

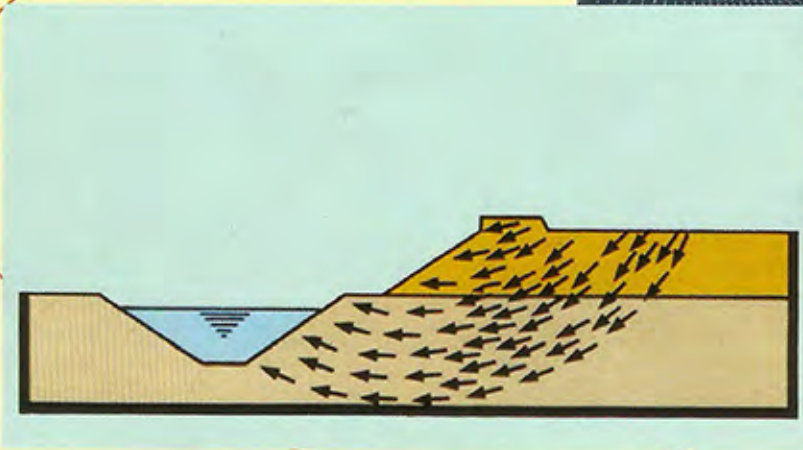
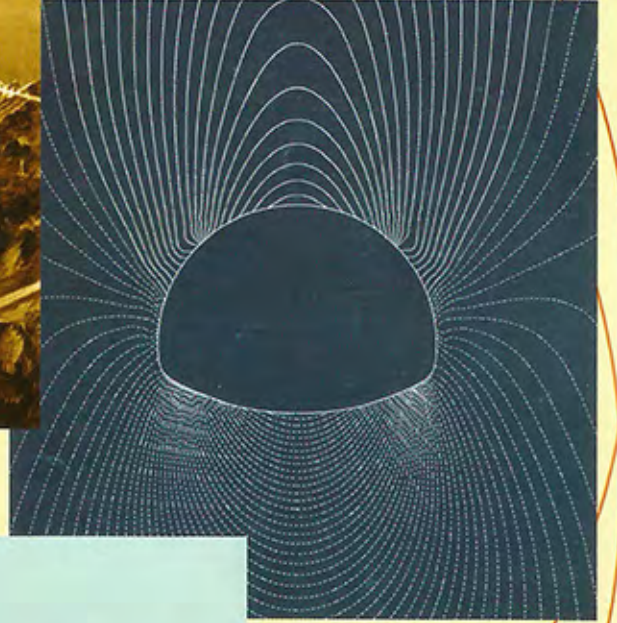


MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY

2008

SAYI: 26-27

EROSKAY ÖZEL SAYISI



MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ
BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY

Yayın Sahibi / Owner on Behalf of the Committee
Erdoğan YÜZER

Yazı İşleri Müdürü / Publication Director
Atiye TUĞRUL

Editörler Kurulu / Editorial Board
Reşat ULUSAY
Recep KILIÇ
Tamer TOPAL

Yardımcı Editör / Assistant Editor
Murat ERCANOĞLU

Yayın Danışma Kurulu / Advisory Board

Ergin ARIÖĞLU	Okay GÜRPINAR
Can AYDAY	Remzi KARAGÜZEL
Remzi DİLEK	K. Erçin KASAPOĞLU
Vedat DOYURAN	Şakir ŞİMŞEK
Mehmet EKMEKÇİ	Atiye TUĞRUL
Mustafa ERDOĞAN	Necdet TÜRK
Okay EROSKAY	Mahir VARDAR
Aziz ERTUNÇ	Erdoğan YÜZER
Candan GÖKÇEOĞLU	

Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Yönetim Kurulu
International Association of Engineering Geology and the Environment Turkish National Committee
Başkan: Erdoğan YÜZER (İTÜ)
Genel Sekreter: Atiye TUĞRUL (İÜ)
Sayman: Tamer TOPAL (ODTÜ)
Üye: Aziz ERTUNÇ (ÇÜ) - Üye: Reşat ULUSAY (HÜ)
Üye: Remzi KARAGÜZEL (İTÜ) - Üye: Mustafa ERDOĞAN (İTÜ)

Bültenin Kapsamı / Scope of the Bulletin

Bülten’de mühendislik jeolojisi ile ilgili yapılmış bilimsel araştırmalara ve/veya uygulamaya yönelik çalışmaların ürünü olan Türkçe yazılara yer verilir. Bülten yılda iki kez yayınlanır.

Bulletin of Engineering Geology is a medium to the publication of original scientific studies and/or applications in the field of engineering geology written in Turkish. The bulletin is published twice a year.

Yazı Göndereceklere Not / Note to Contributors

Gönderilecek yazılar, Bülten’in Yayın Amaç ve Yazın Kuralları’nda belirtilen ilkelere uygun olmalıdır. Yazılar üç kopya halinde yazışma adresleri aşağıda verilen editörlerden birine gönderilmelidir.

Manuscripts should be prepared in the form required in the instructions entitled "Guide for Authors". Three copies should be submitted to the one of the editors whose corresponding addresses are given below.

Yazışma Adresleri / Correspondence Addresses

Prof. Dr. Reşat Ulusay
Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara
e-posta: resat@hacettepe.edu.tr - Tel : (312) 297 77 67 - Fax: (312) 299 20 34

Prof. Dr. Recep Kılıç
Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan, Ankara
e-posta: rkilic@cng.ankara.edu.tr - Tel: (312) 212 67 20/1343 - Telefax: (312) 221 26 60

Prof. Dr. Tamer Topal
ODTÜ Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara
e-posta: topal@metu.edu.tr - Tel: (312) 210 26 90 - Fax: (312) 210 12 63

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ

BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY

Sayı(No.): 26-27 Haziran-Aralık (June-December) 2008

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

- Mersin - Esenli Civarının Katı Atık Depolama Alanı Olarak Mühendislik Jeolojisi Açısından Değerlendirilmesi**
Engineering Geological Evaluation of the Mersin – Esenli Vicinity as a Sanitary Landfill Area
Cumhur KARACA, Sedat TÜRKMEN, Fevzi ÖNER..... 1
- Eskişehir-Sivrihisar Günyüzü Havzasının Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyası**
Hydrogeology and Hydrogeochemistry of Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü Basin
Muhterem DEMİROĞLU, Yüksel ÖRGÜN..... 15
- Heyelan Duyarlılığı Çalışmalarında Türkiye'nin Uluslararası Bilimsel Literatürdeki Yeri**
Place of Turkey in International Scientific Literature on Landslide Susceptibility Studies
Murat ERCANOĞLU, Gökçe Deniz HASEKİOĞULLARI, Beliz GÜNAL..... 35
- Kaya Yüzeylerinde Uv-a ve B Işınları Nedeniyle Görülen Renk Farklılaşmaları**
Colour Differences on Rock Surfaces Due to Effects of UV-A and B Beams
Adil BİNAL, Aykut AYDERMAN , Aylin SEL..... 53
- Karakaya ve Ilıcaköy Ayaş (Ankara) Sıcak Sularının Hidrojeoloji İncelemesi**
Hydrogeological Investigation of Ayaş (Ankara) Karakaya and Ilıcaköy Hotwaters
Ayşegül ÇETİN, Şakir ŞİMŞEK..... 67

Yayın Türü (Type of Publication) : Yerel Süreli Yayın

Baskı (Printed by) : Öncü Basımevi, Kazım Karabekir Caddesi,
Ali Kabakçı İşhanı, No: 85/2 İskitler, ANKARA.
+90 312 384 31 20

Baskı Tarihi (Printing Date) : 20/02/ 2009

MERSİN - ESENLİ CİVARININ KATI ATIK DEPOLAMA ALANI OLARAK MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Engineering Geological Evaluation of the Mersin – Esenli Vicinity as a Sanitary Landfill Area

Cumhur KARACA¹, Sedat TÜRKMEN², Fevzi ÖNER³

¹ Mersin Büyükşehir Belediyesi, Çevre Koruma Daire Başkanlığı, Mersin

² Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

³ ME. Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mersin

ÖZ

Bu çalışmada, Esenli köyü civarının Mersin kenti için alternatif katı atık depolama alanı olarak mühendislik jeolojisi yönünden incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanında, Mi-yosen yaşlı resi'fal kireçtaşı, kıltaşı - marn, kumtaşı - kıltaşı birimlerinin egemen olduğu çökeller bulunmaktadır. Çalışma alanının jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla dört ayrı noktada karotlu sondajlar yapılmış ve çeşitli noktalarda araştırma çukurları açılmıştır. Sondajlardan, alınan örnekler üzerinde laboratuvarda yapılan zemin mekaniği deneylerinde çöp alanı taban zeminini oluşturacak olan killi zeminin özellikleri araştırılmış ve zeminin CH sınıfında, geçirimsiz, orta katı – katı özellikte olduğu anlaşılmıştır. Yapılan incelemelerde killi birimlerin mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi için; sondaj karotları üzerinde XRF ve XRD analizleri ve ateş kaybı deneyleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre birim, mineralojik olarak kuvars, kalsit, dolomit, plajiyoklaz ve kil mineralleri içermektedir. Bu sonuçlar, depolama alanının tabanını oluşturan killi birimin dolgu ve örtü malzemesi için mineralojik yönden uygun olduğunu göstermiştir. Sahanın başlıca olumsuz özelliği ulaşım yolunun dar olması ve araçların Dikilitaş beldesi içinden geçmesidir. Bu olumsuzluk, De-liçay Nehri'nin vadisinden alternatif bir yol ile veya mevcut yolların düzenlenmesiyle gi-derilebilir. Yapılan tüm jeolojik ve jeoteknik çalışmalar, Esenli köyü ve civarının katı atık depolama alanı olarak, uygun bir tasarımla değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Katı atık, Mersin, mühendislik jeolojisi, yer seçimi.

ABSTRACT

The main aim of this study is to determine engineering geological properties of an alternative landfill area for the city of Mersin near Esenli village. The lithological units in the study area mainly consist of Miocene aged clayey limestone – marl, claystone and siltstone. Four boreholes were drilled at different locations and several test pits were opened to describe the engineering properties of the area in conjunction with collection of core samples for testing

at the laboratory. The properties of the clayey ground were investigated in the landfill area by soil mechanical tests, which were performed through boreholes and in laboratory on core samples. Based on the test results, the clay is classified as a moderately stiff – stiff and CH group soil. The XRF – XRD analyses and loss on ignition experiments were carried out on the core samples to determine the mineralogical and geochemical properties of the clayey units. Foundation material mineralogically consists of the quartz, calcite, dolomite, plagioclase and clay minerals. Geotechnical properties and mineralogical composition indicate that the foundation material is suitable for the use of filling and covering material. The main problem of the alternatively proposed area is that the area has a narrow transporting road passing through the Dikilitaş district. This problem can be eliminated with construction of an alternative road along the Deliçay River valley or rearrangement of the existing road. The geological and geotechnical studies indicate that Esenli region can be assessed as a sanitary landfill area with a proper project.

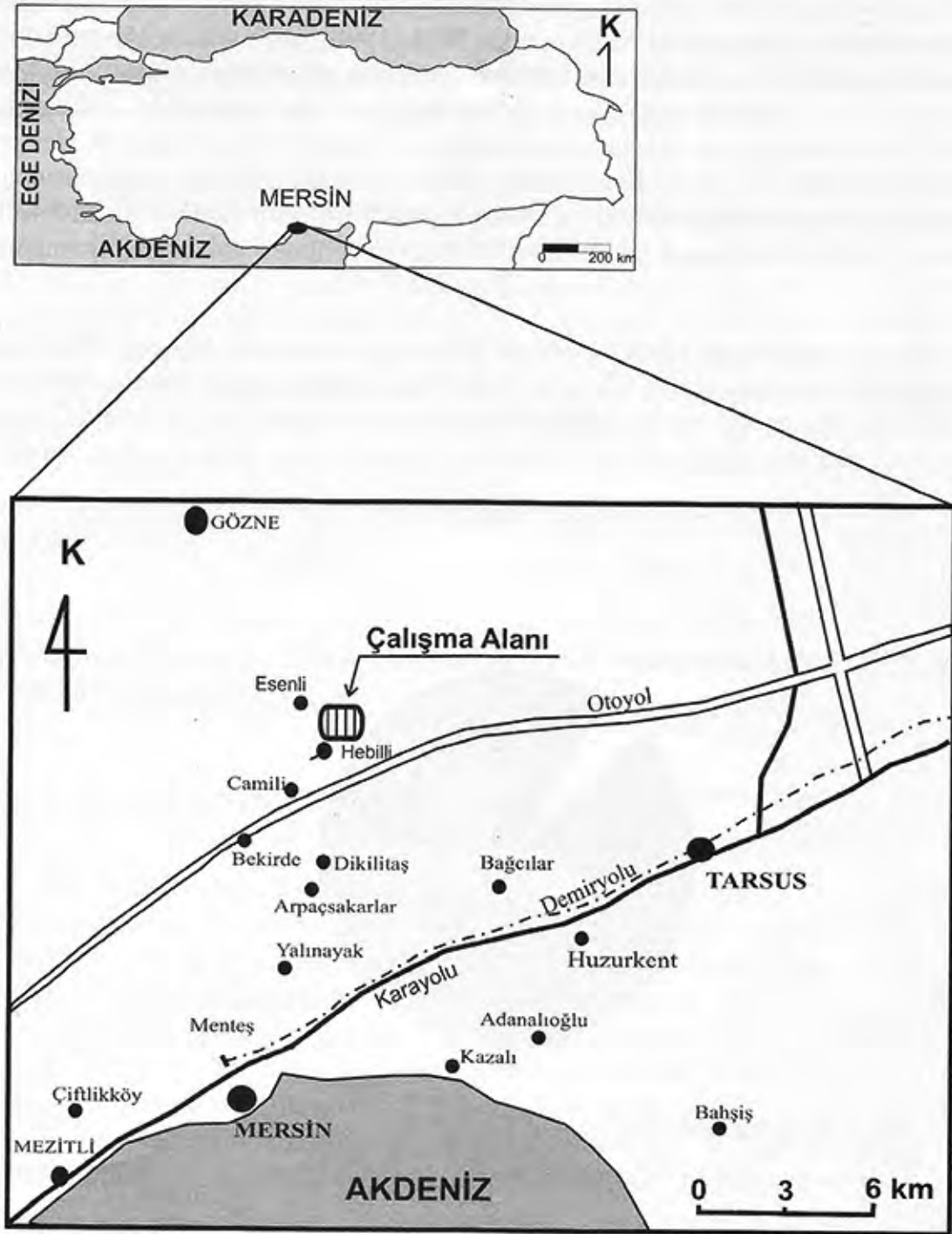
Keywords: Landfill, Mersin, engineering geology, site selection.

1. GİRİŞ

Önemi her geçen gün artan çevre sorunları, farklı nedenlerle ortaya çıkmaktadır. Hızlı nüfus artışı, düzensiz kentleşme, sanayileşme ve bunlara bağlı olarak oluşan atıklar, miktar ve çeşit olarak artmaktadır. Evsel ve endüstriyel katı atıklar, insan ve çevre sağlığı açısından potansiyel tehlike oluşturmalar. Atık alanlarının yer seçimi çevresel etkiler bakımından çok önemli bir unsurdur. Katı atık alanı için yer seçimi farklı disiplinleri kapsayan bir konu olmakla beraber, jeolojik ve hidrojeolojik özellikler ön plana çıkmaktadır. Çevre sağlığı bakımından hava, su, toprak ve görsel kirlilik, buna bağlı olarak hastalık ve koku gibi sorunlar, seçilecek yerin önemini arttırmaktadır. Yeraltısuyunun ve toprağın kirlenme tehlikesinin yanı sıra, atık alanındaki zemin duraylılığı, olası kütle hareketleri jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerin ayrıntılı şekilde araştırılmasını gerektirmektedir.

İncelemede, uzun yıllardan bu yana, çöp döküm alanı sorunu olan Mersin kenti için Esenli köyü civarında yeni bir çöp alanının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı, Mersin'in kuzeydoğusunda kent merkezine yaklaşık 24 km mesafede yer almaktadır. Çalışma alanının kuzey batısında Esenli köyü, kuzeyinde Sığırlı Dağı ve güneyinde Hebilli Köyü bulunmakta olup, bu alan 1/25000 ölçekli O 33-a2 paftasında yer almaktadır (Şekil 1). Bu bölgede topografik yükseltiler 100 – 300 m kotları arasında değişmektedir.

Bölgede tipik Akdeniz iklimi egemen olup, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Genelde hakim rüzgar yönü kış ve bahar aylarında kuzeybatı, yaz aylarında güneybatı yönündedir. Mersin ilinde yıl içinde ortalama toplam yağış miktarı 618.6 kg/m^2 'dir. Yıllık yağışlı gün sayısı 62, yıllık ortalama sıcaklık 18.4°C 'dir (TC Çevre Bakanlığı İlçel Valiliği İl Çevre Müdürlüğü, 1999). Deliçay deresinin sel karakteri olup, akarsuyun gücü ölçüsünde malzeme biriktirmektedir. İnceleme alanı içerisinde bulunan ve Deliçay deresine drene olan mevsimlik küçük dere yatakları bulunmaktadır. Aşırı yağışlı kış ayları dışında bu dere yatakları kurudur. Yağışlı zamanlarda yüzey sularının olası katı atık depolama alanında herhangi olumsuz bir etki yaratmaması açısından gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.



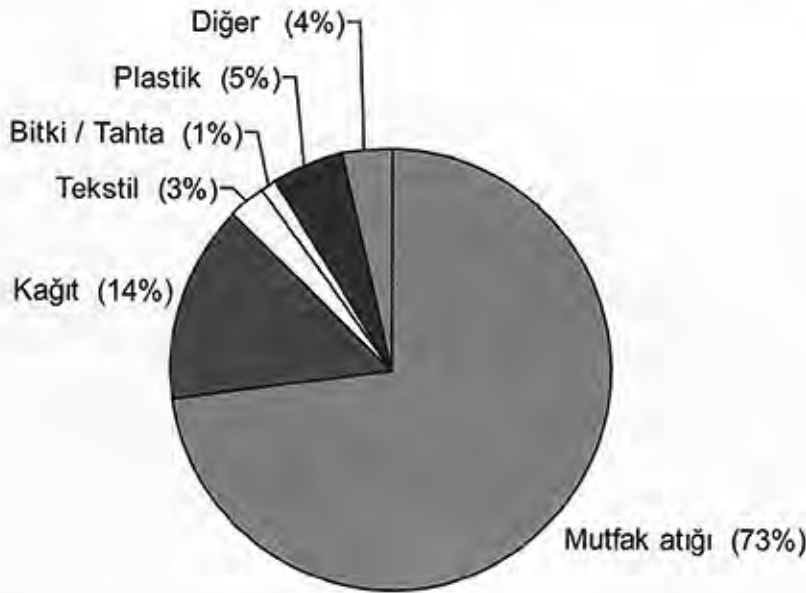
Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

Mersin, 1998 yılı başına değin düzenli çöp depolama alanına sahip olan ender kentlerden biridir. Ancak Mersin Büyükşehir Belediyesi'ne ait mevcut Çavuşlu çöp sahası ve kompost tesisi kapasitesini doldurmuş ve düzenli olmayan bir çöp alanı haline gelmiştir. 1993 yılında, hizmete giren mevcut düzenli depolama alanı kompost fabrikasının iyileştirilmemesi ve aşırı nüfus artışı nedeniyle planlanan süreden daha önce kapasitesini doldurmuştur. Mersin kentinde halen kullanılmakta olan Çavuşlu çöp döküm alanının artık kullanım ömrünü bitirmesiyle

yeni bir katı atık depolama alanının yer seçiminin yapılarak en kısa zamanda faaliyete geçirilmesi zorunluluğu doğmuştur. Bu kapsamda JICA (1998), 1998 yılında Mersin Büyükşehir Belediyesi için katı atık yönetimi ve bertarafı amacıyla çalışmalar yapmış olup, Mersin'in kuzeydoğusunda bulunan Çimsa Çimento Fabrikası'nın eski hammadde ocaklarının evsel katı atık alanı olarak uygun olduğunu raporunda belirtmiştir. Ancak bu alanın Mersin Organize Sanayi Bölgesi içerisinde olması nedeniyle bazı hukuksal sorunlar söz konusu olup, atık alanı olarak kullanımına geçilememiştir. Bu çalışma, belirlenen alanın dışında Esenli köyü civarının katı atık alanı olarak incelenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır.

Mersin'de katı atık oluşum miktarı yaklaşık 500 ton/gün olup, atık toplama işlemi kamyonlarla yapılmaktadır. Bu atıklar; Toroslar, Yenışehir ve Akdeniz ilçe belediyeleri tarafından toplanmakta olup, toplama işlemi belirlenmiş gün ve zamanlarda yapılmaktadır. Mersin kentindeki evsel katı atık bileşimi ve miktarlarının yüzde oranları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. . Mersin kenti katı atık bileşenleri (JICA, 1998).

Figure 2. Composition of solid waste of the Mersin city (JICA,1998).

Çalışmada jeolojik özellikler ön plana çıkartılmakla birlikte, ulaşım, ekonomik işletme ve çevresel faktörler de göz önüne alınmıştır. Yer seçiminde göz önünde bulundurulacak ölçütlerle depolama sahalarının bölgede meydana getirebileceği çevresel etkilerin belirlenmesi ve elde edilecek sonuçlara göre en az maliyetle en az çevre kirliliği yaratacak olan sahanın saptanması amaçlanmıştır. Bu konuda değişik değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır. USEPA (2003), Walsh ve O'lery (2002) ile Toussaint (1989) kalitatif olarak bazı genel ölçütlere göre yer seçimi önermişlerdir. Mutlutürk ve Karagüzel (2007a; 2007b) Manavgat örneğinde depolama alanı kalitesi tanımlama (LAQ) yöntemini önermişler ve yer seçimini iki aşamada yapmışlardır. Birinci aşamada uygun depolama alanları belirlenmiş, ikinci aşamada ise, seçenekler arasından maliyeti ve toplumsal kabulü de denetleyen ölçütlere göre en uygun

alanı belirlemişlerdir. Ayrıca, hedef çevreye zarar vermeden atığın kendi kendini kazanması ve geri dönüştürülmesinin sağlanması önemli bir unsurdur (Montgomery, 2000). T.C. Çevre Bakanlığı (1995)'na göre kurulan tesisin konumu imar planında belirtilerek, işletmeye kapatıldıktan itibaren en az 40 yıl yerleşime açılmaması gerekmektedir.

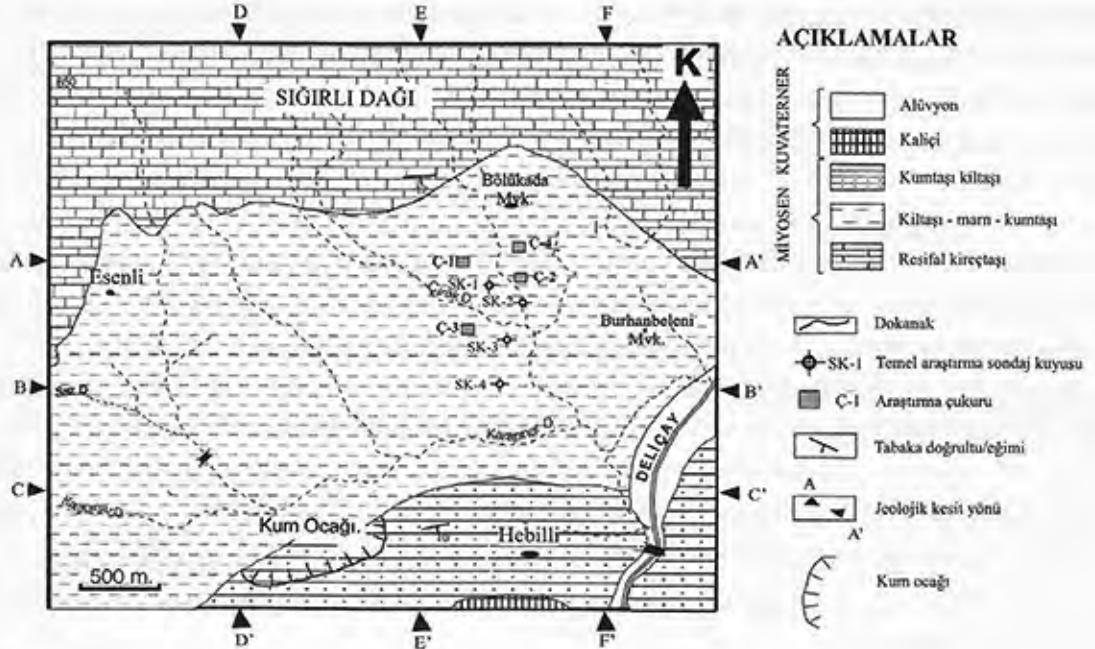
Seçilen çerçevede, bir katı atık depolama alanının saptanmasında aşağıdaki ölçütler göz önünde bulundurulmalıdır; 1. yerleşim birimlerine uzaklık, 2. jeolojik ölçütler, 3. örtü ve dolgu, 4. malzeme durumu, 5. deprem durumu, 6. taşıma mesafesi ve yol durumu, 7. depolama kapasitesi, 8. jeoteknik koşullar, 9. hidrojeolojik durum, 10. depolama alanında arazi mülkiyeti, 11. hakim rüzgar yönü, 13. kamuoyu koşulları, 14. biyolojik koşullar, 15. iklimsel koşullar ve 16. maliyet. Ayrıca topoğrafik özellikler ve bu özelliklere göre depolama yöntemleri de belirlenmektedir. Genel olarak depolama; (a) düz sahada yığma, (b) vadi veya yamaç tipi depolama ve (c) çukur içerisine depolama olmak üzere üç şekilde yapılmaktadır. İnceleme alanının az engebeli bir topografyaya sahip olması ve sık vadiler içermesi vadi tipi depolamaya uygundur.

İnceleme alanı, T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına (AİGM, 1996) göre 3. derece deprem bölgesindedir.

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

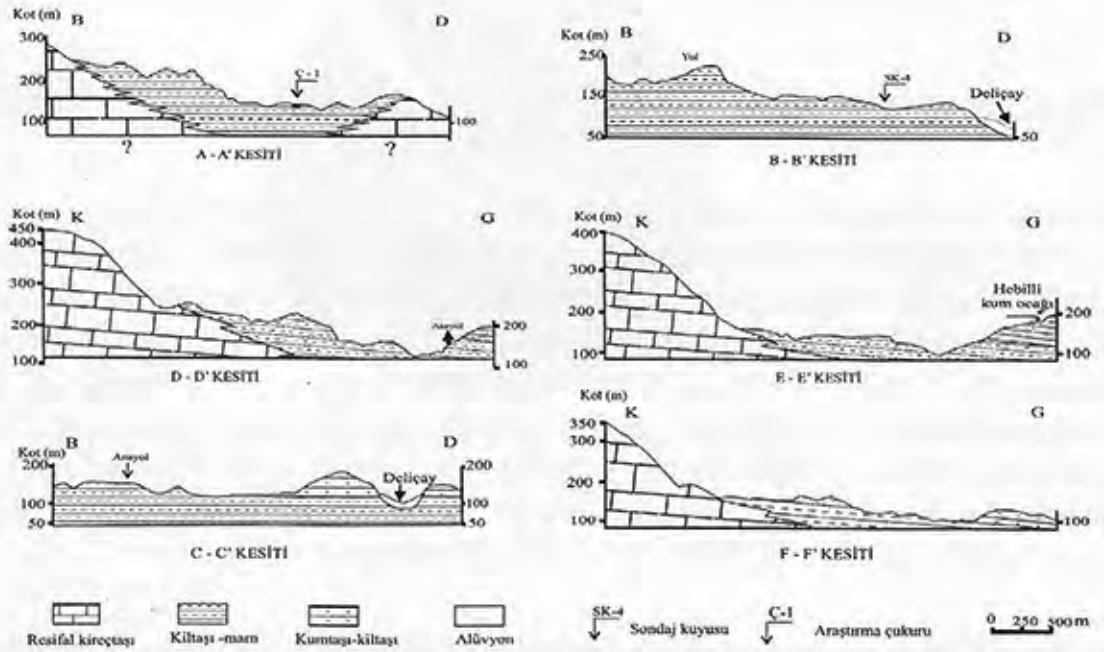
İnceleme alanı ve çevresinde, temeli oluşturan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler üzerinde çökelmiş Senozoyik yaşlı tortul kayalar egemendir. Miyosen'in değişik dönemlerine ait bu tortul kayalar değişik fasiyeslerde oluştukları için, litolojik olarak oldukça farklı yapıdadırlar. Yöredeki birimler; resifal kireçtaşı, kıltaşı - marn ardalanması ve kumtaşı-kıltaşı birimleri ile bu birimlerin üzerine gelen Kuvaterner yaşlı kili ve güncel alüvyonlardan oluşur (Şekil 3 - 4). Bölgede değişik amaçlı çok sayıda jeolojik çalışma yapılmış olup, petrol aramalarına yönelik olarak Schmidt (1961) ile İlker (1975) tarafından yapılan çalışmalarda Tersiyer birimleri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca Şenol vd. (1998) tarafından Mersin dolayının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası da yapılmıştır.

Katı atık alanı olarak öngörülen alanın kuzeyinde Sığırlı Dağı ve çevresinde resifal özellikte kireçtaşı yüzeylenmektedir. Önceki çalışmacılar (İlker, 1975) tarafından Karaisalı formasyonu olarak adlandırılan bu birim; beyaz, açık gri ve bej, yer yer bol algli, mercanlı, gastropot ve lamelli kavrık, killi, yumrulu, erime boşluklu ve yer yer orta katmanlı resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Alt dokanak tam olarak görülmemesine rağmen, daha önce yapılan çalışmalara (Schmidt, 1961; İlker, 1975) göre Gildirli formasyonu üzerine geçişli ve aşmalı olarak gelmektedir. Kireçtaşı üzerine yanal ve düşey geçişli olarak kıltaşı ve marn birimleri gelmekte olup, ince kırıntılı bu birimler önceki çalışmacılar (İlker, 1975) tarafından Güvenç formasyonu olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3. İnceleme alanının jeoloji haritası.

Figure 3. Geological map of the study area.



Şekil 4. İnceleme alanının enine jeoloji kesitleri.

Figure 4. Geological cross - sections of the study area.

Katı atık alanı, Güvenç formasyonu olarak adlandırılan ince kırıntılı birimler üzerindedir. Daha çok kilitaşı – marnın egemen olduğu birim içerisinde, yer yer silttaşı ve ince taneli kumtaşı bantları da izlenir. Yeşil gri, bej ve olan kilitaşı – marn'dan oluşan bu birimin, stratigrafik olarak alt kesimlerinde killi kireçtaşı ve marn, üst kesimlerinde ise kilitaşı-silttaşı birim-

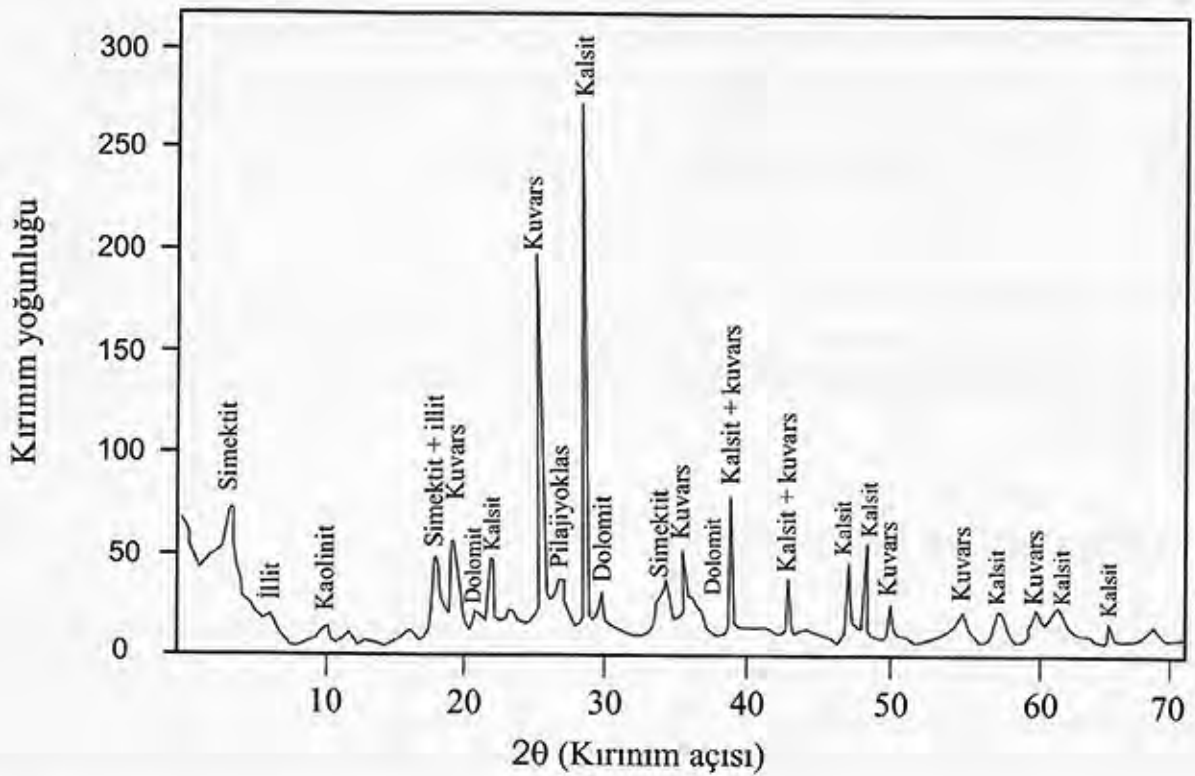
leri egemen olup, Erken - Orta Miyosen bölgede oluşan resif önü ortamını temsil eder (İlker, 1975). Bu birimin üzerine kumtaşının egemen olduğu Kuzgun formasyonu yine geçişli olarak çökelmiştir. Çalışma alanının güneyinde ve güneydoğusunda yüksek bölgelerde geniş yayılım gösteren sarı, beyaz ve gri – siyah kumtaşı, önceki çalışmalarda Kuzgun formasyonu olarak adlandırılmıştır (Schmidt, 1961; İlker, 1975).

Kumtaşının üzerine ince bir bant şeklinde yer yer resifal kireçtaşlarının gelmesine karşın, siltli ve killi kısımları Kuvaterner yaşlı kaliçi birimi tarafından örtülmüştür. Tüm yörede dere yataklarında ve düzlüklerde güncel alüvyon ve kolluviyal istifler en genç birimleri oluşturmaktadır.

3. MİNERALOJİK VE KİMYASAL BİLEŞİM

Çalışma kapsamında bölgede geçirimsizlik görevi yapabilecek sarı-yeşil plastik özellikteki killi birimden alınan 5 örnekte tüm kayacın mineralojik ve kimyasal bileşimi MTA laboratuvarlarında X-ışınları kırınım (XRD) ve X-ışınları floresans (XRF) yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Örnekler mineralojik olarak birbirlerine benzemekte olup, ana bileşenlerini kalsit, kuvars ve kil mineralleri oluşturmaktadır (Şekil 5). Örneklerde ayrıca plajiyoklaz, dolomit ve hematit mineralleri de eser miktarda yer almaktadır. Kil minerallerinde ana faz olarak smektit grubuna ait montmorillonit ve bu minerale eşlik eden az miktarda illit ve klorit bulunmaktadır. Çöp depolama alanının tabanında yer alacak olan geçirimsiz seviyenin mineralojik bileşimi yer seçimi açısından önemlidir. Özellikle karbonat minerallerinin asidik içerikli çöp suları tarafında kolayca eritilmesi, ilksel olarak geçirimsiz davranan birimlerin geçirimli bir özelliğe dönüşmesine neden olmaktadır. Bunun için karbonatları oluşturan mineral miktarları ve türlerinin bilinmesi gerekmektedir. Örneklerin önemli bir kısmı karbonat minerallerinden kalsit (CaCO_3), bazı örnekler ise eser miktarda dolomit içermektedirler. Bu minerallerin nitel miktarlarını belirlemek için ateşte kayıp deneyleri yapılmıştır. Bunun için örnekler 105, 550 ve 1050 °C'de kül fırınında ısıtılıp, desikatörde soğutulularak tartılmıştır. Bu işlem esnasında 550 °C ile 1050 °C arasındaki kütle kaybı, karbonatların içindeki CO_2 'ye karşılık gelmektedir. Yüksek sıcaklıklarda örneklerin yapısındaki karbonat miktarları parçalanarak CaO , MgO ve CO_2 'e dönüşür. Bu CO_2 kaybından yola çıkılarak CaCO_3 miktarı hesaplanmıştır. Buna göre örneklerin kalsit içeriği % 30 ile % 40 arasında değişirken, dolomit miktarı % 3 ile % 8 arasındadır.

XRF analizlerine göre örneklerin ana element içerikleri sırasıyla; SiO_2 , % 31.1-42.2; Al_2O_3 , % 7.97-13.94, Fe_2O_3 : % 4.5-9.1, CaO : %13.5- 22.3, MgO : % 3.7-4.1, K_2O , % 1.51-1.94 ve Na_2O , %0.31-0.49 arasında değişmektedir. Bu örneklerin aynı yöntemle elde edilen bazı iz element içerikleri ise Cr, 150-190 ppm, Ni, 85.5-160 ppm, Cd, 45-75 ppm, Zn, 80-90 ppm ve Pb, 10-12.5 ppm aralığında değişmektedir.



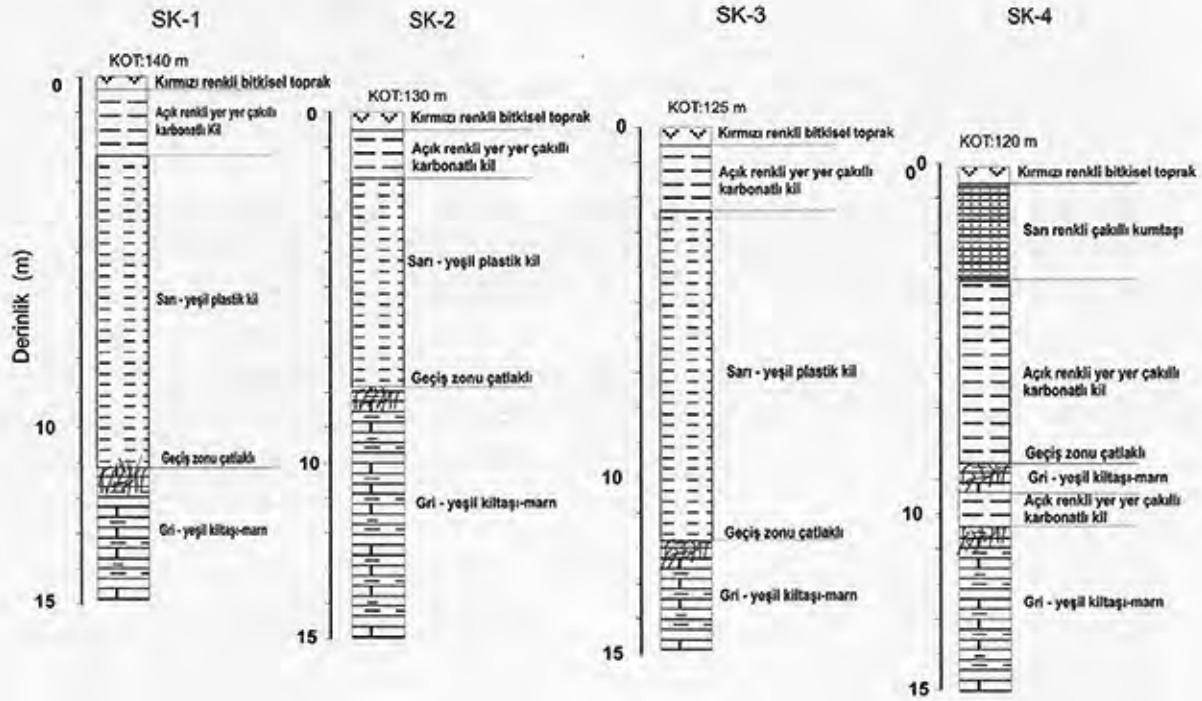
Şekil 5. SK- 2 no. lu sondajın 3 ve 5 m'leri arasından derlenen zemin örneğinin X-ışınları kırınım difraktogramı.

Figure 5. XRD diffractogram the soil sample obtained from the depth of 3 -5 m of borehole SK-2.

4. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Katı atık depolama alanının uygunluğu açısından yapılan çalışmalar, arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak yürütülmüştür. Arazi çalışmaları; ayrıntılı mühendislik jeolojisi harita alımı, yeraltı jeolojisi ile zemin özelliklerinin belirlenmesi, örnek alımı ve yerinde deneyler için sondaj kuyusu açılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Belirlenen dört noktada dönel yöntemiyle toplam 60 m derinliğinde dört adet karotlu sondaj kuyusu açılmıştır. Sondajlar sırasında geçirimsizliği saptamak için serbest sızma deneyi, zemin dayanımını belirlemek için de her 1.5 m'de bir standart penetrasyon deneyleri (SPT) yapılmıştır. Sondajdan alınan karot örnekler üzerinde laboratuvarda zemin sınıflamasına yönelik deneyler ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için tek ve üç eksenli sıkışma deneyleri yapılmıştır. Sondaj sayısının sınırlı olması nedeniyle zemin dağılımının daha iyi belirlenmesi için sondajlara ek olarak araştırma çukurları da açılmıştır. Araştırma çukurlarından alınan torba örnekleriyle de sınıflama ve indeks deneyler yapılmıştır.

Arazide 4 ayrı yerde yapılan sondajlarda ve açılan araştırma çukurlarında (Şekil 3) benzer özellikte jeolojik birimler kesilmiştir (Şekil 6). Sondaj ve araştırma çukurlarında gözlenen birimler; 0 – 0.5 m Kırmızı bitkisel toprak, 0.5 – 2 m bej yer yer çakıllı karbonatlı kil, 2 – 9 m Sarı- yeşil, plastik kil ve 9 – 15 m Gri- yeşil, orta sert, kırılğan kiltası-marn şeklindedir.



Şekil 6. Sondaj kuyu loglarının karşılaştırılması.

Figure 6. Correlation of the borehole logs.

4.1. Laboratuvar Deneyleri

İncelenen katı atık depolama alanından derlenen örselenmemiş ve örselenmiş örnekler üzerinde TS 1900'e (1987) göre laboratuvar deneyleri yapılmıştır (Çizelge 1). Deneyler için tüm sahayı temsil edecek şekilde ve her seviyeden en az üç örnek olmak üzere çok sayıda örnek derlenmiştir. Ayrıca yüzeyde ayrışma sonucu oluşmuş toprak örtüsünden derlenen örnekler üzerinde kompaksiyon deneyleri yapılmış ve optimum su içeriğinde en büyük kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir.

Kompaksiyon deneyi sonucunda, en büyük kuru birim ağırlık, $\gamma = 1.66 \text{ g/cm}^3$ ve optimum su içeriği, $w_{op} = \% 24$ olarak bulunmuştur.

Ayrıca uygulanabilecek bir katı atık tasarımı açısından, kazılarda oluşabilecek duraylılık sorunları ve taşıma gücü hesapları için tek ve üç eksenli sıkışma deneyleri yapılmıştır. Topoğrafyanın az engebeli olmasından dolayı yarma şeklinde hızlı kazılar söz konusudur. Şev duraylılık analizleri için drenajsız koşullar dikkate alınarak drenajsız ve konsolidasyonsuz üç eksenli sıkışma deneyi tercih edilmiştir. Buna göre; üç eksenli sıkışma deneyinde (drenajsız - konsolidasyonsuz) $c = 49.03 \text{ kPa}$, $\phi = 0^\circ$ ve tek eksenli sıkışma deneyinde ise $q_u = 160.83 \text{ kPa}$ (orta sert kıvamda) belirlenmiştir.

Çizelge 1. İnceleme alanındaki zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Table 1. Physical and mechanical properties of the soils in the study area.

Sondaj No.	Örnek No.	Derinlik (m)	Örnek Tanımı	Su İçeriği (%)	Likit limit (%)	Plastik limit (%)	Plastisite indisi (%)	Büzülme limiti (%)	Zemin sınıfı	Doğal birim hacim ağırlık (g/cm ³)	Kuru birim hacim ağırlık (g/cm ³)	Özgül ağırlık	Permeabilite katsayısı (m/s)	Tek eksenli sıkışma dayanımı (kPa)
SK-1	1	0.5 - 2	Karbonatlı kil	26	83.4	31.7	51.7	14	CH	2.03	1.67	2.68	<10 ⁻⁹	264.78
SK-1	2	2 - 3.20	Plastik kil	31	71	31	40	10.7	CH	1.95	1.56	2.56	36x10 ⁻⁹	225.56
SK-1	3	9 - 15	Kiltaşlı-marn	20	-	-	-	-	-	2.36	2.09	-	<10 ⁻⁹	-
SK-2	4	3.5 - 7	Plastik kil	26	72	33	39	12	CH	2.03	1.67	2.48	27x10 ⁻⁷	235.36
SK-2	5	11 - 15	Kiltaşlı-marn	23	-	-	-	-	-	2.42	1.98	-	<10 ⁻⁹	-
SK-3	6	3 - 7	Plastik kil	25	73.5	30.5	43	9.8	CH	1.96	1.6	2.68	2x10 ⁻⁸	254.97
SK-3	7	13 - 15	Kiltaşlı-marn	22	-	-	-	-	-	2.4	2.02	-	<10 ⁻⁹	-
SK-4	8	4 - 8	Karbonatlı kil	30	84	32	52	13	CH	2	1.8	2.84	1.7x10 ⁻⁵	274.59
Çukur No.														
Ç-1	9	2.5	Plastik kil	19	72	30	42	12	CH	-	-	2.45	-	-
Ç-2	10	4	Plastik kil	22	69	25	44	9.8	CH	-	-	2.62	-	-
Ç-3	11	3	Plastik kil	24	73	30	43	11.2	CH	-	-	2.52	-	-
Ç-4	12	3.5	Plastik kil	20	77	32	45	12	CH	-	-	2.51	-	-

4.2. Doğal Yapı Malzemesi

Atık alanından çıkartılacak kazı malzemesinin inşaat malzemesi olarak değerlendirilmesi, yer seçimi yapılan bölge açısından çok önemlidir. Atık alanı için gerekli olan geçirimsiz örtü malzemesinin, drenler için taneli malzeme ve çakılın aynı alanda veya yakın bir yerde olması, katı atık depolama alanına ekonomiklik kazandırmaktadır (Tchobanoglous ve Theisen, 1993). Yüzeyde bulunan örtü malzemesinden derlenen örneklerde en büyük kuru birim hacim ağırlığı veren su içeriğini belirlemek için kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda; ortalama olarak $\gamma = 1.66 \text{ g/cm}^3$ ve $w_{op} = \% 24$ değerleri belirlenmiştir. Zemin mekaniği deneylerinin sonuçları değerlendirildiğinde, yüzeyden sıyrılacak olan ayrışma ürünü killi malzemenin dolgu ve örtü malzemesi olarak kullanılabilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır. Atık depolama sırasında sıyrılan bu örtü malzemesi biriktirilmelidir. Sıyrılma işleminden sonra altta kalan kil zeminin uygun su içeriğinde sıkıştırılması gerekmektedir.

Ayrıca kiltası – marn biriminin egemen olduğu çalışma alanı ve çevresinde ayrışma sonucu oluşan killeşmiş kalın toprak örtü bulunmaktadır. Küçük tepecikler oluşturan bu toprak malzeme, potansiyel örtü ve dolgu malzemesi olarak değerlendirilebilir. Drenler için kullanılacak her boyda çakıl çalışma alanının 500 m doğusunda Deliçay dere yatağından, kum ise çalışma alanının 1 km güneyinde Hebilli kum ocağından sağlanabilir.

5. HİDROJEOLÖJİK ÖZELLİKLER

Bir katı atık depolama alanından kaynaklanan en önemli olası tehlikelerden biri sızıntının su kaynaklarını kirletmesidir. Tüm katı atık depolama sistemlerinde farklı miktar ve kalitede sızıntı suyu oluşmaktadır. Bu kirlenmiş atık suyunun oluşumu ve hareketi bölgenin hidrojeolojik özellikleri tarafından kontrol edilmektedir. Özellikle alttaki zemin veya kaya biriminin, permeabilitesi, süreksizlikleri ve litolojisi bir alanın depolama için uygunluğunun saptanmasında dikkate alınan faktörlerdir.

İnceleme alanında egemen litoloji Miyosen yaşlı kiltası-marn ardalanması olup, tabaka eğimleri $5^\circ - 15^\circ \text{ G-GD'}$ ya doğrudur. Akifer olabilme özelliği zayıf olan bu birim, yer yer içerdiği kumtaşı ve çakıltaşı düzeylerinde su taşıyabilmektedir. Yanal ve düşey yönde geçişler göstermesi su taşıyan birimlerin sınırlı olmasını sağlamaktadır. Bölgede yeralan jeolojik birimler akifer özelliği göstermemektedir. Yörede açılan derin su sondajlarında herhangi bir verim alınamamıştır. Ancak açılan derin su sondajlarından kiltası –marn biriminin ara düzeylerinde yer alan kumtaşı seviyelerinden seyrek olarak 1 -3 lt/s debide su alınabilmektedir. Özellikle inceleme alanının da marn kiltası geçirimsiz olup akifer özelliği göstermez.

Atık alanını oluşturan birimlerin geçirimsizlik ve hidrolik iletkenliğinin belirlenmesi için arazide sondaj sırasında her 1.5 m'lik kademelerde, 10'ar dakikalık sürelerde düşen seviyeli permeabilite deneyi yapılmıştır. Yaklaşık 9 m derinliğe kadar egemen olan killi seviyelerde

ortalama permeabilite katsayısı değerleri, $k = 10^{-7}$ m/s' den küçük olarak belirlenmiştir. 8 m derinlikten sonra ana kaya özelliğinde olan gri - yeşil kilaşı-marn seviyesine yaklaşıldıkça su kaçağı artmıştır. Su kaçağının artması, zeminde o derinlikte çatlaklı bir geçiş zonunun olduğunu göstermektedir. Açılan sondajlarda ve bölgede daha önce açılan derin su sondajı kuyularında da yeraltısuyu gözlenmemiştir.

6. SONUÇLAR

Esenli (Mersin) civarında yapılan inceleme sonucunda jeolojik, hidrojeolojik ve jeomekanik özellikler dikkate alındığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Mersin kenti günlük evsel atık miktarı göz önüne alındığında çalışılan alan, depolama kapasitesi açısından 30 yıl boyunca kentin evsel katı atığını depolayabilecek büyüklüktedir. İncelenen alan her iki yerleşim alanına 1 km'den daha uzak mesafede olup, Çevre Bakanlığı (2002) yer seçim kriterlerine göre, sorun yaratmayacak mesafededir.

Depolama alanının üzerinde yer aldığı birim, kilaşı-marn ardalı olmalı olup, geçirimsizdir. Yüzeyde ayrışma sonucu oluşan killi zemin, sıyrılarak örtü ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilir özelliktedir. Ayrıca çalışma alanında bulunan küçük tepelikler de ayrışma sonucu oluşmuş killi topraktır. Bu tepelikler, örtü ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Drenler için ise kullanılabilir filtre malzemesi 500 m mesafedeki Deliçay deresinden veya çalışma alanının 1 km güneyindeki Hebilli kum ocağından sağlanabilir.

İnceleme alanında yüzeyden itibaren 8 m derinliğe kadar gözlenen killi seviyeler için kuru birim hacim ağırlık, $\gamma_s = 1.66$ g/cm³ ve optimum su içeriği, $w_{op} = \% 24$ bulunmuştur. Bu değerler katı atık alanı için gerekli olacak dolgu ve örtü malzemesinin, bu seviyelerden yapılacak kazılar sonucu sağlanabileceğini göstermiştir.

Birim mineralojik olarak; kuvars, kalsit, dolomit, plajiyoklas ve kil minerallerinden oluşmaktadır. Element miktarı bakımından yüzde olarak en fazla SiO₂ değeri saptanmıştır. Üç ayrı sondaj kuyularından, 3-5 m arasından alınan, sarı-yeşil plastik kil biriminde ortalama % 35 CaCO₃ bulunmaktadır. Yapılan kil mineral analizlerinde birimin en fazla smektit ve daha az oranda illit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Özellikle karbonat minerallerinin asidik içerikli çöp suları tarafında kolayca eritilmesi, ilksel olarak geçirimsiz davranan birimlerin geçirimli bir özelliğe dönüşmesine neden olmaktadır. Bu durum, atık sahasının tasarımı aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Karotlar ve diğer örnekler üzerinde yapılan zemin mekaniği deneylerinde atık alanı taban zeminini oluşturacak killi zeminin Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre CH zemin sınıfında, geçirimsiz, orta dayanımlı olduğu anlaşılmıştır.

Yaklaşık 8 m derinliğe kadar permeabilite değeri 10^{-7} m/s' den küçük olarak belirlenmiştir. 8 m'den sonra gri - yeşil kilaşı marn seviyesine yaklaşıldıkça su kaçağı artmıştır. Sızma miktarının artması, zeminde o derinlikte çatlaklı bir geçiş zonunun olduğunu göstermekte-

dir. Yapılacak katı atık depolama alanında kazı taban sınırının bu seviyelere kadar indirilmemesi halinde ve uygulanabilecek bir geçirimsizleştirme yöntemiyle yüzey sularının bu derinliğe kadar ulaşması önlenebilecektir.

Önerilen depolama alanını oluşturan birimlerin geçirimsiz özellikte, killi ve marnlı olması ve ayrıca yörede yeraltısu seviyesinin çok derinde bulunması gözönüne alındığında, yapılacak katı atık depolama tesisinin, yeraltısuyunu kirletme riski bulunmamaktadır.

Çalışma alanında topoğrafyaya göre en uygun depolama yöntemi vadi tipi depolamadır. Bölgede bulunan ve Deliçay deresine drene olan küçük dere yatakları, aşırı yağışlı kış ayları dışında kurudur. Yüzey sularının yağışlı zamanlarda depolama alanında herhangi olumsuz bir etki yaratmaması için uygun drenaj yöntemleriyle düzenlenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, Mersin kenti için önerilen Esenli katı atık alanı; jeolojik ve hidrojeolojik açılardan, topoğrafik, hakim rüzgar yönü, depolama kapasitesi, ekonomik ulaşım mesafesinde ve genel yerleşim yoğunluğunun orta kesiminde bulunması, ayrıca Mersin kentinin batı yönünde gelişmekte olduğu dikkate alındığında, kentin gelişme yönünün tersinde olması açısından, uygun koşullara sahiptir. Dolayısıyla Mersin için son derece önemli bir sorun oluşturan katı atık alanına alternatif bir çözüm olarak, Esenli katı atık alanı uygun bir depolama sahası olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

AİGM, 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. Ankara.

İlker, S. 1975. Adana baseni kuzeybatısının jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Raporu Ankara (yayımlanmamış).

JICA (Japan International Cooperation Agency), 1998. The study on regional solid waste management for Adana-Mersin in the Republic of Turkey. Progress Report, Kokusai Kogyo Co., Ltd., Mersin.

Montgomery, W.C., 2000. Environmental Geology. Fifth Edition Update, Northern Illinois Universty, USA.

Mutlutürk, M., and Karagüzel, R. 2007a. Landfill area quality (LAQ) classification approach and its application in Isparta, Turkey. Environmental and Engineering Geosciences, 13, 229- 240.

Mutlutürk, M. ve Karagüzel, R. 2007b. Katı atık depolama tesisi yer seçiminde LAQ yönteminin uygulanması ve tesis ünitelerinin yerleşimine yönelik jeoteknik değerlendirme:

- Manavgat örneği. Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Bildiriler kitabı, İstanbul, 363 - 374.
- Schmidt, G.C., 1961. Stratigraphic nomenclature for the Adana region petroleum distric VII. Petroleum Administration Bull, 6, 47 - 63.
- Şenol, M., Şahin, Ş. ve Duman, T., 1998. Adana-Mersin dolayının jeoloji etüd raporu. MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana (yayımlanmamış).
- T.C Çevre Bakanlığı İçel Valiliği İl Çevre Müdürlüğü. 1999. İçel il çevre durum raporu, Mersin.
- T.C Çevre Bakanlığı. 1995. Küçük ölçekli belediyelerde atık depo alanlarının inşaat ve işletme kılavuzu, Yayın No:1, Ankara.
- T.C Çevre Bakanlığı. 2002. Katı atık bertaraf sahaları için yer seçimi ve kriterlerini içeren kontrol listesi. Çevre Kirliliği Önleme Kontrol Genel Müdürlüğü, Atık Yönetim Daire Başkanlığı.
- Tchobanoglous, G., and Theisen, H., 1993. Integrated solid waste managment Engineering Principles Managment Issues. McGraw-Him, Inc., New York.
- Toussaint, B., 1989. Grundwasserschutz bei deponienanlagen aus hydrogeologischer und geotechnischer Sicht; Wissenschaft und Umwelt, 1 (41), 41-51
- TS 1900. 1987. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri. UDK 624.131. Ankara.
- USEPA (US Environmental Protection Agency), 2003. Managing solid waste: Resource consevation and recovery Act (RCRA) Subtitle D, EPA530-R-016.
- Walsh, P., and O'lery, Z P., 2002. Evaluating a potential saniterly landfill site. Waste Age, 74-83.

ESKİŞEHİR-SİVRİHİSAR- GÜNYÜZÜ HAVZASININ HİDROJEOLJİSİ VE HİDROJEOKİMYASI

Hydrogeology and Hydrogeochemistry of Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü Basin

Muhterem DEMİROĞLU, Yüksel ÖRGÜN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Sakarya Nehri havzası (GB Eskişehir) içinde yer alan Günyüzü havzasının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal verileri kullanılarak havzanın akifer sisteminin tanımlanmasıdır. İnceleme alanında, Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar, Eosen yaşlı granitik kayalar, Neojen yaşlı sedimanter kayalar ve alüvyonlar yer alır. Havzada, geçirimsiz ortam olarak sınıflandırılan şistler, granitik kayalar ve diyabaz daykalarıyla sınırlanan Paleozoyik yaşlı mermerler, sıcak ve soğuk sular için ana rezervuar kayaç niteliğindedir. Havza içindeki Neojen yaşlı kireçtaşları, konglomeralar ve alüvyonlar ikincil akiferlerdir. Çalışma kapsamında 9 su noktasından kurak ve yağışlı dönemlerde sistematik örnekler alınmıştır. Örneklerin iyon dağılımı, bölgedeki karbonatlı kayaların, suların kimyasal bileşiminde ana belirleyici olduğunu, ayrıca sulara ölçülen $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ izotop değerleri, suların atmosferik kökenli olduğunu göstermiştir. Trityum içeriği (0 – 8 TU) ve EC değerleri (309-1216 mg/l), inceleme alanındaki suların sığ dolaşım (Musluk çeşmesi kaynağı, Çukurçeşme kaynağı, Atlas kaynağı, Nasrettin Hoca kaynağı, Babadat kaynağı) ve derin dolaşım (Yeniçikri kaynağı, 55886/A nolu kuyu, Subaşı kaynağı, Çardak Hamamı kaynağı) şeklinde gruplandırılabilirliğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Akifer, Günyüzü havzası, hidrojeokimya, izotop, yeraltısuyu.

ABSTRACT

The aim of this study is to define the aquifer system by using hydrogeochemical and hydrological data obtained from the Günyüzü basin located in the Sakarya River basin at the SW of Eskişehir. The study area comprises of Paleozoic metamorphic rocks, Eocene granitic rocks, Neogene sedimentary rocks and recent Quaternary alluvium. The marbles, which are the main reservoir rocks for hot and cold water, are bordered by impermeable diabase dykes at sides and by impermeable granites and schists. Neogene limestones, conglomerates and alluvium form the secondary aquifers in the region. 9 groundwater samples were taken from springs and wells in dry and wet seasons, chosen so as to represent the aquifer system. The

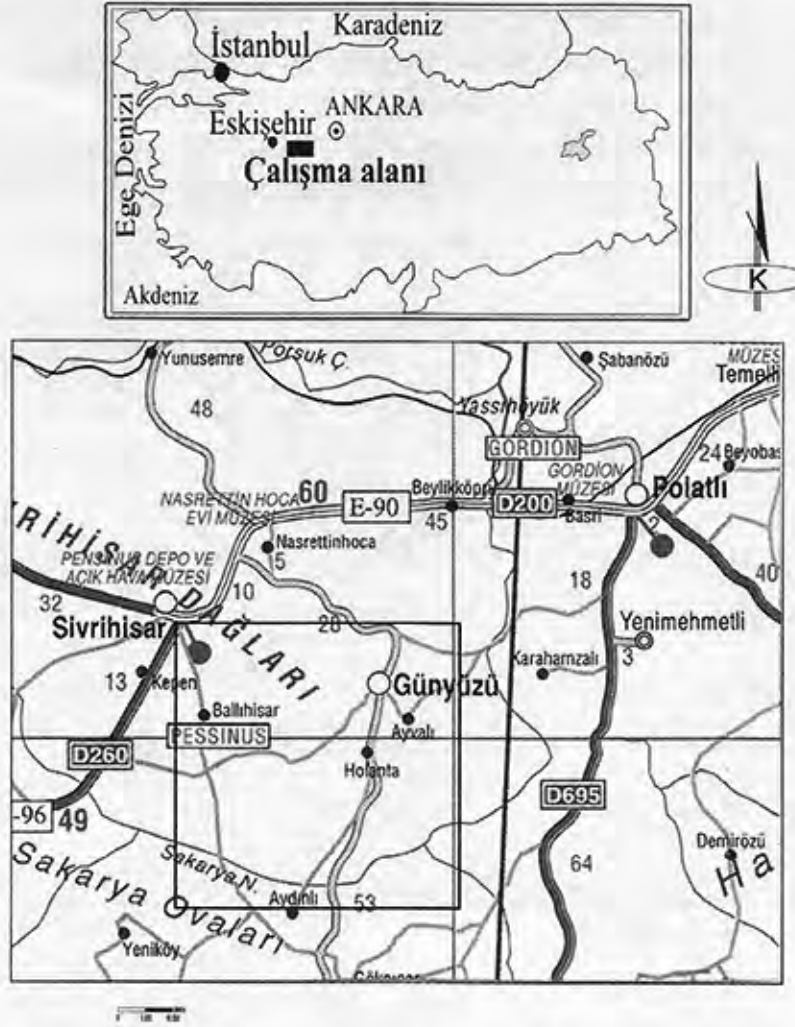
cation and anion permutation of the samples are located within the marbles and limestones. $\delta^{18}O$ and δ^2H isotope values shows that all waters (thermal and cold) are meteoric origin. 3H (0 – 8 T) and EC (309-1216 mg/l) values represent the deep circulating water. (Yeniçıkırı spring, Subaşı spring, 55886/A well, Çardak Hamamı spring,) and the shallow circulating waters (Musluk çeşmesi spring, Çukurçeşme spring, Atlas spring, Nasrettin Hoca spring, Babadat spring).

Keywords: Aquifer, Günyüzü basin, groundwater, hydrogeochemistry, isotope.

1. GİRİŞ

Yeraltısularını diğer yeraltı zenginliklerinden ayıran en önemli özellik, yenilenebilir olmalarıdır. Ancak bazı sistemlerde binlerce yıllık paleoklimsel koşullarda oluşan yağış-yükseklik farkları, beslenme ve boşalımda dengesizliğe neden olduğundan, akiferlerin güvenli kullanılabilmesi için yenilenme süresinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu anlamda, özellikle yarı kurak-kurak bölgelerde paleoklimsel koşullarda beslenen akiferler, hızla tüketilmeyecek ve kirletilmeyecek kadar değerli olup, çoğu zaman bu bölgelerde tek su kaynağı olan yeraltısuları, bölge ekonomisini de doğrudan etkileyebilmektedir. Bu tür havzaların yönetiminde, en önemli girdi olan beslenme hesaplamaları, yakın zamanda önemli gelişmeler kaydetmiştir (Gieske ve De Vries, 1990; Lerner vd., 1990; Shurbaji ve Campbell 1997; Dennis ve Murray, 2002; Aquilina vd., 2005). Karstik alanlarda, beslenme alanı ile yüzey topoğrafik drenaj alanı çakışmadığı için yağıştan ve yüzeyden süzülme hesapları güçleşir (Dennis ve Murray, 2002). Karst akiferlerinin hidrodinamik yapılarının tanımlanmasında ve su bütçesi hesaplamalarında, duraylı-duraysız izotop analiz sonuçlarının kullanıldığı ve coğrafi bilgi sistemlerinin veri toplama ve işleme yeteneğinden faydalanılarak, havzaların bütçe hesaplamalarının daha sağlıklı bir şekilde tahmin edilmesine yönelik yöntem oluşturulmaya çalışıldığı görülmektedir (Eriksson, 1975; Tezcan, 1993; Allison vd., 1994; Zuber A.,1983; Özaydın vd., 2001; White, 2002; Dennis ve Murray 2002; Aydın, 2005; Shaban vd., 2006).

Sakarya havzası içerisinde yer alan yarı kurak iklim özelliğindeki inceleme alanı (Şekil 1), DSİ tarafından Günyüzü havzası olarak adlandırılmıştır. Bu havzada kısmen karstik Paleozoyik yaşlı mermerler ve Neojen kireçtaşları ana akifer sistemini oluşturmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma ile henüz kirlilik problemi olmadığı belirlenen havzada, akifer sistemlerinin doğru olarak anlaşılması, havzanın kontrol edilebilirliğini de beraberinde getirecektir. Sivsihisar ilçesine bağlı belde ve köylerin içme ve sulama suyu ihtiyaçlarının tamamı yeraltısularından karşılanmaktadır. Bu nedenle, çalışma alanındaki artan kuyu sayısına bağlı olarak, emniyetli verimin belirlenmesi önem kazanmıştır. Emniyetli verim hesaplarında beslenme-boşalım ilişkisi kısa süreli ölçümlerle belirlenmektedir. Beslenme-boşalım eşitliği gerçeği yansıtmadığı gibi, beslenme kadar boşalım olursa yeraltısuyu seviyesi değişmez düşüncesi de doğru değildir. (Devlin ve Sophocleous, 2005; Dumlu vd., 2006). Oysa, yukarıda değinildiği gibi, yarı kurak iklimlerdeki binlerce yılda biriken sularla oluşan yeraltısuyu seviyesinin ya da doğal dengenin uzun vadede korunabilmesi önemlidir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

Bu çalışmada; Sakarya Nehri ana drenaj alanı içerisinde yer alan yarı kurak karasal iklim özelliklerine sahip Günyüzü havzasının hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası incelenerek, akiferlerin beslenme-dolaşım-depolama-boşalım ilişkilerindeki belirsizliklerin açıklanması amaçlanmıştır. Elde edilen arazi verileri izotop analiz sonuçlarıyla desteklenerek, akifer sistemine ait hidrojeolojik kavramsal model oluşturulmuştur.

2. YÖNTEM

Bu çalışmanın temelini oluşturan jeoloji ve yapısal özelliklerin açıklanması amacıyla, çözünürlüğü yüksek uydu görüntüleri üzerinde çalışılmış, daha sonra yerinde kontrollerle havzanın 1/25.000 ölçekli jeoloji ve hidrojeoloji haritaları hazırlanmıştır (Şekil 2). Kavramsal modelin oluşturulmasında ve birimlerin kalınlık ve yapısal konumlarının belirlenmesinde DSI kuyu bilgileri ve Önder (1994) tarafından hazırlanan eş rezistivite ve elektriksel yapı kesitlerinden de yararlanılmıştır.

çözünmüş oksijen (DO, mg/l), redoks potansiyeli (Eh, mV), toplam çözünmüş madde (TDS, mg/l) ve tuzluluk (NaCl, ‰) değerleri yerinde ölçülmüştür. Örneklerin majör iyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-}) analizleri ise TSE belgeli Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Su Kimyası Laboratuvarları'nda, elektronötralite $< \pm 5\%$ olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca örneklerde iz element analizleri (F, Ag, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Al, Mn, Ni, Pb, Zn ve Co) ve yanı sıra sulardaki inorganik kirliliğin başlıca belirteçleri olan azot bileşikleri (NH_3^- , NO_2^- , NO_3^-) ve PO_4^{3-} analizleri de yapılmıştır.

Çizelge 1. Örneklenen su noktalarına ait bilgiler.

Table 1. Information about sampled water points.

Adı ve numarası	X (K)	Y (D)	Kot (m)	Debi (lt/sn)	Sıcaklık (°C)
Yeniçıkırı (K1)	4341980	399353	887	Kuru	22.8
Musluk çeşmesi (K2)	4347658	395851	1068	0.2	24.9
Çukurçeşme (K3)	4351171	396769	1011	5	14.0
55886/ Sondaj (K4)	4352775	399400	920	65	29.8
Subaşı (K5)	4353611	399217	961	137	30.0
Atlas (K6)	4356938	393466	1055	81	19.0
Çardak hamamı (K7)	4366839	390127	925	45	35.0
Nasrettin Hoca (K8)	4373481	385292	943	170	22.7
Babadat (K9)	4374508	320558	917	87	20.5

Bir hidrolik dönemi temsilen alınan su örneklerinin izotop analizleri (^{18}O , ^2H ve ^3H) DSI Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı Laboratuvarı'nda yapılmıştır. İkinci dönem (2005-2006 yılları) temsilen alınan su örneklerinin ^{18}O ve ^2H analizleri Nevada-ABD Duraylı İzotop Laboratuvarında, ^3H analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Çevresel Tritiyum Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları değişik grafik yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

Eskişehir-Sivrihisar bölgesinde birçok araştırmacı tarafından değişik zamanlarda, değişik amaçlı çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar Romieux (1942) ile başlamış ve günümüze kadar devam etmiştir (Weingart, 1954; Erol, 1955; Altınlı, 1973; Erdinç, 1978; Kulaksız, 1981; Gautier, 1984; Kibici vd., 1993; Gözler vd., 1996; Okay ve Tüysüz, 1999;

Göncüoğlu vd., 1996; Whitney, 2002; Örgün vd., 2004 ve 2005; Whitney ve Davis, 2006). Günyüzü havzasını kapsayan ayrıntılı bir çalışma Umut vd. (1991) tarafından yapılmış olup; bu çalışmada kullanılan stratigrafik adlandırmalar önceki bu çalışmaya dayandırılmıştır. Söz konusu bu araştırmalar bir arada değerlendirildiğinde, son derece karmaşık tektonik yapıya sahip olan bölgenin yapısal unsurlarının, özellikle hidrojeolojik açıdan, tam olarak açıklanamadığı anlaşılmıştır. Bu noktadan hareketle 2006-2007 döneminde gerçekleştirilen bir araştırma projesiyle (İTU-BAP Proje No: 31880) IRS-IC merge uydu görüntüsü temin edilerek havzanın 1/25.000 ölçekli jeoloji ve hidrojeoloji haritaları hazırlanmıştır. Ortaya konan jeoloji haritasında, önceki çalışmalardan büyük oranda farklı olarak faylar ve formasyon sınırları (örneğin granitik kayaların sınırları) yeniden çizilmiştir.

Çalışma alanındaki birimler, dört ayrı zaman dilimine aittir (Şekil 3). Bunların en yaşlısı sahada temeli oluşturan Sivrihisar metamorfittleridir. Bu birimin üzerine, inceleme alanında farklı büyüklükte yüzleklerle temsil edilen Sivrihisar granodiyoriti gelir. Sivrihisar metamorfittleri ile Sivrihisar granodiyoriti arasındaki dokanakta, yer yer magmatik sokulum esnasında oluşmuş kontak metamorfik kayalar bulunur.

Bu iki birimin üzerinde aşılal uyumsuzlukla yer alan Miyosen serisi, üç ayrı formasyondan oluşur. Bunlar; en altta Hisar formasyonu karasal kırıntılıları, üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak silt, kil, marn ve çamurtaşından oluşan açık renkli Çakmak formasyonu ve bunun üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak yer alan Mercan formasyonudur. Mercan formasyonu; karbonat yüzdesi yüksek silt, kil, marn ve kireçtaşı ardalanmasından oluşur.

Söz konusu üç formasyon birbirlerini yanal ve düşey geçişli olarak izler ve yan yana ortamların ürünü olarak yer yer birbirlerini üzerlerler. Sivrihisar metamorfittleri ve Sivrihisar granodiyoriti üzerinde uyumsuz olarak yer alan ve değişken kalınlıklı diğer bir birim ise, Pleyistosen yaşlı Kepen formasyonudur. Çalışma alanında en genç birim, vadilerdeki akarsu çökelleridir.

Çalışma alanı dört ayrı deformasyon aşamasıyla temsil edilen bir tektonik evrime sahiptir. Bunlardan ilki, Sivrihisar metamorfittlerinin (Permo-Karbonifer) yapısal özelliklerini oluşturur ve en yaşlı yapılar bu döneme aittir. İkinci dönem (Paleosen-Eosen) Sivrihisar granodiyoridinin sokulması ile eş yaşlı olan deformasyondur ve bu deformasyon Sivrihisar metamorfittlerinin yapısal özelliklerini değişmesine neden olmuştur. Üçüncü dönem (Oligosen-Miyosen) ise Sivrihisar Metamorfittleri'nin ve Sivrihisar Granodiyoriti'nin yükselmesi ve faylanarak yüzeylenmesi ile temsil edilir. Son dönem ise bölgede eski fayların yeniden aktif olmasıyla meydana gelen güncel sismik etkinlik ile temsil edilmektedir.

Çalışma alanındaki birimler, hidrojeolojik özelliklerine göre verimi iyi, orta, zayıf akiferler ve su taşımayan birimler olarak gruplandırılmıştır. Bunlar, özgül debileri 2 lt/s/m'den fazla olan verimi iyi yerel akiferler, özgül debileri 2 l/s/m ve 0.1 l/s/m arasında olan verimi orta yerel akiferler ve özgül debileri 0.1 l/s/m'den az olan verimi zayıf akifer ve su taşımayan birimler olarak haritalanmıştır (bkz. Şekil 2).

YAŞ	BİRİM	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
HÜLOSSEN	Alüvyon Qal Traverten (Qg)		Kum, çakıl ve tarım toprağı, traverten — UYUMSUZLUK —
PLEYİTOSEN	KEPEN Plk		Çakıltaş, kumtaş, çamurtası Yamaç molozu (alüvyal yelpaze ortamında çökelmiş) — UYUMSUZLUK —
MİYOSEN	MERCAN Tmm		Gölsel beyaz-sarı kireçtaş, marn, silttaş ardalanması (jips mercekli, yer yer sileks yumrulu)
	ÇAKMAK Tmç		Gölsel, açık yeşil- sarı kum-silt-kil ardalanması (seyrek çakıl tabakası arakatlı)
	HİSAR Tmh		Temelden türemiş akarsu ortamında çökelmiş koyu kırmızı renkli polijenik konglomera, yer yer kumtaş ve kalışlı çamurtası arakatlı — UYUMSUZLUK —
EOSEN	SIVRIHİSAR GRANODİYORİTİ Teg		Gri granodiyorit (orta-iri kristalli yer yer aplit ve diyabaz dayıklı) — UYUMSUZLUK —
PERMO-KARBONİFER	SIVRIHİSAR METAMORFİTLERİ Psm		Krem, yer yer siyah bantlı seviyeler içeren masif mermer (granit dokanaklarında aşırı altere rekristalize) Gri bantlı, kalın tabakalı, ince şist arakatlı mermer Gnays-feldispatik mika şist ardalanması, beyaz mermer mercekli Metabazit (yeşil gnays ardalanması çeşitli kalınlıklarda kalkışt ve mermer ardalanması) (mermer seviyeleri bir kaç metre ile 100-150 m arası kalınlıklarda) Gri, siyah bantlı çört mercekli, şist arakatlı mermer Siyahi yeşil şist fillat serisi, yer yer metabazit arakatlı Koyu yeşil metabazit, metaofiyolit

Şekil 3. Çalışma alanının basitleştirilmiş stratigrafik kesiti.

Figure 3. Simplified stratigraphical cross-section of the study area.

Genel olarak geçirimsiz-çözünmeyen kaya ortam olarak sınıflandırılan şistler ve granitik kayalar, yüzeyde kırıklı-çatlaklı örtü kalınlığı dışında, geçirimsiz kaya ortamını oluştururlar. Sivrihisar granodiyoriti olarak değerlendirilen plütonik kayalar kırıklı zonlarda zayıf yerel akifer, şistler ise su taşımayan birimler olarak haritalanmıştır.

Diyabaz daykları ve siller, mermerler içinde geçirimsiz perdeler oluşturmaktadır. Ayrıca bölge düşük geçirimliliğe sahip ortam özelliğini, volkanik kayalardaki kayaç yapıcı minerallerden feldispatların ayrışarak killeşmesi ve Neojen istifindeki kil çökelişi sonunda kazanmıştır. Gerek ayrışma, gerekse çökeltme işlevleriyle oluşan killer, kayaçların tektonik etkiler altında ortaya çıkan, kırık-çatlak gibi ikincil süreksizlik boşluklarını doldurmuş ve kayaçların geçirimliliğini azaltmıştır. Karstlaşma ve mağara gelişimine uygun litostratigrafik ve yapısal özelliklere sahip mermerler, metamorfik seri içinde ve üstünde yer alırlar. Mermerler çözünmeli kayalar olup, karst hidrojeolojisi açısından yerel geçirimli-düşük çözünmeli kaya ortam olarak sınıflandırılmış ve verimi orta ve verimi iyi yerel bir akifer olarak haritalanmıştır.

Metamorfik serinin üstünde birkaç yüz metre kalınlığında ve yüksek kotlarda yer alan mermerler, havzanın besleniminde de önemli bir rol oynar. Mermerler içinde açılan sondaj kuyularında yapılan pompa testleri değerlendirmelerine (Kresic, 1997) göre hidrolik iletkenlikleri 1.19 and 98.9 m/gün ve özgül debileri 0.64 ve 75 l/s/m olarak hesaplanmıştır. Metamorfik seri üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen istifi içinde yer alan kireçtaşları, çalışma alanında ikinci önemli akiferler olup, yerel ve yaygın geçirimli kaya ortam özelliğindedir. Kireçtaşlarının hidrolik iletkenlikleri 1.39-4.1 m/gün ve özgül debileri 1.8-2.9 l/s/m olarak hesaplanmıştır. Neojen yaşlı konglomeralar ve alüvyonlar yerel ve yaygın geçirimli taneli ortam olarak belirlenmiştir. Konglomeralarda açılan sondaj kuyularında yapılan pompa testleri değerlendirmelerine göre hidrolik iletkenlikleri 0.39 – 0.55 m/gün ve özgül debileri 0.27 – 0.39 l/s/m olarak hesaplanmıştır. Çoğunlukla konglomeralardan oluşan Hisar ve Kepen formasyonları, verimi orta yerel akifer olarak sınıflandırılmıştır.

Yıllık ortalama yağışı 393 mm olan havza 548 km²’lik bir alanı kaplamaktadır. Bütçe hesaplarının önemli bileşenlerinden yağış girdisi, Sivrihisar ve Günyüzü meteorolojisi ve DSİ’ye ait Yörme (Gümüşkonak) ile Ahiler yağış istasyonlarının yağış verilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu istasyonların kotları ile ortalama yıllık yağış miktarları arasındaki ilişki belirlendikten sonra, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı ArcMap 9 (ESRI, 2002) programı kullanılarak havzaya düşen yağış miktarı, $215 \cdot 10^6$ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ortalama yağıştan eklenik sapma grafikleri çizilerek, bölgede 1991-1995 yılları arası kurak, 1995-2000 yılları arasında yağışlı ve 2000 yılından sonra tekrar kurak döneme geçildiği görülmüştür.

Günyüzü havzasına düşen ve uzun yıllar ortalaması 393 mm/yıl olan yağışın % 84-89’unun gerçek buharlaşma sonucu yeniden atmosfere döndüğü ve yağışın ancak % 11-16’sının akışa geçtiği ortaya konmuştur. Burada sözü edilen yüzey, yüzeyaltı ve yeraltı akışı şeklindeki toplam akıştır. Yeraltı suları yüksek kotlarda büyük debili kaynaklar olarak tekrar havzaya boşalmakta ve tüm sistem 702-709 m kotlarında akan Sakarya Nehri tarafından drene edilmektedir. Çalışma alanı içinde inşa edilen Kavuncu köprüsünün mansabında (EİE akım verileri, 1959-1989) ve Ayvalı Yaylası girişi köprü mansabında (EİE akım verileri, 1988-1990) ölçülen akım verilerinden faydalanılarak baz akım grafikleri çizilmiş ve bölgesel buharlaşma (% 84-88), yüzeysel akış (% 1-3) ve yeraltı suyu bileşenleri hesaplanmıştır (EİE, 2005). Ancak bu verilerin ortalamalarının farkından yararlanılarak oluşturulan hidrolojik su bütçesindeki

akış miktarı ($100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$), sürdürülebilir su yönetimi açısından yanıltıcı olabileceğinden, Kavuncu köprüsü ve Ayvalı Yaylasında, en az iki hidrolik dönem için eş zamanlı ölçümler alınmalıdır.

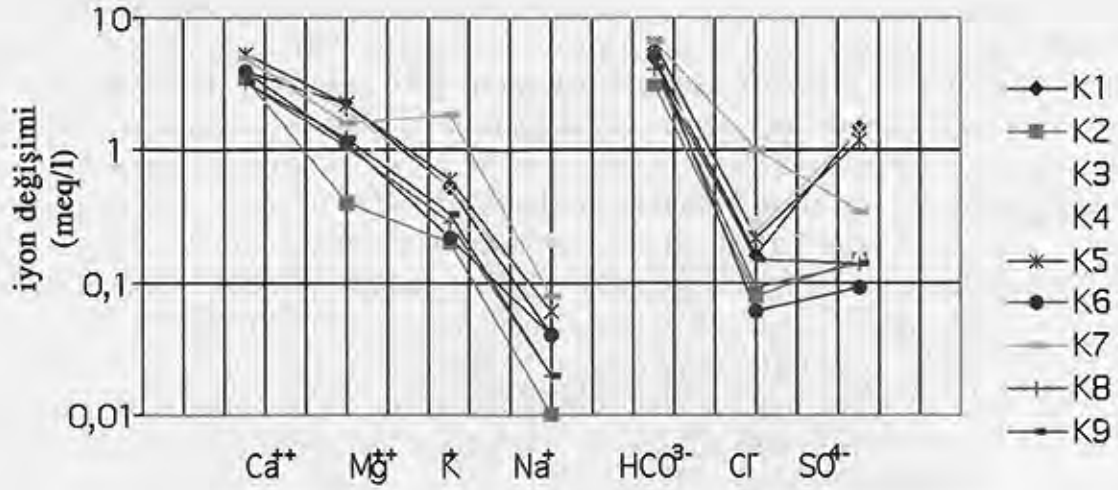
Günyüzü havzası su bölüm hattı karstik özellikler gösteren mermerlerden geçmektedir. Mermerlerin doğrultu ve eğim yönü, kırık-çatlak sistemi ağırlıkla Günyüzü havzasını besler konumdadır. Bu nedenle yüksek kotlarda yüzeylenen mermerler üzerine düşen yağış miktarı ayrıca hesaplanmış ve Günyüzü havzası bütçesine dahil edilmiştir. Buna göre; havzanın toplam yıllık beslenimi toplam yağıştan yerel geçirimli, geçirimli ve düşük geçirimli ortamlardan ve sulama suyundan süzülme olarak $29.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$, boşalımı ise kuyulardan çekim, kaynaklar ve yeraltı suyundan buharlaşma olarak $31.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla havzanın genel su bütçesi ve yeraltı suyu bütçesinde boşalımın, beslenim ile gelen su miktarından fazla olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar, Antalya Kırkgöz kaynakları ve Sakarbaşı kaynakları için yapılan su hesaplamalarda da elde edilmiştir. (Günay ve Yayan, 1979; Günay, 2006). Bu durum araştırmacılar tarafından yan havzalardan iç beslenim olarak açıklanmıştır. İç beslenimin olmadığı kapalı havzalarda ise beslenim-boşalım eşitliğinin sağlanamayışı mermerlerde dolaşım süresinin uzunluğu ve yukarı doğru hareket eden derin dolaşım sistemindeki suların miktarının bilinmemesi olarak açıklanmaktadır (Carrillo, 2000).

Günyüzü havzasının üst kotlarını oluşturan karstik sistemde, doğa var olan haliyle dengesini kurmuş ve emniyetli verim kendiliğinden boşalan su olarak belirlenmiştir (16.5 milyon m^3). Günyüzü havzasında yaşlı statik suyun varlığı (Yeniçıkırı kaynağı civarı) ve derin dolaşımın yukarı doğru hareket eden suyun miktarının hesaplanamayışı, emniyetli verim tesbitini ve sürdürülebilir su yönetimini güçleştirmektedir. Havza içinde yapılacak sismik ölçümler ve derin sondajlarla, faylanmalarla Neojen örtü altındaki mermerlerin kalınlığı ve jeolojik yapının tam olarak aydınlanması ile statik suyun miktarını daha doğru olarak hesaplamak mümkün olacaktır. Burada cevaplanması gereken soru, onlarca yıllık yağışlarla depolanan statik suyun ne kadar sürede ve ne şekilde kullanılacağıdır. Yenilenme süresinin trityum değerlerinden uzun olduğu ($10-50$ yıl) anlaşılan Günyüzü havzasında, yeraltı suları hızla tüketilmeyecek ve kirletilemeyecek kadar değerlidir.

4. HİDROJEOKİMYA

Çalışma kapsamında incelenen suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisini ortaya koymak ve anyon - katyon miktarlarının görsel olarak kolaylıkla değerlendirebilmesini sağlamak için yarı-logaritmik Schoeller diyagramı kullanılmıştır (Şekil 4). Suların kimyasal sınıflanmasını yapmak ve kimyasal bileşimlerinin şekillenmesinde etken olan litolojiyi tanımlamak için de Piper üçgen diyagramı çizilmiştir (Piper, 1944) (Şekil 5). Öncelikle kurak ve yağışlı dönem grafikleri ayrı ayrı çizilmiş ve iyon diziliminde belirli bir farklılık gözlenemediği için tek bir grafik olarak verilmiştir (Şekil 4). Şekil 4’de görüldüğü gibi Çardak Hamamı örneği hariç, su örnekleri karbonatlı kayalarla temas eden suların iyon dizilimine benzer olarak $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}$ ve $\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$ şeklinde katyon-anyon dizilimi sergilemişlerdir ki bu da akifer sisteminin litolojik tanımlamasıyla örtüşmektedir.

Bölgede hüküm süren jeotermal süreçlerin sonucu olarak, en yüksek sıcaklığı sahip durumdaki Çardak Hamamı örneği ise $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{++}$ ve $\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$ şeklinde bir dizilim sergilemiştir.



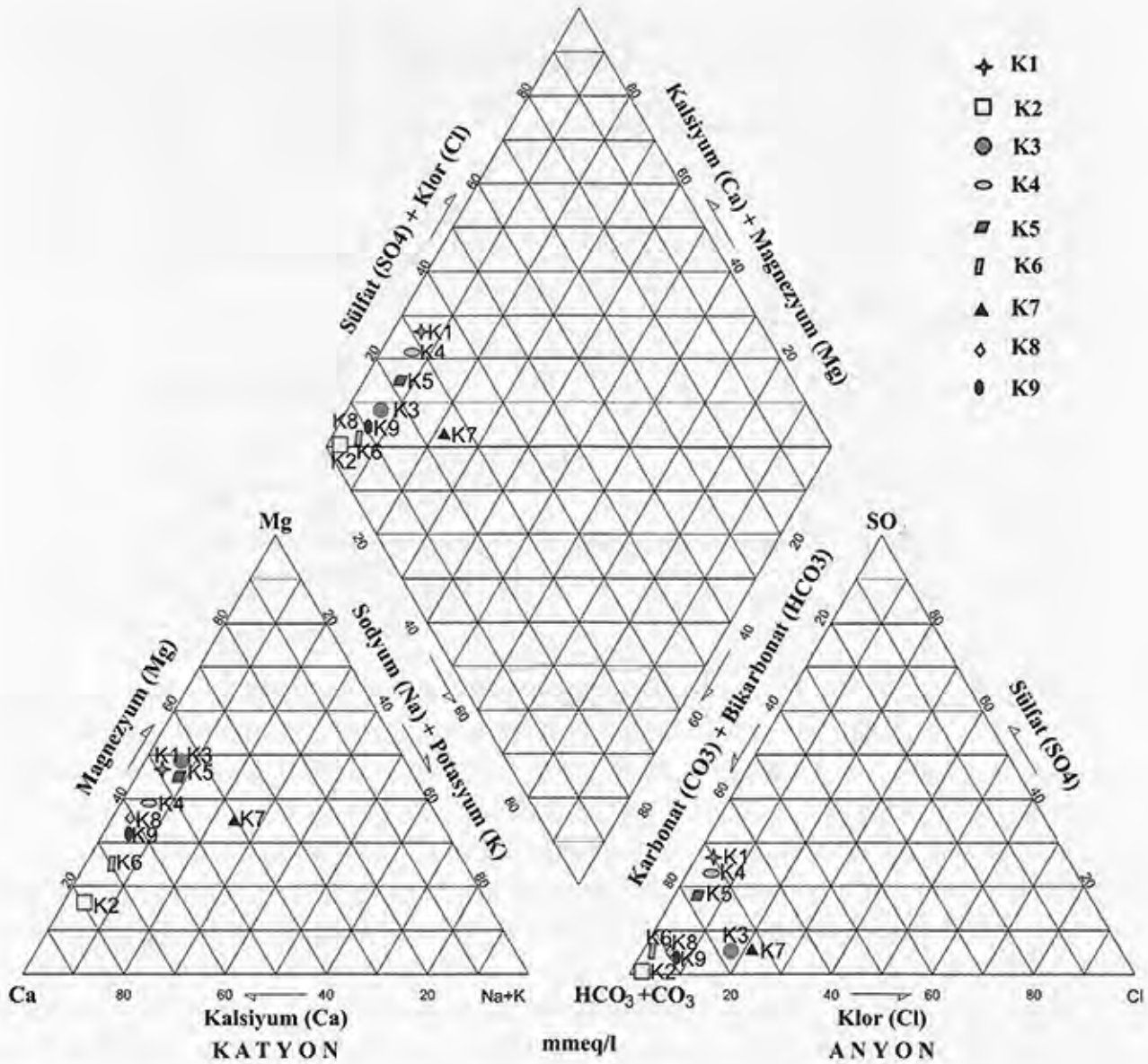
Şekil 4. Su noktalarına ait yarı-logaritmik Schoeller grafiği.

Figure 4. Semi-logarithmic Schoeller diagram of the water points.

Suların kökenini açıklayabilmek amacıyla çalışma kapsamında elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri Ankara meteorik doğrusu ($\delta^2\text{H} = 8.8^{18}\text{O} + 14.5$) ile Dünya meteorik su doğrusu ($\delta^2\text{H} = 8.8^{18}\text{O} + 10$) (Özaydın, 2001) ile karşılaştırılmış ve Çukurçeşme (K3 no.lu örnek) dışındaki tüm suların Ankara meteorik doğrusu ile Dünya meteorik su doğrusu arasında kaldığı ortaya konmuştur (Demiroğlu vd., 2007; Demiroğlu, 2008). Tarihi bir çeşme olan Çukurçeşme kaynağında, su önce bir sarnıçta biriktirilip sonra Çukurçeşme'ye verilmektedir. Bu süreçte buharlaşma olacağından, duraylı izotop zenginleşmesi normaldir. Sonuç olarak, inceleme alanındaki sular atmosferik kökenlidir.

İzotop hidrolojisi konusunda geçmişte yürütülen çalışmalar $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinin, coğrafi konum, enlem gibi parametrelerin yanı sıra, esas olarak yükselti ile ters orantılı biçimde azaldığını göstermiştir (Aquilina vd., 2005). Buna göre, her yüz metrelik yükseklik artışına karşılık, $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalma ‰ -0.15 ile ‰ -0.50 arasında değiştiği ifade edilmiştir (Clark ve Fritz, 1997). Sakarya havzası içinde daha önce Günay (2006) tarafından ölçülen yağmur suyunu temsil eden kaynakların verileri ile çalışma alanında yağış suyunu temsil eden Musluk çeşmesi (K2) verileri kullanılarak inceleme alanında $\delta^{18}\text{O}$ -yükseklik ilişkisi araştırılmış ve bu ilişki ‰ -0.32 olarak belirlenmiştir; yani her yüz metrelik yükseklik artışına karşılık $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalma ‰ -0.32 dir (Şekil 6). Bu ilişkiden faydalanılarak su noktalarının beslenme yüksekliklerinin 996 m-1497 m kotları arasında değiştiği ortaya konmuştur.

Su noktalarının trityum-elektriksel iletkenlik (EC) ilişkisi, yeraltısuyunun akiferde dolaşım ve su-kayaç etkileşim süresi hakkında fikir vermektedir. Hazırlanan trityum-EC grafiği Şekil

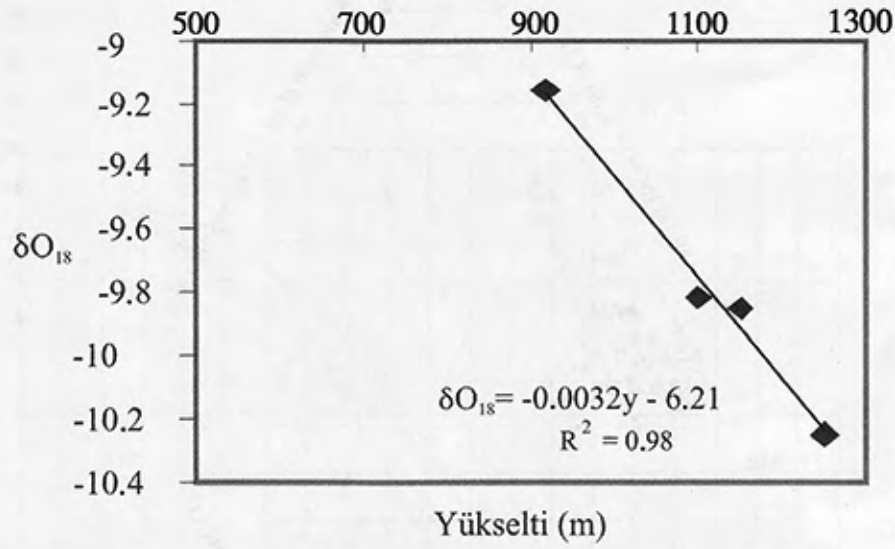


Şekil 5. Su noktalarına ait Piper grafiği.

Figure 5. Piper diagram of the water points.

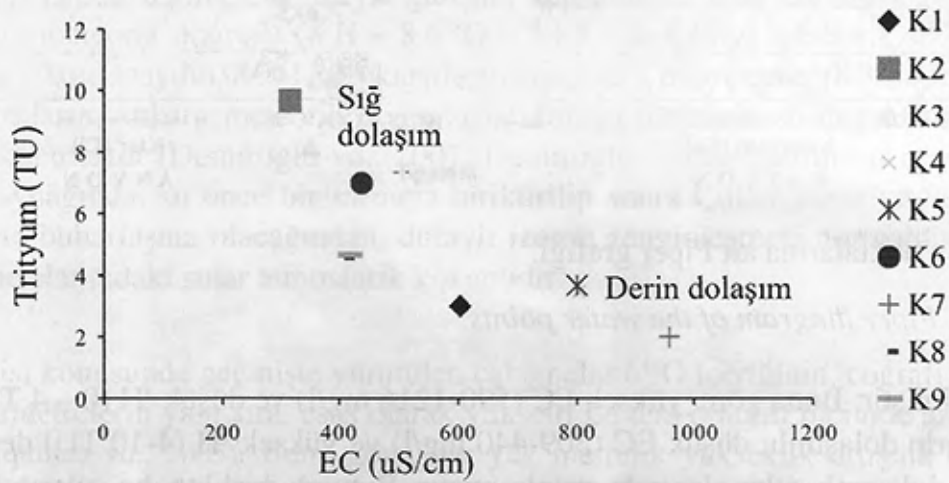
7'de verilmiştir. Buna göre, yüksek EC (590-1216 mg/l) ve düşük ³H (0 – 4 TU) değerli örnekler derin dolaşım, düşük EC (309-440 mg/l) ve yüksek ³H (4-10 TU) değerleri örneklerde sıg dolaşım sular alanında gruplaşmıştır. Bununla birlikte, bu suların aynı zamanda değişik oranlarda birbirleriyle de karıştıkları değerlendirilmelerde dikkate alınmalıdır.

Su noktalarının trityum değerleri ile yeraltısuyunun akiferden geçiş süresi kurak dönem ve yağışlı dönem için piston akım modeli yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Kurak dönem sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Kurak dönemde güncel yağışlardan etkilenme oranı daha düşüktür ve sistemde dolaşan suların gerçek yaşına daha yakın değerler vermiştir. Piston akım modeli; yeraltı suyunun hidrojeolojik sistem içerisinde borularda olduğu gibi hareket ettiği ve birbirini izleyen iki zaman dilimi içerisinde sisteme giren suların hiç karışmadığı varsayımına dayanmaktadır. Hiç karışım olmadığı durum varsayılarak belirlenen yeraltısuyu



Şekil 6. $\delta^{18}\text{O}$ - yükseklik grafiği.

Figure 6. Diagram of $\delta^{18}\text{O}$ - elevation.



Şekil 7. Kaynakların trityum-EC grafiği.

Figure 7. Tritium-EC diagram of the springs.

Çizelge 2. Su noktalarının kurak dönem ^3H verileri ile hesaplanan dolaşım yaşı.
 Table 2. Travel time of water points calculated by dry season ^3H contents.

Kurak Dönem Ortalaması	^3H (TU)	SD	t (yıl)
Yeniçıkırı (K1)	2,47		29,40
Musluk Çeşmesi (K2)	12,61	1,67	0
Çukurçeşme (K3)	7,37	1,18	9,68
55886/A(K4)	2,21	1,38	31,40
Subaşı kaynağı (K5)	3,68	0,26	22,21
Atlas kaynağı (K6)	6,9	0,4	10,87
Çardak hamamı (K7)	1,46	1,26	38,88
Nasrettin hoca (K8)	4,05	0,79	20,48
Babadat kaynağı (K9)	4,2	0,62	19,82

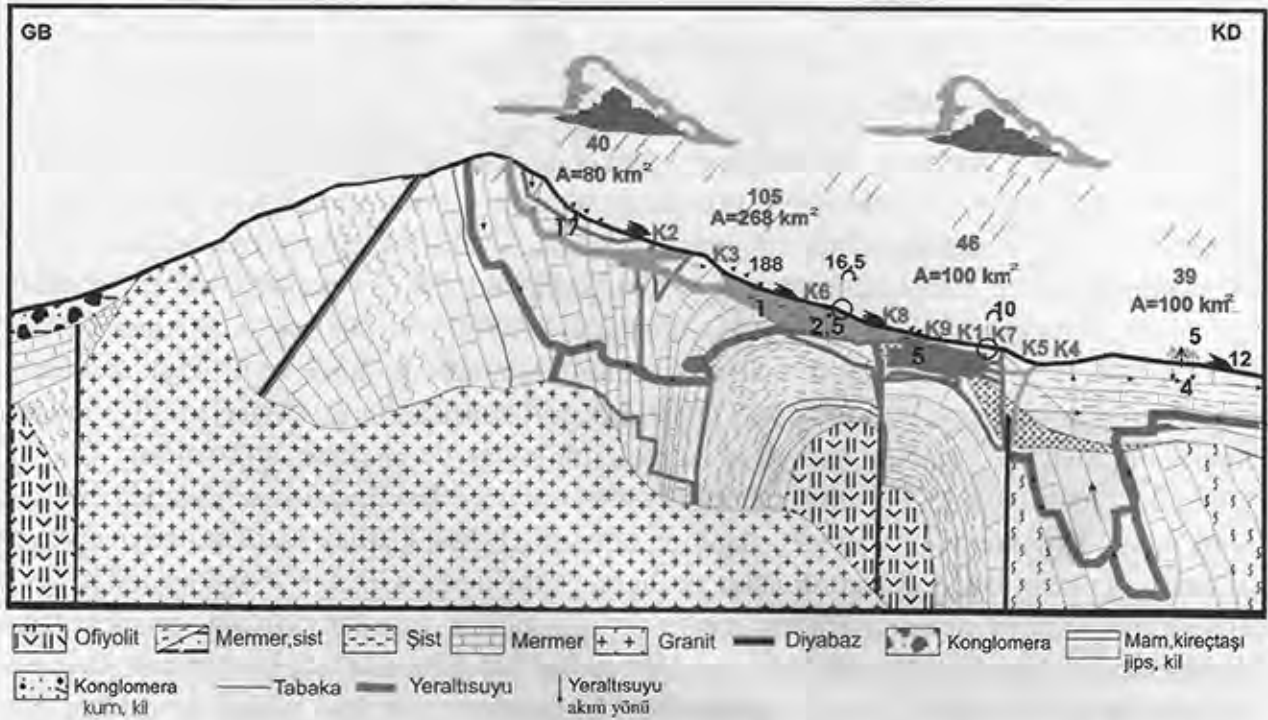
*SD : Standart sapma

yaşı, olası yaş aralığının alt sınırını oluşturmaktadır (Tezcan, 1993). Bu yöntemle suların beslenim noktasındaki yağmur suyu örneğinde ölçülen trityum içeriğini ilksel miktar (bu çalışmada K2 verileri kullanılmıştır), boşalım ya da örnekleme noktasında ölçülen içeriği ise, bugünkü miktar kabul edilerek yaş hesabı yapılmaktadır. Bu yöntem, suların görünür yaşı olarak adlandırılmaktadır. Çalışma alanında sıcaklığı en yüksek su noktası Çardak Hamamı (34-35.5 °C) kaynağıdır. Çalışma alanının tektonik, jeolojik ve litolojik özellikleri bu kaynağın kimyasal özellikleriyle birlikte değerlendirildiğinde, kaynağın oluşumunda jeotermalgradyanın yanı sıra jeotermal süreçlerin etkisi de dikkate alınmalıdır. Çardak Hamamı kaynağı, 0-3.45 TU arasında değişen trityum değerleri ile çalışma alanında en yaşlı suları temsil etmektedir (30-50 yıl). Aşağıda tartışıldığı gibi, Çardak Hamamı kaynağı aynı zamanda sahadaki derin dolaşimli sular grubuna girmektedir. Çizelge 2’de görüldüğü gibi, çalışma alanında en genç suları, bir başka deyişle güncel yağışlar, Musluk çeşmesi temsil etmektedir. Atlas kaynağının trityum değerlerine bakıldığında ise, beslenimin kaynağa ulaşmasının Çukurçeşme kaynağı dışında diğer kaynaklara göre, kısa sürede gerçekleştiğini göstermektedir.

5. KAVRAMSAL HİDROJEOLJİK MODEL

Bölgedeki akifer sistemini temsil etmesi amacıyla oluşturulan kavramsal hidrojeolojik model Şekil 8’de sunulmuştur. Model oluşturulurken, havzanın tektonik ve yapısal özelliklerinin yanı sıra, akiferler ve geçirimsiz birimlerin geometrisi de dikkate alınmıştır. Bu çalışma ve daha önceki çalışmalardan elde edilen tüm veriler dikkate alınarak suların gruplandırılması yapılmıştır. Su bütçesi model üzerinde gösterilmiştir. Havza içinde yer alan ve özellikleri önceki bölümlerde açıklanan kaynakların dolaşım ve boşalımı genellikle faylarla kontrol edilmektedir. Trityum içeriğinden faydalanılarak suların dolaşım süreleri hesaplanmıştır.

Modelde Paleozoyik yaşı mermerler ve Neojen yaşı kireçtaşları ve konglomeralar iki ayrı akifer sistemi oluşturmaktadır. Mermerlerin yüksek kotlarda gelişmiş kırık-çatlak sistemi üst akiferi oluşturur ve sık dolaşimli K3 ve K2 kaynaklar bu akifer sistemini drene eder. Sık dolaşimli diğer kaynaklar (K6, K8, K9) ise, Neojen birimlerden boşalmaktadır. K6 kaynağında beslenme çok hızlı olup bu kaynak K3 dışında dolaşım süresi en kısa olan kaynaktır. Şekil 8’de verilen modelde görüldüğü gibi, faylanmalarla düşük kotlarda Neojen birimlerin altında gömülü olan Paleozoik yaşı mermerler senklinal konumunda alt akiferi oluşturmaktadır. Derin dolaşimli sulara (K4, K5, K7) bu akifer sistemini drene etmektedir. Bu sular aynı zamanda farklı oranlarda birbirleriyle de karışmaktadır. Bu sistemde dolaşan suların dolaşım sürelerinin uzunluğu değişmektedir ($>10-50$ yıl). K1 kaynağı, derin dolaşimli sistemden çok etkilenmekle birlikte, gömülü hazne görevi yapan karstik yapıların varlığı nedeniyle ayrı bir konuma sahiptir. K1 kaynağı civarında yaklaşık aynı derinlikte açılan kuyularda ölçülen sıcaklık farklılıkları, kuyuların derin dolaşimli sistemden farklı oranlarda etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 8. Günyüzü havzasının kavramsal hidrojeolojik modelinin şematik gösterimi (birimler milyon $m^3/yıl$ olarak verilmiştir).

Figure 8. Schematic cross-section showing the hydrogeological conceptual model of the Günyüzü basin (the units are expressed as million $m^3/year$).

6. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Genel olarak geçirimsiz ortam olarak sınıflandırılan şistler, granitik kayalar ve di-yabaz daykalarıyla sınırlanan mermerler sıcak ve soğuk sular için ana rezervuar kayaç niteliğindedir ve havza içindeki diğer kırıklı çatlaklı, kısmen karst ve taneli akifer sistemlerinin beslenmesinde de önemli rol oynamaktadır.

- b) Çalışma alanında birimler yapısal olarak dört ayrı dönemin ürünü olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Permo-Karbonifer dönemde yüzeyleyen temel birimler Paleosen-Eosen dönemimde Sivrihisar Granodiyoriti'nin sokulması ile deforme olmuş ve bu deformasyonun ürünü olan kapalı kıvrımlar, karstik sistemin hidrodinamik özelliklerini belirlemiştir. Bu dönemi izleyen Oligosen-Miyosen dönemde ise Neojen birimlerinin çökelimine eş yaşlı doğrultu atımlı faylar ve devamında gelişen normal faylar, havza ve alt akifer sistemini oluşturmuştur. Kuvaterner yaşlı birimlerin içinde gözlenen normal fayların izleri ise, en genç yapısal unsurlar olarak değerlendirilmiştir.
- c) 9 adet su noktasında yerinde ve laboratuvarında yapılan ölçümlere göre, kurak ve yağışlı dönem su örnekleri genel olarak $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+}$ ve $HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$ şeklinde bir katyon-anyon dizilimi sergilemektedir. Bu dizilim, karbonatlı kayalardan gelen suların dizilimlerine benzemekte olup, akifer sisteminin litolojik tanımlamasıyla örtüşmektedir. Sular, baskın olarak $Ca^{++}-Mg^{++}-HCO_3^{-}$ lı sular sınıfında yer almaktadırlar. Sadece Çardak Hamamı (K7 no.lu örnek) $Ca^{++} > Na^{+} > Mg^{++} > K^{+}$ ve $HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2}$ şeklinde bir dizilim sergileyerek, $Ca^{++}-Na^{+}-HCO_3^{-}$ lı sular sınıfında yer almıştır.
- d) Çalışma alanında, $\delta^{18}O$ /yükseklik ilişkisi $\%0-0,32$ olarak belirlenmiştir. Bu ilişkiden faydalanılarak su noktalarının beslenme yüksekliklerinin 996-1497 m kotları arasında değiştiği ortaya konmuştur.
- e) Trityum-EC grafiklerinden farklı kökenli suların gruplandırılması sonucu; düşük trityum ve yüksek EC'li sular derin dolaşım (K1, K4, K5, K7), yüksek trityum ve düşük EC'li suların sık dolaşım (K2, K3, K6, K8, K9) olduğu görülmüştür.
- f) Günyüzü havzasına düşen ve uzun yıllar ortalaması 393 mm/yıl olan yağışın $\%84-89$ 'u gerçek buharlaşma sonucu yeniden atmosfere döndüğü ve yağışın ancak $\%11-16$ 'sının akışa geçtiği ortaya konulmuştur. Burada sözü edilen yüzey, yüzeyaltı ve yeraltı akışı şeklindeki toplam akıştır. Yeraltısuları yüksek kotlarda yüksek debili kaynaklar olarak tekrar havzaya boşalmakta ve tüm sistem 702-709 m kotlarından akan Sakarya Nehri tarafından drene edilmektedir.
- g) Sivrihisar-Günyüzü meteoroloji istasyonu ile Yörme (Gümüşkonak) ve Ahiler DSI yağış istasyonları yağış verilerinden yararlanılarak çizilen ortalama yağıştan eklenik sapma grafikleri, bölgenin 1991-1995 yılları arası kurak, 1995-2000 yılları arasında yağışlı, 2000 yılından itibaren de yeniden kurak döneme girdiğini göstermektedir.
- h) Günyüzü havzası toplam yıllık beslenimi, toplam yağıştan yerel geçirimli, geçirimli ve düşük geçirimli ortamlardan ve sulama suyundan süzülme olarak 29.6×10^6 m³/yıl, boşalımı ise kuyularla çekim, kaynaklar ve yeraltısuyundan buharlaşma olarak 31.8×10^6 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Günyüzü havzası akiferleri geçirimsiz birimlerle sınırlandırıldığı için, ortaya çıkan beslenme-boşalım arasındaki boşalım fazlası (beslenme eksikliği); mermerlerdeki dike yakın tabaka ve kırık-çatlak sistemi nedeniyle yoğun noktasal beslenmeler, kar yağışı ve bu nedenlerle buharlaşma yüzdesinin hesaplanandan daha düşük olmasıyla açıklanmıştır. Yarı kurak iklim özelliğine sahip havzada beslenme-boşalım eşitliğinin sağlanamayışı, mermerlerde depolanan statik su fazlalığı ve dolaşım süresinin uzunluğundan da kaynaklanmaktadır.

- i) Havza içinde karstik sistemden kaynaklarla boşalmanın $16.5 \times 10^6 \text{ m}^3$, kuyularla çekimin ise $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ olduğu hesaplanmıştır.
- j) Sonuç olarak, havzada kapalı senklinal konumunda oluşan akiferler, bilinçli ve kontrollü olarak tüketilmelidir. Zira çalışmalar süresince, Yeniçıkırı ve Subaşı kaynağı civarında açılan kuyulardan yapılan bilinçsiz su çekimine bağlı olarak yeraltı suyu seviyesinde değişiklik olduğu (3 Haziran 2007 itibarıyla kuyuların su seviyesinde 5-7 m düşüm) ve Yeniçıkırı kaynağının kuruduğu gözlenmiştir. Yapılan çekimlerin artarak devam etmesi halinde mevcut kaynakların kurumasına, kuyularda dinamik seviyenin derinleşmesine, Sakarya Nehrine giden suyun azalmasına neden olacaktır. Özellikle bu kaynaklar civarında kuyulardan çekimlere, su seviyesi değişimleri dikkate alınarak izin verilmelidir.

KAYNAKLAR

- Allison, G. B., Gee, G. W., and Tyler, S. W., 1994. Vadose-zone techniques for estimating ground-water recharge in arid and semiarid regions. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 6-14.
- Altınlı E., 1973. Orta Sakarya jeolojisi. Cumhuriyetin 50.Yılı Yerbilimleri Kongresi, Bildiriler Kitabı, 159- 192.
- Aquilina, L., Ladouche, B., and Dölfliger, N., 2005. Recharge processes in karstic systems investigated through the correlation of chemical and isotopic composition of rain and spring waters. *Applied Geochemistry*, 20, 2189-2206.
- Aydın, H., 2005. Harmanköy-Belyayla (Bilecik) karst sisteminin morfoloji-hidrojeoloji ilişkileri açısından incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Carrillo, Rivera. J. J., 2000. Application of the groundwater-balance equation to indicate interbasin and vertical flow in two semi-arid drainage basins, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 8, 503-520.
- Clark, D., and Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, CRC Press LLC USA, p. 312 .
- Demiroğlu M., 2008. Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü havzasının hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Demiroğlu M., Yalçın T., Örgün Y., Yaltırak C., and Akdeniz, U., 2007. Hydrogeochemical characteristics of groundwater in Günyüzü basin (Sivrihisar-Eskişehir) Western Turkey.

- The 23rd International Applied Geochemistry Symposium, Extended Abstracts, Oviedo, Spain, p. 129.
- Dennis, P. C., and Murray, B. S., 2002. Karst groundwater basin delineation, Fort Knox, Kentucky. *Engineering Geology*, 65 (2-3), 125-131.
- Devlin, F. J., and Sophocleous, M., 2005. The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability. *Hydrogeology Journal*, 12, 549-554.
- Dumlu, O., Yalçın, H.T. ve Bozkurtoğlu, E., 2006. Yeraltısuyu Jeolojisi ve Hidroliği. Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- EİEI, 2005. Sakarya havzası gözlem istasyonları günlük ve aylık ortalama akım verileri. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Hidrolik Etütler Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Erdinç, H., 1978. Sivrihisar kristalin masifinin jeolojisi ve petrolojisi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Mineraloji ve Petrografi Kürsüsü, Doktora Tezi (yayımlanmamış).
- Eriksson, E., 1975. The distribution of salinity in groundwaters of the Delhi region and recharges of groundwater. Interpretation of Environmental Isotope and Hydrochemical Data in Groundwater Hydrology. In: *Proceedings of an Advisory Group Meeting*, Vienna, pp. 171-177.
- Erol, O., 1955. W.Weingart'ın 2248 derleme raporuna ait korelasyon revizyonu raporu. MTA Derleme No: 2473, Ankara (yayımlanmamış).
- ESRI, 1999. *Mapping Our World: GIS*, Environmental Systems Research Institute Press, USA, p.180.
- Gautier, Y., 1984. Deformations et metamorphismes associes a la Suture Tethysienne en Anatolie Centrae. (Region de Sivrihisar, Turquie). PhD Thesis, University de Paris-Sud, Centre D'Orsay.
- Gieske, A., and De Vries J. J., 1990. Conceptual and computational aspects of the mixing cell method to determine groundwater recharge components. *Journal of Hydrology*, 121, 277-292.
- Göncüoğlu M. C., Turhan, N., Şentürk, Ş., Uysal, Ş. ve Özcan, A., 1996. Orta Sakarya'da Nallıhan- Sarıcakaya arasındaki yapısal birimlerin jeolojik özellikleri. MTA Derleme, No: 9973, Ankara (yayımlanmamış).
- Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H.J., 1996. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi. MTA Derleme No: 9973, Ankara (yayımlanmamış).

- Günay, G., 2006. Hydrology and hydrogeology of Sakaryabaşı karstik springs, Çifteler, Turkey. *Environmental Geology*, 51, 229-240.
- Günay, G. ve Yayan, T., 1979. Antalya-Kırkgöz karst kaynaklarının hidrojeolojisi, DSI-UNDP Project, TUR/77/015, Technical Report No.32, Ankara.
- Kibici, Y., Dağ, N. ve Özgenç, İ., 1993. Sivrihisar-Günyüzü (Eskişehir) granitoid kuşağının mineralojik ve petrografik özellikleri. *Yerbilimleri*, 23, 97-112.
- Kulaksız, S., 1981. Sivrihisar kuzeybatısının jeolojisi. *Yerbilimleri*, 8, 103-124.
- Kresic, N., 1997. *Quantitative Solutions in Hydrogeology and Groundwater Modelling*. CRC Press Lewis Publishers, Florida, USA.
- Lerner, D. N., Issar, A. S., and Simmers, I., 1990. Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. Vol.8, Heinz Heise Hannover, Germany. pp. 111-147.
- Okay, A.I., and Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: B. Drand, L. Jolivet, F. Horvath and M. Serranne (eds.). *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*, Geological Society of London, Special Publications 156, pp. 475-513.
- Önder, İ., 1994. Türkiye rejyonel jeoelektrik haritalar projesi Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü-Gümüşkonak sahaları rezistivite etüt raporu. MTA Derleme No: 9921, Ankara (yayımlanmamış).
- Örgün, Y., Gültekin, A. H., Altınsoy, N., Çelebi, N., and Karahan, G., 2004. Hydrogeochemical characteristics and radioactivity levels of some of the groundwaters from western Anatolia. *Proceedings of International Symposium on Earth System Sciences, Istanbul*, pp. 643-650.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G. and Çelebi N., 2005. Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in southeast part of Eskişehir, Turkey. *Applied Radiation and Isotopes*, 63, 267-275.
- Özaydın, V., Şendil, U., and Altınbilek, D., 2001. Stable isotope mass balance method to find water budget of a lake. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25 (4), 329-344.
- Piper, A. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, *Transactions American Geophysical. Union*, 25, 914-923.
- Romieux, J., 1942. Sivrihisar Paşadağları ve Emirdağları bölgelerinin jeolojisi. MTA Rapor No: 1431 Ankara (yayımlanmamış).
- Shaban, A., Khawlie M., and Abdallah, C., 2006. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. *Hydrogeology Journal*, 14 (4) 433-443.

- Shurbaji, A. R., and Campbell A.R., 1997. Study of evaporation and recharge in desert soil using environmental tracers, New Mexsico, USA. *Engineering Geology*, 29 (3/4), 147-151.
- Tezcan, L., 1993. Karst akifer sistemlerinin trityum izotopu yardımıyla matematiksel modellenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).
- Umut M., Acarlar M., Gedik İ., Güner E., Saçlı L. ve Şen, A.M., 1991. Çifteler-Holanta (Eskişehir ili) Çeltik (Konya ili) ve dolayının jeolojisi. MTA Derleme No: 9204 (yayımlanmamış).
- Weingard, W., 1954. 56/4 (Sivrihisar) ve 57/1, 57/3 (Ankara) paftalarının jeoloji haritası hakkında. MTA rapor No: 2248 (yayımlanmamış).
- White, W. B., 2002. Karst hydrology; recent developments and open questions. *Engineering Geology*, 65 (2-3), 85-105.
- Whitney, D.L., 2002. Coexisting andalusite, kyanite, and sillimanite: Sequential formation of three Al_2SiO_5 polymorphs during progressive metamorphism near the triple point, Sivrihisar, Turkey. *American Mineralogist*, 87, 405-416.
- Whitney, D.L., and Davis P.B., 2006. Why is lawsonite eclogite so rare? Metamorphism and preservation of lawsonite eclogite, Sivrihisar. *Turkey Geological Society of America*, 34 (6), 473-476.
- Zuber, A., 1983. On the environmental isotope method for determining the water balance components of some lakes. *Journal of Hydrology*, 61, 409-427.

HEYELAN DUYARLILIĞI ÇALIŞMALARINDA TÜRKİYE’NİN ULUSLARARASI BİLİMSEL LİTERATÜRDEKİ YERİ

Place of Turkey in International Scientific Literature on Landslide Susceptibility Studies

Murat ERCANOĞLU, Gökçe Deniz HASEKİOĞULLARI, Beliz GÜNAL

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, ANKARA

ÖZ

Türkiye’de doğal afetler nedeniyle birçok can ve mal kaybı meydana gelmiş olup, verdiği zararlar açısından heyelanlar, depremlerden sonra ikinci sırada bulunmaktadır. Bu nedenle, heyelan çalışmaları ve değerlendirmeleri, Türkiye için son derece önemli bir konudur. Heyelanlarla ilgili son 20 yıla ait uluslararası bilimsel literatür incelendiğinde, heyelan duyarlılık çalışmalarının sayısında önemli bir artış olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), UA (Uzaktan Algılama) ve bilgisayar teknolojilerindeki gelişmelere koşut olarak, bu çalışmalarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu değerlendirmeler dikkate alınarak, Türk bilim insanlarının içinde bulunduğu heyelan duyarlılığı çalışmalarının uluslararası literatürdeki yerinin ortaya konulmasını amaçlayan bu çalışmada, WoS (Web of Science) e-veri tabanında taranan ve yayımlanmış çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda, doğrudan heyelan duyarlılığının değerlendirildiği toplam 21 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalarda kullanılan yöntembilim ve teknolojilerin incelenmesi sonucunda, Türkiye’nin heyelan duyarlılığına ilişkin uluslararası bilimsel literatür içinde, önemli bir konumda bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca, heyelan duyarlılığı ile ilgili yapılan çalışma sayıları ve bunların aldıkları atıflar açısından yapılan değerlendirmeler sonucunda ise, özellikle son 5 yılda önemli bir artıştan söz etmek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, heyelan duyarlılığı, Türkiye.

ABSTRACT

In Turkey, natural disasters have caused a lot of economic losses and casualties, and after the earthquakes, landslides have the secondary major effect throughout these losses and damages. For this reason, landslide studies and assessments are a very important issue for Turkey. When the international literature concerning with the landslides has been investigated for the last two decades, it is revealed that there is an important increase in the number of studies on landslide susceptibility. In addition, depending upon the developments in GIS (Geographic Information Systems), RS (Remote Sensing), and computer technologies, important achievements have been reached in these studies. Taking into consideration these

assessments, in this study, aiming at evaluating the status of landslide susceptibility studies in which the Turkish scientists are involved in the international scientific literature, published papers indexed in WoS (Web of Science) e-data base were investigated. In this context, a total of 21 studies were reached, concerning directly with landslide susceptibility assessments. As a result of investigating methodologies and technologies used in these studies, it is determined that Turkey has a special status among the landslide susceptibility studies published in the international scientific literature. Furthermore, when the number and citations of these studies are considered, it is possible to mention that there exists an important increase in the last 5 years period, in particular.

Key Words: *Landslide, landslide susceptibility, Turkey.*

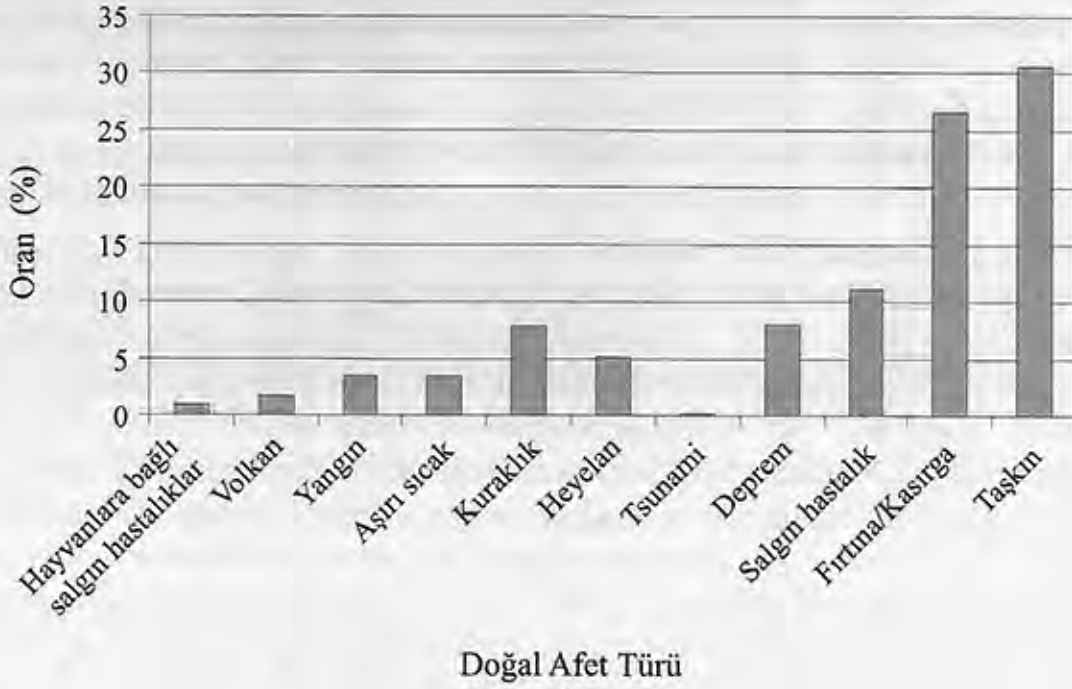
1. GİRİŞ

Doğal afetlerle ilgili özellikle son 50 yılı içeren veri kaynakları incelendiğinde, doğal afetlerin sayısında önemli bir artışın olduğu bilinmektedir. Bunlardan en çok kabul gören ve bilimsel veriye dayalı olan EM-DAT (2008) verileri dikkate alındığında, geçtiğimiz yüzyıl içinde özellikle 1960'lı yıllardan itibaren doğal afetlerin sayısındaki artış, net bir şekilde gözlenmektedir (Çizelge 1). Bu çizelgede, hidrometeorolojik afetler içinde kuraklık, taşkınlar, aşırı sıcaklık gibi doğal afetler en yaygın olarak bulunmaktayken (7486), özellikle 1980'li yıllardan itibaren biyolojik afetlerin sayısında da önemli bir artış söz konusudur. Jeolojik doğal afetler açısından dikkate alındığında ise, afet sayısında sürekli bir artıştan söz edilebilir. Bu durumun temel gerekçeleri ise; nüfus artışı, sanayileşme, yoksulluk ve bunlara bağlı olarak, doğal afetler açısından tehlike arz edebilecek bölgelerde yerleşimlerin gelişmesi şeklinde değerlendirilmektedir (Alexander, 1995). Bu çalışmaya konu olan ve 1970-2005 yılları arasında yine EM-DAT tarafından yapılan bir istatistiğe göre heyelanlar, % 5.1 ile tüm dünyada meydana gelen doğal afet türleri arasında önemli bir yer tutmaktadır (Şekil 1).

Çizelge 1. 1900-2005 yılları arasında meydana gelen doğal afetlerin yıllara göre dağılımı (EM-DAT, 2008).

Table 1. Distribution of natural disasters occurred between 1900 and 2005 (EM-DAT, 2008).

Doğal Afet Türü	Yıl											Toplam
	1900-1909	1910-1919	1920-1929	1930-1939	1940-1949	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2005	
Hidrometeorolojik	28	72	56	72	120	232	463	776	1489	2034	2135	7486
Jeolojik	40	28	33	37	52	60	88	124	232	325	233	1252
Biyolojik	5	7	10	3	4	2	37	64	170	361	420	1083
Toplam	73	107	99	112	176	294	588	964	1900	2720	2788	9821



Şekil 1. 1970 ve 2005 yılları arasında meydana gelen doğal afetlerin dağılımı.

Figure 1. Distribution of natural disasters occurred between 1970 and 2005.

Ülkelerin içinde bulundukları jeolojik, coğrafi ve meteorolojik koşullar, meydana gelebilecek doğal afet türü ve sonuçları üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. EM-DAT verilerine göre 1991-2005 yılları arasında doğal afetler nedeniyle meydana gelen ekonomik kayıplar sıralamasında Türkiye 21.5 milyon \$ ile tüm dünyada 11. sırada bulunmaktadır. İlk üç sırayı ABD (364.9 milyon \$), Japonya (208.9 milyon \$) ve Çin'in (172.4 milyon \$) paylaştığı bu sıralamada, Avrupa ülkeleri içinde Türkiye; İtalya (24.5 milyon \$), İspanya (22.5 milyon \$) ve Almanya'dan (22.4 milyon \$) sonra 4. sıradadır. Çoğunlukla deprem ülkesi olarak bilinen ülkemizde heyelanlar, depremlerden sonra en çok zarar veren doğal afet türü olarak bilinmektedir (İldır, 1995).

Yukarıdaki örneklerden de anlaşılacağı üzere, Türkiye ve diğer birçok ülke için son derece önemli bir doğal afet türü olan heyelanların değerlendirilmesi konusu, özellikle son 20 yıl içinde yaygınlaşmış ve bilimsel çalışmaların sayısında büyük bir artış olmuştur. Bu durumun temel gerekçeleri ise, heyelanlar ve sonuçlarının sosyo-ekonomik açıdan verdiği zararların; gerek toplum, gerekse yerel yönetimler tarafından anlaşılmış olması ve kentsel gelişim sonucunda oluşabilecek heyelanların çevre üzerindeki etkisinin önemi olarak değerlendirilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Bu gelişmelere koşut olarak, özellikle son 10 yıl içinde, Türkiye kökenli heyelan haritalama ve değerlendirmelerine yönelik çalışmaların sayısında da önemli bir artış olmuştur. Söz konusu çalışmaların kronolojik gelişiminin, dünya bilimsel literatürü içindeki yerinin değerlendirilmesini amaçlayan bu çalışmada, "e- veri tabanları" içinde sıklıkla yararlanılan WoS (Web of Science) – SCI (Science Citation Index)'da taranan dergilerde yayımlanmış ve Türk bilim insanlarının içinde bulundukları çalışmalar irdelenmiştir. Heyelana yönelik çalışmalar; gerek veri erişimindeki kolaylığı, gerekse yapılabilirliği açısından, çoğunlukla "heyelan duyarlılığı" konusun-

da gerçekleştirildiği için, bu çalışmada da sadece heyelan duyarlılığı konusunda yapılmış çalışmalar dikkate alınmıştır.

2. HEYELAN DUYARLILIK, TEHLİKE VE RİSK KAVRAMLARI

Genel olarak değerlendirildiğinde, doğal bir yamaçtaki kaya, toprak veya moloz türü malzemelerin çeşitli nedenlerden ötürü yerçekimi etkisi ile aşağı doğru hareketi, heyelan olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1978). Heyelanlar, jeolojik, jeomorfolojik, iklimsel ve meteorolojik etkenler ile insanların çeşitli etkinliklerine bağlı olarak da gelişebilmekte, doğal ve insan etkisiyle ilişkili nedenler, heyelanları tetikleyici unsurlar olarak ortaya çıkmaktadır. Doğal afetler içinde yaratmakta olduğu olumsuz etkilerden dolayı önemli bir yer tutan heyelanlar, etkin oldukları alanlarda can ve mal kaybına yol açmakla birlikte, kara-demir yolları, tarımsal ve ormanlık alanlar gibi ekonomik değeri olan alanlarda da hasar ve kayıplara yol açabilmektedirler. Ayrıca, akarsuların kalitesi üzerinde de olumsuz etki yaratabilen heyelanlar, kentleşme ve doğal çevrenin korunması, toplum yaşam kalitesi gibi sosyo-ekonomik hususlarda da, sorunlara neden olabilmektedir (Schuster ve Fleming, 1986).

Bir önceki bölümde de değinildiği gibi, dünyada birçok ülke heyelanlar nedeniyle önemli kayıplara maruz kalmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı, konu ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Temelde heyelanlarla ilgili değerlendirme çalışmaları 1950'li yılların sonlarına doğru başlamış olup, başlangıçtaki çalışmalar; yerel şev duyarsızlıklarının araştırılmasına ve bu duraysızlıklarla ilgili iyileştirme çalışmalarına yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte; günümüzdeki genel eğilim, öncelikli olarak, bölgesel değerlendirmelerin yapılması yönündedir. Bu durumun en önemli gerekçesi ise, herhangi bir mühendislik çalışması için bu tür çalışmalara olan gereksinim, bölgesel planlamaların önemi ve ekonomik açıdan getirdiği katkılar olarak değerlendirilmektedir (Soeters ve Van Westen, 1996). Ayrıca, 1980'li yılların başından itibaren, bilgisayar yazılımlarındaki gelişmelere koşut olarak, sayısal tabanlı heyelan değerlendirme çalışmalarında büyük bir artışın olduğu da bilinmektedir. Heyelanların değerlendirilmesine yönelik çalışmalar; heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmaları olmak üzere dört farklı grupta toplanabilir. Bunlardan heyelan envanter çalışmaları tüm değerlendirme yöntemlerine temel teşkil etmekte olup, heyelanların genel özelliklerinin yansıtıldığı ve heyelan yerlerinin gösterildiği haritalar olarak tanımlanabilir.

Duyarlılık, tehlike ve risk kavramları ise, yer yer aynı anlamda kullanılmakla birlikte, temelde birbirinden çok farklı tanımlamalarla ifade edilmektedirler. Heyelan duyarlılığı; bir bölge içindeki alanların, hazırlayıcı girdi parametreleri kullanılarak, heyelan oluşumuna karşı duyarlılığın göreceli olarak ifade edilmesi olarak tanımlanabilir. Diğer bir deyişle bu tanım, güncel ve/veya geçmişte meydana gelmiş heyelan özelliklerinin belirlenip, gelecekte meydana gelebilecek potansiyel duraysız alanların (mekansal olabilirliklerinin) ortaya konulmasını kapsamaktadır. Heyelan tehlikesi ise, belirli bir alanda, belirli bir zaman dilimi içinde potansiyel olarak hasar verici etkiye sahip bir heyelanın, oluşabilme olasılığı olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1984). Bu tanım, konum ve zaman faktörlerini bir arada içermek-

te olup, heyelan tehlikesinin belirlenmesinde, deprem, yağış gibi tetikleyici parametrelerin mutlaka dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte, bu tür tetikleyici parametrelere ilişkin verilere her zaman ulaşmanın, güç, yüksek maliyetli ve yüksek derecede belirsizlikler içermesi nedeniyle araştırmacılar, çoğunlukla daha kolay verilerle üretilen heyelan duyarlılığı değerlendirmelerini tercih etmektedirler (Brabb, 1984). Heyelan riski ise, heyelan duyarlılık ve tehlike kavramlarını içeren, nüfus, ekonomik etkinlik gibi sosyo-ekonomik parametrelerin de içerildiği bir kavramdır. Bu kavram içinde, heyelanlar sonucunda oluşabilecek can ve mal kayıplarının yanı sıra, oluşacak hasarın tahmini ile ekonomik ve çevresel zararlar da değerlendirilmelidir. Bu şekilde yapılan bir risk değerlendirmesi kapsamında; çok sayıda ve farklı türde veri gereksinimi nedeniyle heyelan risk değerlendirmelerinin sayısı, heyelan duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerine göre çok daha azdır (Aleotti ve Chowdhury, 1999). Yukarıda değinilen nedenlerden ötürü, bu çalışmada da, sadece heyelan duyarlılığı çalışmaları üzerinde durulmuştur.

WoS'da yapılan ve SCI'da taranan uluslararası dergilerde Türk araştırmacıların içinde bulundukları çalışmalar incelendiğinde, yukarıda belirtilen duruma benzer bir durumla karşılaşılmaktadır. Bu çalışmada, doğrudan heyelan duyarlılığının değerlendirilmesine yönelik olarak, "title=landslide susceptibility" ve "address=Turkey" ölçütleri dikkate alınmıştır. Bu ölçütler dikkate alınarak, Türk araştırmacıların içinde bulunduğu toplam 21 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Heyelan tehlikesi üzerine, Türkiye kökenli herhangi bir araştırmaya rastlanılmamış olup, heyelan risk değerlendirmesi konusunda ise sadece bir adet çalışma (Düzgün ve Özdemir, 2006) mevcuttur. Yukarıdaki ölçütler dikkate alınarak yapılan toplam 21 adet çalışmaya ilişkin değerlendirmelere izleyen paragraflarda değinilmiştir.

3. YAYIMLANMIŞ HEYELAN DUYARLILIK ÇALIŞMALARI

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde Türkiye kökenli ilk yurtdışı çalışma, Gökçeoğlu ve Aksoy (1996) tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmada; toprak zeminlerin makaslama dayanımı parametreleri, yamaç eğimi, bakı, göreceli yükseklik, drenaj ağına olan yakınlık, bitki örtüsü ve ana faylara olan uzaklık parametreleri dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan parametrelerin hangi ağırlık etkisiyle dikkate alınması gerektiği hususunda, deneme-yanılma yöntemini esas alan bir karşılaştırma sonucunda araştırmacılar, parametrelerin heyelan oluşumu üzerindeki etkilerinin eşit ağırlıklarda alınmasının en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, yeraltısu koşullarının bu tür bir çalışma için son derece önemli olduğunu vurgulayan araştırmacılar, yeraltısu koşullarının bilinmesi halinde, elde ettikleri sonuçların iyileştirilebileceğinden söz etmişlerdir. Araştırmacılar, litoloji parametresi yerine, zeminlerin makaslama dayanımı özelliklerini analizlerde girdi olarak kullanmışlardır. Bununla birlikte, çalışılan bölgeyi temsil edebilecek yeterli sayıda örnekleme ve zaman alıcı bir deney programının uygulanması zorunluluğunun, bu tür bir yaklaşımın uygulamada bazı sorunlara yol açabileceği de belirtilmiştir.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılan mevcut yöntemlerin tümünün üstünlük ve sınırlamalarının olduğunu vurgulayan Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2002), Batı Karadeniz

Bölgesi'nde Yenice (Karabük)'nin kuzeyini kapsayan bir alanın heyelan duyarlılık haritasını, bulanık mantık yaklaşımını temel alarak oluşturmuşlardır. Ayrıntılı saha çalışmaları ve hava fotoğrafı yorumlamaları ile oluşturdukları heyelan envanterini kullanarak, yamaç eğimi, topoğrafik yükseklik, bakı, bozunma zonu derinliği, su koşulları ve arazi kullanım potansiyeli parametreleri için veri temelli bulanık kurallar oluşturarak, "sonuç heyelan duyarlılık haritası" elde etmişlerdir. Araştırmacılar, çalışmaları kapsamındaki en önemli belirsizliğin, su koşullarının değerlendirilmesinde ortaya çıktığını ve çalışma alanındaki heyelanların büyük bir kesiminin aşırı yağışlar tarafından tetiklenmiş olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca su durumuna ilişkin yaptıkları gözlemsel sınıflamanın, mevsimsel koşullar ve çalışma dönemine bağlı olarak farklılık gösterebileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bulanık mantık yaklaşımının en önemli üstünlüğünün, sayısal ve sözel verilerin bir arada değerlendirilerek, daha güvenilir sonuçlar elde edebileceğini ve belirsizliklerin düşük seviyelere çekilebileceğini vurgulayarak, bu tür uygulamaların heyelan değerlendirmelerinde umut verici olduğunu da ifade etmektedirler.

Çevik ve Topal (2003), Sakarya'nın doğusundaki Hendek ilçesinin kuzey kesimlerinden geçen doğal gaz boru hattının bölgede meydana gelen heyelan nedeniyle zarar görmesi sonucunda, seçilecek yeni boru hattına esas olacak bir heyelan duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Bu çalışmada; jeoloji, yamaç eğimi, bakı, yükseklik, arazi kullanımı, bitki örtüsü, drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına ve faylara yakınlık parametreleri dikkate alınmıştır. Bu parametrelere ilişkin, istatistiksel indeks (W_i) ve ağırlık faktörleri (W_f) hesaplanarak, 5 adet duyarlılık zonu belirlenmiştir. Bölgedeki heyelanların, pekişmemiş ve/veya az pekişmiş birimler ile bozunma zonlarında geliştiği saptanan çalışmada, heyelan duyarlılığı açısından en etkin parametrenin, litoloji olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca, arazi kullanımı açısından heyelan duyarlılığı değerlendirildiğinde, tarımsal faaliyetlerin boru hattı yakını ve civarında yapılmaması da bu çalışmada önerilmektedir.

Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2004), Batı Karadeniz Bölgesi'nde yaptıkları çalışmalarında, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde, bulanık ilişkilerin kullanılmasını araştırmışlardır. Heyelan envanteri, bölgede ayrıntılı saha çalışmaları ve hava fotoğrafı yorumları ile oluşturmuş, toplam 266 adet heyelana ilişkin veri tabanını esas almaktadır. Heyelan envanter haritası ile parametre haritaları bulanık ilişki matrisleriyle birlikte değerlendirilmiş ve öncelikli olarak yeni bir parametre seçim yöntemi geliştirilmiştir. Heyelan duyarlılığı, daha önceden Ercanoğlu (2003)'nin çalışmasında kullandığı ve dört farklı modülden oluşan FULLSA (Fuzzy Logic Applications in Landslide Susceptibility Assessments) adı verilen bilgisayar programı ile değerlendirilmiştir. Beş farklı heyelan duyarlılık grubunun tanımlandığı çalışmada üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansının değerlendirilmesi amacıyla, ilişki değeri (rij) ve ortalama karekök hatası (RMSE) değerleri hesaplanmıştır. İlgili performans göstergelerinin, bölgedeki mevcut heyelanlı alanları yeterli ölçüde yansıttığı sonucuna varılan çalışmada araştırmacılar, söz konusu yaklaşımın parametre seçimindeki öznelliği önlediğini ve heyelan duyarlılık çalışmalarında güvenilir bir heyelan envanter haritası ile birlikte kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Yenice (Karabük) kuzeyinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında Ercanoğlu vd. (2004), yaklaşık 64 km²'lik bir alanda belirledikleri 57 adet heyelan için, çok değişkenli istatistiksel

yöntemlerden biri olan faktör analizini kullanmışlardır. Çalışmada, yamaç eğimi, topoğrafik yükseklik, bakı, bozunma derinliği ve su koşulları parametreleri, girdi olarak kullanılmıştır. Söz konusu parametrelerin alt grupları için üyelik değerleri, [0-1] aralığında tanımlanmış ve heyelan envanter haritası temel alınarak, faktör analizi yöntemiyle, heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının mevcut heyelanları % 86 oranında temsil ettiğini belirleyen araştırmacılar, kullandıkları yöntemin ve parametrelerin en azından söz konusu bölge için temsil edici ve uygulanabilir olduğunu vurgulamışlardır.

Süzen ve Doyuran (2004a), Süzen (2002)'in çalışmasını temel alan çalışmalarında, heyelan değerlendirmelerinde son yıllarda araştırmacıların ilgisinin arttığını vurgulayarak, bazı veri türlerinin ve kullanılan yöntemlerin sınırlamaları üzerine bir değerlendirme yapmışlardır. Bu değerlendirme sonucunda özellikle son yıllarda veri temelli yöntemlerin daha sıklıkla kullanıldığını belirtmişlerdir. Daha sonra, Asarsuyu Havzası'nda iki değişkenli istatistiksel yöntem ile ilk kez Süzen (2002)'in geliştirdiği "kök hücre" tanımlamalarını kullanarak, bölgenin heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Araştırmacılar ürettikleri heyelan duyarlılık haritasının performansını, 12 Kasım 1999 Düzce depreminden sonra oluşan 20 adet heyelanın söz konusu haritada yüksek ve çok yüksek sınıflarında bulunmasıyla ilişkilendirerek, kullandıkları yöntem ve parametrelerin bölgedeki mevcut heyelan durumunu iyi bir şekilde yansıttığını belirtmişlerdir.

Süzen ve Doyuran (2004b), yine Süzen (2002)'in çalışmasını temel alan çalışmalarında, veri tabanlı iki değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerini karşılaştırmalı olarak irdelemişlerdir. Araştırmacılar, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde, iki değişkenli istatistiksel yöntemlerdeki veri bağımlılığını arttırmak ve uygulamayı yapan araştırmacının deneyimine bağlılığı azaltmak amacıyla yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Uyguladıkları yöntemlerden mantıksal regresyon ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının, bölgedeki mevcut heyelanlı alanları daha iyi yansıttığı sonucuna varmışlardır.

Türkiye'de, yapay zeka yöntemlerinden biri olan YSA (Yapay Sinir Ağları) ile üretilen ilk çalışmalardan biri, Ercanoğlu (2005) tarafından yapılmıştır. Araştırmacı, heyelanların sıklıkla geliştiği Batı Karadeniz Bölgesi'nde seçilen bir alanda, YSA ile heyelan duyarlılığının belirlenmesini amaçlamıştır. Ayrıntılı saha çalışmaları ve hava fotoğrafı yorumlamaları ile toplam 317 adet heyelan noktasına ilişkin envanter ve veri tabanı oluşturan Ercanoğlu (2005), heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde yamaç eğimi, bakı, topoğrafik yükseklik, yamaç şekli, nemlilik indeksi ve bitki örtüsü indeksini dikkate almıştır. Söz konusu parametreleri çalışılan bölgenin SAM (Sayısal Arazi Modeli) ve ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer) uydu görüntüsünü kullanarak elde eden araştırmacı, tüm girdi parametreleri ve envanter haritasını [0,1] aralığında ifade ederek normalleştirmiştir. Parametrik haritaların normalleştirilmesinde İstatistiksel İndeks (Wi) hesaplamaları dikkate alınmaktayken, envanter haritasında heyelan varlığı (1) ve heyelan olmaması (0) değerlerini içerecek şekilde veri tabanına aktarılmış ve piksel tabanlı olarak atanmıştır. Uygulanan YSA modeli sonucunda heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuş ve harita performansı r_{ij} (ilişki değeri) ve alansal yayılım göstergeleriyle sınanmıştır. Mevcut heyelanların % 87.2'si alansal olarak doğru tahmin edilmiş ve r_{ij} değeri de 0.85 olarak belirlenmiştir. Tüm bu değerlendirmeler ışığında araştırmacı, uyguladığı yöntemin ve kullandığı parametrelerin, çalışılan bölge için son derece tatmin edici sonuçlar verdiğini ve uygulanabilir nitelikte olduğunu vurgulamıştır.

Gomez ve Kavzoğlu (2005), Venezuela'nın Jabonasa Nehri havzası'nda gerçekleştirdikleri heyelan duyarlılığı çalışmalarında, YSA yönteminden yararlanmışlardır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinin gerek yerel yönetimler, gerekse kentsel planlama ve gelişim açısından son derece önemli olduğunu vurgulayan araştırmacılar, 3 farklı veri grubu (sayısal veriler, uydu görüntüsü ve mevcut haritalar) kullanmışlardır. Ürettikleri heyelan duyarlılık haritasının, % 90 güvenilirlikte olduğunu belirten araştırmacılar, bu tür çalışmalarda YSA yönteminin son derece iyi sonuçlar verdiğini de vurgulamışlardır.

17 Mart 2005 tarihinde Sivas iline bağlı Koyulhisar ilçesindeki Sugözü köyünün Kuzulu Mahallesi'nde meydana gelen heyelanı ve civarının heyelan duyarlılığını araştıran Gökçeoğlu vd. (2005), meydana gelen heyelanın kar erimesi sonucunda tetiklendiğini vurgulamışlardır. Kuzulu heyelanı sonucunda, 15 kişi yaşamını yitirmiş, köy camisi ve 21 ev toprak altında kalarak, yaklaşık 12.5 milyon m³ hacmindeki malzeme hareket etmiştir (Gökçeoğlu vd., v 2005). Heyelanın başlangıç mekanizmasının dönel olduğunu belirleyen araştırmacılar, bu yenilmeyi yüksek eğim ve su içeriği nedeniyle akma türünde ve son derece hızlı gelişmiş bir başka hareketin izlediğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, söz konusu heyelanın bulunduğu bölgenin heyelan duyarlılık haritasını da üretmişlerdir. Ayrıntılı bir heyelan envanteri oluşturulduktan sonra, jeoloji, yamaç eğimi, bakı, yükseklik, nemlilik indeksi ve akarsu güç indeksini girdi parametresi olarak dikkate almışlardır. Araştırmacılar üretilen haritanın, risk değerlendirmeleri ve planlama süreçleri için önemli olduğunu belirterek, karar vericiler için ön fikir verici nitelikte olduğunu da vurgulamışlardır.

Yeşilnacar ve Topal (2005), Hendek civarında yapmış oldukları heyelan duyarlılığı haritalaması çalışmalarında, mantıksal regresyon ve YSA yöntemlerini karşılaştırmalı olarak kullanmışlardır. Araştırmacılar, bazı yöntemlerin heyelan duyarlılığı çalışmalarında sınırlamaları olduğunu vurgulayarak, heyelan duyarlılığı çalışmalarında genel olarak istatistiksel yöntemlerin tercih edildiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, YSA kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının, mevcut koşulları daha gerçekçi bir şekilde yansıttığını ortaya koymuşlardır.

Duman vd. (2006), Çekmece (İstanbul) bölgesinde yapmış oldukları çalışmada, tüm dünyada olduğu gibi, sanayileşme sonucunda yerleşim bölgelerinin çarpık kentleşme özelliği sergilediğini vurgulayarak, çalıştıkları alanın da bu özelliğe sahip örneklerden biri olduğunu belirtmişlerdir. İstanbul'un batısında yer alan Çekmece'de, heyelan aktivitesi son derece yüksek olup, buna karşın aynı bölgenin çarpık kentleşme sonucunda, yerleşimin ve nüfusun yüksek bir bölge özelliğinde olduğu belirtilen çalışmada, heyelan duyarlılığı mantıksal regresyon ile değerlendirilmiştir. Hava fotoğrafı yorumlamaları ve arazi çalışmaları ile oluşturulan heyelan envanteri ve veri tabanına göre, çalışılan bölgenin % 19.2'si heyelanlarla örtülüdür. Çalışmada heyelanların değerlendirilmesi için toplam 37 değişkenden oluşan bir veri seti kullanılmış olup, bunlardan 25 tanesinin etkin parametre olduğu belirlenmiştir. Yapılan analizlere göre litoloji, akarsu güç indeksi (SPI) ve yamaç eğiminin dikkate alınan diğer parametrelere göre daha etkin oldukları belirlenmiştir. Çalışmada üretilen heyelan duyarlılık haritası ile mevcut heyelanlı alanların % 83.8'i doğru olarak tahmin edilmiştir.

Yeşilnacar ve Süzen (2006) ise, arazi kullanımı, bitki örtüsü ve ormanlık alanlar gibi bölgelere ilişkin UA ürünleri üzerinde yapılan sınıflamaların yeterince tatmin edici sonuçlar

üretmediği koşullar olduğunu vurgulayarak, bu tür verilerin değerlendirilmesinde bazı özel yaklaşımların kullanılması gerekliliğinden söz etmektedirler. Heyelan duyarlılık haritalarında girdi parametreleri içinde değerlendirilen bazı parametrelere özgü özel bilgilerin elde edilmesi gerektiğini savunan araştırmacılar, önerdikleri yaklaşımın, daha güvenilir sonuçlara ulaşılmasını sağlayacağını ortaya koymuşlardır. Bu amaç doğrultusunda Asarsuyu Havzası (Düzce)'nda gerçekleştirdikleri çalışmalarında, LANDSAT TM uydu görüntüsünde yapılan klasik sınıflama yöntemleri ile tatmin edici sonuçlar alınamadığını belirten araştırmacılar, bitki örtüsü, toprak/yüzey nemliliği, topoğrafik nemlilik indeksleri ile drenaj yoğunluğu parametreleri üzerinde önerdikleri yaklaşımla, yüzey örtü sınıflamasının başarısında, % 77'den % 89'a kadar değişen bir artışın varlığından söz etmektedirler. Bu durumun, özellikle heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde girdi parametreleri arasında yer alan bu tür verilerin kalitesinde artışa yol açtığını belirlemişlerdir. Söz konusu artışın da, araştırmanın yapıldığı bölgede üretilen heyelan duyarlılık haritasının başarısını, % 63'den, % 88'e çıkardığını ortaya koymuşlardır.

Akgün ve Bulut (2007), CBS temelli heyelan duyarlılığı değerlendirmesi çalışmalarında, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Arsin ve Yomra (Trabzon) civarındaki heyelanları dikkate almışlardır. Araştırmacılar, yaptıkları analizlerde girdi parametreleri olarak yamaç eğimi, bakı, drenaja olan uzaklık, yollara uzaklık parametrelerini kullanmışlardır. 38.87 km²'lik bir alanda gerçekleştirilen çalışmada sonuçlar, kullanılan yöntemlerin ve parametrelerin karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelere göre, yöntemsel olarak WLC (Weighted Linear Combination)'nin, parametre açısından da yamaç eğiminin değerlendirmelerde daha etkin sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

Yalçın ve Bulut (2007) ise, Ardeşen (Artvin) civarında yaklaşık 50 km²'lik bir alanda yaptıkları çalışmada; AHP (Analytical Hierarchy Process); CBS ve sayısal fotogrametrik tekniklerle heyelan duyarlılığını araştırmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında girdi olarak litoloji, bozunma, yamaç eğimi, bakı, arazi örtüsü, makaslama dayanımı, akarsulara olan uzaklık, akarsu yoğunluğu ve yollara uzaklık parametrelerini kullanmışlardır. Çalışmanın en önemli girdi parametrelerinden biri, makaslama dayanım parametreleri olup, bu parametreler laboratuvar deneyleri ile belirlenmiştir. Dikkate alınan parametre ağırlıkları ile karşılaştırma yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Araştırmacılar, üretilen haritaya göre çalıştıkları alanın % 28'inin, heyelan tehlikesi altında olduğunu vurgulayarak, mevcut heyelanlı alanların % 84'ünün başarıyla tahmin edildiğini hesaplamışlardır.

Akgün vd. (2008), Fındıklı (Rize) yöresinde gerçekleştirdikleri çalışmada, LRM (Likelihood Frequency Ratio) ve WLC (Weighted Linear Combination) yöntemleri ile yaklaşık 43 km²'lik bir alan için heyelan duyarlılık haritaları üretmişlerdir. 1983 ve 1995 yıllarında çekilmiş olan hava fotoğraflarında ve arazi çalışmaları ile bölgeye ilişkin heyelan envanteri hazırlanmıştır. Yamaç eğimi, bakı, litoloji, drenaja uzaklık, yollara uzaklık ve arazi örtüsü parametreleri, analizlerde girdi parametresi olarak dikkate alınmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının karşılaştırmasını da yapan araştırmacılar, detaylı analizler yapıldığında WLC ile oluşturulan haritanın daha iyi bir performans gösterdiğini ifade etmişlerdir. WLC yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının, haritalanan heyelanları % 79 oranında doğru yansıttığı, buna karşın LRM ile oluşturulan haritadaki oranın,

% 49 olduğu hesaplanmıştır. Bu oranların, üretilen duyarlılık haritalarında “yüksek” ve “çok yüksek” gruplarındaki değerler olduğu vurgulayan araştırmacılar, bu değerlere göre WLC yöntemi ile oluşturulan haritanın daha iyi bir performans sergilediğini ortaya koymuşlardır.

Ercanoğlu vd. (2008), Batı Karadeniz Bölgesi’nde gerçekleştirdikleri çalışmalarında, Ercanoğlu (2005)’nin YSA ile yapmış olduğu heyelan duyarlılık değerlendirmesini, AHP ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada, yamaç eğimi, bakı, topoğrafik yükseklik, topoğrafik şekil, su durumu ve bitki örtüsü parametreleri dikkate alınmıştır. Çalışılan bölgedeki heyelanlar ve oluşumu üzerinde bilgi sahibi 8 adet uzmana verilen ve parametrik etkileşimlerin değerlendirildiği veriler temel alınarak, AHP yöntemi söz konusu bölgede uygulanmıştır. Toplam 317 adet heyelana ilişkin veri seti ve YSA ile Ercanoğlu (2005) tarafından üretilen harita, bu çalışmada AHP ile üretilen harita ile karşılaştırılmıştır. Diğer bir deyişle, “Yapay Zeka” kavramı içinde değerlendirilen YSA ile “uzman görüşü”nü temel alan yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Birbirinden temelde farklı gözükken bu iki yöntemin sonuçları, farklı performans göstergeleri ile sınanmış ve Ercanoğlu (2005)’nin YSA ile ürettiği haritanın alansal olarak mevcut heyelanları daha iyi yansıttığı belirlenmiştir. Araştırmacıların bu çalışmada değindikleri en önemli nokta ise, kullanılan yöntem ne olursa olsun, üretilen bir heyelan duyarlılık haritasının gerçek performansının, gelecekte oluşacak heyelanlar ile denetirildikten sonra ortaya çıkacağını vurgulanmasıdır.

Görüm vd. (2008), heyelan duyarlılık haritalamaları konusunda çok sayıda çalışma olduğunu, ancak hazırlayıcı bir parametre olan jeomorfolojik özelliklerin, sınırlı sayıdaki çalışmada kullanıldığını ifade etmektedirler. Bu amaç doğrultusunda araştırmacılar, heyelan öncesi topoğrafik koşulların yansıtıldığı bir çalışma yaparak, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında bir girdi parametresi olarak jeomorfolojinin kullanılması gerektiğini vurgulamaktadırlar. Karadeniz Bölgesi’nde seçilen yaklaşık 108 km²’lik bir alanda gerçekleştirdikleri çalışmada heyelan duyarlılık haritaları üreten araştırmacılar, mantıksal regresyon yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada en uygun sonuçlar, yeniden yapılandırılmış topoğrafik parametreler ve jeomorfolojik birimler ile üretilen haritadan elde edilmiştir. Araştırmacılar önerdikleri yaklaşımın, derin kayma yüzeyine sahip ve geniş yayılımlı heyelanlar için geçerli olduğunu, diğer türdeki kütle hareketleri için bu yaklaşımın geçerli olmadığını, ancak bu konunun araştırılması gerekliliğini de belirtmişlerdir.

Nefeslioğlu vd. (2008a), yapmış oldukları çalışmada, heyelan duyarlılık haritaları oluşturulurken kullanılan farklı örnekleme yöntemleri üzerinde durarak, bunlardaki kavramsal farklılıkları vurgulamayı amaçlamışlardır. Çalışmada, mantıksal regresyon ve geri beslemeli YSA yöntemleri esas alınmıştır. Heyelanların sıkça geliştiği İspir bölgesinde gerçekleştirilen çalışmada, kullanılan yöntemler ve örnekleme stratejileri üzerinde son derece önemli yorumlamalar yapılmış ve bunlar üzerindeki araştırmaların tatmin edici sonuçlar verinceye değin devam etmesi gerekliliği vurgulanmıştır.

Nefeslioğlu vd. (2008b) ise, Kelkit Vadisi’nde dört farklı veri seti kullanarak mantıksal regresyon analizleri ile heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Araştırmacılar, en doğru sonuçları sürekli topoğrafik parametreler ve litolojik özelliklerin birlikte değerlendirildiği veri setinden elde etmişlerdir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının yeterli bir performansa

sahip olduğunu vurgulayan araştırmacılar, söz konusu haritanın özellikle bölgedeki heyelan önleme ve planlama/zarar azaltma çalışmaları için kullanılabilir olduğunu ifade etmektedirler.

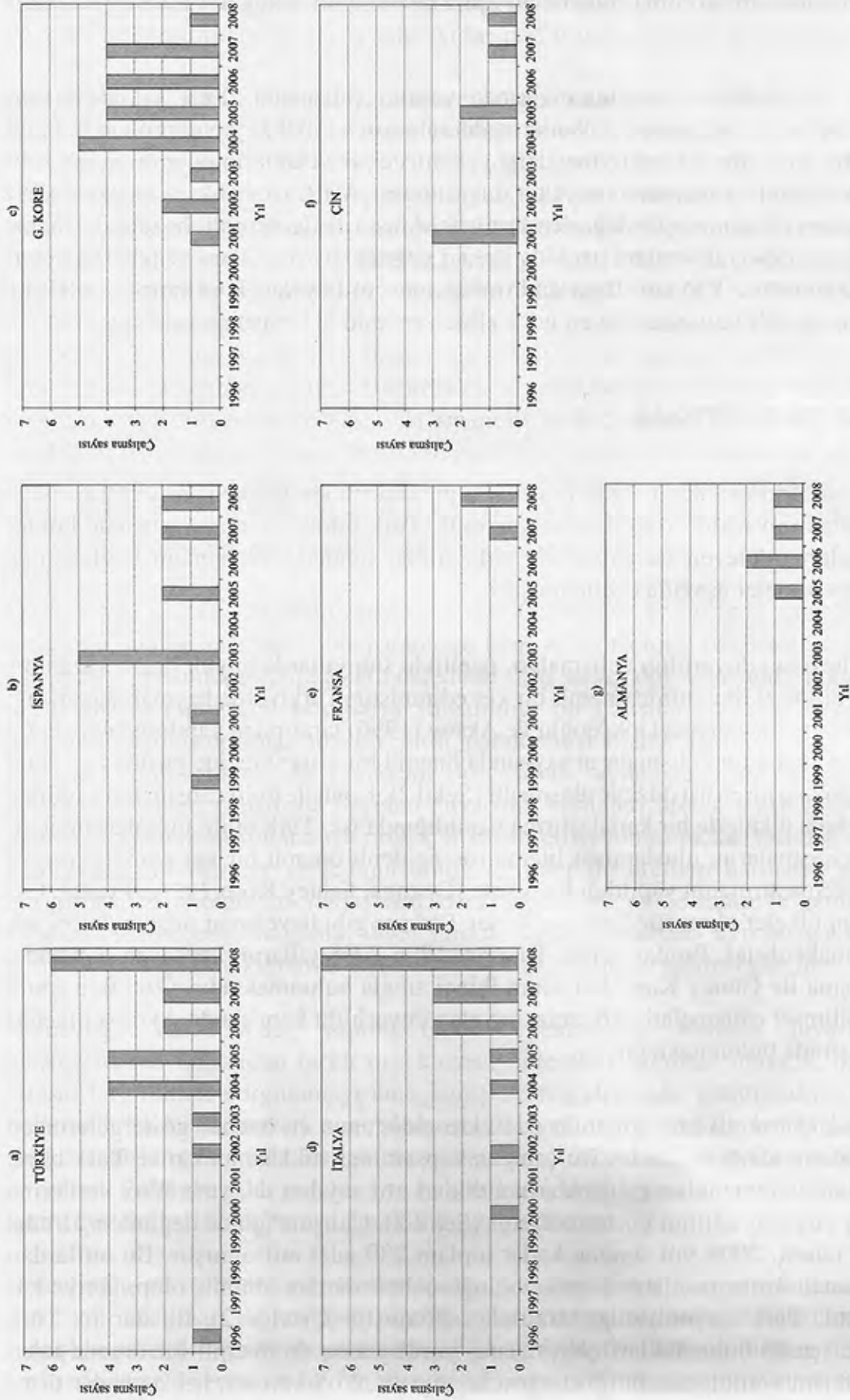
Yalçın (2008) ise, Ardeşen (Artvin) civarında yaptığı çalışmada, 2001 yılındaki aşırı yağışlardan sonra meydana gelen heyelanlar nedeniyle can ve mal kayıplarının yaşandığını vurgulamışlardır. Bölgede gelecekte meydana gelebilecek heyelanların önemli ölçüde tehlike yarattığını belirten araştırmacı, heyelan duyarlılığını AHP, istatistiksel indeks ve Wf (Weighting Factor) yöntemleriyle değerlendirmiştir. Araştırmada, litoloji-bozunma, yamaç eğimi, bakı, arazi örtüsü, akarsulara uzaklık, drenaj yoğunluğu ve yollara uzaklık parametreleri dikkate alınmıştır. Yapılan değerlendirmede mevcut heyelan koşullarının, AHP ile üretilen heyelan duyarlılık haritası ile en iyi şekilde yansıtıldığı sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ülkemiz için son derece önemli olan heyelan olgusuna dikkat çekilen ve yaygın olarak kullanılan heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde, Türk bilim insanlarının içinde bulundukları çalışmaları irdeleyen bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve bunlara bağlı olarak yapılan değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir:

1) Türkiye’de heyelan duyarlılığı çalışmaları, özellikle son yıllarda büyük önem kazanmış ve uluslararası bilimsel literatürde önemli bir yer edinmiştir. Türkiye’de heyelan duyarlılığı ile ilgili yayımlanan ilk çalışma Gökçeoğlu ve Aksoy (1996) tarafından yapılmış olup, 2002 yılından başlayarak, bu tür çalışmaların sayısında önemli bir artış sürecine girilmiş ve 2008 yılında 6 adet çalışma ile en üst düzeye ulaşmıştır (Şekil 2). Konu ile ilgili çalışmaların sıklıkla yapıldığı diğer bazı ülkelerle bir karşılaştırma yapıldığında ise, Türk bilim insanlarının içinde bulunduğu çalışmaların, uluslararası literatürde ne denli önemli bir yer edindiği ortaya çıkmaktadır. Karşılaştırmaların yapıldığı bu ülkeler İspanya, Güney Kore, İtalya, Fransa, Çin ve Almanya gibi ülkeler olup, söz konusu ülkeler Türkiye gibi heyelanlar nedeniyle önemli kayıplara uğramaktadırlar. Bunlar içinde Türkiye, 1996-2008 yıllarını kapsayan dönemde, toplam 21 çalışma ile Güney Kore’den sonra ikinci sırada bulunmaktadır. Özellikle son 5 yılda yapılan bilimsel çalışmalarla ülkemiz, heyelan duyarlılığı konusunda Avrupa ülkeleri arasında ise 1. sırada bulunmaktadır.

2) Yapılan çalışmaların dikkate alınabilir özellikte olduğunun en önemli göstergelerinden biri de, çalışmaların aldığı atıflardır. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan ve Türk bilim insanlarının içinde bulundukları çalışmaların aldıkları atıf sayıları da, yine WoS verilerine göre sürekli bir yükseliş eğilimi göstermektedir (Şekil 3). Çalışma içinde değinilen 21 adet çalışmadan 17 tanesi, 2008 yılı sonuna kadar toplam 239 adet atıf almıştır. Bu atıflardan 113 tanesi yabancı araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalardan alınmış olup, geriye kalan 126 adet atıf, Türk araştırmacılar tarafından alınmıştır (Çizelge 2). Bu durum, Türk araştırmacıların içinde bulundukları çalışmalara, yurtdışından da önemli bir oranda talep olduğunun ve önem verildiğinin bir göstergesidir. Ayrıca WoS verileri, her ne kadar ticari



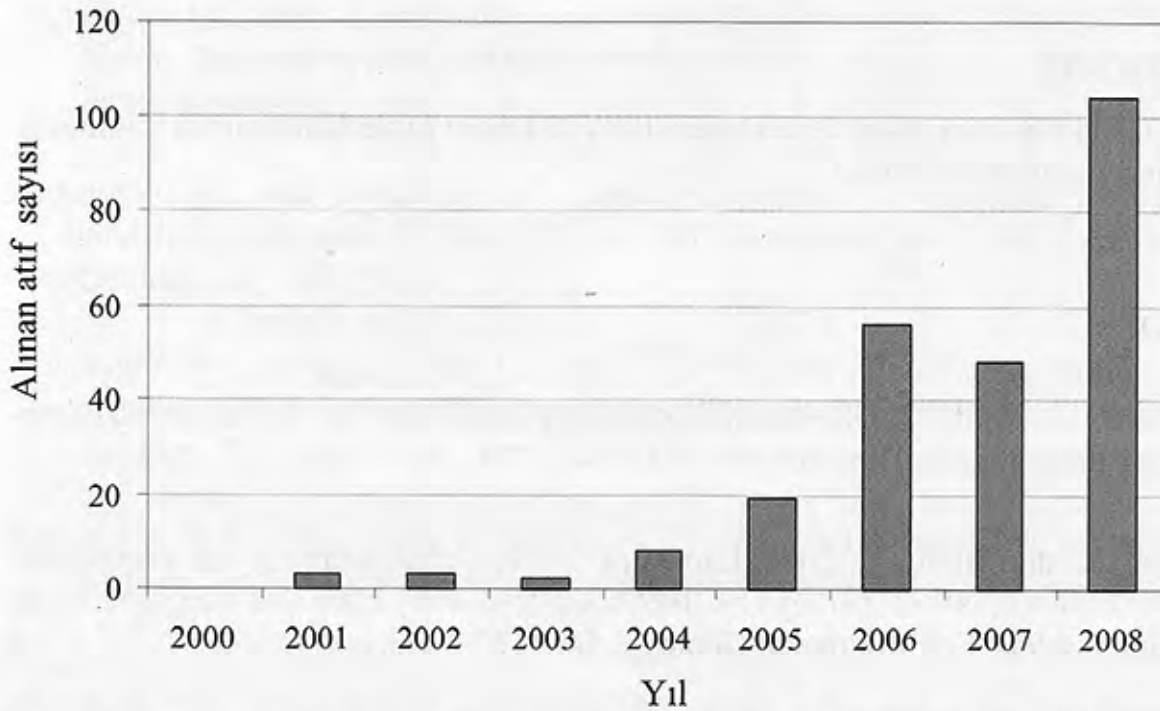
Şekil 2. Heyelan duyarlılık çalışmalarının sıklıkla gerçekleştirildiği bazı ülkelerde SCI kapsamındaki dergilerde yayımlanmış çalışmaların yıllık dağılımı.

Figure 2. Annual distribution of the papers which are from some countries, where landslide susceptibility studies are frequently performed, and are published in the journals indexed by SCI.

Çizelge 2. Türk bilim insanlarının heyelan duyarlılığı ile ilgili yaptıkları SCI kapsamındaki dergilerde yayımlanmış çalışmaların aldıkları atıf sayılarının dağılımı.

Table 2. Distribution of number of citations of landslide susceptibility related published studies indexed in SCI performed by the Turkish scientists.

Makale No.	Alınan Atıflar		Toplam
	Türk araştırmacılardan	Yabancı araştırmacılardan	
1	20	15	35
2	13	19	32
3	13	17	30
4	11	15	26
5	14	9	23
6	11	10	21
7	10	8	18
8	9	8	17
9	9	1	10
10	6	4	10
11	5	1	6
12	2	2	4
13	2	1	3
14	0	1	1
15	1	0	1
16	0	1	1
17	0	1	1



Şekil 3. Türk araştırmacılarca yayımlanmış heyelan duyarlılığına ilişkin uluslararası makalelerin yıllık atıf sayılarının dağılımı.

Figure 3. Annual distribution of citations of the international papers on landslide susceptibility by Turkish researchers.

bir kurum olan Thomson Scientific tarafından üretiliyor olsa da, her ülke bilim insanına nesnel bir şekilde yaklaşılmalı ve ülkelerin bilim politikalarını geliştirmede kullandıkları ortak bir platform olarak değerlendirilmektedir. Bu durum da, ülkemiz araştırmacılarının konu ile yaptıkları çalışmaların, bilimsel literatüre olan katkısının yüksek olduğu ve yapılan araştırmaların ve uygulamaların dünya çapında kabul gören bir düzeyde bulunduğu şeklinde yorumlanmıştır.

3) Ülkemizde yapılan heyelan duyarlılığı çalışmalarında araştırmacılar, çoğunlukla istatistiksel yöntemleri kullanmakta, CBS ve UA teknolojilerinden de yararlanarak değerlendirmelerini gerçekleştirmektedirler. İstatistiksel yöntemler içinde mantıksal regresyon ilk sırada olup, yapay zeka yöntemleri ise en yaygın 2. yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum da, dünya genelinde kullanılan yöntem ve teknolojilere yönelik eğilimler ile paralel olup, Türkiye'nin bu alanda kat ettiği yol açısından son derece önemlidir.

4) Yapılan tüm bu değerlendirmeler ışığında, Türkiye kökenli heyelan duyarlılık çalışmalarının uluslararası bilim camiasında önemli bir yer edindiği ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, ülkemizde özellikle yerel yönetimlerin ve karar vericilerin, konuya olan duyarlılığının artması ve söz konusu bu çalışmalardan yararlanarak, uygulamaya geçirilmesinin gerekliliği de kaçınılmazdır. Ayrıca konunun ülkemiz açısından önemini de gözetenerek, bilim insanlarımızın bu çalışmalara olan ilgisinin daha da artması ve yerel yönetimler ve karar vericiler ile işbirliğinin sağlanarak, ülkemiz için olası zarar ve hasarların azaltılması hususunda gerekli adımların atılması gerekmektedir. Bu şekilde izlenecek bir yol, ülkemize hem daha fazla bilimsel saygınlık getirecek, hem de insan yaşamı ve çevre bilinci konularında olumlu etkiler yaratacaktır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen 108Y034 nolu proje kapsamında yapılan literatür araştırmasından derlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akgün, A., and Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology*, 51, 1377-1387.
- Akgün, A., Dağ, S., and Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Fındıklı, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54, 1127-1143.
- Aleotti, P., and Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21-44.

- Alexander, D.E., 1995. A survey of the field of natural hazards and disaster studies. In: A. Carrara and F. Guzzetti (eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1-19.
- Brabb, E.E., 1984. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. In: *Proceedings of 4th International Symposium on Landslides*, Canadian Geotechnical Society, Toronto, Canada, 1, pp. 307-374.
- Çevik, E., and Topal, T., 2003. GIS-based susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, 949-962.
- Duman, T.Y., Çan, T., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., and Sönmez, H., 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Çekmece Area, İstanbul, Turkey. *Environmental Geology*, 51, 241-256.
- Düzgün, H.S.B., and Özdemir, A., 2006. Landslide risk assessment and management by decision analytical procedure for Dereköy, Konya, Turkey. *Natural Hazards*, 39, 245-263.
- EM-DAT (Emergency Events Database), 2008. <http://www.em-dat.net> (17.12.2008).
- Ercanoğlu, M., 2003. Bulanık mantık ve istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi-Yenice Kuzeyi). Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Ercanoğlu, M., 2005. Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural Networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 979-992.
- Ercanoğlu, M., and Gökçeoğlu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (North of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41, 720-730.
- Ercanoğlu, M., and Gökçeoğlu, C., 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 229-250.
- Ercanoğlu, M.E., Gökçeoğlu, C., and Asch, T.H.W.J., 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards*, 32, 1-23.
- Ercanoğlu, M., Kaşmer, Ö., and Temiz, N., 2008. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 565-578.

- Gomez, H., and Kavzoğlu, T., 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78, 11-27.
- Gökçeoğlu, C., and Aksoy, H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. *Engineering Geology*, 44, 147-161.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y., and Çan, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81, 65-83.
- Görüm, T., Gönençgil, B., Gökçeoğlu, C., and Nefeslioğlu, H.A., 2008. Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey). *Natural Hazards*, 46, 323-351.
- Ildır, B., 1995. Türkiye’de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar. 2. Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1-9.
- Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., and Sönmez, H., 2008a. Assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97, 171-191.
- Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y., and Durmaz, S., 2008b. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea egiön of Turkey). *Geomorphology*, 94, 401-418.
- Schuster, R.L., and Fleming, R. W., 1986. Economic losses and fatalities due to landslides. *Bulletin of Association of Engineering Geologists*, 23 (1), 11-28.
- Soeters, R.S., and Van Westen, C.J., 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation. In: *Landslides: Investigation and Mitigation*. Turner, A.K. and Schuster, R.L. (Eds.), Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., pp. 129-177.
- Süzen, M.L., 2002. Data driven landslide hazard assessment using geographical information systems and remote sensing. PhD Thesis, METU Geological Engineering Department, Ankara
- Süzen, M.L., and Doyuran, V., 2004a. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus biavariate. *Environmental Geology*, 45, 665-679.
- Süzen, M.L., and Doyuran, V., 2004b. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 303-321.

- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In *Landslides analysis and control*, (Eds. R.L. Schuster and R.J. Krizek), Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report, No.176, pp. 12-33.
- Varnes, D.J., 1984. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO Press, Paris.
- Yalçın, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardeşen (Turkey): Comparison of results and confirmations. *Catena*, 72, 1-12.
- Yalçın, A., and Bulut, F., 2007. Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: a case study from Ardeşen (NE-Turkey). *Natural Hazards*, 41, 201-226.
- Yeşilnacar, E., and Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural Networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79, 251-266.
- Yeşilnacar, E., and Süzen, M.L., 2006. A land-cover classification for landslide susceptibility mapping by using feature components. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (2), 253-275.

KAYA YÜZEYLERİNDE UV-A VE B IŞINLARI NEDENİYLE GÖRÜLEN RENK FARKLILAŞMALARI

Colour Differences on Rock Surfaces Due to Effects of UV-A and B Beams

Adil BİNAL, Aykut AYDERMAN, Aylin SEL

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532 Beytepe, Ankara

ÖZ

Birçok çalışmada, güneş radyasyonunun kayalar üzerinde etkisi genellikle fiziksel bozunma açısından değerlendirilmiştir. Güneş ışınlarının kayalar üzerinde meydana getirdiği renk değişimleri üzerine literatürde fazla bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında laboratuvar ortamında UV ışınlarının etkisini modellemek amacıyla yeni bir deney düzeneği geliştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, koyu renkli bazalt, mikritik kireçtaşı ve ignimbirit örneklerinde 180 gün sonunda renkte açılmalar ve aydınlanma değerlerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. Özellikle bazalt ve koyu gri mikritik kireçtaşı örneklerinde görülen renk açılmaları gözle bile saptanabilir hale gelmiştir. Görünür gözeneklilik oranı yüksek olan ignimbirit örneklerinde daha az oranda renk değişimleri saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş radyasyonu, kaya yüzeyi, kimyasal bozunma, renk değişimi, UV-A ışını, UV-B ışını.

ABSTRACT

In many researches, effects of solar radiation on rocks are evaluated related to physical weathering perspective. There are few studies about effects of solar beams on colour change for rocks' surfaces in the current literature. In this study, a new experiment apparatus was developed for modeling the effects of UV beams on the rock surfaces. It is observed that lightening and colour fade-in values for dark colour basalt, micritic limestone and ignimbrite samples increased after 180 days period. Particularly, colour fade-in at basalt and dark grey-colour micritic-limestone might be noticed by naked eye. A relatively small amount of colour changes was observed on ignimbrite samples that have higher porosity.

Keywords: Sun radiation, rock surface, chemical weathering, colour change, UV-A beam, UV-B beam.

1. GİRİŞ

Güncel yapılarda ve tarihi eserlerde kullanılan kayaların renkleri mimarlıkta ve mühendislikte önemli bir parametredir. Ayrıca, mühendislik jeologları için kaya tanımlamalarında ve kaya bozunması sınıflamalarında renk her zaman bir değerlendirme ögesi olmuştur. Kaya ana rengi, özellikle içerdiği ana minerallerin renginden, ayrıca tali minerallerin renginden, mineral tane boyundan ve matriks malzemenin renginden etkilenmektedir. Atmosferik etkiler nedeniyle dış cephe kaplama malzemesi olarak kullanılan kayaların dış yüzey renklerinde zamanla değişimler meydana gelmektedir. Renk değişimlerine neden olan etkenler karbondioksit (CO_2), ozon (O_3), sülfatlar (SO_2 , SO_3) ve nitrat (NO_x) gibi atmosfere gelen aerosoller ile güneşten gelen UV ışınlarıdır (Winkler, 1997).

Güneşten yayılan elektromanyetik enerji; ultraviyole ışık, görünür ışık ve kızılötesi enerjisi olmak üzere üçe ayrılır. Kızılötesi enerjisi, görünür kırmızı ışıktan daha fazla dalga boyuna sahiptir ve dalga boyu ~760 nm'den başlar. Görünür ışık bölgesi 400 ile 760 nm arasındadır. Ultraviyole ışık ise 400 nm'den daha küçük dalga boyuna sahiptir (Brennan ve Fedor, 1987). Uluslararası ışık komisyonu (CIE) güneş ışığından gelen UV spektrumunu dalga boylarına göre üç alt kısma ayırmıştır (Şekil 1). Bu ışınlar arasında dalga boyu en düşük olan UV-C, canlıların hücre yapısı üzerinde yıkıcı etkiye sahiptir. Bu ışının tamamına yakını atmosferin üst katmanlarında ozon tabakası tarafından emilmektedir. Canlılar üzerinde diğer zararlı etkiye sahip olan UV-B ışınının az bir miktarı ozon tabakasından geçmekte ve yeryüzüne ulaşmaktadır. Ozon tabakasından büyük bir kısmının geçmesi nedeniyle yeryüzüne ulaşan UV ışınları arasında en yüksek radyasyon enerjisine UV-A ışınları sahiptir (Cockell, 1998). UV-C ışınları atmosfer tarafından soğrulduğu için yeryüzüne sıfıra yakın radyasyon enerjisi yansıtmaktadır (Çizelge 1).

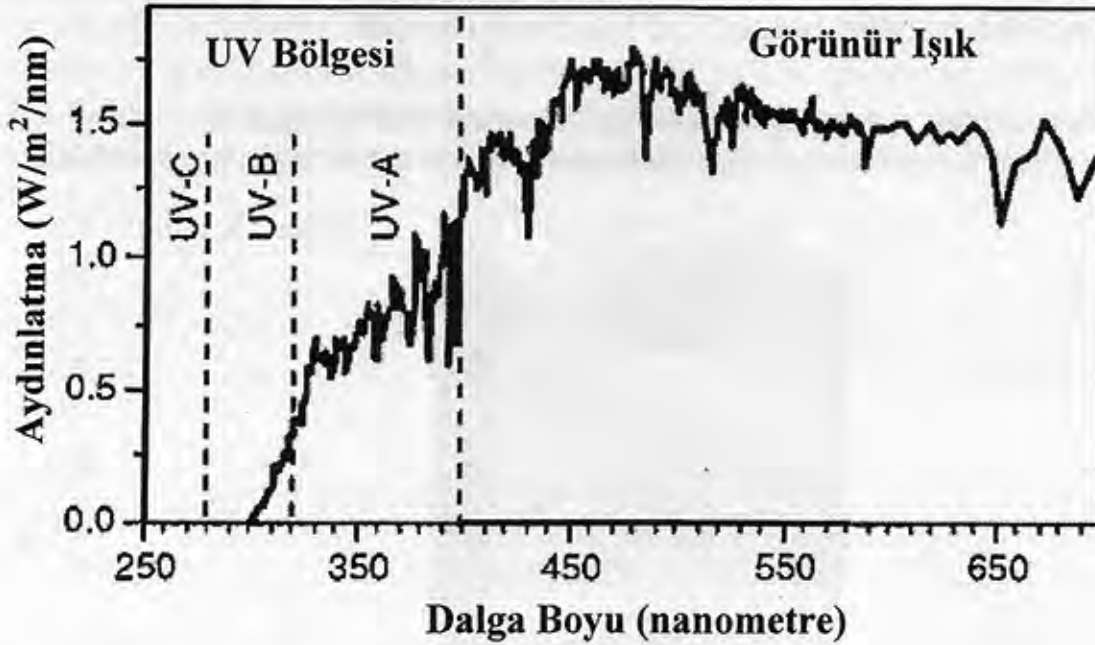
Çizelge 1. Yeryüzünde UV ışınlarının yaklaşık radyasyon enerjileri (Cockell, 1998).
Table 1. The relative radiation energies of UV beams on the earth (Cockell, 1998).

UV Işınları	Watt/m ²
UV-C (100-280 nm)	~0
UV-B (280-315 nm)	3.7
UV-A (315-400 nm)	71.3

İyonlayıcı etki gösteren ışınlamanın malzemeler üzerindeki en belirgin etkisi renk değişimidir. Bu durum, "renk merkezi oluşumu" şeklinde tanımlanmaktadır (Narita ve Tsuda, 1975). Temelde örnekte ışınlama etkisi sonucu ortaya çıkan serbest elektronlar katı örgü içinde tutulmakta ve optik soğrulmaların etkisiyle yapısal değişiklikler meydana gelmektedir.

Birçok çalışmada, güneş radyasyonunun kayalar üzerinde etkisi genellikle fiziksel bozunma açısından değerlendirilmiştir (Blackwelder, 1933; Brennan ve Fedor, 1987; Jenkins ve Smith, 1990; Gómez-Heras, vd., 2006). Güneş ışınlarının kayalar üzerinde meydana getirdiği

renk değişimlerine ilişkin literatürde fazla bir çalışma bulunmamaktadır. Winkler (1997) gri kireçtaşlarında ve şeyllerde güneş ışığı etkisiyle renk açılmalarının meydana geldiğini ve siyah kireçtaşı ve mermerlerin siyah tondan mat-kirli-griye doğru dönüş gösterdiğini belirtmiştir.



Şekil 1. Güneş ışığı spektrumu (Breannar ve Fedor, 1987).

Figure 1. The sunlight spectrum (Breannar and Fedor, 1987).

Doğal ortamda örneklerde görülen renk değişimlerini gözlemlemek amacıyla bu çalışma kapsamında çeşitli illerin meteoroloji istasyonlarına inceleme tankları yerleştirilmiştir. Özellikle ılıman iklime sahip Muğla ve İzmir illerindeki inceleme tankları içine yerleştirilen koyu gri mikritik kireçtaşı ve koyu siyah bazalt örneklerinde üç sene sonunda renkte açılmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma kapsamında gözeneklilik değerleri çok düşük olan ve sert bir matrikse sahip bazalt ve mikritik kireçtaşı örneklerinde renk değişimlerine neden olabilecek unsurlar laboratuvar ortamında araştırılmış ve güneşten yayılan UV ışınlarının bazalt ve mikritik kireçtaşı örnekleri yanı sıra tüfit, ignimbirit ve traverten örnekleri üzerinde de etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, laboratuvar ortamında UV ışınlarının etkisini belirlemek için yeni bir deney düzeneği kurulmuştur.

2. ÖRNEKLEME VE DENEYSEL ÇALIŞMA

UV deneyleri için açık renkli kaya örneklerini temsilen Bayburt taş ocaklarından getirilen tüfit ile Afyon-Emirdağ taş ocaklarından getirilen traverten örnekleri kullanılmıştır. Koyu renkli kaya örneklerini temsilen ise, Nevşehir taş ocaklarından getirilen ignimbirit (siyah, kırmızı ve kahve renklerde), İzmir-Aliaga taş ocaklarından getirilen bazalt ve

Muğla-Bodrum taş ocaklarından getirilen mikritik kireçtaşı örnekleri kullanılmıştır. Kaya örnek türlerinin tanımlamaları ince kesit ve X-RD analiz sonuçlarından yapılmıştır. X-RD analizleri için yedi kaya örneğinin toz fraksiyonları hazırlanmış ve 1µm'den ufak tane boyuna sahip örneklerin, 2°/dakika ile 2θ=5-35° arasında X-ışınları kırınım difraktogramları çekilmiştir. Difraktogramlardaki karakteristik piklerden agregaların mineral parajenezleri saptanmış ve örneklerin yaklaşık yarı-nicel mineral yüzdeleri Çizelge 2'de verilmiştir. X-ışınları difraktogramlarından yarı-nicel mineral yüzdeleri hesaplanırken Gündoğdu (1982) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır.

Çizelge 2. XRD sonuçlarına göre taze kaya örneklerinin yarı-nicel mineral yüzdeleri.

Table 2. Summary of semi-quantitative of whole rock mineralogy of the rock types based on XRD.

Kaya Türü	Kuvars	Feldispat	Kalsit	Opal-Ct	Mika	Kaolinit	Kil
İgnimbirit (siyah)	12	56	2	15	-	-	25
İgnimbirit (kırmızı)	11	18	-	51	-	-	19
İgnimbirit (kahverengi)	1	50	-	29	-	-	20
Mikritik kireçtaşı	11	24	45	-	-	-	35
Bazalt	2	48	-	25	-	-	25
Tüfit	26	5	18	-	13	30	7
Traverten	1	-	99	-	-	-	-

Örneklerin fiziksel özelliklerinin renk değişimindeki etkisini belirlemek amacıyla deney örneklerinin ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik değerleri saptanmıştır (Çizelge 3). Deneyler ISRM tarafından önerilen yöntemlere göre (ISRM, 1981) gerçekleştirilmiştir. En yüksek ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik değerleri siyah ignimbirit örneklerinde belirlenmiştir. En düşük değerler ise bazalt ve mikritik kireçtaşı örneklerinde saptanmıştır.

Çizelge 3. Deney örneklerinin ağırlıkça su emme ve görünür gözeneklilik değerleri.

Table 3. Apparent porosity and water absorption by weight of samples tested.

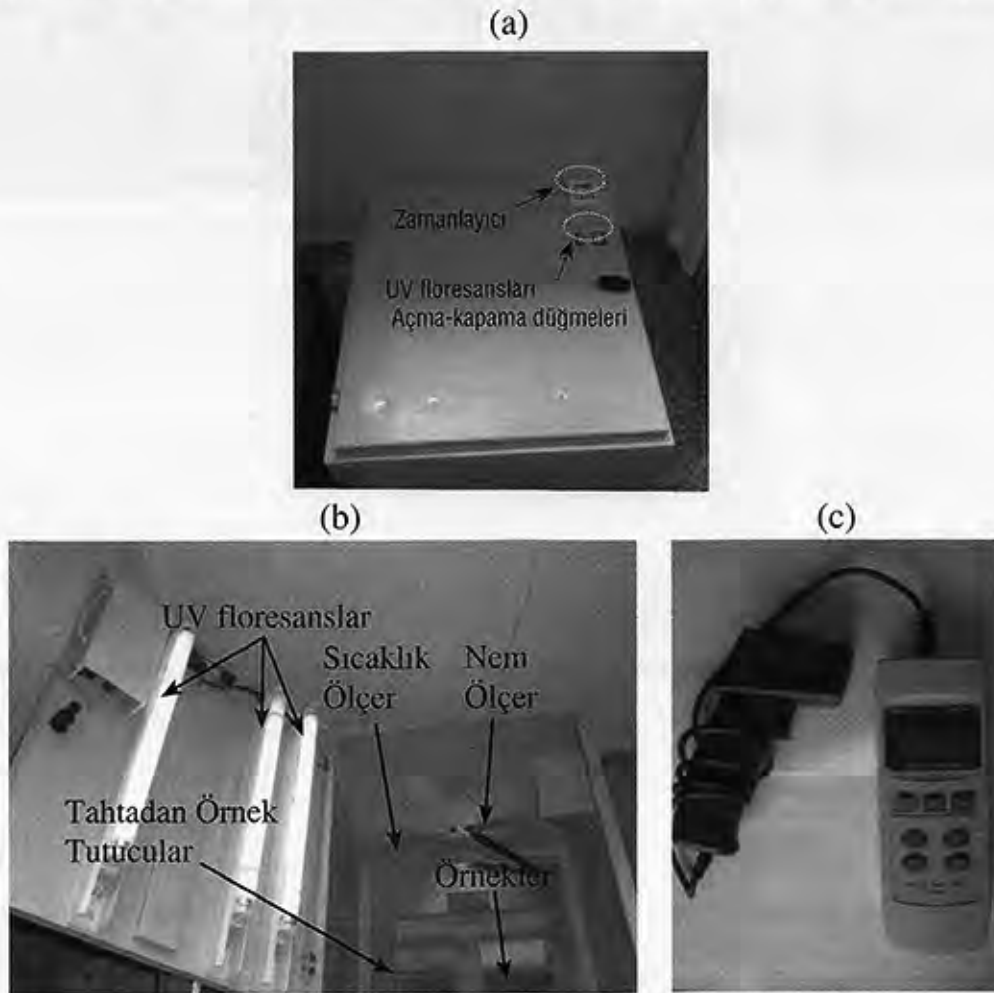
Kaya Türü	*Ağırlıkça su emme (%)	*Görünür gözeneklilik (%)	Standart sapma	Örnek sayısı
İgnimbirit (siyah)	15.67	28.52	0.65	16
İgnimbirit (kırmızı)	10.11	20.52	0.19	16
İgnimbirit (kahverengi)	12.10	23.58	0.35	16
Mikritik kireçtaşı	0.26	0.71	0.06	32
Bazalt	0.23	0.61	0.06	23
Tüfit	9.39	19.52	0.37	44
Traverten	2.81	6.80	0.81	30

* : Ortalama değerler

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. UV Işınları Etkisinin Laboratuvar Ortamında Modellenmesi

Çalışma kapsamında kaya örneklerin ultraviyole ışık altında renk değişimlerini laboratuvar ortamında incelemeye yönelik yeni bir deney düzeneği geliştirilmiştir. Deney düzeneği; çelik bir hücre içine yerleştirilmiş olup UV ışık kaynağından, ortam nemi, sıcaklığı ve UV ışın radyasyonu ölçerlerden oluşmaktadır (Şekil 2a). Her biri 20 Watt'lık 3 floresans ışığı 50 cm mesafeden örneklerin cm^2 'sine ortalama $100 \mu\text{W}$ 'lık UV ışını enerjisi uygulamaktadır (Şekil 2b). Çelik hücre içindeki sıcaklık ve nem gibi ortam koşullarını sabit tutmak amacıyla, hücrenin alt kısmında yer alan havalandırma delikleri deney sırasında kapatılmıştır.



Şekil 2. UV test düzeneği: (a) dış görünüş, (b) iç görünüş ve (c) ışık kaynağı olmayan cisimlerin renk analiz cihazı.

Figure 2. The UV test equipment: (a) the outer view, (b) the inner view and (c) no lightening material color analyzer.

Kaya örnekleri, UVA-B ışınları etkisi belirleme deney düzeneğine yerleştirilmiş ve aylık periyotlarda örneklerde meydana gelen renk değişimleri ışık kaynağı olmayan cisimlerin renk analizini yapan 10 bit çözünürlükteki üç ana renk sensörüne sahip portatif renk analiz cihazı ile saptanmıştır (Şekil 2c). Renk analiz cihazı; renkleri kırmızı, yeşil ve mavi bantlarına (RGB) ayırarak ölçmekte ve ölçülen renklerin doygunluk, ışık parlaklığı ve renk

tonu değerlerini de belirleyebilmektedir. Deney düzeneği içinde örneklerin bir yüzeyi sürekli olarak UV ışınlarına maruz bırakılmış ve örneklerin arka yüzeyi ise karanlıkta bırakılmıştır. Örneklerin renk ölçümleri sürekli olarak kaya örneği üzerinde sabit bir alandan yapılmıştır. Ayrıca, ölçümler sırasında deney düzeneği içindeki UV ışını radyasyonu, düzenek içi nem ve sıcaklık değerleri de saptanmıştır.

3.2. Arazide UV Işınlarnın Etkisinin Belirlenmesi

Laboratuvar ortamında belirlenen renk açılmalarının doğal ortamda gerçekleşip gerçekleşmediğini belirlemek amacıyla Ankara, İstanbul, İzmir, Afyon, Erzurum, Nevşehir ve Muğla meteoroloji istasyonlarına yerleştirilmiş inceleme tankları içindeki örnekler (Şekil 3) üzerinde de altı aylık periyotlarda renk analiz cihazı ile renk ölçümleri yapılmıştır. İnceleme tankı, üç farklı su drenajına sahip bölmelerden oluşmaktadır. Birinci bölmede su drenajına izin verilmediği için, yağış suyu bu bölümde birikmekte ve örnekler genelde nemli kalmaktadır. Orta bölmede yağış suyu belirli bir seviye kadar yükselebilmekte ve daha sonra bölmenin yanlarında bulunan deliklerden tahliye olmaktadır. Son bölmede ise, tabanda ve yanlarda bulunan su tahliye delikleri sayesinde örnekler genelde kuru kalmaktadır.

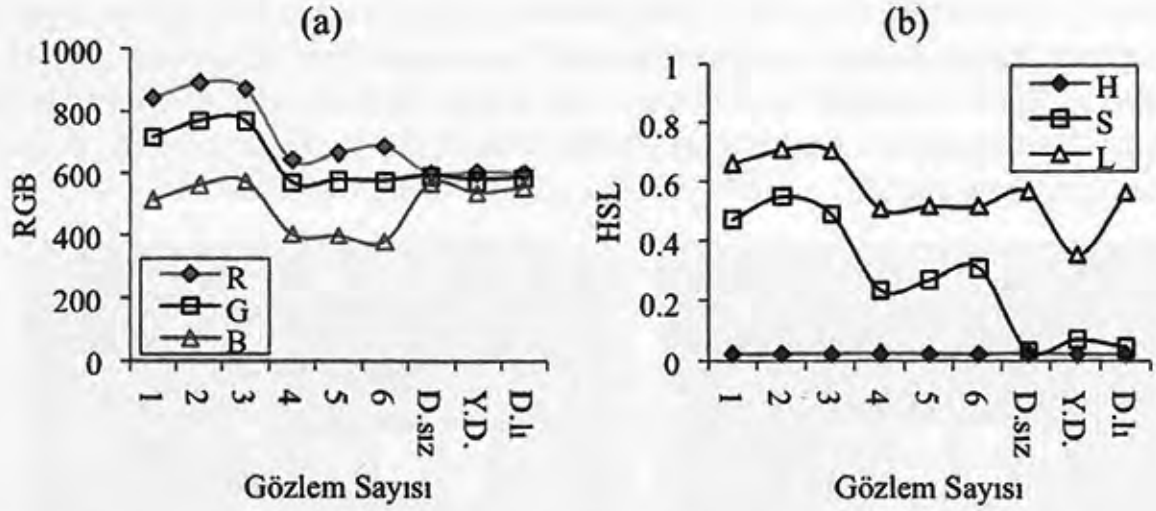


Şekil 3. Muğla-meteoroloji istasyonuna yerleştirilen inceleme tankı ve tank içindeki örnekler.

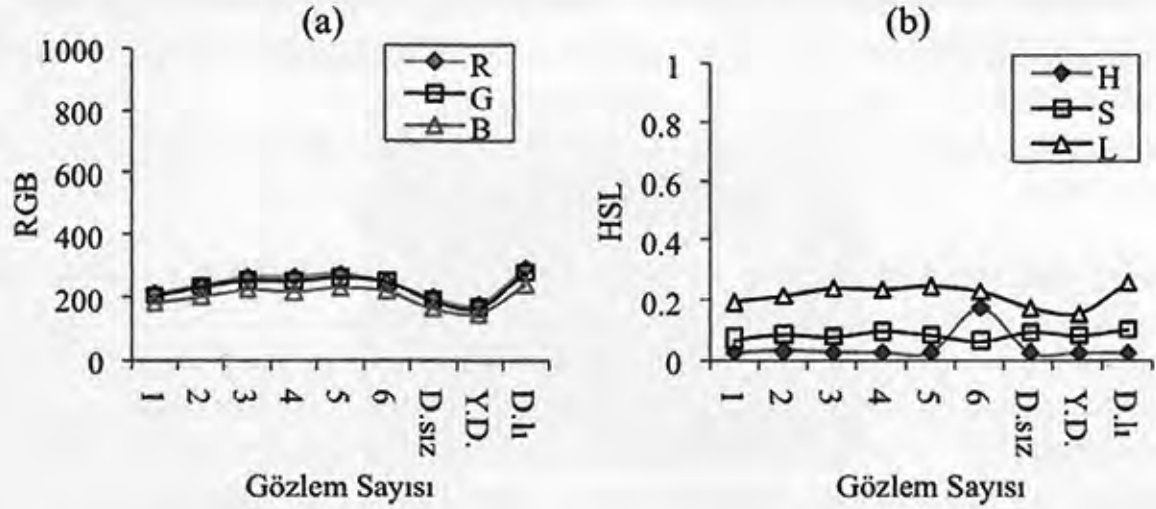
Figure 3. The investigation tank and specimens placed at the Muğla-meteorological station.

4. ANALİZ

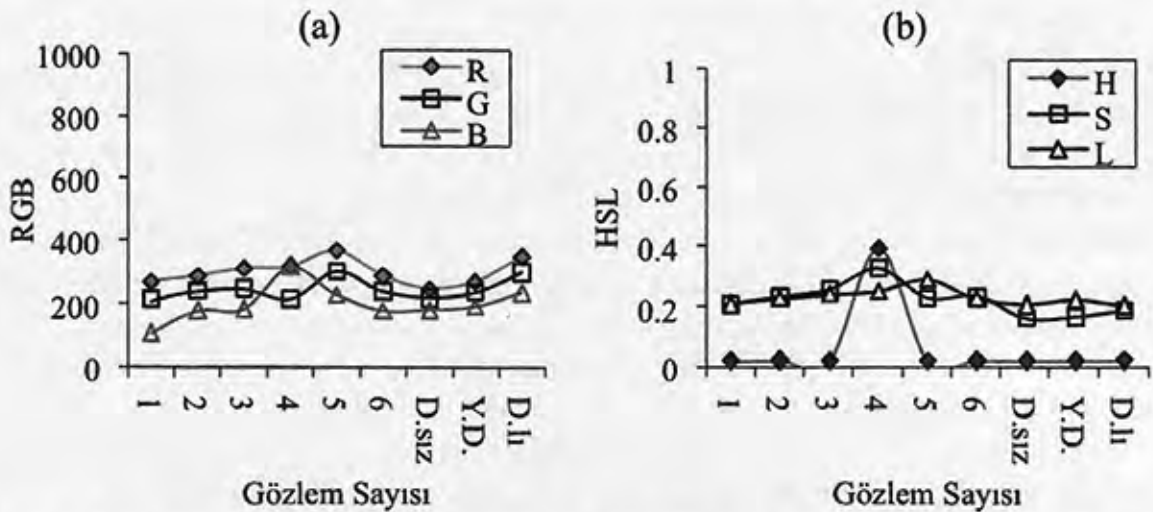
Arazide inceleme tankı içinde ve ayrıca laboratuvar da UV deney düzeneği içinde bekletilen örneklerin kırmızı, yeşil ve mavi renk (RGB) tayfları renk analiz cihazı ile ölçülmüştür. Renk analiz cihazı ana renkleri 0 ile 1024 değerleri arasında okumaktadır. R:1024, G:1024 ve B:1024 değerleri beyaza ve R:0, G:0 ve B:0 değerleri ise siyaha karşılık gelmektedir. Renk açıklığı (H), doygunluğu (S) ve aydınlanma (L) değerleri ise, 0 ile 1 değerleri arasında değişmektedir. Deney sonuçlarının sunulduğu grafiklerde yatay eksen de verilen 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 değerleri aylık periyotlarda laboratuvar da alınan renk ölçümlerini ve D.sız, Y.D. ve D.lı ifadeleri ise üç sene sonunda drenajlı, yarı drenajlı ve drenajsız bölmelerdeki örnekler üzerinde yapılan renk ölçümlerini ifade etmektedir. Laboratuvar da yapılan ölçümler sırasında deney düzeneği içindeki ortalama sıcaklık 19.5 °C, bağıl nem ortalama %34.5 ve fluoresanların ürettiği UV ışını radyasyonu ortalama 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ dir. Arazide yapılan ölçümlere göre güneş UV radyasyonu saat 12'de bulutlu rüzgarsız havada 200 ile 500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ve rüzgarsız açık havada 800 ile 1600 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ arasında değişmektedir.



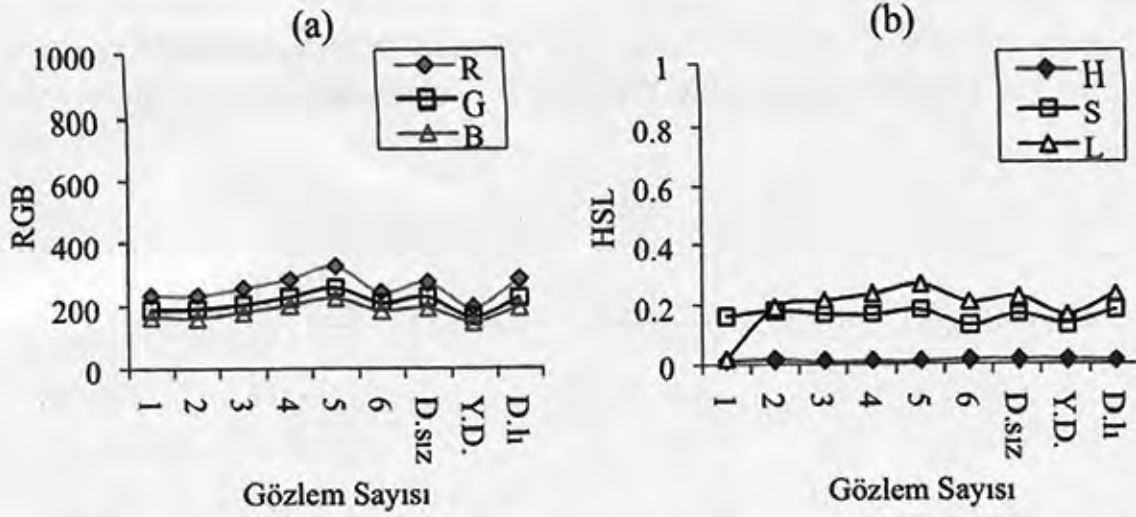
Şekil 6. Traverten kaya örneklerinin (a) RGB ve (b) HSL değerlerindeki değişimler.
Figure 6. The changes of (a) RGB and (b) HSL values of the travertine specimens.



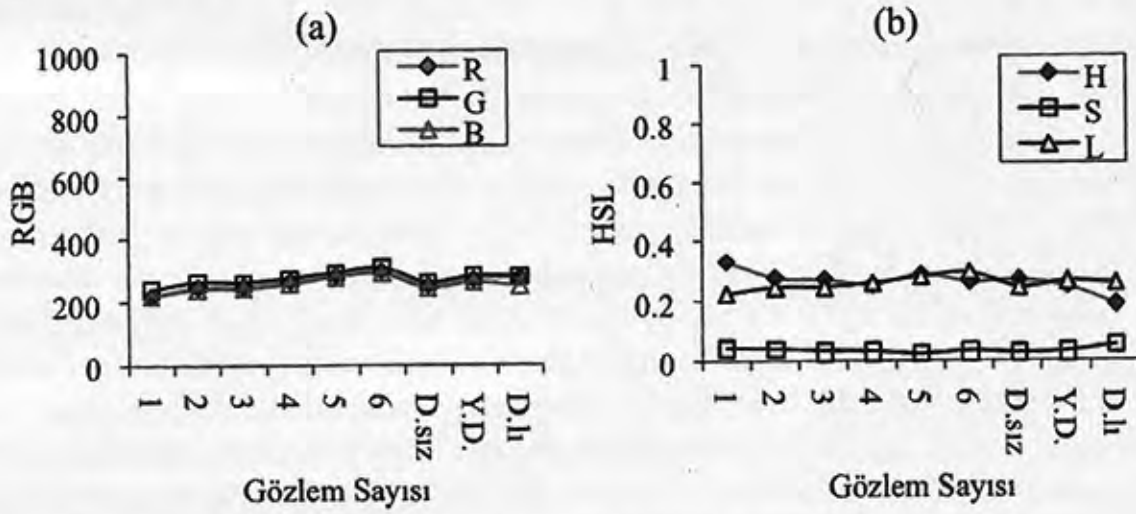
Şekil 7. İgnimbirit (siyah) örneklerinin (a) RGB ve (b) HSL değerlerindeki değişimler.
Figure 7. The changes of (a) RGB and (b) HSL values of the ignimbrite (black) specimens.



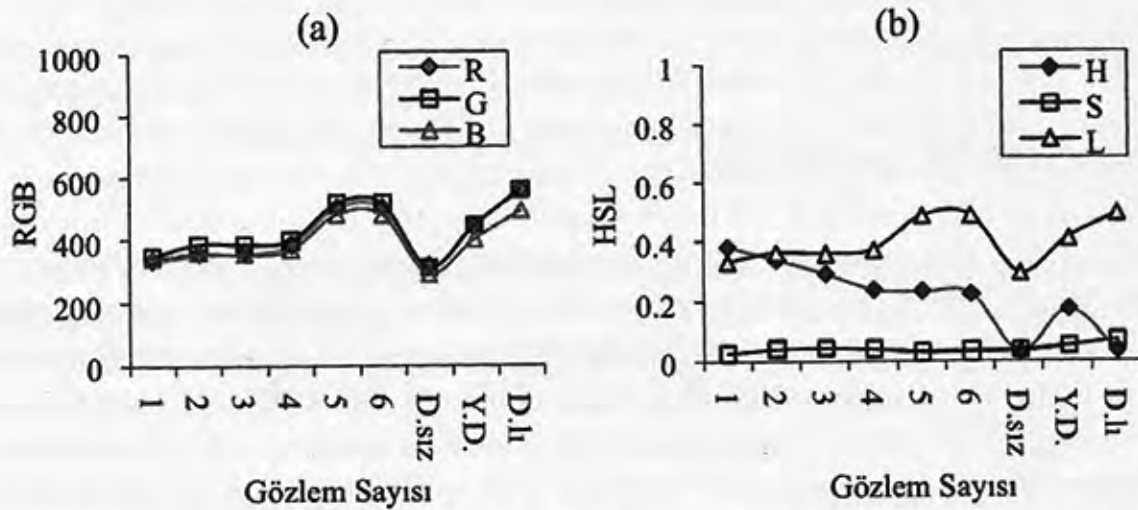
Şekil 8. İgnimbirit (kahverengi) örneklerinin (a) RGB ve (b) HSL değerlerindeki değişimler.
Figure 8. The changes of (a) RGB and (b) HSL values of the ignimbrite (brown) specimens.



Şekil 9. İgnimbirit (kırmızı) örneklerinin (a) RGB ve (b) HSL değerlerindeki değişimler.
Figure 9. The changes of (a) RGB and (b) HSL values of the ignimbrite (red) specimens.



Şekil 10. Bazalt örneklerinin (a) RGB ve (b) HSL değerlerindeki değişimler.
Figure 10. The changes of (a) RGB and (b) HSL values of the basalt specimens.



Şekil 11. Mikritik kireçtaşı örneklerinin (a) RGB ve (b) HSL değerlerindeki değişimler.
Figure 11. The changes of (a) RGB and (b) HSL values of the micritic limestone specimens.

ASTM D 2244 renk toleransı ve renk farkı belirleme standardına (ASTM, 2006) uygun şekilde kaya örneklerinin yüzeylerinden ölçülen RGB değerleri aşağıda verilen eşitlikler (Eş. 1, 2 ve 3) kullanılarak ilk önce X, Y ve Z değerlerine dönüştürülmüştür.

$$X=0.4124 \left(\frac{R+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.3576 \left(\frac{G+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.1805 \left(\frac{B+0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (1)$$

$$Y=0.2126 \left(\frac{R+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.7152 \left(\frac{G+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.0722 \left(\frac{B+0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (2)$$

$$Z=0.0193 \left(\frac{R+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.1192 \left(\frac{G+0.055}{1.055} \right)^{2.4} + 0.9505 \left(\frac{B+0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (3)$$

Burada;

R: Kırmızı, G: Yeşil, B: Mavi

X, Y ve Z değerleri ise, floresans ışığı değerleri (X_n :103.28, Y_n : 100 ve Z_n :69.026) esas alınarak ve ASTM D 2244 (ASTM, 2006) standardında verilen eşitliklerden (4, 5 ve 6)

$$L=116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad (4)$$

$$a=500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right] \quad (5)$$

$$b=200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right] \quad (6)$$

yararlanılarak başka bir renk tanımlaması olan L, a ve b değerlerine çevrilmiştir.

Örneklerin deney öncesi ve deney sonrası L, a ve b renk değerleri arasındaki fark ASTM D 2244 (ASTM, 2006) göre aşağıda verilen eşitlikten (Eş. 7) saptanmıştır.

$$E_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (7)$$

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Laboratuvar deneyleri sonucu, özellikle bazalt (renk değişim oranı: 8.24) ve koyu gri mikritik kireçtaşı (renk değişim oranı: 17.06) örneklerinde görülen renk açılmaları gözle bile saptanabilir hale gelmiştir. Görünür gözeneklilik ve ağırlıkça su emme değerleri fazla olan siyah ve kırmızı ignimbirit örneklerinde daha az oranda renk değişimleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Açık renkli kaya örneği olarak test edilen traverten ve tüfit örneklerinde renkte koyulaşma gözlemlenmiş ve Eşitlik 7'ye göre 13.8 ve 20.99 oranlarında saptanmıştır.

Çizelge 4. Altı aylık laboratuvar deneyi ve üç yıllık arazi gözlemleri sonunda belirlenen renk değişim oranları.

Table 4. The variation of rock colour at the end of 3 years in the field and after six months laboratory test.

Renk	Kaya Örneği	Lab. (6 ay)	D.sız	Y.D.	D.lı
Koyu	İgnimbirit (kırmızı)	2.83	4.39	3.34	4.52
	İgnimbirit (siyah)	5.41	2.19	4.38	8.61
	Bazalt	8.24	3.19	5.17	4.96
	İgnimbirit (kahverengi)	9.63	13.39	13.10	14.60
	Mikritik Kireçtaşı	17.06	5.38	10.70	21.60
Açık	Traverten	13.80	30.12	27.30	28.90
	Tüfit	20.99	23.19	26.77	25.61

Üç sene atmosferik etkiler altında arazide inceleme tankı içinde bekletilmiş örneklerde laboratuvar test edilen örnekler göre daha fazla renk değişimleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Özellikle su drenajına izin verilen bölgede bekletilen örneklerde görülen renk değişimleri diğer bölmelerdekilere göre daha fazladır. Laboratuvar ortamında daha az renk değişiminin görülme nedeni, deney düzeneğinin UV floresanslarının güneş kadar UV ışını enerjisi yaratamamasından kaynaklanmaktadır. Arazide en fazla renk açılmaları, bazalt (4.96), kahverengi ignimbirit (14.6) ve mikritik kireçtaşı (21.6) örneklerinde görülmüştür. Renkte koyulaşma ise en fazla traverten (28.9) ve tüfit (25.61) örneklerinde meydana gelmiştir. Arazide traverten örneklerinde meydana gelen renk değişiminin (28.9) laboratuvar test edilen traverten örneklerinde görülen renk değişim miktarından (13.8) çok daha fazla olmasının nedenleri arasında UV ışının etkisi yanı sıra, traverten örneklerin doğal ortamda yağış suyu ile çözünmesi gösterilebilir.

Laboratuvar UV ışınlarının etkisinin belirlendiği örneklerinin altı aylık deney süreci sonundaki koyu renkli kaya örneklerin genel görünüşleri Şekil 12’de verilmiştir. Açık renkli tüfit ve traverten örneklerinin deney sonu görünüşlerini gösteren siyah-beyaz fotoğraflardan renk farklılaşmaları gözlenemediğinden, bu fotoğraflar makalede sunulmamıştır.

Kaya bozunma sınıflamalarında genellikle bozunmuş kaya yüzeylerindeki renk değişimleri dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, arazide renk tanımlamaları yapılırken UV ışınlarının etkisi de gözardı edilmemelidir. Güneş gören koyu renkli kaya yüzeylerde güneş görmeyen yüzeylere göre daha açık renk tanımlamalarının yapılacağı ve açık renkli kaya yüzeylerde ise daha koyu renk tanımlamalarının yapılacağı dikkate alınmalıdır. Bozunma sınıflamalarında bir girdi parametresi olarak UV ışının etkisi de kullanılabileceği ve bu konu üzerine daha kapsamlı araştırmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Çizelge 4. Altı aylık laboratuvar deneyi ve üç yıllık arazi gözlemleri sonunda belirlenen renk değişim oranları.

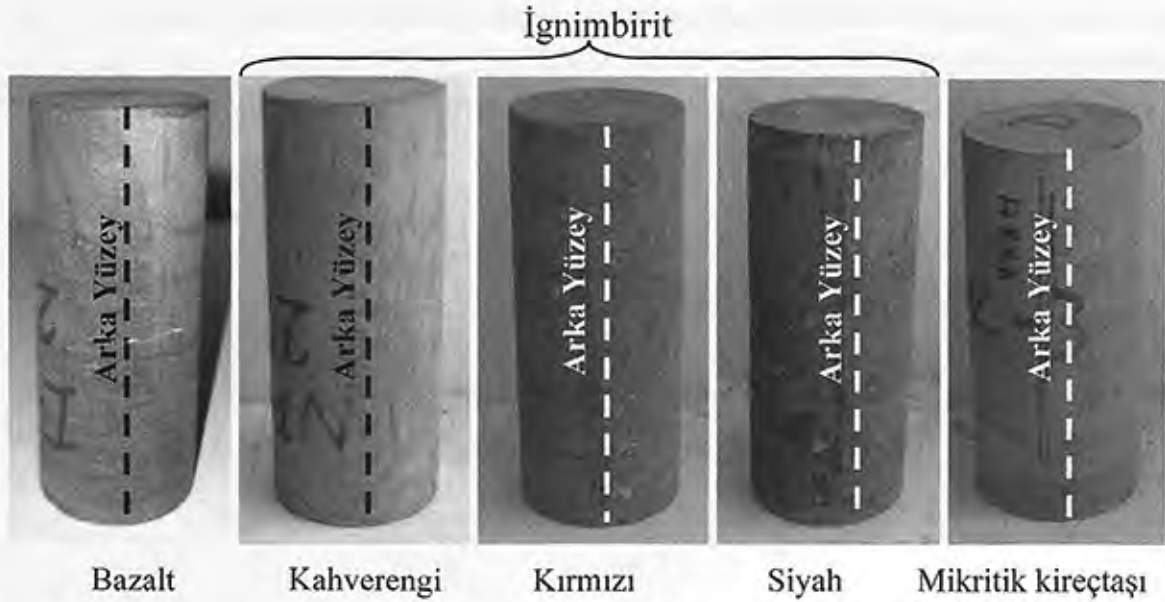
Table 4. The variation of rock colour at the end of 3 years in the field and after six months laboratory test.

Renk	Kaya Örneği	Lab. (6 ay)	D.sız	Y.D.	D.lı
Koyu	İgnimbirit (kırmızı)	2.83	4.39	3.34	4.52
	İgnimbirit (siyah)	5.41	2.19	4.38	8.61
	Bazalt	8.24	3.19	5.17	4.96
	İgnimbirit (kahverengi)	9.63	13.39	13.10	14.60
	Mikritik Kireçtaşı	17.06	5.38	10.70	21.60
Açık	Traverten	13.80	30.12	27.30	28.90
	Tüfit	20.99	23.19	26.77	25.61

Üç sene atmosferik etkiler altında arazide inceleme tankı içinde bekletilmiş örneklerde laboratuvar test edilen örnekler göre daha fazla renk değişimleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Özellikle su drenajına izin verilen bölmede bekletilen örneklerde görülen renk değişimleri diğer bölmelerdekilere göre daha fazladır. Laboratuvar ortamında daha az renk değişiminin görülme nedeni, deney düzeneğinin UV floresanslarının güneş kadar UV ışını enerjisi yaratamamasından kaynaklanmaktadır. Arazide en fazla renk açılmaları, bazalt (4.96), kahverengi ignimbirit (14.6) ve mikritik kireçtaşı (21.6) örneklerinde görülmüştür. Renkte koyulaşma ise en fazla traverten (28.9) ve tüfit (25.61) örneklerinde meydana gelmiştir. Arazide traverten örneklerinde meydana gelen renk değişiminin (28.9) laboratuvar test edilen traverten örneklerinde görülen renk değişim miktarından (13.8) çok daha fazla olmasının nedenleri arasında UV ışının etkisi yanı sıra, traverten örneklerin doğal ortamda yağış suyu ile çözünmesi gösterilebilir.

Laboratuvar UV ışınlarının etkisinin belirlendiği örneklerinin altı aylık deney süreci sonundaki koyu renkli kaya örneklerin genel görünüşleri Şekil 12’de verilmiştir. Açık renkli tüfit ve traverten örneklerinin deney sonu görünüşlerini gösteren siyah-beyaz fotoğraflardan renk farklılaşmaları gözlenemediğinden, bu fotoğraflar makalede sunulmamıştır.

Kaya bozunma sınıflamalarında genellikle bozunmuş kaya yüzeylerindeki renk değişimleri dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, arazide renk tanımlamaları yapılırken UV ışınlarının etkisi de gözardı edilmemelidir. Güneş gören koyu renkli kaya yüzeylerde güneş görmeyen yüzeylere göre daha açık renk tanımlamalarının yapılacağı ve açık renkli kaya yüzeylerde ise daha koyu renk tanımlamalarının yapılacağı dikkate alınmalıdır. Bozunma sınıflamalarında bir girdi parametresi olarak UV ışının etkisi de kullanılabileceği ve bu konu üzerine daha kapsamlı araştırmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.



Şekil 12. Laboratuvarda UV ışık altında test edilen koyu renkli kaya örneklerinin altı aylık deney sonrası görünüşleri.

Figure 12. The views of the dark colour rock specimens tested under the UV light after six months.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, 104Y195 ve 106Y296 no.lu TÜBİTAK projeleri tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM, 2006. Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates (ASTM D 2244). Annual Book of ASTM Standards, V.06.01. ASTM, Philadelphia, USA.
- Blackwelder, E., 1933. The insolation hypothesis of rock weathering. American Journal of Science, 26 (152), 97-113.
- Brennan, P., and Fedor, C., 1987. Sunlight, UV, and accelerated weathering. Plastic Compound, 12(1), 44-49.
- Cockell, C.S., 1998. The biological effects of high ultraviolet radiation on early earth-a theoretical evaluation. Journal of Theoretical Biology, 193, 717-729.
- Gündoğdu, M. N., 1982. Neojen yaşlı Bigadiç sedimanter baseninin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal incelenmesi, (Doktora tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara (Yayımlanmamış).

- Gómez-Heras, M., Smith, B.J., and Fort, R., 2006. Surface temperature differences between minerals in crystalline rocks: Implications for granular disaggregation of granites through thermal fatigue. *Geomorphology*, 78, 236–249.
- ISRM 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods. In: Brown, E.T.(ed.), Pergamon, Oxford.
- Jenkins, K.A., and Smith, B.J., 1990. Daytime rock surface temperature variability and its implications for mechanical rock weathering: Tenerife. Canary Islands, *Catena*, 17 (4–5), 449–459.
- Narita, K., and Tsuda, N., 1975. Effect of various additives on color center formation and brightness depreciation of calcium halophosphate phosphors. *Bulletin of Chemical Society of Japan*, 48(7), 2047–2051.
- Winkler, E. M., 1979. The lightness (reflectance) of stone in the stone industry. *Association for Preservation Technology Bulletin*, 11(2), 7–15.
- Winkler, E. M., 1997. *Stone in Architecture (Properties and Durability)*. Springer-Verlag Berlin, Germany.

KARAKAYA VE ILICAKÖY AYAŞ (ANKARA) SICAK SULARININ HİDROJEOLojİ İNCELEMESİ

Hydrogeological Investigation of Ayaş (Ankara) Karakaya and Ilıcaköy Hotwaters

Ayşegül ÇETİN¹, Şakir ŞİMŞEK²

¹İller Bankası, Makina ve Sondaj Dairesi Başkanlığı, Jeotermal Proje Grubu, Dışkapı, Ankara

²Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, Ankara

ÖZ

Bu çalışmada; Ankara ili Ayaş ilçe merkezini de içine alan 236.2 km²'lik bir alandaki sıcak suların jeolojik, hidrojeolojik, su kimyası ve izotop hidrolojisi araştırmaları yapılmıştır. İnceleme alanının 1/100.000 ölçekli jeolojik, hidrojeolojik haritaları ve kesitleri hazırlanmıştır. Rezervuar kayaya ait jeolojik ve hidrojeolojik özellikler tanımlanmış, sıcak ve soğuk suların birbiriy¹le olan ilişkisi, suların beslenme alanı, dolaşımı araştırılmış ve sahanın hidrotermal modeli oluşturulmuştur. Hidrojeolojik incelemeler kapsamında inceleme alanındaki hidrojeolojik formasyonlar tanımlanmıştır. Başlıca geçirgen kayaçlar Bilecik kireçtaşı ve alüvyon birimleridir. Orta geçirimli formasyonlar Hançılı formasyonu ve Tekke volkanitleri olup, az geçirimli formasyon Bozkır formasyonudur. İnceleme alanındaki geçirimsiz formasyon ise Karakaya Karmaşığı'dır. Su kimyası verilerinin değerlendirilmesi sonucu inceleme alanındaki tüm sıcak ve soğuk suların Na-Mg-HCO₃ tipinde olduğu anlaşılmıştır. Sıcak sular Bilecik kireçtaşları ve Tekke volkanitleri ve Hançılı formasyonunun çakıllı seviyelerinden beslenmektedir. Sıcak sular kalsit, aragonit, dolomit ve kuvars minerallerine doymun durumdadır. İzotop verileri, sıcak suların derin dolaşimli yeraltısuları olduklarını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ayaş, hidrojeoloji, hidrokimya, izotop, sıcak su.

ABSTRACT

In this study, the geological, hydrogeological, hydrochemical and isotope hydrology studies were conducted in an area of 236.2 km² with in Ayaş (Ankara) county and vicinity. With in the framework of the study, geological, hydrogeological maps and geological and hydrogeological cross sections of 1/100 000 scale were prepared. Geological and hydrogeological properties of the reservoir rock were determined; the relationship of hot waters with the cold waters, the recharge area and residence of time of the waters were examined and a conceptual hydrothermal model of the studied area was proposed. In the hydrogeological

studies, hydrogeological units in the study area were identified. The Bilecik Kireçtaşı and the alluvium constitute the main permeable units in the area. The impermeable unit is the Karakaya Complex, while the Hançılı formation, Tekke volcanics and the Bozkır formation are semipermeable. In the evaluation of hydrochemical data indicates that both hot and cold waters existing in the area are type of Na-Mg-HCO₃. Hot waters are recharged from Bilecik limestone, Tekke volcanic rocks and conglomerates level of the Hançılı formation. Hot and cold waters were found to be supersaturated with respect to mineral species such as, calcite, dolomite and quartz. Environmental isotope data point out that hot waters having relatively long residence time which represent a deep circulation flow system in this area.

Key words: Ayaş, hydrogeology, hydrochemistry, isotope, hot water.

1.GİRİŞ

Bu çalışmada, Ayaş (Ankara) ilçesinde yer alan (Şekil 1) sıcak su kaynaklarının dolaşım sisteminin ortaya çıkarılarak alanın hidrotermal kavramsal modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda alanda saha ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. The location map of the studied area.

Saha çalışmalarında inceleme alanının jeolojik yapısı araştırılırken, Turhan (2002)'ın bölgede daha önce yapmış olduğu çalışmalardan yararlanılmış ve arazi çalışmaları ile desteklenmiştir. Bu haritalar kullanılarak bölgeye ait 1/100 000 ölçekli jeoloji ve hidrojeoloji haritaları hazırlanmıştır. Sıcak su kaynaklarının dolaşımı ve soğuk sular ile ilişkisinin belirlenebilmesi için inceleme alanında 20 adet su noktasından 2002-2005 yılları arasında su örneği alınmıştır. Ayrıca, arazide söz konusu su noktalarında sıcaklık (T°C), pH, ve elektriksel iletkenlik değerleri Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Çevresel Trityum Laboratuvar'larında gerçekleştirilmiştir. Duraylı izotop (¹⁸O ve ²H) analizleri ise, Devlet Su İşleri Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı, İzotop Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

İnceleme alanı içerisinde yer alan sıcak su kaynakları Karakaya ve Ilıcaköy sıcak su kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Ortalama kaynak sıcaklıkları 21°C ve kuyu sıcaklıkları 31°C civarındadır. Ayrıca alanda MTA ve özel sektör tarafından çeşitli yıllarda açılmış sıcak su kuyuları (AK-1, AK-2 ve AK-3) mevcuttur. Bu kuyulardan elde edilen sıcak su Ayaş Hamamı'na ve Ayaş Fizik Tedavi Merkezi'ne eşanjörden geçirilerek verilmektedir.

2. JEOLojİ

İnceleme alanında sırasıyla yaşlıdan gence doğru kalkışist, killişist ve grafit şistlerle bunlar içinde mercerler halinde gözlenen mermerler ile temsil edilen Triyas yaşlı metamorfik birimler (Karakaya Karmaşığı) ve bej pembe, kirli beyaz kireçtaşları ile temsil edilen Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları (Bilecik Kireçtaşları), alanın güneyde bunların üzerine uyumsuz olarak gelen Miyosen volkanizmasına ait andezitler, kuzeyde ise Miyosen volkanizmasına ait andezit, bazalt ve tüf birimleri (Tekke volkanitleri) yer almaktadır (Akyürek vd., 1982 ve 1984). Tersiyer yaşlı çökel birimler killi kireçtaşı, marn, silttaşı, kumtaşı, çakıltı, tüfit ve jips ardalanmasından oluşan (Hançılı ve Bozkır formasyonları) alanın batısında ve orta kesimlerinde en geniş alanı kaplamaktadırlar. Kuvaterner yaşlı birimler (taraça ve alüvyon) ise, havzanın ortası ve batısında küçük bir alanda gözlenmektedirler (Şekil 2). İnceleme alanında



Şekil 2: İnceleme alanına ait hidrojeoloji haritası (Canik, 1970; Şengün, 1971; Açıkgöz ve Yurtseven, 1996 ve Turhan, 2002'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 2. Hydrogeological map of the studied area (after Canik, 1970; Şengün, 1971; Açıkgöz and Yurtseven, 1996, and Turhan, 2002).

KD-GB yönlü eğim atımlı faylar ve bindirme fayları ile yaklaşık D-B yönlü doğrultu atımlı faylar bulunmaktadır.

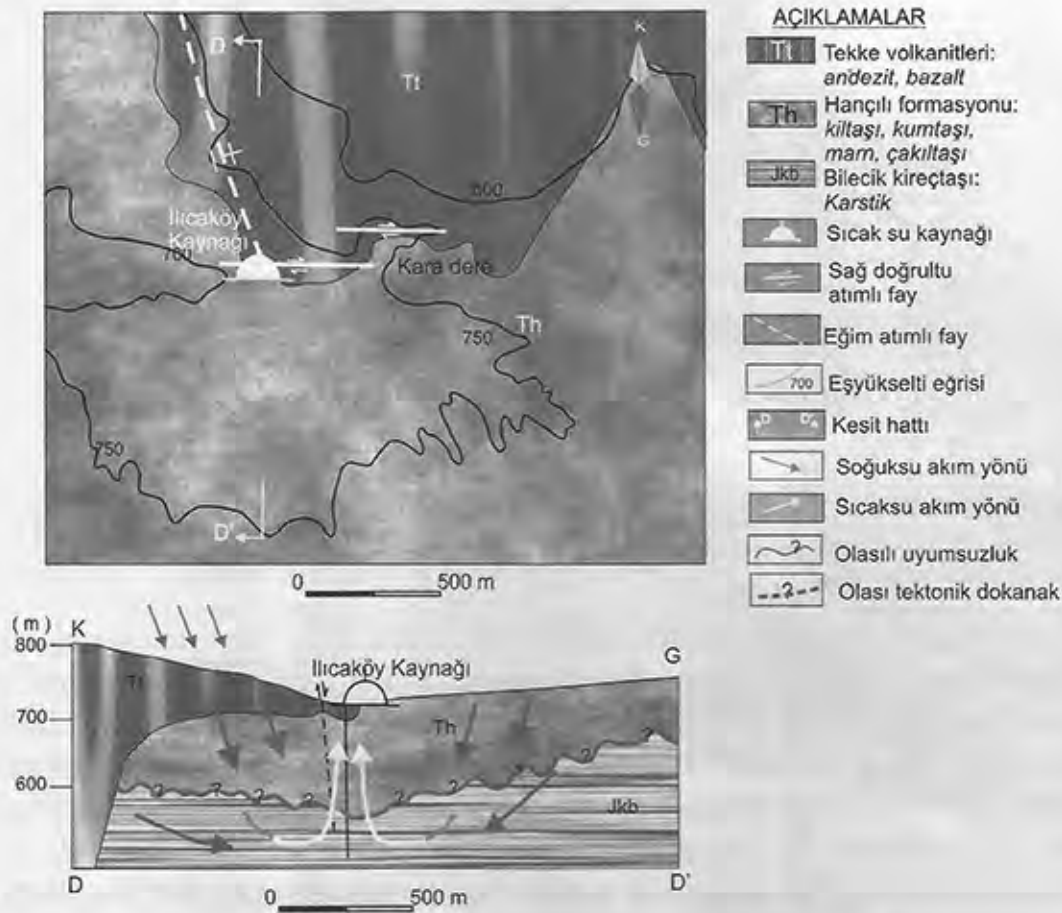
3. HİDROJEOLOJİ

3.1. Hidrojeolojik Birimler

İnceleme alanında gözlenen başlıca geçirimli litolojik birimler Üst Jura - Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşı ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve taraça olup, Orta geçirimli birimler yaşıdan gence doğru; Alt-Orta Miyosen yaşlı kumtaşı, kıltaşı, marn ve çakıltaşlarından oluşan Hançılı formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Bozkır formasyonuna ait kil-marn-jips ve Miyosen yaşlı Tekke volkanitlerine ait bazalt ve andezitlerdir. Geçirimsiz birim ise Triyas yaşlı diyabaz, volkanit, spilit, radyolarit, kalkışist ve grafitışistlerden oluşan Karakaya Karmaşığı'dır.

3.2. Su Noktaları

İnceleme alanındaki sürekli akarsular Ayaş Deresi ve Uğur Çayı ve Sızma Deresi'dir. İnceleme alanında çok sayıda bulunan soğuk su kaynaklarının debileri genellikle düşüktür ($Q=0.1-0.3$ l/s). Söz konusu kaynaklar, genelde geçirimli birimler ile geçirimsiz birim dokanakları ve kırık çatlak zonlarından çıkmaktadır. Alanda bulunan başlıca sıcak su kaynakları Ilıcaköy ve Karakaya kaynaklarıdır.

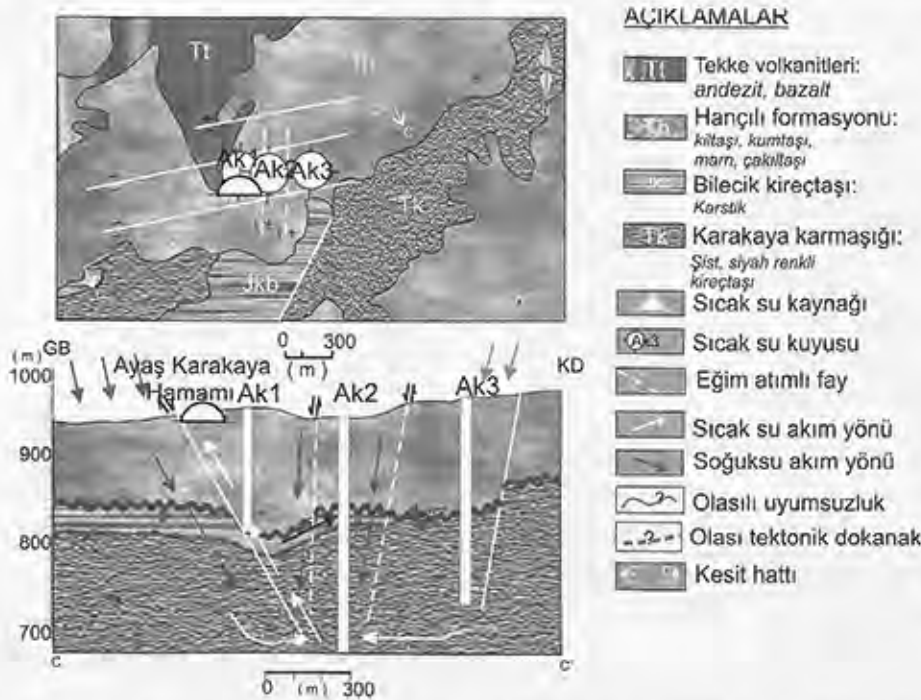


Şekil 3. Ilıcaköy Kaynağı'na ait harita ve şematik enine kesiti.

Figure 3. The location map and schematic cross-section of the Ilıcaköy hotwater spring.

Ilıcaköy Sıcak Su Kaynağı: Ilıca köyünün kuzeyinde yer almaktadır. Sıcak sular yaklaşık D-B doğrultulu ve uzunluğu yaklaşık 1 km olan fay ile KB - GD doğrultulu ve uzunluğu yaklaşık 2 km olan iki fay hattının kesişme noktasından çıkmaktadır (Şekil 3). İki ayrı yılda (2000 ve 2005) yapılan ölçümlere göre kaynak sıcaklığı 20-21°C arasında değişmektedir. Tek bir gözeden akan ılık suyun debisi yaklaşık 0.2 l/s, elektriksel iletkenliği 540 - 579 μ S/cm ve pH değeri 7.4-7.5 arasındadır. Bu bölgede yapılan rezistivite incelemeleri sonucunda sıcak su olan alanların rezistivitelerinin düşük olduğu saptanmıştır (Demirörer, 1972). Yapılan çalışmada inceleme alanının güneydoğusunda yer alan Ayaş Kaplıcaları ve Çoban Hamamı doğusunda Ilıca Köy'e doğru 1000'm den fazla kalınlıkta olduğu anlaşılan Neojen birimleri tabanında Ilıca Köy'e doğru bir yükselimin varlığı ve bu yükselimin Neojen birimlerinin tabanını oluşturan metamorfitleti kesen volkanitler olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla derinlerde volkanitlerde ısınan sular D-B sağ doğrultu atımlı bir fay ile kesişen eğim atımlı fayya bağlı kırık sistemleriyle yukarıya doğru çıkarken Neojen birimleri içerisindeki soğuk sularla karışarak Ilıcaköy Kaynağı'nı oluşturmaktadır.

Ayaş Karakaya Hamamı Kaynağı: Yoğun yerleşimden dolayı kaplıca kaynağının eski çıkış yeri belli değildir. Ayaş Hamamı'nda ve Ayaş Fizik Tedavi Merkezi'nde kullanılan sıcak su Ayaş Karakaya Hamamı Kaynağı ve dönüşümlü olarak AK1 ve AK2 kuyularından verilmektedir (Şekil 4). Sıcaklığı 31°C olan kuyulardan elde edilen sıcak su kaplıca tesisine verildiği gibi, zaman zaman şebeke sistemine de verilmektedir. Sıcaklığın düşük olmasından dolayı, sıcak su Ayaş Fizik Tedavi Merkezi'nde eşanjörde sıcaklığı 38°C'ye yükseltilerek kullanılmaktadır. Sıcak su, AK1 ve AK2 kuyularının da arasında kaldığı yaklaşık KD-GB ve K-G doğrultulu fay sistemleri tarafından kontrol edilen bir graben yapısının güneyindeki fayya bağlı olarak çıkmaktadır. Ayaş Karakaya Hamamı'nın yaklaşık 150 m doğusunda yer alan kuyuların derinlikleri 127 m ile 251.5 m arasında değişmektedir. Kuyulardan elde edi-



Şekil 4. Karakaya sıcak su kaynağı ve kuyu yerleri haritası ve şematik enine kesiti.

Figure 4. The location map and schematic cross-section of the Karakaya hotwater spring and wells.

len debiler sırasıyla (AK1) 16 l/s artezyen ve (AK2) 24 l/s'dir (Özeke, 1987). Ancak arazi çalışmaları sırasında AK1 kuyusunun çalışmakta olduğu belirlenmiş ve debisi pompayla yaklaşık 5 l/s ölçülmüştür.

4. SU KİMYASI

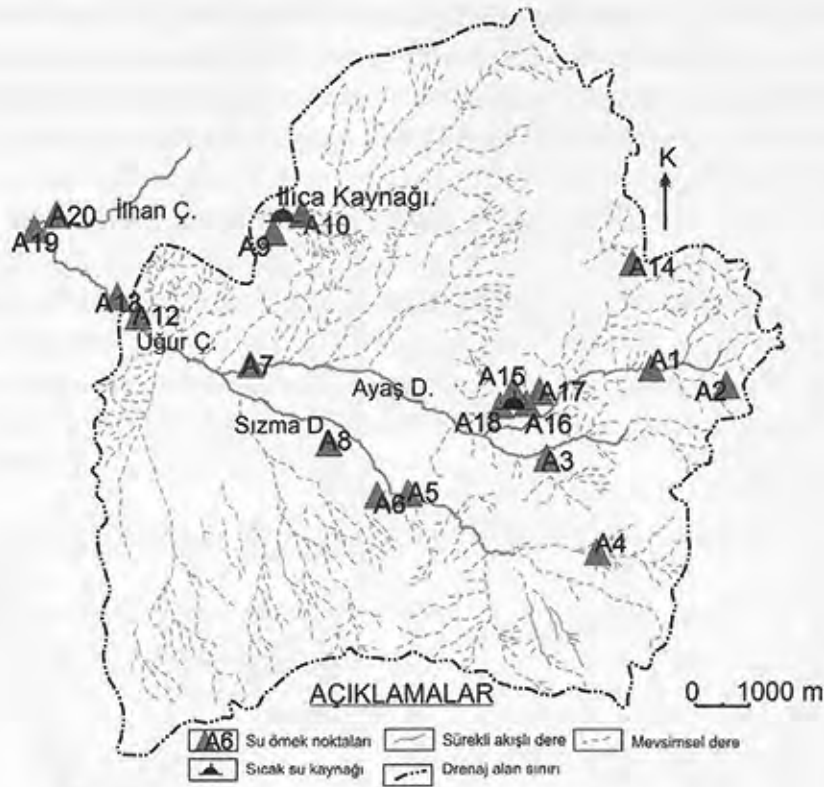
İnceleme alanı ve civarında sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla kaynaklarda değişik tarihlerde örnekleme ve kimyasal analiz çalışmaları (Çizelge 1) yapılmıştır. Soğuk su ve sıcak su kaynakları ile sıcak su kuyularından su örnekleri (Şekil 5) alınarak yerinde pH, sıcaklık ve Elektriksel İletkenlik ölçümleri yapılmıştır.

Çizelge 1. Su örneklerine ait kimyasal özellikler.

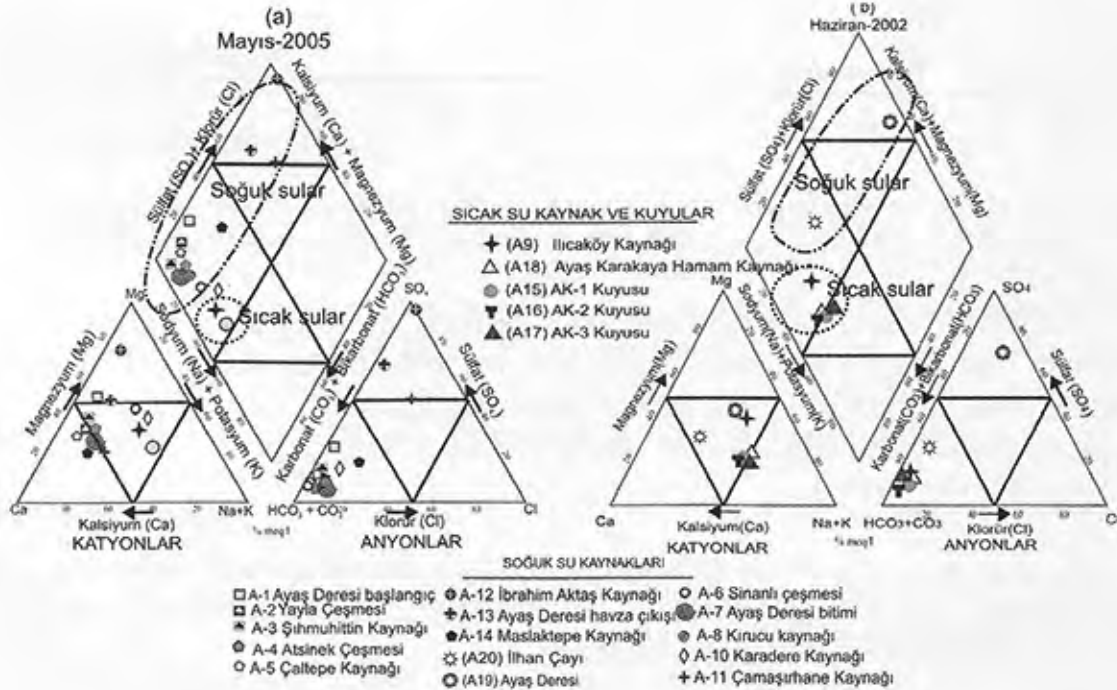
Table 1. The chemical properties of water samples.

Örnek No	pH	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	Sıcaklık (°C)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)	Cl (ppm)	SO ₄ (ppm)	HCO ₃ (ppm)	CO ₃ (ppm)
A(1)	7.9	764	16	70.1	52.4	12.08	4.5	4.6	96.0	312.4	24.1
A(2)	7.3	600	16	68.6	30.1	11.54	1.7	2.7	15.9	355.3	0.0
A(3)	7.2	910	17	102.5	46.2	24.60	2.6	5.1	42.5	465.6	0.0
A(4)	7.1	690	17	70.2	31.3	29.80	2.5	4.6	24.1	361.4	0.0
A(5)	7.3	485	17	60.9	20.6	10.60	1.0	4.4	39.8	238.9	0.0
A(6)	7.4	775	16	51.8	50.8	46.42	4.4	4.5	47.9	440.9	0.0
A(7)	8.3	1030	18	75.1	46.9	55.54	16.6	30.7	96.1	398.2	33.2
A(8)	7.6	660	16	70.4	32.4	20.41	4.1	5.6	13.5	373.7	0.0
A(9)	7.5	540	20	33.9	29.8	42.78	7.6	13.4	25.4	284.8	0.0
A(9)	7.4	579	21	25.5	26.0	43.73	5.7	13.5	30.3	264.7	0.0
A(10)	7.6	505	19	24.4	26.1	42.67	10.5	13.7	22.9	269.4	0.0
A(11)	6.6	250	16	24.7	8.5	10.67	4.3	11.6	34.8	67.5	0.0
A(12)	7.4	6550	17	497.6	1063.7	158.41	25.7	32.4	5081.7	349.5	0.0
A(13)	7.8	2130	19	211.8	175.8	85.04	15.2	34.6	845.6	511.3	0.0
A(14)	7.4	227	15	24.6	6.9	9.35	1.2	11.8	17.9	73.6	0.0
A(15)	7.7	685	30	43.6	22.1	78.21	5.3	13.6	43.4	355.3	0.0
A(15)	7.1	644	28	37.6	17.8	76.40	3.6	13.3	48.8	351.1	0.0
A(16)	7.1	645	30	37.4	18.6	76.73	3.4	12.8	48.3	351.1	0.0
A(17)	7.2	680	29	37.6	18.4	76.40	3.4	13.2	47.8	351.1	0.0
A(18)	7.1	667	30	39.9	18.1	78.18	3.7	12.7	47.5	351.1	0.0
A(19)	7.5	4650	18	356.4	333.3	491.21	25.9	468.4	2423.6	532.4	0.0
A(20)	7.8	850	22	68.6	28.6	46.47	7.3	19.4	124.6	345.7	0.0

İnceleme alanındaki sıcak su kaynakları ile soğuk su kaynaklarının Piper (1944) diyagramı değerlendirmesinde (Şekil 6) sıcak ve soğuk su kaynaklarının aynı bölgede kümelenmeleri, aynı kayaç grubu (andezit, bazalt, kireçtaşı ve jips) ile daha fazla hidrokimyasal etkileşimde olduklarını düşündürmektedir. Bu sular Na-Mg-HCO₃'lü sular grubunda yer almaktadır. Hidrokimyasal fasiyes açısından değerlendirildiğinde, sıcaklık artışı ile birlikte Na-K iyonlarının suların içine daha fazla katıldığı gözlenmektedir. Schoeller diyagramı (1977) değerlendirmesinde (Şekil 7) sıcak ve soğuk suların paralellik göstermesi nedeniyle beslenme alanlarının benzer kayaçlardan oluştuğu düşünülmektedir. İyon karakteristikleri Na+K>Mg>Ca ve HCO₃+CO₃>SO₄>Cl şeklindedir. Ancak, A19 ile A12 su örnekleri SO₄

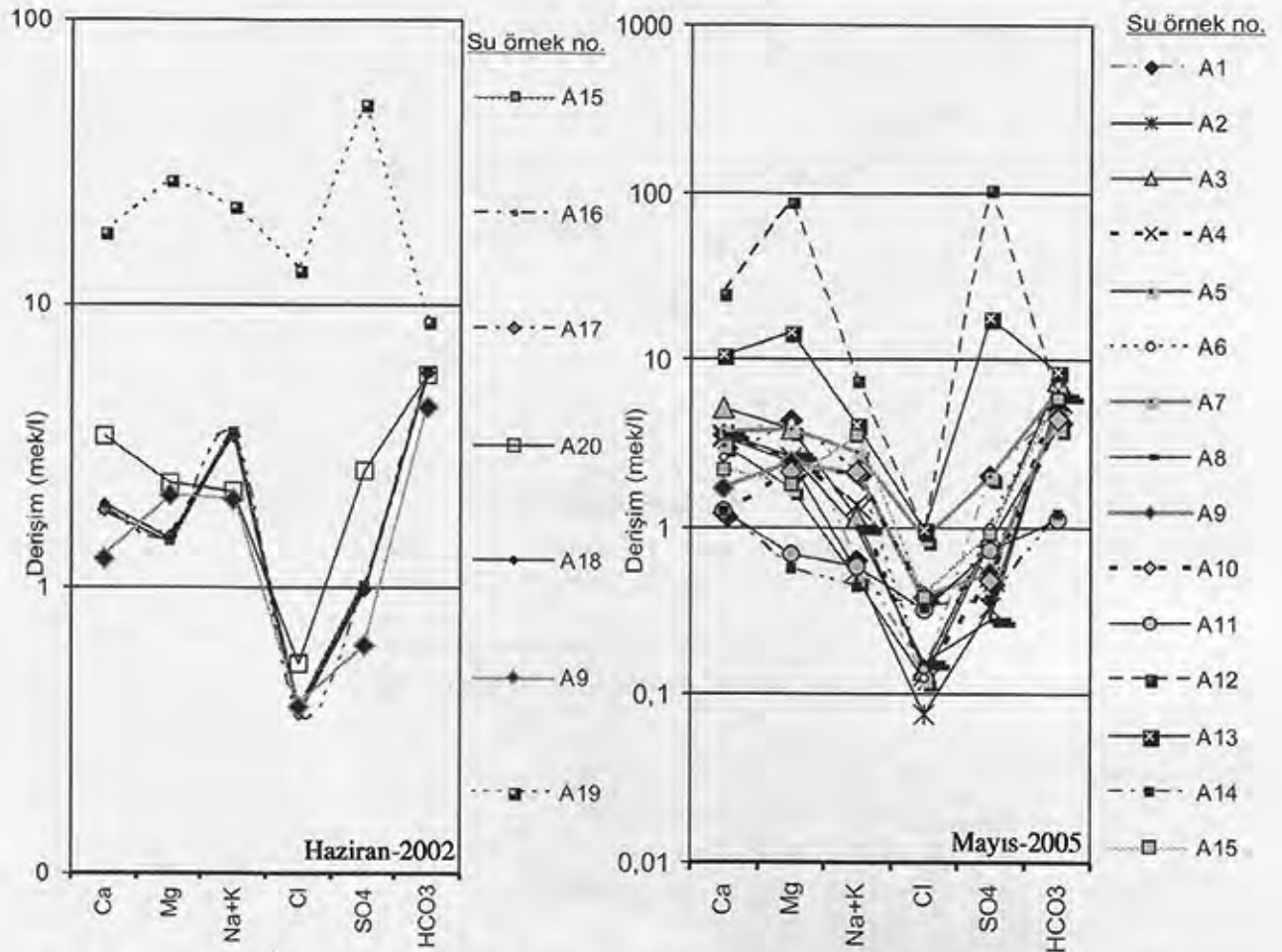


Şekil 5. İnceleme alanından derlenen su örnekleme noktaları haritası.
Figure 5. The location map of water sample points of the studied area.



Şekil 6. İnceleme alanından derlenen su örneklerine ait Piper (1944) diyagramı değerlendirmesi.
Figure 6. Piper (1944) diagram evaluation of water samples collected from the studied area.

ve diğer iyonlardaki fazlalık nedeniyle diğerlerinden farklılık göstermektedir. A19 örneği inceleme alanında başlıca akarsuyu oluşturan Ayaş Deresi'nin drenaj alanı çıkışını temsil etmektedir. Dolayısıyla, suların dolaşım süresinin uzun olması ve jipsli formasyonlar ile temas etmesi nedeniyle içeriğindeki SO_4 ve major iyonlarca zenginleşmiştir.



Şekil 7. İnceleme alanından derlenen su örneklerinin Schoeller (1977) diyagramı değerlendirmesi.
Figure 7. Schoeller (1977) diagram evaluation of water samples collected from the studied area.

İnceleme alanındaki suların mineral doygunluk indisleri hesaplamaları arazide ölçülen pH ve sıcaklık değerleri ile kimyasal analiz sonuçları kullanılarak yapılmıştır. İnceleme alanından alınan sıcak su örneklerinin kalsit, dolomit, aragonit ve kuvars mineraline doygunudur. Bu durum sıcak suların dolaşım süreleri boyunca kireçtaşları ile daha uzun süre temas ettiğini düşündürmektedir.

Tüm bu değerlendirmeler göz önüne alındığında; inceleme alanındaki sıcak su rezervuarının Bilecik kireçtaşları, Tekke volkanitlerinin kırıklı çatlaklı seviyeleri ile Hançılı formasyonunun çakıltası seviyeleri olduğu düşünülmektedir.

5. JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI

Sıcak sular yeraltından yüzeye erişirken kayalarla ısı alışverişi veya yeraltısuyu karışım süreçleri gibi nedenlerle soğumaktadırlar. Akifer içindeki akışkan sıcaklığının tahmini

amacıyla kaynak veya kuyulardan alınan örneklerin kimyasal ve izotop analizlerine dayalı jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, Ilıcaköy ve Karakaya (Ayaş) sıcak su örnekleri öncelikle Giggenbach (1991) diyagramında değerlendirilerek katyon jeotermometre hesaplamalarının uygun olmayacağı, silis jeotermometrelerinin (Fournier, 1977) uygulanmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir. Sıcaklığı 180°C'den az olan jeotermal sistemlerde ise, kuvarstan çok kalsedon ile bir denge söz konusudur. Bu nedenle sıcaklığı 180°C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180°C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmektedir (Fournier, 1991). Çizelge 2'de silis jeotermometre eşitlikleri ile Ilıcaköy (A9) ve Karakaya (Ayaş)(A15) kaynakları ve için hesaplanan rezervuar sıcaklıkları sunulmuştur. Buna göre, Ilıcaköy ve Karakaya kaynakları rezervuar sıcaklığının 63-69 °C olması beklenmektedir.

Çizelge 2. Ilıcaköy ve Karakaya (Ayaş) sıcak su kaynaklarının silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.

Table 2. The calculated reservoir temperatures based on silica geothermometre of the Ilıcaköy and Karakaya (Ayaş) hotwater springs.

Örnek No.	Sıcaklık(°C)	Silis jeotermometreleri ile hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları (°C)						
		Q ¹	Q ²	Q ³	Q ⁴	K ⁵	K ⁶	K ⁷
A15 (AK1)	28	54	54	61	39			33.6
A16(AK2)	30	50	51	58	35			30.6
A17(AK3)	29	49	50	57	34			29.7
A18(Hamam)	30	50	50	57	35			30.3
A9(Ilıcaköy)	21	94	94	96	80	63	65	69.8

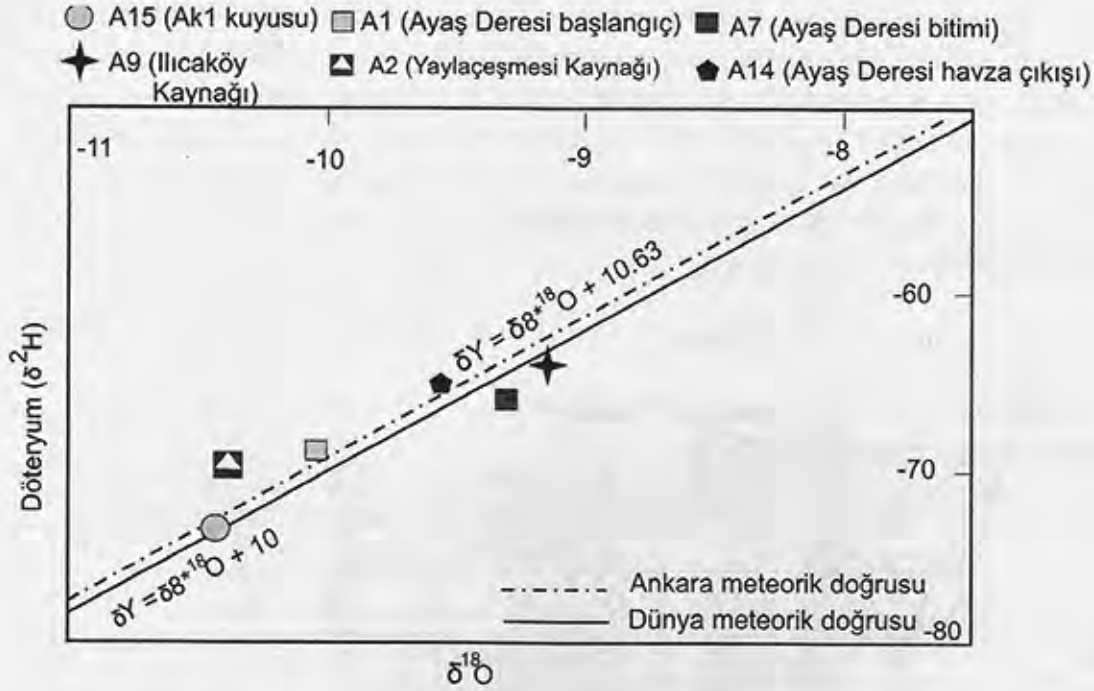
6. İZOTOP HİDROLOJİSİ

Bu çalışmada inceleme alanındaki sıcak su kaynakları ile soğuk su kaynaklarının çevresel izotop içerikleri incelenerek, sıcak suların kökenleri, beslenme alanları ve su-kayaç etkileşim süreçleri aydınlatılmaya çalışılmıştır. Duraylı izotop (¹⁸O ve ²H) analizleri DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı İzotop Laboratuvarı'nda yapılmıştır. ³H analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Çevresel Tritiyum Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

6.1. ¹⁸O-²H İlişkisi

İnceleme alanından derlenen sıcak ve soğuk su örneklerinin Ankara Meteorik Doğrusu ($\delta^2\text{H} = 88 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10.63$; Sayın, 2005) üzerinde yer aldığından, sıcak su kaynaklarının meteorik kökenli olduğu saptanmıştır (Şekil 8). Şekilden de görüldüğü gibi, A15 (AK1 kuyusu) no.'lu örnekte ²H ve ¹⁸O miktarı azdır. Bunun nedeni A15 no.lu su noktasının daha yüksek kotlardan, dolayısıyla daha düşük sıcaklıktaki meteorik su ile beslenmesidir. A9 (Ilıcaköy Kaynağı) örnek suyu A15 örnek suyuna oranla daha düşük kotlardan beslenmekte ve yüze yakın kesimlerdeki beslenme alanından süzülen yerel yağış ile karışmaktadır. A2

(Yayla Çeşmesi Kaynağı) Tekke volkanitlerine ait andezitlerden boşalmakta olup, ^{18}O ve ^2H içeriği yönünden A15 (AK1 kuyusu) ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca, A9 ve A15 su örneklerinin Elektriksel İletkenlik ve Cl değerlerinin A2 örneğine oranla fazla olması da bu durumu desteklemektedir.



Şekil 8. ^{18}O - ^2H ilişkisi.

Figure 8. Relationship of ^{18}O - ^2H .

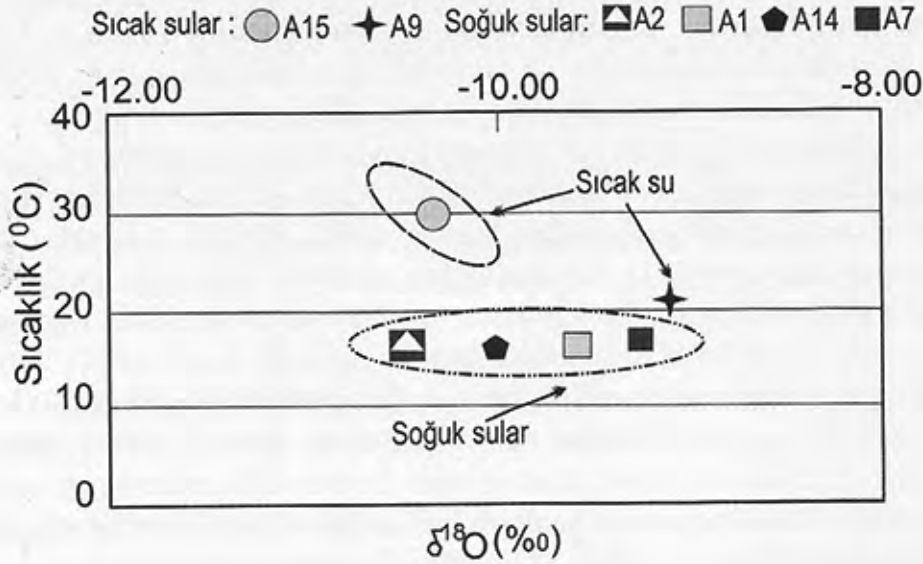
6.2. ^{18}O - Sıcaklık İlişkisi

Ayaş bölgesinden alınan su örneklerinin ^{18}O – sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) grafiği Şekil 9’da verilmiştir. Yükseklik ile ^{18}O değeri arasında ters orantı vardır. Belli bir bölge için yükseklik artışına bağlı olarak sıcaklık değerinde düşme ve buna karşın ^{18}O değerinde azalma olduğu kuralı düşünülürse, düşük ^{18}O değerine sahip sular görece olarak daha yüksek kotlardan beslenen suları temsil edecektir. İnceleme alanından alınan kuyu ve kaynak sularının ^{18}O değerleri birbirine yakındır (Şekil 9). A15’in, A9’a oranla daha yüksek kotlardan beslenmekte olduğu düşünülebilir. Sıcak sulardan A15 ile soğuk sulardan A2 no.’lu su örneğinin beslenme yükseltileri yaklaşık aynı olmakla birlikte A15’in dolaşım süresinin daha uzun, A2’nin dolaşım süresinin ise daha kısa olduğu söylenebilir.

6.3. ^3H -Cl İlişkisi

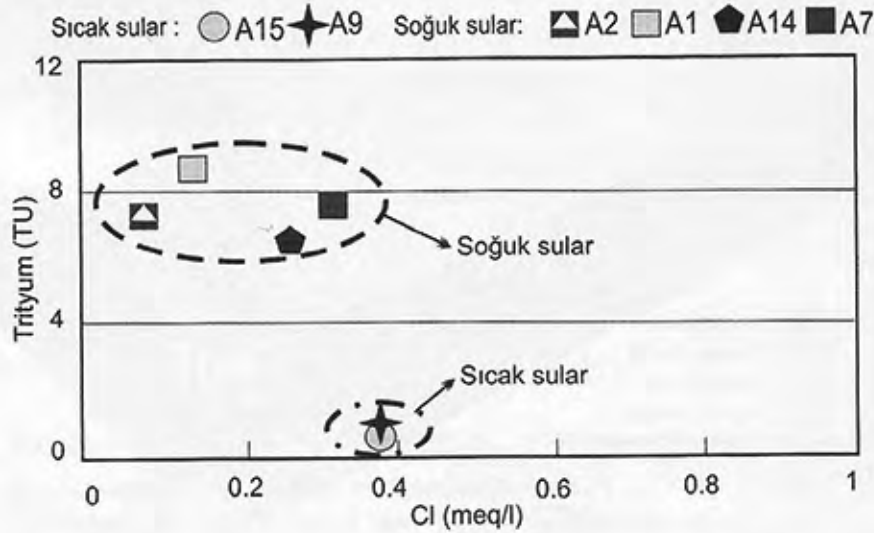
İnceleme alanına ait örneklerin $^3\text{H}/\text{Cl}$ ilişkisi Şekil 9’da verilmiştir. İnceleme alanındaki boşalmaları yüksek kotlarda yer alan soğuk su kaynaklarında ^3H içeriği jeotermal sulara oranla daha fazladır. Sıcak sularda ^3H değerinin az bulunması (Şekil 10) (A15, A9), Ayaş yöresindeki sıcak ve mineralli suların soğuk sulara oranla yeraltında daha uzun süre dolaşım gösterdiklerini belirtmektedir. Sıcak suların klorür miktarları, soğuk su kaynaklarından

daha fazladır. Bunun nedeni, beslenme alanından süzülerek ısınan sıcak suların kayalarla daha uzun süre temas etmesi ve dolayısıyla daha derin dolaşımli sular olmasından kaynaklanmaktadır. İnceleme alanındaki sıcak suların trityum içerikleri 0.99-0.49 TU arasındadır. Buna göre, sıcak suların ağırlıkça 1950 yılından önce dolaşıma girmiş meteorik su olduğu düşünülmektedir.



Şekil 9. ^{18}O -Sıcaklık (°C) ilişkisi.

Figure 9. Relationship of ^{18}O - temperature (°C).

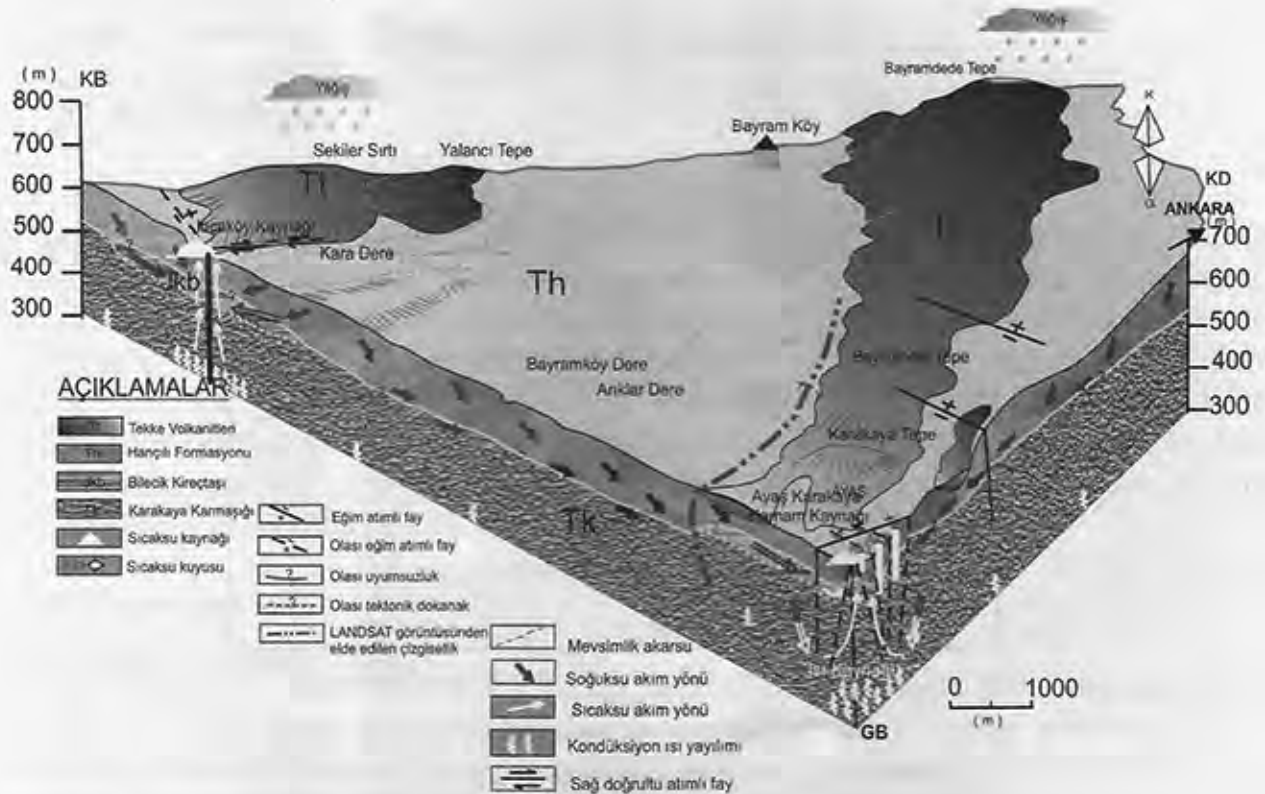


Şekil 10. Tritiyum (^3H)-Klorür (Cl) ilişkisi.

Figure 10. Relationship of Tritium (^3H)-Clor (Cl).

7. AYAŞ KARAKAYA VE ILICAKÖY SICAK SU KAYNAKLARININ HİDROTERMAL SİSTEMİ

İnceleme alanındaki yeraltısularının bölgedeki sıcak sularla ilgisi ve bunlara etkisi doğal karışım yönünde olmaktadır. İnceleme alanında yüksek kotlarda yüzeyleyen geçirimli-karstik kireçtaşları ile orta geçirimli olan Tekke volkanitleri, Hançılı formasyonuna ait geçirimli seviyelerden derinlere inen meteorik suların geçtiği kayalarından çözdüğü iyonlarla mineralize olmaktadır. Dolayısıyla yeraltısuyu Na, Mg ve HCO_3 iyonlarıyla zenginleşmektedir. Ancak, su örneklerinde düşük mineralizasyon gözlenmektedir. Bunun nedeninin, düşük sıcaklık veya kayaların çözünürlüğü ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Derinlere süzülen meteorik suların başlangıçta düşük olan TU içerikleri giderek azalmakta, Cl içerikleri ise artmaktadır. Jeotermal gradyan ve volkanizmanın etkisiyle ısınan ve mineralize olan yeraltısuyu derine kadar inen faylar boyunca yükselmekte, Bilecik kireçtaşı, Hançılı formasyonuna ait çakıltası seviyeleri ve Karakaya Karmaşığı'na ait şistlerin kırıklı çatlaklı seviyelerinde depolanmaktadır (Şekil 11). Fay zonundan yükselen sıcak sular yüzeydeki geçirimli birimler içinde soğuk yeraltısuyu ile karışarak yüzeye çıkış noktasında Karakaya Hamamı Kaynağı ve Ilıcaköy Kaynağı'nı oluşturmaktadır. Bu nedenle sıcak su kuyuları ile Ilıcaköy Kaynağı, az da olsa, farklı sıcaklık ve kimyasal özellik göstermektedirler. İnceleme alanında sıcak su üretimi; AK1 ve AK2 kuyuları ile grimsi beyaz, Bilecik kireçtaşlarından, Hançılı formasyonunun geçirimli olan taban çakıltısından, Tekke volkanitlerine ait aglomeratik seviyeler ve Karakaya Karmaşığı'na ait şistlerin kırıklı çatlaklı seviyeleri ve içerdiği kireçtaşı bloklarından yapılmaktadır.



Şekil 11. İnceleme alanının kavramsal hidrotermal modeli.

Figure 11. The conceptual hydrothermal model of the studied area

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ayaş (Ankara) alanında yer alan Karakaya ve Ilıcaköy sıcak su kaynaklarının ortalama kaynak sıcaklıkları 21°C ve kuyu sıcaklıkları 31°C civarındadır. Mevcut AK1 kuyusundan pompa ile yaklaşık 5 l/sn sıcak su alınarak Ayaş Fizik Tedavi Merkezinde yararlanılmaktadır.

İnceleme alanındaki sular kimyasal bileşimlerine göre, Na-Mg-HCO₃'lı su grubunda oldukları belirlenmiştir. Sıcak su kaynaklarının dolomit, aragonit, kalsit ve kuvars minerallerine doymun olması, bu kaynakların rezervuar kayacının Bilecik kireçtaşları, Tekke volkanitlerine ait andezitlerin kırıklı çatlaklı seviyeleri ile Hançılı formasyonuna ait çakıllı seviyeler olduğunu göstermektedir.

Duraylı izotop içeriklerine göre bölgedeki sıcak su kaynak ve kuyuları ile soğuk su kaynaklarının Ankara meteorik su doğrusu üzerinde yer alması nedeniyle sıcak suların meteorik kökenli olduğu saptanmıştır. Tritiyum içerikleri 0.99-0.49 TU arasındadır. Buna göre, sıcak suların ağırlıkça 1950 yılından önce dolaşıma girmiş meteorik su olduğu düşünülmektedir.

Yapılan silis jeotermometre hesaplamalarına göre, rezervuar sıcaklığının 63-69 °C olması beklenmektedir.

Hazırlanan hidrotermal modele göre, inceleme alanında yüksek kotlarda yüzeyleyen geçirimli-karstik kireçtaşları ile orta geçirimli olan Tekke volkanitleri, Hançılı formasyonuna ait geçirimli seviyelerden beslenerek derinlere süzülen meteorik sular, jeotermal gradyan ve volkanizmanın etkisiyle ısınmakta, mineralce zenginleşmekte, derine kadar inen faylar boyunca yükselmekte, kırıklı çatlaklı Bilecik kireçtaşı, Tekke volkanitleri ve Hançılı formasyonuna ait çakıltası seviyelerine seviyelerinde depolanmakta ve kaynak olarak yüzeye ulaşmaktadır.

Kaynakların yoğun yerleşim yerleri içinde yer alması nedeniyle, inceleme alanında sıcak su rezervuarının korunması için kirliliğe yol açabilecek faaliyetlerin önlenmesi, yeni ve belgesiz kuyu açılmasına ve sıcak suların bilinçsiz kullanılmasına izin verilmemesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, S. ve Yurtseven, D., 1996. Ayaş (Ankara) civarının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları MTA Derleme No: 9960 (yayımlanmamış).
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y., 1982. Ankara – Elmadağ-Kalecik dolayının jeolojisi. MTA Derleme No: 7298 (yayımlanmamış).
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y., 1984. Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri. Jeoloji Mühendisliği, 20, 31-46.

- Arnnorsson, S., Gunnlaugsson, E., and Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567-577.
- Canik, B., 1970. Ayaş içmece ve kaplıcalarının jeoloji hidrojeoloji etüdü. MTA Derleme Rapor No: 4380 (yayımlanmamış).
- Demirörer. M., 1972. Ankara Ayaş civarı Ayaş içmeceleri Dutlu kaplıcaları Ilıcaköy-Ayaş-Karakaya sahaları rezistivite etüdü. MTA Derleme Rapor No: 5329 (yayımlanmamış).
- Fournier, R.O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5, 41-50.
- Fournier, R.O., 1991. Water geothermometers applied to geothermal energy. Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, D'Amore, F. (coord.), UNITAR/UNDP, Rome, pp. 37-69.
- Giggenbach, W.F., 1991. Collection and Analysis of Geothermal and Volcanic Water and Gas Discharge, In Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development (Edited by F. D'Amore), Unitar, Rome, pp. 119-144.
- Özeke, H., 1987. Ankara ili Ayaş ilçesi Karakaya kaplıcası AK1 ve AK2 sondajları kuyu bitirme raporu. MTA Rapor No: 8195 (yayımlanmamış).
- Piper, A., M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Transactions American Geophysical Union*, 25, 914 – 923.
- Sayın, M., 2005. Sözlü görüşme. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, TAKK Dairesi Başkanlığı, Pursaklar, Ankara.
- Schoeller, H., 1977. Geochemistry of groundwaters. In: *Groundwater Studies and International Research and Practice*, UNESCO, Paris, Ch. 15, pp. 1-18.
- Şengün. M., 1971. Ayaş bölgesinin jeolojisi, Ankara-Türkiye. MTA Rapor No: 4749 (yayımlanmamış).
- Turhan, N., 2002. Sözlü görüşme. Jeoloji Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ

AMAÇ, YAYINA KABUL İLKELERİ VE YAZIM KURALLARI

AMAÇ

Mühendislik Jeolojisi Bülteni,

1. Türkiye’de mühendislik jeolojisi konusunda gerek duyulan bilimsel teknik iletişimi saylamak.
2. Türkçe’nin bilimsel ve mesleki yayın dili olarak gelişmesi ve yabancı sözcüklerden arındırılması çabalarına katkıda bulunmak,
3. Mühendislik jeolojisi konusunda uluslararası düzeyde yapılan çalışmaların özellikle uygulamacılar tarafından kolayca izlenebilmesini ve yararlanılabilirliğini sağlamak amacıyla yayımlanmaktadır.

NİTELİK,

Mühendislik Jeolojisi Bülteni’nde yayımlanması istemiyle gönderilecek olan yazılar mühendislik jeolojisinin herhangi bir alanında bir konuyu içermesi koşuluyla, aşağıdaki niteliklerden en az birini taşımalıdır:

1. Bilimsel yöntemlerle yapılmış özgün sonuçları olan bir çalışma,
2. Mühendislik jeolojisi konusunda daha önce yapılmış çalışmaları eleştiren bir yaklaşımla derleyen ve o konuda katkı sağlayan eleştirel derleme veya uygulamaya dönük bir çalışma,
3. Mühendislik jeolojisi konusunda Türkiye’yi büyük ölçüde ilgilendiren ve yabancı bir dilde yayımlanmış bir yazının Türkçe versiyonu.

Yazıların Bülten’de yayımlanabilmesi için daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekir.

YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ

Mühendislik Jeolojisi Bülteni Editörlüğü’ne sunulan yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğru, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörlükçe karar verilerek sonuç yazarlara bildirilir. Yazarlar, incelemecilerin ve Editörlüğün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmelere ilişkin yanıtlarını ayrı sayfalarda gerçekleriyle birlikte açıklamalıdır.

YAZIM DİLİ

Mühendislik Jeolojisi Bülteni’nin yazım dili “Türkçe” dir. Bununla birlikte; yazıların başlıkları, özetleri, anahtar kelimeler ve tüm çizelgelerin başlıkları ile şekil altı açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

YAZIM KURALLARI

İncelenmek üzere Editörlüğe gönderilecek makalelerin hazırlanmasında dikkat edilecek yazım kuralları aşağıda verilmiştir. Yayına kabul edilen makalelerin derginin formatına göre dizilmesi işlemi, basımevi tarafından yapılmaktadır. Bu nedenle, yayına kabul edilen makalelerin metni, çizelgeleri, şekilleri ve şekiller dizini CD’ye kopyalanmış olarak ayrıca makalenin bir orijinal çıktısıyla birlikte Editörlüğe gönderilmelidir.

Metin Bölümü

1. Metin; A4 boyutunda (29.7x21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1.5 satır aralıklı, 12 punto ve Times New Roman fontuyla yazılmalıdır. Sayfaların alt, üst ve yanlarında 2.5 cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar kurşun kalemle numaralandırılmalıdır. Bilgisayar çıktılarının silik olmamasına özen gösterilmelidir.
2. Başlık; konuyu en iyi şekilde belirtir ve 10 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli Türkçe başlığın (tamamı büyük harfle ve koyu yazılmış) yanı sıra, İngilizcesi (İtalik ve normal küçük harflerle) de yazılmalıdır.
3. Öz; yazının başlangıcında en fazla 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış, Türkçe ve İngilizce öz (Abstract) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve başlıca sonuçlarını içermeli) olmalıdır. Öz içinde; yararlanılan kaynaklara, şekil, çizelge ve eşitlik numaralarına değinilmemelidir. Ayrıca Öz ve Abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak Anahtar Kelimeler ve Key Words (en az 3, en çok 6 kelime) verilmelidir.
4. Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir.
 - a. Başlık (Türkçe ve İngilizce, Türkçesi büyük, İngilizcesi küçük harflerle ve italik)
 - b. Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları tamamen büyük harfle, adresler İtalik olarak)
 - c. Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
 - d. Abstract (keywords eklenerek)
 - e. Giriş (amaç, kapsam vd.)
 - f. Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, bulgular vb.)
 - g. Sonuçlar ve tartışmalar (sonuçların tartışılması gerektiği durumlarda tartışmalar sonuçlarla birlikte verilmelidir. Bu durumda 'Sonuçlar' başlığı yerine 'Tartışma ve Sonuçlar' başlığı kullanılmalıdır).
 - h. Katkı belirtme (gerekliyorsa)
 - i. Kaynaklar
5. Yazılarda okuyucuya aktarılması istenen veri, görüşler, tartışmalar (metin kısmı), çizelgeler ve şekiller dahil en fazla 20 sayfayı aşmayacak şekilde düzenlenmelidir.
6. Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmelidir. Bunların yazım şekil yandaki gibi olmalıdır (1.,1.1.,.....2.,2.1,..... gibi).
7. SI birimleri (kPa, kN/m³ vb.) kullanılmalıdır.
8. Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta konulmalıdır (3.1 gibi).

Kaynaklar

Kaynaklar, alfabetik sırayla ve türlerine göre aşağıda belirtilen formatlara uygun şekilde verilmelidir.

Makale:

Soyadı, A., Tarih. Makalelerin başlığı. Derginin Açık Adı, Sayı (No.), başlangıç ve bitiş sayfaları.

Kitap:

Soyadı, A., Tarih. Kitabın Adı. Basımevi, Basıldığı Kentin Adı.

Rapor ve Tezler:

Soyadı, A., Tarih. Rapor veya tezin başlığı. Kuruluş veya Üniversite ve Bölüm Adı, Sayfa sayısı (yayımlanıp yayımlanmadığı).

Not : Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 3 harf içerden başlanarak yazılmalıdır. Kaynak-lara metin içerisinden yazarın soyadı ve yayın tarihi belirtilerek aşağıdaki örneklere benzer şekildeatıfta bulunmalıdır.

Ketin ve Canitez (1972).....

Bazı araştırmacılar (Bieniawski, 1989; Barton, 2002).....

Eşitlikler

- Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.

Çizelgeler

- Yazarlar, Bülten'in boyutlarını dikkate alarak, çizelge sayısını sınırlı tutmalı, gerekiyorsa metinde kullanılabilecek oranda çizelgeleri daha küçük karakterlerle yazılmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin (çizelge açıklaması dahil) en fazla (15x20) cm boyutlarında olması gereklidir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak türde çizelgeler kabul edilmez.
- Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilerek, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (İtalik) ilgili çizelgenin üzerinde verilmelidir.
- Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır. Çizelgeler, metinden sonra ayrı sayfalarda verilmelidir.

Şekilde (Çizim ve fotoğraflar)

- Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil alt yazıları 'Şekiller Dizini' başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfli büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalik harflerle) ayrı bir sayfada altalta sırayla verilmelidir.
- Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek şekiller Dizin sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekil altı yazılarının ayrıca şekillerin altına yazılmasına gerek olmayıp, şekil numaralarının kurşun kalemle her şeklin sağ üst köşesinde belirtilmesi yeterlidir.
- Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk ölçek kullanılmalıdır.