



Perlitleşmemiş Obsidiyen Genleşmesi: Hidrasyon ve Oluşum Özellikleri
Unperlitized Obsidian Expansion: Hydration and Formation Characteristics

Lütfiye Akın¹ , Erkan Aydar¹ 

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800, Ankara, Türkiye

• Geliş/Received: 15.05.2025 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 28.07.2025 • Kabul/Accepted: 30.06.2025
• Çevrimiçi Yayın/Available online: 18.08.2025 • Baskı/Printed: 31.08.2025

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Magma ile su etkileşimi, volkanik patlamalarda patlamanın şiddetini belirleyen en önemli parametrelerden biri olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, patlama ile oluşan volkanik ürünlerde rastlanılan su içeriğinin volkanizma sırasında veya sonrasında gelişip gelişmediğinin belirlenmesinde çeşitli kısıtlamalar bulunmaktadır. Bu çalışma, Nevşehir Acıgöl Maar’ından örneklenen obsidiyenin, perlitik doku sahibi olmadan ısıtılma işlemi ile genleşmesinin nedeni ve özellikleri ile termal ayrışma özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bantlı obsidiyenin genleştirilmesi sırasında geçirmiş olduğu fiziksel ve kimyasal değişimler, çeşitli analitik yöntemler ile incelenmiştir. Bu kapsamda, su bileşenlerinde meydana gelen değişimler FT-IR analizi ile gözlemlenmiştir. Örnekte gerçekleşen kütle kaybının değeri TG-DTA yöntemi ile ölçülmüş olup genleştirme deneyi sonucunda oluşan üründe genleşmeye bağlı meydana gelen dokusal değişimler üç boyutlu tomografik görüntüleme tekniği ile belirlenmiştir. Sonuç olarak bir volkan camının termal olarak ayrışması, uçucu gazlar ile birincil ve ikincil su türlerinin farklı sıcaklıklarda çeşitli süreçler sonucunda salınması ile meydana gelmektedir. Bu çalışma ile su içeren riolititik bileşime sahip obsidiyenin, su ve uçucu bileşenlerin kimyasal olarak gevşek bir şekilde bağlandığı yerlerde çeşitli oranlarda genişleyen gözenekler oluşturabildiği deneysel olarak gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bilgisayarlı tomografi, FT-IR, genleşme, hidrasyon, obsidiyen, TG-DTA.

Abstract: Magma-water interaction is defined as one of the most important parameters determining the explosivity of volcanic eruptions. However, accurately quantifying the water content in volcanic products formed during syn-eruptive or post-eruptive processes remains a significant challenge. This study investigated the thermal expansion and decomposition behavior of obsidian sampled from the Nevşehir Acıgöl Maar, which was subjected to heat treatment without exhibiting perlitic texture development, in order to elucidate the underlying mechanisms and characteristics of the process. The physical and chemical changes that the banded obsidian experienced during its expansion were analyzed using various analytical methods. In this context, FT-IR analysis was used to observe modifications in water components. The mass loss in the sample was quantified using the TG-DTA method, while the textural changes occurring during the obsidian expansion experiment were determined through three-dimensional tomographic imaging technique. The results show that thermal decomposition of volcanic glass involves the release of volatiles and both primary and secondary water species across a range of temperatures. This study demonstrates experimentally that hydrous rhyolitic obsidian can generate vesicles that expand at varying rates, particularly in regions where water and volatiles are loosely bound within the glass structure.

Keywords: Computed tomography, expansion, hydration, FT-IR, obsidian, TG-DTA.

GİRİŞ

Volkan camı normal koşullarda bünyesinde ağırlıkça %0,1-0,6 jüvenil su içermekte ve oluşumu sonrasında gerçekleşen rehidrasyon süreçleri ile birlikte su içeriklerinde artış görülmektedir (Seligman vd., 2016; Giachetti vd., 2020). Volkan camının hidrasyonu başlıca difüzyon süreçleri sonucu meydana gelmekte olup meteorik suyun volkan camı içine difüzyonu ise zamana, magmanın bileşimine ve iklim koşullarına bağlı olarak gelişmektedir. Felsik kayalarda hidrasyon 2700 yıl içinde maksimum değere ulaşırken, eş zamanlı mafik kayalarda 7000 yılda bile önemli bir değişim izlenmemiştir (Seligman vd., 2016). Volkan camının hidrasyon ile birlikte su içerikleri %5'lere ulaşırken, camı yapının varlığı mikro kırık ve çatlaklar ile perlitleşmeyi de beraberinde getirmektedir (Ross ve Smith, 1955; Friedman vd., 1966; Lofgren, 1971; Friedman ve Long, 1984; Meier vd., 2023). Perlitleşme sürecinde önemli olan bu çatlaklar, başlıca camın maruz kaldığı termal gerilim ve hidrasyona bağlı olarak gelişmektedir (Davis ve McPhie, 1996). Perlitleşme ilerledikçe alkali fakirleşmesi de meydana gelmektedir (Lexa vd., 2021). Dokusal anlamda perlitleşme, kesişen kırıklar arasında konkoidal çatlakların oluşması ile meydana gelen inci taneleri şeklindeki malzeme olarak tanımlanmaktadır. Ticari anlamda ise perlit, 900-1200 °C'lerde ani ısıtıldığında hacmini 5-20 kat arttırarak genişleyen hidrasyona uğramış volkan camı olarak ifade edilmektedir. Riyolitik bileşime sahip su içeren volkan camı, yumuşama noktasının üzerindeki sıcaklıklarda hızlı ısıtmaya maruz kaldığında bünyede bulunan su ve uçucuların da katkısıyla genişlemeye başlamaktadır (Friedman vd., 1963; Angelopoulos vd., 2022). Perlitleşme ve yerleşim sonrası hidrasyonun yanı sıra, Hudak vd. (2021), Redoubt volkanının 2009 yılındaki patlaması sırasında Drift buzulunun etkisi ile freatomagmatik patlamayla eş zamanlı olarak, patlama kolonu ve bulutu içinde volkan camında hidrasyon meydana geldiğini izotop çalışmaları ile ortaya koymuşlardır. Diğer bir ifade ile perlitik

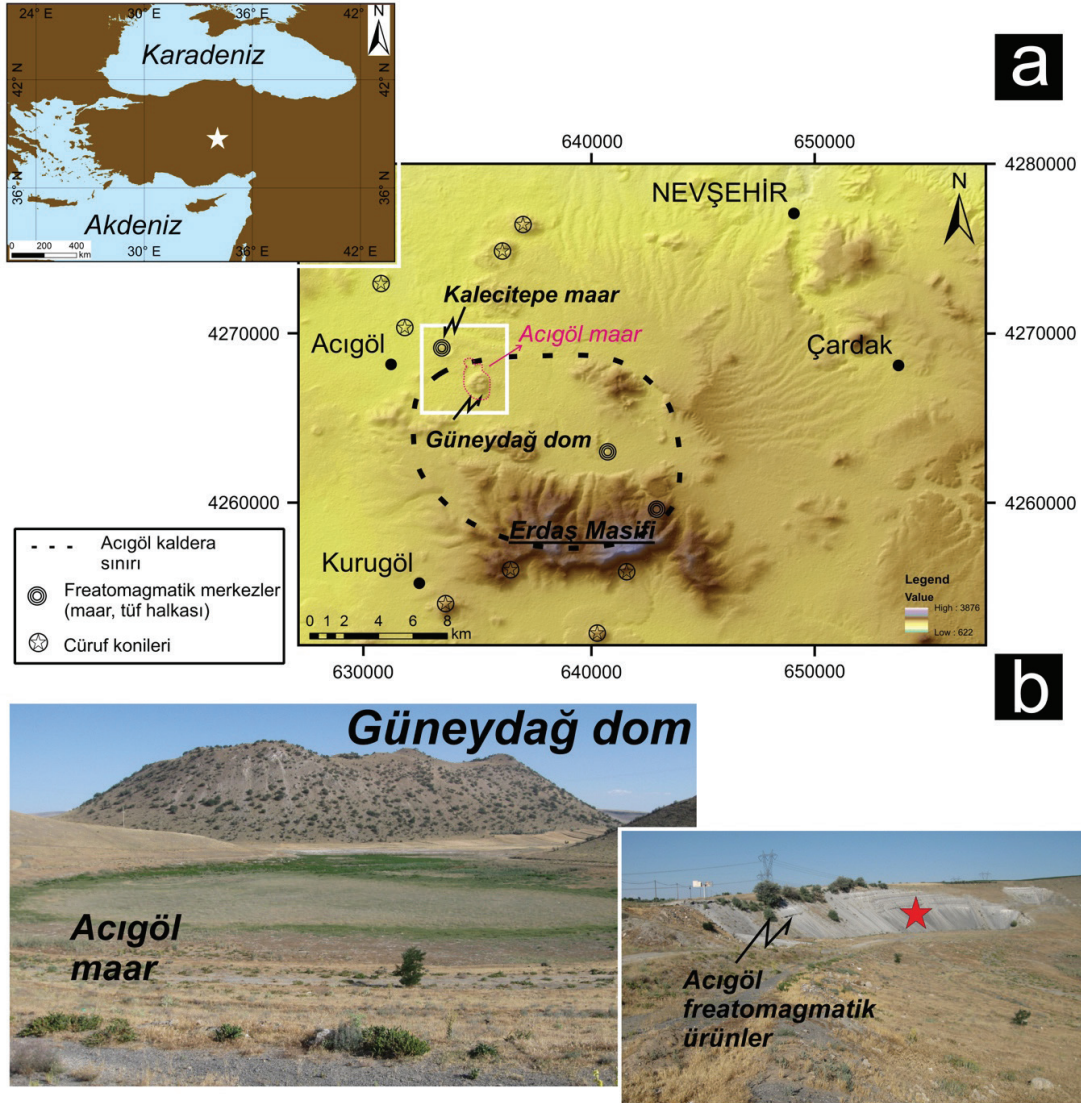
doku gelişmeden de hızlı bir süreç sonucunda hidrasyonun gelişebileceğini öne sürmüşlerdir.

Obsidiyen, riyolitik bileşimde eriyiklerin hızlı soğuması sonucunda oluşan, camı yapıya sahip, renkleri karakteristik siyahımsı yeşilden koyu siyaha kadar değişen volkanik ürün olarak tanımlanmaktadır (Lacy, 1959; Denton vd., 2009; Angelopoulos vd., 2022). Riyolitte su, moleküler formda (H_2O) bulunabildiği gibi farklı bağ türleri yoluyla silikatlara bağlanan hidroksil (OH) grupları şeklinde de gözlenebilmektedir (Silver vd., 1990; Pandya vd., 1992; Kaufhold vd., 2014). Volkanik patlamaların tarzı, magmanın yüzeye çıkışı sırasında bünyesinde bulunan uçucuların salınması ile kontrol edilmektedir (Ross ve Smith, 1955; Sparks, 2003; Eichelberger, 1995; Gardner, 2007; Gonnermann ve Manga, 2007). Bu patlamalarda üretilen uçucuların asıl kaynağı ise su içeriği olarak tanımlanmaktadır. Bu durum aynı zamanda ortaç ve felsik magmanın reolojisini etkileyen en önemli parametrelerden biri olarak öngörülmektedir. Magma ve su etkileşiminden kaynaklanan freatomagmatik patlamalar, en yaygın patlama türlerini temsil etmektedirler (Gardner vd., 2000; Gonnermann ve Manga, 2007; Giachetti vd., 2015).

Bu çalışmada, Kapadokya Volkanik Provensi içinde yer alan, $20,3 \pm 0,6$ ka (Schmitt vd., 2011) yaşlı ve riyolitik bileşimdeki Nevşehir Acıgöl Maar'ından örneklenen obsidiyenler üzerinde çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 1a). Riyolitik freatomagmatik patlama krateri olan Nevşehir Acıgöl Maar duvarından alınan obsidiyenler, freatomagmatik taban yayılımı ürünleri içerisinde, milimetreden desimetreye kadar değişen boyutlarda gözeneksiz litik parçalar şeklinde bulunmaktadır. Siyah renkli obsidiyenler çoğunlukla açık gri renkli düzensiz bantlaşmalar içermektedirler. Serbest atmosferli fırında genişleme özelliği gösteren bant içeren obsidiyenin hidrasyon ve genişleme özellikleri ve nedenleri bu çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamda, ilksel obsidiyen ile ısıtılma işlem

sonucunda oluşan genleşmiş obsidiyen çeşitli yöntemler ile analiz edilmiştir. Obsidiyen ve genleşmiş malzeme, genleşme öncesi ve sonrası gözeneklerin miktarı ve gelişimini gözlemek amacıyla bilgisayarlı tomografi (CT) cihazı ile üç boyutlu olarak görüntülenmiştir. TG-DTA yöntemi ile çeşitli sıcaklıklarda meydana gelen kütle kaybı

ölçülmüştür. Bununla birlikte, gerçekleştirilen FT-IR analizleri ile su içerikleri ve suyun karakteri belirlenmiştir. Bu çalışmada, gerçekleştirilen analizlerin korelasyonu ile dokusal olarak perlitleşme sunmayan ama genleşme gösteren obsidiyenin kökeni hakkında yaklaşımlarda bulunulmuştur.



Şekil 1. a) Çalışma alanını ve patlama merkezlerini gösteren harita (Acıgöl kaldera sınırı, freatomagmatik merkezler ve cüruf konileri konumları Çubukçu vd., 2024'ten alınmıştır); **b)** Nevşehir Acıgöl Maar ürünleri arazi görünümü (kırmızı yıldız örneklem alanını göstermektedir).

Figure 1. a) The map showing the study area and eruption centers (Acıgöl caldera boundary, phreatomagmatic centers, and scoria cone locations obtained from Çubukçu et al., 2024); **b)** Outcrop of Nevşehir Acıgöl Maar products (red star indicates sampling location).

ÖRNEKLEME ve YÖNTEM

Örnekleme

Acıgöl Maarı'nın iç duvarından farklı seviyelerden obsidiyen örnekleri alınmıştır (Şekil 1b). Bu örneklerden bazılarının çapları 1-2 cm'yi geçmezken, özellikle bantlı olan obsidiyenler 15-20 cm çapa kadar ulaşabilmektedir.

Yöntem

Volkan camı deneysel genleştirme

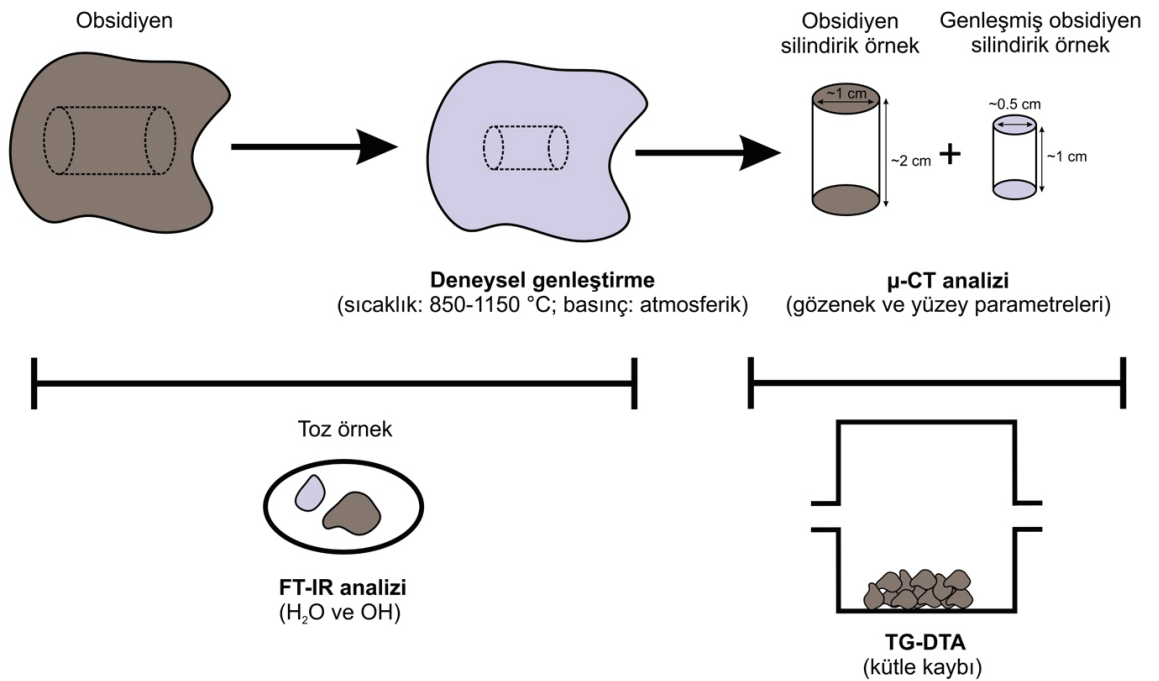
Deneysel genleştirme, bünyede bulunan suyun aniden buharlaştırılması amacıyla bantlı olan obsidiyen parçasının 1150 °C'ye ayarlanan serbest atmosferli fırında ısıtılmasıyla gerçekleştirilmiştir. İlk genleşmeler 850 °C üzerine çıkıldığında başlamış ve deney 950 °C'de sonlandırılmıştır. Numune deney sırasında kütle kaybına uğramış ve gözenekli bir yapı kazanmıştır.

Analitik yöntemler

Deneyisel çalışma basamakları ve kullanılan analitik yöntemler Şekil 2'de özetlenmiştir. Buna göre her analitik çalışmaya göre farklı örnek hazırlama süreçleri gerçekleştirilmiştir.

X-ışını bilgisayarlı mikro-tomografi (μ -CT)

Bu çalışmada Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (HÜNİTEK) kurulu olan Bruker Skyscan 1272 bilgisayarlı mikro-tomografi (μ -CT) cihazı kullanılmıştır. Analiz için orijinal obsidiyen ve genleşmiş obsidiyen numunesinden sırasıyla yaklaşık 2 ile 1 cm yüksekliğinde ve 1 ile 0,5 cm çaplarında silindirik formlarda örnekler hazırlanmıştır. Taramadan elde edilen veri setleri, yeniden yapılandırma modülü kullanılarak üç boyutlu yığınlar oluşturulmuştur. Veri setleri içerisinde örnekleme, eşikleme ve diğer ölçümler cihazın yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın deneysel ve analitik süreçlerini gösteren şematik çizim.

Figure 2. Schematic drawing showing the experimental and analytical processes of the study.

Termogravimetrik ve diferansiyel termal analiz (TG-DTA)

Numune içindeki kütle kaybının ve olası faz dönüşümlerinin ortaya çıkarılması amacıyla yapılan eş zamanlı termogravimetrik diferansiyel termal analiz (TG-DTA), Setaram-Labsys model ısı analizörü kullanılarak 25-1000 °C sıcaklıklar arasında durgun hava atmosferinde gerçekleştirilmiştir.

Fourier dönüşümlü kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi

FT-IR analizleri, Hacettepe Üniversitesi İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (HÜNİTEK) kurulu ATR-FTIR cihazı kullanılarak 4000 ila 400 cm⁻¹ dalga sayısı aralığında gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR

Obsidiyen ve genleştirme sonucu oluşan ürüne ait ana element içerikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Obsidiyen, temel olarak ağırlıkça %75,75 oranında SiO₂ ve %13,38 Al₂O₃'ten oluşmaktadır. Sırasıyla ağırlıkça %4,88 ve %3,84 değerlerinde K₂O ve Na₂O içermekte olup riyolitik bileşimi temsil etmektedir. Genleştirilen malzemenin SiO₂ ve Al₂O₃ içerikleri sırasıyla %73,86 ve %13,09 olarak ölçülmüştür. İlksel obsidiyen örneğinden yapılan ince kesitlerde çoğunlukla kristalin olmayan silisik volkan camı formuna rastlanılmaktadır. Ayrıca, perlitik dokuya, hidrasyon veya termal gerilim çatlaklarına da rastlanılmamaktadır. Riyolitik bileşime sahip volkan camı içerisinde tipik olarak feldispat gibi kristallerin az miktarda varlığı söz konusudur (Şekil 3a ve 3b). Buna karşın, ısı işlem görmüş olan örnekte homojen cam ve yüksek oranlarda camsı bölmelerle ayrılmış gözenek oluşumu dikkat çekmektedir (Şekil 3c ve 3d). Obsidiyenin genleşmesi sonucunda hafif ve oldukça gözenekli bir ürüne dönüştüğü belirlenmiştir. Bu kapsamda,

obsidiyen ve genleşme ürününe ait parçalardan yoğunluk ölçümü yapılmış ve sırasıyla 2,26 g/cm³ ve 0,97 g/cm³ değerleri elde edilmiştir. Genleşme homojen olmayıp, bazı örneklerde 0,08 g/cm³ gibi oldukça düşük yoğunluk değeri de hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Obsidiyen ve genleşmiş obsidiyen ana element bileşimleri.

Table 1. Major element compositions of obsidian and expanded obsidian.

Ana element	Obsidiyen	Genleşmiş Obsidiyen
SiO ₂	75,75	75,86
Al ₂ O ₃	13,38	13,09
Na ₂ O	3,84	2,88
K ₂ O	4,88	5,59
CaO	0,53	0,66
Fe ₂ O ₃	0,97	1,18
P ₂ O ₅	0,33	0,43
Toplam	99,67	99,68

Termal Karakterizasyon

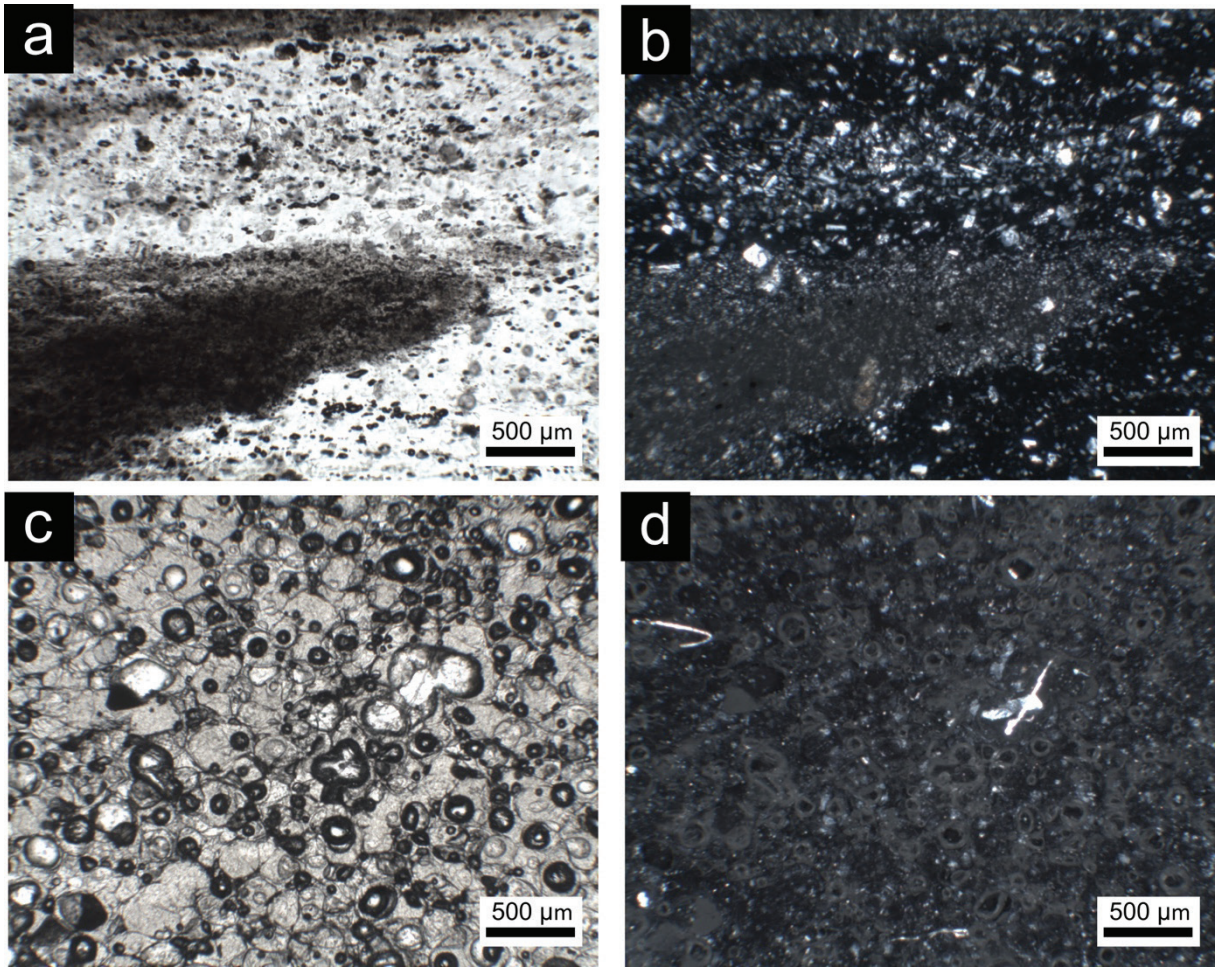
Obsidiyen numunesine ait TG-DTA eğrileri Şekil 4'te gösterilmiştir. TG eğrisinden görüldüğü üzere numune içindeki su kaybıyla ilişkili kütle azalması yaklaşık olarak 850 °C sıcaklığa kadar sürekli olarak devam etmekte olup 25 ile 850 °C aralığındaki kütle kaybı değeri yaklaşık %0,99'dur. DTA eğrisinde yaklaşık olarak 450-500 °C aralığındaki çok belirgin olmayan endotermik pikin numune içindeki hidroksil suyunun uzaklaşması ile ilişkili olduğu öngörülmektedir.

FT-IR Spektral Karakterizasyon

FT-IR analizi sonuçlarına göre çizilen grafikte 3500 ile 3300 cm⁻¹ arasındaki bantlar, su molekülünün parçası olan hidroksil grupları O-H ile çoğunlukla silika parçalarının yüzeyinde gözlenen silanol (Si-OH) grupları temsil etmektedir (Ellerbrock vd., 2022). Yaklaşık olarak 1630 cm⁻¹'de bulunan

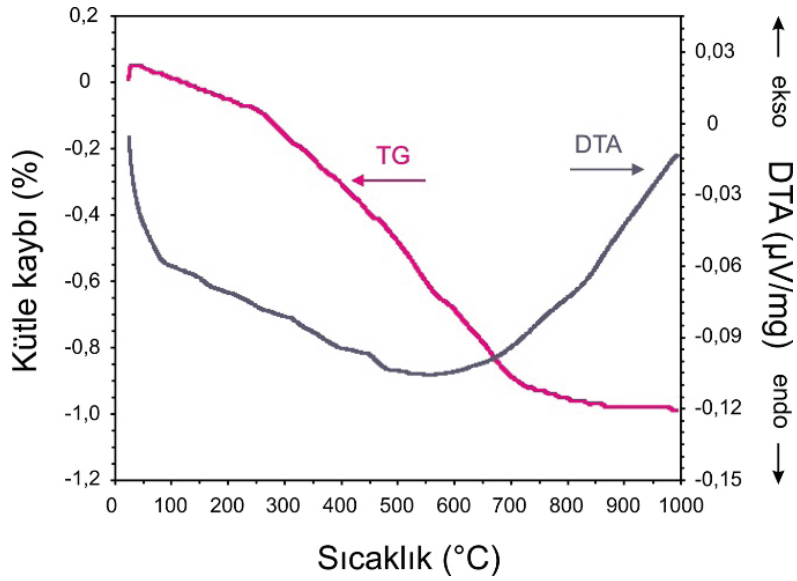
bant, Si-O-Si yapısına adsorbe edilen moleküler koordineli suyun bükülme veya deformasyon moduna atfedilmektedir (McIntosh vd., 2014; Lenhardt vd., 2021). 1050 ila 1100 cm^{-1} 'deki bantlar Si-O-Si için önemli spektral bölgeleri ifade etmektedir. Malzemenin iç düzeninin düşük olduğu durumlarda bandın tepe noktasında genişleme olabilmektedir (Lenhardt vd., 2021; Ellerbrock vd., 2022). Dalga sayısı 980 cm^{-1}

olarak gelişen bantlar, Si-OH bağlarının asimetrik titreşimine atfedilen Si-O-H gruplarının Si-O gerilme titreşimleri için karakteristiktir. Bu gruplara ait piklerin artışı polimerize silikanın yüzeyinde bulunan OH gruplarının artışı ile ilişkilendirilmektedir. 798 cm^{-1} ve 467 cm^{-1} 'deki simetrik pikler Si-O-Si için düzlem dışı deformasyonlarını ifade etmektedir (Ellerbrock vd., 2022).



Şekil 3. a, b) Obsidiyen ve (c, d) genişmiş obsidiyen ince kesit mikroskop görüntüleri (a, c: tek nikol; b, d: çift nikol).

Figure 3. Microscope images of thin sections for (a, b) obsidian and (c, d) expanded obsidian (a, c: plane-polarized light; b, d: cross-polarized light).



Şekil 4. Çalışma alanından örneklenen obsidiyenin termogravimetrik ve diferansiyel termal analizi (TG-DTA).

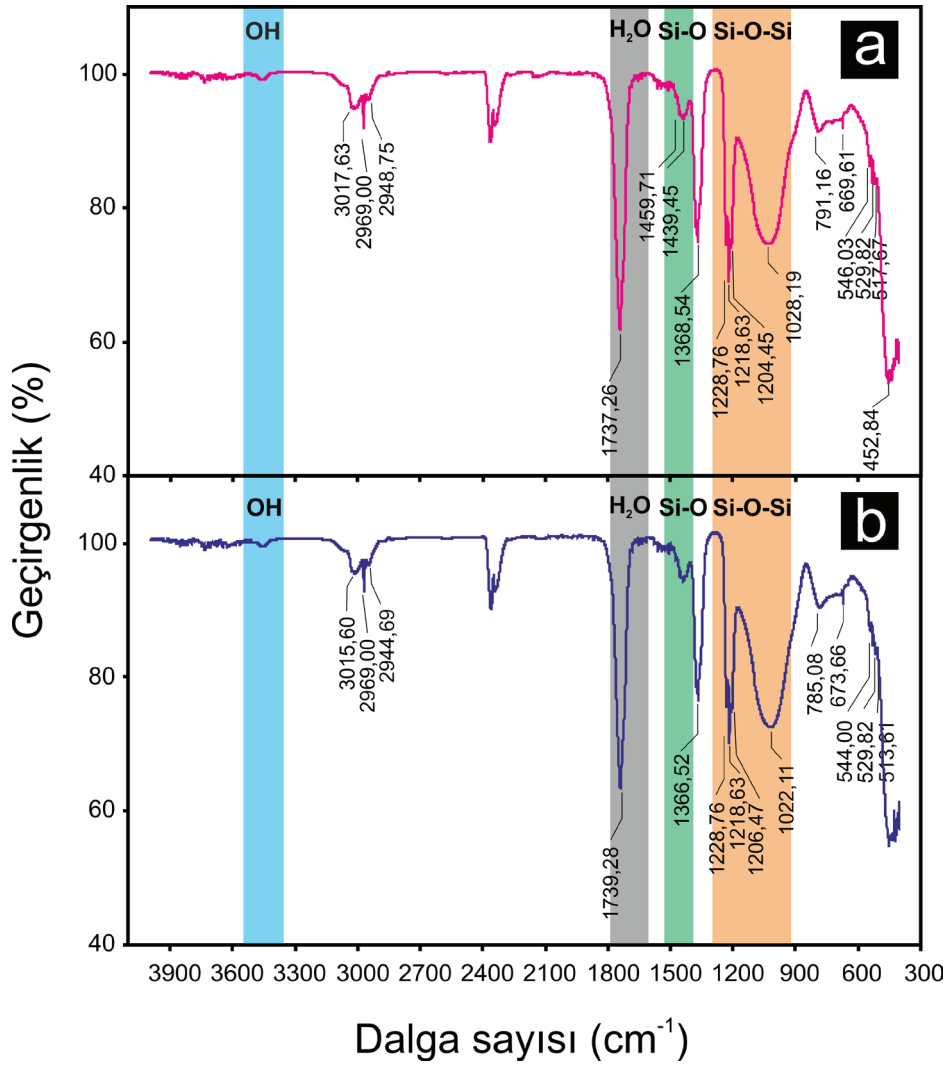
Figure 4. Thermogravimetric and differential thermal analysis (TG-DTA) of obsidian sampled from study area.

Obsidiyen ve genleşmiş obsidiyen örneklerinde Si-O-Si'nin karakteristik pikleri 1228, 1218, 1204, 1022 ve 1028 cm^{-1} 'de gözlenmektedir (Şekil 5a ve 5b). Si-O-Si'ye adsorbe olan moleküler suya ait değerler analiz edilen iki örnek için 1737 ve 1738 cm^{-1} 'de gözlenmiştir. 791, 699, 546, 529 ve 517 cm^{-1} pikleri örnek içerisindeki Si-O bağlarına ait bantları ifade etmektedir (Şekil 5a). Yaklaşık olarak 452 ve 440 cm^{-1} 'de gözlemlenen pik, Si-O-Fe bağının titreşimine karşılık gelmektedir. Bununla birlikte, genleşmiş obsidiyen örneği FT-IR sonuçlarında 785, 673, 544, 529 ve 513 cm^{-1} 'deki bantlar silikat ağının Si-O bağlarının halka titreşimleriyle ilgili olarak gelişmektedir (Şekil 5b).

Bilgisayarlı Tomografi Gözenek Karakterizasyon

Bu çalışma kapsamında silindirik şekillerde hazırlanmış ilksel obsidiyen ile genleşmiş obsidiyen örnekleri bilgisayarlı tomografi cihazı ile üç boyutlu olarak analiz edilmiştir (Çizelge 2).

Analiz için özellikle orijinal obsidiyen örneklerinde hidrasyon bantlanması gösteren bölgeleri içeren kısımların olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 6a ve 6b). Buna göre, orijinal obsidiyenlerde hidrasyon sonucunda gelişen hidrasyon gözeneklerinin, voksellerin bölümlenmiş hacminden hesaplanan oranları sırasıyla, %3,87 ve %0,44 olarak belirlenmiştir. Isıl işlem sonucu oluşan obsidiyen örneklerinde gerçekleştirilen üç boyutlu gözenek analizleri sonucunda, seçilen hacim içerisinde hesaplanan değerler ise sırasıyla %67,06 ile %67,62 olarak belirlenmiştir. Gözenekler arası ara katmanların kalınlıkları düzensiz olup yer yer obsidiyenin genleşmeye uğramamış kısımlarına da rastlanmaktadır (Şekil 6c ve 6d). Gözenekler küresel olarak gelişmiş olup her iki birime ait gözeneklerin büyük çoğunluğunun açık gözenek olarak geliştiği belirlenmiştir. İnce çeperlere sahip geniş gözenekler ile nispeten daha kalın ve camın içerisinde dağılım gösteren küçük gözenekler olmak üzere iki tip gözenek oluşumu gözlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 5. a) Acıgöl freatomagmatik ürünlerinden örneklenen obsidiyen ve **(b)** genleşmiş obsidiyen FT-IR spektrumları.
Figure 5. FT-IR spectra of **(a)** obsidian sampled from Acıgöl phreatomagmatic products and **(b)** expanded obsidian.

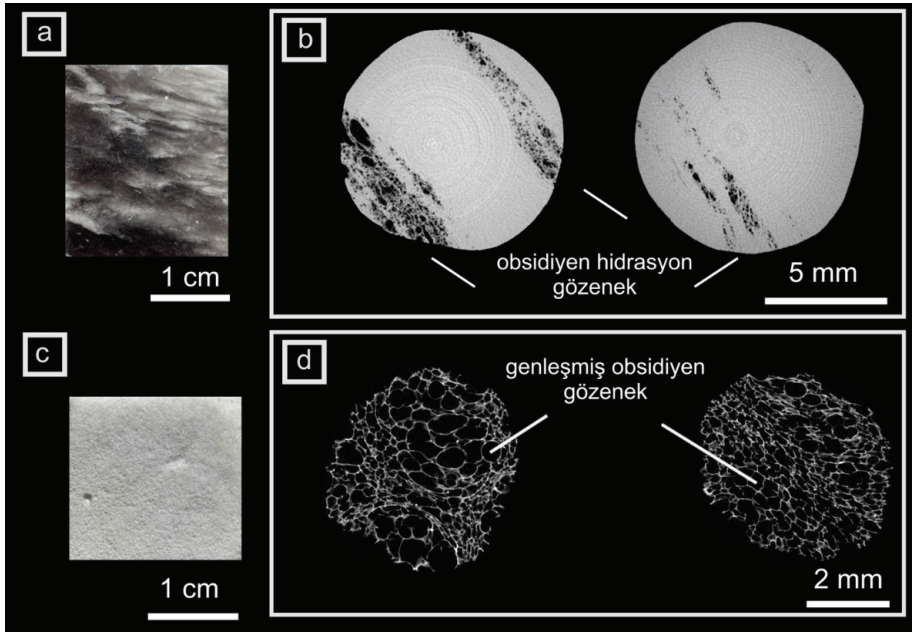
Çizelge 2. Obsidiyen ve genleşmiş obsidiyen üç boyutlu gözenek analiz sonuçları.

Table 2. Three-dimensional vesicle analysis results of obsidian and expanded obsidian.

		Obsidiyen		Genleşmiş Obsidiyen	
Toplam hacim¹	mm ³	377,92	290,37	94,1	155
Gözenek	%	3,78	0,44	67,06	67,62
Açık gözenek	%	3,22	0,19	67,03	67,61
Kapalı gözenek	%	0,58	0,25	0,086	0,02
Toplam gözenek hacmi²	mm ³	15,89	1,27	63,2	105

¹toplam hacim, üç boyutlu gözenek analizi için seçilen hacmi temsil etmektedir.

²toplam gözenek hacmi, seçilen hacim içerinden hesaplanan gözenek hacmini temsil etmektedir.



Şekil 6. a, b) Obsidiyen ve (c, d) genleşmiş obsidiyen fotoğraf görüntüleri ve orijinal yeniden yapılandırılmış iki boyutlu tomografi kesitleri.

Figure 6. Photo images and original reconstructed two-dimensional tomography slices of (a, b) obsidian and (c, d) expanded obsidian.

TARTIŞMA ve YORUM

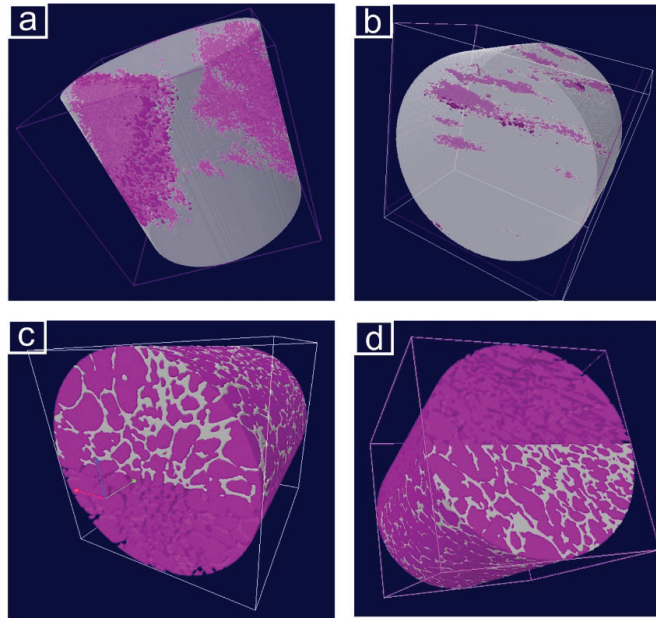
Volkanizma sırasında salınan volkanik gazlar, patlamanın tarzını ve yoğunluğunu büyük oranda etkilemektedir. Volkanik patlama sonucu oluşan ürünlerde su ve uçucu içeriklerinin belirlenmesi, patlama sırasında gerçekleşen süreçlerin yorumlanmasına olanak sağlamaktadır (Giachetti ve Gonnerman, 2013; Giachetti vd., 2015). Bununla birlikte, tek bir analitik yöntem ile magmatik ve ikincil su ayrımı yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple, farklı analitik yöntemlerin korelasyonu özellikle bu tarz çalışmalarda oldukça önemli bir yere sahiptir.

Analitik Yöntemler ile Cam Hidrasyon Davranışının Değerlendirilmesi

Volkan camında bulunan su içeriğinin belirlenmesine yönelik kullanılan analitik yöntemlerin hassasiyeti göz önünde

bulundurulduğunda, düşük oranlarda H_2O içeren örneklerde FT-IR yöntemi çok iyi sonuçlar sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, yöntem özellikle örnekte bulunan suyun OH ve H_2O formlarının belirlenmesinde önemli rol oynamıştır. Bununla birlikte, laboratuvar ortamında deneysel genleştirme ile bünyede bulunan suyun buharlaştırılması sürecinde, riyoitik bileşimdeki volkan camında gerçekleşen kütle kaybını belirlemek için termogravimetrik analiz yöntemi tercih edilmiştir. Örneklerin dokusal özelliklerini ve bileşenlerini tanımlamak amacıyla da bilgisayarlı tomografi ile üç boyutlu görüntüler elde edilmiştir.

Obsidiyene ait termogravimetrik analizde kütle kaybının $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa kadar sürekli olarak devam ettiği belirlenmiştir. Bu durum özellikle camsı fazda ve minerallerde bulunan mevcut su kaybına karşılık gelmektedir.



Şekil 7. a, b) Obsidiyen ve **(c, d)** genişlemiş obsidiyen üç boyutlu bilgisayarlı tomografi görüntü modelleri (gri bölgeler volkan camını, pembe bölgeler gözenekleri ifade etmektedir).

Figure 7. Three-dimensional computed tomography image models of **(a, b)** obsidian and **(c, d)** expanded obsidian (the gray area shows volcanic glass, while the pink area indicates vesicles).

Bu çalışmadaki örnekte su, özellikle silanol ve moleküler H_2O formlarında bulunmakta olup TG-DTA sonucunda belirlenen kütle kaybı, FT-IR spektral bölgelerinde gözlenen ve su bileşenlerine ait olan bantlar ile tutarlılık göstermektedir. Son çalışmalar, ağırlıklı olarak veya tamamen moleküler sudan oluşan volkan camındaki ikincil suyun, termogravimetrik analiz sırasında $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda, magmatik suyun ise $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde uzaklaştığını ileri sürmektedir (Giachetti vd., 2015). Aynı zamanda, $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki kütle kaybının ise genellikle adsorbe edilen suyun kaybına işaret ettiği ifade edilmektedir (Denton vd., 2012; Giachetti vd., 2015). FT-IR analizleriyle moleküler (H_2O) ve hidroksil (OH) formlarının cam içerisinde homojen bir şekilde dağılım gösteren çözünmüş içeriklerinin varlığı belirlenmiştir. FT-IR ile tespit edilen su içeriğinin büyük oranda cam taneciklerinin yüzeyindeki buharın atmosferik su adsorpsiyonunun bir sonucu olduğu ve ayrıca adsorbe edilen suyun ise

çoğunlukla termogravimetrik analiz sırasında $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye gelmeden uzaklaşmaya başladığı sonucuna varılmıştır.

Önceki çalışmalarda, magmatik suyun ağırlıklı olarak çözünmüş OH, çevresel suyun ise çoğunlukla moleküler H_2O formlarda geliştiği ifade edilmektedir (Stolper, 1982; Silver vd., 1990; Pandya vd., 1992; Giachetti vd., 2015; Seligman vd., 2016). Bununla birlikte, herhangi bir ısıtma sürecinde çevresel suyun (H_2O) daha düşük sıcaklıklarda, daha güçlü bağlar ile bağlanan magmatik suyun (OH) ise daha yüksek sıcaklıklarda salındığı ortaya konmuştur (Zhang, 1999; Zhang ve Behrens, 2000; Giachetti vd., 2015; Seligman vd., 2016). TG tekniği ile volkan camında ikincil su içeriğinin modelini oluşturmak amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda, ağırlıkça %0-4 H_2O içeren ortalık ile felsik arasında değişen kimyalara sahip volkan camının yüzey sıcaklıklarında ikincil hidrasyon difüzyonunun

yaklaşık olarak $10^{-23} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir (Giachetti vd., 2015; Seligman vd., 2016). Oluşum ortamını temsil eden sıcaklık ve basınç koşullarında felsik ve mafik camda bulunan suyun başlangıç difüzyon katsayısı güncel çalışmalarda 10^{-3} ila $10^{-4} \mu\text{m}^2/\text{yıl}$ olarak sunulmuştur (Seligman vd., 2016). Ayrıca, Friedman vd. (1966) ve Zhang ve Behrens (2000) ikincil hidrasyon oranlarını 400°C ve üzeri sıcaklıklarda $1\text{-}10 \mu\text{m}/1000 \text{ yıl}$ olarak hesaplamışlardır.

Obsidiyenin ve genleşme ürününün dokusal olarak incelenmesi, örnekler için mikro yapının üç boyutlu olarak görüntülenmesi ve gözenek içeriklerinin saptanması ayırt edici özelliklerin belirlenmesinde önemli veriler sağlamıştır. Bu kapsamda perlitleşme, perlitik çatlaklar sunmayan, ilksel obsidiyen örneğinin ısı işleme tabi tutulması sonucu, su ve uçucuların giderilmesi ile birlikte genleşerek gözenekli bir yapı kazandığı ortaya konmuştur (Şekil 7c ve 7d). Aynı zamanda, ilksel volkan camında gelişen magmatik ve/veya ikincil hidrasyonun görüntülenmesi ile birlikte diğer analitik yöntemler ile elde edilen verilerin korelasyonu sağlanmıştır (Şekil 7a ve 7b).

Magmatik Gaz Salınım Süreci: Obsidiyen Hidrasyonu ve Genleşme Özellikleri

Bu çalışmada, su içeren riyolitik camın deneysel ısı işlem süreçleri sonucunda yüksek oranlarda genleşmeye uğradığı ortaya konmuştur. Riyolitik bileşime sahip obsidiyenin yaklaşık olarak 850 ila 950°C 'deki sıcaklıklarda genleşme sürecini tamamladığı ve bunun sonucunda gözenekli bir yapı kazandığı belirlenmiştir. Isıl işlem altında gazlar gözeneklerde daha fazla büyümeye neden olarak bünyenin genleşmesine katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, su içeriğinin belirli bir oranın altında olduğu koşullarda, genleşme işlemi sırasında uçucu ve su içeriği bünyeyi daha yavaş terk edeceğinden, parçalanma şiddeti azalmaktadır (Angelopoulos vd., 2020; 2022). Volkanik patlamalarda hidrotermal olarak

sisteme giren su ve gazlar patlamanın şiddetli olarak gelişmesine neden olmakla beraber bu tarz volkanizma sonucu oluşan ürünler, özellikle hızla soğuyan volkan camları, çözünmüş magmatik suyu kaydedebileceği gibi ortamdan gelen ilave suyu da bünyesine alabilmektedir (Hudak vd., 2022). Bu kapsamda, Hudak vd. (2021)'de gerçekleştirdikleri hidrojen izotop çalışmaları ile volkanizma ürünlerinde bulunan magmatik suyun çoğunun kaybolduğunu ve bir miktar çevresel suyun kazanıldığını öne sürmüşlerdir. Camın volkanizma ile eş zamanlı olarak hidrasyona uğraması için ise olduğu ortamda yüksek sıcaklıklarda suyla karşılaşması gerektiğini önermektedirler (Hudak vd., 2021; 2022).

Obsidiyen genleşme sürecinde gelişen gözeneklerin dayanımı eriyik malzemenin viskozitesi tarafından belirlenmektedir. Yüksek viskozite, basınca dayanıklı camsı duvarların oluşumuna neden olmaktadır. Obsidiyen genleşmesi, eriyikte sıvı fazın gelişimi ile meydana gelmektedir. Viskozitenin ani düşmesi gaz faza ait basıncın artmasına neden olmakta ve eriyik viskozitesini yenen bir basınç meydana getirerek yüzey gerilimini yenmektedir. Burada genleşmenin miktarı, gaz fazın oranına bağlı olarak değişmektedir (Friedman vd., 1963; Gardner vd., 2000).

SONUÇ

Bu çalışma, obsidiyenin, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ısı işlemle bünyesinde bulunan uçucu ve su türlerini kaybedeceğini ve buna bağlı olarak yoğunluğunun azalacağını, petrografik olarak perlitleşme olmasa da genleşmenin meydana gelebileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile volkanik patlamalar sırasında uçucuların ve suların salınmasının olası önemini vurgulamak ve süreci ölçmek için kullanılabilecek yöntemlerin uygulanabilirliğini tartışarak daha fazla araştırmayı

motive etmek amaçlanmıştır. Buna göre, volkanik patlamalar ile oluşan ürünlerin su içeriklerinin, bu çalışmada uygulanan analitik yöntemlerin yanı sıra izotop analizleri gibi kapsamlı analitik yöntemler ile daha güvenilir bir şekilde analiz edilebileceği sonucuna varılmıştır.

EXTENDED SUMMARY

The style of volcanic eruptions is mostly controlled by the volatile content in the magma during the ascent to the surface (Ross and Smith, 1955; Sparks, 2003; Eichelberger, 1995; Gardner, 2007; Gonnermann and Manga, 2007). The source of volatiles produced by explosive eruptions has been identified as water content. This is also accepted to be one of the most important parameters affecting the rheology of intermediate and felsic magmas (Gardner et al., 2000; Gonnermann and Manga, 2007; Giachetti et al., 2015). Obsidian is a volcanic product formed by the rapid cooling of rhyolitic magma, characterized by a glassy texture and a color spectrum typically ranging from dark greenish-black to deep black (Lacy, 1959; Denton et al., 2009; Angelopoulos et al., 2022). Water in rhyolite can be found in both molecular (H₂O) and hydroxyl (OH) forms (Silver et al., 1990; Pandya et al., 1992; Kaufhold et al., 2014). Volcanic glass can form simultaneously with primary magmatic water which changes during or after the gas release process that occurs as a result of volcanism (Seligman et al., 2016; Giachetti et al., 2020).

In this study, various analytical methods were applied to obsidian samples collected from the rhyolitic Acıgöl Maar, located within the Cappadocian Volcanic Province and dated to 20.3 ± 0.6 ka (Schmitt et al., 2011). The samples were obtained from the crater wall of the Nevşehir Acıgöl Maar, a phreatomagmatic structure characterized by its rhyolitic composition. The obsidian typically occurs as non-vesicular lithic fragments, ranging in size from a few millimeters

to several decimeters. The primary objective of this study is to investigate the hydration behavior and expansion characteristics of the obsidian. To investigate vesicle formation resulting from hydration and heat-induced expansion mechanisms in obsidian, the samples were analyzed using three-dimensional computed tomography (CT). Mass loss at varying temperatures was assessed through thermogravimetric and differential thermal analysis (TG-DTA), while the structure and speciation of water within the glass were characterized using Fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy.

This study demonstrated that expanded obsidian with high rates of expansion might be experimentally created by heat treatment procedures from obsidian containing a certain amount of water. It was determined that obsidian with a rhyolitic composition undergoes significant expansion at temperatures between approximately 850 and 950 °C, accompanied by increased vesiculation. This expansion is driven by heat-induced degassing, where the release of volatiles promotes vesicle growth, thereby contributing to the overall volume increase of the material. However, when the initial water content falls below a certain threshold, the release of volatiles occurs at a slower rate, which in turn mitigates the risk of abrupt fragmentation or explosive disintegration during heating (Angelopoulos et al., 2020; 2022). In the context of this study, density measurements obtained from both the raw obsidian and the heat-treated product further confirm that vesicle formation during thermal treatment is associated with the loss of volatiles and water species within the glass matrix.

FT-IR analysis revealed that the dissolved water was homogeneously distributed within the glass. This water content was interpreted as resulting primarily from ambient adsorption onto the surface of the glass particles. Thermogravimetric

analysis indicated that most of the adsorbed water began to disappear at temperatures below 500 °C, supporting the interpretation that the detected water was weakly bound and surface-associated. TGA of the volcanic glass indicated that mass loss began at approximately 25 °C and was largely completed by 850 °C. Previous studies showed that at low H₂O concentrations, magmatic water in volcanic glass predominantly exists in the form of dissolved hydroxyl groups (OH), whereas environmental water is present primarily as molecular H₂O (Stolper, 1982; Silver et al., 1990; Pandya et al., 1992; Giachetti et al., 2015; Seligman et al., 2016). In obsidian, water is typically found as both silanol (Si-OH) and molecular H₂O species. Recent research further suggests that secondary water, which is composed mainly or entirely of molecular H₂O, is released during TGA at temperatures below 550 °C, while magmatic water is released at temperatures above 550 °C (Giachetti et al., 2015). Additionally, mass loss observed below 250 °C is generally attributed to the loss of loosely adsorbed surface water (Denton et al., 2012; Giachetti et al., 2015).

The textural data obtained through the computed tomography analysis allowed three-dimensional imaging of the microstructure of the samples and vesicle distribution. The thermally expanded product of the obsidian sample was found to exhibit a porous structure, attributed to the release of volatiles and water during heating. Concurrently, the development of magmatic and/or secondary hydration within the primary volcanic glass was successfully visualized and correlated with results obtained from other analytical techniques. This study demonstrates that laboratory-based heat treatment induces the loss of structurally bound water and volatile components in obsidian, resulting in decreased density and subsequent physical expansion. It was also concluded that such expansion can occur even in the absence of petrographically observable

perlitic texture, indicating that perlitisation is not a prerequisite for vesiculation or thermal response in rhyolitic glass.

In conclusion, this study aims to highlight the possible importance of the release of volatiles and water during volcanic eruptions and to motivate further research by discussing the feasibility of methods that can be used to measure the process. Accordingly, it was concluded that the water content of volcanic eruption products can be more reliably characterized through the use of comprehensive analytical approaches, such as isotopic analysis, in conjunction with the methods employed in this study.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, TG-DTA ölçümleri için Abdullah Obut'a (Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü), bilgisayarlı tomografi ve FT-IR ölçümleri için H. Evren Çubukçu'ya (Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü) teşekkür etmektedir. Yazarlar, ayrıca, bu çalışmanın ilk versiyonu üzerinde yapıcı eleştiri ve katkıları bulunan hakemlere de teşekkür etmektedir. Bu çalışmanın bir kısmı Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 0701602009).

ORCID

Lütfiye Akın  <https://orcid.org/0000-0003-2965-3745>

Erkan Aydar  <https://orcid.org/0000-0002-6550-0714>

KAYNAKLAR / REFERENCES

Angelopoulos, P. M., Manic, N., Jankovic, B. & Taxiarchou, M. (2022). Thermal decomposition of volcanic glass (rhyolite): Kinetic deconvolution of dehydration and dehydroxylation process.

- Thermochimica Acta*, 707, Article 179082. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2021.179082>
- Angelopoulos, P. M., Manić, N., Tsakiridis, P., Taxiarchou, M. & Janković, B. (2020). Dehydration of rhyolite: activation energy, water speciation and morphological investigation. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 142, 395–407. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10105-2>
- Çubukçu, H. E. Aydar, E., Akin, L. & Şen, E. (2024). Temporal constraints on magmatic evolution of Acıgöl Bimodal Volcanic Field (Nevşehir, Türkiye). *Geochemistry*, 84(4), Article 126129. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2024.126129>
- Davis, B. K. & McPhie, J. (1996). Spherulites, quench fractures and relict perlite in a Late Devonian rhyolite dyke, Queensland, Australia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 71, 1–11. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(95\)00063-1](https://doi.org/10.1016/0377-0273(95)00063-1)
- Denton, J. S., Tuffen, H., Gilbert, J. S. & Odling, N. (2009). The hydration and alteration of perlite and rhyolite. *Journal of the Geological Society*, 166(5), 895–904. <https://doi.org/10.1144/0016-76492008-007>
- Denton, J. S., Tuffen, H. & Gilbert, J. S. (2012). Variations in hydration within perlitised rhyolitic lavas—evidence from Torfajökull, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 223, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.02.005>
- Eichelberger, J. (1995). Silicic volcanism: ascent of viscous magmas from crustal reservoirs. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 41–64.
- Ellerbrock, R., Stein, M. & Schaller, J. (2022). Comparing amorphous silica, short-range-ordered silicates and silicic acid species by FTIR. *Scientific Reports*, 12, Article 11708. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15882-4>
- Friedman, I., Smith, R. L. & Long, W. D. (1966). Hydration of natural glass and formation of perlite. *Geological Society of America Bulletin*, 77(3), 323–328. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1966\)77\[323:HONGAF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1966)77[323:HONGAF]2.0.CO;2)
- Friedman, I., Long, W. & Smith, R. L. (1963). Viscosity and water content of rhyolite glass. *Journal of Geophysical Research*, 68(24), 6523–6535. <https://doi.org/10.1029/JZ068i024p06523>
- Friedman, I. & Long, W. (1984). Volcanic glasses, their origins and alteration processes. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 67(1–3), 127–133. [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(84\)90144-3](https://doi.org/10.1016/0022-3093(84)90144-3)
- Gardner, J. E. (2007). Heterogeneous bubble nucleation in highly viscous silicate melts during instantaneous decompression from high pressure. *Chemical Geology*, 236(1–2), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.08.006>
- Gardner, J.E., Hilton, M. & Carroll, M.R. (2000). Bubble growth in highly viscous silicate melts during continuous decompression from high pressure. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(8), 1473–1483. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00436-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00436-6)
- Giachetti, T. & Gonnermann, H.M. (2013). Water in volcanic pyroclast: Rehydration or incomplete degassing? *Earth and Planetary Science Letters*, 369–370, 317–332. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.03.041>
- Giachetti, T., Gonnermann, H. M., Gardner, J. E., Shea, T. & Gouldstone, A. (2015). Discriminating secondary from magmatic water in rhyolitic matrix-glass of volcanic pyroclasts using thermogravimetric analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 148, 457–476. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2014.10.017>
- Giachetti, T., Hudak, M. R., Shea, T., Bindeman, I. N. & Hoxsie, E. C. (2020). D/H ratios and H₂O contents record degassing and rehydration history of rhyolitic magma and pyroclasts. *Earth and Planetary Science Letters*, 530, Article 115909. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.115909>

- Gonnermann, H. M. & Manga, M. (2007). The fluid mechanics inside a volcano. *Annual Reviews of Fluid Mechanics*, 39(1), 321–356. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.39.050905.110207>
- Hudak, M. R., Bindeman, I. N., Loewen, M. W. & Giachetti, T. (2021). Syn-eruptive hydration of volcanic ash records pyroclast-water interaction in explosive eruptions. *Geophysical Research Letters*, 48, Article e2021GL094141. <https://doi.org/10.1029/2021GL094141>
- Hudak, M. R., Bindeman, I. N., Watkins, J. M. & Lowenstern, J. B. (2022). Hydrogen isotope behavior during rhyolite glass hydration under hydrothermal conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 337, 33–48. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2022.09.032>
- Kaufhold, S., Reese, A., Schwiebacher, W., Dohrmann, R., Grathoff, G. H., Warr, L. N., Halisch, M., Müller, C., Schwarz-Schampera, U. & Ufer, K. (2014). Porosity and distribution of water in perlite from the island of Milos, Greece. *SpringerPlus*, 3, 598. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-598>
- Lacy, E. (1959). Hydrated Glasses. *Nature*, 183, 178–179. <https://doi.org/10.1038/183178b0>
- Lenhardt, K.R., Breitzke, H., Buntkowsky, G., Reimhult, E., Willinger, M. & Rennert, T. (2021). Synthesis of short-range ordered aluminosilicates at ambient conditions. *Scientific Reports*, 11, Article 4207. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83643-w>
- Lexa, J., Varga, P., Uhlik, P., Koděra, P., Biroň, A. & Rajnoha, M. (2021). Perlite deposits of the Central Slovakia Volcanic Field (Western Carpathians): Geology and properties. *Geologica Carpathica*, 72, 253–281. <https://doi.org/10.31577/GeolCarp.72.3.5>
- Lofgren, G. (1971). Experimentally Produced Devitrification Textures in Natural Rhyolitic Glass. *Geological Society of America Bulletin*, 82, 111–124.
- McIntosh, I. M., Llewellyn, E. W., Humphreys, M. C. S., Nichols, A. R. L., Burgisser, A., Schipper, C. I. & Larsen, J. F. (2014). Distribution of dissolved water in magmatic glass records growth and resorption of bubbles. *Earth and Planetary Science Letters*, 401, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.05.037>
- Meier, V., Breitzkreuz, C., Groß, D. & Ohser, J. (2023). Re-evaluation of perlitic textures and fracture behavior in silica-rich volcanic rocks. *Bulletin of Volcanology*, 85, 50. <https://doi.org/10.1007/s00445-023-01659-8>
- Pandya, N., Muenow, D. W. & Sharma, S. K. (1992). The effect of bulk composition on the speciation of water in submarine volcanic glasses. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56(5), 1875–1883. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(92\)90317-C](https://doi.org/10.1016/0016-7037(92)90317-C)
- Ross, C. S. & Smith, R. L. (1955). Water and other volatiles in volcanic glasses. *American Mineralogist*, 40(11–12), 1071–1089.
- Schmitt, A. K., Danišik, M., Evans, N. J., Siebel, W., Kiemele, E., Aydın, F. & Harvey, J. C. (2011). Acigöl rhyolite field, Central Anatolia (part 1): high-resolution dating of eruption episodes and zircon growth rates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162, 1215–1231. <https://doi.org/10.1007/s00410-011-0648-x>
- Seligman, A.N., Bindeman, I.N., Watkins, J.M. & Ross, A.M. (2016). Water in volcanic glass: From volcanic degassing to secondary hydration. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 191, 216–238. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2016.07.010>
- Silver, L. A., Ihinger, P. D. & Stolper, E. (1990). The influence of bulk composition on the speciation of water in silicate glasses. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104, 142–162. <https://doi.org/10.1007/BF00306439>
- Sparks, R. S. J. (2003). Dynamics of magma degassing. *Geological Society, London, Special Publications*, 213, 5–22.
- Stolper, E. (1982). The speciation of water in silicate melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46(12), 2609–2620.

Zhang, Y. (1999). H₂O in rhyolitic glasses and melts: measurement, speciation, solubility, and diffusion. *Reviews of Geophysics*, 37, 493–516.

Zhang, Y. & Behrens, H. (2000). H₂O diffusion in rhyolitic melts and glasses. *Chemical Geology*, 169(1–2), 243–262. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(99\)00231-4](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(99)00231-4)