

KÜTAHYA KIRGILLI TÜFLERİNİN KARATERİZASYONU

Mehmet Ali ARSLANBABA

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs – 2015

KÜTAHYA KIRGILLI TÜFLERİNİN KARATERİZASYONU

Mehmet Ali ARSLANBABA

Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK

Mayıs 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

Mehmet Ali ARSLANBABA'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "KÜTAHYA KIRGILLI TÜFLERİNİN KARAKTERİZASYONU" başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

13/05/2015

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Cenk KARAKURT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdullah DEMİR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2015 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

KÜTAHYA KIRGILLI TÜFLERİNİN KARATERİZASYONU

Mehmet Ali ARSLANBABA

İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2015

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK

ÖZET

Çalışma alanı Kütahya'nın batısında Eskişehir yolu 3.km.'sinde Kırgıllı mevkiindedir. Frig vadisi içerisinde yoğun tüf bulunan bölgedeki tüfler doğal soğuk hava deposu olarak ve mağara olarak kullanılmaktadır. Bugüne kadar bu bölgedeki tüflerin özellikleri ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmamızda bölgedeki tüfler oyularak yapılmış doğal soğuk hava depolarından 25-30 cm boyunda ve 9,4 cm. çapında 12 adet karot alınmıştır. Daha sonra alınan bu karotlar 9,4 cm. boyunda kesilerek biri karakterizasyon deneyleri diğeri ise ısıl işlem deneylerinde kullanılmak üzere 2 adet eşdeğer karot elde edilmiştir. Karakterizasyon karotları K1, K2, K3.....K12 şeklinde kodlanmıştır. Isıl işlem karotları ise her sıcaklık için 3 adet karot olmak üzere K1-900, K2-900, K3-900 ; K4-1000, K5-1000, SK6-1000 ; K7-1100, K8-1100, K9-1100 ve K10-1200 , K11-1200, K12-1200 şeklinde kodlanmıştır. K1-900; 900 ° C sıcaklıkta işlem gören K1 eşdeğer karotunu temsil etmektedir. Isıl işlem 900, 1000, 1100 ve 1200 ° C sıcaklıklara kadar karotların kül fırınında 10 ° C /dak. hızla ısıtılması, karotların bu sıcaklıkta 1 dakika kaldıktan sonra kül fırınında ortam sıcaklığına kadar soğutulması şeklinde uygulanmıştır. Karakterizasyon ve ısıl işlem karotları üzerinde aşağıda yapım şekilleri anlatılan fiziksel özellik (birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, ağırlıkça su emme, hacimce su emme, kapiler su emme, porozite), basınç dayanımı, kimyasal, mineralojik ve morfolojik ve termal analizler (XRF, XRD, optik mikroskop, SEM,TG-DTA) yapılarak tüflerin karakteristik özellikleri ve ısıl işlem ile bu özelliklerdeki değişimler belirlenmiştir. Tüflerin % 48 civarında poroziteye sahip olduğu, porozitenin 1100 ve 1200° C sıcaklıklarda sırasıyla % 11 ve 63 azaldığı görülmüştür. Bunun sonucunda bu sıcaklıklar için basınç dayanımları 7 Mpa' dan sırasıyla 12 ve 46 Mpa'ya yükselmiştir. XRD sonuçları incelendiğinde montmorillonit ve mika mineralleri, feldispat ve kuartz görülmektedir. 1000°C'deki XRD sonucunda montmorillonite ait pik kaybolmuştur. 1200°C'de ise mika ve feldispat piklerinin kaybolduğu görülmektedir. 1200°C'de camsı fazın artmış, corondum ve leucit oluşumu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isıl işlem , Porozite , Sem , Sinterleşme , Tüf, Xrd , Xrf .

CHARACTERIZATION OF KÜTAHYA KIRGILLI TUFFS

Mehmet Ali ARSLANBABA

Civil Engineering, M.S. Thesis, 2015

Thesis Supervisor: Assistant Professor Mehmet Uğur TOPRAK

SUMMARY

The study area to the west of Kütahya, Eskişehir is Kirgill is located 3 km. of road. Tuff tuff in the region with heavy Phrygian valleys are used as a natural cold storage and caves. So far, no evidence of any studies on the properties of the tuff in the region. Our work in the region tuff carved from natural cold storage 25-30 cm in length and 9,4 cm. in diameter, 12 cores were taken. Then, the characterization of one of these experiments core 9,4 cm. in length was prepared by cutting two pieces of cores for use in heat treatment equivalent to the other test. Characterization core K1, K2, K3K12 coded form. If the heat treatment temperature for each core, including three core K1-900, K2-900, K3-900; K4-1000, K5-1000, SK6-1000; K7-1100, K8-1100, K9-1100 and K10-1200, K11-1200, K12-1200 coded form. K1-900; 900 Code represents the core K1 is equivalent traded in temperature. Heat treatment 900, 1000, 1100 and 1200 until the core temperature of the muffle furnace 10 ° C / min. heating the cores After 1 minute at this temperature realized by cooling to ambient temperature the furnace. Characterization and thermal processing physical properties described making way below the core of (bulk density, specific gravity, weight, water absorption, volume of water absorption, capillary water absorption, porosity), compressive strength, chemical, mineralogical and morphological and thermal analyzes (XRF, XRD , optical microscopy, SEM, TG-DTA) made changes in these features with the characteristics of tuff and heat treatment is determined. Around 48% of tuff to have porosity, porosity in 1100 and 11% and 63 1200° C temperature has been reduced. As a result, the compressive strength at this temperature for 7 MPa, respectively 12 and 46 MPa are reached. The XRD results analyzed montmorillonite and mica minerals, is seen feldspar and quartz. In the XRD results of montmorillonite peak at 1000 ° C it is lost. In the 1200 ° C it is seen that disappearance of the peak of mica and feldspar. At 1200 ° C increased the glassy phase thought and leucit corona formation is observed.

Keywords: Heat treatment, Porosity, Sem, sintering, Tuff, Xrd, Xrf.

TEŞEKKÜR

Tez kapsamında yapılan çalışmalarım boyunca katkıları teknik bilgi ve yönlendirme gerektiren danışmanlığın çok ötesinde fedakârca olan ,yoğun çalışmalarının arasında çalışmalarına destek için geniş zaman ayıran tez danışmanım Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç.Dr. Mehmet Uğur TOPRAK'a teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam sırasında destek ve katkıları için sevgili kızlarım Özlem ve Zeynep'e , desteği için sevgili eşime teşekkür ederim.

Mehmet Ali ARSLANBABA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1.GİRİŞ	1
1.1. İnceleme Alanının Yeri.....	1
1.2. İnceleme Alanının Özellikleri.....	2
1.3. İnceleme Alanının Fotoğrafları.....	2
2.TÜFLERİN ÖZELLİKLERİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Tüfler Hakkında Genel Bilgiler	3
2.1.1. Tüfün tarihçesi.....	3
2.1.2. Tüflerin genel özellikleri	5
2.1.3. Tüf yapılardan örnekler	14
2.1.4. Tüflerin inşaat sektöründe kullanımı örnekleri	18
2.1.5. Tüf yapılarda çeşitli dayanıklılık problemleri (donma-çözülme , killeşme vb.) ...	24
3.AMAÇ.....	27
4. DENEYSEL ÇALIŞMADA MATERYAL VE METOT	28
4.1. Fiziksel Ve Mekanik Özellik Deneyleri	29

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.1.1. Birim hacim ağırlık	29
4.1.2. Özgül ağırlık.....	29
4.1.3. Porozite	30
4.1.4. Ağırlıkça su emme.....	30
4.1.5. Hacimce su emme	30
4.1.6. Kapiler su emme.....	30
4.1.7. Basınç dayanımı	32
4.2. Kimyasal , Minerolojik Ve Morfolojik Analiz	33
4.2.1. X-Işınları (XRF) çalışmaları	33
4.2.2. X-Işınları difraktogramı (XRD) çalışmaları.....	33
4.2.3. Normal ve yüksek sıcaklıklarda tuf yüzey fotoğrafları	33
4.2.4. Polarizan mikroskop çalışmaları	33
4.2.5. SEM ve enerji saçınımlı X-ışını spektroskopi tekniği (EDX) çalışmaları	34
4.2.6. TG-DTA çalışmaları	34
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	35
5.1. Tüflerin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi	35
5.1.1. Birim hacim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi	35
5.1.2. Özgül ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi	35
5.1.3. Porozite sonuçlarının değerlendirilmesi.....	36
5.1.4. Kapiler su emme deney sonuçlarının değerlendirilmesi	37
5.1.5. Hacimce su emme deney sonuçlarının değerlendirilmesi	37
5.1.6. Basınç dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi	38
5.2. Isıl İşlem Uygulanan Tüflerin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi....	39
5.2.1. Isıl işlem uygulanan tüflerin birim hacim ağırlık deneylerinin değerlendirilmesi	39
5.2.2. Isıl işlem uygulanan tüflerin özgül ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi	40

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5.2.3. Isıl işlem uygulanan tüflerin porozite sonuçlarının değerlendirilmesi	41
5.2.4. Isıl işlem uygulanan tüflerin hacimce kapiler su emme deneylerinin değerlendirilmesi .	42
5.2.5. Isıl işlem uygulanan tüflerin hacimce su emme deney sonuçlarının değerlendirilmesi..	43
5.2.6. Basınç dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi	44
5.3. Tüflerde Ve Farklı Sıcaklıklarda Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	45
5.3.1. X ışınları difraktogramı (XRF) sonuçlarının değerlendirilmesi	45
5.3.2. X ışınları difraktogramı (XRD) sonuçlarının değerlendirilmesi	46
5.3.3. Tüf yüzey fotoğraflarının değerlendirilmesi	49
5.3.4. Polarize mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi	52
5.3.5. SEM ve enerji saçınımlı x-ışını spektroskopisi tekniği (EDX) değerlendirmesi	55
5.3.6. TG-DTA çalışmaları	63
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR DİZİNİ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. İnceleme alanının yeri.....	2
1.2. Numune alınan alandaki yoğun tuf kısımları fotoğrafı.	3
1.3. Tuf alanında soğuk hava deposu dış resmi.	4
2.1. Tufün genel görünümü (Yeğınobalı, 1997.b).....	6
2.2. Afyon yöresi tufün mikroyapı görüntüsü (Kadir ve Karakaş, 2000)	10
2.3. Göreme’de tufün yapı taşı olarak kullanılması ile yapı örneği.	13
2.4. Kütahya ulu cami dış görünüşü.	14
2.5. Kütahya ulu cami duvarlarında su etkisiyle bozunma örnekleri.	15
2.6. Tokat gök medrese tuf ile taş yapı örneği.	15
2.7. Afyonkarahisar imaret camii.....	16
2.8. Seydiler tufü kayalıkları görünümü.	17
2.9. Kapadokya tuf içinde yapılaşma örneği.	18
2.10. Kütahya soğuk hava depoları iç görünümü.	19
2.11. Karbonatlaşma nedeniyle traşlama örneği.	20
2.12. Gözenekli taşın içinde suyun dağılımı (Torraca ,1982)	26
4.1. Karot kesme aleti ile yerinde numune alınması.	28
4.2. Karot alındıktan sonra karot yeri görünümü.	29
4.3. Kapiler su emme deneyi fotoğrafı.....	31
4.4. Kapiler su emme deneyi fotoğrafı.....	32
5.1. Tüflerin birim hacim ağırlıkları.	35
5.2. Tüflerin özgül ağırlıkları.....	36
5.3. Tüflerin porozite değerleri	36
5.4. Tüflerin hacimce kapiler su emmesi.	37
5.5. Tüflerin hacimce su emmesi.	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6. Tüflerin basınç dayanımları	39
5.7. Tüflerin birim hacim ağırlıkları.	40
5.8. Tüflerin özgül ağırlıkları	41
5.9. Tüflerin porozite değerleri	42
5.10. Tüflerin hacimce kapiler su emmesi.	43
5.11. Tüflerin hacimce su emmesi.	44
5.12. Farklı sıcaklıklarda ısıtma işlemi uygulanan tüflerin basınç dayanımlarının.....	45
5.13. Kütahya Tüfünün xrd analizi	46
5.14. 1000 °C ısıda Kütahya Tüfünün xrd analizi.....	47
5.15. (1100°C) Isıtma işlemi tabii tutulmuş Kütahya Tüfünün xrd analizi	48
5.16. (1200 °C) Isıtma işlemi tabii tutulmuş Kütahya Tüfünün xrd analizi	48
5.17. Tüf numunesi (Bağlayıcı hamur ve etrafında farklı taneler).....	49
5.18. 900 °C sıcaklıkta tüf numunesi (İnce çatlaklar).....	50
5.19. 1000 °C sıcaklıkta tüf numunesi (kayaç parçası etrafında çatlak genişlemesi)	50
5.20. 1100 °C sıcaklıkta tüf numunesi (derin çatlaklar ve camı yapının sertleşmiş hali)	51
5.21. 1200 °C sıcaklıkta tüf numunesi (Camı yapı)	52
5.22. Kütahya tüfünün optik mikroskop görüntüsü.....	53
5.23. 1000 °C ısıda Kütahya tüfünün optik mikroskop görüntüsü.....	54
5.24. 1200 °C ısıtma işlemi Kütahya tüfünün optik mikroskop görüntüsü.....	55
5.25. Tüf iç yapı görüntüsü (1000x).....	56
5.26. (1000 °C) tüf iç yapı görüntüsü (1000x)	57
5.27. (1100 °C) tüf iç yapı görüntüsü (1000x).....	57
5.28. Sinterlenmiş tüf (1200 °C) iç yapı görüntüsü (1000x).....	58
5.29. Tüf iç yapı görüntüsü (10000x).....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.30. (1000 °C) tuf iç yapı görüntüsü (10000x).....	59
5.31. Sinterlenmiş tuf (1100 °C) iç yapı görüntüsü (10000x).....	60
5.32. Sinterlenmiş tuf (1200 °C) iç yapı görüntüsü (10000x).....	61
5.33. Tuf iç yapı görüntüsü (20000x).....	61
5.34. Tuf (1000 °C) iç yapı görüntüsü (10000x).....	62
5.35. Tuf (1100 °C) iç yapı görüntüsü (20000x).....	62
5.36. Sinterlenmiş tuf (1200°C) iç yapı görüntüsü (20000x).....	63
5.37. Tufün termal analizi (50-1200 °C)	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Alaçatı tüfü fiziksel özellikleri.....	7
2.2. Alaçatı tüfü mekanik özellikleri.....	7
2.3. Derbent tüfü kimyasal özellikleri.....	8
2.4. Derbent tüfü fiziksel ve mekanik özellikleri.....	8
2.5. Afyonkarahisar tüfü kimyasal özellikleri.....	9
2.6. Ayazini ve Seydiler tüfleri kimyasal özellikleri.....	10
2.7. Türkiyedeki bazı tüflerin karakteristik özellikleri.....	13
5.1. Tüflerde XRF analizi sonuçları.....	45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
CO	Karbon monoksit
Ca	Kalsit
Cl	Klor
COLG	Çarpışma ürünü granitoidleri
SiO ₂	Silisyum oksit
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
EDX	Enerji dağıtan X-Işınları analizi
K ₂ O	Potasyum oksit
MgO	Magnezyum oksit
Fe ₂ O ₂	Demir oksit
SO ₃	Kükürt oksit
CaO	Kalsiyum oksit
TiO ₂	Titanyum oksit
Kil	Killeşme
Ku	Kuvars
MnO	Mangan oksit
XRF	X-Işınları difraktogram
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	X-Işınları difraktogramı

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
İLTEM	İleri teknoloji merkezi
M.T.A.	Maden Tetkik Arama Enstitüsü
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
DPU	Dumlupınar Üniversitesi

1.GİRİŞ

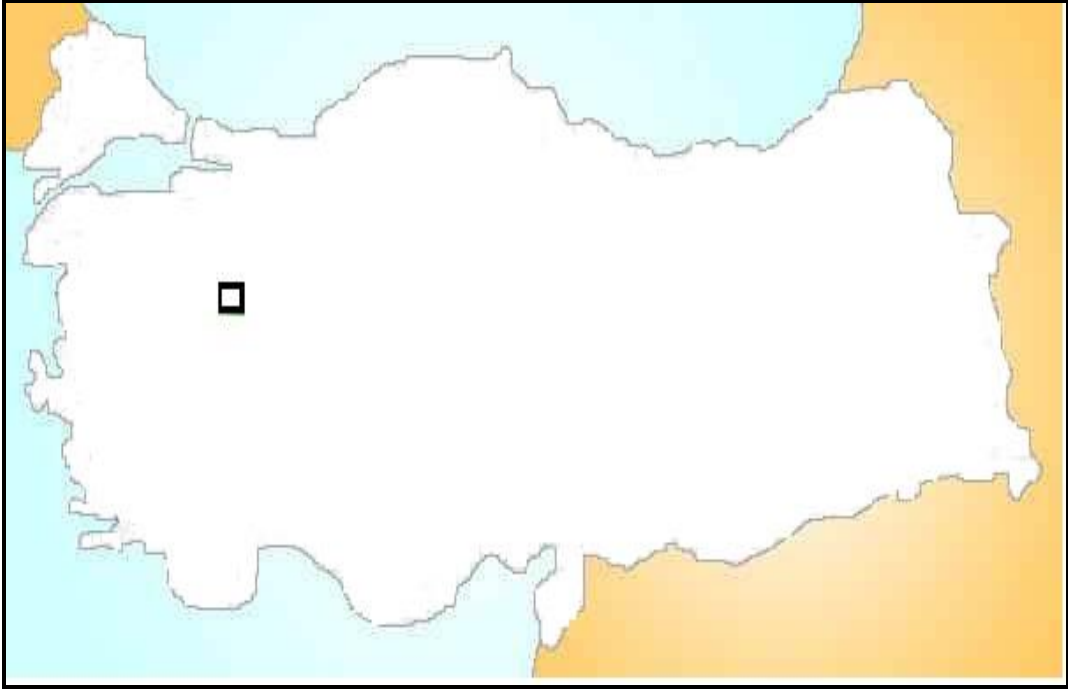
Ülkemizde jeolojik yapı itibariyle volkanik tüfler birçok bölgede yoğun bir şekilde görülmektedir. Afyon, Nevşehir, Eskişehir, Kayseri gibi illerde bulunan tüflerin çimento hammaddesi veya beton katkı maddesi olarak, kesme taş olarak kullanıldığı detaylı çalışmalar bulunmaktadır.

Kütahya yoğun tüf bulunan bölgeler içinde olmasına rağmen tüflerin özellikle yapı fiziği açısından incelenmesine ilişkin kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. İlin üniversitesi olarak bu konuda çalışma yapılmasının DPU için bir görev addedilebileceği düşüncesiyle bu çalışmaya karar verilmiştir. Çalışmamızda henüz yeni sayılabilecek tüf alanlarının değerlendirilmesi bağlamında tek örnek olan mevcut ve oluşturulmakta olan doğal soğuk hava depolarından alınan tüfler incelenmiştir. Yerinde yapılan gözlemlerden sonra literatür taraması yapılmış, alınan numuneler DPU inşaat malzemesi laboratuvarlarında fiziksel ve mekanik deneyler, DPU İLTEM’de ise XRF, XRD ve SEM-EDX analizleri yapılmış önceki çalışmaların ışığında değerlendirilmiştir.

1.1. İnceleme Alanının Yeri

Volkanik tüfleri incelenecek olan Kütahya, Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu Bölümü'nde yer almaktadır. Kütahya İç Anadolu Bölgesinden denize kıyısı olan Ege Bölümüne geçiş alanı oluşturan bir şehirdir. Kütahya ili, 38 derece 70 dakika ve 39 derece 80 dakika kuzey enlemleri ile 29 derece 00 dakika ve 30 derece 30 dakika doğu boylamları arasındadır. Türkiye topraklarının yaklaşık olarak %1,5'lük bir kısmını oluşturan Kütahya 11.875 km²'lik yüzölçümüne sahiptir. Kütahya, batısında Manisa ve Balıkesir , doğusunda Eskişehir ve Afyon, kuzeyinde Bursa, kuzeydoğusunda Bilecik ve güneyinde Uşak, batısında Manisa ve Balıkesir illerimizle çevrilidir. İnceleme alanının yeri Şekil 1.1.'de gösterilmiştir.

Çalışma alanı olarak seçilen alan Kütahya'nın Eskişehir yolu üzerindeki 3. km'si civarındaki Kütahya- Eskişehir yolu üzerindeki Frig vadisine kadar olan bölgeyi kapsamaktadır. Bölgede yer alan soğuk hava deposu olarak kullanılan beyaz ve pembe tüflere ait örnekler seçilmiştir. Farklı renk ve dokusal özellikleri yanında farklı lokasyonlardan olmak üzere toplam 12 adet blok örnekleme yapılmıştır. Numunelerin alındığı yerler ve yöntem fotoğraflanmıştır.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yeri

1.2. İnceleme Alanının Özellikleri

Bu alan yoğun volkanik tüf bulunan bir bölgedir. Kütahya'nın Jeolojik bakımdan oluşumu çok eskilere dayanmaktadır. I. Jeolojik zaman ve III. Jeolojik zamanda bugünkü şeklini almıştır. Bu devirlerde çökmelere, yer yer volkanizmaya ve kıvrımlara uğramıştır. Bu volkanik yapı volkan tüflerinin oluşumunu sağlayan faktördür. İnceleme alanı frig vadisine kadar olan kısımda volkanizma sonucu oluşan tüflü yapıya sahip geniş bir alanı kapsamaktadır. Volkanizma nedeniyle kıvrılma etkisiyle tabakalar kırılarak fay hatlarını oluşturmuştur. Kütahya il merkezi ve doğusu II.derece deprem kuşağı, merkezin batısında yer alan ilçeler (Simav , Gediz gibi) I.derece deprem kuşağı içerisinde yer almaktadır. Kütahya'nın jeolojik yapısını oluşturan yer katmanları daha çok yatay ve yataya yakın şekilde sıralanmıştır.

1.3. İnceleme Alanının Fotoğrafları

İnceleme yapılan ve örneklerin alındığı alan Kütahya bölgesi tüflerinin yoğun bulunduğu bir alandır (Şekil 1.2). Kütahya bölgesi volkanik tüflerinin yoğun olarak bulunduğu Kütahya –Eskişehir yolu üzerindeki söz konusu alanda mevcut soğuk hava depoları arazinin oyularak mekan oluşturulması şeklinde yapılmaktadır. Mevcut depolara yeni depolar eklenmesi için halen çalışmalar yapılmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.2. Numune alınan alandaki yoğun tuf kısımları fotoğrafı.

2. TÜFLERİN ÖZELLİKLERİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tüfler Hakkında Genel Bilgiler

2.1.1. Tüfün tarihçesi

Volkanik tüfler İç Anadolu Bölgesi başta olmak üzere Türkiye'nin birçok yerinde görülmektedir. Özellikle Ankara, Eskişehir, Kayseri, Konya, Niğde, Nevşehir gibi şehirlerde çeşitli minerallere sahip volkanik tüfler bulunmaktadır. Genel olarak, esmer kahverengimsi, bazen beyaz, sarı ve yeşilimsi renklerde görülen bu tüfler birbiri içlerinde girift halde bulduklarından ayırt etmek zor olmaktadır. Tüf, aglomera ve lavlarda sık sık küresel ayrışmalara rastlanmaktadır. Volkanik tüfler, magmatik taşlardan yüzeyde katılaştıran taşlar grubuna girmektedir. Bu taşların sağlam karakterini ve bozulma morfolojisini anlamak için jeolojik oluşumlarını bilmek gereklidir. Volkanların kraterlerinden çıkarak kızgın bir sıvı halinde akan maddelere veya bu kızgın magmanın soğuması ile katılaştıran oluşumlara "Lav" adı verilir. Volkanik püskürtme esnasında lavlardan başka bazı katı maddelerde atmosfere yayılarak çıkar. Volkan külü denilen bu ince zerrelili maddelerin yamaçlarda, göl veya denizlerde birikmesi neticesinde meydana gelen oluşuma da volkanik tüf adı verilir.



Şekil 1.3. Tüf alanında soğuk hava deposu dış resmi.

Volkanik tüfler bazen arazi üzerinde tabakalar halinde görülürler. Bu durum, zaman zaman ortaya çıkan püskürmeler sırasında volkandan çıkan maddelerin civarlarındaki göl veya denizlerin dibinde ya da yamaçlar üzerinde birikmesiyle oluşur. Bazen de tüfler içerisinde patlamalar esnasında volkan ağzından koparak fırlamış olan parçacıklar da bulunur. Tüflerin elemanları arasında çok küçük boşluklar bulunur, bundan dolayı tüfler hafif doğal yapı taşlarıdır. Tüfler içerisinde bazen fosil de bulunabilir. Fosiller sayesinde tüflerin deniz veya gölde oluştuklarını anlamak mümkündür. Örneğin, göllerde biriken tüfler arasında genelde bitki dalları ve yapraklar veya göl hayvanlarının fosilleri denizlerde oluşanlar arasında deniz hayvanlarına ait kalıntılar (kabuk v.s.) görülür. Bazı tüfler içinde büyük hornblend, ojit, idokraz ve oosit mineralleri bulunmaktadır. Türkiye'deki bütün volkanik arazilerde tüflere rastlanır ve bu taşlar andezit, dasit ve trakitler arasında veya genelde birlikte bulunurlar. Ocakta iken yumuşak olan bu taşların işlenmeleri kolaydır. Ancak, bu taşlar açık havada kaldıkça suyunun bir kısmını kaybederek daha sert bir duruma gelebilmektedirler.

Yerküresinin belirli derinliklerinde erimiş haldeki magmanın, herhangi bir yolla yeryüzüne ulaşması olayına "volkanizma" denir. Magma, henüz yerin derinliklerinde, belirli basınç ve sıcaklık altında bulunduğu zaman, çeşitli gaz ve çözeltileri içeren bir sıvı özelliğindedir. Magma yeryüzüne ulaşmadan önce, sıvı halde iken, magma içindeki çeşitli silikatlar kendi aralarında ilişkilere girerek, ortamın fiziko-kimyasal koşulları altında

kristalleşmeler oluşur. Böylece magmada ilk kristaller oluşmaya başlar. Daha sonra herhangi bir yolla; kırık ve sıcaklık gibi fiziko kimyasal koşullar ani olarak değişir. Bu atmosferik koşullarda yarı kristalleşmiş sıvı magma, ani basınç ve sıcaklık düşmesi ile hızla soğur; yüzeyde ani soğuyan magma yerinde katılaştır. Yeryüzünde katılaştıran lavlar (volkanik kayalar) ortam koşulları nedeni ile camsal veya yarı camsal dokular kazanır. Volkanik ürünlerin yüzeyde katılaştırmaları, volkanizmanın karakterine ortam koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Karasal oluşumlu volkanlarda masif, bresik, aglomeratik, kolon yapıları, yalancı kolon yapıları, tabakalı yapılar izlenirken, denizsel oluşumlu volkanlarda da, masif, tabakalı, aglomeratik, tortul kayalarla ara katkılı lavlar, pillow-lav (yastık lavları) yapılar görülmektedir.(Erguvanlı ve Sayar, 1955; Uz, 2000).Volkanik tüflerin isimlendirilmesi eski Yunancadan cüruf kelimesinin eş anlamlısı olan “cinder”den gelmektedir.

2.1.2. Tüflerin genel özellikleri

Tüf gözenekli yapıya sahip bir volkanik kaya türüdür. Tüfler, volkanizma sırasında şiddetli patlamalarla genellikle katı halde dışarı püskürtülen, değişik tane büyüklüğündeki malzemenin birikmesiyle volkanik ve tortul kayalara benzer özellikler gösteren piroklastik kayalardan oluşurlar (Çobanoğlu vd., 2003). İçeriklerinde yaygın bir şekilde gaz boşlukları vardır. Gözenekleri yarı erimiş lavın parçalanmasına eşlik eden hızlı soğuma sırasında gazın genişlemesinden oluşur. Tüf ve tüfit çoğu kez iç içe karışmış olarak bulunurlar. Tüf hücreli yapı göstermeyen camın sert tozları veya kuvars feldspat ve mafik minerallerin çok ince kristallerini kapsayabilir. Tüfit ise mineral tanelerini kapsar (Çobanoğlu vd., 2003).

Tüf çok çeşitli malzemeler için kullanılabilir bir ifadedir. Bir malzemeye tüf denebilmesi için tek şart malzemenin volkanik bir faaliyet sonucu oluşan eriyiğin havada sertleşmesidir. Tüfler Şekil 2.1.’de görüldüğü gibi toz büyüklüğünden büyük taş büyüklüğüne kadar değişen boyutlarda çok çeşitli malzemeler içerebilirler. Bu malzemeler püskürme sırasında eriyen küller ve taş parçalarının birbirine yapışması ile oluşmuştur.



Şekil 2.1. Tüfün genel görünümü (Yeğınobalı, 1997.b)

Tüf ve tüfit açık renkli, silisli volkanik camlardır. Tüf ve tüfit arasındaki fark tane boyutudur. Bazı farklılıklar olmasına rağmen 2 veya 3 mm'den büyük taneliler (ince çakıl boyutu veya kaba kum) tüf olarak adlandırılırlar (Şekil 2.1). İki veya 3 mm'den küçük olan tüfler ise genelde toz tüfit olarak adlandırılmıştır (Demir, 2001). Doğada sadece volkanik elemanlı tüfler olduğu gibi, sedimanlı tüfler ve tüflü sedimanlar da mevcuttur. Değişime uğramış volkanik taşlar da çoğu zaman tüfe benzerler. Bunları tüflerden ayırt etmek güçtür. Ortalama 4 mm'den küçük piroklastik tanelerin oluşturduğu taşlara tüfit ve kum halinde olanlara ise volkanik kül denir. Tüfler, volkanik cam parçaları ile kristal ve volkanik olmayan malzemelerden oluşmuşlardır. Tüflerin en büyük tane büyüklükleri 4-32 mm. olursa lipilli, daha büyük parçalardan oluşmuş ise de volkanik aglomera veya volkanik breş olarak adlandırılırlar. Bazaltik dokulu, sarımtırak veya gri renkli, lapilli ve zift parlaklığında köşeli kısımlardan yapılmış tüflere palagonit denir (Yeğınobalı, 1997.b). Volkanik tüf, magma içerisinde çözülmüş gazlar bakımından çok zengin bir haldeyken yeryüzüne püskürmesi sırasında oluşur, yüzeye gelen magma düşük basınç altına girer ve çözülmüş durumdaki gazlar magma içerinden baloncuklar oluşmasına neden olur, magma soğuyup katılaşmaya başladığı sırada bu baloncukların bir kısmı içeride hapsolür ve gözenek halini alır. Bu gözenekler çoğunlukla küçük, sferoid şeklinde, birbirini etkilemektense ufak biçim değişiklikleri ile birbirine açılan niteliktedir. Kaynağı yeryüzünün onlarca mil altında bulunan magma bazı kristaller, çözülmüş gazlar içermektedir,

fakat magma esas olarak oksijen, silikon, alüminyum, demir, magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum, titanyum ve mangandan oluşan bir eriyiktir. Magma aynı zamanda eser miktarda başka kimyasal maddeler de içerir. Soğuma aşamasından itibaren, katılaşma aşamasında bir volkanik ya da magmatik kaya meydana gelene kadar sıvı magma içindeki kristalleri ve çeşitli mineralleri çökeltir. Volkanik tüf, sahip olduğu çok sayıdaki makroskopik elips şekilli gözenek nedeni ile göreceli olarak daha hafiftir, fakat pomzanın aksine bütün volkanik tüf kayalarının özgül ağırlığı 1'den büyüktür ve suda batarlar.

Tüflerin özelliklerine ilişkin yapılan birçok farklı bölge tüfü ile ilgili çalışma bulunmaktadır. Bunlara örnek teşkil edecek çalışmalar aşağıda derlenmiştir.

Dokuz eylül üniversitesi Torbalı meslek yüksekokulu tarafından Alaçatı tüfü için yapılan analizde aşağıdaki sonuçlara ulaşıldığı belirtilmektedir (Özer,2012).

Çizelge 2.1. Alaçatı tüfü fiziksel özellikleri.

KAYACIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ		
Görünür yoğunluk (kg/m ³)	1,370 ± 0,033	TS EN 1936
Gerçek yoğunluk (kg/m ³)	2,364 ± 0,0127	TS EN 1936
Açık gözeneklilik(%)	35,580± 0,936	TS EN 1936
Toplam gözeneklilik(%)	42,065±0,296	TS EN 1936
Atmosfer basıncında su emme(%)	25,964±1,218	TS EN 13755
Don sonrası ağırlık kaybı(%)	2,262±1,387	TS EN 12371
Isı iletim katsayısı (W/m.Kel.)	0,505±0,018	TS EN 1745
Kapiler su emme katsayısı (g/m ² s)	22,68	TS EN 1925

Çizelge 2.2. Alaçatı tüfü mekanik özellikleri.

KAYACIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ		
Basınç dayanımı (Mpa)	16,29 ± 0,79	TS EN 1926
Don sonrası basınç dayanımı (Mpa)	10,97 ± 0,99	TS EN 12371
Yoğun yük altında bükülme dayanımı (Mpa)	2,67± 0,29	TS EN 12372
Aşınma kaybı(böhme metodu (mm ³))	25480±2277	TS EN 14157
Aşınma kaybı (disk aşındırma) (mm)	35,96±2,96	TS EN 14157
Darbe direnci (MPa)	0	TS 699

Tüflerle ilgili olarak yapılan özellikleri belirlemeye ilişkin çalışmalardan bir diğeri Eskişehir ile ilgilidir. Bu çalışmada Derbent tufünün içerdiği mineraller tespit edilmiştir (Daloğlu ve Emir,2010) . Buna göre yüzdece içerdiği mineraller aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir ;

Çizelge 2.3. Derbent tufü kimyasal özellikleri.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₂	CaO	TiO ₂	MnO	SO ₃	Cl	P ₂ O ₅
69,70	11,96	4,87	2,87	1,22	1,06	0,08	0,08	0,06	0,05	0,04

Derbent tüflerinin fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.(Daloğlu ve Emir,2010);

Çizelge 2.4. Derbent tufü fiziksel ve mekanik özellikleri.

Deney Adı	Numune Sayısı	Ortalama
Kuru Birim Hacim ağırlığı γ (kN/m ³)	5	13,23±0,21
Kütlece Su Emme Oranı Sk (%)	5	20,44±0,23
Hacimce Su Emme Oranı Sh (%)	5	28,21±0,311
Özgül Ağırlık do (g/cm ³)	3	2,32±0,02
Görünen Porozite Pg(%)	5	20,44±0,23
Doluluk Oranı k (%)	3	58,39±0,99
Porozite P (%)	3	41,61±0,99
Tek Eksenli Basınç Dayanımı σ_b (MPa)	5	11,39±0,69

Çalışmada bölge tüfleri için genel olarak; “Tüflere özgü bir standardın olmaması, mevcut standartlara göre değerlendirme yapabilmek için tuf nedir sorusuna yanıt bulunmasını gerektirmektedir. Buna göre tuf; 1. doğal yapı taşı 2. kesme taş 3. dolgu duvar malzemesi ve 4. kagir birim olarak tanımlanabilir” denilmektedir. Eskişehir-Derbent tüfleri, döşeme ve kaplama taşı olarak kullanılabilir özelliklere sahip değildir. Bu nedenle, "doğal yapı ve kaplama taşı" olarak tanımlanması uygun görülmemiştir. Tüfler hafif ve kolay işlenebilir bir malzeme olması nedeniyle, yerinde dilimleme şeklindeki kesim yöntemi ile üretilebilmektedir. Kesme taş üretim yöntemi, hem ürünün ocaktan alınması nedeniyle nakliye masraflarını azaltırken, hem de basit ve zaman kazandıran bir yöntem olmaktadır. Yapay olarak üretilen emsallerine göre; tüflerin ocakta kesim işlemi dışında ürün maliyeti olmamaktadır. Gazbeton tüflere göre daha hafif olmasına karşın, yapılarda yapay dolgu duvar malzemesi olarak kullanılan bimsbeton, beton briket/beton blok ve az delikli tuğlayla benzer özellikler göstermekte ve daha ekonomik bir alternatif ürün olmaktadır. Doğal dolgu duvar malzemelerine göre tüflerin hafif olması, yüksek

katlı yapılarda yapı üzerine gelen dinamik yükleri azaltacağı için depreme karşı yapı dayanımını arttırmaktadır. Yapılan kimyasal analizler sonucuna göre , Derbent tufü dasitik magma özelliğinde olup, içerdiği mineraller nedeniyle ısıya karşı dayanıklı bir kayaç türüdür. Ayrıca içerdiği gözenekli yapısı nedeniyle de ısı yalıtımını sağlamaktadır sonuçlarına ulaşılmıştır (Daloğlu ve Emir,2010).

"Aksaray Bölgesi Volkanik Tuf Serilerinin Sıva Malzemesi Olarak Kullanımı" isimli çalışmada ise aşağıdaki sonuçlar belirtilmektedir;

Tuf agrega örneklerinin özgül ağırlık değerleri, piknometre yöntemine göre analiz edilmiş olup, ortalama özgül ağırlık $2,37 \text{ gr/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Analiz bulgularına göre ortalama değerler sırasıyla, Birim Hacim Ağırlık 702 kg/m^3 , Kuru BHA için 1028 kg/m^3 ve doğal nem miktarı da %31,64 olarak belirlenmiştir.(Bekar vd.,2006). Afyonkarahisar'da yapıtaşı olarak kullanılan tüflerdeki poroziteye bağlı su içeriğinin fizikomekanik özelliklere etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada tüflerin kimyasal özelliklerinin bölgeye göre farklılık gösterdiği belirtilerek bu konuda daha önce yapılmış analizler aşağıdaki gibi kıyaslanmıştır.(Ergül,2009).

Çizelge 2.5. Afyonkarahisar tufü kimyasal özellikleri.

Bilesikler	TS 25	Kavas ve Çelik, (2001)	Arslan vd., (2005)	Alp vd. (2004)
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{FeO}_3$	min.%70	87,50-91,16	80-83	76,86
MgO	mak. %5	0,03-0,09	0,87	2,60
SO_3	mak. %3	0,04-1,66	-	0,41
Nem	-	2,39-6,40	-	2,20

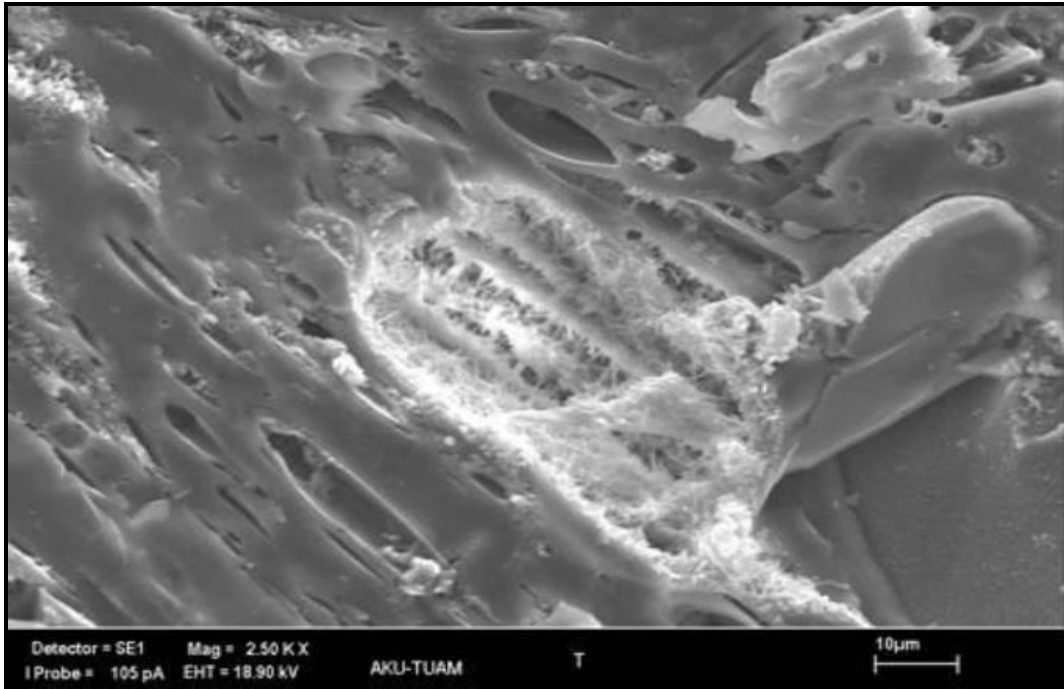
Aynı çalışmada tüflerin fiziksel özellikleri kısaca özetlenmiştir. Buna göre; Ortalama erime sıcaklığı $1343 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir ve $760 \text{ }^\circ\text{C}$ ' nin altında bir hacim değişikliğine uğramaz. $480-650 \text{ }^\circ\text{C}$ aralığındaki alevlerde yapısal bozulma veya parçalanmaya uğramaz. Doğal nem oranı poroziteye göre yüksektir. Mohs sertlik skalasına göre sertliği 5,5-6 arasında değişmektedir. Basınç mukavemeti ise $95-130 \text{ kg/cm}^2$ arasında değişmektedir. Camın kendine has yoğunluğu $2,5 \text{ gr/cm}^3$ olmasına rağmen tufün gözenekli yapısından dolayı 1 gr/cm^3 'ten daha küçüktür. Gözenek çeperleri camdan oluşan bir zar ile birbirinden ayrıldığından (bağlantısız boşluklardan) dolayı tuf düşük bir geçirgenliğe sahiptir. (Pirsson 1975; Aslaner 1989)

Afyon yöresindeki farklı bölgelerden alınmış tüf örneklerinin kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki gibi belirtilmiştir; (Ergül,2009).

Çizelge 2.6. Ayazini ve Seydiler tüfleri kimyasal özellikleri.

Türü	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	A.Z	Top.
Ayazini	72,3	13,6	1,43	0,124	1,02	2,29	6,24	0,11	2,84	99,95
Seydiler	73,5	14,7	0,529	0,117	0,85	3,78	5,70	0,06	0,78	100,01

Tüflerin porozitesi; Ayazini tüfü için %37,3 ve Seydiler tüfü için %36,0 olarak belirtilmiştir.(Ergül,2009). Literatürde bulunan önceki çalışmalarda Ayazini tüflerinin porozitesi %39,95 (Kuşçu ve Yıldız, 2001), Isparta kaynaklanmış tüflerin porozitesi ise %40 (Özkahraman ve Işık 2003) olarak ifade edilmiştir. Şekil 2.2.'de Afyon-Seydiler yöresine ait bir tüf kayacından elde edilen numunenin mikroyapısı görülmektedir. Tüfün içerisinde bir çok gözenek bulunmakta ve bu gözenekler genel olarak yassı şekillidir. Dolayısıyla tüf agregası pomzaya göre daha yoğun bir yapıya sahiptir.



Şekil 2.2. Afyon yöresi tüfün mikroyapı görüntüsü (Kadir ve Karakaş, 2000)

Tüflerin özgül ağırlık analiz sonuçları (gr/cm^3) ; Ayazini 2,4227 ve Seydiler 2,2933 olarak tespit edilmiş olup TS 2513'e göre doğal yapı taşlarının özgül ağırlıklarının minimum $2,55 \text{ gr/cm}^3$ olması gerekmektedir. Buna göre Ayazini tüflerinin özgül ağırlığı $2,42 \text{ gr/cm}^3$ olarak ölçülmüş ve standarttaki sınır değere yakın olduğu görülmüştür. Kuşçu ve Yıldız (2001) tarafından yapılan Ayazini tüflerinin özgül ağırlık tayininde $2,52 \text{ gr/cm}^3$, Özkahraman ve Işık (2003) tarafından yapılan Isparta kaynaklanmış tüflerin özgül ağırlığı $2,38 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. (Ergül,2009).Tüflerin birim hacim ağırlıkları ; TS 699'a göre yapılan birim hacim ağırlık deneyleri neticesinde elde edilen bulgulara göre TS 2513'e göre doğal yapı taşlarının birim hacim ağırlığının minimum 2550 kg/m^3 ($2,55 \text{ gr/cm}^3$) olması gerekmektedir. Ayazini tüflerinin birim hacim ağırlığı $1853,30 \text{ kg/m}^3$, Seydiler tüflerinin birim hacim ağırlığı $1746,35 \text{ kg/m}^3$ olarak belirlendiği için sınır değerlerin altında kalmaktadır. Kuşçu ve Yıldız (2001) tarafından yapılan testlerde Ayazini tüflerinin birim hacim ağırlığı 1530 kg/m^3 olarak bulunmuştur. (Ergül,2009).TS 2513'e göre doğal yapı taşlarının ağırlıkça su emme oranı maksimum %1,8, TS 1910'a göre kaplama olarak kullanılacak doğal taşın su emme oranı maksimum %0,75 olması gerekmektedir. Ayazini tüflerinin ağırlıkça su emme oranı %16,93 olarak bulunurken Seydiler tüflerinin ağırlıkça su emme oranı %18,51 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre tüflerin ağırlıkça su emme oranlarının her iki standarttaki sınır değerlerden çok uzak olduğu görülmektedir. Özkahraman ve Işık (2003) tarafından yapılan Isparta kaynaklanmış tüflerin su emme testlerinde ağırlıkça su emme oranı %20, hacimce su emme oranı %28 olarak bulunmuştur. Ayazini tüflerinin tek eksenli basınç dayanımı $222,1 \text{ kgf/cm}^2$ (22 MPa) olarak bulunurken Seydiler tüflerinin tek eksenli basınç dayanımı $190,75 \text{ kgf/cm}^2$ (19MPa) olarak belirlenmiştir. TS 2513 standardına göre doğal yapı taşlarının tek eksenli basınç dayanımı minimum 510 kgf/cm^2 (50 MPa) olması gerekmektedir. Bu duruma göre her iki tuf örneği de bu standardın altında kalmaktadır. Kuşçu ve Yıldız (2001) tarafından yapılan Ayazini tüflerinin tek eksenli basma deneylerinde 145 kgf/cm^2 , Özkahraman ve Işık (2003) tarafından yapılan Isparta kaynaklanmış tüflerin tek eksenli basma deneylerinde $60-120 \text{ kgf/cm}^2$ olarak bulunmuştur. (Ergül,2009). Ayazini tüflerinin eğilme dayanımı $13,74 \text{ kgf/cm}^2$ (1,35 MPa) olarak bulunurken Seydiler tüflerinin tek eksenli basınç dayanımı $10,70 \text{ kgf/cm}^2$ (1,05 MPa) olarak belirlenmiştir. TS 2513 standardına göre doğal yapı taşlarının eğilme dayanımı minimum 51 kgf/cm^2 (5MPa) olması gerekmektedir. Bu duruma göre her iki tuf örneği de bu standardın altında değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir (Ergül,2009).

Kayseri yöresindeki yapıtaşlarının fizikomekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan bir yüksek lisans tezinde aşağıda belirtilen deney sonuçlarının alındığı görülmüştür;

Tüf grubu kayaçların birim hacim ağırlıkları suya doymun halde 1,696-2,135 gr/cm³, kuru halde ise, 1,360-1,990 gr/cm³ çıkmıştır. Tüf grubu kayaçların ağırlıkça su emme oranı %7,19-25,39 arasında belirlenmiştir. Tüf grubu kayaçların yaklaşık 1/4 ü kadar su emdiği görülmüştür. Tüf grubu kayaçların suya doymun haldeki sonik hızları 1,73-3,72 km/sn, Tüf grubu kayaçların kuru haldeki sonik hızları 1,55-3,48 km/sn, arasındadır. Kayseri Bölgesinden alınan numunelerin zahiri porozite (gözeneklilik derecesi) belirlenmiştir. Tüf grubu kayaçların %14,48-34,43 arasında çıktığı görülmüştür. Tüf grubu kayaçların yaklaşık üçte birinin boşluklu yapıya sahip olduğunu gözlenmiştir. Aynı çalışmada Tüf grubu kayaçların suya doymun haldeki tek eksenli basınç dayanımlarının 7,80-63,00 MPa kuru halde iken 7,40-69,20 MPa arasında olduğu gözlenmektedir.

Kayseri bölgesinden alınan numunelerin; doymun ve kuru haldeki nokta yük dayanım sonuçları; Tüflere uygulanan deney sonucunda suya doymun haldeki nokta yük dayanım indekslerinin 0,98-4,81 MPa, kuru halde ise 1,30-4,84 MPa olduğu gözlenmiştir. Eğilme Dayanımı; Tüf grubu kayaçlara yapılan deneyler sonucunda kuru halde iken 0,71-6,20 MPa, suya doymun halde iken 0,32-6,25 MPa arasında çıktığı gözlenmiştir. Darbe dayanımı; Kayseri bölgesinden alınan numunelere yapılan; doymun ve kuru haldeki darbe dayanımı deneyi sonuçlarına bakıldığında tüf grubu kayaçların yaklaşık 4,25 kg.cm/cm³ çıktığı görülmüştür. Kayseri bölgesinden alınan numuneler için yapılan böhme aşınma dayanımı deneyi yapılmıştır. Her örnek için 22 devirlik 20 aşınma periyodu, yani 440 devir uygulanmıştır. 440 devir sonunda deney numuneleri sert bir fırça ile temizlenerek kalınlıkları tekrar ölçülmüş ve meydana gelen aşınma miktarları hacimsel olarak tespit edilmiştir. Numune deney sonuçları göz önünde bulundurulduğunda tüf türü kayaçların %20 ile %30 arasında aşındığı gözlenmiş, yapılan deney sonuçlarına göre, tüf grubu kayaçların aşınma kayıplarının 20,20-76,24 cm³/50cm² olduğu hesaplanmıştır (Kaygısız,2010).

"Uşak ve sandıklı civarındaki "küfeki taşlarının (aglomera ve tüf) petrografik ve petrokimyasal incelenmesi, bunların yapıtaş ve agrega olarak değerlendirilmesi" çalışmasında ;

Karaboldere aglomeralan (Altıntaş Köyü) ve Sandıklı tüflerinin kimyasal analiz sonuçları; Analizlerdeki majör element oksit değerleri karşılaştırıldığında, SiO₂ değerleri %48,42-59,86 arasında, Al₂O₃ değeri %14,21-17,36, Fe₂O₃ değeri %3,23-6,12 arasında MnO değeri %1,19-2,01 arasında, CaO değeri %5,21-8,55 arasında, Na₂O değerleri %3,98-4,10 , K₂O değerleri %3,25-6,65 , kızdırma kaybı değeri %3,60-10,80 arasında değişmektedir (Özpınar vd.,1999).

Türkiye’de bulunan bazı volkanik tüflerin karakteristik özelliklerini belirleyen deney sonuçları derlenerek aşağıdaki Çizelge 2.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.7. Türkiyedeki bazı tüflerin karakteristik özellikleri.

Mevki	Basınç Dayanımı (MPa)	Su Emme (%)	Aşınma (mm.)
Cırlağan tüfü kırmızı (Kayseri)	48,6	4,7	1
Cırlağan tüfü sarı (Kayseri)	35	1	13
Mağrap taşı-trakit Tüfü	42,3	2,17	11
Kavak taşı (İstanbul)	39,3	2,6	-
Ayazın Taşı (Afyon) Beyaz	14,8	12	4,6
Köprülü Taşı (Afyon) Siyah	40	1,5	1,6
Sille Taşı- Konya, Pembe	61,6	16,6	-
Kütahya, Beyaz tüf yerinde	8,01	30	-
Kütahya, Sarı Tüf yerinde	7,96	32	-



Şekil 2.3. Göreme’de tüfün yapı taşı olarak kullanılması ile yapı örneği.

2.1.3. Tüf yapılardan örnekler

Tüflerin geçmişte inşaat sektöründe kullanımına ilişkin birçok örnek bulunmaktadır ; Anadolu'da Hitit, Eski Yunan, Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı uygarlık dönemlerine ait eserlerinde tüfler kullanılmıştır. Bu eserlerin inşasında kullanılan doğal taşların elde edildiği taş ocakları bazıları halen çalışmakta ve dönemlerine tanıklık etmektedirler. Anadolu Selçuklu döneminde, daha çok Orta ve Doğu Anadolu'daki volkanik tüf türündeki doğal taşlarla ünlü medreseler, camiler, türbeler, kervansaraylar inşa edilmiştir. Özellikle Van-Ahlat dolayındaki renkli ve volkanik tüflerden yapılan eserler, günümüzde de işlevlerini sürdürmektedir. Bu dönemdeki cami ve medrese avlularında kullanılan sütun ve sütun başlıklarının çoğu Bizans yapılarından devşirilmiştir. Tokat Gök Medresede, Konya Alaaddin camisinde, Sivas Buruciye Medresesinde bu devşirilmiş örneklerle rastlanmaktadır. Selçuklu döneminde, mermerin en yoğun olarak kullanıldığı örnek Tokat Gök Medresesi ile Konya Karatay Medresesidir. Bu dönemde kapı, pencere mihrap ve minberlerdeki mermer işlemciliği üst düzeydedir (Çelik 2009). Kütahya ulucami taş yapıları için bölgemizde önemli bir örnektir.9.yüzyılda yapılan ve çeşitli dönemlerde tadilat restorasyona uğraya cami günümüzde halen kullanılmaktadır.



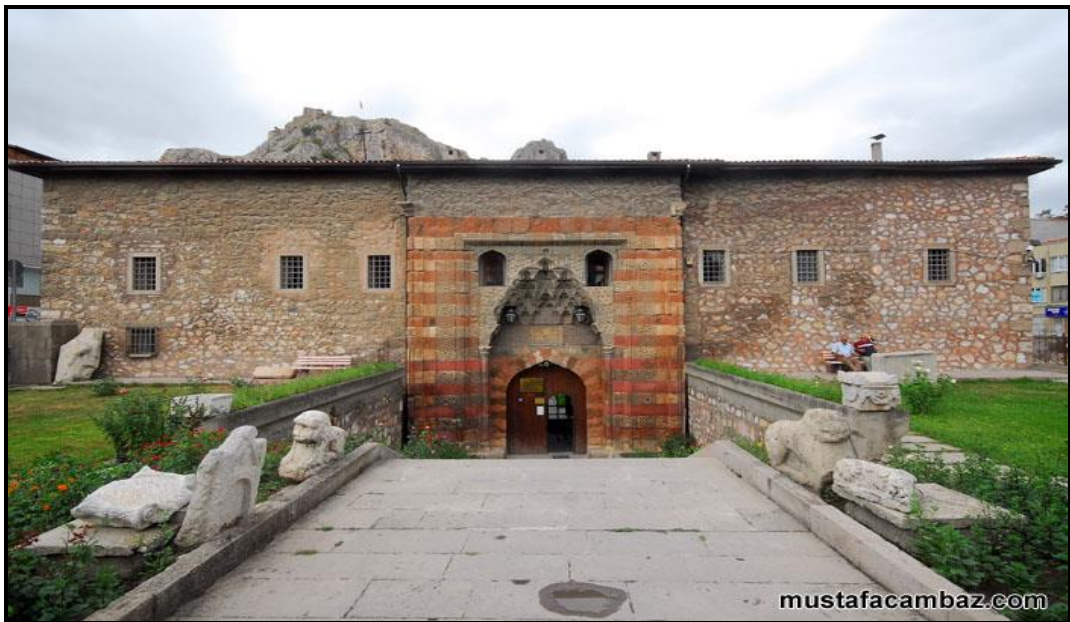
Şekil 2.4. Kütahya ulu cami dış görünüşü.

Selçuklu ve Osmanlı Dönemi yapıları ile tarihi dokunun yaşatıldığı ve Anadolu'daki Türk kültürünü yansıtan önemli eserlerin yer aldığı illerden birisi de Afyonkarahisar'dır.

Afyonkarahisar’da günümüze kadar gelebilen cami, medrese, köprü ve han gibi genel kullanıma açık tarihi yapıların yanı sıra, çeşme, hamam, bent ve su kemeri gibi su mimarisi yapıları da önemli bir yer tutmaktadır (Çelik ve Sel 2008). Bu tarihi yapıların birçoğunda Ayazini ve Seydiler tüfleri kullanılmıştır (Ergül,2009).



Şekil 2.5. Kütahya ulu cami duvarlarında su etkisiyle bozunma örnekleri.



Şekil 2.6. Tokat gök medrese tuf ile taş yapı örneği.



Şekil 2.7. Afyonkarahisar imaret camii

Tüf dayanım özellikleri son derece düşük olmasına karşın, eski zamanlardan beri Orta Anadolu'nun çeşitli yerlerinde doğal yapı malzemesi olarak kullanılmış, Anadolu'da geçmişten günümüze kullanılan bir yapı malzemesi olmuştur. Anadolu medeniyetleri tüfler içerisinde açılmış odalarda yaşamlarını sürdürmüş , buraları barınma , yiyecek depolama ve ibadet yeri olarak kullanmışlardır. Frigya vadisi ve Kapodakya bölgesi bu konuda en önemli yerleşim yerleridir. Eskişehir' in güneyinde yer alan Yazılıkaya (Midas) anıtı M.Ö.600 yıllarında Frigler tarafından yapılmış ve geçmişten günümüze kadar ayakta kalabilmiş nadir örneklerdendir. Yakın geçmişe ait Anadolu'da tüfün kesme taş olarak kullanıldığı Osmanlı mimarisine ait çok sayıda yapı örnekleri mevcuttur. Eskişehir'de bununla ilgili olarak 1525 yılında yapılmış Eskişehir Kurşunlu külliyesi bugüne kadar ayakta kalabilmiş yapılardandır (Daloğlu ve Emir,2010).

Afyonkarahisar-Ankara karayolu üzerinde bulunan yerleşim birimleri; batıda İncehisar ilçesi, doğuda Seydiler kasabası ve Karakaya köyünün bulunduğu bölge birçok medeniyetlere yerleşim yeri olmuştur. Uzun yıllar önce yapılan ve yapımında Seydiler yöresi tüflerinin kullanıldığı bu yapılar hala çok fazla yıpranmamış olarak yerlerindedir (Ergül,2009).



Şekil 2.8. Seydiler tüfü kayalıkları görünümü.

Ayazini bölgesi, antik dönemden günümüze kadar taş ocaklarıyla ün yapmıştır. Ayrıca tüflerin kolay işlenebilir olması nedeniyle de Frigler'den Bizans'a kadar uzanan bir dönemde kayalar oyularak bir takım dini ve sosyal mekanlar yapılmıştır. Roma ve Bizans döneminde "Metropolis" adıyla bilinen antik yerleşimin genellikle oyulmaya elverişli tüfler üzerine kurulduğu görülmektedir . Günümüz Ayazini kasabası da bu antik kaya yerleşimi ve öreni üzerine kurulmuş olup eski ile yeni yerleşim yerleri iç içe bulunmaktadır (Kuşcu ve Yıldız 2001; Ergül,2009).

Tüflerin geçmişten günümüze bu geleneksel kullanımının en önemli sebeplerinden biri, Anadolu'da geçmiş zamanlardan beri devam eden volkanik hareketler sonucu yaygın halde oluşmuş olmasıdır. Bunun yanında, hafif ve kolay işlenebilir olması da çok önemli bir kullanım sebebidir. Ayrıca, tüflerdeki geniş açıklıklı süreksizlikler kazı işini kolaylaştırmış olabilir .(Aydan ve Ulusay,2003) Literatürde tüflerle ilgili olarak, Kapadokya tüflerinin ve Yazılıkaya tüflerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmiş olduğu çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların ortak sonucu; tüflerin hafif, porozitesi yüksek ve düşük dayanımlı bir kayaç olduğudur. Tüflerin zayıf bir malzeme olmasına rağmen, geçmişten günümüze ayakta kalmış tüften yapılar kullanılabilirliğinin bir ölçütü olmaktadır (Daloğlu ve Emir,2010).



Şekil 2.9. Kapadokya tuf içinde yapılaşma örneği.

Volkanik tüfler yapılarda; taşıyıcı duvarlarda, pencere sövelerinde, cephe kaplamalarında, merdiven basamaklarında, tretuvarlarda, temel dolgularında sıkça kullanılmıştır. Örneğin, İzmit'te Av Köşkü'nde beyaz Kandıra taşları ile pembe renkli olan andezitik tüfler ve yeşilimsi renkte olan dasitik tüfler (od taşı) cephede çok renklilik yaratmak için tercih edilmiştir. Ayrıca, 1766 depreminde hasar gören Fatih ve Eyüp camilerinin temellerinde, Haliç kıyısında bulunan Ahi Çelebi Camii, Adile Sultan Sarayı, Ragıp Paşa Kütüphanesi ve Kapalıçarşı'nın pencere sövelerinde yeşil renkli tuf taşları kullanılmıştır (Daloğlu ve Emir,2010).

2.1.4. Tüflerin inşaat sektöründe kullanımı örnekleri

Tüflerin günümüzde inşaat sektöründe kullanımına ilişkin birçok farklı örnek bulunmaktadır;

Günümüzde tüfler birçok yerde farklı amaçlarla kullanılmaktadır. İncelemenin yapıldığı Kütahya'da sadece tuf alanlarında oyularak açılan sahalarda doğal soğuk hava depoları oluşturularak kullanım söz konusudur. Kütahya belediyesi tarafından Kütahya Eskişehir yolu 3. km'sinde bir alana açılan doğal su depoları meyve-sebze deposu olarak kullanılmakta ve bu alandaki soğuk hava depolarının sayısının artırılması çalışmaları sürdürülmektedir. Nevşehir çevresinde doğal olarak oluşan peribacaları turistik alan olarak

değerlendirilen tuf oluşumları örneklerindedir. Eskişehir , Nevşehir , Kayseri gibi yörelerde kesme taş olarak üretim ve kullanımı vardır. Kolay işlenebilirliği nedeniyle dekorasyon işlerinde kullanılabilir. Hafif beton üretiminin en popüler yolu ise hafif agreganın kullanılmasıdır ve bunun için agrega olarak kullanım örnekleriyle birlikte bu konularda araştırma çalışmaları da sürmektedir. Aşındırıcı olarak ve çimento sektöründe kullanımı mümkündür.



Şekil 2.10. Kütahya soğuk hava depoları iç görünümü.

Sıva malzemesi olarak kullanımlar görüldüğü gibi bu konuda farklı çalışmalar da bulunmaktadır. Eskişehir Derbent bölgesinde kurulan ocaklarda tüften kesme taş üretimi yapılmaktadır. Nevşehir bölgesinde doğal taş üretiminde ve yapılarda kullanımı ve soğuk hava depoları olarak kullanım örnekleri vardır. Yapı olarak kullanımda duvarlarda zamanla oluşan karbonatlaşma nedeniyle dökülmelere karşı duvarlar zaman zaman traşlanarak tedbir alınmaktadır. Traslı çimento üretiminde de volkanik tüflerin kullanıldığı bilinmektedir.

Doğal olarak değişik renkteki özellikle beyaz, pembe, sarı- kırmızı desenli ve yeşil renklerin hakim olduğu birçok farklı renkte tüfler üretilmektedir. Farklı renklerde ve sertliklerde bulunan tuf taşı, renk çeşitliliğinden ve kolay işlenebilmesinden dolayı dekoratif taş olarak kullanılmaya oldukça müsaittir. Binalarda cephe kaplama taşı, söve, sütun, dekoratif yapı

elemanları gibi değişik inşaat işlerinde kullanılan tuf taşı, ayrıca kaldırım taşı, bordür olarak çevre düzenleme malzemesi olarak da kullanılmaktadır.



Şekil 2.11. Karbonatlaşma nedeniyle traşlama örneği.

Tüflerin inşaat sektöründe birçok farklı kullanım alanı bulunmakta olup ayrıca yeni kullanım alanları için çalışmalar da yapılmaktadır. Buna göre ;

a)Tüflerin hafif beton agregası olarak kullanılması : Hafif agregalı beton blok elemanlar geleneksel betonların yerine birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Beton yapılar da betonun yoğunluğunun azaltılarak yapı üzerindeki toplam yükün azaltılması istenir ve bu yüklerin en önemlisi de ölü yüklerdir. Bu yüzden hafif betonun kullanılmasıyla hem ölü yükler azaltılır hem de taşıyıcı elemanların boyutları küçülerek ekonomik bir kazanç sağlar. (Neville and Brooks ,1987;Ergül,2009).

b)Tuf agregalardan hafif beton üretimi : Birçok hafif beton üretim yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden bir tanesi beton bileşenlerinden olan ince malzemeyi çıkarmaktır. Hafif beton üretiminin diğer bir yolu kimyasal karışımlar kullanarak betonun içine hava kabarcıkları katmaktır. Bu tip betonlar gözenekli veya gaz beton olarak da bilinirler. Hafif beton üretiminin en popüler yolu ise hafif agregalar kullanmaktır (Demirboęa 2001). Normal betonun agregalar granülometrisinin çeşitli bölümlerinin hafif agregalarla değiştirilerek, aynı birim ağırlık için

ortalama birim hafif agrega boyutu arttıkça basınç mukavemetinin azaldığı görülmüştür . Aynı şekilde normal agrega ile değiştirilen hafif agreganın, boyutu arttıkça hafif beton gevrek kırılmakta, tokluğu azalmakta, nihai basınç birim kırılması yine azalma göstermektedir. Böylece aynı bir sürekli granülometriye ve birim ağırlığa sahip betonlar içinde, ince bölümü hafif agrega olan betonlar, mekanik özellikler bakımından daha iyi sonuç vermektedir (Ünal vd. 2003). Atan (1972) tarafından yapılan çalışmalarda, pomza taşı, tuf ve volkanik curuf agregaları ile hafif beton blokları üretilmiş ve bunların çeşitli özellikleri beton ile karşılaştırılmıştır. Tüfler, bağlantılı ve bağlantısız boşlukları, birim hacim ağırlığının 1 gr/cm^3 'ten küçük olması ile volkanik kökenli doğal bir hafif agregadır. Tüflerin hafif beton agregası olarak kullanılması için TS 1114'te belirtilen şartları sağlaması gerekmektedir (Ergül,2009).

c) Tüflerin aşındırıcı olarak kullanılması : Yüksek kalitedeki tuf ve tüfit, öğütüldüğü zaman bileşimindeki keskin camların liflerini ve çok küçük kırıntılarını kapsayan, beyaz bir toz şeklini alır. Bu öğütme esnasında partiküller konkoidal (midye kabuğu şeklinde yüzeyler) kırılır. Kullanım esnasında daha küçük partiküllere ayrılmalara meydana gelse bile konkoidal şekiller oluşmaya devam eder. Tüfün bu özelliği sertliği ile ilişkilidir ve ovalayarak yapılan temizlikler ve ince parlatma işlemleri için onu vazgeçilmez bir malzeme haline getirir. Örneğin; kot ağartmada, metal yüzeylerden boya kalıntılarını kazımada zımpara olarak kullanılmaktadır (Ergül,2009).

d) Tüflerin çimento sanayinde kullanılması : Çimento, su ile kimyasal reaksiyonlar vererek katılaşır sertleşebilen, kum ve çakıl gibi katı agregaları birbirine bağlayarak masif bir yapı oluşturan malzemelerdir. Çeşitli malzemeler bağlayıcı özellik gösterebilir (Neville 2000). Portland çimentosu endüstriyel olarak üretilen ve inşaat uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan çimento tipidir. Üretiminde ana hammadde olarak kil ve kalker kullanılırken yardımcı hammaddeler de genellikle silika, alumina ve demir oksittir. Portland çimento üretiminde ilk adım genellikle kireçtaşı ve kil gibi hammaddeleri $\sim 1400^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ısıtma işlemi tabiri tutarak yapılan klinker üretimidir. Üretilen klinker az miktarda ($\sim 3-4\%$) alçı ile birlikte ince boyutlara öğütülerek Portland çimentosu elde edilmektedir (Taşkın 1984). Ancak Portland çimentosu üretiminde enerji maliyetleri fazladır. Çimento maliyetini azaltmak için bağlayıcı özelliğe sahip diğer bazı inorganik malzemeler katkı çimento üretmek için kullanılabilir. Bu malzemelerden bazıları doğal puzzolanlar (tras) ve cüruf, uçucu kül, silis dumanı gibi metallurjik tesis atıklarıdır . Katkı çimento, Portland çimentosuna göre çok daha az enerji tüketimi sağlaması ve bazı özelliklerinin getirdiği ilave katkılardan dolayı yapı sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Beton uygulamalarında tras katkı çimentoların kullanılması çeşitli teknolojik avantajlar da sağlamaktadır (Camacho and Afif 2002). Bu avantajlar şunlardır;

Betonun işlenebilirliğini artırmakta ,geçirgenliği azaltmakta , sülfat etkisine karşı dayanımı artırmakta , çatlamalara karşı dayanımı iyileştirmekte, uzun dönemde dayanımı artırmaktadır.

Katkılı çimento üretiminde kullanılan hammaddeler (Bakker, 1999). Tras, tüfün çok ince tane boyutlarına öğütülmesiyle elde edilmektedir. Silis ve alüminyum bileşimli volkanik bir tuf olan tras tek başına hidrolik bağlayıcı özelliği göstermemektedir. Ancak çok ince olarak öğütüldüğü zaman, sulu ortamlarda kalsiyum hidroksit ile normal sıcaklıklarda reaksiyona girerek hidrolik bağlayıcı özelliği kazanmaktadır . Bu nedenle tüfler uygun özellikleri sağlaması halinde, traslı çimento yapımında kullanılmaktadır (Ergül,2009).

e) Tüflerin briket üretiminde kullanılması : TS 406'da öngörülen tanımlamalara göre briketler; kum, çakıl, tuf, cüruf ve bims gibi agreganın, çimento ve su karışımlarının özel kalıplara dökme ve dövme, sıkıştırma veya titreşim verilmesi suretiyle elde edilen bir inşaat malzemesidir. Duvarda kullanılanlara duvar briketi ve döşemede dolgu olarak kullanılanlara da döşeme briketi adı verilmektedir. Agregada olarak tuf kullanılarak imal edilecek briketin birim hacim ağırlığı, duvar briketlerinde 1600 kg/m^3 ve döşeme briketlerinde ise 1400 kg/m^3 'den fazla olmamalıdır.

Duvar briketleri, ancak yük taşımayan yerlerde ve bacalarda kullanılır. Genellikle ebatlar $11 \times 6 \times 23$, $10 \times 20 \times 40$, $20 \times 20 \times 40$, $30 \times 20 \times 40$ olmak üzere içi dolu veya delikli olarak dikdörtgen prizma biçiminde olmalıdır . Döşeme briketlerinde ise, delik eksenini doğrultusunda yapılan net yüzeye göre basınç direnç değeri 15 kg/cm^2 'den az, su emme değeri % 20'den fazla, don tesirine maruz briketlerde don sonu basınç direncinde % 25'den fazla bir düşüş olmaması istenir. Normal döşeme briketlerinde, boşlukları bütün briket boyunca devam etmesine karşın döşemelerin kenarlarında bir tarafı kapalı briketler kullanılmalıdır. Briketlerin kenarları keskin, istenilen ebatta yüzleri düzgün, kırık ve çatlakların bulunmaması istenir. Üretilen briketler, hava tesirlerine karşı korunmalı ve 15 gün geçmeden kullanılmamalıdır (Erdoğan ve Yaşar 2005). Briketlerde basınç dayanımı yönünden yüksek değerler gerekmemektedir. Bu durum söz konusu tüflerin briket üretiminde agrega olarak kullanılması halinde olası basınç dayanımı düşüşleri için bir avantaj olarak görülebilir (Ergül,2009).

f) Tüflerin yapı taşı olarak kullanımı : Ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan ya da yüzeyi işlenebilen ve taş özellikleri (malzeme özellikleri) kaplama taşı normlarına uygun olan her türden taş (tortul, magmatik ve metamorfik) ticari dilde "mermer" olarak bilinmektedir. Bu tanım uyarınca kalker, traverten, kumtaşı gibi tortul; gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik; granit, siyenit, serpantin, andezit, bazalt gibi magmatik taşlar da mermer olarak isimlendirilmektedir. Ticari tanımlamada mermer sözcüğü taş türünü

belirtmediği için bu eksikliği gidermek amacıyla taş adının sonuna "mermer" takısı eklenerek litolojik farklılık vurgulanmaya çalışılmaktadır (Çelik 2003). Yapılarda genellikle yüzeyleri düzeltilerek parlatılmış doğal taş ürünleri kullanılmaktadır (örneğin mermer, granit gibi). Özel işlemlerle yüzeyi pürüzlü hale getirilmiş ve parlatılmadan kullanılan cephe kaplaması ve döşeme uygulamaları da son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Yapıların düşey yüzeylerinde (iç ve dış), taban döşemesinde, merdiven basamaklarında ve dekoratif amaçlı gerçekleştirilen her türlü kaplamalarda kullanılan taşlara da ticari alanda "mermer" denilmektedir. Yol ve kaldırım döşemesi, bordur taşı, duvar ve dayanma yapısı malzemesi, çatı örtüsü, kıyı tahkimatı, dalgakıran ve baraj inşaatı, agrega üretimi gibi geniş bir alanda kullanılan doğal taşlar için de "yapı taşı" terimi kullanılmaktadır (Çelik 2003). Doğal taş sektörü kapsamı içinde ise yalnızca peyzaj amaçlı kullanılanlar "yapı taşı" olarak kabul edilmektedir. Bunlar granit, siyenit gibi plutonitler, bazalt, andezit gibi volkanitler olabileceği gibi traverten, tuf/tüfit ve kumtaşları gibi sedimanter kayalar da olabilir. Bazı durumlarda ise doğal süreksizlikleri boyunca plaka şeklinde ayrılan gnayslar, şistleşmiş kumtaşları ve arduvazlar gibi metamorfikler de peyzaj amacıyla yapı taşı olarak kullanılmaktadır. Ürün ebat ve özellikleri kullanım alanlarına göre farklılıklar göstermektedir. Peyzaj amacıyla kullanılan "yapı taşları" üretildiği yerlerde basit aletlerle süreksizlik yüzeyleri boyunca ayrılmaktadır. Serbest hale gelenlerin uygun ebatlı olanları seçilmektedir. Seçme işleminde plaka şeklinde olanlar ve şekilsiz olanlar ayrı ayrı istiflenmektedir. Bu taşlar ebat ve şekillerine göre, yapıların temel ve duvarlarında, bahçe ve istinat yapılarında, bordur taşı üretiminde, yol, kaldırım ve duvar kaplamasında, çatı örtüsünde ve kent mobilyaları üretiminde kullanılmaktadır (Çelik 2003;Ergül,2009).

g) Tüf serilerinin sıva harcı olarak kullanımı : Aksaray bölgesi tüf serilerinin sıva harcı olarak kullanımı konusunda yapılan çalışmalarda TS 2717 ve TS 4919 standardında öngörülen prensiplere göre, Aksaray bölgesi tüf serilerinin yapılan deneysel analizlere göre sıva harcı olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir (Bekar vd.,2006)

h) Kesme taş ocak üretimi : Günümüzde özellikle Kayseri ve Nevşehir illerinde kesme taş olarak üretimi ve kullanımı söz konusudur. Kayseri taş sektöründe önemli bir yere sahiptir. Kayseri çevresinde Erciyes dağının volkanik ürünleri olarak bol miktarda tüf taşı, bazalt ve bazalt kayrağı bulunur. Kayseri taşı terimi bunların hepsini ifade etse de, genelde ilk akla gelen Kayseri'de bulunan tüf taşıdır. Kayseri taşının, kent mimarisine önemli etkileri olmuştur. Kayseri çevresinde hemen her bölgede bulunan camiler, tarihi konaklar, kiliseler, Osmanlı ve Selçuklu döneminden kalma eserlerde yoğun olarak Kayseri taşı kullanılmıştır (Kaygısız,2010). Kayseri'deki volkanik Erciyes dağı çevresinde geniş bir alanda volkanik taş üretilmektedir. Bazaltlar ve tüfler bu alanın kuzeybatı ve güneydoğu kesimlerinde yaygın olup;

Erkilet, Tomarza civarında üretimi yapılmaktadır. Bölgede Kayseri taşı olarak bilinen ve uzun yıllar boyunca yapı taşı olarak kullanılmıştır, ancak asırlar boyu sağlam kalan sanat yapılarının bulunması atmosferik etkilerden olumlu etkilenmelerin olduğu kanıtlanmıştır (Kaygısız,2010).

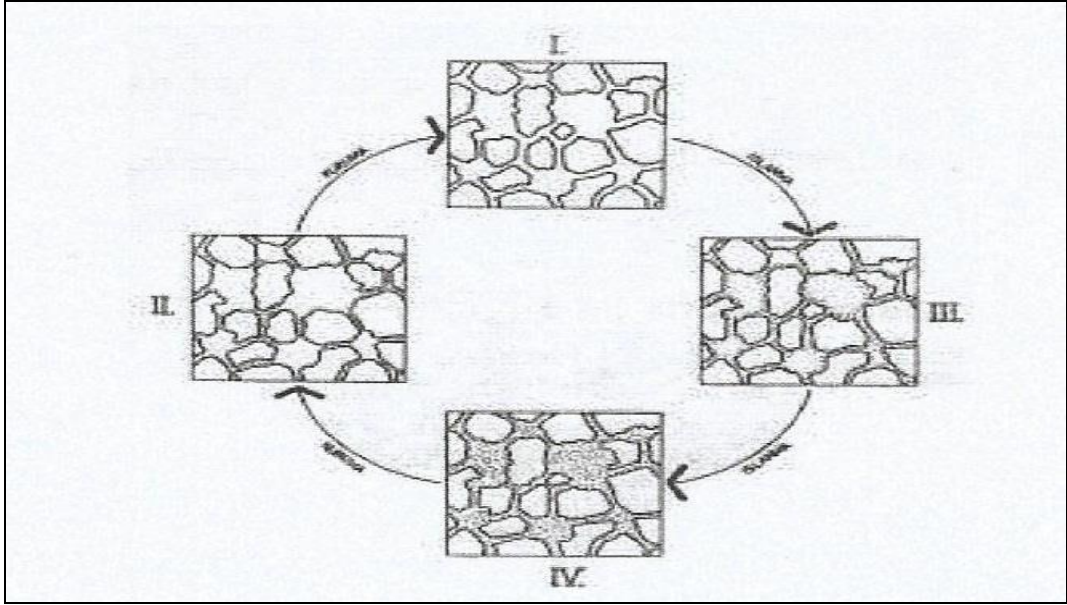
Eskişehir’de de Derbent Çiftliğinde iki ayrı kesme taş ocağı bulunmakta olup, pembe tuf üretimi yapan ocakta üretim yapılmazken, beyaz tuf üretimi yapan ocak halen üretimini sürdürmektedir. Mermer ocak üretimi blok üretimine dayanmaktadır. Tuf ocak üretiminde ise çoğunlukla yerinde dilimleme ile direkt ürün elde edilmesi yoluna gidilmektedir. Bu nedenle tuf ocakları kesme taş ocağı şeklinde adlandırılmaktadır. Bölgede iki ayrı kesme taş ocağı bulunmakta olup, pembe tuf üretimi yapan ocakta üretime son verilmiş olup, beyaz tuf üretimi yapan ocakta halen üretim sürdürülmektedir. Derbent kesme taş ocağında tüfler, raylı taş kesim makinası ile kuru kesim yapılarak çıkartılmaktadır. Uç uca eklemeli raylı sistem üzerinde hareket eden, dizel tahrikli makine ile derinlik 20 cm. aralarındaki mesafe 40 cm. alınarak dilimler oluşturularak ocak üretimi yapılmaktadır. Müşteri talebine göre kesme taş ürün boyutları değişmektedir ve ocakta günde 500 – 2000 adet kesme taş üretimi yapılmaktadır. Tuf ocaklarında ham blok üretimi yapılması yerine kesme taş üretim yönteminin uygulanmasının en önemli avantajı, direkt ürün elde edilmesi olmaktadır. Blok üretimine göre kayıplar daha az olmaktadır. Bu şekil bir üretim yönteminin uygulanabilir olmasında ise, öncelikle tüflerin yumuşak bir kayaç oluşu, ayrıca mermerdeki gibi çok farklı boyutlarda ürün üretiminin tüfler için gerekli olmayışı rol oynamaktadır. Kesme taş üretim yönteminin getirdiği bir diğer avantaj ise nakliyatta olmaktadır. Tufün mermerlere nazaran oldukça hafif bir malzeme olmasının yanında, kesim yapmak için blokların fabrikaya taşınması gibi bir zorunluluk ortadan kalkmakta, ürün teslim yerine ocaktan ulaştırılmaktadır (Daloğlu ve Emir,2010).

2.1.5. Tuf yapılarında çeşitli dayanıklılık problemleri (donma-çözülme , killeşme vb.)

Doğada uzun süre atmosfer koşullarının etkisinde kalan doğal taşlar, minerolojik bileşimine, tektonik geçmişine ve ortam koşullarına bağlı olarak az veya çok hızlı veya yavaş bir şekilde ilk durumdaki fiziksel ve kimyasal özelliklerini kaybetmeye başlarlar. Ayrışma (Alteration), bozulma veya yaşlanma (Weathering), yıpranma sürecine girmiş taşın evrensel değişimi, masif ve sağlamdan başlayarak tanelenmeye, ufalanmaya ve dökülmeye dönüşünceye kadar devam etmektedir. Taşlarda bozulma tipleri, bozulmaya neden olan etkenlere ve taşın cinsine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Örneğin ; Hava kirliliği, kireçtaşlarında yüzeyde siyah bir kabuk oluştururken, volkanı Doğal taşlar, daha ocaktan çıkarıldıkları andan itibaren buldukları ortama uyum sağlarlar ve bir takım faktörlere bağlı olarak da dayanıklılıklarında değişimler olur.

Genel olarak taşların termodinamik dengesinin değişimi ile bozulma sürecinin başladığı kabul edilir. Taşın, zamana bağlı olarak hava değişimleri karşısındaki dayanımı, bünyesi, dokusu, kimyasal ve minerolojik kompozisyonu, jeolojik oluşumu gibi içsel faktörler ile dış hava koşullarına bağlıdır. Taşlarda bozulma, mekanik ve kimyasal etkilerin birleşmesi ile oluşur. Bazı durumlarda fiziksel bozulma önce olabilmektedir, genelde normal iklim bölgelerinde kimyasal bozulma, fiziksel bozulmadan önce gerçekleşir. Örneğin, tüflerde fiziko-kimyasal bozulma daha çok görülmektedir. Tüf cinsi taşlarda oyuklanma şeklinde etkisini gösterir. Tüflerde hasarlara neden olan çevresel etkenleri kısaca 5 başlık altında toplamak mümkündür; Yağışlar, en önemli hasar etkenidir. Yüzeği mekanik olarak aşındırır ve camsı matrisi korozyona (kimyasal bozulma) uğratar. Rüzgar erozyonu, yüzeği mekanik olarak aşındırır. Sıcaklık değişimleri, ısıl farklar yüzünden olan farklı genleşmeler kayaç elemanlarını etkileyerek hasar verirler. Biyolojik ayrışma (algler ve likenler). Denize yakın olan yapılarda bulunan suda çözünen tuzlar da yağışlar kadar önemli etkenlerdir (Grissom, 1990)

Çeşitli nedenlerle ve türde (katı, sıvı, gaz fazlarında) malzemeye giren su, tüfler için en başta gelen hasar etkenidir. Suyun tüf cinsi taşlardaki etkisini anlamak için, gözenekli taşlarda suyun dağılım prensibini bilmek gereklidir. Bu amaçla, Şekil 2.12.'de suyun gözenekli taşlardaki dağılım prensibi gösterilmiştir. Gözenekli hidrofıl (suyu seven) malzemelerde nem miktarı ve buna bağlı olarak suyun hareketi 4 aşamada ele alınabilir. Bu aşamalar gözenek boşluğunun su ile kademeli olarak dolması, su muhtevasının artan dört kademedeki geçişine bağlı olarak oluşmaktadır. (Torraca,1982; Onay Hattap,2002). Buna göre;1.Aşama: Malzeme tamamen kuru, 2.Aşama: Sadece küçük gözenekler doldurulmuş (kılcal boşluklar), geniş gözeneklerin yüzeği kuru,3.Aşama: Kılcal boşluklar dolu, geniş gözeneklerin yüzeği bir su filmi ile kaplı,4.Aşama: Kılcal boşluklar ve geniş gözenekler dolu vb. gibidir. Bu konular olasılıklara bağlı geliştirildiğinden aralarında geçiş olabilmektedir. Bu aşamalardan üçüncüsünde açıklanan su seviyesi, "kritik su içeriğini" tuz iyonlarının higroskopikliği ve hidrasyonu nedeni ile artmaktadır. Boşluklu ortamlarda suyun sıvı fazda hareketinde kılcallık, ozmoz, elektro-ozmoz şeklinde gerçekleşmektedir.



Şekil 2.12. Gözenekli taşın içinde suyun dağılımı (Torraca ,1982)

Nemli ve yarı nemli iklimlerde meydana gelen, donmanın tahrip edici etkisi, gözenek sisteminin sürekliliği, gözenek sisteminin suya doyma derecesi, kritik gözenek büyüklüğü, suyun sıvı fazdan katı faza geçişte gösterdiği ani hacim artışı gibi faktörlerin bileşkesi olarak ortaya çıkar. Tuf cinsi boşluklu taşlarda bu etki daha yıkıcı olmaktadır. Su faktöründen sonra gelen ve en tehlikeli olan etken tuz kristalleşmeleridir. Su ve tuzun birlikteliği, tüfler gibi gözenekli malzemelerde daha yıkıcı olmaktadır. Bu birlikteliğe, genellikle don olaylarının, hava kirliliğinin ve sıcaklık değişimlerinin çok olduğu yerlerde rastlanmaktadır (Grissom, 1990).

Tuz çözeltisi ya da tuzların karışımı, su içinde ya da suyla beraber taşın boşluklarından ya da kılcal çatlaklarından içeri girer, kuruma olduğunda giren su buharlaşır ve geriye kalan tuz beyaz renkli pamukçuk şeklinde kristalleşmektedir. Bu tuz, yüzeyde ya da boşluklarda kalma yerine göre isim almaktadır. Yüzeyde kalan tuz kalıntılarına “Çiçeklenme (Efloresans)”, kristalleşme boşluklarda olursa “Kriptofloresans” denir. Bazen ikisi birden aynı taşta olabilir. Efloresans, Kriptofloresans kadar tehlikeli değildir. Kriptofloresans boşluklarda iç basınca sebep olur. Bu basıncın şiddeti kısmen tuzun tipine, içeriğine bağlıdır kısmen de boşluğun boyutuna ve düzenine bağlıdır (Toracca, 1981). Her bir döngü tuzların tekrar çözülmesine ve kristalleşmesine neden olacağından yüzeyde belirgin bir tozuma ile hasar oluşmaya başlar, bazen büyük ölçüde kırıntılanma da görülür. Bu her zaman tozuma ile birlikte olmaktadır. Tozuma (powdering) tuz kristalleşme hasarının belirlenmesinde tipik bir hasar türüdür.

3.AMAÇ

Kütahya dışında bazı bölgelerde bulunan volkanik tüflerle ilgili yapılmış çalışmalar bulunmakta olup tüflerden seramik hammaddesi ve inşaat malzemesi olarak yararlanma ve/veya tüflerin bulunduğu bölgelerde doğal soğuk hava depoları oluşturma uygulamaları da görülmektedir. Kütahya'da bulunan volkanik tüf alanlarında da çevredeki çalışmalar örnek alınarak volkanik tüf içinde doğal soğuk hava deposu alanları açılarak kullanılmaktadır. Kütahya çevresinde özellikle Frig bölgesi olarak adlandırılan bölgede tüfler turistik yapılar, soğuk hava depoları gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Ayrıca tüfleri yapı malzemesi olarak kullanmak üzere birçok farklı çalışma yapılmıştır. Ancak Kütahya'da bulunan volkanik tüflerin incelemesine ilişkin yeterli çalışma bulunmadığı bilinmektedir. Bu nedenle amaç volkanik tüflerinin yapı fiziği açısından incelemesini yaparak özelliklerine bağlı kullanım şekillerinin belirlenmesinin önünü açacak tespitlerin yapılabilmesidir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMADA MATERYAL VE METOT

Kütahya - Eskişehir karayolunun 3. kilometresi üzerinde bulunan soğuk hava depoları alanındaki tüflerden yerinde 25-30 cm. boyunda ve 9,4 cm. çapında 12 adet karot alınmıştır. Daha sonra alınan bu karotlar 9,4 cm. boyunda kesilerek biri karakterizasyon deneyleri diğeri ise ısıl işlem deneylerinde kullanılmak üzere 2 adet eşdeğer karot elde edilmiştir. Çalışmamızda toplam 24 karot kullanılmıştır.

Karakterizasyon karotları K1, K2, K3.....K12 şeklinde kodlanmıştır. Bu karotların diğeri yarısı ise her sıcaklık için 3 adet olmak üzere sırasıyla 900, 1000, 1100 ve 1200 ° C sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanmış ve K1-900, K2-900, K3-900 ; K4-1000, K5-1000, K6-1000 ; K7-1100, K8-1100, K9-1100 ve K10-1200, K11-1200, K12-1200 şeklinde kodlanmıştır. Isıl işlem kül fırınında 10 ° C/dak hızla yapılmış, karotlar belirlenen sıcaklıkta 1 dakika kaldıktan sonra kül fırınında ortam sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmıştır. Karakterizasyon ve ısıl işlem karotları üzerinde aşağıda yapım şekilleri anlatılan fiziksel özellik (birim hacim ağırlık , özgül ağırlık , ağırlıkça su emme , hacimce su emme , kapiler su emme , porozite), basınç dayanımı, kimyasal, mineralojik ve morfolojik ve termal analizler (XRF, XRD, optik mikroskop SEM,TG-DTA) yapılarak tüflerin karakteristik özellikleri ve ısıl işlem ile bu özelliklerdeki değişimler belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Karot kesme aleti ile yerinde numune alınması.



Şekil 4.2. Karot alındıktan sonra karot yeri görünümü.

4.1. Fiziksel Ve Mekanik Özellik Deneyleri

4.1.1. Birim hacim ağırlık

Yapılan deneyde numuneler 105 °C ısıda değişmez kütleye kadar kurutulmuştur. TS 699 standardına göre desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulmuş olan numuneler, hassas terazilerde 0,1 gr. hassasiyetle tartılmıştır. Numunenin hacmi, suya doymuş ağırlık ve su içindeki ağırlığın farkına göre bulunmuştur. Veriler aşağıdaki formüle tabi tutulmuştur;

$$dh = \frac{Gk(g)}{V(\text{cm}^3)} \quad (4.1)$$

Formülde; Gk :Numunenin kuru ağırlığı, (g)

V: Numunenin hacmi, (cm³)

dh: Birim hacim kütle, (g/ cm³)'dir.

4.1.2. Özgül ağırlık

Yapılan deneyde numuneler önceden kurutulup, soğutulmuş malzeme numuneleri çok ince öğütülmüştür. TS 699 standardına göre Özgül kütle, 90µ elekten elenmiş toz numune ve distile su içeren piknometre ile boşluksuz hacmi tespit edilerek aşağıdaki formülün kullanılmasıyla bulunmuştur. Formülde;

$$d_o = \frac{Gk(g)}{V(\text{cm}^3)} \quad (4.2)$$

Formülde; d_o : Özgül kütle, (g / cm³)'dir.

4.1.3. Porozite

Deneyssel olarak bulunabileceği gibi birim ağırlığın özgül ağırlığa oranının doluluk oranı (kompozite) olarak kabul edilmesi ile hesaplanabilmektedir.

4.1.4. Ağırlıkça su emme

Su emme oranı malzemenin gözenekliliği ile ilgili bir parametredir ve su emme oranları TS EN 13755 standardına göre belirlenmektedir. Tüf numuneleri 70± 5 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur ve sonra 0,01 gr. hassasiyetle tartılır (G k). Numunelerin yüksekliğinin yarısına kadar 20 °C ± 10 °C sıcaklıkta su ilave edilir. 1 saat sonra numunelerin yüksekliğinin ¾'ü su içerisinde kalacak şekilde su ile doldurulur ve numuneler 25 mm. derinlikte kalacak şekilde su ilave edilerek 48 saat beklenir. Çıkarılan deney numuneleri, yüzeyi kurularak hemen tartılır. Deney numuneleri tekrar su içine daldırılır. Tartma işlemi, 24 saat aralıklarla numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar tekrarlanır (Gd). Sabit tartıma gelen numuneler 0,1 gr hassasiyetle tartılarak, su içerisindeki kütleleri bulunur (Gds). Daha sonra numuneler değişmez kütleyle gelinceye kadar kurutulur. Desikatör içerisinde soğutulduktan sonra 0,1 gr hassasiyet ile tartılarak numunelerin kuru kütleleri bulunur. Deney sonunda verilen formüller kullanılarak ağırlıkça ve hacimce su emme oranları belirlenir.

$$S_k = \frac{Gd - Gk}{Gk} \times 100 \quad (4.3)$$

S_k = Tüfün kütlece su emme oranı (%), G_d = Tüfün doygun haldeki kütlesi (g),

G_k = Değişmez kütleyle kadar kurutulmuş tüfün kütlesi (g),

4.1.5. Hacimce su emme

$$S_h = \frac{Gd - Gk}{Gd - Gds} \times 100 \quad (4.4)$$

S_h = Tüfün hacimce su emme oranı (%), G_{ds} = Doygun haldeki tüfün su içindeki kütlesi (g).

4.1.6. Kapiler su emme

Tüf numuneleri , 24 saat süre ile 105°C etüvde bekletilerek kurutulmuş ve değişmez kütleyle geldikten sonra desikatörde soğutulmuş, daha sonra bir gün süre ile ortam ısısına

gelmesi için ortama bırakılmıştır. Kılcallık deneyinde, yalnızca taban alanlarından kılcallık yoluyla emdirilen su miktarı bulunmuştur. Bütün karotlar için suyun karot üst yüzeyine çıkması beklenmiş, daha sonra emilen suyun hacmi karot hacmine oranlanarak hacimce su emme değerleri hesaplanmıştır.

Kılcallık katsayısı formülü:

$$N = \frac{Q}{A \cdot \sqrt{t}} \quad (4.5)$$

Formülde;

N : Malzemenin kılcallık katsayısı (m^2 / \sqrt{dak}) , Q : Birim zamanda geçen su miktarı (g) ,

A : Numunelerin suya değen taban alanları (m^2), t : Numunelerin suyla temas ettiği süre (dak)



Şekil 4.3. Kapiler su emme deneyi fotoğrafı



Şekil 4.4. Kapiler su emme deneyi fotoğrafı

4.1.7. Basınç dayanımı

Dumlupınar Üniversitesi laboratuvarında tuf numuneleri deney presinin yükleme başlıkları arasına yerleştirilerek hangi yük altında kırılacağına tespiti için yük uygulanmıştır. Yükleme sabit bir hızla numune kırılıncaya kadar devam edilmiş ve kırılmanın olduğu anda, deney presinin gösterdiği en büyük yük kaydedilmiş ve hangi yükte kırıldığı tespit edilerek bu değer, kırılma yükü (P_k), olarak alınmış Newton cinsinden P_k aşağıdaki formülde yerine konularak, numunenin dayanabildiği maksimum basınç mukavemeti bulunmuştur.

Basınç dayanımı ;

$$B = \frac{P_k}{A} \quad (4.6)$$

Formülde; B : Basınç dayanımı, (N/mm^2) , P_k : Kırılma yükü, (N) ,
 A : Yüklemin yapıldığı kesit alanı, (mm^2)'dir.

4.2. Kimyasal , Minerolojik Ve Morfolojik Analiz

4.2.1. X-Işınları (XRF) çalışmaları

XRF yöntemi ile kimyasal analiz Dumlupınar Üniversitesi İtem (İleri Teknolojiler Merkezi) laboratuvarlarında yapılmıştır. Yöntem ile en küçükten en büyüğe elementlerin yüksek hassaslıkta analiz edilmesi mümkün olmaktadır. Numunenin yeterli yüksek enerjili fotonlarla (elektromanyetik alan parçacığı ile) aydınlatılarak floresans analizi ile gözden geçirilmesi yöntemidir. XRF çalışması yapılacak numune malzeme içinde bulunan her eleman değişik enerjilerde x-ışını üretir ve bu enerjiler fark edilerek spektrum olarak sunulur. Piklerin pozisyonundan numune içinde hangi elementlerin olduğunu, pik yüksekliklerinden ise elementin ne miktarda bulunduğu anlaşılmaktadır. XRF çalışması ile malzeme içinde bulunan tüm kimyasal elementlerin cinsi ve bulunma oranlarının belirlenmesi mümkün olabilmektedir.

4.2.2. X-Işınları difraktogramı (XRD) çalışmaları

Yukarıda belirtilen Kütahya – Eskişehir yolu üzerindeki tuf alanından alınmış olan volkanik tuf örneklerinin XRD analizleri toz örnek hazırlanarak gerçekleştirilmiştir. Örnekler kurutulup porselen havanda öğütülerek (-0,090 mm.) toz halinde mineralojik bileşimin belirlenmesi için Dumlupınar Üniversitesi İtem laboratuvarında X-ışını cihazında 0-70 derece difraksiyona (kırınım) tabi tutulmuştur. X-Işınları Kırınımı, XRD (X-Ray Diffraction) x-ışınları tarafından oluşturulan kırınım deseninden atomik düzeyde bilgi edinmek için kullanılmaktadır. X-ışınları ölçümleri kristale zarar vermeksizin yapısı hakkında bilgi veren güçlü bir yöntemdir. Bir X-ışınları kırınım deseninden; Bir katıdaki düzlemler arasındaki mesafe (atomların oluşturduğu sıralar) Tek kristalin veya taneciğin yönelimi bilinmeyen bir malzemenin kristal yapısı Tanecik boyutu, stresi ve şekli hakkında bilgi elde edilebilir.

4.2.3. Normal ve yüksek sıcaklıklarda tuf yüzey fotoğrafları

Doğal ve sinterlenme sıcaklığı altında tuf resimleri çekilerek bilgisayar ortamına taşınmış, fotoğraflar incelenerek oluşan renk değişiklikleri, gözenekler ile çatlaklar ve çatlakların boyutları incelenerek malzemenin yapısı hakkında bilgi edinilmiştir.

4.2.4. Polarizan mikroskop çalışmaları

Kütahya – Eskişehir yolu üzerindeki tuf alanından alınmış olan volkanik tuf örneklerinin mineralojik özellikleri ile petrografik özelliklerinin belirlenmesi için polarizan mikroskop çalışmaları yapılmıştır. Polarizan mikroskop çalışmaları D.P.U. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

4.2.5. SEM ve enerji saçınımı X-ışını spektroskopisi (EDX) çalışmaları

SEM (Taramalı elektron mikroskopu) incelemeleri, Dumlupınar Üniversitesi İltem laboratuvarında taramalı elektron mikroskopu ile yapılmıştır. Etüvde 80 °C sıcaklıkta 1 gün kurutulan numuneler taramalı elektron mikroskopunda (SEM) morfolojik olarak incelenmiş ve EDX dedektörü ile numunelerin bünye bileşenleri incelenmiştir. Yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmesi ilkesine dayanır.

4.2.6. TG-DTA çalışmaları

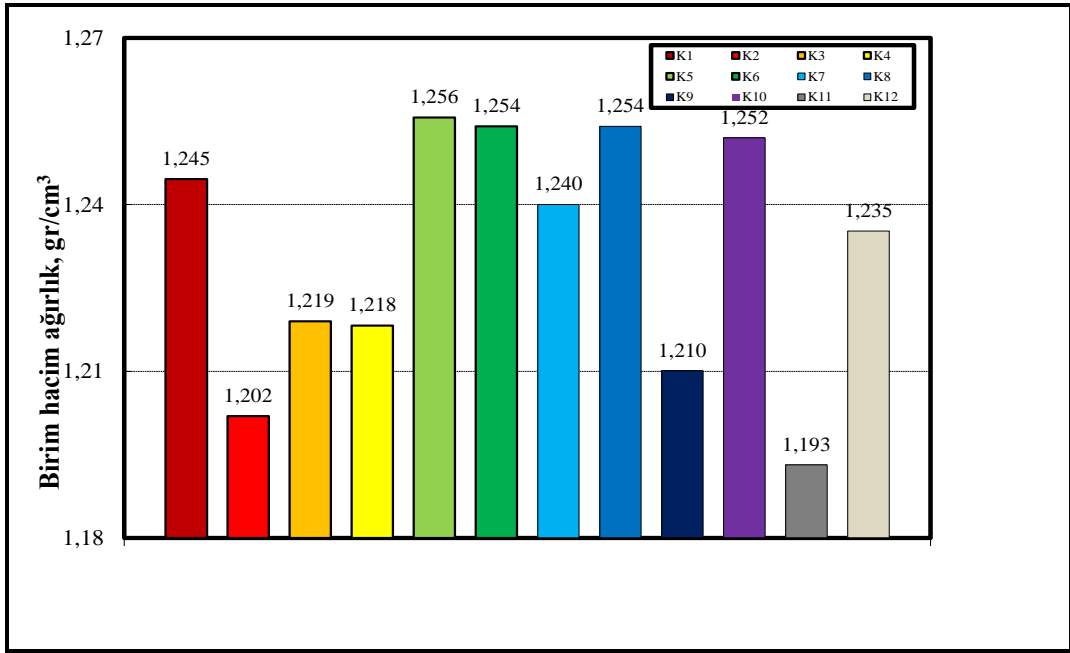
Kontrollü sıcaklık programı uygulanarak numunedeki değişimi sıcaklık ve zamanın fonksiyonu olarak kaydedebilmektedir. Dumlupınar Üniversitesi İltem laboratuvarında termal analiz cihazı ile kuru hava ortamında 25-1200 °C arasında 10 °C/dak. ısıtma hızı ile tüflerin termal ısı akışı ve kütle kaybı araştırılmıştır.

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Tüflerin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

5.1.1. Birim hacim ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi

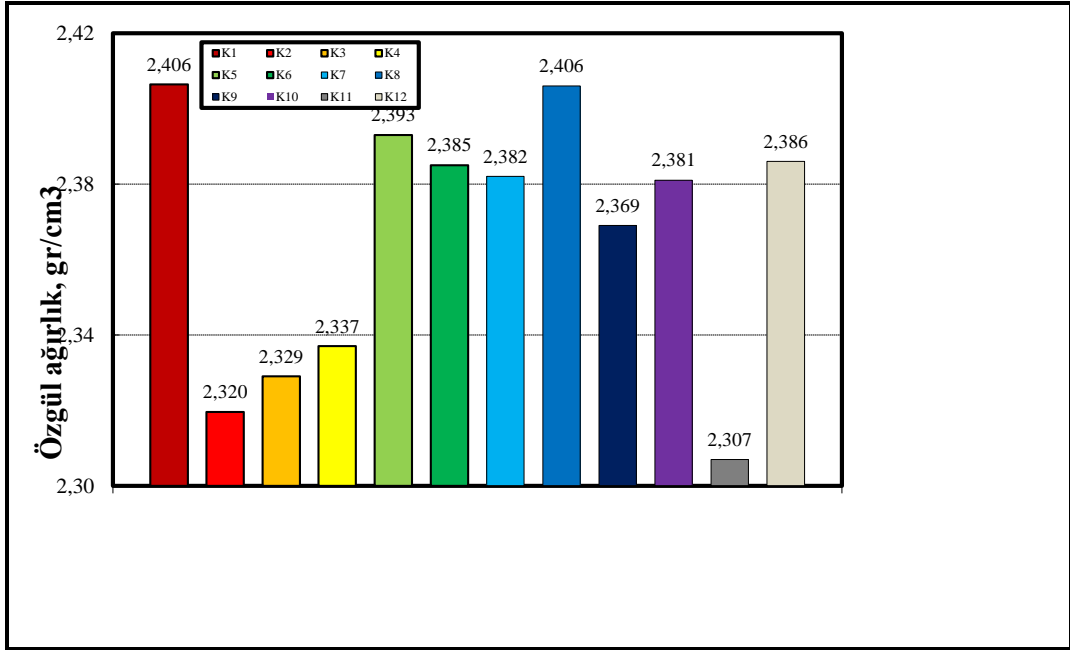
Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi tüflerin ortalama birim hacim ağırlıkları $1,232 \text{ gr/cm}^3$ tür. Standart sapmaları $0,022 \text{ gr/cm}^3$ tür.



Şekil 5.1. Tüflerin birim hacim ağırlıkları.

5.1.2. Özgül ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi

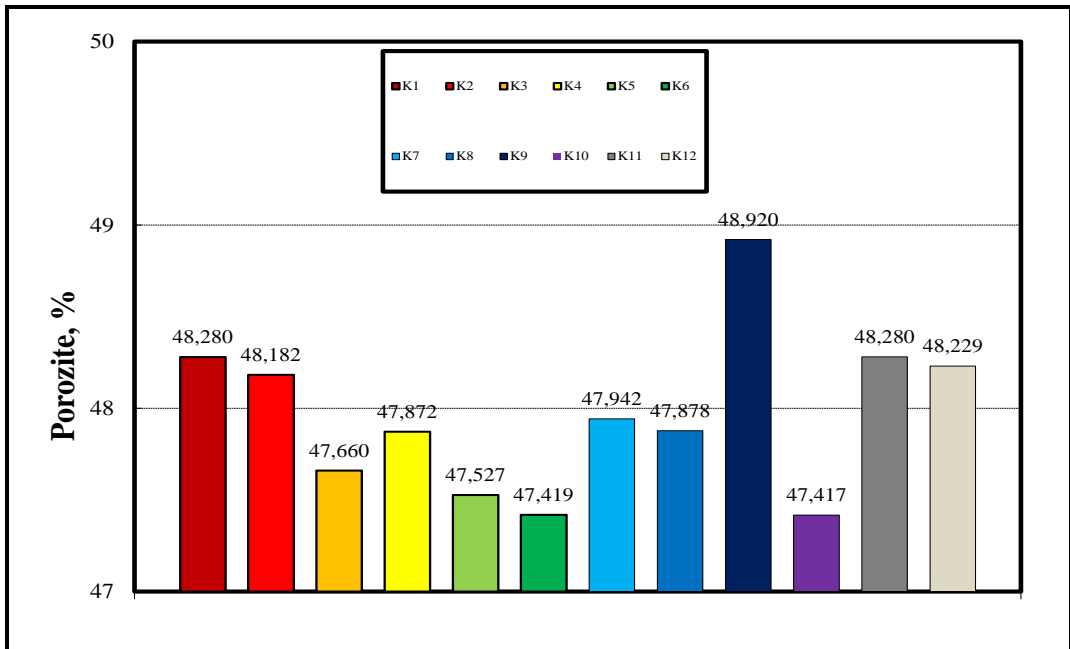
Şekil 5.2.'de tüflerin ortalama özgül ağırlıkları $2,367 \text{ gr/cm}^3$, standart sapmaları $0,034 \text{ gr/cm}^3$ tür.



Şekil 5.2. Tüflerin özgül ağırlıkları

5.1.3. Porozite sonuçlarının değerlendirilmesi

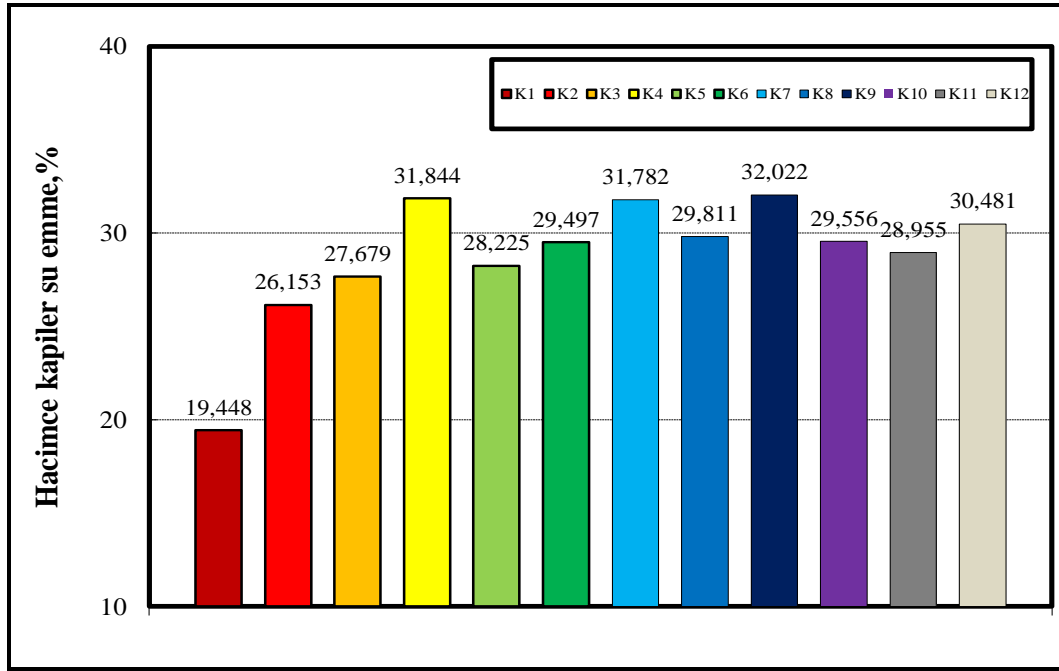
Şekil 5.1. ve 5.2.'deki birim ağırlık ve özgül ağırlık değerleri kullanılarak tüflerin porozite değerleri hesaplanmıştır. Tüflerin Ortalama poroziteleri % 47,967 standart sapmaları % 0,440' dır. Buradan tüflerin yaklaşık % 50 boşluk içerdiği görülmektedir.



Şekil 5.3. Tüflerin porozite değerleri

5.1.4. Kapiler su emme deney sonuçlarının değerlendirilmesi

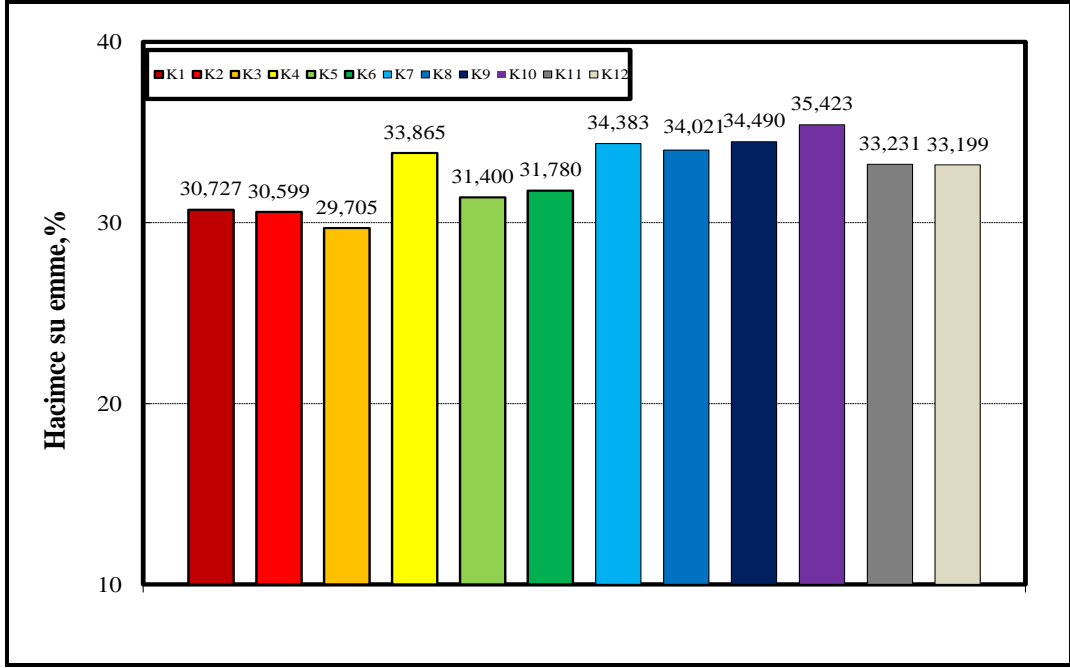
Tüflerin hacimce kapiler su emme değerleri Şekil 5.4. 'de verilmiştir. Ortalama hacimce kapiler su emme değerleri sırasıyla % 28,788 standart sapmaları 3,431 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.4. Tüflerin hacimce kapiler su emmesi.

5.1.5. Hacimce su emme deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Tüflerin hacimce su emme değerleri Şekil 5.5.' te verilmiştir. Ortalama hacimce su emme değerleri % 32,735 standart sapması ise 1,831 olarak bulunmuştur.

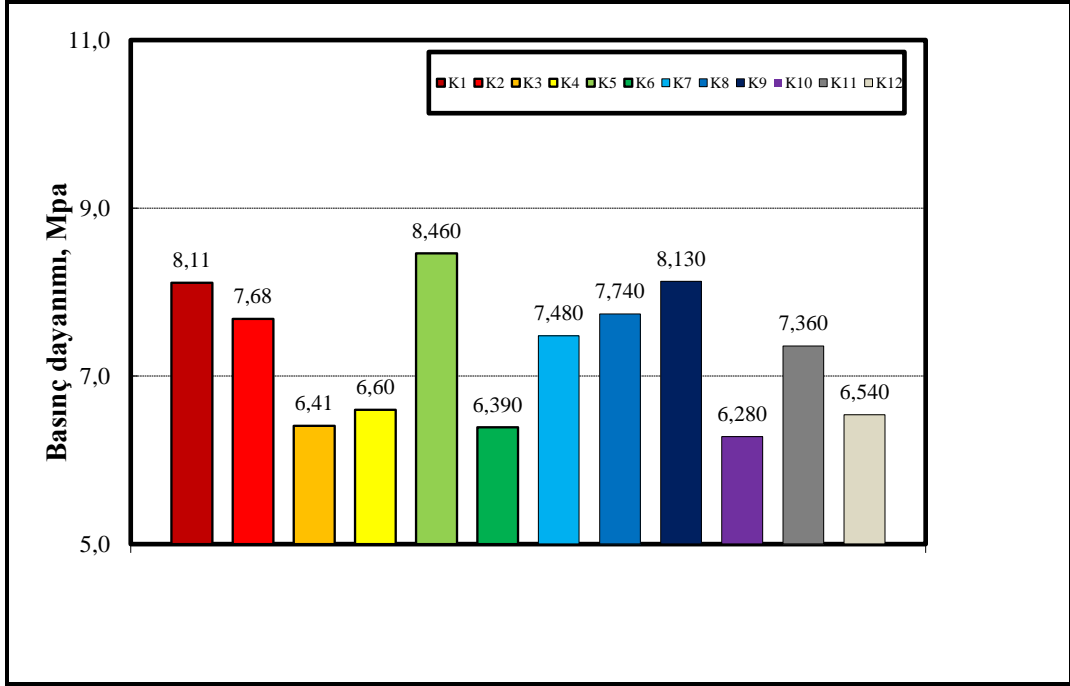


Şekil 5.5. Tüflerin hacimce su emmesi.

Hacimce su emme değerleri porozite değerleri ile karşılaştırıldığında % 15 fark olduğu görülmektedir. Buradan tüflerin yapısı içerisinde %15 kapalı boşluk bulunduğu sonucuna varılmıştır.

5.1.6. Basınç dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Ortalama basınç dayanımı 7,265 MPa olarak bulunmuştur. Basınç dayanımlarında standart sapma ise 0,785 MPa olarak bulunmuştur. (Şekil.5.6)

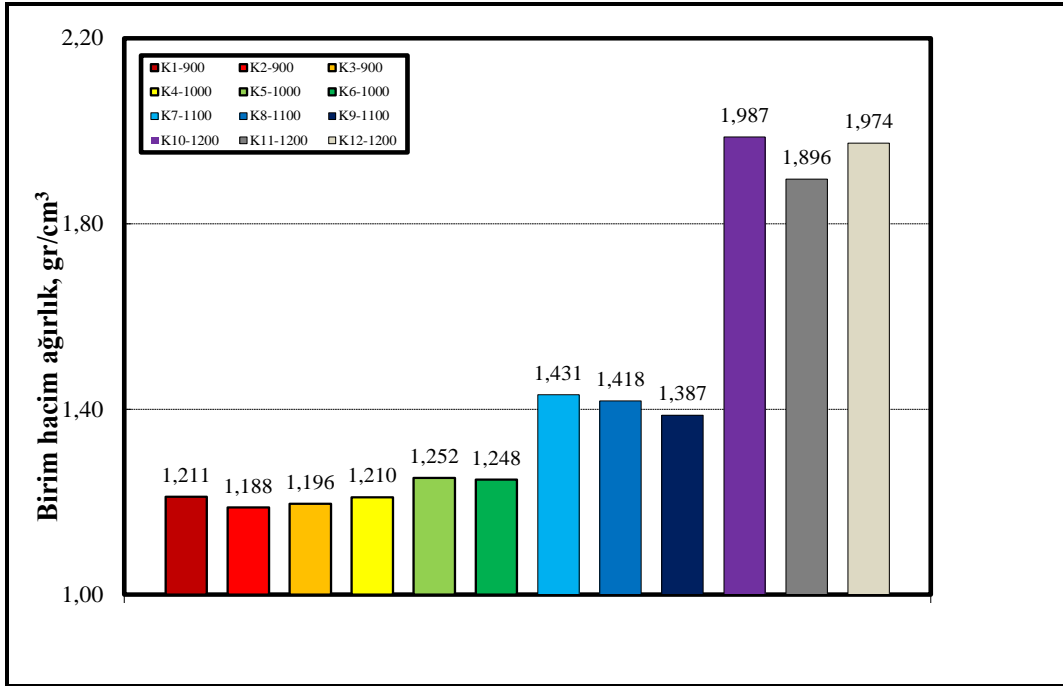


Şekil 5.6. Tüflerin basınç dayanımları

5.2. Isıl İşlem Uygulanan Tüflerin Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

5.2.1. Isıl işlem uygulanan tüflerin birim hacim ağırlık deneylerinin değerlendirilmesi

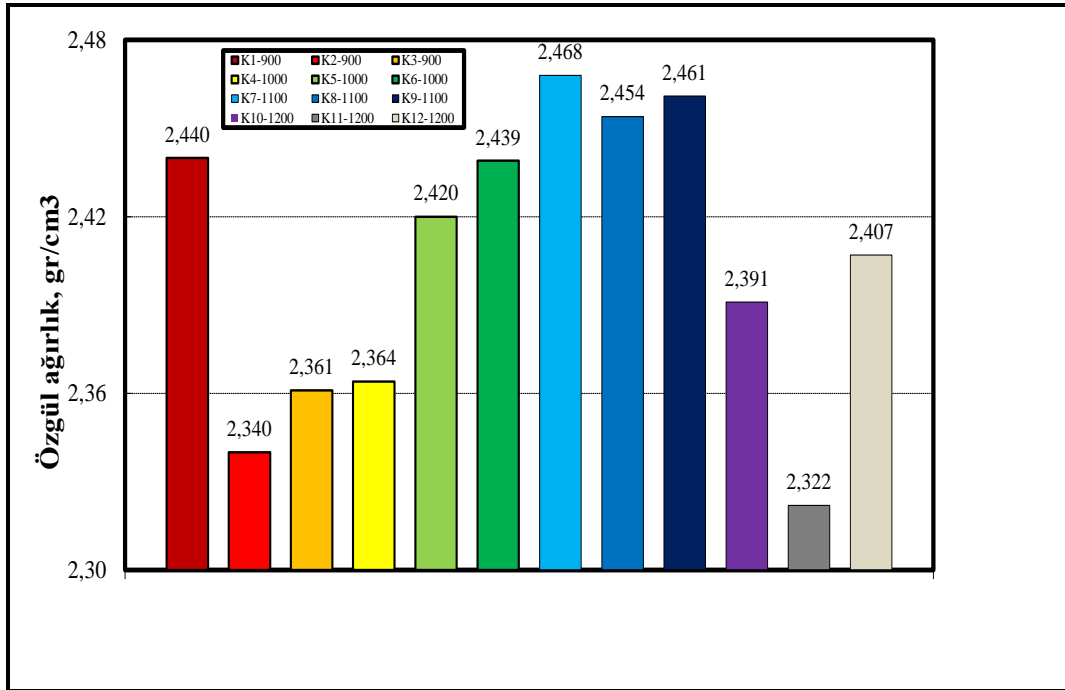
Şekil 5.7.'de görüldüğü gibi birim hacim ağırlık değişimi 900 ve 1000 °C sıcaklıklarında eksi değer almıştır. Bunun nedeni bu sıcaklıklarda tüflerde sinterleme etkisi ile kütle kaybının hacim küçülmesinden daha büyük olmasıdır. Diğer taraftan 1100 °C sıcaklığı için kütle kaybı diğer sıcaklıklara göre pek değişmemiş, ancak hacim küçülmesi oldukça artmıştır. Bu nedenle 1100°C sıcaklığında birim hacim ağırlık artışı % 14'e ulaşmıştır. 1100 °C sinterleme sıcaklığında ise birim hacim ağırlık % 59 artmıştır.



Şekil 5.7. Tüflerin birim hacim ağırlıkları.

5.2.2. Isıl işlem uygulanan tüflerin özgül ağırlık deney sonuçlarının değerlendirilmesi

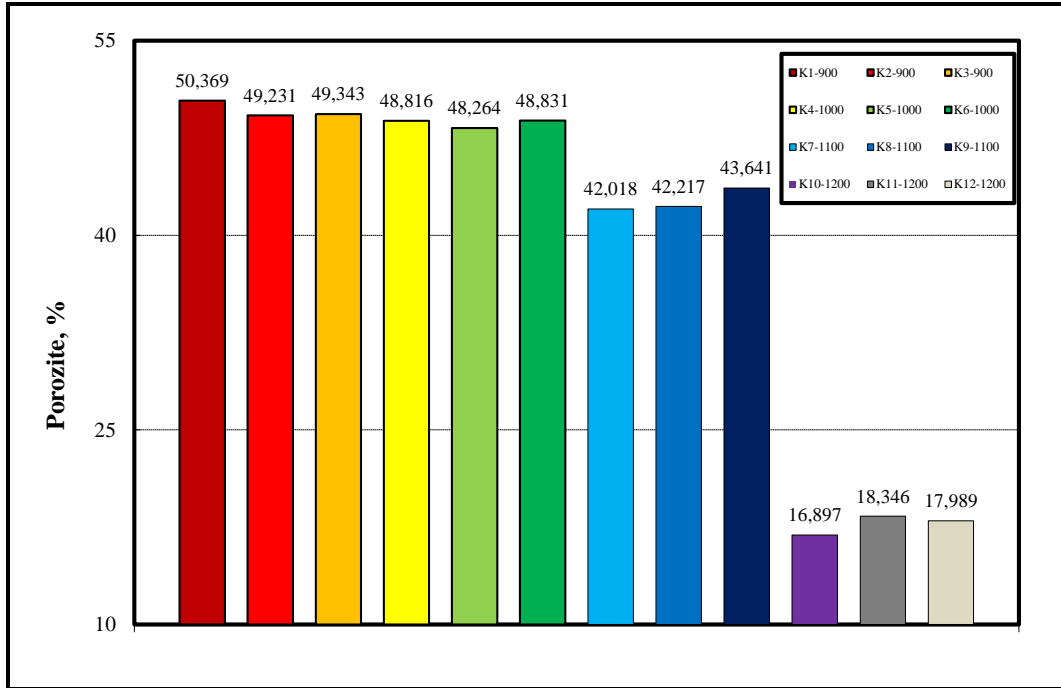
Şekil 5.8’de görüldüğü gibi tüflerin ortalama özgül ağırlıkları 900, 1000, 1100 ve 1200°C sıcaklıklar için sırasıyla % 1,2 - 1,5 - 3,16 ve 0,65 artmıştır. Özgül ağırlık değerleri sinterleme sıcaklığı ile pek değişmemiş, en çok 1100 °C için artmıştır.



Şekil 5.8. Tüflerin özgül ağırlıkları

5.2.3. Isıl işlem uygulanan tüflerin porozite sonuçlarının değerlendirilmesi

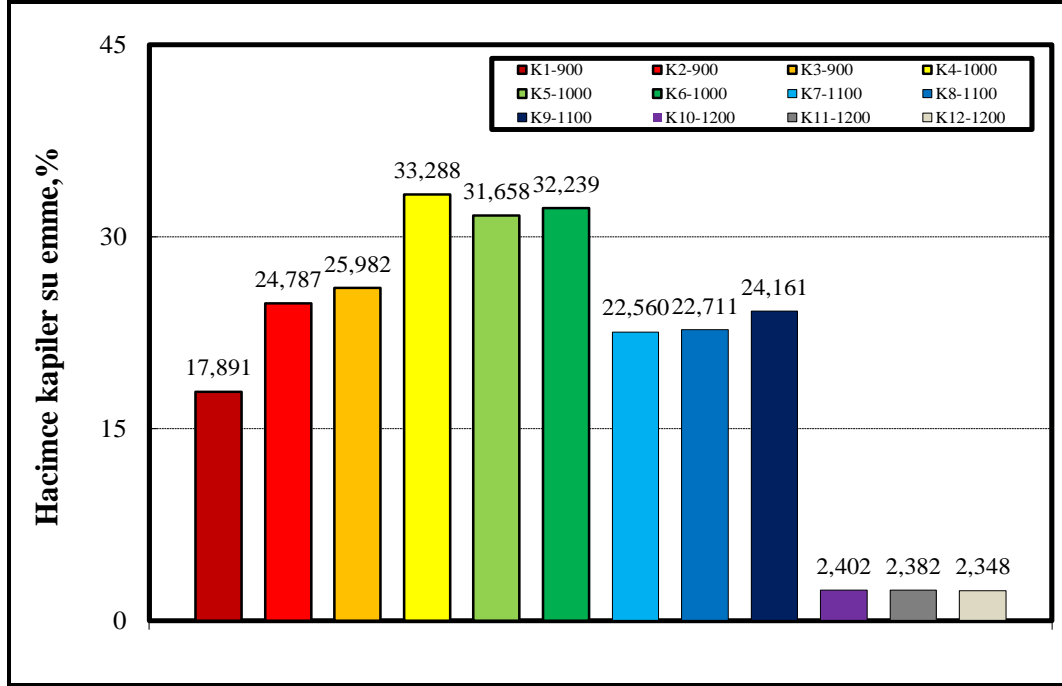
Porozite değerleri 900 ve 1000 °C sinterleme sıcaklığında % 2-3 civarında artmıştır. Bunun nedeni kil yapısının sinterleme ile kaybolması olarak yorumlanmıştır. Porozite değerleri 1100 ve 1200 °C sıcaklığında ise sırasıyla % 11 ve 63 azalmıştır. Bu durumun ise kil yapısının kaybolmasına karşılık boşlukların artan sinterleme etkisi ile oluşan camı faz tarafından doldurulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar XRD analizleri ile de paralellik göstermektedir. Sinterleşme sırasında gerçek yoğunluktaki değişimler kristal yapıdaki değişikliklere bağlanabilir.



Şekil 5.9. Tüflerin porozite değerleri

5.2.4. Isıl işlem uygulanan tüflerin hacimce kapiler su emme deneylerinin değerlendirilmesi

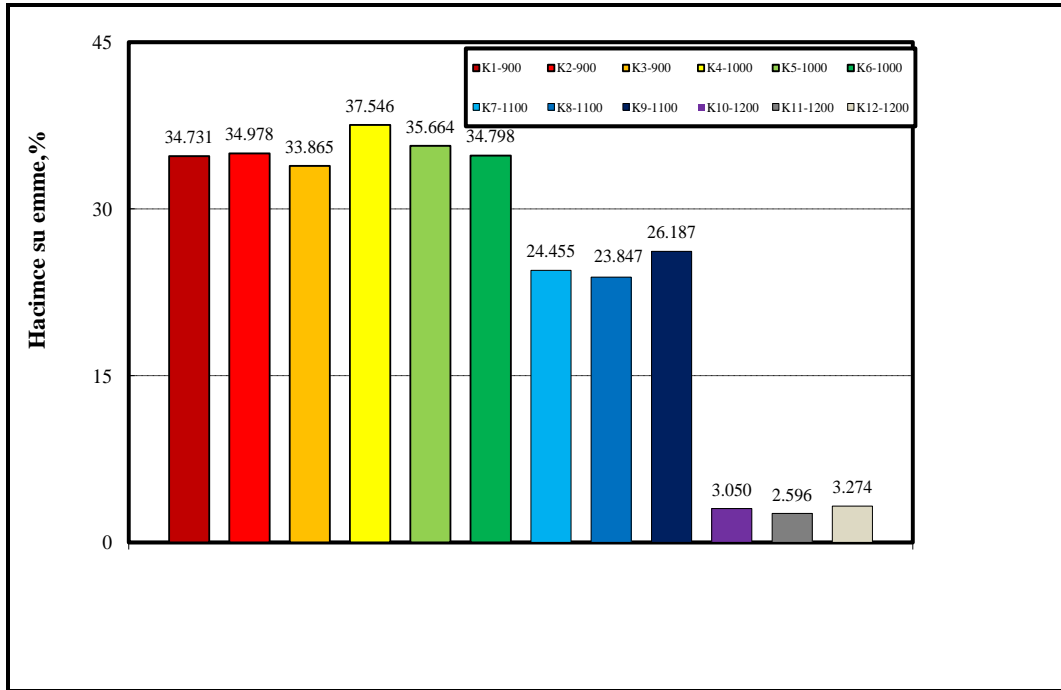
Tüflerde 900 °C’de kapiler su emme azalmış ancak su emme artmıştır. Bu durum kil yapısının bozulması ile kapiler boşlukların büyümesi, yani kapileritenin azalması , buna karşılık toplam boşluk miktarının artması ile su emme oranının artması şeklinde yorumlanmıştır. Tüflerde 1000°C’de sinterleme ile tüf içerisinde camlaşma başlamış ve boşlukların bir kısmı kapanmıştır. Aynı zamanda yüksek ısıl gerilmelere dayanamayan malzemede çatlaklar artmaya başlamıştır. 1000 °C’de çatlaklar ve kılcalık artmış, boşluk yapısı nedeniyle kapiler su emme 900 °C’ ye göre artmış, ancak su emme değeri % 2 azalmıştır. Tüflerde 1100 ve 1200°C’de ise yapıda büyük ölçüde sinterleme etkisi ile boşluklar camlaşmış malzeme ile dolmuş, su emme değerleri sırasıyla %28 ve 91 azalmıştır.



Şekil 5.10. Tüflerin hacimce kapiler su emmesi.

5.2.5. Isıl işlem uygulanan tüflerin hacimce su emme deney sonuçlarının değerlendirilmesi

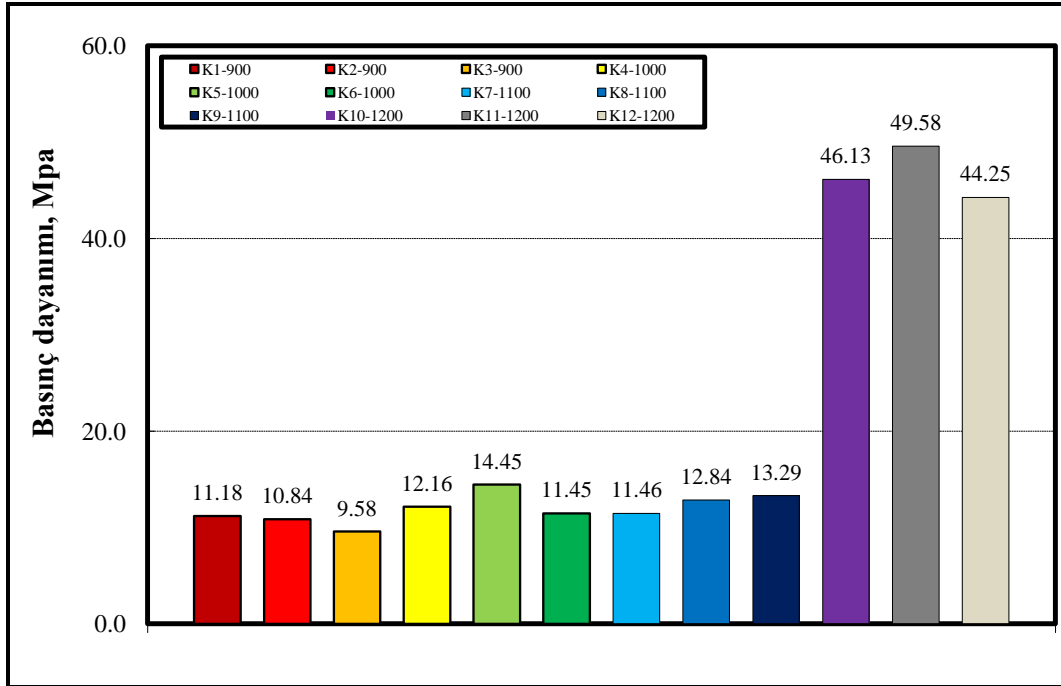
Tüflerde 900 °C’de su emme artmıştır. Bu durum kil yapısının bozulması ile kapiler boşlukların büyümesi, toplam boşluk miktarının artması ile su emme oranının artması şeklinde yorumlanmıştır. Tüflerde 1000°C’de sinterleme ile tüf içerisinde camlaşma başlamış ve boşlukların bir kısmı su emme değeri % 2 azalmıştır. Tüflerde 1100 ve 1200°C’de ise yapıda büyük ölçüde sinterleme etkisi ile boşluklar camlaşmış malzeme ile dolmuş, su emme değerleri sırasıyla %28 ve 91 azalmıştır.



Şekil 5.11. Tüflerin hacimce su emmesi.

5.2.6. Basınç dayanımı deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Tüf numunelerine uygulanan 900,1000,1100 °C sıcaklıklarında basınç dayanımının boşlukların kapanması ve su kaybına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. 900 ve 1000 °C için basınç dayanımlarında kademeli olarak artış olmuştur. Ancak 1100 °C sıcaklığı için elde edilen dayanım 1000 °C sıcaklıkta elde edilene göre daha düşüktür. Bu durumun 1100 °C’de yapıda çok derin çatlakların oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 1200°C sıcaklıkta ise artış sinterlenmemiş numunenin 7 katına ulaşmıştır. 900 °C sıcaklığında dayanım %43 artmıştır. Bu durum kil yapının bozulması ile malzemede tutulan suyun azalmasından dolayı, basınç dayanımı deneyi sırasında hidrostatik basıncın azalmasına, ve az da olsa sinterleme etkisi dolayısıyla tanelerin birbirine daha iyi bağlanmasına bağlanmıştır. Sıcaklık 1000°C’ye ulaştığında ise malzemede boşluklar kapanmaya başlamış, malzeme taneleri çok daha iyi bağlanmış ve dayanım % 78 artmıştır. Sıcaklık 1100 °C’ye geldiğinde ise yüksek ısı gerilmeleri sonucu çok büyük çatlaklar oluşmuştur. Dayanım ise sadece % 61 civarında artmıştır. sinterleme sıcaklığı 1200°C’ye ulaştığında malzemede porozite %17’ lere kadar düşmüş, yüksek sinterleme etkisi sonucu dayanım %595 artarak 47 Mpa değerine ulaşmıştır.



Şekil 5.12. Farklı sıcaklıklarda ısıl işlem uygulanan tüflerin ile basınç dayanımların

5.3. Tüflerde Ve Farklı Sıcaklıklarda Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.3.1. X ışınları difraktogramı (XRF) sonuçlarının değerlendirilmesi

Volkanik kayaç ve volkanik kül örneklerinin kimyasal bileşimindeki oksitler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MnO , BaO olarak bulunmuştur. Ateş zayıtı Kütahya tüflerinde %3-6 arasında bir aralıkta değişmektedir. K1 kodlu numunede XRF sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.1. Tüflerde XRF analizi sonuçları

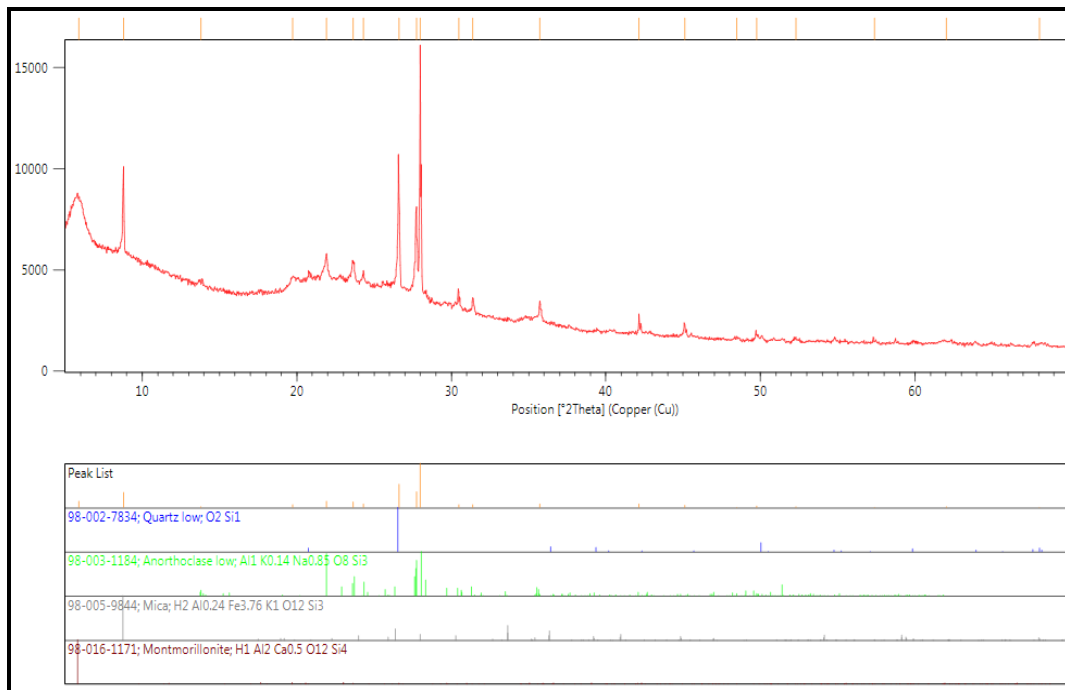
Örnek Kodu	AZ (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	BaO (%)	MnO (%)
K1	5,499	67,702	14,160	1,603	1,547	1,438	1,446	6,273	0,172	0,075	0,085

Volkanik küllerde gözlenen yüksek oranlardaki ateş zayıtı değerlerinde özellikle kayaçlarda yer alan amfibol, biyotit ve sulu minerallerden kaynaklanan H_2O ve yer yer görülen karbonatlaşmalardan kaynaklanan CO_2 gibi uçucu bileşenler rol oynamaktadır. (Elitok vd., 2008). Volkanitler içinde koyu renkli mineral olarak hornblend ve lokal olarak biyotit vardır.

Volkanitlerde su oranının az oluşu biyotit azlığına veya yokluğuna bağlanabilir (Kibici, 1990). SiO₂ oranı arttığı sürece CaO yüzdesinin azalması kayacın asidite derecesinin arttığını göstermektedir (Dinç 2014). Tüfler genel itibariyle asidik kayaç olması nedeniyle çoğunlukla CaO yüzdesi düşüktür.

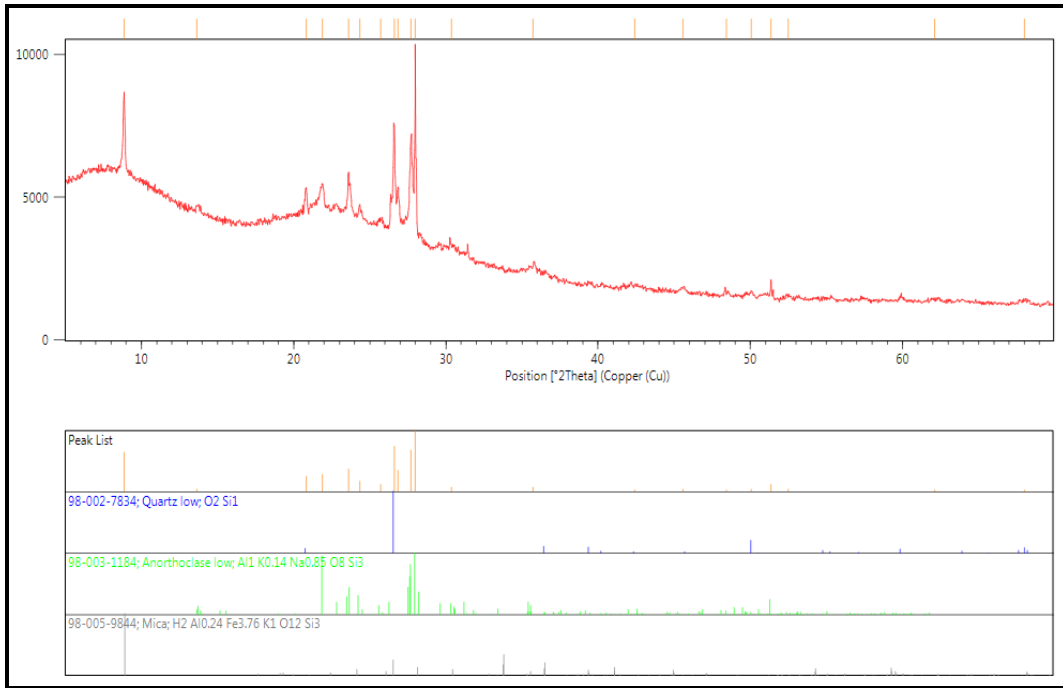
5.3.2. X ışınları difraktogramı (XRD) sonuçlarının değerlendirilmesi

Kütahya tüflerine ait numunelere ait XRD sonuçları incelendiğinde montmorillonit ve mikailit mineralleri, anortoklas ve quartz görülmektedir. En büyük pik şiddeti anortoklas mineraline aittir, pik şiddetleri madde miktarının yanı sıra kristal yapısı ile bağlantılıdır. Sıcaklıkla kilde oluşan mineralojik değişimi incelemek için 1000°C, 1100°C ve 1200°C’de sinterlenen tüflerin XRD analizi yapılmıştır. Böylece çalışma aralığında bünyedeki değişim gözlenmiştir. 1000°C’deki XRD sonucunda montmorillonite ait pik kaybolmuştur. 1200°C’de ise mika ve anortoklas piklerinin kaybolduğu görülmektedir. 1200°C’de corondum ve leucit görülmektedir. Mikanın yüksek sıcaklık etkisi ile leucit ve coronduma dönüştüğü düşünülmektedir.

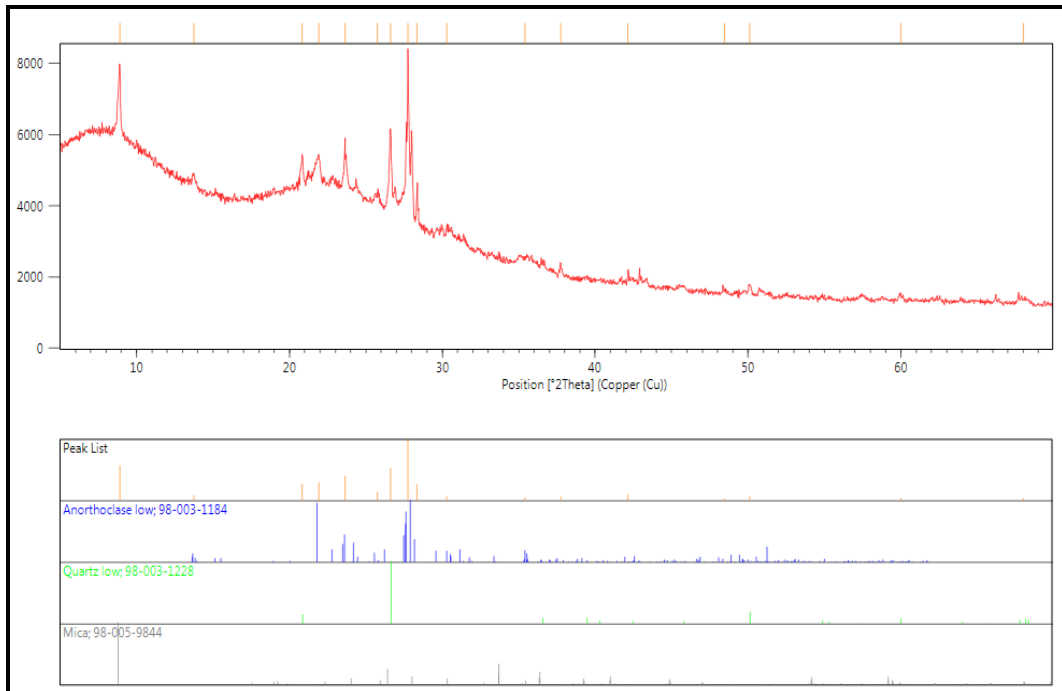


Şekil 5.13. Kütahya Tüfünün xrd analizi

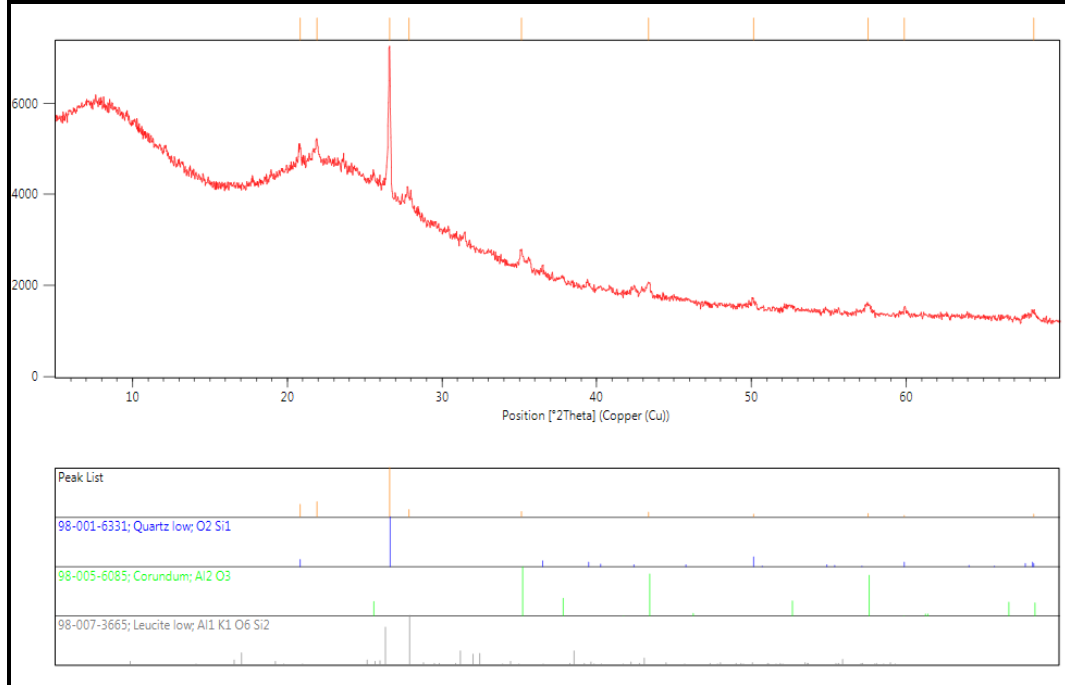
Isıl işlem sonucu sinterleşen malzemede kimyasal ve fiziksel değişimler oluşur. Tüflerde kristal dönüşümlerin yanı sıra kristal yapısı bozunarak amorf camsı yapıya dönüşümlerde oluşmuştur. Feldspat minerallerinin bünyede eritici etki göstererek cama dönüştüğü düşünülmektedir. XRD difraktogramlarından görülen bir diğer ve önemli sonuçta 1100 °C ve 1200°C'de kuvars pikinin altına denk gelen zemin yükselmesidir. Zemin yükselmesindeki bu artış bünyede oluşan camsı fazın artışı ile ilgilidir. Camsı (amorf) faz arttıkça, XRD difraktogramlarında bir zemin yükselmesi deseni meydana gelir. Bu da yukarıda söz edilen camsı faz oluşumunun bir diğer kanıtıdır. Tüflerde 1000°C den itibaren camlaşma başlamıştır. 1200°C'de ise malzeme neredeyse tamamen camlaşmıştır. Bu durum XRD analizlerinde belirgin zemin yükselmeleri ile de kendini belli etmektedir.



Şekil 5.14. 1000 °C ısıda Kütahya Tufünün xrd analizi



Şekil 5.15. (1100°C) Isıl işleme tabi tutulmuş Kütahya Tüfünün xrd analizi



Şekil 5.16. (1200 °C) Isıl işleme tabi tutulmuş Kütahya Tüfünün xrd analizi

5.3.3. Tüf yüzey fotoğraflarının değerlemesi

Çalışmamızda farklı sıcaklıklarda ısıtılma tabii tutulmuş Kütahya tüfünün yüzey fotoğrafları Şekil 5.17.,5.18.,5.19.,5.20.,5.21.'de görülmektedir. 900°C'de ısıtılma tabii tutulmuş tüfte oluşan ince çatlaklar, 1000 °C'de ısıtılma tabii tutulmuş tüfte belirgin şekilde artmıştır. 1100°C'de ısıtılma tabii tutulmuş tüfte ise yüksek sıcaklık etkisi ile hem çatlaklar oldukça artmış ve derinleşmiş, hem renk belirgin bir şekilde koyulaşmıştır. 1200 °C'de ise camsi fazın hakim yapı olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.17. Tüf numunesi (Bağlayıcı hamur ve etrafında farklı taneler)



Şekil 5.18. 900 °C sıcaklıkta tuf numunesi (İnce çatlaklar)



Şekil 5.19. 1000 °C sıcaklıkta tuf numunesi (kayaç parçası etrafında çatlak genişlemesi)



Şekil 5.20. 1100 °C sıcaklıkta tuf numunesi (derin çatlaklar ve camsı yapının sertleşmiş hali)

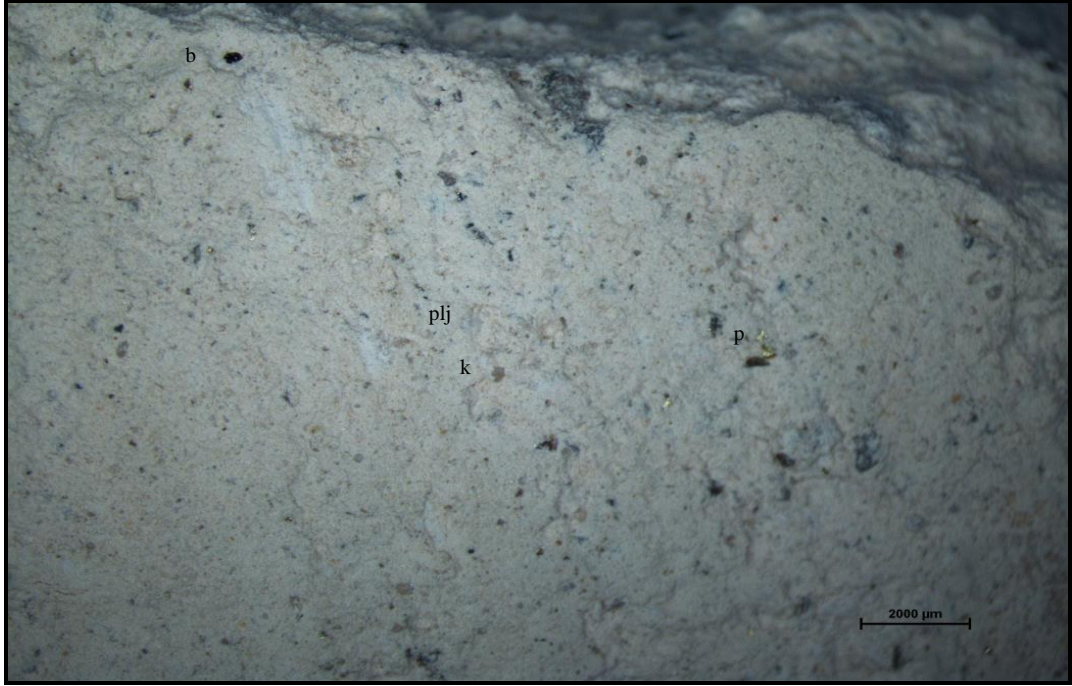
Gennaro ve Ark. (2003) tuf peletlerinin 700 ve 1000 °C arasında ısıl işleme tabi tutulduğunda renklerinin daha açık renklere koyu kahverengiye dönüştüğünü belirtmişlerdir. Çalışmamızda da sıcaklık arttıkça tuf numunelerinin renklerinin koyulaştığı görülmektedir. Bu renk değişiminin sinterlenme sonucunda 2. oksitlenme fazındaki demirin 3. oksitlenme fazına geçmesi şeklinde olabileceği belirtilmektedir [Gennaro et. al. 2003, Çağlar et al. 2007].



Şekil 5.21. 1200 °C sıcaklıkta tuf numunesi (Camsı yapı)

5.3.4. Polarize mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi

Bu bölümde tüflerin, 1000 ve 1200 °C sıcaklıklarda tüflerin optik mikroskop görüntüleri incelenerek dokusal ve mineralojik özellikleri yorumlanmıştır. Renk değişimlerinden de açıkça anlaşılacağı gibi tuf hamuru farklı sıcaklıklarda yapısında oluşan reaksiyonlar sonucunda farklı renkler almaktadır. Çatlak genişlik ve derinliklerindeki değişimler sinterleme etkisi ile oluşan dönüşümler ve tuf içerisindeki taneler ve bağlayıcı fazda oluşan farklı termal şekil değişikliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu tüflerde bağlayıcı faz açık pembe, krem, kirli beyaz renklerdedir. Hidrotermal alterasyon ile mangan ve demir oksitli minerallerin yerleşmesi sonucu mikroskopta renklenme görüntülenmiştir. Kütahya tüfleri kompakt yapılı, riyolitik-riyodasitik bileşimli tüflerdir ve başlıca volkanik cam parçacıkları, plajioklas (plj) mikrolitleri (matrix-bağlayıcı içinde) ile kuvars (k), alkali feldispat, plajioklas ve biyotit (siyah mika pulları), hornblend (h) ve pirit (p) minerallerini (Şekil 5.21) içermektedirler.



Şekil 5.22. Kütahya tufünün optik mikroskop görüntüsü

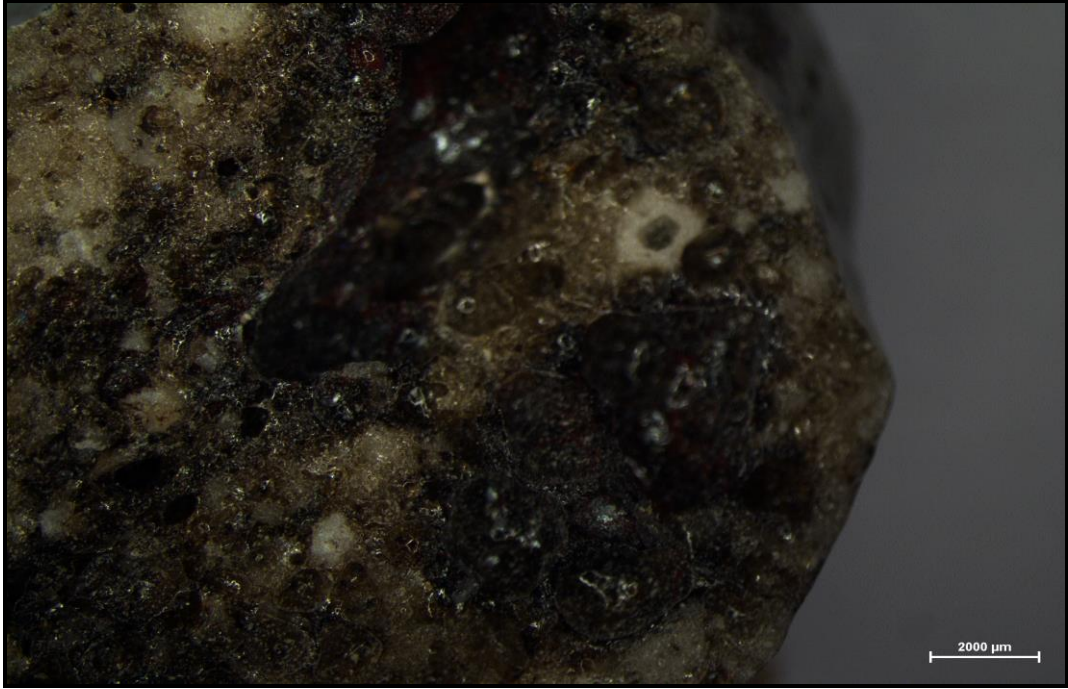
Feldspatların bünyede kaolenleşmesi sırasında kil mineralleri oluşur. Demir oluşumu kayalık içindeki biyotit ve çok az miktarlarda da hornblend (koyu renkli ferromagnezyen mineraller) minerallerinin alterasyonu ile gerçekleşmektedir. Yani feldspatlar kaolenleşirken biyotit ve hornblend kloritleşmektedir. Kloritleşme (Şekil 5.22., sol alt köşe) sırasında açığa çıkan demir ve magnezyum mevcut olan kayalık kısmen renklendirmektedir. Alterasyonun ikincil mineraller üzerine yapmış olduğu etki koyu renkli minerallerin kimyasal bileşiminde bulunan demir ve magnezyumun varlığından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.22’de kloritleşme sonrası ortaya çıkan demirli minerallerin kılıf gibi camsı fazı sardığı ve çatlakları doldurduğu görülüyor. Siyah ve kırmızı renkli taneler kalıntı minerallerdir. Limonit sarı ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), hematit kırmızı (Fe_2O_3) ve magnetit (Fe_3O_4) ise siyah renklindedir. Bu minerallerin değişik bölgelerde camsı fazın çatlaklarını doldurduğu ve etrafını bir kılıf gibi sardığı görülmektedir. (1000 °C) sonrası camsı faz oluşmuş, yeni kuartzlar oluşmuş mikalar daha net görülmüştür.

olmaktadırlar. 1000 °C' da sinterleme sonucunda sağ alt köşede hematitleşme görülmektedir. Kahverengiler biyotit mineralleridir. Biyotit ve piritler alterasyona uğrayarak hematit oluşturmuştur.



Şekil 5.23. 1000 °C ısıda Kütahya tüfünün optik mikroskop görüntüsü

Bütün morfolojik tipteki külleri içeren volkanik kayaçların renginin artan demir oksit oranı ile beraber açık renkten koyu kahverengine değiştiği belirtilmektedir. Bu durumda tüflerin renklerinin içerdikleri demir oksit miktarının artması ile daha koyulaştığı anlaşılmaktadır. Sıcaklık 1200 °C için tüflerin büyük ölçüde camlaşarak koyu renk aldığı, bununla beraber beyaz quarz yapıları görülmüştür (Şekil 5.24).



Şekil 5.24. 1200 °C ısıtılmasında Kütahya tufunun optik mikroskop görüntüsü

5.3.5. SEM ve enerji saçınımlı x-ışını spektroskopisi tekniği (EDX) değerlendirmesi

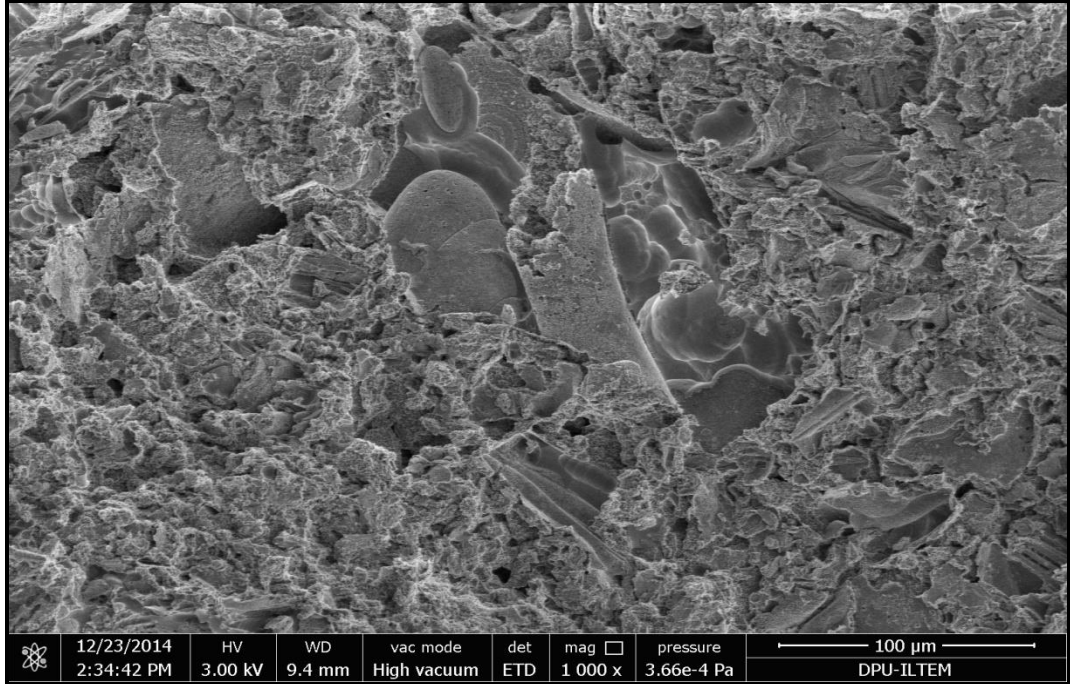
Tanelerden, taneler arası ve tane içi gözeneklerden meydana gelmiş ortamın ısıtılmasında gerçekleşen değişimlerinin incelenmesi sinterleşme teorilerinin temelini oluşturur. Sinterleşme işlemi sonucunda malzemede önemli değişimler gerçekleşir. Sinterleşme öncesi hazırlanan pişmemiş bünyede taneler zayıf etkileşimler ile bir arada durmaktadır. Kil; serbest silika, K_2O ve Fe_2O_3 içermektedir. K_2O seramik üretiminde yaygın olarak kullanılan bir eriticidir. Seramik bünyeye katılarak sinterleşme sıcaklığının düşürülmesi sağlanır. Fe_2O_3 900°C'den itibaren indirgenmeye başlayarak FeO 'ya dönüşür. FeO 'da güçlü bir eritici etkiye sahip bileşiktir. K_2O , FeO ve bünyede bulunan serbest silika bir araya geldiğinde, bünye içerisinde büyük miktarlarda camsı faz oluşumuna neden olur.

Viskozitesi yüksek camsı fazda, yüksek sıcaklıklarda köpürme ve kabarcık oluşumları meydana gelir. Köpürme ve kabarcıkların meydana getirdiği boşluklar soğuma sırasında bünyede gözenek olarak kalır. Ayrıca soğuma sırasında camsı fazda mikro çatlaklar oluşur. Bünyede bulunan silikanın sıcaklıkla hacmi artmaktadır, silika polimorflarının birbiri arasında gerçekleşen reaksiyonların tamamı geri dönüşümlüdür. Sıcaklıkla artan hacim soğuma sırasında azalacaktır bu nedenle bünyede silika miktarına bağlı olarak mikro çatlak oluşacaktır. Serbest

silika ve eritici bileşikler içeren bünyelerin sıcaklıkla yoğunluğunun düşmesi bu şekilde açıklanabilir.(Pekdemir,2008).

Karataş ve ark SEM incelemelerinde simektit mineralinin petek dokusu şeklinde çok iyi gelişmiş levhamsı yapraklardan oluşan morfolojisiyle tanımlandığını belirtmektedir. Ayrıca simektit minerallenmesinin genellikle volkan camlarının erime boşlukları ile kırık ve çatlaklar boyunca veya feldspat minerallerinin üzerinde geliştiğini SEM görüntülerinde gözlemlenmiştir. Simektit oluşumu volkan camlarının hidrolizi ve feldspat mineralinin bozuşması şeklinde geliştiği belirtilmektedir. Bozuşmuş tuf örneklerinde simektit mineraline eşlik eden illit minerali biyotitin kil boyu fraksiyonundan türemiştir (Bayhan ve Yalçın, 1990; Gümüşer ve Yalçın, 1998).

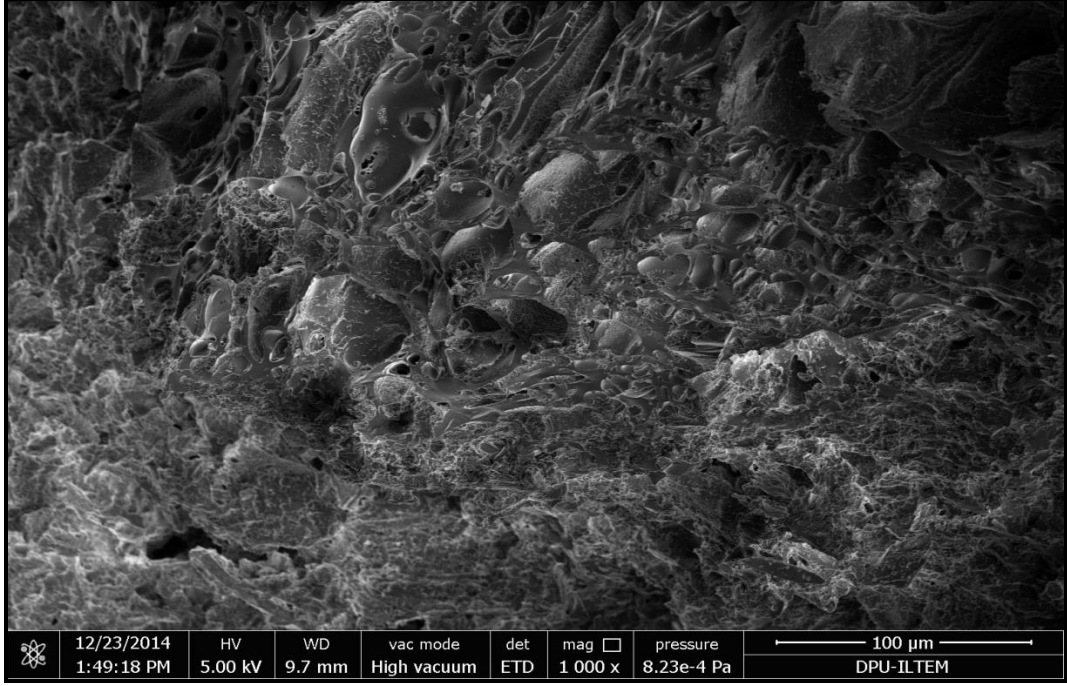
Tüflerde sıcaklıkla meydana gelen morfolojik değişimi gözlemek amacıyla tuf ve 3 farklı sıcaklıkta (1000, 1100 ve 1200 °C) sinterlenmiş tuf numuneler üzerinde üç farklı büyütme oranında (1000,10000 ve 20000x) SEM-EDX analizleri yapılmıştır.



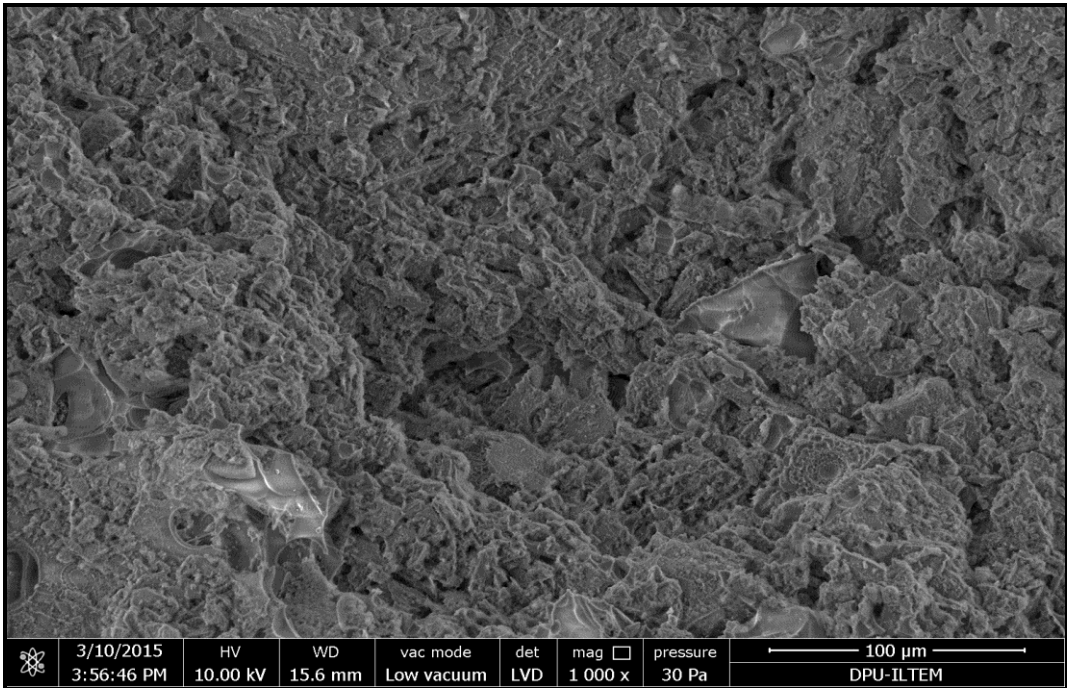
Şekil 5.25. Tuf iç yapı görüntüsü (1000x)

Tuf iç yapısında oluşum sırasında camlaşmış yapılar ile beraber çok boşluklu bir yapı görülmektedir. 1000°C'deki SEM görüntüsünde sinterleme etkisi ile tanelerin birbirine

bağlandığı daha yoğun bir yapı görülmektedir. Bununla beraber 1000 °C'deki SEM görüntüsünde kısmen camsı yapı ve boşluklar gözlenmektedir.

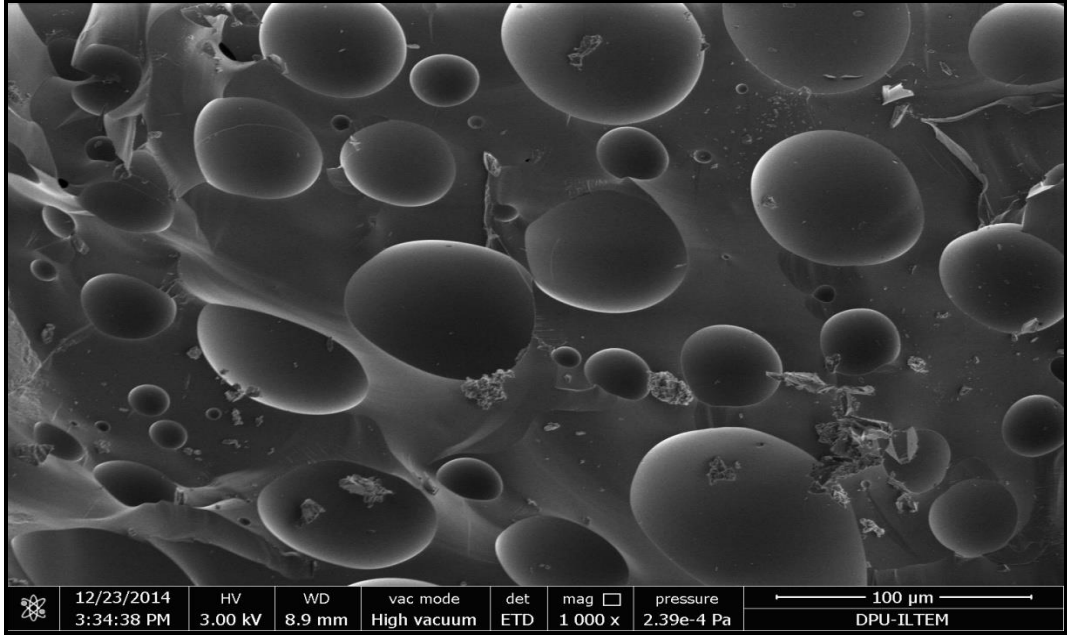


Şekil 5.26. (1000 °C) tuf iç yapı görüntüsü (1000x)

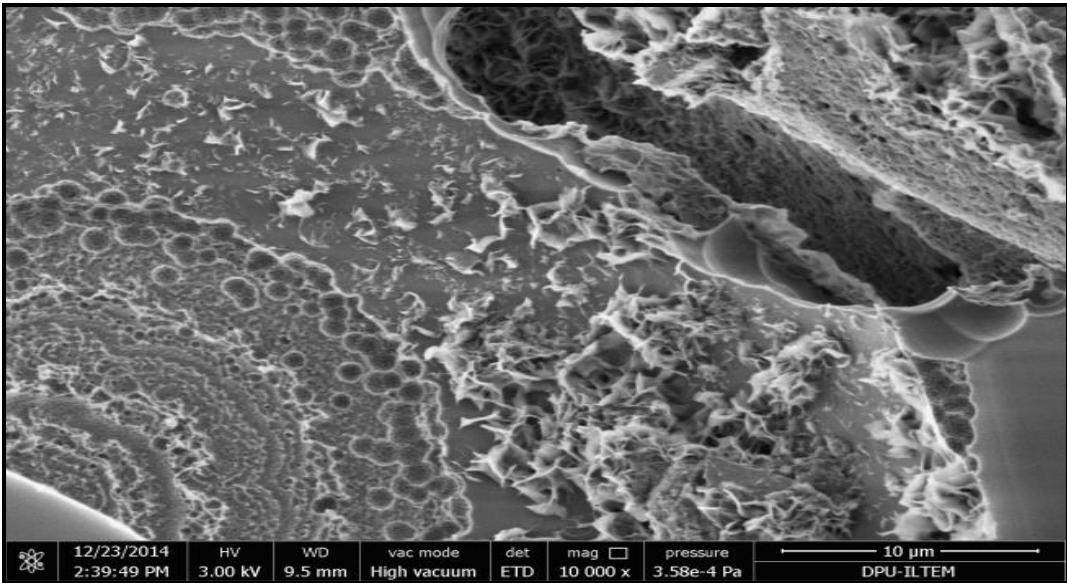


Şekil 5.27. (1100 °C) tuf iç yapı görüntüsü (1000x)

1000°C'den sonra bünyede meydana gelen değişimleri ve bünye özelliklerini camsı faz ve camsı fazda gerçekleşen değişimlerin belirlediği düşünölmektedir. 1200°C'de sinterlenen tüfte camsı fazın içerisinde köpürme-kabarmalardan oluşun homojen dağılımı, benzer büyüklükte kapalı gözenekler görölebilmektedir. 1200°C'de artık kil formu tamamen kaybolmuştur.

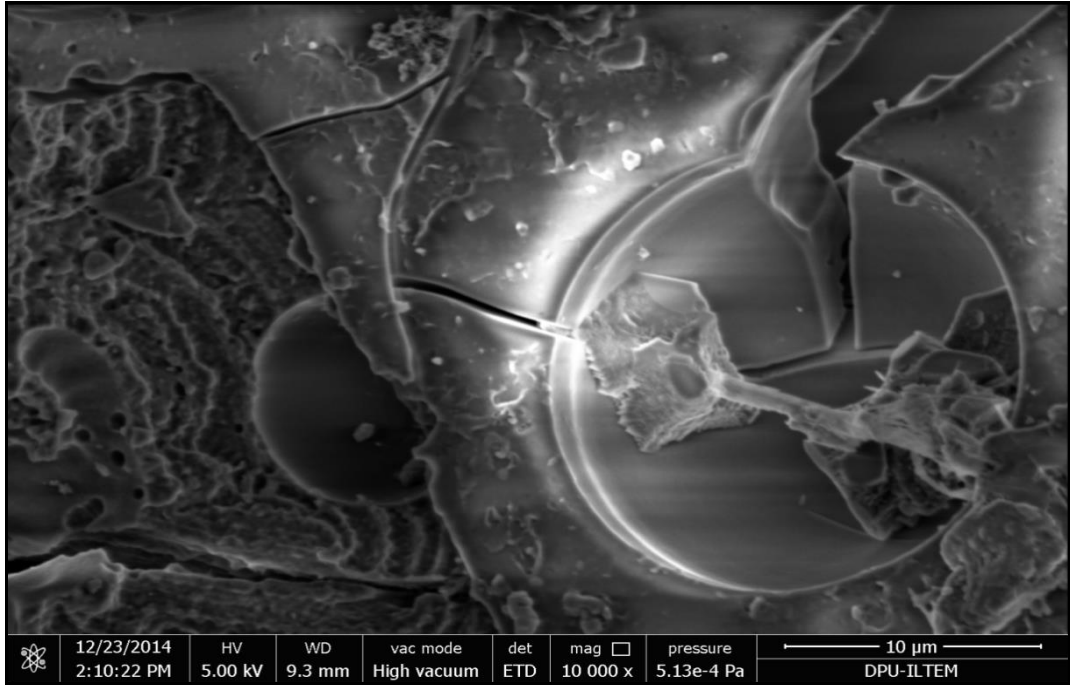


Şekil 5.28. Sinterlenmiş tüf (1200 °C) iç yapı görüntüsü (1000x)

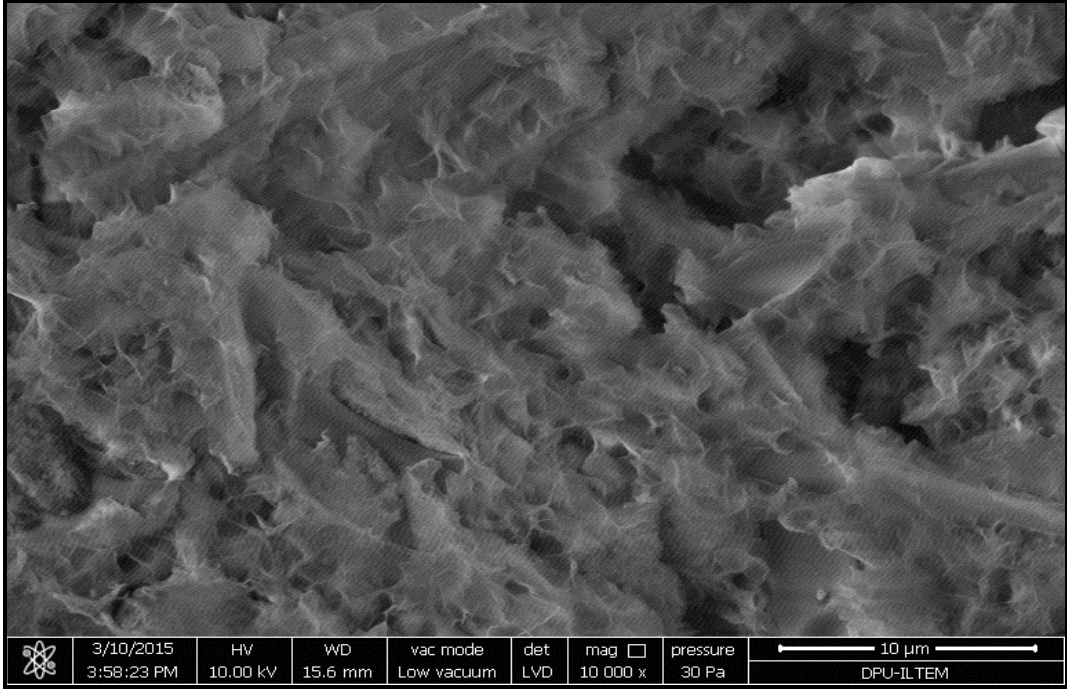


Şekil 5.29. Tüf iç yapı görüntüsü (10000x)

Tüf iç yapısında bağlayıcı matris üzerinde boşluklar ve kil yapısı görülmektedir. Bu kil yapısı boşluk içerisinde de bulunmaktadır. Sinterleme sıcaklığı 1000°C SEM görüntüsünde daha yoğun ve giderek gözeneklerin kaybolduğu bir yapıya ulaşılmıştır. Camlaşan yapı boşlukları kısmen doldurmuş, taneler arasında sinter bağları oluşturmuştur. Camsı yapıda soğuma sırasında oluşan mikro çatlaklar görülmektedir. Sem görüntülerinden 1000 °C sinterleme sonrasında sol tarafta gözlenen boşlukların kapandığı, camsı yapının soğuması sırasında büzülmeden kaynaklanan çatlaklar görülmektedir.

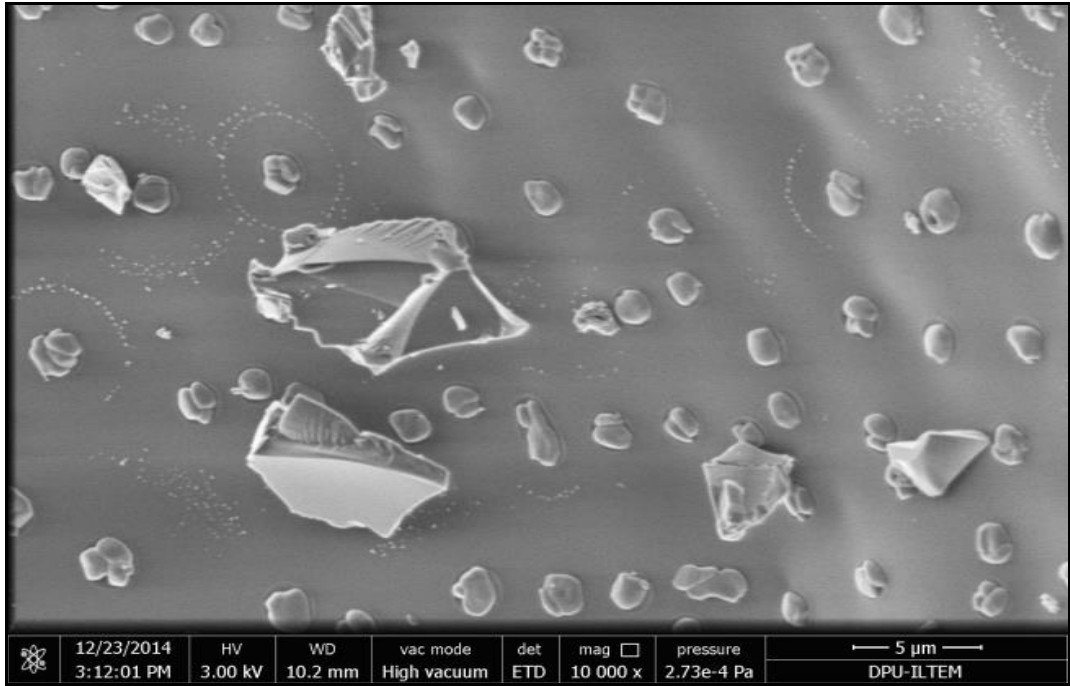


Şekil 5.30. (1000 °C) tüf iç yapı görüntüsü (10000x)

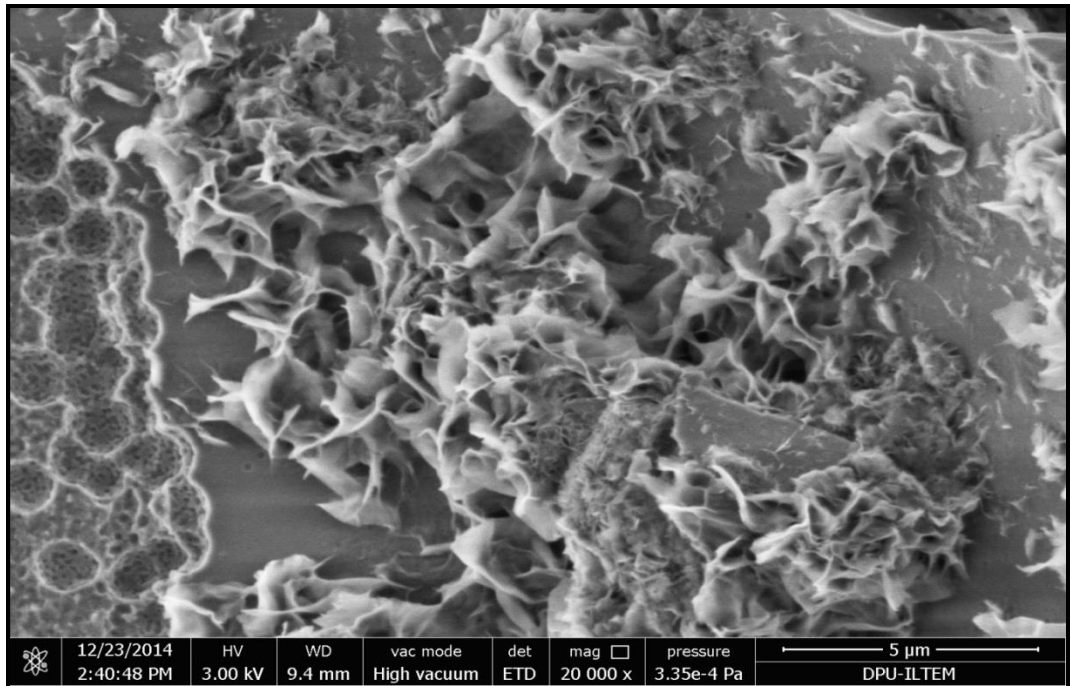


Şekil 5.31. Sinterlenmiş tuf (1100 °C) iç yapı görüntüsü (10000x)

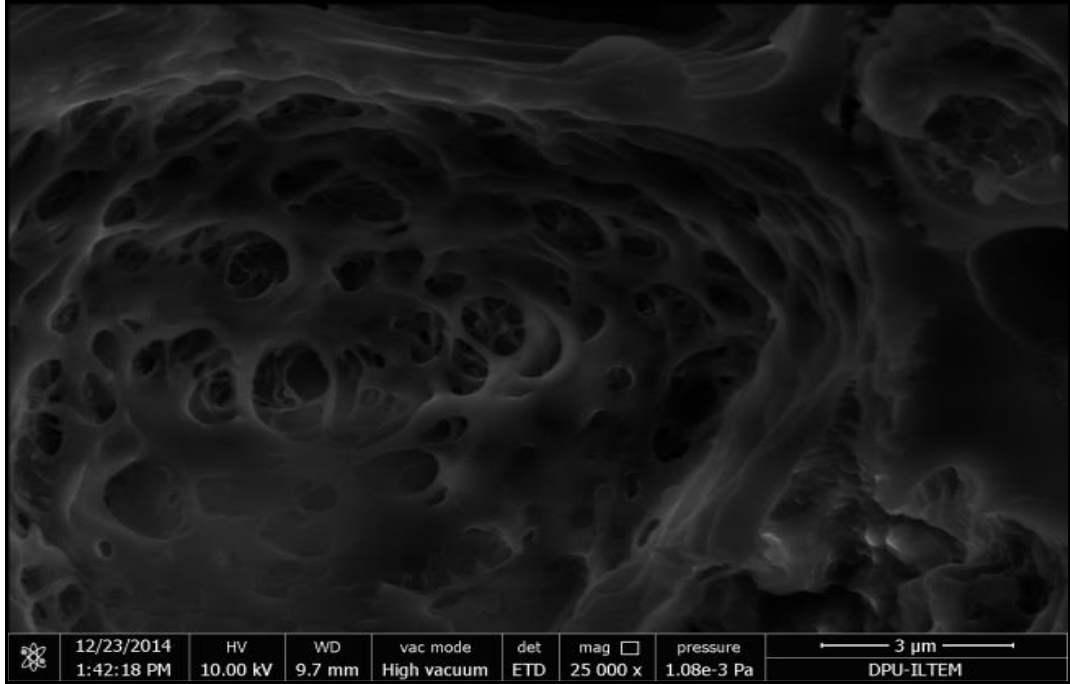
1100 °C'deki SEM görüntüsünde taneler arasındaki büyük boşluklar görülebilmektedir. Bu durum yapıda tanelerin büzülmesinden kaynaklıdır. 1200 °C'deki daha eş görümlü bir yapıya sahiptir. Buradan sinterleme sıcaklığı arttıkça iç yapıda birbirine açık gözeneklerin kapandığı ve çok daha sıkı bir iç yapı oluştuğu, görülmektedir. Bu durum basınç dayanımlarına da yansımıştır. 1200 °C'de sinterlenen numunede 47 Mpa dayanım elde edilmiştir.



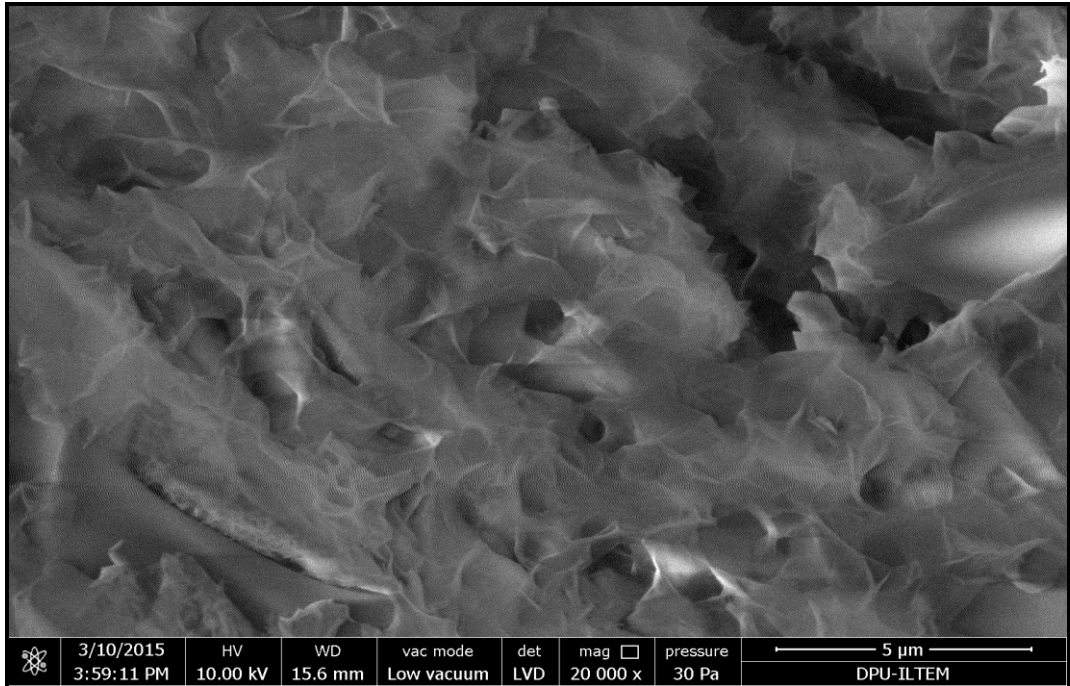
Şekil 5.32. Sinterlenmiş tuf (1200 °C) iç yapı görüntüsü (10000x)



Şekil 5.33. Tuf iç yapı görüntüsü (20000x)



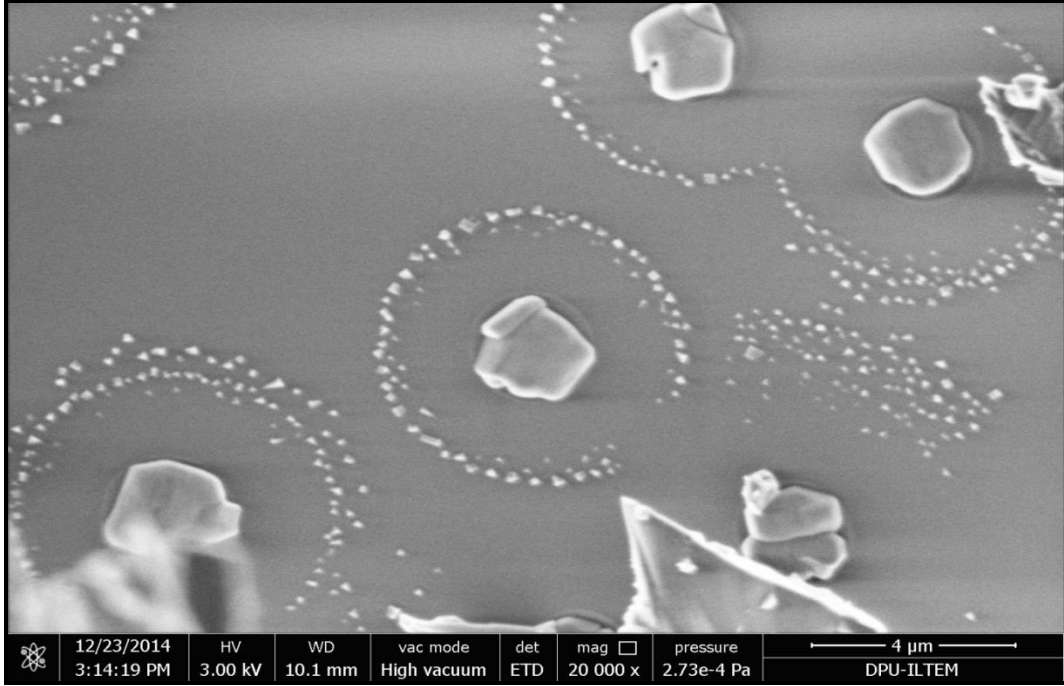
Şekil 5.34. Tüf (1000 °C) iç yapı görüntüsü (10000x)



Şekil 5.35. Tüf (1100 °C) iç yapı görüntüsü (20000x)

Sinterlenmiş tüf (1100 °C) iç yapısının sedefsi bir görünüm aldığı, 1000 °C sinterleme sıcaklığında görülen birbirine açık boşluk yapısının kapandığı, sadece taneler arasında boşluklar

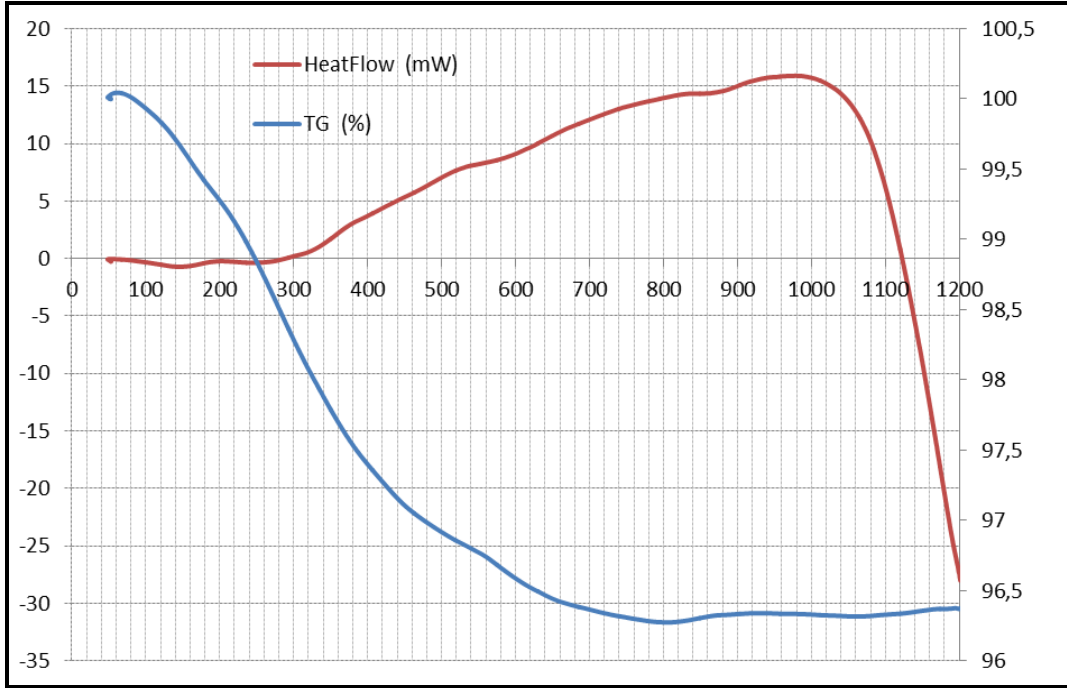
kaldığı görülmüştür. Sinterlenmiş tuf (1200 °C) de ise tamamen camsı yapının oluştuğu, camsı yapı üzerinde leucit kristalleri olduğunu düşündüğümüz yapıların oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.36. Sinterlenmiş tuf (1200°C) iç yapı görüntüsü (20000x)

5.3.6. TG-DTA çalışmaları

Altta tufün termal analizi verilmiştir. Şekil 5.37.'de de görüldüğü gibi 800 °C sinterleme sıcaklığına kadar % 3.5 kütle kaybı olmuştur. Bu sıcaklıktan sonra kütle kaybı değişmemiştir. Kütle kaybının yapıdaki kil minerallerinin dehidratasyonu ve çeşitli minerallerdeki oksitlenmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tuf numunesinde sinterlememin başladığı sıcaklık (sıvılaşma sıcaklığı) 1070 °C olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıktan sonra kristal yapının eriyerek camsı yapıya dönüştüğü anlaşılmaktadır. İç yapı ve basınç dayanımı deney sonuçları da bu durumu desteklemektedir. Isıl işlem sıcaklığı 1200°C olan tüflerde iç yapının oldukça yoğun olduğu görülmektedir, basınç dayanımı ise ortalama 47 MPa bulunmuştur.



Fırın sıcaklığı (°C)

Şekil 5.37. Tüfün termal analizi (50-1200 °C)

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Kütahya bölgesi tüfleri yapı fiziği açısından incelenmiştir. Tüfün bulunduğu bölgelerde tüf içinde yapılaşma örnekleri görülmektedir. Kütahya'da da soğuk hava depoları buna örnek olarak kabul edilmiş ve tüfün fiziksel, kimyasal, mekanik, mineralojik ve morfolojik özellikleri incelenmiştir.

Tüflerin birim hacim ağırlıkları ortalama birim hacim ağırlıkları $1,232 \text{ gr/cm}^3$ tür. Tüflerin ortalama özgül ağırlığı $2,367 \text{ gr/cm}^3$, poroziteleri % 47,967'dir. Tüflerin ortalama hacimce su emme değerleri %32,735 olarak bulunmuştur. Basınç dayanımları 7 Mpa civarındadır. Taşıyıcı duvarlarda kullanılamazlar ancak çok boşluklu yapısı, ve düşük birim hacim ağırlığı ve kolay işlenebilmesi göz önüne alındığında gazbeton alternatifi yalıtım özellikleri yüksek duvar malzemesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Kütahya tüflerine ait numunelere ait XRD sonuçları incelendiğinde montmorillonit ve mika, feldispat ve quartz minerallerinden oluştuğu görülmektedir. 1000°C 'deki XRD sonucunda montmorillonite ait pik kaybolmuştur. 1200°C 'de ise mika ve feldispat piklerinin kaybolduğu görülmektedir. 1200°C 'de corondum ve leucit oluşumu görülmektedir. Mikanın yüksek sıcaklık etkisi ile lösit ve korondum dönüştüğü düşünülmektedir. Isıl işlem sonucu sinterleşen malzemede kimyasal ve fiziksel değişimler oluşur. Tüflerde kristal dönüşümlerin yanı sıra kristal yapısı bozularak amorf camsı yapıya dönüşümlerde oluşmuştur. Feldspat minerallerinin bünyede eritici etki göstererek cama dönüştüğü düşünülmektedir. XRD difraktogramlarından görülen bir diğer ve önemli sonuçta 1100°C ve 1200°C 'de kuvars pikinin altına denk gelen zemin yükselmesidir. Zemin yükselmesindeki bu artış bünyede oluşan camsı fazın artışı ile ilgilidir. Bu da yukarıda söz edilen camsı faz oluşumunun bir diğer kanıtıdır. Tüflerde 1000°C den itibaren camlaşma başlamıştır. 1200°C 'de ise malzeme neredeyse tamamen camlaşmıştır. 1200°C 'de tüf basınç dayanımı 47 Mpa değerine ulaşmıştır. Tüflerin sinterleme ile seramik hammaddesi olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Renk değişimlerinden de açıkça anlaşılacağı gibi tüf hamuru farklı sıcaklıklarda yapısında oluşan reaksiyonlar sonucunda farklı renkler almaktadır. Çatlak genişlik ve derinliklerindeki değişimler sinterleme etkisi ile oluşan dönüşümler ve tüf içerisindeki taneler ve bağlayıcı fazda oluşan farklı termal büzülmelemlerden kaynaklanmaktadır. Kütahya tüfleri kompakt yapılı, riyolitik-riyodasitik bileşimli tüflerdir ve başlıca volkanik cam parçacıkları, plajjoklas mikrolitleri (matrix-bağlayıcı içinde) ile kuvars, alkali feldispat, plajjoklas ve biyotit (siyah mika pulları), hornblend ve pirit minerallerini içermektedirler. Sinterleme (1000

C⁰) sonrası camsı faz oluşmuş, yeni quarzlar oluşmuş mikalar daha net görülmüştür. Kroritleşme sonrası ortaya çıkan demirli minerallerin (Limonit (sarı, Fe₂O₃ nH₂O), hematit (kırmızı, Fe₂O₃) ve magnetit (siyah, Fe₃O₄) kılıf gibi camsı fazı sardığı ve çatlakları doldurduğu görülmektedir. Sinterleme sıcaklığı 1200 C⁰ için tüflerin büyük ölçüde camlaşarak koyu renk aldığı, bununla beraber beyaz kuartz yapıları görülmüştür.

1000°C'den sonra bünyede meydana gelen değişimleri ve bünye özelliklerini camsı faz ve camsı fazda gerçekleşen değişimlerin belirlediği düşünülmektedir. 1200°C'de sinterlenen tüfte camsı fazın içerisinde köpürme-kabarmalardan oluşan homojen dağılmış, benzer büyüklükte kapalı gözenekler görülebilmektedir. 1200°C'de artık kil formu tamamen kaybolmuştur. 1100°C'deki SEM görüntüsünde deforme olmuş kil tabakaları görülebilmektedir, ayrıca yeni bozunmuş kil tabakaları arasındaki boşluklar ve büyük boyutta gözenekler görülebilmektedir. 1200°C'deki daha eş görünümlü bir yapıya sahiptir. Buradan sinterleme sıcaklığı arttıkça iç yapıda birbirine açık gözeneklerin kapandığı ve çok daha sıkı bir içyapı oluştuğu görülmektedir.

Termal analizden 800 °C sinterleme sıcaklığına kadar % 3.5 kütle kaybı olduğu, bu sıcaklıktan sonra kütle kaybı olmadığı görülmüştür. Kütle kaybının yapıdaki kil minerallerinin dehidratasyonu ve çeşitli minerallerdeki oksitlenmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tüf numunesinde sinterlememin başladığı sıcaklık (sıvılaşma sıcaklığı) 1070 C⁰ olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklıktan sonra kristal yapının eriyerek camsı yapıya dönüştüğü anlaşılmaktadır. İç yapı ve basınç dayanımı deney sonuçları da bu durumu desteklemektedir. Isıl işlem sıcaklığı 1200°C olan tüflerde iç yapının oldukça yoğun olduğu görülmektedir, basınç dayanımı ise ortalama 47 MPa bulunmuştur.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aydan, Ö. Ulusay,R.,(2003), “Geotechnical ve geoenvironmental characteristics of man-made underground structures in Cappodocia, Turkey”, Engineering Geology, 69, s.245-272,
- Bayhan, E. , Yalçın, H. (1990),” Burdur gölü çevresindeki Üst Kretase-Tersiyer yaşlı sedimanter şistifin tüm kayaç ve kil mineralojisi”. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 117, s.73-87.
- Çobanoğlu, İ., Özpınar, Y., (2003),”Sandıklı (Afyon) Tüflerinin Mühendislik Özellikleri ve Beton Agregası Olarak Kullanım Olanaklarının İncelenmesi”, Geosound Yerbilimleri Dergisi, Adana, Sayı 42, 205-222.
- Daloğlu G., Emir E. ,(2010), “Eskişehir-Derbent bölgesi beyaz tüflerinin doğal yapı taşı olarak değerlendirilebilirliği “,Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, Eskişehir,s.134.
- Demir, İ.,(2001) , “Afyon Yöresi Tüflerinin Tuğla Üretiminde Kullanılması”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 227 .
- Ergül A., (2009), “Afyonkarahisar’da yapıtaşı olarak kullanılan tüflerdeki poroziteye bağlı su içeriğinin fizikomekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans, Afyon.
- Gümüşer, G. ve Yalçın, H. (1998),” Kelkit vadisi kuzeyindeki (Reşadiye-Yazıcık-Bereketli /Tokat) bentonit yataklarının mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi”. Yerbilimleri, 20,s. 91-110.
- Karakaş Z., Varol B., Boyraz S., (2007) “Sivrihisar kuzey doğusundaki (mülk-demirci) neojen yapılı volkaniklerde kil mineralleşmesi “, MTA Dergisi, 134, 1-16.
- Karaman, M. E. , Kibici Y., (2008), “Temel Jeoloji Prensipleri”, Belen Yayıncılık ve Matbaacılık, Ankara.
- Pekdemir A.,(2008), “ Kaolinitik Bir Kilin Sinterleşme Özelliklerinin İncelenmesi” , Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Yüksek Lisans Tezi ,Ankara .
- Pirsson, L.V. (1975), “The Microscopicical charecters of volcanic tufss”, Sedimentary rocks: Concepts and History, Ed. By A. V. Carozzi, Wiley, Pennsylvania, 199-214.
- T. Topal ve V. Doyuran,(1998), “Analyses of deterioration of the Cappadocian tuff, Turkey”, Environmental Geology, 34, 1, 5-20.

Topal,T., Doyuran,V.,(1997). “Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff”. Engineering Geology, 47,s.175-187.

Yeniyol, M. ,(1987), ” Enez bentonitinin jeolojisi, mineralojisi ve oluşumu”. III. Ulusl Kil Sempozyumu, İstanbul, s.123-137.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : M.Ali ARSLANBABA

Doğum Yeri : Kütahya

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi : 09.01.1961

Medeni hali : Evli

Yabancı dil : İngilizce

Eğitim durumu :

Orta öğrenim : Tavşanlı Atatürk Lisesi (1978)

Lisans : Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi (1983)

İş deneyimi :

Garp linyitleri işletmesinde mühendislik (1984-1994)

Dumlupınar üniversitesi yapı işleri teknik dairesinde mühendislik (1994-2000)

Dumlupınar üniversitesi yapı işleri teknik dairesinde daire başkanlığı (2000-2004)

Dumlupınar üniversitesi Kütahya teknik bilimler MYO'da öğretim görevlisi(2004-)