

VOLKANİK KÖKENLİ GAZLAR VE CANLILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Nihal Çınar DURGUT*

Fotosentezle üretilen oksijen dışındaki bütün atmosferik gazlar yerkürenin içinden kaynaklanır ve volkanik patlamalarla dışarı salınır. Magmanın gaz oranı %1 ile 5 arasındadır, su buharı oranı ise % 70-90 arasında değişmektedir. Geriye kalan gazlar, CO₂, SO₂ ve eser miktarlarda N, H, CO, S, Ar, Cl ve F'dan oluşmaktadır. Bu gazlar hidrojen ve suyla birleştiğinde, fümerolik aktivitenin tipik ürünleri olan HCl, HF, H₂SO₄, H₂S gibi birçok toksik bileşik oluştururlar (Çizelge 1).

Çizelge 1- Volkanik Gazlar (http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Volcanic_gases.html).

ANA GAZLAR
H ₂ O (70-90%), CO ₂ , SO ₂
ESER GAZLAR
N, H, S, F, Ar, CO, Cl
TOKSİK GAZLAR
HCl, HF, H ₂ SO ₄ , H ₂ S

Volkanik gaz, heterojen bir karışımdır ve bu karışımda en bol bulunan gaz su buharıdır (H₂O (g)). Bunu karbondioksit (CO₂) ve kükürt dioksit (SO₂) takip eder. Diğer gazlar; hidrojen sülfür (H₂S), hidrojen klorür (HCl), hidrojen florür (HF), hidrojen (H₂), karbon monoksit (CO) ve helyumdur (He). Canlılar için en zararlıları ise SO₂, CO₂ ve HF gazlarıdır.

Volkanik gazların kökenini anlamak açısından, asal gaz ve duraylı izotop çalışmaları faydalı bilgiler sunarlar. Burada ayrıntıya girmeden önce, duraylı izotop ve asal gaz kavramları ile ilgili kısa bir bilgilendirme faydalı olacaktır. İzotoplar bir elementin proton sayısı aynı, nötron sayısı farklı olan atomlarıdır ve genel olarak iki gruba ayrılmaktadır. "Radyoaktif izotoplar" ve "Duraylı izotoplar". Radyoaktif izotoplar, radyoaktif bozulumlar (α, β, γ gibi) yoluyla başka bir elemente dönüşen izotoplardır. Duraylı izotoplarsa, zaman içinde başka izotoplara dönüşmezler. Doğada bilinen 271 adet duraylı izotoptan sadece birkaçı, jeolojik amaçlı

olarak kullanılabilir. Bunlar atom numarası düşük olan, birden fazla duraylı izotopu olan ve kayaçlar içerisindeki bolluk dereceleri çok daha fazla olan elementlere ait izotoplardır. Bu nedenle jeolojide en çok kullanılan duraylı izotoplar; hidrojen, oksijen, karbon ve kükürttür. Bunlar herhangi bir jeolojik olayın gelişiminde yol gösterici olarak kullanılabilirler. Örneğin, bir maden yatağının oluşması esnasında rol oynayan çözeltilerin ne tür bir kaynaktan geldiği, yani suyun magmatik mi, meteorik mi yoksa deniz suyu mu olduğu, bu tür duraylı izotoplar yardımıyla belirlenebilir. Asal gazlarsa, Helyum (He), Neon (Ne), Argon (Ar), Kripton (Kr), Ksenon (Xe) ve Radon (Rn) elementlerinden oluşan, periyodik cetvelin VIII A grubunu temsil eden elementlerdir. Asal gazlar, inert (eylemsiz) olarak nitelendirilirler ve bu özellikleriyle ısı ve akışkan kaynağının tespit edilmesinde kullanılan en önemli izleyicilerdir (Akçay, 2002; Mutlu, 2011).

Örneğin başta helyum olmak üzere diğer asal gazlar ile su bileşimindeki δ¹⁸O, δ²H, ³H, karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄) bileşimindeki δ¹³C, sülfürlü gazların bileşimindeki δ³⁴S, H₂ bileşimindeki δ²H, N₂ bileşimindeki δ¹⁵N, ⁴⁰Ar/³⁶Ar vb. izotopik değerler, gazların türediği rezervuar kaynağına yönelik önemli ipuçları verirler (Vaselli vd., 2006)

İzotop bileşeni açısından Helyumun başlıca 3 bileşeni vardır. Bunlardan ilki "mantosal (primordial-³He) Helyum"dur. Mantosal helyumun tamamına yakını ilksel kökenlidir, yani yerkürenin oluşumu sırasında içerisinde hapsediği helyum bileşenidir ve magmatizma yoluyla, mantodan dışarı salınmaktadır. Helyum salınımı, büyük oranda okyanus ortası sirtlarda ve okyanusal kabukta, daha küçük oranlarda ise kıtasal kabukta gerçekleşmektedir. İkinci Helyum bileşeni "radyojenik helyum"dur. Uranyum ve Toryum izotoplarının α-bozumuyla oluşur ve ⁴He açısından zengindir. U ve Th kıta kabuğunda yoğunlaştığı için radyojenik-helyum terimi kabuksal-helyum ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. "Trityujenik He" ise trityum izotopunun bozumuyla oluşur.

³He/⁴He (R) veya atmosferdeki helyum bileşimine göre oranlanmış şekli ile (R/R_A) ifade edilen helyum izotop değerleri, manto kaynaklı

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, e-posta: nihalcinardurgut@gmail.com

akışkanlarda yüksek iken (8-30 R_A) kabuksal litolojilerden türemiş akışkanlarda 0.05 RA gibi oldukça düşük değerlerdedir (Mutlu vd., 2011). Çizelge 2'de farklı rezervuarlardaki helyum izotop oranları verilmiştir.

Çizelge 2- Farklı rezervuarlardaki helyum izotop oranları (Mutlu vd., 2011).

İzotop Rezervuarları	Atmosfer	Kabuk	Manto
³ He/ ⁴ He (R)	1,39x10 ⁻⁶	10 ⁻⁸	10 ⁻⁵
$\frac{3\text{He}/4\text{He}(\text{örnek})}{3\text{He}/4\text{He}(\text{atmosfer})}$	1	0,01	8-30

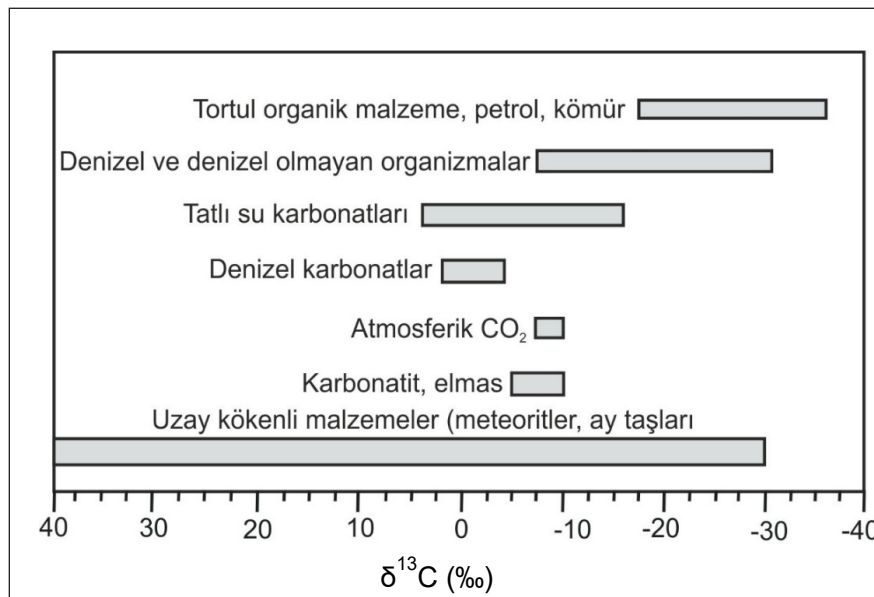
Karbonun doğada, ¹²C ve ¹³C olmak üzere iki adet duraylı izotopu vardır. Yerkürenin farklı rezervuarları kendilerine özgü karbon izotop bileşiklerine sahiptir. Örneğin, $\delta^{13}\text{C}$, sedimanter organik malzeme, petrol ve kömürde, ‰ -40 ile -20, denizel ve denizel olmayan organizmalarda ‰ -30 ile -10, karbonatitler ve elmaslar ‰ -10 ile -5, denizel karbonatlarda ise ‰ -3 ile +2 arasında değerler sergiler (Şekil 1).

Türkiye'de de volkanik bölgelerde su ve gaz örnekleri toplanarak, helyum ve karbon izotop kompozisyonları çalışılmış ve bu gazların kökenlerine yönelik araştırmalar yapılmıştır (Güleç, 1988; Güleç vd., 2002; Nagao vd., 1989; Ercan vd., 1995; Mutlu vd., 2008).

Nagao vd. (1989) ve Ercan vd. (1995), Orta ve Doğu Anadolu'daki volkanik alanlarda yaptıkları çalışmalarda gaz örneklerinin, ³He/⁴He

oranlarının 1,4-10,6x10⁻⁶ arasında olup, helyum konsantrasyonlarının da 0,027 ile 1020 ppm arasında değişen geniş bir değer aralığına sahip olduğunu belirtmişlerdir (Çizelge 3). En yüksek ³He/⁴He oranı olan 1,06x10⁻⁵ ile Doğu Anadolu'daki Nemrut kalderasından elde edilmiştir ve bu oran yitim zonlarında bulunan volkanik gazlardan elde edilen sonuçlarla uyuşmaktadır. Burada helyum mantodan doğrudan gelmiş ya da üst mantonun diapirik yükselmesi sırasında, kıtasal kabuktaki denizel karbonatlarla magmanın kimyasal tepkimeleri sonucu oluşan, CO₂ ve radyojenik helyumun orijinal magmatik gaza karışması ile türemiş olabilir. Karbon izotop değerleri ise, ‰-1,7 ile +4 arasında değişmekte olup, bu bölgedeki CO₂ gazının organik kökenli değil, denizel karbonat ve/veya volkanik kökenli olduğuna işaret etmektedir.

Mutlu vd. (2012), Doğu Anadolu'da Van Gölü çevresindeki jeotermal alanlardan, ³He/⁴He ve $\delta^{13}\text{C}$ izotop kompozisyonlarını, gaz örneklerindeki CO₂/³He oranlarını ve çözülmüş karbon ve kükürtün duraylı izotop kompozisyonlarını çalışmışlardır. Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde, helyum izotop bileşimlerine göre R/R_A değerlerinin 0,85 ile 7,76 arasında değişmekte olduğu, en yüksek değer Nemrut kalderasından elde edildiği belirtilmiştir ve bu sonuçlar Ercan vd. (1995)'in çalışmalarını doğrular niteliktedir. Bu yüksek R/R_A değerleri neredeyse tümüyle manto kökenli gazların varlığını gösterir. $\delta^{13}\text{C}$ değerleri -14,59 ile +1,39 arasında değişim sergilerken, CO₂/³He oranları



Şekil 1- Bazı ortamların karbon izotop bileşimleri (Akçay, 2002).

Çizelge 3- Anadolu'nun $^3\text{He}/^4\text{He}$ ve asal gaz kompozisyonları (Ercan vd., 1995)

Lokasyon	Sic. (°C)	$^3\text{He}/^4\text{He}$ (KE ⁻⁶)	$^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$	C (^4He) (ppm)	^4He	^{20}Ne	F (m) ^{36}Ar	^{84}Kr	^{132}Xe	$^{39}\text{Ar}/^{69}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}/^{69}\text{Ar}$
Doğu Anadolu	1- Nemrut	36	10.59 ± 0.15	6.5	12	0.59	=1	1.7	1.9		
	2- Çaldıran	--	1.38 ± 0.19	0.34	4.6	0.19	=1	1.1	0.96		
	3- Çaldıran	23	5.31 ± 0.18	29	2.3	48	0.83	=1	1.7	1.8	
	4- Çaldıran	21	5.59 ± 0.15	59	2.9	85	0.46	=1	1.6	2.1	
	5- Diyardin	38.5	2.09 ± 0.08	2.8	0.063	3.9	0.44	=1	1.7	2.1	
Orta Anadolu	6- Diyardin	46	1.77 ± 0.15	0.40	1.1	0.91	=1	1.2	1.1		
	7- Avanos	19	1.73 ± 0.12	0.80	0.053	1.0	0.41	=1	1.8	2.2	
	8- Urgup	19	3.10 ± 0.12	18	4.3	19	0.33	=1	1.8	2.1	
	9- Sofular Acıgöl	45	6.48 ± 0.18	8.4	0.72	13	0.49	=1	1.8	2.7	
	10- Zığa	44	2.03 ± 0.05	1.1	0.096	1.9	0.55	=1	1.7	1.7	
	11- Zığa	46	2.05 ± 0.14	1.3	0.050	2.1	0.51	=1	1.7	2.2	
	12- Nasuh Pınarı	19	1.59 ± 0.06	2.3	3.3	27	0.37	=1	2.0	2.3	
	13- Ak Höyük	27	1.66 ± 0.10	1.2	0.027	1.4	0.36	=1	1.8	2.7	
	14- Kemer hisar	28	2.54 ± 0.05	170	10	220	0.40	=1	1.7	1.9	
	15- Ilgaz-Yaylaçık	12	3.91 ± 0.14	3.8	2	7.7	0.64	=1	1.2	1.3	0.1866 ± 0.0007
Kuzey Anadolu	16- Ilgaz- Kazancı	13	3.91 ± 0.14	3.8	2	7.7	0.64	=1	1.2	1.3	0.1869 ± 0.0009
	17- Ilgaz-Ödemiş	20	1.38 ± 0.03	52	6	50	0.37	=1	1.6	2.7	0.1872 ± 0.0010
	18- Kurşunlu-Çavundur	25	1.50 ± 0.09	38	2.6	72	0.60	=1	1.8	2.8	
	19-Orta- Kışaç	14	3.84 ± 0.09	338	17	460	0.43	=1	1.6	2.7	0.1872 ± 0.0008
	20- Orta- Derebayır	22	4.23 ± 0.08	1150	32	1530	0.42	=1	1.6	3.0	0.1888 ± 0.0009
	21- Eskipazar-İnamlar	30		1.6	0.1	6.7	1.3	=1	1.5	2.6	0.1889 ± 0.0023
	22- Bartın- Dereköy	11	4.99 ± 0.14	11	1.2	17	0.48	=1	1.7	2.8	0.1875 ± 0.0011
	23- Bolu- Susuz kınık	20	3.71 ± 0.10	36	1.7	56	0.49	=1	1.7	3.2	0.1863 ± 0.0008
	24- Mudurnu- Babas	37	6.46 ± 0.18	6.9	119	13	0.59	=1	1.2	0.7	
	25- Bolu- Çepni- Akkaya	21	1.22 ± 0.06	2.0	0.9	3.6	0.59	=1	1.5	2.5	0.1863 ± 0.0008
Batı Anadolu	26- Düzce- Dertin	30	1.04 ± 0.09	27	1.0	29	0.34	=1	2.0	4.4	0.1875 ± 0.0008
	27- Düzce- Eftemi- Hacıyakup	42	2.55 ± 0.06	2.3	3.0	8.6	1.18	=1	1.1	1.6	0.1866 ± 0.0008
	28- Geyve- Anıbaba	24		36	17	43	0.38	=1	1.9	3.3	0.1872 ± 0.0012
	29- Iznik- Keramet	31	0.40 ± 0.04	6.3	67	14	0.70	=1	1.2	1.4	
	30- Armutlu	31	0.41 ± 0.05	77	300	120	0.51	=1	1.7	2.3	
	31- Güre-Akçay	63	0.57 ± 0.17	80	1020	156	0.62	=1	1.2	1.5	0.1871 ± 0.0012
	32- Dikili	62	0.56 ± 0.11	24	130	43	0.56	=1	2.3	3.5	
	33- Bergama	34	0.68 ± 0.05	17	328	20	0.37	=1	1.7	2.9	0.1867 ± 0.0008
	34- Turgutlu-Urganlı	62	0.97 ± 0.07	30	2.6	46	0.49	=1	2.2	4.9	
	35- Turgutlu-Urganlı	64	0.82 ± 0.06	114	17	120	0.33	=1	1.7	2.2	
Batı Anadolu	36- Salihi- Kurşunlu	90	1.75 ± 0.46	0.57	0.057	1.2	0.67	=1	1.8	2.7	
	37- Kula- Madensu	16	3.92 ± 0.15	28	23	33	0.38	=1	1.5	1.4	
	38- Kula- Emir	57	2.38 ± 0.06	15	17	49	1.1	=1	1.2	1.5	
	39- Söke- Davutlar	41	0.34 ± 0.04	69	5.2	51	0.23	=1	2.4	3.9	
	40- Yatağan- Boz Höyük	36	0.14 ± 0.04	53	3.1	70	0.42	=1	2.2	3.4	
	41- Çubukdağ- Tekkeliöy	85	1.46 ± 0.22	0.25	2.0	1.0	1.2	=1	1.1	1.1	
	42- Pamukkale	35	5.05 ± 0.15	12	13	19	0.50	=1	1.6	1.9	
	43- Sandıklı- Hüdai	67	0.48 ± 0.03	5.1	29	9.6	0.60	=1	1.5	4.5	

ise geniş bir aralıkta uzanan değerlere sahiptir ve yitim zonu katkısını yansıtmaktadır (Çizelge 4).

Kuzey ve Batı Anadolu'da ise, Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca ve Kuvaterner yaşlı Kula volkanik bölgesinde $^3\text{He}/^4\text{He}$ değeri atmosferik değer olan $1,4 \times 10^{-6}$ değerinden genellikle daha yüksektir. En yüksek değer atmosferik değerden 4 kat daha fazladır (Mudurnu- $6,46 \times 10^{-6}$) (Ercan vd., 1995). Büyük ölçekli faylar ve volkanik bölgeler mantosal helyum salınımı için ana yollardır. Ege Denizi boyunca birçok jeotermal alan vardır ve bu bölgelerde $^3\text{He}/^4\text{He}$ oranları, atmosferik değerden daha düşüktür. Bu düşük değerler, büyük miktarlardaki radyojenik helyum katkısına işaret eder. CO_2 'deki $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, Kuzey ve Batı Anadolu'da, Orta ve Doğu Anadolu'ya göre daha düşüktür. Özellikle Kula volkanik bölgesinin yakınında yapılan örneklemelerdeki CO_2 'in $\delta^{13}\text{C}$ değerleri (‰ -5 ile -6) magmatik CO_2 değerlerine yakındır (Çizelge 3).

Mutlu vd. (2008), Batı Anadolu'da 12 jeotermal alandan (Tuzla, Kestanbol, Çan, Gönen, Manyas, Hisaralan, Seferihisar, Balçova, Germencik, Kızıldere, Gazlıgöl, Ömer) su ve gaz örneklerini sistematik bir şekilde toplayarak helyum, oksijen-hidrojen sistematiği, CO_2 / ^3He oranları üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. Elde edilen sonuçlar çizelge 5'te listelenmiştir.

Bu sonuçlara göre, Batı Anadolu jeotermal suları hidrotermal sistemde oluşan gaz ayrılması ve kalsit çökelişi süreçlerinden etkilenmişlerdir. Kabuksal kirlenmeyi kontrol eden ana etken CO_2 girdisidir ve bu yüksek kabuksal-C akışı, bölgedeki Menderes Masifi'ne ait mermer litolojilerinden kaynaklanmaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı'nca yürütülen Anadolu'nun Kuvaterner Volkanizması ve Tehlikelerinin Araştırılması projesi kapsamında, volkanik gazların izotop analizleri ve bunların değerlendirilmesi çalışmaları hala devam etmektedir.

Belirtilen izotopların analizi için, 3/8" çapında, deoksidasyonlu bakır borular kullanılarak gaz numunesi alım işlemi gerçekleştirilmektedir. Bakır boruların her iki ucuna plastik borular bağlanarak, bu borulardan gaz kaynağına gönderilecek olan ucuna ters yerleştirilen bir huni olabildiğince derine batırılır. Gaz huni içerisinde

den geçerek bakır tüplerde yeterince birikene kadar beklenir, tüplerin ucu kesilerek kapatılır ve analize hazır hale getirilir (Şekil 2).

GAZ İZLEME YÖNTEMLERİ

Gaz izleme, volkan patlamalarını tahmin etmede kullanılan bir yöntemdir. Örneğin fümerollerden yayılan CO_2 ve SO_2 konsantrasyonlarındaki artış, volkanın altındaki magmatik aktivitenin arttığına işaret edebilir. Bu gazların kompozisyonları ve miktarları çeşitli yöntemlerle ölçülmektedir:

Direkt Ölçüm: Bu yöntemde, fümerollerden kaçan gazlar vakumlu şişelerde toplanır ve jeokimya laboratuvarlarında analiz edilir. Kullanışlı veriler elde edilse de, bu teknik tehlikelidir ve atmosferik havayla etkileşime girmeden gaz örneği almak zordur.

Cospec Ölçümleri: Bu yöntem, "Correlation Spectrometer" cihazıyla bazı gazların uzaktan algılanması esasına dayanır. Volkanik olarak aktif olan bölgelerde, helikoptere takılan COSPEC cihazlarıyla SO_2 konsantrasyonları günlük ya da haftalık olarak izlenir. Son COSPEC cihazları infrared spektrometrelerdir ve CO_2 ile diğer gazlardan soğurulan kızılötesi ışınların miktarını ölçmede kullanılır.

Toms Ölçümleri: Daha bölgesel ölçekte, volkanik patlamalarla stratosfere salınan kükürt dioksitin yayılımı ve miktarı total ozon haritalama spektrometresi (total ozon mapping spectrometer-TOMS) kullanılarak ölçülür.

BAZI ÖNEMLİ VOLKANİK GAZLAR VE CANLILAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Karbondioksit (CO_2)

Volkanlar her yıl atmosfere 130 milyon tondan fazla karbondioksit (CO_2) salıverirler (Şekil 3). Bu renksiz ve kokusuz gaz, aralıklı patlamalar sırasında ya da topraktan devamlı salınımlarla çok çabuk düşük konsantrasyonlara ulaştığı için genellikle yaşamda direkt bir risk oluşturmaz. Fakat bazı durumlarda karbondioksit konsantrasyonu insan ve hayvanları öldürecek seviyelere kadar yoğunlaşabilir. Karbondioksit gazı havadan ağırdır ve bu gaz deniz seviyesinin altına kadar inebilir. Yüksek oranda (%30'dan fazla) CO_2 içeren havayı

Çizelge 4- Doğu Anadolu jeotermal alanlardaki helyum-karbon değerleri (Mutlu vd., 2012).

Lokasyon	Örnek ID	Sic. (°C)	Enlem/Boylam (N;E)	³ He/ ⁴ He R/R _A	X	³ He/ ⁴ He R _c /R _A	CO ₂ / ³ He (x10 ⁹)	δ ¹³ C (CO ₂) (‰) (VPDB)	Manto - kaynaklı He(%)
Ayrancı - Çaldıran	AYR-1 (gaz)	37.0	39°07'15";43°51'47"	0.98	2.46	0.96 ± 0.01	-	-	11.9
	AYR-2 (gaz)	37.0		1.03	2.37	1.05 ± 0.05	0.089	-9.07	13.0
Buğulu - Çaldıran	BUG (gaz)	34.3	39°02'15";43°59'06"	1.02	2.77	1.03 ± 0.01	89	1.39	12.8
Çamlık - Başkale	CAM (gaz)	23.0	37°56'42";44°05'28"	1.00	4.23	1.00 ± 0.09	16.622	-1.43	12.4
Çaybağı - Saray	CAY (gaz)	53.5	38°30'57";44°10'01"	0.87	6.77	0.85 ± 0.18	37.742	-1.53	10.6
Çukur - Güroymak	CKR (gaz)	34.5	38°39'10";42°01'20"	6.35	338.5	6.36 ± 0.08	84	-3.97	79.0
Diyadin	DVT (gaz)	64.2	39°28'21";43°39'12"	1.70	4.34	1.91 ± 0.13	3660	1.30	23.7
Diyadin	DYD (gaz)	53.7	39°29'20";43°39'12"	0.94	11.7	0.93 ± 0.13	28.779	-0.19	11.6
Germav - Hizan	GRM (gaz)	46.8	38°17'42";42°11'05"	2.40	416.0	2.40 ± 0.03	0.00024	-14.59	29.8
Kokarsu - Bitlis	KOK (gaz)	16.3	38°23'10";42°15'54"	3.60	107.1	3.63 ± 0.10	83	-2.88	45.1
Nemrut - Kaldera	NHL (gaz)	21.1	38°38'41";42°14'40"	7.72	200.6	7.76 ± 0.09	20	-2.08	96.4
Patnos - Ağrı	PAT (su)	18.1	39°14'29";42°50'04"	2.34	16.6	2.42 ± 0.27	14.708	-0.83	30.1
Taşkapı - Erciş	TAS (gaz)	81.4	39°16'22";43°25'47"	3.31	7.25	3.68 ± 0.09	889	-0.25	45.7
Tutak - Van	TUT (gaz)	24.6	39°33'03";42°46'28"	1.83	426.1	1.83 ± 0.02	114	-0.93	22.7
Yurtbaşı - Gürpınar	YUR (gaz)	25.4	38°13'47";43°47'21"	0.91	2.75	0.86 ± 0.07	10.292	-2.97	10.7

$$*X = \left[\frac{({}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne})_{\text{ölcülen}}}{({}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne})_{\text{atm}}} \right] \times \beta\text{Ne}/\beta\text{He}$$

Çizelge 5- Batı Anadolu jeotermal alanlardaki helyum-karbon ilişkileri (Mutlu vd., 2008).

Örnek Lokasyonu	Örnek ID	Sic. (°C)	Enlem / Boylam (N;E)	R/R _A	He/Ne (Atm)	R _c /R _A	[He] _c ncm ³ ST-P/g	CO ₂ (mmol/kg)	CO ₂ / ³ He (x10 ⁹)	δ ¹³ C (CO ₂) (‰) (PDB)	δ ¹³ C (CH ₄) (‰) (PDB)
Tuzla	B-48	90.0	39°34'04"; 26°10'43.3"	1.44	1778	1.44±0.010	Gaz	-	45.5±0.3	+0.35	n.d
Kestanbol-1	B-73	71.8	39°44'41"; 26°11'29.9"	0.80	2256	0.80±0.005	123.860	10.27	1.66±0.01	-3.59	-25.55
Kestanbol-2	B-64	69.0	39°44'35"; 26°11'21.5"	0.79	2085	0.79±0.007	13.656	10.58	15.7±0.1	-3.37	-23.92
Çan	B-86	47.3	40°01'32"; 27°02'58.7"	0.27	7430	0.27±0.003	203.130	5.89	1.72±0.02	-4.10	n.d
Gönen	B-124	60.5	40°06'58"; 27°39'00.9"	0.31	622	0.31±0.003	12.100	7.87	33.6±0.2	-1.52	n.d
Manyas	B-77	48.1	40°03'55"; 27°54'38.1"	0.41	811	0.41±0.003	15.600	13.70	34.3±0.2	-6.61	n.d
Hisaralan	B-118	96.6	39°16'10"; 28°19'02.1"	0.66	819	0.66±0.005	Gaz	-	220±2	-8.04	n.d
Seferihisar	B-90	66.0	38°04'54"; 26°54'01.2"	0.39	213	0.39±0.008	Gaz	-	892±20	-3.79	n.d
Balçova	B-101	84.6	38°23'16"; 27°01'54.2"	0.56	312	0.56±0.005	4240	14.10	95.1±0.8	-3.65	-25.80
Germencik	B-13	41.0	37°55'59"; 27°37'36.4"	1.05	5.20	1.06±0.020	Gaz	-	3865±80	-1.89	n.d
	B-109	41.0		1.02	2.56	1.03±0.010	Gaz	-	1934±24	-2.35	n.d
Kızıldere	B-40	-	37°57'24"; 28°50'33.1"	1.67	141	1.67±0.010	Gaz	-	305±2	-0.62	n.d
Gazlıgöl	B-117	63.9	38°56'08"; 30°29'58.4"	0.31	184	0.30±0.010	438	44.72	5450±150	-2.58	n.d
Ömer	B-59	79.5	38°50'23"; 30°24'59.8"	1.06	19.5	1.06±0.090	11.5	17.92	23.540 ±2.060	-0.66	n.d



Şekil 2- Volkanik gazlardan örnek alımı için yapılan arazi çalışmaları.

solumak, anında bilinç kaybına neden olur ve ölüme sebebiyet verir. CO₂ yayılımının yoğun olduğu volkanik bölgelerde çöküntü alanlarından ve CO₂ kapanlarının olabileceği küçük bölgelerden uzaklaşmak oldukça önemlidir. Hava ile öldürücü gaz arasındaki sınır bazen çok keskin olabilir, öyle ki yukarı yönlü atılacak tek bir adım bile ölümden kaçmada yeterli olabilir Aşağıda aynı kaynak verildiği için burada gerek yok.

Havadaki %5'lik CO₂ konsantrasyonu, nefes alış verişte fark edilir bir artışa sebep olurken, % 6-10'luk CO₂ solunum güçlüğü, baş ağrısı, baş dönmesi, terleme ve genel bir huzursuzlu-

ğa neden olur. %10-15'lik CO₂, koordinasyon bozukluğuna ve ani kasılmalara sebebiyet verir; %20-30'luk CO₂, bilinç kaybı ve kasılmalara neden olur; %30'dan fazlası ise ölümlü sonuçlanı.

Kükürt dioksit (SO₂)

Kükürtdioksit volkanik patlamalarla en çok salınan gazlardan biridir (su buharı ve karbondioksitten sonra) ve global ölçekte bakıldığında iklimi etkileme potansiyeli vardır (Şekil 4). Bölgesel ölçekte ise kükürt dioksitin gaz formu ve oksitlenerek sülfat aerosollerine dönüşmüş şekli insanlara zarar verir.



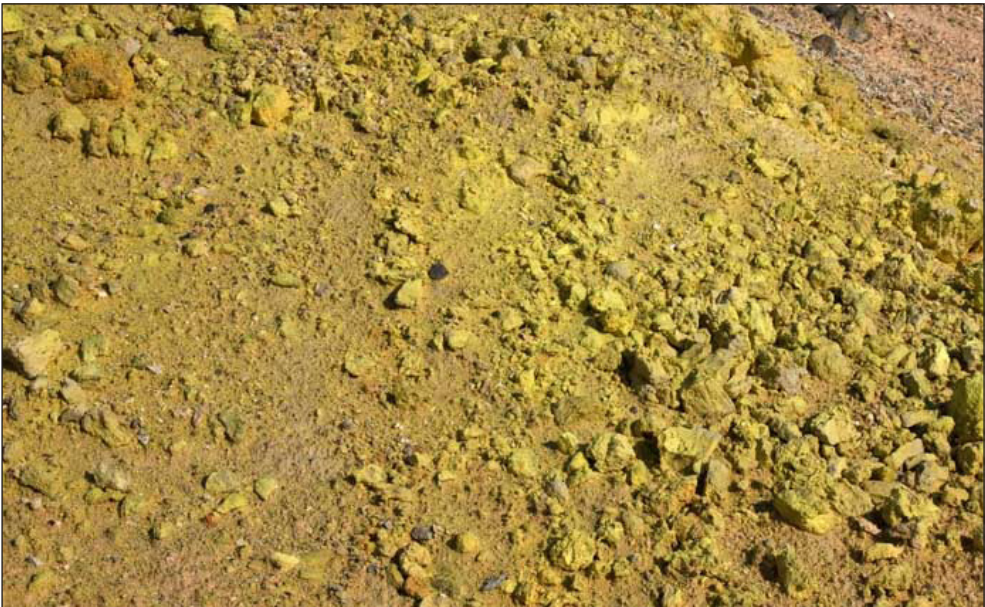
Şekil 3- Hawai'deki karbondioksit (CO₂) ve kükürt dioksitçe (SO₂) zengin volkanik gazlar.

Kükürt dioksit renksiz, keskin kokulu bir gazdır ve yanıcı ya da patlayıcı değildir. Fakat koklandığında tahriş edicidir. Kokusu genellikle 0.3-1.4 ppm arasında fark edilebilir düzeydedir. Havadan iki kat daha fazla yoğunluğa ve suda yüksek çözünürlüğe sahiptir. SO₂'nin sülfürik asit formu (H₂SO₄) ile temas edildiğinde gözlerde, mukoza zarlarında ve deride tahrişe neden olabilir. Kükürt dioksit; gözleri, boğazı ve solunum sistemini etkiler. Kısa zamanda fazla

gaza maruz kalma, gözlerde yanma, öksürük, zor nefes alma, göğüste sıkışma hissi gibi sonuçlar doğurabilir.

Hidrojen klorür (HCl)

Klor gazı, volkanlardan çıkışta hidroklorik asit (HCl) olarak yayılır (Şekil 5). Bu gaza maruz kalındığında gözleri ve solunum bölgesindeki mukoza zarlarını tahriş eder. 35 ppm'in



Şekil 4- İzlanda'da Krafla Volkan'ından volkanik gazlardan sülfür çökelişi. Sülfür bileşiklerinin (özellikle de kükürt dioksit) birçok iklimsel ve çevresel etkileri vardır.

üzerindeki konsantrasyonlarda, kısa bir süre bile bu gazı solumak boğazda tahrişe neden olurken, 100 ppm'in üzerindeki miktarlarda gaza maruz kalma, akciğerde su toplanmasına ve sıklıkla da gırtlak spazmlarına neden olur. Aynı zamanda HCl, yoğunlaşan yağmur damlarında aşırı derecede çözündüğü ve çok güçlü bir asit olduğu için asit yağmurlarına da neden olur.

Hidrojen sülfür (H₂S)

Hidrojen sülfür, renksiz, çürük yumurtaya benzeyen belirgin ve kötü kokuya sahip olan diğer bir toksik gazdır. Bu sülfür bileşimi ve kokusu volkanik olarak aktif bölgelerde çok yaygın olarak bulunur ve çok kolay fark edilebilir. Bu gaz da havadan daha ağırdır ve daha alçak bölgelerde yoğunlaşma eğilimindedir. 1971'de Japonya'da altı dağcı bu gazla dolu olan bir çöküntü bölgesinden geçerken aniden hayatlarını kaybetmişlerdir.

Hidrojen florür (HF)

Hidrojen florür, ince kül parçalarını birbirine bağlayan, çimenleri kaplayan, akarsu ve gölleri kirleten soluk yeşil bir gazdır. Hidroflorik asit formunda, yakıcı, tahriş edici özellikte olup bu güçlü maddeye maruz kalmak, konjunktivitelere, deri tahrişlerine, kemik dejenerasyonlarına ve

dişlerde lekeler neden olabilir. Flor fazlalığı kül püskürmeleri sırasında hayvanlara zarar verebilir ve hatta öldürebilir. Küllerin sadece birkaç milimetreye ulaştığı bölgelerde bile, kurumuş çimenlerde flor içeriğinin 250 ppm'i aştığı durumlarda zehirlenmeler meydana gelebilir. Flor kokulu küllerle kaplı çimenleri yiyen hayvanlar zehirlenebilir. Aynı zamanda hidroflorik asit, hidroklorik asit gibi asit yağmurlarını da tetikler.

Tarihte karbondioksit, kükürt dioksit, karbonik asit ve hidrojen sülfür kaynaklı birçok ölüm meydana gelmiştir. Bunlara Dünya'dan bazı örnekler:

Vezüv, İtalya

1794'de, Vezüv volkanındaki patlamada yaklaşık 400 insan hayatını kaybetmiştir. Birçoğu karbondioksit nedeniyle ölmüştür. 1872'de ise sayısı belirsiz ölümler karbondioksitten kaynaklanmıştır. 7 kişi ise 1873'de içlerine çektikleri gazdan ölmüşlerdir.

Etna, İtalya

1650 yılındaki patlama 40 ölümlerle sonuçlanmıştır; bazıları kükürt buharından boğulmuşlardır. Bir geminin tüm mürettebatı volkana yakın bir bölgeden geçerken gazdan boğularak hayatlarını kaybetmişlerdir.



Şekil 5- Resimdeki duman bulutu su buharından oluşur fakat içinde çok fazla hidroklorik asitte içerir.

Oku Volkanik Bölgesi, Afrika

1984'de, 37 insan Monoun gölünden salınan karbondioksit nedeniyle ölmüşlerdir. 1986'da ise Nyos gölünden büyük miktarda salınan karbondioksit nedeniyle 1700 insan hayatını kaybetmiştir.

Karthala, Hint Okyanusu

Karthala volkanının tarihte 30 patlama kaydı vardır. 1903'de, püskürmenin yaklaşık 1600 m yakınındaki 17 insan, gazdan boğularak ölmüştür.

Tangkubanparahu, Java, Endonezya

Tangkubanparahu bir stratovolkandır ve tarihte en az 16 kez patlamıştır. 1923'de, 3 çocuk, volkan patlamadığı halde, karbonik asit ve hidrojen sülfid gazları nedeniyle oksijensizlikten boğularak hayatlarını kaybetmişlerdir.

Aso, Japonya

1997'de, iki adam kükürt dioksit konsantrasyonunun ~5 ile ~8 ppm arasına ulaşmasından dolayı ölmüşlerdir. 1980'den beri 71 kişi volkanik gazları solumaktan dolayı hastaneye kaldırılmıştır, bunlardan da yedisi hayatını kaybetmiştir.

Santa Maria, Guatemala

Santa Maria bir stratovolkandır ve 1902'deki bir patlamada 1500 kişi ölmüştür. Bunlardan en az 350 tanesi bir köyde ölümcül dumandan dolayı ölmüştür.

DEĞİNİLEN BELGELER

Akçay, M. 2002. Jeokimya: Temel Kavramlar ve Uygulamaya Aktarımları. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü. KTÜ Matbaası, 506s.

Ercan, T., Matsuda, J.I., Nagao, K., Kita, I. 1995. Noble gas isotopic compositions in gas and water samples from Anatolia. In: Ercan, T., Bingöl, E., Örcen, S. Geology of the Black Sea Region: Proc. Int. Symp. on the Geology of the Black Sea Region, Ankara, Turkey. General Directorate of Mineral Re-

search and Exploration and the Chambers of Geological Engineers of Turkey, Ankara, pp. 197–206.

Güleç, N. 1988. He-3 distribution in western Turkey. Bull. Miner. Res. Explor. Inst. Turk. 108, 35–42.

Güleç, N., Hilton, D.R., Mutlu, H. 2002. Helium isotope variations in Turkey: Relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities, Chemical Geology, 187, 129-142.

http://www.ivhhn.org/index.php?option=com_content&view=article&id=82ExposureEffects

<http://www.geology.sdsu.edu/howvolcanoeswork/Volcanicgases.html>

<http://www.sandatlas.org/volcanicgases/>

<http://www.volcano.oregonstate.edu/deadlygases>

<http://www.volcanoes.usgs.gov/hazards/gas/>

Mutlu, H., Güleç, N., Hilton, D. R. 2008. Helium-carbon relationships in geothermal fluids of western Anatolia, Turkey: Chemical Geology, 247, 305-321.

Mutlu, H., Güleç, N., Aral, D. 2011. Asal gaz izotopları yeni jeotermal kaynakların keşfinde öncül olabilir mi?: X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi (TESKON 2011), 13-16 Nisan 2011, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir.

Mutlu, H., Güleç, N., Hilton, David, R., Aydın, H., Halldórsson, Saemundur A. 2012. Spatial variations in gas and stable isotope compositions of thermal fluids around Lake Van: Implications for crust-mantle dynamics in eastern Turkey. Chemical Geology, 300-301, 165–176.

Nagao, K., Matsuda, J.I., Kita, I., Ercan, T. 1989. Noble gas and carbon isotopic compositions in Quaternary volcanic area in Turkey. Bull. Geomorphol., 17, 101–110.

Vaselli, O., Tassi, F., Montegrossi, G., Capaccioni, B., Giannini, L. 2006. Sampling and analysis of volcanic gases. Acta Vulcanologica, 18(1-2), 65-76.

