

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MALATYA PÜTÜRGE YÖRESİNDE ÇIKARILAN
PİROFİLLİT MALZEMESİNİN BETON AGREGASI
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harun ÖZKAYA

Anabilim Dalı: Yapı Eğitimi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN

TEMMUZ-2011

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MALATYA PÜTÜRGE YÖRESİNDE ÇIKARILAN PİROFİLLİT MALZEMESİNİN
BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Tezi
Harun ÖZKAYA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07.07.2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 30.06.2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Servet YILDIZ
Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ

TEMMUZ-2011

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, değerli fikirlerinden ve tecrübelerinden faydalandığım o kadar çok kişi varki, ancak çalışmanın en başından beri, bütün boş vakitlerini bu çalışmaya ayırarak yönlendiren, değerli fikir ve yardımlarını esirgemeyen, verdiği destek ve güvenden kazandığım şevkle, çalışmanın son şeklini verilmesinde ve sonuçlandırılmasında emeği geçen, değerli tez danışmanım ve hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Yüksel ESEN'e,

sizin emek ve fedakarlıklarınızı unutmak mümkün değil, çalışmanın bu şekline getirilmesinde, değerli fikir, tecrübe ve zamanınızı esirgemediğiniz için, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü hocalarından Doç. Dr. Ömer KELEŞOĞLU'na, Doç. Dr. Servet YILDIZ'a, Yrd. Doç. Dr. Cevdet Emin EKİNCİ'ye,

özellikle belirtmek isterim ki her zaman yardımlarını gördüğüm değerli zamanını bana ayıran fikir, tecrübe ve yönlendirmelerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Erdinç ARICI'ya,

çalışmanın literatür araştırmasında yardımlarını esirgemeyen MTA 4. Bölge Müdürü Jeo. Yük. Müh. Yunus AY'a, Müd. Yrd. Ramazan MANDAL'a, Müd. Yrd. Bedrettin AYHAN'a ve APK Baş Müh. Jeo. Yük. Müh. Bayram TÜRKYILMAZ'a,

malzemenin temininde büyük kolaylık sağlayan, yardımlarını esirgemeyen Sayın İbrahim ALTUNTAŞ'a,

laboratuvar deneylerinde yardımlarını esirgemeyen öğretim görevlisi Müge ORAKOĞLU'na, öğretim görevlisi Mehmet Vefa HAN'a,

ve çalışma sürecince üzerimden desteğini esirgemeyen aileme,
çok teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada, Malatya Pütürge İlçesinde bulunan pirofillit (phyllite) kayacının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Pütürge, Malatya iline yaklaşık 74 km uzaklıkta bulunmaktadır. Pütürge'nin güneyinde 15 km uzunluğunda bir kuşakta yaklaşık 25 dolayında pirofillit çeşiti saptanmıştır ve 10 ocak açılmıştır[8]. Bu ocaklardan Taşmış Köyü'nde bulunan ocaktan alınan örnekler konkasörle kırılarak granülometrik hale getirilmiş malzeme ile standartlara uygun olarak agrega deneyleri ve bazı sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır.

Agrega deneyi olarak elek analizi ve tane büyüklüğü dağılımı tayini, agregalarda parçalanma direncinin tayini, özgül ağırlık, su emme tayini ve $MgSO_4$ sağlamlık denemesi deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda agreganın aşınma kaybı %28, özgül ağırlığı 2,67, doymun yüzey kuru ağırlığı 2,70, absorpsiyon yüzdesi 0,9, $MgSO_4$ sağlamlık denemesine göre kayıp ortalama kayıp yüzdesi %22 olarak ölçülmüştür.

Beton deneyi olarak sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini, ultrasonik puls geçiş hızı deneyi, yüzey sertliği deneyi, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, çarpma etkisi ve yüksek sıcaklık etkisi deneyleri yapılmıştır. Buna göre sertleşmiş betonun kuru birim hacim ağırlığı 2,08 civarında, ultrasonik puls geçiş hızı $U_h=3778,3m/sn$, yüzey sertliği ortalama 20,92, 28 günlük betonun ortalama basınç dayanımı 21,17 MP_a , eğilme dayanımı 1,20 MP_a , yarmada çekme dayanımı 2,08 MP_a , çarpma deneyinde numunenin 140 vuruş sayısına kadar direnç gösterdiği görülmüştür ve ayrıca yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerin 1450°C'ye kadar dayanım gösterdiği deneylerle saptanmıştır.

Deneyler sonucunda bulunan değerler TS EN standartlarına göre analiz edilmiş olup sonuçlar sayısal olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan kullanılan agrega ile üretilen betonun basınç dayanımının ve eğilme dayanımının çok yüksek olmadığı ancak çarpma dayanımı ve yüksek sıcaklığa karşı iyi direnç gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pirofillit, Agregas, Beton, Kırmataş, Dayanım

ABSTRACT

In this paper, it is purposed searching usability of pyrophyllite (phyllite) rock for concrete aggregate which is found in Pütürge district of Malatya. Pütürge is located 74 km away from Malatya. On the south side of Pütürge there are 25 type of pyrophyllite detected around 15 km long zone and 10 mine opened around there [8]. Those samples have brought to granulometric state by broken with rock crusher and aggregate tests and some hardened concrete tests have done in accordance with standards.

Sieve analysis, grain size range investment, resistance to fragmentation of aggregate investment, weight density and water absorption investment and MgSO_4 hollow drill testing have done as aggregate experiences. At results of these experiences abrasion loss of aggregate was measured 28%. Weight density was measured 2.67. Unit weight in saturated state was measured 2.70. Absorption percentage was measured 0.9. Average loss percentage of MgSO_4 hollow drill testing was measured 22%.

Density of hardened concrete investment, ultrasonic pulse transmission rate investment, surface hardness investment, compressive strength, flexural strength, tensile splitting strength, impact effect and high temperature effect investments have done as concrete experiments. At the result dry unit weight of hardened concrete was measured around 2.08. Ultrasonic pulse transmission rate was measured $U_h=3778,3\text{m/sn}$. Surface hardness was measured around 20.92. Compressive strength of 28 days waited concrete was was measured 21.17 MP. Flexural strength was measured 1.20 MP, tensile splitting strength was measured 2.08 MP. On impact effect sample has resisted 140 number of strokes. And also samples which have subjected to high temperature have resisted around 1450 °C.

At the results of experiences, obtained results have analyzed by TS EN standards and have given quantitatively. Obtained results by producing concrete with using this aggregate are not very high for compressive strength and flexural strength. But that concrete has resisted well on impact effect and high temperature.

Keywords: Pyrophyllite, Aggregate, Concrete, Ballast, Resistance.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEŞEKKÜR	III
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	VIII
TABLoların LİSTESİ	IX
RESİMLERİN LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
SİMGELER LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	2
1.2. Konunun Önemi	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Giriş	6
2.2. Pirofillit	6
2.3. Pirofillit'in Kullanım Alanları	8
2.4. Pirofillit'in Fiziksel Özellikleri	10
2.5. Pirofillit'e Ait Genel Özellikler	11
2.6. Pirofillit'in Yataklanma Şekilleri	11
2.7. Pirofillit Yataklarının Jeolojisi ve Kökeni	11
2.8. Sektörde Faaliyet Gösteren Uluslararası Organizasyonlar	13
2.9. Pirofillit'in Dünyadaki Mevcut Durumu	14
2.10. Pirofillit'in Türkiye'deki Durumu	15
2.11. Dünya'daki Durum ve Diğer Ülkelerle Kıyaslama	19
3. MATERYAL VE METOT	20
3.1. Giriş	20
3.2. Malzeme	20
3.2.1. Pirofillit	20
3.2.2. Numunenin Sahadan Alınışı	21
3.3. Portland Çimentosu	22
3.4. Karma Suyu	22

3.5.	Su/Çimento Oranı	22
3.6.	Karışım Oranı ve Hesabı	22
4.	DENEYSEL ÇALIŞMA	24
4.1.	Agrega Deneyleri	24
4.1.1.	Elek Analizi ve Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini	24
4.1.2.	Agregada Parçalanma Direncinin Tayini	26
4.1.3.	Özgül Ağırlık ve Su Emme Tayini	26
4.1.4.	Mg SO ₄ Sağlamlık Denemesi	26
4.2.	Sertleşmiş Beton Deneyleri	27
4.2.1.	Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini	27
4.2.2.	Ultrasonik Puls Geçiş Hızı Tayini	29
4.2.3.	Yüzey Sertliği Tayini	30
4.2.4.	Beton Basınç Dayanımı Tayini	30
4.2.5.	Eğilme Dayanımı Tayini	32
4.2.6.	Yarmada Çekme Dayanımı Tayini	34
4.2.7.	Çarpma Etkisi Tayini	35
4.2.8.	Yüksek Sıcaklık Etkisi Tayini	40
5.	SONUÇLAR	43
6.	EK	46
7.	KAYNAKÇA	47
	ÖZGEÇMİŞ	50

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Pirofillit Numunelerinin Alındığı Yer	21
Şekil 4.1. Pirofillit Malzemesi Agrega Granülometri Eğrisi	25
Şekil 4.2. Deney Numunesi Yükleme Düzeneği	32
Şekil 4.3. Silindir Şekil Numunelerin Deneyinde Kullanılan Sabitleme Cihazı	34
Şekil 4.4. Çarpma Etkisi Sonucu Ağırlık Kaybı Grafiği	40
Şekil 4.5. Çarpma Etkisi Sonucu PGH Grafiği	40
Şekil 4.6. Gerilme – Sıcaklık Etkisi Grafiği	42
Şekil 4.7. %Ağırlık Kaybı Sıcaklık Değişimi Grafiği	42

TABLULARIN LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Pirofillitin Kullanım Alanına Göre Ürün Standartları	10
Tablo 2.2. Pirofillit Üretim Kapasiteleri ve Kullanım Oranları	14
Tablo 2.3. Tipine Göre Pirofillit Fiyatları	15
Tablo 2.4. Pirofillit'in Tüketim Miktarı (Ton)	17
Tablo 2.5. Pirofillit'in Tüketim Miktarı (Milyon TL)	17
Tablo 2.6. Refrakter Sanayiinde Kullanılan Pirofillitlerin Özellikleri	18
Tablo 2.7. Beyaz Çimento Üretiminde Kullanılan Pirofillitin Özellikleri	18
Tablo 3.1. Çimentoya Ait Kimyasal ve Fiziksel Özellikler	22
Tablo 3.2. Karışımda Kullanılan Betonun Yaklaşık Karışım Oranı Miktarları	23
Tablo 4.1. Pirofillit Malzemesi Elek Analizi Sonuçları	24
Tablo 4.2. Granülometriye Göre Aşınma Sınıfı Sonuçları	26
Tablo 4.3. Özgül Ağırlık ve Absorbsiyon %'si Sonuçları	26
Tablo 4.4. MgSO ₄ Sağlamlık Denemesi Sonuçları	26
Tablo 4.5. Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini Sonuçları	28
Tablo 4.6. Ultrasonik Puls Geçiş Hızı Sonuçları	29
Tablo 4.7. Yüzey Sertliği Etkisi Sonuçları	30
Tablo 4.8. Beton Basınç Dayanımı Sonuçları	32
Tablo 4.9. Eğilme Dayanımı Sonuçları	33
Tablo 4.10. Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları	35
Tablo 4.11. Çarpma Etkisi Deneyi Sonuçları	38
Tablo 4.12. Sıcaklık Etkisi Sonuçları	41

RESİMLERİN LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Resim 3.1. Pirofillit	20
Resim 4.1. Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini Numunesi	27
Resim 4.2. Ultrasonik Puls Geçiş Hızı Deney Aleti	29
Resim 4.3. Beton Basınç Dayanımı Numunesi	31
Resim 4.4. Eğilme Dayanımı Sonucu Oluşan Kırılma	33
Resim 4.5. Yarmada çekme dayanımı beton numuneleri	34
Resim 4.6. Çarpma Etkisi Deney Aleti	37
Resim 4.7. Çarpma Etkisi Gözlem Sonucu Resimleri	39
Resim 4.8. Çarpma Etkisi Sonucu İflas Eden Numune	39
Resim 4.9. Sıcaklık Etkisi Deney Numuneleri	41

KISALTMALAR LİSTESİ

AGÜB	: Agrega Üreticileri Birliği
DDT	: “Dikloro Difenol Trikloroethan” zehirli bir ilaç türüdür.
EN	: “European Norm” Avrupa Birliği’nde standartlar arasında harmonizasyonu sağlamak için oluşturulmuştur.
FOB	: “Free On Board” tedarikçinin malzemeyi nakliye yapılacağı geminin güvertesine taşınana kadar olan sorumluluğunu içerir.
KB-GD	: Kuzeybatı – Güneydoğu
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
PÇ	: Portland Çimentosu
PGH	: Ultrasonik Puls Geçiş Hızı
TS 707	: “Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi” başlıklı Türk Standardı.
TS 706	: “Beton Agregaları” başlıklı Türk Standardı
TS 802	: “Beton Karışım Hesapları” başlıklı Türk Standardı.
XRD	: X-Ray Diffraction spektroskopisi olarak bilinen, X ışını ultraviyole ışıdan daha kuvvetli fakat gamma ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanarak yapılan analiz.

SİMGELER LİSTESİ

Ac	: Numunenin üzerine basınç yükünün uyguladığı en kesit alanı mm ²
B ₁	: Beton basınç dayanımı deneyinde kullanılan 1 nolu numune
C	: Çimento
d ₁ ,d ₂	: Numunenin en kesit boyutları mm
E ₁	: Eğilme dayanımı deneyinde kullanılan 1 nolu numune
F	: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük
f _c	: Basınç dayanımı MP _a (N/mm ²)
f _{cf}	: Eğilme dayanımı
f _{ct}	: Yarmada çekme dayanımı, MPa (N/mm ²),
L	: Mesnet silindirleri arasındaki açıklık mm
P _{gh1}	: Ultrasonik puls geçiş hızı deneyinde kullanılan 1 nolu numune
S _%	: Su emme yüzdesi
S ₁	: Sertleşmiş beton yoğunluğu tayini deneyinde kullanılan 1 nolu numune
U _h	: Ultrasonik puls geçiş hızı deneyi sonucu
Y _{ç1}	: Yarmada çekme dayanımı deneyinde kullanılan 1 nolu numune
W	: Su
Y _{kuru}	: Kuru birim hacim ağırlığı
Y _{doygun}	: Doygun birim hacim ağırlığı

1. GİRİŞ

Agregalar çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olmakla birlikte, özellikle inşaat sektöründe zorunlu olarak kullanılan bir gereçtir. Ülkemizde özellikle son 25–30 yıl içinde köyden kente hızlı bir nüfus göçünün meydana gelmiş olması, bu nüfus hareketinin doğal sonucu olarak inşaat sektöründeki büyüme ve gelişme, yol yapımının hızlanması ve benzeri nedenler agrega gereksiniminde büyük artışlara neden olmuştur.

Agregaların ekonomik ve dayanıklı olmaları beton yapımında kullanılmalarının en önemli nedenlerindendir. Bilindiği üzere beton hacminin %68-78'ini agrega teşkil etmektedir. Agrega, betonun dayanımı ile birlikte, davranışını da etkilemektedir. Betonun kısa veya uzun süreli performansında aderansın etkisi büyüktür. Agrega granülometrisinin iyi olması halinde, karışımda daha az çimentoya gereksinim duyulacağı bilinmektedir. Diğer taraftan, beton yapımında kullanılan agreganın mineral yapısı, tane şekli, tane dağılımı, dona karşı dayanımı, aşınma dayanımı, birim ağırlığı, özgül ağırlığı, boşluk oranı, su emmesi, sertliği ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı beton dayanıklılığını etkileyen en önemli özellikler olarak görülmektedir [1].

Sertleşmiş betondan beklenen dayanımlı, dayanıklı ve ekonomik olmasıdır. Son depremler sırasında büyük hasar gören yapılar incelendiğinde yapılaşmanın hızlı olduğu bölgede betonla ilgili temel bilgilerin kullanılmadığı ve gerekli denetimlerin yapılmadığı belirgin biçimde ortaya çıkmıştır. Beton hacminin yaklaşık %70' ini oluşturan agreganın betonun performansında etkisi belirgindir. En fazla su / çimento oranı ile en az çimento içeriğindeki sınırlamalar betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Bu iki sınırlamanın gerçekleşmesinde agreganın kaliteli ve boyut dağılımının uygun olması zorunludur. Genel olarak betonun çevresel etkilere diğer bir deyişle durabiliteye göre tasarımı bu iki parametreye göre yapılır. Betondaki maksimum su/çimento oranı ve minimum çimento dozajı gibi kısıtlamaların ne ölçüde gerçekleşebileceği doğrudan beton agregasının türüne, granülometrisine ve standartlarına uygun olmasına bağlıdır. Beton; agrega, çimento hamuru ve agrega-çimento hamuru temas yüzeyinden oluşan üç fazlı bir kompozit malzeme olarak düşünülürse en zayıf halkanın arayüzeyler olduğu ortaya çıkar. Beton teknolojisindeki gelişmenin anahtarı çimento hamuru ile agrega arasındaki arayüzeylerin güçlendirilmesidir[28].

Günümüzde istenen performansda beton üretmek bir sorun değildir. Beton üretiminin de teknoloji ve bilgi gerektirdiği unutulmamalıdır. Agreganın kalitesine özen gösterildiği ve minimum dozaj ve maksimum su/çimento oranı kısıtlamaları göz önünde bulundurulduğunda istenen performansı sağlayan beton üretilebilir. Betonun dürabilitesini artırmak için çimento dozajı yeterli düzeyde olmalı, su/çimento oranı betonun maruz kalacağı çevresel etki için öngörülen değeri aşmamalı ve aşırı su kullanımından sakınılmalıdır. Betonun akışkanlığını sağlamak için fazla su yerine uygun kimyasal katkı maddesi kullanılmalıdır[29].

1.1. Amaç

Günümüzde beton çok yaygın olarak kullanılmakta olan bir yapı malzemesidir. Beton kullanımına paralel olarak, beton agregasına olan talepte artmaktadır. Beton agregasının bir kısmı doğal kaynaklardan elde edilmekle beraber, hem talebin artması, hem de doğal agreganın ocakları üzerinde çevresel endişeler ile yapılan kısıtlamalar, kırmataş olarak üretilen agregaya olan talebi arttırmaktadır. Tüketim yerine göre talep edilen kırmataşta bazı kalite değerleri istenmektedir. Örneğin; kırmataş eğer beton üretiminde kullanılacak ise her şeyden önce iyi bir tane boyu dağılımı istenmektedir. Çoğu beton karışım dizaynların beton dayanıklılığı ile tane boyu dağılımı arasında doğrudan bir ilişki olduğu bilinmektedir. Beton dökümlerinde kırmataş tane boyutu arttığı oranda çimento katkı yüzdesini düşürmekte, buna karşın dayanımı arttırmaktadır. Çimento yüzdesinin azalması hidrotasyon ısını azaltmakta dolayısıyla inşaat tekniğindeki bazı komplikasyonları ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle disiplinsiz olarak kazılan kaya yapılarının doğrudan kırıcılara beslenmesi ile amaçlanan agreganın kalitesine ulaşabilmek olası değildir[30].

Beton hacminin % 68-78'ini agreganın bileşeni meydana getirdiği için seçiminde titizlik göstermesi gerekmektedir. Agreganın gereken mukavemete sahip olması ve dış etkenlere dayanabilmesidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Betonun temelini oluşturan agreganın özellikleri, betonun işlenebilirliği, dayanımı ve geçirgenlik değeri gibi özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir[31].

Bu çalışma ile Malatya'nın Pütürge ilçesinde çıkarılan Pirofillit malzemesinin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin ortaya çıkarılması ve il ekonomisine olan katkısının artırılması amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşabilmek için;

1. Ülkemizde beton agregalarında aranan özellikler TS 706 EN 12620 standartlarında belirtilmiş Pirofillit malzemesinin bu standartlara uygunluğunu incelemek.
2. Pirofillitin iç yapısında öngörülen şartları sağlayıp sağlamadığını incelemek.
3. Elde edilen sonuçların Türk Standartlarına uygunluğu araştırılacaktır.

1.2. Konunun Önemi

Türkiye'de Pirofillit, yoğun olarak Malatya ili Pütürge ilçesi civarında bulunmaktadır. Ülkemizde sınırlı bir bölgede çıkarılan ancak büyük bir rezerve sahip olan Pirofillit malzemesinin, kırmataş olarak inşaat sektörüne kazandırılması ülke ekonomisi ve bölgenin ekonomisi açısından büyük öneme sahiptir.

İnşaat sektöründe sıkça kullanılmakta olan doğal kum ocaklarının yavaş yavaş tükenmesi, kaliteli doğal agreganın bulunma koşullarının zorlaşması ve elde edilen beton kalitesinin düşük olması nedeniyle günümüzde hızlı bir şekilde kırmataş agregasına yöneliş olmaktadır. Kırmataş agrega yüzeylerinin pürüzlü olmasından dolayı çimento hamuru ile agrega arasında kuvvetli bir bağ oluşur. Pürüzlü yüzeyin büyük olması, kırmataş agregası ile çimento hamurunun temas yüzeyinin de o kadar geniş olmasını sağlar. Bu sebepten dolayı kırmataş agrega ile üretilen betonlarda dayanımların arttığı görülmektedir. Ayrıca, agrega tanelerinin olabildiğince küp veya küre biçimine yakın olması, beton için elverişli bir durum oluşturmaktadır [2].

Betonu oluşturan malzemeler içerisinde en büyük orana sahip olan agrega (kum, çakıl, kırmataş ..) doğal kaynakları giderek tükenen ve standartlara uygun, temiz, kaliteli örneklerinin bulunması güç bir malzeme olarak hazır beton sektöründeki stratejik önemini her geçen gün artırmakta. 1999 yılında İstanbul'da düzenlenen II. Ulusal Kırmataş Sempozyumu'nda dile getirildiği gibi, bu alanda ciddi planlamalar yapıp önlemler alınmazsa yakın gelecekte agrega ithali bile söz konusu olacak gibi. Aslında, Marmara Bölgesi başta olmak üzere, ülkemizde pek çok taş ocağı "beton agregası" üretme amacıyla faaliyette bulunuyor. Ancak, bunların çok azı yaptığı işin bilincinde; çok azının standartlara uygunluk belgesi, buna uygun donanımı ve kalifiye personeli bulunuyor.

Bunlar, hizmet vermeyi hedefledikleri beton üreticilerine yararlı olamadıkları gibi, bilinçsiz ve ilkel üretim yöntemleriyle çevreyi de onarılmaz tahribatlara uğrattıyorlar. Mevzuattaki karışıklık ve boşluklar da buna eklenince, konu içinden çıkılmaz bir hal alıyor. Bugün pek çok beton üreticisi kuruluş, piyasadan standartlara uygun kaliteli agregayı uygun koşullarda temin edemedikleri için yan birimler ya da şirketler kurup, taş ocakları işleterek agregayı doğrudan üretme yoluna gidiyorlar. Amaç, yalnızca betonun kendisinin değil, beton karışımına giren çimento dışındaki diğer malzemelerin de (agrega, katkı vb.) kalite sürecini izlemek ve bunu belgelemek; Türkiye Hazır Beton Birliği, üyelerinin, beton karışımına giren ve dışarıdan temin ettikleri tüm malzemelerde standartlara uygunluk belgesi aramalarını, standartlara uygunluğu belgelenmeyen beton karışım malzemelerini tercih etmemelerini öngörüyor. Agreganın üretim ve kullanımında standardizasyonun temini ve sektörde yaşanan sorunların çözülebilmesi açısından Agreganın Üreticileri Birliği'nin (AGÜB) olması ve hazır betonda olduğu gibi, agrega üretiminde de standartlara uygunluğu ve kaliteyi hedefleyen bilinçli üreticilerin biraraya gelmesi sektörün geleceği açısından kuşkusuz önemli bir gelişmedir.

Ana kayaç özelliklerinin bilinmesinin kaliteli kırmataş üretiminde önemi büyüktür. Örneğin silis içeren tridimit ve andezit gibi mineraller alkali agreganın reaksiyonuna neden olduğundan, beton için uygun görülmemektedir. Siyah ve beyaz kireçtaşı, granit, bazalt, siyenit gibi doğal taşlardan da kaliteli beton agregası elde edilebilmektedir [3].

Tasongvd (1998) yaptıkları çalışmada; agrega yüzey yapısı için bahsedilen yüzey parametrelerinin ölçümleri, agrega yüzeylerinin kırılma veya çatlak olup olmadığına bağlı olarak, farklı mineral yapısına sahip agregalar arasında önemli farklılıklar gösterdiğini gözlemlemişlerdir. Kayaç yapısı ve kimyasal reaksiyonların beton dayanımında önemli bir fonksiyon oluşturduğunu belirtmişlerdir [6].

Giacciovd (1992) yaptıkları çalışmada; bazalt, granit ve kireçtaşı agregası kullanılarak üretilen betonlar üzerinde basınç dayanımı, elastisitemodülü, çekme gerilimi ve eğilme deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerde betonun iç bağındaki çözümler ve süreksizlik sınırları incelenmiştir. Beton iç bağındaki çözümlerin nedenini, agreganın temizliğine, sıkıştırılmasına, karışımına ve agrega türüne göre değiştiği, süreksizlik sınırının ise agregaya göre değişmediği iddia edilmektedir. Bununla birlikte, daha sert kayaçlardan elde edilen agregaların, mukavemet değerlerinin de yüksek çıktığı belirtilerek, bazalt, granit ve kireçtaşı içermeyen betonların, mukavemet değerlerinin düşük çıkacağını belirtmektedirler [7].

Maslehudin vd (2003) yaptıkları çalışmada; kireçtaşı kırmataş agregası ve demir cürufu agregalarında yaptıkları fiziksel ve kimyasal deneyler ile bunlardan yapılan betonların sertleşmiş beton deneylerinde demir cürufu agregası ile yapılan betonların, kireçtaşı kırmataş agregalarına göre daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir [9].

Malatya'nın Pütürge ilçesinin Taşmış köyünde bulunan ocaktan getirilen Pirofillit numunelerine uygulanan deneysel çalışmalarla birlikte elde edilecek sonuçlar neticesinde;

- a. Pirofillit malzemesinin beton agregası olarak kullanılıp kullanılamayacağını ortaya çıkararak yeni araştırma olanakları yaratacağı,
- b. İnşaat sektöründe yeni bir kaynak olarak kullanımının artabileceği,
- c. Deneyler sonucu Pirofillit malzemesinin aşınmaya dayanıklı farklı ürünler ortaya çıkarılabileceği,
- d. Konuyla ilgili farklı çalışmalara, Malatya ekonomisine katkısının artırılabilmesi ümit edilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Giriş

Ülkemizde sınırlı bir bölgede çıkarılan ancak büyük bir rezerve (seramik refrakter hammaddesi olarak kullanılabilecek 2.344.562ton, çimento ve yer karosu hammaddesi olarak kullanılabilecek 3.644.430ton, genel toplam 5.988.992ton görünür rezervi saptanmış [24].) sahip olan, günlük hayatta birçok alanda (beyaz çimento üretimi, seramik ürünlerin imalinde, lastik, boya, kozmetik, sabun vb. ürünlerde dolgu maddesi olarak kullanıldığı gibi DDT ve benzeri insektisitler için de dağılım ve dolgu elemanı olarak [25].) kullanılabilecek olan Pirofillit malzemesinin ülke ekonomisine katkısının yanında beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi büyük öneme sahiptir. Pütürge masifindeki Pirofillit zuhurları düşük demir ve krom içerikleri nedeniyle giderek artan miktarda beyaz çimento üretiminde kullanılmaktadır. Pütürge güneyinde yaklaşık 15km uzunluğunda bir kuşakta 25 dolayında pirofillit zuhuru saptanmış ve 10 ocak açılmıştır [8].

2.2. Pirofillit

Pirofillit ismi 1829 yılında R. Harmen tarafından yunanca kelimeler olan "pyro" ateş ve "Phyllite" kaya veya taş anlamındaki kelimelerden türetilmiştir. Pirofillit $H_2Al_2(SiO_3)_4$ teorik formülünü sahip hidrate olmuş bir alüminyum silikattır. Birçok fiziksel özellikleri açısından talka çok benzemekle birlikte ondan daha sert olup yüksek sıcaklıklarda akışkan bir durum almaz. Bu nedenle yüksek kaliteli seramik ve refrakter ürünleri üretiminde önemli bir yer tutar. Kırma indisi 1,57 olan Pirofillitin özgül kütlesi 2,8 civarındadır[4].

Ticari olarak pazarlanan Pirofillitin bünyesinde %10-30 civarında kuvars ve az miktarda serisit bulunur. Ancak serisit aktif bir flux olduğu için, yapıda % 4 den fazla serisit içeren pirofillitler refrakter sanayii için uygun değildir. Porselen v.b seramik ürünleri üretimi için ise bünyede serisit olması sakıncalı değildir.

Mineralojik özellikleri itibari ile, pirofillite MgO yerine Al_2O_3 'ün geçtiği bir tür talk denilebilir. Mika gibi, ya da yapraksı kristallere sahip ve monoklinal yapıdadır. Elastik değildir, kırılmalıdır.

Çalışmalarda Pütürge yöresi pirofillit cevherinin seramik, refrakter ve dolgu hammaddesi olarak kullanılabilmesi için gerekli olan zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır. Yörede kurulacak olan bir zenginleştirme tesisiyle hammaddenin etkin ve akılcı kullanımı sağlanmış olacaktır. Çünkü proses de elde edilen ürünlerin kimyasal içeriğine bakıldığında doğrudan çimento sanayin de kullanılabileceği görülmektedir. Cevherin direkt olarak çimento sanayine satılması yerine belirli bir prosesden geçirilip, kullanım alanlarına göre sınıflanması halinde tabii kaynaklarımızdan biri olan pirofillitten uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabileceğimiz görülmektedir[4].

İlki amfibolit fasiyesinde ilerleyen, ikincisi yeşil şist fasiyesinde gerileyen iki metamorfizmaya sahne olan Pütürge masifinde D-B yönünde yaklaşık 15 km uzanımlı bir kuşakta 25 dolayında pirofillit zuhuru belirlenmiştir, ilksel olarak yüksek alüminalı tuf, kil ya da kaolenlerin disten oluşumuna yol açtığı, gerileyen (retrograd) koşullarda ise disten pirofillit dönüşümünün gerçekleştiği minerolojik ve jeokimyasal bulgulardan anlaşılmaktadır. Düşük demir ve krom içerikleri nedeniyle giderek artan miktarlarda beyaz çimento üretiminde kullanılan pirofillitler, Mersin'de kurulu Çimsa fabrikasında "Superwhite" olarak nitelendirilen, beyazlığı 90 civarında olan Avrupa'nın en nitelikli beyaz çimento ürünlerinin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Minerolojik ve jeokimyasal özelliklerine göre 5 tipe ayrılan Pütürge pirofillitlerinin önümüzdeki yıllarda ticari değeri daha yüksek seramik, refrakter, fiberglas, dolgu, kâğıt, plâstik sektörlerine de hitap eden ürünlere dönüştürülmesi, ülke ekonomisi açısından daha büyük önem taşıyacaktır[8].

Esas cevher minerali olan pirofillite disten ve kuvars eşlik etmektedir. Bunların yanısıra kaolinit, turmalin, sfen, rutil, topaz, diyabaz, alunit ve pirit gözlenmektedir. XRD analizlerinde illit ve montmorillonit' de belirlenmiştir. Sahadaki pirofillit zonlar makaslama zonlarını izleyen çeşitli boyutlardaki mercekler halinde gözlenmektedir. Cevherleşmeyle muskovitli şistler arasında çok yaygın bir ilişki gözlenmektedir. Aynı şekilde kuvarsit mercekleri de pirofillitli zonların saptanmasında önemli bir klavuzdur. Cevherleşmenin oluşumunda hidrotermal eriyikler ve retrograd metamorfizma etkili olmuştur. Yapılan kimyasal analizler ve ön teknolojik deneyler sonucunda sahadaki cevherin seramik ve refrakter hammaddesi çimento ve yer karosu hammaddesi olarak kullanılabileceği nitelikte olduğu saptanmıştır. Seramik ve refrakter hammaddesi olarak kullanılabilecek 2.344.562

ton, çimento ve yer karosu hammaddesi olarak kullanılabilen 3.644.430 ton ve genel toplam 5.988.992 ton görünür pirofillit rezervi saptanmıştır[33].

Pirofillit gerçekte Türkiye'nin sahip olduğu önemli hammaddelerden birisidir. Ama kesinlikte değerlendirilememiştir. Şu andaki var olan şartlar içerisinde de değerlendirilmesi yakın gelecekte mümkün gözükmemektedir. Eğer yeni politikalar üretilmez ve pirofillit de bunlardan nasibini almaz ise, ülkemizdeki tek üreticinin geçimine yetecek parayı kazanacak bir ekmek kapısı olmaktan öteye gidemeyecektir. Bu kişinin vazgeçmesi halinde de pirofillitin üretiminin geleceği kuşkuyla olacaktır. Oysa görünür rezervler toplam 20 milyon ton civarındadır. Bunların ülke ekonomisine kazandırılması gerekir. Yatakların Malatya'nın Pütürge ilçesinde oluşu istihdam açısından da yöreye büyük katkı sağlayacaktır[20].

Pirofillit ve bowlingite; talk ile görünümü, kalitesi ve kristal yapısı bakımından benzer özelliklerdedir. Ticari olarak da talk, pirofillit ve bowlingite arasında kesin bir sınır bulunmamaktadır. Uluslararası kategorilerde de aynı listede yer almaktadırlar. Pirofillit dünyada çok fazla bulunmamaktadır. Çok az maden yatağında rastlanmaktadır ve oldukça küçük rezerve sahiptir. Ayrıca düşük saflıktadır. Mika ve diğer minerallerle birlikte bulunmaktadır. Pirofillit gelecekte sadece bazı ülkelerde üretilebilecektir. Kullanan ülkeler Japonya ve Güney Kore'dir. Her ne kadar pirofillit ve talk benzer fiziksel özelliklere sahip olsa da, talkın başlıca kullanım alanları yerme pirofillit tamamen geçemeyecektir, çünkü talktan daha serttir ve talk kadar beyaz değildir[34].

2.3. Pirofillitin Kullanım Alanları

Hammadde olarak pirofillit kullanan sanayilerin her biri kendi üretim sürelerine göre cevherin kimyasal (Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , TiO_2 , Fe_2O_3) içerikleri ve fiziksel (tane boyu) özelliklerine göre tüketim yapmaktadırlar. Mineralojisi de kullanım alanları açısından önemli olup, pirofillitin saf olarak ana mineralojik bileşimi oluşturduğu seviyeler dolgu, pirofillit + kuvars + distenin ana mineralojik bileşimi oluşturduğu ürünler refrakter, bunlara muskovitin eşlik ettiği ürünler seramik ve kuvarsın ana mineralojik bileşimi oluşturduğu ürünler ise beyaz çimento için önemli hammaddeler durumundadır.

Refrakter ürünleri: Pirofillit refrakter malzeme olarak alümina-silis monolitik refrakterlerde, izole edici ateş tuğlaları ve monolitlerde, döküm potalarının üretiminde ve döküm kalıplarının kaplanmasında kullanılmaktadır. Bu hammaddeyle yapılan refrakter ürünlerde malzemelerin ömür uzamakta ve bakım maliyetleri düşmektedir. Pirofillit kullanılmasıyla sağlanan üstün özellikler; yüksek sıcaklık dayanımı, düşük ısıl genleşme katsayısı, düşük büzülme değeri, yük altında yüksek deformasyon dayanımı, minimal bükülme, ergimiş metal ve cürufların etkilerine karşı dirençtir.

Seramik ürünleri: Elektro porselen sırlar, yer ve duvar fayansları, döküm ve sofra takımlarının üretiminde kullanılan pirofillitin, seramik ürünlerinin imalinde kullanılmasıyla sağlanan avantajlar; düşük sıcaklıkta pişme, düşük rutubetle hazırlanabilen çatlama riski az olan karışımları yapabilme, çekme, büzülme gibi özellikleri kontrol edebilme, yüksek ısı iletim özelliği ve düşük ısıl genleşme katsayısının termal şok direncini arttırması ve vitroz malzemelerin mukavemetinin arttırması olarak sıralamaktadır[27].

Dolgu malzemesi: Duvar kaplamaları, duvar kaplama çimento ve sıvaları, boyalar, plastikler, kağıt, kauçuk ve marley üretiminde dolgu malzemesi olarak, ayrıca kaliteli kağıt imalinde yüzey düzgünleştirme amacıyla kullanılmaktadır. Boya sektörü için dolgu hammaddesi olarak kullanıldığında, boyanın örtücülüğünü arttırıp, akmasını engeller. Boya çözeltisinin çökmesini önleyip, aynı zamanda boyaya yüzey sertliği verebilmektedir. Ayrıca renkli beyazlarda ton farkının ortaya çıkmasında canlılık sağlar. İnce öğütülmüş (-74 mikron) pirofillit DDT gibi insektisitler veya rotenone gibi fungusidler için taşıyıcı olarak özellikle ABD’de geniş olarak kullanılmaktadır. Akıcılığı çok iyi olduğundan ve fonksiyonel madde olarak etkileşmeye girmediğinden bu alanda kullanılan en iyi malzemedir.

Beyaz çimento: Pirofillit beyaz çimento üretiminde tercih edilen hammaddelerden biridir. Düşük demir ve krom içerikleri nedeniyle giderek artan miktarlarda beyaz çimento üretiminde kullanılan pirofillitler, Mersin’de kurulu Çimsa Fabrikasında “Superwhite” olarak nitelendirilen beyazlığı 90 civarında olan Avrupa’nın en nitelikli beyaz çimento ürünlerinin üretilmesine olanak sağlamaktadır. Türkiye 1.000.000 ton/yıl’ı aşan çimento üretimi ile dünyada en büyük beyaz çimento üreticisi konumundadır[27].

Tablo 2.1. Pirofillitin Kullanım Alanına Göre Ürün Standartları

%	Refrakter ürünler %	Dolgu malzemesi %	Seramik ürünler %	Beyaz çimento %
Al ₂ O ₃	15 – 21	28.20	22	9 – 18
SiO ₂	73 – 77	65.80	70	70 – 86
Fe ₂ O ₃	0.30 – 0.45	0.22	Max 0.5	0.15 – 0.30
Na ₂ O	0.11	0.10	Max 0.5	-
K ₂ O	0.24	0.04	2	-
CaO	0.30	0.28	Max 0.3	-
MgO	0.12	0.01	Max 0.2	-
TiO ₂	0.39	0.18	Max 0.5	0.5
A.K.	3.90 – 4.30	5.10	4.00	2.9 – 3.4
Tane iriliği	-30 mesh	Mikronize	-10 mesh	5mm – 50mm
Isıl özellik	PEC 30 – 31	-	16	-

(İndustrial Minerals, 1993)

2.4. Pirofillitin Fiziksel Özellikleri

Pirofillit oldukça yumuşak silikat tabakaları şeklinde oluşmuş bir malzemedir. Sertliği, Mohs cetveline göre 5 civarındadır. Özgül kütlesi 2,8 - 2,9 arasındadır. Şeffaftan opak'a kadar değişen görünümleri mevcuttur. Pirofillitin talkla beraber gruplandırılmasının en önemli nedeni, aralarındaki fiziksel benzerliklerdir. Kimyasal olarak pirofillitin talkla hiç bir ilgisi yoktur. Pirofillit, kyanit (disten), sillimanit ve andaluzit ile beraber alüminyum silikat sınıfına dahildir[20].

Pirofillit genellikle üç şekilde bulunur;

- İnce yapraksı katmanlar halinde,
- Yıldız veya çiçek şeklinde değişen küçük kristaller halinde (masitsi perlitik agregalar),
- Işığı yayan iğne şeklinde kristaller halinde.

2.5. Pirofillite Ait Genel Özellikler

Kimyasal Bileşim	: Al_2O_3 - 4 SiO_2 - H_2O
	% 28.3 % 66.7 % 3.0
Tipik Analiz	SiO_2 : % 75-80
	Al_2O_3 : % 20-74
	Fe_2O_3 : % 0.08
	CaO : % 0.08
	K_2O : % 0.21
	Kızdırma Kaybı : % 3.67
	Toplam : % 100
Ergime Sıcaklığı	: 1700°C
Sertlik	: 1 - 2 Mohs
Özgül Kütle	: 2.8 - 2.9

Metamorfik şistler içerisinde düzensiz merccekler halindedir. Belirgin bir şekilde altere olmuş tüflü alanlarda merccekler şeklinde Pirofillit yatakları bulunur. Genellikle Pirofillit oldukça fazla miktarda serizit minerali ile birlikte bulunmaktadır. Pirofillit genel olarak alüminanın bol bulunduğu asit volkanik kayalarda bulunur. Özellikle riolitler, dasitler ve seyrek olarak da andezitlerdeki feldispatın hidrotermal veya metasomatik değişimi ile oluşmaktadır.

2.6. Pirofillitin Yataklanma Şekilleri

Genellikle aşağıdan yukarıya doğru çok silisifiye bir taban, iyi gelişmiş bir mineral zonu, fazla silisifiye ve serizitik bir tavan şeklinde bulunur. Bu şartların bulunduğu yataklarda mineralize zondan tavan ve taban geçişi tedricidir. Pirofillit; apatit, kuvars, topaz, kyanit, pirit, manyetit ve hematit gibi minerallerle devamlı olarak beraber, serizitle her zaman karışık ve nadiren de serbest olarak bulunur[20].

2.7. Pirofillit Yataklarının Jeolojisi ve Kökeni

Talka benzeyen bir mineral olan Pirofillitin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) Türkiye'deki varlığının ortaya çıkarılması 1970'li yılların başlarına uzanmaktadır. O dönemlerde küçük

miktarlarda "talk" olarak üretilen Pirofillit 1976 yılında maden kanunu kapsamına alınmıştır. Ancak yılda 2-3 bin ton dolayında üretilerek seramik ve refrakter sanayiine satılan Pirofillit 1990'lı yıllardan itibaren önemli bir dönemeci aşmış ve Mersin'de kurulu Çimsa Çimento Sanayi A.Ş'nin beyaz çimento üretiminde kaolen yerine Pirofillit kullanmaya başlaması ile günümüzde 100-120 bin ton/yıl dolayında tüketilmeye başlamıştır.

Düşük demir ve krom içerikli Pütürge pirofillitinin kullanımı ile Çimsa'nın ürettiği çimentonun beyazlığı %90'a ulaşmış ve "Superwhite" tanımı ile Avrupa'nın en kaliteli beyaz çimentoları arasında yer almıştır. Kapasite açısından 1 milyon ton/yıl ile fabrika yine dünyanın en büyük beyaz çimento üreticisi konumuna erişmiştir.

US Geological Survey verilerine göre talk ve pirofillit üretimi birbirinden ayrılamayan Çin dışında dünya pirofillit üretimi 2.2 milyon ton dolayındadır. Bu şekilde Türkiye dünyada pirofillit üreten 10 ülkenin arasında Japonya, Güney Kore, Brezilya ve Hindistan'ın hemen ardında yer almaktadır. Uzakdoğu'da pirofillit, serisit, kaolinit ve kuvars karışımlı kayaçlar "roseki" adıyla anılırken, Brezilya'da Pirofillit, serisit, diasporit, disten, kuvars karışımlarına "agalmatolit" adı verilmektedir. Güney Afrika'da da Pirofillit, kloritoyid, rutilve epidotlu karışımlar "wonderstone" olarak adlanmaktadır [5].

Pütürge masifinde Pirofillit oluşumları doğu uçta Pütürge'nin yaklaşık 6 km güneydoğusunda Karataş tepe dolayından başlayarak Yıldırım tepe güneyine, Keşen tepeye, Babik köyü kuzeyine, Ümit tepe, Şahan taşitepe, Sınık tepe, Aytez tepe, 1407 rakımlı tepe ve Vartık tepeye doğru yaklaşık 10 km dolayında bir uzanım göstermektedir. Vartık tepe batısında zuhurlar dağılarak güneyde Kejen tepe, Kösemustafa tepe, Hopan sırtları, Cünütü tepe, kuzeyde ise Kütüreş tepe, Güreş tepe, Tümbelek tepe batısı ve Şiro çayı doğusundaki zuhurlara ulaşarak son bulmaktadır. Pütürge ve Taşmış köyü bu zuhurlar üzerinde son 10 yıl içinde açılan ocaklar şunlardır:

- Karataş tepe-imrün ocağı (1)
- Keşen tepe (2)
- Ümit tepe (3)
- Aytez tepe (4)
- 1407 rakımlı tepe (5)
- Batı Vartık tepe (6)
- Doğu Vartık tepe (7)
- Kösemustafa tepe (8)
- Güreş tepe (9)
- Mukul dere (10)

Pütürge pirofillitlerinin başlıca özelliği ortalama % 0.2nin altında demir içermeleri nedeniyle pişme renklerinin beyazlığıdır. Ayrıca yine beyaz çimentoda kullanım açısından kritik olan krom 100 ppm, mangan ise 10 ppm'den küçük değerlerle kritik limitlerin oldukça altında kalırlar [8].

2.8. Sektörde Faaliyet Gösteren Uluslararası Organizasyonlar

Pirofillit alanında en önemli kuruluşlar Japonya'dadır. Shinagawa Shioreng Co, Skokozan Kogyasho Co, Coto Kozan Co, Chira Kozan Co, Nihon Skoko Kogyoko Co, Sankin Kogyo Co, Fuji Kozan Co, Showa Kogyo Co, Kamagamine Roseki Co ve Hiraki Co, Japonya'daki en önemli kuruluşlardır. Japonya'nın dışında Güney Kore diğer önemli bir üretici ülke durumundadır. Chosun Refractories Co Ltd ve Minkyung Industrial Co. Ltd Güney Kore'nin en önemli iki kuruluşudur. Amerika'da ise RT Vanderbilt ve Piedmont Mineral, Kanada'da ise Mineral Division of Armstrong World Industries Ltd, Brezilya'da Minas Gerais, Magnesita SA, Meniracao Itapeva Ltda, Llaiacoca SA, Mineracao Ind. E. Com. ve Brasil Minas Ind E. Com. Ltda en etkili kuruluşlardır. Bunun dışında Almanya'da H.J. Schmidt Neuwied Avrupa'daki satıcıların en önemlisidir. Avustralya'da ise Commercial Minerals Ltd., Pambula Pirofillit yataklarının sahibi ve üreticisidir. Tablo 2.2. 'de ise pirofillitin genel pazar koşulları içerisinde hammadde olarak değerlendirilmesi sunulmuştur. Burada ana üretici ve tüketici ülkeler, pazar ve kapasiteye ait özel bilgiler verilmiştir[20].

Pirofillit ticari analizi (dünyada mevcut durum) aşağıda verilmiştir.

Kapasite	: 2.2Mt, Kapasite Kullanımı : % 95
Üretici Ülkeler	: Japonya, Kore, Çin, A.B.D., Brezilya, Hindistan, Kanada, Pakistan, Avustralya, Güney Afrika, Kolombiya, Arjantin, Peru, Türkiye
İhracatçı Ülkeler	: Japonya, Kore, Brezilya, Kanada, Avustralya,
İthalatçı Ülkeler	: Japonya, Çin, Sri Lanka, Endonezya, İngiltere, Almanya
Pazar	: Genelde kararlı, stabil bir pazar
Pazarı Etkileyen Faktörler	: İnşaat ve demir çelik sektörleri ile ekonominin genel durumu
FOB Fiyatları	: 70-120 \$ (Amerika) 7000-8000 Yen (Japonya)
Rekabet Ettiği Ürünler	: Kil, diatomit ve talk [20].

2.9. Pirofillit'in Dünyadaki Mevcut Durumu

Rezervler: Dünyada en büyük pirofillit yataklarına sahip ülke Japonya'dır. Japonya dünya üretiminin %50'den fazlasını sağlamaktadır. Bu ülkedeki yatakların tahmini rezervi 100 milyon tondan fazla olarak belirtilmektedir. Daha sonra Güney Kore ve Avustralya uzak doğudaki diğer büyük rezervlere sahip ülkelerdir. Güney Kore dışındaki rezervler de en az 15 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Amerika'daki rezervlerin de en az 12 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Güney Kore'deki rezervler 1992 yılına ait bilgilere göre 100 milyon ton'a yakındır. Belli başlı büyük tüketici ülkelerin yanında diğer Pirofillit üreticisi ülkelere ait bilgiler yukarıda verilmiştir. Mevcut kapasiteler ve kullanım oranları ülkeler bazında aşağıdaki Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Pirofillit Üretim Kapasiteleri ve Kullanım Oranları (1992 verileri)

Ülke	Kapasite (bin ton / yıl)	Kullanım Oranı (%)
Japonya	1300	75
Güney Kore	600*	100
A.B.D.	250	85
Kanada	40	92
Brezilya	100	90
Avusturya	30	60
* -%55 refrakter tipi, %27 seramik, %28 diğer.		

Tablo 2.2.'de verilen pirofillitin mevcut kapasite ve kullanım oranları 1992 yılına ait değerlerdir. Gerçekte kapasiteler azalmakta olduğundan geçmişteki kapasiteler daha yüksek değerlerde idi. Refrakter sanayiinde özellikle çelik sektörüne bağlı olan gelişmeler Pirofillitin tüketimini negatif yönde etkilemektedir. Bu nedenle azalan tüketimle birlikte kapasite düşüşü gözlenmektedir. Japonya'da son yirmi yıla tüketimde çok büyük düşüşler gözlenmiştir. Buna paralel olarak üretim de tabii olarak azalmıştır. Bu nedenle son yıllarda mevcut üretim kapasiteleri kapatılan veya şekil değiştiren tesislerden dolayı azalmıştır [23].

Üretim miktar ve değerleri: Pirofillitin üretim miktar ve değerleri yıllara göre ülkeler bazında aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Bununla birlikte fiyatlar dolayısı ile üretimin parasal değeri konusunda fikir edinmek için Tablo 2.3.'de verilen Pirofillit fiyatlarına bakarak bazı tahminlerde bulunmak mümkün olacaktır.

Tablo 2.3. Tipine Göre Pirofillit Fiyatları (A.B.D Doları/ton)

Tipi	Fiyatı
Dolgu Maddesi	110-150
Cam Elyaf	59-63
Refrakter	59-65
Seramik – Fayans	27-44
Beyaz Çimento	12-34

Tablo 2.3.'de verilen fiyatlar uzak doğu FOB fiyatlarıdır. Pirofillit çok yoğun olarak uzak doğu da üretilen ve tüketilen bir hammadde olduğundan pazar koşulları uzak doğu şartları ile yakından ilgilidir [22].

2.10.Pirofillit'in Türkiye'deki Durumu

Türkiye'de Pirofillit, ekonomik anlamda Malatya ili Pütürge ilçesi civarında bulunmaktadır. Bu alanda saptanan yataklardaki esas cevher minerali pirofillittir. Bu minerale disten ve kuvars eşlik etmektedir. Bunların yanısıra muskovit, kaolinit, turmalin, sfen, rutil, topaz, dijaspor, alunit ve pirit gözlenmektedir. Pirofillit hegzagonal kesitler sunan topaz kapanımları içermektedir. Distende çatlaklar boyunca dijaspora dönüşüm izlenmektedir. Kaolinite çoğunlukla ezik zonlarda rastlanmaktadır. Alunit, Vaktik Tepe'de pirofillit-kuvars topluluğu için de yer yer görülmektedir. XRD analizleri sonucunda kuvarslı pirofillit örneklerinin çoğunda genellikle hidrotermal damarlarda görülen dikit saptanmıştır. Örneklerde kil gurubu minerallerden illit ve ender olarak montmorillonit XRD analizlerinde belirlenmiştir[20].

Pirofillitli zonlar makaslama zonlarını izleyen çeşitli boyutlardaki mercekler halinde yüzeylenmektedir. Kütüreş Tepe'deki mercek KB-GD doğrultusunda yaklaşık 420m. uzunluk ve 130m. genişliğindedir. Vartık Tepe'de ise birbirinden ayrılmış hemen hemen D-B doğrultulu üç mercek görülmektedir. En batıdaki 500 m. uzunluğunda ve en geniş yeri 290m.olan bir mercektir. 1407 m. kotlu tepedeki merceğin çok az bir bölümü çalışma alanı içinde yer almaktadır. Ortadaki mercek ise 360 m. uzunluğunda ve 220 m. genişliğindedir. Kütüreş Tepe'deki merceğin derinliği yaklaşık 50 m. Vartık Tepe yöresinde ise 20-30m.derinliğindedir.

Cevherleşmeyle muskovitli şistler arasında çok yaygın bir ilişki gözlenmektedir. Aynı şekilde kuvarsit merccekleri de Pirofillitli zonların saptanmasında önemli bir kılavuzdur. Pirofillitli zonlarda muskovit şistler arasında yanal ve düşey geçişler gözlenmektedir.

Pirofillitle yakın ilişkisi olan diğer bir birim de kuvarsittir. Kuvarsit bazen, Kütüreş Tepede olduğu gibi, pirofillitli zonun üzerinde yer almaktadır. Bazı yerlerde Pirofillitli seviyelerle ardalanmalı olarak görülmektedir. Bazı yerlerde de Pirofillitli zonları kesen kafalar ve damarlar halinde gözlenmektedir. Ayrıca granitik gnays içinde belli seviyelerde de çok ince Pirofillit oluşukları saptanmıştır[20].

Rezervler: Türkiye'de şu anda bulunan Pirofillit yatakları Malatya ilinin Pütürge ilçesinin 4 km güneyindeki Babik (Taşmış) Köyü çevresindedir. Ön etütlere göre muhtemel rezerv 20 milyon civarındadır. Taşmış köyü-Vartık tepe ve Kütüreş tepe mevkilerindeki cevherleşme üzerinde MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan detay etütlerle, arazi çalışmaları, analiz ve determinasyon sonuçlarına göre sahadaki Pirofillit cevheri seramik-refrakter kalitesinde ve çimento-yer karosu kalitesinde olmak üzere iki bölüme ayrılarak ayrı ayrı rezervleri hesaplanmıştır. Rezerv hesaplarında kesit yöntemi kullanılmıştır. Sonuçta, belirtilen alan için seramik-refrakter kalitesinde 2 344 562 ton ve çimento-yer karosu kalitesinde 3 644 430 ton görünür pirofillit rezervi ortaya çıkarılmıştır. Çimento sanayiinde beyaz çimento katkı malzemesi olarak kullanılmak üzere saha ihale edilmiştir[20].

Tüketim alanları: Ülkemizde Pirofillitin son 8-9 yılda sürekli tüketicisi refrakter sanayii olmuştur. Refrakter sanayinde Pirofillit, özellikle demir çelik sanayii potalarında kullanılan tuğlaların üretiminde kullanılır. Ancak demir çelik sektöründeki teknolojik gelişmeler pota fırınları ile üretimi gündeme getirince demir çelik potalarında bazik refrakterlerin kullanımı önem kazanmış ve pirofillitin bu şartlarda kullanımı ortadan kalkmaya başlamıştır. 1993 yılı içerisinde pirofillit tuğla tüketen en son iki demir çelik tesisinden biri, pota ocağı ve bazik tuğlaya dönüş yapmıştır. Diğeri ise hazırlıklarını devam ettirmekte olup 1994 Nisan ayında pirofillit kullanımını terk edecektir. Dolayısı ile genel hizmet ürünleri dışında Pirofillitin refrakter sanayiinde tüketimi kalmayacaktır[20].

Pirofillit ülkemizde seramik sanayiinde çok az da olsa kullanılmaktadır. Bu tüketim pek artmamakla beraber pirofillitin ucuz olması nedeni ile sürecektir.

Boya sanayiinde pirofillitin sürekli olmayan, ancak belli bir tüketimi vardır. İyi değerlendirilirse artabilir ve süreklilik kazanabilir.

Türkiye'de pirofillitin tonaj olarak en çok tüketildiği alan beyaz çimento üretimidir. Aslında bu konuda Türkiye hem kendi üretimini karşılayacak hem de ihracat yapabilecek durumdadır. Ancak bu konu tam olarak değerlendirilmiş değildir.

Tüketim miktar ve değerleri: Pirofillitin Türkiye'de tüketimi yılları ve tüketim oranlarına göre miktar ve değer olarak Tablo 2.4. ve 2.5.'de verilmiştir.

Tablo 2.4. Pirofillit'in Tüketim Miktarı (ton)

Tüketim Alanı	Yıllar				
	1988	1989	1990	1991	1992
Beyaz Çimento	-	-	27500	7500	32500
Boya Sanayii	500	-	-	-	-
Seramik Sanayii	750	1000	500	750	500
Refrakter Sanayii	2000	1500	2000	2000	2500

Tablo 2.5. Pirofillitin Tüketim Miktarı (Milyon TL)

Tüketim Alanı	Yıllar				
	1988	1989	1990	1991	1992
Beyaz Çimento (1)	-	-	687 (3)	338	2436
Boya Sanayii (1)	125	-	-	-	-
Seramik Sanayii (1)	-	-	-	-	1000 (2)
Refrakter Sanayii	300	345	760	1100	1800

(1) Ocak teslim fiyatları, (2) Tahmini değer, (3) Nakliye dahil İstanbul teslim fiyatı

1993 yılındaki Pirofillit tüketimi yıllık 3 500 ton civarındadır. Bunun 3000 tonu refrakte sanayiinde 500 ton civarındaki bir miktar ise boya sanayiinde tüketilmiştir. Fiyatlar 1993 yılının ikinci yarısı itibari ile 250-750 TL/kg arasındadır. En düşük kalite 250 TL/kg en yüksek kalite 750 TL/kg'dır[20].

Üretim yöntemi ve teknoloji: Üretim açık işletme şeklindedir. Gözle görülen renk ve yapı farklılıklarına göre belli bölgelerde dinamitle patlatılan zonlar ayrı yığınlar halinde stoklanır. Ana ocaktan çıkarılan tüvenan cevherin belli bir prosese tabii tutulup sınıflandırmak suretiyle farklı tüketim yerleri için hazırlama imkânı yoktur. Açık işletmelerde, kompresör, iş makinaları gibi geleneksel araçlar kullanılmaktadır.

Tablo 2.6.Refrakter Sanayiinde Kullanılan Pirofillitlerin Özellikleri[20]

	Tipik (%)	Minimum (%)	Maksimum (%)
Ateş Zayıatı	4.26	-	4.5
SiO ₂	65.88	-	-
Al ₂ O ₃	26.39	25	-
TiO ₂	1.00	-	-
Fe ₂ O ₃	0.60	-	0.8
CaO	0.67	-	0.7
MgO	0.17	-	0.5
K ₂ O	0.33	-	0.5
Na ₂ O	0.70	-	0.7

Ürün standartları: Türkiye'de Pirofillitin oluşmuş bir ürün standardı bulunmamaktadır. Ancak genellikle kullanıcı kuruluşların tespit ettiği bazı özellikler vardır. Bunlar Tablo 2.6ve 2.7.'de belirtilmiştir

Tablo 2.7. Beyaz Çimento Üretiminde Kullanılan Pirofillitin Özellikleri [20]

	Minimum (%)	Maksimum (%)
FeO ₃	-	% 0.40
SiO ₂	% 65	-
Silikat Modülü	% 5	% 6.5
SO ₃	-	% 0.8
Toplam Alkali	-	% 1
TiO ₂	-	% 0.5
Cr ₂ O ₃	-	80 ppm
Mn ₂ O ₃	-	30 ppm
Parça Büyüklüğü	5 mm	50 ppm
Nem	-	%10

2.11. Dünya'daki Durum ve Diğer Ülkelerle Kıyaslama

Dünyada teknolojiyi geliştirerek kırma-öğütme ve arıtma proseslerini kuran, standart ve değişik amaçlara uygun üretim yapan firmalar varlıklarını sürdürdükleri gibi büyüme bile sağlamışlardır. Pirofillitin dünya üretiminin % 75'i Japonya ve Güney Kore'de üretilip yine uzak doğuda tüketilmektedir. Diğer büyük sayılabilecek üreticiler Avustralya ve Amerika kıtasında olduğuna göre, Türkiye Avrupa'nın tek üreticisi olarak Avrupa'ya ihracatta çok avantajlıdır. Uzakdoğu da FOB fiyatlar ortalama 40-50 A.B.D. doları civarındır. Buradan Avrupa'ya nakliyeler de bir o kadar tutmaktadır. Zaten dünya ortalamalarının altında olan iç piyasa fiyatları ve nakliye avantajı ile Avrupa'ya ihracat mümkündür. Ayrıca iç piyasada kullanılan birçok ithal ürünün yerine ikamesi mümkündür. Ancak kesinlikle üretim ıslah edilmeli ve kalite sınıflandırılması ve kalite de süreklilik için uygun prosesler kurulmalıdır[20].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Çalışmanın materyali Malatya'nın Pütürge İlçesinde Taşmış köyünde bulunan ocaklardan alınan Pirofillit malzemesidir. Çalışmada tarama ve deneysel yöntemler kullanılmıştır.

3.2. Malzeme

3.2.1. Pirofillit

Pirofillit $H_2Al_2(SiO_3)_4$ teorik formülünü sahip hidrate olmuş bir Alüminyum Silikattır. Birçok fiziksel özellikleri açısından talka çok benzemekle birlikte ondan daha sert olup yüksek sıcaklıklarda akışkan bir durum almaz. Bu nedenle yüksek kaliteli seramik ve refrakter ürünleri üretiminde önemli bir yer tutar. Kırma indisi 1,57 olan Pirofillitin özgül kütlesi 2,8 civarındadır[4]. Pirofillite ait genel özellikler aşağıda verilmiştir.



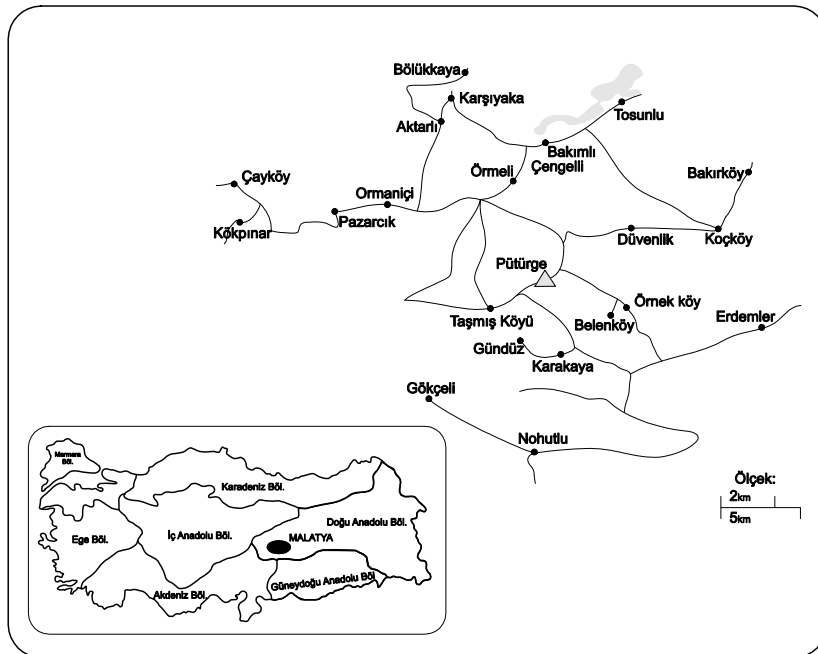
Resim 3.1. Pirofillit

- Kimyasal Bileşimi, $Al_2SiO_4(OH)_2$
- Kristal Sistemi, Monoklinik
- Kristal biçimi, kristalleri uzunlamasına levhamsı, bükülmüş, yapraklanmalı, lifli veya ışınsal, taneseli-kompakt
- Sertlik, 1 - 2

- Özgül ağırlık, 2.65 - 2.90
- Dilinim, { 001 } mükemmel
- Renk ve şeffaflık, beyaz, grimsi beyaz, yeşilimsi donuk mavi, grimsi ya da kahverengimsi yeşil, şeffaf-yarı şeffaf
- Parlaklık, inci parıltılı
- Ayırıcı özellikleri, yumuşaklığı, rengi, kristal formu, parıltısı
- Bulunuşu, andaluzit, disten, sillimanit ve lazulit gibi minerallerle birlikte metamorfik kayalarda oluşur. Ayrıca hidrotermal damarlarda kuvars ve mikalarla birlikte bulunur.

3.2.2. Numunenin Sahadan Alınışı

Numune sahadan, “TS 707 Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi” Türk Standardına uyum olarak, doğal agreg acağından kullanılacak toplam agreg a hacmine yakın yaklaşık olarak belirlenip alınmıştır. Numunenin alındığı yer aşağıdaki Şekil 3.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Pirofillit Numunelerinin Alındığı Yer

Alınan örnekler Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü laboratuvarlarında konkasörle kırılarak kaba ve ince agreg a elde edilmiş ve agreg a deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar da örnek üzerinde homojenliğin sağlanması için dörde bölünerek küçültme yöntemi

uygulanmış, çeşitli kümelerle birleştirilerek deney örnekleri oluşturulmuştur. Sertleşmiş beton deneyleri Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü laboratuvarlarında yapılmıştır.

3.3. Portland Çimentosu

Çalışmada kullanılan çimento Elazığ Altınova Çimento San. ve Tic. A.Ş.'nin ürettiği (PÇ 42,5) kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentoya Ait Kimyasal ve Fiziksel Özellikler

PÇ 42,5	Kimyasal Kompozisyon (%)											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl ⁻	Kızdırma Kaybı	Çözünmez Kalıntı	Serbest CaO(%)
	19.3	5.57	3.46	63.56	0.86	2.91	0.13	0.80	0.013	2.78	0.42	1.22
	Fiziksel Özellikler											
	Özgül Ağırlık		Priz Başlangıcı (dak)				Priz Sonu (dak)			Hacim Genişlemesi (mm)		
	3,15		119				210			1.00		

3.4. Karma Suyu

Karma suyu olarak PH'ı 7.05 olan üniversitenin şebeke suyu kullanılmıştır. Karma suyu olarak kullanılmadan önce suyun dinlenmesi ve 21±2°C'de olabilmesi için, tam bir gün laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kullanılmıştır.

3.5. Su / Çimento Oranı

Karışımlarda, su / çimento oranı W/C olarak ifade edilmiştir. W/C oranı, en elverişli durumda karışım ve karıştırıcıyı çalıştırmak için 0.34-0.50 arasında tutulmuştur. Ayrıca karışımda %9 oranında su emme olduğu görülmüş. Karışıma %9 oranında su ilave edilerek W/C oranı 0,5'e kadar 1dm³ için 150gr su ilave edilmiştir. Numunelerin dökümü için 56dm³ karışım hazırlanmıştır.

3.6. Karışım Oranı ve Hesabı

Karışımında Pirofillit, çimento ve su kullanılmıştır. Numuneler için hazırlanan beton karışımları TS EN 12390 – 2’deki esaslar dikkate alınarak yapılmıştır. TS EN 12390 – 2’de öngördüğü şekilde hazırlanan beton harmanlarından alınan deney numunelerinin betonun tüm özelliklerini taşımasına dikkat edilmiştir. TS 802’ye uygun olarak yapılan beton karışım hesabı ile bulunan karışım ağırlıklarına göre agregalar ve çimento hassas bir şekilde tartılarak karışım hazırlanmıştır. Karışımında kullanılan malzeme oranları Tablo 3.2.’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Karışımında Kullanılan Betonun Yaklaşık Karışım Oranı Miktarları

1dm ³ için		Agrega (İnce – İri)			
Çimento(gr)	Su(gr)	0-4 mm (gr)	4-8mm (gr)	8-16mm (gr)	16-32mm (gr)
300	150	930,6	297	356,4	396

Taze betonun işlenebilirliğini, akıcılığını tespit etmek amacıyla çökme deneyi yapıldı. Bunun için birçok yöntem geliştirilmiş olmakla beraber en çok kullanılan yöntem, slump hunisi denilen bir aletle yapılan çökme deneyidir. Taze beton slump hunisine 3 etapta konularak, her defasında 25 kez şişlenmiş, üstü mala ile düzlendikten sonra slump hunisi yukarıya doğru dikkatlice kaldırılmıştır. Oluşan taze beton yığınının yanına slump hunisi konuldu taze betonun çökme miktarı ölçülmüştür. Üretilen betonlar için bulunan çökme değerleri 5 cm olarak tespit edilmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Agrega Deneyleri

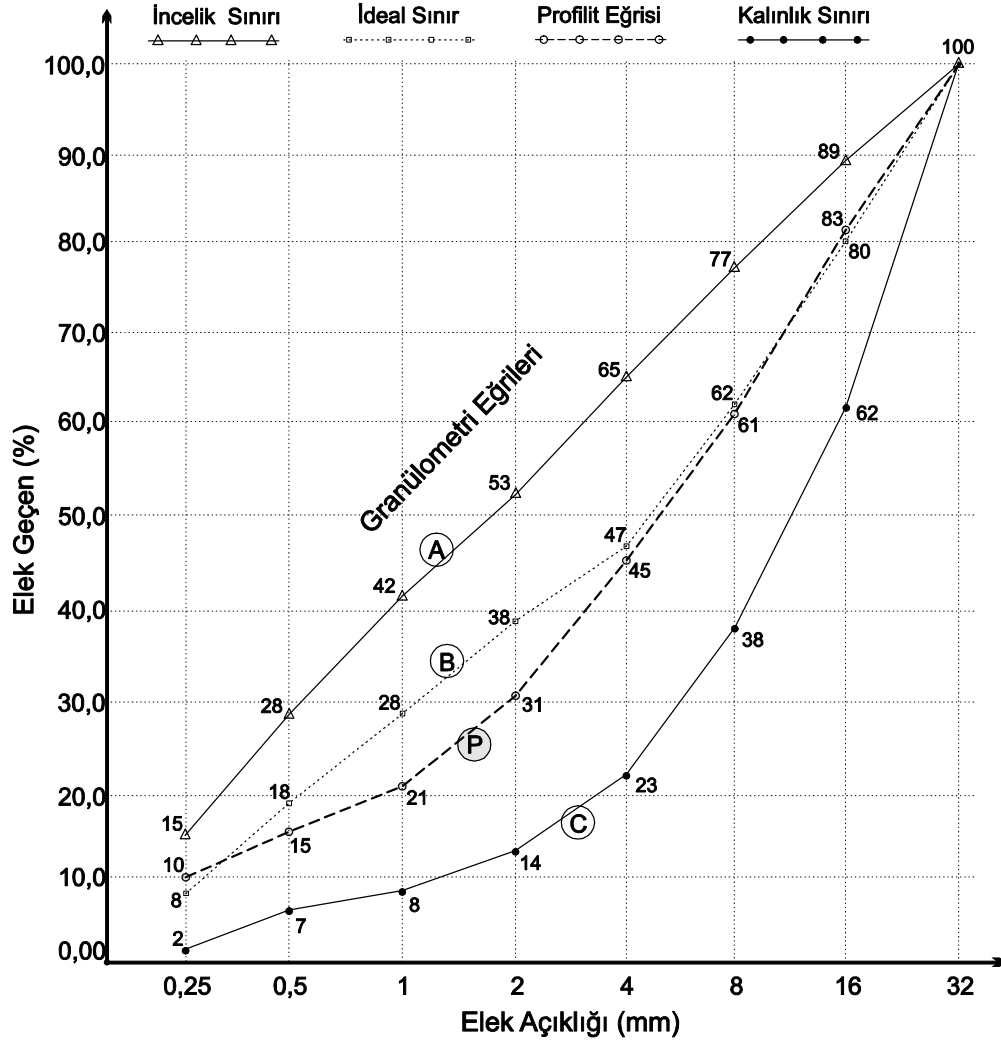
4.1.1. Elek Analizi ve Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini

İstenilen kalitede beton üretmek için elde edilen agreganın tane büyüklüklerinin uygun bir şekilde ayarlanması çok önemlidir. Bu sebeple TS EN 933-1[15]'e uygun olarak elek analizi deneyi yapılmıştır. Agrega yığını içerisindeki malzemenin tane çaplarına göre dağılımına tane dağılımı (granülometri) adı verilmektedir. Agrega örneğinin içerisindeki taneler çeşitli tane sınıflarına göre, belirli boy gruplarına ayrılmıştır. Her boy grubunda agreganın toplam ağırlıkları bulunarak, tüm agreganın içerisinde % miktarı bulunmuştur. Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi laboratuvarlarından elde edilen değerler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Pirofillit Malzemesi Elek Analizi Sonuçları

Elek Açıklığı (mm)	Elek Üzerinde Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Geçen (%)
32	0	0	0	100
16	170	170	17	83
8	220	390	39	61
4	160	550	55	45
2	140	690	69	31
1	100	790	79	21
0,5	60	850	85	15
0,25	50	900	90	10
Kap	100	1000	100	0
İncelik Modülü =			4,34	

Agreganın (0)'dan belirli bir büyüklüğe kadar bütün taneleri içeren agreganın kümülatif (yığışım)% geçeniyle elde edilen sürekli eğridir. TS 706'da geniş bir şekilde yer verilmiştir. Genel olarak iri agreganın % 50'nin üstünde, ince agreganın ise % 50'nin altında olması arzu edilir. Şekil 4.1.'de görülen A, B, C eğrileri sürekli granülometri sınır eğrileridir. A eğrisi incelik sınırı, B eğrisi ideal agreganın sınırı, C eğrisi kalınlık sınırı ve P eğrisi ise pirofillit dağılım eğrisi olarak görülmektedir.



Şekil 4.1. Pirofillit Malzemesi Agrega Granülometri Eğrisi

Agrega granülometrisinin A ile C eğrisi arasında olması istenir. A ile C eğrisi dışındaki granülometri eğrilerine sahip alandaki agregalar kesinlikle beton yapımında kullanılmamalıdır. Çalışmada kullanılan Pirofillit malzemesinin 4mm'lik elekten sonrası ideal sınır olan B eğrisine çok yakın olduğu ve malzemenin A ile C eğrileri arasında kaldığı Şekil 4.1.'de görülüyor.

Agreganın en büyük tane boyutu TS 802'ye göre; en dar kesitin kalıp genişliğinin 1/5'inden, döşeme derinliğinin 1/3'ünden, donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4'ünden küçük seçilmelidir.

4.1.2. Agregada Parçalanma Direncinin Tayini

T.C Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü 8. Bölge Müdürlüğü laboratuvarlarında yapılan deney sonuçları aşağıdaki Tablo 4.2.'de ve ek A'da verilmiştir.

Tablo 4.2.Granülometriye Göre Aşınma Sınıfı Sonuçları

Pirofillit	Granülometriye Göre Aşınma Sınıfı			
	Devir Adedi	Aşınma %'si	Şart. Aşınma Limiti	
			Kaba Agregası	İnce Agregası
	500	28	40	40

4.1.3. Özgül Ağırlık ve Su Emme Tayini

T.C Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü 8. Bölge Müdürlüğü laboratuvarlarında yapılan deney sonuçları aşağıdaki Tablo 4.3'de ve ek A'da verilmiştir.

Tablo 4.3. Özgül Ağırlık ve Absorbsiyon %'si Sonuçları

Pirofillit	Kaba Agregası			
	Özgül Ağırlık (Kuru)	Özgül Ağırlık (Doygun yüzey kuru)	Zahiri Özgül Ağırlık	Absorbsiyon %'si
	2,67	2,70	2,74	0,9

4.1.4. Mg SO₄ Sağlamlık Denemesi

T.C Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü 8. Bölge Müdürlüğü laboratuvarlarında yapılan deney sonuçları aşağıdaki Tablo 4.4.'de ve ek A'da verilmiştir.

Tablo 4.4. Mg SO₄ Sağlamlık Denemesi Sonuçları

Pirofillit	Kaba Agregası			
	Ameliye Adedi	Ortalama Kayıp %'si	Şart. Limiti % Kayıp	
			Kaba Agregası	İnce Agregası
	5	22,7	12	12

3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Betonların fiziksel özellikleri, bağlayıcı maddenin devamlı hidratasyon yapması sonunda, zamanla beraber bir gelişme ve değişme gösterir. Bundan dolayıdır ki, sertleşmiş bir betonun belirli bir özelliğinin hangi güne ait olduğu belirtilmelidir. Ayrıca, hidratasyon olayının hızı zamanla azaldığından, yaşı ilerlemiş betonların özelliklerinde de zamanla az değişme olur ve bu betonlar doğal bir malzemenin iç yapısına, karakterine sahip olmaya başlar. Beton üretildikten ve en az 5 yıl geçtikten sonra özellikleri aynı kalan bir cisim durumuna kavuşur. Bu nedenle gerekli koşullara uyularak üretilmiş betonun fiziksel özellikleri, ürün hakkında bazı bilgiler verir[26].

4.2.1. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini

Beton yoğunluğunun tayini deneyi 3 adet 100x100 mm lik küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kür tankından çıkarılan numuneler doygun kuru yüzey haline getirilmiş ve TS EN 12390-7' ye [13] göre deney yapılmıştır. Beton numuneler deney aletine Resim 4.1.'deki gibi yerleştirilmiştir. Pirofillit malzemesinin betonun yoğunluk etkisi sonuçları Tablo 4.5.'da gösterilmiştir.



Resim 4.1. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini Numunesi

Sonuçların hesaplanması;

Kuru birim hacim ağırlığı(γ_{kuru}) hesabı $\rightarrow \gamma_{kuru} = \frac{a}{d}$

Doygun birim hacim ağırlığı (γ_{doygun}) hesabı $\rightarrow \gamma_{doygun} = \frac{b}{d}$

Su emme yüzdesi $\rightarrow S_{\%} = \frac{b-a}{a} \times 100$

S₁ nolu numune için;

$$\begin{aligned} \gamma_{kuru} &= \frac{2059,5}{975} & \gamma_{doygun} &= \frac{2252}{975} & S_{\%} &= \frac{2252 - 2059,5}{2059,5} \times 100 \\ &= 2,11 \text{ gr} / \text{cm}^3 & &= 2,30 \text{ gr} / \text{cm}^3 & &= \%9,35 \end{aligned}$$

S₂ nolu numune için;

$$\begin{aligned} \gamma_{kuru} &= \frac{2004}{971,5} & \gamma_{doygun} &= \frac{2211,5}{971,5} & S_{\%} &= \frac{2211,5 - 2004}{2004} \times 100 \\ &= 2,06 \text{ gr} / \text{cm}^3 & &= 2,28 \text{ gr} / \text{cm}^3 & &= \%10,35 \end{aligned}$$

S₃ nolu numune için;

$$\begin{aligned} \gamma_{kuru} &= \frac{2051}{985,5} & \gamma_{doygun} &= \frac{2257,5}{985,5} & S_{\%} &= \frac{2257,5 - 2051}{2051} \times 100 \\ &= 2,08 \text{ gr} / \text{cm}^3 & &= 2,29 \text{ gr} / \text{cm}^3 & &= \%10,07 \end{aligned}$$

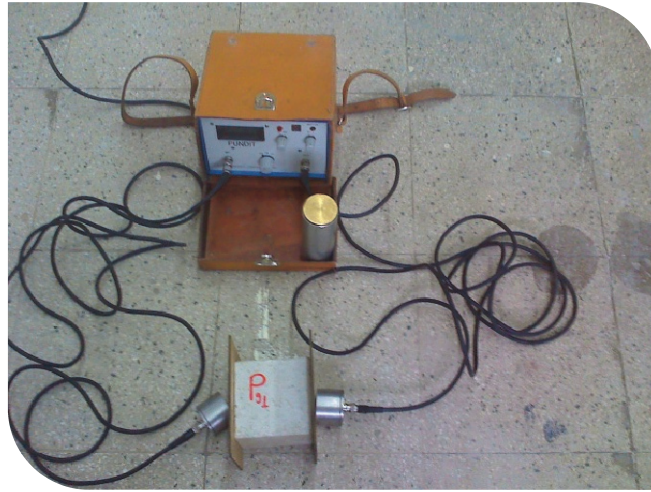
Tablo 4.5. Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini Sonuçları

Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini							
Numune	a	Kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kuru})	b	Doygun birim hacim ağırlığı (γ_{doygun})	c	d	Su emme (%)
	Kuru Ağırlık (gr)		Suya Doymuş Ağırlık (gr)		Su Altındaki Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	
S ₁	2059,5	2,11	2252,0	2,30	1279	975,0	9,35
S ₂	2004,0	2,06	2211,5	2,28	1242	971,5	10,35
S ₃	2051,0	2,08	2257,5	2,29	1274	985,5	10,07
Ort.	2038,2	2,08	2240,3	2,29	1265	977,3	9,92

Burada, sertleşmiş betonda su emme oranı, etüv kurusu betonun suya doygun kuru yüzeyli duruma getirilmesi ile ortaya çıkan ağırlık artışının, etüv kurusu betonun ağırlığına oranıdır. Sertleşmiş betonun özgül ağırlığı, betonun havada tartılarak bulunan ağırlığının görünür hacmine oranıdır. Betonda boşluk oranı, beton içindeki geçirgen boşluk hacminin betonun görünür boşluklu hacmine oranıdır.

4.2.2. Ultrasonik Puls Geçiş Hızı Deneyi

Ultrasonik puls geçiş hızı deneyi 3 adet 100x100 mm'lik küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Kür tankından çıkarılan numuneler doygun kuru yüzey haline getirilmiş ve Resim 3.2.'deki ölçüm aleti ile yapılmıştır. Pirofillit malzemesinin ultrasonik puls geçiş hızı etkisi sonuçları Tablo 4.6.'de gösterilmiştir.



Resim 4.2. Ultrasonik Puls Geçiş Hızı Deney Aleti

Tablo 4.6.Ultrasonik Puls Geçiş Hızı Sonuçları

Ultrasonik Puls Geçiş Hızı Deneyi				
Numuneler	Küp (cm)	Puls Geçiş Hızı (km/sn)	Ağırlık (g)	Ortalama = 26,47
P _{gh1}	10x10	26,6	2090,1	
P _{gh2}	10x10	26,5	2091,7	U _h = 3778,3 m/sn
P _{gh3}	10x10	26,3	2093,6	

4.2.3. Yüzey Sertliği Tayini

Betonun yüzey sertliği deneyi 150x150mm boyutundaki küp numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kür tankından çıkarılan numune doymun kuru yüzey haline getirilerek deney yapılmıştır. Pirofillit malzemesinin betonun yüzey sertliği etkisi sonuçları Tablo 4.7.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Yüzey Sertliği Etkisi Sonuçları

Yüzey Sertliği Deneyi (15x15 küp numune ile yatayda yapıldı)										
Vuruş	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Sonuç	22	20	24	22	23	23	21	21	20	21
Vuruş	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
Sonuç	20	20	21	22	20	19	20	22	22	21
Vuruş	21.	22.	23.	24.	25.	Ort.				
Sonuç	20	20	19	20	20	20,92				

4.2.4. Beton Basınç Dayanımı Tayini

Betonun mekanik özellikleri arasında en çok inceleneni, bir anlamda en önemlisi basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı betonun birçok olumlu nitelikleriyle doğru orantılıdır. Yüksek basınç dayanımlı bir beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanır ve aşınmaz. Beton dayanımını saptamakla betonun niteliği hakkında genel bir değerlendirme yapılabilir [16].

Betonun basınç dayanımına etkileyen bazı faktörler vardır. Bunlar arasında; bileşen malzeme ve özellikleri, kompasite, dış etkiler, kür ve deney şartları sayılabilir. Çimento dozajının yüksek olması mukavemeti bir yere kadar artırır, ancak dayanıma etkileyen faktör salt dozaj değil, su/çimento oranıdır. İyi bir betonda kompasite 0.80'den büyük olmalıdır. Kompasitesi yüksek, dolu bir betonun basınç dayanımı da doğal olarak yüksek olması beklenir. Sertleşme sürecinde rutubet ve sıcaklık derecelerinin betonun basınç dayanım gelişimine olan etkisi çok önemlidir [17].

Basınç dayanımı deneyi 3 adet 150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler deney makinasına yerleştirilmeden önce yüzeylerdeki fazla su kurulanmıştır. Deney makinası yükleme başlıklarının yüzeyleri silinerek temizlenmiş ve numunenin başlıklarla temas edecek yüzeylerinde bulunan herhangi gevşek çıkıntı veya taneler alınmıştır. Deney numunesi ve deney makinasının yükleme başlığı arasında, aralık ayarlama blokları TS EN 12390-4 e göre ayarlanmıştır. Resim 4.3’de görüldüğü gibi herhangi bir ilave plaka veya başka yerleştirme parçası kullanılmamıştır. Numuneler makinanın alt yükleme başlığı üzerine merkezlenerek yerleştirilmiştir.

TS EN 12390-3’e [10] göre 3 kN/sn yükleme hızında hidrolik yük kontrollü preste kırılarak basınç dayanımları elde edilmiştir. Pirofillit malzemesinin 28 günlük sertleşmiş betonun basınç dayanımına etkisi sonuçları Tablo 3.9.’da, gösterilmiştir.



Resim 4.3. Betonbasınç Dayanımı Numunesi

Basınç dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır;

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Burada;

f_c : Basınç dayanımı, MPa (N/mm²)

F : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N,

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

B₁ nolu numune için;

$$f_{c1} = \frac{471300}{150 \times 150} \\ = 20,95 \text{ N / mm}^2$$

B₂ nolu numune için;

$$f_{c2} = \frac{482100}{150 \times 150} \\ = 21,43 \text{ N / mm}^2$$

B₃ nolu numune için;

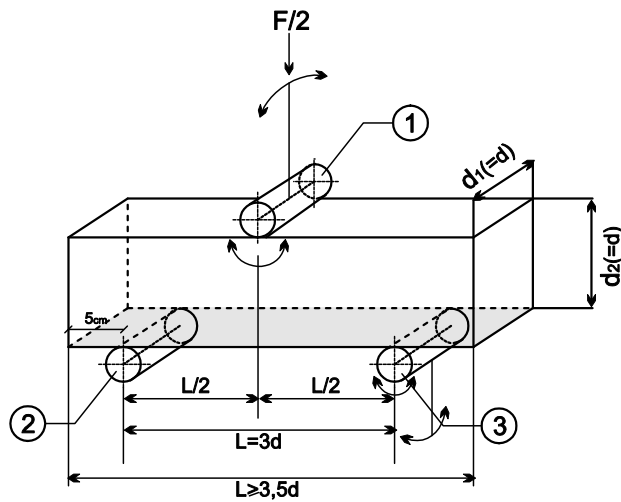
$$f_{c3} = \frac{475600}{150 \times 150} \\ = 21,14 \text{ N / mm}^2$$

Tablo 3.9. Beton Basınç Dayanımı Sonuçları

Basınç Dayanımı Tayini				
Numuneler	Küp (cm)	Yükleme Hızı (kN/sn)	Gerilme (N/mm ²)	Ort. Gerilme (N/mm ²)
B ₁	15x15	3	20,95	21,17
B ₂	15x15	3	21,43	
B ₃	15x15	3	21,14	

4.2.5. Eğilme Dayanımı Tayini

Eğilme dayanımı tayini 3 adet 100x100x300 mm boyutundaki kiriş şeklindeki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kür tankından çıkarılan numuneler doygun kuru yüzey haline getirilmiş ve TS EN 12390-5'e [11] göre 0,2 kN/sn yüklem hızında iki mesnetli tek (orta) noktadan yük verilerek Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi deney aleti ile kırılarak eğilme dayanımları elde edilmiştir. Pirofillit malzemesinin betonun eğilme dayanımına etkisi sonuçları Tablo 4.9.'da gösterilmiştir. Kırılma sonunda beton numuneleri Resim 4.4.'te gösterilmiştir.



- 1 – Yükleme silindiri (dönebilen ve yana eğilebilen)
- 2 – Mesnet silindiri
- 3 – Mesnet silindiri (dönebilen ve yana eğilebilen)

Şekil 4.2. Deney Numunesi Yükleme Düzenegi

Eğilme dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır;

$$f_{cf} = \frac{3.F.L}{2.d_1.d_2^2}$$

f_{cf} : Eğilme dayanımı, MPa (N/mm²),

F : En büyük yük, N,

L : Mesnet silindirleri arasındaki açıklık mm,

d_1, d_2 : Numunenin en kesit boyutları mm.

E₁nolu numune için;

$$f_{cf_1} = \frac{3.4000.200}{2.100.100^2}$$

$$= 1,2 N / mm^2$$

E₂nolu numune için;

$$f_{cf_2} = \frac{3.4510.200}{2.100.100^2}$$

$$= 1,35 N / mm^2$$

E₃nolu numune için;

$$f_{cf_3} = \frac{3.3480.200}{2.100.100^2}$$

$$= 1,04 N / mm^2$$

Tablo 4.9. Eğilme Dayanımı Sonuçları

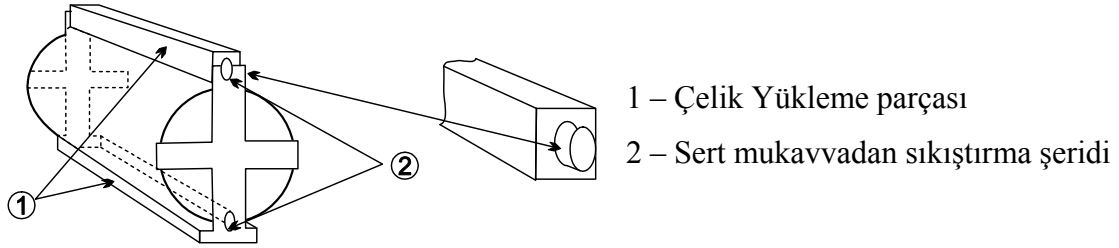
Eğilmede Dayanımının Tayini				
Numuneler	Kiriş (cm)	Max Yük (kN)	Gerilme (N/mm ²)	Ort. Gerilme (N/mm ²)
E ₁	10x10x30	4,00	1,20	1,20
E ₂	10x10x30	4,51	1,35	
E ₃	10x10x30	3,48	1,04	



Resim 4.4. Eğilme Deneyi Sonucu Oluşan Kırılma

4.2.6. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini

Yarmada çekme dayanımı deneyi 100mm çapında ve 200mm yüksekliğinde hazırlanan 3 adet silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Kür tankından çıkarılan numuneler doygun kuru yüzey haline getirilmiş ve TS EN 12390-6' ya [12] göre 0,1 kN/sn yükleme hızında hidrolik yük kontrollü preste Şekil 3.4.'deki gibi makineye yerleştirildikten sonra kırılarak basınç dayanımları elde edilmiştir. Beton numuneler Resim 4.5.'de gösterilmiştir. Pirofillit malzemesinin yarmada çekme dayanımı etkisi sonuçları Tablo 4.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Silindir Şekil Numunelerin Deneyinde Kullanılan Sabitleme Cihazı



Kırılma öncesi



Kırılma anı



Kırılma sonrası

Resim 4.5. Yarmada Çekme Dayanımı Beton Numuneleri

Gerilme Hesabı;

Gerilme $f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$ formülü ile hesaplanır. Burada;

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı, MPa (N/mm²),

F : En büyük yük, N,

L : Numunenin yüklemeye parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm,

d : Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm

Y_{ç1} numunesi için;

$$f_{ct_1} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d} = \frac{2 \times 675}{3,14 \times 20 \times 10} = \frac{1350}{628} = 2,145 \text{ N/mm}^2$$

Y_{ç2} numunesi için;

$$f_{ct_2} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d} = \frac{2 \times 631}{3,14 \times 20 \times 10} = \frac{1262}{628} = 2,001 \text{ N/mm}^2$$

Y_{ç3} numunesi için;

$$f_{ct_3} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d} = \frac{2 \times 661}{3,14 \times 20 \times 10} = \frac{1322}{628} = 2,105 \text{ N/mm}^2$$

Tablo 4.10. Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları

Yarmada Çekme Dayanımı Tayini					
Numuneler	Silindir (cm)	Yüklem Hızı (kN/sn)	Max Yük (kN)	Gerilme (N/mm ²)	Ort. Gerilme (N/mm ²)
Y _{ç1}	10x20	0,1	67,5	2,145	2,084
Y _{ç2}	10x20	0,1	63,1	2,001	
Y _{ç3}	10x20	0,1	66,1	2,105	

4.2.7. Çarpma Etkisi Deneyi

Beton yollar, hava meydanları ve limanlar çarpma etkisi altında bulunurlar. Ayrıca betonarme kazık, palplanşların başları, bariyerler bu tür zorlama ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu gibi yerlerde kullanılan betonların çarpmaya dayanıklı olması, gerekmektedir. Bir betonun çarpmaya dayanıklı oluşu basınç ve çekme dayanımının yüksek olması ile ilişkilidir. Bir başka deyişle; basınç dayanımı aynı düzeyde olan betonlar arasında çarpmaya karşı en büyük dayanıklılığı gösterenler, çekme dayanımı en yüksek olanlardır. Bundan dolayı beton üretiminde iri agregalar olarak çakıl yerine kırma taş kullanılması halinde çarpmaya daha dayanıklı betonlar elde edilir. Kırma taşlı betonların ayrıca daha fazla deformasyon yapma kabiliyetine sahip olması da, betonun daha fazla enerji alabilmesi nedeni ile, tokluğunu ve çarpmaya karşı dayanıklılığını artırır. Zamanla betonun deformasyon yapma kabiliyetinde azalma belirli bir süreden sonra, betonun yaşı ilerledikçe çarpma dayanımının azalmasına yol açar [26].

Çarpma etkisi ile cisimlerde büyük gerilmeler meydana gelmektedir. Diğer taraftan bu gerilmeler çok kısa sürede çok büyük değerlere ulaşmaktadır. Kuvvetlerin çok hızlı bir şekilde tatbik edilmesi cisimlerin çarpmaya karşı malzemenin kohezyon dayanımının önemli bir rol oynamasına yol açmaktadır. Çarpma sonucunda gerilme ve deformasyonların elastik bölge dışına çıkması durumunda; gerilme ve deformasyonlar çok karmaşık bir durum alır. Bu durumda bazı denklemler yardımı ile gerilme ve deformasyonların bulunması bazen mümkün olmamaktadır.

Betonun kalitesi genel olarak dayanımla ölçülmektedir. Beton dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır. Betonun üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkilere sebep olabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında beton şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı mukavemet gösterebilmelidir[18].

Betonun mekaniksel özelliklerinden biri olan çarpma dayanımının belirlenebilmesi için kesin bir metot belirtilmemiş ve dolaylı yollardan belirlemeye çalışılmıştır. Bir cismin belirli bir yükseklikten düşmesi veya bir kuvvetin birden bire uygulanmasıyla malzeme çarpma etkisine maruz kalmaktadır. Çarpma sonucu, gerilme çok kısa süre içerisinde artarak büyük değerlere ulaşır. Bu tür çarpma etkisinin meydana getirdiği gerilme altında, malzeme çarpma tesirlerine dayanıklı değilse kısa sürede deformasyona uğrar ve beklenen fonksiyonu gösteremez. Çarpma olayında, malzeme dış kuvvetlerin yapmış olduğu bir işe maruz kalmaktadır. Malzemedeki deformasyonun kritik bir değere ulaşması halinde malzeme çarpma etkisiyle mukavemetini kaybederek kırılır [19].

Beton numunelerine çarpma uygulanmasına 28 günlük yaşını doldurduktan ve 48 saat doğal kuruması sağlandıktan sonra geçilmiştir. Sertleşmiş betonlarda çarpma dayanımı deneyi aşağıda açıklanan özel yöntemle yapılmış olup, sonuçları Tablo 4.11.'de verilmiştir.

Çarpma dayanımı deneyi, belirli bir ağırlığın belirli bir yükseklikten düşürülmesi esasına dayanır. Resim 4.6.'da görülen deney aleti 4.5 kg'lık sabit bir ağırlığa sahip olup, ağırlığın serbest olarak düşürülme mesafesi 45 cm'dir.

Beton karışımlarında çarpma öncesi ve çarpma sonrası oluşabilecek yeni içyapı gelişmesi ve mukavemet azalması hakkında bilgi edinmek amacıyla ultrasonik test cihazı kullanılır. Bu cihaz yardımı ile beton numunelerine, bir yüze yapıştırılmış sondadan diğer karşı yüze yapıştırılmış sondaya ultrasonik ses gönderilerek puls geçiş süreleri tespit edilir.

Numunelerinin önce ağırlığı (g), sonra ultrasonik test cihazı ile PGH (km/sn) olarak ve daha sonra basınç presi ile basınç dayanım değerleri MPa olarak bulunur. Elde edilen Tablo 4.11'deki sonuçlar ile Şekil 4.4. ve 4.5.'de verilen eğri oluşturulur. Daha sonra bu eğri ardışık çarpma uygulaması sırasında elde edilen PGH eşdeğer küp basınç dayanımlarına dönüştürülmesinde esas alınır.

Deneye tabi tutulan her bir numunenin çarpma öncesi ağırlığı ve PGH değeri bulunur. Daha sonra, 1 çarpma uygulanır ve bu çarpma sonrası PGH bulunur ve yüzeyde çatlakların oluşup oluşmadığına bakılır. Ayrıca numuneden parçaların kopup kopmadığına bakılır. Bu şekilde beton numunelerinin yan yüzeyinde puls hızı okumasına uygun alan kalıncaya kadar ardışık çarpma uygulamasına devam edilerek en son PGH ve çatlakların durumu kontrol edilir. Beton numunesindeki şekil değişikliği Resim 4.7.'de gösterilmiştir. Pirofillit malzemesinin beton çarpma etkisi sonuçları Tablo 4.11.'de gösterilmiştir. İflas eden numune ise Resim 4.8.'de gösterilmiştir.



Resim 4.6. Çarpma Etkisi Deney Aleti

Tablo 4.11. Çarpma Etkisi Deneyi Sonuçları

Çarpma Etkisi Deneyi								
Vuruş Sayısı	0	5	10	15	20	25	30	35
Ağırlık (g)	2104,0	2103,5	2103,5	2103,5	2103,5	2103,5	2103,5	2103,5
PGH (km/sn)	23,2	25,5	25,6	28,7	27,5	29,2	29,9	29,6
Gözlem	-	-	-	-	-	-	-	-
Vuruş Sayısı	40	45	50	55	60	65	70	75
Ağırlık (g)	2102,5	2101,5	2101,5	2101,5	2101,0	2101,0	2101,0	2101,0
PGH (km/sn)	30,0	32,8	31,2	33,7	33,3	34,6	40,1	36,7
Gözlem	İnce Çatlak	-	-	-	-	-	Resim-a	-
Vuruş Sayısı	80	85	90	95	100	105	110	115
Ağırlık (g)	2100,5	2100,0	2090,0	2057,0	2053,0	2051,0	2051,0	2037,0
PGH (km/sn)	37,5	38,4	43,5	39,5	47,2	45,5	50,4	57,3
Gözlem	İnce çatlaklar genişliyor		-	Resim-b	-	Resim-c	-	Resim-d
Vuruş Sayısı	120	125	130	135	140			
Ağırlık (g)	2035,5	2031,0	1774,5	1740,5	İflas			
PGH (km/sn)	68,8	63,5	-	-	-			
Gözlem	-	Resim-e	-	Resim-f	-			



Resim a



Resim b



Resim c



Resim d



Resim e

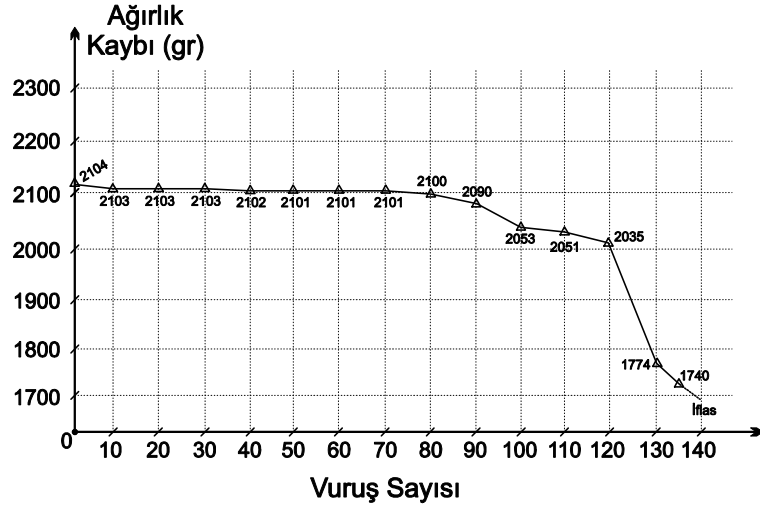


Resim f

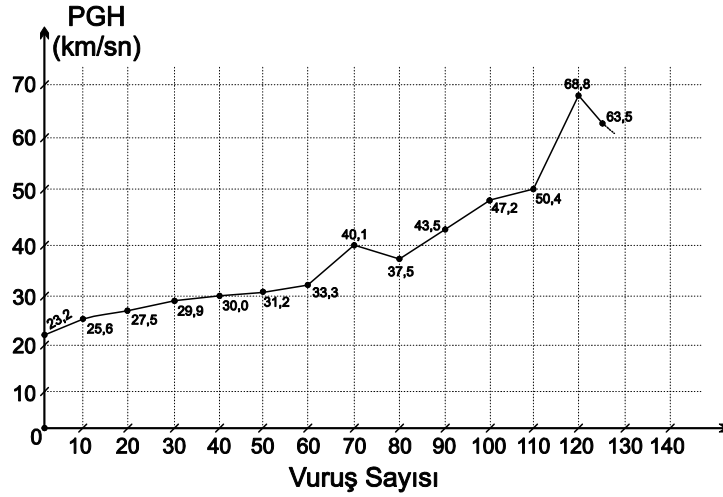
Resim 4.7. Çarpma Etkisi Gözlem Sonucu Resimleri



Resim 4.8. Çarpma Etkisi Sonucu İflas Eden Numune



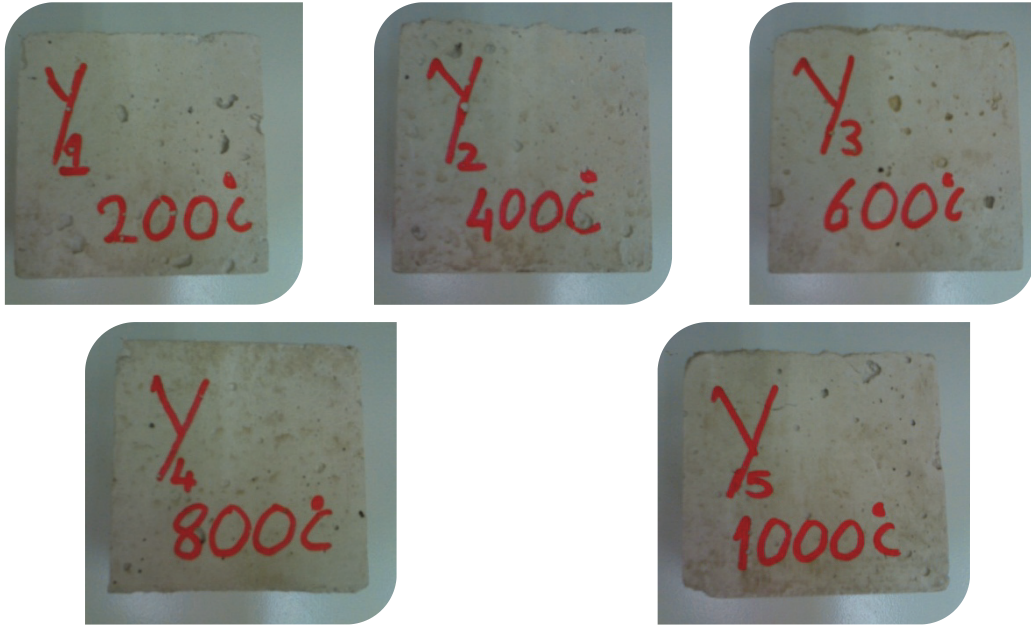
Şekil 4.4. Çarpma Etkisi Sonucu Ağırlık Kaybı Grafiği



Şekil 4.5. Çarpma Etkisi Sonucu PGH Grafiği

4.2.8. Yüksek Sıcaklık Etkisi Deneyi

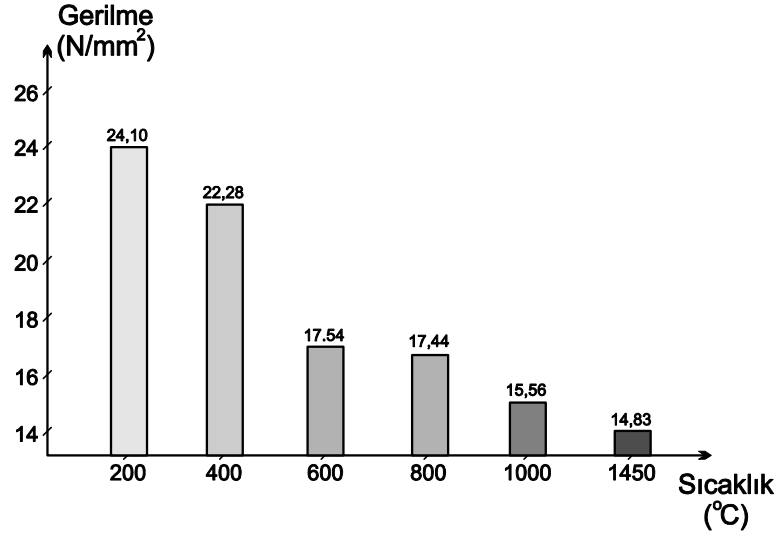
Betonun yüzey sıcaklığı etkisi deneyi 5 adet 100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kür tankından çıkarılan numuneler doymun kuru yüzey haline getirilmiş ve deney uygulanmıştır. Deney numuneler fırınlarda 200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C ve 1450°C sıcak etkisine tabi tutulmuşlardır. Fırından çıkarılan numuneler soğutulurak 3 kN/sn yükleme hızında hidrolik yük kontrollü preste kırılarak basınç dayanımları elde edilmiştir. Beton numuneler Resim 3.10'da gösterilmiştir. Pirofillit malzemesinin yüzey sıcaklık etkisi sonuçları Tablo 4.12'de, Şekil 4.6.'da ve 4.7'de gösterilmiştir.



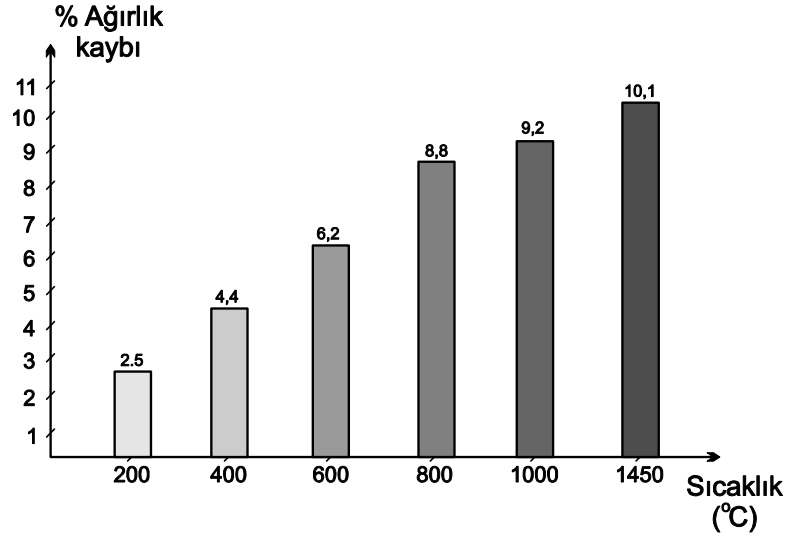
Resim 4.9. Sıcaklık Etkisi Deney Numuneleri

Tablo 4.12. Sıcaklık Etkisi Sonuçları

Yüksek Sıcaklık Etkisi Deneyi							
Numune	İlk Ağırlık (g)	Sıcaklık (°C)	Soğuma Süresi	Son Ağırlık (g)	Ağırlık Kaybı (%)	Yükleme Hızı (kN/sn)	Gerilme (N/mm ²)
Y ₁	2078,9	200	2 saat	2027,9	2,5	3,0	24,10
Y ₂	2155,2	400	3 saat	2060,6	4,4	3,0	22,28
Y ₃	2116,6	600	5 saat	1895,0	6,2	3,0	17,54
Y ₄	2096,5	800	8 saat	1912,0	8,8	3,0	17,44
Y ₅	2134,6	1000	11 saat	1938,7	9,2	3,0	15,56
Y ₆	2160,2	1400	13 saat	1942,0	10,1	3,0	14,83
Kontrol	2098,4	-	-	-	-	3,0	19,73



Şekil 4.6. Gerilme - Sıcaklık Etkisi Grafiği



Şekil 4.7. % Ağırlık Kaybı Sıcaklık Değişimi Grafiği

5. SONUÇLAR

Malatya'nın Pütürge ilçesinde Taşmış köyünde bulunan ocaktan standartlara uygun olarak alınan Pirofillit malzemesinin Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü Laboratuvarı ve Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü Laboratuvarlarında standartlara uygun olarak uygulanan deneylerle elde edilen bulgularla varılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda gereken bilimsel öneriler yapılmıştır.

1. Elek analizi beton yapımında kullanılacak doğal ve yapay agregaların tane büyüklüğü dağılımını, tane sınıflarını ve incelik modülünü belirlemek için yapılmıştır. Pirofillit agregasının granülometrik analizlerinden, agrega numuneleri tane dağılımlarının Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi uygun bir dağılım gösterdiği görülmüştür.
2. Standartlarda normal beton agregalarının birim ağırlık değerinin 1,300-1,850 kg/dm³ arasında olması istenir. Malzemenin birim ağırlığının yüksek oluşu gözeneksiz ve yüksek mukavemetli beton üretimine imkan tanımaktadır. Deneyler sonucunda bulunan değerlerin standartlara uygun çıktığı görülmüştür.
3. Agreganın Mg SO₄ yoluyla işleme maruz bırakıldıktan sonra dayanıklılık tayini sonucu ortalama kaybın %22,7 olduğu bu değer standard değerlere göre yüksek olduğu görülmüştür.
4. İncelenen agreganın özgül ağırlık değeri ortalama standart değerlere uygun olduğu belirlenmiştir. Standartlarda normal beton agregalarının özgül ağırlık değerlerinin 2,2-2,7 kg/dm³ arasında olması istenmektedir. İncelenen agregada özgül ağırlık değeri Tablo 4.3'de görüldüğü gibi 2,67 olduğu görülmüştür. Boşluksuz ve sağlam agregaların yüksek özgül ağırlık değerleri verdiği düşünülerek incelenen agreganın kaliteli olduğu söylenebilir.
5. Agreganın emdiği su miktarı tanelerin kökenine, yapısına ve granülometri bileşimine bağlıdır. Agregadaki su miktarı birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Birim ve özgül ağırlık doygun kuru yüzey hal için verilir. Agregada su emme yüzdesinin limiti kum ve çakıl için %1'dir. Su emme yüzdesi yüksek olan agreganın betonda kullanılması beton dayanımını ve dayanıklılığını azaltır (TS EN 1097-6). Deney sonuçlarına göre pirofillitin su emme absorpsiyon %'si 0,9 olduğu, agreganın su emme oranının önerilen değerden düşük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla agreganın donma çözünmeye dirençli olduğu kabul edilebilir. Ancak donma çözünmeye dayanıklılık için yeterli olan birçok agrega, daha yüksek su emme değerine de sahip olabilmektedir.

6. Agreganın aşınma mukavemeti standart bilyeli tamburla yapılan Los Angeles deneyiyle test edilmiştir. Sonuçlar Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Bulunan değerler (TS EN 1097-2) 500 dönme sonunda %50’den az malzeme kaybı olduğu, agreganın yeterli dayanıma sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum agreganın aşınmaya maruz her çeşit imalatla rahatlıkla kullanılabilceğini göstermektedir.
7. Belirli yaşlardaki beton numuneleri birim alanının taşıyabileceği yük miktarının belirlenmesi ve aynı karışımla üretilen betonun gerçek uygulamadaki elemanın taşıyabileceği yük hakkında fikir yürütmek amacıyla basınç dayanımı yapılmıştır. Betonun basınç mukavemeti standart kür koşullarında saklanmış (20 °C $\pm$ 2°C kirece doymun su içerisinde), 28 günlük silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küp (15 cm kenarlı) numuneler üzerinde ölçülür (TS EN 206–1). Hazır betonda basınç dayanımı sınıfları çizelgesine göre pirofillitin karakteristik basınç dayanımı C20 sınıfına girdiği görülmüştür. Değerlerin düşük olması Pirofillit karışımına katılan su oranının fazlalığına bağlanmıştır.
8. Yüzey sertliği yolu ile yaklaşık beton dayanımının tayini belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Pirofillitin Schmidt çekiciyle yapılan vuruşların ortalama değeri 20,92 olduğu görülmüştür. Bu değer hazır betonda basınç dayanımı sınıfları çizelgesine göre karakteristik basınç dayanımı C20 sınıfına girdiği, basınç deneyi sonuçlarıyla örtüştüğü görülmüştür.
9. Ultrases hızı silindir örnek içindeki boşluk miktarını ölçmektir. Ultrason hızı ile beton dayanım ilişkisi, agreganın içeriği ultrason hızı ve basınç dayanımını çok etkileyen bir durumdur. Bu konuda ultrasonik test yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi tablosuna göre 3500-4500m/s arası beton kalitesi iyi olarak belirlenmiştir[35]. Pirofillit malzemesinin deney sonucu 3778,3 olduğu, beton kalitesi olarak şüpheli beton sınıfından uzak iyi sınıfa girdiği görülmüştür.
10. Yapılan deneylerde eğilme dayanımı ortalama 1,20 N/mm², yarmada çekme dayanımı ortalama değeri ise 2,084 N/mm² değerlerde kaldığı, değerlerin düşük olduğu gözlenmiştir.
11. Çarpma etkisine bakıldığında 10cm’lik küp numunelerin boyutun küçük olmasına rağmen 140. çarpma sonucu iflas ettiği, pirofillitin aynı zamanda beyaz çimento üretiminde kullanıldığı düşünüldüğünde malzemenin bağlayıcılık özelliğinin yüksek olduğu ve aşınmaya dayanıklı olduğu söylenebilir.

12. Çalışmada yapılan sıcaklık etkisi deneyi incelendiğinde malzemenin 200°C ile 1400°C derece arasında göstermiş ağırlık kaybı ve gerilme değişiminin yüksek olmadığı, malzemenin normal betona göre yüksek sıcaklığa dayanıklı olduğu görülmüştür.
13. Çalışmada agreganın fiziksel özelliklerinin yanında sertleşmiş beton deneylerine tabi tutularak betondaki durumu incelenmiştir. Agreganın fiziksel özelliklerinin istenilen standart değerlere uygun olduğu ve hazır beton üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir.

6. EKLER

6.1 Ek A



T.C.
ULAŞTIRMA BAKANLIĞI
Karayolları Genel Müdürlüğü 8. Bölge Müdürlüğü



Sayı : B.11.1.TCK.1.08.04.00/ 663-08 076

18/05/2010

Konu : Deney Raporu

Harun ÖZKAYA
Fırat Üniversitesi
Tek. Eğitim Fak. Jeoloji Bölümü

ELAZIĞ

İlgi: 08.04.2010 tarihli dilekçeniz.

İlgi dilekçeniz ile; Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitim Bölümünde Yüksek Lisans Tez çalışmalarında kullanılmak üzere (Elazığ-Malatya) Ayr.- Pötlürge İlçesi Taşmış köyü civarından tarafınızdan alınarak, Kurumumuz laboratuvarına getirilen Profilit (Taş) numunesine istenilen fiziki deneyler yapılarak, düzenlenen Agregat Deney raporu yazı ekinde sunulmuştur.

Bilgilerini rica ederim.


Tefik SUBAŞI
Bölge Müdürü a.
Bölge Müdür Yrd.

EK:
Agregat Deney Raporu (1 sayfa)

7580111 - AGREGAT DENEY RAPORU

Bölge : 8	Rapor Tarihi : 17.05.2010	Lab. No	169
Num.Cinsi : Profilit (Taş)	Arazi No :		
Num.alındığı yer: Malatya-Pötürge İlçesi Taşmış Köyü	Numuneyi alan : Harrun ÖZKAYA		
Proje : Fırat Üniversitesi	Alınış Tarihi : 09.04.2010		
Kaba Agregat Elek Analizi		DENEMELER	
Elek	Numune	Şart.Limiti	Agregat
İnç. mm	% geçen	% geçen	Kaba İnce
3 1/2	88,9		Özgül ağırlık ve absorpsiyon
3	76,2		Hacim Özgül Ağırlığı
2 1/2	63,5		- Kuru -
2	50,8		Hacim Özgül Ağırlığı
1 1/2	38,1		- Doymun Yüzey Kuru -
1	25,4		Zahlrl Özgül Ağırlık
3/4	19,1		Absorbsiyon % si
1/2	12,7		Los Angeles Aşınma Deneyi
3/8	9,52		Granülometriye göre Aşınma Sınıfı
No:4	4,76		Devir adedi
Numunede % oranında Çakıl Vardır.			500
İnce Agregat Elek Analizi		Aşınma %	28
		Şart.Aşınma Limiti	40 40
3/8	9,52	100	Mg SO ₄ Sağlamlık Denemesi
No:4	4,76	95-100	Ameliye Adedi
No:8	2,38	-	Ortalama Kayıp %
No:16	1,19	45-80	Şart. Limiti % kayıp
No:30	0,59	-	12 12
No:50	0,297	10-30	Birim Ağırlığı ve Boşluklar
No:100	0,149	2-10	Gevşek Birim Ağırlığı Kum SB Ağ.
İncelik Modülü :		kg/m ³	Kum GB Ağ.
			-
		Kil Topakları %	
İnce Agregat Harç Yapma Kabiliyeti		No :200 den geçen İnce Malzeme	
		Numunede %	
Basınç Mukavemeti		Şart. Limiti %	1,0 5,0
	Numune Kum	Numune Kum	Yabancı Organik Maddeler
Günlük			
Küp boyutları			
Çimento çeşidi			
Mukavemet oranı			

Açıklamalar :

Ö.Faruk YÜCEL

Lab. Tek.

H. Bayram AŞKIRAN

Yol ve Yapı Mlz. Müh.

Murat KUM

Araştırma Başmüh.

6. KAYNAKLAR

- [1] Erdoğan, Y. T., “Betonu Oluşturan Malzemeler Agregalar”, THBB, Ankara, 10, 11, 17, 1995.
- [2] Postacıoğlu, B., “Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton”, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Cilt II, İstanbul, sayfa 211, 323, 1987.
- [3] Akman, M.S., “Beton Agregaları, Fiziksel, Petro-Grafik ve Kimyasal Nitelikleri”, Beton Semineri, 6–10 Şubat 1984, Devlet Su İşleri Yayını, Ankara, 16, 1984.
- [4] Erdem, A., Karaoğlu, B., “Malatya-Pütürge Pirofillitlerinin Değerlendirilmesi”, MTA Genel Müdürlüğü, MAT Daire Başkanlığı, 06520, Ankara.
- [5] Harben, P.W., 1999, The Industrial Minerals Handy Book, 3. Edit. 296 s, Londra.
- [6] Tasong, W. A., Lynsdale, C.J., Crpp, C., “Aggregate-Cement Paste Interface II: Influence of Aggregate Physical Properties”, Cementand Cuncrete Research., 28, 1453-1465, 1998.
- [7] Giaccio, G., et al., “High-Strength Concretes Incorporating Different Coarse Aggregates”, ACI Materials Journal, no 89, May-June, 242-247, 1992.
- [8] Uygun, A., Solakoğlu, E., “Pütürge (Malatya) Masifindeki Pirofillit Yataklarının Jeolojisi ve Kökeni”, MTA Dergisi 123-124, 2002.
- [9] Maslehudin, M. et al., “Comparision of Propertiesof Steel and Crushed Limestone Aggregote Concretes”, Constractionand Building Materials, Vol: 17, No 2, 105-112, 2003.
- [10] TS EN 12390-3, Beton– Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [11] TS EN 12390-5, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [12] TS EN 12390-6, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Deney numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [13] TS EN 12390-7, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [14] TS 3530 EN 933-1, Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 199
- [15] TS 3510 EN 933-1, Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1999.

- [16] Akman, M., S., Yapı malzemeleri, İstanbul İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 1987.
- [17] Ekinci, C.E., “Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Ensüsü, Elazığ, 1995.
- [18] Arıcı, E., Dursun, R., İnce, R. “Betonun Çarpma Mukavemetinin Tespiti”, Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü, 8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı, 7-9 Kasım, 2007.
- [19] Güner, M. S., Süme V., Yapı Malzemesi ve Beton, Aktif Yayınevi, Ankara, 2000.
- [20] T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, “Seramik – Refrakter – Cam Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu” Cilt-1, Yayın no: DPT 2418-ÖİK:477, Eylül, 1995.
- [21] Singer, F., and Singer, S., Industrial Ceramics, Hill, M.G., 1974.
- [22] Industrial Materials (Consumer Survey): Raw-Materials for the Glass and Ceramic Industry, 1993.
- [23] Industrial Minerals, Consumer Survey, United States Department of the Interior, Bureau of Mines, 1993.
- [24] Yazgan, H., Aras, A., Ağrı, H., 1993. Taşmış – Pütürge (Malatya) Pirofillit Yatağı Maden Jeolojisi Raporu, MTA Derleme No:9598
- [25] Erdem, E. ve Bingöl, A.F., 1997, Pütürge (Malatya) Masifindeki Gneyinlerin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri, Selçuk Üniv. Müh. Mim. Fak. 20. Yıl Jeol. Semp. Bild. 217-227.
- [26] Postacıoğlu, B., Yapı Malzemesi Esasları: Cisimlerin Genel Özellikleri. İstanbul: Teknik Üniversite Matbaası, 1966
- [27] Erdem, A., Gürsu, S., Karaoğlu, B., Sayın, A., Şenol, F., Yavuz, İ., Pütürge Yöresi Pirofillitlerinin Zenginleştirilmesi, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2004.
- [28] Akman, M.S., Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1987.
- [29] Özkul, M.H., Taşdemir, M.A., Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Beton Performansının Önemi ve Yerinde Dayanımın Belirlenmesi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Maslak/İstanbul.
- [30] Uçar, H., Kırmataşların Beton Agregası ve Hazır Beton Tesislerinde Kullanılma Kriterleri, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2008.

- [31] Postacıoğlu, B., Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Cilt II, İstanbul, 1987.
- [32] Erdemoğlu, Şener, Ş., Sayılkan, H., Sayılkan, F., Pirofillit Kullanılarak Metalik ve Organik Kirliliklerin Sulu Ortamdan Uzaklaştırılması, İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Malatya.
- [33] Malatya İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Maden Kanununa Tabi Olan Madenler ve Taş Ocakları Nizamnamesine Tabi Olan Malzemeler, Çevre Durum Raporu, Malatya, 2007.
- [34] Erkan, Z.E., Malayoğlu, U., Kağıt – Karton Sanayiinde Kullanılan Endüstriyel Hammaddeler ve Özellikleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 2001.
- [35] Başka, M.A., Ekmekyapar, T., Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006

ÖZGEÇMİŞ

Harun ÖZKAYA

harunozkaya@gmail.com

Tlf: 0536 890 75 32

Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Yapı Eğitimi Bölümü

ELAZIĞ

1984 yılında Malatya'nın Battalgazi ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Malatya'da tamamladıktan sonra 2004-2008 yıllarında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi, Yapı Ressamlığı Öğretmenliği bölümünü tamamladı. 2009'un Mayıs ayında Tekirdağ Saray İlçe Jandarma Komutanlığından terhis oldu. 2009'un Eylül ayında Fırat Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümünde Yüksek Lisansa başladı. Şuan Rize Üniversitesi, Rize Meslek Yüksekokulu inşaat bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmakta.