinde gözlenen pikler karbonat fazına ait olup, portlantitin karbonasyonu sonucu oluşmuştur (Mollah ve ark, 2000; Richard ve ark, 2006).

Bazalt tozu katkılı numunelerin FTIR spektrumları verilmiştir. FTIR spektrumlarında gözlenen piklerin hangi bağlara ait olduğu literatür verileri yardımıyla (Ylmen ve ark, 2009; Saraya, 2014) belirlenmiştir. Bazalt tozu katkılı betonların FTIR analizi sonunda 3000-3700 cm^{-1} dalga sayılarında gözlenen pikler O-H gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır (Delgado ve ark, 1996; Yu ve ark, 1999). 1600-1700 cm^{-1} dalga sayılarında gözlenen pikler H-O-H gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır. (Trezza ve Lavat, 2001; Trezza, 2007; Ylmén R, Jäglid U, 2013). 970 ve 1100 cm^{-1} 'de gözlenen pikler kalsiyum silika hidratın oluştuğunu gösterir. 980-972 cm^{-1} dalga sayılarında gözlenen pikler Si-O bantlarına aittir (Saraya, 2014).

Granit tozu katkılı numunelerin FTIR spektrumları verilmiştir. FTIR spektrumlarında gözlenen piklerin hangi bağlara ait olduğu literatür verileri yardımıyla belirlenmiştir. Granit tozu katkılı betonların FTIR analizi sonunda 3000-3700 cm^{-1} dalga sayılarında gözlenen pikler O-H gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır. 1600-1700 cm^{-1} dalga sayılarında gözlenen pikler H-O-H gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır.

6.4.7. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların DTA-TGA Analiz Sonuçları

Kendiliğinden yerleşen hafif betonlarının termal davranışları DTA-TGA analiz cihazı ile belirlenmiştir. Kendiliğinden yerleşen kontrol beton numunesine ait DTA-TGA dönüşüm eğrisi Şekil 6.41’de verilmiştir.



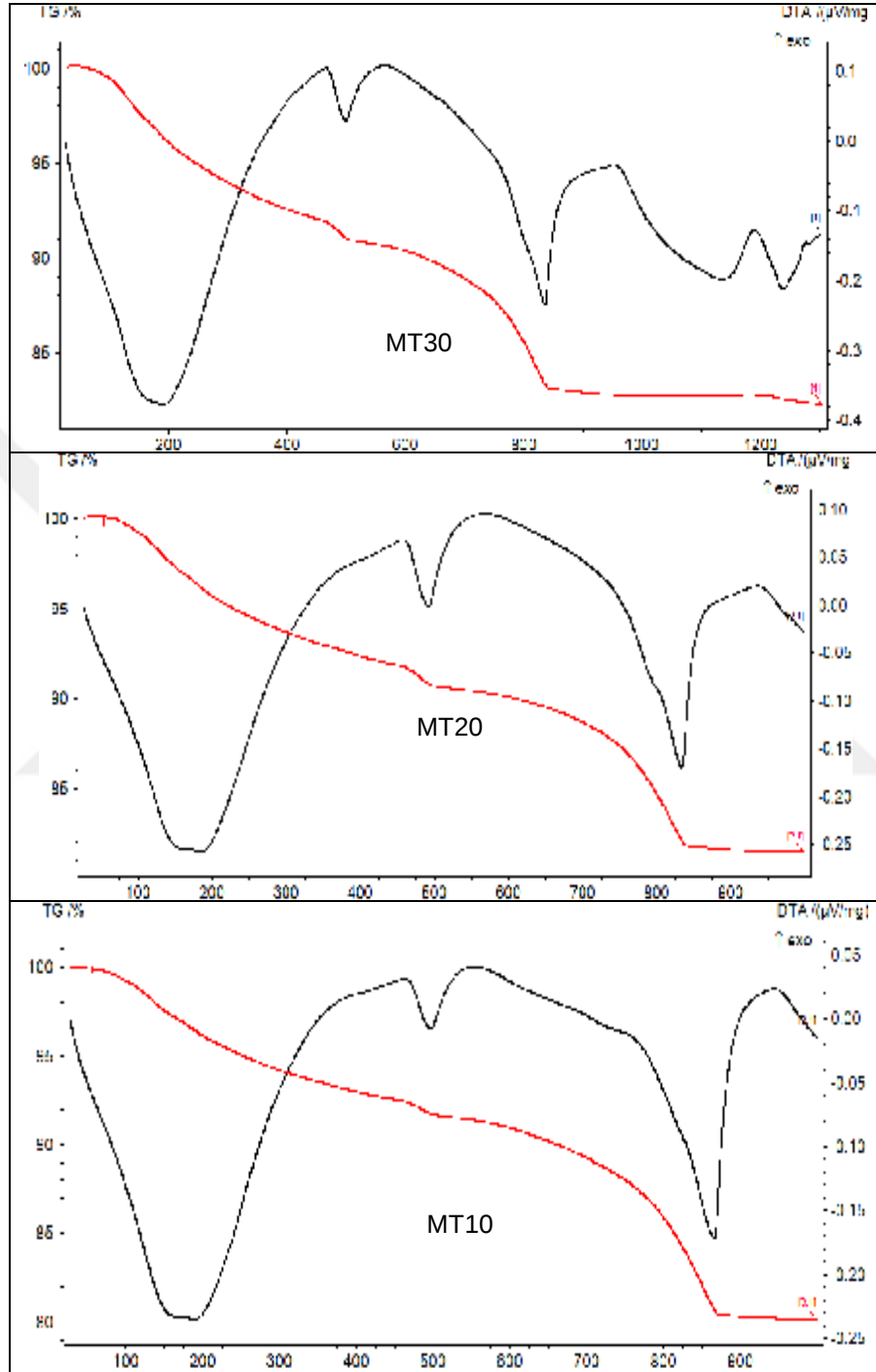
Şekil 6.41. Kontrol betonu DTA-TGA dönüşüm eğrisi

Şekil 6.41’de verilen DTA-TGA grafikleri incelendiğinde, üç adet endotermik reaksiyon piki ve bir adet de ekzotermik reaksiyon piki tespit edilmiştir. Birinci endotermik reaksiyon piki 100-375°C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir. Bu pik’e, CSH ve diğer hidratların (kalsiyum alümina silikat hidrat gibi) farklı aşamalarındaki dehidratasyonun sebep olduğu düşünülmektedir. İkinci endotermik reaksiyon piki, 450-525°C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir. Bu pik’e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’nin dehidratasyonun sebep olduğu düşünülmektedir. Üçüncü endotermik reaksiyon piki ise 750-850°C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir. Bu pik’e kalsiyum karbonatın kalsinasyonu sonucu, yapıdan karbondioksitin uzaklaşmasının neden olduğu düşünülmektedir. Ekzotermik reaksiyon piki ise sıcaklığın 850°C’nin üzerine çıkması sonucu rekristalizasyon sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Kontrol beton numunesine ait TGA grafikleri incelendiğinde, toplam kütle kaybının %16,31 olduğu görülmüştür. TGA grafiğinde, 100-375°C

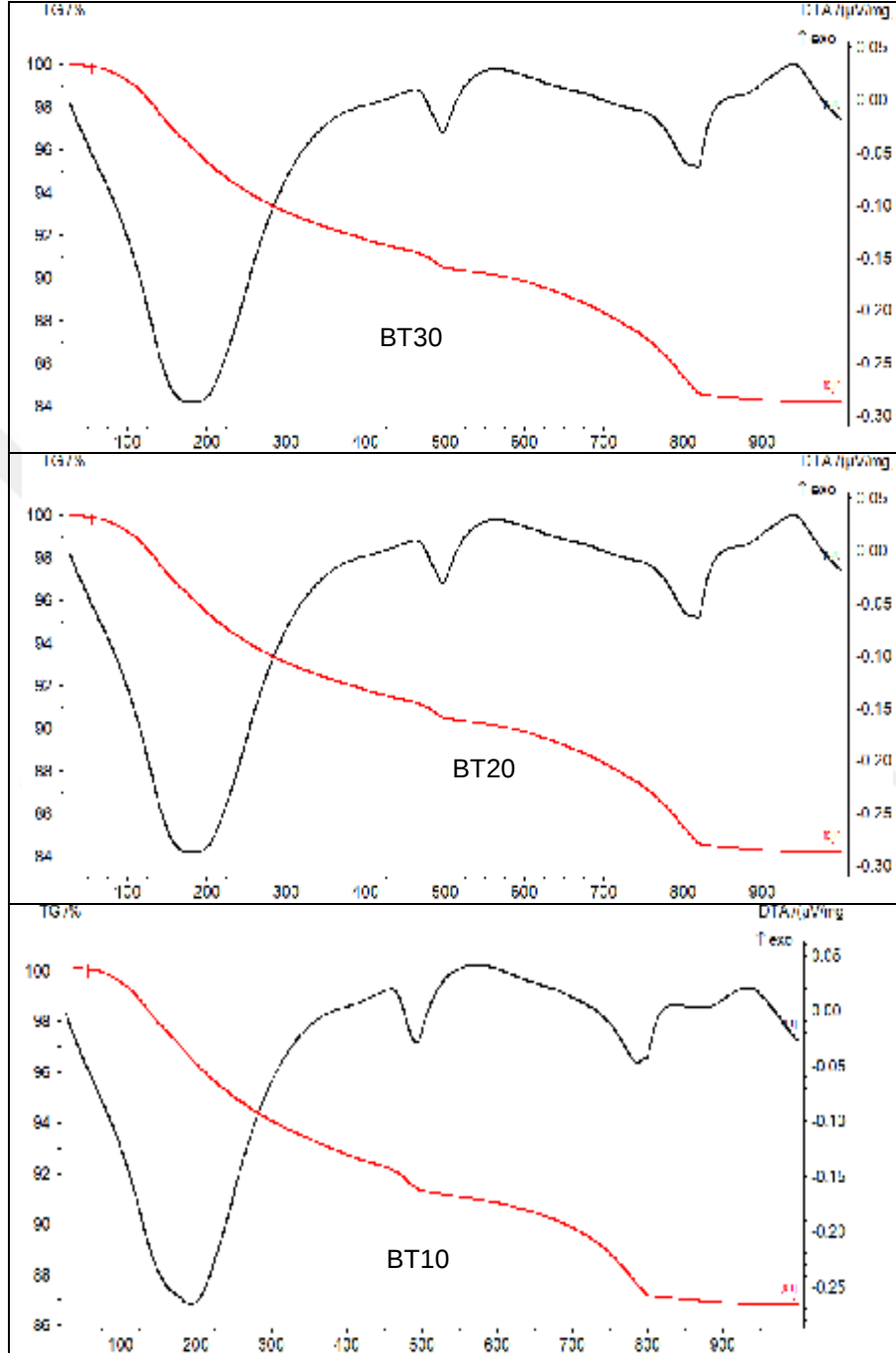
sıcaklıkları arasında CSH dışında diğer hidratların dehidratasyonu da gerçekleşmiş olabileceğinden CSH kütle kaybını net olarak hesaplamak mümkün olamamıştır. TGA grafiği incelendiğinde, 450-525°C sıcaklıkları arasında kalsiyum oksit(katı) ve su buharına ayrılan kalsiyum hidroksitin ağırlık kaybına uğradığı görülmektedir. Her iki sıcaklıkta kütle kayıplarının olması, beton yapısı içerisinde CSH ve Ca(OH)_2 olduğunu ispat etmektedir. Bu sonuçta XRD piklerini desteklemektedir.

Kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait DTA grafikleri ortak bir şekilde değerlendirilse, tüm beton karışımlarında üç adet endotermik reaksiyon piki ve bir adet de ekzotermik reaksiyon piki olduğu tespit edilmiştir. Birinci endotermik reaksiyon piki 100-325°C sıcaklıkları arasında, ikinci endotermik reaksiyon piki, 450-550°C sıcaklıkları arasında ve üçüncü endotermik reaksiyon piki ise 750-850°C sıcaklıkları arasında gerçekleşmiştir.

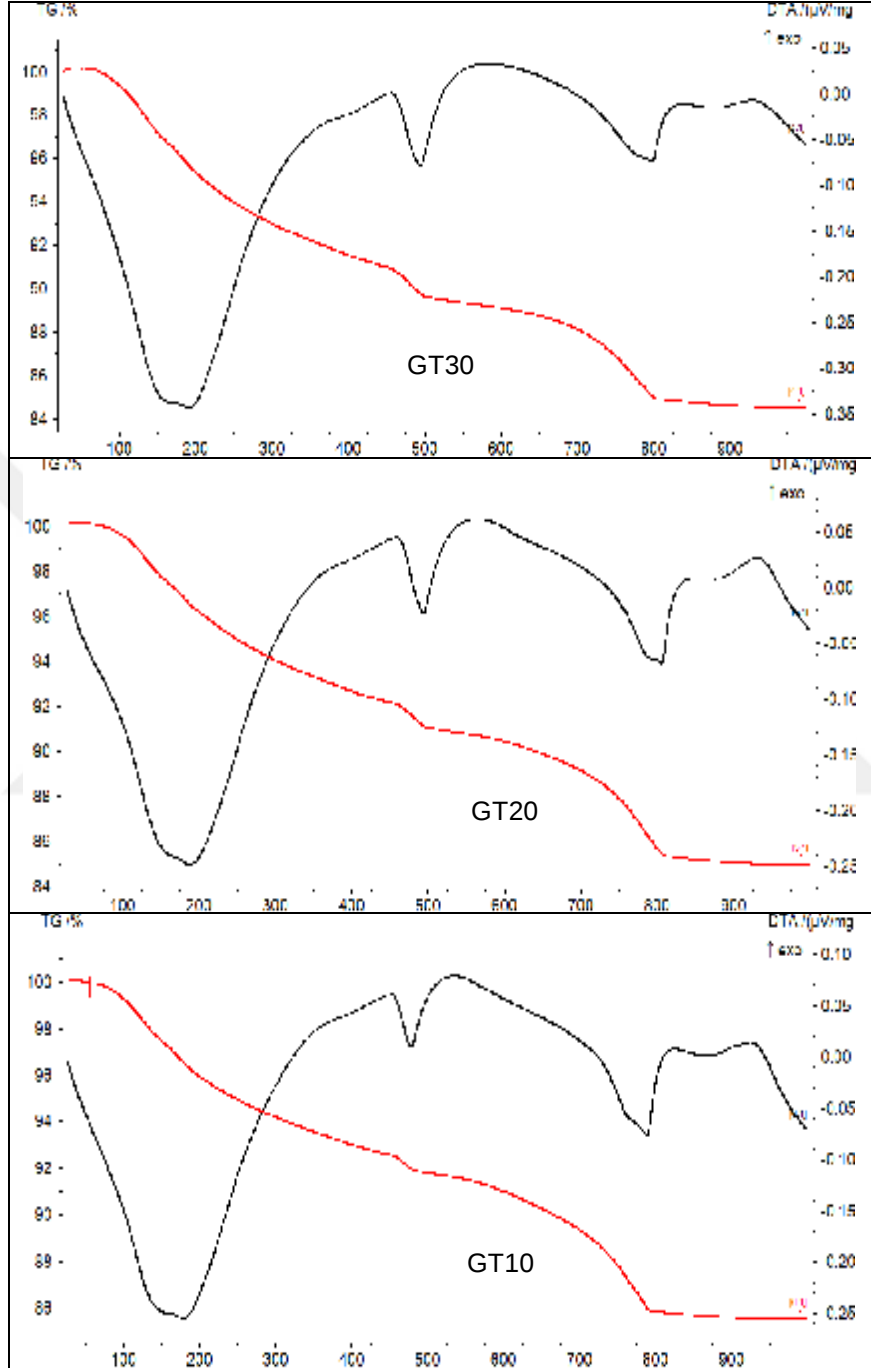
Mermer tozu katkılı KYHB numunelerine ait verilen, DTA-TGA grafikleri incelendiğinde, %10, %20 ve %30 oranında mermer tozu katkısı içeren beton numunelerinde, toplam kütle kayıplarının sırasıyla %17,78 %18,57 ve %19,87 olduğu tespit edilmiştir. Bazalt tozu katkılı KYHB numunelerine ait verilen, DTA-TGA grafikleri incelendiğinde, %10, %20 ve %30 bazalt tozu katkılı beton numunelerinde, toplam kütle kayıplarının sırasıyla %16,79, %15,81 ve %13,19 olduğu tespit edilmiştir. Granit tozu katkılı KYHB numunelerine ait verilen, DTA-TGA grafikleri incelendiğinde, %10, %20 ve %30 granit tozu katkılı beton numunelerinde, toplam kütle kayıpları sırasıyla %15,52, %15,03 ve %14,48 olduğu tespit edilmiştir. Uçucu kül katkılı KYHB numunelerine ait verilen, DTA-TGA grafikleri incelendiğinde, %10, %20 ve %30 uçucu kül katkılı beton numunelerinde, toplam kütle kayıplarının sırasıyla %14,24, %15,27 ve %17,14 olduğu tespit edilmiştir. Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı KYHB numunelerine ait verilen, DTA-TGA grafikleri incelendiğinde, %10, %20 ve %30 şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunelerinde, toplam kütle kayıpları sırasıyla %16,89, %17,75 ve %18,89 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.42-Şekil 6.46).



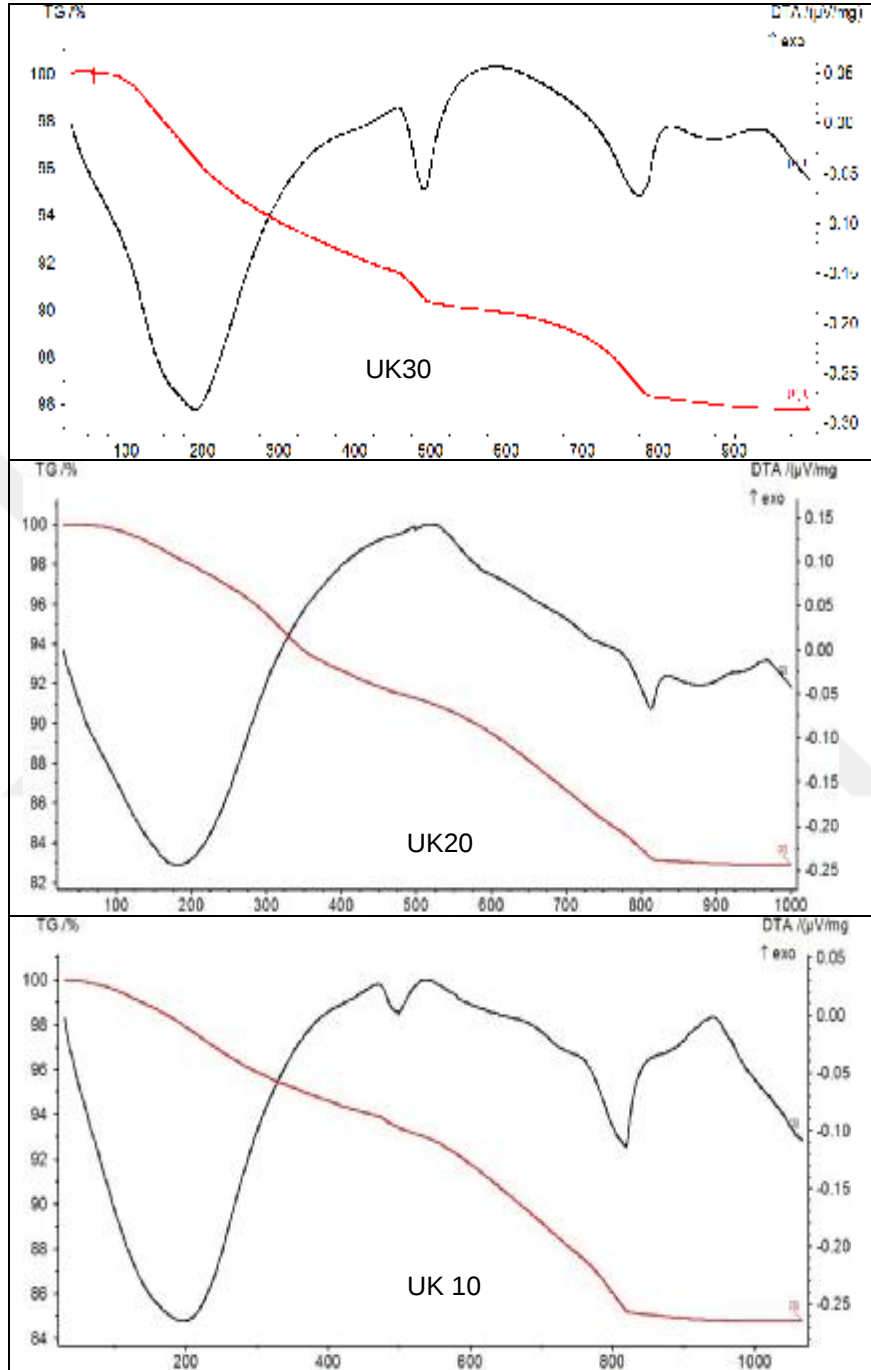
Şekil 6.42. Mermer tozu katkılı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi



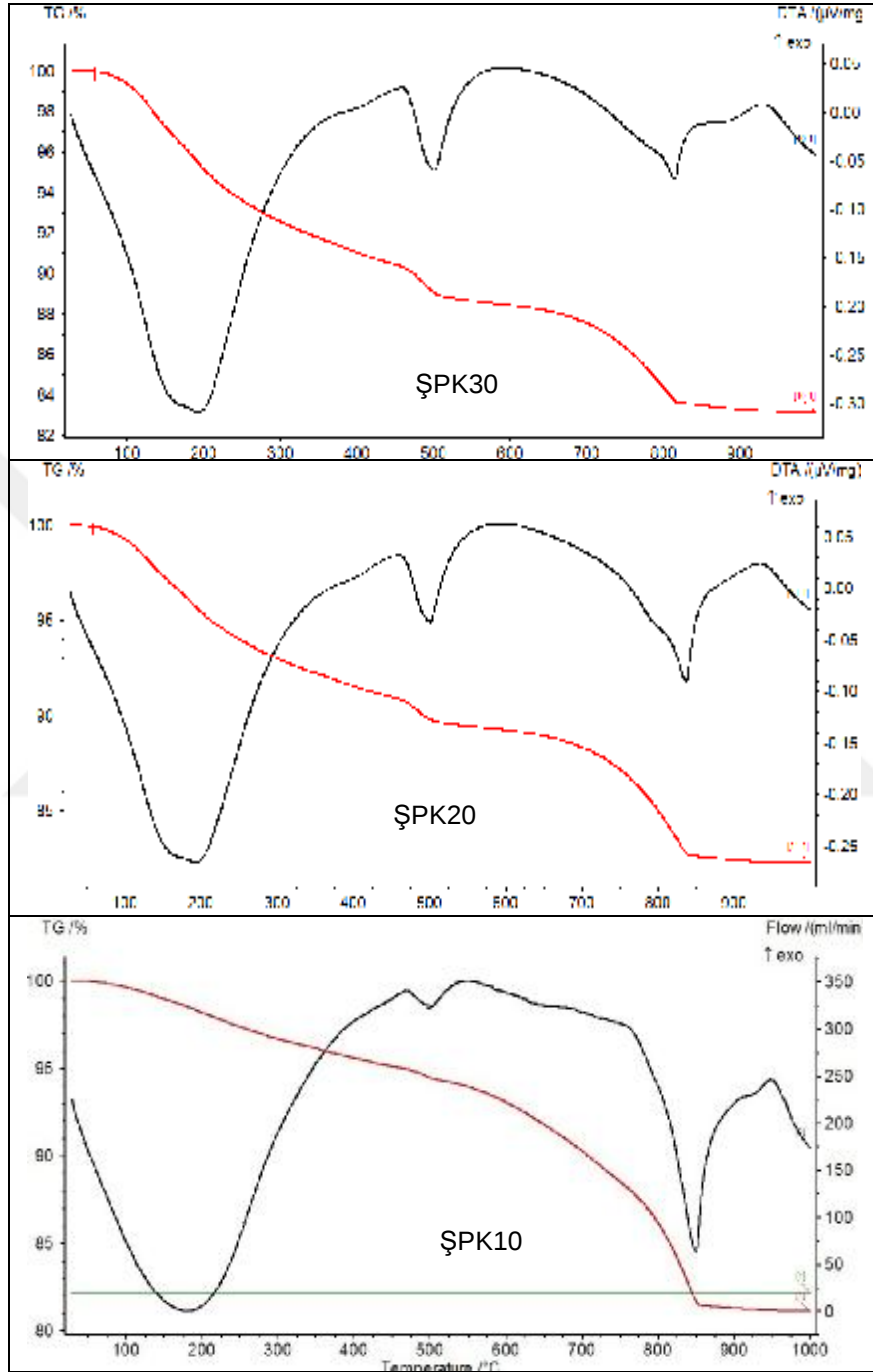
Şekil 6.43. Bazalt tozu katkılı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi



Şekil 6.44. Granit tozu katkılı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi



Şekil 6.45. Uçucu kül katkılı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi



Şekil 6.46. Şeker fabrikası filtre çamuru katkı numunelerin DTA-TGA dönüşüm eğrisi

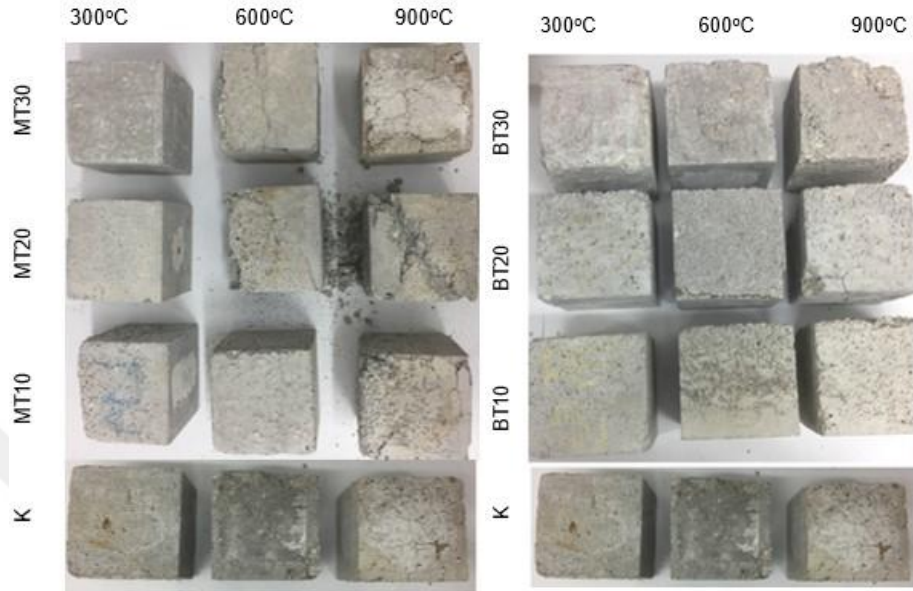
6.4.8. Yüksek Sıcaklık Deney Sonuçları

Endüstriyel atık katkılı kendiliğinden yerleşen hafif beton üretilebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonların yüksek sıcaklık karşısındaki davranışları da belirlenmiştir. Bu amaçla kendiliğinden yerleşen betonlar, üç farklı yüksek sıcaklığa (300°C, 600°C ve 900°C) maruz bırakılmış ve yüksek sıcaklığın KYHB numunelerinin görünüş, ağırlık ve basınç dayanım gibi özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

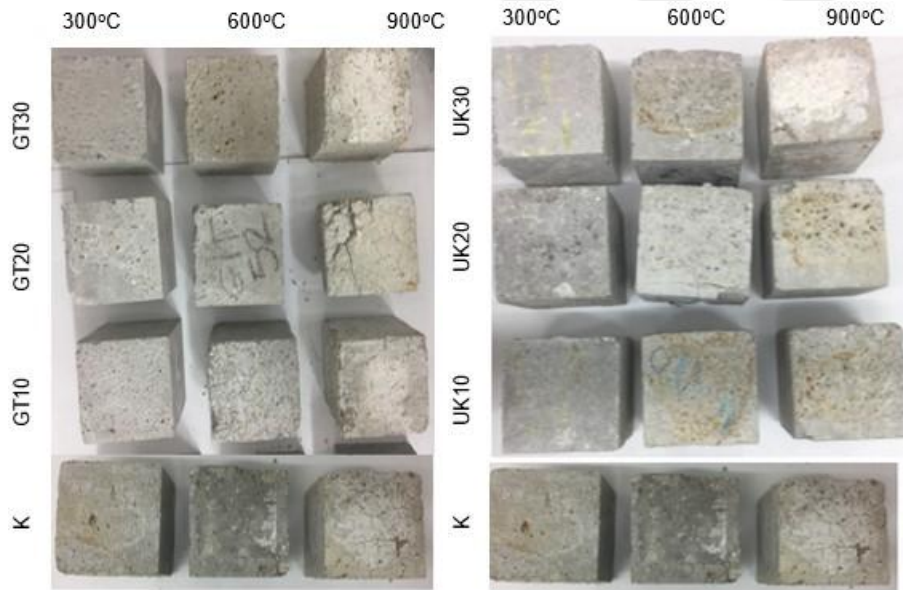
6.4.8.1. Yüksek Sıcaklığın KYHB'nin Görünüş ve Ağırlığına Etkisi

Herhangi bir nedenle yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonların, mekanik ve fiziksel özelliklerinde değişiklikler meydana gelir. Bu değişikliklerin sonucu olarak betonda çatlama, parça atma, renk değişimi ve aderansta kayıplar oluşmaktadır (Kızılkant, 2010). Tez çalışması kapsamında yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan katkısız ve katkılı kendiliğinden yerleşen hafif betonlara ait fotoğraflar Şekil 6.47 ile Şekil 6.49 arasında verilmiştir.

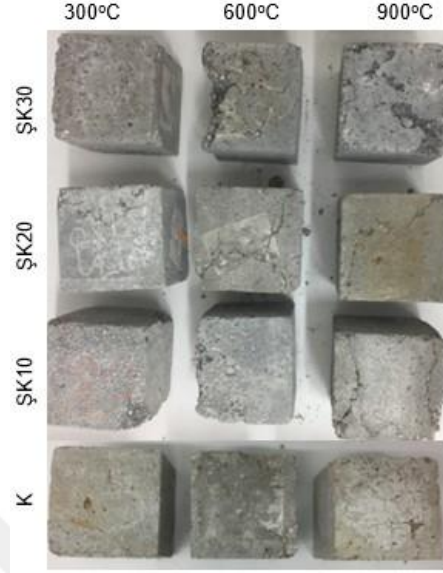
KYHB numunelerinin hepsinde sıcaklığın artması ile birlikte renk değişikliği gözlenmiştir. Genel olarak, 300°C sıcaklığa maruz kalan KYHB numunelerinin renginin pembeye, 600°C sıcaklığa maruz kalan KYHB numunelerinin renginin griye ve 900°C sıcaklığa maruz kalan KYHB numunelerinin ise renginin ise beyazımsı gri dönüştüğü görülmüştür. Ayrıca tüm KYHB numunelerinin, en fazla 900°C sıcaklıktan etkilendiği belirlenmiştir. 900°C sıcaklığa maruz bırakılan betonların, çatlama, parça atma ve renk değişimi gibi fiziksel özelliklerindeki değişikliklerin, diğer sıcaklıklara maruz kalan betonlardan daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmanın sonuçlarını desteklediği belirlenmiştir (Nevil, 2000; Al-Baghdadi, 2014).



Şekil 6.47. Mermer ve bazalt tozu katkılı beton numunelerinde yüksek sıcaklık etkisi



Şekil 6.48. Granit tozu ve uçucu kül katkılı beton numunelerinde yüksek sıcaklık etkisi



Şekil 6.49. Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunelerinde yüksek sıcaklık etkisi

Yüksek sıcaklığa maruz kalan kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin ağırlıklarında da kayıplar meydana gelmiştir. Çizelge 6.22’de yüksek sıcaklık deneyi sonrası ağırlık kaybı sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.22 incelendiğinde, yüksek sıcaklık deneyi sonrası betonların tümünde, sıcaklık artışına bağlı olarak ağırlık kayıpları meydana gelmiştir. 300°C sıcaklığa maruz kalan betonlarda %3,6 ile %2,0 oranları arasında, 600°C maruz kalan betonlarda %4,1 ile %6,8 oranları arasında ve 900°C maruz kalan betonlarda ise, %7,52 ile %10,87 oranları arasında ağırlık kayıpları olduğu tespit edilmiştir. Betonların yüksek sıcaklıklar karşısında gösterdikleri ağırlık kaybının nedeni betonun sıcaklıkla beraber bünyesinde bulunan suyun buharlaşmasıdır. Çalışma sonuçları incelendiğinden en az ağırlık kaybının 300°C sıcaklığa maruz kalan betonlarda olduğu görülmektedir. Bunun nedeni betonun yapısında bulunan boşluklaraki serbest suyunu kaybetmesidir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise beton, çimento hamurunda bulunan kalsiyum silika hidratın (CSH) katı ögelerini birbirine bağlayan adsorbsiyon suyunu kaybetmektedir. Bu nedenle ağırlık kaybı fazla

olmaktadır. Benzer şekilde, literatürdeki çalışmalarda bu görüşü desteklediği belirlenmiştir (Aköz ve ark, 1995; Akman, 2000).

Çizelge 6.22. KYHB numunelerinin farklı sıcaklıklardaki ağırlık kayıpları

NumuneKod	Ağırlık Kaybı (%)			
	20°C	300°C	600°C	900°C
Kontrol	-	-3,5	-6,8	-10,87
MT10	-	-3,1	-5,6	-9,58
MT20	-	-2,62	-5,2	-9,1
MT30	-	-2,35	-4,6	-8,1
BT10	-	-3,4	-6,6	-10,5
BT20	-	-2,93	-6,3	-10,1
BT30	-	-2,9	-5,95	-8,35
GT10	-	-3,35	-6,52	-9,72
GT20	-	-2,9	-5,82	-9,51
GT30	-	-2,76	-5,40	-8,6
UK10	-	-3,6	-7,45	-10,93
UK20	-	-3,13	-6,6	-9,7
UK30	-	-2,9	-5,4	-7,76
ŞK10	-	-2,8	-5,2	-9,3
ŞK20	-	-2,7	-4,7	-8,2
ŞK30	-	-2,0	-4,1	-7,52

6.4.8.2. Yüksek Sıcaklığın Basınç Dayanımına Etkisi

Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinde, yüksek sıcaklığın, etkisinin araştırılması amacıyla, 300°C, 600°C ve 900°C’de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmışlardır. Beton numuneleri oda sıcaklığına geldikten numuneler üzerinde basınç dayanım deneyi uygulanmıştır. KYHB numunelerinin yüksek

sıcaklık sonrası basınç dayanım kayıpları hesaplanmıştır. Çizelge 6.23'te KYHB numunelerinin farklı sıcaklıklardaki basınç dayanım kayıpları verilmiştir.

Çizelge 6.23. KYHB numunelerinin farklı sıcaklıklardaki basınç dayanım kayıpları

Numune Kodu	Dayanım Kaybı (%)			
	20°C	300°C	600°C	900°C
Kontrol	-	2,5	53,7	75,8
MT10	-	1,72	51,6	73,6
MT20	-	1,51	50,8	71,2
MT30	-	1,44	50,4	70,3
BT10	-	2,3	52,9	75,2
BT20	-	2,25	51,7	71,5
BT30	-	2,3	51,3	72,3
GT10	-	1,51	51,6	70,6
GT20	-	1,84	50,8	71,5
GT30	-	1,64	50,3	70,3
UK10	-	2,37	52,4	73,5
UK20	-	2,12	51,7	71,8
UK30	-	2,17	50,6	72,9
ŞK10	-	1,5	49,6	72,2
ŞK20	-	0,96	50,3	70,8
ŞK30	-	1,2	50,9	70,4

Çizelge 6.23 incelendiğinde, yüksek sıcaklık sonrası kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin tümünde sıcaklık artışına bağlı olarak basınç dayanım kaybı meydana gelmiştir. 300°C'ye maruz kalan betonlarda %1,50-%2,50 oranları arasında, 600°C 'ye maruz kalan betonlarda %49,6-%50,7 oranları arasında ve 900°C'ye maruz kalan betonlarda %70,4-%75,8 oranları arasında basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. Yüksek sıcaklık sonrası en fazla

dayanım kaybı, 900 °C sıcaklığa maruz kalan numunlerde gözlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde yüksek sıcaklık sonrası beton dayanım kayıplarının bu çalışma ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Yaltay ve Ekinci, 2013). 300°C'den itibaren çimento hamurunun jel yapısını oluşturan kalsiyum silikat hidrat (CSH) kristallerinin parçalanması, betonda geri dönüşü olmayan bir hasara yol açmaktadır. Dolayısıyla da bu sıcaklıktan itibaren betonda önemli mukavemet kayıpları gözlenmektedir (Handoo ve ark., 2002; Aydın ve Baradan, 2007; Tanyıldızı ve Çoşkun; 2008). Bu çalışmada da literatürdeki verilere benzer olarak, yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan örneklerde, CSH ve diğer hidratların yapılarındaki sularını kaybetmeye başlamalarından ötürü mukavemette kayıplar olduğu belirlenmiştir.

6.5. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonun Maliyet Analizi

Literatürde kendiliğinden yerleşen betonunun maliyetinin azaltılması amacıyla endüstriyel yan ürünler ve katı atıkların kullanılabilceğini belirten birçok çalışma bulunmaktadır (Ramezaniapour ve ark, 2013; Dinakar ve ark, 2013; Joshaghani, 2016). Bu çalışmada da kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde endüstriyel atık katkılarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, endüstriyel atık katkılarının KYHB'lerin maliyetine etkisinde belirlenmiştir.

Kendiliğinden yerleşen hafif betonun maliyet hesabında, 2017 yılı birim fiyatları kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan pomza agregasının birim fiyatı Maden İşleri Genel Müdürlüğü'nün, pomza madeni için belirlemiş olduğu ocak başı satış fiyatı listesinden alınmıştır. Bu listeye göre, 4-A grubu pomza madenin 2016 yılı ocak başı satış fiyatı 18TL/ton'dur. Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı katkı ve hava sürükleyici katkı birim fiyatlarının belirlenmesinde, BASF beton katkı firmasının internet sitesinden yararlanılmıştır. Beton karma suyu birim maliyetinin hesaplanmasında, Van ili Su ve Kanalizasyon idaresinin 2017 yılı için belirlemiş olduğu su bedeli listesinden yararlanılmıştır.

Maliyet analizindeki birim fiyatlar işçilik hariç olarak hesaplanmıştır. Yapılan maliyet analizi, yalnızca hammadde giderlerini kapsamakta olup, işçilik, taşıma ve yerleştirme gibi giderleri kapsamamaktadır. Sonuçlar irdelenirken işçilik, beton tesisinin hammaddeye uzaklığı ve beton üretim maliyetinde değişiklik gösterebilecek diğer unsurlar dikkate alınmalıdır. Çünkü kullanılacak mineral katkının üretim yapılan yere mesafesinin artması birim maliyeti çok fazla etkiler. Hesaplarda, atık malzemelerin hammadde maliyeti sıfır kabul edilmiş, betonun toplam maliyetine etki eden en önemli kalemlerin çimento ve akışkanlaştırıcı katkı olduğu belirlenmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif betonda kullanılacak malzeme birim maliyet analizi Çizelge 6.24'te ve kendiliğinden yerleşen hafif betonda kullanılacak malzeme birim fiyatları verilmiştir.

Çizelge 6.24. Kendiliğinden yerleşen hafif betonda kullanılacak malzeme birim fiyatları

Malzeme	Birim Fiyat (TL/kg)
Çimento	0,224
Agrega	0,018
Akışkanlaştırıcı Katkı	3,75
Hava sürükleyici Katkı	3,10
Su	0,0066
Endüstriyel Atık Katkısı	-

Çizelge 6.25'te ve kendiliğinden yerleşen hafif betonların maliyet analizi sonuçları verilmiştir. Çizelge 6.25'te verilen maliyet analiz sonuçları incelendiğinde, kontrol beton karışım maliyetinin diğer beton karışımlarından yüksek olduğu görülmüştür. Ancak, kendiliğinden yerleşen hafif betonların işlenebilirlik, basınç dayanım, ısı iletkenlik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda en iyi özelliği gösteren betonun %20 uçucu kül katkısı yapılan beton olduğu belirlenmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif betonların tüm deney

sonuçları ve maliyet analizi bir arada değerlendirildiğinde, endüstriyel atıkların tamamının çimento oranının %10'una kadar kullanılmasının hem çevresel hem de ekonomik açıdan yarar sağlayacağı düşünülmektedir.

Çizelge 6.25. Kendiliğinden yerleşen hafif betonların maliyet analizi

Kod	Çimento	Agrega	Akış.	Hava. S.	Su	Toplam
Kontrol	123,2	10,82	28,05	3,41	1,45	166,93
MT10	110,8	10,82	28,25	3,41	1,45	154,73
MT20	98,5	10,82	28,46	3,41	1,45	142,64
MT30	86,2	10,82	28,87	3,41	1,45	130,75
BT10	110,8	10,82	28,05	3,41	1,45	154,53
BT20	98,5	10,82	27,84	3,41	1,45	142,02
BT30	86,2	10,82	27,63	3,41	1,45	129,93
GT10	110,8	10,82	28,05	3,41	1,45	154,53
GT20	98,5	10,82	28,05	3,41	1,45	142,23
GT30	86,2	10,82	27,84	3,41	1,45	129,72
UK10	110,8	10,82	27,63	3,41	1,45	154,11
UK20	98,5	10,82	27,22	3,41	1,45	141,4
UK30	86,2	10,82	26,81	3,41	1,45	128,69
ŞK10	110,8	10,82	34,03	3,41	1,45	160,51
ŞK20	98,5	10,82	35,06	3,41	1,45	149,24
ŞK30	86,2	10,82	39,18	3,41	1,45	141,1

6.6. Endüstriyel Atık Katkılı KYHB'lerin Genel Değerlendirmesi

Endüstriyel atık katkılarının kendiliğinden yerleşen hafif betonların özelliklerine etkisinin genel değerlendirilmesi Çizelge 6.26'da verilmiştir.

Çizelge’de endüstriyel atık katkı çeşitlerinin ve atık katkı oranlarının kendiliğinden yerleşen hafif betonların taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerine etkileri ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.26. Endüstriyel atık katkılarının KYHB özelliklerine etkisinin değerlendirilmesi

Özellik	K	Mermer Tozu				Bazalt Tozu			Granit Tozu			Uçucu Kül			Şeker Fabrikası Atık Külü		
		0	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Çökme Yayılma	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	2
V Hunisi	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
L Kutusu	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
U Kutusu	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
Basınç Dayanımı	4	4	3	2	4	3	2	4	3	2	4	4	4	3	4	2	2
Ultrases Geçiş Hızı	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4
Isı İletken	3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4
Yüksek Sıcaklık	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Maliyet	2	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	2	3	4
Notasyon	1: Zayıf, 2: Orta, 3: İyi, 4: Çok İyi																

Kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde endüstriyel katkı olarak mermer tozu kullanımı taze beton özellikleri açısından değerlendirildiğinde, mermer tozunun çimento ile %10 ve %20 oranında kullanılması hem taze beton özellikleri açısından hem de mermer tozu katkılı KYHB karışımında kullanılan akışkanlaştırıcı katkı oranı açısından uygun olduğu görülmektedir. Mermer tozu katkısının %30 oranında kullanımının, betonun doldurma ve geçebilme yeteneğini olumsuz etkilediği ve akışkanlaştırıcı katkı gereksinimini arttırdığı görülmüştür.

Bazalt tozu, granit tozu ve uçucu kül katkılarının %30 oranına kadar kullanımının taze beton özelliklerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Bu

katkılar arasında taze beton özellikleri ve akışkanlaştırıcı katkı gerekesinimini azaltması bakımından en iyi özelliğe sahip karışımın uçucu kül katkılı betonlar olduğu tespit edilmiştir. Uçucu kül katkı oranının en çok %20 oranına kadar kullanılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu oranın üzerinde kullanılması durumunda betonda segregasyon riski söz konusu olabilir. Şeker fabrikası filtre çamurunun, kendiliğinden yerleşen hafif beton karışımlarında %10 oranına kadar kullanımının optimum olduğu tespit edilmiştir. Bu oranın üzerinde şeker fabrikası filtre çamuru kullanımının betonun su ve akışkanlaştırıcı gerekesinimini artırması nedeniyle taze beton özelliklerini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Kendiliğinden yerleşen hafif betonlarda endüstriyel atık katkısı kullanımının, beton basınç dayanımına etkisi değerlendirildiğinde, uçucu kül katkısının %20 oranına kadar kullanılabileceği ve diğer katkıların ise %10 oranına kadar kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bu oranların üzerinde kullanılması durumunda beton basınç dayanım kaybının %10'un üzerinde olduğu görülmüştür.

KYHB'lar maliyet açısından karşılaştırıldığında %20 uçucu kül katkısı kullanımının olduğu tespit edilmiştir. Ancak, endüstriyel atık katkılı betonların tüm özellikleri gözönüne alındığında, endüstriyel atıkların tamamının çimento oranının %10'una kadar kullanılmasının hem çevresel hem de ekonomik açıdan yarar sağlayacağı tespit edilmiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde endüstriyel atık malzemeler kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, endüstriyel atıklar, çimento ile %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek, hafif beton karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan betonlar üzerinde gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Çalışma kapsamında üretilen kontrol ve endüstriyel atık katkılı tüm betonların, EFNARC raporunda belirtilen Kendiliğinden yerleşen beton kabul kriter değerlerini sağladığı belirlenmiştir. Bu rapora göre; MT10, ŞK10, ŞK20 ve ŞK30'un SF1 sınıfında olduğu ve diğer tüm karışımların SF2 sınıfında olduğu tespit edilmiştir.
2. KYHB karışımları arasında, mermer tozu katkılı karışımlarının taze beton özellikleri değerlendirildiğinde, mermer tozu katkı oranı artışının betonun yayılma çapını azalttığı, yayılma süresini uzattığı belirlenmiştir. Mermer tozlarının köşeli bir yüzey alanına sahip olması ve yüzey alanlarının fazla olması hem betondaki su gereksinimi artırmıştır hem de betonun işlenilebilirliğinin azalmasına neden olmuştur.
3. KYHB karışımlarında, uçucu külün çimento ile ikame oranının artmasının, taze betonun işlenilebilirlik özelliklerini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Ayrıca, katkı oranı artışının akışkanlaştırıcı gereksinimini azalttığı belirlenmiştir. Bunun nedeni, F tipi uçucu küllerin bu tez kapsamında yapılan SEM analizi ile desteklendiği gibi küresel bir yapıya sahip olması dolayısıyla da taneler arasındaki içsel sürtünmeyi azaltarak işlenilebilirliği artırması olarak açıklanabilir. Bir başka neden ise, uçucu külün yoğunluğunun (2,35), çimento yoğunluğundan (3,09) düşük olmasıdır. Bunun da beton harç hacminin artmasında ve betonun işlenilebilirliğini artırmada etkili olduğu düşünülmektedir. Fakat çalışma

kapsamında kullanılan diğer endüstriyel atıkların yoğunluklarının da çimento yoğunluğundan düşük olması nedeni ile bu faktörün tek başına işlenilebilirliği artırmada etkili olmadığını ortaya koymaktadır.

4. KYHB karışımlarının kuru birim ağırlık ve ısı iletkenlik özelliklerinin birbiriyle ilişkili olduğu ve endüstriyel katkı oranı artışıyla birlikte azaldığı belirlenmiştir.
5. KYHB karışımları basınç dayanımları karşılaştırıldığında, en yüksek basınç dayanım kayıplarının şeker fabrikası filtre çamuru katkılı betonlarda olduğu en az basınç dayanım kaybının ise %10 uçucu kül katkılı betonlarda olduğu tespit edilmiştir. Basınç dayanımları kayıpları incelendiğinde, %10 oranında katkı yapılan tüm betonların dayanım kayıplarının %10'nun altında olduğu belirlenmiştir. Betonlar hem dayanım hem de işlenilebilirlik açısından değerlendirildiğinde %10 oranında kullanılabileceği belirlenmiştir.
6. Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerine ait SEM görüntü incelemelerinde endüstriyel katkı oranı artışının etkileri, CSH jelinin belirgin olmayışı nedeniyle yeterince açıklanamıştır.
7. DTA/TGA grafikleri incelendiğinde, kendiliğinden yerleşen hafif beton numuneleri arasında en yüksek toplam kütle kayıplarının ana yapısının CaCO_3 olmasına bağlı olarak mermer tozu katkılı betonlar olduğu gözlenmiştir.
8. Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayılarının 0,19 W/mK ile 0,69 W/mK arasında değiştiği ve hepsinin ısı iletkenlik katsayılarının 0,75 W/Mk'nın altında olması nedeniyle yapısal ve yalıtım özellikli betonlar sınıfına girdiği tespit edilmiştir.
9. Kendiliğinden yerleşen hafif beton numunelerinin; 7 ve 28 günlük ultra ses geçiş hızları karşılaştırıldığında, en yüksek ultra ses geçiş hızı değerinin 3,32 kn/sn ile kontrol betonuna ait olduğu, en düşük değer ise 2,52 kn/sn

ile %30 Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı karışıma ait olduğu görülmüştür.

10. Endüstriyel atıkların betonun sertleşmiş özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, en iyi özellikleri sergileyen betonun uçucu kül katkılı betonlar olduğu belirlenmiştir. Bu olayda, uçucu külün yüksek işlenilebilirlik özelliğine sahip olması ve dolayısıyla da betonun konulduğu kalıba kusursuz bir şekilde yerleşmesini sağlaması gibi nedenlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, uçucu küllerin betonda sadece boşluk doldurma etkisi göstermediği aynı zamanda puzolanik özellikde gösterdiği bilinmektedir.
11. Kendiliğinden yerleşen hafif beton numuneleri, yüksek sıcaklığın, etkisinin belirlenmesi amacıyla, 300°C, 600°C ve 900°C’de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmışlardır. Yüksek sıcaklık deneyi sonrası, betonların tümünde sıcaklık artışına bağlı olarak yapı içerisindeki su fazının uzaklaşmasına ve bu esnada beton içerisinde çatlaklar oluşturmasına bağlı olarak basınç dayanım kayıpları meydana gelmiştir.
12. KYHB’lara ait tüm deney sonuçları ve maliyet analizi bir arada değerlendirildiğinde, endüstriyel atıkların tamamının çimento oranının %10’una kadar kullanılabileceği tespit edilmiştir.
13. Sonuç olarak, ülkemizde her yıl tonlarca endüstriyel atık ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların, kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde değerlendirilmesi, hem sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmuş olacak hem de doğal kaynaklarımızın ve çevremizin korunmasına büyük katkı sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- Abdellaziz, G.E., 2009. A Study on The Performance of Lightweight Self-Consolidated Concrete, Magazine of Concrete Research, 2009, 61, No. 00, Month, 1–11.
- Acar, İ., Robl, T.L., Atalay, M.U., 2016. Separation of ultrafine particles from class F fly ashes, E S Web of Conferences 8, DOI: 10.1051/ 3 0 010 8 MEC2016 51 51
- Acchar, W., Vieira, F.A., Hotza, D., 2006. Effect of marble and granite sludge in clay materials. Mater. Sci. Eng. A, 419:306-309.
- Açıkgenç, M., Alyamaç, E.K., ve İnce, R., 2012. Mermer Tozu İle Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Betonların Dayanım Özelliklerinin Yapay Sınır Ağları Kullanılarak Belirlenmesi. SDU International Technologic Science, 4(3):72-79.
- Açıkel, H., ve Günaydın, M., Nevşehir Bims Agregasından Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Üretilmesi. 7. Ulusal Beton Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası, 28-30 Kasım 2007, İstanbul, 145-154.
- Afshar, P.G., Honarvar, M., Gharachorloo, M., Eshraty, P., Bazvar, B., 2014. Investigation of the Physico-Chemical Properties of Press Mud: A Sugar Industry. Waste, Advances in Environmental Biology, 8(13):1053-1058.
- Ağdağ, O., ve Kırımhan, S., 1999. Denizli Organize Sanayi Bölgesinde Endüstriyel Katı Atık Durumu ve Geri Kazanımı. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 1(2): 47-58.
- Alkaya, E., Ergüder, T.H., Demirer, G.N., 2006. Şeker Endüstrisinde Temiz Üretim Olanakları, Şeker Fabrikalarında Atıksu Problemleri, Çözüm Yolları, Atıksu Arıtma Alternatifleri, Verimli Su Kullanım Semineri, Türk Şeker Fabrikaları Genel Müdürlüğü, 12 Aralık 2006, Ankara.
- Akman, M.S., 1990. Yapı Malzemeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

- Aksoy, T., Danişman, S., 1989. Döner amurunun Kireçleme Amacıyla Kullanılması Üzerine Bir Araştırma. Toprak İlmi Derneği, 10. Bilimsel Toplantı Tebliğleri, s.43-45.
- Akyüz S., 1991. Boşluk Oranı ve Geometrisinin Betonun Basınç Dayanımına Etkisi. Yüksek Dayanımlı Betonda Boşluk Yapısı. 2. Ulusal Beton Kongresi,İstanbul, s.53-66.
- Al-Baghdadi, M.H.M., 2014. Effect of High Temperature on Some Properties of Lightweight concrete, Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences, 7:2:177-188.
- Aliabdo, A.A., Elmoaty, AE., Auda, E.M., 2014. Re-Use of Waste Marble Dust In The Production Of Cement and Concrete. Construction and Building Materials, 50: 28-41.
- Alfi., E.A., Gado, R.A., 2016. Preparation of calcium sulfoaluminate-belite cement from marble sludge Waste, Construction and Building Materials 113:764-772.
- Alonso, C., Andrade, M., Castello, M and Khoury, G.A., 2003. Microstructure Solid Phases Course on Effect of Heat on Concrete. International Centre for Mechanical Sciences, Italy.
- Alyamaç, E.K, 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Lineer Olmayan Kırılma Mekaniği Prensipleriyle İncelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 105s.
- Alyamaç, K.E., ve İnce, R., 2007. Atık Mermer amurunun Kendiliğinden Yerleşen Betonda Toz Madde Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. 3. Uluslararası TMB Sempozyumu
- Alyamaç, K. E., and İnce, R., 2009. A Preliminary Concrete Mix Design for SCC With Marble Powders. Construction and Building Materials, 23:1201-1210.

- Alyamaç, K.E., and İnce, R., 2013. Investigation of Fracture Parameters of Self-Compacting Concrete Produced with Marble Powder by Peak-Load Method. Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies (SCMT3), 18-21 Agu 2013, Kyoto Research Park., Japan.
- Alyamaç, K.E., Ghafari, E., İnce, R., 2017. Development of Eco-Efficient Self-Compacting Concrete with Waste Marble Powder Using the Response Surface Method. Journal of Cleaner Production 144:192-202.
- Andrade, C., Alonso, C., Khoury, G.A., 2003. Relating Microstructure to Properties. Course on Effect of Heat on Concrete. International Centre for Mechanical Sciences (CISM), Italy.
- Anonim, 2011. Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı Raporu, www.daka.org.tr.
- Anonim, 2016. Türkiye Cumhuriyeti Ekonomi Bakanlığı, Doğaltaş Sektör Raporu, www.ekonomi.gov.tr.
- Ardalan, R.B., Joshaghani, A., Hooton, R.D., 2017. Workability retention and compressive strength of self-compacting concrete incorporating pumice powder and silica fume, Construction and Building Materials 134 (2017) 116–122.
- Arı, K., 2009. Dolgulu Duvar Blokları İmali ve Isı İletim Katsayılarının Karşılaştırılması. Çukurova Üniveristesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Doktora Tezi, 245s.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A.O., 2006. Beton Agregaları Çözümlü Problemleri- Bilgi Föyleri. 2. Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul, 287s.
- Arshad, A., Shahid, I., Anwar, U.H.C., Baig, M.N., Khan, S., Shakir, K., 2014. The Wastes Utility in Concrete, International Journal of Environment Research, 8(4):1323-1328.
- Aruntaş, Y.H., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, ve R., Şimşek, O., 2007. Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, s.173-180.

- Aruntaş, H.Y., 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 2, No:1, 193-203.
- ASTM C-125, 1994. Standart Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. Annual book of ASTM Standarts.
- ASTM C 1113-90, 1990. Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire. Annual Book of ASTM Standarts, 4(2), West Conshohocken, PA.
- Awol, A., 2011.Using Marble Waste In Cement and Concrete Production, Addis Ababa University, MSc Thesis, s135.
- Aydın S., Baradan B., 2003, Yüksek sıcaklığa dayanıklı bağlayıcı geliştirilmesi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 5. Ulusal Beton Kongresi, sayfa 451-460, İstanbul.
- Azizi, S., 2007. Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Baba, A., 2000a. Yatağan (Muğla) termik santral, atıklarının çevre jeolojisi açısından incelenmesi, Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü {yayımlanmamış}.
- Bacarji, E., Toledo Filho, R.D., Koenders, E.A.B., Figueiredo, E.P., Lopes, J., 2013. Sustainability Perspective of Marble and Granite Residues as Concrete Fillers. Constr. Build.Mater.45: 1-10.
- Baradan, B., 2004. Yapı Malzemesi II. DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları Yayın No: 207, İzmir, 221s.
- Baradan, B., Yazıcı, H., ve Ün, H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Bartos, P., 1992. Fresh concrete Properties and Tests. Elsevier Publ, pp 7-187.

- Basheer, L., Basheer, P.A.M., Long, A.E., Influence of Coarse Aggregate on the Permatation, Durability and the Microstructure Characteristics of Ordinary Portland Cement Concrete. *Construction and Building Materials*, 19: 682-690.
- Bazant, Z.P. and Kaplan, M.F., 1996. *Concrete at High Temperatures*. Longman Group Limited, London.
- Berry, E., Malhotra, V.M., 1986. *Fly Ash in Concrete*, Energy, Mines and Resources Canada: CANMET, Ottawa, 223-229s.
- Beycioğlu, A., Başıyigit, C., ve Subaşı, S., 2008. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı İle Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması. *Çevre Sorunları Sempozyumu Kocaeli*, 14-17 Mayıs 2008, 1386-1394.
- Bilgin, Ö., KOÇ, E., 2013. Mermer Madenciliğinde Çevresel Etkiler, *Madencilik Türkiye Dergisi*, s.68-79.
- Bilgen G., Kavak A., Yıldırım S. T., Çapar Ö. F., 2010. Yüksek Fırın Cürufunun İnşaat Sektöründeki Yeri ve Önemi, 2. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi (UKAY), Ekim 2010.
- Bilim, C., 2006. Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 206s.
- Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü, 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2012. Food and Agricultural Commodities Production (15.12.13). <http://faostat.fao.org/site/339>.
- Blanco, F., Garcia, P., Mateos, P., Ayala, J., 2000. Characteristics and properties of lightweight concrete manufactured with cenospheres, *Cement and Concrete Research*, 2000;30:1715–22.
- Boğa, A.R., Kürklü, G., ve Ergün, A., 2014. Mermer Tozu Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. ISEM 2014, Adıyaman.

- Bonavetti, V.L., Rahhal, V.F., Irassar, E.F., 2001. Studies on the Carboaluminate Formation in Limestone Filler-Blended Cements. *Cement Concrete Research*, 31: 853–859.
- Bonavetti, V., Donza, H., Menendez, G., Cabrera, O., Irassar, E.F., 2003. Limestone filler cement in low w/c Concrete: A Rational Use Of Energy. *Chemical Concrete Research*, 33(6):865-871.
- Bozkır, H., 2012. Çimento ve Çimento Türleri. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Semineri, 10 Mayıs 2012.
- Börüban A., 2013. Çelikhane Cürufunun Ekonomiye Katılması, Endüstriyel Simbiyoz ve Temiz Üretim Ar-ge Proje Pazarı, Adana Sanayi Odası Toplantı Salonu (Adaso).
- Bui, V. K., Montgomery, D., Hinczak, I., and Turner, K., 2002. Rapid Testing Method for Segregation Resistance of Self Compacting Concrete. *Cement and Concrete Research*.
- Büyükhatipoğlu, H., ve Uçar, İ., 2017. Termik Santral Yapım Sürecinde Edinilen Deneyimler Işığında Dikkat Edilmesi Gerekenler, Makine Mühendisliği Oda Raporu, Türkiyede Termik Santraller 2017, 367-379.
- Bye, 1983. Portland Cement Composition Production and Properties. Blue Circle Ink, U.K. pp.105-108.
- Care, S., 2008. Effect of Temperature on Porosity and On Chloride Diffusion in Cement Pastes. *Construction and Building Materials*, 22(7):1560-1573.
- Careddu, N., Siotto, G., Siotto, R., Tilocca, C., 2013. From Landfill to Water, Land and Life: the Creation of the Centre for Stone Materials Aimed at Secondary Processing, *Resour. Policy* 38(3):258-265.
- Carlos C., 2008. Microscopic Observations of Internal Frost Damage and Salt Scaling. PhD Thesis, University of California, Berkeley.
- Chandra, S., Berntsson, L., 2002. Lightweight Aggregate Concrete Sciences, Technology and Applications, Noyey Publications, Goteborg, 110 s.

- Chindaprasirt, P., Rattanasak, U., 2011. Shrinkage behavior of structural foam lightweight concrete containing glycol compounds and fly ash. *Mater. Des.* 32:723-727.
- Clarke, J.L., 2010. Hafif Agregalı Yapısal Beton. Britanya Çimento Birliği, Crowthorne, 282 s.
- Colleparidi, M., 2001. A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC), Unpublished Data, 10s.
- Corinaldesi, V., Moriconi, G., Naik, T.R., 2010. Characterization of Marble Powder for its Use in Mortar and Concrete. *Construction and Building Materials*. 24(1):113-117.
- Çavdar, Z., ve Sağlam, A.R., 1998. Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulaması. *Sika Teknik Bülten*, Yıl 1, Sayı 3.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2015. Maden Atıkları Yönetmeliği, Resmi Gazete 29417 (15 Temmuz 2015).
- Çınar, S.M., 2011. Mermer Makinelerinde İleri Seviye Kontrol Uygulamaları, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 127 s.
- Çelik, A.G., 2010. Bor Katkılı Perlit Karışımlardan Hafif Tuğla Üretimi ve Teknolojik Özelliklerin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Doktora Tezi, 317s.
- Çelik, M.Y., Tur, Ş., 2012. Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesi Doğal Taş Atık Depolama Sahasındaki Mermer Atıklarının Özelliklerinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 12:9-15.
- Çiftçi, E., 2003. Yer Bilimleri Teknik Terim Sözlüğü, Niğde.
- Çiftçi, Y., Işık, M.A., Alkeveli, T., Yeşilova, Ç., 2008. Van Gölü Havzasının Çevre Jeolojisi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 59:45-77.
- Dadsetan, S., Bai, J., 2017. Mechanical and microstructural properties of self-compacting concrete blended with metakaolin, ground granulated blast-furnace slag and fly ash *Construction and Building Materials* 146 (2017) 658–667.

- Dal, M., Kılınç, C., Eren, E., ve Işık, A., 2013. Beton Teknolojisi ve Beton Teknolojisi Laboratuvarı. 1.Baskı, Mimarlık Vakfı İktisadi İşletmesi, İstanbul, 164s.
- Dalmora A.C., Ramos, C.G., A, Oliveira, M.L.S., Teixeira, E.C., Kautzmann, R.M., Taffarel A.S.R., Brum, I.A., Silva, L.F.O., 2016. Chemical characterization, nano-particle mineralogy and particle size distribution of basalt dust wastes, *Science of the Total Environment* 539:560–565.
- Davraz, M., 2001. Pomzanın Endüstriyel Kullanım Alanları. Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi, Isparta.
- Delikurt, B.C., Sevim, U.K., 2015. Sugözü uçucu külünün betonun mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4(1): 47-58.
- Delgado, A. H., Paroli, R. M., Beaudoin, J. J., 1996. Comparison of IR techniques for the characterization of construction cement minerals and hydrated products. *Applied Spectroscopy*, 50(8):970–976.
- Demir, İ., Başpınar, S.M., Abadan, S., Kahraman, E., ve Ünal, O., 2014. Mermer Tozunun Gazbeton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. ISEM 2014, Adıyaman, Turkey, 1292-1301s.
- Demir, A., 2008. Kiremit Kırığı Agregalı Betonlarda Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Doktora Tezi, 135s.
- Demirboğa, R., Gül, R., Habib, U., and Düzgün, A.O., 2000. The Effect of Silica Fume and Fly Ash on the Thermal Conductivity of Lightweight Aggregate Concrete. *Prog. 2nd International Symposium on Structural Lightweight Aggregate Concrete*, Kristiansand, Norway, 501-503s.
- Demirboğa, R. 2003. Influence of mineral admixtures on thermal conductivity and compressive strength of mortar. *Energy and Buildings* 2003;35:189–92.

- Demirboga, R., 2007. Thermal conductivity and compressive strength of concrete incorporation with mineral admixtures, *Building and Environment* 42 (2007) 2467–2471.
- Demirci, E.E., 2012. Kendiliğinden Yerleşen ve Geleneksel Betonun Durabilite Potansiyellerinin Betonarme Kirişlerden Alınan Karot Örnekler Üzerinden Karşılaştırılması, Atatürk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği , Doktora Tezi, 175s.
- Demirel, B., 2010. The Effect of The Using Waste Marble Dust as Fine Sand On The Mechanical Properties of The Concrete. *International of Journal Physical Sciences*, 5(9):1372-1380.
- Demirel, B., ve Yazıcıoğlu, S., 2010. İnce Malzeme Olarak Kullanılan Atık Mermer Tozunun Betonun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, *International Sustainable Buildings Symposium*, May 26-28, 2010, Ankara, 172-175s.
- Derun, E.M., Tugrul, N., Lkhagva, T., ve Pişkin, S., 2010. Pelletisation of Fly Ashes as a Lightweight Aggregate, *Advances in Cement Research*, 22(2):99-105.
- Dikmen, Ç., 2017. Kömür Yakıtlı Termik Santrallerin Çevreye Olumsuz Etkileri ve Bu Etkilerin Bertarafı, *Türkiyede Termik Santraller 2017 Makine Mühendisleri Oda Raporu*, MMO/668, 263-275.
- Dina, M.S., El-Attari, M.M., Haitham, A.A., 2016. Reusing of marble and granite powders in self compcting concrte for sustainable development. *Journal of clenear production*, 121: 19-32.
- Dinakar, P., Babu, K.G., and Santhanam, M., 2008. Durability properties of high volume fly ash self compacting concrete mixtures. *Structural Concrete*, 9(2): 109-116.
- Dinakar, P., Sethy, K.P., Sahoo, U.C., 2013. Design of self-compacting concrete with ground granulated blast furnace slag, *Mater. Des.* 43 (2013) 161–169.

- Dinçer, R., ve Çağatay, İ.H., 2004. Pomza İle Yapılan Hafif Betonların Mekanik Özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(2):247-260.
- Durmuş, G., Arslan, M., 2009. Yüksek Sıcaklığın Betonun Boşluk Yapısına Etkileri. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye,
- Efe, T., 2011. Edremit Travertenleri ve Van Gölü Kuzeyinde Yüzeylenen Pomzaların Çimento Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, Van, 146s.
- EFNARC, 2005. Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete.
- EFNARC, 2002. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete.
- Elyamanay, H.E., Elmoaty, A.E., Mohamed, B., 2014. Effect of filler types on physical, mechanical and microstructure of self compacting concrete and Flow-able concrete, Alexandria Engineering Journal 53:295–307.
- Emiroğlu, M., Koçak, Y., Subaşı, S., 2011. Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- Emrullahoğlu, Ö.F., ve Çelik M.Y., 1999. Mermer atıklarından polyester bağlayıcılı suni mermer blok ve levha üretiminin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(1):15-35.
- EPDK, 2016. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu 2016 yılı Faaliyet Raporu, (www.epdk.org.tr/TR/Dokumanlar/SGD/YayinlarRaporlar/Faaliyet/2016.pdf).
- Erdem, R.T., Öztürk, ve A.U., 2012. Mermer Tozu Katkısının Çimento Harcı Donma Çözünme Özellikleri Üzerine Etkisi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 1(2): 85-91.
- Erdoğan, T. Y., 1997. Admixtures for Concrete. Middle East Technical University, s. 188, Ankara.

- Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Ankara, 741s.
- Erdoğan, Y., 2007. Asidik ve Bazik Pomzadan Üretilen Yapı Malzemelerinin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Doktora Tezi, 300s.
- ERMCO, 2005. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification. Production and Use, The European Ready-mix Concrete Organisation, 10-68s.
- ERMCO, 2010. European Ready Mixed Concrete Organization Statistics.
- Eroğlu, L., Şahmaran, M., Yaman, İ.Ö., ve Tokyay, M., O., 2007. Karışım Parametrelerinin Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Belirlenmesi, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, s.249-259.
- Ersoy, M., 2010. Memer Ocaklarında Delme Çatlatma Yönteminde Üretim Planlaması ve Hesap Çizelgesi Programında Uygulanması, Türk Bilim Araştırma Vakfı Dergisi, 3(1): 23-34.
- Erkoyun, H., 2005. Pomzanın Türkiye'deki Yeri ve Önemi, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi Bildirimler Kitabı, s.1-7s.
- Esenli, F., 1999. İstanbul Maden İhracatçıları Birliği Endüstriyel Mineraller Envanteri. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, s.169-172.
- Esping, O., 2008. Effect of Limestone Filler BET(H₂O)-Area on the Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete, Cement and Concrete Research, 38:938–944.
- ETKB, 2016. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Genel Müdürlüğü, 2014 Yılı Genel Enerji Dengesi.
- Fang W., Jianxiong C., Changhui Y., (1999). Studies on self-compacting high performance concrete with high volume mineral additives, Proceedings of the First International RILEM Symposium, pp. 569-578.

- Fares, H., Remond, S., Noumowe, A. and Cousture, A., 2010. High Temperature Behavior of Self-Consolidating Concrete Microstructure and Physicochemical Properties. *Cement and Concrete Research*, 40: 488-496.
- Felekoğlu, B., ve Baradan, B., 2004, Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri. *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*. pp.234-243, 10-12 Haziran.
- Felekoğlu, B., Türkel, S., ve Baradan, B., 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton: bölüm 1, Genel tanıtım, kullanım alanları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Haber Bülteni, 19(117): 20-24.
- Felekoğlu, B., Türkel, S., Baradan, B., 2007. Effect of Water/Cement Ratio on the Fresh and Hardened Properties of Self Compacting Concrete. *Building and Environment*, 42(4):1795-1802.
- Felekoğlu, B., ve Felekoğlu, K., 2014. Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretiminde Polikarboksilat Esaslı Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Kullanımı. *Hazır Beton Dergisi*, Temmuz-Ağustos 2014, 124: 60-69.
- Ferraris, F.C., 1996. Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete. State of the Art Report, Building Fire Research Laboratory, Gaithersburg, Maryland 20899.
- Gao, X., Yuan, B., Yu, Q.L. Brouwers, H.J.H. 2017. Characterization and application of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash and waste granite powder in alkali activated slag, *Journal of Cleaner Production* 164 : 410-419.
- Gameiro, F., de Brito, J., da Silva, D.C., 2014. Durability Performance of Structural Concrete Containing Fine Aggregates from Waste Generated by Marble Quarrying Industry. *Eng. Struct.* 59:654-662.
- Gesoğlu, M., Güneyisi, E., Kocabağ, M.E., Bayram, V., Mermerdaş, K., 2012. Fresh and Hardened Characteristics of Self Compacting Concretes Made with Combined Use of Marble Powder, Limestone Filler, and Fly ash. *Constr. Build. Mater.* 37:160-170.

- Ghannama, S., Najmb, H., Vasconez, R., 2016. Experimental study of concrete made with granite and iron powders as partial replacement of sand, *Sustainable Materials and Technologies* 9:1–9.
- Ghrichi, M, Kenai, S, Said, M.M., Kadri, E., 2006. Some Engineering Properties of Concrete Containing Natural Pozzolana and Silica Fume. *J Asian Architect Build Eng* 5:349–354.
- Gökçe, M., Dalmış, K., Şimşek, O., 2009. Farklı Tip Akışkanlaştırıcı Katkı ile Değişik Oranlarda Mermer Tozu İkame Edilen Betonların Performansları, *Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s 215-224.
- Gökçer, B., Yıldız, S., ve Keleştemur, O., 2013. Atık Mermer Tozu ve Cam Lif Katkılı Harç Numunelerin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları, *SDU, International Journal of Technologic Sciences*, 5(2): 42-55.
- Gönen, T., Onat, O., Cemalgil, S., Yılmaz, B., Altuncu, Y.T., 2012. Beton Teknolojisi İçin Yeni Atık Malzemeler Üzerine Bir İnceleme, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1):36-43.
- Gönen, T., Yazıcıoğlu, S., ve Bozkurt, N., 2011. Pomza Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Direnci. *Hazır Beton Kongresi Bildirileri Kitabı*, 20-22 Ekim 2011.
- Gönen, T., 2009. Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekaniksel ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Doktora Tezi*, 127s.
- Görhan, G., Kahraman, E., Demir, İ., ve Başpınar, M.S. 2008. Mermer Tozu ve Atıklarının Kullanım Alanlarının Araştırılması. *MERSEM 2008, Türkiye VI. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu*, Afyon.
- Görhan G., Kahraman E., Başpınar M.S., ve Demir, İ., 2010. Endüstriyel Atıkların (Uçucu kül ve mermer tozu) Hafif Yapı Blok Üretiminde Kullanımının Araştırılması. *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS)*, S 158-160, 26 - 28 Mayıs 2010, Ankara, Türkiye.

- Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, S., Demir, İ., 2008. Uçucu Kül Bölüm 1: Oluşumu, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2:85-94.
- Görgülü, 1967. Hayvan Beslemede Pancar Posası ve Melas, Güven Matbaası, Ankara.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H., 2005. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET, izmir. Türkiye, 09-12 Haziran 2005.
- Gündüz, L., 1998. Pomza Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, ISBAŞ Bims Yapı Elemanları A.Ş., Cilt I, Isparta.
- Gündüz, L., 2005. İnşaat Sektöründe Bimsblok. Süleyman Demirel Üniversitesi Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, ISBN 975-00655-0-6, Isparta, 928s.
- Güneyisi, E., 2009. Effects of Marble and slag on The Properties of Self Compacting Concrete, Materials and Structures, 42:6:813-826.
- Hallal, A., Kadri, E.H., Ezziane, K., Kadri, A., Khelafi, H., 2010. Combined effect of mineral admixtures with superplasticizers on the fluidity of the blended cement paste, Constr Build Mater 24(8):1418–23.
- Hameed, M.S., Sekar, A.S.S., Balamurugan, L., and Saraswathy, V., 2012. Self Compacting Concrete Using Marble Sludge Powder and Crushed Rock Dust. Korean Society Journal of Civil Engineering, 16(6):980-988.
- Hansen, M.R., 1993. Durability of High Performance Concrete. PhD Thesis, North Carolina State University, Raleigh.
- Hebhoub, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E., 2011. Use of Waste Marble Aggregates in Concrete. Constr. Build. Mater. 25:1167-1171.
- Hesseman, R., Particle Size Analysis in Ceramics Manufacture. International Ceramics, 1: 31-34.
- Hinnawi, E.E., Abayazeed, S.D., 2011. Characterization of Dimension Stone Sawing Sludge in Egypt, Journal of Applied Sciences 11(6):1019-1025.

- Hossain, K.M.A., 2004. Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lighweight Concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(2): 283-291.
- Hou, P.K., Kawashima, S., Wang, K.J., Corr, D.J., Qian, J.S., Shah, S.P., 2013. Effects of colloidal nanosilica on rheological and mechanical properties of fly ash–cement mortar, *Cem. Concr. Compos.* 35: 12–22.
- Hutnan, M., Drtill, M., Mrafkova, L., 2000. “Anaerobic Biodegradation of Sugar Beet Pulp”, *Biodegradation*, 11:203-211.
- Hüsem, M., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 170s.
- Hwang, K, Noguchi, T, Tomosawa, F. 2004. Prediction model of compressive strength development of fly-ash concrete. *Cem Concr Res* 2004;34(12):2269–76.
- Iam, G.S., Makul, N., 2017. Effect of incinerated sugarcane filter cake on the properties of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials* 130 :32–40.
- İssi, A., 2005. Tarihi Buluntuların Karakterizasyon Teknikleri, Ders Notları, Anadolu Üniversitesi.
- İşıklıdağ, B., 2009. Atık Asfalt Kırıklarının Beton Yollarda Agregaya Yerine Kullanılmasının Araştırılması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Doktora Tezi, 139s.
- İtim A, Ezziane K, Kadri EH. 2011. Compressive Strength and Shrinkage of Mortar Containing Various Amounts of Mineral Additions. *Constr Build Mater* 25:3603–3609.
- Jambor, J., 1980. Influence of $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ on the Structure of Cement Paste, In *Proceeding of 7th International Chemical of Cement Congress*, Paris, France, 4:487-492.

- Jitchaiyaphum, K., Sinsiri, T., Jaturapitakkul, C., Chindaprasirt, P., 2013. Cellular lightweight concrete containing high-calcium fly ash and natural zeolite. *Int. J. Miner. Metall. Mater.* 20 (5), 462-471.
- Jones, M.R., McCarthy, A., 2005. Preliminary views on the potential of foam concrete as a structural material. *Mag. Concr. Res.* 57 (1), 21-31.
- Joshaghani, A., 2016. The effects of zeolite as supplementary cement material on pervious concrete, in: *International Concrete Sustainability Conference* Washington D.C., 2016.
- Juradin, S., Baloevic, G., and Harapin, A., 2012. Experimental Testing of The Effects of Fine Particles on The Properties of The Self-Compacting Lightweight Concrete. *Hindawi Publishing Corporation advances in Material Science and Engineering Volume 2012*.
- Karahan, O., 2006. Lifterle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana, 256s.
- Karakoç, M.B., 2000. Hafif Agreganın ve Hava Sürükleyici Katkı Maddesinin Yüksek Dayanımlı Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisinin İncelenmesi ve Modellenmesi, Atatürk Üniversitesi Doktora Tezi.
- Karakuş, A., 2011. Investigating on Possible Use of Diyarbakir Basalt Waste in Stone Mastic Asphalt, *Construction and Building Materials* 25:3502–3507.
- Karataş, M., Türk, K., Ulucan, Z.Ç., 2008. Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonda Maliyet Analizi. *E-Journal of New World Sciences Academy, Natural and Applied Sciences*, 3(1): 39-46.
- Kartini, K., Hamidah, M.S., Norhana, A.R., Nur Hanani, A.R., 2014. Quarry dust fine powder as substitute for ordinary portland cement in concrete mix. *Journal of Engineering Science and Technology*, 9:191–205.
- Kaya, T., Karakurt, C., ve Dumangöz, M., 2014. “Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Porozite ve Basınç Dayanımlarına Yüksek Sıcaklığın Etkisi”, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1): 39-44.

- Kawai, T., 1987. Non-Dispersible Underwater Concrete Using Polymers. Marine Concrete, Int. Cong. On Polymers in Concrete, Brighton, England.
- Kevorkian, A.A., 2006. Air-Entraining Admixtures. ASTM STP 169D. American Society for Testing and Materials, 474-483s.
- Khaloo, A.R., Dehestani, M., and Rahmatabad, P., 2008. Mechanical Properties of Concrete Containing A High Volume of Tire-Rubber Particles. Waste Management, 28: 2472-2482.
- Khory, G.A., 1992. Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: Reassessment, Magazine of Concrete Research. 44(16) : 291-309.
- Kılıçer, A., 2009. Madencilik Sektör Raporu, Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı, 52s.
- Kılınç, C., 2012. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar, Hazır Beton Dergisi, Temmuz 2012, 70-75s.
- Kırgız, M.S., 2011. İkameli ve Katkılı Çimento Pastalarının Hidratasyon Bileşiklerinin Taramalı Elektron Mikroskobu Kullanılarak Belirlenmesine İlişkin Literatür Araştırmaları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(1):73-90.
- Kızılkant, A.B., 2010. Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kalan Betonun Basınç Dayanımı Renk Değişimi İlişkisinin Araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 127s.
- Kim, S., Dale, B.E., 2004. Global potential bioethanol from wasted crops and crop residues. Biomass and Bioenergy, 26: 361-375.
- Koca, C., 1996. Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis, Curuf, Klinker Karışımı Çimento Kullanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, s.381-394.
- Koçak, Y., ve Alpaslan, L., 2011. Atık Lastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Türkiye.

- Koçak, Ç., Kürkçü, S.N, Yılmaz, S, 2001. Afşin Elbistan Linyit Havzasının Değerlendirilmesi ve Linyit Kaynakları Arasındaki Yeri, Ankara.
- Koçkal, N.U., 2008. Effects of Lightweight Fly Ash Aggregate Properties on the Performance of Lightweight Concretes, Boğaziçi Üniversitesi Doktora Tezi.
- Kolukisa, S., 1999. Uçucu Kül içeren Alüminyum Matrisli Kompozit Üretim Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Korkut, F., Türkmenoğlu, Z.F., Taymuş, B., ve Güler, S., 2017. Çelik ve Sentetik Liflerin Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2):560-570.
- Kostakoğlu, S.F., Keskin, U., Büyük, K., 2016. Eskişehir Şeker Fabrikasının Özelleştirilmesine Yönelik Porter'ın Elmas Modeli Analizi, Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 13:50-61.
- Köse, H., Pamukçu, Ç., Yalçın, N., Seçer, T., 1997. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Pomza ve Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Olanakları. İzmir, 97-105s.
- Köse, H.M., Diker, M., 1999. Maden ve Madencilğe Dayalı Sanayilerin Türkiye Ekonomisine Katkısı. 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1-5s.
- Kral, N., 2002. Genleşen Kil Aramaları. Maden Tetkik Arama Raporu, 1-25.
- Kuleli, Ö., 2009. Çimento Müstahsilleri El Kitabı. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Yayınları, Ankara.
- Kurt M., Gül, M.S., Gül, R., Aydın, A.C., Kotan, T., 2016. The Effect of Pumice Powder on the Self-compactability of Pumice Aggregate Lightweight Concrete, Construction and Building Materials 103:36–46.
- Kuşcu, M., 2013. Endüstriyel Kayaçlar ve Mineraller. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayını, SDÜ Basımevi, Isparta, 381s.

- Laibao, L., Yunsheng, Z., Wenhua, Z., Zhiyong, L., Lihua, Z., 2013. Investigating the influence of basalt as mineral admixture on hydration and microstructure formation mechanism of cement, *Construction and Building Materials* 48 (2013) 434–440.
- Langana, BW, Weng K, Ward MA. Effect of silica fume and fly ash on heat of hydration of Portland cement. *Cem Concr Res* 2002;32:1045–51.
- Li, H., Huang, F., Cheng, G., Xie, Y., Tan, Y., Li, L., Yi, Z., 2016. Effect of granite dust on mechanical and some durability properties of manufactured sand concrete, *Construction and Building Materials* 109 (2016) 41–46.
- Lotfy, A., Hossain, M.A.K., Lachemi, M., 2016. Durability properties of lightweight self-consolidating concrete developed with three types of aggregates, *Construction and Building Materials*, 106:43–54.
- Luther, L. (2010). Managing Coal Combustion Waste (CCW): Issues with Disposal and Use. Congressional Research Service.
- Madandoust, R., Ranjbar, M.M., Mousavi, Y., 2011. An Investigation on the Fresh Properties of Self-Compacted Lightweight Concrete Containing Expanded Polystyrene. *Construction Building Materials*, 25(9):3721-3731.
- Maghsoudi, A.A., Mohamadpour, S.H., and Maghsoudi, M., 2011. “International Journal of Civil Engineering Mix Design and Mechanical Properties of Self Compacting Light Weight Concrete.” 9(3).
- Magdy, A.A., Saleh, A.E.A., Wagih, M.M., 2014. Effect of Fine Materials in Local Quarry Dust of Limestone and Basalt on the Properties of Portland Cement Pastes and Mortars. *International Journal Of Engineering Research Tecnology*, 3(6):1038-1056.
- Makul, N., Iam, S.G., 2016. Characteristics and utilization of sugarcane filter cake waste in the production of lightweight foamed concrete, *Journal of Cleaner Production* 126:118-133.

- Marmol, I., Ballester, P., Cerro, S., Monros, G., Morales, J., Sanchez, L., 2010. Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. *Cem. Concr. Compos.* 32, 617–622.
- Maroto, J.M.M., Corrochano, B.G., Azcarate, J.A., Rodríguez, L., Acosta, A., 2017. Development of Lightweight Aggregates from Stone Cutting Sludge, Plastic Wastes and Sepiolite Rejections for Agricultural and Environmental Purposes. *Journal of Environmental Management*, 200: 229-242.
- MEGEP, 2012. İnşaat teknoloji Hazır Beton Üretimi. 582YIM285, Milli Eğitim Bakanlığı Bireysel Öğrenme Modülü.
- Mehta, P.K. 2000. Reflections on Recent Advancements in Concrete Technology, Second International Symposium on Cement and Concrete Technology in 2000s, September 6-10, İstanbul, 1:43-57.
- Ming, W.C., Chun, I.I., 2005. Decomposition of Calcium Carbonate in the temperature range, K. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 38:9:734.
- Mishra, A., Pandey, A., Maheshwari, P., Chouhan, A., Suresh, S., DAS, S., 2013. Green Cement For Sustainable Concrete Using Marble Dust. *International Journal of ChemTech Research*, 5(2):616-622.
- MİGEM, 2014. Maden İşleri Genel Müdürlüğü Doğal Taş Mermer Raporu, Ankara.
- Miura, N., Takeda, N., Chikamatsu, R, Rogo S. 1993. Application of super workable concrete to reinforced concrete structures with difficult construction conditions. In: *Proceedings of Concrete Institute*.140: 163–86.
- Mehta, P.K., Monterio, P.J.M., 2006. *Concrete Microstructure, Properties and Materials*, Third Edition, McGraw-Hill.
- Mollah MYA, Yu W, Schennach R, Cocke DL. A Fourier transform infrared spectroscopic investigation of the early hydration of Portland cement and the influence of sodium lignosulfonate. *Cem Concr Res* 2000;30:267–73.

- Moon, G.D., Oh, S., Choi, Y.C., 2016. Effects of the Physicochemical Properties of Fly Ash on the Compressive Strength of High-Volume Fly Ash Mortar, *Construction and Building Materials* 124:1072–1080.
- Morrison. R.E. (1970). "A Review of Ash Specifications." Symposium on Fly Ash Utilization, s. 24-31. Pittsburgh.
- MTA, 2008. Maden Teknik Arama Hammaddeler Raporu, 21, ÖİK: 480.
- Muzek, N., Zeliæ, J., Jozia, D., 2012. Microstructural Characteristics of Geopolymers Based on Alkali-Activated Fly Ash, *Microstructural Characteristics of Geopolymers Based on...*, Chem. Biochem. Eng. Q. 26:2: 89–95.
- Narayanan, N., Ramamurthy, K., 2000. Structure and properties of aerated concrete: a review. *Cem. Concr. Compos.* 22, 321-329.
- Nepomuceno, M., Oliveira, L., Lopes, S.M.R., 2012. Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders, *Construction and Building Materials* 26 (2012) 317–326.
- Neville, A.M., 1995. *Properties of Concrete* 4th Ed. Longman Group Limited Essex, England.
- Neville, A.M., (2000), *Properties of Concrete*. Fourth Edition, Longman Scientific and Technical, USA, New York, 581-585.
- Newman, J., and Choo, B. S., 2003. *Advanced Concrete Technology Constituent Materials*, Elsevier Butterworth Heinemann, Oxford, England.
- Newman, J. ve Owens. P., 2003. *Properties of Lightweight Concrete*, *Advanced Concrete Technology Processes* (Edited by: Newman, J. ve Choo, B.S.), Butterworth-Heinemann, Elsevier, p.2/9-10, Oxford.
- Nunes, J.M.G., Kautzmann, R.M., Oliveira, C., 2014. Evaluation of the Natural Fertilizing Potential of Basalt Dust Wastes from the Mining District of Nova Prata (Brazil), *Journal of Cleaner Production* 84:649-656.

- Okamura, H., 1997. Self Compacting High Performance Concrete. Concrete International, 19:50-54.
- Okamura, H., and Ouchi, M., 1999. Self Compacting Concrete: Development, Present use and Future. Proceeding of first International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, 3-4s.
- Omar, M.O., Elhameed, G.D., Sherif, M.A., Mohamadien, H.A., 2012. Influence of Limestone Waste as Partial Material For Sand And Marble Powder In Concrete Properties. Housing an Building National Research Center, 8:193-203.
- Onargan, T., Köse, H., ve Deliormanlı, A.H., 2005. Mermer. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 324s.
- Önem, Y., 1997. Sanayi Madenleri, Kazan Ofset Matbaacılık, Ankara.
- Öntürk, K., ve Vural, İ., 2014. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması. ISITES2014 Karabük – Turkey, s.1275-1284.
- Ouchi, M., 1999. Self Compacting Concrete. Development Aplication and Investigation. Nordic Concrete Research Commitee Publications, 5p.
- Özbayoğlu, F., ve Gürel, A., 1997. Nevşehir Pomzalarının Puzolonik Maddeler Katkısı ile Yol Stabilizasyonunda Kullanılması. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 26- 28 Haziran, Isparta.
- Özcan, F., 2005. Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür İle Dayanım Tahmini. Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi, 172s.
- Özer, M., Işık, N.S., ve Orhan, M., 2009. Lazer Kırınım ve Hİdrometre Yöntemleriyle Belirlenen Kil Yüzdelerinin İstatistiksel Yöntemlerle Karşılaştırılması. 5. Ulusal İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.

- Özdemir, E., 2006. PÇ ve Mineral Katkı Maddelerinin İkili, Üçlü ve dördlü Kombinasyonlarını İçeren Harç Numunelerinin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi, 177s.
- Özkan, Ş.G., Tuncer, G., 2001. Pomza Madenciliğine Genel Bir Bakış. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 200-207s.
- Özkul, H., ve Sağlam, A., 2002. Süperakışkanlaştırıcı ve Mineral Katkıların Betonun Reolojik Özelliklerine Etkisi. TUBİTAK, Proje No:100101, (İntag :655).
- Özyıldırım, Ç., 2007. Hava Sürükleyici Katkıların Beton Dayanıklılığındaki Yeri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 12-13 Nisan 2017, Ankara, 37-52s.
- Paleckienė, R., Sviklas, A.M., Šlinkišienė, 2007. The role of sugar factory lime on compound fertilizer properties, Polish J. Environm. Stud. 16(3):423-426.
- Partha, S.N. ve Sivasubramanian, V., 2006. Recovery of Chemicals from Pressmud: A Sugarcane Industry Waste. Indian Chemical Engr. Section A, 48:161-163.
- Peng, G.F., 2000. Evaluation of Fire Damage To High Strength Concrete, PhD., Hong Kong, Polytechnic University.
- Plevová, E., Kožušníková, A., Vaculíková, L., Simha Martynková, G., 2010. Thermal Behavior of Selected Czech Marble Samples, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 101:2:657–664.
- Plevova, E., Vaculikova, L., Kozusnikova, A., Ritz, M., ve Simha Martynkova, G., 2016. Thermal Expansion Behaviour of Granites, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 123:1555-1561.
- Popovics, S., 1998. Strength and Related Properties of Concrete, A Quantative Approach, John Wiley& Sons Inc, New York.
- Postacıoğlu, B., 1969. Yapı Malzemesi Dersleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, s46-92.

- Postacıoğlu, B., 1986, “Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton”, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Cilt 1, İstanbul.
- Rahhal, V., Talero, R., 2005. Early Hydration of Portland Cement with Crystalline Mineral Additions, *Cem. Concr. Res.* 35: 1285–1291.
- Rai, B., Naushad, K., Abhishek, H., Rushad, T., Duggal, S., 2011 Influence of Marble powder/granules in Concrete mix, *International journal of civil and structural engineering*, 1(4):827-834.
- Rajamanickam, G., Vaiyapuri, R., 2016. Self Compacting Self Curing Concrete with Lightweight Aggregates, *Gradevina* 68(4): 279-285.
- Ramachandran, V.S., Beaudoin, J.J., 2000. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology: Principles, Techniques and Applications*. Elsevier.
- Ramamurthy, K., Nambiar, E.K.K., Ranjani, G.I.S., 2009. A classification of studies on properties of foam concrete. *Cem. Concr. Compos* 31:388-396.
- Ramezani pour, A. Kazemian, M. Sarvari, B. Ahmadi, 2013. Use of natural zeolite to produce self-consolidating concrete with low Portland cement content and high durability, *J. Mater. Civ. Eng.* 25 (5) (2013) 589–596.
- Rana, A., Kalla, P., Csetenyi, L., 2015. Sustainable Use of Marble Slurry in Concrete. *Journal of Cleaner Production*, 94: 304-311.
- Richard T, Mercury L, Poulet F, d’Hendecourt L. Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy as a tool to characterise water in adsorption/confinement situations. *J Colloid Interface Sci* 2006;304:125–36.
- Reyhanoğlu M., 1988. Pomza ve Kullanım Alanları. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Rodrigues, R., de Brito, J., Sardinha, M., 2015. Mechanical Properties of Structural Concrete Containing Very Fine Aggregates from Marble Cutting Sludge. *Constr. Build. Mater.* 77:349-356.

- Sabah, E., Çelik, M.Y., 2001. İncehisar (Afyon) Mermer Atıklarının Hayvan Yemi Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 3-5 Mayıs 2001, Afyon.
- Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, Ü.A., ve Özkul, M.H., 2004. Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı Çimento Uyumu. Beton Kongresi Bildirileri, İstanbul.
- Saleh, M.M., Yeasmin, S., Paul, B.K., Ahsan, M., Rahman, M.Z., Roy, S.K., 2012. Chemical Studies on Press Mud: A Sugar Industries Waste in Bangladesh, Sugar Tech. DOI: 10.1007/s12355-012-0139-z.
- Salem, R.M., 1996. Strenght and Durability Characteristics of Recycled Aggregate Concrete. PhD Thesis, The University of Tennessee, Knoxville.
- Sancak, E., ve Şamandar, A., 2010. Sürdürülebilirlik Bakımından Kendiliğinden Yerleşen Beton Kullanımının Rolü. International Sustainable Buildings Symposium, 26-28 May 2010, Ankara, Turkey, s.134-140.
- Saraya, M.E.I., 2014. Study Physico-Chemical Properties of Blended Cement Containing Fixed Amount of Silica Fume, Blast Furnace Slag, Basalt, and Limestone A Comparative Study, Construction and Building Materials, 72:104-112.
- Sarı, B., Bayat, B., 2002. Evsel Atıksuların Fizikokimyasal Arıtımında Uçucu Külün Koagulant Olarak Kullanımı Olanakları, Turksih Journal of Engineering and Environmental Sciences 26:65-74.
- Satisha, G.C., Devarajan, L., 2007. Effect of amendmets on windrow composting of sugar industry Pressmud, Waste Management, 27:1083-1091.
- Savaş, Z.B., 1999. Effects of Microstructure on Durability of Concrete. PhD Thesis, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.
- Sayın ve Aksoy, 2012. Mermer Toz Artıkları Özelliklerinin İyileştirilmesine Falcon Gravite Konsantratörünün Etkisi, Madencilik Dergisi, 51(4):23-30.
- Schulson, E.M., 1998. Ice Damage to Concrete-Special Report. US Army.

- Šešlija, M., Rosić, A., Radović, N., Vasić, M., Đogo, M., Jotić, M., 2016. Properties of fly ash and slag from the power plants, Journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society, 69(3):317–324.
- Shah, P., and Ahmad, S.H., 1994. High Performance Concretes and Applications. 90 Tottenham Court Road, London W1P 9HE, 141-374s.
- Shapouri H., Salassi M., Fairhanks J.N., 2006. The Economic Feasibility of Ethanol Production from Sugar in the United States. www.usda.gov/oce/reports/energy/EthanolSugarFeasibilityReport3.pdf.
- Shi, C., and Wu, Y., 2005. Mixture Proportioning and Properties of Self-Consolidating Lightweight Concrete Containing Glass Powder, ACI Materials Journal, Technical paper, 355-363.
- Shirule, P.A., Rahman, A., Gupta, R.D., 2012. Partial Replacement of Cement with Marble Dust Powder. Int. J. Adv. Eng. Res. Stud. 1(3):175-177.
- Singh, S., Khan, S., Khandelwal, R., Chugh, A., Nagar, R., 2016. Performance of sustainable concrete containing granite cutting waste, Journal of Cleaner Production 119 (2016) 86-98.
- Singh, M., Srivastava, A., Bhunia, D., 2017. An investigation on effect of partial replacement of cement by waste marble slurry, Construction and Building Materials 134 (2017) 471–488.
- Singh, M., Choudhary, K., Srivastava, A., Singh, K., Sangwan, K.S., Bhunia, D., 2017. A study on environmental and economic impacts of using waste marble powder in concrete, Journal of Building Engineering 13:87–95.
- Skarendahl, A., and Petersson, O., 2000. Self Compacting Concrete. State-of The Art Report of RILEM Technical Committee 174s.
- Soliman, 2013. Effect of using Marble Powder in Concrete Mixes on the Behavior and Strength of R.C. Slabs, International Journal of Current Engineering and Technology, 3(5):1863-1870.

- Soman, K., Abubaker, K.A., 2014. Strength Properties of Concrete with Partial Replacement of Cement by Granite Quarry Dust. *Int. J. Eng. Res. Technol.* 3:344-348.
- Sonebi, M., Bartos, P.M.J., 1999. Hardened SCC and its Bond with Reinforcement”, *Proceeding of RILEM International Symposium on Self Compacting Concrete*, Edited by Karendahl, A. And Petersson, O. Stockholm, 13-15 September, 1999.
- Subaşı, S., Beycioğlu, A., ve Emiroğlu, M., 2009. Genleştirilmiş Kıl Agregalı Hafif Betonlarda Bulanık Mantık Yöntemiyle Yarmada Çekme Dayanımı Tahmin Modeli Geliştirilmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 12(3):157-166.
- Sudarshan, D.K., Vyas, A.K., 2016. Impact of Marble Waste as Coarse Aggregate on Properties of Lean Cement Concrete, *Case Studies in Construction Materials*, 4:85-92.
- Swann, GEA., Patwardhan, SV., 2011. Application Of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) For Assessing Biogenic Silica Sample Purity In Geochemical Analyses And Palaeoenvironmental Research. *Clim Past*, 7:65-74.
- Şahmaran, M., Christiano, H.A., and Yaman, İ.Ö., 2006. The Effect of Chemical Admixtures and Mineral Additives on The Properties of Self-Compacting Mortars. *Cement&Concrete Composites* 28:432-440.
- Şengül, Ü., 2007. Uçucu Külün Çevresel Etkileri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 7(1):89-104.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, İ.Y., ve Sarıışık, A., 1996. *Mermer Teknolojisi*, Tuğra Ofset, Isparta s. 241.
- Şimşek, O., 2012. *Beton ve Beton Teknolojisi*, Sözkese Matbaacılık, 287s.
- Şimşek, O., 2013. *Yapı Malzemesi II.* , Sözkese Matbaacılık, 271s.

- Tandırılı, E., Akalın Ö., and Arca, E., 2000. The Effect of Melamine Based Superplasticizers on The Properties of Concrete. Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. In the 2000s. Volume I, Istanbul, Turkey, s.453-462.
- Tanyıldızı, H., Çoşkun, A., 2008. The effect of high temperature on compressive strength and splitting tensile strength of structural lightweight concrete containing fly ash, Construction and Building Materials 22 (2008) 2269–2275.
- Tapan, M., Depci, T., Özvan, A., Efe, T., Oyan, V., 2013. Effect of physical, chemical and electro-kinetic properties of pumice on strength development of pumice blended cements, Materials and structures, 46:10:1695-1706.
- Taşdemir, C., 2003. Hafif Betonların Isı Yalıtım ve Taşıyıcılık Özellikleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, 427 (5): 57-61.
- TEİAŞ, 2016. Türkiye Elektrik Enerjisi Kuruluş ve Yakıt Cinslerine Göre Kurulu Güç, www.teias.gov.tr/YukTevziRaporlari.aspx
- Temur, S., 2001. Endüstriyel Hammaddeler. Özgü Ofset Matbaası, Konya, 386s.
- THBB, 2007. Kendiliğinden Yerleşen Beton Klavuzu. Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, Nisan.
- Topçu, İ.B., 1988. Hafif Beton Özelliklerinin Kompozit Malzeme Olarak İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Doktora Tezi, İstanbul.
- Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Ünal, O., 2007. Kendiliğinden Yerleşen Yarı Hafif Betonların Özelliklerinin Araştırılması. TÇMB, 3. Uluslararası Çimento ve Betonda Sürdürülebilirlik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, İstanbul, Türkiye, s.833-844.
- Topçu, İ.B., ve Uygunoğlu, T., 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Pomza Hafif Agregası Kullanımının Araştırılması. Beton Prefabrikasyon Dergisi, 22(85): 5-14.

- Topçu, İ.B., Bilir, T., ve Uygunoğlu, T., 2009. Effect of Waste Marble Dust Content as Filler on Properties of Self Compacting Concrete. Construction and Building Materials, 23: 1947-1953.
- Tran, G., 2012. Sugarcane Press Mud. Feedipedia.org. A programme by INRA, CIRAD AFZ and FAO. www.feedipedia.org/node/563 (accessed 15.10.15.).
- Trezza, M.A., 2007. Hydration Study of Ordinary Portland Cement in the Presence of Zincs Ions, Materials Research 10:4:331-334.
- Trezza, M.A., Lavat, A.E., 2001. Analysis of the System $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{--CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O--CaCO}_3\text{--H}_2\text{O}$ by FT-IR spectroscopy. Cement and Concrete Research, 31: 869–872.
- TS EN 206-1, 2002. Beton-Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. TSE, Ankara.
- TS 1114 EN 13055-1, 2004. Hafif Agregalar-Bölüm 1: Beton, Harç ve Şerbette Kullanım İçin. TSE, Ankara.
- TS EN 450-1, 2015. Uçucu kül – Betonda kullanılan - Bölüm 1: Tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara.
- TS 197-1, 2012. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. TSE, Ankara.
- TS EN 934-2/A2, “Beton Katkıları-Tarifler, Özellikler, Uygunluk, Dışartılma ve Etiketleme”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006
- TS EN 932-2, 1999. Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2 : Laboratuvar Numunelerinin Azaltılması Metodu, TSE, Ankara.
- TS EN 1744-1: 2009. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Kimyasal Analiz, TSE, Ankara.
- TS 3530 EN 933-1, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu, TSE, Ankara.
- TS 825, 2008. Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, TSE, Ankara.

- TS 3234, 1978. Bimsbeton Yapım Kuralları Karışım Hesabı ve Deney Metodları. TSE, Ankara.
- TS 706 EN 12620 + A1. 2009. Beton Agregaları. TSE, Ankara.
- TS EN 12878, 2007. Çimento ve/veya kireç esaslı yapı malzemelerinin reklendirilmesinde kullanılan pigmentler. Özellikler ve deney yöntemleri, TSE, Ankara.
- TS EN 1008, 2003. Beton Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil Suyun Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları. TSE, Ankara.
- TS EN 12350-1, 2010. Beton - Taze Beton Deneyleri, Bölüm 1: Numune Alma, TSE, Ankara
- TS EN 12350-6, 2010. Beton - Taze Beton Deneyleri, Bölüm 6: Yoğunluk. TSE, Ankara.
- TS EN 12350-8, 2011. Beton - Taze Beton Deneyleri, Bölüm 8: Kendiliğinden Yerleşen Beton- Çökme Yayılma Deneyi. TSE, Ankara.
- TS EN 12350-9, 2011. Beton - Taze Beton Deneyleri, Bölüm 9: Kendiliğinden Yerleşen Beton- V Hunisi Deneyi. TSE, Ankara.
- TS EN 12350-10, 2011. Beton - Taze Beton Deneyleri, Bölüm 10: Kendiliğinden Yerleşen Beton- L Kutusu Deneyi. TSE, Ankara.
- TS EN 12390-1, 2002. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, TSE, Ankara
- TS EN 12390-3, 2010. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 12390-6, 2010. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 12390-7, 2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 12504-4, 2012. Beton Deneyleri, Bölüm4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini. TSE, Ankara.

- TS EN 1097-6, 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1097-3,1999. Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini. TSE, Ankara.
- Turanlı, L., Uzal, B., Yücel, H., Göncüoğlu, M.C., Çulfaz, A., 2007. Doğal Zeolitlerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Araştırma Projesi, Rapor No:104M393, Ankara.
- Turgutalp, Ü., 1978. Sarıkamış Yöresi Doğal Hafif Agregasıyla Üretilen Betonların Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanakları Üzerine Bir Araştırma. Atatürk Üniversitesi. Doçentlik Tezi, Erzurum, 144s.
- Türk, 2009. İnşaat Yapılar İstatistiği. Türkiye İstatistik Kurumu.
- Tümmer, 2014. Türkiye Mermer ve Doğaltaş ve Makinaları Üreticileri Birliği Verileri.
- Türkel, S., Kadiroğlu, B., 2007. Pomza Agregalı Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(3): 353-359.
- Türker, P., Erdoğan, B., Erdoğan, K., 2002. Influence of Marble Powder On Microstructure And Hydration of Cements. Chemical Construction World, 7(38):50-62.
- Türker, P. Erdoğan, K. ve Erdoğan, B., 2001, “Farklı tiplerde agregalar içeren yangına maruz kalmış harçların incelenmesi”, Çimento ve Beton dünyası TÇMB, 31:52–60.
- Türkmenoğlu, Z.F., Kılıç, A.M., Depci, T., 2015. Van Yöresi Pomzası İle Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Çukurova Üniveristesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1):105-116.

- Türkmenoğlu, Z.F., 2015. Türkiye Pomza Potansiyeli ve Kullanım Alanları, Doğu Anadolu Jeoloji Sempozyumu Bildiri Özleri Kitabı, 7-11 Eylül 2015, Van.
- Türkmenoğlu, M., 2010. Uçucu Küllerin Liç Karakteristiklerinin ve Çevreye Etkilerinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Doktora Tezi, Adana, 145s.
- Türkşeker, 2017. Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Şirketi 2016 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara, 218s. (www.turkseker.gov.tr)
- Türkşeker, 2011. Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Şirketi, www.turkseker.gov.tr (Erişim tarihi: 28.11.2011).
- Türkyılmaz, O., 2017. Yerli Kömür Kaynakları Elektrik Üretiminde Kullanılmalı mı, Neden?, Türkiyede Termik Santraller 2017 Makine Mühendisleri Oda Raporu, Yayın no : 668, ISBN: 978-605-01-1018-0, Ankara, 159s.
- Uğurlu, A., 1999. Agregalı Çimento Hamur Bağlı Üzerine. 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Uygunoğlu, T., 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Doktora Tezi, 155s.
- Uysal, M., 2010. Mineral Katkılar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özelliklerinin ve Dayanıklılığının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Doktora Tezi, 248s.
- Uysal, M., Sümer, M., 2011. Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures, Construction and Building Materials 25: 4112–4120.
- Uysal, M., Yılmaz, K., 2011. Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete, Cement & Concrete Composites 33 (2011) 771–776.
- Uysal, M., Yılmaz, K., 2011. Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Elastisite Modülüne Etkisinin İncelenmesi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.

- Uysal, M., Yılmaz, K., Ipek, M., 2012. The Effect of Mineral Admixtures on Mechanical Properties, Chloride Ion Permeability and Permeability of Self-Compacting Concrete, *Constr. Build. Mater.* 27 : 263–270.
- Ünal, O., ve Kibici, Y., 2001. Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon.
- Ünal, O., Demir, İ., ve Ergün, A., 2003. Mermer Atıklarının (Havuz Çökeltisi) Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması. Proje, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu, Afyonkarahisar.
- Ünal, O., ve Uygunoğlu, T., 2003. Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, s.147-157.
- Ünal, O., Güçlüer, K., Öz, V., 2015. Yatağan Uçucu Külünün Yapısal Alanda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15(2): 1-7.
- Ürgüp, M.N., Başığit, C., ve Terzi, S., 1998. Türkiye’deki Mermer Sektörü Sorunları ve Çözüm Önerileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3: 111- 118.
- Vaitkevicius, V., Serelis, E., Lygutait, R., 2013. Production Waste of Granite Rubble Utilisation in Ultra High Performance Concrete. *J. Sustain. Archit. Civ. Eng.* 2:54-60.
- Valdez, P., Barragan, B., Gırbes, I., Shuttleworth, N., and Cockburn, Y.A., 2011. Use of Waste From The Marble Industry as Filler for The Production of Self-Compacting Concretes. *Materials and Construction*, 61(301): 61-76.
- Vardan, K., Goyal, S., Siddique, M., and Singh, M., 2015. Mechanical Properties and Microstructural Analysis of Cement Mortar Incorporating Marble Powder as Partial Replacement of Cement, *Construction and Building Materials*, 96: 615-621.

- Vijayalakshmi, M., Sekar, ASS., Ganesh Prabhu, G., 2013. Strength And Durability Properties Of Concrete Made With Granite Industry Waste. Construction and Building Materials, 46: 1-7.
- Vodak F., Trtik K., Kapickova O., Hoskova S. and Demo P., 2004, “The Effect of Temperature on Strength-Porosity Relationship for Concrete”, Construction and Building Materials, 18:529-534.
- Vuk, T., Tinta, V., Gabrovšek, R., Kaucič, V., 2000. The Effects of Limestone Addition, Clinker Type and Fineness on Properties of Portland Cement. Cement Concrete Research, 30: 135-139.
- Wei, FF, Grutzeck MW, Roy DM. The retarding effects of fly ash upon the hydration of cement pastes: The first 24 hours. Cem Concr Res 1985;15:174–84.
- Wen, B., Aydın, A., and Düzgören, N.S., 2002. A Comparative Study of Particle Size Analysis By Sieve-Hydrometer and Laser Diffraction Methods. Geotechnical Testing Journal, 25(4): 434-442.
- www.mta.gov.tr, 2010. Van İli Maden Rezervleri.
- www.daka.org.tr, 2011. TRB2 Bölgesi Mevcut Durum Analizi, Madencilik Sektörü.
- Yadav, R.L., Solomon, S., 2006. Potential of Developing Sugarcane By-product Based Industries in India. Sugar Tech. 8:104-111.
- Yahia A, Tanimura M, Shimoyama Y. 2005. Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and w/c ratio. Cem Concr Res 2005;35(3):532–9.
- Yalçın, H., Gürü, M., 2006. Çimento ve Beton, Palme Yayıncılık, 416 s.
- Yalçınkaya, Ç., Beglarigale, A., Yazıcı, H., 2013. The Effect of Waste Marble Powder on the Fresh State and Mechanical Properties of Self-Compacting Mortars. International Porous and Powder Materials Symposium and Exhibition (PPM 2013), İzmir, 926-930s.

- Yaltay, N., ve Ekinci, C.E., 2013. Kolemanit katkılı ve pomza agregalı hafif betonların yüksek sıcaklık altındaki basınç mukavemeti özelliğinin tahribatsız yöntemle incelenmesi SDU International Technologic Science, 5:2:30-41.
- Yazıcıoğlu, S., Kara, C., 2017. Betonda Atık Mermer Tozu Kullanımının Karbonatlaşmaya Etkisi, Politeknik Dergisi, Journal of Polytechnic, 20(2):369-376.
- Yazıcıoğlu, S., Gönen, T., Çobanoğlu, Ö.C., 2005. Ferrokrom Cürufunun Beton Basınç Dayanımı ve Çarpma Enerjisi Üzerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(4): 681-685.
- Yazıcıoğlu, S., Arıcı, E., ve Gönen, T., 2003. Pomza Taşının Kullanım Alanları ve Ekonomiye Etkisi. F.Ü. DAUM Dergisi, 1: 118-123.
- Yeğınobalı, A., 1997. Hafif Beton ve Yüksek Dayanımlı Hafif Beton. TÇMB Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 8: 20-30.
- Yeğınobalı, A., 1999. Portland Çimentosu (Bazı Temel Bilgiler). TÇMB, AR-GE Seminer Notları, Ankara, s.1-15.
- Yeğınobalı, A., 2003. Çimento, Yeni Bir Çağın Malzemesi. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Yayınları, Ankara.
- Yıldız, Ö., Eskikaya, Ş., 1995. Afyon Yöresi Toz Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi. Ulusal 1. Mermer Sempozyumu, Mayıs 1995, Afyon, 1:45.
- Yıldız, A. H., 2008. Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Yıldız, T., 2012. Atık Mermer Tozu ve Cam Elyaf Katkısının Birlikte Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 63s.
- Yılmaz, K., 1988. Yapı Malzemesi Beton Teknolojisi.

- Yılmaz, E., Alagöz, Z., 2013. Şeker Pancarı Küspesinin Tarımsal Kullanımı: Şeker Pancarı Küspesinin Seçilen Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(2):121-129.
- Ylmén, R., Jäglid U., Steenari, B.M., Panas, I., 2009. Early Hydration and Setting of Portland Cement Monitored by IR, SEM and Vicat techniques. Cement Concrete Research, 39: 433–449.
- Ylmén, R, Jäglid, U., 2013. Carbonation of Portland Cement Studied by Diffuse Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy, International Journal of Concrete Structures and Materials, 7(2):119–125.
- Yoğurtçu, E., Çakır, Ö.A., Ramyar, K., Öner, S., 2012. Kendiliğinden Sıkışan Hafif Beton Karışım Oranları, Dayanım ve Maliyet Analizi. Hazır Beton Dergisi, s.78-84.
- Yoshioka, K., Tazawa, E., Kawai, K., and Enohata, T., 2002. Adsorption Characteristics of Superplasticizers on Cement Component Minerals. Cement Concrete Research, 32: 1507-1513.
- Yu, P., Kirkpatrick, R. J., Poe, B., McMillan, P. F., Cong, X. 1999. Structure of Calcium Silicate Hydrate (C–S–H): Near-, Mid-, and Far-Infrared Spectroscopy. Journal of American Ceramic Society, 82(3):742–748.
- Yücel, K., 1997. Pompa Betonlarında İşlenebilirliğin Harç Fazının Reolojisine Dayanarak Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, 88s.
- Yücel, A., Efe, T., Önal, M., Depci, M., Aydın, H., 2016. Mineralogical and Chemical Characterization of Acidic Pumices Outcrop North of Lake Van, World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2016).
- Yüzer, N., K, A.B., ve Uçarkoşar, B., 2013. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Beton Davranışı. Hazır Beton Kongresi, s.312-336.
- Xyla, A.G., Koutsoukos, P.G., 1989. Quantitative Analysis of Calcium Carbonate Polymorphs by Infrared Spectroscopy, J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1. 85: 3165–3172.

- Walraven, J., 2003. Structural Aspects of Self-Compacting Concrete, Proceedings of the 3rd International Rilem Symposium on Self- Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, 15–22.
- Wang, S., Liamazos, E., Baxter, L., Fonseca, F., 2008. Durability of Biomass Fly ash Concrete: Freezing and Thawing and Rapid Chloride Permeability Tests, *Fuel* 87: 359-364.
- Weerdt, K.D., Haha, M.B., Saout, G.L., Kjellsen, K.O., Justnes, H., Lothenbach, B., 2011. Hydration Mechanisms of Ternary Portland Cements Containing Limestone Powder and Fly Ash, *Cem. Concr. Res.* 41: 279–291.
- Zhao, S., Fan, j., Sun, W., 2014. Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete, *J. Constr. Build. Mater.* 50 (2014) 540–548.
- Zhu, W. and Gibbs, J.C., 2005, Use of Different Limestone and Chalk Powders in Self-Compacting Concrete, *Cement and Concrete Research*, 35:1457–1462.
- Z. Yu, Z., Ye, G., 2013. The Pore Structure of Cement Paste Blended with Fly Ash, *Construction Building and Materials*, 45: 30–35.



ÖZGEÇMİŞ

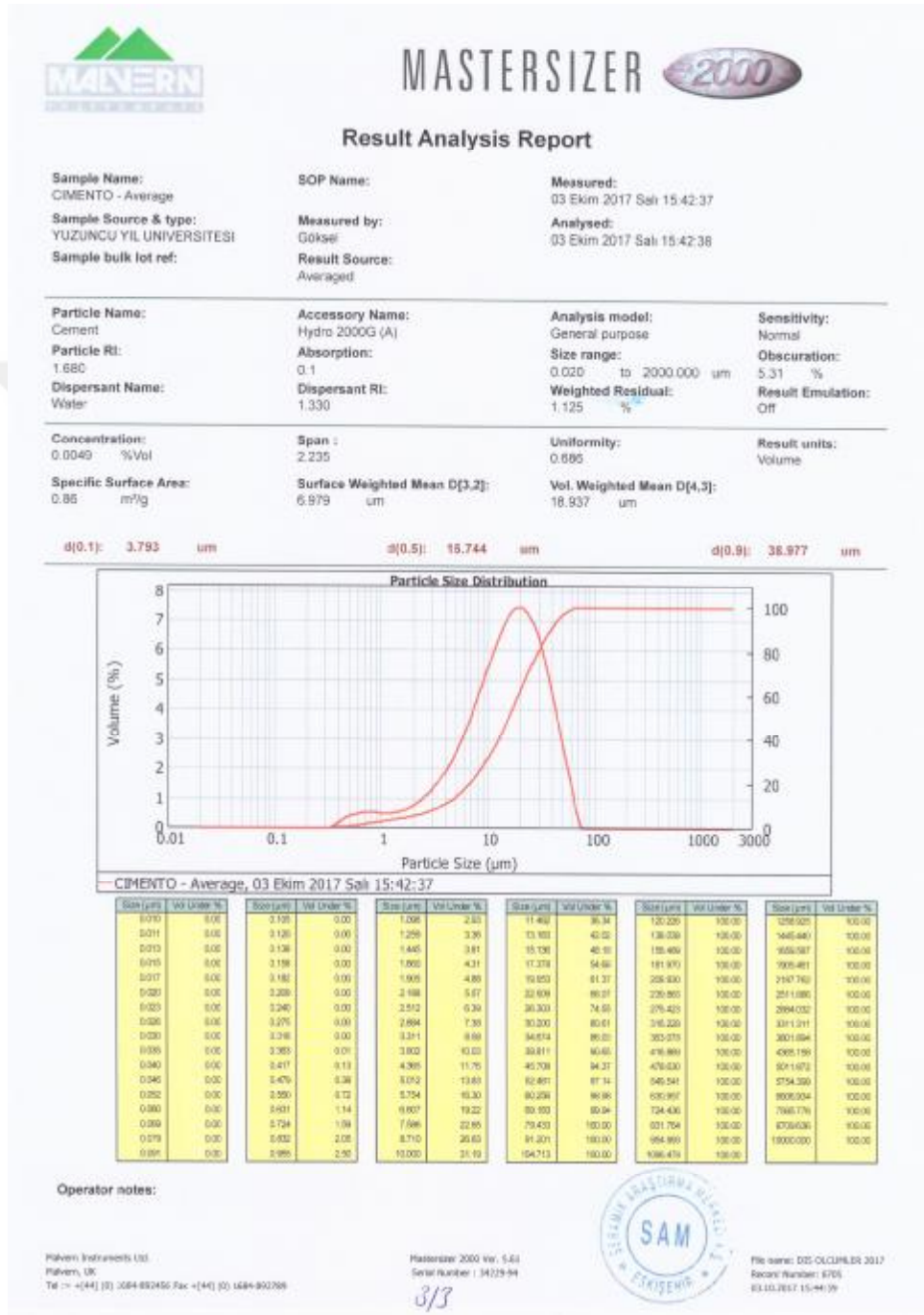
Zehra Funda TÜRKMENOĞLU, 1980 yılında Malatya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Malatya’da tamamladı. 1999 yılında başladığı İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü’nden 2003 yılında mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı. 2007 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı. 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora programına başladı. Evli ve bir kız çocuğu annesidir.



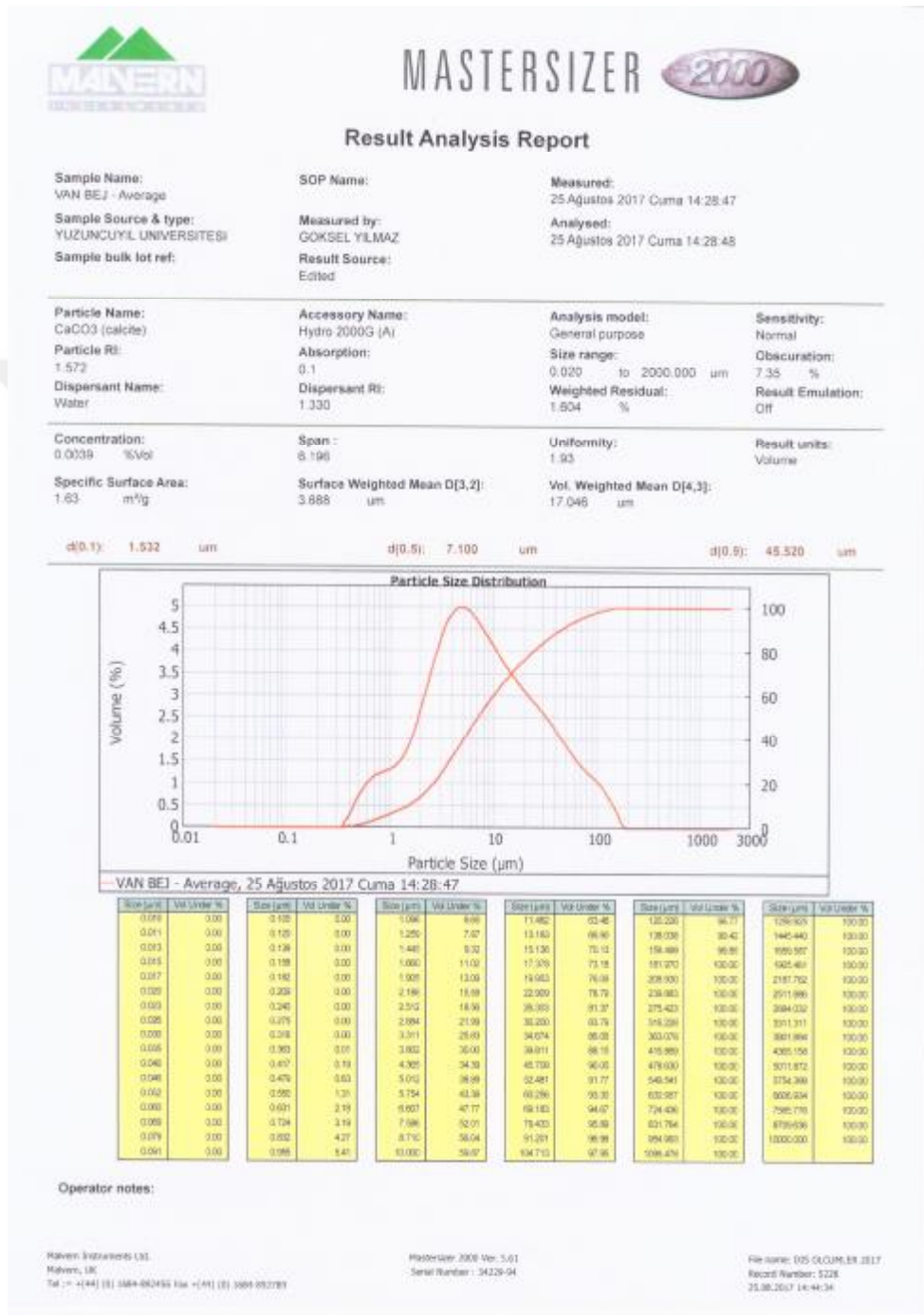
EKLER



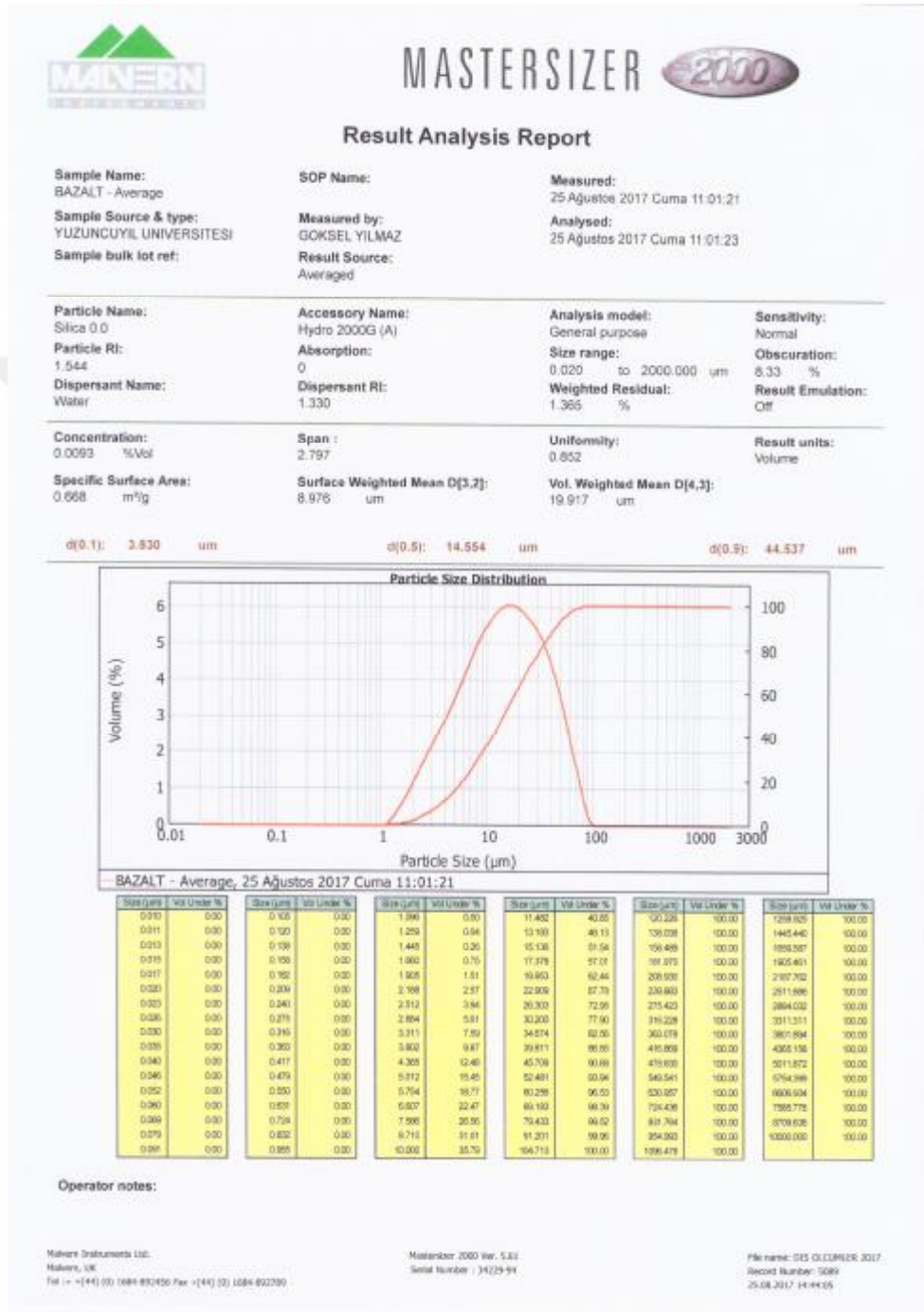
EK 1.1. Çimento tane boyut dağılım analiz sonucu



EK 1.2. Mermer tozu tane boyut dağılım analiz sonucu



EK 1.3. Bazalt tane boyut dağılım analiz sonucu





MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
GRANIT - Average

SOP Name:

Measured:
25.Agustos.2017 Cuma 14:15:40

Sample Source & type:
YUZUNCUYIL UNIVERSITESI

Measured by:
GOKSEL YILMAZ

Analysed:
25.Agustos.2017 Cuma 14:15:41

Sample bulk lot ref:

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Silica 0.0

Accessory Name:
Hydro 2000G (A)

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Normal

Particle RI:
1.544

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 μm

Obecuration:
9.45 %

Dispersant Name:
Water

Dispersant RI:
1.330

Weighted Residual:
0.822 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0100 %Vol

Span :
4.349

Uniformity:
1.54

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.699 m^2/g

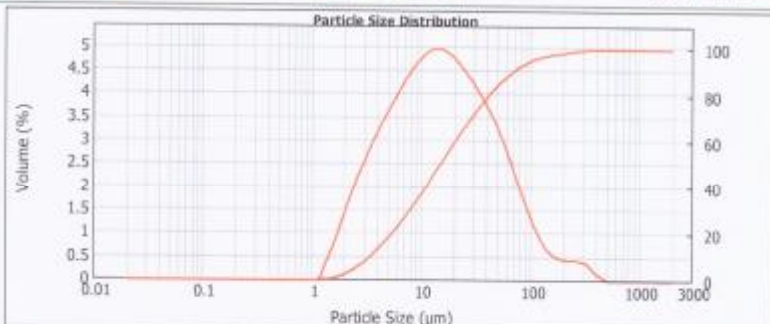
Surface Weighted Mean D[3,2]:
8.582 μm

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
29.977 μm

d(0.1): 3.402 μm

d(0.5): 14.824 μm

d(0.9): 67.873 μm

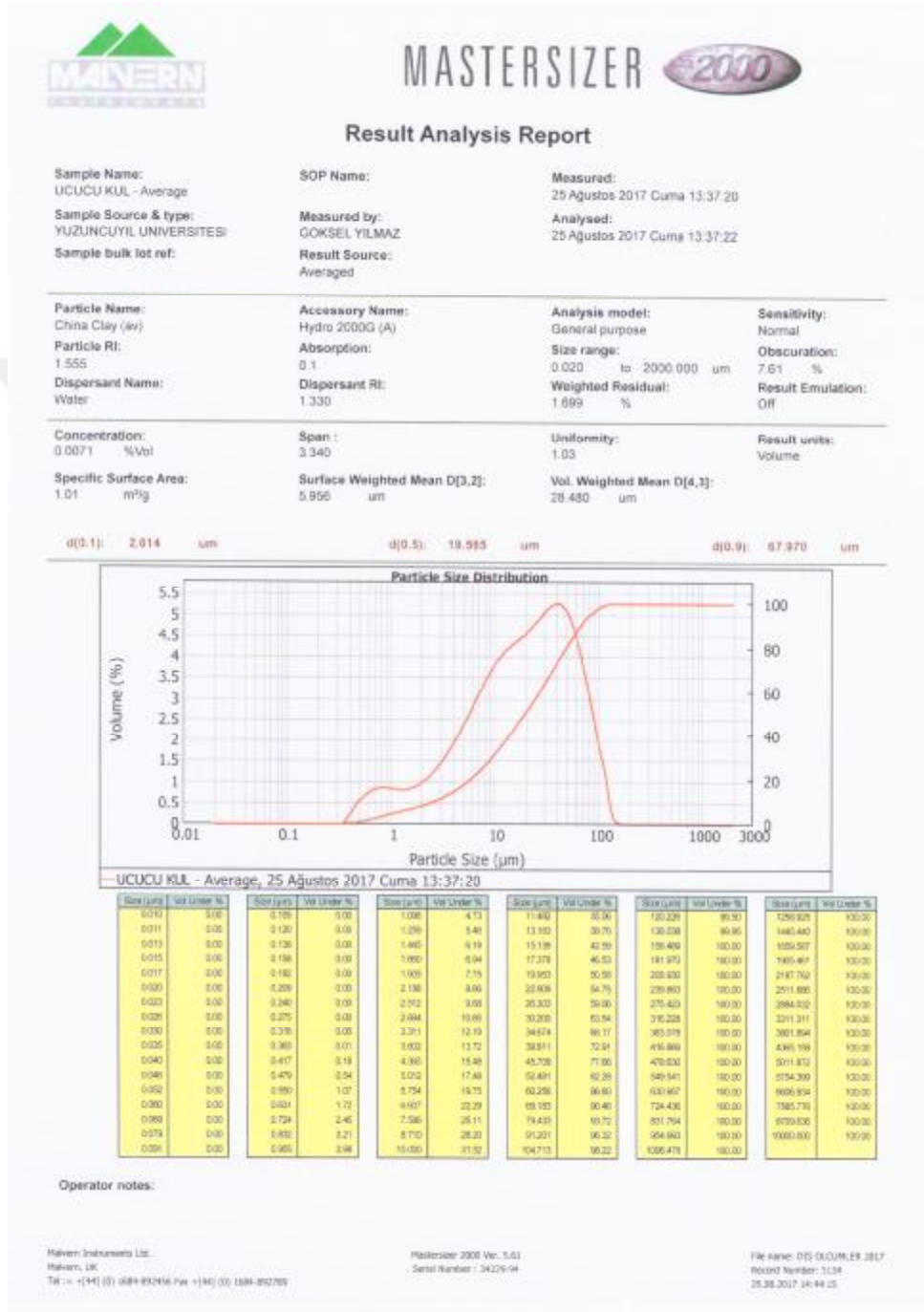


Particle Size Distribution

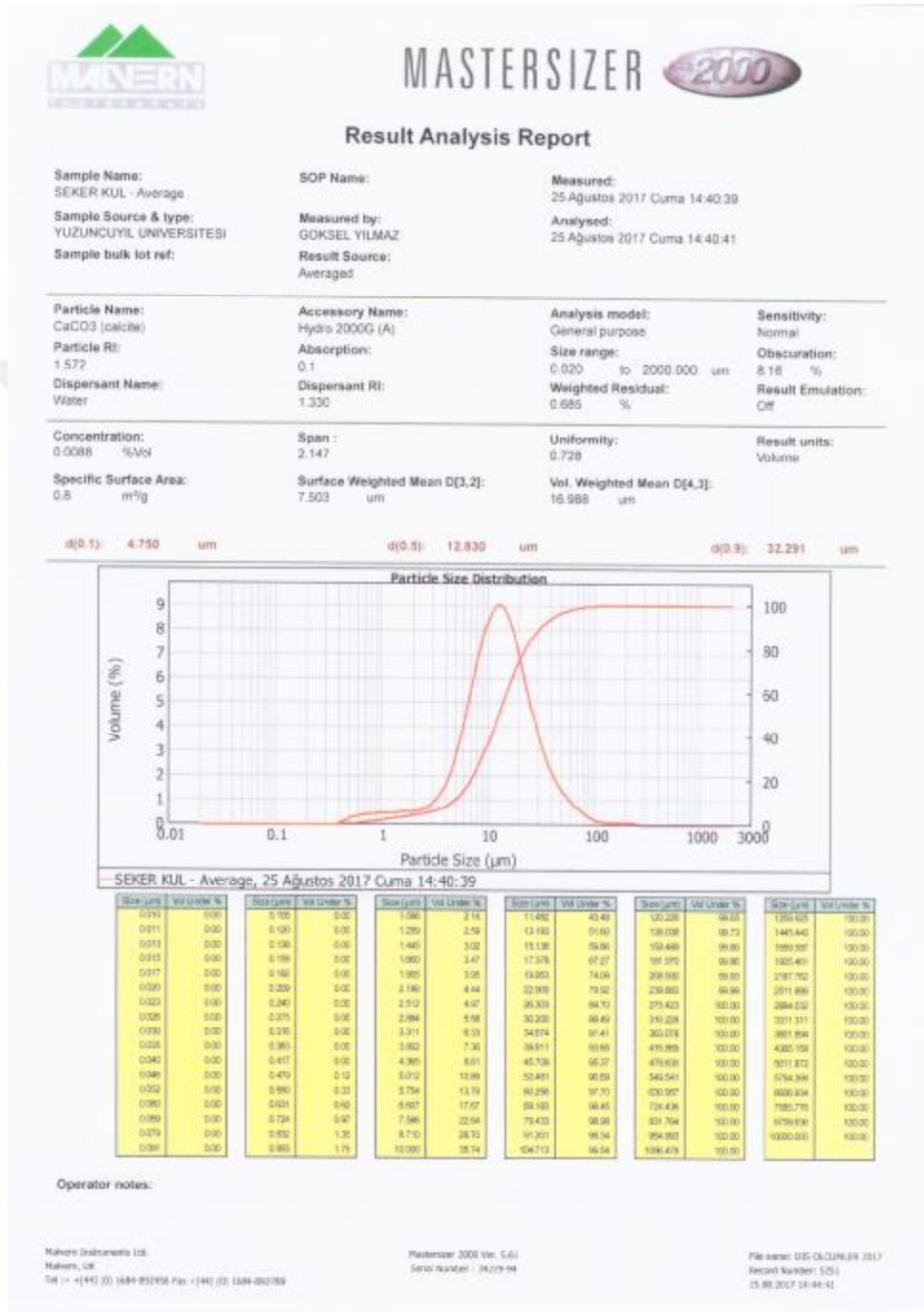
GRANIT - Average, 25.Agustos.2017 Cuma 14:15:40

Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %	Size (μm)	Vol Under %
0.030	0.00	0.125	0.00	1.000	0.00	11.482	41.75	125.226	98.21	1250.025	100.00	1250.025	100.00
0.031	0.00	0.126	0.00	1.250	0.00	12.180	46.29	138.036	95.94	1448.441	100.00	1448.441	100.00
0.033	0.00	0.128	0.00	1.482	0.00	13.136	50.67	156.489	97.50	1625.527	100.00	1625.527	100.00
0.035	0.00	0.130	0.00	1.690	0.00	14.379	55.12	177.070	97.46	1808.481	100.00	1808.481	100.00
0.037	0.00	0.132	0.00	1.909	0.00	15.860	59.48	200.000	98.30	2167.762	100.00	2167.762	100.00
0.039	0.00	0.240	0.00	2.198	0.00	17.609	63.72	228.963	99.15	2511.886	100.00	2511.886	100.00
0.040	0.00	0.241	0.00	2.512	0.00	20.303	67.87	275.423	99.13	2864.032	100.00	2864.032	100.00
0.046	0.00	0.275	0.00	2.884	7.16	23.233	71.71	316.228	99.49	3201.594	100.00	3201.594	100.00
0.050	0.00	0.311	0.00	3.311	9.80	26.674	75.43	363.079	99.79	4365.136	100.00	4365.136	100.00
0.053	0.00	0.350	0.00	3.822	12.95	30.811	79.94	419.809	99.90	5211.873	100.00	5211.873	100.00
0.060	0.00	0.417	0.00	4.365	15.26	35.709	82.22	479.636	100.00	5754.306	100.00	5754.306	100.00
0.064	0.00	0.479	0.00	5.012	16.32	40.286	84.23	549.541	100.00	6005.934	100.00	6005.934	100.00
0.068	0.00	0.550	0.00	5.754	21.83	45.100	86.31	624.					

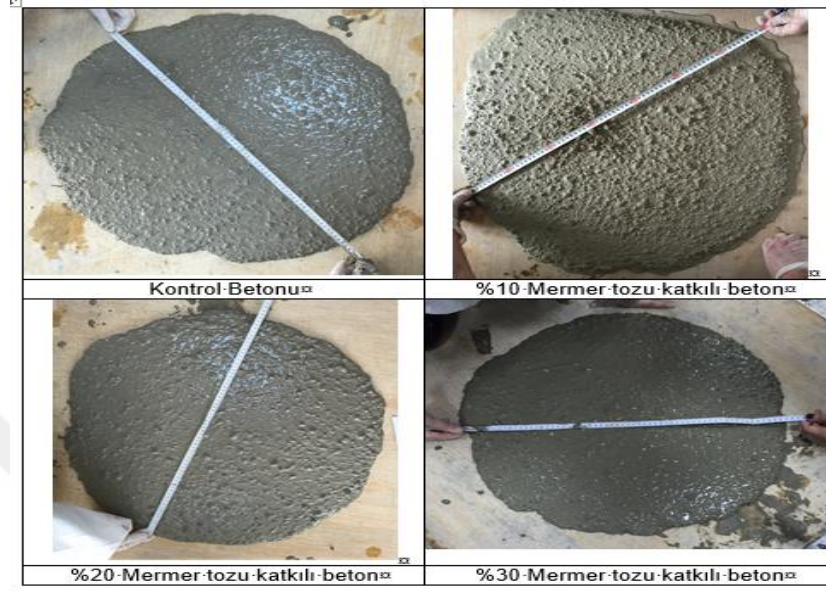
EK 1.5. Uçucu kül tane boyut dağılım analiz sonucu



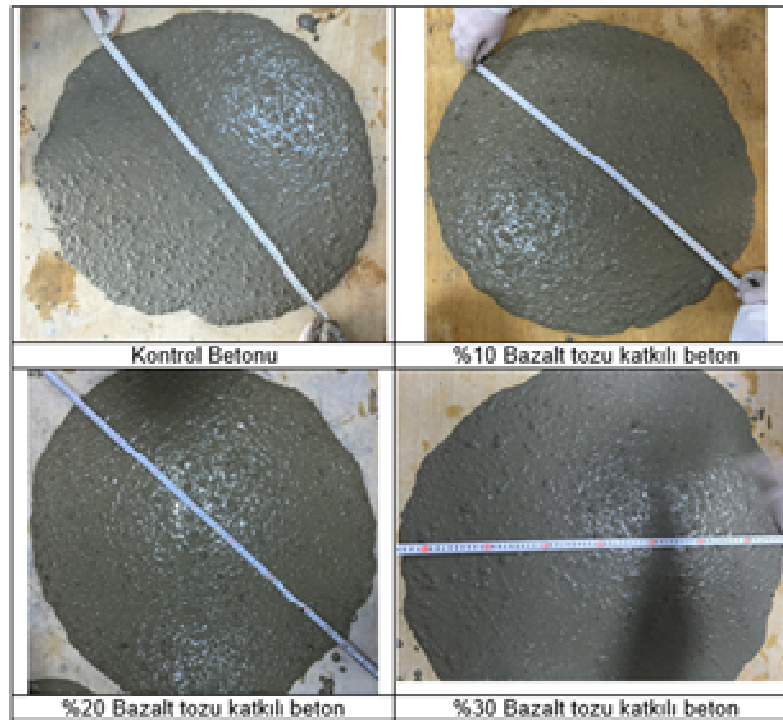
EK 1.6. Şeker pancar külü tane boyut dağılım analiz sonucu



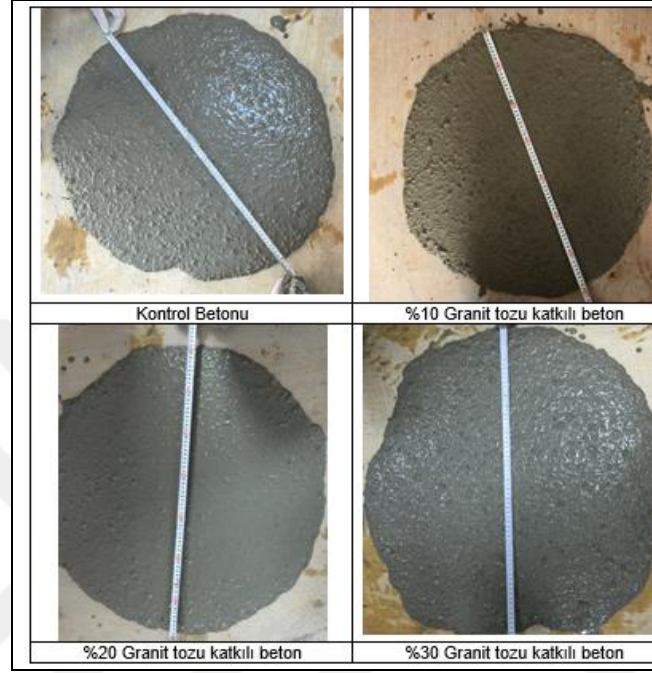
EK 2.1. Mermer tozu Kakılı Beton Çökme Yayılma Deney Resimleri



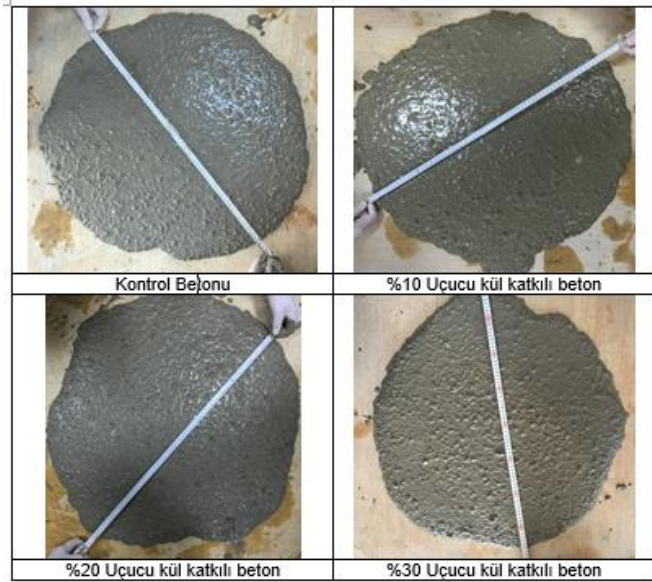
EK 2.2. Bazalt Tozu Kakılı Beton Çökme Yayılma Deney Resimleri



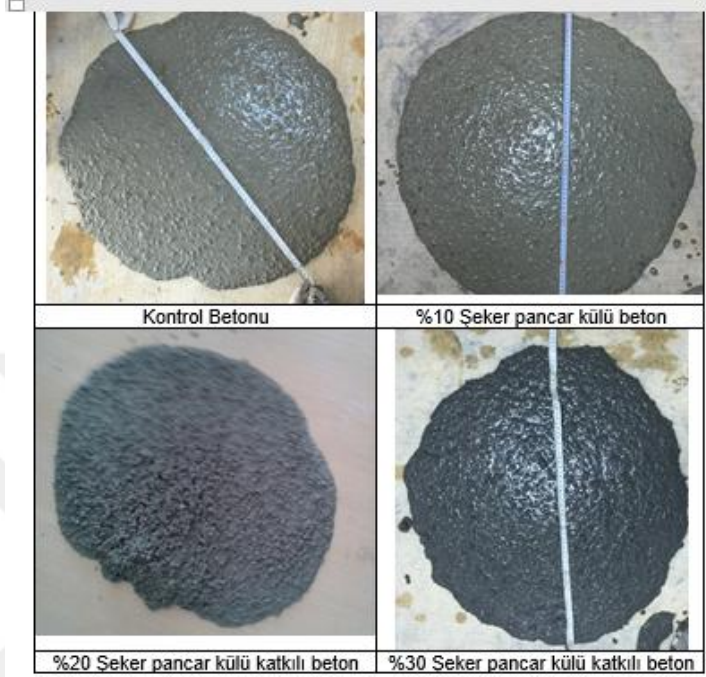
EK 2.3. Granit Tozu Kakılı Beton Çökme Yayılma Deney Resimleri



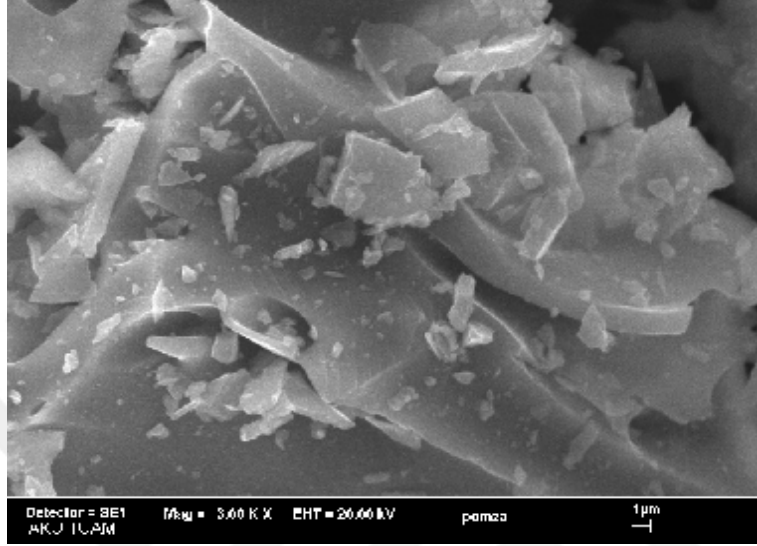
EK 2.4. Uçucu Kül Kakılı Beton Çökme Yayılma Deney Resimleri



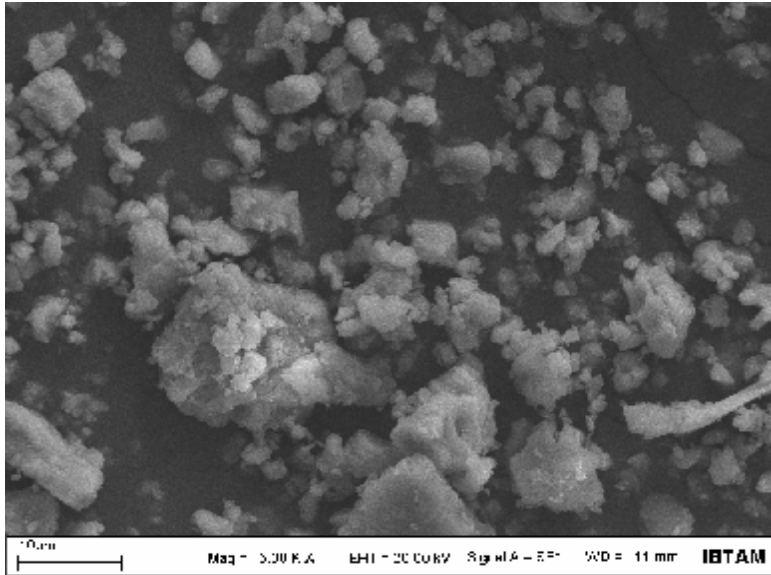
EK 2.5. Şeker Fabrikası Filtre çamuru Kakılı Beton Çökme Yayılma Deney Resimleri



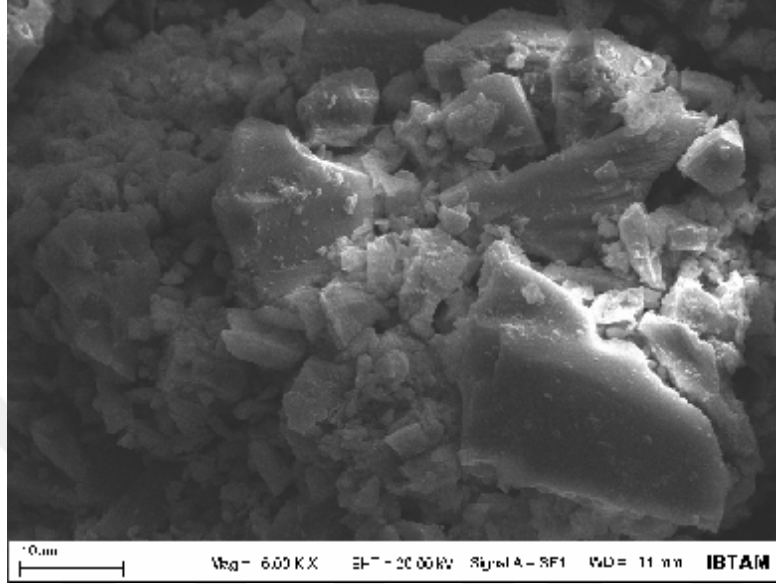
EK.3.1. Pomza örneği SEM görüntüsü



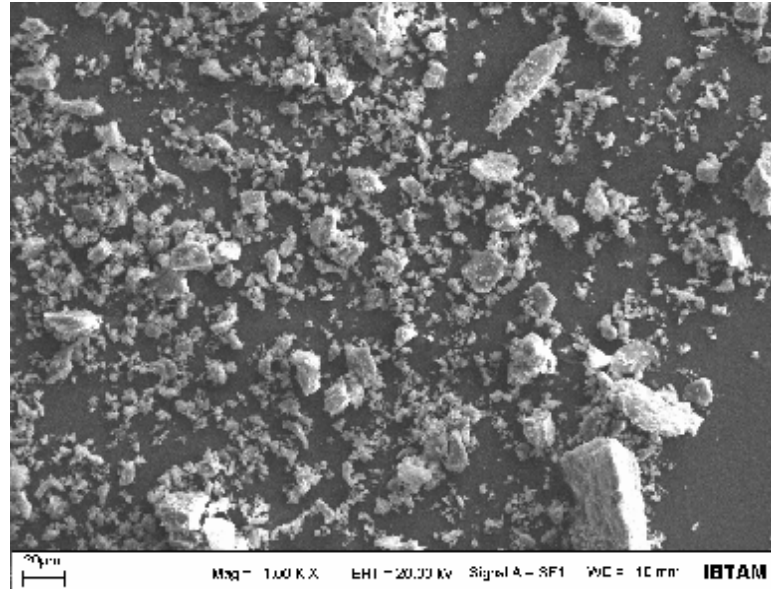
EK.3.2. Mermer tozu örneği SEM görüntüsü



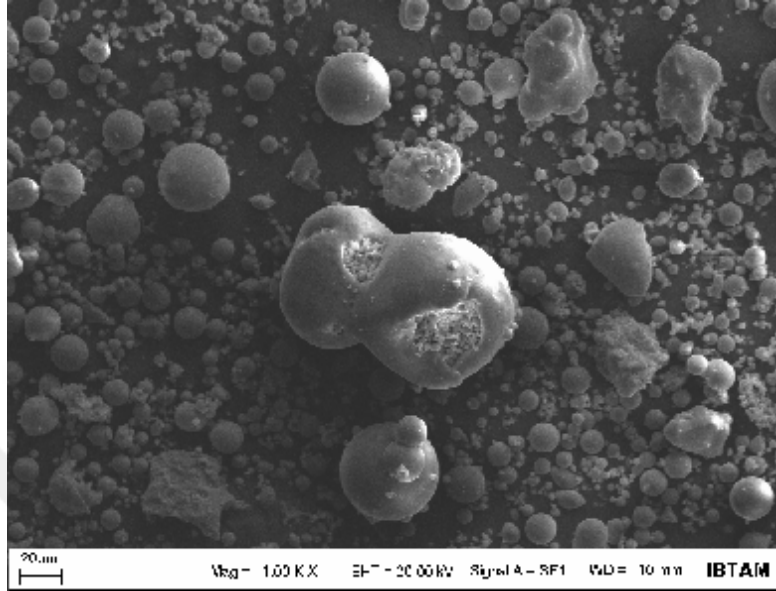
EK.3.3. Bazalt tozu örneği SEM görüntüsü



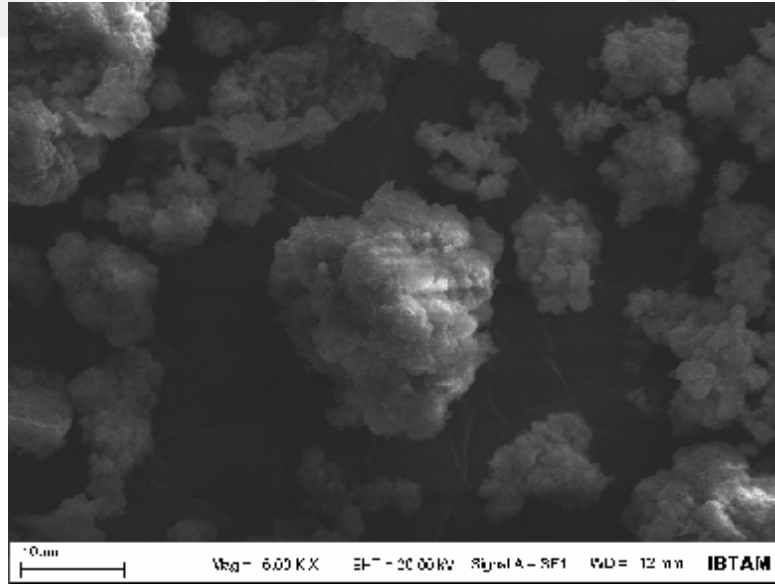
EK.3.4. Granit tozu örneği SEM görüntüsü



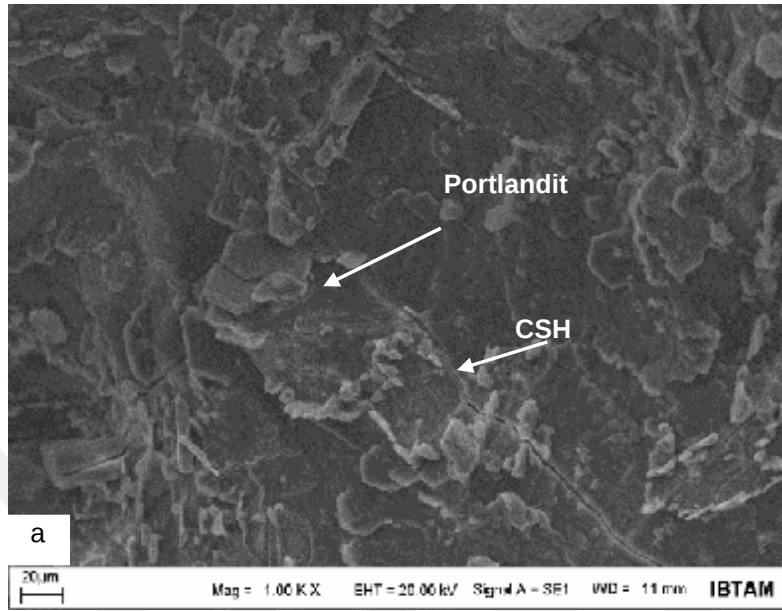
EK.3.5. Uçucu Kül örneği SEM görüntüsü



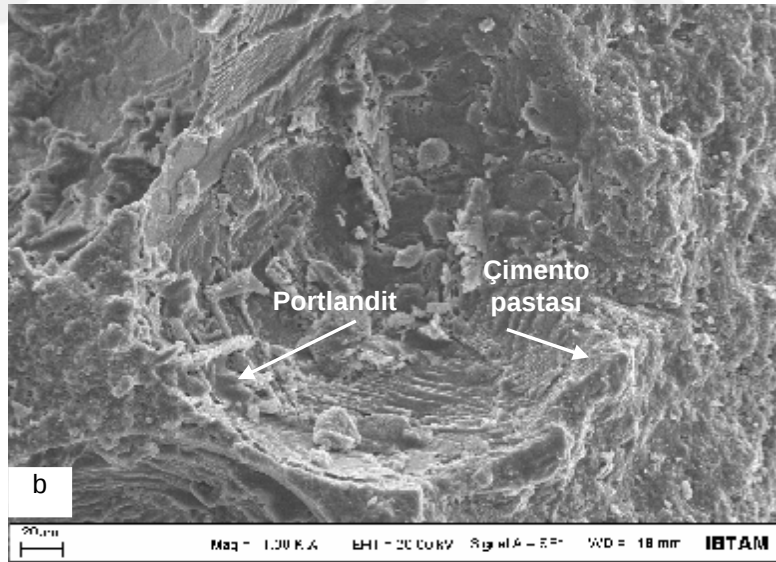
EK.3.6. Şeker fabrikası filtre çamuru örneği SEM görüntüsü



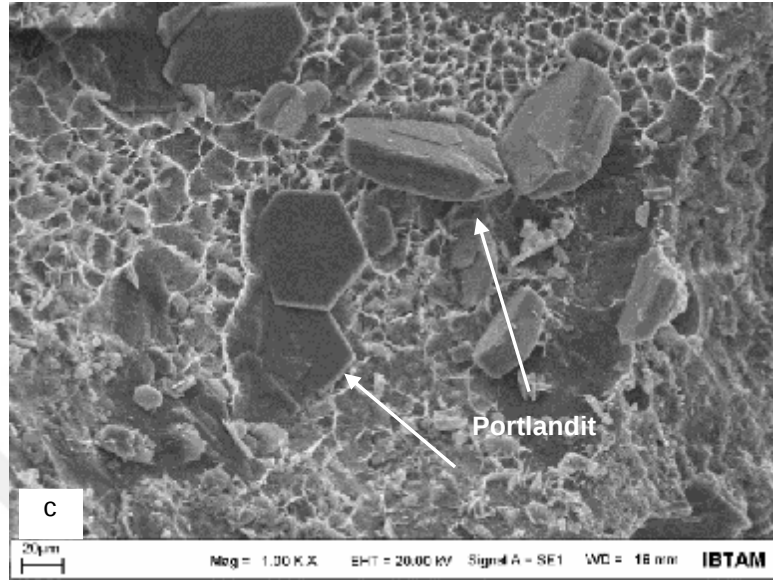
EK 4.1. Kontrol betonuna ait SEM görüntüleri



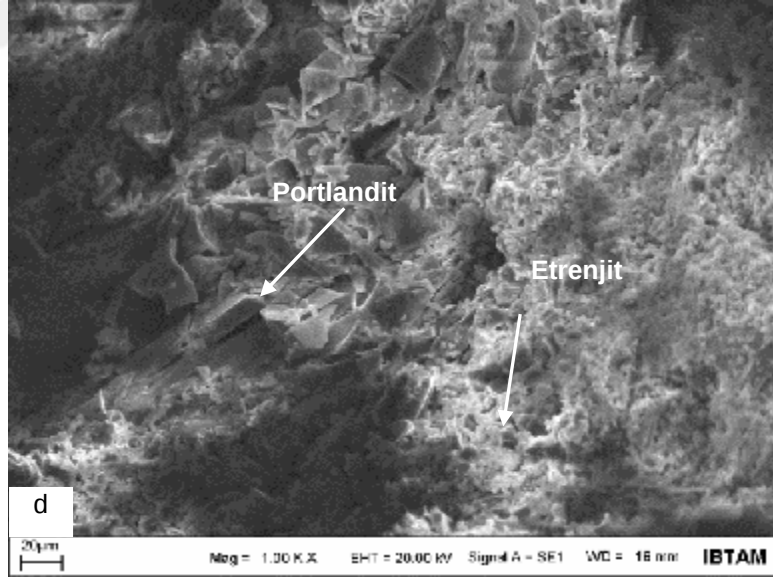
EK 4.2. %10 mermer tozu katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



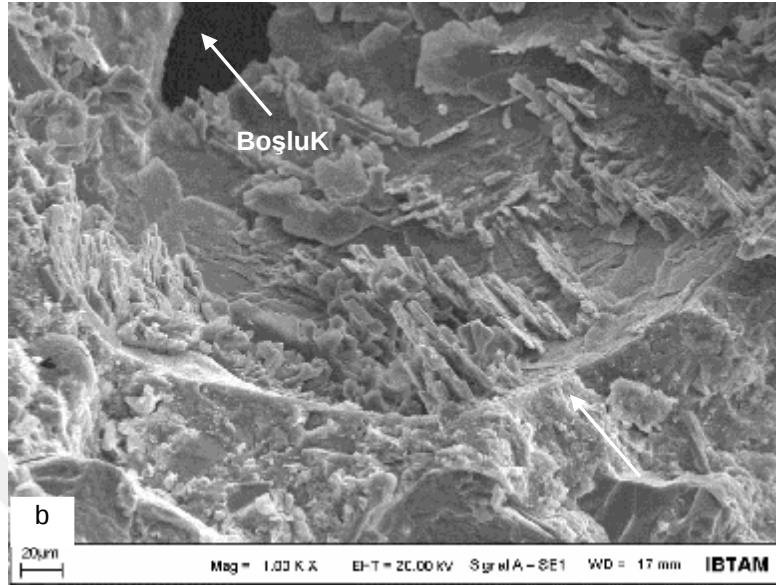
EK 4.3. %20 mermer tozu katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



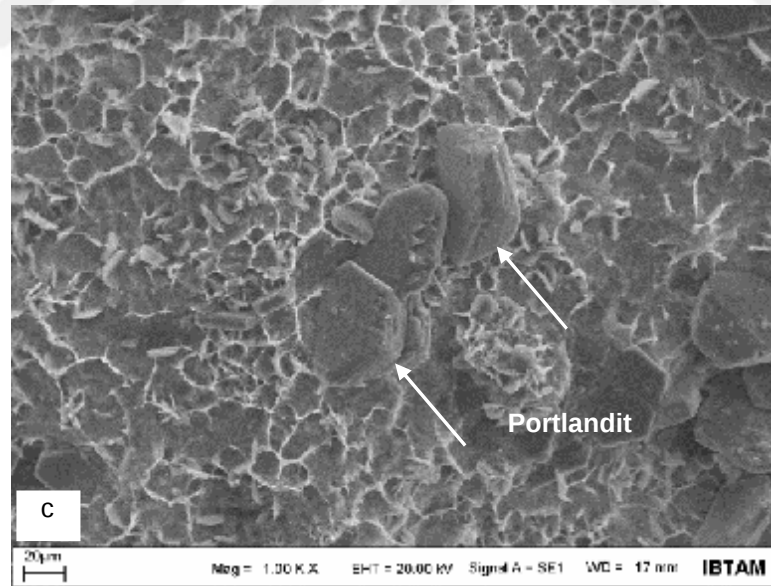
EK 4.4. %30 mermer tozu katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



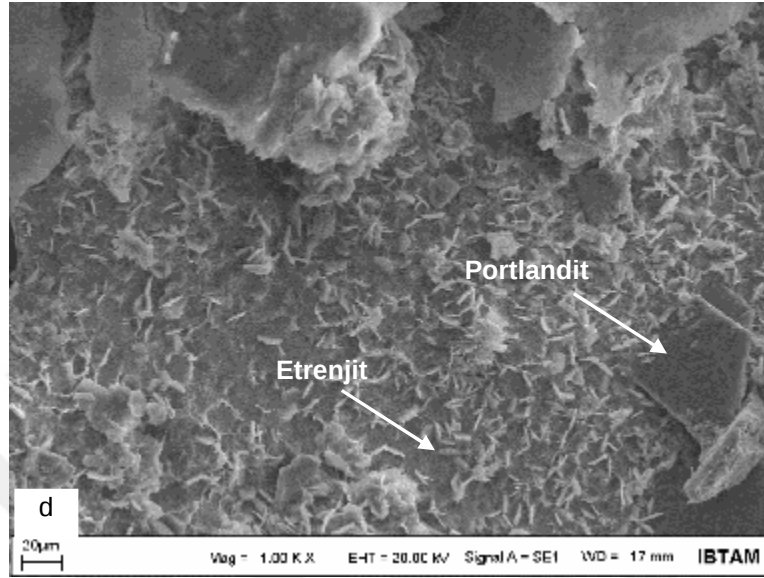
EK 5.1 %10 bazalt tozu katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



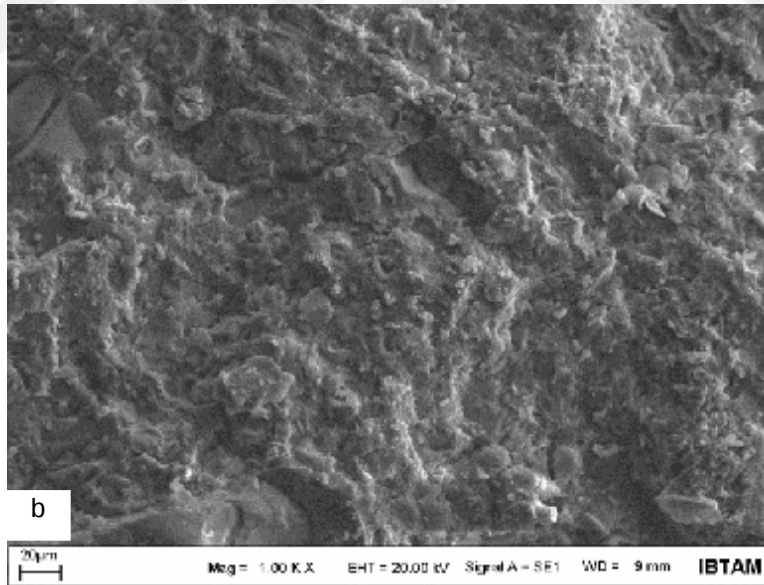
EK 5.2. %20 bazalt tozu katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



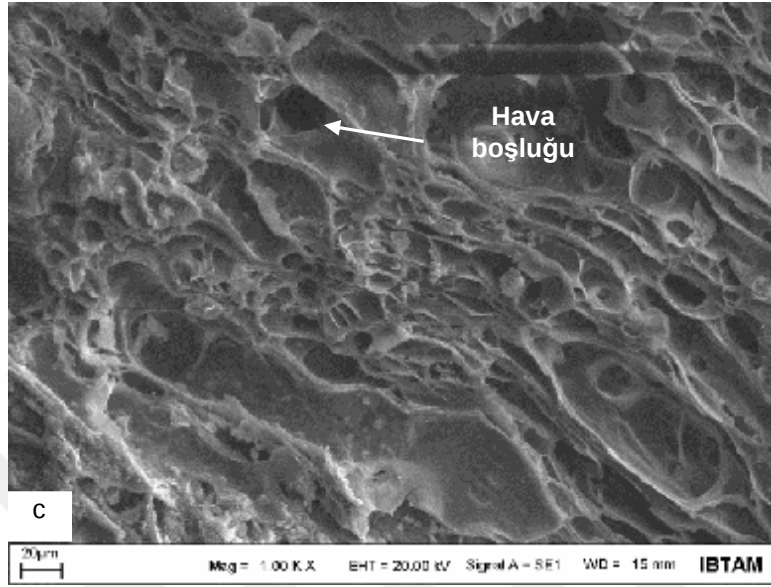
EK 5.3. %30 bazalt tozu katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



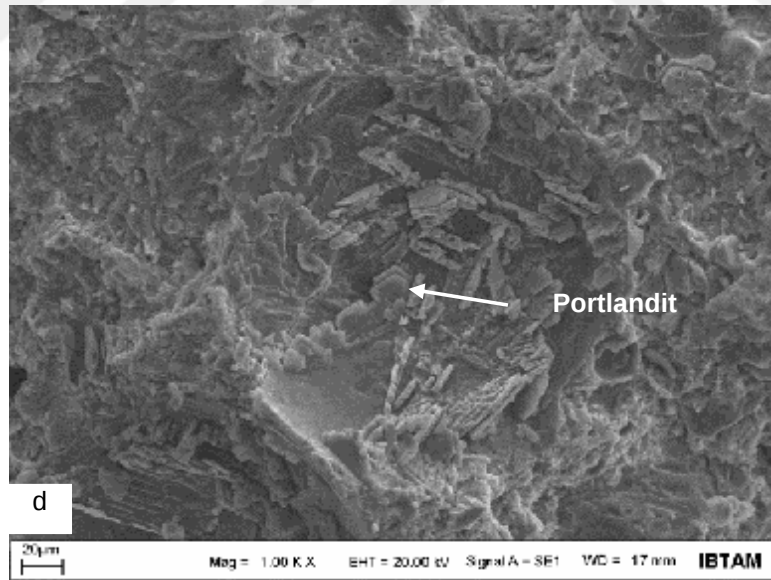
EK 6.1. %10 granit tozu katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



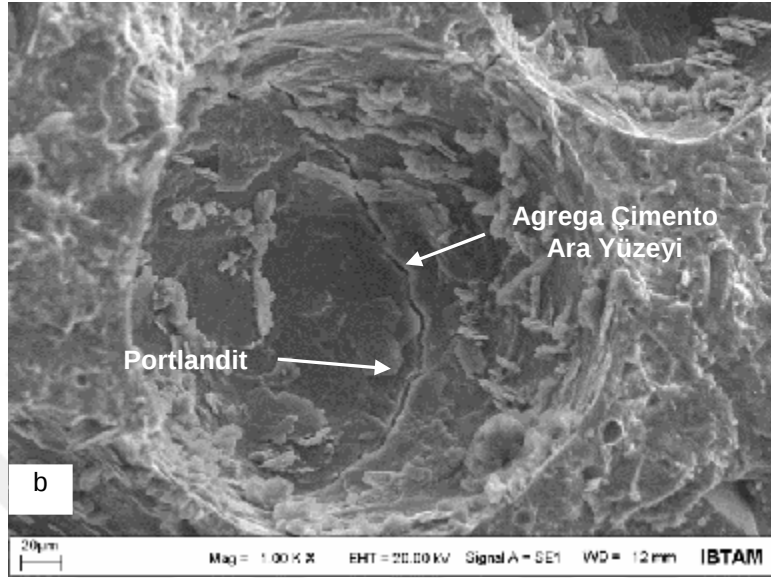
EK 6.2. %20 granit tozu katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



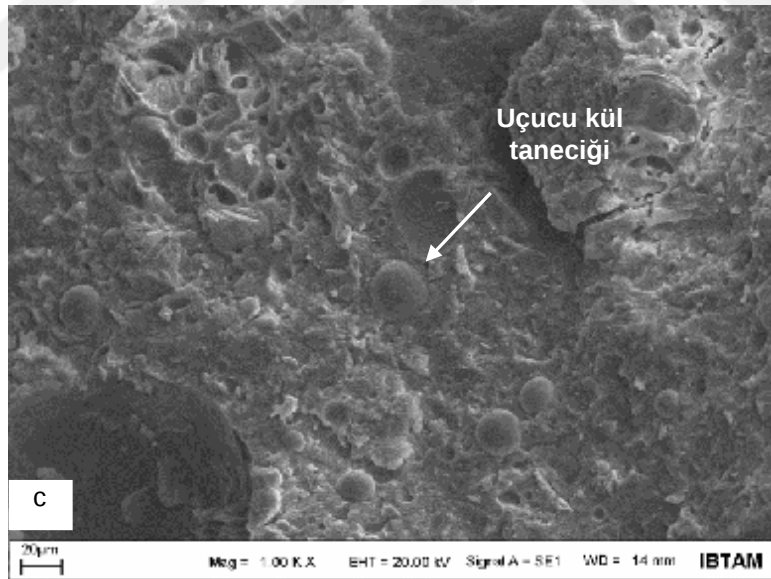
EK 6.3. %30 granit tozu katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



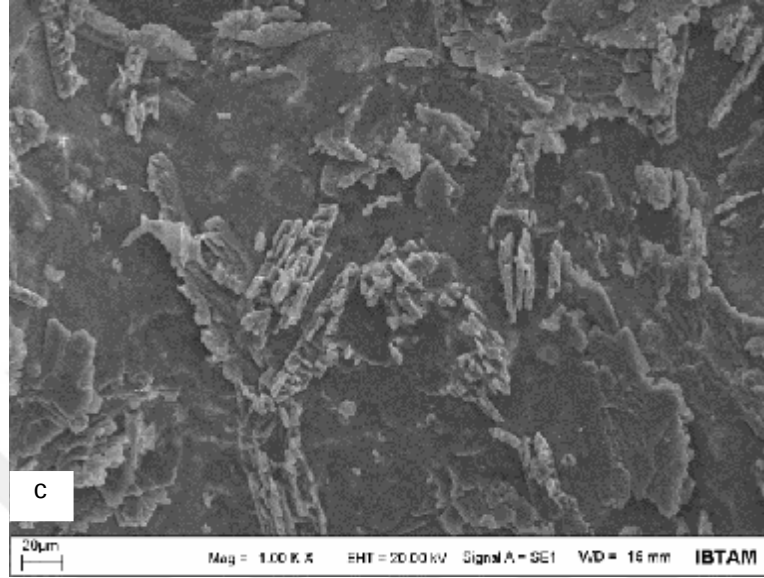
EK 7.1. %10 Uçucu kül katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



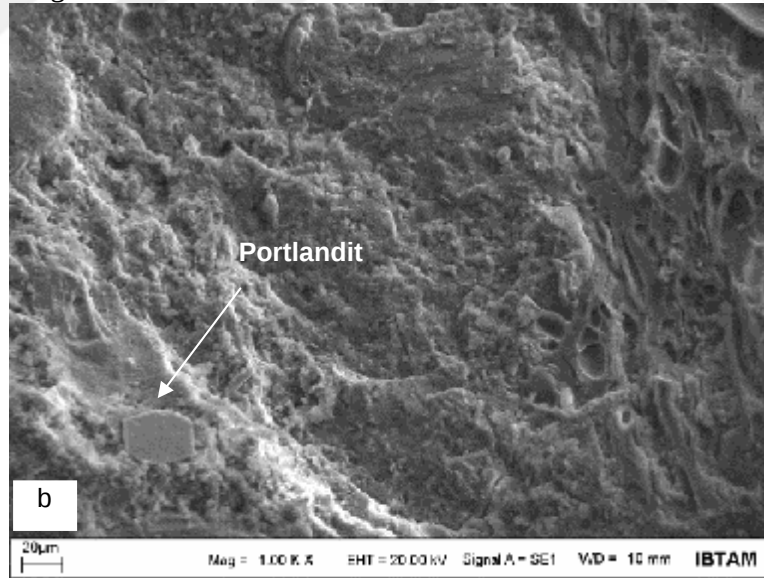
EK 7.2. %20 Uçucu kül katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



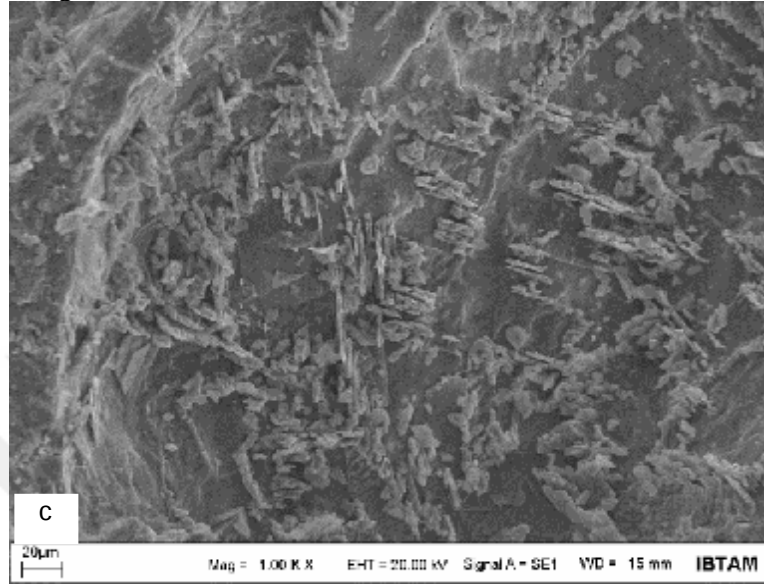
EK 7.3. %30 Uçucu kül katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



EK 8.1. %10 Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



EK 8.2. %20 Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü



EK 8.3 %30 Şeker fabrikası filtre çamuru katkılı beton numunesine ait SEM görüntüsü

