

## Yakaören Köyü (Isparta) Gaz Çıkışına Ait Risk Analizi ve Modellemeleri

### *Yakaören Village (Isparta) Gas Blow Out Risk Analysis and Modellings*

Ergin CANPOLAT<sup>1</sup> ✉, Hakan HOŞGÖRMEZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Cengizhan Anadolu Lisesi/ Kağıthane-İstanbul-Türkiye.

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği – Avcılar -İstanbul- Türkiye

✉ Sorumlu yazar/Corresponding author: ergincanpolat@gmail.com

#### *Makalenin Tarihiçesi – Article History*

Geliş / Received: 12/06/2017

Revizyon / Revised: 21/06/2017

Kabul / Accepted: 15/07/2017

#### **ÖZET**

Isparta Şehri merkezine 5 km uzaklıktaki Yakaören Köyü güney batısında ve köye 1,5 km uzaklıktaki Büyükkükürt Dere vadisine 2008 yılında termal amaçlı bir sondaj kuyusu açma çalışması yapılmıştır. Çalışmaları sırasında gaz sıkışmasından kaynaklanan patlama meydana gelmiştir. Bu patlama sonrasında kuyudan CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gaz çıkışı başlamış olup gaz çıkışı çevredeki insan, hayvan ve bitki yaşamı üzerinde ölümcül etkiler oluşturmuştur.

Yapılan kimyasal analizlerin sonuçları; bu gaz çıkışlarının Gölçük Volkanizması ile alakalı olduğu yaklaşımını geliştirilmiştir. Bu çalışmada; volkanik gaz çıkışlarının devam etmesi hatta artması halinde çevredeki canlı yaşamın ve insan faaliyetlerinin bu durumdan nasıl etkileneceği sorusunun cevabı aranmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojileri kullanılarak yüzey analizleri yapılmıştır. Yıllık ve günlük rüzgar istatistikleri alınarak; bu veriler, yüzey analizleri ile ilişkilendirilmiştir. Böylece; jeomorfolojik ve iklimik verilere dayandırılan gaz tehlikesi altındaki bölgeler sınıflandırılarak, haritalandırılmıştır. Sonuçlar: CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi volkanik sahalarda da yüzeylenen gazlarının etkinliğinin artması halinde bu gazların kalabalık nüfuslu yerleşim yerleri, tarım alanları ve doğal bitki örtüsü sahalarına yayılacağını, hem insan, hem de hayvan ve bitki yaşamı üzerinde toplu ölümlere neden olabileceğini göstermiştir.

*Anahtar kelimeler:* Gölçük volkanizması, volkanik gaz, jeomorfoloji, gaz kökeni, atmosferik dispersiyon

#### **ABSTRACT**

In 2008, a thermal drilling well was opened in the Büyükkükürt Dere valley 1.5 km from the village of Yakaören and 5 km from the city center of Isparta. An explosion then occurred due to a gas jam during the drilling studies. After this explosion, CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S gas began to be discharged from the wastewater, and this gas discharge was fatal to human, animal, and plant life in the vicinity.

Chemical analysis results support theories that these gases are related to volcanism. If gas blows out continuously, how will this affect biological life and human activities? In this study, our goal was to answer this question. We performed a surface analysis using GIS technology and used daily and yearly statistical wind data collected by an automatic weather station located nearby the gas well. We then analyzed this wind data with respect to the surface. We classified and mapped the hazardous regions based on climatic and geomorphological data. The results show that if the discharge rates of gases such as CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S increase, they will disperse to crowded urban areas, farming areas, and areas with natural vegetation, and will cause extensive fatalities to human and the other forms of biological life.

*Keywords:* Golcuk Volcanism, Volcanic Gas, Geomorphology, Gas Origin, Atmospheric Dispersion.

## 1. GİRİŞ

UNDRO, 1979 tarafından (Risk = Tehlike × Maruz Kalma × Güvenlik Açığı) şeklinde formüle edilmiştir. Güvenlik açığı; nüfus, beşeri faktörler, ekonomik aktiviteler, yerleşmeler gibi birçok özelliği içermektedir (Blong, 1996). Risk, zarara uğrama tehlikesinin oransal ya da sayısal ifadesidir. Geleceğe yönelik belirsizliği, şüpheli, kayıp olasılığını ve zarar ihtimalini içerir. Risk analizleri zarar görme ihtimalini belirlemeye yönelik bir tür tasarımlardır. Risk analizlerinin yapılması; yatırım, yer seçme ve her türlü tercihler için karar vermede sağlıklı sonuçlar alınmasında etkili olur. Mevcut durumun sahip olduğu zarar görülebilirlik olasılığı ile yüz yüze gelinmesine fırsat verir. Tedbir alma, önleme ya da zarar azaltma fırsatı verir (Turoğlu, 2011).

Isparta şehir merkezi batısında bulunan Yakaören Köyü'nde jeotermal su çıkarmak amacıyla açılmaya çalışılan sondaj kuyusundan, çalışma esnasında büyük bir patlama ile gerçekleşen gaz çıkışının çeşitli müdahalelere rağmen devam etmesi ve özellikle H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> gibi çeşitli gaz çıkışlarının olması, gazın volkanik izler ve risk taşıdığını da göstermektedir. Bu bölgeye yaklaşık 2 km mesafede bulunan genç volkanik oluşum özellikleri gösteren Gölcük Volkanının bulunması bu görüşü desteklemektedir.

Yakaören' de Nisan 2008'den beri çıkan ve yapılan tüm müdahalelere rağmen çıkmaya devam eden gazın bölgede yaşayan halkı sağlık açısından uzun süre tedirgin ettiği ve tedirgin etmeye de devam edeceği arazi çalışmalarındaki sözlü görüşmelerden anlaşılmaktadır. Bu çalışma ile çıkan gazın farklı kuruluşlarca yapılan kimyasal analizlerinin değerlendirilmesi ve yeniden kimyasal analizler yapılarak yorumlanması buna ek olarak bu gazlar için farklı çıkış değerlerine göre atmosferik dispersiyon modellerinin ve risk analizleri yapılması böylece nerelerin hangi ölçüde etkileneceğinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Atmosferik dispersiyon modeli; gerçeğin basitleştirilmiş bir resmidir. Modelleme, eldeki verilere bağlı olarak geleceğe yönelik tasarım yapma işlemidir (Alkış, 1996). Modelleme gerçek sistemin bütün özelliklerini barındırmaz ancak ilişkili olan özellikleri konuları, yönetimsel konuları ve çözülmesini umduğumuz bilimsel problemi içerir. Çevresel problemleri tahmin ve çözmek en iyi çözüm yollarını geliştirmek için kullanılırlar. Süreç; data girişi, dispersiyon hesaplamaları, gaz konsantrasyonlarının çıkarımı ve analiz gibi işlemlerden oluşmaktadır. Günümüzde en fazla kullanılan dispersiyon modellerinin başında Gaussian-Sorguç modelleridir. Bunlar sorgucun niteliğini yaklaşık matematiksel verilerle ortaya koymaya çalışan modellerdir (Good Practise Guide, 2004).

Dispersiyon modelinde meteoroloji başta gelen bir öğedir; çünkü havadaki kirleticinin etkisini azaltan ilksel faktördür. Bundan dolayı modellemeye önce meteorolojik verinin dikkatli bir şekilde ele alınması gerekir (Good Practise Guide, 2004). Rüzgâr, basınç, sıcaklık bu öğenin etkisini oluşturan en önemli unsurlardır. Dünya genelinde atmosfer dispersiyonunda kullanılan; **AERMOD Modeling System, CALPUFF Modeling System, BLP, CALINE3, CAL3QHC/CAL3QHCR, CTDMPUS, SCREEN and OCD**, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından tavsiye edilen dispersiyon modelleme sistemleridir (Web 1).

## 2. VERİ ve YÖNTEM

Sahanın litolojik ve tektonik özelliklerine ilişkin diğer araştırmacılar tarafından yapılmış olan çalışmalardan da yararlanılarak 1/25000 ölçekli jeoloji haritası derlenerek CBS ortamında sayısallaştırılmıştır. 1/25000 ölçekli topoğrafya haritası sayısallaştırılmış, eş yükselti eğrilerinden 10 m çözünürlüklü Sayısal Yükselti Modeli (SYM) üretilmiştir. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleriyle desteklenmiş olan arazi çalışmaları (Ağustos-2009, Ocak-2010, Kasım-2010, Temmuz-2011, Nisan-2012, Temmuz-2012, Temmuz-2014) gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sürecinde **ArcGIS 10,2 ArcView 3.2, ILWIS, ERDAS 10, CulpuffView 4, HYSPLIT, WeatherLink, WindRose, Surfer 10, Global Mapper 13** gibi yazılımlardan yararlanılmıştır. Atmosfer dispersiyon çalışmalarında ise **SCREEN, ALOHA** gibi yazılımlar kullanılmıştır.

Çalışma sahasında gerçekleşen gaz çıkışına ilişkin bilgiler ve kamu kurumlarının yaptığı faaliyetler uzun süreden beri takip edilmiştir. Gaz çıkışının ilk gerçekleştiği dönemden itibaren TPAO'nun yaptığı çeşitli analizlere ait veriler temin edilmiştir. Ayrıca gaz kimyasal özellikleri İ.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Petrol ve Doğalgaz Araştırma Laboratuvarı'nda analiz edilerek incelenmiştir.

İklim çalışmaları sürecinde Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait Isparta, Burdur, Eğirdir Meteoroloji İstasyonlarına ait 1975-2009 verilerinden yararlanılmıştır. Bu çalışma kapsamında sahada "Dawis Vantage Vue Otomatik Seyyar Meteoroloji İstasyonu" kurularak 1 yıl boyunca düzenli olarak sıcaklık, yağış, rüzgar, basınç olmak üzere iklim elemanlarına ait rasat yapılmıştır. Bu rasat verileri Isparta ve Burdur Meteoroloji istasyonlarının Temmuz 2011 - Temmuz 2012 tarih aralığı rasat verileri ile karşılaştırılmıştır. Volkanik patlama veya yoğun gaz çıkışı sırasında yüksek irtifalarda hareketin nasıl olabileceğine dair modellemeler yapmak amacıyla RadioSonde verileri ise Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosferik Teşkilatı (NOAA) ile Isparta Bölge Meteoroloji İstasyonu'ndan sağlanmıştır.

Risk analizinde kullanılmak üzere beşeri verilere ait veri tabanı oluşturulmuştur. Kamu Kurumları, Ulaşım, Sanayi Tesisleri, Nüfus Özellikleri, Yerleşim Sahası CBS ortamına aktarılan başlıca coğrafi veriler olmuştur.

Öncelikle volkanik gaz çıkış özelliklerine bağlı olarak değişik gazlar, rüzgâr ve diğer iklimatik veriler ile birlikte değerlendirilerek yayılım alanları belirlenmiş, modeller üretilmiş, ardından modeller kullanılarak risk analizi yapılmıştır. Risk analizi ve modeller uluslararası çalışmalar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Modeller haritalara dönüştürüp beşeri veriler de değerlendirilerek risk kademeleri oluşturulmuştur. Modelleme ve analizlere bağlı kalmak suretiyle sonuçlar ortaya çıkarılmıştır.

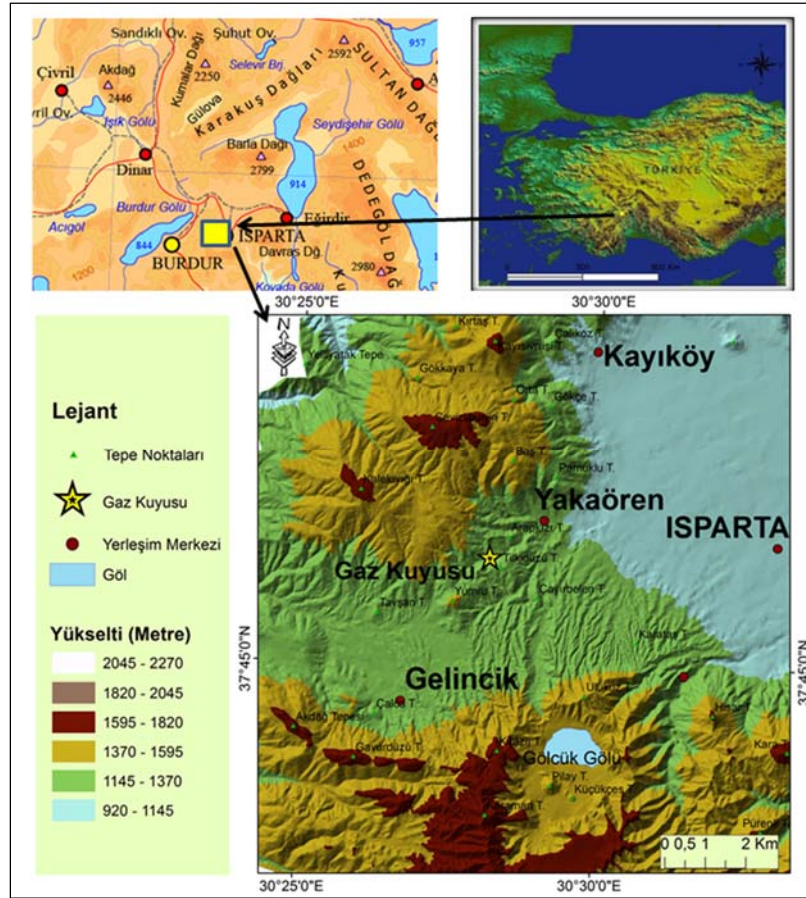
Gaz kuyusundan alınmış olan numunelerin kimyasal analizine ait veriler ile meteorolojik veriler Aloha 5.4.3. bilgisayar yazılımında çalıştırılarak; gaz dispersiyon

haritaları üretilmiştir. Üretilmiş olan bu haritalar, ArcGIS 10.2 CBS yazılımında çalışma sahasının topoğrafik verileri birlikte değerlendirilmiş ve Raster Calculation özelliği kullanılarak, risk haritaları oluşturulmuştur. H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> gazlarının 10 misli, 100 misli ve 1000 misli daha fazla çıkmaları durumunda gazların yayılacağı alanlar ve tehlike zonlarının ne şekilde olabileceğine ilişkin modeller yapılmıştır.

### 3. ÇALIŞMA SAHASININ GENEL ÖZELLİKLERİ

#### 3.1. Çalışma Sahasının Konumu

Çalışma sahası Güneybatı Anadolu'da Burdur-Isparta illeri arasında kalmakta ve Isparta şehir merkezinin 5 km batısında ve Yakaören Köyü'nün 1,5 km batısında Büyükkürt Dere Vadisi'nde yer almaktadır. Çalışmanın ana konusunu oluşturan gaz kuyusu; Coğrafi koordinat sistemi ile 37° 46' 19.53" K - 30° 28' 11.97" D noktasına karşılık gelmektedir (Şekil 1).

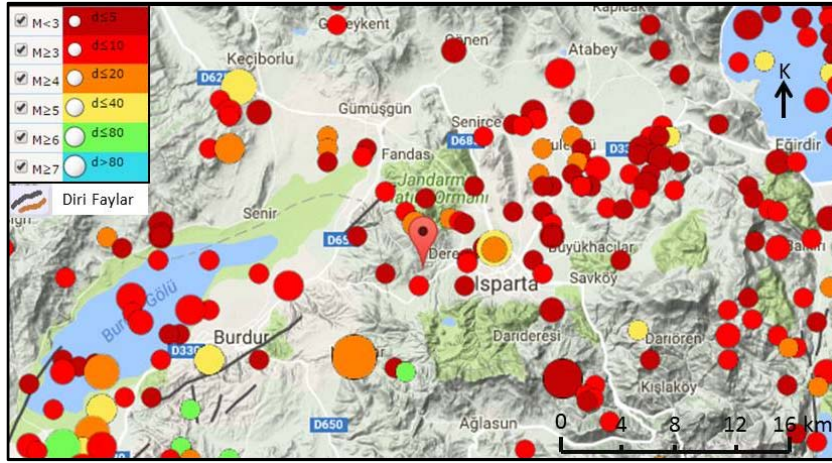


Şekil 1. Çalışma sahasının konumu  
Figure 1. Location of study area

### 3.2. Jeolojik Özellikler

Gölcük (Isparta) volkanizması, Toros kuşağının, "Isparta Açısı" (Brunn, 1976 ve Şengör, 1980) olarak tanımlanmış bölümünde yer almaktadır. Isparta Açısı tektonik olarak; güneyde dalma-batma zonu olan Helen

yayı ve Kıbrıs yayı ile sınırlanan Ege-Batı Anadolu açılma bölgesi ile Anadolu plakası arasındaki bağlantı noktasında bulunur. Fethiye-Burdur Fay Zonu (FBFZ) üzerinde yer alan çalışma sahasında depremler sıklıkla meydana gelmektedir (Şekil 2).

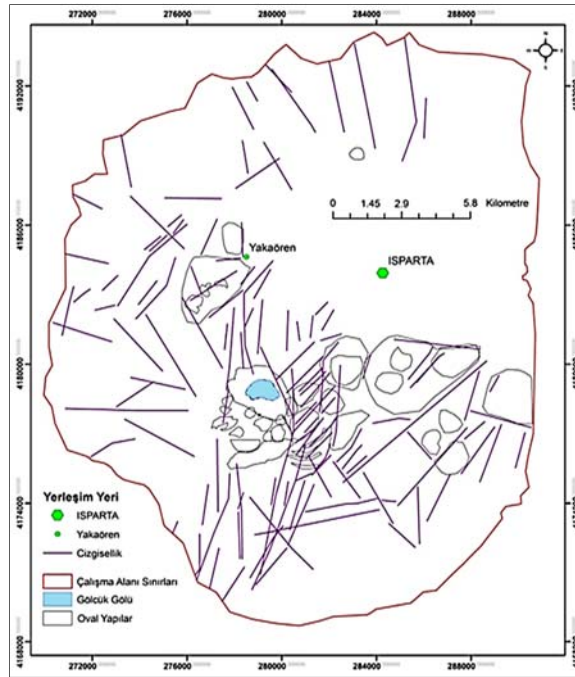


Şekil 2. Çalışma sahası ve çevresinde meydana gelen depremler (1900-2017) (M : Magnitüd, d: Derinlik) Kandilli Rasathanesi Deprem Sorgulama Sistemi, <http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqdb/>'den oluşturulmuştur (Web 5)

Figure 2. Study Area's Earthquakes between 1900-2017 (M: Magnitude, d:depth) (Web 5)

Çizgisellik (Şekil 3) ve fay hatları konusunda yapılan uzaktan algılama çalışmaları ve jeomorfolojik etütlerden elde edilen bulgulara göre; FBFZ üzerinde yer alan fayların bu bölgede fay hatlarının kuzey- güney yönlü faylar ile

kesildiği, tektonik açılmanın olduğu anlaşılmaktadır (Şen vd., 2008). Volkanizmanın bu sayede gerçekleştiği ve volkanik gazın yine bu sayede yüzeye doğru ilerleyebildiği gibi sonuçlara ulaşılmıştır.



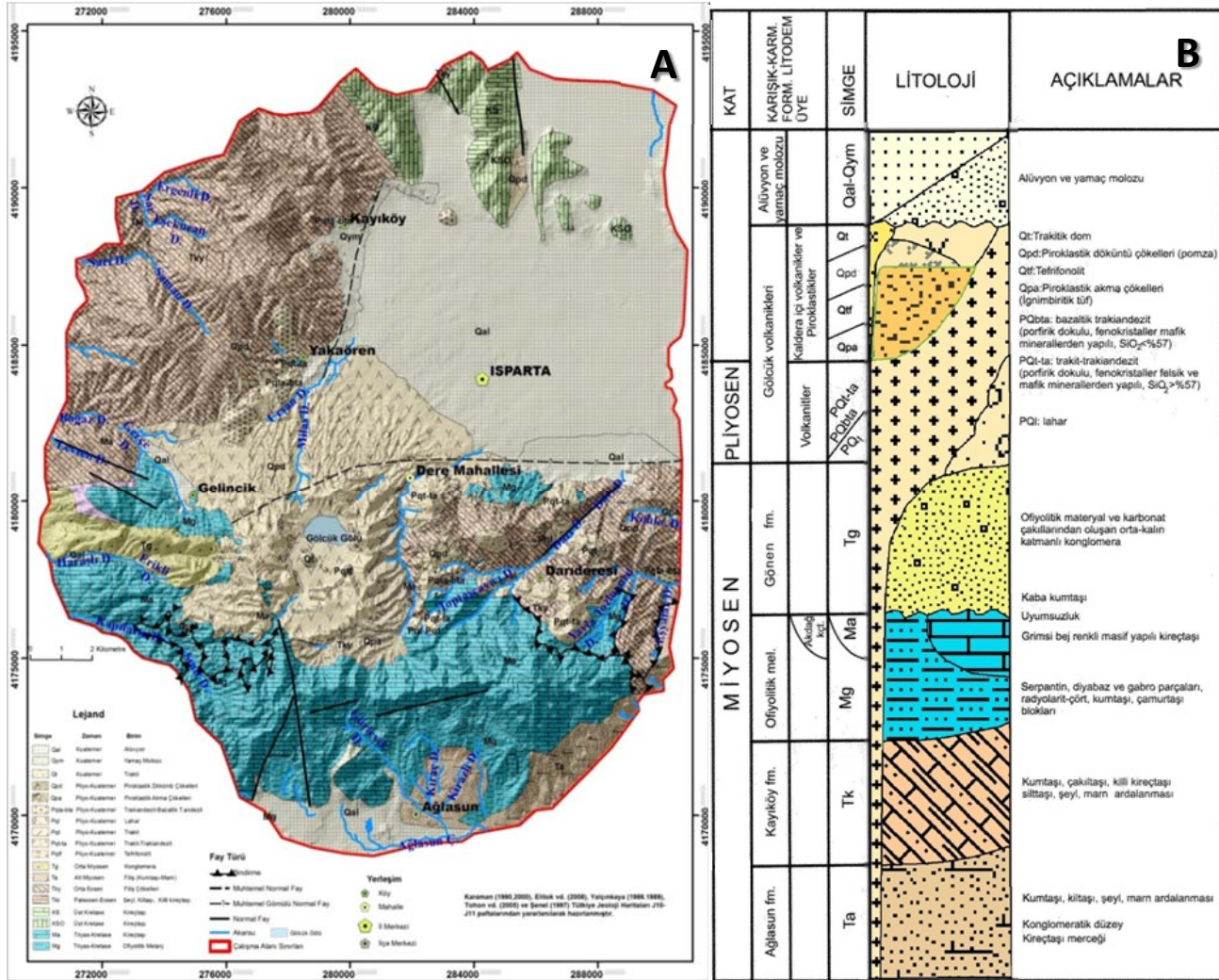
Şekil 3. Çalışma sahası çizgisellik yoğunluk haritası (Canpolat, 2014'ten alınmıştır).

Figure 3. Study area line density map (from Canpolat, 2014).



Çalışma sahasındaki litolojik birimlerin büyük bölümünü Gölcük volkanizması volkanik kayaları oluşturmaktadır. Bu birim içerisinde traki-andezit, bazaltik trakiandezitler, piroklastik döküntüler (pomza) bulunmaktadır (Yalçinkaya, 1989). Yakaören Köyü doğusunda ve Isparta Ovası'nda ise Kuaterner alüvyonları yer almaktadır. Sahasının kuzey kesiminde ise Kayıköy formasyonu adı verilen kumtaşı, çakıltaşı, killi kireçtaşı,

silttaşı, şeyl, marn ardalanmasından oluşan seriler bulunmaktadır. Çalışma sahasının güneyinde jeomorfolojik olarak Kaldera özelliği gösteren Gölcük volkanizmasına ait Pliyo Kuaterner litolojik birimleri geniş yer kaplamaktadır (Şekil 4 A-B). Gölcük volkanı litolojik birimleri arasında; trakit, trakiandezit, andezit, volkanik tuf ve pomza serileri geniş yer tutmaktadır (Kazancı & Karaman, 1988).



**Şekil 4. A:** Çalışma Alanı Jeoloji Haritası, **B:** Çalışma Alanının Stratigrafik Kesiti (Kazancı ve Karaman 1990-2000; Yalçinkaya 1986-1989; Thon ve diğ., 2005; Şenel, 1997; Türkiye Jeoloji Haritaları J10-J11 Paftalarından) yararlanılarak üretilmiştir.

**Figure 4. A:** Geology map of study area, **B:** Stratigraphy of Study Area (Kazancı and Karaman 1990-2000; Yalçinkaya 1986-1989; Thon et al., 2005; Şenel, 1997; Geologic Map of Turkey J10-J11 sections) used while production.

Gölcük formasyonu Pliyo-Kuaterner göl çökelleri ile iç içe bir yapı gösterir. Kalınlığı en fazla 1000 metre olduğu belirtilir (Yalçinkaya, 1989). Birim Üst Pliyosen-Pleistosen yaşlı kabul edilmiştir. Gölcük volkanizması Pliyosen'de gerçekleşen gerilme rejimine bağlı olarak gelişmiştir. Gölcük volkanizmasına ait Kuaterner aktivitesi Gölcük

kalderasının kenar kesimlerinde dairesel şekilli mostra veren tefrifonolitik lav akıntıları ile bunları kesen yine aynı bileşimdeki dayklar, kaldera içerisindeki trakit domlarından oluşan kaldera içi volkanikler ile volkanik püskürme esnasında magma odasından dışarı atılmış piroklastik akma ve piroklastik döküntü çökelleriyle

karakterize edilmektedir (Elitok vd. 2008). Özgür vd., 2008' de yaptıkları çalışmada, feldspatlarda (sanidin, anortoklas)  $40Ar/39Ar$  yaş tayinleri yapmışlar ve Pleistosen volkanizmasını 3 ana evrede değerlendirmişlerdir. Bunlardan I. Evre; günümüzden 200 bin yıl önce büyük bir patlama (birinci püskürme evresi) başlayan volkanik periyoddur. II. Evre; altı ayrı püskürme seviyesi ile temsil edilen bazı tefra oluşumlarının da geliştiği günümüzden önce  $115 \pm 3 - 62 \pm 2$  bin yıl arası dönemi kapsamaktadır. III. Evre günümüzden önce  $72.7 \pm 4.7 - 24 \pm 2$  bin yıl arası dönemi kapsamaktadır ve bu döneme ait tuf halkası bulunmaktadır. Phreatopliniyen püskürmeleri daha önce oluşmuş olan lav domlarını tamamen parçalamıştır. Bu en son aktivite 30 bin yıl gibi zaman aralıkları ile gelişmiş dom çıkışları gibi bazı volkanik aktiviteler ile sonuçlanmıştır. Gölcük volkanik aktivitesinin yaklaşık olarak  $24 \pm 2$  bin yıl önce sona erdiği (Tablo 1), ancak püskürme olaylarını kapsayan sürecin oldukça uzun

ve kompleks olduğu görülmektedir (Platevoet vd. 2006, Özgür vd., 2008, Elitok vd., 2008).

Bu çalışma kapsamında; Gölcük volkanik aktivitesinin çeşitli evreler halinde gerçekleşerek günümüze yakın dönemlere kadar sürdüğü, volkana ait materyalin 40-45 km'den daha fazla mesafede yer aldığı, volkanın jeomorfolojik olarak kaldera formunda bulunduğu, volkanın patlamalı karakterde olduğu bu durumun da özellikle volkanik gazla ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca Gölcük volkanizması 5 ana evre ve bu evrelere ait fazlar ile açıklanmış, son evreye ait volkanik ürünlerinden yapılan OSL (Optical Luminescence Dating) tarihlendirmelerine göre; volkanik aktivitenin günümüzden yaklaşık olarak **5000 yıl** öncesine kadar devam ettiği belirtilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Gölcük Volkanizması ve volkanik aktivite dönemleri

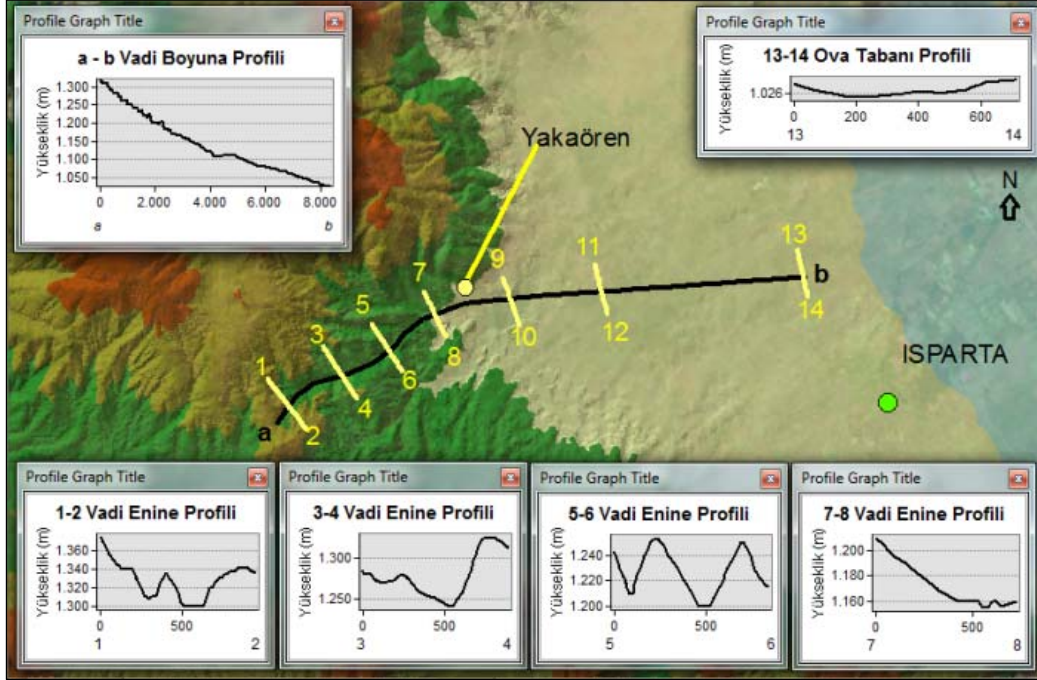
**Table 1.** Golcuk volcanism and volcanic activity terms

Evre	Tarihlendirme	Litolojik-Birim-Özellik	Kaynak
1. Evre	Pliyosen-İlksel Gölcük volkanizması	Trakiandezit- trakitik lavlar ve bazaltik trakiandezitlik-trakibazaltik lav çıkışı, Hisar Tepe, Karatepe, Gilikkaya Tepe, Karakaya Tepe, Tepebaşı Tepe, Yakaören dolaylarında ve Çünür konilerinin oluşumu,	(Çoban, 2005); (Leferve vd., 1983); (Kazancı ve Karaman, 1988)
2. Evre	Yaklaşık 1, 5 milyon yıl önce başlayan volkanik etkinlik	Piroklastiklerin oluşumu	(Çoban, 2005)
3. Evre	Yaklaşık 200 bin yıl önce başlayan aktivite süreci	Piroklastiklerin ve fonolitik çember daykların oluşumu	(Platevoet vd., 2006); (Platevoet vd., 2008); (Özgür vd., 2008); (Elitok vd., 2008)
4. Evre	Yaklaşık 115 bin yıl önce başlayan evre; şiddetli patlama dönemi	Bu dönemde maar tipi patlama ile önceki volkanik domlar parçalanmıştır.	(Platevoet vd., 2006);(Platevoet vd., 2008);(Özgür vd., 2008) (Elitok vd., 2008)
5. Evre	20-25 bin yıl önce şiddetli patlamayla başlayan ve 5 bin yıl öncesine kadar devam eden volkanik süreç.	Dom ve daykların yerleştiği volkanik püskürme neticesinde etrafa yayılan piroklastiklerin akarsu ve göl taraçalarında gözelenbildiği son dönemdir.	(Platevoet vd., 2006) (Platevoet vd., 2008);(Özgür vd., 2008) (Elitok vd., 2008); (Canpolat,2014)

### 3.3. Jeomorfolojik Özellikler

Yakaören Köyü GB'sında gaz çıkışının gerçekleştiği nokta KD-GB doğrultulu volkanik tuf ve andezit birimlerinin içinde

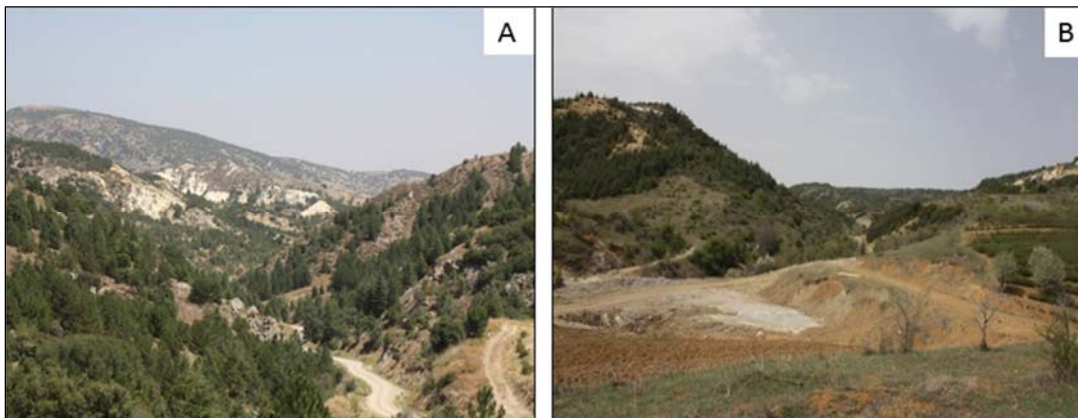
açılmış genç bir vadi özelliği taşımaktadır. Gaz çıkışı deniz seviyesinden 1240 metre yükseklikte olmakta ve vadi uzanış hattının KD'suna doğru ortalama 900 metre yükseltide bulunan Isparta ovasına geçilmektedir.



**Şekil 5.** Büyükkükürt vadisi (gaz çıkışının olduğu vadi) profil serileri  
**Figure 5.** Buyukkukurt Valley (gas well valley) profile series

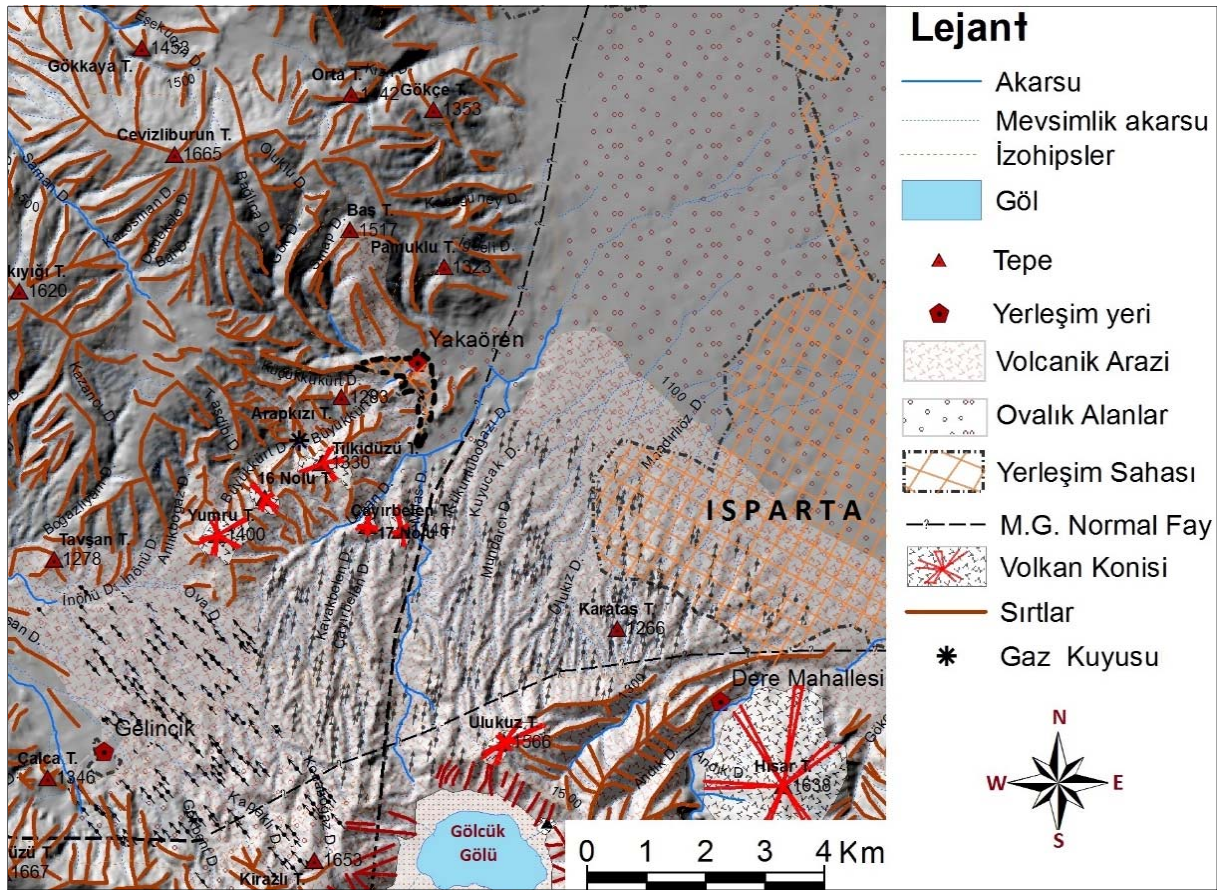
Vadinin boyuna profili kısmen iç bükey bir nitelik kazanmış iken, enine profiline baktığımızda ise gençlik safhasında olduğu kuzey yamaçların daha fazla yatık olduğu görülmektedir (Şekil 5). Büyükkükürt deresi; sondaj kuyusundan çıkan veya çıkabilecek gazın yönelimini etkileyebilecek bir topoğrafik özelliğe sahiptir. Gaz çıkış noktasında, vadi tabanı ile yamaçların yüksek noktaları arasında ortalama 120 metrelik yükselti farkı vardır (Foto

1 A-B). Kuzey yamaçları güney yamaçlarına göre daha yatıktır. Güney yamaçlar volkan konilerine dayanmaktadır (Şekil 6). Volkan konilerinin yamaçlarındaki kornişler dikkat çeker. Vadi yamaçlarında ağaçlandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Vadi; sahip olduğu topoğrafik özelliğiyle bir oluk karakterini yansıtır ve bu oluk atmosferik dispersiyonu etkiler.



**Foto 1.** A: Büyükkükürt Vadisinin güneybatıdan görünümü, B: Büyükkükürt Vadisinin kuzeydoğudan görünümü  
**Photo 1.** A: Southwest view of Buyukkukurt Valley, B: Northeast view of Buyukkukurt Valley





Şekil 6. Çalışma Alanı ve yakın çevresinin jeomorfoloji haritası  
Figure 6. Geomorphology map of study area and surround

### 3.4. İklim Özellikleri

Etrafı dağlarla çevrili ve kapalı bir havza durumunda olan Göller yöresi ile Teke yarımadasının iç bölümünde Akdeniz Ardı İklimi denen bir Akdeniz iklimi ile İç Anadolu iklimi arasında bir geçiş iklimi görülür. Alçak alanlarda 400-500 mm arasında görülen yağış değerleri yüksek alanlarda 500 mm'nin üzerine çıkar. Alt kesimlerde 10-13 °C olan yıllık ortalama sıcaklık 2000 m'ler dolayında 5-8°C'ye düşer. Kış aylarında alçak alanlarda 0 C'nin üzerinde olan sıcaklık yükseklerde -5°C'nin altına iner. Alçak alanlarda Temmuzda 25°C'nin üzerine yükselen sıcaklık, Ocak ayında daima 0°C'nin üzerindedir (Atalay, 2010). Isparta ve Burdur'da günlük ortalama sıcaklıklar yılın hiç bir gününde 0°C'nin altına inmez. Mart ayından (Mart ayının ilk 4-5günü dışında), Aralık ayı başına kadar sıcaklıklar hep 5°C ve üzerinde seyretmektedir (Avcı,1996).

## 4. BULGULAR

### 4.1. Nüfus Özellikleri:

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu) verilerine göre Isparta şehir merkezi 2016 yılında 241,723 kişi nüfus varlığına sahiptir. Gaz kuyusuna en yakın yerleşim yeri olan Yakaören Köyü'nün ise 1,798 nüfusu bulunmaktadır.

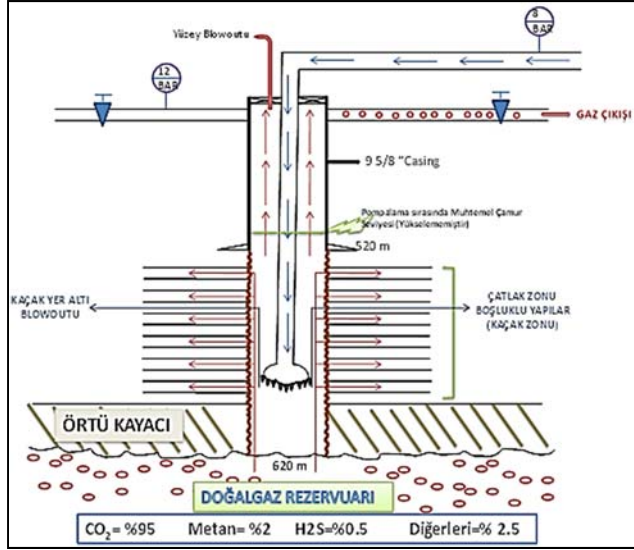
### 4.2. Gaz Çıkışları ve Gazın Kimyasal Özellikleri:

Yakaören köyü yakınlarında 2008 yılında sondajla termal amaçlı kullanmak üzere sıcak su arama çalışmaları sürecinde 620 metre derinliğe inildiğinde gaz basıncından kaynaklanan bir patlama yaşanmıştır. Bu ilk gaz çıkışıyla birlikte etrafa özellikle Yakaören Köyü ve Isparta şehir merkezi kuzey kesimlerine doğru insanları rahatsız ve tedirgin eden gaz çıkışları yaşanmaya devam etmiştir.

Isparta Valiliği yaşanan gelişme üzerine, kuyunun ve gaz özelliklerinin analizi için Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO)'dan uzman taleplerinde bulunmuştur. Temmuz 2008'de TPAO uzmanları 5000 ppm değerlerinde ölçmüş oldukları H<sub>2</sub>S'in tehlike sınırınının 20 ppm olduğunu, kuyudan çıkan CO<sub>2</sub> oranı %94-96 olduğundan kuyunun CO<sub>2</sub> kuyusu özelliğinde olduğunu vurgulamışlardır. Hava akımından dolayı H<sub>2</sub>S oranınının kuyudan uzaklaştıkça düştüğünü ve tehlike sınırınının altında olduğunu gözlemlediklerini de eklemişlerdir. Kuyu başından alınan gaz numuneleri TPAO Araştırma Merkezi Laboratuvarında teste tabi tutularak incelenmiş, yaklaşık değerler olarak, % 97.6 CO<sub>2</sub>, % 2.3 H<sub>2</sub>S (23000 ppm) ve % 0.1 diğer gazlar, olmak üzere gaz hacimsel oranları elde edilmiştir (Şekil 7).



TPAO'nun çalışma ve analizleri ile tarafımızdan yaptırılan kimyasal analiz sonuçlarından gaz kimyasal bileşenlerinde canlı sağlığı açısından tehlike yaratabilecek unsurlar olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Değişik dönemlerde (Şekil 7, Tablo 2 ve 3) yapılmış olan kimyasal analiz sonuçları şu şekildedir:



Şekil 7. Temmuz 2008 TPAO'nun Kuyu Özelliği ve Gaz Kimyasal Analizi Rapor Sonucu

Figure 7. July 2008 TPAO analysis of gas chemical report result

Tablo 2. TPAO'nun Şubat 2011'de kuyudan alınan numunelerinin analiz sonuçları

Table 2. Samples from well which taken by TPAO on February 2011

Gaz Cinsi	Ölçülen En Düşük Değer (%)	Ölçülen En Yüksek Değer (%)	Ölçülen En Yüksek Değer (ppm)
CH4	0%	3%	30000
CO2	0%	6,20%	62000
CO	0 ppm	0,0009%	9
H2S	3,8 ppm	0,0098%	98

Şubat 2010'da kuyu başından aldığımız numune analizlerine göre H<sub>2</sub>S oranı %0.2-0,3, CO<sub>2</sub> ise ortalama % 5.5 olarak ölçülmüş bu sonuçlara ek olarak Mart 2010'da TPAO uzman ekibince ikinci defa sahada inceleme ve ölçümler yapılmıştır. Kuyu başı mahallinde yapılan ölçümlerde havadaki H<sub>2</sub>S oranı 0-19 ppm arasında değişim göstermiştir (Tablo 3). Kuyunun Isparta Belediyesi tarafından betonla kapatılmasından ve emniyet havuzunun (Foto 2. A) oluşturulmasından sonra geçen

yaklaşık 20 aylık süreç sonunda, havadaki H<sub>2</sub>S oranının az olsa bir miktar artmış olduğu tespit edilmiştir. Kuyunun başında ise ölen çalılara rastlanmıştır (Foto 2. B-C-D)

Tablo 3. Ocak 2010 gaz kuyusuna 7 m mesafeden alınan numune analizi sonuçları

Table 3. Samples analysis which taken January 2010 and 7 m far from gas well

Numune No	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
1	5,65	94,35
2	5,71	94,29
3	5,9	94,09
4	0,54	94,46
5	5,57	94,42
6	5,87	94,13

H<sub>2</sub>S Oranı % 0,2 - 0,3 değerindedir.  
Not: Değerler % Konsantrasyon olarak ifade edilmiştir.



Foto 2. A: Gaz Kuyusu; B-C-D: kuyu etrafında gaz zehirlenmesine bağlı olarak ölen hayvanlar

Photo 2. A: Gas Well; B-C-D: Dead animals due to the gas poisoning around the well

Şubat 2011'de TPAO'nun Gaz ölçüm cihazı ile kuyu başından itibaren yaklaşık 10 m yarıçapında bir alan içerisinde muhtelif noktalarda gaz ölçümü yapılmıştır. Bu değerlendirmeye göre; en yüksek H<sub>2</sub>S konsantrasyonu 98 ppm, en yüksek CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ise % 6,2 olarak ölçülmüştür. En yüksek gaz değerleri kuyu başı çevresinde meydana gelmiş olan çimento ile kaplanmış alanın çatlaklarında ölçülmüştür. Kuyu başında bulunan basınç göstergesinde kuyubası basıncının 4,9 bar olduğu gözlenmiştir. Kuyu başından yaklaşık 10 m. mesafeden sonra herhangi bir gaz değerine rastlanmamıştır (TPAO, 2011).

Tüm bu çalışma süreci devam ederken Nisan 2011’de gaz kuyusu Isparta Valiliği tarafından sondaj yapılan kuyuya çimento enjekte etmek suretiyle

kapatılmıştır. Tarafımızdan Nisan 2012 ve Ağustos 2016’de gerçekleştirilen arazi çalışmalarında kuyu yakın çevresinde kuyunun faal olduğu dönemdeki kadar olmasa da kükürt kokusu algılanmıştır.

**4.3. Klimatik ve Meteorolojik Bulgular:** İnceleme alanına ilişkin genel iklimik özelliklerin tespiti için

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün (MGM) Burdur ve Isparta şehir merkezlerinde kurulu olan meteoroloji istasyonlarının uzun yıllar (1975-2009) rasat verilerinden yararlanılmıştır (MGM, 2011). Bu kapsamda iklim elemanları olan; sıcaklık, nem ve yağış (Tablo 4) basınç ve rüzgârlar, verileri değerlendirilmiştir.

**Tablo 4.** Isparta ve Burdur’a ait uzun yıllar, aylara göre sıcaklık ve yağış ortalamaları

**Table 4.** Isparta and Burdur’s monthly temperature and precipitation average for many years

AYLAR	OCA	ŞUB	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞS	EYL	EK	KAS	ARA	YILLIK	
ISPARTA	Sıcaklık °C	1,7	2,6	5,9	10,5	15,5	20,1	23,4	22,9	18,3	12,8	6,9	3	11,96
	Yağış (mm)	66	55,3	52,9	58,3	46,6	27,8	12,9	12,6	15,7	37,5	51,5	73,7	510,8
BURDUR	Sıcaklık °C	2,5	3,3	6,7	11,4	16,4	21,1	24,5	24	19,6	14,1	8,1	3,9	12,96
	Yağış (mm)	52,7	39	47,4	50,9	41,2	26,4	15,7	7,7	16,1	31	39,9	59,7	427,7

Gaz çıkış bölgesine ilişkin yerel iklim koşullarının belirlenebilmesi için Ayrıca Ağustos 2011 –Ağustos 2012 tarihleri arasında gaz çıkış bölgesine Dawis Wantage Vue Pro seyyar meteoroloji istasyonu kurularak meteorolojik

gözlemler yapılmıştır (Foto 3). Bu sayede gaz kuyusundan itibaren atmosferik dispersiyonun ne şekilde olabileceğine ilişkin rüzgar esiş sıklığı ve esiş yönleri gibi analizler yapılmıştır.



**Foto 3.** Otomatik meteoroloji istasyonu ve kuyunun son durumu.

**Photo 3.** Automatic meteorology station and last condition of the well.

Çalışma sahası yakınında bulunan Burdur ve Isparta meteoroloji istasyonlarının uzun yıllar boyunca kaydettikleri basınç değerleri incelendiğinde her iki istasyonun basınç değerlerinin bir birine paralel olduğu sonucuna ulaşılır (Tablo 5-6).

Burdur yıllık ortalama 905.75 (hPa) basınç değerine sahipken Isparta 901.66 (hPa) yıllık ortalama basınç değerine sahiptir. Tarafımızdan rasatı yapılan seyyar meteoroloji istasyonunun ölçtüğü basınç değeri ise yıllık ortalama 1016 mb olarak gerçekleşmiştir (Tablo 7). Böylece çalışma sahası ve yakın çevresinde kış aylarında

basınç değerlerinin diğer dönemlere göre nispeten yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun Atmosferik dispersiyon veya diğer bir değişle hava dağılımı ve

kirleticinin bölgeden uzaklaştırılması açısından bir sorun olabileceği söylenebilir.

**Tablo 5.** Burdur'a ait uzun yıllar ortalama yıllık hava basınç değerleri (MGM, 2011)

**Table 5.** Burdur's atmospheric pressure average for many years (MGM, 2011)

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
<b>Ortalama Basınç (hPa)</b>	907	905,6	905	904,2	905,2	904,9	903,3	904	906,5	908,3	908,3	907	905,75
<b>Maksimum Basınç (hPa)</b>	922	919,5	918	915,1	914	912	911,2	910,2	913,7	916,6	918,7	920	921,8
<b>Minimum Basınç (hPa)</b>	879	885,7	883	891	892,7	895,1	896,5	897,8	896,8	897,2	892,5	888	879

**Tablo 6.** Isparta'ya ait uzun yıllar ortalama yıllık hava basınç değerleri (MGM, 2011)

**Table 6.** Isparta's atmospheric pressure average for many years (MGM, 2011)

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
<b>Ortalama Basınç (hPa)</b>	903	901,4	900,6	900	901,1	900,7	899,2	900	902,5	904	904,3	903,2	901,65
<b>Maksimum Basınç (hPa)</b>	918	914,8	914,7	911	910,2	907,9	906,7	905,5	910,3	912	914,5	915,8	917,8
<b>Minimum Basınç (hPa)</b>	874	882,6	879,4	887,2	889,6	891,2	892,3	894,1	892,9	893	888,3	883,3	874,4

**Tablo 7.** Seyyar meteoroloji istasyonuna göre basınç değerleri

**Table 7.** Portable meteorology station's atmospheric pressure results

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	Ey	Ek	K	A	Yıllık
Otomatik İstasyon Basınç (bar)	1022	1026	1020	1014	1013	1010	1008	1007	1012	1018	1025	1025	1017

Çalışma sahasının doğusunda yer alan Isparta ve batısında yer alan Burdur Meteoroloji istasyonu verilerine bakıldığında; Isparta W (Batı) % 45 ve SE (Güneydoğu) % 22 sektörlü rüzgârların frekanslarının daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Çalışma sahasımızda etkili olabilecek mahalli rüzgâr sistemleri; yamaç rüzgârları, dağ ve vadi meltemleri şeklindedir.

Yamaç rüzgârları gündüz, fazla ısınan yamacın veya vadi tabanının üzerindeki hava yükselir. Bunu dengelemek üzere serbest atmosferdeki hava yamaca doğru alçalır. Gece ise yamaçlar üzerindeki hava soğuduğu ve ağırlaştığı için vadi tabanına doğru alçalarak oradaki nispeten sıcak serbest atmosfer havasını kovar. Bu çeşit rüzgârlar yatay istikamette ancak birkaç yüz metre kalınlıktaki bir tabakaya etki eder (Erinç, 1996). Yamaçlardan vadi tabanına doğru esen rüzgârlar neticesinde çalışma sahasında Yakaören gaz çıkış bölgesinde gaz birikimi olacaktır. Bu rüzgârlar çalışma sahasında özellikle sabaha

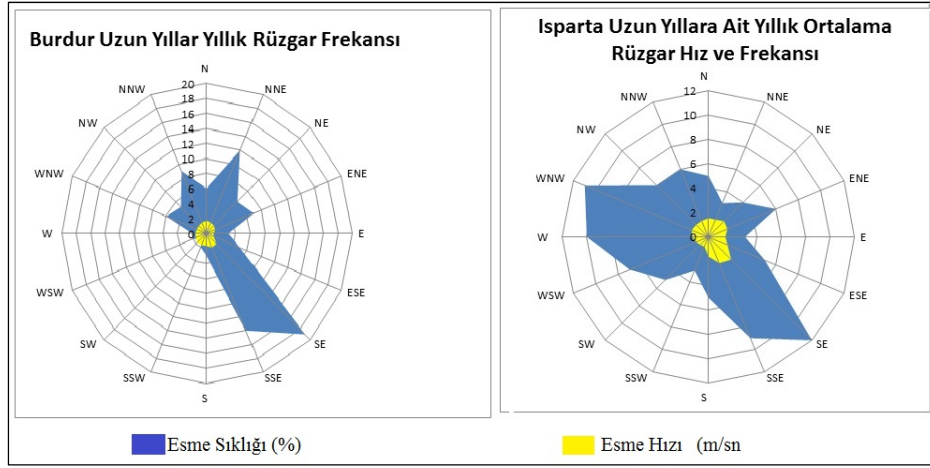
doğru yaşanmaktadır. Yamaç rüzgârları sonucu vadi tabanında hava yoğunlaşmaktadır. Gündüz saatleriyle birlikte, ısınan yamaçlara bağlı olarak, vadi tabanından çevreye doğru hava akımı meydana gelmektedir.

Çalışma sahasında etkili olan bir diğer rüzgâr şekli dağ ve vadi meltemleridir. Bu rüzgârların oluşumu şöyledir: Yan yana bulunan dağlar ile çukur yöreler günlük ısınım soğuma bakımından birbirlerine oranla farklı özellikler gösterirler. Gündüz ısınım genişleyen ve hafifleyen hava vadi içinde aşağıdan yukarıya, gece ise çevredeki platolarda soğuyup ağırlaşan hava vadi içinde yukarıdan aşağıya doğru hareket eder. Genellikle gündüzleri öğleden sonraları vadi tabanından yamaç yukarı rüzgârlar eser bu rüzgârlara vadi rüzgârları veya anabatik rüzgâr denilir. Geceleri sabaha karşı ise yamaçlarda ve yüksekçe platolarda soğuyan hava yamaçlardan alçalıp vadiye dolarak, dağdan ovaya doğru eser. Bunlara dağ rüzgârları veya katabatik rüzgârlar denir (Erol, 2004).



Çalışma sahasında esen rüzgârlar, hızları bakımından değerlendirildiğinde; 1-3 m/sn arasında ortalama hızın değiştiği sonucuna ulaşılmıştır. Isparta'da hakim rüzgâr yönleri bütün mevsimlerde benzerlik göstermektedir. Çalışma sahasının batısında yer alan Budur'da ise hakim

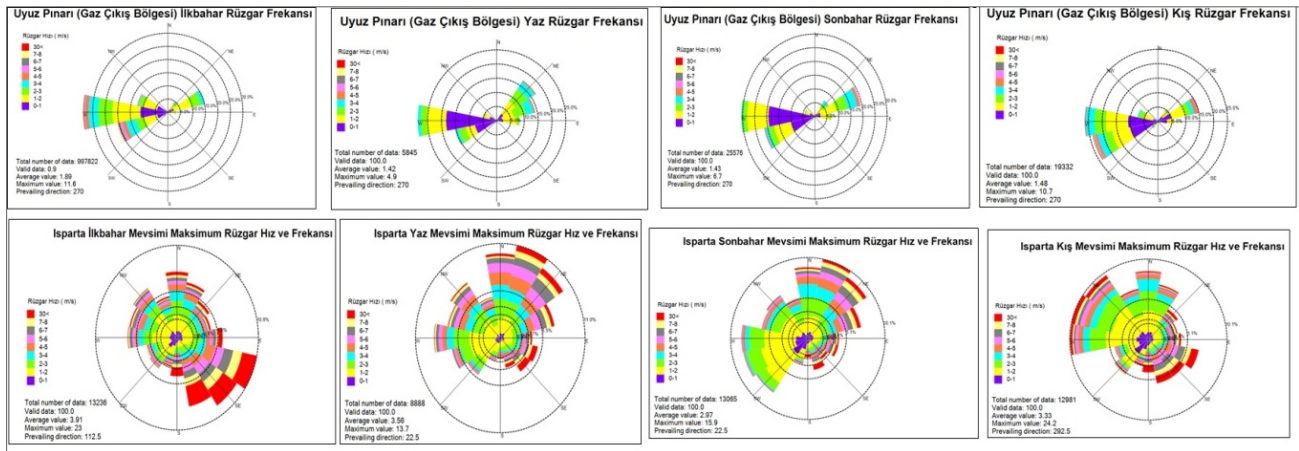
rüzgâr yönünün SSE (Güney Güneydoğu) ve SE (Güneydoğu) olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna karşılık Burdur rüzgâr hızı bakımından Isparta ile karşılaştırıldığında daha düşük 1-2 m/sn gibi ortalama bir değer göstermektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Burdur ve Isparta'nın yıllık rüzgâr hız ve frekans gülleri (veri kaynağı: MGM, 2011).  
Figure 8. Yearly wind rose of Burdur and Isparta (data source: MGM, 2011).

Gas çıkışı alanının yer aldığı Uyuz Pınarı Mevkii'nde ölçülen rüzgâr özelliklerine göre rüzgâr hakim yönü W (Batı), ardından WSW (Batı Güneybatı) şeklindedir. Rüzgâr frekans gülleri (Şekil 9) incelendiğinde en çok esen rüzgârların %50'nin W sektörlü olduğu yine yaklaşık % 20'sinin NE (Kuzeydoğu) ve E (Doğu) sektörlü olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu sonuçlar üzerinde topoğrafik etkiler olan vadinin uzanışı ve yamaç eğimlerinin etkisinin olduğu da söylenebilir. Gün içerisinde hava akımlarının genel seyrini tespit etmek amacıyla hem araziye kurulan istasyon hem de aynı dönemde Isparta meteoroloji istasyonuna ait rasat verilerinden rüzgâr hız ve frekans gülleri üretilmiştir. Uyuz Pınarı bölgesinde

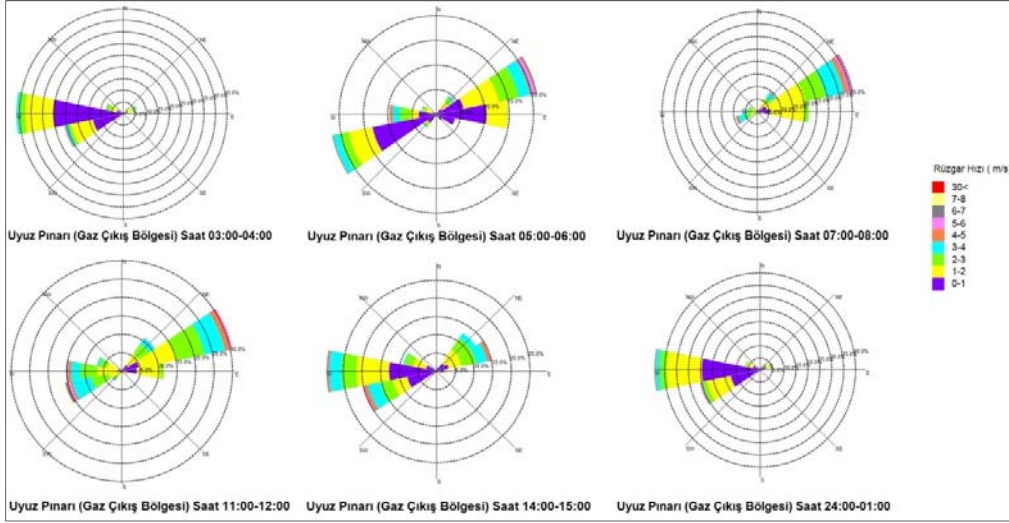
öğleden sonra saat 14:00'dan saat 04:00'a kadar günün önemli bir bölümünde hakim rüzgâr yönü W, WSW olarak karşımıza çıkmaktadır. Saat 04:00-06:00 arasında yamaçlardan vadiye doğru esen rüzgârlar; vadinin içerisinde hava yoğunluğunu arttırlar. Saat 07:00'dan 12:00'a kadar hakim rüzgâr yönü ENE (Doğu Kuzeydoğu) şeklinde olmaktadır ki bu da hava kirliliğinin başta yakaören ardından da Isparta şehir merkezine taşınması açısından önemlidir. 12:00'dan 14:00 'a kadar W ve WSW yön rüzgârı hakim rüzgâr özelliği kazanmaktadır. Uyuz Pınarında ortalama rüzgâr hızı 1-2 m/sn olurken, değerlerin W, WSW sektörde 11,6 m/sn hıza ulaşmakta olduğu gözlenir (Şekil 10).



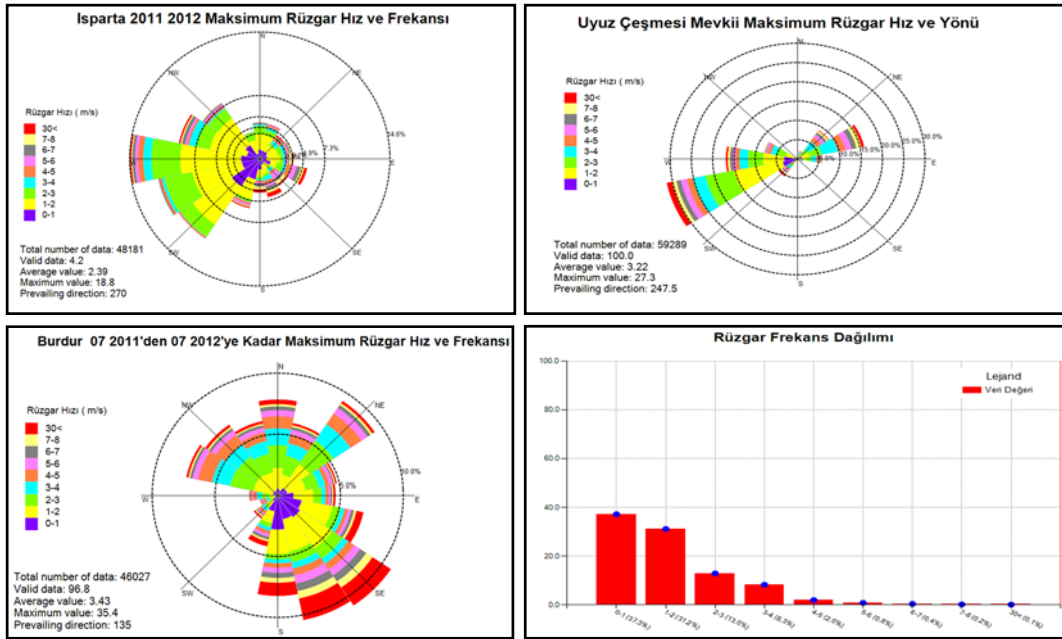
Şekil 9. Uyuz Pınarı Mevkii ve Isparta 1 yıllık gözleme dayanan mevsimlik rüzgâr hız ve frekans gülleri.  
Figure 9. Seasonal wind rose of Uyuz Pınarı and Isparta which are based a year observe.

Isparta 1 yıllık maksimum rüzgâr hız verileri incelendiğinde (Şekil 11) W sektöründe 18,8 m/sn rüzgâr hız değeri tespit edilmiştir. Maksimum rüzgâr verileri açısından Isparta'nın en fazla rüzgârı W sektörden aldığı da ortaya çıkan bir diğer sonuçtur. Benzer durum Uyuz Pınarı için de söz

konusudur. Bu kesimde maksimum rüzgâr hakim yönü WSW olmakta, ortalama maksimum rüzgâr hızı 3,22 m/sn ve en hızlı esen rüzgâr 27,3 m/sn olarak bu sektörde kaydedilmiştir.



Şekil 10. Gaz çıkış bölgesi saatlere göre ortalama rüzgar hız ve frekans gülleri.  
Figure 10. Hourly average wind speed and frequencies roses of gas out location.



Şekil 11. Isparta, Burdur, ve Gaz Çıkış Bölgesinin 2011 ve 2012 rüzgar hız ve frekansları.  
Figure 11. 2011 and 2012 wind roses of Isparta, Burdur and the gas flow out area.

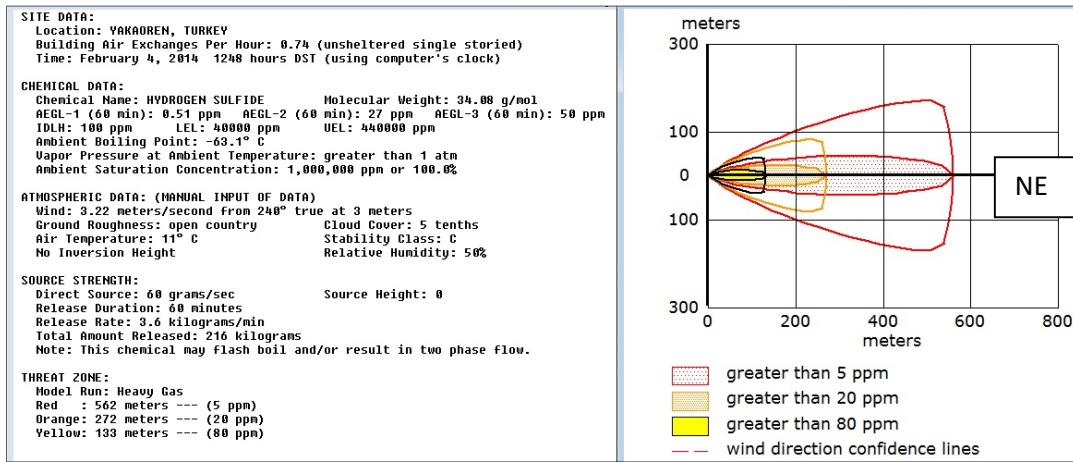
Isparta meteoroloji istasyonu verilerine göre hakim rüzgar batı olduğu görülmektedir. Gaz çıkış bölgesinin de

benzer özellikler taşıdığı ancak bu kesimde vadi yapısına bağlı olarak hakim rüzgar yönünün güneybatı olduğu görülmektedir.

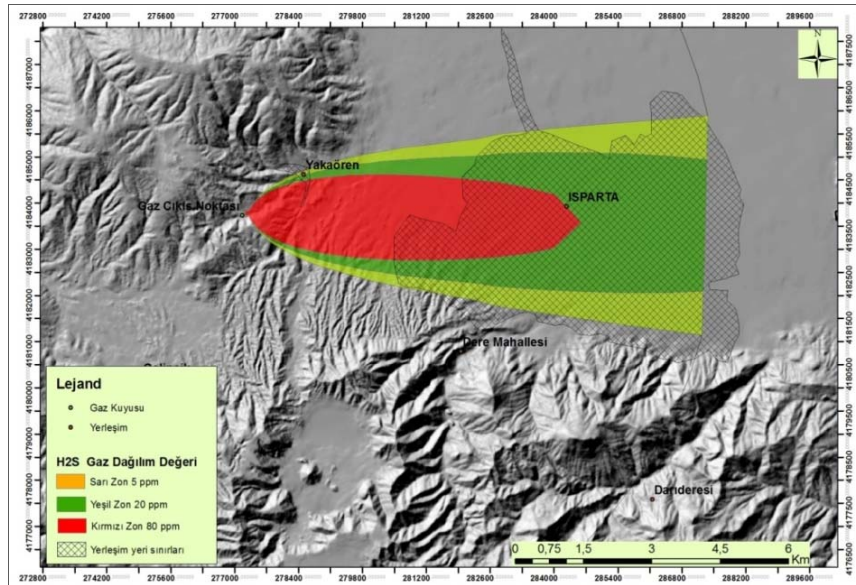
#### 4.4. Dispersiyon Modelleri

Çalışma kapsamında ALOHA 5.4.3. yazılım programı kullanılarak gaz dağılım modelleri yapılmıştır. Bu modellemede topoğrafik veriler kullanılamamaktadır. Ancak gaz çıkışının olduğu bölge vadi olduğundan rüzgâr hareketleri çoğunlukla vadi uzağı doğrultusuna oturduğundan, gaz dağılımı modelleri de vadi uzağı doğrultusuna uymaktadır. Ortalama olarak 11 °C civarında olan yıllık sıcaklık koşullarında H<sub>2</sub>S (Hidrojen Sülfür) gazının gaz kuyusundan çıkışının Temmuz 2008 verilerine göre 12 bar kuyu basıncıyla % 0.5 konsantrasyon değeri ve taşıdığı anda bir saatlik gaz çıkışı sonucu modellemiştir (Şekil 12).

Bu modellemede rüzgâr yönü esiş sıklığı ortalama değerlerinin yüksek olduğu olarak; 247.5° ve rüzgâr hızı 3.22 m/sn olarak düşünülmüştür. Zehirleyici olan H<sub>2</sub>S gazının tehlike sınırı 4,6 ppm'dir. Buna bağlı olarak H<sub>2</sub>S dağılımında 5 ppm ve üzeri 20 ppm üzeri ve 80 ppm üzeri olan noktaların tespiti yapılmaya çalışılmıştır. 2008 yılı verilerine göre kuyudan 500 metre yarıçaplı yerler için sınır değeri aşılmıştır (Şekil 8). Büyükkürt deresinde vadi uzağı doğrultusu dikkate alınmadan yapılan modellemede hareket yönü NE şeklindedir. Gaz kuyusundan 100 metre mesafedeki saha için tehlike değerleri çok yüksektir.



Şekil 12. Yıllık ortalama meteorolojik verilere ve 2008 yılı gaz ölçüm sonuçlarına göre H<sub>2</sub>S gazının dağılımı.  
Figure 12. Dispersion of H<sub>2</sub>S gas based yearly average of meteorological data and gas data of 2008.



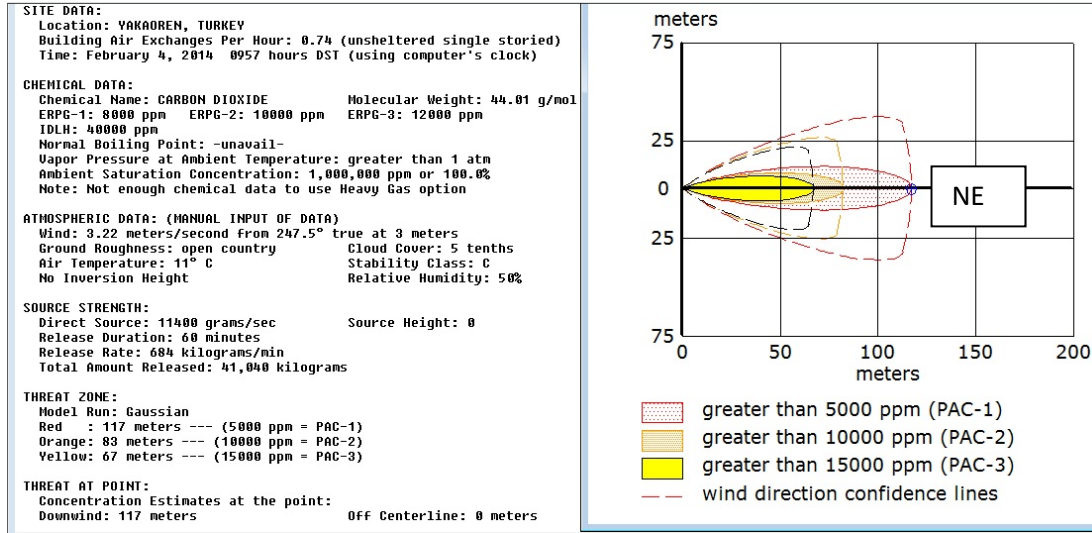
Şekil 13. H<sub>2</sub>S gazının 2008 ölçüm sonuçlarından 1000 kat artması durumunda günlük minimum rüzgâr hızı ve ortalama yöne göre dağılımı modeli.

Figure 13. H<sub>2</sub>S gas distribution model if, the gas increases 1000 times from the 2008 measurement results, with the minimum wind speed and average direction.

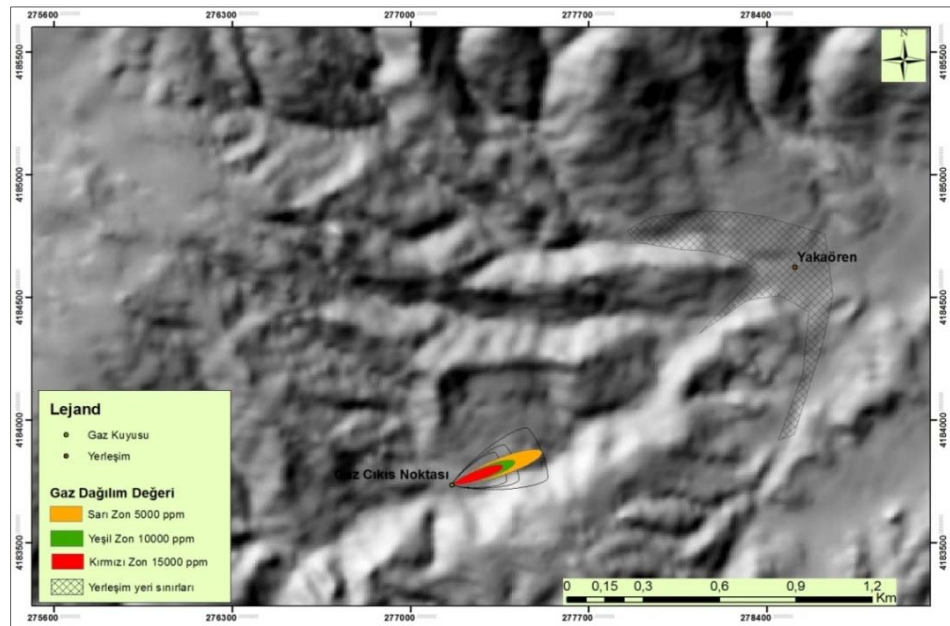


H<sub>2</sub>S gazının kuyudan çıkış miktarının 1000 kat artması durumunda günlük minimum rüzgâr hızı (1.16 m/sn) ve ortalama yön (270°) verilerine göre 5 ppm değerini kuyudan 9 km mesafeye kadar aşılacağı, kuyudan 5 km metre mesafe içerisinde 80 ppm değerinin aşılacağı ortaya çıkmıştır (Şekil 13). Bu durumda hareket yönü batıdan doğuya doğru olacaktır. CO<sub>2</sub>'nin tehlike sınırı 5000 ppm'dir. Yapılmış olan modelleme sonucunda kuyudan 120 metre yarıçapı uzaklığındaki bölgelerin tehdit altında olduğu saptanmıştır (Şekil 14). Bu modellemede rüzgâr yönü esiş sıklığı ortalama değerlerinin yüksek

olduğu yön olarak; 247.5° ve rüzgâr hızı 3.22 m/sn verileri kullanılmıştır. CO<sub>2</sub> gazının kuyudan çıkış miktarının 10 kat artması durumunda yıllık ortalama rüzgâr ve sıcaklık verilerine göre 5000 ppm değerinin kuyudan 500 m mesafeye kadar oluşacağı, 80 ppm ve üzeri CO<sub>2</sub> değerinin kuyudan 200 metre ve daha yakın mesafelerde aşılacağı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 15). Bu modelleme oluşturulurken; rüzgâr yönü esiş sıklığı ortalama değerlerinin yüksek olduğu yön olarak; 247.5° ve rüzgâr hızı 3.22 m/sn verilerinden yararlanılmıştır.



Şekil 14. Yıllık ortalama meteorolojik verilere göre ve 2008 yılı gaz ölçüm sonuçlarına göre CO<sub>2</sub> gazının dağılımı.  
Figure 14. CO<sub>2</sub> gas distribution according to yearly average meteorological data and 2008 gas measurement results.



Şekil 15. CO<sub>2</sub> gazının 2008 ölçüm sonuçlarından 10 misli artması halinde dispersiyon modeli  
Figure 15. The dispersion model in the case of CO<sub>2</sub> gas increased by 10 times from the 2008 measurement results.

## 5. RİSK ANALİZLERİ

Doğal afetle mücadelede; insanların tehlikeyi yorumlama biçimleri, zararı azaltma çabaları, serbest piyasanın hareket şekli gibi sosyal faktörler, hangi aşamaların gerçekleştiğini, hangilerinin gözden kaçırıldığını, gelecek afetlerde kayıpların kapsamını belirlemede kesin bir rol oynamaktadır. Çünkü bu toplumsal güçler şimdilerde afet uzmanlarının önceki düşüncelerinin aksine daha etkili görülmektedir. Fiziksel sitemlerde büyümeler, teknolojiye ilerlemeler ise yeterli olmamaktadır. Doğal afet risklerini, etkili bir şekilde ifade etme, azaltma temel sosyal değer olmalıdır (Mileti, 1999).

Bu çalışma kapsamında doğal afet riskini, tehlikenin boyutu ve özelliklerini ifade etme temel hedef olmuştur. Gaz çıkışı ve özellikleri, iklimik özellikler, jeomorfolojik özellikler, nüfus özellikleri gibi bir çok girdiyi risk analizinde değerlendirmek gerekmiştir. Gaz risk analizinde; gaz çıkışı, topoğrafik etkiler ve meteorolojik etkiler göz önünde bulundurularak dispersiyon (dağılım) modellemeleri yapılmıştır. Topoğrafyanın temel özelliklerinden olan yükselti faktörü ve kuyudan uzaklık mesafe analizleri sonucunda oluşturulan raster haritalar, birlikte değerlendirilerek ArcMap 10.1 yazılında Spatial Analyst uzantısında Raster Calculation'a tabi tutulmuştur.

Hücre veri tabanı katmanları çakıştırma sonucu, üzerine etkilerini temsil eden değer atamaları ile matematiksel işlemler yapmak suretiyle raster hesaplamalar gerçekleştirilir. Bu analizde; daha önce ilgili konulara ait derecelendirme veya tür tanımlama sınıflandırması yapılmış olan raster katmanlar, matematiksel çakıştırmaya katılırlar. Raster hesaplamalarda değer atamaları, analizde hesaba katılan faktörlerin etki ağırlıklarını temsil eder. Etkisizden en yüksek etki değeri aralığına kadar, değer ataması niteliğindeki etki tanımlaması için 1-10 arasındaki bir rakam verilir. Faktörler için belirlenen ağırlık değeri çarpanı her bir faktörün matematiksel formülasyonu ile birleştirilmesi esasına dayanır bir matematiksel uygulamayla analize katılır (Turoğlu, 2011 b).

Risk zonlaması yapılırken çalışma sahası genelinde yükselti 5 kademe olarak değerlendirilmiştir. Aynı şekilde kuyudan uzaklaştıkça 3'er km mesafede iç içe halkalar oluşturacak şekilde 5 kademe mesafe analizi raster oluşturulmuştur. Raster veriler oluşturulurken özellikle hücre yapılarının aynı özellikte olmasına özen gösterilmiştir. Yükselti ve mesafe kademeleri oluşturulurken özellikle H<sub>2</sub>S ve CO<sub>2</sub> gazlarının değişik miktarlardaki çıkış oranları ve hakim rüzgâr yönüne göre dağılımları yani dispersiyonları da göz önüne alınmıştır.

Yükseltinin düşük olduğu kesimlerde gaz birikimi olacağı düşünülmüş, yüksek kısımlarda ise rüzgârlara açık

olma bu sayede gazların daha çabuk dağılacığı göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre çalışma sahası yükselti zonları ve tehlike oranları şu şekilde oluşturulmuştur (Tablo 8).

**Tablo 8.** Yükseltiye göre tehlike zonları

**Table 8.** Hazard zones according to the elevation

Yükselti Zonu	Yükselti aralığı (metre)	Tehlike Zonu
1	920-1190	Çok Tehlikeli
2	1191-1460	Telikeli
3	1461-1730	Orta Tehlikeli
4	1731-2000	Az Tehlikeli
5	2001-2270	Çok Az Tehlikeli

Mesafe kademeleri gaz kuyusunu merkezde bırakacak iç içe halkalar oluşturacak şekilde 3 km, 6 km, 9 km, 13 km ve 17 km yarıçaplı halkalar oluşturacak şekilde düzenlenmiştir. Kuyuya yakınlığına göre mesafe zonları ve tehlike kademeleri Tablo 9'da gösterilmiştir.

**Tablo 9.** Kuyuya uzaklıklarına göre tehlike zonları

**Table 9.** Hazard zones according to the distance to the well

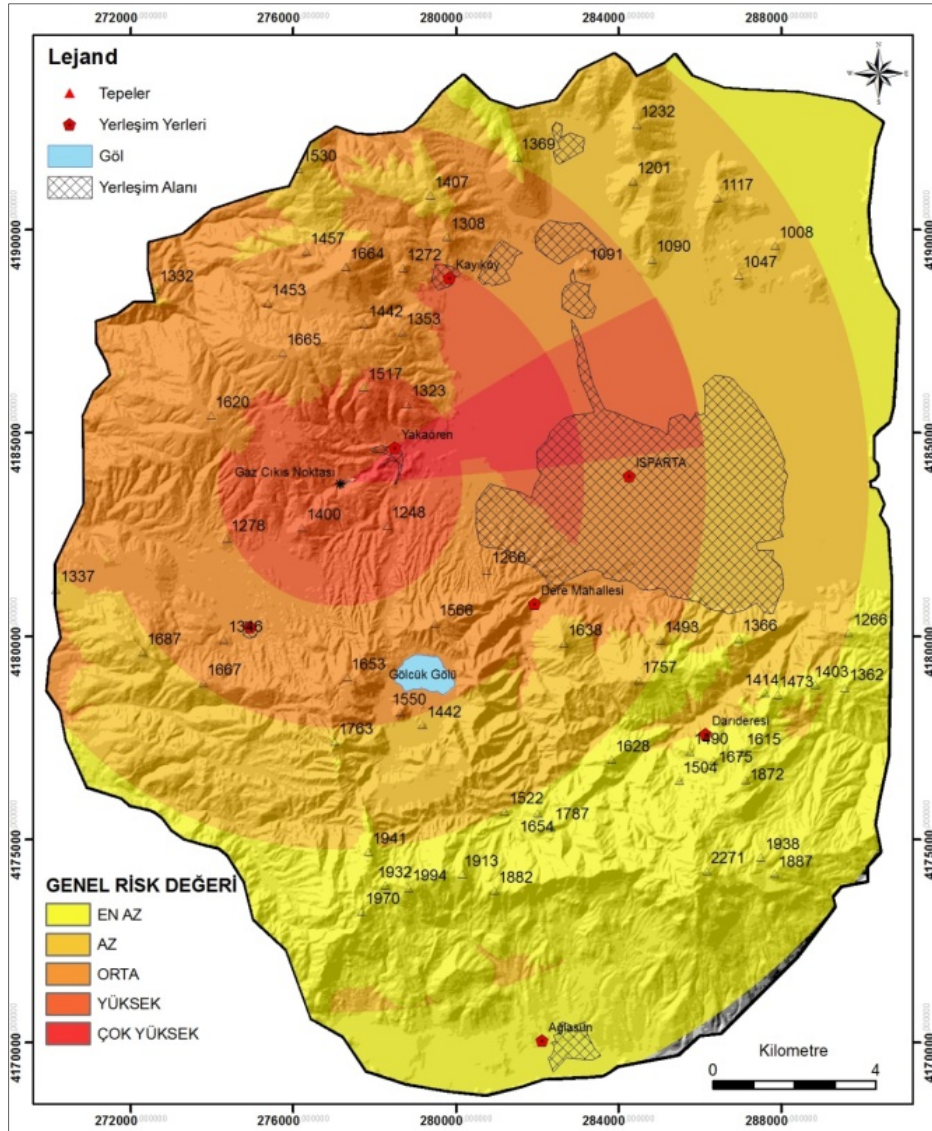
Uzaklık Zonu	Kuyuya Uzaklık (Km)	Tehlike Zonu
1	0-3	Çok Tehlikeli
2	3 - 6	Telikeli
3	6 - 9	Orta Tehlikeli
4	9-13	Az Tehlikeli
5	13-17	Çok Az Tehlikeli

Sayısal veri tabanı 1/25000 ölçekli topoğrafya haritası kullanılarak oluşturulmuştur. 1/25 000 ölçekli topoğrafya haritasında sayısal yükselti modeli üretilmiş, yükselti kademeleri 5 alt grup olacak şekilde tanımlanmıştır. Mesafe analizi için iç içe halkalar oluşturacak zonlar; Analysis uzantısındaki Proximity alt başlığındaki Multiple Ring Buffer aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen harita vektör veriden raster veriye dönüştürülmüştür.

Yükselti ve mesafe analizi sonucu oluşturulan 10x10 hücre bazlı raster verileri ArcMap 10.1 yazılım programındaki Spatial Analyst uzantısının Raster Calculator modülü kullanılarak yeni bir rastere dönüştürülmüştür. Bu yeni görüntü katmanı yükselti ve mesafe faktörünü bir arada sunacak şekildedir. Ayrıca hakim rüzgâr yönü etkisi de bu katman üzerine bindirilerek risk kademeleri oluşturulmuştur. Bu risk kademeleri beşeri

faktörlere bakılmaksızın sadece dispersiyon modelleri göz önünde bulundurularak; genel risk değeri 5 (beş) kademe olarak yorumlanmıştır. Bunlardan 1.'si en az etkilenecek saha, 2.'si az etkilenecek saha, 3.'sü

orta derecede etkilenecek saha, 4.'sü yüksek derecede etkilenecek saha, 5.'si çok yüksek derecede etkilenecek saha olarak nitelendirilmiştir (**Şekil 16**).



**Şekil 16.** Gaz Tehlike Analizi Haritası (uzaklık analizi, yükselti parametreleri ve yıllık ana rüzgâr yönü kullanılarak üretilmiştir). **Figure 16.** Gas Hazard Analysis Map (produced by using distance analysis, elevation parameters and yearly main wind direction).

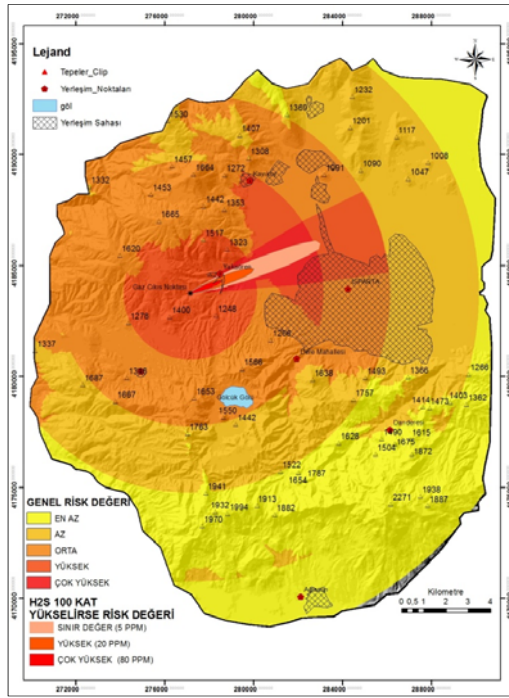
Buna göre Yakaören Köyü'nün tamamı çok yüksek derecede risk değerine sahiptir. Çünkü Yakaören Köyü gaz çıkışına son derece yakın bir mesafede bulunmakta ayrıca Yakaören yerleşim kurulduğu yer; gaz çıkışın olduğu vadinin Isparta Ovasına açıldığı bir konumda bulunmaktadır.

Isparta şehir merkezinin kuzey kesimleri ise yüksek ve orta yüksek risk zonu alanı içinde kalmaktadır. Gaz kuyusuna olan uzak mesafeye rağmen bu kesim özellikle

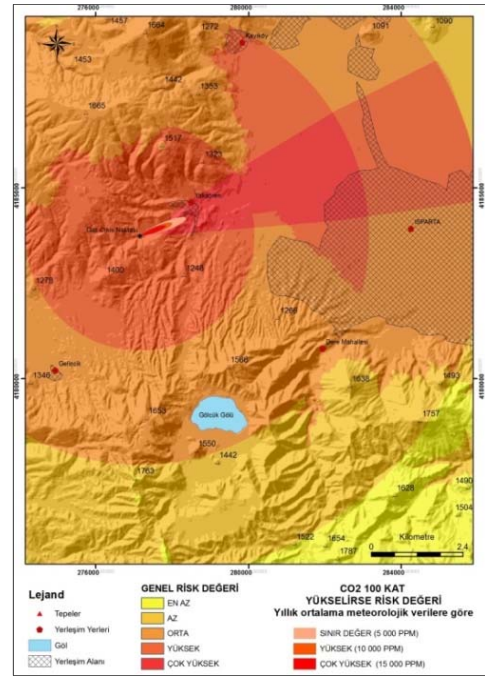
hakim rüzgâr yönüne bağlı olarak taşınabilecek gaz güzergahında yer almaktadır.

Çalışma kapsamında üretilmiş olan risk zonları haritası üzerine, ALOHA yazılımı kullanılarak üretilmiş olan H<sub>2</sub>S gazının 100 kat (**Şekil 17**) H<sub>2</sub>S gazının 1000 kat (**Şekil 18**), CO<sub>2</sub> gazının 100 kat (**Şekil 19**), CO<sub>2</sub>'nin 1000 kat (**Şekil 20**) yükselmesi koşulu göz önünde bulundurulmuştur. Buna ek olarak yıllık ortalama rüzgâr ve sıcaklık koşullarında oluşabilecek gaz miktar zonları verileri de işlenmiştir.

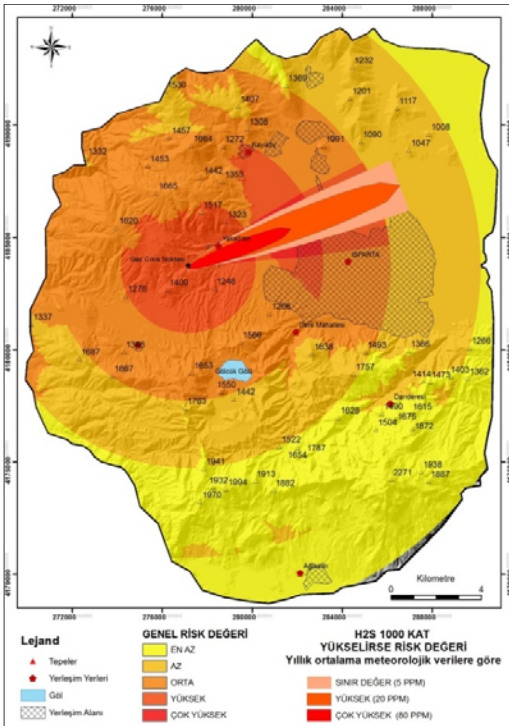




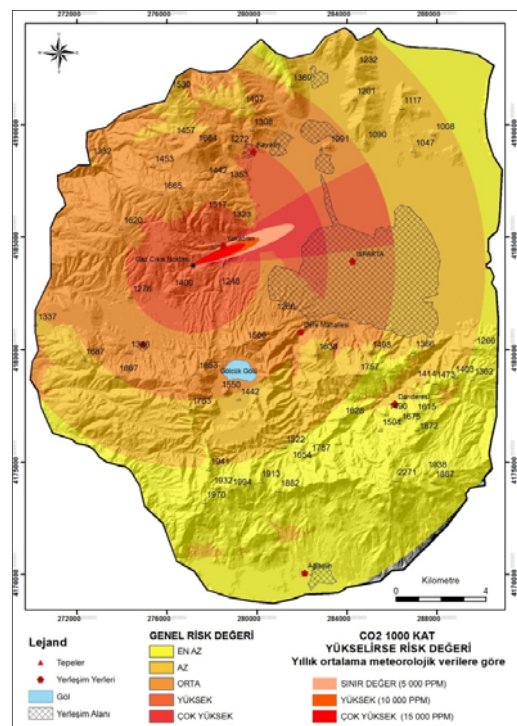
**Şekil 97.** Yıllık meteorolojik verilere göre H<sub>2</sub>S gazı değerinin 100 kat artması halinde risk değeri haritası.  
**Figure 17.** Risk value map if the H<sub>2</sub>S gas value increases by 100 times according to the annual meteorological data.



**Şekil 118.** Genel risk değeri ve yıllık meteorolojik verilere göre CO<sub>2</sub> gazı değerinin 100 kat artması halinde risk değeri haritası  
**Figure 18.** General risk value and the risk value map if the CO<sub>2</sub> gas value increases by 100 times according to the annual meteorological data.



**Şekil 109.** H<sub>2</sub>S gazı değerinin 1000 kat artması halinde risk değeri haritası.  
**Figure 19.** Risk value map if the H<sub>2</sub>S gas value increases by 1000 times



**Şekil 20.** CO<sub>2</sub> gazı değerinin 1000 kat artması halinde risk değeri haritası.  
**Figure 20.** Risk value map if the CO<sub>2</sub> gas value increases by 1000 times

Gaz miktarına göre beşeri özelliklerin etkilenme dereceleri değerlendirilerek Tablo 10'da verilmiştir. Mevcut şartlarda kuyuyu merkezde bırakacak şekilde yarıçapı 250 m olan bir daire alanı kadar bölgede çok yüksek risk söz konusudur.

H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> gaz çıkış oranlarının 1000 kat artması durumunda 10 km yarıçapında bir alan çok yüksek riskli alan statüsü kazanacaktır.

**Tablo 10.** Gaz çıkış miktarlarına göre beşeri ve ekonomik özelliklerin etkilenme dereceleri.  
**Table 10.** Grades of influences of gas output amounts on Human and economic characteristics.

Gaz ve Etki Alanı	Arazi Kullanımı	Nüfus	Tarım	Hayvancılık	Sanayi	Ulaşım	Sosyal ve Kültürel Varlıklar
<b>CO<sub>2</sub> gazı tehlikesi altındaki bölgeler 120 metre etki alanı</b>	Çalı ve Ot Formasyonu	-----	120 Metre Çapındaki Alan Tarıma Kapalı	120 Metre Çapındaki Alan Hayvancılığa Kapalı	-----	Yakaören Yayla Yolu	-----
<b>H<sub>2</sub>S gazı tehlikesi altındaki bölgeler 250 metre etki alanı</b>	Çalı ve Ot Formasyonu, Kültür Bitkileri, Mera Alanı	-----	250 Metre Çapındaki Alan Tarıma Kapalı	250Metre Çapındaki Alan Hayvancılığa Kapalı	-----	Yakaören Yayla Yolu	-----
<b>H<sub>2</sub>S 100 Kat Artarsa 3 km etki alanı çok yüksek risk</b>	Çalı ve Ot Formasyonu, Ağaç Formasyonu, Kültür Bitkileri, Mera Alanı	1,792	3 km Çapındaki Alan Tarıma Kapalı	3 km Çapındaki Alan Hayvancılığa Kapalı	Kismen	Isparta- Burdur Karayolu, Yakören- Isparta Karayolu	Yakaören Kamu Binaları ve Köy Ortak Kullanım Alanları
<b>H<sub>2</sub>S 1000 Kat Artarsa 10 km etki alanı çok yüksek risk</b>	Çalı ve Ot Formasyonu, Ağaç Formasyonu, Kültür Bitkileri, Mera Alanı, Yerleşim Alanı, Sanayi Alanı,	198,39	10 km Çapındaki Alan Tarıma Kapalı	10 km Çapındaki Alan Hayvancılığa Kapalı	Isparta Şehri Sanayi Pomza Ocakları	Isparta- Burdur, Yakören- Isparta, Gölcük-Isparta Karayolları	Isparta O Kamu Binaları ve Şehir Ortak Kullanım Alanları
<b>CO<sub>2</sub> 100 Kat Artarsa 1,2 km etki alanı çok yüksek risk</b>	Çalı ve Ot Formasyonu, Ağaç Formasyonu, Kültür Bitkileri, Mera Alanı, Yerleşim Alanı,	1,792	1,2 km Çapındaki Alan Tarıma Kapalı	1,2 km Çapındaki Alan Hayvancılığa Kapalı	-----	Yakaören-Yayla Karayolu	Yakaören Kamu Binaları ve Köy Ortak Kullanım Alanları Kismen
<b>CO<sub>2</sub> 1000 Kat Artarsa 6 km etki alanı çok yüksek risk</b>	Çalı ve Ot Formasyonu, Ağaç Formasyonu, Kültür Bitkileri, Mera Alanı, Yerleşim Alanı, Sanayi Alanı	70	6 km Çapındaki Alan Tarıma Kapalı	6 km Çapındaki Alan Hayvancılığa Kapalı	Pomza Ocakları	Isparta- Burdur, Yakören- Isparta, Gölcük-Isparta Karayolları	Isparta O Kamu Binaları ve Şehir Ortak Kullanım Alanları Kismen

## 6. TARTIŞMA

2008 yılında Yakaören Köyü yakınlarında açılan sondaj kuyusunda gaz basıncı ile yaşanan patlama ardından çevreye yayılan gazların içeriğinde fazla miktarlara ulaşması halinde zehirleyici etkisi olan CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gazlarının yüzeyletiği yapılan analizlerle ortaya çıkarılmıştır. Bu gazların çıkışının 2008 yılında başlamasına rağmen aynı gazların benzer miktarlarda 2010 yılı boyunca da çıktığı yapılan analizlerle anlaşılmıştır. 2012 yılında yapılan arazi çalışmasında herhangi bir ölçüm aracı kullanılmadığı halde gaz kokusunun arazide hissedilmesi, 2011 yılında kuyunun kapatılmış olmasına rağmen gaz çıkışının devam ettiğinin göstergesi olarak kabul edilmiştir.

Volkanik bölgelerde; Karbon Monoksit (CO), Klor, Flor, Baron ayrıca Subuharı (H<sub>2</sub>O) Kükürt (S) Kükürt Dioksit (SO<sub>2</sub>), Hidrojen Sülfür (H<sub>2</sub>S) Sülfür Dioksit (SO<sub>2</sub>), Hidrojen (H), Hidrojen Klörür (HCl) Hidrojen Florid (HF) ve Helyum (He) gibi gazlar yüzeyle salınabilir (Tablo 11). (Web 2)

**Tablo 11.** Volkanik alanlarda çıkabilen gazlar (Web 2)

**Table 11.** Gases flow out on volcanic lands (Web 2)

TEMEL GAZLAR		TOKSİT GAZLAR	
N	Azot	HCl	Hidroklörük Asit
H	Hidrojen	HF	Hidro Flörür
S	Sülfür	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sülfürük Asit
F	Flor	H <sub>2</sub> S	Hidrojen Sülfür
Ar	Argon		
CO	Karbon Monoksit		
Cl	Klor		
H <sub>2</sub> O (70-90%)	Su (Buhar)		
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit		
SO <sub>2</sub>	Sülfürdioksit		

### 6.1. H<sub>2</sub>S (Hidrojen sülfür)

Renksiz yanıcı, kötü hatta kötü kokulu, düşük bir miktarı dahi gözlere zarar verebilir. Bireyi depresif duruma sokabilir. Üst solunum yolunu tahriş eder. Uzun süreli solunumu akciğerlerde ödeme yol açar. 500 ppm'e kadar olan değerler baş ağrısı, baş dönmesi, telaş, sersemlik, ishal gibi olumsuzluklara yol açar. Hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) 4,6 ppm'e kadar kabul edilebilir. Üst sınır ortalama 10 dakika için 20 ppm'dir (Tablo 26). Havada 28 mg/m<sup>3</sup> 1000-2000 ppm arası basit bir nefeste sonra koma hali yaratır (Web 1 ; Jones ve Rymer, 2000).

### 6.2. CO<sub>2</sub> (Karbondioksit)

Yüksek konsantrasyonlarda olması insan ve hayvan ölümüne yol açabilen bir gazdır. Boğulmalara yol açan bir gaz örneğidir. Havadan ağır olduğundan alçak arazilere

doğru yönelir. Havada %30'dan fazla olması durumunda solunumu farkında olmadan hızlı bir şekilde ölümüne yol açar. Havada %5 CO<sub>2</sub> hızlı nefes almaya yol açar. Baş ağrısı, baş dönmesi, kusmaya yol açar. %10-15 olması kasları olumsuz etkiler. %20-30 konsantrasyonu bozar Kalifornia'da Long Valley Kaldera'sında ağaçların ölümüne yol açtığı da raporlanmıştır. 1988-1989 yılları arasında bu bölgede çok miktarda CO<sub>2</sub> tespit edilmiştir. Bu olay aynı zamanda deprem dalgasına denk gelmiş, gaz çıkışı civardaki bitki örtüsünün ölümüne yol açmıştır (Web 3). Kış mevsiminde kar CO<sub>2</sub>'nin kaçışını ve kaybolmasını engellemektedir. Böylece CO<sub>2</sub> oranı yükselir. CO<sub>2</sub> için ortalama 8 saat için 5000 ppm sınır kabul edilebilir. Havada 9000mg/m<sup>3</sup> kabul edilebilir değerdir (Jones ve Rymer, 2000).

Tarihi dönemlerde SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> Karbonik asit, H<sub>2</sub>S gazları ölümlere sebep olmuştur. 1794'te Vezüv (İtalya) yaklaşık 400 kişi volkanik patlamayla ölmüşken. Birçok kişi CO<sub>2</sub> gazıyla ölmüştür. Yine 1872, 1873'te gazdan dolayı ölen çok sayıda insan olmuştur. 1650'de İtalya'da Etna patlamasıyla 40 kişi yaşamını yitirmiş bunlardan bazıları sülfür den dolayı hayatlarını kaybetmişlerdir. Afrika'da 1984'te Oku Volkanik arazisinde, 37 kişi CO<sub>2</sub>'den hayatını kaybetmiştir. Ağustos, 1986'da 1,700 kişi büyük miktarda CO<sub>2</sub>'nin Nyos gölünden çıkmasıyla ölmüştür. En az 300 kişi de hastaneye kaldırılmıştır. Endonezya'nın Java adasında Dieng Platosunda, Şubat 1979'da, 149 kişi zehirli gazlardan hayatını kaybetmiştir. Santa Maria, Guatemala'da Ekim 1902'deki patlama 1,500 kişiyi öldürmüştür. 350 kişi ölümcül dumandan yaşamını yitirmiştir. Los Carran Venados, Chile'de 1955'te 2 kişi gazdan zehirlenmiştir. Volkanik gazlar Havaide ölümüne yol açmamıştır; fakat akciğerlerde, bağışıklık sistemlerinde büyük hasar bırakmıştır. Bu durum özellikle çocuklarda astım gibi hastalıklara yol açmıştır (Siebert ve Simkin, 1994, Web 4).

İtalya'da Roma yakınlardaki Colli Albani Volkanının yüksek orandaki havadan daha ağır olan CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S salınımı birçok hayvan ve bir insanın ölümüne neden olmuştur. Yapılan araştırmada yerden 75 cm yükseklikte otomatik kayıt yapan iki ölçüm istasyonu kurulmuştur. Ayrıca rüzgâr hız ve yönü, basınç, sıcaklık, yağış ve nem ölçülmüştür. Rüzgâr hızının 1.5 m/s'den düşük olduğu dönemlerde yüksek CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S değerleri kaydedilmiştir (Carapezza vd., 2003).

Rüzgârın Hava kirliliğini ve dağılışı üzerindeki etkisi iki yolla olur. I. Yol karışma, II. Yol taşımadır. Rüzgâr hızları kirliliğin hafifletilmesinde önemli bir rol oynar. Çok büyük tutarda kirlenici havaya karıştığında, rüzgâr hızları, kirliliğin çevredeki havayla ve kaynak bölgesinden ne kadar hızla uzaklaşabileceğini belirler Taşıma kirlenici madde ve gazların rüzgâr hareketiyle kaynağından çevreye hatta



uzak bölgeye taşınmasıdır. Taşınma kirleticinin uzaklaştırılmasını sağladığı için kaynak bölgesine yararlı olabilmesine karşın, kaynak bölgesinden taşınan kirleticinin etki alanında kalan uzak bölgelerde önemli bir sorun olabilir (Türkeş, 2010)

Çalışma sahasında Büyükkükürt Vadisi'nde GB'dan esen rüzgar vadi içinde; yoğun gaz çıkışının olduğu dönemlerde gazın başta Yakaören Köyü olmak üzere ardından da Isparta şehir merkezine taşınmasını kolaylaştırmaktadır, zira vadi uzanış doğrultusu ile entegre rüzgar esme yönü sıklığı oluşmaktadır.

## 7. SONUÇ

Sondaj ile açılan kuyudan çevreye yayılan gazın özellikle Yakaören Köyü için tehdit oluşturduğu, büyük bir gaz çıkışı ile Isparta şehir merkezinin özellikle kuzey kesimlerinin etkilenebileceği, meteorolojik gözlem sonuçları kullanılarak yapılmış olan gaz dispersiyon analizleri ile anlaşılmıştır. Kuyu yakın çevresinde gaz sızıntısının hayvanlara zarar verdiği gözlenmiştir. CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gazlarının çıkış miktarlarının artması halinde bu gazların kalabalık nüfuslu yerleşim yerleri, tarım alanları ve doğal bitki örtüsü sahalarına yayılacağı, çoklu insan ve hayvan ölümlerine neden olabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır. Ayrıca bölgedeki insani faaliyetler ile bitki yaşamı üzerinde olumsuz sonuçlar oluşturacağı ortaya çıkmıştır.

Yapılmış olan sondaj çalışması ile yaşanan gaz çıkışı düşünüldüğünde bölgede bu tip çalışmaların özel izin ve özel tedbirlerle yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Zira yaşanmış olan bu olay sonucu bölge halkında ciddi sağlık endişeleri ve moral bozuklukları yaşanmıştır. Yakaören'deki gaz çıkışına bağlı olarak kuyu çevresinde düzenli ve sık olarak gaz ölçümleri yapılmalı, gaz ölçüm istasyonları kurulmalı ölçüm sonuçları kaydedilmelidir.

Kuyu yakın çevresinde yapılaşmaya ve arazi kullanımına müsaade edilmemelidir. Kuyunun kapatılma işlemi tekrar gözden geçirilmeli ve yöre halkı için bilgilendirme ve acil eylem planları hazırlanmalıdır. Gölcük Volkanı için gözlem volkanik aktivite gözlem çalışmaları başlatılmalıdır. TPAO uzmanları raporlarında (2008) kuyunun mutlaka uzman bir uluslararası bir kuruluş tarafından danışmanlık alınarak kapatılması gerektiği görüşünü ifade etmişlerdir. Ayrıca CO<sub>2</sub>'nin boğucu gaz özelliğinde olmasının sıkıntılar yaratabileceğini belirtmişlerdir. CO<sub>2</sub>'nin vadi içinde yayıldığında düşük kotlu çukur yerlerde birikerek buradaki canlıların nefes almasını engelleyeceği, gerekli bilgilendirme ve tedbirlerin alınması gerektiğini vurgulamışlardır. En yakın yerleşim birimi olan Yakaören Köyü'nde yaşayanların hayati tehlikesi halen söz konusu olmadığını; fakat kuyu başında

yapılacak tüm çalışmalarda sürekli ölçüm yapılması ve çalışanların solunum maskesi (SCBA) kullanmaları hayati önem taşımakta olduğunu da belirtmişlerdir.

Yapılan risk analizi modellemelerine göre; H<sub>2</sub>S gazının 100 kat yükselmesi sonucunda Yakaören köyünün özellikle merkez kısmının 1. Derecede çok yüksek risk altında olduğu Isparta şehir merkezinin kuzeydoğu mahallelerinin de sınır değerler olan 5000 ppm ve üzeri H<sub>2</sub>S değerine ulaşacağı sonucuna varılmıştır.

H<sub>2</sub>S gazının 2008 yılı verilerinden 1000 kat daha fazla yükselmesi ise tehlikenin boyutlarının aşırı artması anlamına gelmektedir. Bunun sonucunda risk oldukça yükselecektir. Yakaören'in tamamı ve Isparta Şehir merkezinin kuzey kesiminin tamamı yüksek riskli bölge durumunda olacaktır.

CO<sub>2</sub> ağır bir gaz olduğundan özellikle dağ meltemi veya aşırı durgun hava neticesinde vadi içinde birikimden sonra yüksek hızlı rüzgârla daha uzun mesafelerde hareket edebilir ve özellikle vadi çıkış noktasında bulunan Yakaören için beklenmeyen sonuçlar ortaya çıkarabilir.

Yıllık ortalama meteorolojik verilere göre 11 °C sıcaklıkta 247.5' den 3.22 m/sn rüzgâr hızına bağlı olarak veri girişi yapıldığında ve CO<sub>2</sub>'nin kuyudan % 95 konsantrasyonla çıktığı düşünülürse özellikle NE yönünde kuyudan 120 metre mesafedeki yerlerden itibaren 5000 ppm değerinin aşıldığı özellikle kuyudan 70 metre mesafe ve daha yakın noktalarda 15000 ppm değerinin aşıldığı görülmüştür. CO<sub>2</sub> gazının 2008 ve 2010 ölçümlerine göre 100 ve 1000 kat artması durumunda sınır değer olan 5000 ppm 1 km yarıçaplı saha içerisinde aşılabacaktır. Özellikle Yakaören için önemli bir tehlike meydana gelecektir. CO<sub>2</sub>'nin durgun yani rüzgârın olmadığı veya çok az olduğu dönemlerde havadan daha ağır olması nedeniyle alçak arazide birikme ihtimali bulunmaktadır. Bundan dolayı kuyudan çıkan gaz değerinde herhangi bir artış olmasa dahi birikmeden dolayı yüksek gaz değerler birikimden dolayı yakalanabilir ve ani rüzgârlarla dağılarak ve istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir.

Gaz çıkışının olduğu bölgenin jeomorfolojik olarak genç bir vadi olması hava akımını etkilemekte ve gazın yarattığı atmosferik kirlenmenin en başta Yakaören Köyü olmak üzere ardından Isparta şehir merkezine ulaşmasına neden olmaktadır. Vadi içinde bazı saatlerde yamaçlardan vadi içine doğru rüzgâr hareketlerinin bulunması veya durguna yakın hava koşullarının hüküm sürmesiyle zehirli gaz birikimi kolaylaşmaktadır. Vadi uzanış hattına bağlı olarak çogunlukla D yönüne veya KD yönüne doğru olan hava hareketi ile vadi içinde birikmiş olan gaz vadinin Isparta ovasına açıldığı bölgede bulunan Yakaören için önemli bir tehlike oluşturmaktadır. Burada üzerinde durulması

gereken bir diğer husus da yörede hava akımlarının yani rüzgar esşi hızının genellikle 3 m/sn'nin altında yani düşük olmasıdır. Bu durumda gaz çıkışının az olduğu dönemlerde dahi vadi içinde gaz yoğunluğu artabilir. Böylelikle vadi içinde hava akımının gerçekleşmesi ile özellikle vadinin ovaya açılma sahasında kurulmuş olan Yakaören Köyü halkı için riski arttırabilir. Maksimum rüzgâr yönü ve ortalama rüzgâr yönü B sektörde kaydedilmesi, kirletici kaynaktan çıkan unsurların yerleşim yeri üzerine taşınmasının sıradan bir durum olabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

## KAYNAKÇA

- Alkış, Z. (1996). Yönetimlerde karar destek sistemi olarak Coğrafi Bilgi Sistemlerinin önemi. *CBS Sempozyumu, Bildiri Kitabı*, (s. 71-75). İstanbul.
- Atalay, İ. (2010). *Uygulamalı Klimatoloji*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Avcı, M. (1996). Göller Yöresi Batı Kesiminde İklim ve Bitki Örtüsü Arasındaki İlişkiler. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi 4*, 143-215.
- Blong, R. (1996). Volcanic Hazards Risk Assessment. *Monitoring and Mitigation Volcano Hazards Scarpa/Tiling (eds)* (s. 675). içinde Berlin Heidelberg: Springer- Verlag.
- Brunn, J. (1976). L'arc concave zagro-taurique et les arcs convexes taurique et egeen: collision et induits ,. *Bulletin Society Geol. France, (7) XVIII, No 2*, 553-567.
- Canpolat, E. (2014). *Gölcük (Isparta) Volkanizması ve Volkanik Gaz Risk Analizi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınlanmamış Doktora Tezi.
- Carapezza, M., Badalamenti, B., Cavarra, L., & Scalzo, A. (2003). Gas hazard assessment in a densely inhabited area of Colli Albani Volcano (Cava dei Selci, Roma). *Journal of Volcanology and Geothermal Research 123*, 81-94.
- Çoban, H. (15-18 June 2005). New geochronologic and isotopic constraints on the evolution of Plio-Quaternary alkaline volcanism from Isparta District SW Turkey. *International Symposium on The Geodynamics of Eastern Mediterranean: Active Tectonics Of the Aegean Region*. Kadir Has University İstanbul, Turkey, 253.
- MGM, (2011). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü Klimatoloji Kayıtları*. Ankara.
- Elitok, Ö., Özgür, N., & Yılmaz, K. (2008). *Gölcük Volkanizmasının (Isparta) Jeolojik Evrimi, GB Türkiye*. Isparta: TÜBİTAK.
- Erinç, S. (1996). *Klimatoloji ve Metodları*. İstanbul: Alfa Basın Yayım Dağıtım.
- Erol, O. (2004). *Genel Klimatoloji*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Good Practise Guide for Atmosphere Dispersion Modelling. (2004). Wellington, New Zealand: Prepared by the National Institute of Water and Atmospheric Research, Aurora Pacific Limited and Earth Tech Incorporated for the Ministry for the Environment.
- Jones, G., & Rymer, H. (2000). *Hazards of Volcanic gases*. San Diego: Ansiclopedia of Volcanoes.
- Kazancı, N., & Karaman, M. E. (1988). Gölcük (Isparta) Pliosen Volkaniklastik İstifinin Sedimantolojik Özellikleri. *Akdeniz Üniv. Isparta Müh. Fakültesi 5. Müh. Haftası, Bildiri Özleri Kitabı*, (s. 32). Isparta.
- Lefevre, C., Bellon, M., & Poisson, A. (1983). Leucitites Dans le Volcanisme Pliocene de La Region d'Isparta, Taurides Occidentales, Turquie. *C.R. Acad. Sc*, 95-149.
- Mileti, D. (1999). *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Washington DC.: Joseph Henry Press.
- Özgüner, A. M. (1980). *Keçiborlu ve Burdur Gölü Civarı Yeni Kükürt Zuhurları Prospeksiyon ve Etütleri Ön Raporu No:1979 II/03.2.03.01.01*. Ankara: Maden Tetkik Arama Enstitüsü.
- Özgür, N., Yağmurluoğlu, F., Ertunç, A., Karagüzel, R., Görmüş, M., Elitok, Ö., . . . Çoban, H. (2008). *Assesments Of Tectonics And Volcanic Hazards In The Area Of Isparta Around Gölcük Volcano*. Ankara: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Proje No: 104y213.
- Platevoet, B., Scaillet, S., Guillou, H., Blamart, D., Nomade, S., Massault, M., . . . Yılmaz, K. (2008). Pleistocene Eruptive Chronology Of The Gölcük Volcano, Isparta Angle, Turkey. *Quaternaire, 19, 2*, 147-156.
- Platevoet, B., Scaillet, S., Guillou, H., Nomade, S., D., B., Poisson, A., . . . Yağmurlu, F. (2007). Pleistocene explosive activity of the Gölcük volcano, Isparta Angle, Turkey. *Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 02806*.
- Platevoet, B., Scaillet, S., Guillou, H., Nomade, S., Blamart, D., Poisson, A., . . . Yılmaz, K. (November, 2006). Recent plinian and phreato-plinian activity of Gölcük volcano, Isparta Angle, Turkey. *Communication to the French Geological Society: Tephros and Quaternary Sequences Symposium*.
- Siebert, L., & Simkin, T. (1994). *Volcanoes Of The World*. Tucson, Arizona: Geoscience Press.
- Şen, P., Temel, A., Şen, E., Gourgaud, A., & Kieffer, G. (2008). Gölcük Volkanizmasının (Isparta-GB

- Türkiye) Kökeni: Manto Ksenolitlerinden Kanıtlar. 61. Türkiye Jeoloji Kurultayı. Ankara.
- Şenel, M. (1997). *Türkiye Jeoloji Haritaları Isparta j10-J11 Paftaları No:13-14*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Şengör, A. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Konferanslar Dizisi S. 2*, (s. 40).
- Turoğlu, H. (2011 a). *Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları*. İstanbul: Çantay Kitapevi.
- Turoğlu, H. (2011 b). *Buzullar ve Buzul Jeomorfolojisi*. İstanbul: Çantay Kitapevi.
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve Meteoroloji*. İstanbul: Kriter Yayınevi.
- UNDRO. (1979). *Natural Disasters and Vulnerability Analysis, in Report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979)*. Geneva: UNDRO (United Nations Disaster Relief Coordinator).
- USGS. (2009, 02 02). [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov). Ocak 10, 2014 tarihinde <http://volcanoes.usgs.gov/about/hazard/gas/index.php>. adresinden alındı
- Vehaert, G., Thon, D., Vandycke, S. S., & Muchez, P. (2006). Different stress states in the Burdur-Isparta region (SW Turkey) since Late Miocene times; a reflection of transient stress regime. *Journal of Structural Geology* 28, 1067-1083.
- Yalçınkaya, S. (1986, Şubat). Batı Toroların Jeoloji Raporu. Ankara: M.T.A. Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı .
- Yalçınkaya, S. (1989, Haziran). Isparta-Ağlasun (Burdur) Dolaylarının Jeolojisi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktoza Tezi (Yayınlanmamış).
- Web 1., (1999). EPA (Environmental Protection Agency) <http://www.epa.gov>. Kasım 20, 2013 tarihinde [http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersion\\_pref\\_rec.htm#aermod](http://www.epa.gov/ttn/scram/dispersion_pref_rec.htm#aermod). adresinden alınmıştır.
- Web 2., (2014) Sandiego State University, <http://sci.sdsu.edu/geology/.02,24,2014> tarihinde [http://www.geology.sdsu.edu/how\\_volcanoes\\_work/Volcanic\\_gases.html](http://www.geology.sdsu.edu/how_volcanoes_work/Volcanic_gases.html) adresinden alınmıştır.
- Web 3., (2009). USGS (United States Geological Survey) [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov). Ocak 10, 2014 tarihinde <http://volcanoes.usgs.gov/about/hazard/gas/index.php>. adresinden alınmıştır.
- Web 4., (2013). Oregonstate University <http://volcano.oregonstate.edu/book/export/html/151>. 30 Aralık 2013 tarihinde <http://volcano.oregonstate.edu/book/export/html/151> adresinden alınmıştır.
- Web 5., (2017) Kandilli Rasathanesi Deprem Sorgulama Sistemi, <http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqdb/> adresinden 01.06.2017 tarihinde alınmıştır.