

O. UZUN, 2016



T.C.
ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞAL PUZOLANLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE KATKI
MALZEMESİ OLARAK BETON DAYANIMINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OZAN UZUN

ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2016

T.C.
ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞAL PUZOLANLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE KATKI
MALZEMESİ OLARAK BETON DAYANIMINA ETKİSİ

OZAN UZUN


Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ

Ekim 2016

Ozan UZUN tarafından **Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ** danışmanlığında hazırlanan “**Doğal Puzolanların Karakteristik Özellikleri ve Katkı Malzemesi Olarak Beton Dayanımına Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Burak UZAL (Abdullah Gül Üniversitesi) | 

Üye : Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ (Ömer Halisdemir Üniversitesi) | 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Uğur Erdem DOKUZ (Ömer Halisdemir Üniversitesi) | 

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/...../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR V.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

OZAN UZUN

ÖZET

DOĞAL PUZOLANLARIN KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE KATKI MALZEMESİ OLARAK BETON DAYANIMINA ETKİSİ

UZUN, Ozan
Ömer Halisdemir Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman :Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ

Ekim 2016, 57 sayfa

Beton içerisinde puzolanların kullanılması ekonomik fayda sağlamaktadır. Ülkemiz doğal puzolan yatakları bakımından zengindir. Doğal puzolanlar betonun dayanımını, priz süresi ve büzülme gibi özelliklerini etkilemektedir. Betonda mineral katkı olarak kullanılacak olan doğal zeolit, volkanik tuf, ignimbirit türü doğal puzolanların portland çimentosu harçlarının basınç dayanımını nasıl etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır. Farklı tür mineral malzemelerin kullanılmasındaki temel amaç doğal malzemelerin kimyasal kompozisyonu, mineralojik yapısının portland çimentosu harçlarının basınç dayanımındaki rolünü ortaya çıkarmaktır.

Anahtar Sözcükler: Doğal puzolan, puzolanik aktivite, basınç dayanımı

SUMMARY

THE CHARACTERISTICAL OF PROPERTIES NATURAL POZZOLANS AND
THEIR EFFECT ON CONCRETE STRENGTH AS AN ADDITIVE MATERIAL

UZUN, Ozan

Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor : Associate Professor Dr. Mustafa KORKANÇ

October 2016, 57 pages

The use of pozzolans in concrete provides many economic benefits. Our country is rich in natural pozzolan deposits. Natural pozzolans increase the strength of the concrete and affect some properties such as setting time and shrinkage. Natural zeolite mineral additives to be used in achieving high strength concrete, volcanic tuffs, ignimbrites have tried to determine how the strength of the concrete effects of those types of natural pozzolan. Chemical composition of natural materials The main purpose of the use of different types of mineral material is to uncover the role of interaction with nanoparticles of mineralogical composition and surface properties such as porosity.

Keywords: Natural pozzolan, pozzolanic activity, compressive strength

ÖN SÖZ

Bu çalışma, Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, doğal puzolanların jeolojik özellikleri ile katkı malzemesi olarak kullanılması durumunda beton dayanımına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma başlıca, literatür derlemeleri, araştırmada kullanılacak doğal puzolanların yayılım sunduğu alanlardan örnek derleme amaçlı arazi çalışmaları ile laboratuvar araştırmalarından oluşmuştur. Derlenen örneklerin puzolan olarak kullanılması sonucunda karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için kırma ve öğütme sonucunda 63 mikron altına indirilmiştir.

Bu çalışmada, başta konu seçimi olmak üzere ders aşamasından tezin bitimine kadar geçen süre içerisinde bilimsel, teknik ve tecrübeleriyle beni destekleyen ve yönlendiren, bilgi ve önerilerinden yararlandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ'a ve Ali TURGUT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada 113M310 nolu Tübitak projesi kapsamında bursiyer olarak yer almamda ve verilerin elde edilmesi ile çalışmanın her aşamasındaki desteklerinden dolayı, Doç. Dr. Burak UZAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 İnceleme Alanının Tanıtımı ve Örnek Derleme	1
1.2 Literatür Derlemesi	4
1.2.1 Portland çimentoları (PÇ)	4
1.3 Puzolanlar	4
1.3.1 Puzolanların sınıflandırılması	7
1.3.1.1 Yapay puzolanlar	7
1.3.1.2 Doğal puzolanlar	9
1.4 Doğal Puzolanların Kimsayal Kompozisyonları	12
1.5 Doğal Puzolanların Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanabilirliğine Dair Standartlarda Belirtilen Sınır Değerler	12
1.6 Puzolanik Reaksiyon	13
1.7 Puzolanik Aktivite	14
1.8 Önceki İncelemeler	14
BÖLÜM II MATERYAL METOD	18
2.1 Büro Çalışmaları	18
2.2 Arazi Çalışmaları	18

2.3 Laboratuvar Çalışmaları	18
2.3.1 Yayılma tablası	19
2.3.2 Harç dayanımı	20
2.3.3 Böhme yüzeysel aşınma deneyi	21
2.3.4 Kapiler su emme deneyi	22
BÖLÜM III BULGULAR	23
3.1 İncelenen Birimlerin Jeolojik Özellikleri	23
3.1.1 Melendiz tüfü	23
3.1.2 Valibaba ignimbiriti	23
3.1.3 Nevşehir pomzası	24
3.1.4 Nevşehir zeolitleri	25
3.1.5 Gördes formasyonu	26
3.1.6 Bigadiç formasyonu	26
3.2 Örneklerin Kimyasal Kompozisyonu	26
3.3 Örneklerin XRD Analizleri	29
3.4 Örneklerin Petrografik Özellikleri	41
3.5 Deneysel Çalışmalar	44
3.5.1 Harç dayanımı	44
3.5.2 Böhme yüzeysel aşınma deneyi	45
3.5.3 Kapiler su emme deneyi	46
BÖLÜM IV SONUÇLAR VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR	51
ÖZ GEÇMİŞ	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Alınan örneklerin lokasyonları ve litolojik özellikleri	3
Çizelge 1.2. Puzolanların taze beton özellikleri üzerine etkileri (Ün, 2007).....	6
Çizelge 1.3. Puzolanların sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkileri (Ün, 2007)	6
Çizelge 1.4. Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı (%) (Ramachandran, 1995) .	12
Çizelge 1.5. Doğal puzolanların katkı malzemesi olarak kullanabilmeleri için gerekli fiziksel değerler	13
Çizelge 1.6. Doğal puzolanların katkı malzemesi olarak kullanabilmeleri için gerekli kimyasal değerler.....	13
Çizelge 3.1. Zeolit örneklerinin ana element oksit değerleri	27
Çizelge 3.2. Pomza örneklerinin ana element oksit değerleri.....	28
Çizelge 3.3. Volkanik tüf ve ignimbirit örneklerinin ana element oksit değerleri	29
Çizelge 3.4. Harç karışımlarının içerikleri ve yayılma değerleri.....	44
Çizelge 3.5. Harç karışımlarının basınç dayanımları ve aktivite indeksleri	45
Çizelge 3.6. Böhme yüzeysel aşınma direnci değerleri	46
Çizelge 3.7. Hazırlanan numunelerin kapiler su emme değerleri.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Örnek derleme bölgeleri	2
Şekil 1.2. Puzolanik malzemelerin sınıflandırılması (Ün, 2007)	7
Şekil 2.1. Araziden örnekleme yapılmış bazı doğal puzolanlardan görünüm.....	19
Şekil 2.2. Yayılma tablası deneyinin yapım aşamasından görünüm	20
Şekil 2.3. Küp numunelerin kalıplara dökülme işleminden görünüm.....	21
Şekil 2.4. Numuneler üzerinde harç dayanımlarının belirlenmesi aşamasından görünüm	21
Şekil 2.5. Böhme yüzeysel aşındırma deney ekipmanı	22
Şekil 3.1. Z1 zeolit örneği XRD deseni (C: Klinoptilolite, Q:Kuvars)	30
Şekil 3.2. Z2 zeolit örneği XRD deseni ve tanımlanabilmiş fazlar (Q:Kuvars)	30
Şekil 3.3. Z3 zeolit örneği XRD deseni ve tanımlanabilmiş fazlar (Q:Kuvars)	31
Şekil 3.4. Z4 zeolit örneği XRD deseni ve tanımlanmış fazlar (C:Klioptilolit, Q:Kuvars)	31
Şekil 3.5. Z5 zeolit örneği XRD deseni ve tanımlanmış fazlar (C:Klioptilolit, Q:Kuvars)	32
Şekil 3.6. P1 pomza örneği XRD deseni.....	32
Şekil 3.7. P2 pomza örneğinin XRD deseni.....	33
Şekil 3.8. P3 pomza örneğinin XRD deseni.....	33
Şekil 3.9. P4 pomza örneğinin XRD deseni.....	34
Şekil 3.10. P5 pomza örneğinin XRD deseni.....	34
Şekil 3.11. P6 pomza örneğinin XRD deseni.....	35
Şekil 3.12. V1 volkanik tüf örneği XRD deseni (Cr: Kristobalit, V: Vollaştonit, G: Gibsit)	35
Şekil 3.13. V2 volkanik tüf örneği XRD deseni (Cr: Kristobalit, V: Vollaştonit, G: Gibsit)	36
Şekil 3.14. V3 volkanik tüf örneği XRD deseni (V: Vollaştonit, G: Gibsit.)	36
Şekil 3.15. V4 volkanik tüf örneği XRD deseni (Cr: Kristobalit, V: Vollaştonit, G: Gibsit)	37

Şekil 3.16. V5 volkanik tuf örneği XRD deseni	37
Şekil 3.17. V6 volkanik tuf örneği XRD deseni (V: Vollastonit, G: Gibsit,)	38
Şekil 3.18. V7 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni	38
Şekil 3.19. V8 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni	39
Şekil 3.20. V9 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni	39
Şekil 3.21. V10 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni	40
Şekil 3.22. V11 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni	40
Şekil 3.23. V12 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni	41
Şekil 3.24. Karasenir yöresi zeolitinin mikroskoptaki ince kesit görüntüsü (4X)	42
Şekil 3.25. Nevşehir yöresi zeolitinin mikroskoptaki başka bir ince kesit görüntüsü (4X)	42
Şekil 3.26. Nevşehir zeolitinin mikroskoptaki ince taneli yapısının görüntüsü (4X)	42
Şekil 3.27. Tepeköy yöresinden alınan örneğin mikroskoptaki ince kesit görüntüsü (4X)	43
Şekil 3.28. Kapıkaya yöresi ignimbirit örneğinin ince kesit görüntüsü (4X)	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
Cr	Kristobalit
V	Vollastonit
G	Gibsit
S	Kükürt
Z	Zeolit
P	Pomza
V	Volkanik tuf veya ignimbirit

Kısaltmalar	Açıklama
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	Amerikan Deney ve Malzeme Birliği
K.K	Kızdırma Kaybı
TS	Türk Standartları Enstitüsü
Pç	Portland Çimentosu
MTA	Maden Teknik ve Arama Enstitüsü
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
TJK	Türkiye Jeoloji Kurultayı

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 İnceleme Alanının Tanıtımı ve Örnek Derleme

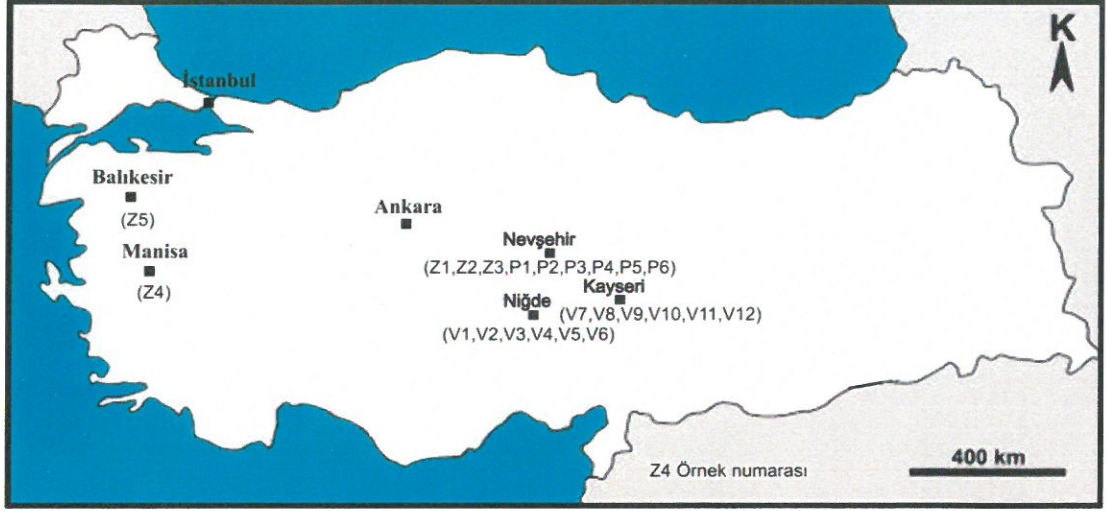
Bu çalışma kapsamında öncelikle belirtilen türlerdeki doğal malzemelerden o türün karakteristik özelliklerini en iyi şekilde yansıtabilecek malzemenin bulunup seçilebilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda ticari olarak işletilmekte olan veya kolayca erişilebilir rezervlerden 12 volkanik kayaç, 6 pomza ve 5 zeolit örneği olmak üzere toplam 23 örnek doğrudan rezervden alınmak suretiyle temin edilmiştir. Örnekleme aşamasında örneklerin jeolojik olarak ayrışmamış kesimden alınmasına dikkat edilmiştir. Söz konusu örnekleme alanlarının mevki ve litolojik özelliklerine ilişkin veriler, örnekler için kullanılmış kısaltma sembollerle birlikte Çizelge 1.1'de özet halinde sunulmuştur.

Arazi çalışmaları kapsamında alınan 23 örneğin 6'sı pomza olup (P1-P6), Nevşehir yöresine aittir. Bunun yanında Kozaklı-Nevşehir bölgesinden Karasenir köyünde aynı alandan arazideki birimin konumuna göre alt, üst ve orta seviyeyi temsil etmek üzere 3 adet zeolit örneği alınmıştır (Z1, Z2, Z3). Ayrıca Türkiye'deki başlıca iki zeolit rezervi olan Manisa-Gördes ve Balıkesir-Bigadiç yörelerindeki ocaklardan da 2 zeolit örneği temin edilmiştir (Z4 ve Z5). Bu çalışma kapsamında Niğde yöresi Tepeköy bölgesinde oldukça kalın bir istif halinde olan tüflerden arazideki değişkenliklerine göre 6 adet (nispeten farklı olabileceği göz önüne alınarak) örnek alınmıştır (V1-V6). Bunların dışında Kayseri civarında değişik kesimlerden ve yörelerden volkanik kayaç türü olarak 6 adet ignimbirit örneği (V7-V12) derlenmiştir.

Alınan örnekler laboratuvar ortamında içindeki suyu bırakması amacıyla etuve konulmuştur. İçerisinde su bulunmayan örneklere boyut küçültme işlemi uygulanmıştır. Boyutları küçültülen malzemeler 0,63 mm'lik elekten geçirilmiş ve hazırlanan numuneler poşetlere hazırlanmış hale getirilmiştir.

Örnek derlemesi ve arazi çalışmaları sırasında aynı litolojideki kaya gruplarının renk ve dokusal özelliklerinin arazide çok sık değiştiği gözlenmiştir. Bu nedenle farklı renk ve dokusal özelliklere sahip örnekler, ayrıntılı olarak tanımlanmış ve temsili örnekleme

gerçekleştirilmiştir. Alınan örneklere ait kısa tanımlama ve yörelerine ait veriler Çizelge 1.1'de sunulmuştur.



Şekil 1.1. Örnek derleme bölgeleri

Farklı alanlardan derlenen örneklerden davranış olarak farklı olanlardan örnekler seçilerek harç numuneleri hazırlanmıştır. Bu çalışmada farklı fiziksel ve mineralojik özelliklere sahip üç ayrı tür doğal mineral katkı malzemesinin kullanılması öngörülmüştür.

Bunlar

- Doğal zeolit (Z),
- Pomza (P),
- Volkanik tuf veya ignimbirit (V) olarak tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır.

Farklı tür mineral malzemelerin kullanılmasındaki temel amaç doğal malzemelerin kimyasal kompozisyonu, mineralojik yapısı ve yüzey gözenekliliği gibi özelliklerinin betonun dayanımındaki rolünü ortaya çıkarmaktır.

Çizelge 1.1. Alınan örneklerin lokasyonları ve litolojik özellikleri

SEMBOL	AÇIKLAMA	YÖRE	LİTOLOJİ
Z1	Karasenir köyü güneybatısı (alt seviye)	Kozaklı- Nevşehir	Zeolit
Z2	Karasenir köyü güneybatısı (üst seviye)	Kozaklı- Nevşehir	Zeolit
Z3	Karasenir köyü güneybatısı (orta seviye)	Kozaklı- Nevşehir	Zeolit
Z4	Gördes zeolit ocağı	Manisa- Gördes	Zeolit
Z5	Bigadiç zeolit ocağı	Balıkesir- Bigadiç	Zeolit
P1	Pomza ocağı -1	Nevşehir	Pomza
P2	Pomza ocağı-2	Nevşehir	Pomza
P3	Pomza ocağı-3	Nevşehir	Pomza
P4	Pomza ocağı- 4	Nevşehir	Pomza
P5	Pomza ocağı-5	Nevşehir	Pomza
P6	Pomza ocağı-6	Nevşehir	Pomza
V1	Tepeköy eski ocak (üst seviye)	Niğde	Tüf
V2	Tepeköy eski ocak (alt seviye)	Niğde	Tüf
V3	Tepeköy'e doğru T2'ye göre 150 m aralıklarla alındı	Niğde	Tüf
V4	Tepeköy'e doğru T3'e göre 150 m güneyden alındı	Niğde	Tüf
V5	Tepeköy'e doğru T4'e göre yaklaşık 50 m güneyden alındı	Niğde	Tüf
V6	Tepeköy'e doğru T5'e göre yaklaşık 100 m güneyden alındı	Niğde	Tüf
V7	Tomarza-Kapıkaya köyü	Kayseri	İgnimbirit
V8	Tomarza-Kapıkaya köyü (üst seviye)	Kayseri	İgnimbirit
V9	Hisarcık-Tekir yolu (ignimbirit)	Kayseri	İgnimbirit
V10	Saraycık köyü	Kayseri	İgnimbirit
V11	İncesu taşocakları mevki yol kenarı	Kayseri	İgnimbirit
V12	Garipçe köyü -Nevşehir yolu kenarı	Kayseri	İgnimbirit

1.2 Literatür Derlemesi

1.2.1 Portland çimentoları (PÇ)

Yapısal amaçlarla kullanılan çimentolar, agregaları (kum, çakıl, kırmataş) bir arada tutmak için kullanılan, esas itibariyle silisli ve kalkerli bağlayıcılardır. Beton yapımında kullanılan çimentolar ise, su içinde priz alma ve sertleşme özellikleri nedeniyle hidrolik çimentolar olarak adlandırılır. PÇ, hidrolik çimentolar grubunun en önemli üyesidir (Mindess ve Young, 1981).

PÇ, kalkerli ve killi hammaddelerin döner fırınlarda pişirilmesi sonucunda elde edilen klinkere, az miktar alçı ilave edilerek 0.5-80 µm boyutlarında öğütülmesi suretiyle elde edilir. Kimyasal açıdan ana bileşenlerini, kristal yapıdaki kalsiyum silikatlar ve alüminatlar oluşturur. Döner fırına verilen hammadde karışımı, esas olarak kireç, silika, alümina ve demir oksitten meydana gelir. Bu oksitler, yüksek sıcaklıkta birbirleriyle reaksiyona girerek daha kompleks bileşenler oluştururlar (Mindess ve Young, 1981).

PÇ’de dört ana bileşen mevcuttur:

1. Trikalsiyum silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)
2. Dikalsiyum silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)
3. Trikalsiyum alüminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)
4. Tetrakalsiyum alüminoferrit ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$)

1.3 Puzolanlar

Amerikan Standardı ASTM C618-94 “Betonda Mineral Katkı Olarak Kullanılacak Ucucu Kül ve Kalsine Edilmiş ya da Edilmemiş Doğal Puzolanlar İçin Şartnamede” tanımladığı şekli ile kendi başına bağlayıcı özelliği olmayan fakat öğütüldüklerinde nemli ortamlarda kireç ile birleşerek bağlayıcı özellik kazanan silisli ya da silisli-alüminli yapay ya da doğal organik maddelerdir. Puzolanların sınıflandırılması bu malzemenin kökenine dayanmaktadır.

Puzolan ilk defa Napoli yakınlarındaki Pozzuoli kasabasında elde edilmiştir. Vezüv yanardağı yakınlarındaki bu toprak camlaşmış volkan toprağı olup, günümüzde kullanılan “Puzolan” sözcüğü buradan kaynaklanmaktadır (Ün, 2007).

Çoğu doğal puzolanik maddeler volkanik kökenli olup, en çok bilineni tüflerdir. Volkanik püskürme sırasında silisli ve alüminli malzemelerden oluşan eriyik durumdaki magma, yüzeye alev olarak çıkarak çok çabuk soğuma gösterdiği takdirde, camsı (amorf) yapıya sahip olmaktadır. Püskürme esnasında gazların da bulunması, malzemenin gözenekli yapıya ve çok büyük yüzey alanına sahip olmasına neden olmaktadır. Yüzey alanının büyük olması ve düzensiz yerleşim göstermelerinden ötürü, alüminalı silisler, sulu ortamlarda kalsiyum iyonlarıyla kolayca reaksiyona girebilmektedir. Volkanik püskürmenin çok hızlı gerçekleşmesi, malzemenin daha amorf yapıya ve daha yüksek puzolanik aktiviteye sahip olmasına yol açmaktadır (Erdoğan vd., 2009).

Puzolanların katkı maddesi olarak kullanılmasının olumlu etkileri:

- İşlenebilirliği artırır.
- Terlemeyi azaltır.
- Hidratasyon ısısının hızını ve miktarını azaltır.
- Su geçirgenliğini azaltır.
- Nihai basınç dayanımının daha yüksek olmasını sağlar.
- Ekonomiklik sağlar.

Puzolonik madde kullanılmasında dikkat edilmesi gerekenler:

Puzolonik katkı maddesi kullanılması özellikle soğuk havalarda piriz alma süresini geciktirir ve ilk günlerde betonun dayanımının düşük olmasına yol açar. Puzolan katkılı betonlar daha uzun süreli ve daha dikkatli kür edilmeleri gereklidir.

Çizelge 1.2. Puzolanların taze beton özellikleri üzerine etkileri (Ün, 2007)

Özellik	Uçucu kül	Cüruf	Silika dumanı	Doğal puzolan
Su ihtiyacı	azalır	azalır	artar	değişmez
İşlenebilirlik	artar	artar	azalır	artar
Terleme ve ayrışma	azalır	değişir	azalır	değişmez
Hava miktarı	azalır	değişir	azalır	değişmez
Hidratasyon ısı	azalır	azalır	değişir	azalır
Priz süresi	artar	artar	değişmez	değişmez
Mastarlama	artar	artar	değişir	artar
Pompanabilirlik	artar	artar	artar	artar
Plastik büzülme çatlakları	değişmez	değişmez	artar	değişmez

Çizelge 1.3. Puzolanların sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkileri (Ün, 2007)

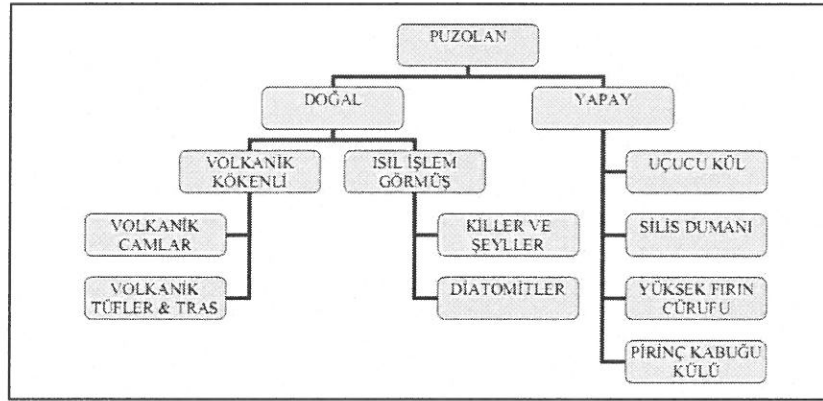
Özellik	Ucu kül	Cüruf	Silika dumanı	Doğal puzolan
Dayanım kazanma hızı	değişir	değişir	artar	değişir
Sürtünme dayanımı	değişmez	değişmez	değişmez	değişmez
Donma ve çözünme dayanımı	değişmez	değişmez	değişmez	değişmez
Kuruma büzülmesi, sünme	değişmez	değişmez	değişmez	değişmez
Geçirimsizlik	azalır	azalır	azalır	azalır
Alkali silika reaksiyonu	azalır	azalır	azalır	azalır
Kimyasal dayanıklılık	artar	artar	artar	artar
Karbonatlaşma	değişmez	değişmez	değişmez	değişmez
Beton rengi	değişir	değişir	değişir	değişir

Nüfusu hızla artan ülkemizde inşaat sektörü giderek gelişmektedir. İnşaat sektöründe en fazla girdi maliyeti çimento sektöründe karşımıza çıkmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan beton ve çimentonun kaliteli olması yapıların daha sağlam ve uzun ömürlü olmasına neden olmaktadır.

İNŞAAT sektöründe kullanılan beton maliyetinin düşürülmesinin yolu doğal ve yapay puzolanlar ile sağlanabilmektedir. Türkiye ise doğal puzolanik maddeler bakımından zengin bir ülkedir. Türk Standartları'nda belirtilen miktar ve şartlara uymak sureti ile doğal puzolan kullanılması ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacak ve inşaat sektöründeki maliyeti azaltacaktır.

1.3.1 Puzolanların sınıflandırılması

Puzolanlar; yapay ve doğal puzolan olmak üzere ikiye temel gruba ayrılırlar (Ün, 2007) (Şekil 1.2). Yapay puzolanlar; endüstri atık malzemelerinden oluşan uçucu kül, endüstriyel cürufur ve silis dumanıdır. Doğal puzolanlar volkanik kökenli malzemelerdir. Volkanik aktivitelerin meydana geldiği bölgelerde bulunmaktadır. Bu malzeme kireçle karıştırıldıklarında bağlayıcılık özelliği kazanmaktadır. Bağlayıcılık oluşabilmesi için bağlayıcının kalsiyum hidroksit içermesi gerekir.



Şekil 1.2. Puzolanik malzemelerin sınıflandırılması (Ün, 2007)

1.3.1.1 Yapay puzolanlar

a) Silis dumanı: Silisyum metalinin veya ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin, kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu bir yan ürün olarak elde edilen çok ince taneli, toz halindeki endüstriyel atık maddeye silis dumanı adı verilir (Baradan vd., 2001)

Silis dumanı ayrıca ferrokrom-ferromanganez-ferromagnezyum gibi metal alaşımlarının da yan ürünü olarak elde edilebilir. Silis dumanı çok ince taneli olması ve yüksek oranda SiO_2 içermesi nedeni ile puzolanik reaksiyonların çok erken yaşlarda başlamasına neden olmaktadır (Çelik, 2004).

b) Uçucu kül: Termik enerji santrallerinde öğütülmüş kömürün yanmasıyla ortaya çıkan uçucu kül betonlarda kullanılan çimentoya katkı maddesi olarak kullanılabilir en yaygın puzolandır. Uçucu kül, baca gazları atmosfere bırakılmadan önce bu gazlar içindeki ince tanelerin toz toplama sistemi tarafından toplanmasıyla elde edilir.

Dünyadaki uçucu kül üretimi yıllık yaklaşık 450 milyon tondur, ancak bunun sadece yüzde % 6'sı çimento ve beton endüstrisinde kullanılmaktadır. Türkiye'deki uçucu kül üretimi ise yıllık yaklaşık 15 milyon tondur. Uçucu kül, beton maliyetini düşürmesi enerji tasarrufu sağlaması ve çevresel problemleri azaltması nedeniyle betonlarda geniş bir kullanım alanına sahiptir (Langan vd., 2002). Uçucu küller reaktif silis, alüminyum oksit ve az miktarda demir, sodyum, kalsiyum, magnezyum ve potasyum gibi diğer oksitlerin bir bileşimidir.

Uçucu küller F ve C tipi uçucu küller olarak iki şekilde adlandırılırlar. Uçucu küllerin beton özelliklerine olumlu etkileri, taze betondaki işlenebilmeyi arttırırken, terlemeyi azaltmaktadır. Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltırken, sülfat dayanıklılığını arttırmaktadır. Betonun hidratasyon ısını azaltmaktadır (Topçu, 2006).

c) Yüksek fırın cürufu: Demir üretimi sırasında yüksek fırında kok kömürünün karbonu, cevherin demir oksitindeki oksijenle birleşerek CO ve CO₂ gazları olarak fırını terk ederken, sıcaklık 1400-1600 °C dereceyi bulduğunda hafif olmasından dolayı ham demirin üzerinde yer alan demir filizi gangi, kok ve kireçtaşının yanma sonrası atıklarından oluşan puzolanik malzemeye yüksek fırın cürufu adı verilir (Özcan, 2006).

Yüksek fırın cürufu sertleşmiş ve/veya plastik durumdaki belirli özellikleri kazanması ya da sağlaması için betona eklenebilen ince taneli potansiyel hidrolik bağlayıcı bir malzemedir (Çakıroğlu, 2006).

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarının sahip olduğu ve betonda mineral katkı maddesi olarak kullanılmaları durumunda bağlayıcı özelliklerini etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

- Cürufun kimyasal kompozisyonu
- Ortam sıcaklığı
- Cüruf içerisindeki camsı yapının miktarı
- Cürufun ve birlikte kullanıldığı Portland çimentosunun inceliği
- Reaksiyon yapan sistemdeki alkali reaksiyonu

d) Pirinç kabuğu külü: Pirinç, çeltik bitkisinden elde edilen kapçıklı tane ürünün çeltik fabrikalarında işlenerek, pirinç tanelerinin, üzerindeki kabuklardan ve çeltik saplarından

ayrılması sonucunda elde edilmektedir. Pirinç tanelerinin üzerinde iki kabuk yer almaktadır. Kepek denen sarımsı renkte ince zar gibi olan birinci kabuk pirinç tanelerinin etrafını sarmaktadır. Besleyici özellikteki bu kabuk bazen pirinç tanelerinin üzerinde bırakılsa da, genellikle hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Kapçık veya kavuz denen ikinci kabuk, pirinç tanelerinin en dışındaki kabuktur. Çeşitli organik ve inorganik bileşenlerden oluşan bu kabuk, yüksek miktarda silika içermektedir.

Kerpiç blokların ve tuğlaların yapımında pirinç kabuğu külünden yararlanılmasına çok eski yıllarda başlamıştır. Hatta 1924 yılında, pirinç kabuğu külünün betonda kullanımına dair Almanya'da iki patent alınmıştır (Cook, 1986).

1.3.1.2 Doğal puzolanlar

Çimento maliyetlerinin düşürülmesi açısından puzolanların katkı maddesi olarak yüksek oranda katılabilir kalitede olmaları önemlidir. Puzolanik aktivite değerleri ile çözülmüş kalıntı oranları, katılabilirlik oranını belirleyen faktörler olup, katılım oranı genelde % 10 - 40 arasında değişmektedir. Doğal puzolanlar, genellikle Portland - puzolan tipi çimento ve puzolan katkılı beton üretiminde kullanılmaktadırlar. TS 25'e göre doğal puzolanların kimyasal özellikleri, $Si_2O + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ toplamı en az % 70, SO_3 miktarı en çok % 3, reaktif silis miktarı en az % 25 ve klorür miktarı en çok % 0,1 olmalıdır. Doğal puzolan içeren sistemler için dayanım uzun dönemde doğal puzolanın $Si_2O + Al_2O_3$ miktarına bağlıdır. Kısa dönemde ise doğal puzolanın özgül yüzey alanı dayanım açısından birinci derecede etkilidir (Massazza, 1998).

a) Pomza: Erimiş magmanın patlama sırasında ani basınç düşüşü ile atmosferde hızla soğuması sonucunda yüzeye yakın bölgelerde düzensiz yapısı ile amorf veya camsı faz oluşur. Çözülmemiş gazların gelişimi nedeni ile yüksek yüzey alanlı, mikroskopik ve makroskopik boşluklu poroz yapıdaki katı madde elde edilir. Geniş yüzey alanı ve düzensiz yapısı nedeni ile volkanik kökenli puzolanik malzemeler içinde bulunan alumina silikatlar suyun içindeki Ca iyonları ile kimyasal reaksiyona girebilirler.

b) Tüf ve ignimbritler: Doğal puzolanik maddeler volkanik kökenli olup, en çok bilineni tüflerdir. Volkanik püskürme sırasında silisli ve alüminli malzemelerden oluşan eriyik durumdaki magma, yüzeye alev olarak çıkarak çok çabuk soğuma gösterdiği takdirde, camsı (amorf) yapıya sahip olmaktadır. Yüzey alanının büyük olması ve

düzensiz yerleşim göstermelerinden ötürü, alüminli silisler, sulu ortamlarda kalsiyum iyonlarıyla kolayca reaksiyona girebilmektedir (Erdoğan vd., 2009).

c) Zeolit: Kimyasal olarak 'sulu alümino silikatlar' olarak bilinen zeolitler, yüzyılımızın endüstriyel hammaddesi olarak da anılmaktadır. Kelime anlamı olarak 'kaynayan taş' anlamına gelen zeolit, 1756 yılında İsveçli mineralog Freiherr Axel Fredrick Cronstedt tarafından bulunmuştur. Doğal zeolitler 40'ı aşkın mineralden oluşmuş bir grup ismidir. Dünyada zeolitlerin sekiz tanesi ticari önem taşımaktadır. Bunlar; klinoptilolit, çabasite, analsim, eriyonit, ferrierit, hoylandit, laumontit, mordenit ve fillipsittir. Doğal zeolitler arasında özellikle klinoptilolit geniş bir uygulama alanına sahiptir. Klinoptilolit, Dünyada yaygın olarak bulunması, geniş uygulama alanı olması, ekonomik olarak işletilebilirliği, homojenliği gibi yönleri ile doğal zeolitlerin en önemli mineral gruplarından birisidir. Türkiye'de de klinoptilolit, minerali, rezervi, oluşumu, homojenliği ve yüksek mineral kalitesi ile büyük önem taşımaktadır. Özellikle çevre kirliliğinin kontrolü ile tarım ve hayvancılık sektöründeki uygulamaları çok gelişmiştir.

Zeolitlerin benzer yapıdaki diğer mineral gruplarından ayrılan en önemli özelliklerinden biri de yapı içindeki kanallarda su moleküllerinin bulunmasıdır. Yapıda bu su moleküllerinin yer alabileceği birkaç muhtemel boşluk vardır. Bu boşluklarda Na, Ca, K kanyonları su molekülleri ile çevrilirler ve su molekülleri zayıf bağlarla hem artı yüklü kanyonlara hem de silikat yapısına bağlıdır. Genellikle kalsiyumlu zeolitler diğerlerinden daha fazla su içerirler sabazit, hoylandit ve stilbit yapısı içindeki su molekülleri potasyumundan daha çok kalsiyum katyonu ile bağlantılıdır. Zeolitler ısıtıldıklarında, 100-350°C da su molekülleri yapıda değişiklik yapmadan, birçok minerallerde görüldüğünün tersine, belli sıcaklıklarda kesikli olarak değil de, sürekli şekilde yapıdan ayrılırlar (Okucu, 1998).

Zeolitik tüf yatakları, birçok ülkede puzolanik hammadde olarak kullanılmaktadır. Zeolit puzolanlar, son beton ürününün daima yeraltı su korozyonuna maruz kalacağı hidrolik çimentolarda önemli uygulamalar bulmaktadır. Zeolitlerin sulu altyapılarda kullanılacak puzolan çimento üretiminde kullanılması, yüksek silis içermeleri nedeniyle betonun katılma sürecinde açığa çıkan kirecin nötrleşmesini sağlayabilmektedir (DPT, 2001).

d) Kireçtaşı: Geçmişte mineral katkı olarak çoğunlukla puzolanik özellik gösteren malzemeler kullanılırken, kireçtaşı katkısı çimentoda genellikle minör bileşen olarak ağırlıkça % 5'lik kullanım oranı ile sınırlandırılmıştı. Ancak, asıl ilave bileşen olarak kireçtaşının kullanıldığı katkıli çimentoların üretimi son yıllarda artmıştır. Kireçtaşı katkısı Portland kompoze çimento üretiminde, minör ilave bileşen olarak da kullanılmaktadır.

Katkılı çimento üretiminde kullanılacak kireçtaşının CaCO_3 oranı en az % 75 olmalı, kil içeriği de % 1,2'yi geçmemelidir. Kireçtaşlarında, hammadde safsızlıklarına göre bünyesinde organik karbon bulundurabilir. Fakat bünyesinde % 0,5'ten fazla organik karbon bulunursa çimento katkısı olarak kullanılamaz (TS EN 197-1).

Literatürde kireçtaşı katkısının, çimentonun Blaine değerini arttırırken, tane boyut dağılımını daha geniş bir aralığa yaydığına dair bulgular mevcuttur. Bu tür çimentolarda kireçtaşı ikame oranı arttıkça, hacim sabitliğinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak kireçtaşı katkıli çimentolarla hazırlanan harçların, kireçtaşı oranı artışı ile su emme oranlarının arttığı rapor edilmiştir. Açık boşluk oranı kireçtaşı oranı artışı ile artmakta ve emilen su, bir miktar geri dönüşümlü genişlemeye neden olmaktadır (Pandey vd., 2003).

Kireçtaşı ikame oranı % 5 olan çimentolarda hidrasyon ısısının, hidrasyonun ilk zamanlarındaki gelişimi sadece portland çimentosu ile üretilen örneklere göre daha hızlıdır. İkamenin basınç dayanımına doğrudan bir katkısı bulunmamaktadır. Yalnızca dolgu yapıcı vazife görür. Puzolanik bir özelliğinin olmadığı kabul edilmektedir (Tosun vd., 2009).

e) Diyatomit: Su yosunları sınıfından tek hücreli mikroskobik alglerin fosilleşmiş silisli kavkılarında meydana gelmiş bir çökeldir. Diyatomit toprağı veya kizelgur olarak da bilinen bu malzeme, volkanik bölgelere yakın, tatlı ve tuzlu göl veya deniz sularında yaşayan tek hücreli, mikroskobik, silis yapıli çift karapaslı esmer bir yosun çeşidi olan diyatomelerin ölmesi ve silisli kabukların bir araya toplanması sonucunda meydana gelen bir mineral olarak da tanımlanmaktadır. Diyatomit, hem öğütülmeden hem de öğütüldükten sonra puzolanik özellik göstermektedir (Aruntaş, 1996).

f) Pişirilmiş kil ve şeyl: Büyük miktarda silis ve alüminde oluşun kil ve şeyl mineralleri, kristal yapıya sahiptirler. Doğal yapıları itibariyle puzolanik özellik göstermemektedirler. Ancak bir-iki saat kadar 700-900 °C civarında sıcaklığa tabi tutulduklarında, bu malzemelerin düzenli kristal yapısı bozulmakta ve yarı amorf veya düzensiz alümino silisli bir yapı elde edilmektedir. Böylece puzolanik malzeme durumuna gelmektedirler (Ün, 2007). Geçmiş yıllarda tuğlanın veya kiremitlerin öğütülmesiyle 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 (Erdoğan, 2003).

1.4 Doğal Puzolanların Kimsayal Kompozisyonları

Çizelge 1.4’de bazı doğal puzolanlarda yer alan oksit miktarları verilmiştir (Ramachandran, 1995). Bu çizelgeden de anlaşılacağı gibi, doğal puzolanların yapısını oluşturan ana oksitler Si_2O , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 ’dür. Killerde ise bu oksitlerin haricinde % 20 oranında CaO da bulunmaktadır.

Çizelge 1.4. Bazı doğal puzolanlardaki oksitlerin miktarı (%) (Ramachandran, 1995)

Özellik	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_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
Diatomitli toprak	86,0	2,3	1,8	-	0,6	0,4
Pişirilmiş kil	42,2	16,1	7,0	21,8	1,9	1,3

1.5 Doğal Puzolanların Beton Katkı Maddesi Olarak Kullanabilirliğine Dair Standartlarda Belirtilen Sınır Değerler

Doğal puzolanların beton yapımında uygun bir katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için sahip olmaları gereken fiziksel ve kimyasal özelliklere dair sınır değerler TS 25 ve ASTM C 618 nolu standartlarda belirtilmektedir. Çizelge 1.5 de görüldüğü gibi hem Türk (TS EN 450) hem de ASTM standartlarında, doğal puzolanların silisyum oksit, alüminyum ve demir oksitlerin toplam oranı % 70 olması gerektiği belirtilirken, zararlı

bileşikler olarak bilinen SO₃, MgO ve alkalilere ise benzer oranlarda sınırlama getirilmedi.

Çizelge 1.5. Doğal puzolanların katkı malzemesi olarak kullanabilmeleri için gerekli fiziksel değerler

Özellik	TS 25	ASTM C 618
İncelik: 45 µm kalan, maks.%	-	34
Dayanım Aktivite İndeksi: min.%, 7 günlük 28 günlük	- 70	75 75
Su İhtiyacı: Kontrol numunesi kıyasla, mak.%	-	115

Çizelge 1.6. Doğal puzolanların katkı malzemesi olarak kullanabilmeleri için gerekli kimyasal değerler

Özellik	TS 25	ASTM C 618
Si ₂ O+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

1.6 Puzolanik Reaksiyon

Puzolanların kompozisyonu büyük ölçüde silis ve alüminden oluşmaktadır. İnce taneli durumdaki puzolanlar, söndürülmüş kireç ve suyla birleştirildiğinde, bu malzemeler arasında birtakım kimyasal reaksiyonlar gerçekleşmektedir. Kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar, aynen portland çimentosunun hidrasyonunda olduğu gibi hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinin oluşmasına yol açmaktadır. Nemli ortamda, ince öğütülmüş puzolanın silikası ile kalsiyum hidroksit arasında oluşan kimyasal reaksiyon basitçe aşağıdaki gibi gösterilebilir (Erdoğan, 2003).

$CH+S+H \pm C-S-H$ (kalsiyum-silica-hidrat) Bu reaksiyon çok yavaş bir reaksiyondur. Burada, $C=CaO$, $H=H_2O$, $S=SiO_2$ 'tir.

1.7 Puzolanik Aktivite

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 (Mazsazza, 1989).

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

- Yüksek SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 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 hidratasyon sonunda çözeltide oluşan $Ca(OH)_2$ 'i saptamaya dayanmaktadır. Puzolanik maddeleri değerlendirmenin bir başka kriteri de, puzolan içeren çimento pastalarındaki özgül yüzeyin artış hızını ölçmekle gerçekleştirilir. Değişik kalsiyum hidroksit-emme hızlarına, benzer özgül yüzey artış hızları karşılık gelir (Mazsazza,1989).

1.8 Önceki İncelemeler

Bu bölümde çalışma konusuyla ilgili, başlıca ulusal ve uluslararası çalışmalara ana hatlarıyla değinilmiştir.

Stuart vd. (1980), betondaki portland çimentosu ile aynı incelikte herhangi bir puzolan ikamesiyle betonun işlenebilirliği genel olarak fazla değişmez. Doğal puzolanlı harçlar üzerinde yapılan bir çalışmada, doğal puzolanların portland çimentosu yerine bir miktar

kullanıldıklarında harçların işlenebilirliğini, düşük mertebelerde azalttığı tespit edilmiştir.

Rudolf (1984), doğal puzolanlar, ekseriyet genç volkanik kayalardır. Yapay puzolanlar, kömürlü güç santralleri tarafından üretilen kül içermektedir.

Cook (1986), puzolanlar, “kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık değeri olan, fakat ince taneli durumdayken, sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde, hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özeliği kazanan silikalı ve alüminalı malzemeler” olarak tanımlanmaktadır.

Massazza (1989), puzolanların portland çimentolarına ilave edilmesi erken yaşlarda beton dayanımını düşürür. İlave edilen puzolanın tipi ve miktarı ile ilgili olarak, son dayanım saf portland çimentosununkini aşar.

Aruntaş (1996), bilindiği gibi çimento, beton üretiminde kullanılan en pahalı bileşen konumdadır. Çimentoların teknik özellikleri ve miktarı, betonun performansına ve ekonomisine etki etmektedir. Bu yüzden puzolanik malzemeler, betonun maliyetini azaltmak ve çeşitli özelliklerini iyileştirmek amacıyla ya doğrudan katkı olarak ya da çimentonun bir kısmını ikame etmek üzere betona katılmaktadır.

Hewlet (1998), donma - çözülme döngülerine karşı betonda dayanıklılık sağlamak için betona hava sürüklenmesi en kabul görmüş uygulamadır. Betona hava sürüklenmesi halinde betonların dayanımları aynı olmak kaydıyla, betonda doğal puzolan, uçucu kül ya da mikrosilika kullanımının portland çimentosu kullanımıyla donma-çözülme dayanıklılığı açısından olumsuz etkileri olmadığı belirtilmiştir Çimentoya alışlageldik dozajlarda puzolan ilavesiyle harçlardaki kuruma büzülmesinin küçük bir miktar arttığı söylenebilir.

Sabir vd. (2001), doğal puzolanlar ince öğütülme yetenekleri sayesinde çimento hamurundaki mikro boşluklara kolayca girmekte ve çimento hamurunun iskelet yapısını değiştirerek dayanıklılığını artırmaktadırlar.

Vu vd. (2001), doğal puzolanlar, çimentonun toplam özgül yüzeyini artırdıkları için su ihtiyacını da artırabilmektedirler.

Uzal vd. (2003), çimento ve beton sistemlerine doğal puzolanların dahil edilmesi, betona işlenebilirlik, geçirimsizlik gibi özelliklerini geliştirmekte, alkali silika reaksiyonu ve sülfat etkisi gibi kimyasal dış etmenlere karşı dayanıklılığını artırmaktadır.

Erdoğan (2003), doğal puzolanlar; doğada bulunan volkanik küller, volkanik tüfler, volkanik camlar, ısıtılmış işlem görmüş killer ve şeyler ve diatomlar bu grup içerisindeki puzolanlardır. Yapay puzolanlar; bunlar endüstriyel yan ürünlerdir. Uçucu küller, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu, yapay puzolanlardır.

Taşdemir (2003), 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.

Targan vd. (2003), gereğinden fazla ince öğütülmüş puzolan malzeme içeren çimentoların, portland çimentosu taneciklerinin hidrasyon neticesinde birbirinden fazlaca uzaklaşmaları sonucu, basınç dayanımların da düşüşüne sebep olabileceğini de bildirmektedir.

Özcan (2005), puzolanik aktivitesi yüksek olan mineral katkı maddeleri, boşluk yapısını iyileştirerek daha yoğun bir bağlayıcı hamurun oluşmasını sağlarlar ve agrega-hamur ara yüzeyindeki aderansın artması ile yüksek mukavemetlere erişilmesi mümkün olabilmektedir.

Yıldız (2006), doğal puzolanlar; Piroklastik kayalar (Volkan tüfleri, diatomit, tras, killi maddeler ve zeolitli maddeler vb.), değişik orijinli maddeler (beyaz İtalyan toprakları) ve kırıntı taşlar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tip puzolanik maddeler, öğütülerek kullanıldığı gibi bazıları doğal olarak da kullanılmaktadır.

Subaşı vd. (2008), çimento içerisine puzolanik malzeme eklenmesinin hidrasyon ısısını düşürmesi, yüksek hedef dayanımı ve düşük permeabilite sağlaması, alkali silika reaksiyonunu ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi birçok yararlar sağladığı bilinmektedir.

Uzal vd. (2016) yüksek miktarda doğal puzolan içeren çimentolara nanotanecik ilavesinin erken yaşlardaki Ca(OH)_2 miktarında önemli bir değişiklik yapmadığı, ancak

geç yařlarda nanotaneçiklerin puzolanik reaksiyonu sonucunda Ca(OH)_2 miktarını dūřürdüęü tespit edilmiřtir.

BÖLÜM II

MATERYAL METOT

Bu araştırma kapsamında; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları yapılmıştır. Araştırmalara literatür derlemesi ile başlanmış olup, yapılan çalışmalara, aşağıda başlıklar halinde değinilmiştir.

2.1 Büro Çalışmaları

Büro çalışmalarına 2015 yılı başından itibaren araştırma konusu ile ilgili literatür derlemeleriyle başlanmıştır. Yapılan analizler ve deneylerden elde edilen bütün veriler, bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

2.2 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları ve örnek derlenmesi, 2015 yılında yoğun saha çalışmaları şeklinde gerçekleştirilecektir. Ticari olarak işletilmekte olan veya kolayca erişilebilir rezervlerden 12 volkanik kayaç, 6 pomza ve 5 zeolit örneği olmak üzere toplam 24 örnek doğrudan rezervden alınmak suretiyle temin edilmiştir. Örnekleme aşamasında örneklerin jeolojik olarak ayrışmamış kesimden alınmasına dikkat edilmiştir. Zeolit, tuf, ignimbirit ve pomza örneklerinin alındığı ocaklardan taze blok örnekler derlenmiştir. Farklı tür mineral malzemelerin kullanılmasındaki temel amaç doğal malzemelerin kimyasal kompozisyonu ve mineralojik yapısının basınç dayanımındaki etkileşiminin rolünü ortaya çıkarmaktır.

2.3 Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları, araziden derlenen örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.1) Alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilecek laboratuvar çalışmaları, başlıca; petrografik incelemeler, kimyasal analizlerin belirlenmesi şeklinde yürütülmüştür.

Blok boyutundaki malzeme kırıcıdan geçirilerek boyut küçültme işlemine tabi tutulmuştur. Alınan örneklerin kimyasal ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesi için toz örnekler hazırlanmıştır. Söz konusu analizler için, kirlilik oluşmamasına özellikle dikkat edilerek agat havan kullanılarak yeter miktarda örnekler öğütülmüştür. Daha

sonra bu toz örneklerin kimyasal kompozisyonunu tespit etmek üzere elementel analizler yaptırılmıştır.



Şekil 2.1. Araziden örnekleme yapılmış bazı doğal puzolanlardan görünüm

2.3.1 Yayılma tablası

Bu deney akıcı ve çok akıcı beton karışımlarının işlenebilme özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Deneyin ilk aşamasında ölçüleri belirli tepesi kesik koni şeklindeki bir kalıp içine iki eşit tabaka halinde ve her tabakası 15 kez özel bir çubukla şişlenerek standart olarak taze beton doldurulur. Alet, 70x70 cm ebatlarında, 16 kg ağırlığında ve BS 1881-105'e uygun olmalıdır. Kap kaldırıldıktan sonra bir kenarı menteşeli diğer kenarı ancak belirli bir yüksekliğe kalkmasına izin verilen tabla 15 kez düşürülür. Bu şekilde yayılan betonun çapı ölçülür. Deneyin 400 ila 600 mm yayılma veren betonlar için uygun olduğu düşünülmektedir (Neville, 1996).



Şekil 2.2. Yayılma tablası deneyinin yapım aşamasından görünüm

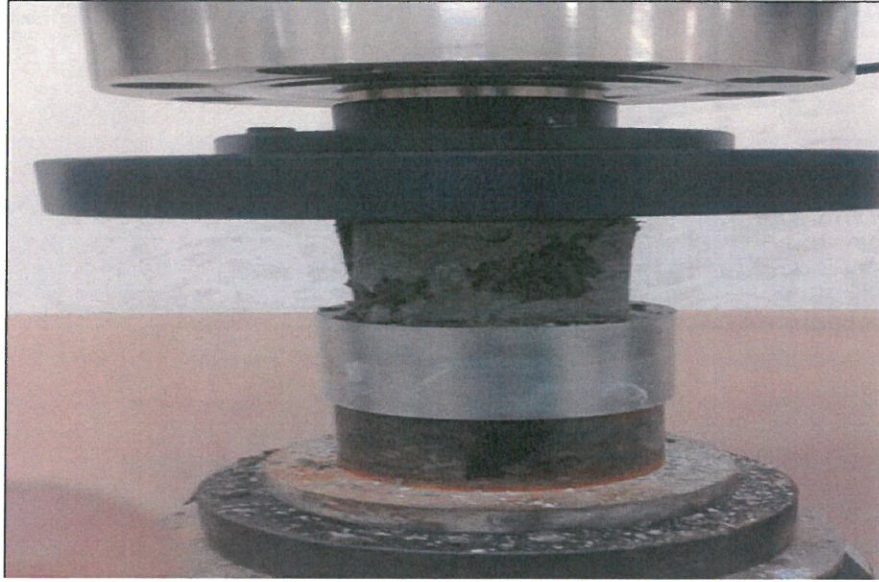
2.3.2 Harç dayanımı

ASTM C 311'e göre hazırlanan referans harç numunesi 500 gram Portland çimentosu, 1375 gram standart kum ve 242 ml su kullanılarak hazırlanmıştır. Dayanım aktivite indeksi tespit edilecek her bir mineral katkı malzemesi için hazırlanan test harçları ise 400 gram Portland çimentosu, 100 g mineral katkı, 1375 gram standart kum içermektedir. Test harçlarına, referans harç ile eşit akma (flow) değerine sahip olacak kadar su ilave edilmiştir. ASTM C 311'de test harcı için kullanılan su miktarının referans harç için kullanılan su miktarına (242 ml) yüzde olarak oranı, mineral katkı malzemesinin su ihtiyacı olarak tanımlanmıştır. Aynı standartta, dayanım aktivite indeksi ise; belli bir yaştaki test numunelerinin basınç dayanımının, aynı yaştaki referans harcının basınç dayanımına yüzdesel olarak oranı şeklinde tanımlanmaktadır.

Hazırlanan numuneler üzerinde (Şekil 2.3) 7-28 günlük harç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla çimento presi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan küp numune sınırlı sayıda olması nedeniyle, her bir deney 2 küp numune örneği üzerinde tekrar edilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3. Küp numunelerin kalıplara dökülme işleminden görünüm



Şekil 2.4. Numuneler üzerinde harç dayanımlarının belirlenmesi aşamasından görünüm

2.3.3 Böhme yüzeysel aşınma deneyi

Bu deney, kayaç ve beton yüzeylerinin aşındırıcı maddelerle sürtünmesiyle oluşan azalmaya, aşınma karşı dayanımını belirlemek amacıyla önerilen bir deneydir. Bilindiği gibi aşınma yavaş tempoda olan fiziksel ve mekanik bir olaydır. Bu nedenle aşınma kaybı özellikle yoğun yaya ve araç trafiğinin olduğu yer döşemelerinde kullanılan malzemeler için son derece önemlidir. Deney cihazında standart olarak $30 \text{ devir/dk} \pm 1$

devir/dk hızla dönmesini sağlayan yaklaşık 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırma diski bulunmaktadır (Şekil 2.5).

Aşınma kaybı belirlenecek numuneye dönen disk üzerinde belirli bir kuvvet uygulayan ağırlık ve yüzey aşındırıcı olarak zımpara kullanılmaktadır. Ayrıca disk her 22 devirde cihazı otomatik olarak durduracak tertibata ve devir sayısını gösteren bir numaratóre sahiptir. Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi için kenar uzunluğu 50 mm olan küp şeklindeki harç örnekleri kullanılmıştır.



Şekil 2.5. Böhme yüzeysel aşındırma deney ekipmanı

2.3.4 Kapiler su emme deneyi

Hazırlanan küp şeklindeki harç numunelerinin kapiler su emme potansiyellerinin belirlemek amacıyla söz konusu deney yapılmıştır ve kapilarite katsayısı hesaplanmıştır. Deney TS EN 1925 standardına göre 2 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Küp numunenin yüzeyi ile 2-3 mm temas eden su, malzeme bünyesinde yukarı doğru hareket etmektedir. Bu olayın gerçekleşebilmesi için malzemenin kılcal boşluklara sahip olması gerekmektedir. Kılcal boşluklu cisimlerin bir yüzeyi suya değerse, su zamanla cisim içinde yükselmeye başlamaktadır. Malzeme içinde yükselen suyun miktarının belirlenmesi esasına dayanmaktadır.

BÖLÜM III

BULGULAR

3.1 İncelenen Birimlerin Jeolojik Özellikleri

3.1.1 Melendiz tüfü

Beekman (1966) tarafından adlandırılmıştır. Gri, sarımsı beyaz renklerde; plajyoklas, piroksen, olivin fenokristallerinin içinde yer aldığı bazik volkanik kayaç parçalarını bağlayan koyu kırmızı, kahve renkli volkanik camdan oluşur. Andezitik lav akıntılarının altında yer alır. Limonitleşme ve silisleşme yaygındır. Mangenez ve kükürt çökelleri kapsar. Kükürt zuhurlarının varlığı, volkanik faaliyette solfator sahasına geçildiğini işaret edebilir. Örnekleme yapılan Melendiz tüflerin sarımsı kül içinde ince ve yer yer iri taneli kırıntılı kayaç parçacıklarının olduğu gözlenmiştir.

3.1.2 Valibaba ignimbiriti

Gri-koyu, gri-siyah-kiremit kırmızısı-hardal sarısı-pembe renkleri sunan birimi Pasquare (1968) İncesu ignimbiriti olarak haritalamıştır. Le Pennec vd., (1994), Temel vd., (1998), Şen vd., (2003) tarafından Valibaba tepe ignimbiriti olarak adlandırmışlardır. Söz konusu birim Aksaray, Niğde, Nevşehir ve Kayseri yörelerinde geniş bir alanda yayılım sunmaktadır. Bölgede ilginç yüzey şekilleri oluşturan, kalın katmanlı ve masif görümlü volkano-sedimenter istif, İç Anadolu Bölgesi piroklastik kayaçları içerisinde en geniş yayılıma sahip ve en fazla kaynaklaşma özelliği gösteren ignimbirittir. Kaynaklaşmanın iyi olduğu kesimleri oldukça serttir. Kaynaklaşmanın iyi olmadığı kesimler ise daha yumuşak olup, kolaylıkla ayrışmaya uğramıştır. Genelde masif görümlü ve çok kalın katmanlıdır (Duran vd., 2010).

Valibaba tepe ignimbiritinin kaynak alanı, Pasquare (1968), Le Pennec vd. (1994), Şen (1997), Kürkçüoğlu vd. (1998), ve Schumacher vd. (2004), tarafından Erciyes stratovolkanının doğu kesiminde yeralan Koçdağ olabileceği belirtilmiştir.

Mineralojik olarak taban, orta ve tavan seviyelerinde plajiyoklaz (oligoklaz, andezin ve nadiren labrador) + piroksen (klinoenstatit) + opak mineraller (manyetit, ilmenit) ve daha az oranda ± kuvars, ± biyotit ve ± amfibol mineralleri görülmektedir. Valibaba

Tepe ignimbiritlerinden K/Ar yöntemiyle yapılan yaş tayinlerinde $2,52 \pm 0,49$ my'lık yaşlar elde edilmiştir (Aydar vd., 2011).

Türkecan vd. (1998) göre; birim gri, koyu gri, sarı, siyah, kiremit kırmızısı ve pembe renklerde, masif görünümlü olup morfolojik olarak İncesu ignimbiritine benzemektedir. Türkecan vd. (1998) göre, petrografik olarak incelenen örneklerde birim hiyaloporfirik ve vitrofirik dokudadır.

3.1.3 Nevşehir pomzası

Bölgenin jeolojik açıdan temelini Kırşehir masifine ait metamorfik kayalar temsil eder. Kapadokya bölgesinin pek çok bölümü, dasitikten bazaltik forma kadar farklı bileşimdeki volkanik kayalardan oluşmaktadır. Nevşehir ili civarında hâkim olan jeolojik yapıyı Neojen birimleri oluşturmaktadır. Bunun dışında Kızılırmak'ın güney bölgesinin jeolojik yapısını bazalt ve Mesozoyik yaşlı tabakalar, ırmağın kuzey bölgesini Oligo-Miyosen jipsli birimler, Eosen filizi, metamorfik seri oluşturmaktadır. Temel konumundaki granitik ve gabro kayaları Kretase yaşlı olup, bölgede Acıgöl, Tilköy ve Kesik bölgesinde gözlenmektedir. Neojen yaşlı karasal sedimanter kayalar genelde kapalı akarsu, göl ve geç volkanik çökellerden oluşmaktadır (Pasquare, 1968).

Stratigrafik açıdan dokuz farklı üyeye ayrılan Ürgüp formasyonu en önemli litolojik birimi oluşturmaktadır. Ürgüp Formasyonun başlıca üyeleri Akkoy, Kavak, Sarımaden Tepe, Cemilköy, Tahar, Gördeles, İncesu Üyesi, Sofular, ve Valibaba tepe olarak belirtilmiştir. Bunlardan Kavak, Zelve, Sofular, Sarımadentepe, Cemilköy, Tahar, ve Gördeles Miyosen dönemini karakterize ederken, Kızılkaya ve Valibabatepe ise Pliyosen dönemini karakterize etmektedir (Aydar vd., 2012).

Güncel çalışmalardan biri olan Aydar, Schmitt, Çubukçu, Akın, Ersoy, Şen, Duncan, Atıcı, (2012) tarafından Kapadokya bölgesinde 10 farklı ignimbirit seviyesi ayırt edilmiş olup, bunlar yaşlıdan gence doğru Kavak, Zelve, Sarımaden Tepe, Sofular, Cemilköy, Tahar, Gördeles, Kızılkaya, Valibaba Tepe, ve Kumtepe ignimbiritlerdir. Bu ignimbirit seviyelerinin büyük bölümü farklı kalınlıklara sahip pomzalı serpinti/döküntü çökellerini de bünyelerinde bulundurmaktadır. İncelemelerin yapıldığı pomzalar, Kumtepe ignimbiriti olarak bilinen formasyondan derlenmiştir.

Kumtepe ignimbiritleri, Kuvaterner yaşlı Acıgöl Volkanizmasının ürünü olan birim, ardışık iki farklı volkanik patlamanın sonucu oluşmuştur. Pleosol ve kül çökelleri ile ayrılan birimler iki farklı şekilde tanımlanmıştır (Aydar vd., 2012).

Alt Acıgöl Tüfü (Alt Kumtepe İgnimbiriti) bir çok akıntı ve kül çökeli ara tabakalı ve lapilli döküntü çökellerinden oluşmaktadır. Üst seviyeler ise yoğun obsidiyen litik malzeme içeren lapilli döküntü çökellerden oluşmaktadır. Genel olarak bakıldığında, Tahar ignimbiritlerinin dışında hemen hemen tüm ignimbirit seviyeleri farklı kalınlık, yapı ve dokuda pomza seviyeleri içermektedir. Özellikle Nevşehir ili ve civarında Çardak civarında yoğunlaşmaktadır. İncelenen pomzalar bu alandan derlenmiştir.

3.1.4 Nevşehir zeolitleri

Kavak ignimbiritleri, Kapadokya bölgesinin en yaşlı piroklastik çökellerinden olup, akarsu ve göl sedimanları ile ara tabakalı bir yapı sunmaktadır. Bölgede toplam 80 km³ hacme sahip olan birim, yaklaşık 2600 km² lik bir alanda gözlenmektedir (Le Pennec vd., 1994).

Kavak ignimbiritleri yapılan son çalışmalarda dört farklı seviye tanımlanmıştır. Çardak çöküntüsünün doğusunda ve kuzeyinde iyi gözlenen birim, bölgede beyazımsı volkanik küllerle başlayıp, pomzalı seviyeler ile devam etmektedir (Kavak 1). Daha sonra Kavak 2 andezitik litik malzemeli seviyeler başlamaktadır. Kavak ve Nar civarında gözlenen bu alt birim Kavak 3 tarafından üzerlenmektedir. Kavak 3 genelde, birden fazla kül matriksli iyi konsolide olmuş pomzaca zengin seviyelerden oluşmaktadır. Kavak 3, sarımsı bej renkli yaklaşık 50 cm kalınlığında pomzadan oluşan Kavak 4 tarafından üzerlenmektedir (Aydar vd., 2012).

Zelve ignimbirit ise bölgede görmeye değer en önemli ignimbirit seviyelerinden biri olup, genelde yapı taşı olarak işletilmiştir. Birim beyaz renkli piroklastik serpinti/döküntü çökelleri ile başlayıp daha sonra kaynaşmış ignimbiritlerle üzerlenen bir yapı sunmaktadır (Aydar vd., 2012).

Üst Miyosen de karasal koşullanan egemen olmalarıyla meydana gelen göllerde oluşan ve tüflerle arakatkılı olarak gözlenen kumtaşı-marn-kiltaşı-kireçtaşı düzeyleri bulunmaktadır. Nevşehir yöresinde, kuzeyde Eğrikuyu-Gülşehir arasında geniş

alanlarda görülen birimin görsel çökelleri, Üst Miyosen yaşlıdır. Bilindiği gibi zeolitler, kıyı ve derin denizel ortamlarda biriken volkanik malzemenin deniz suyu ile kimyasal tepkimesi sonucu oluşmaktadır. İncelenen örnekler Kozaklı ilçesi Karasenir köyünden derlenmiştir.

3.1.5 Gördes formasyonu

Bölgedeki volkano-sedimanter oluşumlar Gördesin kuzeyinde yer alan Kobaklar Volkanizması'ndan kaynaklanan riyolitik, riyo-dasitik püskürüklerin, o dönemde bir sedimantasyon havzası durumundaki Gördes gölüne doğru akması ve depolanması sonucu oluşmuştur (Göktaş, 1996). Zeolitli tüflerin renkleri beyaz, kirli beyaz, krem ve yeşil renkli olarak gözlenmiştir.

3.1.6 Bigadiç formasyonu

Bigadiç yöresinde üst tuf olarak adlandırılan oluşumlarda zeolitleşmenin yaygın olduğu bilinmektedir. Buradaki Neojen yaşlı oluşumlar 1000 m kadar kalınlık gösterirler ve tabandaki Mesozoyik yaşlı ofiyolit karmaşığı üzerinde uyumsuz olarak yer alırlar. Ofiyolit karmaşığı metamorfite, rekristalize kireçtaşları ve serpantinlerden oluşur. Neojen yaşlı oluşumlar ise tabandan itibaren temel volkanitleri, kireçtaşları, alt tüfler, alt borat formasyonu, üst tüfler ve üst borat formasyonu şeklinde bir dizilim gösterirler (Gündoğdu, 1982; Ercan vd., 1984; Baysal vd., 1988).

Üst tüfler 250 m kalınlıktadır. Riyolitik bileşimde olan bu tüfler üstte ince taneli camsı toz tüflerinden, altta ise kaba taneli camsı kül tüflerinden ibarettir. Her iki oluşumda büyük ölçüde zeolitleşme görülür. Zeolitleşme oranı ortalama % 80 klinoptilolittir. Bu değer yer yer % 100'lere ulaşır (Göktekin, 1989). Burada rastlanan klinoptilolit kalsiyumca zengin türdür.

3.2 Örneklerin Kimyasal Kompozisyonu

Alınan örneklerin kimyasal ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesi için toz örnekler hazırlanmıştır. Söz konusu analizler için, kontaminasyon oluşmamasına özellikle dikkat edilerek agat havan kullanılarak yeter miktarda örnekler öğütülmüştür. Daha sonra bu toz örneklerin kimyasal kompozisyonunu tespit etmek üzere Kanada ACME Laboratuvarı Türkiye ofisinden hizmet alımı yoluyla ICP-AES yöntemine göre

elementel analizler yaptırılmıştır. Örneklerin ICP-AES analizleri sonucunda tespit edilen oksit kompozisyonları zeolit örnekleri, pomza örnekleri ve volkanik kayaç/tüf örnekleri için sırasıyla Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’de gösterilmiştir. Söz konusu veriler bursiyer olarak görev aldığım Tübitak projesi kapsamında yapılan çalışmalardan alınmıştır.

Çizelge 3.1. Zeolit örneklerinin ana element oksit değerleri

Bileşen	Örneklerin Oksit Kompozisyonu, %				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
SiO ₂	67,09	66,85	64,71	69,08	67,65
Al ₂ O ₃	11,56	12,24	12,58	11,41	10,97
ΣFe ₂ O ₃	0,90	0,78	1,58	0,98	1,02
MgO	0,61	0,58	0,91	0,68	1,01
CaO	2,52	2,08	2,26	1,91	3,24
Na ₂ O	3,57	3,72	3,29	0,66	0,17
K ₂ O	0,72	0,96	1,13	4,05	2,40
TiO ₂	0,19	0,19	0,23	0,07	0,07
P ₂ O ₅	0,06	0,05	0,06	0,02	0,01
MnO	0,00	0,00	0,01	0,02	<0,01
Cr ₂ O ₃	0,002	0,002	0,003	0,007	0,003
K,K ⁺ (1000°C)	12,5	12,2	12,7	11,0	12,9
Toplam	100,00	99,99	99,99	100,00	99,97
TOT/C	0,32	0,17	0,18	0,25	0,10
TOT/S	0,03	0,02	0,01	<0,02	<0,02

Zeolit örneklerinin Çizelge 3.1’de görülen kimyasal kompozisyonları karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde örneklerin benzer miktarlarda SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ içerdikleri, ancak majör katyonlar açısından bakıldığında Z1-Z3 örneklerinin Na₂O ağırlıklı, Z4 örneğinin K₂O ağırlıklı ve Z5 örneğinin CaO ağırlıklı olduğu tespit edilmiştir. Bu durum daha sonra aşağıda bahsedilecek XRD analizlerinden klinoptilolit türü zeolit olduğu anlaşılan örneklerin Na-Klinoptilolit, K-Klinoptilolit ve Ca-Klinoptilolit türlerinde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.2. Pomza örneklerinin ana element oksit değerleri

Bileşen	Örneklerin Oksit Kompozisyonu, %					
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
SiO ₂	72,35	71,97	72,30	72,44	72,66	72,62
Al ₂ O ₃	12,64	12,76	12,78	12,76	12,70	12,76
ΣFe ₂ O ₃	1,07	1,12	1,10	1,04	1,10	1,09
MgO	0,09	0,11	0,10	0,08	0,12	0,10
CaO	0,84	0,83	0,80	0,77	0,82	0,82
Na ₂ O	3,78	3,68	3,80	3,76	3,79	3,77
K ₂ O	4,32	4,44	4,37	4,47	4,33	4,46
TiO ₂	0,08	0,09	0,08	0,8	0,08	0,08
P ₂ O ₅	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MnO	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cr ₂ O ₃	0,002	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000
K.K* (1000°C)	4,7	4,9	4,6	4,5	4,2	4,2
Toplam	100,02	100,01	100,01	100,01	100,01	100,01
TOT/C	0,07	0,03	0,04	0,03	0,03	0,06
TOT/S	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00

Çizelge 3.2’de oksit kompozisyonları verilen Nevşehir yöresi pomzalarında arazide örnekleme çalışması aşamasında saf pomza örnekleri ile aynı alandan nispeten ocağın jeolojik konumu ve durumuna uygun olarak karışık örnekleme yapılmıştır. Bu ayrıma dikkat edilmesine karşın kimyasal özellikleri birbirine çok benzeyen veriler elde edilmiştir. Pomza örneklerinin Çizelge 3.1’de verilen zeolit örnekleri ile karşılaştırıldıklarında daha yüksek miktarda SiO₂ ve benzer miktarda Al₂O₃ içerdikleri, bununla birlikte pomza örneklerinin daha yüksek miktarlarda Na₂O ve K₂O içerdikleri tespit edilmiştir.

Niğde yöresine ait Tepeköy bölgesinden derlenen tüf örneklerinde hidrotermal alterasyon etkileri nedeniyle alanda sıkça dokusal ve renk değişimlerine göre örnekleme yapılmış ve bu değişimin kimyasal analizlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında farklılıkların oldukları belirlenmiştir (Çizelge 3.3). Özellikle V2 ve V5 örnekleri gerek SiO₂ ve kükürt içerikleri açısından diğer örneklerle nazaran oldukça farklılıklar sunmaktadır. V1 ve V6 örneklerinde SiO₂ içerikleri diğer tüflere göre daha düşük değerlerdedir. Tepeköy bölgesinden temin edilen V1-V6 volkanik tüf örneklerinin hem zeolit ve pomza örnekleriyle hem de diğer volkanik malzeme

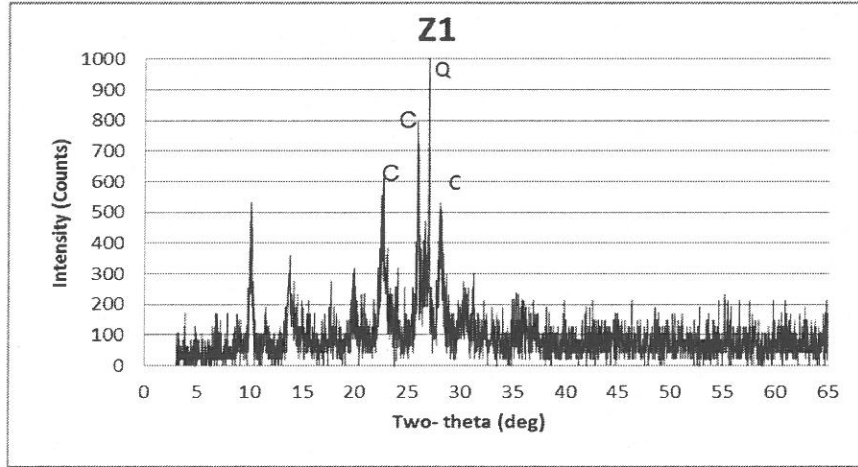
örnekleriyle (V7-V12) karşılaştırıldığında, oldukça yüksek miktarlarda kükürt (S) içerdikleri ve buna bağlı olarak kızdırma kaybı (K.K) değerlerinin de diğerlerinden oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. V9 nolu ignimbirit örneğinin ise diğer tüm volkanik kayalardan daha yüksek miktarda SiO₂ içermektedir.

Çizelge 3.3. Volkanik tüf ve ignimbirit örneklerinin ana element oksit değerleri

Bileşen	Örneklerin Oksit Kompozisyonu, %											
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12
SiO ₂	56,93	79,93	67,48	69,48	61,53	58,28	63,01	65,82	72,96	67,02	68,43	66,33
Al ₂ O ₃	14,32	5,78	10,60	10,02	12,43	14,77	15,35	14,53	14,11	14,56	14,75	15,25
ΣFe ₂ O ₃	2,26	2,93	2,88	0,78	7,31	0,92	3,8	3,41	2,05	4,03	4,03	4,60
MgO	0,15	0,05	0,30	0,09	1,26	0,34	0,85	0,62	0,14	0,48	0,77	0,95
CaO	0,45	0,19	0,31	0,16	0,94	0,35	4,08	2,18	1,14	2,47	2,13	2,66
Na ₂ O	0,86	0,25	0,37	0,51	0,21	0,97	4,3	3,71	4,37	4,51	4,71	4,60
K ₂ O	2,51	0,92	1,75	1,84	0,80	2,30	2,93	3,61	4,14	3,60	3,74	3,31
TiO ₂	1,18	0,99	1,05	0,91	0,94	1,01	0,71	0,52	0,19	0,64	0,55	0,69
P ₂ O ₅	0,25	0,17	0,19	0,09	0,06	0,31	0,2	0,14	0,04	0,17	0,11	0,14
MnO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,07	0,07	0,03	0,03	0,07	0,08
Cr ₂ O ₃	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,03	0,011
K.K*	20,8	8,6	14,9	16,0	14,4	20,6	4,5	5,2	0,7	2,3	0,5	1,2
Top.	99,98	99,99	99,98	100	99,95	99,97	99,99	99,99	100	99,99	99,98	99,97
TOT/C	0,11	0,06	0,07	0,10	0,06	0,10	0,36	0,06	0,05	0,15	<0,02	0,02
TOT/S	5,28	1,80	3,46	3,58	0,09	5,09	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	0,02

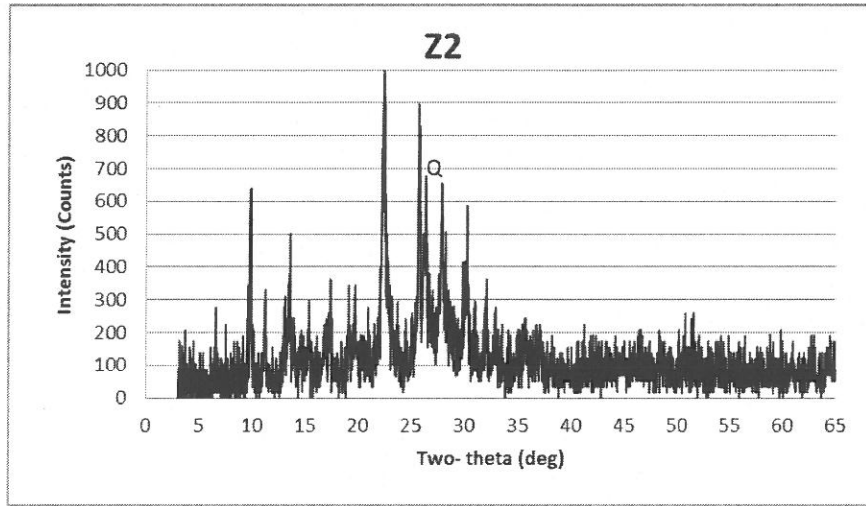
3.3 Örneklerin XRD Analizleri

Kimyasal kompozisyon analizinde kullanılan toz haline getirilmiş aynı örneklere ait XRD analizleri, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş, XRD desenleri tanımlanabilen fazlarla birlikte Şekil 3.1 Şekil 3.23'de gösterilmiştir. Örneklerin XRD analizleri için de bursiyer olarak görev aldığım Tübitak projesi kapsamında yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır.



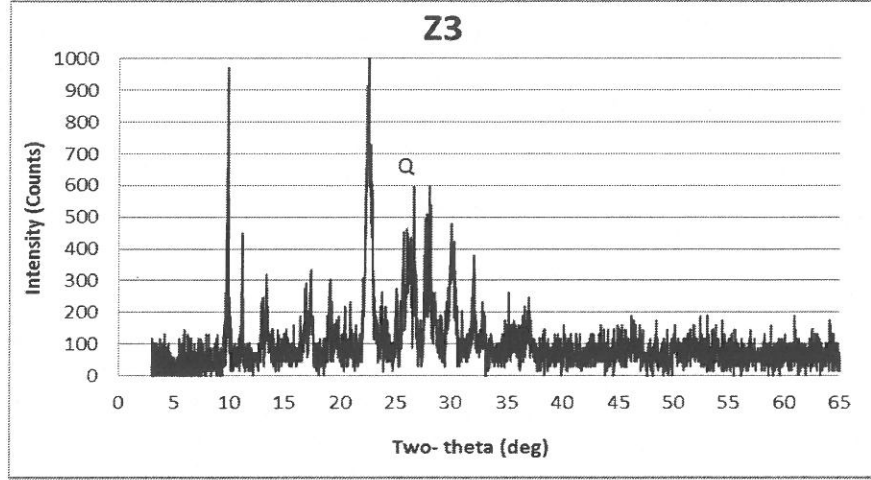
Şekil 3.1. Z1 zeolit örneği XRD deseni (C: Klinoptilolite, Q:Kuvars)

Değerlendirme: Z1 örneğinin başlıca klinotillolit türü zeolit mineralinden oluştuğu, neredeyse tamamen kristal yapı olduğu, klinoptilolit dışında safsızlık olarak Kuvars içerdiği gözlenmiştir.



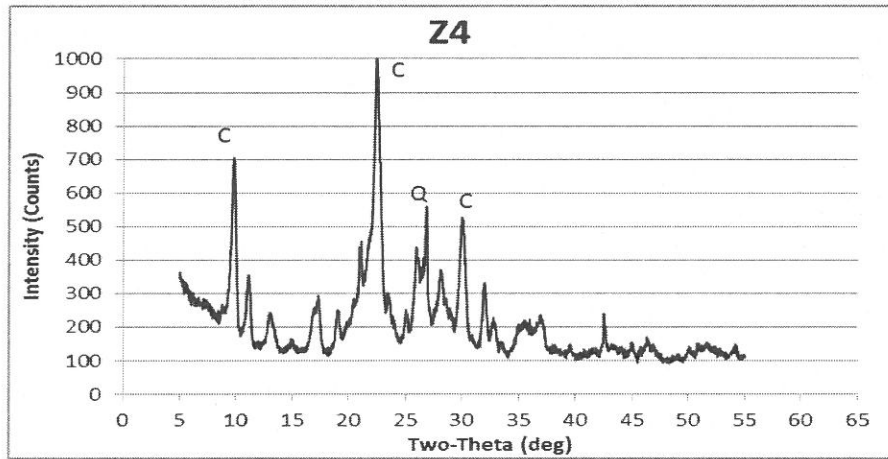
Şekil 3.2. Z2 zeolit örneği XRD deseni ve tanımlanabilmiş fazlar (Q:Kuvars)

Değerlendirme: Z2 örneğinin, Z1'e çok benzer yer ve şekillerde de pikler göstererek klinotillolit türü zeolit mineralinden oluştuğu, desen tabanının Z1'e göre bir miktar daha yükseliş gösterdiği ve bundan dolayı az bir miktarda amorf faz içerdiği, klinoptilolit dışında safsızlık olarak Kuvars gözlenmiştir.



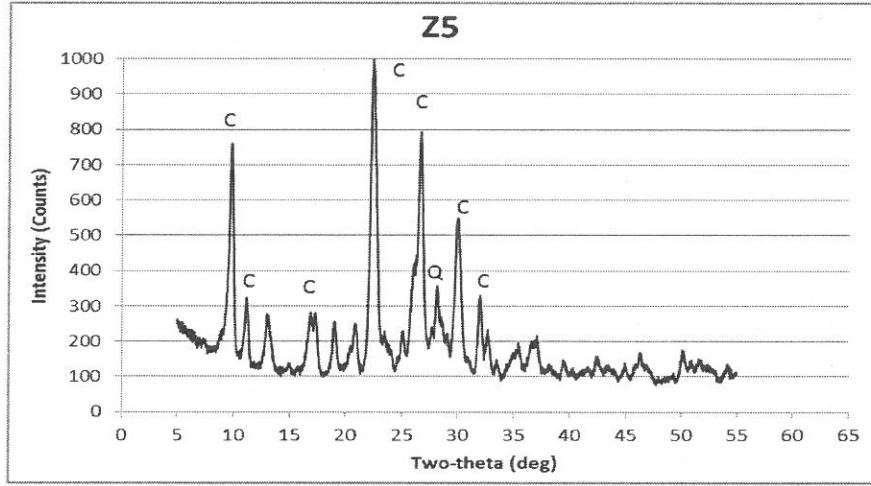
Şekil 3.3. Z3 zeolit örneği XRD deseni ve tanımlanabilmiş fazlar (Q:Kuvars)

Değerlendirme: Z3 örneğini aynı bölgeden alınmış Z1 ve Z2 örneklerine benzer yerlerde pikler göstererek klinoptilolit türü zeolit mineralinden oluştuğu, desen tabanının Z2'e benzer şekilde bir miktar yükseliş gösterdiği ve bundan dolayı az bir miktarda amorf faz içerdiği, klinoptilolit dışında safsızlık olarak kuvars içerdiği gözlenmiştir.



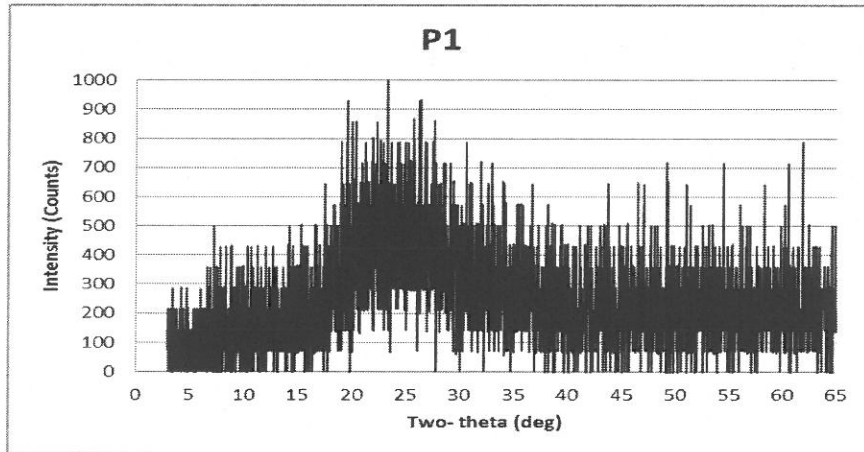
Şekil 3.4. Z4 zeolit örneği XRD deseni ve tanımlanmış fazlar (C:Klioptilolit, Q:Kuvars)

Değerlendirme: Z4 örneğinin başlıca klinoptilolit fazından oluşmakla birlikte safsızlık olarak Kuvars minerali de içerdiği, ölçüm açısı artışıyla desen tabanında belirgin bir artış olmadığından tespit edilebilir düzeyde camsı faz içermediği gözlenmiştir.



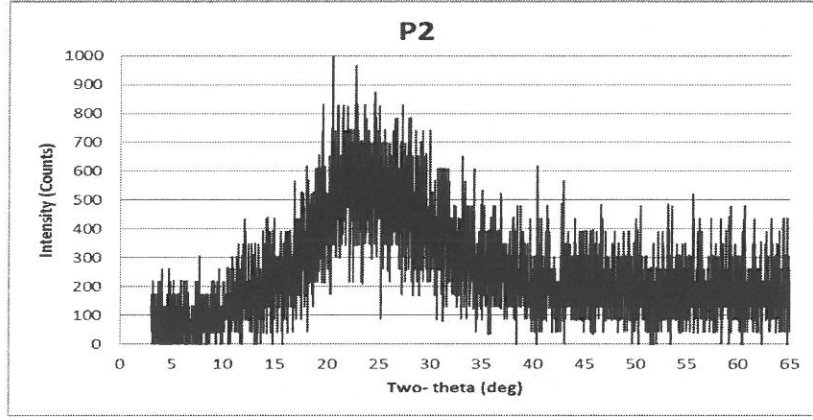
Şekil 3.5. Z5 zeolit örneği XRD deseni ve tanımlanmış fazlar (C:Klioptilolit, Q:Kuvars)

Değerlendirme: Z5 örneğinin Z4 örneğine çok benzer bir mineralojik kompozisyon gösterdiği, başlıca klinoptilolit fazından oluşmakla birlikte safsızlık olarak kuvars minerali de içerdiği, ölçüm açısı artışıyla desen tabanında belirgin bir artış olmasından tespit edilebilir düzeyde camsı faz içermediği gözlenmiştir.



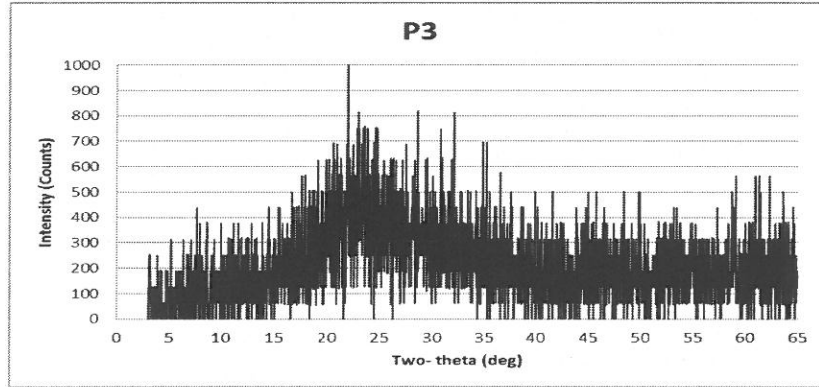
Şekil 3.6. P1 pomza örneği XRD deseni

Değerlendirme: P1 pomza örneğinin XRD deseni hiçbir kırınım piki göstermediğinden tamamen amorf yapıdan oluşmakta olduğu, içeriğinde safsızlık teşkil edebilecek herhangi bir kristal faz yer almadığı ve tamamen saf pomza örneği teşkil ettiği gözlenmiştir.



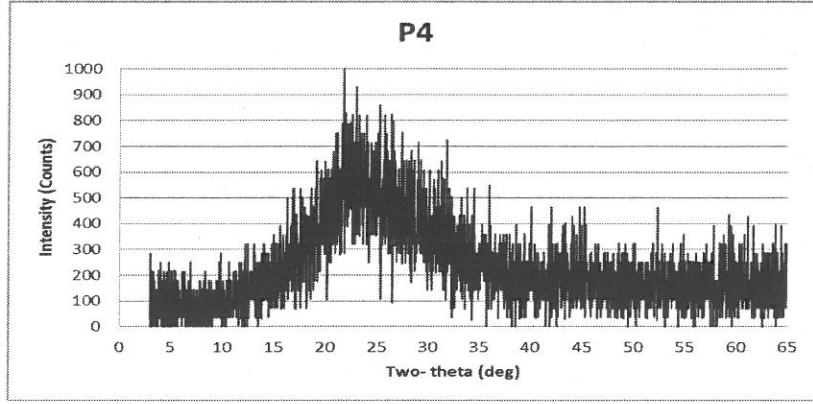
Şekil 3.7. P2 pomza örneğinin XRD deseni

Değerlendirme: P2 pomza örneğinin XRD deseni hiçbir belirgin bir kırınım piki göstermese de, 5-35 derecelik açılar arasında daha belirgin düzeyde sivrilen desen tabanı amorf fazın yanı sıra bir miktar kristal alumino-silikat fazlarının varlığını göstermektedir.



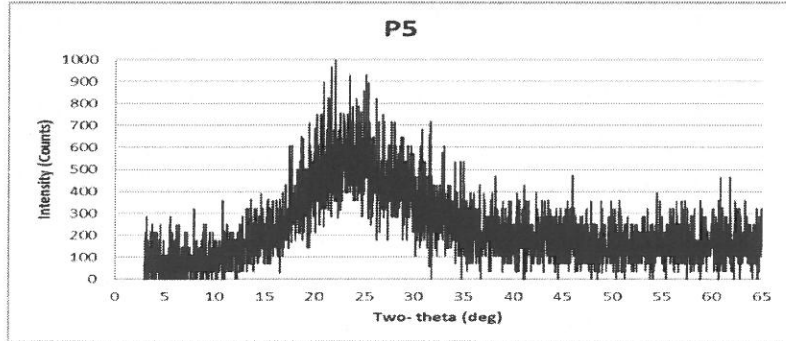
Şekil 3.8. P3 pomza örneğinin XRD deseni

Değerlendirme: P3 pomza örneğinin XRD deseni hiçbir kırınım piki göstermediğinden tamamen amorf yapıdan oluşmakta olduğu, içeriğinde safsızlık teşkil edebilecek herhangi bir kristal faz yer almadığı ve tamamen saf pomza örneği teşkil ettiği gözlenmiştir.



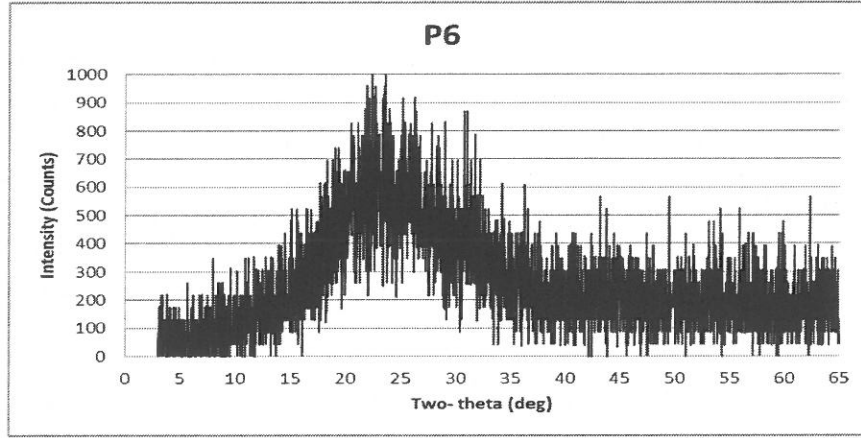
Şekil 3.9. P4 pomza örneğinin XRD deseni

Değerlendirme: P4 pomza örneğinin XRD deseni hiçbir belirgin bir kırınım piki göstermesede 5-35 derecelik açılar arasında daha belirgin düzeyde sivrilen desen tabanı amorf fazın yanı sıra bir miktar kristal alumino-silikat fazlarının varlığını göstermektedir.



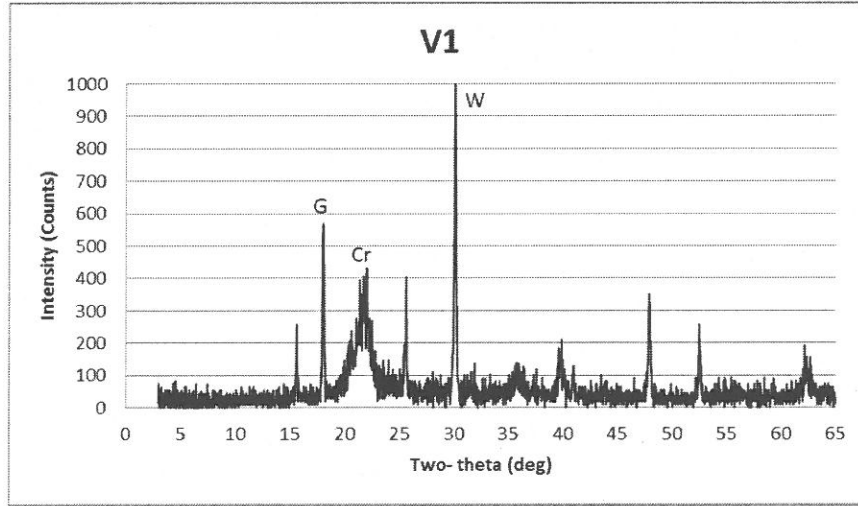
Şekil 3.10. P5 pomza örneğinin XRD deseni

Değerlendirme: P5 pomza örneğinin XRD deseni hiçbir kırınım piki göstermediğinden tamamen amorf yapıdan oluşmakta olduğu, içeriğinde safsızlık teşkil edebilecek herhangi bir kristal faz yer almadığı ve tamamen saf pomza örneği teşkil ettiği gözlenmiştir.



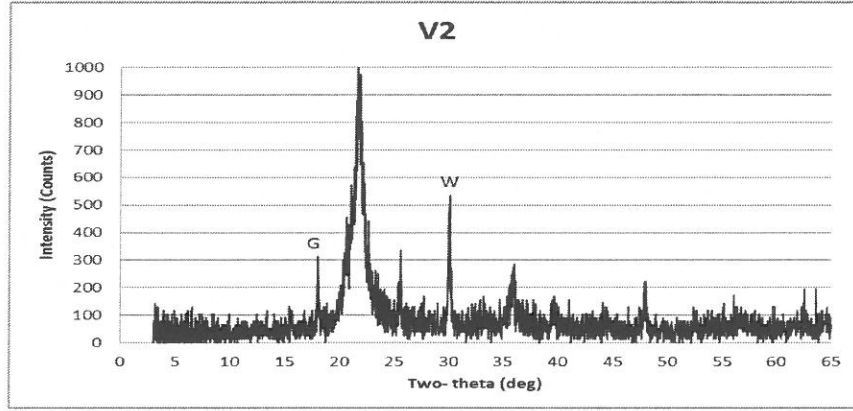
Şekil 3.11. P6 pomza örneğinin XRD deseni

Değerlendirme: P6 pomza örneğinin XRD deseni hiçbir belirgin bir kırınım piki göstermese de 5-35 derecelik açılar arasında daha belirgin düzeyde sivrilen desen tabanı amorf fazın yanı sıra bir miktar kristal alumino-silikat fazının varlığını göstermektedir.



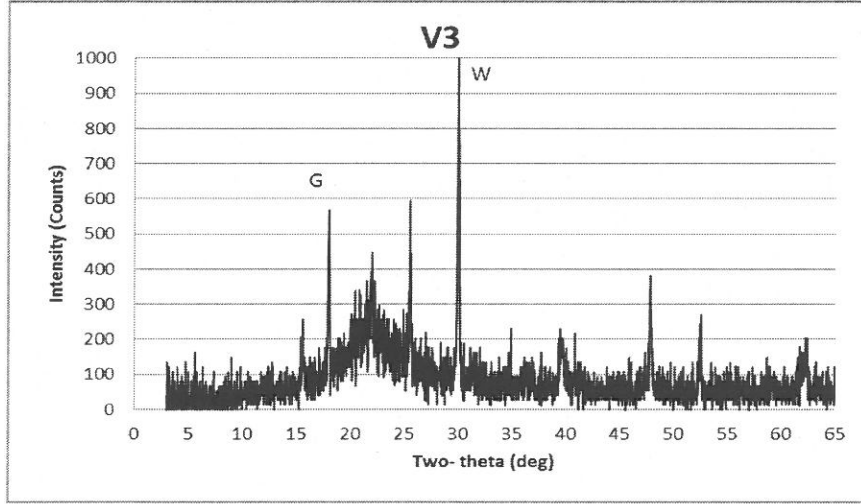
Şekil 3.12. V1 volkanik tuf örneği XRD deseni (Cr: Kristobalit, V: Vollastonit, G: Gibsit)

Değerlendirme: V1 örneğinde bir kalsiyum-silikat minerali olan vollastonitle birlikte bir alüminyum minerali olan gibsit ve bir silikat minerali olan kristobalit kristal fazlar olarak gözlenmiştir. Belirgin bir amorf faz gözlenmemektedir.



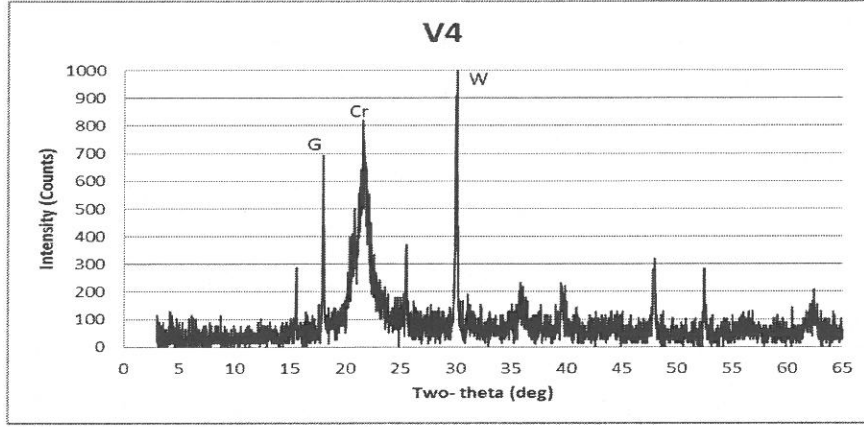
Şekil 3.13. V2 volkanik tüf örneği XRD deseni (Cr: Kristobalit, V: Vollastonit, G: Gibsit)

Değerlendirme: V2 örneğinde bir kalsiyum-silikat minerali olan vollastonitle birlikte bir alüminyum minerali olan gibsit ve bir silikat minerali olan kristobalit kristal fazlar olarak gözlenmiştir. Belirgin bir amorf faz gözlenmemektedir.



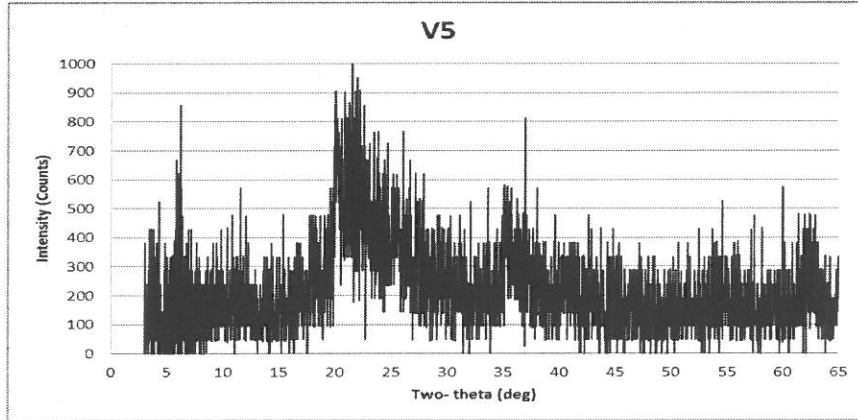
Şekil 3.14. V3 volkanik tüf örneği XRD deseni (V: Vollastonit, G: Gibsit,)

Değerlendirme: V3 örneğinde bir kalsiyum-silikat minerali olan vollastonitle birlikte bir alüminyum minerali olan gibsit kristal fazlar olarak gözlenmiştir. Bunlarla birlikte 20-25 dereceler arasında yükselip alçalan desen tabanı amorf fazın da varlığına işaret etmektedir.



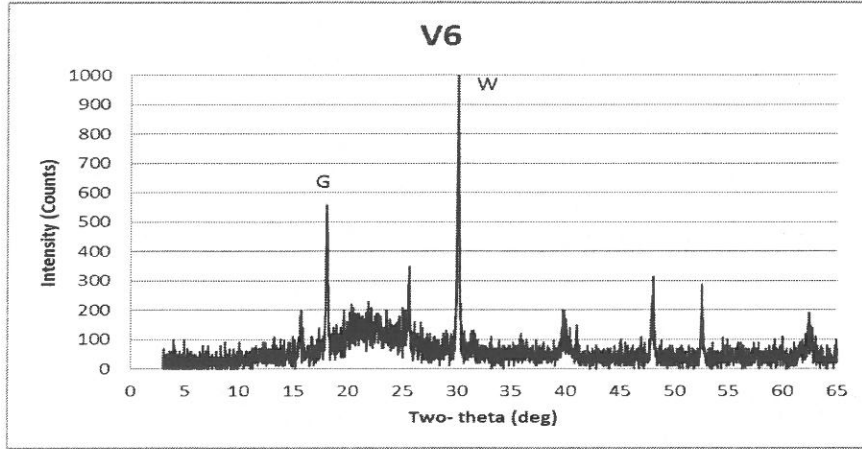
Şekil 3.15. V4 volkanik tuf örneği XRD deseni (Cr: Kristobalit, V: Vollastonit, G: Gibsit)

Değerlendirme: V4 örneğinde bir kalsiyum-silikat minerali olan vollastonit ile birlikte bir alüminyum minerali olan gibsit ve bir silikat minerali olan kristobalit kristal fazlar olarak gözlenmiştir. Belirgin bir amorf faz gözlenmemektedir.



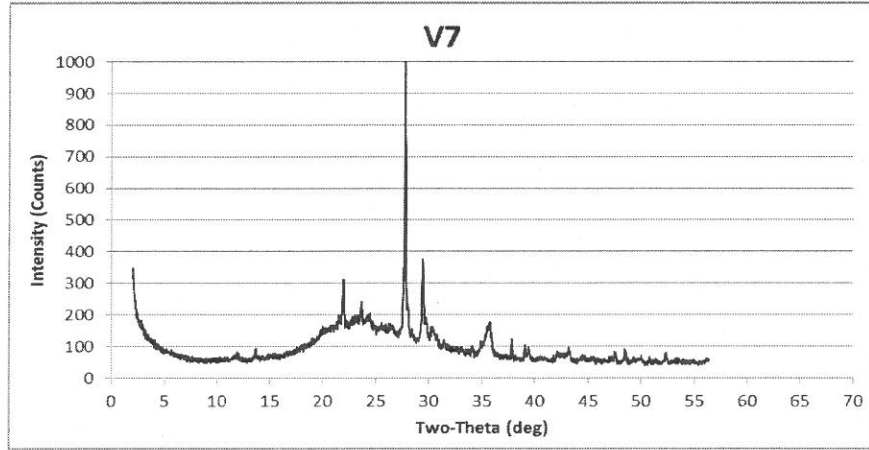
Şekil 3.16. V5 volkanik tuf örneği XRD deseni

Değerlendirme: V5 örneğinin kristal bazı fazlar içerdiği seçilebilmekle birlikte, bundan daha baskın şekilde amorf fazlardan oluştuğu anlaşılmaktadır.



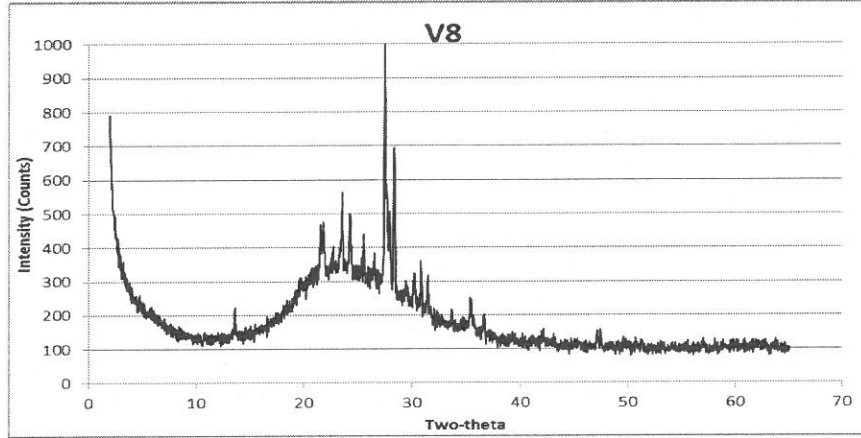
Şekil 3.17. V6 volkanik tuf örneği XRD deseni (V: Vollastonit, G: Gibsit,)

Değerlendirme: V6 örneğinde bir kalsiyum-silikat minerali olan vollastonit ile birlikte bir alüminyum minerali olan gibsit kristal fazlar olarak gözlenmiştir. Bunlarla birlikte 20-25 dereceler arasında yükselip alçalan desen tabanı amorf fazın da varlığına işaret etmektedir.



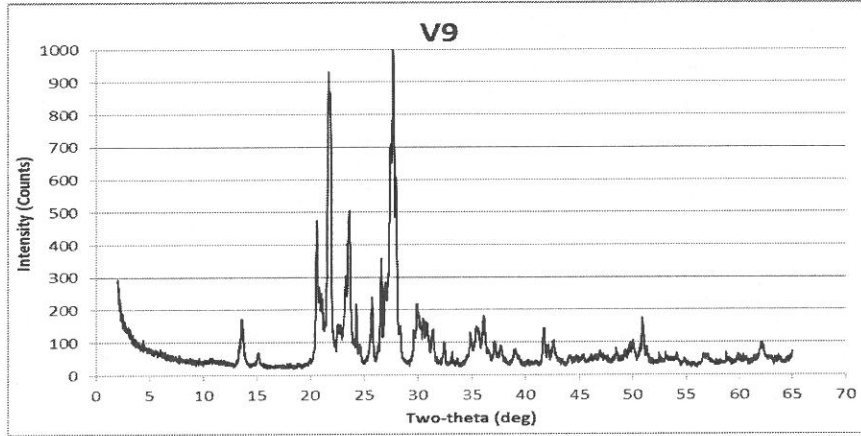
Şekil 3.18. V7 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni

Değerlendirme: V7 örneğinin bazı kristal fazlarla birlikte 15-30 derece açıları arasında yükselip alçalan desen tabanından anlaşıldığı üzere belirgin miktarda amorf faz içerdiği gözlenmektedir.



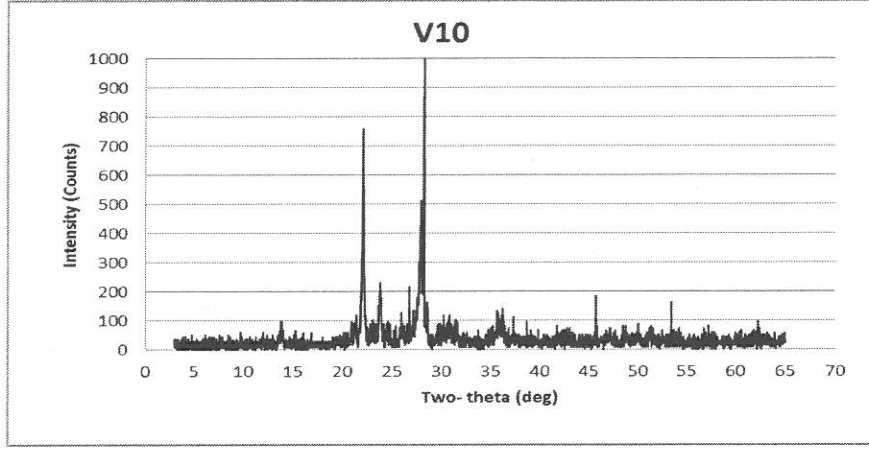
Şekil 3.19. V8 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni

Değerlendirme: V8 örneğinin son derece belirgin yükselip alçalan desen tabanından anlaşıldığı üzere, örneğin başlıca amorf fazlardan oluştuğu, bununla birlikte bazı kristal fazlarda içerdiği görülmektedir.



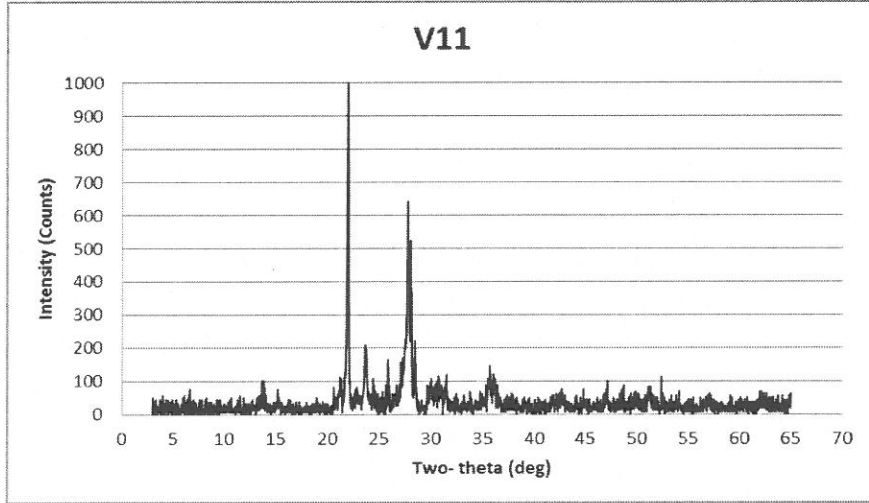
Şekil 3.20. V9 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni

Değerlendirme: V9 örneğinin tamamen kristal alumino-silikat fazlardan oluştuğu ve amorf faz içermediği görülmektedir.



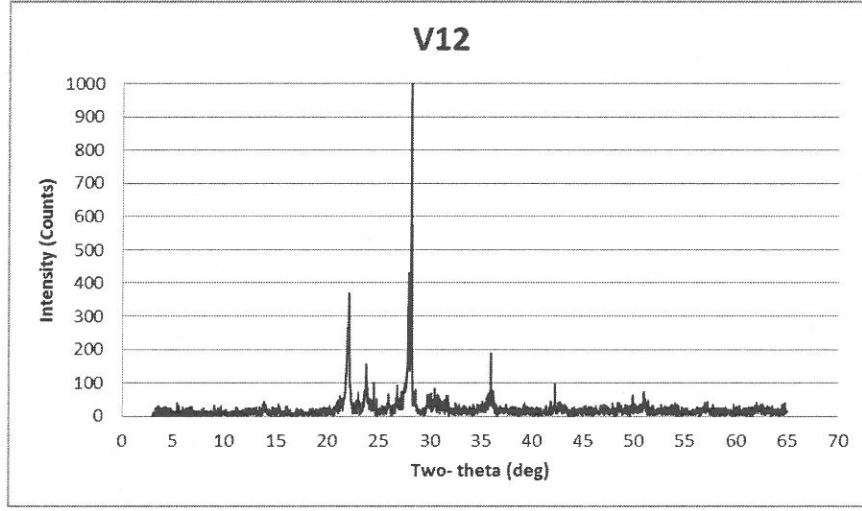
Şekil 3.21. V10 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni

Değerlendirme: V10 örneğinin tamamen kristal alumino-silikat fazlardan oluştuğu ve amorf faz içermediği görülmektedir.



Şekil 3.22. V11 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni

Değerlendirme: V11 örneğinin tamamen kristal alumino-silikat fazlardan oluştuğu ve amorf faz içermediği görülmektedir.



Şekil 3.23. V12 volkanik kayaç (ignimbirit) örneği XRD deseni

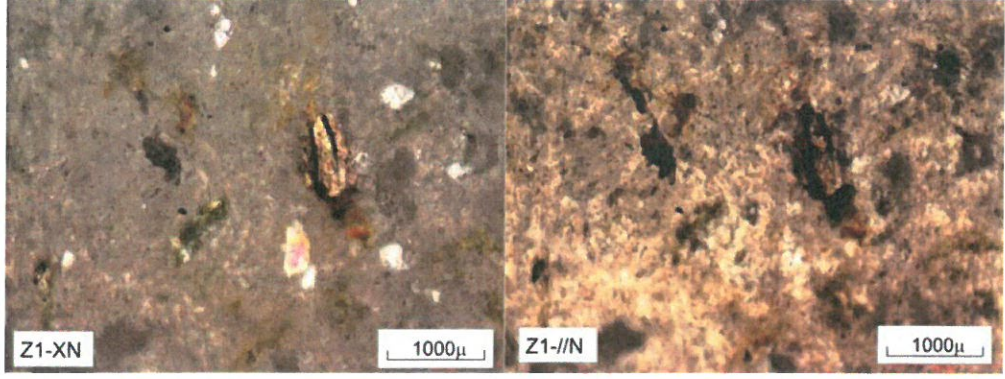
Değerlendirme: V12 örneğinin tamamen kristal alumino-silikat fazlardan oluştuğu ve amorf faz içermediği görülmektedir.

3.4 Örneklerin Petrografik Özellikleri

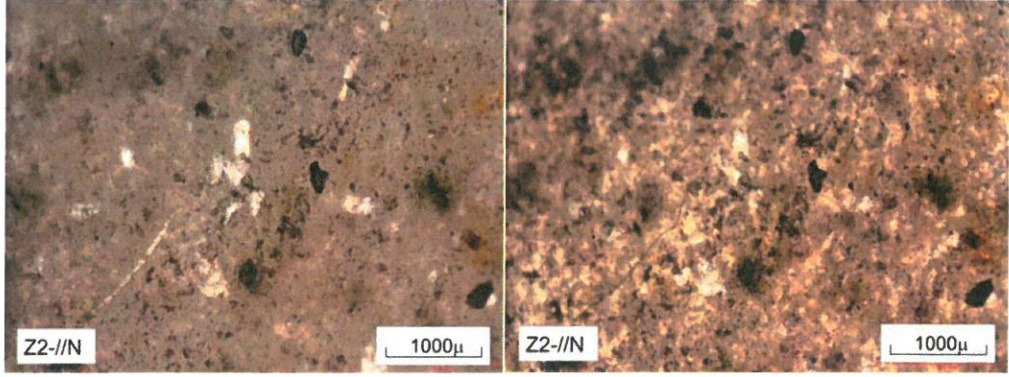
a) Zeolitler

Nevşehir yöresi Karasenir Köyünden alınan örnekler makroskobik olarak krem, açık yeşil renkli, çok ince taneli, gevşek ve zayıf yapılu tüflerden oluşmaktadır.

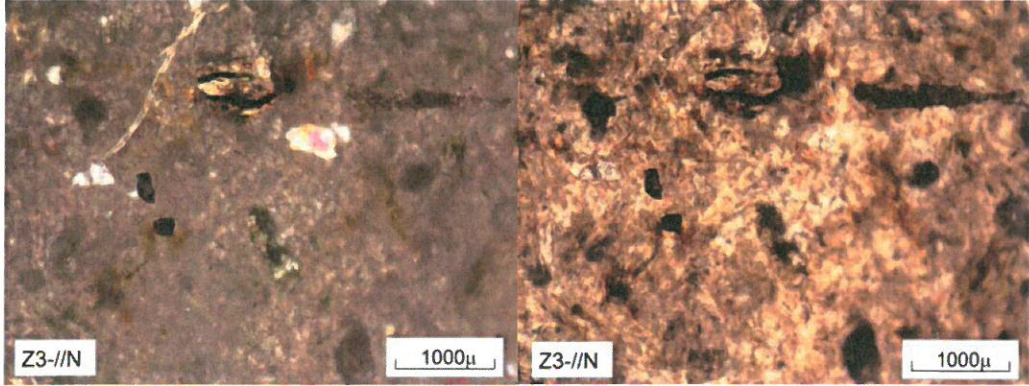
Mikroskop altında örnek ilksel mineral fazı olarak çok ince taneli bir hamur içindeki dizilmiş açık kahverengimsi biyotit taneleri ile daha küçük boyutta köşeli kuvars mineralleri gözlenmiştir (Şekil 3.24-26). Kesitte bulunan zeolit mineralleri çok ince taneli olmalarından dolayı optik yöntemlerle belirlenememiştir. Çalışmada yapılan XRD analizleri ile kimyasal analizler sonucunda klinoptilolit türü zeolitler oldukları belirlenmiştir.



Şekil 3.24. Karasenir yöresi zeolitinin mikroskoftaki ince kesit görüntüsü (4X)



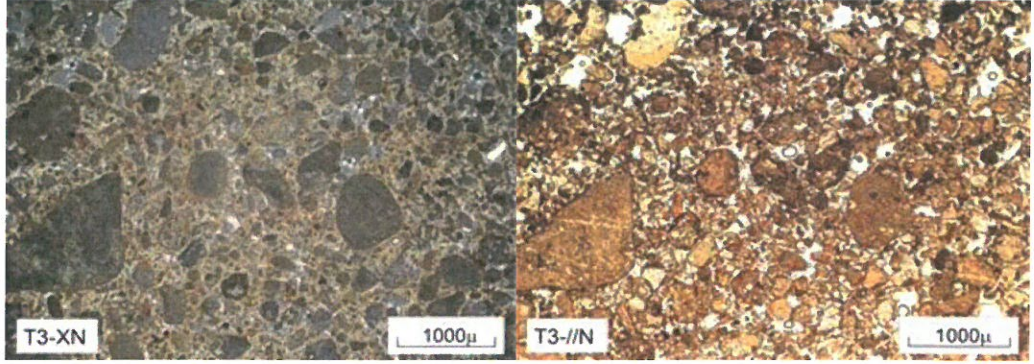
Şekil 3.25. Nevşehir yöresi zeolitinin mikroskoftaki başka bir ince kesit görüntüsü (4X)



Şekil 3.26. Nevşehir zeolitinin mikroskoftaki ince taneli yapısının görüntüsü (4X)

b) Tüfler

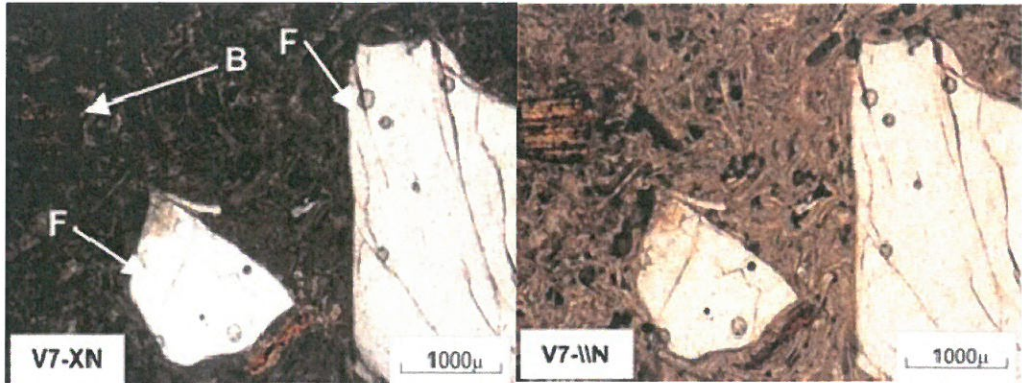
Tüflerden elde edilen kesitler incelendiğinde sarı kül matriks içinde ince taneli kırıntılı kayaç parçacıklarının varlığı gözlenmiştir. İnce kesitte gözlenen biyotit minareli tek yönde dilimlidir. Paralel sönme göstermektedir. Tek nikolde kahverengi pleokroizmaya sahiptir. Yarı köşeli ve yuvarlağımsı kaya kırıntılıdır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Tepeköy yöresinden alınan örneğin mikroskoptaki ince kesit görüntüsü (4X)

c) İgnimbiritler

İncelenen örnekler hiyaloporfirik ve vitrofirik dokudadır. Fenokristalleri; plajyoklas, az miktarda kayaç parçası ve cam parçalarından oluşmaktadır. Hamur tümüyle camsal olup, cam parçaları içermektedir. Ancak belirgin bir akma her alanda izlemek mümkün değildir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Kapıkaya yöresi ignimbirit örneğinin ince kesit görüntüsü (4X)

Yapılan XRD analizleri ve petrografik incelemelerin ardından 8 adet doğal puzolonik malzemenin amorf yapıya sahip olmalarından dolayı harç denemeleri çalışmalarının söz konusu bu örnekler üzerinde devam edilmesine karar verilmiştir. Ayrılan T1, T3, P1, V7, Z1, Z3, Z4 ve Z5 örnekleri üzerinde çeşitli deneysel çalışmalar yapmak amacıyla 5x5x5 boyutlarında harç numuneleri hazırlanmıştır.

Söz konusu numunelerin $Si_2O+Al_2O_3+Fe_2O_3$ oranı %70'den fazladır. Seçilen numuneler amorf yapıya sahiptir. Bu nedenle numunelerin daha iyi puzolanik aktivite göstereceği düşünülmüştür.

3.5 Deneysel Çalışmalar

3.5.1 Harç dayanımı

Farklı puzolan ilaveleri ile hazırlanan harç karışımlarının 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Seçilen puzolan örnekleri ile hazırlanan harç karışımlarından elde edilen yayılma değerleri Çizelge 3.4'de, basınç dayanımları ile hesaplanan dayanım aktivite indeksleri ise Çizelge 3.5' de sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Harç karışımlarının içerikleri ve yayılma değerleri

Numune	Portland çimentosu, (g)	Doğal puzolan, (g)	Su, (ml)	Yayılma, (cm)	Su/bağlayıcı oranı	Su ihtiyacı (%)
Kontrol	500	-	242	13,1	0,485	100
V1	400		252	14,09	0,504	104,13
V3	400		252	13,95	0,504	104,13
Z5	400		253	12	0,506	104,54
Z4	400		287	13	0,574	118,59
Z1	400	100	292	12,5	0,584	120,66
P1	400		257	14,25	0,514	106,19
P2	400		262	14,7	0,524	108,26
V7	400		242	13,9	0,485	100

Doğal puzolan olarak kullanılan zeolit katkısı ile hazırlanan numunelerden Z1 örneğinin su ihtiyacı diğer zeolit örneklerinden fazladır. Aynı miktarda su ilave edilerek hazırlanan zeolit örneklerinde işlenebilirliğin de en düşük olduğu örnek Z1 numaralı örnektir.

Çizelge 3.5. Harç karışımlarının basınç dayanımları ve aktivite indeksleri

Numune	Basınç dayanımı, MPa		Dayanım aktivite indeksi, %	
	7-gün	28-gün	7-gün	28-gün
Kontrol	33,48	47,52	100	100
V1	27,89	41,88	83,30	88,13
V3	29,86	45,5	89,18	95,75
Z5	29,92	46,38	89,38	97,60
Z4	28,27	37,59	84,44	79,1
Z1	27,49	42,08	82,11	88,55
P1	27,15	39,8	81,11	83,76
P2	28,87	37,96	86,23	79,88
V7	29,09	40,09	86,88	84,36

Aynı miktarda doğal puzolan ilavesi ile hazırlanan zeolit numunelerinden basınç dayanımı en yüksek olan örnek, Z5 numunesi ile hazırlanan örnektir. Doğal puzolan olarak Z4 numunesi ile hazırlanan harç numunesinin 28 günlük basınç dayanımını düşmüştür.

V1 ve V3 numaralı örneklerin 28 günlük basınç dayanımı 7 günlük basınç dayanımına göre az da olsa artış göstermiştir.

P1 ve P2 numaralı örneklerden; P1 numaralı örneğin 28 günlük basınç dayanımı 7 günlük basınç dayanımı göre artış gösterir iken P2 numaralı örnekle hazırlanan harç numunesinin basınç dayanımı değeri düşmüştür.

3.5.2 Böhme yüzeysel aşınma deneyi

28 günlük kür süresi sonunda kontrol numunesinin ve doğal puzolan ilaveleri ile hazırlanan küp numuneler üzerinde böhme yüzeysel aşınma deneyi yapılmıştır. Deneyler 2 örnek üzerinde tekrarlanmış ve elde edilen veriler Çizelge 3.6' da sunulmuştur.

Çizelge 3.6. Böhme yüzeysel aşınma direnci değerleri

Numune	Böhme aşınma direnci BAV, (cm³/50cm²)
Kontrol	13,52
V1	29,35
V3	15,89
Z5	14,57
Z4	23,14
Z1	21,61
P1	19,81
P2	25,86
V7	17,57

İncelen örneklerden aşınma kayıpları düşük olan örneklerin harç dayanım değerleri de yüksektir. Dolayısıyla aşınmaya maruz kalacak alanlarda kullanılması durumunda V3 ve Z5 puzolan ilavesi ile yapılan betonların diğer puzolan ilaveli betonlara oranla daha az aşınma kayıpları olacağı açıktır.

3.5.3 Kapiler su emme deneyi

İncelenen örneklerin kılcal su emme potansiyellerini belirlemek amacıyla kapiler su emme deneyi yapılmış ve kılcallık katsayısı hesaplanmıştır. Hazırlanan küp numunelerin su emme değerleri aşağıdaki Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Kayaçların ve betonların kapiler emiciliği üzerinde çeşitli değerlendirmeler bulunmaktadır. Snethlage (2005), kapiler su emme değerlerini kg/m²h cinsinden kullanarak kayaları, $C < 0.5$ kg/m²h ise az emici, $0.5 < C < 3.0$ kg/m²h ise orta emici ve $C > 3.0$ kg/m²h ise yüksek emici kayaçlar olarak sınıflandırmıştır. İncelenen örneklerin harç örneği olması dolayısıyla kayaçlara göre daha boşluklu olmasına karşın, puzolan ilaveli dayanımı yüksek, aşınma değeri düşük olan harç örneklerinin su emiciliği de düşük bulunmuştur. İncelenen harç örnekleri orta derece emici malzeme olarak sınıflanabilir (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. Hazırlanan numunelerin kapiler su emme değerleri

Numune	Kapilerite (K), (kg/m²*h)
Kontrol	0,94
V1	0,91
V3	0,67
Z5	0,92
Z4	1,34
Z1	1,5
P1	1,06
P2	1,00
V7	0,89

BÖLÜM IV

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hazırlanan numunelerde çimento miktarının belirli oranlarda doğal puzolanik maddeler ile yer değiştirmesi sonucunda aşınmaya karşı direnç azalmış olmasına rağmen V3 puzolan ilaveli numunelerin aşınmaya karşı direnç artmıştır.

Doğal zeolitler içerdikleri SiO_2 ve Al_2O_3 sayesinde potansiyel bir çimento katkı maddesidir. Yüksek miktardaki SiO_2 ve Al_2O_3 içeriklerinden dolayı sönmüş kireç (Ca(OH)_2) ve su ile reaksiyona girerek bağlayıcı ürünler oluşturabilme olarak tanımlanan puzolanik özelliğe de sahip olmaları, bunların çimento ve betonda puzolan olarak kullanımını mümkün kılmaktadır. Çimento ve beton sistemlerine doğal puzolanların dahil edilmesi, betona işlenebilirlik, geçirimsizlik gibi özelliklerini geliştirmekte, alkali silika reaksiyonu ve sülfat etkisi gibi kimyasal dış etmenlere karşı dayanıklılığını artırmaktadır (Uzal vd., 2003).

Hazırlanan numunelerde çimentonun belirli oranlarda doğal puzolanik maddeler ile yer değiştirilmesi sonucunda kılcal su emme miktarı, volkanik tüfler ile hazırlanan örneklerde azalmıştır.

Davis ve arkadaşlarının çalışmaları doğal puzolan kullanımıyla betonun hacim değişmesinin artacağını göstermiştir. Yine aynı araştırmacılar bu durumu doğal puzolan kullanımının betonda su ihtiyacını artırmasıyla açıklamışlardır (Davis, 1950). Doğal puzolanik maddenin betonda kullanılması betonun su ihtiyacının artmasına neden olmuştur.

Puzolan kullanımıyla betonun erken dayanımında bir düşüş olması beklenir. Sonuç olarak portland çimentosu ile puzolan karışımı içeren çimentolar, dolayısıyla betonlar özdeş incelikte portland çimentosu içeren betonlara göre daha uzun süre suya (kür) ihtiyaç duyarlar. Buradan da anlaşılacağı üzere traslı çimentolarla üretilen betonların, ancak geç dayanımlarının eşdeğer karşılaştırma örneklerinin sonuçlarına ulaşması hatta bunları geçmesi beklenir (Erdoğan vd., 2001).

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, doğal puzolan içeren çimentolar, ilk günlerde portland çimentosundan elde edilen çimentoya göre daha düşük bir basınç

dayanımı sergilemelerine rağmen, ilerleyen günlerde bu fark gittikçe azalmaktadır. Doğal puzolanik maddeler ile hazırlanan beton numunelerinde basınç dayanımının erken yaşlarda düştüğü fakat iyi kür edildiğinde dayanımı artırabileceği gözlemlenmiştir. V3 numuneli doğal puzolanik madde ile hazırlanan numunenin 28 günlük basınç dayanımı kontrol numunesinin 28 günlük basınç dayanımından fazla olduğu gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalar, gereğinden fazla ince öğütülmüş puzolan malzeme içeren çimentoların, portland çimentosu taneciklerinin hidrasyon neticesinde birbirinden fazlaca uzaklaşmaları sonucu, basınç dayanımlarında düşüşe sebep olabileceğini de bildirmektedir (Targan, 2003). Yapılan çalışmada doğal puzolanik maddeler 63 mm'lik elekten geçirilerek beton numunelerinin dökülmesine özen gösterilmiştir.

Doğal puzolanlar ince öğütülme yetenekleri sayesinde çimento hamurundaki mikro boşluklara kolayca girmekte ve çimento hamurunun iskelet yapısını değiştirerek dayanıklılığını artırmaktadırlar (Sabir vd., 2001). Buna ilaveten doğal puzolanlar, ince taneli olmaları sayesinde çimento 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 ihtiyacını da artırabilmektedirler (Vu vd., 2001). Yapılan çalışmada kullanılan zeolitlerin su ihtiyacı en fazla olanı Z1 numaralı örneğe aittir. Bu nedenle Z4 ve Z1 numaralı örnekler çimentonun özgül yüzeyini Z5 örneğinden daha fazla arttırmıştır.

Doğal puzolandaki SiO₂ içeriğinin yüksekliğinin puzolanik aktiviteyi artıran önemli bir etken olduğunu söylemektedir (Çavdar ve Yetkin, 2004). Bu ise büyük oranda kuvars mineralinden meydana gelmektedir. Bu çalışmada kullanılan doğal puzolanların kimyasal kompozisyonlarında ve optik incelemelerinde amorf kuvars minarelinin yoğun olduğu örneklerin dayanımları da yüksek olduğu belirlenmiştir.

Volkanik tüf örneklerinde V2 ve V5 örnekleri hariç diğer örneklerin kimyasal kompozisyonlarında toplam kükürt miktarı, standartlarda belirtilen kullanım limitlerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Bilindiği gibi kükürt miktarının fazla olması, betonda sülfat etkisine neden olacağından dolayı bu etki göz önünde bulundurulmalıdır.

Doğal puzolan seçiminde su ihtiyaı çok önemli bir parametre olup, zeolit örneklerinden Z5 rneđi dışında çok yüksek değerler elde edilmiştir. Z5 rneđi ile V3 rneđi, incelenen örnekler arasında dayanım aktivite açısından en önemli puzolan kaynakları olarak değerlendirilebilir.

Doğal puzolan katkılı örneklerin aşınmaya karşı dayanım açısından da Z5 ve V3 rnekleri ön plana çıkmaktadır. Kapiler su emme değerlerine bakıldığında da Z5 ve V3, rnekleri ile V7, V3 rnekleri de en az su emen örnekler olmuŐlardır.

KAYNAKLAR

Aruntaş, H. Y., Diatomitlerin çimentolu sistemlerde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, s.1-55, 1996.

Aruntaş, H.Y., “Diatomit, özellikleri, kullanım alanları, inşaat sektöründeki yeri”, *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi* 27-31, 1996.

ASTM C 618, Standart specification for coal fly ash and raw or calcined naturel pozzolan for use as a mineral admixture in portland , Cement Concrete, *Annual Book of ASTM Standards*, 1994.

Aydar, E., Schmitt, A. K., Çubukçu, E., Akin, L., Ersoy, O., Sen, E., Duncan, R. and Atici, G., “Correlation of ignimbrites in the central Anatolian volcanic province using zircon and plagioclase ages and zircon compositions”, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 213-214, 83–97, 2012.

Baysal, O., Gündoğdu, N., Temel A. ve Ömer, F., Bigadiç Zeolit Oluşumlarının Ekonomik Jeolojik İncelenmesi Projesi, *Hacettepe Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi*, 1988.

Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H. Ün, H. ve Yiğiter, H., Beton teknolojisi, II, İzmir, *Yapı Denetimi El Kitabı*, İzmir, 2001.

Beekman, P.H., “The Pliocen and Quaternary volkanism in the Hasandağı-Melendizdağı Region”, *Bull. Mineral Res. and Explor. Inst.* 66, 90-105,1966.

BS 1881-124, Testing concrete. Methods for analysis of hardened concrete, British Standards Institution, Britain, 1998.

Cook, D. J., Natural pozzolanas, Concrete Technology and Design, Vol.3, Cement Replacement Materials, *Surrey University Press*, 1986.

Çakıroğlu, M. A. ve Çakıroğlu G. M., “Püskürtme betonda kullanılan katkıları”, *Dünya İnşaat Dergisi* 116-118, 2006.

Çavdar, A. ve Yetgin, Ş., “Trabzon yöresi tüflerinin çimentoda tras olarak kullanılabilirliği, bazı kimyasal ve mekanik ilişkiler”, *Sixth International Conference on Advances in Civil Engineering*, Bogazici University, İstanbul, Turkey, s.947-955, 6-8 Ekim, 2004.

Çelik, Ö., “Uçucu kül, silis dumanı ve atık çamur katkılarının çimento dayanımlarına etkileri”, *Beton Kongresi*, İstanbul, s. 657- 663, 10-12 Haziran, 2004.

Davis, R.E. and A “Review of pozzolanic materials and their use on concretes”, *Symposium on Use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes*, ASTM, STP 99, 3-15, 1950.

DPT Çalışma :Grubu Raporu (Mika-Zeolit-Lületaşı). Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri II, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*, Ankara, 2001.

Duran, F., Yetiş, C. ve Anıl, M., “Koççağız Köyü (Kayseri) dolayının stratigrafisi ve ignimbiritlerin yapı kaplama taşı olarak kullanılabilirliği”, *Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana 22(10), 237-247, 2010.

Erdoğan, T.Y., Beton, *ODTÜ Yayınları*, Ankara, 2003.

Erdoğdu, K., Tokyay, M. ve Türker, P., Traslara ve traslı çimentolar, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara, 2001.

Erdoğdu, K., Tokyay, M. ve Türker, P., Traslara ve traslı çimentolar. araştırmaların gözden geçirilmesi ve durum değerlendirmesi raporu, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, AR-GE Enstitüsü, Fersa Matbaacılık*, Ankara, 2009.

Ercan, T., Çevikbaş, A., Günay, E., Ateş, M., Can, B., Küçükayman, A. ve Erkan, M., “Bigadiç çevresinin (Balıkesir) jeolojisi ve magmatik kayaların petrolojisi”, *Türkiye Jeoloji Bülteni* 75-85, 1984.

Göktaş, F., Gördes Neojen havzasının jeolojisi, *MTA Derleme Rapor No: 9931*, Ankara,1996.

Göktekin, A., Bigadiç Tülü Ovası zeolitlerinin teknolojik özelliklerinin araştırılması, *İ.T.Ü. Yer Bilimleri ve Yeraltı Kaynakları*, İstanbul, 1989.

Gündoğdu, N., Neojen yaşlı Bigadiç sedimanter baseninin jeolojik mineralojik ve jeokimyasal incelemesi, Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi*, Ankara, s. 386, 1982.

Hewlet, P.C., Lea's Chemistry of cement and concrete, *John Wiley and Sons Inc., Fourth Edition*, New York. 1998.

Kürkçüoğlu, B., Sen, E., Aydar, E., Gourgaud A. and Gündoğdu N., "Geochemical approach to magmatic evolution of Mt. Erciyes stratovolcano Central Anatolia, Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85(1), 473-494, 1988.

Langan, B.W., Weng, K. and Ward, M.A., "Effect of silica fume and fly ash on heat of hydration of portland cement", *Cement and Concrete Research* 32(7), 1045-1051, 2002.

Le Pennec, J.L., Bourdier, J.L., Froger., J.L., Temel, A., Camus, G. and Gourgaud, A., "Neogene ignimbrites of the Nevşehir plateau (Central Turkey): stratigraphy, distribution and source constraints", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 63(1-2), 59-87, 1994.

Mazsazza, F., "Puzolanlar, Puzolanlı çimentolar ve kullanım alanları", Seminer, *Türkiye Çimento Mühtasilleri Birliği* 41-79, 1989.

Mindess, S. and Young, J.F., Concrete, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 1981.

Neville A.M., Properties of Concrete, *Fourth Edition, John Wiley&Sons, Inc.*, 1996.

Okucu, A., Bigadiç ve Turnatepe yörelerindeki zeolitik ve perlitik tüflerin puzolanik özellikleri, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, s. 54, 1998.

Özcan, A., Endüstriyel atıklar ve polipropilen lif içeren saha betonlarının özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi*, Zonguldak, s. 11-13, 2006.

Özcan, F., Silis dumanı içeren harç ve betonların özellikleri ve hızlandırılmış kür ile dayanım tahmini, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, s. 173, 2005.

Pan, S., Tseng, D. and Lee, C.C., “Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties”, *Cement and Concrete Research* 33(11), 1749-1754, 2003.

Pandey, S.P., Singh, A.K., Sharma, R.L. and Tiwari, A.K., “Studies on high-performance blended/multiblended cements and their durability characteristics”, *Cement and Concrete Research* 33(9), 1433-1436, 2003.

Pasquare, G., “Geology of Cenozoic volcanic area of Central Anatolia”, *Atti Accad. Naz. Lincei* 9, 53-204, 1968.

Ramachandran, V. S., Concrete Admixtures Handbook, *Second Edition*, Noyes Publication, New Jersey, U.S.A, 1995.

Rudolf, F. D., Türkiye’deki doğal puzolanların çimento katkı maddesi olarak kullanımı üzerine incelemeler, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara, 1984.

Sabir, B., Wild, S. and Bai, J., “Metacaolin and calcined clays as pozzolan for concrete: a review”, *Cement and Concrete Research* 23, 441-454, 2001.

Subaşı, S., Kap, T., Beycioğlu, A., ve Emiroğlu, M., “Hafif betonlarda basınç dayanımlarının tahmin edilmesinde kullanılan farklı tahmin metotlarının karşılaştırılması”, *Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu*, Eskişehir, 15-17 Ekim, 2008.

Schumacher, U.M., Schumacher, R., Götte-Viereck, G.L. and Lepetit, P., “Areal distribution and bulk rock density variations of the welded İncesu İgnimbrite, Central Anatolia, Turkey”, *Turkish Journal of Earth Sciences* 13, 249-267, 2004.

Snethlage, R., Leitfaden zur steinkonservierung, *Fraunhofer IRB Verlag*, Stuttgart, 2005.

Stuart, K.D., Anderson, D.A. and Cady, P.D., "Compressive strength studies on portland cement mortars containing fly ash and superplasticizer", *Cement and Concrete Research* 10, 823-832, 1980.

Şen, E., Kürkcüoğlu, B., Aydar, E., Gourgaud, A. and Vincent, P.M., "Volcanological evolution of Mount Erciyes stratovolcano and origin of the Valibaba Tepe ignimbrite (Central Anatolia, Turkey)", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 125(3), 225-246, 2003.

Targan, Ş., Olgun, A., Erdoğan, Y. and Sevinç, V., "Influence of natural pozzolan, colemanite ore waste, bottom ash and fly ash on the properties of portland cement", *Cement and Concrete Research* 33, 1175-1182, 2003.

Taşdemir, C., "Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete", *Cement and Concrete Research* 33, 1637-1642, 2003.

Temel, A., Gündoğdu, M.N., Gourgaud, A. and Le Penneç, J.L., "Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey): petrology and geochemistry", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85(1), 447-471 1998.

Topçu, İ., Beton teknolojisi, *Uğur Ofset*, Eskişehir, 2006.

Tosun, K., Felekoğlu, B., Baradan, B. ve Altun, İ.A., "Portland kalkerli çimentoların hazırlanması", *İMO Teknik Dergi* 309, 4117-4736, 2009.

TS 25, Tras. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1975.

TS EN 197-1, Çimento Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2002.

Türkecan, A., Acarlar, M., Dönmez, M., Hepşen, N. ve Bilgin, R., Kayseri (Bünyan, Develi, Tomarza) yöresinin jeolojisi ve volkanik kayaçların petrolojisi, *MTA Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Rapor No. 10186*, Ankara, 1998.

Uzal, B., Bektaş, F. ve Turanlı, L., “Öğütölmüş doğal zeolitin alkali-silika reaksiyonu ve sülfat reaksiyonu etkisi ile genleşmesinin incelenmesi”, **5. Ulusal Beton Kongresi (Betonun Dayanıklılığı)**, İstanbul, 1-3 Ekim, 2003.

Uzal, B., Karahan, O. ve Korkanç, M., Nanotaneçikler İçeren Yüksek Miktarda Doğal Puzolan Katkılı Çimentolar: Özellikler, Hidratasyon ve Hamur İç Yapısı. TÜBİTAK projesi, Proje No: 113M310, 112 sayfa, 2016.

Ün, H., Yapı Malzemeleri Ders Notları, **PAÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü**, Denizli, 2007.

Vu, D., Stroeven, P. and Bui, V., “Strenght and durability aspects of calcsined caolin blended portland cement mortar and concrete”, **Cement and Concrete Research** 23(6), 471-478, 2001.

Yıldız, E., Farklı Tipteki Puzolanların betonun mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, s.79, 2006.

ÖZ GEÇMİŞ

12.08.1985 yılında Ceyhan'da doğdum. İlkokul ve lise öğrenimini Ceyhan'da tamamladım. 2010 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde öğrenimime başladım. Lisans öğrenimini Bölüm birincisi olarak tamamladıktan sonra 2015 yılında başladığım Ömer HALİSDEMİR Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimime devam etmekteyim.