



# M D A G



M U L T I D I S C I P L I N A R Y  
A P P R O A C H E S W I T H G E O G R A P H Y

Başvuru 18.03.2026 Received | Kabul 29.03.2026 Accepted

E-ISSN: 2980-1141/<https://www.mdag.com.tr>

Cilt: 4, Sayı: 1 (2026), ss. 13-37.

Doi: <https://doi.org/10.29329/mdag.2026.1426.2>

### Atf Bilgisi/Reference Information

Gürkan Çelik-Batuhan Batmazoğlu-Hüseyin Kurtulmuş, "Pamukkale Travertenleri İçin Sürdürülebilirlik Arayışı", *Multidisipliner Yaklaşımlarla Coğrafya*, 4 (1), Mart/2026, 13-37.

## PAMUKKALE TRAVERTENLERİ İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ARAYIŞI

### SEEKING SUSTAINABILITY FOR PAMUKKALE TRAVERTINES

**Gürkan ÇELİK**

(MEB Nalan Mustafa Kaynak Bil ve San. Mer. E-mail: [clkgrkn82@gmail.com](mailto:clkgrkn82@gmail.com) Orcid ID: 0000-0002-5992-8095)

**Batuhan BATMAZOĞLU**

(MEB, Eğitim, E-mail: [batuhanbatmazoglu95@gmail.com](mailto:batuhanbatmazoglu95@gmail.com) Orcid ID: 0009-0004-0850-2360)

**Hüseyin KURTULMUŞ**

(MEB, Eğitim, E-mail: [hukurtulmus@gmail.com](mailto:hukurtulmus@gmail.com) Orcid ID: 0009-0007-7955-9374)

### ÖZET

Bu çalışma, Pamukkale ve çevresindeki jeotermal su kaynaklarını tehdit eden faktörleri ve bu kaynakların varlığıyla oluşan Pamukkale travertenlerinin sürdürülebilirliğini bilimsel bir çerçevede analiz etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda hem iklim değişiklikleri gibi doğal etkenler hem de altyapı eksiklikleri, tarımsal ve turizm faaliyetleri gibi insan kaynaklı faktörler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışma nitel araştırma modeli kapsamında yürütülmüştür. Araştırma verileri; bölgeyi uzun yıllar gözlemleme imkânı bulmuş konuyla ilgili teknik ve idari süreçlerde görev almış/almakta olan toplam 9 katılımcıdan, yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla elde edilmiştir. Ayrıca konunun daha detaylı bir şekilde irdelenmesi amacıyla, resmî kurumlardan elde edilen belgeler, sayısal veriler ve raporlar analiz edilmiştir. Bulgular, Pamukkale travertenlerini besleyen termal su kaynaklarındaki azalmanın sadece iklim değişikliğiyle açıklanamayacağını, insan kaynaklı faaliyetlerin, bu sorunun ortaya çıkmasında baskın bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Pamukkale ve çevresindeki jeotermal kaynakların korunması dolayısıyla Pamukkale travertenlerinin sürdürülebilirliği için termal-sağlık turizm tesislerinde reenjeksiyon sisteminin zorunlu tutulması, tarımsal ve turizm faaliyetleri kapsamındaki kaçak sondaj kuyuları ile kontrolsüz su kullanım faaliyetlerinin sonlandırılması, bölgedeki termal işletmelerde, evlerde ısıtma için doğalgaz altyapısının oluşturulması, su yönetim politikalarının revize edilmesi, bölge çalışanlarına ve yerel halka yönelik 'jeotermal su okuryazarlığı' eğitim programlarının ivedilikle hayata geçirilmesinin önemini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Jeotermal kaynaklar, Pamukkale Travertenleri.

## ABSTRACT

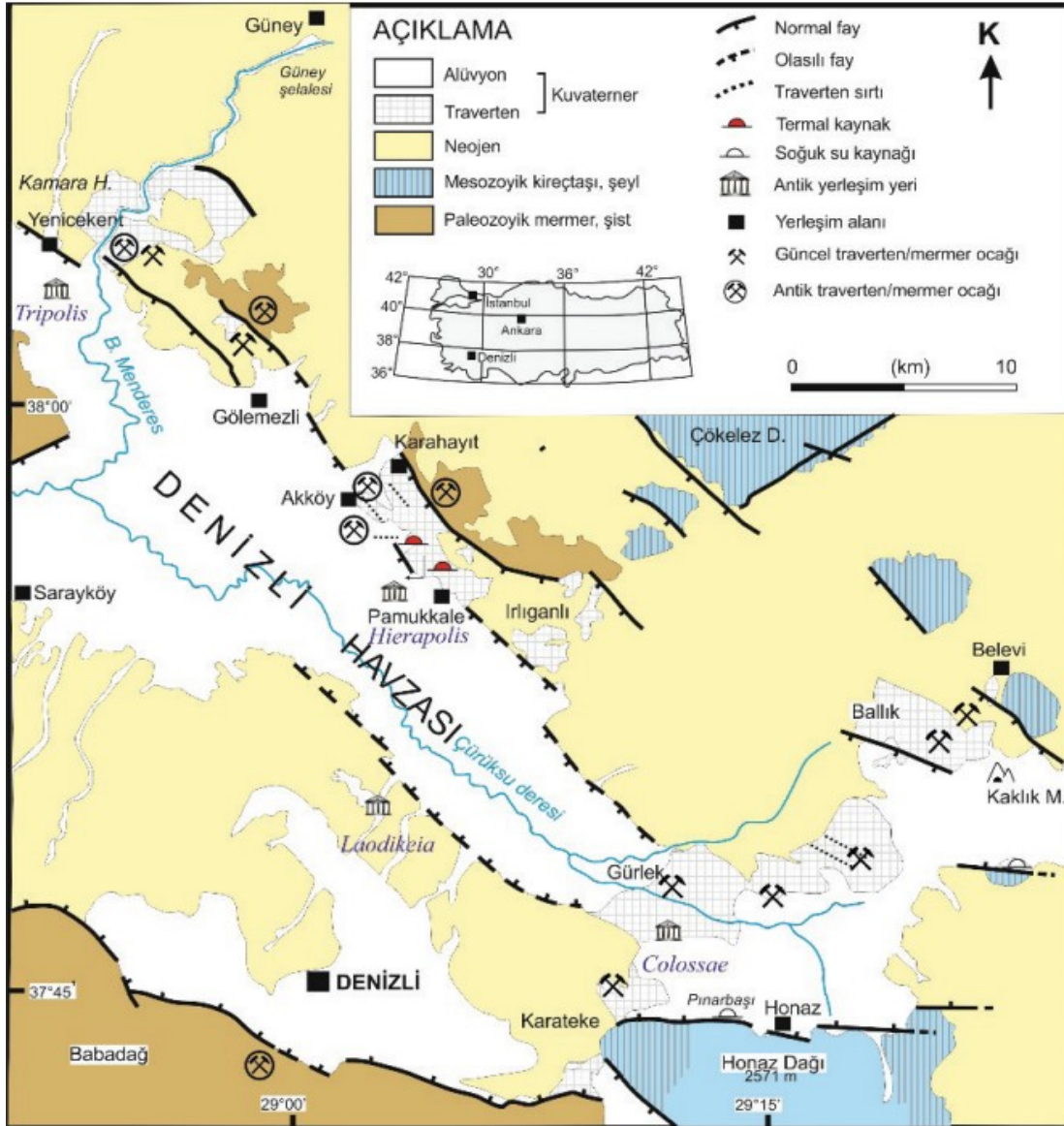
This study was conducted to analyze, within a scientific framework, the factors threatening the geothermal water resources in and around Pamukkale, and the sustainability of the Pamukkale travertines formed by these resources. In this context, both natural factors such as climate change and human-induced factors such as infrastructure deficiencies, agricultural and tourism activities were analyzed in detail. The study was conducted within the framework of a qualitative research model. Research data was obtained from a total of 9 participants who had the opportunity to observe the region for many years and who were involved in/currently involved in technical and administrative processes related to the subject, through a semi-structured interview form. In addition, documents, numerical data, and reports obtained from official institutions were analyzed to examine the issue in more detail. The findings revealed that the decrease in thermal water resources feeding the Pamukkale travertines cannot be explained solely by climate change; human-induced activities have a dominant effect on the emergence of this problem. The importance of making reinjection systems mandatory in thermal- health tourism facilities for the protection of geothermal resources in and around Pamukkale, and thus ensuring the sustainability of Pamukkale travertines, ending illegal drilling wells and uncontrolled water use activities within the scope of agricultural and tourism activities, establishing natural gas infrastructure for heating in thermal businesses and homes in the region, revising water management policies, and urgently implementing 'geothermal water literacy' training programs for regional employees and the local population has been highlighted.

**Keywords:** Sustainability, Geothermal resources, Pamukkale travertines.

## Giriş

### Pamukkale'nin Coğrafi ve Jeolojik Konumu

Türkiye'nin batısında, Denizli ilinin 20 kilometre kuzeybatısında bulunan Pamukkale, jeolojik, kültürel ve doğal miras açısından çok büyük bir öneme sahiptir. Büyük Menderes Grabeninin güney kenarında konumlanan Pamukkale, jeolojik açıdan oldukça önemli bir alan olan Gediz ve Büyük Menderes Grabeninin birleştiği bölgede yer almaktadır. Bölge, traverten alanları, termal su kaynakları, antik yerleşim yerleri (Hierapolis), verimli tarım alanları, antik traverten/mermer ocaklarına ev sahipliği yapmaktadır. Bölgenin, tarım, turizm ve sanayi faaliyetlerinin bir arada olduğu çok yönlü bir ekonomik yapıya ev sahipliği yaptığı görülmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Raporu, 2020).



**Şekil 1.** Pamukkale ve Çevresindeki Traverten Alanları, Jeotermal Kaynaklar, Fay Hatları Ve Antik Yerleşimleri Detaylı Şekilde Sunmaktadır.

(Kaynak: *Markalaşmış bir doğal taş: Denizli traverteni* (s. 71-73), M. Özkul, 2019, *Mavi Gezegen*.  
[https://mavigezegen.jmo.org.tr/detailarticle.php?articlekod=6290.](https://mavigezegen.jmo.org.tr/detailarticle.php?articlekod=6290))

## **Pamukkale ve Çevresindeki Jeotermal Kaynakların Kullanım Alanları**

Jeotermal enerji kaynakları hem ekonomik hem de sürdürülebilirlik bakımından ülkeler için büyük önem arz etmektedir. Dünyada jeotermal enerji kaynakları incelediğinde doğrudan kullanım bakımından (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar v.s.) ilk 5 ülke; Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve Almanya iken, dolaylı kullanım bakımından incelendiğinde ise (Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde) ilk 5 ülke; ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda'dır. Hem dolaylı hem de doğrudan jeotermal enerji kaynaklarına bakıldığında, Türkiye'nin ilk 5'te olması jeotermal enerji kaynaklarının ülke için önemini net olarak ortaya koymaktadır (Şener, Uzelli, Akkuş, Mertoğlu & Baba, 2023).

Ülkemizdeki jeotermal enerji kaynaklarının %90'lık gibi büyük bir kısmı düşük ve orta sıcaklıkta (20-150°C) olup doğrudan kullanılırken, %10'luk gibi bir kısmı da 150°C üzerinde olup dolaylı olarak kullanılmaktadır (Kozak, 2020).

Ülkemizdeki jeotermal enerji kaynaklarının %78'i Batı Anadolu'da yer almaktadır. Bunun da büyük kısmını Pamukkale ve çevresinde bulunan jeotermal enerji alanları oluşturmaktadır (Kozak, 2020). Burada bulunan jeotermal kaynakların bölgenin ekonomik, kültürel ve doğal zenginliğine önemli katkılar sağladığı görülmektedir. Özellikle Pamukkale Travertenlerinin oluşumunu sağlayan jeotermal kaynaklar bölgeye eşsiz bir doğal görünüm kazandırmaktadır. Bölgenin ve ülkenin tanınırlığına büyük katkı sunan bu eşsiz değer varlığını sürdürmesi de jeotermal kaynakların doğru şekilde kullanılması ile mümkün görülmektedir. Bu manada kullanım alanlarına göre jeotermal enerji kaynaklarının incelenmesi bölgenin sürdürülebilirliği ve çevresel değerlerin korunması bakımından büyük önem arz etmektedir.

## **Bilgedeki Jeotermal Kaynakların Kullanım Alanlarına Göre İncelenmesi**

### **1. Termal Turizm ve Sağlık**

Tarihsel süreçte bölgedeki termal turizm ve sağlık faaliyetlerine bakıldığında Pamukkale ve çevresinin, eski çağlardan bu yana jeotermal kaynaklarıyla hem ilgi odağı olduğu hem de termal turizmin tanınmasına öncülük ettiği görülmektedir (Altunel, 1996). Pamukkale travertenlerinin ve Hierapolis Antik Kentinin bulunduğu bölgenin eski çağlardan bu yana birçok uygarlığa ev sahipliği yaptığı da yapılan incelemede ve arkeolojik kazılarda görülmektedir. Özellikle Roma döneminde bu bölgenin metropol bir şehir haline geldiği, büyük bir meydana sahip olduğu ve dönemin alış-veriş merkezi olduğu o döneme ait kalıntılarda görülmektedir.

Dönemin büyük bir kenti olan Hierapolis'in o zamandan beri sağlık açısından ön plana çıktığı bilinmektedir. Termal banyolardaki sıcak suların o dönemlerde kullanıldığı; hastaların bu termal banyoları ziyaret ederek cilt hastalıkları, romatizmal rahatsızlıklar ve dolaşım bozuklukları gibi hastalıklarına şifa aradıkları görülmektedir (Bertan, 2010). Roma döneminden kalan termal banyolara ait kalıntılar bu durumu çok güzel bir biçimde göstermektedir. Ayrıca günümüzde Kleopatra Havuzu olarak bilinen ve ziyaretçilerin yoğun olarak kullandıkları termal havuzunda aslında o dönemde meydana gelen depremler sonucu oluştuğu ve içindeki tarihi kalıntıların da o dönemdeki şehir merkezinde bulunan sütunlar olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda bakıldığında bölgenin, doğal kaynaklarıyla binlerce yıldır sağlık ve dinlenme amaçlı ziyaretçiler çektiği, bu durumu da bugüne kadar başarılı bir şekilde sürdürdüğü görülmektedir. Termal turizm ve sağlık alanlarında sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi, termal suların korunmasına bağlı olup, bu durumun dikkate alınması gereken önemli unsurlardan biridir.

Pamukkale ve çevresindeki jeolojik bölge incelendiğinde özellikle sağlık turizm konusunda

Karahayıt'ın hemen göze çarptığı görülmektedir. Karahayıt, Pamukkale'nin yaklaşık 5 km kuzeyinde yer almaktadır. Termal turizmde önemli bir destinasyon olan Karahayıt Pamukkale'nin tamamlayıcı bir unsuru olarak görülmektedir. Buranın önemli özeliği kırmızı renkteki termal sularıdır. "Rengin kırmızı olma nedeni, suyun yüksek demir oksit içermesi ve sıcak suyun yeryüzüne çıkarken yer altındaki minerallerle etkileşime girmesidir" (Polat, 2011, s. 401). Bu içerik, cilt hastalıklarının tedavisinde, kas-iskelet sistemi sorunları ve romatizmal rahatsızlıklar için doğal bir tedavi yöntemi olarak görülmektedir. Bu bölgede ortalama 50-55°C sıcaklığa sahip olan termal su, tedavi ve rehabilitasyon amaçlı olarak otellerde, pansiyonlarda ve modern spa merkezlerinde kullanılmaktadır (Denizli Büyükşehir Belediyesi, 2016).

Erhan Altunel ve Paul L. Hancock (1993), "Pamukklae Travertenleri kaç Yaşında?" adlı çalışmalarında bölgede artan nüfus yoğunluğuna ve turistik tesislerin çoğalmasına bağlı olarak termal su kullanımının, bu kaynakları olumsuz olarak etkileyeceğini belirtmiştir. Termal kaynakların zamanla azalması ile travertenlerin yüzeylerinde yapısal bozulmaların ve renk değişimin ortaya çıkacağı vurgulanmıştır. Ayrıca travertenlerin yanında yer alan havuzlarda ve travertenlerin üzerinde ziyaretçilerin kullandıkları kozmetik ürünlerin (güneş yağı, güneş kremi vs.) kimyasal içeriğinden dolayı travertenlerin kararmasına neden olacağı belirtmiştir. 1960'lı yıllarda açılan ve travertenleri ikiye bölerek Hierapolis'e ulaşan asfalt yolun varlığının da travertenlere büyük zarar verdiği o dönemde özellikle vurgulanmıştır. Sonraki yıllarda yolun kaldırılması ve bölgenin *Pamukkale Özel Çevre Koruma Bölgesi* olarak ilan edilmesi gibi olumlu gelişmeler olsa da travertenlerin sürdürülebilirliği konusunda tartışmaların olması sorunun başka boyutları ile devam ettiğinin göstergesi olarak kabul edilebilir.

Serkan Bertan (2009), "Turizmin Çevre Üzerinde Yarattığı Etkiler: Pamukkale Örneği" adlı çalışmada turizm faaliyetlerinin Pamukkale bölgesine olan etkileri incelemiştir. Turizm faaliyetlerinde çevrenin önemini vurgulanmış ve çevreye duyarsız kalınması durumunda bölgenin doğal yapısının zarar göreceğini belirtmiştir. Çalışmada bu durumun uzun vadede Pamukkale'nin turistik cazibesini azaltabileceğini buna bağlı olarak yöre halkının, turizm işletmelerinde çalışanların ve bölge esnafının bilgilendirilmesinin, bölgenin sürdürülebilirliği açısından önemli olduğunu vurgulamıştır. Özellikle işletmeleri atık yönetimi ve çevreye duyarlı ürünleri kullanmaları konularında teşvik edici adımların gerekliliğini belirtmiştir. Bölgede zengin olan jeotermal yer altı kaynaklarının etkin ve kontrollü kullanımının sağlanması konusunda yerel yönetimlerin alması gereken tedbirler vurgulanmıştır (Bertan, 2009).

Pamukkale Özel Çevre Koruma Bölgesi Biyolojik Çeşitliliğin Tespiti Projesi (2010) kapsamında yapılan çalışmalar, jeotermal kaynakları ve eşsiz doğal güzellikleriyle ülkemizin en önemli turistik alanlarından biri olarak görülen Pamukkale Travertenleri ve Karahayıt'ın çeşitli çevresel tehditlerle karşı karşıya olduğunu göstermiştir. Çevreye duyarsız kişiler tarafından atılan atıkların iklim koşulları ile travertenlerin gözenekli ve karstik boşluklarına taşındığını oradan da ilerleyerek termal suyun kirlenmesine neden olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca denetim eksikliğinden dolayı otel ve pansiyonların kontrolsüz su kullanımı yaparak travertenlerin yeterince termal su almamasına neden olduğunu bu durumun da travertenlerin görünümünü bozduğunu vurgulamıştır. Karahayıt bölgesinde termal kaynakların, kontrolsüz sondajlar nedeniyle ciddi bir baskı altında olduğunu hatta 1990'lı yıllarda bölgeye gelen ziyaretçilerin uğrak yeri olan 'Kırmızı Su' kaynağının, aşırı su çekimi nedeniyle kurduğunu ortaya koymuştur. Günümüzde, orada olan termal suyun sondajlardan alınan suyun taşınması ile sağlandığını ve yapay bir aktiflik görüntüsü verildiği belirtilmiştir. Bölgedeki termal suların bilinçsiz kullanımı nedeniyle jeotermal kaynaklarının dengesinin bozulduğu bu kapsamda tesislerde reenjeksiyon sisteminin hayata geçirilmesinin büyük önem arz ettiği vurgulanmıştır.

Pamukkale ve Karahayıt'ın geleceği için travertenlerin korunması, kaçak sondaj faaliyetlerinin sıkı bir şekilde denetlenmesi ve jeotermal kaynaklarının bilinçli kullanımının önemi belirtilmiştir. Bu bölgelerin "Dünya Miras Listesi" statüsünü koruyabilmesi sürdürülebilir bir yönetim planının uygulanması ile mümkün görünmektedir.

Yunus Ayvacı (2011), "Pamukkale Travertenlerinde Tio<sub>2</sub> Varlığının Ve Travertenleri Fotokatalitik Temizleme Etkinliğinin Araştırılması" adlı yüksek lisans tez çalışmasında antik Hierapolis kenti ile sağlık turizmi açısından büyük önem taşıyan Karahayıt termal sağlık tesislerinin gelecek kuşaklara aktarılması gerektiğini vurgulayarak özellikle Pamukkale travertenlerinin bulunduğu alanın yoğun turizm baskısı nedeniyle zarar gördüğünü bu durumun travertenlerin fiziksel yapısında bozulmalara neden olduğunu belirtmiştir. Çevre koruma alanı ilanı ile travertenlerin çevresindeki turistik yapıların kaldırılmış olmasının, çevreye zararlı olan unsurların temizlenmiş olmasının sürdürülebilirlik açısından önemli adımlar olduğunu vurgularken, Karahayıt termal sağlık tesislerinde artan ve kapalı sistem ısıtmada kullanılan termal suyun, açılacak reenjeksiyon kuyularına aktarılarak yeniden kazanılmasının önemini belirtmiştir (Ayvacı, 2011).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan "Pamukkale Özel Çevre Koruma Bölgesi Yönetim Planı (2020-2024)" adlı çalışmada Pamukkale'nin doğal ve kültürel değerlerini korumak, sürdürülebilirliği sağlamak ve bölgedeki sorunlara çözüm üretmek analizler yapılmıştır. Su yönetimi kapsamında yapılan değerlendirmede 200'e yakın kontrolsüz ve kaçak kuyu bulunmasının, sağlık ve turizm tesislerinde kullanılan termal su miktarlarında bir standart olmamasının, termal suyun kullanımı konusunda bilgi eksikliğinin olmasının, tesislerde reenjeksiyon sisteminin kullanılmamasının, termal banyo suyu ile tesis ısıtma suyunun karışmasının, termal suyun evsel atık olarak değerlendirilmesinin termal kaynakların debisinde ve travertenlerin yapısında olumsuz etki oluşturduğu vurgulanmıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020).

Termal turizm ve sağlık alanlarında kullanılan termal suların, jeotermal kaynakların sürdürülebilirliği açısından etkileri, bölgesel ekosistemlerin korunması ve uzun vadeli yönetimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu sebeple termal turizmin doğal kaynaklarla uyumlu bir şekilde yönetilmesi gerekir. Bu bağlamda, sürdürülebilir bir yönetim planının geliştirilmesi ve bilimsel çalışmalarla bu durumun irdelenmesi büyük önem arz etmektedir.

## **2.Tarımsal Kullanım (Seracılık ve Sulama)**

Pamukkale ve çevresindeki jeotermal kaynaklar, sadece termal turizm ve sağlık alanında değil aynı zamanda tarımsal alanda da yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ülkemizde jeotermal kaynakların tarımsal alanda kullanımına bakıldığında Denizli'nin önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Ülkemizde belirlenmiş jeotermal alanların %78'inin Ege Bölgesi'nde yer aldığını ve bunun %16'sının ise Denizli ilinde olması bunun göstergesi olarak sunulabilir. Bu jeotermal kaynaklar bakımından zengin bölgede seracılık ve tarımsal alanda bu kaynakların kullanımı yöre halkının ve şehrin ekonomik yapısına büyük katkılar sağlamaktadır. Ancak, bu katkının devamı da kaynakların sürdürülebilirliği ile ilişkilidir. "Denizli'deki toplam 597 dekar örtü altı üretim alanının 387 dekarı jeotermal enerjiyle ısıtılmaktadır. Bu durum, jeotermal enerjiyle sera ısıtmacılığının bölgedeki tarımsal üretimde önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir" (Kozak, 2020, s 8). Bu bağlamda kaynakların kontrolsüz kullanımı hem jeotermal kaynakların sürdürülebilirliği hem de çevresel dengeler bakımından detaylı olarak incelenmelidir.

## 2.1. Jeotermal Kaynakların Seracılıkta Kullanımı

Maden Tetkik ve Arama Dergisi'nde yayımlanan “*Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Potansiyeli, Kullanımı ve Gelişimi*” başlıklı çalışma (Şener, Uzelli, Akkuş, Mertoğlu ve Baba, 2023), jeotermal enerji kaynaklarının kullanım alanlarına ve çevresel etkilerine dair detaylı bir inceleme sunmaktadır. Bu çalışmada, jeotermal enerjinin tarımsal uygulamalardaki önemi vurgulanmış ve özellikle sera ısıtmasında sunduğu sürdürülebilir çözümler üzerinde durulmuştur.

Sera ısıtmasında sürdürülebilir ve ekonomik bir çözüm sunan jeotermal kaynaklar tarımsal üretim açısından önemli bir rol almıştır. Ülkemizde 1970’lerde seracılık faaliyetleri ile ilgili ilk çalışmalar yapılırken özellikle son yıllarda ortaya çıkan gelişmeler ile beraber jeotermal kaynakların bu alanda kullanımı seracılık faaliyetlerinin hızlı bir şekilde artmasına zemin hazırlamıştır. Ülkemizde jeotermal kaynakları ile ısıtılan sera alanı 2022 yılı itibarıyla 5.293 dekara ulaşmıştır. Bu alanın tüm sera alanının %30’unu oluşturduğu bilinmektedir. Bu gelişmeler Ege Bölgesi gibi jeotermal potansiyeli fazla olan bölgelerde seracılık faaliyetlerini yoğunlaştırmıştır. Bu veriler jeotermal kaynakların tarımsal faaliyetlerdeki rolünün giderek arttığını göstermektedir. Bu bağlamda, jeotermal kaynakların kullanımı, günümüzdeki seracılık uygulamalarında kritik bir unsur haline gelmiştir. (Şener, Uzelli, Akkuş, Mertoğlu ve Baba, 2023, s. 10). Seracılık faaliyetlerinin yapılmasında jeotermal enerjinin sunduğu düşük maliyet ve sürdürülebilir ısıtmanın katkısı yadsınmaz. Özellikle Karahayıt ve çevresinde yoğun olan seralarda, jeotermal kaynaklar, sera ortamının istenilen sıcaklıkta olmasını daha düşük maliyetle sağlamaktadır. Geleneksel yöntemlerle ısıtılan seralara kıyasla jeotermal enerji ile ısıtılan seralar enerji maliyetini büyük bir ölçüde düşürmekte ayrıca üretim bakımından verimliliği de artırmaktadır (Şener, Uzelli, Akkuş, Mertoğlu ve Baba, 2023). Bu durum hem bölgenin tarımsal üretim kapasitesini artırmakta hem de tarımsal alanda jeotermal kaynaklara bağımlılığı artırmaktadır.

## 2.2. Jeotermal Kaynakların Tarımsal Sulamada Kullanımı

Bölgedeki jeotermal kaynakların bir başka kullanım alanı ise tarımsal sulamadır. Günümüzde hem geleneksel hem de modern tekniklerle yapılan sulama, bölgede tarım ile uğraşan çiftçiler için vazgeçilmez bir unsurdur. Özellikle son yıllarda bölgede yetiştirilen nar, ayva vb. meyvelerin yurtdışına ihracatı ile bu faaliyet türü daha da yaygınlaşmıştır. Bu yaygınlaşma ile beraber daha çok su ihtiyacı doğmuştur. Özellikle bu alanda açılan kaçak sondajlarla beraber kullanılan kontrolsüz termal su kullanımının travertenlerin sararmasına ve kararmasına neden olduğu belirtilmektedir. Bu durum Pamukkale Travertenlerinin devamlılığı açısından son derece önemlidir (Altunel & Hancock, 1993; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020; Pamukkale Özel Çevre Koruma Bölgesi Biyolojik Çeşitliliğin Tespiti Projesi, 2010). Tarımsal alanda irdelenmesi gereken başka bir husus ise bu termal suyun zirai sulama için uygun olmamasıdır. Yörede tarımsal faaliyetlerle uğraşan çiftçilerin bilerek ya da bilmeyerek arazilerin çoraklaşmasını hızlandırdığı suyun kimyasal bileşimleri incelendiğinde net olarak görülmektedir (Canik, 1978). Bütün bu veriler ışığında tarımsal sulamanın jeotermal kaynaklara olan etkilerini analiz etmek ve ortaya çıkan sorunlara çözüm aramak büyük önem arz etmektedir.

TÜBA Jeotermal Enerji Teknolojileri Raporu’nda (Ankara, 2020) yer alan bilgilere göre, jeotermal kaynaklar çevresel yönden önemli riskler oluşturmaktadırlar. Jeotermal kaynaklar, içerdiği yüksek seviyelerde arsenik, bor, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metaller nedeniyle toprağın yapısında ciddi kirlilik oluşturmaktadır. Özellikle Batı Anadolu’daki jeotermal kaynaklarda bu elementlerin yoğun olması nedeniyle tarımsal alanlarda verim kaybına ve o bölgedeki diğer su kaynaklarının kimyasal bozulmalar yaşamasına neden olabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle, jeotermal kaynakların ekolojik etkilerinin azaltılması için reenjeksiyon uygulamasının zorunlu hale getirilmesinin gerekliliği vurgulanmıştır (TÜBA Jeotermal Enerji Teknolojileri Raporu, 2020, s. 94)

Denizli ilindeki jeotermal kaynaklar, elektrik enerjisi üretimi, konut ısıtma, kuru buz üretimi gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Ancak Pamukkale travertenlerine olan yakınlık nedeniyle özellikle termal turizm ve sağlık (kaplıcalar, termal oteller, pansiyonlar) ile tarımsal kullanım (seracılık ve sulama) alanları çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Bu kapsamda, Pamukkale'nin sahip olduğu eşsiz travertenlerin sürdürülebilirliği, termal turizm ve sağlık ile tarımsal kullanımın jeotermal kaynaklara olan etkisiyle doğrudan ilişkilidir. Jeotermal kaynaklardaki azalmanın, travertenlerin yok olmasına ve bölgenin doğal yapısının geri dönülmez şekilde zarar görmesine yol açabileceği unutulmamalıdır.

### **Doğanın Sanatı: Pamukkale Travertenleri**

Pamukkale ve çevresindeki termal kaynaklar jeolojik olarak geniş bir alanı kaplamaktadır. Sadece Pamukkale travertenlerinin oluşmasını sağlayan ise Jandarma, Antik Havuz, İnciraltı, Gelinhamamı ve Beltes-2 olmak üzere 5 adet doğal jeotermal su kaynağı bulunmaktadır.

Pamukkale Travertenlerini oluşturan kaynak yüzeye çıktıktan sonra, yaklaşık 320 metre uzunluğunda bir kanal ile travertenin başına gelmekte ve burada, çökeltmenin olduğu traverten katmanlarına dökülmektedir. Fay hatları boyunca yeraltından çıkan termal sular çözünmüş kalsiyum karbonat açısından zengindir. Sular yüzeye ulaştıklarında, karbondioksitin atmosfere karışması, suyun buharlaşması ile kalsiyum karbonat çökeltileri oluşur (Polat, 2011). Katmanlı havuzcularda ve teraslarda, çökeltmekte olan kalsiyum karbonat, başlangıçta yumuşak bir jel halinde iken zamanla sertleşmekte ve travertenleri oluşturmaktadır (Ayvacı, 2011). Pamukkale Travertenleri de bu şekilde jeotermal kaynaklarının etkisiyle oluşmuş ve benzeri olmayan doğal yapılardır. Bu doğa harikası oluşum, yüzyıllar boyunca varlığını sürdürmüş ve bölgenin bir cazibe merkezi haline gelmesinde başat rol oynamıştır (Altunel, 1996).

Pamukkale travertenleri, ülkemizin jeolojik açıdan en önemli doğal oluşumlarından biri olarak görülmektedir. Ulusal ve uluslararası çapta turizm potansiyelinin en önemli alanı olarak kabul edilmesi ve her yıl artan ziyaretçi sayıları bunu net olarak ortaya koymaktadır. Hierapolis (Pamukkale) Ören Yeri, sahip olduğu tarihi ve doğal miras ile 2024 yılında Türkiye'nin en fazla ziyaret edilen üçüncü ören yeri olmuştur. 2 milyon 372 bin 395 turisti ağırlayan Pamukkale, Türkiye'nin en önemli turistik destinasyonlarından biri olmayı sürdürmektedir (Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2024).

Aynı zamanda ülkemize gelen yabancı turistlerin büyük bir bölümünün bu eşsiz yeri rotalarına eklemeleri bunu göstergesidir. Bu eşsiz oluşum hem yerel ekonomiye hem de ülke turizmine büyük katkı sağlamaktadır. Ülkemizin uluslararası düzeyde tanınırlığını artıran Pamukkale Travertenleri, turizmin lokomotifleri olarak kabul edilmektedir.

Bu bölgeyi asıl tanıtan ve eşsiz güzelliği ile dünyada tanınır yapan bu doğa harikası beyazlık ülkemizde ve dünyada ikonik bir görsel olarak bilinmektedir. Benzersiz beyaz traverten teraslarıyla tanınan Pamukkale dünya da özel bir doğal oluşum olarak görülmesinden dolayı "9 Aralık 1988 tarih ve 485 sayılı karar ile UNESCO Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunması Sözleşmesi kapsamında Dünya Miras Listesi'ne" alınmıştır. Bölgenin bu listeye alınmasında, traverten teraslarının yanı sıra hemen yanında yer alan Hierapolis antik kentinin tarihsel ve kültürel önemi de etken olmuştur (Altunel, 1996).

Bu bölge aynı zamanda "Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu'nun (GEEAYK) 13 Aralık 1980 tarih ve A-2587 sayılı kararı ile I. Derece Arkeolojik ve I. Derece Doğal Sit Alanı" ilan edilmiş, ardından 22 Ekim 1990 tarih ve 90/1117 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile 6.656 hektarlık alan "Özel Çevre Koruma Bölgesi" olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, Doğa Koruma ve Milli Parklar

Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalar sonucunda bölge, “Sulak Alan” statüsü kazanmıştır (Dağ & Mansuroğlu, 2021). Bütün bu çalışmalar aslında bölgenin ne kadar değerli olduğunu anlamak bakımından önemlidir.

Denizli'nin bu doğa harikası travertenleri aynı zamanda ulusal ve yerel anlamda halkın kültürel ve ekonomik kimliğini de simgelemektedir. Bu eşsiz yapının korunması ülkenin ve bölgenin tanınırlığı, ülke ekonomisine ve yerel halkın refah seviyesine yaptığı katkı bakımından çok büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda bölgenin korunması ve bu doğa harikasının sürdürülebilir anlayışla gelecek kuşaklara aktarılması hem yerelde hem de ulusal düzeyde kapsamlı koruma politikalarının ortaya konması ve bu konuda sorumluluğu olan bütün kurumların bu sürece etkin bir şekilde katılımları ile mümkün olacaktır.

Pamukkale ve çevresindeki jeotermal alanlar, kültürel zenginlikleri, doğal güzellikleri ve termal sağlık olanaklarıyla doğanın ve insanlık tarihinin izlerini bir arada sunmaktadır. Doğal güzelliği ile tanınan Pamukkale Travertenleri hem yerli hem de yabancı ziyaretçilerin vazgeçilmez destinasyonlarından biri olmuştur (Bertan, 2010). UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde yer alan Pamukkale Travertenlerinin varlığını sürdürmesi, bölgedeki termal kaynakların sürdürülebilirliğine bağlıdır (Uzun, 2017). Pamukkale'nin sadece bir turizm merkezi olarak değil, bölgesel ve ülke kalkınmasına da katkısı düşünüldüğünde bu durumun önemi daha net olarak görülmektedir. Ancak, Pamukkale Travertenlerini besleyen su debisinin 30 yıl içinde üçte iki oranında azalması travertenlerin sürdürülebilirliği açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Turizm Gazetesi, 23 Temmuz 2024). Bu bağlamda Pamukkale ve çevresindeki jeotermal enerji kaynaklarının kullanım alanlarını analiz etmek ve olası su debisi üzerindeki etkilerini irdelemek büyük önem arz etmektedir.

## **Yöntem**

### **Araştırma Modeli**

Bu çalışma, Pamukkale bölgesinde termal su debisindeki azalmanın nedenlerini ortaya koymak amacıyla nitel araştırma modeli kapsamında yürütülmüştür. Çalışmada verilerin çeşitlendirilmesi ve geçerliliğin artırılması amacıyla yarı yapılandırılmış görüşmeler ve doküman analizi yöntemleri bir arada kullanılmıştır.

### **Veri Toplama Süreci**

#### **Yarı Yapılandırılmış Görüşme Formu ile Veri Toplama**

Yarı yapılandırılmış görüşmeler, görüşmenin gidişatına göre soruları değiştirme kolaylığı sağlamak ve araştırmanın ana temasına bağlı kalmak şartıyla yeni sorular sormaya imkân vermektedir (Güler, Halıcıoğlu ve Taşgın 2013). Görüşme formu; literatür taraması, bölgede uzun yıllar yöneticilik yapmış kamu görevlilerinin tecrübeleri ve iki akademisyenin uzmanlık görüşleri birleştirilerek titizlikle hazırlanmıştır. Görüşme formunun birinci bölümünde katılımcıya ait demografik bilgiler yer alırken ikinci bölümünde ise termal su kaynaklarının durumu, bölgedeki fiziksel değişimler, insan faaliyetlerinin etkisi ve mevcut yönetim politikalarının değerlendirilmesini içeren üç bölümden oluşan 6 soru yer almaktadır. Soruların yazımında, anlaşılmasının kolay olmasına, araştırmayı çok boyutlu olarak ele almasına dikkat edilmiştir.

Pamukkale ve çevresinde teknik bilgi ve deneyime sahip farklı meslek gruplarından seçilen 9 kişi ile, hazırlanan yarı yapılandırılmış görüşme formu kapsamında görüşmeler yapılmıştır. Katılımcılar, çalışma konusu ile ilgili tecrübeleri ya da bu konu hakkındaki bilgileri nedeniyle seçilebileceği varsayılarak, amaçlı örneklem yöntemiyle gönüllülük esasına göre belirlenmiştir (Holloway ve Wheeler, 1996). Bu bağlamda, katılımcılar tecrübeleri doğrultusunda görüşme sorularına yanıt verebilecek kişiler

arasından seçilmiştir. Katılımcılar arasında, konu kapsamında çalışan teknik uzmanlar, arkeologlar, bölge muhtarı, uzun yıllar bölgede idari görev almış yetkililer, bölgedeki işletme sahipleri ve sivil toplum kuruluşlarının temsilcileri bulunmaktadır. Görüşmeler, ortalama 30-45 dakika sürmüştür. Katılımcılara görüşme öncesi araştırma hakkında yönlendirici bilgiler içermeyen kısa açıklamalar yapılmıştır. Görüşmeler yüzü yüze, doğal ve samimi bir ortamda karşılıklı konuşma şeklinde ilerlemiştir. Görüşme başlamadan önce katılımcılara ses kaydı için izin istenmiştir. Kabul eden katılımcılar ile bu şekilde görüşme tamamlanmıştır. Ses kaydı konusunda tereddüt yaşayan katılımcılar için ise görüşme yapılırken katılımcının verdiği cevaplar araştırmacı tarafından not edilerek kayıt altına alınmıştır. Görüşme sonunda verilen cevaplar kapsamında alınan notlar katılımcılar ile tekrardan paylaşılmış ve onayı alınarak görüşmeler tamamlanmıştır.

### **Doküman Taraması ile Veri Toplama**

Araştırma yöntemi belirlendikten sonra, veri toplama aşamasında gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi yöntemlerden biri veya birkaçı tercih edilebilmektedir (Berg & Lune, 2015; Merriam, 2009). Araştırmacılar, resmi yazışma öncesi bu kurumlarla yüz yüze görüşmeler yaparak verilerin ne amaçla kullanılacağını net olarak paylaşmıştır. Bu dokümanların toplanmasının çalışmanın detaylı olarak irdelenmesi bakımından büyük önem arz ettiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda çalışmayı derinlemesine irdelenecek bütün veriler, raporlar, belgeler resmi yazı ile Denizli Devlet Su İşleri, Denizli Büyükşehir Belediyesi Kaynak Geliştirme ve İştirakler Dairesi Başkanlığı, Denizli İl Kültür ve Turizm Müdürlüğünden araştırmacıların kurumu tarafından talep edilmiştir.

### **Veri Analizi**

Nitel veri analizinde, betimsel analiz, içerik analizi, söylem analizi ve doküman analizi gibi çeşitli tekniklerden yararlanılmaktadır (Yıldırım & Şimşek, 2016). Nitel veri analizinde, farklı analiz yöntemlerinin bir arada kullanılması, verilerin güvenilirliği ve çeşitliliği açısından büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda, içerik analiz ve doküman analizi kullanılarak elde edilen görüşler ve toplanan dokümanlar detaylı olarak incelenmiştir.

**Görüşmelerin Analizi:** Çalışmada, yarı yapılandırılmış görüşme formu ile konu hakkında bilgi sahibi olan katılımcılardan elde edilen nitel veriler, belirlenen temalar doğrultusunda içerik analiz yöntemiyle incelenmiştir. “İçerik analizi, bir konunun sistematik bir şekilde sözcük veya sözcük grupları kullanılarak özetlenmesi, kategorilere ayrılması ve araştırmacılar tarafından belirli kurallar çerçevesinde kodlar oluşturulması yöntemi olarak tanımlanmaktadır” (Büyüköztürk, Kılıç Çakmak, Akgün, Karadeniz ve Demirel, 2008). Bu doğrultuda, katılımcılardan elde edilen veriler kategorilere ayrılmış, görüşme soruları ile ilişkilendirilmiş ve veri seti olarak tasnif edilmiştir. Araştırma verilerinden içerik analizi yapılırken, öncelikle ana temalar belirlenmiş sonrasında ise veriler kodlanmıştır.

**Belgelerin Analizi:** Doküman analizi, yazılı belgelerin içeriğini detaylı bir şekilde incelemek için kullanılan nitel bir araştırma yöntemidir (Wach, 2013). Bu yöntem, “basılı veya elektronik materyaller dahil olmak üzere her türlü belgenin analiz edilmesi ve değerlendirilmesini kapsar. Nitel araştırmada sıklıkla başvurulan diğer yöntemler gibi doküman analizi de ilgili konuya ilişkin anlam çıkarma, derinlemesine bir anlayış geliştirme ve orijinal araştırma raporları üretme amacıyla verilerin incelenmesini ve yorumlanmasını gerektirir” (Corbin & Strauss, 2008). Bu bağlamda kurumlardan istenilen veriler, raporlar, yazılı belgeler öncelikle alanları kapsamında tasnif edilmiş daha sonra detaylı olarak analiz edilmiştir.

## **Bulgular**

Bu bölümde, yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen veriler ve resmî kurumlardan elde edilen yazılı belgeler analiz edilmiş ortaya çıkan bulgular detaylı bir şekilde sunulmuştur.

### **Yarı Yapılandırılmış Görüşmelere Ait Bulgular**

Çalışma kapsamında yapılan görüşmelerden elde edilen bilgiler, katılımcıların deneyim ve gözlemleri doğrultusunda analiz edilmiş ve “*Termal Su Kaynakları ve Fiziksel Değişimler*”, “*İnsan Faaliyetleri ve Etkileri*”, “*Yönetim ve Altyapı*” temaları kapsamında sunulmuştur.

“**Termal Su Kaynakları ve Fiziksel Değişimler**” teması kapsamında yöneltilen "Termal su kaynaklarının debisi hakkında ne tür değişimler gözlemlediniz?" sorusuna verilen cevapları analiz edilerek ve katılımcıların bu konudaki gözlemleri ayrıntılı bir şekilde paylaşılmıştır.

Termal su kaynaklarının debisinde ciddi boyutta bir azalma olduğunu gözlemlemiş ve bu durumun nedenlerini ortaya koymuşlardır. K1, “debide çok fazla azalma” olduğunu belirtirken, K2, “bölgede eski yıllarda yüzeye çok yakın su çıkışı sağlanırken, günümüzde 60-90 metre daha derine inilmek zorunda kalındığını” ifade etmiştir. K4, “Karahayıt bölgesinde 600 metre derinliğinde açılan Denizli Büyükşehir Belediyesine ait kuyuların yüzeye yakın suları bu damara yönlendirdiğini ve bunun bölgede su azalışına yol açtığını dile getirmiştir”. Su debisindeki azalma, günlük yaşamı ve turizmi de olumsuz etkilemiştir. K3, “su kesintilerinin ısınma ve kullanımda zorluklara yol açtığı” vurgularken, K6, “1980’lerde her yerden su aktığını ve travertenlerde yüzülebildiğini ancak günümüzde suyun belirli saatlerde verildiğini” ifade etmiştir. Bazı katılımcılar, azalma nedenleri arasında insan faaliyetlerine ve çevresel faktörlere de işaret etmiştir. K7, “tarımda termal su kullanımını gözlemlediğini” belirtirken, K8, “küresel ısınma ve tektonik hareketlerin” bu durumu etkileyebileceğini dile getirmiştir. K9 ise “medyadan edindiği bilgilere dayanarak su debisinde azalma olduğunu” doğrulamıştır.

Genel olarak katılımcıların ifadeleri incelendiğinde, Pamukkale ve çevresindeki jeotermal kaynakların debisinde ciddi bir azalmanın olduğu net olarak görülmektedir. Bu durumun hem insan faaliyetlerinden hem de çevresel faktörlerden kaynaklandığı açıkça anlaşılmaktadır. Elde edilen bulgular, termal su kaynaklarının sürdürülebilirliğinin ciddi bir tehdit altında olduğunu ortaya koyarken, bu bağlamda yenilikçi ve kapsayıcı politikaların geliştirilmesinin büyük bir öneme sahip olduğunu ve zaman kaybedilmeden uygulanması gerektiğini vurgulamaktadır.

“**Termal Su Kaynakları ve Fiziksel Değişimler**” teması kapsamında yöneltilen "*Traverten oluşumlarında dikkat çeken değişimler nelerdir? Bu değişimlerin neden kaynaklandığını düşünüyorsunuz?*" sorusuna verilen yanıtlar analiz edilmiş ve katılımcıların travertenlerdeki değişimlere ilişkin gözlemleri detaylandırılmıştır.

Katılımcılar, traverten oluşumlarında dikkat çeken değişimlerin genellikle insan müdahalesine bağlı olarak meydana geldiğini ifade etmişlerdir. K1, “eskiden suyun yeterli olmasından dolayı her bölgede sürekli aktığını, ancak günümüzde termal suyun azalmasına bağlı olarak travertenlere belirli aralıklarla ve belli bölgelere aralıklarla su verildiğini bu durumun da travertenlerin yapısında bozulmalara neden olduğunu” dile getirmiştir.

K2 ve K5, “su debisinin azalması ile travertenlerdeki beyaz alanların azaldığını ve bazı bölgelerde artık su akmadığını” belirtmiştir. K8 de benzer bir şekilde, “güney kısmındaki beyaz alanların su yetersizliği nedeniyle karardığını” ifade etmiştir. Bu gözlemler, suyun yeterli miktarda ve düzenli olarak dağıtılmamasının travertenlerin renk ve yapısı özelliklerini olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Bazı katılımcılar, traverten oluşumlarındaki değişimlere yönelik doğrudan bir gözlemleri olmadığını belirtmiştir (K3, K4, K6, K7). K9, “travertenlerdeki değişimlerin nedenleri arasında hava koşulları, iklim değişiklikleri, hava kirliliği ve yoğun buharlaşmayı sıralayarak çevresel faktörlerin de önemli bir rol oynadığını” vurgulamıştır.

Katılımcıların ifadeleri, travertenlerdeki değişimlerin büyük ölçüde su debisindeki azalmaya, suyun aralıklı dağıtımına ve çevresel faktörlere bağlı olduğunu ortaya koymaktadır.

**“İnsan Faaliyetleri ve Etkileri”** teması kapsamında yöneltilen *“Bölgede insan faaliyetlerinin (tarım, turizm ve enerji üretimi) termal su kaynakları üzerindeki etkilerini nasıl değerlendiriyorsunuz?”* sorusuna verilen cevaplar irdelenmiş ve katılımcıların bu konuya dair değerlendirmeleri detaylandırılmıştır.

Katılımcılar, genel olarak bölgedeki insan faaliyetlerinin termal su kaynakları üzerindeki etkilerini olumsuz olarak ele almışlardır. K1, “bölgede doğalgaz olmadığı için termal suyun ısıtma amacıyla kullanıldığını ve bu durumun su kaynaklarını tüketerek gelecekte sorun yaratabileceğini” ifade etmiştir. Bu durum, enerji kullanımına yönelik alternatif çalışmaların yapılmadığını göstermektedir.

Kontrolsüz su kullanımı ve kaçak su sondajları da katılımcılar tarafından önemli bir sorun olarak öne çıkarılmıştır. K2, “kaçak sondajların gereksiz su kullanımına neden olduğunu”, K3 ise “bu sondajların tarımda kullanılan su miktarını artırarak ilerleyen dönemde toprak ve su kaynaklarını olumsuz etkileyebileceğini” belirtmiştir. K6, “termal suyun tarımda kullanımı nedeniyle su kaynaklarının azaldığını ve bunun travertenlerin kararmasına neden olduğunu” belirtmiştir. K7 ise, “Pamukkale’de suyun azaldıkça travertenlerin siyahlaştığını ve bu değişimin büyük ölçüde insan faaliyetlerinden kaynaklandığını” ifade etmiştir.

K9, “turizm işletmelerinde yapılmayan ya da bilinçsiz yapılan reenjeksiyon faaliyetlerinin termal sular üzerinde ciddi bir baskı oluşturduğunu” dile getirmiştir. K4, “turizm ve tarımdaki kullanımın yoğunluğunun bölgeyi %100 olumsuz etkilediğini” ifade ederken, K5, “turist sayısındaki artışın su tüketimini artırarak kaynakların tükenmesine yol açtığını” belirtmiştir.

Bununla birlikte, K8, “insan faaliyetlerinin travertenlerde kullanılan suya etkisi olmadığını düşündüğünü” ifade etmiş ve bu görüş, insan kaynaklı etkilerin az da olsa farklı algılanabildiğini ortaya koymuştur.

Katılımcılar, insan faaliyetlerinin termal su kaynakları üzerinde olumsuz etkiler yarattığı, özellikle turizm ve tarımsal faaliyetlerin bu durumun başlıca nedenleri arasında yer aldığını vurgulamıştır. İnsan faaliyetlerinin düzenlenmesi, alternatif enerji kaynaklarının devreye alınması ve suyun sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi adına daha etkili ve kapsamlı politikaların oluşturulması gerektiği açıktır.

**“İnsan Faaliyetleri ve Etkileri”** teması kapsamında yöneltilen *“Kaçak sondaj veya kontrolsüz su çekimi yapıldığını düşündüğünüz alanlar hakkında neler gözlemlediniz?”* sorusuna verilen yanıtlar analiz edilmiş ve katılımcıların değerlendirmeleri detaylandırılmıştır.

Bölgede kaçak sondaj ve kontrolsüz su çekimi varlığının katılımcılar tarafından net bir şekilde kabul edildiği, ancak bu durumun yaygınlığına ve denetim seviyesine ilişkin farklı görüşler ortaya konulmuştur.

Bazı katılımcılar, kaçak sondajın yaygın bir şekilde varlığını ve buna karşın denetim eksikliğini belirtmiştir. K2, “DESKİ tarafından tespit edilen yüzlerce sondaj, yeraltı kaynaklarının kontrolsüz kullanımına yol açıyor,” diyerek bu faaliyetlerin ciddi boyutlara ulaştığını ifade etmiştir. Benzer şekilde K5, “bölgede bu tür faaliyetlerin yaygın olduğunu” belirtmiştir. Denetimlerin etkili olduğunu düşünen katılımcılar da olmuştur. K1, “suyun büyük ölçüde (%90) belediyenin denetimi altında olduğunu ifade ederken”, K6 “geçmişte kaçak sondajın yaygın olduğunu, ancak jandarmanın müdahaleleriyle azaldığını” belirtmiştir. Ancak K6, bu azalmanın yeterli olmadığını ve kaçak sondajların tamamen kapatılması gerektiğini vurgulamıştır. Bazı katılımcılar ise bireysel gözlem yapmadıklarını veya bu konuda sınırlı bilgiye sahip olduklarını ifade etmişlerdir. K3, “Görmedim ama kaçak sondaj olduğunu duyuyoruz,” derken, K9 “şahsi bir gözlem yapmadığını” belirtmiştir. K4 ve K8, özellikle denetim eksikliğine dikkat çekmiştir. K4, “Karahayıt bölgesinde denetleme oldu ama Pamukkale ve civar köylerinde tarımsal alandaki kullanılan sular denetlenmeli,” diyerek bölgesel farklılıklara işaret etmiştir.

Katılımcılar kaçak sondaj ve kontrolsüz su çekiminin bölgedeki termal su kaynaklarının varlığını tehdit eden en büyük sorun olduğunu vurgulamaktadırlar. Tespit edilen sondaj kuyularının sayıları geçen yıllarda yapılan denetim eksikliğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, jandarmanın zaman zaman yaptığı denetimlerinden söz edilse de katılımcılar denetimlerin daha etkin hale getirilmesi gerektiğini önemle vurgulamaktadır. Bu bağlamda, bölgede termal su kaynaklarının varlığının sürdürülebilmesi için kaçak sondaj faaliyetlerinin tamamen durdurulması, tespit edilenlerin ise hızlı bir şekilde sonlandırılması büyük önem arz etmektedir.

**“Yönetim ve Altyapı”** teması kapsamında yöneltilen *“Bölgede termal su yönetimi ve altyapı uygulamaları hakkında ne tür gözlemleriniz var? Altyapının yeterliliğini nasıl değerlendiriyorsunuz?”* sorusuna verilen yanıtlar analiz edilmiş ve katılımcıların değerlendirmeleri detaylandırılmıştır.

Katılımcılar, bölgedeki termal su yönetimi ve altyapı uygulamalarının yetersiz olduğunu belirterek bu eksiklerin bölgedeki termal su kaynakları üzerinde olumsuz etki oluşturduğu vurgulanmıştır. K1, K2, K3 altyapının yetersiz olduğunu açık bir şekilde ifade ederken, K4, “Altyapı yetersiz, termal suyun doğru dağıtımı ve kullanılan termal suyun yeniden kullanılması için reenjeksiyon yapılmalı.” diyerek mevcut altyapının yetersizliğine vurgu yapmıştır. Benzer şekilde, K5 de altyapının ciddi bir sorun olduğunu belirtmiş ve “Karahayıt bölgesinde birçok evin, tesisin, pansiyon vb. yıkım kararı var, ancak bu konuda herhangi bir çalışma yapılmamıştır,” diyerek çözüm odaklı uygulamaların eksikliğini belirtmiştir.

Doğalgazın altyapı ve termal su yönetimi üzerindeki etkisi de sıkça dile getirilmiştir. K6, termal suyun ısıtma amacıyla kullanılmasının yanlış bir uygulama olduğunu belirterek “Bence ısınma termal su ile olmamalı. Bir an önce doğalgaz gelmeli,” şeklinde görüş bildirmiştir. K7 de benzer bir şekilde, doğalgazın bölgeye getirilmesinin termal su tüketimini azaltarak kaynakların korunmasına katkı sağlayacağını ifade etmiştir. Ancak K8 ve K9, Pamukkale’nin 1. derece sit alanı olması nedeniyle doğalgaz altyapısının yapılamadığını ve bu durumun faaliyet sürecini daha da karmaşık hale getirdiğini belirtmiştir. K9’un şu yorumu dikkat çekicidir: “Sit alanı sınırları içerisinde olduğu için faaliyet süreci oldukça çetrefilli; bürokrasi çok yoğun, dolayısıyla altyapı çalışmaları ve su yönetimi oldukça zayıf kalmaktadır.” diyerek sürecin zorluğunu dile getirmiştir.

Katılımcılar, bölgedeki termal su yönetimi ve altyapı uygulamalarının hem planlama hem de uygulama süreçlerinde yetersiz kaldığını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Altyapının iyileştirilmesi, su yönetiminin etkinleştirilmesi ve bürokratik süreçlerin sadeleştirilmesi gibi konularda daha somut ve uzun vadeli stratejilere ihtiyaç duyulduğu net olarak görülmektedir.

**“Yönetim ve Altyapı”** teması kapsamında yöneltilen *“Termal su kaynaklarının korunması için mevcut uygulamaların yeterliliği hakkında ne düşünüyorsunuz?”* sorusuna verilen yanıtlar analiz edilmiş ve katılımcıların görüşleri detaylandırılmıştır.

Katılımcılar, mevcut yönetim stratejilerinin bölgedeki jeotermal kaynakları korumada yeterli olmadığını düşünmektedir. K4, termal suyun korunmasına yönelik herhangi bir uygulama görmediğini belirterek, “Termal suyun kullanımı hakkında bir rehberlik çalışması yok, ama oluşturulmalı,” şeklinde görüş bildirmiştir. Bu, yönetim ve altyapı eksikliklerinin ciddi bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde, K2 “daha sıkı önlemler alınması gerektiğini” vurgulamış, K3 ise “mevcut çalışmalar hakkında bilgi sahibi olmadığını belirtmiş ve bunların bölgeye zarar verdiğini” paylaşmıştır. Ayrıca termal suyun korunması için doğalgaz altyapısının oluşturulması gerektiği birçok katılımcı tarafından dile getirilmiştir. K1, “Termal suyun korunması için doğalgazın gelmesi gerek. Doğalgaz gelirse suyun en az %50’si koruma altına alınır,” diyerek bölgede enerji kullanımı için alternatif bir kaynağın önemine dikkat çekmiştir. Benzer şekilde, K6, “doğalgazın gelmesinin termal su kullanımını azaltarak kaynakların korunmasına katkı sağlayacağını” ifade etmiştir. Bu görüşler, termal suyun korunması açısından önemli bir çözüm olabileceğini göstermektedir.

Bazı katılımcılar, su kullanımının sınırlı hale getirilmesi ve denetimlerin artırılması gerektiğini ifade etmiştir. K5, “her kullanıcıya sınırlı su kullanma izni verilmesi ve kullanılan sıcak suyun geri dönüştürülebileceği bir sistem oluşturulmasını” önermiştir. K7, “Kaynakların denetimi ve kontrolü yapılmalı, kaçak sondaj denetimi artırılmalı,” diyerek, denetim süreçlerinin güçlendirilmesinin önemine vurgu yapmıştır. Bu öneriler, mevcut uygulamaların yetersiz olması nedeniyle daha sıkı yönetim politikalarına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

K9, termal su kaynaklarının korunması için yerel halkın bilinçlendirilmesi gerektiğini belirterek, “Yöre halkı bilinçlenmeli; üniversiteler ve resmî kurumlardan destek alınmalı,” şeklinde bir öneri sunmuştur. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenebilir olduğu gerçeğinin kabul edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Bu görüş, halkın katılımının ve akademik desteğin koruma stratejilerinde önemli bir yer tutabileceğini göstermektedir.

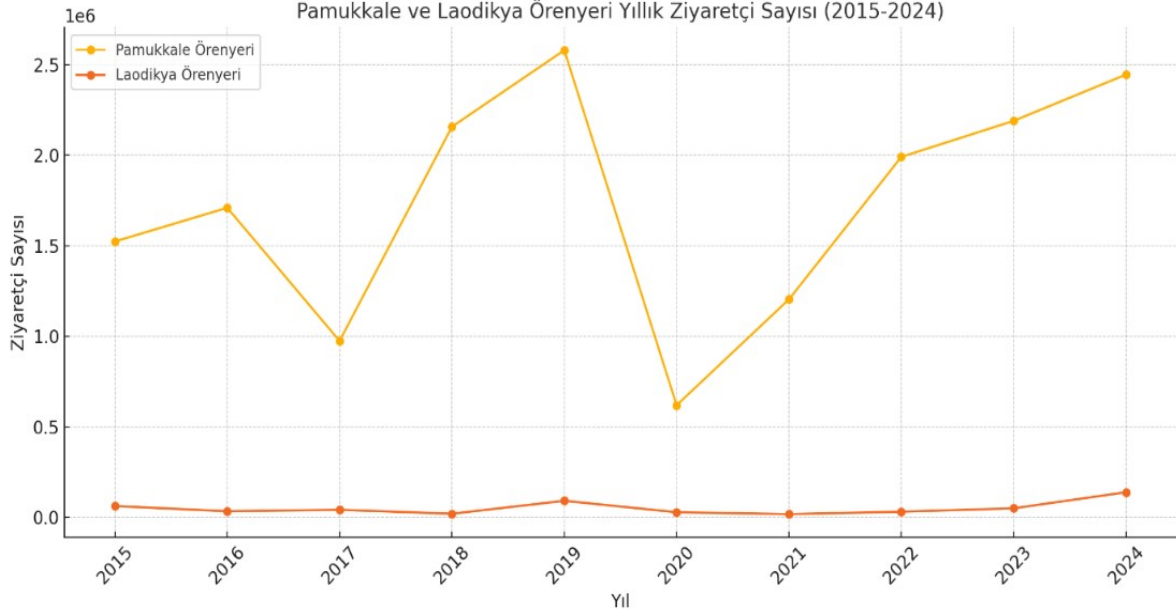
Katılımcıların görüşleri, termal su kaynaklarının korunması için mevcut uygulamaların yetersiz olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Öneriler arasında doğalgaz altyapısının oluşturulması, su kullanımının sınırlandırılması, denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi ve halkın bilinçlendirilmesi öne çıkmaktadır. Bu bulgular hem kısa vadeli düzenlemeler hem de uzun vadeli koruma stratejilerinin geliştirilmesinin önemini göstermektedir.

### **Doküman Analizine Ait Bulgular**

Pamukkale travertenlerinin korunması ve termal su kaynaklarının sürdürülebilirliği kapsamında Denizli Büyükşehir Belediyesi, Devlet Su İşleri (DSİ) ve İl Kültür ve Turizm Müdürlüğünden elde edilen yazılı belgeler, raporlar ve su debisi verileri sistematik ve titizlikle değerlendirilerek analiz edilmiştir. İlgili kurumların sağladığı verilerle, yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilen bulgular karşılaştırılarak konunun derinlemesine irdelenmesi hedeflenmiştir.

## Bölgenin Turistik Cazibe Merkezi: Pamukkale Travertenleri

Pamukkale Travertenlerinin bölgenin en önemli turistik merkezi olduğu ve bölgeye turistleri çekmede lokomotif görevi yaptığı veriler incelendiğinde net olarak görülmektedir.

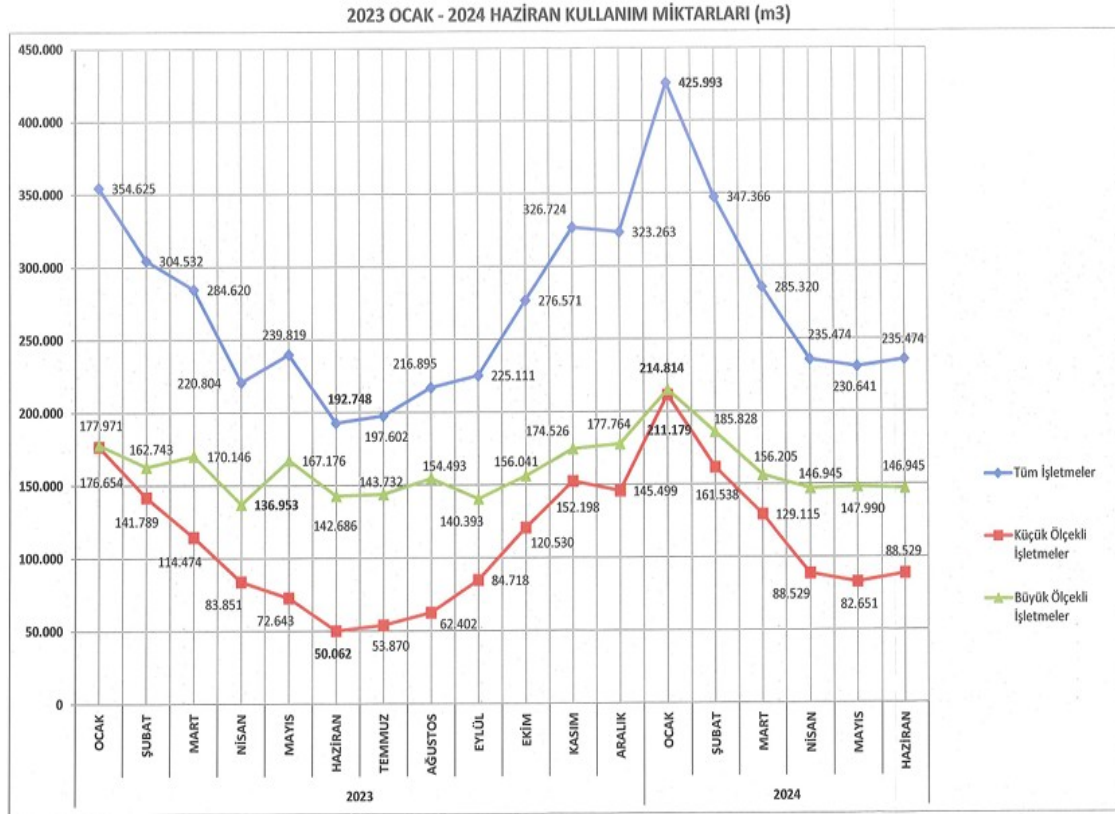


**Şekil 2:** 2015-2024 Yılları Arasında Pamukkale ve Laodikeia Ören Yerleri Ziyaretçi Sayılarının Karşılaştırılması (Kaynak: *Veriler Denizli İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nden alınmıştır (2024).*)

Şekil 2'de Pamukkale Travertenleri ile 12 km yakınında yer alan ve kültürel bakımdan özellikle yabancı turistler için büyük bir öneme sahip olan Laodikeia ören yerine 2015-2024 yıllarında gelen yıllık ziyaretçi sayıları karşılaştırılmıştır. Veriler, turistlerin bölgeye gelme nedenlerinin çok büyük oranda Pamukkale Travertenleri olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Her ne kadar Laodikeia, tarihi ve kültürel anlamda önemli bir değer taşısa da bölgenin turistik açıdan başat rolünü Pamukkale Travertenleri üstlenmektedir. Bu nedenle, bölgedeki turizm faaliyetlerinin sürdürülebilirliği ile Pamukkale Travertenlerinin korunması arasında doğrudan bir ilişki olduğu açıkça görülmektedir.

## Bölgedeki Termal Su Kullanım Miktarlarının Mevsimsel Değişimi

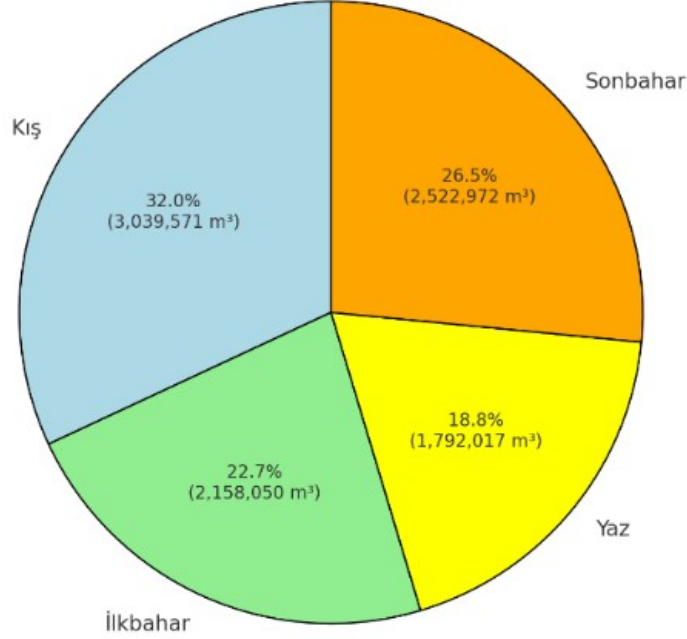
Termal su kaynaklarının etkin yönetimi çevresel dengenin korunması ve sürdürülebilirliği bakımından büyük önem arz etmektedir. Bölgede yoğun faaliyet gösteren tüm işletmelerin su kullanım miktarlarında meydana gelen aylık/mevsimsel/yıllık değişimler, termal su kaynaklarının yönetimi bakımından irdelenmesi gereken önemli bir faktördür. Bu bağlamda, 2023 Ocak-2024 Haziran dönemini kapsayan su kullanım verilerinin mevsimsel analizi, işletmelerin su talebi üzerindeki sezonluk etkilerin anlaşılması ve kaynak yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemli bulgular sunmaktadır.



**Şekil 3:**2023-2024 Döneminde İşletmelere Göre Bölgedeki Termal Su Kullanım Miktarları (m<sup>3</sup>) (Kaynak: Veriler Denizli Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Kaynak Geliştirme ve İştirakler Dairesi Başkanlığı (2024) tarafından sağlanmıştır.)

Şekil 3'te Ocak 2023- Haziran 2024 dönemindeki termal su kullanım miktarları analiz edildiğinde, yaz mevsiminde (Haziran-Ağustos) düşük olan termal su kullanım miktarının, kış mevsiminde (Ocak ve Şubat) tüm işletme kullanımlarında büyük bir yükseliş gösterdiği net olarak görülmektedir. Bu durum, kış mevsiminde termal suyun ağırlıklı olarak ısınma amacıyla kullanıldığını ve bu ihtiyacın bölgedeki termal su kaynakları üzerinde önemli bir baskı oluşturduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Analiz edilen veriler, yarı yapılandırılmış görüşme formu kapsamında elde edilen "doğal gazın bölgeye gelmesi halinde termal su kullanımının, özellikle kış aylarında, önemli ölçüde azalacağı" yönündeki görüşleri destekler niteliktedir. Isınma için termal su yerine alternatif enerji kaynaklarının devreye alınması hem bölgedeki jeotermal kaynakların korunması hem de Pamukkale Travertenlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Şekil 3'te sunulan verilerin kısa bir dönemi kapsaması nedeniyle, daha uzun dönemde mevsimsel olarak bölgedeki termal su kaynaklarının kullanımına bakıldığında, kış mevsiminde belirgin bir artış olduğu açıkça görülmektedir.



2022-  
Yılları

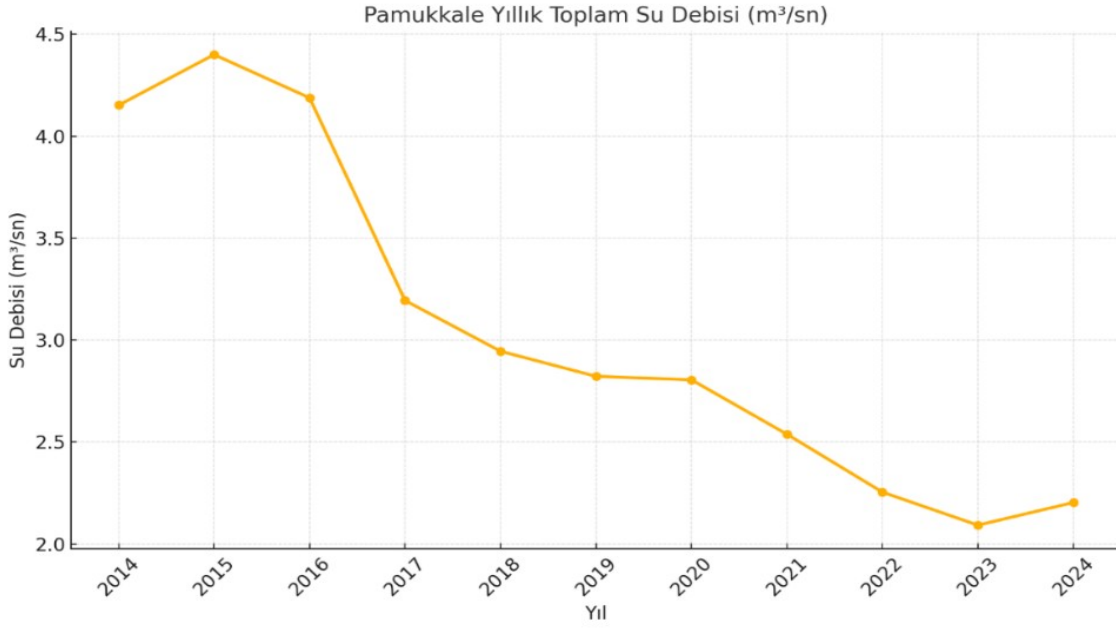
Şekil 4:  
2024

Arasında Mevsimlere Göre İşletmelerde Toplam Su Tüketim Dağılımı (m<sup>3</sup>) (Kaynak: *Veriler Denizli İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü'nden alınmıştır (2024).*)

Şekil 4'te 2022-2024 Yılları arasında mevsimlere göre işletmelerde toplam su kullanımı analiz edildiğinde, en fazla termal suyun kış mevsiminde kullanıldığı görülmektedir. Termal turizmin özellikle soğuk havalarda daha fazla tercih edildiği bilinmekle birlikte, ilkbahar ve sonbahar mevsimleri ile kış mevsimi arasındaki bu büyük farkın, işletmelerdeki ısıtma ihtiyacından kaynaklandığı net olarak görülmektedir. Kış mevsiminde termal suyun büyük ölçüde ısınma amaçlı kullanıldığı, bu nedenle bölgeye doğalgaz gelmesi durumunda termal su tüketiminin özellikle kış aylarında azalabileceği net olarak söylenebilir.

#### **Pamukkale Jeotermal Sahası Debi Ölçümlerinin Yıllık Değişim (m<sup>3</sup>/sn)**

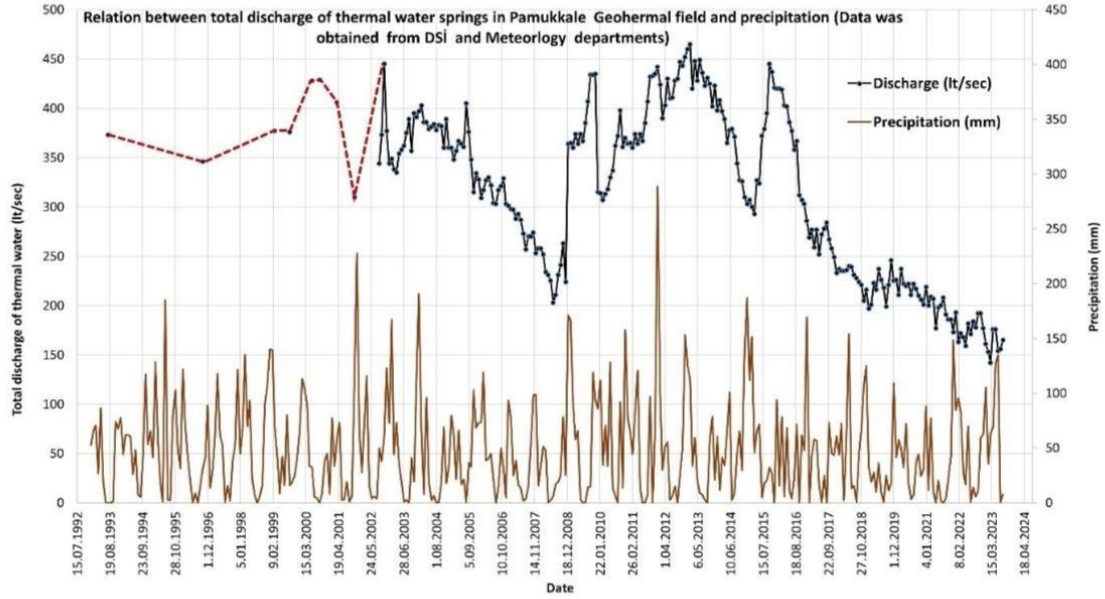
Pamukkale'deki travertenler hem Türkiye'nin hem de bölgenin en önemli doğal yapısı olup, termal su kaynaklarıyla varlığını sürdürmektedir. Bu nedenle, su debisindeki değişimler, travertenlerin sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, yıllara göre yapılan ölçümler analiz edilerek, travertenlerin geleceği için kritik bulgular elde edilmiştir. Özellikle su debisindeki azalma eğilimi, Pamukkale travertenlerinin geleceğiyle ilgili önemli ipuçları vermektedir.



**Şekil 5:** Pamukkale Yıllık Toplam Su Debisinin Yıllara Göre Değişimi (m<sup>3</sup>/sn)  
(Kaynak: *Veriler DBBB Kaynak Geliştirme ve İştirakler Dairesi Başkanlığı (2024)*).

Şekil 5'te verilen veriler incelendiğinde, 2014-2024 yılları arasında yıllık toplam su debisindeki keskin azalma dikkat çekmektedir. Ölçümlerin ilk yıllarında (2014-2015-2016) yaklaşık 4,5 m<sup>3</sup>/sn olan debi, son iki yılda 2,5 m<sup>3</sup>/sn seviyesine kadar gerilemiştir. 2020 yılında termal su debisindeki azalış hızının yavaşlaması, o dönemde yürürlükte olan pandemi kısıtlamalarıyla ilişkilendirilebilir. Bu durum, insan faaliyetlerinin termal su kaynakları üzerindeki etkisini ortaya koymakta olup bu faktörlerin su debisi üzerindeki belirleyici rolünü destekleyen bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Elde edilen bu bulgular, termal su kaynaklarının dolayısıyla bu kaynaklarla varlığını sürdüren Pamukkale travertenlerinin sürdürülebilirliğinin tehdit altında olduğunu göstermektedir. Bu eşsiz doğal yapının korunması için acil yönetim stratejilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Şekil 5'te verilen grafik termal suyun azaldığını net olarak ortaya koymaktadır. Ancak, grafikte sadece yıllık toplam debi ölçümleri yer almakta olup, azalmaya sebep olan iklimsel faktörlerin etkisi yansıtılmamıştır. Dolayısıyla, termal su kaynaklarının azalma nedenlerini daha kapsamlı ortaya koymak için iklimsel boyutuyla da değerlendirilmesi gerekmektedir.



**Şekil 6:** Pamukkale Jeotermal Alanındaki Termal Su Kaynaklarının Toplam Deşarjı ile Yağış Miktarı Arasındaki İlişki (Kaynak: *Kaynak: Turizm Gazetesi. (2024, Temmuz 23).*)

Şekil 6’da sunulan veriler, termal su kaynaklarının toplam debisi (lt/sn) ile yağış miktarı (mm) arasındaki ilişkiyi ortaya koymak bakımından önemlidir. Şekil 6’da görüldüğü üzere, termal su kaynaklarının debi miktarı seneler içinde bariz bir azalma eğilimi göstermektedir. Buna karşın yağış miktarları ise yıllara göre dalgalanmalar sergilemektedir. Yağışlardaki bu dalgalanmalara rağmen debideki azalma eğilimi, azalmanın sadece iklim faktörleriyle sınırlı olmadığını ortaya koymaktadır. Özellikle yağış miktarlarının belirgin artış gösterdiği yıllarda, termal su debisinin sınırlı düzeyde etkilenmesi bunun göstergesi olarak sunulabilir.

Bütün bu bulgular ışığında bakıldığında bölgedeki jeotermal kaynakların korunması için iklimsel faktörlerin yanı sıra insan kaynaklı etkilerin de ayrıntılı bir şekilde ele alınmasının önemi vurgulanmaktadır. Giderek azalan ve kritik seviyelere gelen debi seviyeleri, termal kaynakların kullanımını ve Pamukkale travertenlerinin turistik potansiyelini doğrudan etkileyebilecek önemli bir soruna işaret etmektedir.

### Sonuç ve Tartışma

Bu çalışma, Pamukkale ve çevresindeki jeotermal kaynakların ve bu kaynaklarla varlığını sürdüren Pamukkale travertenlerinin hem çevresel hem de insan kaynaklı faktörler nedeniyle tehdit altında olduğunu ortaya koymuştur. Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular, bölgedeki termal su debisinin seneler içinde büyük oranda azaldığını açık bir şekilde ortaya koyarken, bu azalmanın en önemli nedenleri arasında turizm tesislerindeki kontrolsüz artış, termal işletmelerin termal suyu kış mevsiminde ısınma için kullanmaları, son yıllarda daha kontrolü su akışının tesislere verilmesine karşın hala birçok tesisin kaçak sondaj faaliyetleri ile termal suyu kontrolsüz kullanmaları, termal suyun reenjeksiyon yapılmaması, travertenleri ziyaret eden ziyaretçilerin giderek artması, termal suyun tarımsal sulama ve seracılık faaliyetleri kapsamında bilinçsiz kullanılması nedeniyle jeotermal

kaynakların rezervuarının azaldığı, dolayısıyla Pamukkale travertenlerinin sürdürülebilirliğinin tehdit altında olduğu görülmektedir.

Pamukkale travertenlerine her yıl artarak gelen ziyaretçiler hem ulusal hem de uluslararası düzeyde bölgenin önemli bir turizm rotası olduğunu bariz bir şekilde ortaya koymaktadır. Pamukkale travertenlerinin, ülkemizi tanıtmadaki etkisi düşünüldüğünde bu travertenlerin sürdürülebilirliğinin hem ekolojik hem de ekonomik bakımından ne kadar önemli olduğu açıkça görülmektedir. Bu bağlamda Pamukkale ve çevresindeki termal su kaynaklarını tehdit eden faktörlerin hızlıca sonlandırılması, sürdürülebilir su yönetimi programlarının devreye alınması, mevcut yönetim politikaların yenilenerek eksiklerin giderilmesi ve bölge halkının termal su kullanımı hakkında bilgilendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Denizli Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Kaynak Geliştirme ve İştirakler Dairesi Başkanlığından sağlanan veriler kapsamında son 10 yılda Pamukkale travertenlerini besleyen su debisinin 4,5 m<sup>3</sup>/sn'den 2,5 m<sup>3</sup>/sn seviyesine kadar keskin bir düşüş yaşadığı, bu düşüşün de travertenlerin sürdürülebilirliği açısından tehdit oluşturduğu görülmektedir. Bu verileri Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından yapılan ölçümlerde desteklemektedir. 1993 yılından günümüze kadar yapılan yıllık termal su debi ölçümlerinde su debisinin üçte iki oranında azaldığı, bu azalmanın Dünya Miras Listesi'nde yer alan Pamukkale travertenlerinin sürdürülebilirliğini tehdit ettiği açıkça görülmektedir (Turizm Gazetesi, 2024). Çalışma kapsamında yapılan görüşmeler de bu durumu desteklemektedir. Katılımcılar travertenlerin beyazlığının bölgesel olarak ve belli zaman dilimlerinde verilen termal sular ile korunmaya çalışıldığını, geçmişte bütün terasların termal su ile doluyken günümüzde çoğu terasın boş kaldığını bunun da travertenlerin varlığını tehdit ettiğini belirtmektedirler.

Altunel ve Hancock (1993), Pamukkale travertenlerinin beyazlığı ve sürdürülebilirliği için termal suyun büyük önem arz ettiğini vurgulamış ve bu termal kaynakların azalmasının Pamukkale travertenlerinin varlığını tehlikeye atacağını belirtmiştir. Aynı şekilde, Canik (1978), Pamukkale travertenlerini besleyen jeotermal kaynaklarının, özellikle tarımsal alanda bilinçsizce kullanımı nedeniyle azalma eğiliminde olduğunu ve bu durumun travertenlerde renk değişmesine neden olacağını öne sürmüştür. Yine bu doğrultuda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2020), bölgedeki termal su kaynaklarının azalmasında kontrolsüz sondaj kuyuları ile bilinçsiz su kullanımının etkili olduğunu belirterek mevcut denetimlerin yetersizliğinin jeotermal kaynakların korunmasını zorlaştırdığını vurgulamaktadır. Çalışma kapsamında Denizli Büyükşehir Belediye Başkanlığı, Kaynak Geliştirme ve İştirakler Dairesi Başkanlığı sadece Karahayit bölgesinde 79 adet ruhsatsız kuyu tespiti yaptığını belirtmiştir. Bu bulgular, tarımsal ve turizm alanlarında açılan kaçak sondaj kuyuları ile denetimsiz su çekiminin bölgedeki jeotermal kaynaklara ciddi zarar verdiğini göstermektedir. Bu yanlış uygulamalar, travertenlerin sürdürülebilirliğini tehdit etmekte ve ekolojik çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Bu bağlamda çalışmada elde edilen bulgular, daha önce yapılmış çalışmalarla büyük ölçüde örtüşmektedir.

Yine yapılan görüşmeler ve analiz edilen belgeler, bölgedeki jeotermal kaynaklarının korunması, dolayısıyla Pamukkale travertenlerinin varlığını sürdürebilmesi için ısıtma amaçlı kullanılan termal suyun kısıtlanması ve bu konuda alternatif enerji kaynaklarının halka sunulmasını önemle belirtmektedir. Bu bulgular Çevre ve Şehircilik Bakanlığının (2020), raporuyla örtüşmektedir. Raporda ısıtma için bölgede doğalgaz kullanımına geçilmesinin ve bu doğrultuda altyapının hazırlanmasının elzem olduğu ifade edilmektedir. Öte yandan çalışmada jeotermal kaynakların sürdürülebilirliği için önemli olan reenjeksiyon kuyusunun açılmasının ve termal turizm amaçlı kullanılan suların bu kuyulara yönlendirilmesinin önem arz ettiği belirtilmiştir. Erkul (2012) çalışması, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı

(2020) Raporu, 2010 Çevre Koruma Raporu (2010) ile TÜBA Jeotermal Enerji Teknolojileri Raporu (2020), kapsamında da bu bulgular desteklenmekte olup, sürdürülebilir jeotermal kaynaklar için reenjeksiyon işleminin gerekliliği bu çalışmalarda vurgulanmıştır.

Araştırma, termal turizm ve sağlık amaçlı işletmelerin sayısının giderek arttığı ve bu durumun termal su kaynakları üzerinde baskı oluşturduğunu açıkça ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Çevre Koruma Raporunda da (2010), artan sondaj kuyularının jeotermal kaynakların dengesini bozduğunu ve geçmiş yıllarda Karahayıt'taki 'Kırmızı Su' kaynağının tamamen kurduğunu belirtilmiştir. Yine aynı doğrultuda Bertan (2010), turizmin planlı ve düzenli bir şekilde bölgede ilerlemesi gerektiğini vurgulamış ve termal kaynakların korunmasının “sürdürülebilir turizm master planı” ile gerçekleştirilebileceğini vurgulamıştır. Çalışmanın bulguları, vurgulanan riskleri desteklerken, termal su yönetiminin sürdürülebilir şekilde planlanmasının önemini belirtmektedir.

Bu çalışmada, Pamukkale travertenlerinin oluşumunu sağlayan termal su debisinin son yıllarda belirgin azalma yaşadığı net bir şekilde ortaya görülmekte, bu azalmanın sadece iklim faktörleri ile açıklanamayacağı da vurgulanmaktadır. Bu durumla benzerlik taşıyan araştırmalar olmakla beraber (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Raporu, 2020; Çevre Koruma Raporu, 2010) bu durumla çelişen çalışmalar da bulunmaktadır. Denizli'deki jeotermal kaynakların jeolojik süreçler ve fay hatları tarafından kontrol edildiği, bundan dolayı yağış miktarındaki değişimlerin termal su debisi üzerinde belirleyici bir etkisinin olmayabileceği ifade edilmektedir (Kozak, 2020).

Çalışmada elde edilen bulgular, Pamukkale ve çevresindeki jeotermal kaynakların ve onlarla varlığını sürdüren Pamukkale travertenlerinin sürdürülebilirliğinin ciddi tehdit altında olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle izinsiz açılan sondaj kuyuları, tarımsal sulama ve seracılıkta bilinçsiz kullanım, sağlık ve termal turizm amaçlı fazla ve kontrolsüz su tüketimi ile reenjeksiyon sisteminin uygulanmaması gibi faktörler termal su debisine zarar vermektedir. Bu durum jeotermal kaynak yönetiminin yalnızca iklime bağlı değişkenler üzerinden ele alınmasının yetersiz olduğunu, insan kaynaklı faaliyetlerin de derinlemesine ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, bölgedeki su yönetim politikalarının revize edilmesi, kaçak sondajların engellenmesi, reenjeksiyon sistemlerinin etkin hale getirilmesi ve doğalgaz gibi alternatif enerji kaynaklarına yönelmesi, Pamukkale travertenlerinin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliği için kaçınılmaz bir gerekliliktir. Aksi takdirde, bölgedeki termal su kaynakları tükenmeye devam edecektir. Bu tükenmeye dur denilmediği takdirde, Pamukkale travertenlerinin eşsiz yapısı ve pamuk gibi olan beyazlığı yalnızca eski fotoğraflarda bir hatıra olarak kalacak ve bu doğa harikası, geri döndürülemez bir şekilde yok oluşa sürüklenecektir.

### **Kaynakça**

Altunel, E. ve Hancock, P. L. (1993). Pamukkale travertenleri kaç yaşında. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*, 26, 496-497.

Ayvacı, Y. (2018). *Pamukkale sıcak su kaynaklarının jeotermal potansiyeli ve çevresel etkileri üzerine bir değerlendirme*. Anadolu Üniversitesi Yayınları.

Berg, B. L. ve Lune, H. (2015). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (H. Aydın, Çev. Ed.). Eğitim Kitabevi.

Bertan, S. (2009). Turizmin çevre üzerinde yarattığı etkiler: Pamukkale örneği. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 20(2), 204-214.

Bertan, S. (2010). *Pamukkale termal turizmi ve turist memnuniyeti üzerine bir araştırma*. Pamukkale Üniversitesi Yayınları.

Bertan, S. (2010). Pamukkale destinasyonunda termal turizm faaliyetleri ve yöreyi ziyaret eden

turistler üzerinde bir uygulama. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 4, 129-137.

Bertan, S. (2013). Ziyaretçilerin Pamukkale destinasyonuna algılamalarına yönelik bir araştırma. *International Journal of Human Sciences*, 10(2), 1-20.

Bolat, S. (2012). *Uşak ve çevresindeki jeotermal kaynakların değerlendirilmesi*. Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Büyüköztürk, Ş., Kılıç Çakmak, E., Akgün, Ö. E., Karadeniz, Ş. ve Demirel, F. (2008). *Bilimsel araştırma yöntemleri* (14. Baskı). Pegem Yayınları.

Canik, B. (1978). Denizli- Pamukkale sıcak su kaynaklarının sorunları. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 30, 495-502.

Corbin, J. ve Strauss, A. (2008). *Nitel araştırmanın temelleri: Temellendirilmiş kuram geliştirme için teknikler ve yöntemler*. Sage.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü. (2020). *Pamukkale Özel Çevre Koruma Bölgesi Yönetim Planı (2020-2024)*.

Denizli Büyükşehir Belediyesi. (2016). *Karahayıt ve Gölemezli jeotermal kaynaklarının verimlilik ve kullanılabilirlik araştırma projesi*. Denizli Büyükşehir Belediyesi Yayınları.

Erkul, H. (2012). Jeotermal enerjinin ekonomik katkıları ve çevresel etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19), 115-133.

Güler, A., Halıcioğlu, M. B. ve Taşgım, S. (2013). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Seçkin.

Holloway, I. ve Wheeler, S. (1996). *Hemşireler için nitel araştırma: Teori, uygulama ve süreçler*. Blackwell Science Ltd.

Konyalı, İ. (2019). *Türkiye için mevcut enerji üretimine alternatif yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının seçimi* (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi.

Kozak, M. (2020). Denizli ili jeotermal enerji kaynakları ve kullanım alanlarının araştırılması. *YEKARUM e-Dergi*, 5(1).

Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2024). *2024 yılı en çok ziyaret edilen müzeler ve ören yerleri sıralaması*. NTV. [https://www.ntv.com.tr/n-life/gezi/mevlana-muzesi-zirvede-iste-2024te-en-cok-ziyaret-edilen-muze-ve-oren-yerleri,SbPaQEifcU6tDKeSdX\\_7Wg](https://www.ntv.com.tr/n-life/gezi/mevlana-muzesi-zirvede-iste-2024te-en-cok-ziyaret-edilen-muze-ve-oren-yerleri,SbPaQEifcU6tDKeSdX_7Wg)

Merriam, S. B. (2009). *Nitel araştırma: Tasarım ve uygulama için bir kılavuz*. John Wiley & Sons.

Özkul, M. (2019). Markalaşmış bir doğal taş: Denizli traverteni. *Mavi Gezegen*, 2019(26), 71-73. <https://mavigezegen.jmo.org.tr/detail-article.php?articlekod=6290>

Şener, M. F., Uzelli, T., Akkuş, İ., Mertoğlu, O. ve Baba, A. (2023). Türkiye’de jeotermal enerjinin potansiyeli, kullanımı ve gelişimi. *Maden Tetkik ve Arastırma Dergisi*, 171, 69-90. <https://doi.org/10.1111/bulletinofmre.1229381>

T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı. (2010). *Pamukkale Özel Çevre Koruma Bölgesi biyolojik çeşitliliğin tespiti projesi sonuç raporu*.

Turizm Gazetesi. (2024, Temmuz 23). *Pamukkale tehlike altında: Su debisi azalıyor*. Turizm Gazetesi. <https://www.turizm gazetesesi.com/haber/pamukkale-tehlike-altinda-su-debisi-azaliyor/87687>

Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA). (2018). *Jeotermal enerji teknolojileri raporu*. TÜBA Yayınları.

Uzun, E. (2019). *Denizli ili jeotermal kaynakları ve çevresel etkileri üzerine bir araştırma*. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Wach, E. (2013). *Nitel doküman analizi üzerine öğrenme*.

Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2016). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Seçkin Yayıncılık.

## EXTENDED ABSTRACT

### 1. Introduction

Pamukkale, located in southwestern Turkey within the province of Denizli, is a world-renowned natural and cultural heritage site. Situated at the intersection of the Gediz and Büyük Menderes Grabens, the region is characterized by its unique geological formations, primarily the white travertine terraces formed by calcium carbonate-rich geothermal waters. These travertines, along with the ancient city of Hierapolis, were inscribed on the UNESCO World Heritage List in 1988. Beyond its aesthetic and historical value, the region serves as a vital economic hub driven by thermal tourism, agriculture, and industry.

However, the sustainability of this "white paradise" is currently under significant threat. Recent data indicates a dramatic decline in the flow rate (discharge) of the geothermal springs feeding the travertines. This study aims to analyze the factors threatening these resources and evaluate the sustainability of Pamukkale within a scientific framework. It distinguishes between natural pressures, such as climate change, and human-induced factors, including illegal drilling, uncontrolled agricultural irrigation, and the use of thermal water for residential heating.

### 2. Methodology

The research employs a qualitative research model to provide an in-depth understanding of the decline in geothermal water resources. To ensure data triangulation and enhance validity, two primary data collection methods were utilized:

- **Semi-Structured Interviews:** Data were gathered from nine purposively selected participants. These individuals include technical experts, academics, archaeologists, local administrators (muhtars), and business owners who have observed the region for many years or have been involved in its administrative and technical processes. The interviews, lasting 30–45 minutes, focused on three themes: thermal water dynamics, human impact, and management policies.
- **Document Analysis:** Official documents, reports, and numerical data were obtained from key institutions, including the State Hydraulic Works (DSİ), Denizli Metropolitan Municipality (Department of Resource Development), and the Provincial Directorate of Culture and Tourism. These documents provided historical flow rate data, visitor statistics, and regional management plans (2020–2024).

The data were analyzed using content analysis and descriptive analysis techniques. Interview transcripts were coded into themes, and statistical data from official reports were used to verify the observations made by the participants.

### 3. Findings

The findings of the study are categorized into three main areas: the physical state of the resources, the impact of human activities, and the adequacy of existing infrastructure and management.

#### ***3.1. Decline in Water Discharge and Physical Changes***

The most striking finding is the sharp decline in the geothermal water flow rate. Official records from 2014 to 2024 show that the total discharge, which was approximately  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$  a decade ago, has fallen to  $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$  in recent years. This represents a reduction of nearly two-thirds in a relatively short geological period.

Participants observed that while water used to emerge very close to the surface, new wells must now reach depths of 60–90 meters to access the same veins. Consequently, the travertine terraces are no longer constantly supplied with water. Management has resorted to a rotational system, directing water to specific sections at scheduled intervals. This lack of continuous flow has led to the structural degradation of the travertines and a visible darkening (graying or yellowing) of the terraces due to oxidation and lack of fresh sediment.

### **3.2. Human-Induced Pressures**

The study reveals that human activities are the primary drivers of this decline, overshadowing the effects of climate change.

- **Heating and Energy:** In the absence of a natural gas infrastructure, local businesses, hotels, and households in the Karahayit and Pamukkale areas use geothermal water for space heating. Seasonal data shows a massive spike in water consumption during January and February, confirming that the resources are being depleted for heating rather than just tourism or health purposes.
- **Illegal Drilling:** The municipality has identified at least 79 unlicensed wells in the Karahayit region alone. These illegal wells cause uncontrolled withdrawal from the reservoir, lowering the overall pressure of the geothermal system.
- **Agriculture:** The expansion of greenhouses and the export-oriented production of fruits (like pomegranates and quinces) have increased the demand for water. Unregulated use of thermal water for irrigation not only depletes the resource but also risks soil salinization due to the chemical composition of the water.
- **Lack of Reinjection:** A critical technical failure identified is the absence of reinjection systems. Instead of returning the used thermal water back into the underground reservoir to maintain pressure and volume, the water is often discharged as waste after use.

### **3.3. Management and Infrastructure Issues**

The interviews highlighted a significant gap between policy and practice. Although Pamukkale is a protected "Special Environmental Protection Area," bureaucratic complexity and the site's status as a 1st Degree Archaeological Site often hinder infrastructure projects like natural gas pipelines. Participants noted that current monitoring and inspection by local authorities are insufficient to stop illegal water extraction.

## **4. Discussion**

The results of this study align with and expand upon previous literature. Earlier researchers (Altunel & Hancock, 1993; Canik, 1978) warned that the survival of the travertines depended entirely on the maintenance of the geothermal reservoir. This study provides contemporary evidence that those warnings are now materializing into a crisis.

A key point of discussion is the comparison between climate change and human impact. While some argue that changing precipitation patterns are responsible for the drying springs, this study presents a correlation analysis (Figure 6) showing that even in years with high rainfall, the water discharge continued to decline. This confirms that the "hydrogeological balance" is being disrupted by over-extraction rather than just a lack of recharge from rain.

The research also emphasizes that the "whiteness" of Pamukkale is not just a visual concern but an ecological indicator. The darkening of the travertines suggests that the chemical precipitation process (the release of  $\text{CO}_2$  and the settling of  $\text{CaCO}_3$ ) is being interrupted. Without immediate intervention, the damage may become irreversible, leading to the loss of UNESCO status and a subsequent collapse in regional tourism.

## **5. Conclusion and Recommendations**

This study concludes that the sustainability of the Pamukkale travertines is under severe threat due to the unsustainable management of geothermal resources. The sharp decline in flow rates is a direct consequence of urban heating demands, illegal drilling, and the lack of a closed-loop (reinjection) system in thermal facilities.

To ensure the survival of this unique natural heritage, the following actions are urgently recommended:

1. **Mandatory Reinjection:** All thermal tourism facilities and greenhouses must be required by law

- to implement reinjection systems to maintain the geothermal reservoir's pressure.
2. Natural Gas Infrastructure: The transition to natural gas for residential and commercial heating in the Karahayıt and Pamukkale regions must be prioritized to end the use of thermal water for space heating.
  3. Strict Enforcement: Authorities must conduct more frequent and rigorous inspections to identify and seal illegal boreholes.
  4. Revised Water Policy: A "Sustainable Geothermal Management Plan" should be developed, setting strict quotas on water usage for different sectors (tourism vs. agriculture).
  5. Education and Awareness: "Geothermal Water Literacy" programs should be implemented for the local population and regional employees to foster a culture of conservation.

If these measures are not taken, the unique white terraces of Pamukkale risk becoming a memory preserved only in old photographs, marking a significant loss for both Turkey's natural heritage and the world's common cultural legacy.

### **Ek bilgiler**

**Çıkar çatışması bilgisi:** Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır

**Destek bilgisi:** Bu araştırmada herhangi bir destek alınmamıştır

**Etik onay bilgisi:** Bu araştırmada etik onay gerekli görülmemiştir

**Katkı oranı bilgisi:** Katkı oranı tüm yazarlara eşit olarak dağıtılmıştır.