

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜMÜŞHANE YÖRESİ VOLKANİK KAYAÇLARIN PUZOLANİK
AKTİVİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ertan TUNCER

**MART 2014
GÜMÜŞHANE**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜMÜŞHANE YÖRESİ VOLKANİK KAYAÇLARIN PUZOLANİK
AKTİVİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ertan TUNCER

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24.02.2014

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 17.03.2014

MART 2014



KABUL ve ONAY



Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU danışmanlığında Ertan TUNCER tarafından hazırlanan “GÜMÜŞHANE YÖRESİ VOLKANİK KAYAÇLARIN PUZOLANİK AKTİVİTESİNİ ARAŞTIRILMASI” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

:

Yrd. Doç. Dr. Alaaddin VURAL

Üye (Danışman)

:

Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

Üye

:

Yrd. Doç. Dr. Hakan BOLAT

ONAY

Bu tez / /2014 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

Bu çalışma GÜBAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: 2012.02.1711.2

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜMÜŞHANE YÖRESİ VOLKANİK KAYAÇLARIN PUZOLANİK AKTİVİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

Ertan TUNCER

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

2014, 75 sayfa

Yapının temel malzemelerinden olan çimento, yapının dayanımı ve maliyeti bakımından önemli bir yere sahiptir. İnşaat sektöründeki gelişmeye paralel olarak çimento tüketimi de artmaktadır. Çimento üreticileri açısından, yeni kaynaklar bulunarak üretimin minimum maliyetle yapılması ve talebin karşılanması, üretici ve kullanıcı açısından ise daha ucuz, güvenli ve dayanımı yüksek malzemelerin kullanılması istenmektedir. Çimento üretiminde maliyetleri düşürmek, dayanımı arttırmak, öğütmeyi kolaylaştırmak için klinker yerine doğal ve yapay katkıları kullanılmaktadır. Ülkemizde rezerv olarak bol miktarda bulunan puzolanların belirli oranlarda katkı olarak kullanıldığı traşlı çimento üretilmekte ve tüketilmektedir. Ancak traşlı çimentolar ile ilgili olarak yapılan araştırmaların yeter düzeyde değildir. Bu çalışmada, Gümüşhane yöresi civarındaki volkanik kayaların mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanından alınan

örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, yöredeki volkanik kayaların beton sektöründe puzolanik katkı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Volkanik tüflerin inceliği sabit tutularak %0, %10, %20, %30, %40, %50 katkı oranlarında harçlar hazırlanmıştır. Bu harçlarla 4×4×16 cm'lik prizmatik harç numuneleri üretilmiş ve numuneler su içinde kür edilerek 7, 28 ve 90 günlük eğilme, basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızları belirlenmiştir.

Sonuç olarak, volkanik tüflerin özgül ağırlıkları, puzolanik aktivitesi, kolay öğütülebilirlik ve basınç dayanımlarıyla katkılı çimento üretiminde kullanılabileceği belirlenmiş olup, tras oranı artışının, çimentonun erken yaştaki dayanımını, beklendiği gibi belirgin ölçüde düşürdüğü gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çimento, puzolan, puzolanik aktivite, volkanik tuf (tras).

ABSTRACT

MS THESIS

THE INVESTIGATION OF POZZOLANIC ACTIVITIES OF VOLCANIC ROCKS IN THE PROVINCE OF GÜMÜŞHANE

Ertan TUNCER

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa ÇULLU

2014, 75 pages

Cement, one of the basic building materials, is of great importance in terms of durability and cost of a construction. Cement consumption is increasing in parallel with the developments in the construction industry. In terms of cement producers, through new resources found, production with minimum cost and fulfillment of the demand are required, while the use of less expensive, more secure and higher durable materials is required in terms of producers and users. In cement production, natural and artificial additives are used instead of clinker so as to reduce costs, increase durability and facilitate grinding. Trass cement in which pozzolans, found abundantly in our country, are used as additives in definite proportions is produced and consumed. However, the research done over trass cement is not sufficient. In this study, mineralogical, petrographical and chemical features of volcanic rocks in the province of Gümüşhane are examined. Physical and mechanical experiments are done over the samples taken from the study area and utility of volcanic rocks in this province as pozzolanic additives in cement industry is investigated. Mortars ranging from 0%, 10%, 20%, 30%, 40% to 50% are prepared with stable fineness of volcanic tuffs. Prismatic mortar specimens, measuring 4×4×16 cm, of

these mortars are produced. Then bending and compressive strength (7, 28 and 90 days) and ultrasonic pulse velocity of these specimens cured in water are determined.

According to the experiment results, it is determined that volcanic tuffs could be used in blended cement production with the specific gravity, pozzolanic activity, grindability and compressive strength, and it is observed that the increase in trass proportion reduces the strength of cement significantly at an early age as expected.

Keywords: Cement, pozzolan, pozzolanic activity, volcanic tuff (trass).

TEŞEKKÜR

Gümüşhane yöresi volkanik kayaçların puzolanik aktivitelerinin belirlenmesini konu alan bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Gümüşhane yöresindeki volkanik kayaçların beton üretimine katılmasıyla çevresel ve ekonomik anlamda katkı sağlayacağına inandığım bu çalışmanın planlanmasından yazımına kadar geçen her aşamada desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU'ya içtenlikle teşekkür ederim.

Katkılarını esirgemeyerek yardımcı olan değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Hakan BOLAT'a, Yrd. Doç. Dr. Alaaddin VURAL'a, Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ'a, Yrd. Doç. Dr. Serhat DAĞ'a ve İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR'a şükranlarımı sunarım.

2012.02.1711.2 No'lu projeme destek veren Gümüşhane Üniversitesi BAP Birimine teşekkür ederim.

Bu çalışma kapsamında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Mustafa ÖZDEMİR, Haydar ERTAŞ ve Pınar ERKUŞ' a ayrıca teşekkür ederim.

Tüm eğitim ve öğrenimim süresince yardımlarını esirgemeyen saygı değer anne ve babama, çok kıymetli dayılarıma, ablalarıma ve eniştelere sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ertan TUNCER

Gümüşhane, 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİN.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	3
1.2. Literatür Taraması.....	5
1.3. Puzolan Kullanımının Tarihçesi	11
1.4. Türkiye'nin Puzolanik Madde Olanakları ve Durumu	13
1.5. Puzolanların Tanımı ve Genel Sınıfları	16
1.5.1. Doğal Puzolanlar.....	18
1.5.1.1. Volkanik Kökenli Doğal Puzolanlar.....	22
1.5.1.2. Volkanik Cam	23
1.5.1.3. Volkanik Tüfler ve Tras.....	23
1.5.1.4. Killer ve Şeyller	23
1.5.1.5. Diatomitler	24
1.5.2. Yapay Puzolanlar	24
1.5.2.1. Pişmiş Kil.....	25
1.5.2.2. Silis Dumanı.....	25

1.5.2.3.	Uçucu Küller	26
1.5.2.4.	Yüksek Fırın Cürufu	26
1.5.2.5.	Pirinç Kabuğu Külü	27
1.6.	Puzolanik Aktivite	27
1.6.1.	Kireç - Puzolan Reaksiyonu.....	30
1.6.2.	Çimento - Puzolan Reaksiyonu.....	32
1.7.	Puzolanların Betonda Kullanımının Etkileri.....	35
1.8.	Çalışmanın Amacı.....	36
2.	MATERYAL METOT.....	37
2.1.	Materyal	37
2.1.1.	Çimento.....	37
2.1.2.	Rilem Kum.....	37
2.1.3.	Kireç.....	38
2.1.4.	Puzolan.....	38
2.2.	Metot	39
2.2.1.	Deney Örneklerinin Hazırlanması	39
2.2.2.	Puzolanik Aktivite Deneyi.....	41
2.2.3.	Eğilme Dayanımı Deneyi.....	42
2.2.4.	Basınç Dayanımı Deneyi	43
2.2.5.	Ultrases Geçiş Hızı Deneyi.....	44
2.2.6.	Basınç Dayanımı ve Ultrases Geçiş Hızı Arasındaki İlişki Analizi	45
3.	DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	47
3.1.	Puzolanların Fiziksel Özellikleri.....	47
3.2.	Puzolanik Aktivite	48

3.3.	Eğilme Dayanımı	50
3.4.	Basınç Dayanımı.....	54
3.5.	Ultrases Geçiş Hızı	57
3.6.	Basınç Dayanımı ve Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi	61
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
5.	KAYNAKLAR	69
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1.	Volkanik kayaçların temin edildiği bölgeler 38
Şekil 2.2.	Etüvden çıkarılan numunelerin desikatörde bekletilmesi 40
Şekil 2.3.	Cam kap lamel ve numune tartımları 41
Şekil 2.4.	Harcın hazırlanması..... 41
Şekil 2.5.	Eğilme dayanım deneyi..... 43
Şekil 2.6.	Basınç dayanım deneyi..... 44
Şekil 2.7.	Ultrases geçiş hızı deneyi yapılması 45
Şekil 3.1.	Puzolanik aktivite deneyi 7 günlük eğilme dayanımı değerleri 48
Şekil 3.2.	Puzolanik aktivite deneyi 7 günlük basınç dayanımı değerleri..... 49
Şekil 3.3.	Harç örneklerin 7 günlük eğilme dayanımı değerleri..... 51
Şekil 3.4.	Harç örneklerin 28 günlük eğilme dayanımı değerleri..... 51
Şekil 3.5.	Harç örneklerin 90 günlük eğilme dayanımı değerleri..... 53
Şekil 3.6.	Harç örneklerin 7 günlük basınç dayanımı değerleri 54
Şekil 3.7.	Harç örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri 55
Şekil 3.8.	Harç örneklerin 90 günlük basınç dayanımı değerleri 56
Şekil 3.9.	7 günlük ultrases geçiş hız değerleri 58
Şekil 3.10.	28 günlük ultrases geçiş hız değerleri 59
Şekil 3.11.	90 günlük ultrases geçiş hız değerleri 60
Şekil 3.12.	Refene tufünün basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi grafiği 62
Şekil 3.13.	Bayburt tufünün basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi grafiği 62
Şekil 3.14.	Aysima tufünün basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi grafiği 63
Şekil 3.15.	Süleymaniye andezit basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi grafiği63

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Doğal puzolanların sınır değerleri	3
Tablo 1.2. Dünyada kullanılan puzolanlar ve özellikleri	12
Tablo 1.3. Ülkemizdeki Puzolanların Dağılımı	13
Tablo 1.4. Çeşitli Puzolanların Kimyasal Bileşenleri (%).	16
Tablo 1.5. Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı (%).	21
Tablo 1.6. Doğal puzolanların sınıflandırılması.....	21
Tablo 1.7. Doğal puzolanların çimentoda katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için standart limit değerleri	22
Tablo 1.8. Çimento-Puzolan ve Kireç-Puzolan Hamurunun Farklı Kür Koşulları Karşısında Fiziksel ve Mekanik Özelliklerindeki Değişim	34
Tablo 2.1. CEM I 42,5 R'nin kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	37
Tablo 2.2. Puzolanik aktivite deneyi için kullanılacak malzeme miktarları	39
Tablo 2.3. Doğal puzolanın fiziksel özellikleri ve gerekler	42
Tablo 2.4. Harç örneklerin ASTM C 230'a göre belirlenen S/Ç oranları.....	42
Tablo 2.5. Beton kalitesinin/niteliğinin P hızına bağlı sınıflaması	45
Tablo 3.1. Kayaçların yoğunluk değerleri.....	47
Tablo 3.2. Örneklerin kimyasal kompozisyonu	47
Tablo 3.3. 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesine göre puzolanik aktivite değerleri	48
Tablo 3.4. 7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre puzolanik aktivite değerleri.....	49
Tablo 3.5. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi.....	61
Tablo 3.6. Harç örneklerin basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı regresyon ilişkisi..	64

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

PÇ	Portland Çimentosu
TS	Türk Standartları
T	Tras
s/ç	Su-çimento oranı
ZKÇ	Doğal zeolit katkılı
ZTKKÇ	Doğal zeolit + Taban külü katkılı
DTA-TG	Termogravimetrik
C ₃ S	Trikalsiyum silikat
C ₂ S	Dikalsiyum silikat
C ₃ A	Trikalsiyum alüminat
C ₄ AF	Tetra kalsiyum alümino ferrit
C-S-H	Kalsiyum silika hidrat
CH	Kalsiyum hidroksit
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GENEL BİLGİLER

Sürdürülebilir yapı üretimi bilincinin, yapı malzemesi üretiminden başlayarak dikkate alınması gerekir. Günümüz yapı üretiminde yaygın olarak tüketilen çimentonun yüksek maliyeti ve çevreye olumsuz etkileri değerlendirildiğinde, alternatif malzeme-bağlayıcı araştırmaları gereği ortaya çıkmaktadır (Bulut vd., 2009).

Puzolanlar kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık değeri olan, fakat ince taneli durumdayken, sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özelliği kazanan silikalı ve alüminalı malzemeler olarak tanımlanmaktadır (ASTM C 125 ve ASTM C 618, 2004). Puzolanik malzemenin yeterli bağlayıcılık gösterebilmesi için, içerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalı, amorf yapıya sahip olmalı ve en az çimento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır (Erdoğan, 2003).

Günümüzde puzolanlar, düşük hidrasyon ısı, yüksek nihai dayanım, düşük geçirimsizlik (permeabilite), yüksek sülfat dayanımı ve düşük alkali-silika tepkimesi gibi yararları nedeniyle harç ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Puzolanik malzemelerin kullanımı, çimento endüstrisinde enerji korunumu ve çevresel etki, beton yapıların durabilite ve yaşam dönemi maliyeti (life cycle cost) bakımından önem taşımaktadır. Volkanik tüf bakımından zengin olan Türkiye’de, bu tüflerin bazıları puzolan olarak yerel çimento fabrikalarınca portland çimentosu üretimi sürecinde çimentoya katılmaktadır (Turanlı vd., 2004). Zeolitik ve perlitik tüflerin çimento katkısı olarak kullanılabilme olanaklarını incelediği çalışmasında, perlitik tüflerin öğütülmesindeki güçlüğü rağmen yüksek puzolanik aktivite gösterdiklerini belirlemiştir (Okucu, 1998).

Puzolan olarak kullanılan malzemenin kimyasal içeriği, puzolanik aktivite üzerinde etkilidir. Puzolanik malzemenin içeriğinde yüksek oranda bulunan ve puzolanik tepkimedeki temel elementlerden olan silis taneciklerinin amorf yapısı puzolanik etkinliğe tesir eden faktörlerden biridir (Bulut vd., 2009). Kristal yapıdaki atom örgüleri düzgün ve sık olduğundan çözünmeleri güçtür (Urhan, 1991).

Puzolanik katkı içeren betondaki hidratasyon ısı ve büzülme daha düşük olmaktadır. Hidratasyon ısısının açığa çıkma hızının düşük olması, Baraj betonlarında ve diğer kütle betonlarda puzolan kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca puzolan katkılı betonun ilk zamanlardaki dayanımı, katkısız betonunkine kıyasla genellikle daha düşük olmaktadır. Ancak puzolanik reaksiyonların gelişmesi ile nihai beton dayanımı oldukça yüksek olabilmektedir. Puzolanik malzemelerinin maliyeti portland çimentosunununkinden daha az olup istenilen kalitedeki betonun puzolanik katkı ile daha ekonomik beton elde edilmesi sağlanmaktadır. Puzolanik katkı maddelerinin yer alacağı betonda çimento miktarında bir parça azaltma yapılmakta ve beton karışımının, azaltılan çimento miktarı kadar puzolanik katkı maddesi eklenmelidir. Puzolanik katkı maddelerinin kullanıldıkları miktarlar genel olarak çimento miktarının %10-50'si kadardır. Bazı betonların yapımında bu oran %50'nin çok üstünde de olabilmektedir. Puzolanlar, portland çimentosundaki klinker yerine ikame malzemesi olarak çimento üretiminde ya da öğütülmüş halde doğrudan betona katılarak kullanılabilir (Erdoğan, 2003).

Betona puzolan katılması halinde, eğer puzolan beton karışımındaki agregaların tane boyutu dağılımını geliştirmek için bir kısım ince agrega yerine kullanılmışsa betonun kalitesini artırır. Ancak öğütülmüş puzolan betonda bir kısım portland çimentosu yerine kullanılmışsa bu durum betonun özellikle ilk yaşlardaki mekanik dayanımlarında bazı düşümlere neden olur. Çünkü betonda yüksek miktarda puzolan kullanımı erken dayanımı kayda değer derecede düşürür. Puzolan katkılı betonlarda çok ince taneli mineral katkılı tanelerinin yer alması, taze betonun içerisindeki suyun bünyesinde kalmasını sağlamaktadır; böylece taze betondaki terlemenin daha az olmasına yol açmaktadır. Puzolan katkılı betonların sülfat dayanıklılığı artmakta ve betondaki alkali-agrega reaksiyonunun yaratacağı genleşme olasılığının azalmasına neden olmakta, betondaki boşlukların azalmasına dolayısı ile betonun su geçirgenliğinin daha az olmasına yol açmaktadır (Erdoğan, 2003; Ramachandran vd., 1995).

Doğal puzolan katkılı çimentodan üretilen yapıların uzun dönemde dayanımı $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ içeriği ile ilişkilidir. Kısa dönemde ise özgül yüzey alanı dayanım açısından birinci derecede etkilidir (Shi vd., 2001). Doğal puzolanların kimyasal özellikleri için istenen değerler Tablo 1.1'de verilmiştir. Sönmüş kireç ve doğal puzolanik madde

karışımıyla hazırlanan örneklerin, 7 günlük eğilme dayanımı en az 1 N/mm² ve basınç dayanımı en az 4 N/mm² olması gerekmektedir (Urhan, 1991; TS 25, 2008).

Tablo 1.1. Doğal puzolanların sınır değerleri

Kimyasal İçerik	% Değerleri
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	≥ %70
MgO	≤ %5
SO ₃	≤ %3
Rutubet	≤ %10

1.1. Giriş

Dünyada doğal kaynakların gittikçe azalması ve çevre kirliliğinin artması nedeniyle çimento ve inşaat sanayinde, mineral katkı maddelerinin kullanımı artmıştır (Massazza, 1993). Yapı sektöründeki kısıtlı kaynaklar ve hızla artan maliyetler karşısında yapı malzemesi gereksinimin karşılanabilmesi için, yeni yöntem ve kaynakların araştırılması gerekmektedir. Konut üretiminde yerel kaynaklarımıza dayalı malzemenin kullanım oranlarının artırılması, eldeki kaynakların kullanımı ve nispeten düşük maliyetli, nitelikli malzeme üretimine yönelilmiştir (Akgül, 2006). Çimento üretim sürecinin en karmaşık bölümü olan klinker üretimi maliyetli ve karmaşık bir süreçtir (Topçu vd., 2007). Günümüzde sektör, hammadde konusunda tamamen kendi kaynaklarını kullanmakta olup, üretimiyle ülke ihtiyacını karşılayabilmektedir. İthalattaki payı az olan çimento sektörü, ihracattaki payını her geçen gün arttırmakta ve dünyanın 90 ülkesine satış yapmaktadır. İhracatın büyük bölümü Rusya, Irak, Suriye ve İtalya'ya yapılmaktadır. Mevcut durumda, yurtiçi talebi karşılamakta sıkıntı çekmeyen, bunun yanı sıra ihracatını yaklaşık %150 oranlarında artıran sektör Avrupa'nın en büyük çimento ihracatçısı konumuna gelmiştir. Dünya pazarına bakıldığında 2011 yılında üretim 3,3 milyar tona ulaşmış olup, Çin 2,06 milyar ton üretim miktarı ile dünya çimento üretimindeki lider konumunu sürdürmektedir. Çin'i sırasıyla 223 milyon ton üretim ile Hindistan, 195 milyon ton üretim ile AB üyesi ülkeler, 67 milyon ton ile ABD, 63 milyon ton ile Brezilya ve Türkiye takip etmektedir.

Dünya genelinde bir kapasite fazlalığı yaşanırken, bu sorunu yaşayan ülkeler öncelikle kamusal yatırımlarını arttırmaya, sonrasında ise ihracata ağırlık vermeye başlamıştır (Çimento Sektör Raporu 2013/1). Dünyadaki bu üretim ve tüketim artışıyla birlikte çimento endüstrisinin çevreye verdiği zararda artmaktadır. Klinker üretimi sırasında kalsinasyon ve yanma sonucu ortaya çıkan zararlı CO₂ gazları en önemli çevre problemlerinden birisidir (Canpolat vd., 2004).

Puzolan adı verilen bu mineral katkı maddeleri, çimentoya fabrikada üretimin son aşamasında çimento değirmenine katıldığında traslı çimento, uçucu küllü çimento gibi isimler alır. Doğal puzolan sınıfına giren trasın yanı sıra uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi endüstriyel üretim sonucu oluşan atıklar ve tarım ürünü atığı pirinç kabuklarının yakılmasıyla elde edilen pirinç kabuğu külü de puzolanik karakterdedir ve çimento literatüründe yapay puzolan ismini alırlar. Yapay puzolanlar atık olmaktan çıkarak para ile satılan maddeler olmuşlardır. Puzolanik aktivite, puzolanın içindeki aktif (amorf silisin) Ca(OH)₂ ile reaksiyona girebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Bu reaksiyon sonunda portlandit (Ca(OH)₂) miktarı azalır, kalsiyum siliskat hidrat (CSH) artar. Puzolanik aktiviteyi belirlemek için kimyasal ve mekanik çeşitli deneyler standartlar da yer almıştır. Kimyasal deneylerle silis (SiO₂) veya Ca(OH)₂ katitatif ve kantitatif olarak belirlenir. Mekanik deneylerde ise kireç veya puzolanlarla üretilen harçların eğilme ve basınç dayanımları saptanarak puzolanların aktif silisine sahip olup olmadıkları saptanır. Bu deneylerde başka puzolanik aktiviteyi belirleyen spektrofotometrik, kondüktometrik, elektriksel direnç ölçme yöntemleri de vardır. Puzolanlar aktif silis miktarına bağlı olarak harç ve betonun kimyasal ortalama dayanıklılığını artırır (Kılınçkale, 1996). Çimento harçlarının ısıl genişleme katsayıları geleneksel malzemeler olan kireçtaşı, kumtaşı ve kireç bağlayıcı harçlara göre iki katıdır. Bunun yanı sıra, portland çimentolu harçların boşluk oranı düşüktür.

Bu araştırmada bu hususun da göz önünde tutularak bölgemizde yeterli hammadde rezervi bulunan bağlayıcılık aktivite özelliğine sahip olabilecek Gümüşhane yöresi volkanik kayalar seçilmiştir. Bu çalışmada Gümüşhane bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilebilmesi ve yapı sektörüne kazandırılması amacıyla öncelikle mevcut hammadde üzerinde G.Ü. Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında volkanik kayalar çimento inceliği olan 90 mikrona getirilmiş, kayaları

TS 25'e göre puzolanik aktivite deneyleri uygulanmıştır. Puzolanik aktivitesi çıkan kayaların kimyasal analizleri, özgül ağırlıklarına, inceliklerine bakılmıştır. Puzolanik aktivite, kimyasal ve mekanik testlerle belirlenmiştir. Bu puzolanları portland çimento ağırlığının %0, %10, %20, %30, %40, %50'si oranında ikame şeklinde katılarak harçlar üretilmiştir. Harçların 7, 28 ve 90 günlük eğilme, basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızı değerleri saptanmıştır.

1.2. Literatür Taraması

Kuşçu vd., (1993), Dereboğazi yöresi taşının çimento katkı maddesi olarak kullanımındaki en önemli özelliklerinden biri olan puzolanik aktivitesi ortalama 103 kgf/cm² dir. Bu değer standart değerlerin iki katıdır, Ayrıca standartta 3000 cm²/gr olarak verilen Blaine değeri, araştırılan tras örneklerinden ortalama 7630 cm²/gr değerine ulaşmaktadır. Özgül ağırlık 2,49 gr/cm³, camsı faz oranı ise % 40 dır. Trasin kimyasal bileşiminde bulunan SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ toplamı % 74 ile 84 arasında, MgO %0,27 ile 0,76, SO₃ % 0,0 ile 0,30 arasında değişim göstermektedir. Bu değerler standart değerlere çok uygundur. Yapılan araştırmayla; Dereboğazi taşının geniş yayılımı, rezervi ve tüm diğer özellikleri ile ekonomikliği onun çimento katkı maddesi olarak kullanıma çok uygun olduğunu göstermiştir.

Terzibaşıoğlu, (1995), andezitin traslı çimento üretiminde kullanılması üzerine yaptığı çalışmada, andezitin mineralojik incelemesinde tespit edilen yüksek camsı faz oranının da yüksek puzolanik aktivite özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Andezitin puzolanik aktivite özelliği, eğilme dayanımı 15 kgf/cm² ve basınç dayanımı 80 kgf/cm² olarak tespit edilmiş olup, bu değerler TS 25 in öngördüğü değerlerin çok çok üzerinde olduğu görülmüştür.

Kılınçkale, (1996), yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü gibi yapay puzolanların ve trasın özellikleri, puzolanik aktivitesi incelenmiştir. Portland çimentosuna ağırlıkça %20 oranında çimento yerine puzolan ikame edilerek puzolanlı harçlar üretilmiştir. Bu harçların eğilme ve basınç dayanımları harç üretiminin 7. ve 28. gününde saptanmıştır. Sonuç olarak tüm puzolanların puzolanik aktiviteye sahip olduğu görülmüştür.

Okucu, (2000), volkanik tüflerle birlikte Kula cürufunun çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Bu amaçla iki farklı tuf örneği ve cüruf klinkere % 10, %20, %30, %40 oranlarında katılarak farklı çimentolar hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento numunelerinin basınç dayanımı, su gereksinimleri, priz süreleri ve hacim genleşmeleri incelenmiştir. Tuf + cüruf katkılı çimentoların, tuf katkılı çimentolara oranla basınç dayanımları düşük olmasına rağmen genel olarak bütün numunelerin basınç dayanımları sınır değerlerinin üzerindedir. Tuf + cüruf katkılı çimentoların tuf katkılı çimentolara oranla su gereksinimi miktarında bir değişiklik meydana gelmemiştir. Tuf + cüruf katkılı çimentoların priz başlangıcı - sonu süreleri ve hacim genleşmeleri sınır değerler içinde kalmıştır. Sonuç olarak Kula cürufunun volkanik tüflerle birlikte çimento üretiminde katkı olarak kullanımı uygun görünmektedir.

Kavas vd., (2001), Ayazini (Afyon) civarında yüzeylemiş olan tüflerin çimento sanayinde tras olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayazini tüflerinin kimyasal, mineralojik, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş, TS 25 (Tras) standartlarına uygunluğu kontrol edilmiştir. Üretilen tuf katkılı çimento örneklerine yapılan basınç dayanımları 5,7-10,6 N/mm² arasında değişirken, eğilmede çekme dayanımları 1,4-2,5 N/mm² olarak bulunmuştur. Yapılan testler sonucunda Ayazini bölgesinde bulunan tüflerin katkı çimento üretiminde tras olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Shi vd., (2001), doğal puzolanların puzolanik aktivitesinin geliştirilmesi amaçlanmış ve bu doğrultuda 3 farklı yöntem belirlenip değişkenlerin birbiriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada %80 doğal puzolan ve %20 sönmüş kireçten oluşan karışımlar test edilmiştir. 1. ve 28. gün sonunda tüm numunelerin Ca(OH)₂'nin %'lik miktarına ve karışımların basınç dayanımına bakılarak puzolanik aktivite değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, doğal puzolanın özgül yüzey alanının artırılması veya kür sıcaklığının artırılması kimyasal katkı ilavesi kadar etkili olamamıştır. Özellikle kür sıcaklığının değişmesi puzolanik aktivitede önemli bir parametre olarak gözükmemiştir. Bunun yanında karışıma giren ve prosese tabii tutulan veriler göz önüne alındığında enerji ve maliyet giderleri olarak en uygun yöntem kimyasal katkı ilavesi olmuştur. Sonuç olarak yapılan deneyler neticesinde, kireç ve puzolandan oluşan karışımların puzolanik aktivitelerinin gelişmesinde gerek mekanik dayanım,

gerekse düşük maliyet açısından en uygun yöntemin kimyasal katkı ilavesi olduğu belirlenmiştir.

Binici, (2002), bir maddenin puzolanik değerini ve aktivitesini belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Örneğin bileşimindeki silisyum alüminyum ve demir oksit miktarları toplamın en az %70 olması, çimentonun hacimce %35'i yerine katıldığında katkısız harç karışımı 28 günlük basınç dayanımının en az %70-%75'ini sağlaması veya kireçle reaksiyona girdiğinde 7 günde belirli bir harç dayanımına ulaşması gibi koşulları sağladığı belirlenmiştir.

Şimşek vd., (2002), beton üretiminde kullanılan çimentonun belirli oranlarda azaltılması ve yerine andezit ve kalker taşunları ikame edilmesinin beton numunelerinin özelliklerine etkilerinin araştırmıştır. Yapılan araştırmada çimentonun yerine ağırlıkça %10, %15, %20, %25 oranlarında andezit ve kalker taşunu ikame edilmesi suretiyle üretilen betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarının, referans olarak hazırlanan beton numunelerin basınç dayanım değerlerinden düşük olduğu saptanmış. Ayrıca andezit ve kalker taşunu ile üretilen taze betonun hava içerikleri, taşunu miktarı artıkça azalmakta yani taşunu miktarı ile hava içeriği ters orantılı olduğu görülmüştür.

Alp vd., (2004), Taşhane andezitik tüflerinin katkılı çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bulgular ve kireç ile yapılan puzolanik aktivite testleri, malzemenin TS 25 tarafından istenen tras özelliklerine uygun olduğunu göstermiştir. Üretilen katkılı Portland çimentoları üzerinde yapılan testler sonucunda, eğilme dayanımları 3,4 N/mm², basınç dayanımları da 10,4 N/mm² çıkmış. Taşhane andezitik tüflerinin TS 26 da belirtilen traslı çimento için istenen özelliklere göre değerlendirildiğinde Portland çimentosu klinkerine % 27 oranına kadar katılarak katkılı çimento üretiminde kullanılabileceği bulunmuştur.

Çavdar vd., (2004), Trabzon ve Bayburt yörelerinden alınan altı çeşit tuf örneğinin puzolanik aktiviteleri ilgili standarda (TS 25) göre incelenmiş ve basınç dayanımlarının 6,7-11,0 N/mm² arasında değişen yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. Ayrıca bu örneklerin, kimyasal bileşimleri yönünden de yine ilgili standardın sınırları dahilinde uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

Çelik vd., (2004), Soma termik santralinden elde edilen uçucu kül, iki farklı tras (Yenişehir, Bilecik) ve silis dumanı, çimento klinkerinin bir kısmı yerine katılmış ve elde edilen harçların basınç dayanım değerleri incelenmiştir. Ağırlıkça %5 silis dumanı içeren çimentoya %10 uçucu kül katılmıştır ve tras oranları ise %30, %35 ve %40 olarak değiştirilmiştir. Bu karışımların her birinin kimyasal analizleri yapılarak blaine özgül yüzey alanı değerleri ölçülmüştür. Bu bulgular ışığında basınç dayanım sonuçları irdelenmiştir. Yapılan denemelerde en yüksek dayanım değerlerinin Bilecik trası ile hazırlanan ve yüksek inceliğe sahip olan puzolan içeren harçlarda elde edildiği saptanmıştır.

Yılmaz vd., (2004), Manisa-Gördes yöresinden elde edilen doğal zeolit ve Soma Termik Santral atığı olan taban külünün çimento üretiminde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Manisa-Gördes doğal zeolitinin %10, %20, %30, ZKÇ ve ZTKKÇ çimentoların Fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri yönünden birbirleriyle ve kontrol çimentoları olan PÇ 32,5 ve PÇ 42,5 ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ZKÇ ve ZTKKÇ' ların ilgili Türk Standartları TS 10156, TS 26 ve TS 640'a uygun olduğunu ve dolayısıyla ile doğal zeolit ve taban külünün çimento üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Yetgin vd., (2005), doğal puzolan türü ve inceliği sabit tutularak, %0, %10, %20, %25, %30, %35 kütle oranlarında tras içeren çimento üretilmiştir. Tras oranı artışının, çimentonun erken yaştaki dayanımını, beklendiği gibi belirgin ölçüde düşürdüğü, bunun yanında betonun, hacim genleşme oranını yaklaşık 2/3 oranında azaltarak beton dayanıklılığına önemli oranda katkı sağlayabilecek bir özellik kazanmış olduğu belirlenmiş ve 28 günlük basınç dayanımı 37,8-60,8 N/mm² bulunmuştur.

Akgül, (2006), Datça bölgesindeki volkanik tüfün mekanik, fiziksel ve minerolojik özelliklerinin araştırılmış. Bu amaç doğrultusunda puzolanik özelliğe sahip olduğu tespit edilen Datça toprağının puzolanik aktivitesinin geliştirilmesi amacıyla deney programı doğrultusunda kür koşulları (sıcaklık, süre, nem), madde miktarı ve su oranları değiştirilerek aralarındaki farklar tespit edilmiş ve en uygun üretim koşulu saptanmıştır. TS 25'e göre puzolanik aktivite deneyi yapılmıştır. Puzolanik aktivite deneyinin sonucunda bulunan eğilmede çekme dayanımı (1,20 N/mm²), basınç dayanım değeri (8,10 N/mm²).

Analiz sonuçlarına göre kireç - datça toprağı ile üretilen hamurun farklı kür koşulları altında fiziksel ve mekanik dayanımının nasıl değıştiğı tespit edilmiştir. Yapılan mekanik ve fiziksel deneyler sonucunda zamanla Datça çevresindeki volkanik tüflerin puzolanik aktivitesinin arttığı ortaya çıkmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan analizler neticesinde, Datça toprağının; tarihi binaların onarımında veya çevre yapıların yapımında kullanılmak üzere mukavemeti yüksek olan kireç-puzolan harç, sıva malzemesi ve hafif yapı tuğlası gibi yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceğı düşünölmektedir.

Ulus, (2006), Erzincan ve Nevşehir yöresi pomzalarının klinker ile birlikte öğütölmesiyle PKÇ ve PÇ 42,5 kontrol çimentosunun bir kısmıyla ikame edilmesi ile de POÇ elde edilmiştir. PKÇ'lerde pomza miktarı %10, %20, %25, %30 ve %40 olarak değışirken, alçı taşı %5 olarak alınmıştır. Böylece her bir pomza türünden beş farklı katkılı ve beş farklı ikameli çimento üretilmiştir. Çimento içerisinde pomza kullanılmasının çimentonun kimyasal bileşimine, özgül ağırlığına, inceliğine, normal kıvamına, priz sürelerine, hacim genişmesine, otoklav genişmesine ve bu çimentolarla üretilen harçların su ihtiyacına, rötresine, sülfat genişmesine, eğilme ve basınç dayanımına olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar kontrol çimentoları PÇ 42,5 ve PKÇ 32,5'tan PKÇ ve bu çimentolarla üretilen harçlardan elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Bu çimentolar kontrol çimentolarına göre 7. ve 28. günde eğilme ve basınç dayanımında düşüşlere neden olmakla birlikte, ilerleyen yaşlarda onlara çok yakın ya da onlardan daha yüksek değerler vermişlerdir. Sonuç olarak araştırma, Erzincan ve Nevşehir yöresi pomzalarının çimento üretiminde çimento ağırlığının maksimum %20'si oranında puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Yazıcıoğlu vd., (2006), Elazığ yöresi pomzası, hidrasyon reaksiyonu yapabilmesi için çimento inceliğinde öğütölüp, ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ile yer değıştirilerek yeni karışımlar oluşturulmuştur. Pomzanın basınç dayanımına etkisinin kür yaşlarına bağlı olarak değışimini tespit etmek için numunelerin 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca 28 günlük beton numuneler porozite ve ultrasonik test deneylerine tabi tutulmuştur Çalışma sonucunda, pomzanın %20 oranına kadar çimento ile ağırlıkça yer değıştirmesiyle, çimento miktarındaki azalmadan dolayı numunelerin basınç dayanımlarının kontrol betonuna göre daha düşük çıktığı görölmüştür. Fakat kür yaşı arttıkça dayanımdaki bu düşüş azalmıştır. Bu durum ileri yaşlarda pomzanın

puzolanik aktivite göstermesinden kaynaklanmaktadır. Pomza ilavesiyle özellikle erken yaşlarda meydana gelen bu düşme, betonun erken yaşlardaki dayanımına olumlu yönde etki eden silis dumanının kullanılmasıyla engellenmiştir.

Yılmaz vd., (2006), Kütahya–Alayunt bölgesi killi diyatomitlerinin katkıli çimento üretiminde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çimento bileşimine %5, %10 ve %20 oranlarında katılan killi diyatomit, klinker ile birlikte öğütülerek çimentolar elde edilmiştir. Deneyler sonucunda %10 ve % 20 killi diyatomit katkısının portland çimentosu klinkerinin dayanım değerlerinin 50 N/mm² civarında olduğu takdirde 42,5 sınıfı çimento üretiminde kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bu malzemenin kullanımı ile hem 1450⁰C’de üretilen klinker kullanımı azaltılarak çevreye daha az emisyon verilecek hem de diyatomitin düşük özgül ağırlığı ile ısı ve ses izolasyonu yapabilmesi nedeni ile özel bir çimento tipi oluşturabilecektir.

Yıldırım, (2007), Bu çalışmada; Manisa-Gördes yöresinden elde edilen doğal zeolitin çimentoda katkı uygunluğu araştırılmıştır. Manisa-Gördes doğal zeolitin %0, % 15 ve %30 doğal zeolit katkıli ve doğal zeolit + süperplastikleştirici katkıli çimentoları fiziksel ve kimyasal özellikleri yönünden birbirleriyle ve kontrol çimentosu olan PÇ 42,5 ile karşılaştırılmıştır. Hazırlanan zeolitli hamur numuneleri üzerinde X-ray difraksiyon ve SEM fotoğraf araştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar %15 doğal zeolit katkıli numunelerin çimentoda uygun olduğu görülmüştür.

Erçıktı vd., (2008), portland çimentosu (PÇ 42,5) yerine belirli oranlarda (ağırlıkça %30’a kadar) mineral katkı maddesi olarak kullanılan doğal puzolanların macun dolgunun dayanım ve duraylılığına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, sülfür içeriği yüksek maden atıklarından üretilen macun dolgu örnekleri drenajlı (delikli) silindir örnek kalıplarına dökülerek 7-90 gün kür süreleri sonunda tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen deney sonuçlarından, doğal puzolanların fiziksel, kimyasal ve puzolanik özelliklerinin macun dolgunun dayanım ve duraylılığı üzerinde önemli bir etkiye sahip oldukları anlatılmıştır. Ayrıca, reaktif silika içeriğinin doğal puzolanların puzolanik etkinliği açısından en önemli gösterge olduğu ve puzolanik etkinlik arttıkça macun dolgunun dayanım ve duraylılığının arttığı görülmüştür.

Bulut vd., (2009), perlitin puzolan olarak kullanılabilirliğini incelenmiştir. Kirece hidrolik bir yapı kazandırabilmek, dayanımını artırmak ve son ürün dayanımının daha kısa sürede elde edebilmesini sağlamak amacıyla yapılan bu çalışmada öncelikle perlitin puzolanik aktivite özeliği olduğu kanıtlanmıştır.

Kurugöl, (2009), Ağırnas yöresindeki toprakların puzolanik bir aktiviteye sahip olup olmadıklarının belirlemek amacıyla Ağırnasın çeşitli yerlerinden 4 farklı toprak örneği alınmış ve bunlar üzerinde ilgili Türk Standardı TS-25 uyarınca puzolanik aktivitede deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda eğilme dayanımları 1,7-2,3 N/mm², basınç dayanımları da 4,3-5,9 N/mm² çıkmış; buda tüm toprak örneklerinin çeşitli oranlarda puzolanik özelliklere sahip olduğu ve mekanik deneyler sonucunda elde edilen değerlerin standardın öngördüğü minimum değerleri sağladığı saptanmıştır.

1.3. Puzolan Kullanımının Tarihçesi

Volkanik külün, volkanik küllü toprakların veya pişirilmiş kilin söndürülmüş kireçle ve kumla birleştirilerek suya dayanıklı harç yapımında kullanılması işlemi binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Milattan önce, yeraltı suyunun tabanında bulunan puzolanların kullanılması Roma İmparatorluğu döneminde, Napoli puzolanlarının bağlayıcılık özelliğini keşfeden Romalılar ünlü tarihi yapılarını bu puzolanik doğal maddeyi öğütüp sönmüş kireç ile yapılan harca ikame edilmek suretiyle inşa etmişlerdir (Gündüz, 2008). Yaklaşık 2000 yıl önce Roma'da yaşayan ünlü bir mimar ve mühendis olan Vitruvius, kitaplarında, volkanik kül ve söndürülmüş kirecin suyla birleştirilmesiyle hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanıldığını açıklamaktadır. Ayrıca öğütülmüş tuğlaların (ince taneli durumdaki pişirilmiş kilin), volkanik küller gibi puzolanik özellik gösterdiği de belirtilmektedir (Vitruvius, 1960). Kullanıldığı en eski tarih milattan önce 2000 yıllarında Romalılar tarafından tras ve kireç karışımının çimento yani bağlayıcı olarak kullanılması ile yapılmış olan Rhine Nehri boyundaki su kanalı, 1910-1920 tarihleri arasında Idaho'da inşaa edilen Arrowrock Barajı, New Mexico'da San Francisco Bay Köprüsü, Oregon'da Bonneville Barajı, California'da Friant Barajı, Los Angeles'de Su kanalı, Neuwied Ren Köprüsünün ayakları, Agger Barajı, Saldenbach Barajı, şeklinde sıralanabilir. Yapımında bağlayıcı olarak tras kullanılan birçok tarihi yapı hala hizmet vermektedir (Malinowski, 1982). Doğal Puzolanlara, başka ülkeler

değişik jeolojik ve coğrafi adlar kullanılmaktadırlar. Bazı ülkelerin kullandıkları adlar ve Traslarının özellikleri Tablo 1.2’de gösterilmiştir.

Bilim adamlarının Konya-Çatalhöyük’teki Neolitik çağa ait evlerin harçları üzerinde yaptıkları araştırmalar, orada kullanılan harçların 8000 yıl eski olduğunu ortaya çıkarmıştır (Davidovitz, 1987). Sadece kil, kireç veya alçıdan oluşturulan harçların suya dayanıklı olmadıkları hatırlanacak olursa, oradaki harçların büyük bir olasılıkla volkanik kül içeren topraklarla yapılmış olma gerçeği elde edilmektedir. Zira Çatalhöyük, Erciyes ve Hasandağı gibi dağların çok uzağında bir yer değildir. Girit’te, Rodos’ta ve birçok yerde üç dört bin yıl önce yapılmış olan su yapıları ve mozaik işleri de bugün hala dayanıklılığını korumaktadır. Bu yapılarda da puzolan ve söndürülmüş kireçten oluşan bağlayıcılar kullanılmıştır (Erdoğan vd., 2008; Malinowski, 1979; Malinowski, 1991).

Tablo 1.2. Dünyada kullanılan puzolanlar ve özellikleri (Gündüz, 2008)

Tras veya Puzolanik maddeler	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	Na₂O	K₂O	SO₃	Kızdırma kaybı (%)
Sacrofand (İtalya)	89,22	3,05	0,77	2,28	-	-	-	-	4,67
Bacoli (İtalya)	53,08	18,20	4,29	9,05	1,23	3,08	7,61	0,63	3,05
Sengi (İtalya)	45,47	19,59	9,91	9,27	4,52	0,85	6,35	0,16	4,03
Santorin Toprağı (Yunanistan)	63,80	13,00	5,70	4,00	2,00	3,80	2,50	-	4,80
Auvergne (Fransa)	46,60	17,60	11,80	9,84	5,58	3,14	1,76	0,02	0,24
Tras K (Bulgaristan)	71,63	10,03	4,01	1,93	1,22	2,35	2,35	3,05	0,15
Ren Trası (Almanya)	52,12	18,29	5,81	4,94	1,20	1,48	5,06	-	11,10
Bavarian (Almanya)	62,45	16,47	4,41	3,39	0,94	1,91	2,06	-	7,41
Sely (Macaristan)	55,69	15,18	6,43	2,83	1,01	-	-	0,26	16,33
Ratka Trası (Macaristan)	73,01	12,28	2,71	2,76	0,41	-	-	0,10	6,34
Sarı Tüf (İtalya)	54,68	17,70	3,82	3,66	0,95	3,43	6,38	-	9,11
Oasitik Tüf (Romanya)	67,70	11,32	2,66	3,73	1,64	-	-	0,18	7,27
Gujarat Tüfü (Hindistan)	4,90	12,00	14,00	14,60	1,45	-	-	-	12,6
PellaTüfü (Yunanistan)	62,22	19,78	3,99	4,57	2,70	1,58	2,25	1,60	1,23
Büyük Kanarya Tüfü (İspanya)	57,73	18,08	4,40	1,44	0,76	6,30	5,13	-	6,28
Riyolitik Pumisit (Rusya)	65,74	15,89	2,54	3,35	1,33	4,97	1,92	-	3,43
KabiniSurkhi (Hindistan)	73,60	6,40	14,00	2,50	2,40	-	-	0,02	0,90

1.4. Türkiye'nin Puzolanik Madde Olanakları ve Durumu

Puzolanlar tarihi çok eski olan bir malzemedir. Tabii, puzolanlar karakter itibarıyla çimentoya yakın bir oksit bileşimi gösterdikleri için bunlar pişirmeden doğrudan klinkere katılabilmektedir. Böylece büyük bir miktarda termik enerjiden kazanç sağlanmaktadır. Enerji kaynakları sınırsız olmadığına göre, enerji tasarrufu bakımından uygun olan hammadde kullanımı ülkemiz ekonomisi bakımından önem arz etmektedir. Ülkemizde iç Anadolu, İç Ege, Marmara, Karadeniz, Akdeniz Bölgelerinde bol miktarda tras kaynakları bulunmaktadır. Türkiye jeoloji haritasına bakıldığında zaman zaman 155.000 km² alanı kaplayan volkanik kayalar oluşumlarının varlığı görülür. Bu alan Türkiye yüzölçümünün hemen hemen 1/5'i kadardır. Bu değerlere göre ülkemiz, tras hammaddesi bakımından oldukça zengindir. Diğer taraftan, 1985 - 1990 yılları arasında üretilen çimentoların %14,6'lık kısmı traslı çimento iken, bu oran 1992 - 1994 yılları için %36,31'e çıkmıştır (Okucu, 1998). Türkiye volkanizmasının volkanik oluşum ve yapısı; kompleks, monojenik ve polijeniktir. Bazı yerel kesimlerde merkezi veya çizgisel olarak meydana gelen volkanların köken bakımından bileşik veya tek olduğu görülür. Asit bileşimli kayaların yer aldığı volkanik alanlar puzolanik madde oluşumlarının bulunması bakımından önem taşırlar. Volkanizmanın Türkiye'deki durumu ve yapısı henüz kesinlikle belirlenmemiş olup araştırma aşamasındadır. Bu araştırmalar, daha çok jeomorfoloji ve jeoloji çalışmaları kapsamında olup ekonomik açıdan puzolanik maddelerin potansiyel ve niteliklerini içermeyecek düzeyde yapılmaktadır. Puzolanik oluşumların bulunduğu volkanik kayaları oluşturan volkanlar, yer kabuğunun içindeki gazların basınçlarına ve hareketlerine bağlı olarak meydana geldikleri için yer kabuğundaki orojenik, magmatik ve genellikle tektonik hareketlere bağlı olarak oluşmaktadır. Doğal puzolanların volkanik kökenli olması sebebiyle oluşumlarının varlığı; volkanizmanın oluşumu, yapısı, mekanizması ve volkanik geçmiş ile doğrudan doğruya ilgilidir. Bu amaçla volkanizmanın genel tanımına değinmek faydalı olacaktır. Yer içerisinde erimiş veya erimemiş maddeler ile gazların yer yüzeyine yükselmelerine volkanizma denir. Magmanın yer yüzeyine çıkarak yayıldığı yere volkan, volkanların dip kısımlarına (kök bölgesine) sub volkan denir. Sub volkanizmada magma yeryüzüne çıkmamış, derinlerde katılmıştır. Hareket eden yüksek basınçlı gazların taşıdıkları magmatik kütleler volkanın esas malzemesini oluşturur ki puzolanlar da bu

değişik malzemelerden birisidir. Volkanizma faaliyetleri esnasında magma ocaklarında zaman zaman toplanan ve bu ocaklarda biriken gazlardaki basıncın artması ile erimiş maddelerin bir kısmı yukarı doğru şiddetle itilir. Bu durumda volkanizmadan çıkan volkanik maddeler değişik nitelikler taşır. Puzolanlarda SiO_2 'in fazla miktarda bulunması genellikle asit nitelikli magmanın oluşturduğu kayaçların kimyasal bileşimde bulunduğunu göstermektedir. Türkiye'de volkanlar büyüklü küçüklü çok defa bir grup oluşturur. Bazı bölgelerde bir çizgi boyunca dizildikleri görülmektedir. Ülkemizde doğal puzolan oluşumlarının yer aldığı geniş alanlar olmasına rağmen kalite ve potansiyelleri bugüne kadar tespit edilememiştir. Ancak ihtiyaç duyan endüstri kuruluşları kendi imkanları ile faydalanacakları kaynakları tespit ederek kullanmaktadırlar. Ülkemizdeki pozolonların, kimyasal bileşimleri araştırılarak puzolanların rezerv ve bileşimlerini gösteren bir harita hazırlanabilir (Tokyay vd., 1997). Jeolojik amaçlı etütlerde genel düzeyde saptanan verilere dayanılarak Coğrafi Bölgelere göre puzolanik maddelerin bulunması tahmin edilen yerler Tablo 1.3'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Ülkemizdeki Puzolanların Dağılımı (Kaplan vd., 1995)

Marmara Bölgesi			
Balikesir	Edremit, Gönen, Havran, İvrinti, Kepsut Manyas, Savaştepe, Sındırğı, Susurluk.	Çanakkale	İmroz, Lapseki, Yenice.
Bursa	Gemlik, İznik, Mudanya, Mustafa, Kemal Paşa. Orhangazi.	İstanbul	Beykoz, Çatalca, Sarıyer, Silivri, Şile, Yalova.
Edirne	Enez, İpsela, Keşan, Meriç.	Kocaeli	Gölcük, Kandıra, Karamürsel.
Tekirdağ	Merkez, Şarköy.	Kırkkale	Demirköy, Pınarhisar.
Bilecik	Bozüyük, Söğüt.	Sakarya	Adapazarı, Akyazı, Gevye, Hendek.
Ege Bölgesi			
Afyon	Merkez, Çay, Dazkırı, Dinar, İhsaniye, Şuhut.	Manisa	Akhisar, Demirci, Gördes, Kırkağaç, Kula, Saruhanlı, Selendi, Soma.
Aydın	Germencik, Karacasu, Koçarlı, Kuşadası, Sultanhisar.	İzmir	Bergama, Çeşme, Dikili, Foça, Kınık, Menemen, Seferihisar, Urla.
Denizli	Denizliye yakın bölgeler.	Kütahya	Altıntaş, Emet, Gediz, Simav.
Muğla	Bodrum, Datça, Fethiye, Köyceğiz, Milas.		
Akdeniz Bölgesi			
Adana	Ceyhan, Osmaniye, Pozantı.	Isparta	Keçiborlu, Senirkent, Uluborlu.
Burdur	Ağlasun.	K.Maraş	Merkez, Pazarcık.
Hatay	Hassa, İskenderun, Kırırkhan, Reyhanlı.		
İç Anadolu Bölgesi			
Ankara	Ayaş, Beypazarı, Çamlidere, Çubuk, Güdül, Haymana, Kızılıçhamam, Nallıhan, Polatlı.	Nevşehir	Merkez, Avanos, Derinkuyu, Gülşehir, Hacıbektaş Kozaklı, Ürgüp.
Eskişehir	Merkez, Sarıcakaya, Seyiygazi, Sivrihisar.	Aksaray	Merkez, Avanos, Derinkuyu, Gülşehir, Hacıbektaş
Kayseri	Merkez, Bünyan, Develi, Felahiye, İncesu Sarıoğlu, Tomarza, Yenişehir.	Sivas	Divriği, İmranlı, Koyuluhisar, Suşehri, Şarkışla, Yıldızeli.
Kırşehir	Çiçekdağı, Mucur.	Niğde	Merkez, Bor, Ortaköy, Ulukışla.
Karadeniz Bölgesi			
Amasya	Merkez, Göynücek, Gümüşhacıköy Merzifon, Suluova	Giresun	Merkez, Alucura, Bulancak, Espiye, Eynesil, Keşap Şebinkarahisar, Tirebolu.
Artvin	Merkez, Arhavi, Borçka, Hopa.	Çorum	Alaca, İskilip, Mecitözü, Ortaköy, Osmancık.
Bolu	Merkez, Düzce, Gerede, Kırıscık, Mengen, Seben.	Gümüşhane	Merkez, Şiran, Torul.
Çankırı	Çerkeş, Kurşunlu, Orta, Şabanözü.	Kastamonu	Araç, Daday.
Doğu Anadolu			
Ağrı	Merkez, Diyadin, Doğubeyazıt, Eleşkirt, Hamur, Patnos, Tutak.	Kars	Merkez, Aralık, Ardahan, Arpaçay, Çıldır, Göle.
Bingöl	Genç, Karlıova, Kığı, Solhan.	Malatya	Merkez, Akçadağ, Arapgir, Arguvan.
Bitlis	Merkez, Adilceviz, Ahlat, Tatvan.	Muş	Malazgirt, Varto.
Elazığ	Merkez, Ağın, Karakoçan, Palu.	Tunceli	Merkez, Çemişgezek, Nazimiye, Ovacık, Pülümür.
Erzurum	Merkez, Aşkale, Çat, Hınıs, Horasan, İspir, Narman Oltu, Pasinler, Şenkaya, Tortum.	Van	Merkez, Başkale, Çatak, Erçiş, Gürpınar, Muradiye
		Erzincan	Merkez, refahiye, Tercan.
Güneydoğu Anadolu			
Adıyaman	Besni, Çelikhan.	Siirt	Baykan, Beşiri, Sason.
Gaziantep	Araban, İslahiye, Oğuzeli.	Batman	Merkez
Diyarbakır	Merkez, Bismil, Çermik, Hazro, Kulp, Lice, Silvan	Mardin	Merkez, Cizre, İdil, Nusaybin, Savur, Silopi.
Ş. urfa	Akçakale, Hilvan, Siverek, Suruç.		

Görüldüğü gibi hemen hemen ülkemizin her yerinde bulunan puzolanların analizleri kesin olarak bilinmemekle birlikte Tablo 1.4'de ise ülkemizdeki bazı tras yataklarından elde edilen trasın kimyasal bileşimi verilmektedir. Tabloda, karşılaştırma yapmak amacıyla, Avrupadaki çimento üretiminde kullanılan bazı tras yataklarının da kimyasal bileşimleri verilmiştir (Tokyay vd., 1997).

Tablo 1.4. Çeşitli Puzolanların Kimyasal Bileşenleri (%) (Kaplan vd., 1995)

	<u>Ren</u>	<u>Santroin</u>	<u>İtalya</u>	<u>Kayseri</u>	<u>Niğde</u>	<u>Tatvan</u>	<u>Ayvacık</u>	<u>Uşak</u>	<u>Bitlis</u>	<u>M.özü</u>
SiO ₂	54,2	63,2	55,7	64	88,11	64,72	63,79	64,48	67,80	64,47
Fe ₂ O ₃	3,8	4,9	4,6	4,85	1,99	7,18	3,21	6,06	5,20	1,5
Al ₂ O ₃	16,4	13,2	19,0	15,13	1,45	18,52	17,44	17,07	18,7	14,38
CaO	3,8	4,0	5,0	5,65	2,13	2,20	1,47	3,44	-	4,73
MgO	1,9	2,1	1,3	0,96	0,49	0,80	0,85	1,84	1,15	1,38
Diğer	12,5	12,6	14,40	9,41	5,83	6,58	13,24	7,11	7,15	13,54

1.5. Puzolanların Tanımı ve Genel Sınıfları

ASTM C 618'e göre kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak uygun rutubet şartlarında ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkaran, ince toz halindeki silisli ve alüminli maddelere puzolan denir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit (SiO₂) ve alüminyum oksit (Al₂O₃)'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit (Fe₂O₃) ve diğer oksitleri ihtiva eder. Reaktif SiO₂ miktarı kütlece %25'den az olmamalıdır. Çünkü doğal halinde birleştirici olmayan bu madde, çok ince öğütülüp kireçle, Ca(OH)₂ sulu ortamda karıştırılınca, büyük bir hidrolik özellik göstermektedir. Böylece, yontulmuş taşlar arasına yayılan bu bileşim, çimento gibi katılaşmakta ve arasına girdiği elemanları birbirine bağlamaktadır. İnsanların su içinde priz yapabilen, su etkisiyle erimeyen bağlayıcı üretme çabaları çok eski çağlara kadar uzanır. Sorunun kesin çözümü çimentonun icadı ile mümkün olabilmıştır. Bununla beraber aktif, camlaşmış silis (SiO₂) içeren toprakların kireçle karıştırılmaları durumunda bu özelliğin kısmen sağlandığı gözlenmiştir (Akman, 1990).

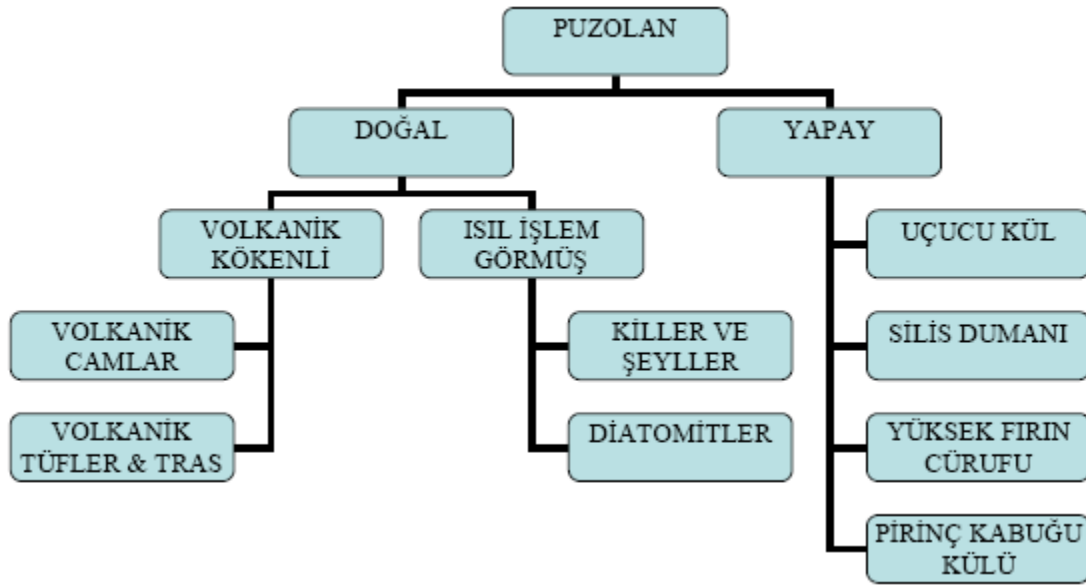
Eski Mısır'da tuğlanın (pişmiş kil) öğütülerek kirece katılması düşünülmüştür. Bu yöntemle elde edilen harca “horasan harcı” denilmektedir. Osmanlılar bu harcı geniş ölçüde ve bilinçli olarak kullanmışlardır. Avrupa'da ise Romalılar Napoli civarındaki Puzzuoli kasabasının toprağından yararlanmışlardır. Puzolan sözcüğü bu kullanımdan kaynaklanmaktadır. Almanlar puzolana “tras” demektedirler, ülkemizde de bu deyim yaygındır ve standartlarımıza geçmiştir (Akman, 1990). Puzolanlar, doğal olarak meydana gelen malzemeleri (başlıca volkanik orijinli malzemeler) ve yapay malzemeler olan kül, YFC vb. malzemeleri kapsamaktadır. (Gani vd., 1997). Puzolan terimi, genel bir ifade olmakla beraber puzolanlar, buldukları ülkelere göre özel adlar almıştır. Mesela, Almanya'da, “Tras” adı ile anılmış, Yunanistan'da ise “Santorin toprağı” olarak anılmıştır. Ülkemizde bu tip volkanik tüf karakterli puzolanlara tras denilmektedir (Okucu, 1998).

19. yüzyılın sonlarında PÇ'nin keşfedilmesiyle puzolanik çimentonun pratik kullanımında azalma görülmüştür. Ülkemizde, 1950 yılından sonra PÇ ile puzolanik madde kombinasyonlarının kullanılması ile beton ve harçların bağlayıcılık özelliklerinde etkili yararlar görülmüş ve puzolanlar, çimento malzemesi olarak kabul edilmiştir (Okucu, 1998). Puzolanlar doğal ve suni olmak üzere ikiye ayrılırlar. Puzolan sınıflandırılması Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Doğal puzolanlar; temelde az çok değişikliklere uğramış, volkanik kaynaklı tortul kayalardan oluşmalarına rağmen, farklı kaynaklardan oluşmuş maddeler de içerirler. Puzolanik maddeler, silissi veya alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan doğal maddelerdir. Uçucu kül ve silis dumanı puzolanik özelliklere sahip olmalarına rağmen ayrı maddelerde tarif edilmiştir. Puzolanik maddeler su ile karıştırıldığında kendi kendine sertleşmezler fakat ince öğütüldüğünde ve suyun mevcudiyetinde normal çevre sıcaklığında çözülmüş kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)_2), dayanımı geliştiren kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikleri oluşturmak üzere reaksiyona girerler. Bu bileşikler, hidrolik maddelerin sertleşmesinde oluşan bileşiklerle benzerdir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer oksitleri ihtiva eder. Sertleşme için reaktif kalsiyum oksit oranı ihmal edilebilir. Reaktif silisyum dioksit miktarı kütlece %25,0'den az olmamalıdır.

Puzolanik maddeler doğru şekilde hazırlanmalıdır; yani üretim veya teslim durumuna bağlı olarak seçilmeli, homojenize edilmeli, kurutulmalı veya ısıtılmalı ve öğütülmelidir (TS EN 197-1, 2012).

Puzolanlar, oluşum şekillerine göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal ya da yapay bütün puzolanlar, reaksiyon kapasiteleri açısından üç bileşenden meydana gelirler (Leckebush, 1984).

- Aktif tertip maddeleri: Az ya da çok değişmiş cam fazlan, opal, silisli toprak, zeolitler.
- Atıl bileşenler: Zeolitlerden farklılık gösteren kristal fazları (augit, piroksen ve saf çini).
- Zararlı bileşenler: Organik maddeler, kalay ve karbon maddeleri (Dayı, 2006).



Şekil 1.1. Puzolanların Sınıflandırılması (Ün, 2007)

1.5.1. Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar, yaygın olarak bilinen adıyla traslar, kendi başlarına bağlayıcılık özelliğine sahip olmasalar da çok ince öğütüldüklerinde, normal sıcaklıklarda, sulu ortamlarda kireçle birleşerek bağlayıcılık özelliği kazanabilen, silis ve alümin oksitlerince

zengin tf çeşidi malzemelerdir. Türkiye doğal puzolan kaynakları bakımından zengin bir ülkedir (avdar ve Yetgin, 2004). Geçen yıllarda ülkemizde üretilen çimentoların yaklaşık 1/3' "Traslı imento"dan oluşmaktadır (Tokyay vd., 1997). Nitekim birçok Akdeniz ülkesinde de benzer uygulama söz konusudur. Bu yüzden yazarlar, ülke ekonomisine sağlayacağı katkıyı düşünerek, tras içeren çimentoların özelliklerini inceleyen bir çalışma yapmayı gerekli görmüşlerdir (Türkmenoğlu vd., 2002).

Yapılan alışmalar CaO, MgO ve SO₃ gibi bazı zararlı maddelerin hacim genleşmesini tetikleyen etkenler olduğunu ortaya koymaktadır. Bu zararlı maddelerin çimentoda belli sınırların altında tutulmaları gerekmektedir. CaO miktarı kütlece %3, MgO miktarı ise kütlece %4,5'ten fazla olmamalıdır. İşte bu noktada doğal puzolanlar, inceliklerine bağlı olarak bu zararlı maddelerle tepkimeye girmekte ve bunların imento içerisindeki oranlarını düşürmektedir.

Doğal puzolanlar ince ğtlme yetenekleri sayesinde imento hamurundaki mikro boşluklara kolayca girmekte ve imento hamurunun iskelet yapısını değiştirerek dayanıklılığını artırmaktadırlar (Pan vd., 2003; Sabir vd., 2001; Shannag, 2000). Buna ilaveten doğal puzolanlar, ince taneli olmaları sayesinde imento harcı ve beton üzerinde kayganlaştırıcı bir etki de ortaya koymaktadırlar. Bu etki taze betonun kıvamını ve dolayısıyla işlenebilirliğini iyileştirmektedir (Pan vd., 2003). Ancak doğal puzolanlar, çimentonun toplam özgül yüzeyini artırdıkları için su ihtiyaını da artırabilmektedirler (Vu vd., 2001). Kaynaklar ayrıca, portland çimentosunun ve doğal puzolanın bir karışım halinde uygulandığı harçlarda ve betonlarda katılaşma sürelerinin, puzolanın katılım oranına, inceliğine ve reaktivitesine bağlı olarak gelişme gösterdiğini ifade etmektedirler (Taşdemir, 2003; ner vd., 2003). Doğada bulunan ve bir ön işlem yapılarak veya doğrudan ğtlerek kullanılan puzolanlar. Doğal puzolanlar, başlangıcından sonra az veya çok değişikliğe uğramış volkanik kökenli doğal tortul kayaçlardan oluşurlar. Doğal puzolanlar; Piroklastik kayalar (Volkan tüfleri, diyatomit, tras, killi maddeler ve zeolitli maddeler vb.), değişik orijinli maddeler (beyaz İtalyan toprakları) ve kırıntı taşlar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tip puzolanik maddeler, ğtlerek kullanıldığı gibi bazıları doğal da olarak kullanılmaktadır (Yıldız, 2006; Ramachandran, 2001).

Doğal puzolanların çoğu piroklastik kayalardır. Piroklastik kayalar bir volkanik patlama sırasında volkan bacasından havaya fırlatılır. Havaya fırlatılan volkanik parçacıklar zamanla yatak oluştururlar. Piroklastik kayalar oluşumları sırasındaki koşulların bir sonucu olarak iki önemli karakteristik özelliğe sahiptir:

➤ Maddelerin hızlı soğumasına bağlı olarak fışkıрма sürecinde oluşan sıvı kristalleşmez ve volkanik cam olarak katılaşır.

➤ Yeryüzüne yaklaştığında basınç azalır ve gazların (genellikle H₂O) serbest kalmasına neden olur. Boşluklu ve kabarcıklı bir yapı meydana gelir. Bu yapı ya olduğu gibi kalır veya serbest kalan gazların patlayıcı etkisiyle az çok bozularak kavisli ve iğnemsî bir yapı oluşur. Her iki durumda da özgül yüzey büyüktür.

Fışkıran madde katılma sürecinde camsı bir yapı kazanmaya başlar. Fakat, sadece camsı fazdan oluşan Piroklastik kaya yoktur (Lecke bush, 1984).

Bunun sebepleri aşağıda verilmiştir;

➤ Fışkıran parçacıklar az ya da çok miktarda (%1-61) fenokristaller şeklinde kristalize madde içerirler. Piroklastik kayalarda feldspat, kuvars, biotit, magnetit, hornblend ve ojit en fazla bulunan fenokristallerdir.

➤ Volkanik camsı fazın kimyasal kararsızlığından dolayı, mevcut olan mineraller değişime uğrar ve yeni mineraller oluşur. Bu dönüşümün sonucu olarak feldspat ve tridimit önceden oluşan camsı yapının yüzeyindeki gaz fazlarının etkisiyle büyüyebilir. Hava koşullarının kimyasal ve fiziksel değişikliklerin etkisi, zeolitlerin ve kil minerallerinin oluşumuna neden olur.

➤ Buhar fazında ve/veya devitrifikasyonla meydana gelen mineraller; feldspat, kristobalit, tridimitdir.

➤ Bozunma ve diajenezle meydana gelen mineraller; (kil ve zeolit) (Lecke bush, 1984).

Genellikle iyi bir puzolan, düşük miktarda kil mineralleri yüksek miktarda zeolit ve volkanik cam mineralleri içermektedir. Kil mineralleri ısı ileme tabii tutuldukları süreçte iyi birer puzolanik özelliğe sahiptir. İnce taneli durumdaki doğal puzolanların bağlayıcı olarak görev yaptıkları değişik kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır;

➤ Söndürülmüş kireçle ve suyla birleştirilerek, çok eski zamanlarda olduğu gibi, doğrudan kullanılabilir.

➤ Portland-puzolan tipi çimento üretiminde, portland çimentosunun klinkeri ile birlikte öğütülerek kullanılmaktadır veya

➤ Beton katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar (TS 25, 1975).

Yukarıda ilk sırada yer alan kullanım alanı, günümüzde pek yaygın değildir. Doğal puzolanlar, genellikle portland-puzolan tipi çimento ve puzolan katkılı beton üretiminde kullanılmaktadırlar. Tablo 1.5’de bazı doğal puzolanlarda yer alan oksit miktarları verilmektedir (Ramachandran, 1995).

Tablo 1.5. Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı (%) (Ramachandran, 1995)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alkali
Volkanik Cam	65.1	14.5	5.5	3.0	1.1	6.5
Volkanik Tüf	52.1	18.3	5.8	4.9	1.2	6.6
Diatomlu Toprak	86,0	2.3	1.8	-	0.6	0.4
Pişmiş Kil	42.2	16.1	7.0	21.8	1.9	1.3

Buradan görülebileceği gibi, doğal puzolanların yapısını oluşturan ana oksitler, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ dür. Killerde, bu oksitlerin yanı sıra, %20 civarında CaO yer almaktadır. Doğal puzolanların sınıflandırılma biçimi Tablo 1.6’da gösterilmiştir.

Tablo 1.6. Doğal puzolanların sınıflandırılması (Taşkın, 2012)

Aktif Maddeler	Puzolanların Petrografik Sınıflandırılması
Volkanik Cam	Riyolit, Dasit, Altere Volkanik Tüfler ve Sünger Taşları
Opal ve Benzerleri	Diyatomit, Diyatome Toprağı, Opal, Çört ve Şeyl’ler
Kaolenit Tipi Kil	Kaolin İçeren Kil Mineralleri
İllit Tipi Kil	Hidromika Killeri ve Şeyller
Montmorillonit Tipi Kil	Bentolitik Killer ve Şeyller, Fuller Toprağı
Karışık Killer ve Altere	Buzul Killeri ve Siltleri
Zeolit	Zeolitli Tüfler, Volkan Külleri ve İğnimbiritler
Yapay Cam	Uçucu Kül, Yanmış Metal Cürufları, Toprak Tuğlası ve Curuflar

Doğal puzolanların beton yapımında, uygun bir katkı maddesi olarak kullanılabilmeleri için sahip olmaları gereken fiziksel ve kimyasal özelliklere dair sınır değerler TS 25 ve ASTM C 618 nolu standartlarda belirtilmektedir (Ercıktı vd., 2008; Ramachandran, 2001). Bu fiziksel ve kimyasal değerler Tablo 1.7’de belirtilmektedir.

Tablo 1.7. Doğal puzolanların çimentoda katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için standart limit değerleri (ASTM C 618, 2004, TS 25, 2008)

Fiziksel Limitler			
		TS 25	ASTM C 618
İncelik	45 mm göz açıklıklı elekten ıslak olarak elendiğinde, elek üzerinde kalan miktar, maks. %	—	34
	Özgül yüzey, Blaine Min. cm ² /gr	3000	---
Dayanım	7 günlük	---	75
Aktivite İndeksi Min.	28 günlük	70	75
Su İhtiyacı	Kontrol numunesine kıyasla, Maks. %	---	115
Kimyasal Limitler			
	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	70.0	70.0
	SO ₃ , maks. %	5.0	4.0
	Nemlilik, maks. %	3.0	3.0
	Kızdırma kaybı, maks. %	10.0	10.0
	MgO, maks. %	5.0	---
	Na ₂ O olarak alkaliler, maks. %	1.5	1.5

1.5.1.1. Volkanik Kökenli Doğal Puzolanlar

Erimiş mağmanın püskürmesi ile oluşmuşlardır. Magmanın şiddetli püskürmesi sonucunda, yüksek puzolanik aktiviteye sahip camsı malzemeler oluşurken daha zayıf şiddetteki püskürmeler, camsı volkanik malzemelere kıyasla, kireçle daha az kimyasal reaksiyon yapan volkanik külleri meydana getirir. Volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar ve volkanik küller olarak çeşitleri vardır (Ün, 2007).

1.5.1.2. Volkanik Cam

Yunanistan'a bağlı Santorin adası toprağı, İtalya'nın Bacoli ve Japonya'nın Shirasu en iyi bilinen volkanik cam örnekleridir. Volkanik camlar, şiddetli volkanik püskürmeler esnasında bırakılan sıvı lavların soğuması sonucu oluşurlar. Bu malzemeler puzolanik aktivite karakteristiklerini esas olarak, düzensiz yapıdaki alümina silikat camlarından elde ederler. Küçük miktarlarda reaktif olmayan kuvars, feldspat ve mika gibi minarel kristalleri, camsı faz içinde bulunabilir. İnce öğütölmeleri halinde oldukça güçlü puzolanik özellikleri vardır (Ün, 2007).

1.5.1.3. Volkanik Tüfler ve Tras

İtalya'da Segni - latium, Almanya'da Ren trası, Türkiye'de Kula cürufu ve Kayseri trası volkanik tüflerin ve trasların tipik örnekleridir. Riyolit tüfler, dazit tüfler ve zeolit tüfler en iyi puzolanik malzemelerdir. Andezit, bazalt ve bazalt tufü, genellikle kalite ve performans açısından yeterli değildir. Değişik tip traslar içinde, augite, apatit, biotit, magnetit, muskovit, hematit, kristobalit, kaolinit, illit, mika ve hornblend gibi mineraller mevcuttur (Ün, 2007).

1.5.1.4. Killer ve Şeyller

Killer ve killi zeminler, plaka veya çubuk şekline sahip olan, boyutları 0,002 mm' den daha küçük parçalardan oluşurlar. Küçük parçalar, orijinal kayaların daha az stabil olan bileşenlerinin kırılmasından meydana gelen ve çoğunlukla alümina silikat içeren kil minarelerinden oluşurlar. Şeyller, killer ile benzer bileşenlere sahiptir ancak su içerikleri killerden daha azdır. Kil mineralleri kristal yapılu olup, killerin ve şeylerin hammadde formları puzolanik özellik göstermez. Ancak 700°C ile 900°C arasında ısıl işleme kalsine olurlar ve puzolanik özellik kazanırlar. Isıl işlem killerin ve şeylerin kristal yapılarını bozar veya bozulmuş alümina silikat yapısına dönüştürür.

Laterit toprakları, limonit veya hematit gibi yüksek miktarda demir minerallerine sahiptir. Hava ile temas edince tuğla gibi sertleşirler. Laterit kelimesi Latincece tuğla

anlamına gelmektedir. Boksitli topraklar ise alüminyum mineralleri içerir. Isıl işlem görmüş silisli topraklar, lateritli veya boksitli topraklar gibi silika içeriği açısından zengin değildir. Laterit ve boksit içeren topraklar tropikal ortamlarda kimyasal bozulma sonucu oluşur. Puzolanik aktivite normal olarak, ısıl işlem görmüş kildeki reaktif silis ve kalsiyum iyonlarının reaksiyonu ile oluşur. Ancak kireç, ısıl işlem görmüş laterit ve boksitle de reaksiyon yapar. Muhtemelen silis kadar, demir ve alüminyum da ısıl işleme bozulmuş yapıdaki boşlukları doldurabilir.

Pişmiş killer, geleneksel olarak atık tuğla ve fayansların öğütülerek ince bir toz haline getirilmesi ile de üretilmektedir. Bu yöntemle elde edilen malzemeler oldukça değişken puzolanik aktivite gösterir. Killer için en yaygın olarak kullanılan ısıl işlem yöntemi döner fırınlarda yapılmaktadır. Isıl işlem süresi ise 1 ile 2 saat arasındadır. Ayrıca, düşey milli fırınlarda bu amaçla kullanılmaktadır (Ün, 2007).

1.5.1.5. Diatomitler

Diatomitler, hücre duvarları silikadan oluşmuş, opal ve hidrate silika içeren, mikroskopik su bitkisi olan diatomların kalıntılarıdır. Bazı topraklarda bulunan bu organik kalıntılar %94 oranında silis içerirler. Diatomitlerin sahip olduğu puzolanik aktivite, içerdiği amorf silis miktarına bağlıdır.

Yüksek miktarda kil minerali içeren diatomitlerde, killer puzolanik aktiviteyi azaltır. Bu yüzden bazı çeşitleri, 760°C ile 1000°C arasında ısıl işlem görerek puzolanik aktiviteleri arttırılır. Büyük miktarlarda diatomit yataklarına A.B.D. California'da, Cezayir'de, Almanya, Danimarka ve Kanada'da rastlanır (Ün, 2007).

1.5.2. Yapay Puzolanlar

Yapay puzolanlar, sanayi üretim atığıdır. Yapılarında doğal puzolanlardaki gibi oksit bileşenler (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO) içermelerinden dolayı puzolan ve üretimdeki reaksiyonlar sonunda oluştukları için de yapay sıfatı verilerek yapay puzolan denilmiştir. Atıktaki silisin aktifliği, puzolanın aktifliğini belirler. Yapay puzolanlar,

yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve pirinç kabuğu külüdür. Bunlar çoğunlukla endüstri artığı maddelerdir (Okucu, 2004).

Yapay puzolanlar 5 gruba ayrılır.

- Pişmiş kil
- Yüksek fırın cüruf
- Uçucu kül
- Silis dumanı
- Pirinç kabuğu külü (Akgül, 2006).

1.5.2.1. Pişmiş Kil

Büyük miktarda silis ve alüminde oluşun kil ve şeyl mineralleri, kristal yapıya sahiptirler. Doğal yapıları itibariyle puzolanik özellik göstermektedirler. Kalsine edilmiş killerin puzolanik özellikli, olduğu bilindikten sonra doğal puzolanların yokluğunda bunların yerine sistematik şekilde toprak ya da kiremitler öğütölerek ve ufalanarak kullanılmıştır. Puzolanik aktiviteye sahip olmayan killer 700-900°C de değışen sıcaklıklarda işlem gördüklerinde aktif hale gelir. Geçmiş yıllarda tuğlanın veya kiremitlerin öğütölmesiyle elde edilen ince taneli malzeme puzolanik malzeme olarak yaygın kullanım alanı bulmuştur. Killi malzemelerin pişirilmesiyle elde edilen puzolanlar, ABD’de, Brezilya’da ve Hindistan’da birçok baraj inşaatında kullanılmışlardır. Daha sonraki yıllarda bu tür puzolanlar, yerlerini, daha kolay ve ekonomik olarak bulunabilen uçucu küllere bırakmışlardır (Akgül, 2006; Erdoğan, 2003).

1.5.2.2. Silis Dumanı

Silis dumanları, elektrik ark fırınlarında ferrosilikon ve metalik silisyum üretimi sırasında kömürle kuvars indirgenmesi sonucu yan ürün olarak üretimi ortaya çıkarlar. Elektrik ark sıcaklığında havada oksitlenen SiO₂ mikrokülleri şeklinde çökelen SiO₂ dumanları oluşur. Silisin içeriğı çok yüksektir. Yüksek puzolanik aktiviteye sahiptirler. Silis dumanı, bazı ülkelerde katkılı çimento üretiminde kullanılmakta olup portland silis

dumanlı çimento türü Avrupa ve Türk standartlarında yer almaktadır. Ayrıca, silis dumani kimyasal katkı ile birlikte öğütülerek yüksek dayanım ve performanslı çimentolar elde edilebilmektedir (Akgül, 2006; Yeğınobalı, 2001).

1.5.2.3. Uçucu Küller

Toz haline getirilmiş taş kömürünün yakıt olarak elektrik üreten termik santrallerde yakıldıklarında ulaşılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle eriyen çok ince küller elde edilir. Termik santral fırınlarında yanan bu kömürden dolayı oluşan kül, fırının bacasından dışarı çıkar. Havaya karışacak olan bu küller, mekanik ya da elektronik toplayıcılar vasıtası ile toplanır ve çevreyi kirletmeleri önlenir. Bu küller “uçucu kül” olarak adlandırılır Kimyasal bileşimleri el verirse yakılmayı izleyen soğutma işlemi, bu erimiş maddenin ince parçacıklarını aşağı yukarı küresel seklinde camsı parçacıklara dönüştürür. Bol miktarda kalsiyum sülfat içerdikleri zaman, jips esaslı bağlayıcılar olarak ta kullanılabilirler. Küldeki CaO miktarının düşük veya yüksek olmasına göre puzolanik özellik değişir (Akgül, 2006; Okucu, 1998).

1.5.2.4. Yüksek Fırın Cürufu

Ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen yüksek fırın cürufu, daha hafif olmasından dolayı yüksek fırınlarda ham demirin üzerinde yer alır. Yüksek fırında erimiş kızgın hale gelen cüruf su ile aniden soğutulur. Kurutulup bazı hallerde öğütülerek çimento fabrikalarına gönderilir. Cürufun puzolanik özellikleri yavaş veya ani soğumaya ve filize göre değişir. Yüksek fırın cürufu, yavaş soğutulduğu taktirde kristal bir yapıya sahip olur. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özelliklere sahiptir ve beton agregası olarak kullanılabilir. Öte yandan, hızlı soğutma uygulanması sonucunda ise camsı yapıda bir katı eriyik elde edilmesini sağlar. Bu yarı kararlı camsı malzeme, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler kullanılarak, ince öğütülerek ve PÇ'nin hidrasyonu ile ortaya çıkan $Ca(OH)_2$ 'yi kullanmak suretiyle hidrolik özelliğe sahip olur. Demir ve çelik endüstrisinde bir yan ürün veya artık olarak ortaya çıkan yüksek fırın cürufları da serbest kireçle birleşince bağlayıcı özelliği gösterdiklerinden yapay bir puzolan

olarak adlandırılabilir. Demir filizi gangi, kok ve kireç tasının yanma sonrası atıkları yüksek fırın cürufunu meydana getirirler (Tokyay vd., 1997).

1.5.2.5. Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç kabuğu çeltik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün atığı kabuklarının yakılmasıyla elde edilen külün hızlı bir şekilde soğutulmasıyla elde edilir. Bazı bitkilerin islendikten sonra meydana gelen artıkları, yüksek silis içeriğine sahiptirler. Bu artıklar, yüksek sıcaklıkta fırınladıklarında şekilsiz silis oluşur. Bu şekilsiz silis yeterince ince öğütülürse kirece karşı hayli reaktif duruma gelir ve buna bağlı olarak bir puzolan gibi davranır (Shannag, 2000).

1.6. Puzolanik Aktivite

Puzolanik malzemelerin söndürülmüş kireçle ve su ile ne ölçüde reaksiyona girebileceği, ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği, puzolanik aktivite olarak tanımlanmaktadır. Puzolanik malzemenin aktive olması için ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda silis + alümin + demir oksit içermesi gereklidir (Erdoğan, 2003). Puzolanik aktivite, kireç- puzolan ve çimento- puzolan ikilisinden oluşan harçların belirli bir süre içinde ulaştığı, mekanik dayanımının sonucuna bağlı olarak kanıtlanabildiği gibi DTA-TG analiz ile de saptanabilir. DTA-TG analizi aracılığı ile puzolan içeren harçların zamana bağlı olarak içindeki serbest kalsiyum hidroksit miktarı tespit edilerek de puzolanik aktivite belirlenebilir. Harcın içindeki serbest Ca(OH)_2 miktarının azalması puzolanik aktivitenin gerçekleştiğini gösterir. Diğer bir ifade ile puzolanik aktivite; puzolanların bir takım maddelerde var olan kalsiyum hidroksitle rutubetli ortamda reaksiyona girme ve sertleşme kapasiteleridir. Puzolanik aktivite aynı zamanda; puzolanik malzemelerin söndürülmüş kireçle ve su ile ne ölçüde reaksiyona girebileceği ve ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği, olarak ta ifade edilebilir (Kaplan ve Binici, 1995).

Bu tanımlar tam olmamalarına rağmen, teknik ve pratik açıdan kabul edilebilirlerdir. Hidratasyon işlemi içerisinde puzolanların aktif fazlarının değişiminin

takip edilmesinin zor olmasına rağmen, puzolanik reaksiyonun ilerleyişi yaygın olarak sistemdeki serbest kirecin azalması türünden veya florentin saldırı metodu kullanılarak asit içerisinde çözünebilir silis + alümin miktarındaki artış türünden değerlendirilir. Puzolanik aktivite terimi, puzolanların bağlayabileceği maksimum kireç miktarı ve bunu puzolan hangi oranda karıştırıldığında gerçekleştirebilir, seklinde iki parametre içermektedir. Her iki faktörde puzolanların doğasına ve daha büyük oranda da aktif fazların kalite ve miktarına bağlıdır. Sulu ortamlarda puzolanların bağladıkları kireç miktarları, puzolan tipine göre önemli oranda değişiklik gösterebilir. Bağlanan kireç miktarının esas itibariyle aşağıdaki nedenlere bağlı olduğu, genel kabul gören bir durumdur (Massazza, 1998).

➤ Aktif fazların doğasına: Zeolitik puzolanlar camsı puzolanlardan daha aktif olarak kabul edilmektedir. Cam içeren farklı puzolanlarda, farklı kireç bağlama kapasitesine sahip olabilmektedirler.

➤ Aktif fazların puzolan içerisindeki miktarına: Diğer özelliklerin eşit olduğu durumlarda, aktif fazlar daha fazla ve etkisiz veya kristal fazların daha az olduğu durumlarda bağlanan kireç miktarı daha fazladır.

➤ Aktif fazların S içeriğine: Bağlanan kireç miktarı aktif fazların S içeriğiyle ilişkilidir. Bu da volkanik camlarda ve uçucu küllerde %45-75 arasında değişirken, doğal silika jelleri veya silis dumanı gibi çok aktif amorf mikro silikalarda ise %95'lere ulaşır, bazen de geçer (Massazza vd., 1977).

Ancak bazen silika içeriği daha düşük olan bir puzolan, silika içeriği daha yüksek olan bir puzolandan daha fazla kireç bağlayabilir. Bu da silika içeriğine ilaveten diğer kimyasal ve yapısal faktörlerinde, puzolanik aktivitenin belirlenmesinde önemli roller oynadığı anlamına gelmektedir.

➤ Karışımın kireç/puzolan oranına: Belirli sınırlar içerisinde kireç/puzolan oranı arttıkça bağlanan kireç miktarı artar.

➤ Kür süresinin uzunluğuna: Bağlanan kireç miktarı kür süresine bağlıdır; fakat bağlanan kireç oranı bir puzolandan diğerine çok büyük farklılıklar gösterebilir. Costa ve Massazza tarafından yapılan çalışmada, 90 günlük kür sonunda doğal puzolanlarda reaksiyonlar hemen hemen sonlanırken; uçucu küllerdeki reaksiyonlar sonlanmadan çok uzaktadır.

➤ Puzolanın özgül yüzey alanına: Massazza puzolanik aktivitenin esas olarak kısa vadede puzolanın özgül yüzey alanına, uzun vadede ise puzolanın kimyasal ve mineralojik kompozisyonuna bağlı olduğunu göstermiştir (Massazza, 1983).

➤ Su/katı karışım oranına: Karışımın su oranının daha yüksek olması, daha fazla kireç bağlama oranı anlamına gelmektedir

➤ Sıcaklığa: Puzolanik reaksiyon oranı sıcaklıkla birlikte artar. Esasen sıcaklık mikrosilikanın reaktivitesini artırır. Kireç/silika oranına bağlı olarak 55 °C'de 2,5 saatlik işlemin sonrasında bağlanan kireç, ilave edilen CaO'in %25-55'i kadardır. 90 °C'lik sıcaklıkta ise bu değer %68-90'larakadar ulaşır (Massazza, 1998).

Bir puzolanı kullanmak için onun puzolanik aktivitesini belirlemek gerekir. Puzolanik aktivite olayı üzerine sayısız araştırma yapılmıştır. Böyle bir aktivitenin değerlendirilmesi oldukça zordur ve bu nedenle karışık bileşenlerin teknik davranışlarını temsil edecek sonuçları bulmak için, birçok test yapılmalıdır (Sersale, 2002 ve Akgül, 2006). Önerilen birçok metoda karşın, bu problem tam olarak çözülmüş sayılmaz. Çünkü hala, bütün puzolan tiplerine uygulanabilir ve aynı zamanda maddenin kullanım karakteristikleriyle uyumlu, hız ve hassasiyet açısından kabul edilebilir olan, genel bir test metodu yoktur. Fakat bu durum şaşırtıcı değildir; çünkü puzolanik aktivite birçok faktöre bağlıdır (Turanlı, 1995). Kimyasal ve mineralojik kompozisyon, morfoloji (şekli), camı faz / kristallerden oluşan faz oranı ve öğütme inceliği aktif katkıların reaktivitesini belirleyen ana unsurlardır. Şimdilerde genellikle katkıların reaktivitesinin çoğunlukla onların tane karakteristiklerine ve mineralojik bileşimlerine bağlı olduğu kabul edilmektedir (Massazza, 1983). Puzolanik aktivitenin belirlenmesinde genellikle kimyasal, fiziksel ve mekanik olmak üzere üç yöntem kullanılmaktadır. Ancak kireç daha sabit bir karakteristiğe sahip olduğundan, puzolan-kireç harcının kullanılması test sonucuna olan güvenilirliği artıracaktır. Diğer yandan puzolan çimento harcı, klinker-puzolan birleşiminin doğrudan değerlendirilmesine imkan sağlar (Ulus, 2006). Puzolanik aktivite; birtakım maddelerde var olan kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)₂) sulu ortamda “reaksiyona girme” ve “sertleşme” kapasitesidir. Gerçek puzolanik aktiviteden söz edebilmek için bu iki ögenin aynı zamanda oluşması gerekmektedir (Yaşar vd., 2003).

Yüksek aktiviteye sahip puzolanların aşağıdaki özelliklere sahip olduğu ampirik olarak belirlenmiştir:

- Yüksek SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve alkali miktarı,
- Yüksek camsı faz miktarı,
- Büyük özgül yüzey.

Bir malzemenin puzolanlığının kanıtlanabilmesi için puzolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekmektedir. Bu deneyler doğal ve yapay puzolanlarda mekanik ve kimyasal deneyler şeklindedir. Mekanik deneyler; puzolan-kireç, puzolan-çimento harçları üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal deneyler ise puzolanlı çimentonun su ile yaptığı hidrasyon sonunda çözeltide oluşan Ca(OH)₂ 'i saptamaya dayanır. Ayrıca puzolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kalorimetrik yöntemlerle de saptanabilir. Puzolanik maddeleri değerlendirmenin bir başka kriteri, puzolan içeren çimento pastalarındaki özgül yüzeyin artış hızını ölçmekle gerçekleştirilir. Değişik kalsiyum hidroksit - emme hızlarına, benzer özgül yüzey artış hızları karşılık gelir (Yaşar vd., 2003). İyi bir puzolan genel olarak açık renklidir. Konsolide ve homojen bir yapıya sahip ve orta yoğunlukta (2.00-2.30 g/cm³) dır (Urhan, 1991).

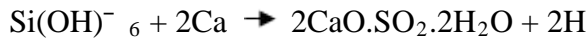
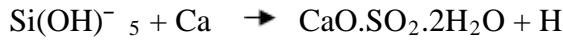
1.6.1. Kireç - Puzolan Reaksiyonu

Puzolanik özelliğe sahip volkanik tüfler SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ içerikleri yüksek fakat kristal yapıları genellikle bozuk olan silikatlı bileşiklerdir. Kristal yapısı bozuk silikatlar pH'ı yüksek; alkali ortamda OH⁻ iyonlarının etkisi ile çözülebilir. Kristal yapının bozukluk derecesinin artması ile doğru orantılı olarak çözünürlük de artar. Çözülme işlemi kirecin su ile tepkimesi sonucu ortaya çıkan OH⁻ iyonlarının ortamdaki puzolanik malzemelerin yüzeyine soğurulması ile başlar. Bunun sonucu olarak silikatın yüzeyindeki silisyum atomunun koordinasyon sayısı yükselir, alttaki oksijen atomu ile olan bağları zayıflar ve yüzeyinde silisik asit oluşmaya başlar.





Doygun Ca(OH)_2 çözeltisinin pH'ı 12.6 dır. PH'ı 11'den yüksek olan çözelti ortamında daha çok Si(OH)^{-6} bulunur. Yüzeyindeki silis atomunun bağlarının zayıflaması ile oluşan Si(OH)^{-5} ve Si(OH)^{-6} ların negatif yüklerini Ca, K ve Na iyonları nötralize edilebilir. Ca iyonu diğerlerinden daha büyük bir kuvvetle yüzeye soğurulduğu için önce Ca; oluşan negatif yükleri nötrleştirir. Negatif yüklerin bir kısmı da diğer alkali iyonlar(Na, K) tarafından nötrleştirilebilir. Ca bir H ile yer değiştirerek kalsiyum silikatlar oluşur.



Bu tepkimeler sürerken çözeltideki silis konsantrasyonu doygunluğa erişinceye kadar, silikat çözünmeye devam etmek isteyecektir. Ancak puzolanın yüzeyinde oluşan CSH (kalsiyum silikat hidrat), $(\text{OH})^{-}$ (hidroksil) iyonlarının gelişini engelleyerek çözülme hızını yavaşlatacak ve durduracaktır. Bu nedenle, bir kireç çözeltisinde, Ca konsantrasyonu yükseldikçe çözeltideki çözülmüş silis konsantrasyonunda azalma görülür. Eğer, silikat çözülmesi süresince ortamda yeterli miktarda Ca bulunmaz ise veya silikatın çözülme hızı CSH kristalleşme hızından yüksek olur ise silikat çözeltide doygunluğa ulaşmaya kadar çözünecek ve negatif yüklerin büyük kısmının alkali iyonlarca nötrleştirilmesi sonucunda tepkime ürününü alkali silikat bir jel olduğu alkali silika tepkime oluşacaktır. Puzolanik tepkimeler, sanıldığı gibi silikatlı malzemelerin tamamen çözünüp Ca(OH)_2 ile tepkimesi sonucu yeni ürünlerin oluşmasından öte, puzolanik malzeme taneciklerinin, yüzeysel çözümleri sonucunda çözünen kısmın Ca(OH)_2 ile tepkimesi sonucu yüzeylerinde oluşan CSH ile bağlamasından ibarettir. Kristalin silikatların öğütülmesi esnasında yüzeylerindeki molekül yapılarının bozulması ile puzolanik özellik kazanmaları da bu tepkimelerin malzemelerin yüzeylerinde geliştiğinin bir işaretidir. Puzolanik tepkime ürünlerini inceleyen çok sayıda araştırmaların hiç birinde kalsiyum ferrit, kalsiyum alümine ferrit türü, yani demir içerikli bir hidratasyon ürünü saptanamamıştır. Çimento hidratasyon ürünleri ile puzolanik hidratasyon ürünleri arasında en önemli fark budur (Turhanlı, 1995; Daştan, 2005).

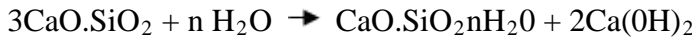
Puzolanik aktiviteyi belirleyen ya da önemli ölçüde etkileyen faktörler arasında;

- Puzolanın kimyasal bileşimi, özgül yüzeyi, özgül ağırlığı, yapısı, inceliği,

- Nem Oranı,
- Ortam Sıcaklığı,
- Karışıma giren kirecin kimyasal bileşimi ve yapısı bulunmaktadır.

1.6.2. Çimento - Puzolan Reaksiyonu

Çimento su ile temas ettiğinde hemen hidratasyona uğrar ve daha basit kristalize sert bileşikler meydana getirir. Bu arada çok sayıda serbest kireç açığa çıkar.



Üretim aşamasında oluşan kirecin yanında klinker içerisindeki serbest CaO' nun sönmesiyle meydana gelen Ca da vardır. Beton için tehlikeli olan durumlar aşağıdadır;

- Havadan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ alarak CaCO_3 oluşturur ve hacim artmasından dolayı betonda zamanla çatlamlar meydana getirebilir.
- Suların etkisiyle derhal çözünür. Sürüklenir ve beton gözenekli hale gelir. Betonda hidratasyon devam ederken devamlı $\text{Ca}(\text{OH})_2$ açığa çıkar.

Puzolan ilavesi ile beton içerisinde meydana gelen zararlı serbest kireç bağlanır ve mukavemetli yeni bileşikler oluşur. Çimento- puzolan harcı yavaş ve devamlı bir şekilde oluşan birleşme ile puzolanlı çimentolar portland çimentosuna göre betona su üstünlükleri kazandırır. Bu üstünlükler başlıca şu şekilde sıralanabilir;

- Beton son mukavemetinde artış: Puzolanlı çimento ile yapılan betondaki mukavemet ilk zamanlarda portland çimentosuyla yapılan betona göre az olmaktadır. Bu durum puzolanın hidratasyon reaksiyon hızının daha düşük olmasından ileri gelmektedir. Fakat 90 gün sonunda puzolanlı betonlar daha büyük mukavemet verir ve bu bir yıl sonrada devam eder.

- Kimyasal etkilere dayanıklılık: Puzolanlar portland çimentosunda CaO ile stabil şekilde bağladıklarından, sudaki serbest CO_2 olmasının tesiri ile kireç çözünerek beton bünyesinden ayrılmaz.

➤ Sıcaklıkla mukavemet yükselişi: Portland çimentosunda betonun sıcaklıkla priz yapması gerekirse son mukavemet düşer. Oysa puzolan çimentolu betonlarda, sıcaklıkla hem puzolanik aktivite artmakta hem de son mukavemet yükselmektedir.

➤ Su Geçirimsizliğinin sağlanması: Puzolanlar genellikle 2,3-2,6 g/cm³ özgül ağırlığına sahiptir. Bu yüzden mutlak katı hacimleri aynı hacimdeki portland çimentosuna nazaran %15- 25 daha büyüktür. Bu yüzden her bir puzolan tanesi ve çimentonun meydana getireceği silikat jel miktarının daha fazla olması nedeniyle permeabilite de düşüktür (Postacıoğlu vd., 1960).

➤ Alkali – agrega reaktivitesini azaltır: Çimento içinde bulunan Na, K oksitleri, agrega içinde bulunan aktif silisle reaksiyona girerek alkali silikat jelleri meydana getirir. Sertleşmiş beton içindeki bu jeller fazla su absorbe ettiği için betonun şişmesine ve yer yer çatlamasına neden olur. Puzolan bu duruma engel olur.

➤ Sülfatlı sulara karşı dayanımı artırır: Sülfatlı çözeltilerdeki sülfat iyonları çimentonun hidrasyon ürünü olan Ca(OH)₂ ile birleşerek CaSO₄.2H₂O oluşturur.

Bu olumlu özelliklerine nazaran bazı sakıncalı tarafları da vardır. Bunlar sırasıyla;

➤ Puzolanlı çimento ile üretilen betonların daha uzun süre ve daha iyi koşullar altında korunması gerekir.

➤ Hidrasyon ısısının daha az olmasından dolayı puzolanlı çimentolarla üretilen betonların soğuk havalarda kullanılması sakıncalıdır.

➤ Su ihtiyacını arttırarak harcın, s/k (su/katı) =%33 olan su oranı puzolan ilavesi ile %38'lere çıkar.

➤ Kuruma büzülmesini arttırırlar (Okucu, 1998).

Çimento-Puzolan ve Kireç-Puzolan Hamurunun Farklı Kür Koşulları Karşısında Fiziksel ve Mekanik Özelliklerindeki Değişimi Tablo 1.8'de gösterilmiştir.

Tablo 1.8. Çimento-Puzolan ve Kireç-Puzolan Hamurunun Farklı Kür Koşulları Karşısında Fiziksel ve Mekanik Özelliklerindeki Değişim (Akgül, 2006)

Etkileyen Faktörler		Performans Kriterleri	Isı Tutuculuk	Su Geçirimsizlik	İşlenebilirlik	Yoğunluk	Özgül Yüzey Alanı (Blaine)	Sülfat Dayanımı	Eğilmede Çekme Dayanım	Basınç Dayanımı	Harç-Sıva Malzemesi Olarak	Taşıyıcı Malzeme Olarak	Üretim Enerjisi	Maliyet	Çevre Kirliliği	Gaz Emisyon Değeri	
ÇİMENTO - PUZOLAN HAMURU	Çimento/Puzolan Oranı	Çimento Miktarının Artması		▲	▼	▲	▼	▼	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	
		Puzolan Miktarının Artması	▼	▼	▲	▲	▲	▲	▼	▼	▲		▼	▼	▼	▼	
	Su Miktarı	Su Miktarının Artması	▲	▲	▲	▼		▼	▼	▼		▼	▲	▲			
		Su Miktarının Azalması	▼	▼	▼	▲		▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲		
	Kür Koşulları	Sıcaklık Artışı						▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲	▲	
		Zaman (7, 14, 28, 90 gün)						▲	▲	▲							
PUZOLAN - KİREÇ HAMURU	Kireç/Puzolan Oranı	Kireç miktarının artması		▲		▼	▼		▼	▼			▼	▼			
		Puzolan miktarının artması	▼	▼		▲	▲		▲	▲	▲		▲	▲			
	Su miktarı	Su miktarının artması	▲	▲	▲	▼			▼	▼	▼		▲	▲			
		Su miktarının azalması	▼	▼	▼	▲			▲	▲	▲		▼	▼			
	Kür koşulları	Sıcaklık Artışı (55, 70, 80°C)	▲	▲		▼			▼	▲	▲		▲	▲	▲		
		Zaman (7, 14, 28, 90 gün)		▼	▼				▲	▲	▲						

1.7. Puzolanların Betonda Kullanımının Etkileri

Puzolanların beton özelliklerine birçok olumlu ve olumsuz etkisi bulunmaktadır.

Beton özelliklerine olumlu etkilerini şu şekilde sıralayabiliriz;

➤ En önemli husus, çimento üretim maliyetini düşürmesidir. Çünkü tras veya diğer puzolanlar, yakılmadan sadece öğütülme masraflarıyla klinkere katılmaktadır. Bunların katılma nispeti %20-30'a yükselince, çimento miktarı bu oranda azalmaktadır. Türkiye gibi ısıtma enerjisinin pahalı olduğu bir ülkede çimento maliyetini de bu oranda düşürmektedir.

➤ Traslı çimentolarda, beton dökümü esnasında hasıl olan hidrasyon ısısı düşüktür. Bu nedenle su buharlaşması çok az olduğundan, hidrasyon olayı çok daha iyi gerçekleşir (Hidrat; bileşiklerin belirli sayıda su molekülleri ile meydana getirdikleri bileşiktir.).

➤ Betonun çatlamasını önler. Beton donarken kalsiyum silikatlara dönüşmeyip açıkta kalan bir miktar sönmüş kireç Ca(OH)_2 , havadan CO_2 olarak CaCO_3 'e dönüşmektedir. Bu esnada hacim büzülerek azaldığı için yüzeyde çatlaklar oluşur. Bu durum Portland çimentolar içindir. Traslı çimentolarda ise, Tras serbest Ca(OH)_2 ile birleşerek yeni bileşim oluşturur ve buradaki karbonatlaşmayı önler. Bu da çatlamları önlemektedir.

➤ Traslı çimento betonunda kalsiyum - silikat - hidrat fazla oranda oluşur ve bu bileşenin sıkı yapısından dolayı betonun geçirimsizlik özelliğini artırır. İngiltere de Portlandlı çimento ile inşa edilen bir barajda mikro çatlaklar görülmüş, ancak Traslı çimento ile inşa edilen diğer bir barajda bu gibi çatlaklıkların oluşmadığı görülmüştür.

➤ Traslı çimentolarda Trikalsiyum alüminat miktarı az olduğundan, beton sülfatlı sulara ve bileşimlere daha dirençli olur.

➤ Normal Portland çimentolu betonlarda harcın içindeki klor sızarak demirlere ulaşır. Bu da demirin korozyona uğramasına sebebiyet vermektedir. Traslı çimento kullanıldığında, Trasın aktif silisinin oluşturduğu Kalsiyum - silikat – hidrat geçirimsizlik sağladığından klor sızarak demirlere yetişmemekte ve bundan dolayı korozyon olayı da önlenmiş olmaktadır (Gündeşli, 2008).

Beton özelliklerine olumsuz etkileri şu şekilde sıralayabiliriz;

➤ Traslı çimentonun aleyhindeki en önemli husus ise donma süresinin Portland'a göre daha uzun olmasıdır. Bu da inşaatçının kalıp sökme süresini uzatacağından, işin yavaşlatılmasına sebep olmaktadır.

➤ Belirli sınırlardan sonra yük alacak, kesimlerde kullanılması pek tercih sebebi değildir. Genelde kütleli yapılarda, temellerde, köprü ayaklarında, kazıklarda, barajlarda ve su temastaki kısımlarda kullanılması önerilmektedir.

➤ Deniz sularına karşı daha az dirençlidirler. Traslı betonları, yıllar içerisinde Portland betonlara göre daha çabuk karbonizasyona uğrarlar. Bunlar da oluşan karbonizasyon derinliği Portlandlar da hasıl olanlardan iki kat daha fazladır.

➤ Portland betonların dökümü +5 °C'de yapılabildiği halde, Puzolanlı betonlar için +8 °C gerekmektedir (Gündeşli, 2008).

1.8. Çalışmanın Amacı

Volkanik kayaçların puzolanik katkı maddesi olarak çimentoya katıldıklarında, çimentoların fiziksel ve kimyasal performansları üzerinde değişiklik yaratacağına kesin gözüyle bakılmaktadır. Puzolanik malzemenin etkin kullanılmasıyla günümüzde fazla miktarda enerji gerektiren çimento malzemesinin tüketiminin azalacağı gibi puzolan maddesinin bir takım avantajlarından ötürü daha sağlıklı ve özellikleri geliştirilmiş yapı elemanlarının kullanılması da söz konusu olacaktır. Bu araştırmanın amacı, Gümüşhane yöresinde bulunan puzolanik malzemelerin çimentolu sistemlerde bir mineral katkı olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi oluşturmaktadır. Bu amaçla Gümüşhane yöresinden temin edilen malzemelerin değişik oranlarda (%10, %20, %30, %40, %50) çimentonun bir kısmı yerine ilave ederek elde edilen çimento hamuru ve harçların, çeşitli fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri tespit edilmiş ve puzolanların performans dayanımına etkisi araştırılmıştır. Bu işlemler uygulanırken çimentolar birbirleri ile ve kontrol numunesi olan PÇ 42,5 ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Optimum puzolan katkısının bulunması durumunda, çimento endüstrisinde ve maliyetlerinde ekonomiklik sağlanması, çimentolarla üretilen betonlarda performans yükselmesi sağlanmış olabilecektir.

2. MATERYAL METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Çalışmada çimento olarak Aşkale Çimento Trabzon Fabrikasında TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen, CEM I 42,5 R kullanılmıştır. Bu çimentolar 2012 yılında ülkemiz iç piyasa çimento tüketiminin yaklaşık %40-45'ini oluşturduğu için tespit edilmiştir. Bu çimentolara ait fiziksel, kimyasal, mekanik özellikler ve ilgili standart sınır değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. CEM I 42,5 R'nin kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal kompozisyon (%)		Fiziksel özellikler	
SiO ₂	20,32	Priz başlangıcı (sa/dk)	01:58
Al ₂ O ₃	5,59	Priz sonu (sa/dk)	02:57
Fe ₂ O ₃	3,09	Hacim sabitliği (mm Toplam)	2
CaO	62,50	Özgül yüzey (cm ² /g)	3172
MgO	1,74	Mekanik özellikler	
SO ₃	3,29	Basınç dayanımı (Mpa)	
Na ₂ O	0,34	2. Gün	30,8
K ₂ O	0,91	7. Gün	39,5
Kızdırma kaybı	1,18	28.Gün	56,0
Çözünmeyen kalıntı	0,31		
S.CaO	0,93		

2.1.2. Rilem Kum

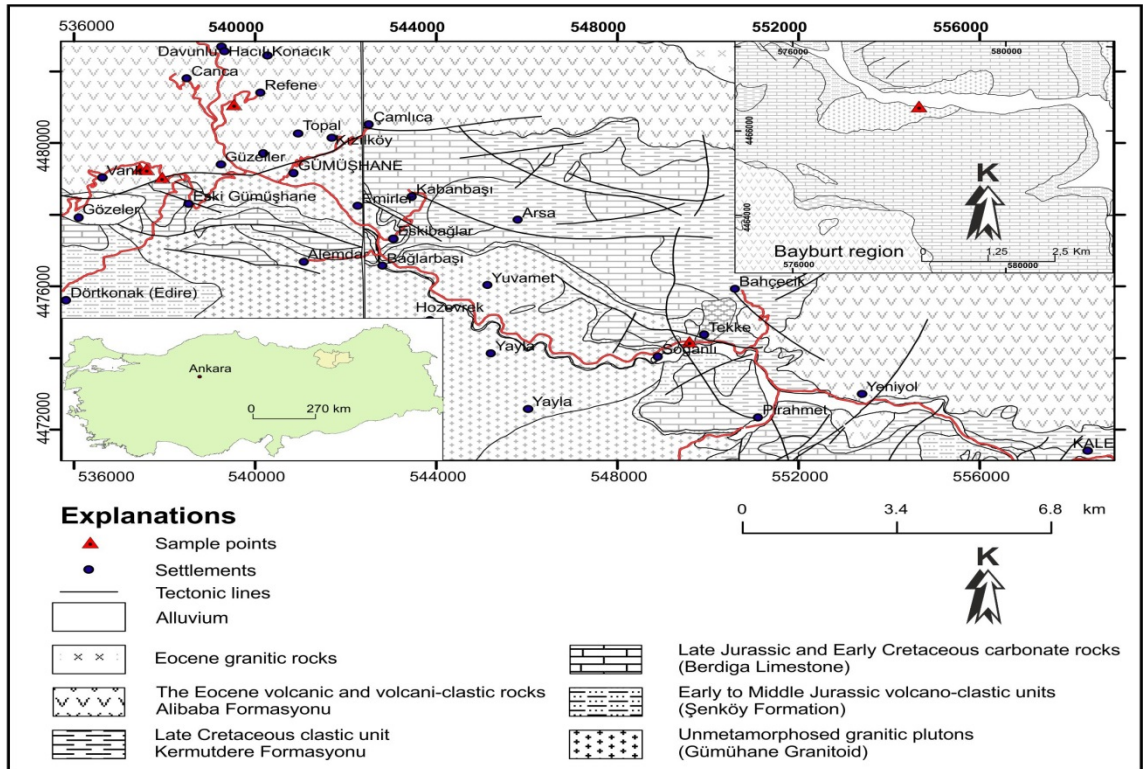
Harç numunelerinin hazırlanmasında, TS EN 196-1'e uygun olarak Set Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin Trakya Fabrikasında üretilen CEN Standart kumu kullanılmıştır. Harç numunelerinin hazırlanmasında Set Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Trakya Çimento Fabrikası tarafından üretilen TS EN 196-1 (2002)'e uygun olan Rilem Cembureau Standart kumu kullanılmıştır.

2.1.3. Kireç

Puzolanların TS 25 “Tras” standardına göre yapılan “Puzolanik Aktivite” deneyinde, puzolanik aktivite ve benzeri deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere özel olarak üretilen, sönmüş kireç kullanılmıştır.

2.1.4. Puzolan

Çimento ve harçların üretilmesinde Gümüşhane yöresinde Aysima bölgesinden (volkanik tüf ve andezit), Süleymaniye bölgesinden (andezit), Tekke Bölgesinden (andezit, dasit), Refene Bölgesinden (volkanik tüf) ve Gümüşhane yöresine komşu olan Bayburt İlinden temin edilen volkanik tüflerden elde edilen puzolanlar çimento inceliği olan 90 mikronluk inceliğinde öğütülerek deneylerde kullanılmıştır. Volkanik kayaçların temin edildiği bölgeler Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Volkanik kayaçların temin edildiği bölgeler (Güven 1993 bazlı jeolojik haritadan yararlanılarak değiştirilmiştir).

2.2. Metot

Çalışmada Gümüşhane yöresinde temin edilen volkanik kayalar kullanılmıştır. Bunlar Aysima Bölgesinden (Volkanik Tüf ve Andezit), Süleymaniye Bölgesinden (Andezit), Tekke Bölgesinden (Andezit, Dasit), Refene Bölgesinden (Volkanik Tüf) ve Gümüşhane yöresine komşu olan Bayburt İlinden temin edilen volkanik tüf dür. TS 25'e göre puzolanik aktivite değerleri tespit edilerek kayaların puzolan olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir. Bu aşamada TS 25'e göre hazırlanan örnekler üzerinde 7 günlük çekme ve basınç değerleri tespit edilmiştir. İlgili standartlarda belirtilen sınır değerlerle karşılaştırma yapılarak kayaların puzolan olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir. Puzolanik aktivitesi tespit edilen kayalar, puzolan olarak kullanılarak %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında çimentoya ikame edilerek TS EN 196-1'e göre 4x4x16 cm boyutlarında harç çubuğu örnekleri hazırlanmıştır

Hazırlanan örnekler 7, 28 ve 90 güne kadar kür edilerek, 7, 28 ve 90 günlük örnekler üzerinde çekme, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerleri belirlenmiştir.

2.2.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Çalışmada kullanılacak kayalar çeneli kırıcı ile kırıldıktan sonra halkalı öğütücü ile 90 mikron boyutuna kadar öğütülmüştür. Deney örnekleri 90 mikronluk elekten elenerek çimento boyutuna getirilmiştir. Puzolanik aktivite deneyinde kullanılacak malzeme miktarları Tablo 2.2'de görülmektedir.

Tablo 2.2. Puzolanik aktivite deneyi için kullanılacak malzeme miktarları

Malzeme	Kullanılacak miktar (g)
Sönmüş kireç, [Ca(OH) ₂]	150
Doğal puzolan	T = 2 x 150 (doğal puzolan yoğunluğu/Sönmüş kireç yoğunluğu)
Standard kum (TS EN 196-1)	1350
Su *	0,5 (150 + T)

Puzolanik aktivitesi belirlenen puzolanlar “ASTM C 230 Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement” deney yöntemine göre su/çimento oranları belirlenmiştir. Bir malzemenin özgül kütlesi, daima birim hacim kütesinden büyük olmakta, ancak hiç boşluksuz bir malzeme ise bu iki kütle birbirine eşit olmaktadır.

Puzolanik aktivitesi belirlenecek örneklerin özgül kütlelerini bulmak amacıyla, deneyde kullanılan hammadde öncelikle öğütülüp 90 µm’luk elekten geçirilmiştir. 90 µm dan geçen malzeme yanmaz bir kaba alınarak 105°C’de etüve konulmuş ve değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan malzeme desikatörde dış ortam neminden uzak bir ortamda soğumaya bırakılmış ve bir saat sonra desikatörden alınan 25 gr’lık malzeme, camdan yapılmış bir kabın içine koyulur (Şekil 2.2). Damıtılmış su ağzına kadar doldurulmuş ve kabın içine hava girmeyecek şekilde cam bir lamel ile üstü kapatılıp hassas terazide tartılmıştır. Cam kabın içinden bir miktar su alınıp içine 25 gr’lık malzeme yavaşça ilave edilip suyun içine tamamı batırılmıştır. Cam kabın ağzı kapatılarak bir gün süre ile beklemeye alınmış ve bir gün sonra içinde hiç bir hava kabarcığı olmadığından emin olunarak, ağzına kadar su doldurulup cam lamel ile kapatılmış ve cam kap hassas terazide tekrar tartılmıştır (Şekil 2.3). Deney 3 kere tekrar edilerek ortalamaları alınmıştır. Şekil 2.4’de karışım ve döküm aşaması gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Etüvden çıkarılan numunelerin desikatörde soğutulması



Şekil 2.3. Cam kap lamel ve numune tartımları



Şekil 2.4. Harcın örneklerin hazırlanması

2.2.2. Puzolanik Aktivite Deneyi

Puzolanik aktivite deneyi, 4x4x16 cm ebadında 6 adet küp harç örnek üzerinde TS 25’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır (TS 25). Kireç-doğal puzolan karışımı ile hazırlanan deney örneklerinin 7 günlük basınç dayanımı Tablo 2.3’de verilen gerekleri sağlamalıdır.

Puzolanik aktivite, “dayanım aktivite indeksi” olarak adlandırılan bir değerin hesaplanmasıyla ifade edilmektedir. Bu değer aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\text{Dayanım aktivite indeksi} = (A/B) \times 100 \quad (2.1)$$

Burada,

A : Puzolanlı harç numunelerinin ortalama basınç dayanımı,

B : Kontrol harç numunelerinin ortalama basınç dayanımıdır.

Dayanım aktivite indeksinin belirli bir değerden daha az olmaması gerekmektedir. Örneğin, doğal puzolanlar için, ASTM standartları, bu değerin en az 75 olması gerektiğini belirtmektedir (ASTM C618, 1994). Türk standartlarına göre ise, bu değer en az 70 olmalıdır (TS 25, 1975).

Tablo 2.3. Doğal puzolanın fiziksel özellikleri ve gerekler

Mekanik Özellik		TS 25
Eğilme dayanımı	(Mpa)	$\geq 1,0$
Basınç dayanımı	(Mpa)	$\geq 4,0$

Puzolanik aktivitesi belirlenen puzolanlarla hazırlanacak harç örneklerde puzolanlar çimento yerine %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında ikameli olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan harç örneklerin su muhtevaları “ASTM C 230 Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement” deney yöntemine göre belirlenmiştir. ASTM C 230 göre belirlenen Su/Çimento oranları Tablo 2.4’de görölmektedir.

Tablo 2.4. Harç örneklerin ASTM C 230’a göre belirlenen s/ç oranları

İkame oranı	Çimento miktarı (gr)	Puzolan miktarı (gr)	Standart kum (gr)	Su (gr)	s/ç			
					Refene tuf	Bayburt tuf	Aysima andezit	Süleymaniye andezit
0%	450	0	1350	216	0.48	0.48	0.48	0.48
10%	405	45	1350	243	0.5	0.54	0.48	0.48
20%	360	90	1350	252	0.52	0.56	0.49	0.5
30%	315	135	1350	261	0.54	0.58	0.5	0.51
40%	270	180	1350	270	0.55	0.6	0.51	0.52
50%	225	225	1350	279	0.56	0.62	0.52	0.52

2.2.3. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı deneyinde, 4x4x16 cm ebadında 6 adet harç örneği üzerinde TS EN 191-1’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır (TS EN 191-1).

Eğilme dayanımının hesaplanmasında;

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{b^3} \quad (2.2)$$

R_f : Eğilme dayanımı, (N/mm²),

B : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu, (mm),

F_f : Prizmanın kırıldığı anda uygulanan kuvvet, (N),

L : Mesnet silindirler arasındaki uzaklık, (mm)

ifade etmektedir (TS EN 191-1).

Harç numunelerde eğilme dayanım deneyi yapılışı Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Eğilme dayanım deneyi

2.2.4. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyinde, eğilme deneyinde kullanılan 4x4x16 cm ebadında prizmaların deney sonrasında elde edilen 12 adet harç örneği üzerinde TS EN 191-1’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır (TS EN 191-1). Harç numunelerde basınç dayanım deneyi yapılışı Şekil 2.6’da gösterilmiştir

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2.3)$$

R_c : Basınç dayanımı, (N/mm²),

F_c : Kırılmadaki en büyük yük (N),

1600 : Numune alanı (mm^2) ifade etmektedir (TS EN 191-1).



Şekil 2.6. Basınç dayanım deneyi

2.2.5. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyi ASTM C 597'e göre gerçekleştirilmiştir. Harç numuneler $0,1 \mu\text{s}$ duyarlıklı ultrases aleti ile t , μs ses geçiş süreleri ölçülmüştür. Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi TS EN 12504-4'e standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Beton niteliğinin doğrudan titreşim hızlarından belirlenmesine yönelik yaklaşım International Atomic Energy Agency Tablo 2.5'de verilmiştir. Ses geçiş sürelerinin ölçülmesinde yüzeydeki pürüzlerin oluşturduğu boşlukları doldurmak üzere kenar yüzeylere jel sürülmüş, 55 kHz'lik ses dalgaları gönderen ve alan iki transduser numunenin yan yüzeylerine yerleştirilmiş, direkt iletim yöntemi uygulanarak ses geçiş süresi (t , μs) okunmuştur. Aşağıdaki bağıntıdan yararlanarak ses geçiş hızı (V , km/saat) hesaplanmıştır.

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (2.4)$$

V : Ses üstü dalga hızı (km/sn),

S : Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

T : Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye) (ASTM C 597, 1994).

Tablo 2.5. Beton kalitesinin/niteliğinin P hızına bağlı sınıflaması (International Atomic Energy Agency, 2002)

Beton Kalitesi Sınıflandırılması	P Dalga Hızı (m/sn)
Mükemmel	>4500
İyi - Çok iyi	3650-4500
Orta	3050-3650
Zayıf	2000-3050
Çok Zayıf	0-2000

Harç numunelere ultrasonik ses geçiş hızı testinin yapılışı Şekil 2.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.7. Ultrasonik ses geçiş hızı deneyi yapılışı

2.2.6. Basınç Dayanımı ve Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Arasındaki İlişki Analizi

Basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği deney sonuçlarına, kür zamanları ve katkı oranları göz önünde bulundurularak nonlineer regresyon analizi yapılmıştır. Elde edilen ultrasonik hızlarına göre harç örneklerin basınç dayanımı tahminleri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\hat{\beta} = \frac{n \times \sum x_i y_i - (\sum x \times \sum y)}{\sum x \times \sum x_i^2 - \sum x^2}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum y - (\hat{\beta} \times \sum x)}{n} \quad (2.5)$$

$$\hat{y}_i = \hat{\alpha} - \hat{\beta} x_i$$

$\sum x$: Birinci değişkenin verilerinin toplamı,

$\sum y$: İkinci değişkenin verilerinin toplamı,

$\sum x_i y_i$: Birinci değişken verileri ile ikinci değişkenin verilerinin çarpılıp toplanması,

$\sum x_i^2$: Birinci değişken verilerinin karelerinin toplamı

n : Değişken sayısı

$\hat{\beta}$: Regresyon değişken katsayısı

$\hat{\alpha}$: Regresyon değişken katsayısı

\hat{y}_i : Tahmin edilmiş regresyon doğrusu

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Puzolanların Fiziksel Özellikleri

Puzolanik aktivitesi incelenecek kayaların yoğunluk değerleri Tablo 3.1’de görülmektedir.

Tablo 3.1. Kayaların yoğunluk değerleri

Bölge	Kayaç türü	Örnek sayısı (adet)	Yoğunluk (gr/dm ³)	Su emme (%)
Aysima	Volkanik Tüf	3	2,90	3,24
Aysima	Andezit	3	2,96	1,67
Süleymaniye	Andezit	3	2,99	1,43
Tekke	Andezit	3	2,95	0,70
Tekke	Dasit	3	3,00	0,37
Refene	Volkanik Tüf	3	2,55	2,75
Bayburt	Volkanik Tüf	3	2,19	6,43

Örneklerin yoğunluk değerlendirmesinde 2,19 gr/cm³’le en düşük yoğunluğa Bayburt bölgesi tüflerinin, 3,31 gr/cm³’le en büyük yoğunluğa Tekke dasitlerinin sahip olduğu görülmüştür. Örneklerin kimyasal kompozisyonu Tablo 3.2’de görülmektedir.

Tablo 3.2. Örneklerin kimyasal kompozisyonu

	Aysima		Süleymaniye	Tekke		Refene	Bayburt
	Volkanik Tüf	Andezit	Andezit	Andezit	Dasit	Volkanik Tüf	Volkanik Tüf
Si (%)	38,59	42,47	31,58	0,25	0,10	31,41	51,97
Ca (%)		2,59	6,64	20,98	23,24		
Mn (%)				1,96	0,83		
Mg (%)			3,39	8,42	9,31		1,57
Al (%)	10,59	6,21	10,92			15,26	21,55
Fe (%)			3,89				
Zn (%)			1,48				
Na (%)	0,62	0,79					1,11
K (%)	3,70						3,78

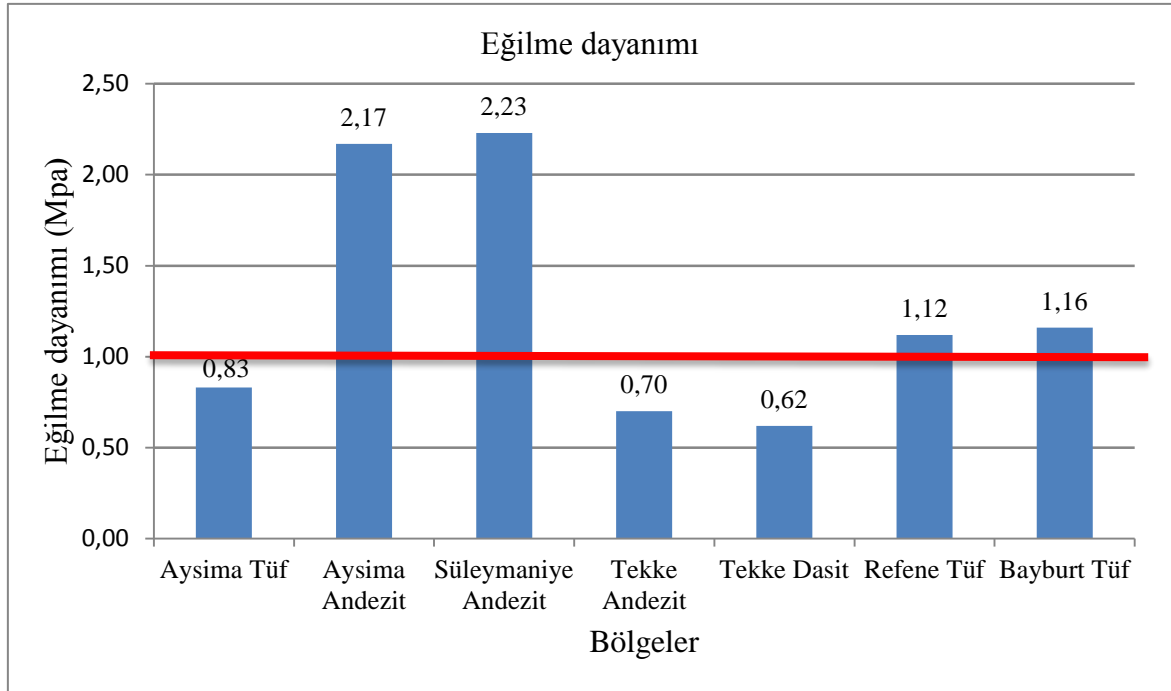
3.2. Puzolanik Aktivite

Puzolanik aktivite deneyi sonuçlarına göre volkanik kayaç temin edilen tüm bölgelerin 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirilmesi Tablo 3.3'de görülmektedir.

Tablo 3.3. 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesine göre puzolanik aktivite değerleri

Bölge	Kayaç türü	Örnek sayısı	Sınır değer (Mpa)	Ort. eğilme dayanımı (Mpa)	Dayanım aktivite indeksi %
Aysima	Tüf	3	1	0,83	19,48
Aysima	Andezit	3	1	2,17	50,94
Süleymaniye	Andezit	3	1	2,23	52,35
Tekke	Andezit	3	1	0,70	16,43
Tekke	Dasit	3	1	0,62	14,55
Refene	Tüf	3	1	1,12	26,29
Bayburt	Tüf	3	1	1,16	27,23

7 günlük örneklerde eğilme dayanımı değerlendirmesine göre, Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tüfü sınır değer olan 1 Mpa'yı geçtiği Şekil 3.1'de görülmektedir.



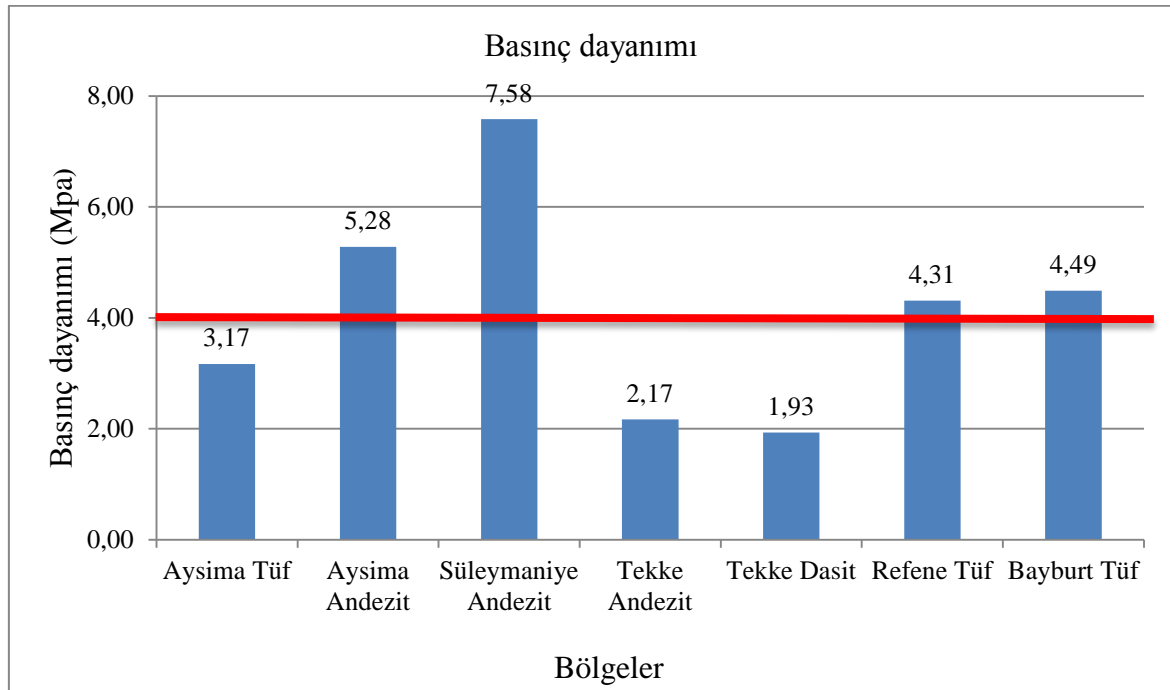
Şekil 3.1. Puzolanik aktivite deneyi 7 günlük eğilme dayanımı değerleri

Ayrıca, tüm bölgelerin 7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesi Tablo 3.4'de görülmektedir.

Tablo 3.4. 7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesine göre puzolanik aktivite değerleri

Bölge	Kayaç türü	Örnek sayısı	Sınır değer (Mpa)	Ort. basınç dayanımı (Mpa)	Dayanım aktivite indeksi %
Aysima	Tüf	6	4	3,17	11,43
Aysima	Andezit	6	4	5,28	19,03
Süleymaniye	Andezit	6	4	7,58	27,33
Tekke	Andezit	6	4	2,17	7,82
Tekke	Dasit	6	4	1,93	6,96
Refene	Tüf	6	4	4,31	15,54
Bayburt	Tüf	6	4	4,49	16,19

7 günlük örneklerde basınç dayanımı değerlendirmesine göre, Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tüfü sınır değer olan 4 Mpa'yı geçtiği Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Puzolanik aktivite deneyi 7 günlük basınç dayanımı değerleri

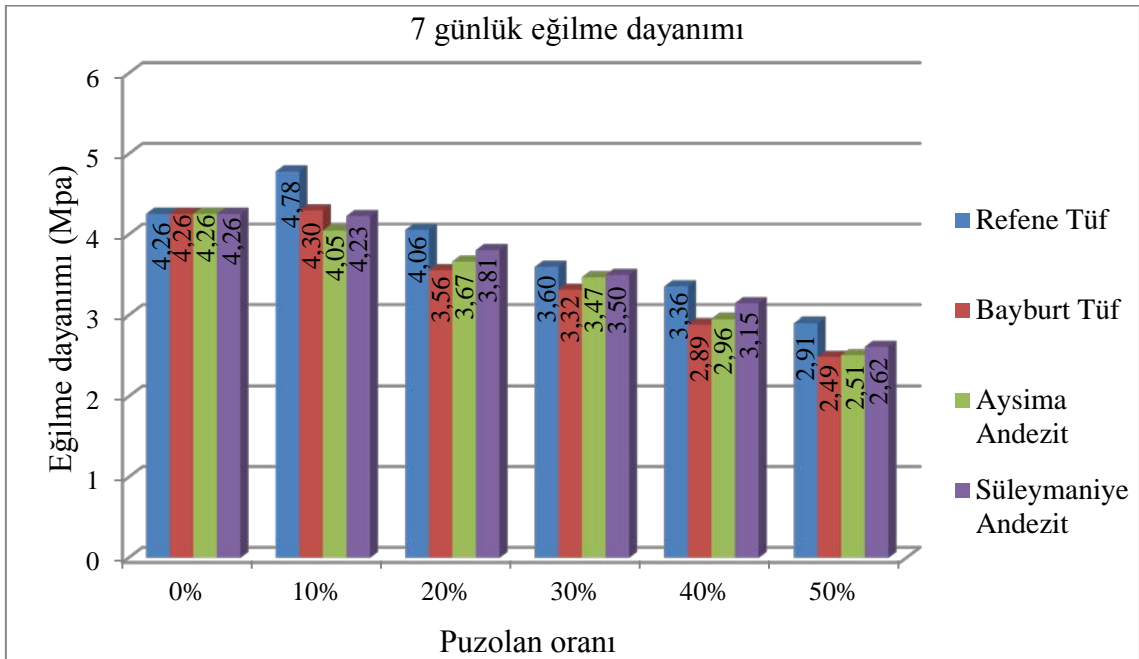
7 günlük basınç ve eğilme dayanımı değerlendirmesine göre;

- Aysima bölgesi andezitlerinin 2,17 Mpa eğilme ve 5,28 Mpa basınç dayanımı sahip olduğu,
- Süleymaniye bölgesi andezitlerinin 2,23 Mpa eğilme ve 7,58 Mpa basınç dayanımına sahip olduğu,
- Refene bölgesi volkanik tüflerinin 1,12 Mpa eğilme ve 4,31 Mpa basınç dayanımına sahip olduğu,
- Bayburt tufünün 1,16 Mpa eğilme ve 4,49 Mpa basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, puzolanik aktivite gösteren Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tufü ve Bayburt tufünün puzolan olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

3.2. Eğilme Dayanımı

Puzolanik aktivitesi belirlenen bölgelerden elde edilen puzolanlarla hazırlanan harç örneklerin 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesi Şekil 3.3'de görülmektedir.



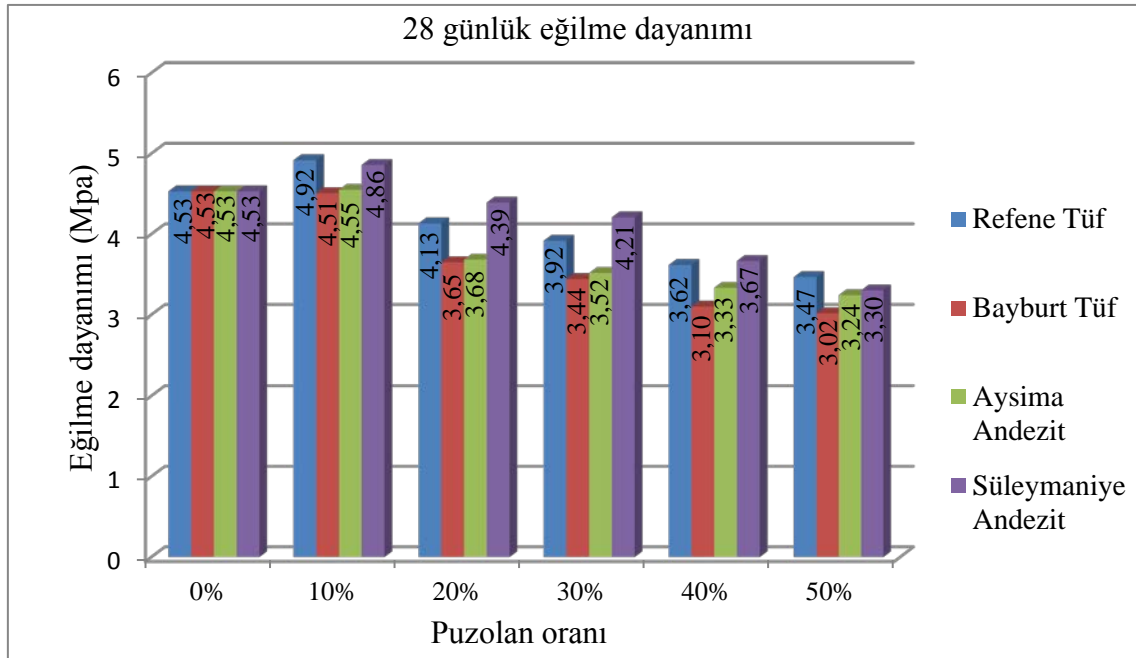
Şekil 3.3. Harç örneklerin 7 günlük eğilme dayanımı değerleri

Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tüfünün harç örneklerde %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 kullanımı ile 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımına göre yapılan değerlendirmede;

7 günlük eğilme dayanımına göre;

- Refene bölgesi tüflerinin %10 kullanımı ile eğilme dayanımını 4,78 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,
- Bayburt tüfünün %50 kullanımı ile eğilme dayanımı 2,49 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,
- Bütün bölgelerden temin edilen puzolanların en yüksek dayanımı %10 da sahip olduğu görülmüştür.

Puzolanik aktivitesi belirlenen bölgelerden elde edilen puzolanlarla hazırlanan harç örneklerin 28 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesi Şekil 3.4'de görülmektedir.

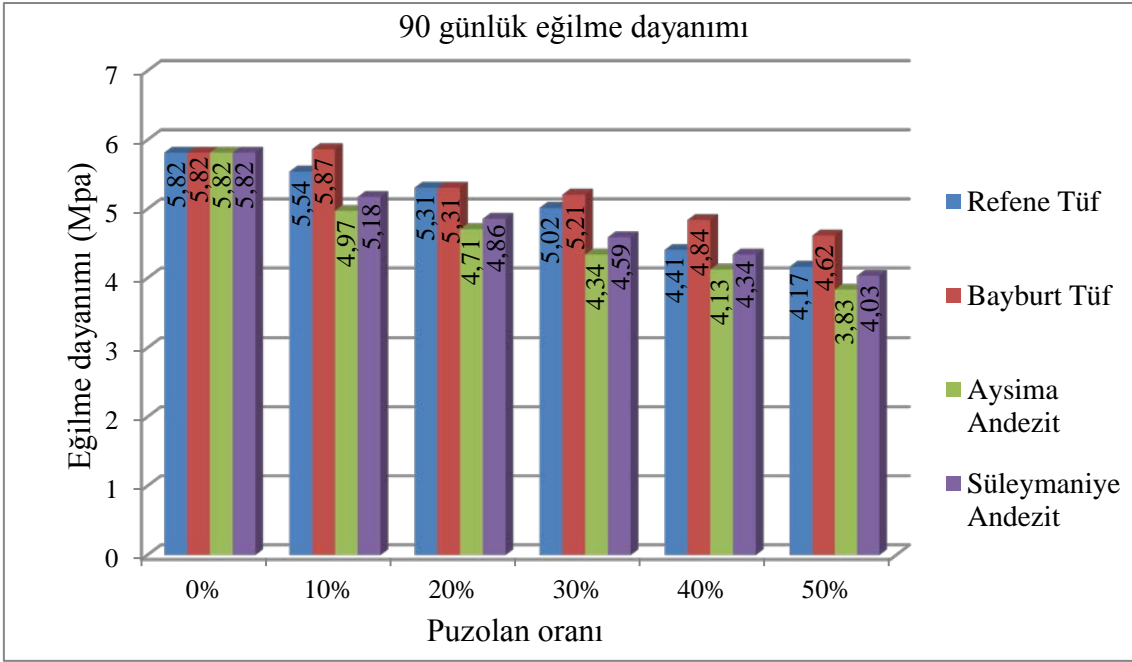


Şekil 3.4. Harç örneklerin 28 günlük eğilme dayanımı değerleri

28 günlük basınç dayanımına göre;

- Referans örneklerin 28 günlük basınç dayanımı 44,81 Mpa olduğu,
- Süleymaniye bölgesi andezitlerinin %10 kullanımı ile basınç dayanımını 47,14 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,
- Refene tufününün %50 kullanımı ile basınç dayanımı 20,86 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,
- Bütün bölgelerden temin edilen puzolanların en yüksek 28 günlük basınç dayanımı %10 ikameli örneklerin sahip olduğu,
- Puzolanların %50 oranında kullanımı ile basınç dayanımında yaklaşık %55 oranında dayanım kaybı görülmüştür.

Ayrıca Puzolanik aktivitesi belirlenen bölgelerden elde edilen puzolanlarla hazırlanan harç örneklerin 90 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesi Şekil 3.5'de görülmektedir.



Şekil 3.5. Harç örneklerin 90 günlük eğilme dayanımı değerleri

90 günlük eğilme dayanımına göre;

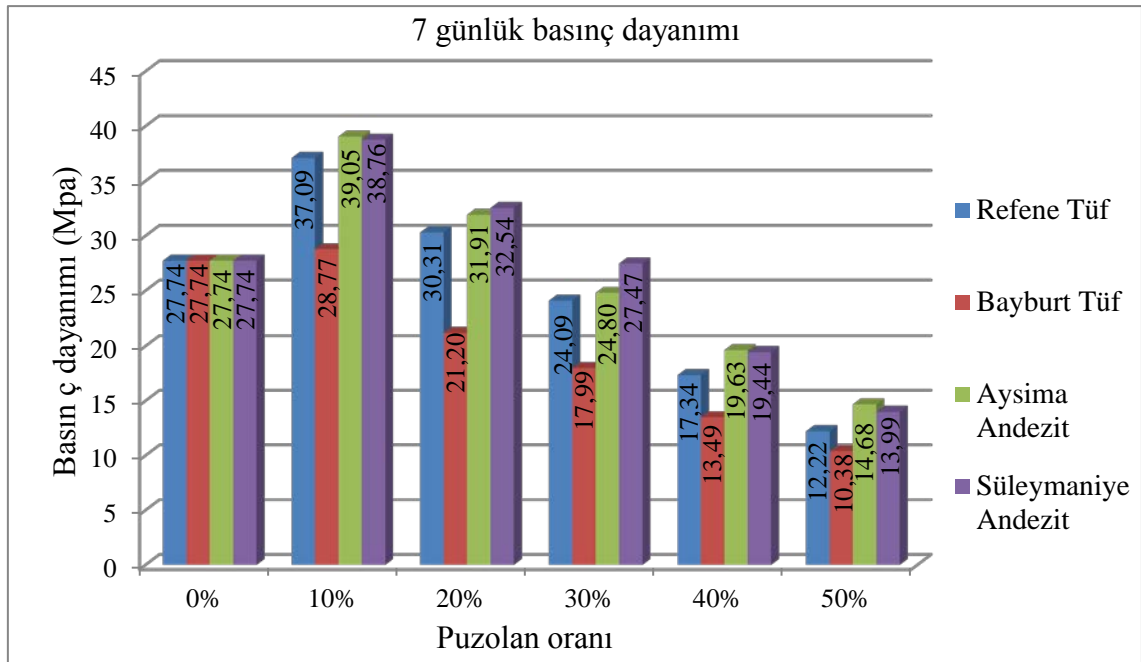
- Bayburt bölgesi tüflerinin %10 kullanımı ile eğilme dayanımı 5,87 Mpa değeri ile en yüksek değere sahip olduğu,
- Aysima andezit %50 kullanımı ile eğilme dayanımı 3,83 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,
- Bayburt tüfünün bütün karışımlarda en yüksek değerlere sahip olduğu,
- Bütün bölgelerden temin edilen puzolanların en yüksek dayanımı %10 da sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, puzolanik aktivite gösteren Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tüfünün harç örneklerde puzolan olarak kullanımı en uygun değer olarak %10 belirlenmiştir.

3.3. Basınç Dayanımı

Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tufününün harç örneklerde %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 kullanımı ile 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımına göre yapılan değerlendirmede;

Puzolanik aktivitesi belirlenen bölgelerden elde edilen puzolanlarla hazırlanan harç örneklerin 7 günlük basınç dayanımı değerlendirilmesi Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Harç örneklerin 7 günlük basınç dayanımı değerleri

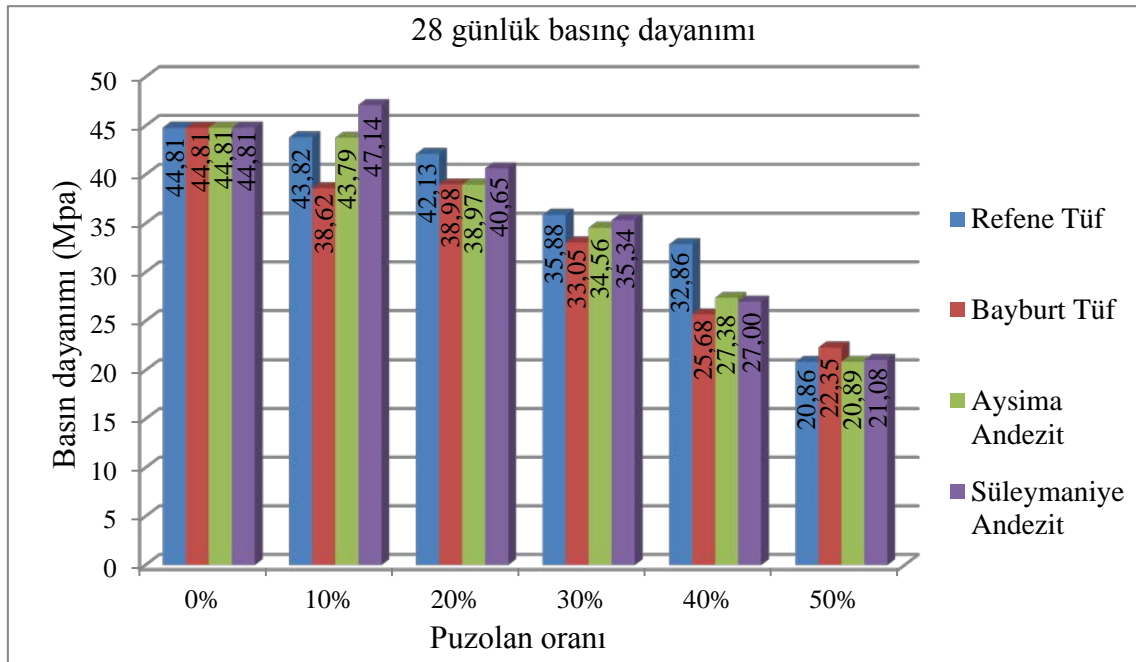
7 günlük basınç dayanımına göre;

- Referans örneklerin 7 günlük basınç dayanımı 27,74 Mpa olduğu,
- Aysima bölgesi andezitlerinin %10 kullanımı ile basınç dayanımını 39,05 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,
- Bayburt tufününün %50 kullanımı ile basınç dayanımı 10,38 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,

➤ Bütün bölgelerden temin edilen puzolanların en yüksek 7 günlük basınç dayanımı %10 ikameli örneklerin sahip olduğu,

➤ Puzolanların %50 oranında kullanımı ile basınç dayanımında yaklaşık %60 oranında dayanım kaybı görülmüştür.

Puzolanik aktivitesi belirlenen bölgelerden elde edilen puzolanlarla hazırlanan harç örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesi Şekil 3.7’de görülmektedir.



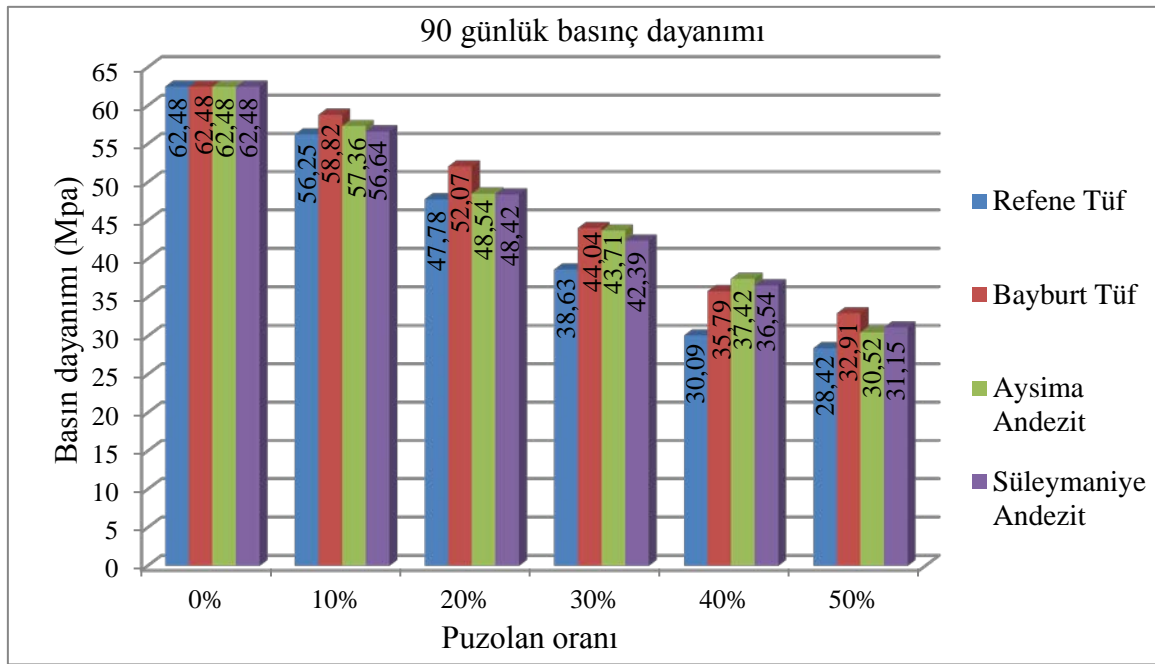
Şekil 3.7. Harç örneklerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri

28 günlük basınç dayanımına göre;

- Referans örneklerin 28 günlük basınç dayanımı 44,81 Mpa olduğu,
- Süleymaniye bölgesi andezitlerinin %10 kullanımı ile basınç dayanımını 47,14 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,

- Refene tufünün %50 kullanımı ile basınç dayanımı 20,86 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,
- Bütün bölgelerden temin edilen puzolanların en yüksek 28 günlük basınç dayanımı %10 ikameli örneklerin sahip olduğu görülmüştür.
- Puzolanların %50 oranında kullanımı ile basınç dayanımında yaklaşık %55 oranında dayanım kaybı görülmüştür.

Ayrıca Puzolanik aktivitesi belirlenen bölgelerden elde edilen puzolanlarla hazırlanan harç örneklerin 90 günlük basınç dayanımı değerlendirmesi Şekil 3.8'de görülmektedir.



Şekil 3.8. Harç örneklerin 90 günlük basınç dayanımı değerleri

90 günlük basınç dayanımına göre;

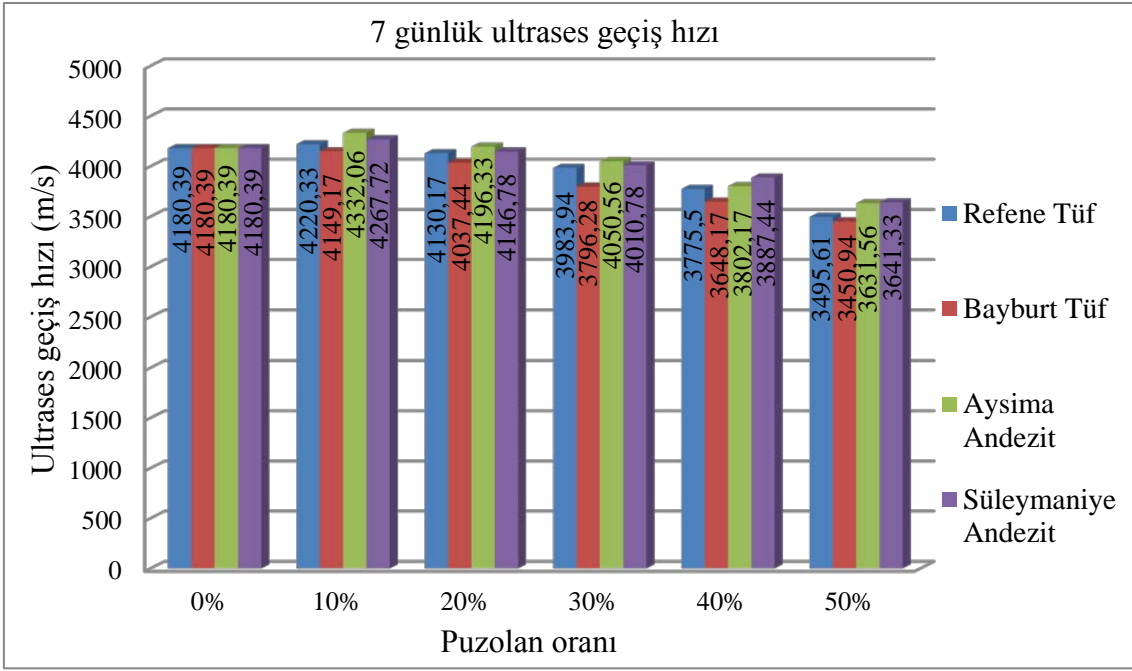
- Referans örneklerin 90 günlük basınç dayanımı 62.48 Mpa olduğu,

- Bayburt bölgesi tufünün %10 kullanımı ile basınç dayanımını 58.82 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,
- Refene bölgesi tufünün %50 kullanımı ile basınç dayanımı 28.42 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,
- Bütün bölgelerden temin edilen puzolanların en yüksek 90 günlük basınç dayanımı %0 ikameli örneklerin sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tufü ve Bayburt tufünün harç örneklerde puzolan olarak kullanımı en uygun değer olarak %10 belirlenmiştir.

3.4. Ultrases Geçiş Hızı

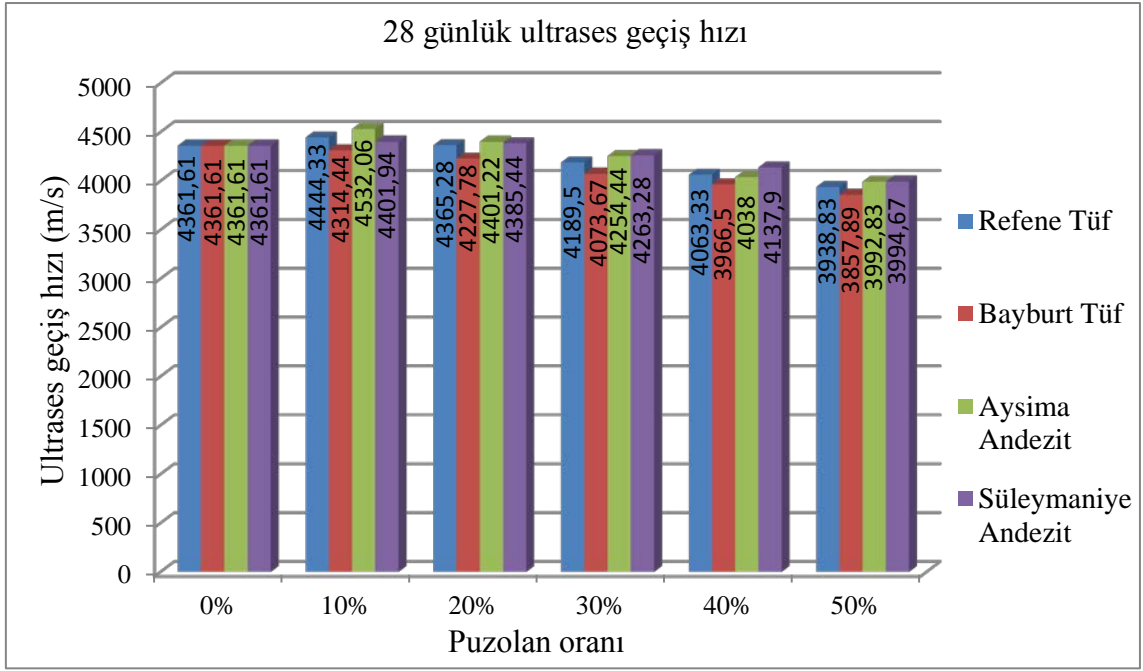
Yapılan ultrasonik test ölçümleri sonucu her seri beton için ultrases geçiş hızlarına bağlı tahmin edilen basınç dayanımı Şekil 3.9 – 3.10 – 3.11’de verilmiştir. Ses üstü dalga ne kadar az boşluğa rastlarsa o kadar kısa sürede ilerleyeceğinden, Şekil 3.9’da anlaşıldığı gibi 7 günlük aysima andezit katkılı serilerin dalga geçiş hızı diğerlerine göre yüksek çıkmıştır. %10 puzolan katkılı ultrases geçiş hızı değerleri referans beton değerlerinden büyük çıkmıştır. Puzolan katkı oranı artıkça ultrases geçiş hız değerlerinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 3.9. 7 günlük ultrases geçiş hız değerleri

7 günlük ultrases geçiş hızına göre;

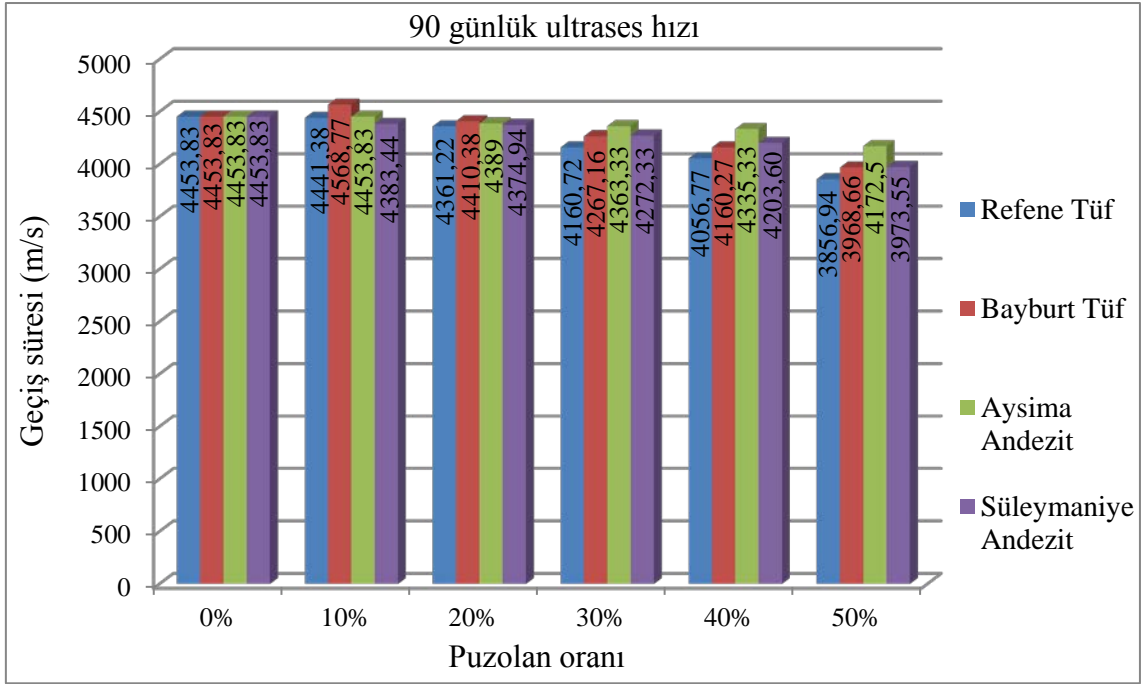
- Referans örneklerin 7 günlük ultrases geçiş hızı 4180 m/s olduğu,
- Aysima bölgesi andezitlerinin %10 kullanımı ile ultrases geçiş hızı 4332,06 m/s ile en yüksek değere sahip olduğu,
- Bayburt tufünün %50 kullanımı ile ultrases geçiş hızı 3450,94 m/s ile en düşük değere sahip olduğu,
- Bütün bölgelerden temin edilen puzolanların en yüksek 7 günlük ultrases geçiş hızı %10 ikameli örneklerin sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 3.10. 28 günlük ultrasnes geçiş hız değerleri

28 günlük ultrasnes geçiş hızına göre;

- Referans örneklerin 28 günlük ultrasnes geçiş hızı 4361,61 m/s olduğu,
- Aysima bölgesi andezitlerinin %10 kullanımı ile ultrasnes geçiş hızı 4532,06 m/s ile en yüksek değere sahip olduğu,
- Bayburt tufünün %50 kullanımı ile ultrasnes geçiş hızı 3857,89 m/s ile en düşük değere sahip olduğu,
- 28 günlük refene tufünde ve Süleymaniye andezitin %10 değerleri referans betondan fazla çıkmış. Bayburt tufü ve Aysima andezitin %10 katkılı betonlarının değerleri referans betonun ultrasnes geçiş hızı değerlerinden küçük çıkmıştır.



Şekil 3.11. 90 günlük ultrases geçiş hız değerleri

90 günlük ultrases geçiş hızına göre;

- Referans örneklerin 90 günlük ultrases geçiş hızı 4453,83 m/s olduğu,
- Aysima bölgesi andezitlerinin %10 kullanımı ile ultrases geçiş hızı 4453,83 m/s ile referans değerine eşit değere sahip olduğu,
- Bayburt tufünün %10 kullanımı ile ultrases geçiş hızı 4568,77 m/s ile en yüksek değere sahip olduğu,
- Süleymaniye andezit %50 kullanımı ile ultrases geçiş hızı 3856,94 m/s ile en düşük değere sahip olduğu,
- Bütün bölgelerden temin edilen puzolanların en yüksek 90 günlük ultrases geçiş hızı %20 ikameli örneklerin sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; 7, 28 ve 90 günlük ultrases geçiş hızı değerlendirmesinde, Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tufünün harç örneklerde puzolan olarak kullanımı en uygun değer olarak %10 belirlenmiştir. Ultrases geçiş hızı değeri en yüksek Aysima andeziti çıkmıştır.

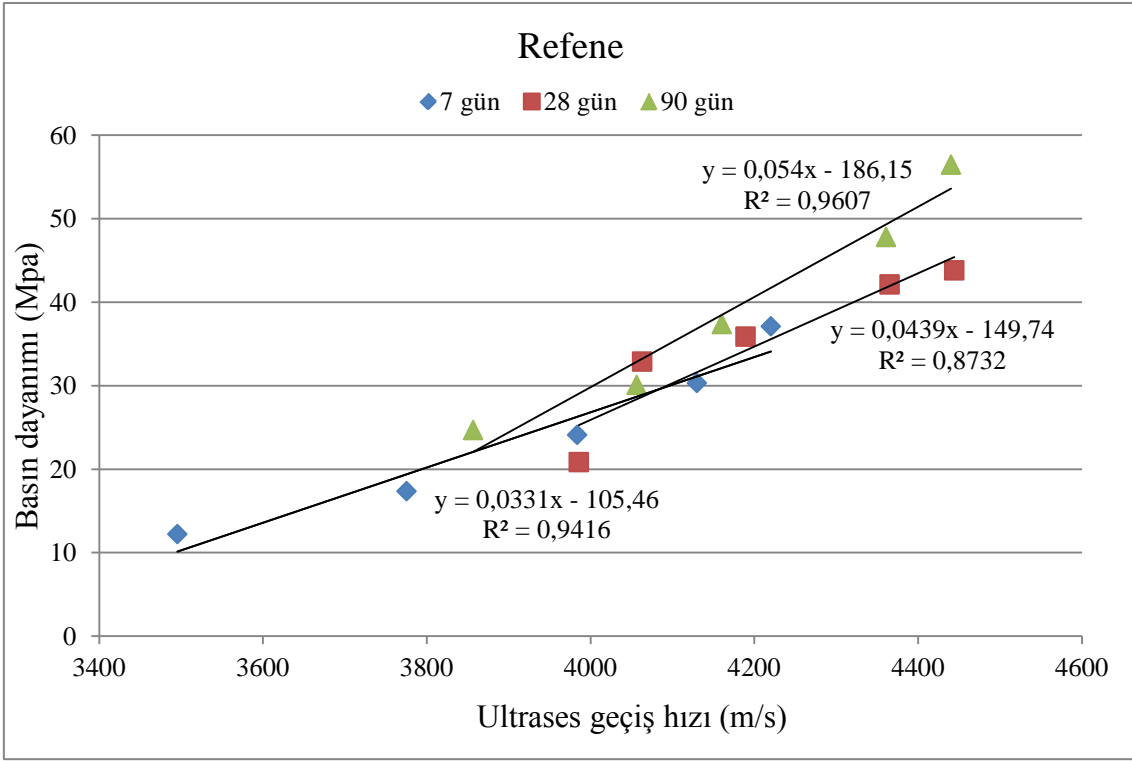
3.5. Basınç Dayanımı ve Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi

7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi Tablo 3.5’de verilmiştir.

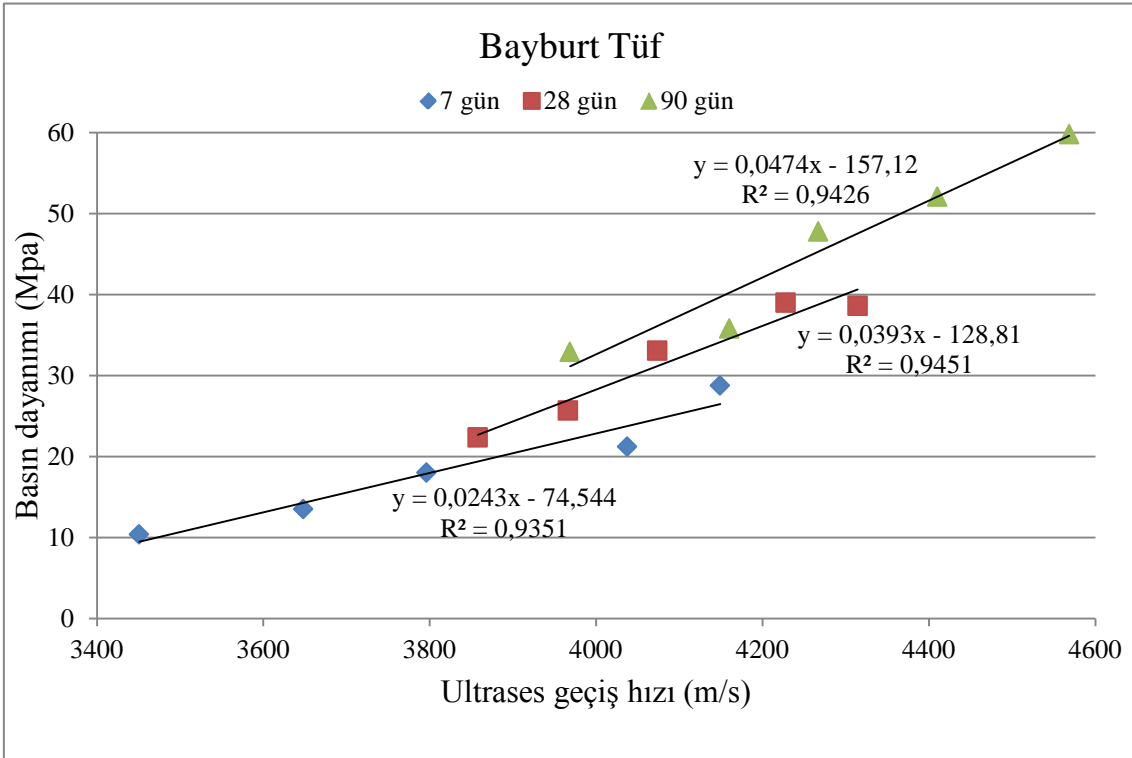
Tablo 3.5. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ilişkisi

	7 günlük									
	10%		20%		30%		40%		50%	
	m/s	Mpa	m/s	Mpa	m/s	Mpa	m/s	Mpa	m/s	Mpa
Refene Tüf	4220,33	37,09	4130,17	30,31	3983,94	24,09	3775,50	17,34	3495,61	12,22
Bayburt Tüf	4149,17	28,77	4037,44	21,20	3796,28	17,99	3648,17	13,49	3450,94	10,38
Aysima Andezit	4332,06	39,05	4196,33	31,91	4050,56	24,80	3802,17	19,63	3631,56	14,68
Süleymaniye Andezit	4267,72	38,76	4146,78	32,54	4010,78	27,47	3887,44	19,44	3641,33	13,99
	28 günlük									
	10%		20%		30%		40%		50%	
	m/s	Mpa	m/s	Mpa	m/s	Mpa	m/s	Mpa	m/s	Mpa
Refene Tüf	4444,33	43,82	4365,28	42,13	4189,50	35,88	4063,33	32,86	3938,83	20,86
Bayburt Tüf	4314,44	38,62	4227,78	38,98	4073,67	33,05	3966,50	25,68	3857,89	22,35
Aysima Andezit	4532,06	43,79	4401,22	38,97	4254,44	34,56	4038,00	27,38	3882,83	20,89
Süleymaniye Andezit	4401,94	47,14	4385,44	40,65	4263,28	35,34	4137,90	27,00	3994,67	21,08
	90 günlük									
	10%		20%		30%		40%		50%	
	m/s	Mpa	m/s	Mpa	m/s	Mpa	m/s	Mpa	m/s	Mpa
Refene Tüf	4441,38	56,25	4361,22	47,78	4160,72	38,63	4056,77	30,09	3856,94	28,42
Bayburt Tüf	4568,77	58,82	4410,38	52,07	4267,16	44,04	4160,27	35,79	3968,66	32,91
Aysima Andezit	4453,83	57,36	4389,00	48,54	4363,33	43,71	4335,33	37,42	4172,50	30,52
Süleymaniye Andezit	4383,44	56,64	4374,94	48,42	4272,33	42,39	4203,60	36,54	3973,55	31,15

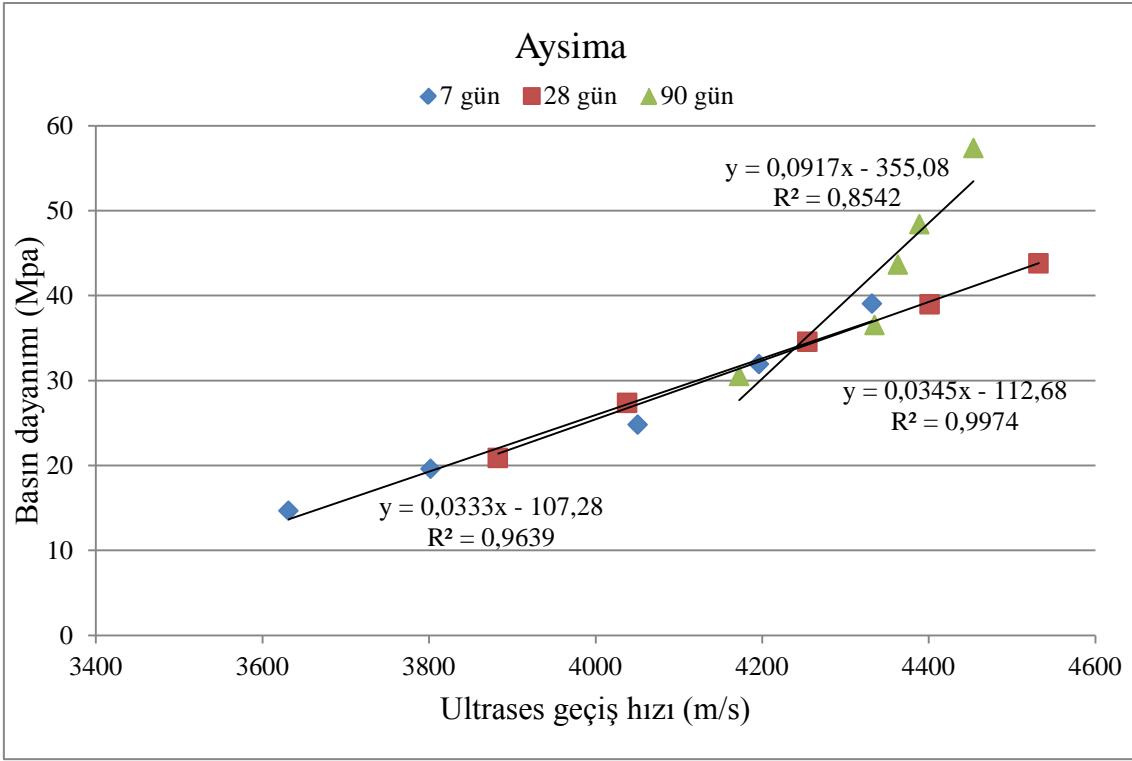
Basınç dayanımı ve ultrases hızı ilişkisi regresyon katsayıları Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15 gösterilmiştir.



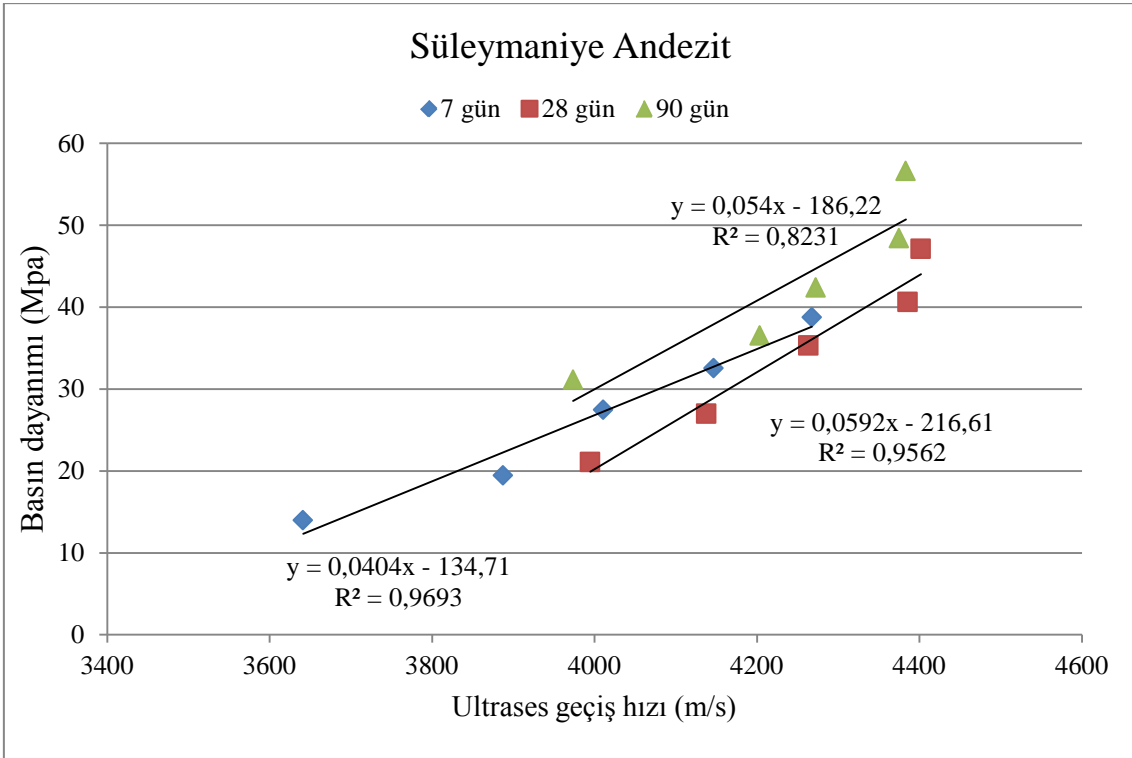
Şekil 3.12. Refene tufünün basınç dayanımı ve ultras ses geçiş hızı ilişkisi grafiği



Şekil 3.13. Bayburt tufünün basınç dayanımı ve ultras ses geçiş hızı ilişkisi grafiği



Şekil 3.14. Aysima tufunun basınç dayanımı ve ultras ses geçiş hızı ilişkisi grafiği



Şekil 3.15. Süleymaniye andezit basınç dayanımı ve ultras ses geçiş hızı ilişkisi grafiği

Tüm bölgelere ait harç örneklerinin regresyon denklemi regresyon katsayı değerleri Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Harç örneklerin basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı regresyon ilişkisi

	7 gün		28 gün		90 gün	
	Reg. Denklemi (y)	R ²	Reg. Denklemi (y)	R ²	Reg. Denklemi (y)	R ²
Refene tuf	0.0331x - 105,46	0,9416	0,0439x - 149,74	0,8732	0,054x - 186,15	0.9607
Bayburt tuf	0.0243x - 74,54	0,9351	0,0393x - 128,81	0,9451	0,0474x - 157,12	0.9426
Aysima Andezit	0.0333x - 107,28	0,9639	0,0345x - 112,68	0,9974	0,0917x - 355,08	0,8542
Süleymaniye Andezit	0,0404x - 134,71	0,9693	0,0592x - 216,61	0,9562	0,0515x - 175,56	0.9045

Basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızları arasındaki regresyon değerlendirmesinde;

- En yüksek R² değeri 0,9974 değeri ile Süleymaniye andezitinin 28 günlükleri,
- En düşük R² değeri 0,8732 değeri ile Refene tufünün 28 günlükleri,
- Ultrasonik ses geçirgenliği hızı grafiği incelendiğinde ise sonuçların, basınç dayanımları ile uyumluluk gösterdiği görülmektedir.

Ultrasonik test yöntemiyle herhangi bir betonun basınç dayanımı yeterince hassas olarak bulabilmek zor olmakla birlikte, herhangi bir beton içerisinden geçen ses üstü dalganın hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı ile yakından ilgili olduğu için, elde edilen ses üstü hız ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurulabilmek mümkündür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Volkanik kayaların puzolanik katkı maddesi olarak çimentoya katıldıklarında, çimentoların fiziksel ve kimyasal performansları üzerinde değişiklik yaratacağına kesin gözüyle bakılmaktadır. Puzolanik malzemenin etkin kullanılmasıyla günümüzde fazla miktarda enerji gerektiren çimento malzemesinin tüketiminin azalacağı gibi puzolan maddesinin bir takım avantajlarından ötürü daha sağlıklı ve özellikleri geliştirilmiş yapı elemanlarının kullanılması da söz konusu olacaktır. Bu araştırmanın uygulamaya geçirilmesi durumunda yöresel imkanlar ile elde edilebilen, ekonomik, mekanik mukavemeti yüksek yapı elemanlarının üretimi mümkün olacaktır. Konu ile ilgili yapılan deneyler olumlu sonuçlar vermiştir. Böylece yerel volkanik hammadde ile hiçbir enerji kullanımına gerek duymadan puzolanın doğrudan çimento inceliğinde öğütülüp kullanılmasıyla bağlayıcılık özelliği yüksek bir yapı malzemesi üretilebilecektir. Optimum puzolan katkısının bulunması durumunda, çimento endüstrisinde ve maliyetlerinde ekonomiklik sağlanması, çimentolarla üretilen betonlarda performans yükselmesi sağlanmış olabilecektir. Gümüşhane bölgesi volkanik kayalarının puzolanik aktivite incelemek amacıyla Aysima bölgesinden (volkanik tüf ve andezit), Süleymaniye bölgesinden (andezit), Tekke bölgesinden (andezit, dasit), Refene bölgesinden (volkanik tüf) ve Gümüşhane yöresine komşu olan Bayburt İlinden temin edilen volkanik tüflerinin puzolanik özellikleri incelenmiştir.

Yapılan puzolanik aktivite değerlendirmesinde,

➤ Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tüfünün ile hazırlanan harçların 7 günlük eğilme dayanımı sırasıyla 2,17 Mpa, 2,23 Mpa, 1,12 Mpa ve 1,16 Mpa ile TS 25'de belirtilen 1 Mpa'lık eğilme dayanımı değerini sağladığı,

➤ Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tüfünün ile hazırlanan harçların 7 günlük basınç dayanımı sırasıyla 5,28 Mpa, 7,58 Mpa, 4,31 Mpa ve 4,49 Mpa ile TS 25'de belirtilen 4 Mpa'lık basınç dayanımı değerini sağladığı,

➤ TS 25'e göre Puzolanik aktivite değerlendirmesinde 1 Mpa'lık eğilme dayanımı ve 4 Mpa'lık basınç dayanımı sağlayan Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tufünün puzolanik aktivitesi olduğu belirlenmiştir.

Puzolanik aktivitesi belirlenen puzolanların çimento yerine %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame edilerek hazırlanan harç çubukların 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımına göre yapılan değerlendirmede;

➤ 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesinde Bayburt tufünün çimento yerine %50 kullanımı ile eğilme dayanımı 2,49 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,

➤ 7 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesinde Refene tufünün çimento yerine %10 kullanımı ile eğilme dayanımı 4,78 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,

➤ 28 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesinde Bayburt tufünün çimento yerine %50 kullanımı ile eğilme dayanımı 3,02 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,

➤ 28 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesinde Refene tufünün çimento yerine %10 kullanımı ile eğilme dayanımı 4,92 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,

➤ 90 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesinde Aysima andezit çimento yerine %50 kullanımı ile eğilme dayanımı 3,83 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,

➤ 90 günlük eğilme dayanımı değerlendirmesinde Bayburt tufünün çimento yerine %10 kullanımı ile eğilme dayanımı 5,87 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,

➤ Puzolan ikame miktarı artışına bağlı olarak eğilme dayanımı değerlerinin azaldığı, kür süresine artıkça eğilme dayanımının arttığı,

➤ Puzolanik aktivite gösteren Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tüfü ve Bayburt tufünün harç örneklerde puzolan olarak kullanımı en uygun değer olarak %10 belirlenmiştir.

Puzolanik aktivitesi belirlenen puzolanların çimento yerine %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame edilerek hazırlanan harç çubukların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımına göre yapılan değerlendirmede,

➤ 7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde Bayburt tufünün çimento yerine %50 kullanımı ile eğilme dayanımı 10,38 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,

➤ 7 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde Aysima andezit çimento yerine %10 kullanımı ile eğilme dayanımı 39,05 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,

➤ 28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde Refene tufünün çimento yerine %50 kullanımı ile eğilme dayanımı 20,86 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,

➤ 28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde Süleymaniye andezit çimento yerine %10 kullanımı ile eğilme dayanımı 47,14 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,

➤ 90 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde Refene tufü çimento yerine %50 kullanımı ile eğilme dayanımı 27,42 Mpa ile en düşük değere sahip olduğu,

➤ 90 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde Bayburt tufünün çimento yerine %10 kullanımı ile eğilme dayanımı 58,82 Mpa ile en yüksek değere sahip olduğu,

➤ Puzolan ikame miktarı artışına bağlı olarak basınç dayanımı değerlerinin azaldığı, kür süresine artıka basınç dayanımının arttığı,

➤ Puzolanik aktivite gösteren Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tufü ve Bayburt tufünün harç örneklerde puzolan olarak kullanımı en uygun değer olarak %10 belirlenmiştir.

Puzolanik aktivitesi belirlenen puzolanların çimento yerine %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame edilerek hazırlanan harç çubukların 7, 28 ve 90 günlük ultrases geçiş hızına göre yapılan değerlendirmede,

➤ 7 günlük ultrases geçiş hızı değerlendirmesinde Bayburt tufünün çimento yerine %50 kullanımı ile geçiş hızı 3450,94 m/sn ile en düşük değere sahip olduğu,

➤ 7 günlük ultrases geçiş hızı değerlendirmesinde Aysima andezit çimento yerine %10 kullanımı ile geçiş hızı 4332,06 m/sn ile en yüksek değere sahip olduğu,

➤ 28 günlük ultrases geçiş hızı değerlendirmesinde Refene tufünün çimento yerine %50 kullanımı ile geçiş hızı 3882,83 m/sn ile en düşük değere sahip olduğu,

- 28 günlük ultrases geçiş hızı değerlendirmesinde Aysima andezit çimento yerine %10 kullanımı ile geçiş hızı 4532,06m/sn ile en yüksek değere sahip olduğu,
- 90 günlük ultrases geçiş hızı değerlendirmesinde Refene tufünün çimento yerine %50 kullanımı ile geçiş hızı 3856,94 m/sn ile en düşük değere sahip olduğu,
- 90 günlük ultrases geçiş hızı değerlendirmesinde Bayburt tufünün çimento yerine %10 kullanımı ile geçiş hızı 4568,8 m/sn ile en yüksek değere sahip olduğu,
- Puzolan ikame miktarı artışına bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı, kür süresi arttıkça ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığı,
- Puzolanik aktivite gösteren Aysima andezitleri, Süleymaniye andezitleri, Refene volkanik tufü ve Bayburt tufünün harç örneklerde puzolan olarak kullanımı en uygun değer olarak %10 belirlenmiştir.

Sonuç olarak, Gümüşhane yöresinde bulunan volkanik kayaların puzolan olarak kullanılabilirliği üzerine yapılan değerlendirmede puzolanların %10 olarak kullanımının en uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Puzolan katkılarını %20 ve %30 değerine kadar kullanılabiliriz; bu kullanım oranlarını, kullanacağımız yerleri dikkate almalıyız. Bu oranlarda gerekirse kimyasal katkıları kullanmalıyız. Volkanik kayaların değerlendirilmesi adına yapı malzemesi üretiminde kullanılabilirliği üzerine çalışmalar geliştirilebilir. Gümüşhane çevresinden temin edilen puzolan maddesinin, çimento ile karıştırılarak traşlı çimentonun oluşumu ve mikro yapı araştırması veya çimento harç ve sıvalarına puzolan ilavesi ile oluşacak yeni karışımın özelliklerinin belirlenmesine ait araştırmalar yapılabilir. Kaliteli çimento ile bilinçli olarak yapılan yapılar, daha sağlam ve daha uzun ömürlü olacağından israfın da önüne geçilmiş olunur. Çimentonun daha ucuz elde edilebilmesi yurt ekonomisine büyük katkı sağladığı gibi yatırım sektörünün teşvik edilmesinde de büyük rol oynamaktadır. Bu katkı maddelerinin başında da puzolanik maddeler gelir. Türk Standartları'nda belirtilen normlara uymak şartıyla üretilen ve bilinçli olarak yerli yerinde kullanılan puzolanlar ile elde edilen çimento ile yapılan betonlar hem daha ucuz hem daha sağlam olacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Akgül, E., 2006, Datça Bölgesindeki Volkanik Tüflerin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akman, M.S., 1990, Yapı Malzemeleri”, T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Sayı 1408.
- Alp, I., Deveci H., Yılmaz A.O., Kesimal A., Yılmaz E., 2004, Taşhane (Terme) Andezitik Tüflerinin Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- ASTM C 125, 2004, Standart Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 597, 1994, Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM C 618, 2004, Standard Specification for Cool Fly Ash and Raw or Calcined Natural Puzzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- Binici, H., 2002, PÇ-GYFC-Pomza Üçlü Karışımlarının Özellikleri”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Bulut, Ü., Tanaçan, L., 2009, Perlitin Puzolanik Aktivitesi, İ.T.Ü. Dergisi “Mimarlık, Planlama, Tasarım”, Cilt:8, Sayı:1, 81-89 s.
- Canpolat, F., 2002, Çimento Performansının Geliştirilmesinde Doğal Zeolitin Endüstriyel Atıklarla Birlikte Çimento Üretiminde Kullanılması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 145 s.
- Çavdar, A., Yetgin Ş., 2004, Trabzon Yöresi Tüflerinin Çimentoda Tras Olarak Kullanılabilirliği, Bazı Kimyasal ve Mekanik İlişkiler, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü, Trabzon.
- Çavdar, A., Yetgin, Ş., 2004, Tane İnceliğinin Traslı Çimento Özelliklerine Etkisi, Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongresi (CD-ROM), İstanbul, Turkey, 451-454 s.

- Çavdar, A., Yetgin, Ş., 2004, Trabzon Yöresi Tüflerinin Çimentoda Tras Olarak Kullanılabilirliği, Bazı Kimyasal ve Mekanik İlişkiler., Sixth International Conference on Advances in Civil Engineering, Bogaziçi University, İstanbul, Turkey, 947-955 s.
- Çelik Ö., Yurter G., Kan S. ve Yeprem H. A., 2004, Farklı Puzolan Katkıların Çimento Harçlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, Doğu Üniversitesi Dergisi, 5 (2),147-154 s.
- Daştan, A., 2005, Pişmiş Killerin Puzolanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dayı, M., 2006, Doğal ve Yapay Puzolanların Kompoze çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 77 s.
- Ercıktı, B., Cihangir F., Kesimal A., Deveci H. ve Alp İ., 2008, Doğal Puzolan Özelliklerinin Macun Dolgunun Dayanım ve Duraylılığına Etkisi Yerbilimleri”, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi 29 (1), 25-35 s.
- Erdoğan, T., Erdoğan, Y., 2007, Puzolanik Mineral Katkılar ve Tarihi Geçmişleri Yapılarda Kimyasal Katkılar Senpozyumu 237 s.
- Erdoğan, S. T. ve Erdoğan, T. Y., 2005, Puzolanların Bağlayıcılık Potansiyelinin Romalılar Tarafından Keşfi ve Romalılardan Önce Puzolan Kullanımı, Hazır Beton, 50-52 s.
- Erdoğan, T. Y., 2003, Beton, METU Press, Ankara.
- Gani, M. S. J., 1997, Cement and Concrete”, Faculty of Engineering Monash University Clayton, Victoria, Australia, 83-90 s.
- Gündeşli, U., 2008, Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Yüksek Fırın Cürufunun Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanımı Üzerine Bir Kaynak Taraması, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Adana.
- Gündüz, L., 2008, Puzolanik Maddeler, Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta,112-133 s.
- Güven, İ.H., 1993, Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250 000 ölçekli kompilasyonu. MTA, Ankara (yayınlanmamış).

- International Atomic Energy Agency, 2002, Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structure, Training Course Series.
- Kaplan, H., Binici H., 1995, Tras ve Traslı Çimentolar, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 1 (2-3), Denizli,121-127 s.
- Kavas, T., Çelik, M.Y., 2001, Ayazını (Afyon) Tüflerinin Çimento Sanayisinde Tras Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”, Usability Of The Ayazini (Afyon) Tuffs As Trass Material For Cement Production, Afyon.
- Kılınçkale, F. M., 1996, Çeşitli Puzolanların Puzolanik Aktivitesi ve Bu Puzolanlarla Üretilen Harçların Dayanımı” İ.M.O. Teknik Dergisi, yazı 91, 1217-1229 s.
- Kurugöl, S., 2009, Ağırnas Topraklarının Puzolanik Aktivitesi”, MSGSÜ, Meslek Yüksek Okulu, Mimari Restorasyon Programı, İstanbul.
- Kuşçu, M. ve Selçuk G., 1993, Isparta Yöresi İgnimbiritlerinin Tras Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” Jeoloji Mühendisliği , Isparta, 43,15-23 s.
- Leckebush, R., 1984, Türkiye’deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı”, Çimento Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Ankara, 1-10 s.
- Malinowski, R., 1979, Concretes and Mortars in Ancient Aqueducts, Concrete International, pp.66-76.
- Malinowski, R., 1982, Method of Casting Concrete. US Patent. No. 4362679.
- Malinowski, R., 1991, Prehistory of Concrete, Concrete International, pp.23-29.
- Massazza, F. and Costa, U., 1977, Factors Determining the Development of Mechanical Strength in Lime-Pozzolana Pastes”, Proceedings of the XXII Conference on Silicate Industry and Silicate Science, Budapest, pp 537-552.
- Massazza, F., 1980, Pozzolanalar ve pozzolanik çimentolar, Cement-Br., Zagreb, 3-17 s.
- Massazza, F., 1983, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları Semineri, T.Ç.M.B., Ankara, 154-160 s.
- Massazza, F., 1993, Pozzolanik Çimento, Cement and Concrete Composites 185-214 s.
- Massazza, F., 1998, Pozzolana ve Pozzolanik Çimentolar, Lea’s Chemistry of Cement and Concrete 4th ed., John Wiley & Sons Inc., New York, pp 471- 617.
- Okucu, A., 1998, Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik ve Perlitik Tüflerinin Puzolanik Özellikleri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir, 1-54 s.

- Okucu, A., 2000, Volkanik Tüflerle Birlikte Cürufun Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Balıkesir, 73-80 s.
- Okucu, A., 2004, Zeolitik Tüflerin Çimento Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 682-687s.
- Öner, M., Erdoğan, K., Günlü, A., 2003, Effect of Components Fineness on Strenght of Blast Furnace Slag Cement, Cem. and Conc. Res., 33, 463-469 s.
- Pan, S., Tseng, D., Lee, C., 2003, Influence of the Fineness of Sewage Sludge Ash on the Mortar Properties, Cem. Concr. Res., 33, 1749-1754 s.
- Postacıoğlu, B., Çakıroğlu, N., Ortabaşı, N., 1960, Kayseri Puzolanları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yapı Araştırma Kurumu, Seri C, Sayı 1, İstanbul.
- Prince, W.H., 1975. Puzolans – A Rview”, ACI Journal, Detroit, 225 – 232 s.
- Ramachandran, V.S.,1995, Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publication, New Jersey, U.S.A.
- Ramachandran, V. S., Beaudoin, James J., 2001. Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publication, New Jersey, 42-47 s.
- Sabir, B., Wild, S., Bai, J.,2001, Metacaolin and Calcined Clays as Pozzolan for Concrete: Review, Cem. & Concr. Comp., 23, 441-454 s.
- Sanayi Genel Müdürlüğü., 2013, Sektörel Raporlar ve Analizler Serisi, Çimento Sektörü Raporu.
- Sersale, R., 2002, Aspect of Chemistry of Additions”, Advences in Cement Technology, Ghosh, S. N., Tech Books International, New Delhi, 507- 631 s.
- Shannag, M., 2000, High Strenght Concrete Containing Natural Pozzolan and Silica Fume, Cem. & Conc. Comp., 22, 399-406 s.
- Shi C., Day R., 2001, Comparison of Different Methods for Enhancing Reactivity of Pozzolans, Cement and Concrete Research, 31, 813-818 s.
- Şimşek, O., 2004, Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- Şimşek, O., Erdal, M., 2002, Kalker ve Andezit Taşunlarının Betonun Basınç Dayanımına Etkisi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
- Taşkın, C., Türkiye Çimento Hammadde Kaynakları, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.

- Taşdemir, C., 2003, Combined Effects of Mineral Admixtures and Curing Conditions on the Sorptivity Coefficient of Concrete, *Cem. and Conc. Res.*, 33, 1637-1642 s.
- Terzibaşoğlu, N., 1995, Andezitin Traslı Çimento Üretiminde Kullanılması, *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 1-6, İzmir.
- Topçu, İ.B. ve Karakurt, C., 2007, Effects of Different Industrial Wastes and Natural Pozzolans on Cement Properties, *TÇMB, 3rd International Symposium Sustainability in Cement and Concrete*, 179-189 s.
- Tokyay, M., Erdoğan, K., 1997, Cüruflar ve cürüflü çimentolar”, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, T.Ç.M.B./AR-GE/Y97.2*, Ankara, 1-2 s.
- Tokyay, M., Munlafalıoğlu, I., 1997, Evaluation of 1996 Quality Control Data of Turkish Portland-Pozzolan Cements, *1. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement, TCMA, Istanbul, Turkey*, 37-44 s.
- TS-25, 1975, *Tras, Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 25, 2008, *Doğal Puzolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 197-1, 2012. *Çimento- Bölüm 1 : Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 91.100.10.
- Turanlı, L., 1995, *Effects of Naturel Pozzolan Addition on the Properties of Portland – Pozzolan Cement and the Concrete Made with those Cements”, Doktora Tezi, O.D.T.Ü., Ankara.*
- Turanlı, L., Uzal, B., Bektaş, F., 2004, *Effect of Material Characteristics on the Properties of Blended Cements Containing High Volumes of Natural Pozzolans; Cement and Concrete Research*, 34, 2277-2282 s.
- Türkmenoğlu, A. G., Tankut, A., 2002, *Use of tuffs from Central Turkey as admixture in pozzolanic cements assessment of their petrographical properties., Cem. and Conc. Res.*, 32, 629-637 s.
- Ulus, H., 2006, *Erzincan ve Nevşehir Yöresi Pomzularının Çimentolu Sistemlerde Kullanılabilirliği”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.*
- Urhan, S., 1991, *Silisin Alkali Ortamda Çözünmesine Etki eden Faktörler, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento Bülteni*, 28, 286, Ankara, 15-21 s.

- Ün, H., 2007, PAÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Ders Notları, Denizli.
- Vu, D., Stroeven, P., Bui, V., 2001, Strengh and Durability Aspects of Calsined Caolin – Blended Portland Cement Mortar and Concrete, Cem. & Conc. Comp., 23, 471-478 s.
- Yaşar, E., Atış, C. D., Kılıç, A. and Gülsen, H., 2003, Strength Properties of Lightweight Concrete Made with Basaltic Pumice and Fly Ash”, Materials Letters, pp 2267-2270.
- Yazıcıoğlu, S., Demirel B., 2006, Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 18 (3), Elazığ, 367-374 s.
- Yeginobalı, A., 2001, Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, T.Ç.M.B./AR-GE/01.01, Ankara, 1-3 s.
- Yetgin, Ş ve Çavdar A., 2005, Doğal Puzolan Katkı Oranının Çimentonun Dayanım, İşlenebilirlik, Katılaşma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi”, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der. Science and Eng. J. of Fırat Univ. 17 (4), 687-692 s.
- Yıldırım S. F., 2007, Puzolanik Zeolitin Çimentoda Katkı Uygunluğunun Araştırılması” Mustafa Kemal Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- Yıldız, E, 2006, Farklı Tipteki Puzolanların Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 79 s.
- Yılmaz B. ve N.E., 2006, Kütahya Alanyurt Bölgesi Killi Diyatomitlerin Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Kütahya, sayı 12, 95-104 s.
- Yılmaz K, Canpolat F. ve Arman H., 2004, Taban Külü Ve Doğal Zeolitin Puzolanik Çimentoda Katkı Olarak Kullanımı, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 716-725 s.

ÖZGEÇMİŞ

1984 Trabzon doğumlu Ertan Tuncer, ilk ve orta öğretimini Trabzon'da tamamladı 2008 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Yapı Öğretmenliğinden mezun oldu. 2010 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliğinde Yüksek Lisans programı ve 2012 yılında Anadolu Üniversitesi Çalışma Ekonomisi ve Endüstriyel İlişkiler Bölümüne başladı.