

# JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

*Geological Engineering Journal*

Cilt - Volume 30

ISSN 1116 - 9172

Sayı - Number 2 - 2006



**TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**Chamber of Geological Engineers of Turkey**

## Editörler / Editors

**Abidin TEMEL**  
Hacettepe Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
06532 Beytepe - Ankara  
Tel: 0312 297 77 55  
Fax: 0312 299 20 34  
E-Posta: atemel@hacettepe.edu.tr

**Mehmet ŞENER**  
Niğde Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
51200 Niğde  
Tel: 0388 225 22 61  
E-Posta: msener@nigde.edu.tr

**Yurdal GENÇ**  
Hacettepe Üniversitesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
06532 Beytepe-Ankara  
Tel: 0312 297 77 55  
Fax: 0312 299 20 34  
E-Posta: ygenç@hacettepe.edu.tr

## Yardımcı Editörler/Assistant Editors

**Hüseyin YILMAZ**  
Cumhuriyet Üniversitesi - Sivas

**Sedat TÜRKMEN**  
Mersin Üniversitesi - Mersin

**M. Şefik İMAMOĞLU**  
Dicle Üniversitesi

**Yazışma Adresi**  
**TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası**  
PK 464 Yenışehir, 0644 Ankara  
Tel: 0312 434 36 01  
Fax: 0312 434 23 88  
E-Posta: jmo@jmo.org.tr

## Yayın Kurulu / Editorial Board

Kemal AKDAĞ (Karadeniz Teknik Üniversitesi)  
Musa ALPASLAN (Mersin Üniversitesi)  
Fehmi ARIKAN (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü)  
Eşref ATABEY (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü)  
Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)  
Emel BAYHAN (Hacettepe Üniversitesi)  
Berk BESBELLİ (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü)  
Muazzez KARAKAYA (Selçuk Üniversitesi)  
Tandoğan ENGİN (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü)  
Yavuz ERKAN (Hacettepe Üniversitesi)  
Okay EROSKAY (Kültür Üniversitesi)  
Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)  
Ergun GÖKTEN (Ankara Üniversitesi)  
Fikret KAÇAROĞLU (Cumhuriyet Üniversitesi)  
Erçin KASAPOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)  
Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)  
Matmut MUTLUTÜRK (Süleyman Demirel Üniversitesi)  
Eran NAKOMAN (Dokuz Eylül Üniversitesi)  
Nazmi OTLU (Cumhuriyet Üniversitesi)  
Ahmet SAĞIROĞLU (Fırat Üniversitesi)  
Sönmez SAYILI (Ankara Üniversitesi)  
Şakir ŞİMŞEK (Hacettepe Üniversitesi)  
Asuman TÜRKMENÖĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)  
Necati TÜYSÜZ (Karadeniz Teknik Üniversitesi)  
Reşat ULUSAY (Hacettepe Üniversitesi)  
Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

## Bu Sayıda Katkı Verenler:

Koray TÖRK

Jeoloji Mühendisliği Dergisi Makale ve Dizin Özleri **GeoREF** ve **Geobase/Geo Abstracts** Uluslararası Indexler tarafından taranmaktadır.

*The Geological Engineering Journal is indexed and abstracted by GeoRef and GeoAbstracts.*

## Jeoloji Mühendisleri Odası Chamber of Geological Engineers Yönetim Kurulu / Executive Board

İsmet CENGİZ  
Bahattin Murat DEMİR  
Dündar ÇAĞLAN  
Çetin KURTOĞLU  
Hüseyin ALAN  
Buket Ecemiş YARARBAŞ  
Serap DURMAZ

Başkan / President  
İkinci Başkan / Vice President  
Yazman / Secretary  
Sayman / Treasurer  
Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities  
Yayın Üyesi / Member of Professional  
Sosyal İlişkiler Üyesi / Social Affair Secretary

*Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.*

# Jeoloji Mühendisliği Dergisi / Geological Engineering Journal

Cilt 30  
Volume

Sayı 2 - 2006  
Number

## Araştırma Makaleleri / Research Articles

---

- 1- **Muhsin EREN**  
**Kaliş Oluşumu ve Özellikleri**  
*Caliche Formation and Features*
- 9- **İlksen Koçak GRAF ve Ayşe BOZCU**  
**Yapısal Özelliklerin Lapyta Gelişimindeki Rolü: Kızılörü Dağı Doğusu (Korkuteli-Antalya)**  
*The Role of Structural Features in the Development of Karren: East of Kızılörü Mountain (Korkuteli-Antalya)*
- 17- **Müfik Şefik DOĞDU**  
**Türkiyede'ki Şişe Sularının Kimyasal İçerikleri ve Sağlık Açısından Değerlendirilmesi**  
*Chemical Contents of Bottled Waters in Turkey and Their Evaluation According to the Health*

## Eleştirel İnceleme / Review Paper

---

- 33- **Cüneyt GÜLER, Musa ALPASLAN**  
**Petrol Türevleri Tarafından Kirilenmiş Akiflerde Uygulanan Yerde İyileştirme Teknolojileri**  
*In-Situ Remediation Technologies Applied for Petroleum Hydrocarbon Contaminated Aquifers*

## Kaliş Oluşumu ve Özellikleri *Caliche Formation and Features*

**Muhsin EREN**

*Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü  
33343 Çiftlikköy/Mersin  
e-mail: m\_eren@yahoo.com*

### ÖZ

Kaliş genel bir terim olup, kurak ve yarı kurak iklim koşullarında gevşek çökeller, tortul kayalar ve topraklar içindeki ikincil kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yığılımlarını tanımlamaktadır. Kalişler mikrit (< 4 m) ve mikrosparit (5-15 m) boyutundaki küçük kalsit kristallerinden oluşmakta ve küçük miktarlardaki diyajenetik mineral oluşumları (sepiyolit, paligorskit, magnezyum kalsit, dolomit gibi) kalsiyum karbonat oluşumlarına (düşük Mg-kalsit) eşlik etmektedir. Kalişler; kireç tozu, yumru, tüp, laminalı kabuk ve sert kabuk gibi farklı oluşum şekillerine sahiptir. Kalişlerde makroskopik kök yapıları ve mikroskopik alfa ve beta dokusal özellikleri yaygın olarak bulunmaktadır. Kalişlerin oluşumu üzerine başlıca iki hipotez önerilmiştir. Bunlar; (a) sızma modeli (per descensum; pedojenik model); çözülmüş  $\text{CaCO}_3$ 'ün sızan sulardan çökelimini tanımlamakta ve (b) yeraltı suyunun kapiler yükselme (per ascensum; yeraltısuyu modeli) modelidir. Kaliş oluşumunda kalsiyum değişik kaynaklardan sağlanır.

**Anahtar Sözcükler:** Kaliş, kalsiyum karbonat, diyajenetik mineral, sızma (pedojenik) modeli, kapiler yükselme (yeraltısuyu) modeli

### ABSTRACT

*Caliche is a general term that describes a secondary carbonate accumulation in unconsolidated sediments, sedimentary rocks and soils under semi-arid and arid climate conditions. Caliches are composed dominantly of small calcite crystals in micrite (< 4 m) and microsparite (5-15 m) size. Small amount of diagenetic minerals such as sepiolite, palygorskite, magnesium calcite and dolomite etc. are associated with calcium carbonate (low Mg-calcite) occurrences. Caliche appears in a variety of forms such as chalky powdery, nodular, tubular, laminated crust, hardpan (indurated crust). In caliche, macroscopic rhizolithic structures and microscopic alfa and beta fabric constituents are common. Two main hypotheses which explain the origin of caliche. These are; (a) downward movement of dissolved  $\text{CaCO}_3$  (per descensum; pedogenetic); and (b) capillary rise from groundwater (per ascensum; groundwater) models. During caliche formation, calcium is provided from varied sources.*

**Keywords:** Caliche, calcium carbonate, diagenetic mineral, per descensum (pedogenetic) model, capillary rise (groundwater) model

## GİRİŞ

Bu makale geçmişte ve günümüzde yaygın olan ve Akdeniz kuşağında tipik olarak görülen kalişlerin temel özelliklerini ve oluşum şekillerini tanıtmayı amaçlamaktadır. Kaliş genel bir terim olup, kurak ve yarı kurak iklimlerde, vadoz zonda (karasal ortamda), gevşek çökeller, tortul kayalar veya topraklar içinde veya üzerinde oluşan, hakim olarak ikincil kalsiyum karbonat çökelimlerini ifade etmektedir (Aristarain, 1970; Goudie, 1973; Watts, 1980; Wright ve Tucker, 1991; Demicco ve Hardie, 1994; Goudie, 1996). Bazı yazarlar kaliş terimini sadece topraklar içinde gelişen kireçli seviyelerle sınırlamaktadır (Watts, 1980; Tucker ve Wright, 1990). Kaliş oluşumu sırasında küçük miktarlardaki diyajenetik mineral oluşumları (sepiyolit, paligorskit, magnezyum kalsit, dolomit, vs.) kalsiyum karbonat oluşumlarına eşlik eder. Kalişler; kireç tozu, yumru, tüb, laminalı kabuk ve karbonat kabuk gibi farklı oluşum şekillerine sahiptir (Estaban ve Klappa, 1983; Tucker, 1991; Wright ve Tucker, 1991). Kalişler içinde bazı makroskopik (kök yapıları gibi) ve mikroskopik (kök yapısı, yüzen tane dokusu, tane çevresi çatlak vs.) yapılar yaygın olarak görülür. Kökensele yönden kalişler başlıca iki gruba ayrılırlar. Bunlar pedojenik (sızma) ve yeraltı suyu (kapiler) kalişleridir.

## İKLİM

Kaliş gelişimi kurak ve yarı kurak iklimlerde, yıllık yağışın 400-600 mm (Goudie, 1983) ve buharlaşmanın yağıştan fazla olduğu yerlerde yaygındır (Tucker, 1991). İklim kaliş gelişimini kontrol eden önemli faktörlerden biridir.

## KALIŞ PROFİLİ

Kaliş profilleri kalişlerdeki düşey yöndeki değişimleri ifade etmektedir (Şekil 1, 2). Bu değişimler basit şekillerden, oldukça karmaşık şekillere varan değişimleri içermektedir. Şekil 2 Estaban ve Klappa (1983) tarafından önerilen ideal bir kaliş profilini ve profil içindeki temel özelliklerin dağılımını göstermektedir. İdeal kaliş profili güncel toprak, karbonat kabuk, laminalı kaliş, yumru seviye, yumru-kireçli seviye, kireçli seviye, geçiş zonu ve temel kaya seviyelerinden oluşmaktadır. Farklı seviyeler arasındaki geçiş derecelidir.

### Karbonat Kabuk:

Genellikle beyaz veya krem renkli, sertleşmiş, düzlem şekilli, tipik olarak karmaşık iç dokusal özellikler içeren, keskin üst yüzeyi ve dereceli alt yüzeyi olan kaliş seviyesidir (Şekil 1; Estaban ve Klappa, 1983; Wright ve Tucker, 1991). Kalın karbonat kabuklarda çatlak, tektonik olmayan breşleşme, erime ve yeniden çimentolanma ve pizolit ve kök izi yapıları görülebilir. Karbonat kabuk hakim olarak mikrokristalli veya ince kristalli kalsitten oluşmaktadır.

**Laminalı Kaliş:** Sertleşmiş, ince laminalı, dalgalı-düzlemsel karbonat katmanlarıdır (Goudie, 1983; Wright ve Tucker, 1991). Laminalı kaliş her zaman karbonat kabuğun hemen altında veya karbonat kabuğun yokluğunda ise kireçli seviyenin en üst kısmında veya güncel toprak örtüsünün altında bulunur (Estaban ve Klappa, 1983). Laminalı kaliş, karbonat kabuktan yatay veya yataya yakın dalgalı, ince katmansı yapısı, düzlemsel çatlak gözenekliliği, daha büyük kırılabilirliği ve alveolar dokunun, bitki kök izlerinin ve iğnemsili dokunun yaygınlığı ile ayrılır.



**Şekil 1.** Kalışların arazi görünümü. Çingirdaklı dere vadisi, Çiftlikköy/ MERSİN (Eren ve diğ., 2004). K: karbonat kabuk (hardpan), KÇ: Kırmızı çamurtaşı (taşkın ovası çökeli, Kuzgun Formasyonu (Tortoniyen)), ok: yumrulu kalış seviyesi.

*Figure 1. Field appearance of the caliches. Çingirdaklı creek valley, Çiftlikköy/ Mersin (Eren et al., 2004). K: Carbonate crust (hardpan), KÇ: red mudstone (floodplain deposits of the Kuzgun Formation (Tortonian)), ok: nodular caliche horizon.*

Karbonat kabuk oluşumu, laminalı kalış oluşumunun ileri evresini temsil etmektedir.

**Yumrulu Seviye:** Daha az kireçli bir matriks içinde gömülü olan, çimentolanma ve/veya ornatma yoluyla oluşmuş, ayrık küresel, düzensiz şekilli veya silindirik şekilli, beyaz veya krem renkli, yumuşak veya sertleşmiş kalsiyum karbonat yığılımlarıdır (Şekil 1; Goudie, 1983; James ve Choquette, 1984; Esteban ve Klappa, 1983).

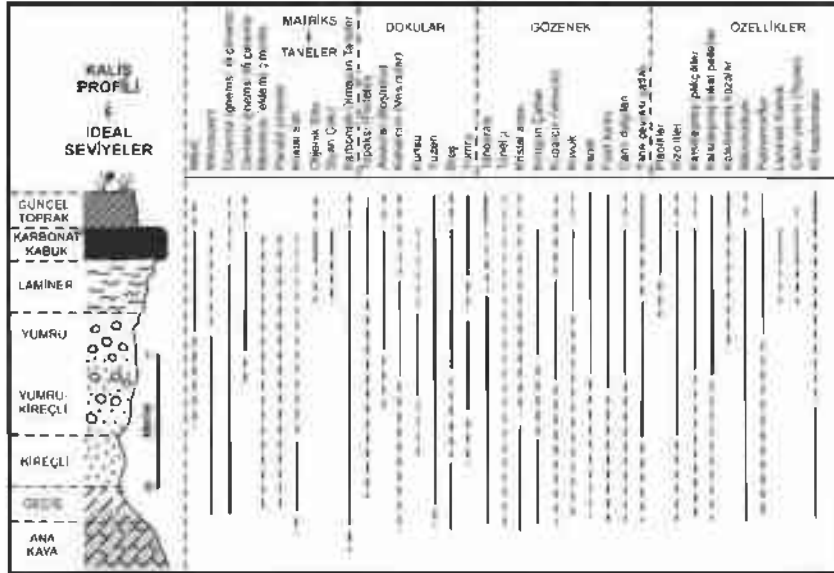
**Yumrulu-kireçli kalış:** Çoğu kalış profilinde yumrulu ve kireçli kalış seviyeleri arasındaki geçiş belirgin olmayıp, geçiş zonu yumrulu-kireçli kalış seviyesi olarak kabul edilmektedir (Esteban ve Klappa, 1983).

**Kireçli kalış:** Bu seviye beyaz veya krem renkli, sıklaşmamış silt boyutundaki kalsit tanelerinden oluşur. Taneler arası çimentolanmanın olmaması nedeniyle materyal toz halindedir. Bu seviye yapısal ve dokusal olarak homojendir. Bununla beraber saçılmış haldeki kalış yumruları yersel olarak bulunur. Bitki kök sistemlerinin çevresindeki

alanlar  $\text{CaCO}_3$  çökelişi için uygundur ve bu olay yumru gelişiminin başlangıcına neden olur (Esteban ve Klappa, 1983).

**Geçiş seviyesi:** Ana kaya ile kalış seviyeleri arasındaki geçiş zonudur. Geçiş zonu ana kayanın bazı makroskopik özelliklerini içermemesi ve bazı yerlerde ana kayanın kısmi ornatılmasına ve ayrıştırılmasına ait makroskopik verileri içermesiyle tipiktir (Esteban ve Klappa, 1983).

**Ana Kaya:** Çok değişik bileşim, doku, yaş ve kökünde olabilir. Ana kayanın kalış gelişimini etkileyen en önemli özelliği mekanik duraylılığıdır. Kalış profillerinin gelişiminde, etki eden pedojenik ve diyajenetik olaylar için ana kayanın yeterince uzun duraylılığa sahip olması önemlidir. Ayrıca ana kayanın geçirimsizlik ve kalsiyum karbonat içeriği gibi özellikleri kalış gelişim oranını etkiler. Ana kaya, kendisini üzerleyen kalış profilinden kalışı karakterize eden tipik özelliklerin yokluğu ile ayrılır (Esteban ve Klappa, 1983).



Şekil 2. İdeal bir kaliş profili ve temel özelliklerin dağılımı (Esteban ve Klappa, 1983).

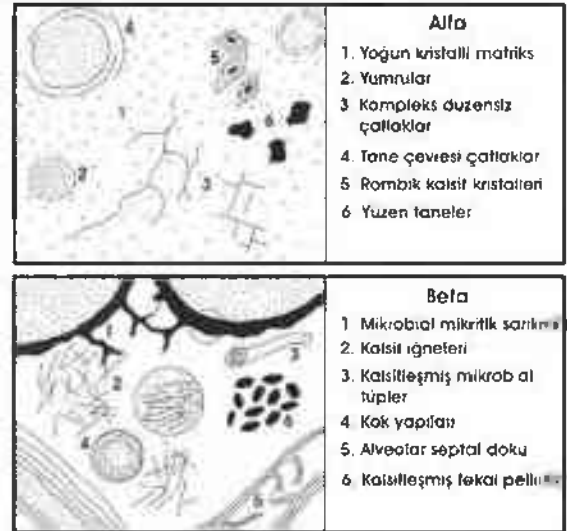
Figure 2. An ideal caliche profile and distribution of basic features (Esteban ve Klappa, 1983).

### KALİŞ ÖZELLİKLERİ

Kalişlerde yaygın olarak gözlenen özellikler Şekil 2' de gösterilmiştir. Bu özellikler makroskopik ve mikroskopik olmak üzere başlıca iki gruba ayrılabilir:

**Makroskopik Özellikler:** Kalişlerde çeşitli makroskopik özellikler yaygındır ve bunların kalişlere özgünlüğü ise tartışmalıdır. Bunlar rizolitleri (kök yapısı), yumruları, laminalı kalişleri, pizolitleri ve siyah çakılları içermektedir. Rizolitler; kökler tarafından üretilen organo-sedimenter yapılardır (Klappa, 1980) ve bitki köklerinin çevresinde veya içinde minerallerin yığılması, çimento olarak çökelimi ve ornatmasıyla oluşturulur. Başlıca beş rizolit tipi vardır (Esteban ve Klappa, 1983). Bunlar; (1) kök erime ve/veya delgi boşlukları, (2) kök kalıpları veya dolgusu (root casts), (3) kök tüpleri, (4) kök izi, ve (5) kök taşlaşması. Pizolitler 2 mm'den büyük sarımsı taneleri tanımlamaktadır. Siyah çakıllar ise organik katkıca zengin veya ince kristalli pirit saçınımları içeren çakılları karakterize etmektedir (Wright ve Tucker, 1991).

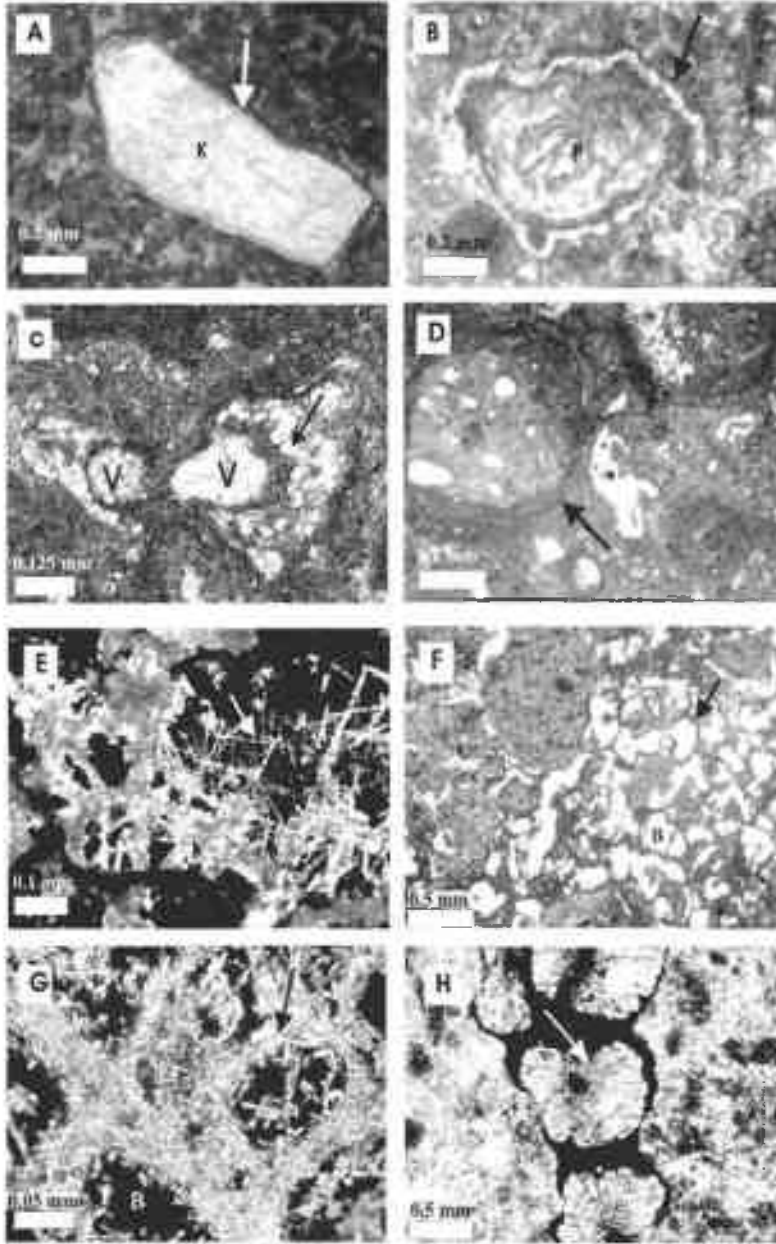
**Mikroskopik Özellikler:** Kalişler, mikroyapılar (Şekil 3) temel alınarak başlıca iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar alfa ve beta kalkritleridir. Alfa kalkritler biyolojik aktivite izleri içermezler ve yoğun olarak rombik karakterli mikrit (< 4 m) ve mikrosparitik (5-15 m) matriksten oluşmaktadır. Alfa dokuları mikritik matriks



Şekil 3. Kalişlerin (kalkrit) mikromorfolojik sınıflamaları (Wright, 1990).

Figure 3. Micromorphological classification of caliches (Wright, 1990).





**Şekil 4** Kalişlerde yaygın olan mikroskopik özellikler.

A) Pellets dokulu mikritik matris içinde yüzen detrital kuvars tanesi (K) ve onu çevreleyen kalsit kenar çimentosu (ok). Normal ışık.

B) Pizolitik taneyi (P) çevreleyen spartik kalsit dolgulı tane çevresi çatlak (ok). Polarize ışık.

C) Rizolit. Kalsit dolgulı bitki kök hücreleri (ok). Damarınımsı bitki köklerine ait spartik dolgulı tüpsü boşlukların (V) enine kesitleri. Normal ışık.

D) Mikritik sarılamalı (ok) kalış pizolitleri. Normal ışık.

E) Düzensiz kalsit iğneleri (ok). Polarize ışık.

F) Alveolar (boşluklu) doku. Mikritik duvarlı (ok) düzensiz gözeneklerin (B) karmaşık ağ dokusu. Normal ışık.

G) Gözenek (B) duvarları yönlü kalsit kristallerinden (ok) oluşan alveolar doku. Polarize ışık.

H) Düşey çatlak içinde çiçek yaprağı görünümüne uzamış kalsit kristallerinden oluşan mikrokodiyumlar (ok). Normal ışık.

Not: A, B, ve D mikrofotografılar Eren ve diğ., 2004 ve diğerleri Esteban ve Klappa, 1983' den alınmıştır.

**Figure 4.** Microscopic features common in caliches.

A) A floating detrital quartz grain (K) in clotted micrite matrix and its surrounding sparry calcite rim cement (arrow). Plain polarized light.

B) Circumgranular crack (arrow) around the pisolithic grain (P) with sparry calcite-infill. Cross polarized light.

C) Rhizolith. Calcite filled plant root cells (arrow). Transverse section of sparry calcite filled tubular voids (V) of vascular plant roots. Plain polarized light.

D) Caliche pisoliths with micritic coatings (arrow). Plain light.

E) Random calcite needles (arrow). Plain polarized light.

F) Alveolar texture. Complex network of irregular pores (P) with micrite walls (arrow). Plain polarized light.

G) Alveolar texture with pore (B) walls consisting of parallel oriented calcite needles (arrow). Cross polarized light.

H) Microcodiums (arrow) composed of petal-like elongate calcite crystals in a vertical joint. Plain polarized light.

Note: A, B, and D micrographs were taken from Eren et al., 2004, and the others from Esteban and Klappa, 1983.

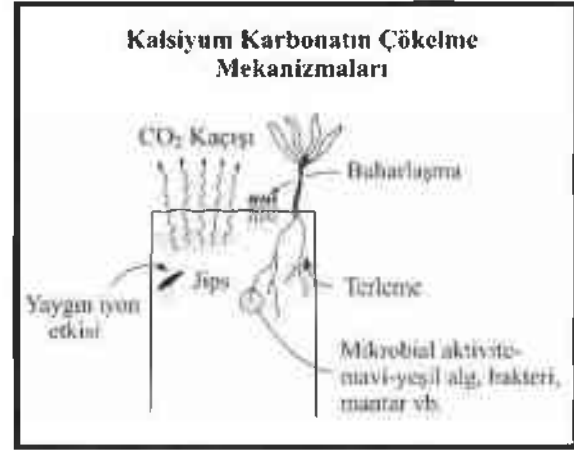


içinde yüzen tane (Şekil 4 A) ve çevresinde tanenin yerini alan kalsit büyüme yapıları, tane çevresi çatlakları (Şekil 4 B), sparit dolgulu düzensiz çatlakları, büyük rombik kalsit kristalleri, yumru yapıları içermektedir (Tucker ve Wright, 1990; Wright ve Tucker, 1991; Tucker, 1991). Bu yapılar ornatmaya ve kurumaya bağlı olarak oluşmaktadır. İnce kristalli alfa kalkritlerinin hızlı çökelim ve küçük gözenek boyutunun bir sonucu olduğu düşünülmektedir (Wright ve Tucker, 1991).

Beta kalkritler, özellikle mantarlar tarafından oluşturulan yüksek biyolojik aktivite izleri gösterirler (Tucker ve Wright, 1990). Beta dokusu kök yapılarını (Şekil 4 C), kalsit iğnelerini (Şekil 4 E ve G), yerinde oluşmuş kaliş pizolitlerini (Şekil 4 D), mikroorganizma tüplerini, alveolar veya alveolar septal doku (boşluklu veya boşluk duvar dokusu; Şekil 4 F ve G) ve mikrokodium (Şekil 4 H) yapılarını içermektedir. Bu gibi yapılardaki karbonat mantar veya diğer toprak mikro-organizma birlikteliği içinde çökeltilir (Wright ve Tucker, 1991).

### KARBONAT ÇÖKELİM MEKANİZMASI

Karbonat çökelim mekanizmaları üzerine sınırlı sayıda detaylı çalışma yapılmıştır ve çökelim yeterince anlaşılamamıştır. Fakat, buharlaşma ve terlemeyle  $H_2O$  kaybı ve  $CO_2$  kaybı (özellikle bitkiler tarafından tutulması) çökelim temel mekanizmaları olduğu vurgulanmaktadır (Tucker ve Wright, 1990; Wright ve Tucker, 1991; Şekil 5). Yaygın iyon etkisi ( $Ca^{2+}$  ca zenginleşme; commonion effect) yeraltısuyu kalkritlerinin çökeliminde etkili olan diğer bir etkidir (Wright ve Tucker, 1991).

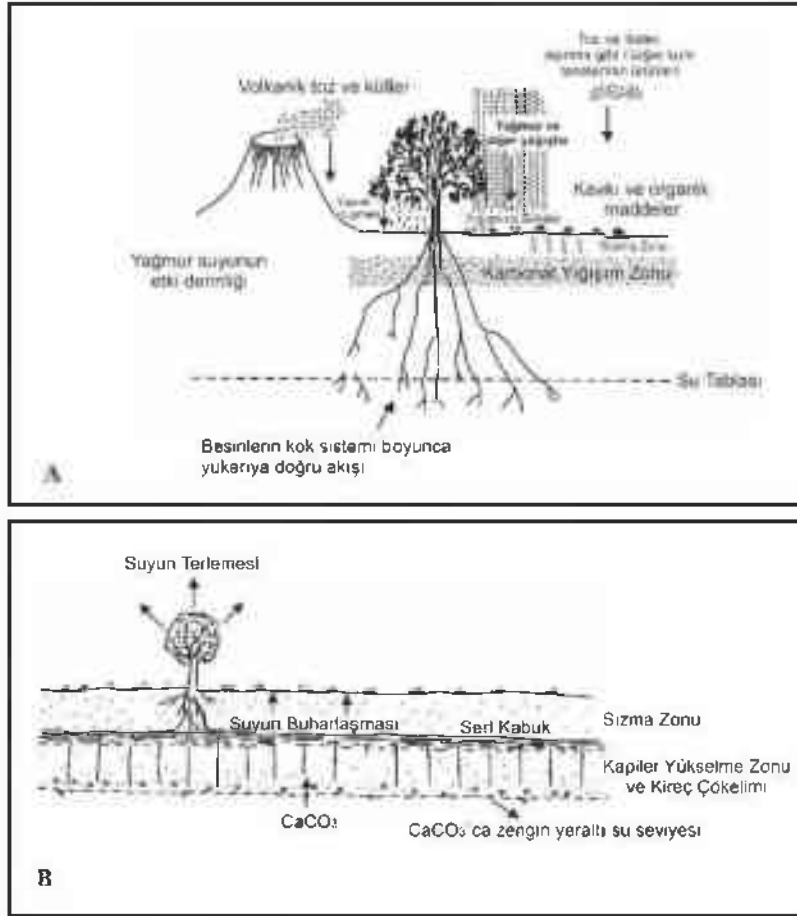


Şekil 5. Kalişlerde çökelim mekanizmaları (Wright ve Tucker, 1991).

Figure 5. Mechanisms of precipitation in caliche (Wright ve Tucker, 1991).

### KALIŞ OLUŞUMUNDA $CaCO_3$ 'ÜN KAYNAĞI VE HAREKETİ

Kaliş oluşumunda  $CaCO_3$ 'ün kaynağı çeşitlidir (Goudie, 1983) ve bunlar arasında yağmur suyu (ve deniz püskürtmesi), yüzey akış suyu, yeraltısuyu, rüzgar tozu, biyoklast (örneğin karasal gastropodlar), bitki kirliliği, ve kayalar bulunmaktadır. Pedojenik kökenli kaliş (kalkrit) oluşumunda  $CaCO_3$ 'ün ana kaynağını rüzgar tozu oluşturmaktadır (Machette, 1985). Kalsiyumca (Ca) zengin tozlar toprak yüzeyinde yığılmakta ve yağmur sularınca çözülmemektedir. Kalsiyumca zengin sular toprak içine doğru süzülür ve tipik olarak mevsimsel nemlenme derinliğinde çöker. Kaliş oluşumunu çözülmüş  $CaCO_3$ 'ün aşağıya doğru hareketiyle açıklayan mekanizmaya sızma modeli (pedojenik kaliş; Goudie, 1983; Şekil 6 A) denilmektedir. Diğer bir model ise kalsiyumun kaynağını yeraltısuyu kabul eden ve kapiler etki ile yükselen yeraltısuyundan buharlaşmayla  $CaCO_3$  çökeltten yeraltısuyu kapiler yükselme (per ascensum) modelidir (Goudie, 1983; Semeniuk ve Meagher, 1981; Şekil 6 B). Bu



Şekil 6. Kaliş oluşum modelleri (Goudie, 1983).

A) Sızma modeli (per descensum; pedojenik model)  
B) Kapiler yükselme modeli (per ascensum; yeraltısuyu modeli)

Figure 6. Models of caliche formation (Goudie, 1983).

A) Per descensum model (pedogenic model)

B) Capillary rise model (per ascensum; groundwater model)

model yeraltısuyu kalişlerinin oluşumunu açıklamak için gerçekçi bir şekilde kullanılıyorsa da, çoğu yerde kalişlerin yüzeye yakın olması ve yeraltısuyunun yüzeyden onlarca metre aşağıda bulunması nedeniyle yanlış yorumlanabilmektedir.

### SONUÇ

Kalişler; kurak ve yarı kurak iklimlerdeki ikincil kalsiyum karbonat çökelimleridir ve karasal ortamı karakterize etmektedir. Ayrıca kalsiyum karbonat çökelimlerine küçük miktarlardaki diyajenetik mineral oluşumları eşlik etmektedir. Kalişler kireç tozundan, sertleşmiş kabuğa kadar değişen şekillerde görülürler. Makroskopik kök yapıları ve mikroskopik alfa ve beta dokusuna ait özellikler yaygın olarak gözlenir. Oluşumları

sızma (per descensum; pedojenik) ve kapiler yükselme (per ascensum; yeraltısuyu) modelleriyle açıklanmaktadır. Kaliş oluşumları için farklı CaCO<sub>3</sub> kaynakları önerilmiştir.

### KATKI BELİRTME

Yazar, makaleye yapıcı katkı sağlayan hakemler Prof. Dr. Asuman TÜRKMENOĞLU, Prof. Dr. Emel BAYHAN ve Dr. Eşref ATABEY'e teşekkür eder.

**KAYNAKLAR**

- Aristarain, L. F., 1970. Chemical analyses of caliche profiles from the high plains, New Mexico. *Journal of Geology*, 78, 201-212.
- Demiccio, R.V. and Hardie, L.A., 1994. Sedimentary structures and early diagenetic features of shallow marine carbonate deposits. *SEPM Atlas Series 1*, Tulsa, Oklahoma, 265 p.
- Eren, M., Kadir, S., Hatipoğlu, Z., ve Gül., M., 2004. Mersin yöresinde kaliş gelişimi. TÜBİTAK Projesi YDABAG-102Y036, 136 s., (Yayınlanmamış).
- Esteban, M. and Klappa, C.F., 1983. Subaerial exposure environment. In: Scholle, P.A., Bebout, D.G., and Moore, C.H., (eds.), *Carbonate Depositional Environments*, Association of American Petroleum Geologists Memoir 33, Tulsa, Oklahoma, p. 1-54.
- Goudie, A. S., 1973. Duricrusts in Tropical and Subtropical Landscapes. Clarendon Press, Oxford, 174 p.
- Goudie, A. S., 1983. Calcrete. In: Goudie, A.S. and Pye, K., (eds.), *Chemical sediments and geomorphology*. Academic Press, London, p.93-131.
- Goudie, A. S., 1996. Organic agency in calcrete development. *Journal of Arid Environment*, 32, 103-110.
- James, N.P. and Choquette, P.W., 1984. Diagenesis 9. Limestones- The meteoric diagenetic environment. *Geoscience Canada* 11, 161-194.
- Klappa, C.F., 1980. Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance. *Sedimentology*, 27, 613-629.
- Machette, M.N., 1985. Calcic soils of the southwestern United States. Geological Society of America, Special Paper No. 203, 1-21.
- Semeniuk, V., and Meagher, T.D., 1981. Calcrete in Quaternary coastal dunes in South western Australia: a capillary-rise phenomenon associated with plants. *Journal of Sedimentary Petrology* 51, 47-68.
- Tucker, M.E., and Wright, V.P., 1990. *Carbonate sedimentology*. Blackwells, Oxford, 482 p.
- Tucker, M.E., 1991. *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. Blackwell Science, Oxford, 260 p.
- Watts, N.L., 1980. Quaternary pedogenic calcretes from the Kalahari (Southern Africa): mineralogy, genesis and diagenesis. *Sedimentology*, 27, 661-686.
- Wright, V.P., 1990. A micromorphological classification of fossil and recent calcic and petrocalcic microstructures. In: Douglas, L.A. (ed.), *Soil Micromorphology: A Basic and Applied Science*, Elsevier, Amsterdam, v. 19, 401-407.
- Wright, V. P., and Tucker, M. E. (Eds.), 1991. *Calcretes*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 351 p.

**Yapısal Özelliklerin Lapyta Gelişimindeki Rolü: Kızılörü Dağı Doğusu (Korkuteli-Antalya)**

*The Role of Structural Features in the Development of Karren: East of Kızılörü Mountain (Korkuteli-Antalya)*

**İlksen Koçak Graf<sup>1</sup> ve Ayşe Bozcu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü, 07058 Antalya

<sup>2</sup> Onsekiz Mart Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., Jeoloji Müh. Bölümü, 17020 Çanakkale  
ilksengraf@akdeniz.edu.tr, abozcu@comu.edu.tr

**ÖZ**

Antalya'nın kuzeybatısında, Kızılörü dağının doğusunda gözlenen lapyalar, Jura-Kretase (Senomaniyen) neritik kireçtaşları üzerinde gelişmiştir. Sahada lapyaların yapısal özelliklerle olan ilişkilerini ortaya koymak amacıyla lapyaların ana gelişim doğrultuları ve çatlakların kuzeyden sapmaları ölçülmüş, elde edilen veriler gül diyagramlarına aktararak değerlendirilmiştir. Hazırlanan diyagramlarda, dairesel şekilli lapyaların egemen doğrultularıyla birincil ve ikincil çatlak yönelimleri arasında KD-GB doğrultusunda büyük bir uyum ortaya çıkmıştır. Hidrodinamik kontrollü çizgisel şekilli lapyaların birincil ve ikincil egemen doğrultularıyla, çatlakların egemen yönelimleri arasındaki ilişkilerse zayıf kalmıştır. Bu sonuçlar, değerlendirilmeye alınan lapyalardan delikli lapyalar ve kamenitsaların büyük ölçüde çatlak kontrollü, oluklu lapyalar ve kanalcıklı lapyaların ise hidrodinamik kontrollü bir oluşum ve gelişim mekanizmasına sahip olduklarını doğrulamaları açısından önem taşır.

**Anahtar Terimler:** Batı Toroslar, Çatlak, Kireçtaşı, Lapyta,

**ABSTRACT**

*Karren observed in the area to the east of Kızılörü Mountain located in the northwest of Antalya has been formed on Jurassic-Cretaceous (Cenomanian) neritic limestones, In order to show the relationship of karren with the structural features, the main development directions of karren and the deviations of fractures from the north have been measured in the field and the data obtained have been evaluated by transferring them into rose diagrams. In the rose diagrams prepared, between the dominant direction of circular karren and orientation of primary and secondary fractures in the NE-SW directions a great harmony was observed. The relations between the primary and secondary dominant directions of the hydrodynamically controlled linear karren and dominant fracture orientations were significantly weak. Solutions pits and solutions pans are in larger scale fracture controlled while rillenkarren and rinnenkarren have a hydrodynamically controlled formation and development mechanism.*

**Key Words:** Western Taurides, Fracture, Limestone, Karren

## GİRİŞ

Dağınık bir şekilde izlenen karstik sahalar, Dünya yüzeyinin % 12'lik bir alanını kaplar (Ford ve Williams, 1989). Yüzölçümünün üçte biri karstlaşabilir kayalardan oluşan Türkiye'nin içinde yer aldığı 30 ile 50 derece kuzey enlemleri arası, karstik sahaların en yoğun görüldüğü kesimdir. Türkiye'de karstik sahalarda birbirinden farklı boyut ve türde birçok karstik şekil gelişmiştir. Bunlardan en fazla çeşitliliğe sahip olanı çözünebilir kayaçlar üzerinde kimyasal ayrışmalar sonucunda oluşan küçük ayrışma şekilleridir.

Çözünebilir karbonatlı kayaçlar dışında, diğer birçok kayada da farklı nitelikte küçük ayrışma şekilleri bulunur. Ancak "karstlaşma" olarak de bilinen kimyasal ayrışmaya uygunluğu nedeniyle en büyük çeşitlilik çözünebilir karbonatlı kayaçlar üzerindedir. Örtülü veya çıplak karst alanlarında karstlaşma sonucunda oluşan çözünme delikleri ve oluklarını ifade eden küçük karstik şekiller için literatürde kullanılan en yaygın kelimeler "karren" ve "lapies" dir. Almanca'da "karren" tüm küçük ölçülü çözünme şekilleri için kullanılmıştır (Bögli, 1960), bazı Fransız araştırmacıları içinse "lapies" aynı anlamdadır (Jennings, 1971). Türkiye'de bu kelimelerden "lapies" temel alınarak "lapyta" şeklinde kullanılmaktadır.

Lapyaların gelişiminde birçok faktör rol oynar. Bunlar, Jennings (1971) tarafından, bütün lapyta türlerini kapsayacak şekilde tarihsel, aktif ve pasif faktörler olmak üzere üçe ayrılmıştır. Tarihsel faktörler zaman içinde şartlarda olan değişimleri ifade eder. Aktif faktörler, sıcaklık, yağmur ve toprak suyunun asitliği, bitki gelişimi konularıyla ilgilidir. Pasif faktörler ise sahada toprak ve bitki örtüsünün bulunup bulunmaması, kayacın petrografik özellikleri, gözeneklilik, tabakalaşma düzlemleri ve çatlaklarla ilgilidir.

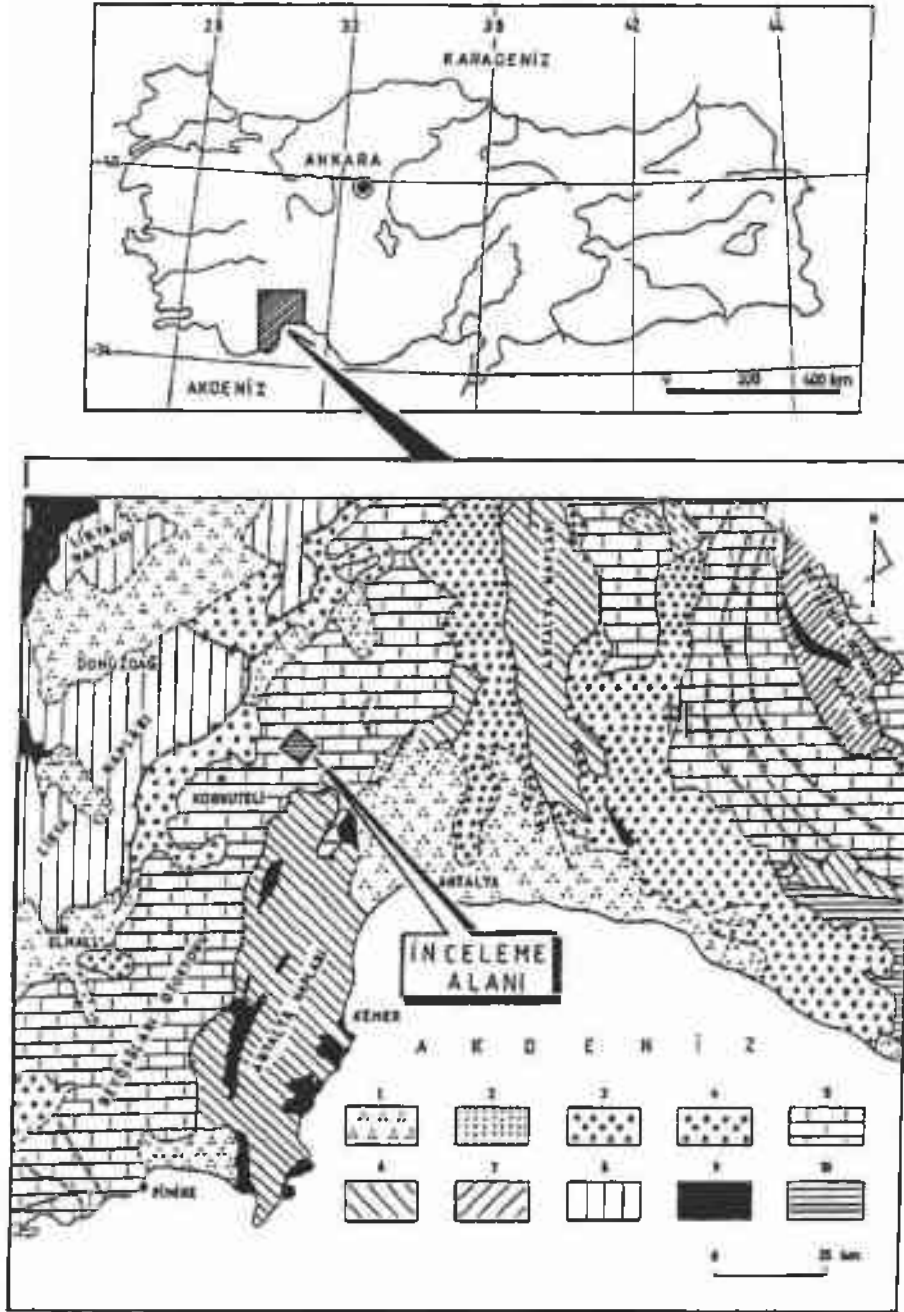
Karstın küçük boyutlu şekilleri olan lapyaların, çatlak ve kırık gibi yapısal hatlarla olan ilişkileri tüm Toroslarda olduğu gibi Kızılörü dağı doğusunda da tipik bir şekilde izlenir. Öte yandan çatlaklılık her lapyta türü için istenen bir özellik olmadığından inceleme alanında çatlak denetiminde gelişmemiş lapyta türleri de vardır. Sahada tüm bu lapyta türlerinin tanıtılması ve gelişimleri üzerinde rol oynayan pasif faktörlerden olan çatlaklarla olan ilişkilerinin açıklanması bu çalışmanın amacıdır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Materyal

"Toros karst kuşağı" nın (Eroskay ve Günay, 1980) batısında, yüksek derecede karstlaşmış bir kesimde yer alan inceleme alanı, Kızılörü dağının (Korkuteli-Antalya) doğusunda 25 km<sup>2</sup> lik bir alanı kaplar (Şekil 1). Burada, Batı Torosların otokton kaya birimlerini temsil eden ve Poisson (1977), Şenel ve diğ. (1981), (1989) tarafından Beydağları otoktonuna ait Beydağları formasyonu bulunur. Günay ve diğ. (1982) tarafından adlandırılan Beydağları formasyonu, Jura-Kretase (Senomaniyen) yaşlı neritik kireçtaşlarından oluşur. Birim, açık gri ve kirli beyaz renkli, orta-kalın katmanlı, karstik ayrışmalı ve geçirdiği tektonik evrimin bir sonucu olarak sık çatlaklıdır (Yalçınkaya ve diğ., 1986; Şenel, 1997a, 1997b).

İnceleme alanının içinde bulunduğu bölgede geniş yayılıma sahip olan Beydağları formasyonuna ait kireçtaşları üzerinde karstik şekillerden sadece lapyalar yer alır. Birimin gözeneklilik oranı %1 ile %8 arasında değişir (Güneysu, 1993). Bileşiminde, %97.64 ile %62.80 arasında kalsit, %32.06 ile %1.84 arasında dolomit ve %18.3 ile %0.2 arasında değişen değerlerde çözünemez diğer bileşenler bulunur (Koçak,



**Şekil 1:** Batı ve Orta Toroslar arasında kalan sahanın genel jeolojik özellikleri ve inceleme alanının konumu (Şenel, 1984'den düzenlenmiştir). 1. Pliyo-Kuvaterner ve güncel alüvyon, 2. Oligosen-Burdigaliyen post tektonik molas havzaları, 3. Antalya Miyosen havzası, 4. Alt-Orta Miyosen (Beydağları), 5. Platform karbonatları, 6. Antalya napları, 7. Beyşehir-Hoyran-Hadım Napları, 8. Likya napları, 9. Ofiyolitik naplar, 10. Alanya masifi

*Figure 1: General geological features of the area between Western and Central Taurides and location of the study area (according Şenel 1984). 1. Plio-Quaternary and recent alluvium, 2. Oligocene-Burdigalian post tectonic molasse basins, 3. Antalya Miocene basin, 4. Lower-Middle Miocene of Beydağları, 5. Platform carbonates, 6. Antalya Nappes, 7. Beyşehir-Hoyran-Hadım Nappes, 8. Lycian Nappes, 9. Ophiolitic Nappes, 10. Alanya Massif.*

2000). Bu sayısal değerler buradaki kireçtaşlarının bünyesinde, karstlaşmaya uygun karbonatlı kayaçları oluşturan bileşenler içinde en düşük çözünürlülüğe sahip olan dolomitin (Jennings, 1971; Öztaş, 1989) ve çözünemez özellikteki bileşenlerin az oranda bulunduğunu ortaya koyar. Böylece, sahada bulunan kireçtaşlarının oldukça saf ve safa yakın olduğu anlaşılır. Kireçtaşlarının litolojik açıdan taşıdığı tüm bu özellikler, üzerindeki karst şekillerinin gelişimi açısından oldukça olumlu şartlara sahip olmasına neden olmuştur.

### Yöntem

Karst çalışmalarında kullanılan gül diyagramlarında yapısal hatlarla karstik şekillerin doğrultusu arasındaki ilişki denestirilir. Böylece lapyta, dolin, uvala ve polye gibi karstik şekillerin oluşum ve gelişiminde zayıflık hatlarının etkisi daha açık bir şekilde anlaşılabilir. Bu tür çalışmalar Nazik (1988), Öztaş (1989), Koçak (1991, 2000), ve Keser (1996) tarafından yapılmıştır. Herhangi bir sahada lapyalarla çatlaklar arasındaki ilişki gül diyagramı üzerinde yorumlanmak isteniyorsa, öncelikle jeolog pusulası yardımıyla lapyaların ana gelişim veya uzanış doğrultuları ölçülmelidir. Lapyta doğrultuları, uzun eksenlerinin coğrafi kuzey ile yaptığı dar açıya karşılık gelir. Aynı jeolojik formasyon üzerinden alınan lapyta doğrultuları ile ilgili ölçüm sayılarının çatlaklardan az olmaması güvenilirliği artıracaktır.

Şekil olarak güle benzeyen gül diyagramlar, sahadan alınan ölçümlerin onar dereceye bölünmüş daire üzerinde grafik olarak gösterilmesi ile elde edilir. Sahadan alınan ölçüm değerleri gül diyagrama yerleştirilmeden önce öncelikli olarak onar derecelik dilimlerde gruplandırılır. Daire yarıçapı eşit uzunlukta 5 ile 10 parçaya bölünür ve her parçadan geçecek şekilde iç

çe daireler çizilir. Bölünen parçalara istenilen değerler (2, 5, 10, vb.) verilir. Doğru değerleri kuzey ile yaptığı açıya göre belirlendiği için diyagram yarı daire şeklinde hazırlanabilir.

### LAPYALAR

Karstın en küçük boyutlu şekilleri olan lapyalar, Kızılörü dağında büyük bir çeşitliliğe sahiptir. Bunlardan oluklu ve kanalcıklı lapyalar, hidrodinamik kontrollü çizgisel şekilli lapyaları temsil eder. Direk yağış sularıyla oluşan oluklu lapyalar (Böglü, 1960; Güldalı, 1970, 1972; Sweeting, 1973), birbirleriyle yan yana gelişmiştir (Şekil 2). Paralel veya subparalel drenaj modeli gösteren bu lapyaların enine kesit genişliği 1,5 cm, derinliği 1-2 cm, uzunluğu 30-40 cm arasındadır. Yağmur ve kar sularının eğimli yüzeylerinde oluşturduğu yivler olan kanalcıklı lapyalara (Böglü, 1960; Jennings, 1971; Erinc, 2001), düzgün çizgisel uzanışlara sahiptir. Drenaj modelleri açısından oluklu lapyalara benzeyen bu lapyalar, 8 cm genişliğe, 10-15 cm civarında derinliğe, 1-2 m arasında uzunluğa sahiptir.

Sahada çatlak ve tabakalaşma düzlemi lapyaları, çizgisel şekilli lapyaların



Şekil 2: Kızılörü dağı doğusunda gelişmiş oluklu ve delikli lapyalar

Figure 2: Rillenkarren and solution pits developed in east of Kızılörü Mountain.





Şekil 3: Kızılörü dağı doğusunda gelişmiş tabakalaşma düzlemi lapyaları ve çatlak lapyalar

Figure 3: Bedding grikes and cutting splitkarren developed in east of Kızılörü Mountain.

süreksizlik kontrollü grubuna aittir (Şekil 3). Çatlak lapyalar, dolgunsuz zayıflık düzlemleri boyunca şekillenmiştir (Bener, 1965; Dayan ve diğ. 1999). Daha çok bir arada gelişmiş olan örnekleri bulunan bu lapyalar, birkaç cm'den 20 cm'ye kadar genişliğe 1-2 m'ye kadar derinliğe ve 3-4 m'ye kadar uzunluğa sahiptir. Tabakalaşma düzlemleri boyunca gelişen tabakalaşma düzlemi lapyaları ise (Keser, 1996; Koçak, 2000, 2003), birkaç cm'den 20-30 cm'ye kadar genişliğe, 5-10 m'ye varan uzunluğa sahiptir.

Dairesel şekilli lapyalardan olan delikli lapyaların Kızılörü dağının doğusunda tek veya bir arada gelişmiş örnekleri vardır. Bu lapyaların yönelimleriyle, gelişimlerinde birinci derecede rol oynayan çatlak doğrultuları arasındaki uyum açık şekilde izlenir (Şekil 4). Bunlar, birkaç cm'den 10-15 cm'ye kadar çapa, 50-60 cm'ye kadar derinliğe sahiptir. Yatay veya yataya yakın eğim değerlerine sahip kesimlerde şekillenen karnetsalarsa başka bir dairesel şekilli lapyadır. Sweeting (1973) ve Erinç (2001)'e göre kenarları çözümlenmiş işlevleriyle

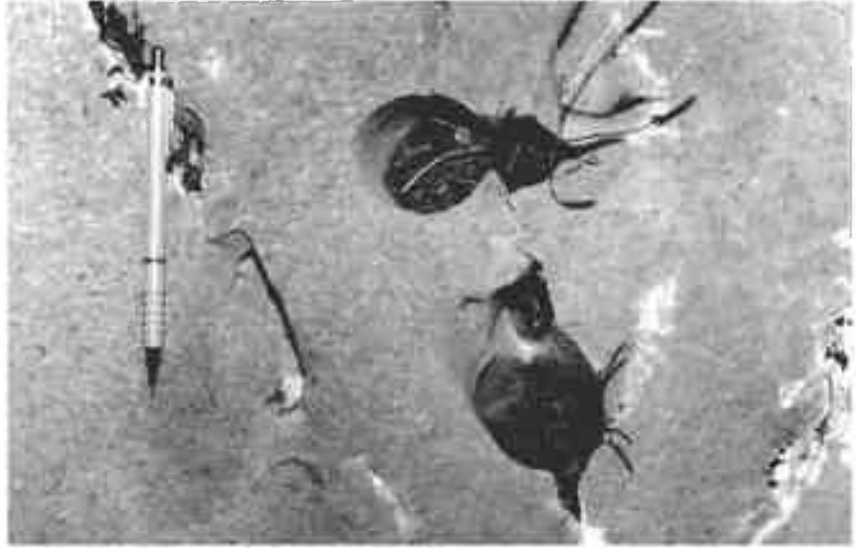
alttan oyularak işlenmiş olan bu lapyaların tabanları düz veya düze yakın uzanımlar gösterir. Bunlar birkaç cm'den 70-80 cm'ye kadar değişen çapa, 10-20 cm'ye varan derinliğe sahiptir.

Kızılörü dağının doğusunda lapyaların şekillenmesinde çatlakların etkin ve belirleyici rolleri önemlidir. Ancak, bunların lapyaya şekillenmesi üzerine olan etkileri her lapyaya türü için aynı ölçüde değildir. Bu farklılıklar, çatlaklardan alınan ölçümlerin ve değişik lapyalardaki yönelimlerin gösterildiği gül diyagramlarında açıkça görülür (Şekil 5).

Kireçtaşlarından alınan 101 çatlak ölçümüne göre, egemen çatlak yönelimi 1. derecede K 40-50 D, 2. derecede K 50-60 D, K 10-20 B ve K 40-50 B' dir (Şekil 5a) Hidrodinamik kontrollü çizgisel şekilli lapyaya çeşitlerinden olan oluklu ve kanalcıklı lapyalardan alınan 158 ölçüme göre, uzanış doğrultularının egemen yönelimleri 1. derecede K 10-20 D, 2. derecede K 0-10 B dir (Şekil, 5c). Bunların 1. ve 2. derecedeki egemen doğrultuları, çatlakların oldukça

**Şekil 4:** Kızılörü dağı doğusunda oluşumunda çatlak denetiminde gelişmiş delikli lapyalar

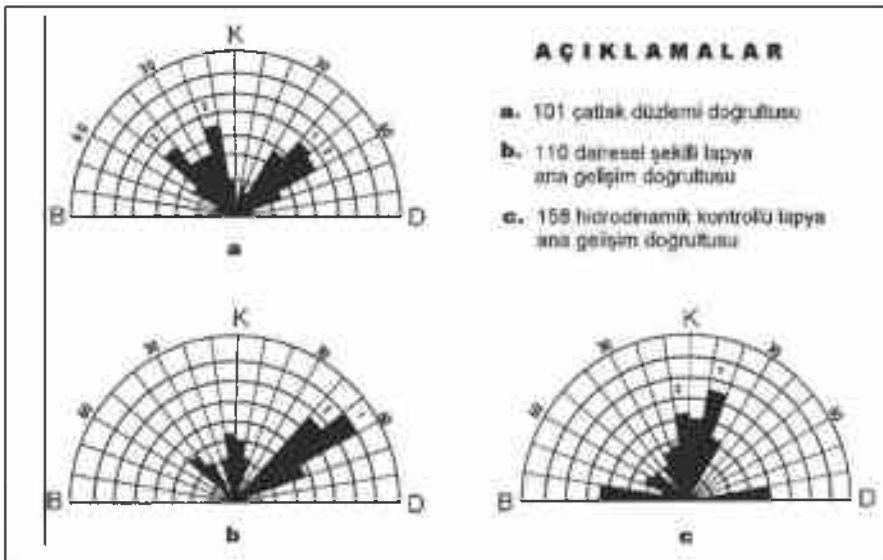
*Figure 4: Solutions pits controlled by fractures in east of Kızılörü Mountain.*



düşük derecedeki etkinlik yönlerine (sırasıyla 7. ve 6. derece) uymaktadır. Öte yandan, dairesel şekilli lapyta çeşitlerinden olan delikli lapyalar ve kamenitsalardan alınan 110 ölçüme göre, bunların ana gelişim doğrultularının egemen yönelimleri 1. derecede K 50-60 D, 2.derecede K 40-50 D'dur. Bu verilerden anlaşılacağı üzere, dairesel şekilli lapyaların egemen doğrultuları ile birincil ve ikincil çatlak yönelimi arasında büyük bir uyum vardır. Ancak, çatlakların 2. derecedeki

yönelimlerinden olan K 10-20 B ile K 40-50 B yönü, bu lapyaların daha düşük derecedeki etkinlik yönlerine (sırasıyla 7. ve 6. derece) uymaktadır. Diğer bir anlatımla, çatlaklarda 2. derecede üç eşit etkinlik yönünün birisi dışında, diğer ikisinin delikli lapyalar ve kamenitsaların etkinlik yönüyle olan ilişkisi zayıftır.

Bütün bu açıklamalardan, sahada hidrodinamik kontrollü çizgisel şekilli lapyaların birincil ve ikincil egemen doğrultuları ile çatlakların egemen



**Şekil 5:** Kızılörü dağı doğusundan alınan ölçümlere göre, çatlak düzlemi doğrultusu ile lapyta yönelimlerine ait gül diyagramları ve bunların etkin yönleri

*Figure 5: According the measurements around east of Kızılörü Mountain, rose diagrams related to karren directions and fractures strikes and their main tendencies.*

yönelimleri arasındaki ilişkilerin oldukça zayıf kaldığı anlaşılmaktadır. Oysa dairesel şekilli lapyaların egemen doğrultularıyla birincil ve ikincil çatlak yönelimleri arasında KD-GB doğrultusunda büyük bir uyum vardır.

### TARTIŞMA VE SONUÇ

Karstın en küçük boyutlu şekilleri olan lapyalar, Kızılörü dağı doğusunda, Jura-Kretase (Senomaniyen) yaşlı çözülebilen neritik kireçtaşları üzerinde gelişmiş olan şekillerdir. Sahada çizgisel ve dairesel şekilli lapyalara ait türler mevcuttur. Hidrodinamik kontrollü çizgisel şekilli lapyalardan oluklu ve kanalcıklı lapyalar, çatlak ve tabakalaşma düzlemi kontrollü çizgisel şekilli lapyalardan çatlak lapyalar ve tabakalaşma düzlemi lapyaları bulunur. Dairesel şekilli lapyalardan ise delikli lapyalar ve kamenitsalar mevcuttur. Delikli ve çatlak lapyalar diğerlerine oranla daha fazla gözlenir. Bunların sık bir şekilde görülmelerinin nedeni, kireçtaşlarının fazlaca çatlaklı olmasıdır.

Kızılörü dağı doğusunda dolgusuz çatlaklar birçok lapyanın oluşum yerinin belirlenmesinde kılavuzluk görevi yapmıştır. Ayrıca, sahip oldukları modeller ve boyutsal özellikleri lapyalara yansımıştır. Ancak, saha gözlemlerinde çatlakların lapyaya gelişimi üzerine etkisi belirgin olmakla birlikte, çatlaklılığın her lapyaya için istenilen bir özellik olmadığı gözlenmiştir. Çatlak düzlemlerinin çözünme aktiviteleri ile genişlemesiyle ve başta çatlak lapyaları olmak üzere, delikli lapyalar ve kamenitsalar oluşmuştur. Sahada oluklu ve kanalcıklı lapyaya oluşumlarında çatlaklılık istenilmeyen bir özelliktir. Bu yüzden çatlaklara dik veya dike yakın olan uzanımları yaygındır. Çatlaklar çözünerek genişlediğinde, oluklu ve kanalcıklı lapyaların gelişimi kısmen veya tamamen durmaktadır. Sahada çözünme olayları ile genişleyen tabakalaşma

düzemleri boyunca tabakalaşma düzlemi lapyaları gelişmiştir.

Saha gözlemlerinde çatlakların lapyalarla olan ilişkisi üzerine varılan sonuçlara gül diyagramlardan da ulaşılmıştır. Diyagramlarda, hidrodinamik kontrollü çizgisel şekilli lapyaların birincil ve ikincil egemen doğrultuları ile çatlakların egemen yönelimleri arasındaki ilişkiler oldukça zayıf kalmıştır. Oysa, dairesel şekilli lapyaların egemen doğrultularıyla birincil ve ikincil çatlak yönelimleri arasında büyük bir uyum vardır. Bu sonuçlar, delikli lapyalar ve kamenitsaların büyük ölçüde çatlak kontrollü, oluklu lapyalar ve kanalcıklı lapyaların ise hidrodinamik kontrollü bir oluşum ve gelişim mekanizmasına sahip olduklarını ortaya koyar.

Toroslarda yapılan araştırmalarda karstik şekillerin yapısal hatlarla olan ilişkilerine sıklıkla değinilmiş ve bazı çalışmalarda gül diyagram değerlendirmeleri de yer verilmiştir (Nazik, 1992; Koçak, 1991, 2000; Keser, 1996). Bu çalışmada yapılan gül diyagram değerlendirmesinin özelliği, arazi çalışmalarında inceleme alanında tespit edilen ve yuvarlak şekilli lapyalar (delikli lapyalar ve kamenitsalar) ve hidrodinamik kontrollü lapyalar (oluklu ve kanalcıklı lapyalar) şeklinde gruplanan lapyaların çatlaklarla ilişkilerine ayrı ayrı yer verilmiş olmasıdır. Böylece saha gözlemlerini doğrulayacak şekilde özellikle hidrodinamik kontrollü lapyaların gelişiminde çatlakların etkin olmayışı açık olarak görülebilmektedir.

Kızılörü dağı doğusunda çatlaklarla lapyalar üzerine yapılan bu çalışmanın benzeri diğer karst alanlarında ve özellikle de kireçtaşı dışındaki kayalar üzerinde de yapılmalıdır. Ayrıca, lapyalar üzerinde sadece çatlaklarla olan ilişkileri konusunda değil, şekillenmesine etki eden diğer faktörler üzerinde de derinlemesine araştırmalara ihtiyaç vardır. Lapyaların oluşum ve gelişiminde karstlaşma çok önemli bir süreç

olduğundan, yapılacak çalışmaların bu süreç üzerinde önemli öngörülerin geliştirilmesinde oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir.

#### Değinenilen Belgeler

- Bener, M., 1965. Göksu vadisi ve Taşeli Platolarında karst. İstanbul Üniversitesi. Coğrafya Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 333 s. (yayımlanmamış), İstanbul.
- Bögli, A., 1960. Kalklösung und karrenbildung. Zeitschrift für Geomorph. Supp. 2, Internationale Beiträge zur Karstmorphologie, 4-21.
- Dayan, E., Bilgin, A., Hançer, M., 1999. Karst landforms on the eastern slopes of Davras Dagi (Western Taurus): Karren, sinkholes and uvalas. Zeitschrift für Geomorphologie, 43, 321-340.
- Erinç, S., 2001, Jeomorfoloji II ( 3. basım), Der Yayınları: 294, İstanbul, 483 s.
- Eroskay, S. O. ve Günay, G., 1980. Tecto-genetic classification and hydrogeological properties of the karst regions. International Seminar on Karst Hydrogeology, Turkey-Oymapınar, 1979-Proceedings, Günay, G., (ed.), Publ. by SHW, Ankara, 1-41.
- Ford, D.C., Williams, P.W., 1989. Karst Geomorphology and Hydrology. Unwin Hyman Ltd., London 601 s.
- Güldal, N., 1970. Karstmorphologische Studien im Gebiet des Poljesystems von Kestel (Westlicher Taurus, Türkei). Tübinger, Geogr. Studien, H. 40, 104 s.
- Güldal, N., 1972. Korkuteli-Bucak çevresinde lapyaya ve dolin çeşitleri ve bunların gelişmeleri. Jeomorfoloji Dergisi, 4(4), 81-98.
- Günay Y., Bölükbaşı, A. S ve Yoldemir, O., 1982. Beydağlarının stratigrafisi ve yapısı. Türkiye Altıncı Petrol Kongresi ve Tebliğleri, Nisan 1982, Ankara, 91-101.
- Güneysu, A. C., 1993. Kovada gölü doğusunun (Isparta) karst jeomorfolojisi. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 209 s (yayımlanmamış)
- Jennings, J. N., 1971. Karst. The M.I.T. Press., Cabridge, Massachussetts and London, 352 s.
- Karaman, M. E., 1996. Temel Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları. Devran Matbaacılık, Ankara, 336 s.
- Keser, N., 1996. Kalkan-Kaş-Taşdibi arasının jeomorfolojisi. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 231 s (yayımlanmamış)
- Koçak, İ., 1991. Şarkikaraağaç Güneydoğusunun Karst Jeomorfolojisi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 76 s. (Yayımlanmamış)
- Koçak, İ., 2000. Kırkgöz kaynakları (Antalya) ve yakın çevresinin karst jeomorfolojisi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Fiziki Coğrafya Bilim Dalı, Doktora Tezi, 359 s (yayımlanmamış)
- Koçak, İ., 2003. Döşemealtı platosu kuzeybatısında (Antalya) karst-orman tahribatı ilişkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Burdur Eğitim Fakültesi Dergisi, 4(5), 129-146.
- Nazik, L., 1988. Beyşehir Gölü Yakın Güneyi Karst Jeomorfolojisi ve Karstik Parametrelerin İncelenmesi. Jeomorfoloji Dergisi, 14, 65-77.
- Nazik, L., 1992. Beyşehir gölü güneybatısı ile Kembos polyesi arasının karst jeomorfolojisi. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 298 s (yayımlanmamış)
- Öztaş, T., 1989. Mersin-Taşucu-Boğsak kaynağı ve dolayının karst hidrojeolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 138 s (yayımlanmamış)
- Poisson, A., 1977. Recherches géologiques dans les Taurides occidentales (Turquie). These d' Etat Univ., Aris sud (Orsay), No:1902, 795 s.
- Sweeting, M. M., 1973. Karst Landforms. The Macmillan Press. Ltd., London, 362 s.

- Şenel, M., 1984. Discussion on the Antalya nappes, Geology of the Taurus Belt, Proc. Int. Sym., O. Tekeli, and M. C. Göncüoğlu (eds), Ankara, 41-51.
- Şenel, M., 1997b. 1:250 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. No:4, Isparta Paftası, MTA Yayınları, Ankara, 47 s.
- Şenel, M., Kengil, R., Ünverdi, M., Serdaroğlu, M. ve Gözler, M. Z., 1981. Teke Toroslarının güneydoğusunun jeolojisi. MTA Dergisi, 95/96, 13-43.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z. R., Şen, A. M., Karaman, T., Dinçer, M. A., Durukan, E., Arbaş, A., Örcen, S. ve Bilgi, C., 1989. Çameli (Denizli) -Yeşilova (Burdur) - Elmalı (Antalya) ve dolayının jeolojisi. MTA Enstitüsü, Rapor No: 9429, Ankara, 344 s (yayınlanmamış)
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Afşar, Ö. P., Dalkılıç, H., Taner, K. ve Özgönül, E., 1986, Batı Torosların jeoloji raporu. MTA Enstitüsü, Rapor No: 7898, Ankara, 132 s (yayınlanmamış)

### EXTENDED SUMMARY

*Control of the structural features on formation and development of karren, small scale solution sculptures, is a noticeable feature. This characteristic is typically observed in the area to the east of Kızılörü Mountain (Northwestern part of Antalya) in Taurides (Figure 1) Jurassic-Cretaceous (Cenomanian) karstifiable neritic limestones of Beydağları Autochthonous outcrop in the area (Yalçınkaya et al., 1986; Şenel, 1997a, 1997b). Open weakness lines in limestones have been taken as a guide to determine the location at which more karren formed in the area. But, as the karren occurrence with karstic solution is formed by flowing slopes of waters the fracture control is not a characteristic every time.*

*Rillenkarrren (Figure 2) and rinnenkarrren formed by karstic solution while flowing of water on slopes are the linear karren formed under hydrodynamic control (Bögli, 1960; Güldalı, 1970, 1972; Jennings, 1971; Sweeting, 1973; Erinc, 2001) in the eastern part of Kızılörü Mountain. Fracture and bedding type karren (Figure 3) formed along fractures and bedding planes by karstification (Bener, 1965; Keser, 1996; Dayan ve diğ. 1999; Koçak, 2000, 2003), occur in this area. Solution pits (Figure 2, 4) formed by karstic solution at the conjunctions of weakness lines and solution pans represent circular plan karren (Sweeting 1973; Erinc, 2001). Solution pits and splitkarren are the dominant karren types. The formation of these two karren types depend on the fractures formed in rocks due to tektonic events.*

*The aim of this study is to reveal the diversity karren in which are found in karst having smaller size solution type and to show the relation these with the structural features. To show this by excluding karren related with weakness line, main development linear of other karren and deviations other fractures were measured, obtained data were evaluated by transferring into rose diagrams. In the study area, 110 measurements from solution pits and solution pans, 158 measurements from rillenkarrren and rinnenkarrren, 101 measurements from fractures have been carried out.*

*In the rose diagrams prepared (Figure 5), between the dominant direction of circular karren and orientation of primary and secondary fracture in the NE-SW directions a great harmony was observed. The relations between the primary and secondary dominant directions of the hydrodynamically controlled linear karren and dominant fracture orientations show the fact that is significantly weak. Solutions pits and solutions pans are in larger scale fracture controlled while rillenkarrren and rinnenkarrren have a hydrodynamically controlled formation and development mechanism. Furthermore, the obtained results*

## Türkiyede'ki Şişe Sularının Kimyasal İçerikleri ve Sağlık Açısından Değerlendirilmesi *Chemical Contents of Bottled Waters in Turkey and Their Evaluation According to the Health*

**Müfit Şefik DOĞDU**

*DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuyu Dairesi Başkanlığı, Etüt ve Değerlendirme Şubesi, 06100 Yücetepe Ankara (e-posta: mufitd@dsi.gov.tr)*

### ÖZ

Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de özellikle son yıllarda şişe suyu tüketiminde artış görülmektedir. Şişe suyu tüketimine paralel olarak çok sayıda firma ülkemizde, özellikle sanayinin geliştiği ve nüfusun fazla olduğu yerlerde, şişe suyu üretimine geçmişlerdir. Şu an Türkiye'de 180'nin üzerinde şişe suyu üreten firma yer almaktadır. Bu çalışmada şişe sularındaki fiziksel ve kimyasal parametreler istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Sularda yer alan ve kimi zaman limitleri aşan fiziksel ve kimyasal parametreler insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Şişe sularındaki kimyasal parametrelerin medyan değerleri Sağlık Bakanlığı tarafından belirlenmiş olan limit değerleriyle karşılaştırılmış ve bu limit değerleri aşan parametrelerle ilgili yorumlar yapılmıştır. Diğer taraftan insan vücudu için gerekli olan ve suda majör miktarda bulunan kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve sodyum (Na) iyonlarının şişe sularındaki derişimleri de istatistiksel olarak değerlendirilerek sağlık açısından yorumlanmıştır. Ülkemizdeki şişe ve musluk sularının Ca, Mg ve Na içerikleri Avrupa ve Kuzey Amerika şişe ve musluk suları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, şişe sularımızın anılan üç element açısından nispeten fakir, musluk sularımızın ise zengin olduğunu göstermiştir. Türkiye'deki şişe, musluk ve maden sularının günde 2 l'lik tüketimi ile vücudun ihtiyacı olan Ca (800 mg/gün) ve Mg (350 mg/gün) miktarının bu sulardan sırasıyla %2.5 Ca, %8.8 Ca, %35 Ca ve %1.4 Mg, %7.5 Mg, %33 Mg oranında karşılanabileceği anlaşılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** maden suyu, musluk suyu, sağlık, şişe suyu, Türkiye.

### ABSTRACT

*Increase in bottled water consumption in our country has been observed especially in last decade as in developed countries. A lot of firms have materialized the bottled water production particularly in the industrialized and overpopulated areas in Turkey with the high consumption of the bottled water. The number of bottled water production firm is over 180 in Turkey at present. In this study, physical and chemical parameters of the bottled waters have been evaluated according to the statistical characteristics. Physical and chemical parameters in the bottled water which are sometimes over the limits can negatively affect the human health. Median values of the bottled waters' chemical parameters have been compared with the limit values designated by The Ministry of Health and interpretations of the over limit parameters have been realized. On the other hand, concentrations of calcium (Ca), magnesium and sodium (Na) ions, which are present in the major amounts in the bottled water and necessary for the human body, evaluated statistically and interpreted from the point of health. Ca, Mg and Na contents of the bottled and*

*tap waters in Turkey have been compared with Europe and North America's bottled and tap waters. This comparison has showed that these three minerals contents of our bottled waters are poorer but, tap waters are richer than Europe and North America's. It is understood that recommended daily intake amount of Ca (800 mg/day) and Mg (350 mg/day) for the body can be obtained by the consumption of 2 liters per day from the bottled, tap and mineral water in Turkey in the range of 2.5% Ca, 8.8% Ca, 35% Ca and 1.4 % Mg, 7.5% Mg, 33% Mg, respectively.*

## GİRİŞ

Ülkemizde özellikle son yıllarda ticari amaçlı üretilen şişe suyu tüketimi artış göstermektedir. 1975'den 1995'li yıllara kadar şişe suyu üreten firma sayısı 90 civarındayken son on yılda bu sayı % 100'den fazla artarak 180'nin üzerine çıkmıştır. Yurdumuzda, genellikle sanayinin geliştiği ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde şişe suyu üreticisi sayısında artış gözlenmektedir. Sunulan bu çalışmada şişe sularındaki fiziksel ve kimyasal parametreler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu istatistiksel değerler, Sağlık Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan "İçilebilir Nitelikteki Suların İstihali, Ambalajlanması, Satışı ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik" de yer alan standartla karşılaştırılmıştır. Genellikle sulara major olarak bulunan üç ana katyon (kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve sodyum (Na)) sağlık açısından değerlendirilmiştir.

## METOT

Ülkemizde bir şişe suyunun ticari olarak piyasa sürülebilmesi için "İçilebilir Nitelikteki Suların İstihali, Ambalajlanması, Satışı ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik (Sağlık Bakanlığı, 1997)" de belirtilen şartları yerine getirmesi ve daha sonra Sağlık Bakanlığı (SB)'nden tesis ve işletme ruhsatı alması gerekmektedir. Bu çalışmaya konu olan şişe sularına ait

fiziksel ve kimyasal veriler SB'nden sağlanan işletme ruhsatlarından elde edilmiştir. SB tarafından 1975-2002 yılları arasında ruhsat verilen toplam 178 adet şişe suyuna ait analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Şişe suyu, içme suyu standartları, içme suyu kalitesi gibi anahtar kelimeler ile internet'te arama yapılarak bu incelemeye yol gösterici olabilecek literatüre ulaşılmaya çalışılmıştır. Bulunan çalışmalarda şişe sularının başlıca: Ca, Mg, Na vb. gibi **majör iyon içerikleri** (Feru, 2004; Ikem vd., 2002; Versari vd., 2002; Saleh vd., 2001; Azoulay vd., 2001; Aly ve Khan, 1999; Misund vd., 1999; Garzon ve Eisenberg, 1998); koliform, fekal koliform, aerobik koloni vb. gibi **mikrobiyolojik ve bakteriyolojik özellikleri** (Armas ve Sutherland, 1999; Nsanze ve Babarinde, 1999; Robles vd., 1999; Warburton vd., 1998); kadmiyum, berilyum, krom, bakır, çinko, demir, nikel, selenyum, vanadyum vb. gibi **iz element miktarları** (Araya vd., 2003; Saleh ve Doush, 1998; Nkono ve Asubiojo, 1997); toplam alfa, toplam beta, 226Ra, 222Rn, 210Pb, 234U, 238U vb. gibi **radyoaktivite değerleri** (Kralik vd., 2003; Skwarzec vd., 2003; Rangel vd., 2002; Duenas vd., 1999; Sanchez vd., 1999; Bohus vd., 1997; Duenas vd., 1997) ile **polisiklik aromatik hidrokarbonlar** (Yongjian ve Mou, 2003; Nawrocki vd., 2002) incelenmiştir. Sunulan bu çalışmada ise ülkemizdeki şişe suyu



analizlerine ait 32 parametrenin ve üç ana kationun (Ca, Mg ve Na) en az, en çok, ortalama, standart sapma ve medyan gibi istatistiksel parametreleri belirlenerek değerlendirilmiştir.

### ŞİŞE SUYU ÜRETİMİ ve BÖLGELERE GÖRE DAĞILIMI

Dünyada gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de şişe suyu talebi artmış ve son yıllarda üretici firma sayısı oldukça çoğalmıştır. İşletme ruhsatlarındaki tarihler dikkate alındığında özellikle son on yılda şişe suyu üreten firma sayısı iki kat artarak 2002 yılında 178'e ulaşmıştır (Şekil 1).

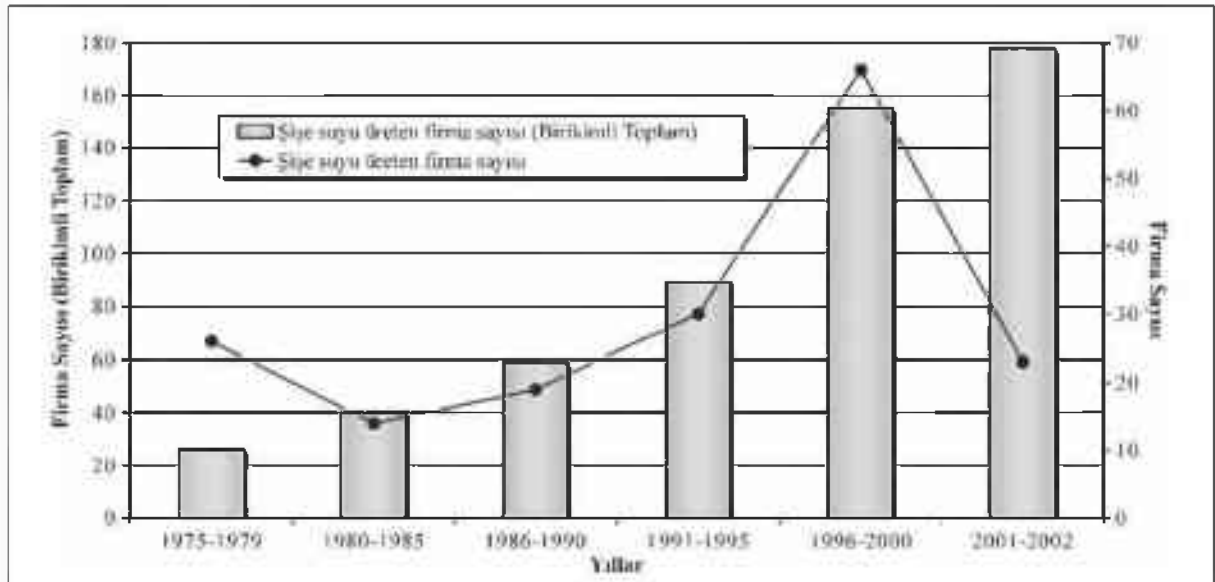
Yurdumuzda şişe suyu üretim yerleri genellikle sanayinin geliştiği ve nüfusun fazla olduğu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Üretici firmaların %82'si Marmara, Ege ve İç Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır.

Akdeniz ve Karadeniz Bölgelerinde bu oran %16'ya düşmektedir. Sanayinin az geliştiği ve nüfus yoğunluğunun nispeten daha az olduğu Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde ise üretici firmaların sadece %2'si bulunmaktadır (Şekil 2).

Coğrafi bölgeler içinde illere göre dağılım ise Marmara Bölgesi'nde İstanbul, Ege Bölgesi'nde İzmir ve İç Anadolu Bölgesi'nde Ankara ili gibi nüfusun fazla olduğu yerlerde firmaların yoğunlaştığını göstermektedir (Çizelge 1).

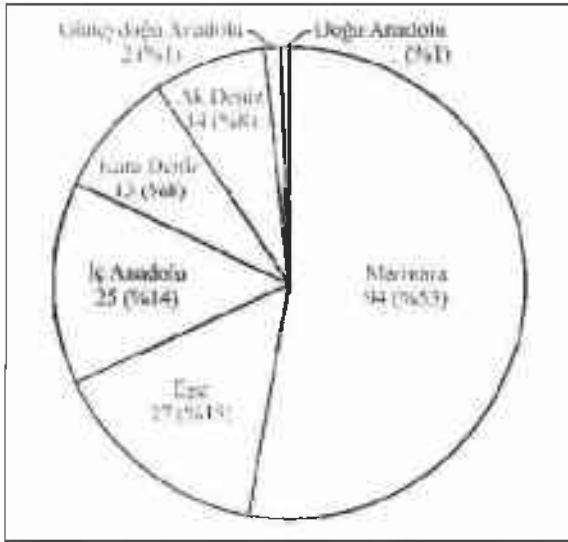
### ŞİŞE SUYU KİMYASAL İÇERİKLERİNİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMESİ ve SAĞLIK AÇISINDAN YORUMLANMASI

Şişe sularının kimyasal içeriklerinin değerlendirilmesinde Çizelge 2'de verilmiş olan parametreler kullanılmıştır.



Şekil 1. Şişe suyu üreten firma sayısının yıllara göre artışı.

Figure 1. Increasing of bottled water production firm's number according to years.



Şekil 2. Şişe suyu üreten firmaların coğrafi bölgelere göre dağılımı.

Figure 2. Distribution of the bottled water production firms according to geographical regions.

Parametrelerin sıralanışında Sağlık Bakanlığı standardı (SBS)'nda verilen sıralama dikkate alınmıştır. Bu sıralamada parametrelerin alabileceği en çok değerler:

- **Fiziksel özellikler** (renk, bulanıklık)

- **İstenmeyen maddeler** pH, klorür (Cl), sülfat (SO<sub>4</sub>), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), sodyum (Na), potasyum (K), alüminyum (Al), nitrat (NO<sub>3</sub>), nitrit (NO<sub>2</sub>), amonyak (NH<sub>4</sub>), demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), çinko (Zn), florür (F), organik madde için sarf edilen oksijen miktarı, bor (B) ve fenolik maddeler)

- **Zehirli maddeler** arsenik (As), kadmiyum (Cd), siyanid (Cn), krom (Cr), civa (Hg), nikel (Ni), kurşun (Pb), antimon (Sb), selenyum (Se), pestisit ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH))

- **Radyoaktivite miktarı** alfa ve beta vericiler ve

- **Mikrobiyolojik özellikler** jerm sayısı, toplam koliform ve E.Coli

başlıkları altında sunulmuştur. SB'ndan sağlanan işletme ruhsatlarının bir çoğunda mikrobiyolojik değerler bulunmadığından dolayı bu çalışmada suların mikrobiyolojik özelliklerine değinilmemiştir.

Şişe suyu analizlerinde yer alan kimyasal parametrelerin en az, en çok, ortalama standart sapma ve medyan gibi istatistiksel değerleri belirlenmiştir. Şişe sularındaki kimyasal parametrelerin dağılımı normal bir dağılıma uymadığı için parametrenin ortalama değerinin yanı sıra medyan değeri de hesaplanmıştır. İstatistiksel değerlendirmeye göre ilgili parametrenin en

Çizelge - 1

<b>Marmara</b>		<b>Karadeniz</b>	
İstanbul	51	Zonguldak	3
Bursa	14	Bozü	2
Sakarya	12	Düzce	2
Kocaeli	7	Ordu	2
Kırklareli	3	Samsun	2
Tekirdağ	3	Bartın	1
Balıkesir	2	Giresun	1
Çanakkale	1	Kastamonu	1
Edirne	1	Tokat	1
<b>Toplam ve yüzde</b>	<b>94 (%53)</b>	<b>Toplam ve yüzde</b>	<b>15 (%8)</b>
<b>Ege</b>		<b>Akdeniz</b>	
İzmir	11	Osmaniye	4
Aydın	8	Hatay	3
Afyon	3	Isparta	3
Balıkesir	1	Antalya	2
Denizli	1	Adana	1
Manisa	1	İçel	1
Muğla	1		
Uşak	1		
<b>Toplam ve yüzde</b>	<b>27 (%15)</b>	<b>Toplam ve yüzde</b>	<b>14 (%8)</b>
<b>İç Anadolu</b>		<b>Gneydoğu Anadolu</b>	
Ankara	16	Adıyaman	1
Eskişehir	2	Şanlıurfa	1
Kayseri	2	<b>Toplam ve yüzde</b>	<b>2 (%1)</b>
Konya	2		
Çorum	1	<b>Doğu Anadolu</b>	
Niğde	1	Elazığ	1
Yozgat	1	<b>Toplam ve yüzde</b>	<b>1 (%1)</b>
<b>Toplam ve yüzde</b>	<b>25 (%14)</b>		

Çizelge - 2

Parametre <sup>(1)</sup>	n <sup>(2)</sup>	En az	-	En çok	Ortalama ±Standart		Medyan	SBS'nü aşan şifre suyu sayısı	
					supma			SBS <sup>(3)</sup>	
Debi (l/sn)	169	0.04	-	800.00	Ağu.60	± 62.27	Oca.30		
pH (pH birimi)	176	May.60	-	Ağu.90	Tem.18	± 0.67	Tem.22	5.5-8.5	2
Renk (Pt/Co)	73	0.10	-	3.00	0.96	± 01.May	0.30	10	-
Bulanıklık (Jackson)	71	0.02	-	2.00	0.50	± 0.55	0.30	5	-
Klorür (Cl)	176	0.150	-	73.080	13.519	± 10.029	Eki.40	250	-
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	104	0.200	-	82.560	10.450	± 10.472	7.00	250	-
Kalsiyum (Ca)	134	0.480	-	97.100	16.197	± 15.372	10.Eki	100	-
Magnezyum (Mg)	132	0.012	-	17.400	3.566	± 3.366	Şub.50	50	-
Sodyum (Na)	130	0.040	-	50.000	8.214	± 8.789	Nis.99	175	
Potasyum (K)	119	0.005	-	11.200	2.075	± 2.273	Oca.38	12	
Alüminyum (Al)	84	0.002	-	0.380	0.024	± 0.042	0.01	0.2	1
Demir (Fe)	101	0.004	-	3.080	0.058	± 0.305	0.02	0.3	1
Mangan (Mn)	64	0.002	-	0.062	0.016	± 0.009	0.02	0.05	1
Bakır (Cu)	61	0.002	-	0.160	0.019	± 0.021	0.02	01.May	-
Çinko (Zn)	84	0.003	-	0.170	0.037	± 0.037	0.02	5	-
Florür (F)	154	0.006	-	1.000	0.178	± 0.181	0.11	01.May	-
Bor (B)	73	0.007	-	1.000	0.119	± 0.179	0.10	3	-
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	135	0.020	-	20.500	4.696	± 4.602	Mar.50	45 <sup>(6)</sup>	
Fenolik Madde	5	0.00001	-	0.8000	0.2670	± 0.4616	0.001	0.02	
OM(SOM <sup>(7)</sup> )	126	0.10	-	Oca.80	0.68	± 0.33	0.60	03.May	-
Arsenik (As)	57	0.0010	-	0.0100	0.0074	± 0.0037	0.010	0.01	
Kadmium (Cd)	48	0.0000	-	0.0050	0.0034	± 0.0015	0.003	0.003	18
Siyanid (Cn)	52	0.0001	-	0.0100	0.0035	± 0.0034	0.002	0.01	-
Krom (Cr)	56	0.0008	-	0.0500	0.0170	± 0.0096	0.020	0.05	-
Civa (Hg)	45	0.0001	-	0.0010	0.0008	± 0.0003	0.001	0.001	-
Nikel (Ni)	65	0.0020	-	0.1000	0.0170	± 0.0125	0.020	0.02	1
Kurşun (Pb)	50	0.0010	-	0.0100	0.0086	± 0.0028	0.010	0.01	
Antimon (Sb)	50	0.0005	-	0.0050	0.0036	± 0.0019	0.005	0.005	-
Selenyum (Se)	46	0.0010	-	0.0100	0.0086	± 0.0026	0.010	0.01	
PAH <sup>(4)</sup> (g/l)	37	0.0001	-	196.000	57.969	± 70.346	02.Mar	0.2	26
Alfa vericiler (pCi/l)	121	0.01	-	May.94	0.58	± 0.58	0.54	02.Tem	1
Beta vericiler (pCi/l)	121	0.05	-	Eyl.99	Oca.46	± Oca.39	01.Kas	27	

çok değerinin SBS'nı aşan değerleri ve kaç şişe suyunda aşıldığı belirlenmiştir (Çizelge 2). Bu değerlere göre estetik açıdan suyun kalitesini bozan ve birçok içme suyu standardında (bk. Ek Çizelge 1) ikincil standart (*uyulması zorunlu olmayan fakat önerilen standart değer*) olarak verilen pH, Al, Fe, Mn ve Ni sadece bir-iki şişe suyunda aşılmıştır. Bunun yanı sıra, SBS'nda zehirli maddeler başlığı altında verilen kadmiyum (Cd) ve polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) parametreleri sırasıyla 18 ve 26 şişe suyunda standartta belirtilen limit değerlerin (Cd<3.0 µg/l ve PAH<0.2 µg/l) üzerine çıkmıştır.

İnorganik kirleticilerden olan Cd insan faaliyeti sonucu su, hava ve toprağa geçebilmektedir. Elektrolizle metal kaplama işlemleri, bakır ve nikel metalurjisi, fosil yakıtların yakılması, oksidasyona dayanıklı alaşımlar, Ni-Cd piller, elektronik malzemeler, motor yağları, fotoğraf malzemeleri, cam, seramik, tarım ilaçları, fosfat gübreleri ve plastiklerin üretimi doğal yollar dışında çevreye Cd katılımına neden olmaktadır (McNeely vd., 1979; Hem, 1985). İçme sularındaki Cd derişim genellikle 1 µg/l'den azdır (WHO, 1996). İçme suyu standartlarında Cd için izin verilebilir en çok derişimi 0.003-0.005 mg/l arasında değişmektedir (bk. Ek Çizelge 1). Ağız yoluyla alınan ve insanlar için öldürücü doz 350-3500 mg'dır (WHO, 1996). Cd ve Cd bileşikleri solunum yoluyla alınırsa kanserojen özellik de gösterebilmektedir (IARC, 1987; WHO, 1996). Kadmiyum, sindirim ve solunum yolları aracılığı ile kolayca emilebilen, vücutta birikim yapan ve zehirlilik etkisi yüksek olan bir metaldir (McNeely vd., 1979; WHO, 1996). Vücut tarafından emilen Cd, kana geçer ve vücudun

belli bölgelerinde depolanır. Böbrekler ve karaciğer Cd'un depolandığı başlıca bölgelerdir (WHO, 1996) ve özellikle böbreklere hasar verebilmektedir (USEPA, 2002).

İçme suyu standartlarında izin verilebilir en çok derişimi 0.1-0.7 µg/l arasında değişen ve organik kirleticilerden olan PAH oldukça geniş bir grubu temsil etmektedir. Bu grup içinde sulara en yaygın bulunana benzo[a]pyrene'dir ve IARC (1987)'e göre olası kanserojen madde sınıfına girmektedir (WHO, 1996). Polisiklik aromatik hidrokarbon bileşikleri petrol ürünlerinde (asfalt, katran vb.) ve tamamen yanmamış fosil yakıtlarda bulunmaktadır. Su depolama tanklarının ve dağıtım hatlarının iç kaplama malzemelerinden suya geçebilmektedir (USEPA, 2002). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar üreme sorunlarına yol açabileceği gibi kanser riskini de arttırmaktadır (USEPA, 2002). Halojenli (Cl, Br, F) hidrokarbonlar özellikle merkezi sinir sistemini, böbrekleri ve bağırsak sistemini etkilemektedir (Bedient vd., 1994). Yukarıda verilmiş olan parametrelerin dışında daha birçok parametre için; parametrenin neden kaynaklanabileceği, en çok sınırı ve ne gibi rahatsızlıklara yol açabileceği gibi bilgiler ayrıntılı olarak WHO (1996)'da verilmektedir.

### ŞİŞE SULARININ Ca, Mg ve Na İÇERİĞİNİN SAĞLIK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şişe sularında bol miktarda (majör) bulunmalarından dolayı Ca, Mg ve Na kationlarının sağlık açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Şişe sularındaki bu majör kationların en az ve en çok derişimleri sırasıyla 0.48-97.1 mg/l-Ca,

Ek Çizelge - 1

	Sağlık Bakanlığı -1997	TS 266 -1997	USEPA -2002	FDA -2003	IBWA -2003	WHO -1996	GCDWQ -2003	EU -1998
<b>- Fiziksel Özellikler:</b>								
Renk (Pt/Co)	10	1	15 <sup>(1)</sup>	15	5	15 <sup>(1)</sup>	15 <sup>(1)</sup>	-2
Bulanıklık (NTU)	5	5	5	5	0.5	5 <sup>(1)</sup>	5 <sup>(1)</sup>	-2
<b>- İstenmeyen Maddeler:</b>								
pH	5.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5 <sup>(1)</sup>	-3	6.5-8.5	6.5-8.5 <sup>(1)</sup>	6.5-8.5 <sup>(1)</sup>	6.5-9.5 <sup>(1)(4)</sup>
Klorür (Cl)	250	30 <sup>(5)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	250	25 <sup>(5)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>	500 <sup>(1)</sup>	250 <sup>(1)</sup>
Kalsiyum (Ca)	100	100	-3	-3	-3	-3	-6	-3
Magnezyum (Mg)	50	30	-3	-3	-3	-3	-6	-3
Sodyum (Na)	175	20	-3	-3	-3	200 <sup>(1)</sup>	200 <sup>(1)</sup>	200 <sup>(1)</sup>
Potasyum (K)	12	12	-3	-3	-3	-3	-3	-3
Alüminyum (Al)	0.2	0.2	0.05-0.2 <sup>(1)</sup>	0.2 <sup>(1)</sup>	0.2 <sup>(1)</sup>	0.2 <sup>(1)</sup>	0.1 <sup>(1)</sup>	0.2 <sup>(1)</sup>
Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	45 <sup>(7)</sup>	25	10	10	10	50 <sup>(7)(8)</sup>	45 <sup>(7)</sup>	50 <sup>(7)(8)</sup>
Demir (Fe)	0.3	0.05	0.3 <sup>(1)</sup>	-3	0.3 <sup>(1)</sup>	0.3 <sup>(1)</sup>	0.3 <sup>(1)</sup>	0.2 <sup>(1)</sup>
Mangan (Mn)	0.05	0.02	0.05 <sup>(1)</sup>	0.05 <sup>(1)</sup>	0.05 <sup>(1)</sup>	0.5 <sup>(1)</sup>	0.05 <sup>(1)</sup>	0.05 <sup>(1)</sup>
Bakır (Cu)	01.May	0.1	1	1	1 <sup>(1)</sup>	2 <sup>(1)</sup>	1 <sup>(1)</sup>	2
Çinko (Zn)	5	0.1	5 <sup>(1)</sup>	5 <sup>(1)</sup>	5 <sup>(1)</sup>	3 <sup>(1)</sup>	5 <sup>(1)</sup>	-3
Florür (F)	01.May	0.7-1 <sup>(10)</sup>	2 <sup>(1)</sup>	1.4-2.4 <sup>(11)</sup>	1.4-2.4 <sup>(11)</sup>	1.5 <sup>(10)</sup>	1.5 <sup>(11)(12)</sup>	01.May
Organik madde için sarf								
edilen oksijen miktarı (BOİ)								
Amonyak (NH <sub>4</sub> )	0.05	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3
Bor (B)	3	1	-3	-3	-3	0.3	5 <sup>(1)</sup>	1
Nitrit (NO <sub>2</sub> -N)	0.05	0.1	1	1	1	3 <sup>(8)</sup>	03.Sub	0.5 <sup>(8)</sup>
Fenolik Maddeler	0.02	0.0005	-13	0.001 <sup>(14)</sup>	0.001 <sup>(14)</sup>	-13	-6	-3
<b>- Zehirli Maddeler:</b>								
Arsenik (As)	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01	0.025	0.01
Kadmiyum (Cd)	0.003	0.005	0.005	0.005	0.005	0.003	0.005	0.005
Siyanid (Cn)	0.01	0.05	0.2	0.2	0.1	0.07	0.2	0.05
Krom (Cr)	0.05	0.05	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
Civa (Hg)	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
Nikel (Ni)	0.02	0.05	-6	0.1	0.1	0.02	-3	0.02
Kurşun (Pb)	0.01	0.05	0.015 <sup>(9)</sup>	0.005	0.005	0.01	0.01	0.01
Antimon (Sb)	0.005	0.01	0.006	0.006	0.006	0.005	0.006	0.005
Selenyum (Se)	0.01	0.01	0.05	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01
Pestisit ve benzeri maddeler (Xg/l)	0.1	0.5 <sup>(15)</sup>	-13	-13	-13	-13	-13	0.5 <sup>(15)</sup>
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (Xg/l)	0.2	10	0.2 <sup>(16)</sup>	0.2 <sup>(16)</sup>	0.2 <sup>(16)</sup>	0.7 <sup>(16)</sup>	0.1 <sup>(16)</sup>	0.1 <sup>(17)</sup>
<b>- Radyoaktivite Miktarı:</b>								
Alfa vericiler (pCi/l)	2.7	1	15	15 <sup>(18)</sup>	15	2.7	2.7	3 <sup>(20)</sup>
Beta vericiler (pCi/l)	27	10	50	4 <sup>(19)</sup>	4 <sup>(19)</sup>	27	27	30 <sup>(20)</sup>

Ek Çizelge - 1

PARAMETRE	Sağlık Bakanlığı -1997	TS 266 -1997	USEPA -2002	FDA -2003	IBWA -2003	WHO -1996	GCDWQ -2003	EU -1990
<b>Mikrobiyolojik Özellikler:</b>								
<b>ermi sayısı</b>								
Kaynağından alınan suyun 1 ml'sinde 37°C ve 24 saat'de	20	4	3	3	3	3	3	3
Kaynağından alınan suyun 1 ml'sinde 20-22°C ve 72 saat'de	50	6	3	3	3	3	3	3
Piyasa kontrollerinde alınan suyun 1 ml'sinde 37°C ve 24 saat'de	100	20 <sup>(21)</sup>	3	3	3	3	3	20
Piyasa kontrollerinde alınan suyun 1 ml'sinde 20-22°C ve 72 saat'de	200	100 <sup>(21)</sup>	3	3	3	3	3	100
Toplam Koliform (100 ml'de)	0	0 < 1 <sup>(22)</sup>	3	3	0	0	0	0 <sup>(25)</sup>
E.Coli (100 ml'de)	0	0 < 1 <sup>(22)</sup>	0	< 3-4 <sup>(24)</sup>	0	0	0	0 <sup>(25)</sup>

**AÇIKLAMALAR:**

Aksi belirtilmediği sürece derişimler mg/l'dir. Parametre sıralaması Sağlık Bakanlığının "İçilebilir Nitelikteki Suların İstihali, Ambalajlanması, Satışı ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmeliği"nin Ek 3'ünde yer alan sıralamaya göre yapılmıştır. Yabancı kaynaklı standartlarda daha bir çok parametre yer almaktadır.

(1) İkincil standart (ikincil standartta uygulamaya yönelik herhangi bir zorlama yoktur), (2) Tüketicinin kabul edebileceği bir değer olmalı ve anormal değişim gözlenmemelidir, (3) Bu parametre ilgili standartta yer almamaktadır, (4) Şişelere veya kaplara konulan, doğal olarak kendiliğinden CO<sub>2</sub>'ce zengin veya suni olarak CO<sub>2</sub>'ce zenginleştirilmiş sulara minimum alt sınır, daha da indirilebilir, (5) Kaynak suları için verilen maksimum değerdir, (6) Herhangi bir sınır yoktur, (7) 10 mg/l NO<sub>3</sub>-N eşittir. NO<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub> aynı belirleniyorsa NO<sub>3</sub> 3.2 mg/l'yi geçmemelidir, (8) NO<sub>3</sub> ve NO<sub>2</sub> değerleridir ve [NO<sub>3</sub>]/50+[NO<sub>2</sub>]/3?1 olmalıdır, (9) Su örneklerinin %10'dan fazlasındaki değer limit değeri geçmemelidir. Limit değeri Cu için 1.3 mg/l, Pb için 0.015 mg/l'dir, (10) Limit değeri, ilgili coğrafik bölgedeki ortalama hava sıcaklığına göre değişmektedir. İlk değeri 8-12°C, ikinci değeri 25-30°C içindir, (11) Hava sıcaklığına göre değişmektedir, (12) Diş sağlığı açısından en uygun derişim 0.8-1.0 mg/l'dir, (13) İlgili standartta ayrı ayrı bir çok bileşik için limit vardır, (14) Toplam kazanılabilir fenoller (total recoverable phenolics) için limit değerdir, (15) Organik insektisit, herbisit ve fungusit vb. gibi maddeleri içeren toplam pestisit (total pesticides) değeridir. Ölçülen tek pestisit miktarı 0.1 µg/l'yi geçmemelidir, (16) PAH'lardan olan benzo(a)pyrene için verilen değerdir, (17) PAH'lardan olan benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(ghi)perylene ve indeno(1,2,3-cd)pyrene bileşiklerinin toplamı için verilen değerdir, (18) Bu değeri Radyum-226 aktivitesini de içermekte fakat Radon ve Uranyum aktivitesini içermemektedir, (19) millirem/yıl, (20) Bu standartta sadece trityum (2700 pCi/l) ve toplam belirtici doz (total indicative dose, 0.1 millirem/yıl=10 millirem/yıl) değerleri verilmiştir. ES (1970)'deki değerler alfa ve beta aktivitesi için sırasıyla 3 ve 30 pCi/l'dir, (21) Kapalı kap içerisinde sabit sıcaklıkta muhafaza edilen suda 12 saat içerisinde ölçülmelidir, (22) 37°C'de ve 100 ml sudaki değerdir. İlk değeri membran süzme metodu, ikinci değeri çoklu tüp metodu ile belirlenen değerdir, (23) Bir ayda analiz edilen örnek sayısının %5'inden fazlasında pozitif değerler olmamalıdır, (24) Birinci değeri çoklu tüp (multiple-tube) yöntemiyle belirlenmiştir ve birimi en olası sayıdır (MPN, most probable number). İkinci değeri membran süzme (membrane filter) yöntemiyle belirlenmiştir ve birimi koloni oluşturma birimidir (CFU, colony-forming units), (25) 250 ml'lik örnekte ölçülen değerdir.

0.01-17.4 mg/l-Mg ve 0.04-50.0 mg/l-Na'dur (Çizelge 3). Medyan değerleri ise 10.1 mg/l-Ca, 2.5 mg/l-Mg ve 4.9 mg/l-Na'dur. Majör katyonların frekans dağılımları, suların yaklaşık %50'sindeki bu katyonların derişimlerinin 0-10 mg/l-Ca, 0-2 mg/l-Mg ve 0-5 mg/l-Na arasında değiştiğini göstermiştir (Şekil 3) ki bu değerler ortalamadan çok medyan değerleri ile uyumludur.

Suda bol miktarda bulunan iyonik formdaki bu üç katyon mide ve bağırsak sistemi tarafından kolaylıkla emilebilmektedir. Bu yüzden sular, vücuda gerekli minerallerin sağlanması açısından oldukça önemlidir (Azoulay vd., 2001). Diyet komisyonlarınınca yapılan çalışmalar bir günde vücuda en az 800 mg-Ca ve 350 mg-Mg ve en çok 2400 mg-Na alınmasını önermektedir (Campese, 1994).

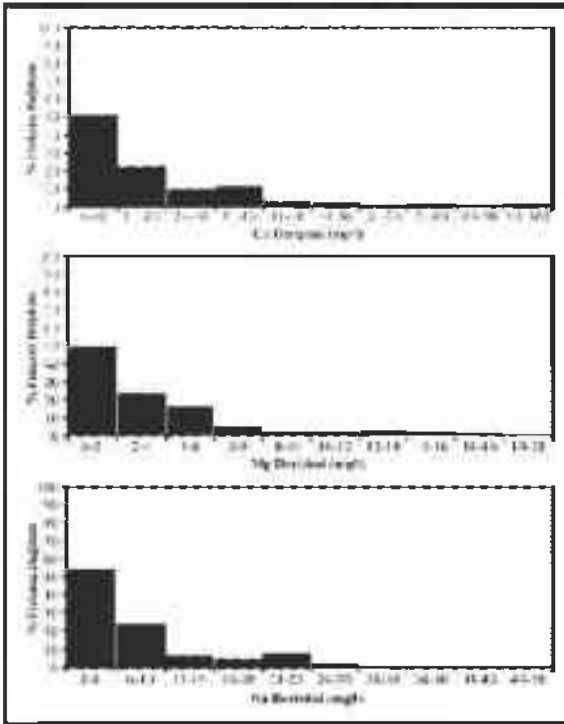
Çizelge - 3

Şişe Suyu Adı	Ca	Mg	Na	Şişe Suyu Adı	Ca	Mg	Na	Şişe Suyu Adı	Ca	Mg	Na
Akar	10.0	2.1	4.4	Geyikoğlu	26.9	13.4	7.9	Ovacık	4.0	2.4	14.0
Akasya	14.0	2.7	25.0	Gökpınar	42.0	1.1	0.6	Öz Haznedar	9.6	1.4	50.0
Akçat	1.6	0.3	17.5	Gümmüş	6.0	1.2	6.2	Öz Kariyer	36.0	4.1	7.4
Akdağ	15.6	4.6	2.3	Güneş Su	9.8	0.8	28.4	Özbirlik Şile	20.0	2.4	5.9
Akpınar	6.4	1.8	7.9	Gürpınar	50.1	3.6	9.2	Özçamlık	28.5	12.8	4.1
Altınbaş	51.5	17.4	0.9	Güvenpınar	16.8	5.1	27.4	Özgümüş	3.3	0.8	11.0
Altınçam	22.0	1.2	2.0	Güzelpınar	10.0	2.4	21.0	Özkayışdağı	6.0	2.1	10.6
Aqua Pack	5.8	4.7	-	Hamidiye Burgaz	14.0	6.1	21.8	Özkaynak	6.4	2.2	4.0
Aquafina	0.8	0.7	-	Hasuneş	16.8	1.7	2.0	Özlem Pınar	4.8	2.8	12.0
Aquanet	8.0	1.5	4.2	Hayat	51.0	9.0	2.3	Özpinar	13.2	2.4	30.0
Asya Su	12.8	4.9	3.9	Hazer Balaban	40.0	0.5	0.4	Özsu	4.1	1.3	20.9
Aysu	27.0	4.6	22.0	Hisar	11.6	3.4	13.6	Pan	19.2	11.9	18.5
Aytaç	31.0	-	4.5	Hünkar	3.9	1.0	0.5	Pınar Madran	3.1	1.1	2.0
Ayvaz	1.2	0.4	3.4	İnren	6.0	1.5	7.9	Pınar Şaşal	9.6	1.0	21.0
Bademli	3.7	0.8	0.0	İpekpınar	8.0	1.9	3.2	Revan	26.4	6.8	3.5
Bahçe Ayransu	6.0	2.5	8.0	İremsu	7.2	3.8	42.0	Şadırvan	14.3	5.1	23.0
Bahçeşar	28.0	10.8	4.2	Istranca	4.5	0.2	7.0	Sağlık	9.9	4.5	4.6
Başayran	12.8	13.9	3.1	İvriz	37.7	6.1	0.5	Sahra	39.0	16.0	4.0
Baykal	15.5	4.4	9.8	Kabalak	2.4	0.7	6.8	Sansu	2.7	3.3	1.7
Belgrad	6.4	1.9	15.8	Kalabak	5.6	1.2	3.7	Saray	9.8	1.2	5.8
Berrak Yayla	37.6	5.9	22.5	Karacadağ	21.2	6.5	6.3	Sarp	10.0	6.8	8.8
Beya Su	3.2	0.4	7.8	Karakulak	6.4	1.2	9.9	Şeker	12.0	5.1	10.5
Beysu	16.0	5.6	5.5	Kardan	15.9	4.2	8.8	Şerefiye	17.7	4.2	4.0
Billur Su	1.2	0.2	0.5	Kardelen	10.2	0.5	0.2	Sersu	40.1	4.1	1.6
Çağlar	36.5	15.8	1.5	Karlık	5.3	2.5	3.5	Surmakes	4.0	1.2	6.8
Çamhbel Nural	40.0	5.9	1.7	Kartepe Derbent	40.0	2.4	1.3	Sırmasu	0.9	0.0	3.9
Çamoluk	8.8	3.1	10.0	Kemer	12.8	4.1	11.2	Sultan	1.3	0.1	0.5
Canpınar	36.1	1.9	2.4	Kervansaray	7.2	2.8	2.0	Süral	32.0	2.8	1.1
Cansu Çoban	12.0	2.4	6.8	Kevser	6.0	3.1	4.4	Tatlıpınar	6.0	3.6	7.3
Cataltepe	9.6	1.7	5.0	Kirazlıyayla	12.6	3.1	6.0	Tekir	43.0	8.3	1.9
Çobanpınar	12.4	5.3	21.4	Kırkpınar	7.4	1.9	6.6	Topçam Madran	5.0	1.2	5.0
Çubuklu	7.4	1.6	9.7	Kızılıçık	3.9	1.3	5.0	Turkuaz	8.6	4.9	-
Dağdelen	0.8	0.9	2.6	Koçbey Aqua	8.0	2.5	2.7	Uludağ Damla	97.1	2.4	8.4
Dumlupınar	25.0	5.5	17.2	Komili	22.0	5.0	18.0	Watershop Su	34.0	3.6	1.2
Elmas	34.0	3.6	3.6	Korusu	1.2	0.5	4.2	Yalçınpınar	14.0	8.5	37.0
Emirdağ	20.0	1.2	4.0	Köyümsu	0.5	0.2	18.6	Yalı Su	44.0	1.5	2.4
Erikli	22.0	3.6	8.0	Kum	20.0	2.7	23.6	Yamanlar	8.9	3.1	5.6
Erikli	4.0	1.2	-	Kuzey	6.0	2.6	10.9	Yamanlar	14.3	3.6	2.5
Erikli Oba	6.8	1.5	2.0	Labranda	2.5	1.2	9.6	Yaşamsu	71.0	1.6	2.1
Er-su	39.5	5.6	1.3	Lido	2.5	0.5	0.9	Yeşilkaya	9.5	2.0	7.0
Esensu	6.0	6.8	1.2	Madran	2.8	-	1.7				
Fatsu	14.0	1.4	2.9	Mahmudiye	5.2	2.0	3.8		Ca	Mg	Na
Filiz	13.6	5.1	6.8	Minella	14.0	3.6	13.8	En az	0.48	0.01	0.04
Flora	22.2	4.7	0.8	Mis-Pak	6.8	1.7	10.0	En çok	97.10	17.40	50.00
Gecek	19.2	8.3	4.4	Nil Su	3.6	1.1	2.4	Ortalama	16.20	3.57	8.21
Genç	8.0	0.1	0.5	Nisa	28.1	3.9	4.4	Std. Sapma	15.40	3.37	8.79
Genç Su	28.9	6.3	0.6	Oruçoğlu	19.8	4.1	4.5	Medyan	10.10	2.50	4.99

Ca insan yaşamının tüm evrelerinde önemli olmasında karşın özellikle çocukluk döneminde, hamilelikte ceninin büyümesinde ve emzirmede önemli rol oynamaktadır. Ca vücutta en çok bulunan (Ca'un %99'u kemiklerde ve %1'i kanda) mineraldir. Ca kas kasılmasına yardımcı olmakla beraber, sinir tepkilerinin iletilmesinde ve hücre zarından iyon değişimi gibi süreçleri de düzenlemektedir

(Garzon ve Eisenberg, 1998). Klinik çalışmalar vücutta Ca alımı ile osteoporosis (bayanlarda menopoz döneminde Ca eksikliğine bağlı kemik incelmeleri ve kırılması) arasında ters bir ilişkinin bulunduğunu ortaya koymuştur (Heany vd., 1982). Bu yararlarının yanısıra Ca'un aşırı miktarda tüketimi böbrek taşı oluşumuna neden olabilmektedir. Birçok yiyecek ve süt gibi içeceklerde yüksek miktarda Ca





Şekil 3. Şişe sularındaki Ca, Mg ve Na derişimlerinin frekans dağılımı.

Figure 3. Frequency distribution of Ca, Mg and Na concentrations in bottled waters.

olmasına karşın, yüksek Ca içerikli bir mineralli su da yetişkinin ihtiyacı olan Ca'un 1/3'ünün karşılayabilmektedir (Heany and Dowell, 1994).

Vücudun günlük 800 mg Ca'a ihtiyacı olduğu kabul edilerek ve günde 2 l suyun tüketildiği varsayımından hareketle, ülkemizdeki şişe sularının Ca derişimlerinin ortalama ve medyan değerleri (sırasıyla 16.2 ve 10.1 mg/l-Ca, bk. Çizelge 3), aşağıda verilen örnek hesaplamada anlaşılacağı üzere gibi, bu ihtiyacın %2.5-4'nün şişe suyundan sağlanabileceğini göstermektedir.

#### Örnek Hesaplama:

$Ca_{\text{ihtiyacı}} = 800 \text{ mg/gün}$ ,  $Ca_{\text{ort}} = 16.2 \text{ mg/l}$ , Su tüketimi = 2 l/gün

Su tüketimi ile vücuda sağlanan Ca miktarı =  $16.2 \text{ mg/l} * 2 \text{ l/gün} = 32.4 \text{ mg/gün}$

Su tüketimi ile günlük ihtiyacın karşılanma %'si =  $32.4 \text{ mg/gün} * 100 / 800 \text{ mg/gün} = \%4$

Aynı miktarda musluk suyu tüketimi ile Ca derişim ortalaması ve medyan değeri sırasıyla 44.3 ve 34.9 mg/l-Ca olan İstanbul içme suyundan (Çizelge 4) %9-11 oranında Ca ihtiyacı karşılanabilmektedir. Yine ortalama ve medyan değeri 189 ve 140 mg/l-Ca (Çizelge 5) maden suyu tüketimi ile de vücut için gerekli Ca ihtiyacının %35-47'si sağlanabilmektedir. Şişe sularımızdaki Ca derişimleri yurt dışındakilerle karşılaştırıldığında ülkemizdeki şişe sularının Ca açısından nispeten fakir olduğu gözlenmekle beraber, bu durumun tersine musluk sularımızın Ca içerikleri nispeten daha zengindir (Çizelge 4).

Mg, K'dan sonra vücutta hücre içerisinde en çok bulunan katyondur. Yine klinik çalışmalar vücuda Mg alımı ile kalp hastalıkları arasında ters bir ilişki olduğunu göstermiştir (Marx ve Neutra, 1999). Kalp-damar hastalıklarından ölüm oranı, yumuşak suların (düşük Ca ve Mg içerikli sular) bulunduğu bölgelerde sert suların (yüksek Ca ve Mg içerikli sular) bulunduğu bölgelere kıyasla %10-30 daha fazla olmaktadır (Garzon ve Eisenberg, 1998). Mg vücuda başlıca kabuklu yemişler, yeşil yapraklı bitkiler, hububat, deniz canlıları gibi yiyecekler aracılığı ile alınmaktadır (Garzon ve Eisenberg, 1998). Bunların yanı sıra sudaki Mg bağırsak ve mide sistemi tarafından, yiyeceklerdekine oranla yaklaşık %30 daha hızlı vücuda emilebilmektedir (Durlach, 1989).

Vücudumuzun günlük Mg ihtiyacı 350 mg'dır. Bu ihtiyaç, yukarıda Ca için bahsedilen hesaplamaya benzer olarak, günde 2 l şişe suyu tüketimi ile %1-2

Çizelge - 4

	Kalsiyum (Ca)	Magnezyum (Mg)	Sodyum (Na)
<b>Günlük Önerilen Miktar (mg/gün) <sup>(1)</sup></b>			
1-3 yaş	500	80	Önerilen en çok miktar 2400-3000 mg/gün'dür.
4-8 yaş	800	130	
9-18 yaş	1300	240-410	
19-50 yaş	1000	310-420	
Yaş>50	1200	320-420	
Ortalama	800	350	
<b>Kuzey Amerika Şişe Suları <sup>(2)</sup></b>			
Ort. Std. Sapma (mg/l)	1822	818	44
Medyan (mg/l)	6	3	4
Aralık (mg/l)	0-76	0-95	0-15
<b>Avrupa Şişe Suları <sup>(3)</sup></b>			
Ort. Std. Sapma (mg/l)	6040	1619	1313
Medyan (mg/l)	54	14	9
Aralık (mg/l)	4-145	1-110	1-56
<b>Türkiye Şişe Suları</b>			
Ort. Std. Sapma (mg/l)	16.215.4	3.573.37	8.218.79
Medyan (mg/l)	10.1	2.5	4.9
Aralık (mg/l)	0.5-97.1	0-17.4	0-50
<b>Kuzey Amerika Musluk Suyu <sup>(3)</sup></b> (yüzey suyundan üretilen)			
Ort. Std. Sapma (mg/l)	3421	108	3541
Medyan (mg/l)	36	8	18
Aralık (mg/l)	2-83	0-29	0-169
<b>İstanbul Musluk Suyu <sup>(3)</sup></b> (yüzey suyundan üretilen)			
Ort. Std. Sapma (mg/l)	44.316.1	13.271.8	20.79.3
Medyan (mg/l)	34.9	13.1	19.3
Aralık (mg/l)	28.6-65.6	12.0-15.2	7.9-38.5
<b>Ankara Musluk Suyu <sup>(3)</sup></b> (yüzey suyundan üretilen)			
Ort. Std. Sapma (mg/l)	36.916.6	8.93.7	8.21.4
Medyan (mg/l)	36.9	8.9	8.2
Aralık (mg/l)	25.3-48.7	6.3-11.5	7.2-9.2

**Açıklamalar:** (1) Değerler Azoulay (2001)'dan alınmıştır, (2) Değerler İSKİ (2004) Büyük Çekmece, İkitelli, Kağıthane, Ömerli (Emirli), Ömerli (Mur.-Orhaniye), Elmalı, Ömerli (Osmaniye) tasfiye tesisleri genel çıkışları ortalama kalite değerlerini gösteren İstanbul su kalitesi Ocak-2004 raporundaki verilerden hesaplanmıştır, (3) Değerler ASKI (2003) İvedik ve Pursaklar arıtma tesisleri çıkışı ortalama değerlerini gösteren Ankara içme suyu kalitesi verilerinden (Kasım-2003) hesaplanmıştır.

oranında karşılanabilmektedir. Musluk suyu tüketimi dikkate alındığında vücut için gerekli Mg miktarının %7-8'i, maden suyu dikkate alındığında ise %33-49'u bu suların elde edilebilmektedir. Mg açısından yurtdışı şişe sularının içerikleri ülkemizdeki şişe sularınınkinden yüksektir (Çizelge 4). Fakat

Ca benzer olarak, musluk sularımızdaki Mg miktarı yurtdışındakilere oranla yüksektir.

Na vücutta hücre dışında en bol bulunan katyondur ve hücre dışı akışkanının geçişini sağlamaktadır. Vücutta asit-baz dengesini sağlamanın yanı sıra sinir tepkilerinin iletilmesinde de önemli bir işlevi vardır. Bir

çok araştırma vücuda yüksek miktarda Na alımının hipertansiyona yol açtığını göstermiştir. Vücuda Na alımının 1500-1700 mg/gün'e düşürülmesiyle büyük tansiyonun 4-6 mmHg, küçük tansiyonun 2.3 mmHg gerilediği belirlenmiştir (Garzon ve Eisenberg, 1998). Peynir, ekmek, tahıl ve süreçten geçirilen korumalı yiyeceklerde bol miktarda Na bulunmaktadır (Heany vd., 1982; MacGregor, 1985). Bazı yüksek Na derişimli sular, özellikle Na diyeti yapması gereken hastalarda bireysel olarak olumsuz etkilere yol açabilmektedir.

Ca ve Mg için verilen günlük en az limitin aksine vücudumuz için günlük Na tüketim miktarının 2400 mg'ı geçmemesi önerilmektedir. Genelde şişe ve musluk sularımızdaki Na miktarı ile bu limiti aşmak zaten mümkün değildir. Günlük 2400 mg'lık limitin şişe suyu ile %0.5-1'i, musluk suyuyla ise %1.5-2'si doldurulabilmektedir. Maden sularındaki Na derişiminin ortalama ve medyan değerleri (Çizelge 5) ve 2 l'lik tüketimi dikkate alındığında, vücuda alınan Na miktarı limitin %19-46'sı kadar olmaktadır. Özellikle maden sularının kullanımı ile vücuda alınan Na miktarı azımsanamayacak kadar çoktur. Bu yüzden, Na diyeti yapan kişilerin maden suyundan çok miktarda alabilecekleri bu minerale sıhhatleri açısından dikkat etmeleri gerekmektedir. Avrupa şişe sularındaki Na

miktarı Türkiye'dekilerine oranla yüksektir (Çizelge 4). Benzer olarak, musluk suyundaki Na oranı da yüksektir. Bu durum ülkemizde Na diyeti yapan kişiler için olumludur.

#### Diğer Mineraller

Şişe suları vücut için oldukça önemli işlevleri olan eser miktarda diğer mineralleri de içerebilirler. Örnek olarak: Cr, kandaki kolesterol ve yağ asidi seviyesini düşürebilir; Cu, hemoglobin oluşumunda rol oynayabilir; Zn, bağışıklık sisteminin uygun çalışmasında ve vücut dokusunun iyileşmesinde yararlı olabilmektedir. Bununla birlikte, genelde iz elementlerin şişe sularında eser miktarda bulunmaları nedeniyle bu minerallerin vücuda alımı başka yollardan (diğer gıda-ıceceklerden ve vitaminlerden) daha yüksek oranlarda olmaktadır (Garzon ve Eisenberg, 1998).

#### SONUÇ

Son yıllarda ülkemizdeki şişe suyu tüketimi oldukça artmıştır ve bu gelişmeye paralel olarak şişe suyu üreten firma sayısı da hızlı bir yükselişle 2002'de 178'e ulaşmıştır. Bu firmalar genellikle sanayinin geliştiği ve nüfusun fazla olduğu bölgelerde yer almaktadır.

Suların İşletme ruhsatlarındaki kimyasal analiz bilgileri dikkate alındığında, SB'nın standardında zehirli maddeler başlığı altında verilmiş olan kadmiyum (Cd) ve polisiklik

Çizelge - 5

Parametre*	Kalsiyum (Ca)	Magnezyum (Mg)	Sodyum (Na)
OrtalamaStd. Sapma	189114	8691	555664
Medyan	140	57	223
EnAz	88	9	2
EnÇok	421	372	1890

\*: Bu istatistiksel parametreler, Sağlık Bakanlığı'ndan elde edilen 14 adet maden suyunun işletme ruhsatlarındaki kimyasal analiz sonuçlarından hesaplanmıştır.

aromatik hidrokarbon (PAH) çok sayıda şişe suyunda (sırasıyla 18 ve 26 adet) standartta belirtilen limit değeri aşmış olduğu anlaşılmaktadır. Bu tip suların uzun süreli kullanımları böbrek ve sindirim sorunlarına yol açabileceği gibi kansere yakalanma riskini de arttırmaktadır.

Şişe sularında bol miktarda bulunan ve şişe sularımızdaki medyan miktarları sırasıyla 10.1, 2.5 ve 4.9 mg/l olan Ca, Mg ve Na iyonları Avrupa şişe sularındakine oranla düşüktür. Bu durumun aksine bu iyonların musluk sularındaki derişimleri nispeten yüksek olup vücut için gerekli miktarın bir kısmının daha kolay olarak bu sulardan sağlanması mümkün görünmektedir. Araştırmalar Mg eksikliğinin kalp-damar, Ca eksikliğinin ise osteoporosis hastalığına ve Na fazlalığının ise yüksek tansiyona yol açtığını göstermiştir. Bu yüzden içme suyu seçiminde yüksek Ca ve Mg'lu, düşük Na'lu suların tercih edilmesi sağlık açısından yararlı olacaktır. Bir yetişkinin günde 2 l su tüketimi ile vücut için gerekli Ca ve Mg miktarının ülkemizdeki şişe sularından sırasıyla %3 Ca ve %1.5 Mg, musluk sularından ise %9 Ca ve %8 oranında Mg sağlanması mümkündür. Aynı miktarda maden suyu tüketimiyle de vücuda gerekli Ca ve Mg miktarının sırasıyla %35'i ve %32'si karşılanabilmektedir. Ülkemizdeki şişe ve musluk sularındaki Na içeriklerinin nispeten düşük olması yüksek tansiyon hastaları için bir avantajdır. Ancak, bu tür hastalığı bulunanların doğal sulara oranla daha fazla miktarda Na içeren maden sularının tüketiminde daha dikkatli ve seçici olması gerekmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmaya konu olan şişe sularının kimyasal analiz sonuçlarını içeren ve Sağlık Bakanlığı'nca verilen işletme ruhsatlarından yararlanılmasını sağlayan Sağlık Bakanlığı Sağlık Eğitimi Genel Müdürlüğü Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Gıda Güvenliği ve Araştırma Müdürlüğü'nden Gıda Mühendisi Serdar Alp SUBAŞI'na ve Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü Çevre Sağlığı Daire Başkanlığı Su Güvenliği Şube Müdürlüğü'nden Şenol YILMAZ'a ve ayrıca makaleye yapıcı ve değerli eleştirileriyle katkı sağlayan hakemler Prof. Dr. Hasan YAZICIGİL ve Prof. Dr. Fikret KAÇAROĞLU'na teşekkür eder.

## YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Aly, A.I.A. ve Khan, M.A., 1999. Chemical composition of bottledwater in Saudi Arabia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 54: 173-189.
- Araya, A., Chen, B., Klevay, L.M., Strain, J.J., Johnson, L.A., Robson, P., Shi, W., Nielsen, F., Zhu, H., Olivares, M., Pizarro, F. ve Haber, L.T., 2003. Confirmation of an acute no-observed-adverse-effect and low-observed-adverse-effect level for copper in bottled drinking water in a multi-site international study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 38: 389-399.
- Armas, A.B. ve Sutherland, J. P., 1999. A survey of the microbiological quality of bottled water sold in the UK and changes occurring during storage. *International Journal of Food Microbiology*, 48: 59-65.
- ASKİ, 2003. Ankara Büyükşehir Belediyesi Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi (ASKİ), Ankara İçme Suyu Kalitesi Ortalama Değerleri (Kasım 2003), <http://www.aski.gov.tr>.

- Azoulay, A., Garzon, P. ve Eisenberg, M.J., 2001. Comparison of The Mineral Content of Tap Water and Bottled Waters. *Journal of General Internal Medicine*, 16: 168-175.
- Bedient, P.B., Rifai, H.S. ve Newell, C.J., 1994. *Ground Water Contamination: Transport and Remediation*. Prentice Hall Inc., New Jersey, 542 s.
- Bohus, L.S., Gomez, J., Capote, T., Greaves, E. D., Herrera, O., Salazar, V. ve Smith, A., 1997. Gross alpha radioactivity of drinking water in Venezuela. *Journal of Environmental Radioactivity*, 35: 305-312.
- Campese, V.M., 1994. Salt sensitivity in hypertension renal and cardiovascular implications. *Hypertension*, 23: 531-550.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Liger, E. ve Carretero, J., 1997. Natural radioactivity levels in bottled water in Spain. *Water Research*, 31: 1919-1924.
- Duenas, C., Fernandez, M.C., Carretero, J., Liger, E. ve Canaete, S., 1999. 226Ra and 222Rn concentrations and doses in bottled waters in Spain. *Journal of Environmental Radioactivity*, 45: 283-290.
- Durlach, J., 1989. Recommended dietary amounts of magnesium: Mg RDA. *Magnesium Res.*, 2: 195-203.
- ES (European Standards), 1970. *European Standards for Drinking-Water*. 2nd ed., Distributed by the Regional Office for Europe, World Health Organization, Geneva, 56 s.
- EU (European Union), 1998. Council Directive 98/83/EC on The Quality of Water Intended for Human Consumption. Consolidated Text produced by the Consleg System of the Office for Official Publications of the European Communities (Consleg: 1998 10083-25/12/1998), OJ1330, 25 s.
- FDA (Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services), 2003. *The Code of Federal Regulations (CFR), CFR21-Food and Drugs, Part 165-Beverages Sec. §165.110: Bottled Water*, Vol. 2, U.S. Government Printing Office, Revised as of April 2003. <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm>.
- Feru, A., 2004. Bottled natural mineral waters in Romania. *Environmental Geology*, Published online: 3 March 2004, DOI: 10.1007/s00254-004-1006-3.
- Garzon, P. ve Eisenberg, M.J., 1998. Variation in the mineral content of commercially available bottled waters: implications for health and disease. *The American Journal of Medicine*, 105: 125-130.
- GCDWQ (Guidelines for Canadian Drinking Water Quality), 2003. *Summary of Guidelines for Canadian Drinking Water Quality*, Prepared by the Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Environmental and Occupational Health, 10 s. <http://www.hc-sc.gc.ca/hecs-sesc/water>.
- Heany, R.P., Gallagher, J.C. ve Johnston, C.C., 1982. Calcium nutrition and bone health in the elderly. *Am. J. Clin. Nutr.*, 36: 986-1013.
- Heany, R.P. ve Dowell, M.S., 1994. Absorbability of the calcium in a high-calcium mineral water. *Osteoporos Int.*, 4: 323-324.
- Hem, J.D., 1985. *Study and Interpretation of The Chemical Characteristics of Natural Water*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, U.S. Geological Survey, Alexandria, VA 22304, USA, 263 s.
- IARC (International Agency for Research on Cancer), 1987. *Overall Evaluation of Carcinogenicity: An Updateing of IARC Monographs Vol. 1-42*, Lyon.
- IBWA (International Bottled Water Association), 2003. *Model Bottled Water Regulation*, 23 s., <http://www.bottledwater.org>.
- Ikem, A., Oduyungbo, S., Egiebor, N.O. ve Kafui N., 2002. Chemical quality of bottled waters from three cities in eastern Alabama. *The Science of the Total Environment*, 285: 165-175.

- İSKİ, 2004. İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ), Ocak-2004 Su Kalitesi Raporu. [http://www.iski.gov.tr/dosya/su\\_kalite/sukalite\\_ocak2004t.pdf](http://www.iski.gov.tr/dosya/su_kalite/sukalite_ocak2004t.pdf).
- Kralik, C., Friedrich, M. ve Vojir, F., 2003. Natural radionuclides in bottled water in Austria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 65: 233-241.
- MacGregor, G.A., 1985. Sodium is more important than calcium in essential hypertension. *Hypertension*, 7: 628-637.
- Marx, A. ve Neutra, R.R., 1999. Magnesium in drinking water and ischemic heart disease. *Epidemiol Rev.*, 19: 258-272.
- McNeely, R.N., Neimanis, V.P. and Dwyer, L., 1979. Water Quality Sourcebook-A guide to Water Quality Parameters. Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada, 88 s.
- Misund, A., Frengstad, B., Siewers, U. ve Reimann, C., 1999. Variation of 66 elements in European bottled mineral waters. *The Science of the Total Environment*, 243/244: 21-41.
- Nawrocki, J., Dabrowska, A. ve Borcz, A., 2002. Investigation of carbonyl compounds in bottled waters from Poland. *Water Research*, 36: 4893-4901.
- Nkono, N.A. ve Asubiojo, O.I., 1997. Trace elements in bottled and soft drinks in Nigeria-preliminary study. *The Science of the Total Environment*, 208: 161-163.
- Nsanze, H. ve Babarinde, Z., 1999. Microbiological quality of bottled drinking water in the UAE and the effect of storage at different temperatures. *Environment International*, 25: 53-57.
- Rangel, D.J.I., Rio, H.L., Garcia, F.M., Torres, L.L.Q., Villalba, M.L., Sujo, L.J. ve Cabrera, M.E.M., 2002. Radioactivity in bottled waters sold in Mexico. *Applied Radiation and Isotopes*, 56: 931-936.
- Robles, E., Ramirez, P., Gonzalez, E., Sainz, M.A., Martinez, B., Duran, A. ve Martinez, M.A.E., 1999. Bottled-water quality in metropolitan Mexico City. *Water, Air, and Soil Pollution*, 113: 217-226.
- Sağlık Bakanlığı, 1997. İçilebilir Nitelikteki Suların İstihali, Ambalajlanması, Satışı Ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik. 22 s., 18.10.1997 tarihli ve 23144 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. [http://www.saglik.gov.tr/sb/extras/mevzuat/yt\\_su\\_guv\\_degisik.pdf](http://www.saglik.gov.tr/sb/extras/mevzuat/yt_su_guv_degisik.pdf).
- Saleh, I.A. ve Doush, I.A., 1998. Survey of trace elements in household and bottled drinking water samples collected in Riyadh, Saudi Arabia. *The Science of the Total Environment*, 216: 181-192.
- Saleh, M.A., Ewane, E., Jones, J. ve Wilson, B.L., 2001. Chemical evaluation of commercial bottled drinking water from Egypt. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14: 127-152.
- Sanchez, M.A., Montero, M.P.R., Escobar, V.G. ve Vargas, M.J., 1999. Radioactivity in bottled mineral waters. *Applied Radiation and Isotopes*, 50: 1049-1055.
- Skwarzec, B., Struminska, D.I. ve Borylo, A., 2003. Radionuclides of <sup>210</sup>Po, <sup>234</sup>U and <sup>238</sup>U in drinking bottled mineral water in Poland. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 256: 361-364.
- TS 266, 1997. Sular-İçme ve Kullanma Suları Standardı. Birinci Baskı, G.T.İ.P. 2201.90.00.00.11, ICS 13.060.20, 25 s., Türk Standardları Enstitüsü (TSE) - Necatibey Cad. No:112-Bakanlıklar, Ankara.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2002. 2002 Edition of The Drinking Water Standards and Health Advisories. EPA 822-R-02-038, Office of Water, Washington DC., 19 p. <http://www.epa.gov/waterscience/drinking/standards/dwstandards.pdf>.

- Versari, A., Parpinello, G.P. ve Galassi, S., 2002. Chemometric survey of italian bottled mineral waters by means of their labelled physico-chemical and chemical composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15: 251-264.
- Warburton, D., Harrison, B., Crawford, C., Foster, R., Fox, C., Gour, L. ve Krol, P., 1998. A further review of the microbiological quality of bottled water sold in Canada: 1992-1997 survey results. *International Journal of Food Microbiology*, 39: 221-226.
- WHO (World Health Organization), 1996. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 2nd ed. Vol. 2., Health criteria and other supporting information, Geneva, 973 s.
- Yongjian, L. ve Mou, S., 2003. Simultaneous determination of trace level bromate and chlorinated haloacetic acids in bottled drinking water by ion chromatography. *Microchemical Journal*, 75: 79-86.



## Petrol Türevleri Tarafından Kirlenmiş Akiferlerde Uygulanan Yerinde İyileştirme Teknolojileri

*In-Situ Remediation Technologies Applied for Petroleum Hydrocarbon Contaminated Aquifers*

**Cüneyt GÜLER, Musa ALPASLAN**

*Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy Kampüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 33343 Mersin*

*e-posta: cguler@mersin.edu.tr, malpaslan@mersin.edu.tr*

### ÖZ

Yaşamımız için gerekli olan enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşıladığımız petrol türevlerinin, kaza ve sızıntı gibi nedenlerle oluşturduğu yeraltı suyu kirlilikleri, gerek insan gerekse çevre sağlığı açısından çok ciddi sorunlar doğurmaktadır. Temelde iki ana gruba ayrılan petrol türevlerinden birincisi, suda yüzen ve hafif susuz faz sıvılar olarak adlandırılan bileşenlerdir. İkincisi ise, sudan daha yoğun olan ve ağır susuz faz sıvılar olarak adlandırılan petrol türevleridir. Hafif faz sıvıların oluşturduğu kirlilikler ağır susuz faz sulara göre göreceli olarak daha kolay bir şekilde temizlenebilirken, ağır susuz faz suların temizlenmesi için daha karmaşık temizleme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Akiferin suya doygun ve doygun olmayan zonlarında oluşabilen petrol türevi kirliliklerinin temizlenmesi amacıyla geliştirilen çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olanları; gaz enjeksiyonu, toprak gazı ekstraksiyonu, yönlü kuyular, kuyu içi havalandırma, ikili faz ekstraksiyonu, kimyasal oksidasyon, termal iyileştirme, çatlak geliştirme ve geçirgen reaktif bariyer yöntemleridir. Temizleme işleminin etkin bir şekilde yapılabilmesi için, herhangi bir yöntem uygulanmadan önce yapılacak en önemli şey akifer ve kirliletiçi karakteristiklerinin ve kirliletiçi yayılımının belirlenmesi olmalıdır. Her bir yöntem, kirlenmiş akifer özelliklerine göre belirli avantajlar içerirken, yine akiferin özelliklerine bağlı olarak her birinin belirli dezavantajları da bulunmaktadır. Bundan dolayı, petrol kirliliği gözlenen akiferlerde çoğu zaman tek bir yöntem yerine iki veya daha fazla yöntemin birlikte uygulanması daha etkin bir temizleme sağlamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Akifer, Kirlilik, Petrol, Vadoz zon.

### ABSTRACT

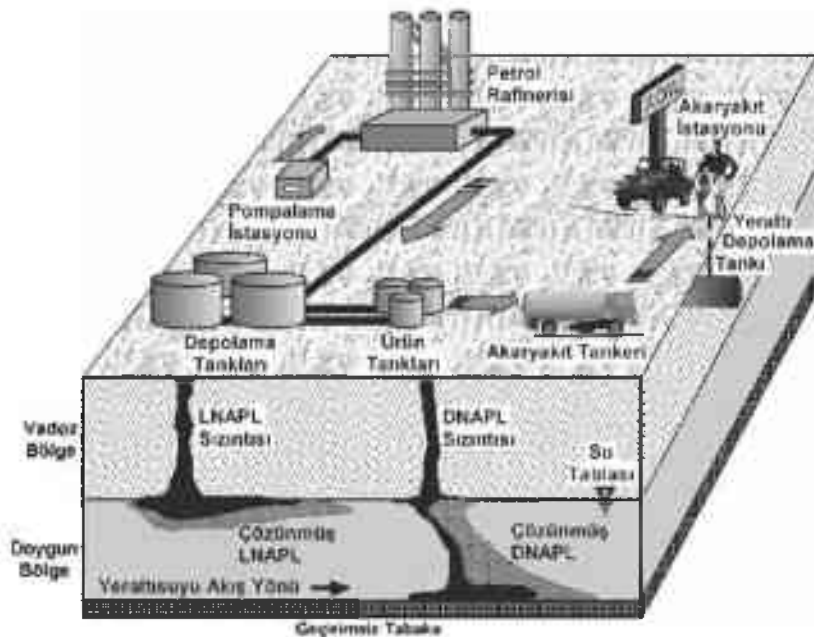
*Petroleum hydrocarbons are used to meet a big portion of energy demand that is needed to sustain the human life. Accidental release and leakage of petroleum hydrocarbons may cause groundwater contamination and can have extremely serious consequences from both human and environmental health perspectives. Basically, petroleum hydrocarbons can be divided in two major groups. First group is called light non-aqueous phase liquids which float on water. Second group of petroleum hydrocarbons is called dense non-aqueous phase liquids and they are denser than water. Contaminations caused by light non-aqueous phase liquids can be relatively more easily remediated when compared to dense non-aqueous phase liquids and contaminations caused by dense non-aqueous phase liquids generally require application of more complex remediation technologies. There are different methods exist for the remediation of petroleum hydrocarbon contamination in the saturated and unsaturated zones of the aquifers. Among these, most frequently used ones are; gas/air injection, soil vapor/gas extraction, directional wells,*

*in-well aeration, dual phase extraction, chemical oxidation, thermal treatment, fracturing enhancement and permeable reactive barrier technologies. Before the application of any method, the most important thing to do is to define aquifer and contaminant characteristics and spatial extent of the contaminant for an effective treatment process. Each one of these methods has several advantages and disadvantages that are resulted directly from properties of the contaminated aquifers. For this reason, in the petroleum hydrocarbon contaminated aquifers generally not a single method is used but a combination of two or more methods are applied for a more effective treatment.*

## GİRİŞ

Kullandığımız enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi olan petrol türevleri yada yaygın olarak kullanılan adıyla akaryakıt (benzin, motorin, fuel-oil, gazyağı, v.b.), ham petrolün rafinerilerde damıtılması sonucu elde edilen yüzlerce değişik hidrokarbon bileşiğinin karışımından oluşmaktadır. Genellikle boru hatları vasıtasıyla taşınan bu ürünler belirli bir süre yeraltı veya yerüstü depolama tanklarında depolandıktan sonra akaryakıt istasyonlarına tankerler vasıtasıyla dağıtılmaktadırlar (Şekil 1). Bu ürünlerin depolanması veya taşınması sırasında oluşabilecek çeşitli sızıntılar ve kazalar giderilmesi zor çevre

problemlerinin yaşanmasına neden olabilmektedir. Kirlenmiş toprağın ve yeraltı suyunun rehabilitasyonu özellikle endüstrileşme sürecini tamamlamış ülkeler arasında yaygın bir sorun olup, maliyet ve zaman tasarrufu açısından yeni geliştirilmekte olan teknolojilerin kullanımını gerektirmektedir. Akaryakıtların sızıntı veya kaza sonucu çevreye yayılması toprağın ve yeraltı suyunun NAPL adı verilen birçok hidrokarbon bileşiği tarafından kirlenmesine neden olmaktadır. NAPL'lar tek bir çeşit hidrokarbondan oluşabileceği gibi (Örn. benzen yada tolüen), yüzlerce değişik hidrokarbon çeşidinden oluşan kompleks karışımlar şeklinde de olabilmektedirler.



Şekil 1. Petrol türevlerinin üretim, depolama ve taşıma aşamalarını gösteren şematik çizim

Figure 1. Schematic drawing showing production, storage and transport of petroleum hydrocarbons

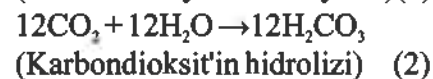
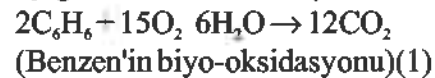
Örneğin, benzin 150-500 arası farklı çeşit hidrokarbondan oluşabilen kompleks bir NAPL karışımıdır. NAPL'lar suya göre olan yoğunluklarına göre hafif veya ağır NAPL'lar olmak üzere iki genel sınıfa ayrılırlar. Bunlardan hafif NAPL'lar (LNAPL) sudan daha az yoğun, ağır NAPL'lar (DNAPL) ise sudan daha yoğundur (Bedient vd., 1999). Yeraltı ortamına oluşacak bir sızıntı sonucu, LNAPL'lar sudan daha hafif olduklarından su tablası üzerinde yüzmeye eğilimliken, DNAPL'lar sudan daha ağır olduklarından akifer tabanına doğru hareket ederek orada birikirler (Şekil 1).

Petrol kirliliğine uğramış akiferlerde NAPL'lar suya doygun olmayan kesimde (vadoz zon yada bölge) dört farklı fazda bulunurlar: 1) taneler arası boşluklarda uçucu (buhar) fazda, 2) akiferi oluşturan malzemeye absorbe olarak, 3) suda çözülmüş olarak, ve 4) saf sıvı NAPL fazda (serbest faz) (DiGiulio ve Cho, 1990). Bu dört fazdan insan sağlığı açısından en tehlikeli olanı yeraltı suyunda çözülmüş olarak bulunan NAPL'lardır. Özellikle, içme suyu ihtiyacının yeraltı sularından karşılandığı bölgelerde oluşan NAPL kirlilikleri insan sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. Bunlar arasında, BTEX (benzen, tolüen, etil benzen ve ksilen) olarak adlandırılan bazı benzin bileşenleri, NAPL'lar içerisinde insan ve çevre sağlığı açısından en tehlikelileridir. İnsan sağlığı açısından tehlikeli kabul edilen sınırların (WHO, 1998) 400 ile 180,000 katı suda çözünürlüğe sahip olan bu aromatik bileşikler insanlarda yüksek derecede kanserojen etkiye sahiptirler.

NAPL ile kirlenmiş akiferlerde kirliliğin yayılımı; kirleticinin yoğunluğu, buhar basıncı, viskozitesi ve hidrofobik olup olmaması gibi taşınma özellikleri ile akifer ortamının jeolojisi, mineralojisi ve hidrolojisi arasındaki etkileşimlerle

belirlenmektedir. Kirleticinin taşınması ise temel olarak, adveksiyon, dispersiyon ve difüzyon mekanizmalarıyla oluşmaktadır. Adveksiyon; kirleticinin basınç gradyanına bağlı olarak hareketini tanımlarken, dispersiyon, akış hızındaki mikro ölçekli değişimler sonucunda kirleticinin yayılması, karışması ve dağılmasını ve difüzyon ise kirleticinin yüksek konsantrasyon bölgesinden düşük konsantrasyon bölgesine göçünü tanımlamaktadır (Fetter, 1999).

Çoğu hidrokarbonlar, aerobik koşullarda, akifer ortamında doğal olarak bulunan mikroorganizmalar tarafından kolaylıkla parçalanırlar. Bu süreç kirleticinin yayılmasını yavaşlatan önemli bir etmendir (Borden, 1994; Rifai vd., 1995; Chapelle, 1999). Mikroorganizmalar, aerobik parçalanmada, hidrokarbonları (NAPL) metabolize ederek organik karbon gibi zararsız ürünlere ayrıştırır ve enerjiye dönüştürürler. Karbon-karbon ve karbon-hidrojen kovalent bağlarının parçalanmasını gerektiren bu süreç, topraktaki bir bakteri grubu (*Nocardia*, *Pseudomonads*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Anthrobacter*, *Corynebacterium*) tarafından gerçekleştirilmektedir (Riser-Roberts, 1992; Chapelle, 1993). Hidrokarbonların parçalanmasıyla ilişkili mikrobiyolojik aktivitelerin artışı sonucunda, NAPL ile kirlenmiş yeraltı suyu sistemleri tipik olarak düşük pH ve çözülmüş oksijen (DO) değerlerine sahiptir. Örneğin, benzenin bakteriler tarafından parçalanması sonucu aşağıda belirtilen reaksiyonlar oluşur.



Ancak, bakteri aktivitelerini sınırlayıcı özellikte ortam koşullarına sahip bazı bölgelerde, kirliliğin yayılması yukarıda belirtilen doğal süreçlerle engelleneme-

mektedir. Bu bölgelerde, kirleticilerin insan ve çevre üzerindeki etkilerini azaltmak için ek önlemler ve yöntemler uygulanması gerekmektedir. Su ve toprak kirliliğinin giderilmesi için uygulanan en basit (geleneksel) yöntem kirlenmiş toprağın hafriyatını ve suyun pompalanarak temizlenmesini içermektedir. Toprağın hafriyatı hem zor hem de maliyet açısından oldukça pahalı bir yöntemdir. Suyun pompalanarak temizlenmesi işlemi ise; kirleticilerin akiferi oluşturan malzemeye absorbe olması gibi etmenlerden dolayı oldukça uzun bir temizlenme sürecini gerektiren yüksek maliyetli bir yöntemdir. Bu makalede, NAPL ile kirlenmiş akiferlerin temizlenmesinde uygulanan yerinde (in-situ) fiziksel ve kimyasal iyileştirme yöntemleri ve teknolojileri aktarılacaktır.

### YERİNDE FİZİKSEL VE KİMYASAL İYİLEŞTİRME TEKNOLOJİLERİ

Son yıllarda, NAPL kirliliğinin giderilmesi için geleneksel yöntemlerden daha etkin ve daha ekonomik yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, kirlenen bölgelerin temizlenmesinde üç temel strateji uygulamaktadırlar. Bu stratejilerden her biri ayrı ayrı uygulanabildiği gibi değişik kombinasyonlar şeklinde de uygulanabilmektedirler. Bunlar;

- Kirleticinin parçalanması veya bozunması,
- Kirleticinin kirlenen ortamdan ayrılması,
- Kirleticinin hareketsiz hale getirilmesidir.

Bu stratejileri kullanan teknolojiler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Gaz enjeksiyonu,
- Toprak gazı ekstraksiyonu
- Yönlü kuyular,
- Kuyu içi havalandırma

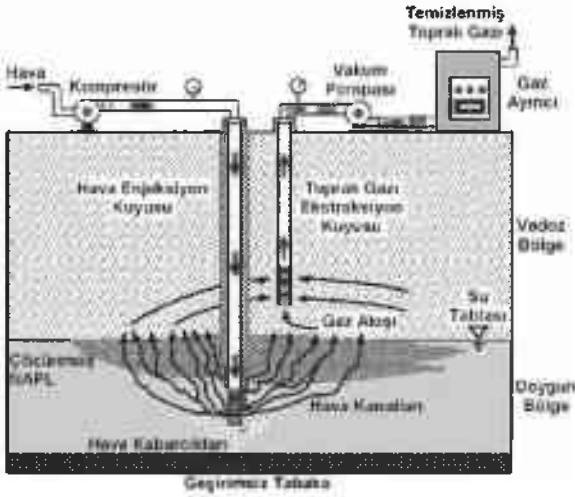
- İkili faz ekstraksiyonu,
- Kimyasal oksidasyon,
- Termal iyileştirme,
- Çatlak geliştirme,
- Geçirgen reaktif bariyer.

### Gaz Enjeksiyonu

Gaz enjeksiyonu (IAS), doymun zondaki toprak ve yeraltı suyunu kirleten NAPL'ların temizlenmesi amacıyla geliştirilmiş ve ilk olarak 1985'te Almanya'da uygulanmıştır (Marley vd., 1992; Leonard ve Brown, 1992; Johnson vd., 1993; Adams ve Reddy, 2000). Bu yöntem doymun zonda açılmış olan bir kuyu içerisine basınçlı gazın (hava, oksijen, hidrojen ve bazen de propan) enjekte edilmesi ilkesine dayanmaktadır (Brown ve Jasiulweicz, 1992). Enjekte edilen hava yada gazlar yanal ve düşey yönde hareket ederek yüzeye doğru yükselmekte ve kirlenmiş zondaki kirleticileri gaz fazına alarak vadoz zona doğru hareket ettirmektedir (Şekil 2). Gaz enjeksiyonuyla toprak ve yeraltı suyunun temizlenmesi iki temel mekanizmayla gerçekleşmektedir (Brown vd., 1994; Johnson, 1998);

- 1) Enjekte edilen gaz, yeraltı suyunda çözülmüş olan NAPL'ların, serbest fazdaki NAPL'ların ve toprak matrikse absorbe olmuş NAPL'ların uçucu gaz fazına geçmesini sağlar,
- 2) Kirlenmiş vadoz zon matriksi ve yeraltı suyuna oksijen eklenmesi, yeraltı su tablası altındaki ve üstündeki kirleticilerin bakteri aktiviteleri sonucu parçalanmasını hızlandırır.

Bu yöntem genellikle, vadoz zondaki toprakta oluşan gaz fazı kirliliğini gidermek için toprak gazı ekstraksiyonu sistemi (soil vapor/gas extraction yada SVE) ile birlikte uygulanmaktadır. Bu birleşik iyileştirme sistemi (IAS+SVE), doymun zon içerisinde açılmış olan gaz enjeksiyon kuyuları ve



Şekil 2. Yerinde gaz enjeksiyonu ve toprak gazı ekstraksiyonu teknolojilerinin birlikte uygulanışını gösteren şematik çizim (BATTELLE, 1997; EPA, 1994; ESTCP 2001; Department of Defense, 2002'den birleştirilerek çizilmiştir)

Figure 2. Schematic drawing showing combined application of in-situ gas injection and soil vapor extraction technologies (Modified from BATTELLE, 1997; EPA, 1994; ESTCP, 2001; Department of Defense, 2002)

vadoz zona yerleştirilmiş olan toprak gazı ekstraksiyonu kuyularından oluşmaktadır (Şekil 2). Enjekte edilen gazın etkilediği toprak kesimi "etkilenme zonu" olarak tanımlanmakta ve bu bölgenin yayılımı büyük ölçüde toprağın permeabilitesi tarafından kontrol edilmektedir. Gerekli görüldüğü takdirde kirlenmiş hava, toprak gazı ekstraksiyonu sistemi içerisinde, karbon filtreleri ve/veya yakma gibi geleneksel hava temizleme yöntemleriyle temizlenerek atmosfere bırakılmaktadır.

Gaz enjeksiyonunun, buharlaştırma ve biyolojik parçalanma süreçleri şu kirleticileri etkilemektedir:

- Benzin, motorin, jet yakıtı gibi çeşitli yakıtlar,
- Benzen, tolüen, etil benzen ve ksilen (BTEX),
- Madeni yağlar,

- Klorlu çözücüler (DCE, PCE, TCE, v.b.).

Genelde gaz enjeksiyonu, göreceli olarak iri taneli (orta-yüksek permeabilite) ve homojen jeolojik malzemenin aerobik koşullarda biyolojik olarak parçalanabilen uçucu organik kirleticilerle kirlendiği alanlara uygulanmaktadır. İnce taneli ve düşük permeabiliteye sahip topraklar, enjekte edilen gazın etkisini ve oluşan uçucu fazın ortamdaki uzaklaşmasını sınırlamaktadır (Anderson, 1995). Ayrıca, bu teknolojinin başarıyla uygulanabilmesi için kirlenen alandaki suya doymun zonun göreceli olarak kalın olması ve yeraltı suyu derinliğinin 150 cm'den fazla olması gerekmektedir.

#### Gaz enjeksiyonu teknolojisinin avantajları:

Gaz enjeksiyonu yöntemi doğru dizayn edildiğinde düşük maliyetli bir yerinde iyileştirme yöntemidir ve sistemin uygulandığı alanlardaki diğer aktiviteler (tarım, ulaşım, v.b.) en az düzeyde etkilenir. Kirletici konsantrasyonlarını zararsız düzeylere indirmek için gereken zaman oldukça kısa sayılabilir (genellikle uygun koşullarda 1 ile 3 yıl arası). Gaz enjeksiyonunun diğer avantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Varolan gözlem kuyuları gaz enjeksiyonu için kullanılabilir olduğundan maliyet azalmaktadır.
- Gaz enjeksiyonu, kapiler zonda ve/veya yeraltı suyu tablası altındaki kirliliğin giderilmesinde kullanılabilir.
- Enjekte edilen gaz, akiferin hidrolik iletkenliğini azalttığından kirleticilerin kirlenmemiş bölgelere göçünü sınırlamaktadır.
- Oluşan uçucu gaz fazı doğrudan atmosfere verilebilmektedir.

### Gaz enjeksiyonu teknolojisinin dezavantajları:

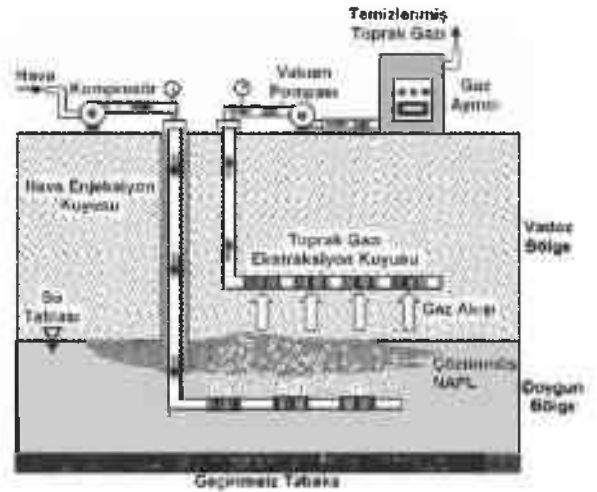
Bu yöntemin uygulanabilirliğini ve etkisini sınırlayan faktörler ise şöyle sıralanabilir.

- Gaz enjeksiyonu kuyuları, kirlenen alanın özel koşullarına göre dizayn edilmelidir. Dizayn sırasında kirleticilerin derinliği ve kirli alanın jeolojisi mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.
- Toprak matriksiyle bileşikler oluşturan kirleticiler buharlaşma hızını azaltabilmektedir.
- Enjekte edilen hava, yeraltı suyunun oksijen konsantrasyonunu arttırdığından çökelen demir ve oluşan bakteriler akiferin permeabilitesini düşürebilmektedir.
- Enjekte edilen gaz, enjeksiyon kuyusunun etrafında yeraltı suyu seviyesinde ani yükselime oluşturabildiğinden kirleticinin istenmeyen bir şekilde yayılımına neden olabilmektedir.
- Büyük miktarda serbest faz NAPL içeren bölgelerde gaz enjeksiyonu yöntemi genellikle uygulanamamaktadır.
- Bu teknoloji, düşük uçucu özellikli kirleticiler için genellikle uygulanamamaktadır. Ancak, kirletici bileşikler bakteri aktivitesi sonucu parçalanabilme özelliğine sahiptirler uygulanabilmektedir.
- Tabakalanma, heterojenlik ve anizotropi gibi jeolojik koşullar düzenli hava akımını engellediğinden gaz enjeksiyonunun etkisini azaltabilmektedir.

### Yönlü (Yatay) Kuyular

Kirlenen bölgenin bina, yol ve benzeri yapıların altında olması durumunda kirleticilere düşey kuyularla ulaşmak

mümkün olmayabilir. Bu gibi durumlarda, yönlü kuyu açma teknolojisi kullanılarak kuyular yatay veya yatayla düşük bir açı yapacak şekilde açılır. Yönlü kuyu teknolojisi, gaz enjeksiyonu ve/veya toprak gazı ekstraksiyonu teknolojisine başarılı bir şekilde uygulanabilir. Bu yöntemde, doymun zon içerisinde açılmış yatay kuyulardan hava veya gaz enjekte edilir (Şekil 3). Hava, kirli bölgeden geçerken uçucu hidrokarbonları buharlaştırır. Bu işlem homojen toprak koşullarında en iyi sonucu vermektedir. Ancak, kırıklar, kil tabakaları ve kil mercekleri performansı azaltıcı yönde etki ederler. Ayrıca, yönlü kuyu teknolojisi, ardalanmalı, ince ve süreksiz kil tabakalarının varlığında da etkili bir yöntemdir. Yatay kuyular, özellikle kirletici yayılımının büyük alanlar kapladığı ve düzgün bir geometriye sahip olduğu bölgelerde veya yüzeydeki yapılaşmanın



Şekil 3. Yerinde gaz enjeksiyonu ve toprak gazı ekstraksiyonu teknolojilerinin yönlü (yatay) kuyu teknolojisiyle uygulanışını gösteren şematik çizim ([www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-36.html](http://www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-36.html)'den değiştirilerek çizilmiştir)

Figure 3. Schematic drawing showing application of in-situ gas injection and soil vapor extraction technologies with directional (horizontal) well technology (Modified from [www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-36.html](http://www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-36.html))

yoğun olduğu durumlarda uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra, bu teknoloji en etkin şekilde, kirlenen toprak ve yeraltı suyunun göreceli olarak yüzeye yakın olduğu bölgelerde uygulanır. Yatay kuyuların en önemli özelliklerinden birisi de kuyu filtrelerinin kirlenmiş ortamın büyük bir kısmıyla temasta olmasıdır. Ayrıca, yeraltı suyu iletimi yatay doğrultuda düşey doğrultudakinden daha iyi olduğundan bu kuyuların konfigürasyonu doğal koşullar için daha uygundur. Bu özellik, yatay kuyulardaki buhar fazının ve/veya yeraltı suyunun daha etkin geri kazanımını sağlamaktadır.

#### Yönlü kuyu teknolojisinin avantajları:

- Kirletici yayılımının geniş bir alanı kaplaması durumunda tek bir yatay kuyu birçok düşey kuyunun yerini alabilmekte ve böylelikle kuyu açma aliyeti azalmaktadır.
- Yönlü kuyu teknolojisi belirli bir kirletici grubuna değil kirleticilerin tümüne birden uygulanabilmektedir.
- Özellikle de kirli bölgede yapılaşma nedeniyle düşey kuyuların açılmadığı durumlarda yönlü kuyular büyük bir avantaj sağlar.

#### Yönlü kuyu teknolojisinin dezavantajları:

- Kuyularda, düşey yükler nedeniyle, potansiyel çökmeler oluşabilmektedir.
- Özel sondaj ekipmanı gerektirmektedir.

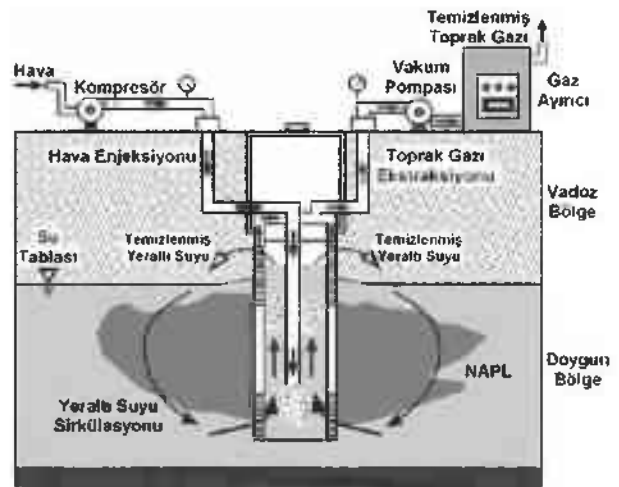
**Şekil 4.** Kuyu içi havalandırma teknolojisinin uygulamasını gösteren şematik çizim (BATTELLE, 1997; Hinchee, 1994 ve GWRTAC, 1997'den değiştirilerek çizilmiştir)

*Figure 4. Schematic drawing showing application of in-well aeration technology (Modified from BATTELLE, 1997; Hinchee, 1994 and GWRTAC, 1997)*

- Yönlü kuyu açma tekniklerinde deneyimli sondajcının bulunması zordur.
- Kuyuların istenilen noktaya ulaşım ulaşılmadığını belirlemek zordur.
- Bu teknoloji 15 metreden daha az derinliklerle sınırlıdır ve pahalı bir yöntemdir.

#### Kuyu İçi Havalandırma

Kuyu içi havalandırma yöntemi (IWA), yeraltı suyunun üç boyutlu dolaşımı (sirkülasyonu) ilkesine dayanan yüzey altı iyileştirme yöntemidir (Gonen ve Gvirtzman, 1997). Bu teknoloji, iki farklı derinlikte filtrelenmiş düşey bir kuyuya hava enjekte edilmesi prensibine dayanır (Şekil 4). Üstteki filtre vadoz zonda, alttaki filtre ise doymun zonda yer alır. Basınçlı hava, su tablası altındaki filtreden enjekte edilir ve su havalandırılır. Havalandırılmış su, kuyu içerisinde yükselir ve üstteki filtreden sistemin dışına atılır. Kirlenmiş su, alt filtre noktasından sisteme geri döner. Uçucu organik bileşikler, kuyu içerisinde yükselen hava kabarcıkları tarafından buharlaştırılarak vadoz zona taşınırlar. Oluşan bu uçucu buhar fazı toprak gazı ekstraksiyonu sistemiyle uzaklaştırılır. Yeraltı suyu, kuyu içi havalandırma sisteminde dolaşımında olduğu



sürece kirletici konsantrasyonları kademeli olarak azalmaya devam eder. Kuyu içi havalandırma sisteminin etkili olabilmesi için kirleticiler yeterli derecede çözünebilir ve hareketli olmalıdır (Gvirtzman ve Gorelick, 1992).

*Kuyu içi havalandırma yönteminin avantajları:*

- Serbest ve basınçlı akiferlerde uygulanabilmektedir.
- Bu yöntem geniş bir permeabilite aralığına sahip jeolojik birimlere uygulanabilmektedir.
- Tek bir kuyu, uçucu gaz fazın ekstraksiyonu ve yeraltı suyunun iyileştirilmesi için yeterli olabilmektedir.
- Yöntemin maliyeti düşüktür.

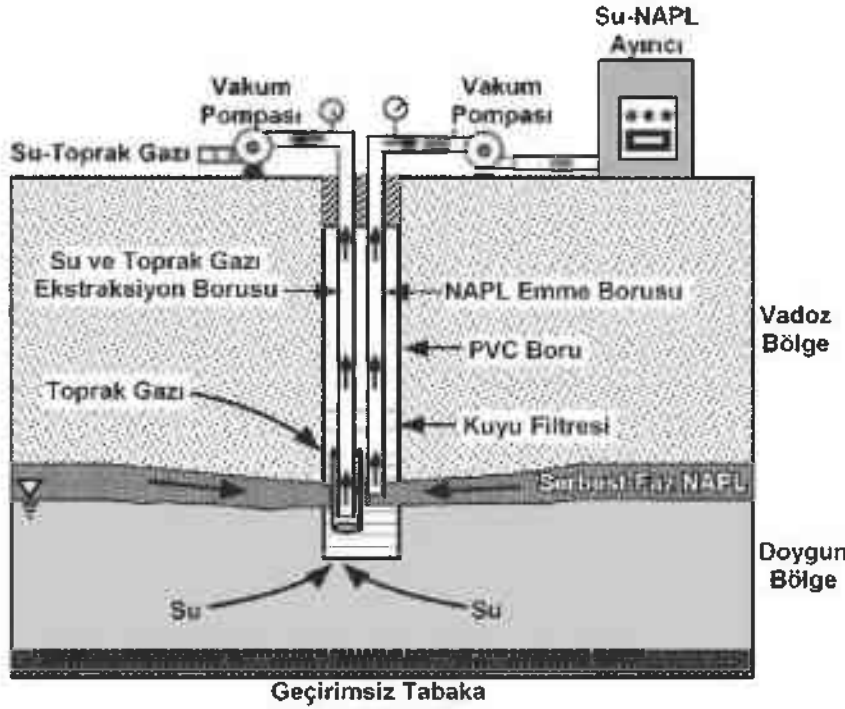
*Kuyu içi havalandırma yönteminin dezavantajları:*

- Genelde kuyu içi havalandırma teknolojisi yüksek uçuculuğa sahip çözülmüş kirleticilerin yüksek konsantrasyonda görüldüğü yerlerde daha etkindir.
- Yüksek derecede oksitlenme özelliğine sahip bileşenler kuyu filtresinin tıkanmasına neden olabilmektedir.
- Sığ akiferler yöntemin etkinliğini sınırlayabilmektedir.
- Kirleticinin yayılmasını önlemek için kuyu açılmadan önce kirlenmiş bölgenin sınırlarının iyi bir şekilde belirlenmiş olması gerekmektedir.
- Kuyu içi havalandırma teknolojisi yatay hidrolik iletkenliğin  $10^{-5}$  cm/sn'den büyük olduğu yerlerde uygulanmaktadır. Düşük iletkenliğe sahip merceksi yapıların bulunduğu alanlarda uygulanması önerilmemektedir.

### **İkili Faz Ekstraksiyonu**

İkili faz ekstraksiyonu (DPE), kirlenmiş yeraltı suyunu, serbest faz olarak bulunan petrol ürünlerini ve yüzey altındaki hidrokarbon buharının değişik kombinasyonlarını uzaklaştırmak için yüksek vakum kullanan bir teknolojidir. İki ayrı pompanın kullanıldığı bu sistemde, bir pompa yeraltı suyunu uzaklaştırmak için su tablası altına, diğeri de serbest faz NAPL'ı çekmek için NAPL içeren seviyeye yerleştirilir (Şekil 5). Kalın bir NAPL tabakasının varlığı, yeraltı suyuna göre daha yüksek oranda NAPL'ın dışarı alınmasına olanak sağlar (Connolly vd., 1995). Etkin uygulama için, NAPL'ın pompanın emme ucunun tümünü kaplaması gereklidir. Pompalamaya bağlı olarak NAPL seviyesi düşmeye başladığında sistem, gaz fazı uçucu NAPL ekstraksiyonuna başlar. Uçucu gaz fazın ekstraksiyonu, vadoz zonda hava akımının oluşmasına ve dolayısıyla oksijen içeriğinin artmasına olanak sağlar (Barnes ve McWhorter, 1995). Bu teknoloji, vadoz zona artan oranda oksijen sağladığından petrol bileşenlerinin biyolojik parçalanmasına da yardımcı olur. Yeraltı suyu ve diğer ürünlerin uzaklaştırılmasıyla ilişkili olan ikili faz ekstraksiyonu, özellikle tabakalı, ince taneli topraklarda daha başarılıdır (Blake ve Gates, 1986; Blake vd., 1990; Bruce vd., 1992). Uygulanan vakum ne kadar yüksek olursa buhar ve sıvı fazların ortamdaki uzaklaştırılması o derece artar. Bunun sonucunda da doygun ve vadoz zonda hidrokarbonların konsantrasyonları azaltılır. Kirleticilerin uzun zincirli hidrokarbonları içerdiği durumlarda ikili faz ekstraksiyonu yöntemi hava enjeksiyonu ve biyolojik iyileştirme teknolojileriyle birlikte uygulanır.





Şekil 5. İkili faz ekstraksiyonu teknolojisinin uygulamasını gösteren şematik çizim (BATTELLE, 1997 ve Place vd., 2003'ten değiştirilerek çizilmiştir)

Figure 5. Schematic drawing showing application of dual phase extraction technology (Modified from BATTELLE, 1997 and Place et al., 2003)

#### İkili faz ekstraksiyonu teknolojisinin avantajları:

- Geniş bir koşul aralığında istenilen performansı sağlar.
- Temizleme süresi kısadır (uygun koşullarda genellikle 6 ay ile 2 yıl arası).
- Serbest faz NAPL ürünleriyle kirlenmiş bölgelere diğer yöntemlerle birlikte uygulanabilir.
- Vakum ekstraksiyon kuyusu içerisinde NAPL fazının buhar fazına geçişi sağlandığından yeraltı suyu temizleme maliyetlerini düşürmektedir.

#### İkili faz ekstraksiyonu teknolojisinin dezavantajları:

- Yüksek verimli akiferlerde diğer teknolojilerle birlikte uygulanması gerekebilmektedir.
- İkili faz ekstraksiyonu, hem su hem de buhar fazının yüzeye alındıktan sonra

temizlenmesini gerektirir. Bu durum da maliyeti yükseltmektedir.

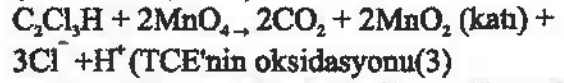
- İkili pompa sistemleri düşük permeabiliteli topraklarda etkili olmayabilir.
- Su tablasının düşey yönde salınım yaptığı yerlerde bu yöntemin uygulanması zordur.
- İşletim sırasında karmaşık gözlemler ve daimi kontrol gerektirebilmektedir.

#### Kimyasal Oksidasyon

Yerinde kimyasal oksidasyon (ISCO) vadoz zon ve/veya yeraltı suyu içerisine kimyasal oksitleyicilerin enjekte edilerek organik kirlenmelerin oksitlenmesi ilkesine dayanmaktadır (Şekil 6). Bu yöntem, BTEX (benzen, tolüen, etil benzen ve ksilen), tetrakloretilen (PCE), trikloretilen (TCE), dikloretilen (DCE), vinil klorür, metil-tert-bütil-eter (MTBE), poliaromatik hidrokarbon (PAH) bileşikler, organik pestisitlere ve diğer birçok organik

kirleticilerin temizlenmesinde kullanılmaktadır (Siegrist, 1998). Potasyum permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ), hidrojen peroksit ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), sodyum hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ ), klordioksit ( $\text{ClO}_2$ ) ve ozon ( $\text{O}_3$ ) yaygın olarak kullanılan oksitleyici kimyasallardır. Kimyasal oksidasyon reaksiyonları tipik yükseltgenme-indirgenme reaksiyonlarıdır. Bu reaksiyonlar tehlikeli kirleticileri zararsız veya daha az toksik ürünlere dönüştürmektedir ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  ve inorganik Cl gibi). Açığa çıkan yeni ürünler daha duraylı, daha hareketsiz ve daha az reaktiftir. Redoks reaksiyonları bir bileşikten diğere elektron transferini gerektirmektedir. Bu reaksiyon sırasında bir bileşik elektron kaybederek okside olurken diğeri de elektron kazanarak indirgenir. Kullanılan oksitleyici kimyasallar genellikle TCE ve benzen gibi kirleticiler için %90'lara varan temizlenmeyi dakikalarla ölçülen kısa bir zaman aralığında sağlar. Örneğin, TCE'nin kimyasal oksidasyonu

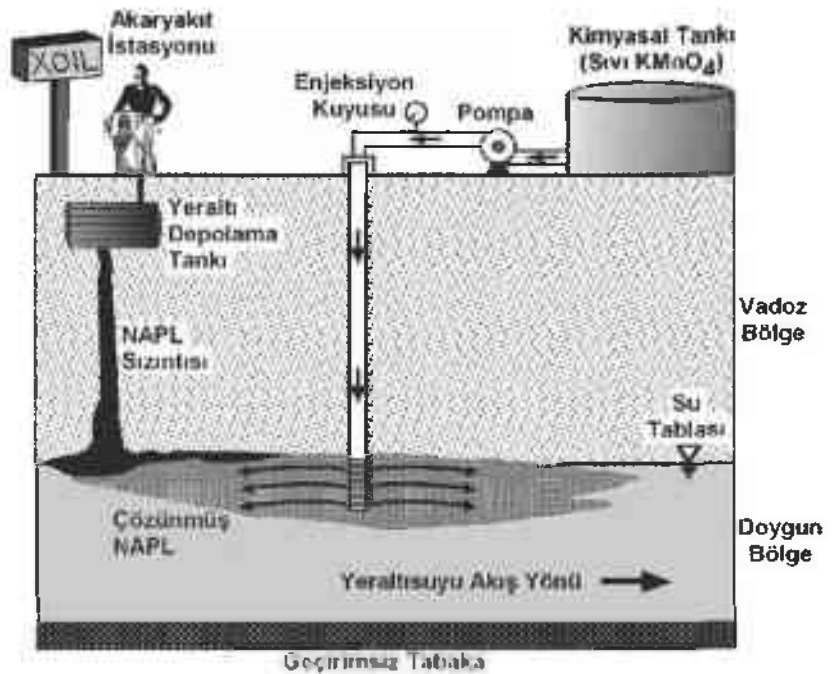
aşağıda verilen reaksiyon yoluyla gerçekleşir (Schnarr vd., 1998).



Temizlenmenin istenilen düzeyde gerçekleşmesi için kirleticiye uygun oksitleyicinin ve oksitleyici verme yönteminin seçilmesi gerekir. Oksitleyiciler geleneksel kuyu enjeksiyon yöntemleriyle verilebildiği gibi hidrolik çatlak geliştirme veya geçirgen reaktif bariyerler gibi yeni yöntemler kullanılarak da verilebilir (ITRC, 2005). Yeraltı suyunda istenen düzeyde temizlenme sağlanabilmesi için, enjeksiyon/ekstraksiyon kuyuları ile gözlem kuyularının sayısı ve yerleşimi iyileştirme/temizleme zonunu maksimum düzeyde kapsayacak biçimde seçilmelidir. Kimyasal oksidasyon teknolojisi, ozon hariç sulu faz teknolojisidir ve oksitleyici, suya doygun veya doyguna yakın toprak matrikse uygulanmalıdır.

**Şekil 6.** Kimyasal oksidasyon teknolojisinin uygulamasını gösteren şematik çizim ([www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-30.html](http://www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-30.html)'den değiştirilerek çizilmiştir)

**Figure 6.** Schematic drawing showing application of chemical oxidation technology (Modified from [www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-30.html](http://www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-30.html))



### *Kimyasal oksidasyon teknolojisinin avantajları:*

- Kimyasal reaksiyonlar iyi bilinmektedir ve atık su temizleme uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- $KMnO_4$  kullanılarak yerinde kimyasal oksitleme, hava enjeksiyonu ve biyolojik temizleme yöntemlerine göre daha agresif bir temizleme yöntemi olduğundan yüksek konsantrasyonlardaki kirleticilerin temizlenme süresi çok daha kısadır.
- Kirleticilerin oksidasyonu patlama riski olan uçucu organik bileşikler oluşturmaz.
- Geniş bir kirletici grubu için etkilidir.

### *Kimyasal oksidasyon teknolojisinin dezavantajları:*

- Hidrokarbonları oksitlemek için tehlikeli ve zararlı oksitleyici kimyasallardan fazla miktarda kullanmak gerekebilir.
- Bazı hidrokarbonlar oksidasyona dirençli olabilir.
- Oksitleyicinin verildiği ortamdaki heterojenlikler oksitleyicinin düzenli dağılımını engelleyebilir.
- Metal oksitlerin çökeline bağlı olarak akiferin etkin porozitesi azalabilir.
- Akifer ortamındaki doğal organik maddeler oksitleyici kullanımını ve dolayısıyla maliyeti artırabilir.
- Kirleticilerin düşük konsantrasyonlarda bulunması durumunda (<5 mg/l) etkili değildir.

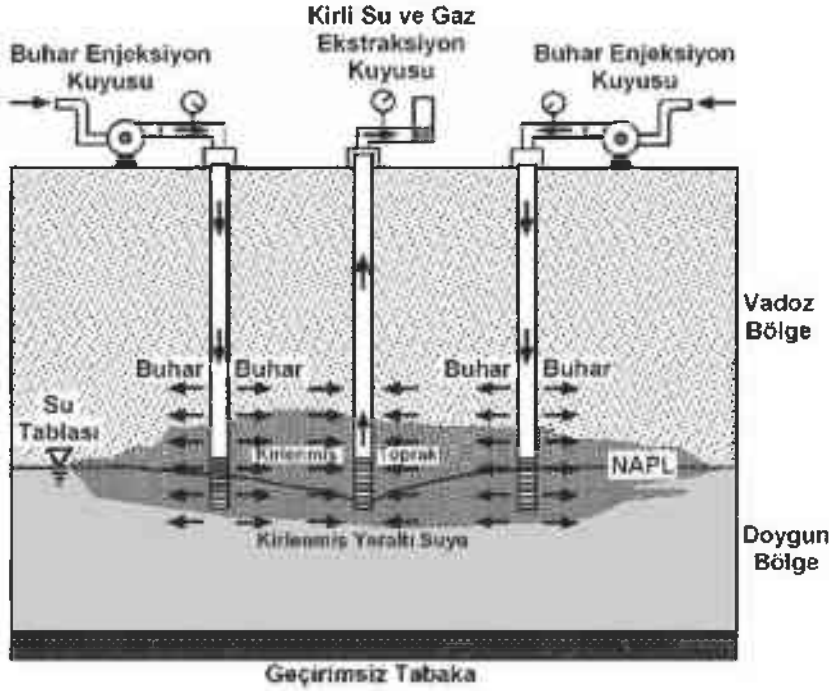
### **Termal İyileştirme**

Formasyondaki kirleticileri hareketlendirmek ve ısıtmak için konduksiyon, konveksiyon ve radyasyonla

ısı enerjisi verilmesi prensibine dayanan birçok termal iyileştirme yöntemi geliştirilmiştir (Davis, 1997). Bu yöntemlerle ısıtılan kirletici kimyasallar, toprak ve yeraltı suyu ortamında mobilize olmaya zorlanarak ekstraksiyon kuyularına doğru hareket etmeleri sağlanır. Kuyulardan pompalanan kirli yeraltı suyu, daha sonra temizlenmek üzere ayırıcılara gönderilir. Termal iyileştirme yöntemleri, petrol kuyularında verimi arttırmak için öteden beri uygulanan değişik yöntemlerin bir çeşididir. Yaygın olarak kullanılan bu yöntemlerin başlıcaları: sıcak su, buhar ve sıcak hava enjeksiyonu ve radyofrekans ısıtma olarak sayılabilir. Sıcak su, buhar ve sıcak hava konveksiyonla ısıtma sağlarken, radyofrekansla ısıtma, radyasyon enerjisi yoluyla ısıtma sağlar.

### **Sıcak su enjeksiyonu**

Bu yöntem kirletici hareketini kontrol etmek için sıcak su enjeksiyonunu kullanır. Sıcak su akımının ısısı hidrokarbonlu bileşiklerin viskozitesini düşürür ve DNAPL, ekstraksiyon kuyularına doğru hareket eder. Sıcak su enjeksiyonu DNAPL'lar için geliştirilmişse de LNAPL'lar için de etkili olabilmektedir. Sıcak su, gözenekli ortama girerken gözenekli ortamın ve taneler arası akışkanların ısısını yükseltir. Sıcak su sistemi, üç farklı derinlikte, buhar, sıcak su ve soğuk suyun aynı anda enjekte edildiği karmaşık bir kuyu sistemi gerektirmektedir (Smith ve Hinchee, 1993). Buhar, DNAPL'ları ısıtmak için kirlenmiş kısmın altına enjekte edilir. Sıcaklığın yükselmesi DNAPL'ın yoğunluğunu suyun yoğunluğunun altına düşürür ve DNAPL sıcak suyla birlikte yukarı doğru hareket eder. Kirlenmiş zonu çevreleyen bölgeye enjekte edilen sıcak su, kirli zonu yanal olarak sınırlar ve DNAPL'ları ekstraksiyon kuyularına doğru hareketlendirir. Kirlenmiş zonun üst kesimlerine enjekte edilen soğuk su ise bir absorpsiyon tabakası veya soğuk



Şekil 7. Buhar enjeksiyonu ile yüzeyaltı termal iyileştirme (BATTELLE, 1997 ve EPA, 2005'ten değiştirilerek çizilmiştir)

Figure 7. Subsurface thermal treatment process with steam injection (Modified from BATTELLE, 1997 and EPA, 2005)

kapan oluşturur. Bu absorpsiyon tabakası yükselen boşluk sıvılarının düşey yönde sınırlandırılmasına neden olur ve ısıtılmış kirli zondan yükselen buhar fazını yoğunlaştırır.

#### Buhar/sıcak hava enjeksiyonu

Buhar/sıcak hava enjeksiyonu herhangi bir hafriyata gerek kalmadan toprak ve yeraltı suyundaki uçucu ve yarı-uçucu tehlikeli kirleticileri uzaklaştırır (Şekil 7). Buhar enjeksiyonu, sıcak hava enjeksiyonu ile birlikte de uygulanabilmektedir. Buhar, toprak içerisindeki kirleticilerin topraktan ayrılmasını sağlar ve bazı durumlarda kirlenmiş yeraltı suyunu hareketlendirmek için de kullanılmaktadır. Buhar enjeksiyonu toprak-buhar fazı ekstraksiyonuyla yeterli derecede uzaklaştırılamayan uçuculuğu düşük organik bileşenlerin buhar basıncını arttırarak temizlenmesini kolaylaştırmaktadır (Smith ve Hinchee, 1993).

#### Radyofrekansla ısıtma

Radyofrekansla (RF) ısıtma tekniği büyük hacimlerdeki toprağı hızlı ve düzenli bir şekilde ısıtmak için kullanılır (Smith ve Hinchee, 1993). Bu teknik, toprağı ısıtırken uçucu ve yarı-uçucu bileşikler toprak gözenegi içerisindeki gaz fazına geçerler. Daha sonra da açılan havalandırma kuyuları ile bu gazlar gözeneklerden alınır. Alınan bu gazlar patlayıcı özellik gösterdiklerinden yakılarak veya diğer yöntemlerle temizlendikten sonra atmosfere bırakılmalıdır. Radyofrekansla ısıtma, radyofrekans bandındaki elektromanyetik enerjinin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bu enerji, toprağın termal iletkenliğiyle ilişkili olmadığından açılmış olan kuyulara yerleştirilmiş elektrotlar yardımıyla toprak içerisine verilir. Isı oluşum mekanizması mikrodalga fırınlarındaki ısıtma şekliyle benzerdir. Uygulanacak olan radyofrekans topraktaki kirliliğin yayılımına ve toprağın dielektriksel özelliğine bağlı olarak belirlenir. Toprağın elektriksel özellikleri ısıtma sırasında büyük ölçüde değiştiğinden

enerji transferinin istenilen düzeyde gerçekleşmesi için sistemin devamlı olarak gözlenmesi ve gerekli düzenlemelerin yapılması gereklidir (Smith ve Hinchee, 1993).

*Termal iyileştirme teknolojisinin avantajları:*

- Termal iyileştirme yöntemleri, büyük miktardaki yağlı atıkların uzaklaştırılmasında kullanılabilir.
- Organik kirleticilerin yanal ve düşey yöndeki hareketlerini sınırlamaktadır.
- Bu yöntemler sıg ve derin zonlara uygulanabilmektedir.

*Termal iyileştirme teknolojisinin dezavantajları:*

- Toprak türü, kirletici karakteristikleri ve konsantrasyonları, jeoloji ve hidrojeoloji yöntemin başarısını önemli ölçüde etkilemektedir.
- Yöntemin uygulama maliyeti yüksektir ve karmaşık ekipmanlar gerektirmektedir.

- Radyofrekans sisteminden sızan radyo dalgaları iletişim hatlarında parazite neden olabilmektedir.

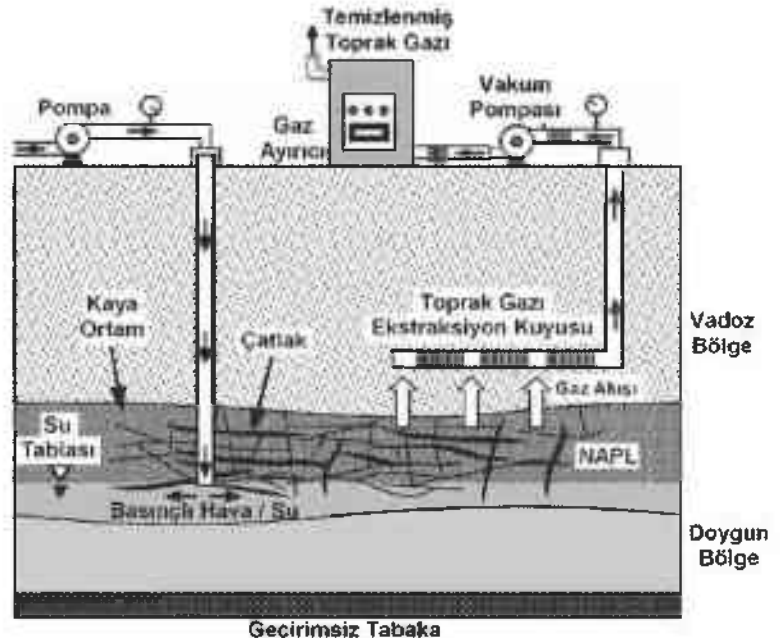
### Çatlak Geliştirme

Çatlak geliştirme yöntemi (FE), akifer permeabilitesini arttırmak ve kirleticinin ortamdaki uzaklaştırılmasını hızlandırmak üzere geliştirilmiştir (Banerjee, 1993). Bu yöntem, özellikle buhar fazı ekstraksiyonu, biyolojik parçalanma ve termal iyileştirme yöntemleri ile birlikte daha etkin bir temizleme sağlamaktadır. Bu yöntemle akiferde oluşturulan kırık ve çatlaklar, oksitleyici sıvıların akiferin her bölümünü homojen bir şekilde etkilemesini ve kirleticilerin hızlı bir şekilde ekstraksiyonunu sağlamaktadır (Şekil 8). Hidrolik ve pnömatik çatlak geliştirme gevşek malzemeye de uygulanabilmektedir. Patlatma yoluyla çatlak geliştirme ise sadece kaya ortamına uygulanmaktadır.

Hidrolik çatlak geliştirme, sondaj borusunun tabanından yüksek basınçla su verilmesiyle akiferi oluşturan malzeme içerisinde çatlak oluşturulması ilkesine

**Şekil 8.** Hidrolik ve pnömatik basınç kullanılarak çatlak geliştirmeyi gösteren şematik çizim (GWRIAC, 2000'den değiştirilerek çizilmiştir)

*Figure 8. General schematic drawing of hydraulic and pneumatic fracturing (Modified from GWRIAC, 2000)*



dayanmaktadır. Pnömatik çatlak geliştirmede ise pekişmiş (konsolide) sedimanlar içerisinde bulunan kırık veya çatlakların yüksek basınçlı hava enjeksiyonuyla genişletilerek ikincil çatlak ağlarının oluşması sağlanmaktadır. Patlatma yoluyla çatlak geliştirme yönteminde ise, çatlaklı kayalarda patlayıcı maddelerin kuyu içerisinde patlatılarak kırık yoğunluğunun artırılması sonucunda kirlenmiş yeraltı suyunun ortamdaki daha kolay uzaklaştırılması sağlanmaktadır.

#### *Çatlak geliştirme teknolojisinin avantajları:*

- Çatlak geliştirme yöntemi, kil ve kil-silttaşı ardalanmasından oluşan birimlere de uygulanabilmektedir.
- Bu yöntem, kaya ortamın yanı sıra, gevşek sedimaner birimlere de özel jeller kullanılarak uygulanabilmektedir.

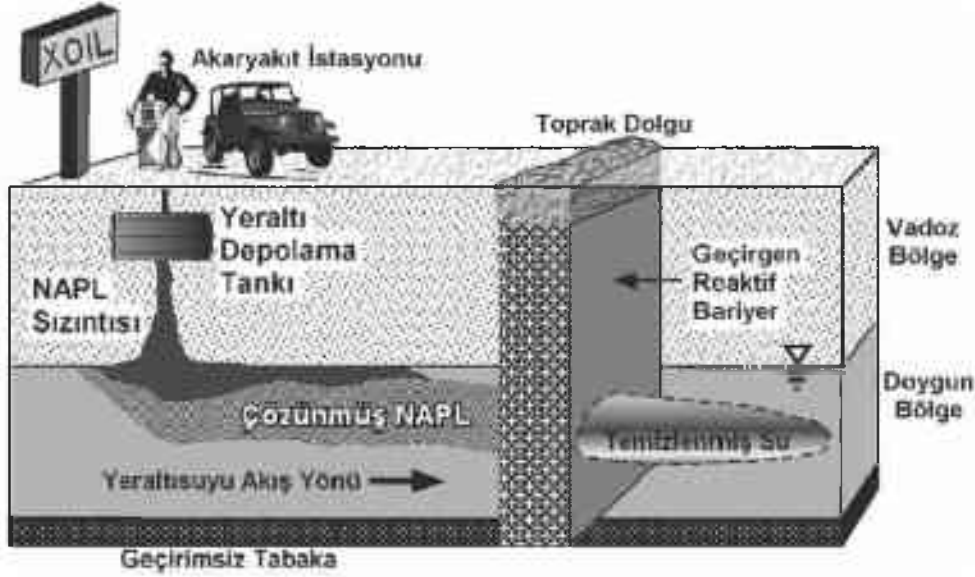
#### *Çatlak geliştirme teknolojisinin dezavantajları:*

- Bu yöntemin uygulanması sismik aktiviteye duyarlı bölgelerde önerilmemektedir.
- Çatlak geliştirme teknolojisini kullandığı bölgelerde yeraltı yapılarının (kablo, borular, kanalizasyon yapıları, v.b.) bulunmaması gerekmektedir.
- Kirleticiler, yeni açılan kırıklar nedeniyle temiz bölgelere yayılabilmektedir.
- Akifer içerisinde yöntemin etkilemediği düşük permeabiliteli zonlar gözlemlenebilir.
- Oluşturulan kırıkların boyutları ve yayılımı kontrol edilemeyebilir.
- Kırıklar litostatik basınçtan dolayı zamanla kapanabilmektedir.

#### **Geçirgen Reaktif Bariyer**

Geçirgen reaktif bariyer (PRB) yöntemi, yeraltı suyunu kirlüten kirleticilerin reaktif malzemeler yardımıyla yerinde temizlenmesi için geliştirilmiştir (Reynolds vd., 1990; Gillham ve O'Hannesin, 1992). Bu yöntem, kirlenmiş yeraltı suyunun akım yönünde kazılan uzun ve dar bir hendek içerisine yerleştirilen geçirgen reaktif malzemenin, kirleticili bileşikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler yardımıyla temizlemesi ilkesine dayanır. Kazılan hendek reaktif malzemeyle doldurulduktan sonra üzeri toprakla kapatılır ve genellikle yüzeyde belirgin değildir. Bu bariyerler, yeraltı suyunun geçişine izin verirken kirleticilerin bariyerin diğer tarafına geçişini engeller (Şekil 9). Reaktif malzeme olarak, kirleticinin cinsine göre, elementel demir ( $Fe^0$ ), kireçtaşı, zeolit, talaş tozu, bentonit, turba ve aktif karbon kullanılmaktadır. Reaktif malzemeler yeraltı suyunun akışını kolaylaştırmak için kumla karıştırılabilir. Bu yöntem, çeşitli organik ve inorganik kirleticilerin temizlenmesinde başarıyla uygulanabilmektedir. Örneğin, çözünmüş organik maddeler (hidrokarbonlar), metaller ( $Cr^{6+}$ , Ni ve Pb gibi), radyoaktif maddeler ve nitrat kirliliği bu yöntemle temizlenebilmektedir.

Ortamın hidrojeolojik özellikleri yöntemin uygulanmasında kritik bir öneme sahip olup jeolojik malzemenin permeabilitesinin yüksek olması ve sığ bir derinlikte geçirimsiz bir katmanın (tercihen killi) bulunması gerekmektedir. Bu yöntemde, kirlenmiş yeraltı suyu bariyerin reaktif zonuna yönlendirilir. Bariyerin etkin bir temizleme yapabilmesi için kirlenmiş yeraltı suyunun bariyerin üstünden, altından veya yanlarından geçmemesi sağlanmalıdır (Gavaskar vd., 1988). Böyle bir sistemde oluşan reaksiyonlar; yükseltgenme/indirgenme potansiyeli, pH ve kirleticili konsantrasyonu gibi bir dizi parametre ile



Şekil 9. Tipik bir geçirgen reaktif bariyeri gösteren şematik çizim (EPA, 1998; ESTCP, 2003 ve GWRTAC, 1996'dan değiştirilerek çizilmiştir)

Figure 9. Schematic drawing showing a typical permeable reactive barrier (Modified from EPA, 1998; ESTCP, 2003 and GWRTAC, 1996)

ilişkilidir. Bu nedenle bu yöntemin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için kirlenmelerin, yeraltı suyu akış rejiminin ve akifer jeolojisinin yeterli düzeyde karakterize edilmesi gerekmektedir.

*Geçirgen reaktif bariyer teknolojisinin avantajları:*

- Kirlenici, yeraltı suyunun doğal akışıyla bariyere doğru taşındığından herhangi bir pompalama gerektirmez.
- Yöntem herhangi bir bakım gerektirmez.
- Bariyer içerisine yerleştirilen reaktif materyaller yeraltı suyu veya insanlar için zararsızdır.
- Yüzeyledeki faaliyetleri (tarım, ulaşım, v.b.) etkilemez.
- Birçok kirlenicinin aynı anda veya ayrı ayrı temizlenmesine yönelik uygun reaktif malzemeler bulunmaktadır.

*Geçirgen reaktif bariyer teknolojisinin dezavantajları:*

- Uzun vadede (en az 10 yıl) bariyer reaktif özelliğini kaybedebilir.
- Bariyerin genişliği, derinliği ve hacmi maliyeti etkilemektedir.
- Bu yöntemin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için bariyer uygun derinlikteki geçirimsiz bir katman üzerine yerleştirilmelidir.
- Biyolojik aktivite veya kimyasal çökelme, pasif bariyerin geçirimsizliğini azaltabilir.
- Bariyer kurulduktan sonra bunun taşınması veya değişiklik yapılması çok zor ve pahalı olduğundan bariyerin yerleştirileceği ilk yerin yeraltı suyu akış rejimine uygun seçilmesi gereklidir.

## SONUÇLAR

Enerji kaynağı olarak yaşamımızın vazgeçilmezlerinden birisi olan petrol türlerinin nihai kullanıcıya ulaşmadan önce (üretim-taşıma-depolanma) değişik yollarla (yangın, kaza, sızıntı, v.b.)

oluşturdukları kirlilik, insan ve çevre sağlığı açısından önemli ölçüde olumsuz etkiler yapabilmektedir. Petrol türevlerinden kaynaklanan kirliliğin etkilerini en aza indirmek için ucuz ve hızlı temizleme sağlayan yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. Kirliliği gidermede uygun yöntem ve/veya yöntemlerin seçiminden önce, kirlenmiş ortamın ve kirleticilerin detaylı bir şekilde karakterize edilmesi gerekmektedir. Kirlenen ortamın jeolojisi, mineralojisi, hidrojeolojisi ve hidrojeokimyasal parametrelerinin doğru şekilde saptanması, uygulanacak yöntemin seçiminde ve yöntemin başarısında son derece önemli bir yer tutmaktadır. Kirliliğin giderilmesinde, ortamın özel şartlarından dolayı bazen tek bir yöntem etkili olamamakta ve birkaç yöntemin birlikte uygulanması gerekebilmektedir. Akiferin özelliklerinin herhangi bir temizleme yöntemine izin vermediği durumlarda, kirliliğin doğal temizlenme sürecine bırakılması da bir yöntem olarak önerilmektedir.

Bu makalede, avantajları ve dezavantajlarıyla birlikte verilen yöntemler dünyada son yıllarda petrol kirliliğinin giderilmesiyle ilgili olarak test edilen ve kullanılan yöntemler olup ülkemizde bu tip sorunlarla karşılaşılan bölgelerdeki (Örn. Mersin) petrol kirliliğinin giderilmesi ile ilgili çalışmalarda yararlı olacağı düşünülmektedir.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

- Adams, J.A. and Reddy, K.R., 2000. Removal of dissolved- and free-phase benzene pools from ground water using in situ air sparging: *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, 126(8), 697-707.
- Anderson, W.C., 1995. Vacuum vapor extraction: WASTECH Innovative site remediation technology series, Vol. 8. American Academy of Environmental Engineers, Annapolis, MD., 224 p.
- Banerjee, P., 1993. Technology evaluation and applications analysis report: University of Cincinnati/Risk Reduction Engineering Laboratory - Hydraulic fracturing technology: U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/540/R-93/505 (NTIS PB94100161), 160 p.
- Barnes, D.L. and McWhorter, D.B., 1995. Mechanics of vacuum-enhanced recovery of hydrocarbons: In: R.E. Hinchee, J.A. Kidel and H.J. Reisinger (eds), *Applied bioremediation of petroleum hydrocarbons*. Battelle Press, Columbus, OH, 361-370.
- BATTELLE, 1997. Engineering evaluation and cost analysis for bioslurper initiative (A005), Columbus, Ohio, 87 p.
- Bedient, P.B., Rifai, H.S. and Newell, C.J., 1999. *Ground water contamination: Transport and remediation (2<sup>nd</sup> Edition)*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 604 p.
- Blake, S., Hockman, B. and Martin, M., 1990. Applications of vacuum dewatering techniques to hydrocarbon remediation: In: *Proceedings of NWWA/API Conference on Petroleum hydrocarbons and organic chemicals in ground water: Prevention, detection, and restoration*. October 31 - November 2, Houston, Texas, 211-226.
- Blake, S.B. and Gates, N.M., 1986. Vacuum enhanced hydrocarbon recovery: A case study: In: *Proceedings of NWWA/API Conference on petroleum hydrocarbons and organic chemicals in ground water: Prevention, detection, and restoration*. November 12-14, Houston, Texas, 709-721.
- Borden, R.C., 1994. Natural bioremediation of hydrocarbon-contaminated ground water. *Handbook of Bioremediation*, Lewis Pub., Boca Raton, FL, 177-199.
- Brown, R. and Jasiulweicz, F., 1992. Air sparging: A new model for remediation: *Pollution Engineering*, 52-55.
- Brown, R.A., Hicks, R.J. and Hicks, P.M., 1994. Use of air sparging for in situ bioremediation: In: R.E. Hinchee (ed), *Air sparging for site remediation*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 38-55.



- Bruce, L., Hockman, B., James-Deanes, R., King, J. and Laws, D., 1992. Vacuum recovery barrier wall system dewater contaminated aquifer: A solution based on proper evaluation of hydrogeologic parameters: In: Proceedings of the NGWA/API Conference on petroleum hydrocarbons and organic chemicals in ground water: Prevention, detection, and restoration. November 4-6, Houston, Texas, 303-311.
- Chapelle, F.H., 1993. Ground-water microbiology and geochemistry. John Wiley, New York, 424 p.
- Chapelle, F.H., 1999. Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated ground water - The perspectives of history and hydrogeology: *Ground Water*, 37(1), 122-132.
- Connolly, M., Gibbs, B. and Keet, B., 1995. Bioslurping applied to a gasoline and diesel spill in fractured rock: In: R.E. Hinchee, J.A. Kittel and H.J. Reisinger (eds), *Applied bioremediation of petroleum hydrocarbons*. Battelle Press, Columbus, OH, 371-377.
- Davis, E.L., 1997. How heat can enhance in-situ soil and aquifer remediation: Important chemical properties and guidance on choosing the appropriate technique: Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, EPA/540/S-97/502, Washington, DC.
- Department of Defense, 2002. Multi-site air sparging, Battelle Press, Columbus, Ohio, 105 p.
- DiGiulio, D.C. and Cho, J.S., 1990. Conducting field tests for evaluation of soil vacuum extraction application: In: Proc. Fourth Natl. Outdoor Action Conf. on Aquifer restoration, ground water monitoring, and geophysical methods. Natl. Ground Water Assoc., Dublin, OH, 587-601.
- EPA, 1994. Assessing UST corrective action technologies: Lessons learned about in situ air sparging at the Denison Avenue Site, Cleveland, Ohio, EPA/600/R-95/040, 98 p.
- EPA, 1998. Permeable reactive barrier technologies for contaminant remediation, EPA/600/R-98/125, 94 p.
- EPA, 2005. A citizen's guide to in situ thermal treatment methods, <http://www.envirottools.org/factsheets/Remediation/insitutherm.shtml>
- ESTCP, 2001. Use of cometabolic air sparging to remediate chlorethene-contaminated ground water aquifers, ESTCP cost and performance report (CU-9810), U.S. Department of Defense, 51 p.
- ESTCP, 2003. Evaluating the longevity and hydraulic performance of permeable reactive barriers at Department of Defense sites, Cost and Performance Report (CU-9907), U.S. Department of Defense, 57 p.
- Fetter, C.W., 1999. Contaminant hydrogeology (2<sup>nd</sup> Edition). Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 500 p.
- Gavaskar, A.R., Gupta, N., Saas, B.M., Janosy, R.J. and O'Sullivan, D., 1988. Permeable barriers for groundwater remediation: Design, construction, and monitoring. Battelle Press, Columbus, OH.
- Gillham, R.W. and O'Hannesin, S.F., 1992. Metal-catalyzed abiotic degradation of halogenated organic compounds: In: IAH Conference, Modern trends in hydrogeology, Hamilton, Ontario, May 10-13, 1992. International Association of Hydrogeologists, Markham, Ontario, Canada, 94-103.
- Gonen, O. and Gvirtzman, H., 1997. Laboratory-scale analysis of aquifer remediation by in-well vapor stripping: 1. Laboratory results: *Journal of Contaminant Hydrology*, 29, 23-39.
- Gvirtzman, H. and Gorelick, S., 1992. The concept of in-situ vapor stripping for removing VOCs from groundwater, *Transport in Porous Media* 8. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 71-92.
- GWRTAC, 1996. Treatment walls: Technology evaluation report TE-96-01, 38 p.
- GWRTAC, 1997. In-well vapor stripping, Technology overview report TO-97-01, 17 p.
- GWRTAC, 2000. Technology status report hydraulic, pneumatic and blast-enhanced fracturing, Pittsburgh, PA, 48 p.

- Hinchee, R.E. 1994. Air sparging for site remediation, Columbus, Ohio, CRC Press.
- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2005. Technical and regulatory guidance for in situ chemical oxidation of contaminated soil and groundwater (2<sup>nd</sup> Edition): Interstate Technology & Regulatory Council, In Situ Chemical Oxidation Team, Washington, D.C., 172 p. Available on the Internet at <http://www.itrcweb.org>.
- Johnson, P.C., 1998. Assessment of the contributions of volatilization and biodegradation to in-situ air sparging performance: Environmental Science and Technology, 32(2), 276-281.
- Johnson, R.L., Johnson, P.C., McWhorter, D.B., Hinchee, R.E. and Goodman, I., 1993. An overview of in situ air sparging: Ground Water Monitoring and Remediation, 13(4), 127-135.
- Leonard, W.C. and Brown, R.A., 1992. Air sparging: An optimal solution: In: Proceedings of the Conference on Petroleum hydrocarbons and organic chemicals in ground water: Preventive, detection, and restoration. National Groundwater Association, Westerville, Ohio, 349-363.
- Marley, M.C., Hazebrouck, D.J. and Walsh, M.T., 1992. The application of in-situ air sparging as an innovative soils and groundwater remediation technology: Ground Water Monitoring Review, 12(2), 137-145.
- Place, M., Hoepfel, R., Chaudhry, T., McCall, S., and Williamson, T., 2003. Application guide for bioslurping principles and practices of bioslurping addendum: use of pre-pump separation for improved bioslurper system operation, 18 p.
- Reynolds, G.W., Hoff, J.T. and Gillham, R.W., 1990. Sampling bias caused by materials used to monitor halocarbons in groundwater: Environmental Science and Technology, 24(1), 135-142.
- Rifai, H., Borden, R.C., Wilson, J.T. and Ward, C.H., 1995. Intrinsic bioattenuation for subsurface restoration, intrinsic bioremediation. Battelle Press, Columbus, OH, 1-30.
- Riser-Roberts, E., 1992. Bioremediation of petroleum contaminated sites. CRC Press, 197 p.
- Schnarr, M., Truax, C., Farquhar, G., Hood, E., Gonullu, T. and Stickney, B., 1998. Laboratory and controlled field experiments using potassium permanganate to remediate trichloroethylene and perchloroethylene DNAPLs in porous media: Journal of Contaminant Hydrology, 29, 205-224.
- Siegrist, R.L., 1998. In situ chemical oxidation: Technology features and applications: Conference on advances in innovative ground-water remediation technologies. Atlanta, GA. 15 December 1998. Groundwater Remediation Technology Analysis Center. U.S. EPA Technology Innovative Office.
- Smith, L.A. and Hinchee, R.E., 1993. In situ thermal technologies for site remediation. Lewis Publishers, Ann Arbor, MI, 224 p.
- WHO (World Health Organization), 1998. Draft third edition of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality.
- [www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-30.html](http://www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-30.html)
- [www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-36.html](http://www.frtr.gov/matrix2/section4/D01-4-36.html)



## **YAYIM AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ**

### **AMAÇ**

#### **JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ**

- İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri daha güvenli ve daha rahat bir yaşam ortamı sağlamak doğrultusunda, doğal çevreyi gözетerek insanın hizmetine sunmayı amaçlayan Jeoloji Mühendisliği mesleğinin günlük yaşamdaki yerini ve önemini daha etkin bir şekilde yansıtmak,
  - Bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri Jeoloji Mühendislerinin bilgisine sunmak,
  - Konu ile doğrudan/dolaylı etkinliklerde bulunan bilimadamları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim iletişimini güçlendirecek ve hızlandırarak kolay erişilebilen, geniş katımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve yayma olanağı yaratmak
  - Türkiye'nin sosyal ve ekonomik kalkınmasını yakından ilgilendiren jeolojiye ilişkin sorunların daha etkin çözümünü sağlamak açısından büyük önem taşıyan kurumlararası işbirliğinin başlatılmasına katkıda bulunmak,
  - Türkçenin jeoloji mühendisliği alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirmek
- gibi amaçlara sahiptir.

### **KAPSAM VE NİTELİK**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ**, ulusal ve uluslararası platformda yer bilimlerinin uygulamaya dönük alanları ile ilgili çalışmalar yapan herkesin katkılarına açıktır. Bu çerçevede

- ✓ İnsanın yaşamını etkileyen jeolojik süreçler ile mühendislik yapıları ve bunlara ilişkin sorunlar ve çözümler
- ✓ Jeolojik kaynakların yönetimi ve ekonomik değerlendirmesi
- ✓ Doğal ve yapay kirleticiler ve ekosisteme etkileri
- ✓ Jeolojik anıtların korunması
- ✓ Jeolojik sorunların çözümüne katkıda bulunan arazi ve laboratuvar yöntem ve tekniklerinin geliştirilmesi

ile ilgili kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan ürünler, Yayın Kurulunun değerlendirmesinden geçtikten sonra Jeoloji Mühendisliği Dergisinde yayınlanır.

Jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin her türlü çalışma Jeoloji Mühendisliği Dergisinin yayın amaçlarına uygundur. Bununla birlikte, çalışmaya konu olan sorun kullanılan teknik ne olursa olsun, bilimsel yöntemlerle ele alınması ve jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin olması aranan temel nitelikler arasında olacaktır. Çalışmanın daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekmektedir. Jeoloji Mühendisliği Dergisi yeni yapısıyla beş tür yazı yayımlanacaktır;

- 1- **ELEŞTİREL İNCELEME (Review Paper):** Editörlerin daveti üzerine veya bilgisi dahilinde hazırlanan, jeoloji mühendisliğinin herhangi bir alanında halen kullanılmakta olan teknik, yöntem ve yaklaşımların günümüz teknolojik gelişimleri ve kendi deneyimleri ışığında inceleyen, bu açıdan öneriler geliştiren yazılardır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.
- 2- **ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article):** Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kuramsal temel, yeterli miktar ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılıyla

değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 6000 sözcük eşdeğerini (10 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki yayın kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayınlanır.

- 3- **TEKNİK NOT (Technical Note):** Herhangi bir süreç veya tekniği, kuramsal temel, yeterli veri, ve ayrıntılı değerlendirmeye dayanmadan sunan ve amacı bu süreç veya teknikleri kullanabilecek yer bilimcilere duyurmak olan özgün yazıdır. Yazının uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki yayın kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayınlanır.
- 4- **ARAŞTIRMA NOTU (Research Note):** Henüz tamamlanmamış, eksik veri, ve bulgularla yüzeysel değerlendirmelere dayalı kendi içinde tutarlı, özgün deneysel, uygulamalı veya kuramsal araştırmaların ön sonuçlarının veya bulgularının sunulduğu yazıdır. Amaç, okuyucuya güncel bir konuya ilişkin bir çalışmanın ön bulgu ve sonuçlarını duyurarak konu üzerinde tartışma ortamı yaratmak, konunun gelişmesine başka araştırmacıların katkılarına sağlamaktır. Yazı uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki yayın kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayınlanır.
- 5- **GÖRÜŞ-YORUM ve YANITLAR (View, Comment and Reply):** Dergide yayımlanan yazılar hakkında her türlü görüş, yorum ve bunlara ilişkin yanıtları içerir. Editörlerin uygun gördüğü uzunlukta yayınlanır.

### **YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ** Editörlüğüne **2 satır aralıkla 12 punto harflerle yazılmış ve 3 nüsha halinde** ulaşan yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları, vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirilmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğrudan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörlükçe karar verilir ve sonuç yazarlara bildirilir.

Yayın Kurulu üyelerinin birbiriyle çelişen görüş bildirmeleri durumunda Editörlüğün bir karara varabilmesi için yazı, üçüncü bir Yayın Kurulu üyesine gönderilir. Yayın Kurulu üyeleri gerekli görürlerse yazıları düzeltilmiş haliyle tekrar görüş değerlendirebilirler.

Yazarlar, Yayın Kurulu Üyelerinin ve Editörlüğün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmeler arasında katılmadıkları hususlar olduğunda bunları ayrı bir sayfada gerçekleriyle birlikte açıklamalıdır.

Gönderilen yazılar, **JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ**nde yayımlansın veya yayımlanmasın yazarlara geri iade edilmez.

### **YAZIM DİLİ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ**nde yayım dili olarak "Türkçe" ve "İngilizce" kullanılmaktadır. Derginin oldukça geniş bir yurt dışı aboneliği ve sürümü olduğu için, Türkçe makalelerin, **kabulden sonra "Genişletilmiş bir İngilizce Özeti"**nin yazılması gerekmektedir. Dergide; ayrıca yazıların başlıkları, özetleri ve tüm çizelge ve resimlemelerin açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

## YAZIM KURALLARI

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlanması kabul edilen yazıların** basım öncesi dizgi işlemleri Editörlükçe yazarlara gönderilecek olan "**Makale Yazım Formatı'na** göre yazarlar tarafından yapılır. Zaman tasarrufu, ekonomiklik ve yazıların son şeklinin yazarlar tarafından da kontrolünü sağlamak açısından tercih edilen bu yöntemde, yazarlar yazıların baskıya girecek şekilde bilgisayarda formata uygun bir şekilde dizele ve bırakılan boşluklara da şekil ve çizelgeleri yerleştirerek (camera-ready uygulamasına benzer şekilde) basım aşamasına getirerek Editörlüğe gönderirler.

### Metin Bölümü

1. **Metin:** A4 boyutunda (29.7 x 21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1,5 satır aralıkla ve 10 punto ve Times New Roman (ya da benzer bir karakterle) yazı karakteri ile yazılmalıdır. Sayfa kenarlarında 3'er cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar numaralandırılmalıdır. Bilgisayar çıktılarının silik olmamasına özen gösterilmelidir.
2. **Başlık:** konuyu en iyi şekilde belirtir ve 12 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli ve Türkçe başlığın (tamamı büyük harfle ve koyu yazılmış) yanısıra, İngilizcesi (İtalik ve normal büyük harflerle) de yazılmalıdır. Eğer yazı İngilizce yazılmış ise önce İngilizce sonra Türkçe başlık verilmelidir.
3. **Öz:** yazının başlangıcında en fazla 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış, Türkçe öz (abstract) ve kabülden sonra İngilizce Genişletilmiş Özet (extended summary) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve sonuçlarını yansıtarak) olmalıdır. Yazı Türkçe yazılmışsa Extended summary'nin, İngilizce yazılmışsa Öz'ün başlığı ve metin kısmı italik karakterle yazılmalıdır. İngilizce Genişletilmiş Özet içinde; yararlanılan kaynaklara, şekil, çizelge ve eşitlik numaralarına değinilmelidir. Ayrıca, öz ve extended summary bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak **Anahtar kelimeler** ve **Key words** (en az 2, en çok 6 kelime alfabetik sıraya göre) verilmelidir. Eğer yazı İngilizce hazırlanmış ise, extended summary bölümü yerine abstract yazılmalı ve önce abstract sonra öz verilmelidir.
4. Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir.
  - a) Başlık (Türkçe ve İngilizce)
  - b) Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları tamamen büyük harfle, adresler normal İtalik karakterlerle)
  - c) Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
  - d) Extended summary (key words eklenerek)
  - e) Giriş (amaç, kapsam, çalışma yöntemleri, vd.)
  - f) Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, vd.)
  - g) Sonuçlar ve Tartışmalar (Sonuçların tartışılması gerektiği durumlarda, tartışmalar sonuçlarla birlikte verilmelidir. Bu durumda "Sonuçlar" başlığı yerine "Tartışma ve Sonuçlar" başlığı kullanılmalıdır.
  - h) Kalkı belirtme (gerekliyse)
  - i) Kaynaklar
  - j) Ek açıklamalar
5. Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmemelidir. Bunların yazım şekli aşağıdaki gibi olmalıdır.

### ÖZ

### EXTENDED SUMMARY

### GİRİŞ

### ANA BAŞLIK

### Birinci Derece Alt Başlık

### İkinci derece alt başlık

### Üçüncü derece alt başlık

### SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

### KATKI BELİRTME

### Değinilen Belgeler

6. Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m<sup>2</sup> vb.) kullanılmalıdır.
7. Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse resimlemelerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta

kullanılmalıdır (3.1 gibi).

### Kaynaklar

- A) Metin içinde kaynaklara değinme yapılırken aşağıdaki örneklerde olduğu gibi, bibliyografya araştırmacı soyadı ve tarih sırasıyla verilir.  
..... Ford (1986) tarafından .....  
..... bazı araştırmacılar (Williams, 1987; Gunn, 1990; Saraç ve Tarcan, 1995)
- b) Birden fazla sayıda yazarlı yayınlara metin içinde değinilirken ilk yazarın adı belirtilmeli diğerleri için vd. ibaresi kullanılmalıdır.  
..... Doyuran vd. (1995) ....  
..... Smart vd. (1971) .....
- c) Ulaşılmayan bir yayına metin içinde değinme yapılırken bu kaynakla birlikte alıntının yapıldığı kaynak da aşağıdaki şekilde belirtilmelidir. Ancak Kaynaklar Dizininde sadece alıntının yapıldığı kaynak belirtilmelidir.  
..... Dreybrodt (1981; Schubert ve White, 1971) .....
- d) Kişisel görüşmelere metin içinde soyadı ve tarih belirtilerek değinilmeli, ayrıca Kaynaklar Dizininde de belirtilmelidir (Soyadı, Adı, Tarih. Kişisel görüşme. Görüşülen kişi(ler)in adresi)
- e) Kaynaklar, yazar soyadları esas alınarak alfabetik sırayla verilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar Kaynaklar Dizininde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır.

### • Süreli yayınlar ve bildiriler:

Drew, D.P., 1996. Agriculturally induced changes in the Burren karst, western Ireland. *Environmental Geology*, 28(2), 137 - 144.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin başlığı. Süreli Yayının Adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), sayfa no.]

Ünal, E., Özkan, İ. ve Ulusay, R., 1992. Characterization of weak, stratified and clay bearing rock masses. ISRM Symposium: Eurock'92 - Rock Characterization, Chester, U.K., 14-17 September 1992, J.A. Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, 330-335.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editör(ler), Basımevi, Cilt No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa), Düzenlendiği Yerin Adı, sayfa no.]

### • Kitaplar için:

Palmer, C.M., 1996. Principles of Contaminant Hydrogeology (2<sup>nd</sup> Edition). Lewis Publishers, New York, 235 p.

Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869, 520 s.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın Adı (ilk harfleri büyük). Yayınevi, Basıldığı Şehrin Adı, sayfa sayısı.]

### • Raporlar ve Tezler:

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeolojisi ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234, 17 s (yayımlanmamış).

Sönmez, H., 1996. T.K.İ.-E.L.İ. Soma Linyitleri açık işletmelerinde eklenmiş kaya kütlesi içindeki şevlerin duraylılığının değerlendirilmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 99s (yayımlanmamış).

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya tezin başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsa), sayfa sayısı (yayımlanıp, yayımlanmadığı)]

**NOT:** Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 1.5 cm içeriden başlanarak yazılmalıdır.

### Eşitlikler ve Formüller

- Eşitlikler elle yazılmamalı ve bilgisayardan yararlanılmalıdır. 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.
- Eşitliklerde kullanılacak alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır ( $1_0, x^2$  gibi).
- Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir.
- Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır ( $\sqrt{\alpha - \beta}, s^{0.5}$  gibi).
- Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "\*" işareti tercih edilmelidir ( $Y=5 \cdot 10^{-3} X$  gibi).
- Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla  $Ca^{++}$  veya  $CO_3^{-}$  gibi ifadeler yerine  $Ca^{2+}$  ve  $CO_3^{2-}$  kullanılmalıdır.
- İzotop numaraları, örneğin  $^{16}O$  şeklinde verilmelidir.

### Çizelgeler

- Yazarlar, Derginin boyutlarını dikkate alarak, çizelgeleri sınırlamalı ve gerekiyorsa metinde kullanılabilecek oranla çizelgeleri daha küçük karakterlerle yazmalıdır. Bu amaçla çizelgeler tek sütuna (7.5 cm) veya çift sütuna (16 cm) yerleştirilebilecek şekilde düzenlenmesine özen gösterilmelidir. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin en fazla (16 x 21) cm boyutlarında olması gereklidir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak çizelgeler kabul edilmez.
- Çizelgelerin hemen altında gerekli durumlarda açıklayıcı dip notlarına veya kısaltmalara ilişkin açıklamalara yer verilmelidir.
- Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilerek, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) "Çizelgeler Dizini" başlığı altında ayrı bir sayfaya yazılmalıdır. İngilizce olarak hazırlanmış yazılarda önce İngilizce sonra Türkçe çizelge başlığı verilmelidir.
- Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almamalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır.
- Her çizelge ayrı bir sayfaya bastırılarak ve sıraya dizilerek Çizelgeler Dizini sayfasıyla birlikte metnin arkasına konulmalıdır. Çizelge başlıkları çizelgenin üzerine yazılmamalıdır. Çizelge numaralarının kurşun kalemle her çizelgenin sağ üst köşesinde belirtilmesi yeterlidir.

### Resimlemeler (Çizim, fotoğraf ve levhalar)

- Değerlendirme aşamasında şekillerin orjinallerinin gönderilmesine gerek yoktur. Bu aşamada çizimlerin teknik çizim normlarına uygun olarak çini mürekkeple aydıngere çizilmiş veya bilgisayar çıktısı olarak alınmış ve harf, rakam ve simgeleri kolaylıkla okunabilen orjinallerinin kaliteli kopyaları gönderilmelidir.
- Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil altı yazıları "Şekiller Dizini" başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) ayrı bir sayfada verilmelidir. Yazı İngilizce olarak hazırlanmışsa şekil altı yazıları önce İngilizce sonra Türkçe verilmelidir.
- Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek Şekiller Dizini sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekil altı yazılarının ayrıca şekil sayfalarına da

- yazılmasına gerek olmayıp, şekil numaralarının kurşun kalemle her şekilin sağ üst köşesinde belirtilmesi yeterlidir.
- Şekillerin boyutları ya tek sütuna (7.5 cm), ya da çift sütuna (en fazla 16 cm) yerleştirilebilecek nitelikte hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük şekillerin, şekil altı açıklamalarına da yer kalacak biçimde, en fazla (16x21 cm) boyutlarında olması gereklidir. Belirtilen bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak boyuttaki şekiller kabul edilmez.
- Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk (bar) türü ölçek kullanılmalıdır.
- Şekiller yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanırken şekil üzerindeki açıklamaların (karakterlerin) okunabilir boyutlarda olmasına özen gösterilmelidir.
- Fotoğraflar şekiller için yukarıda belirtilen boyutlarda, parlak kağıda, kontrastlı ve siyah-beyaz basılmış olmalıdır. Fotoğrafların üzerinde gösterilebilecek olan simgeler için çini mürekkebi veya letaset kullanılmalıdır. Özellikle koyu tonların egemen olduğu bölgelerde simgelerin beyaz letasetle gösterilmesi önerilir. Yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelerin kullanılmasına özen gösterilmelidir.
- Mikroskopta çekilmiş ince kesit fotoğrafları (paleontolojik veya minerolojik), levha (plate) olarak değerlendirilir ve parlak siyah-beyaz kağıda basılı olmaları gereklidir. Levha sayısı üçten çok olmamalıdır.

### Ek Açıklamalar ve Dipnotlar

- Ana metnin içine alınması, okuyucunun dikkatinin dağılmasına yol açabilecek ve hatırlatma niteliğindeki bilgiler, yazının sonunda "Ek Açıklamalar" başlığı altında konulabilir (İstatistik bilgilerin verilmesinde, formüllerin çıkartılmasının gösterilmesinde, bilgisayar programlarının verilmesinde, vb. konularda bu yol izlenebilir.)
- Dipnotlar, yerleştirme ve yazılma açısından güçlükler nedeniyle, çok gerekli durumlarda kullanılmamalıdır. Eğer dipnot kullanılırsa, yıldız (\*) işareti ile gösterilmeli ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Dipnotta eğer değinme yapılsa bibliyografik bilgiler dipnotta değil, Kaynaklar Dizini içinde verilmelidir.

### YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin** "Yayın Amaç ve Kuralları" nda belirtilen ilkelere uygun olarak hazırlanmış yazılar, biri orijinal diğer ikisi fotokopi olmak üzere aşağıdaki yazışma adresine üç nüsha gönderilmelidir. **Orijinal resimlemeler, yazının yayına kabul edilmesi durumunda kullanılmak üzere yazarlar tarafından muhafaza edilmelidir.**

### JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ T.M.M.O.B. Jeoloji Mühendisleri Odası

PK 464, Yenişehir  
06444, Ankara  
Tel : (312) 432 30 85 / (312) 434 36 01  
Faks : (312) 434 23 88  
E-posta : mesener@mta.gov.tr

### AYRI BASKILAR

Dergide yayımlanması kabul edilen yazıların ayrı baskısından on adet yazarına veya birden fazla yazarlı yazılarda yayım için başvuruyu yapan yazara olanaklar çerçevesinde ücretsiz olarak gönderilir. Ondan fazla ayrı baskı talebinde bulunulması halinde yazarlar tarafından her ayrı baskı için Jeoloji Mühendisliği Odası Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ücret ödenir.

