



## İnegöl Havzası (Bursa) Hidrojeolojisi ve Yeraltısularının Kalite Değerlendirilmesi

Ayşen DAVRAZ\*<sup>1</sup> & Özgün ÜNVER

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta

(Alınış Tarihi: 19.04.2013, Kabul Tarihi: 28.08.2014)

### Anahtar Kelimeler

Hidrojeokimya  
Su kalitesi  
İnegöl  
Bursa

**Özet:** Çalışmanın amacı, İnegöl (Bursa) havzasında yeraltısuyu kimyasını kontrol eden hidrojeokimyasal süreçleri incelemek ve yeraltısularının farklı amaçlar için kullanılabilirliğinin değerlendirilmesidir. Havzada en önemli soğuk su akiferi alüvyondur. Ayrıca, alüvyon tabanında bulunan İnegöl formasyonunun konglomera ve kumtaşı seviyelerinden de yeraltısuyu elde edilebilmektedir. Havzanın yüzey suyu boşalmasını sağlayan Kocasu deresi yeraltısuyu boşalmasını da kontrol etmektedir. Yeraltısularının kimyasal yapısı ve kalitesinin belirlenmesi amacıyla iki dönem yerinde ölçümler ve kimyasal analizler yapılmıştır. Yeraltısularının yağışlı dönemde Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü, kurak dönemde ise Mg<sup>2+</sup> iyonundaki artış nedeniyle Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu tespit edilmiştir. Mg artışı dolomit çözünürlüğü ve magnezyumlu minerallerin ayrışması ile ilişkilidir. Ayrıca, yeraltısularının Mn ve Fe içerikleri belirli lokasyonlarda içmesuyu sınır değerlerini aşmaktadır. Bu artışın İnegöl ve Nilüfer formasyonları ile kaya-su etkileşimi ve antropojenik etkenler ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Suların sulama amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD ve Wilcox diyagramları ile sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum yüzdesi, artıksal sodyum karbonat ve geçirgenlik indeksi parametreleri kullanılmıştır. İnegöl Havzası yeraltısularının sulama amaçlı kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.

## Groundwater Quality Assessment and Hydrogeology of İnegöl Basin (Bursa)

### Keywords

Hydrogeochemistry  
Water Quality  
İnegöl  
Bursa

**Abstract:** The aim of the study is to investigate the hydrogeochemical processes that control the chemistry of groundwater in the İnegöl Basin (Bursa), and to assess for its availability of groundwater for different purposes. Alluvium is the most important aquifer in the basin. In addition, groundwater can be supplied from conglomerate and sandstone levels of the İnegöl formation which is located in the base of alluvium. Kocasu stream which is supplied surface water discharge of the basin is also controlled groundwater discharge of the basin. Insitu measurements and chemical analyses of groundwater were made in two period point of view determination of quality and chemical structure of groundwater. Groundwater is Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> facies in wet season and Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> facies in dry season due to increases of Mg<sup>2+</sup> ion. The increase of Mg<sup>2+</sup> is related to solubility of dolomite and decomposition of magnesium minerals. Mn and Fe concentrations of groundwaters are exceed to drinking water standards in specific locations. These increases are based on water rock interaction with İnegöl and Nilüfer formations and anthropogenic factors. USSL and Wilcox diagrams, sodium adsorption ratio, percentage of sodium, residual sodium carbonate, and permeability index were used to determine of availability as irrigation water. Groundwater of the İnegöl Basin is suitable for irrigation water.

### 1. Giriş

Günümüzde uygun kalite ve yeterli miktarda su kaynaklarının bulunması giderek zorlaşmaktadır. Kentleşme, nüfus hareketliliği, nüfus artışı, doğal

tehlikeler ve son zamanlarda karşılaşılan iklim değişikliği dünyanın birçok yerinde önemli problemler oluşturmaktadır. Yeraltısuları toplumların su ihtiyacının karşılanmasında büyük yer tutmaktadır. Bu nedenle, akiferlerin hidrolik

\* İlgili yazar: [aysendavraz@sdu.edu.tr](mailto:aysendavraz@sdu.edu.tr)

özellikleri ve suyun hidrokimyasal yapısının anlaşılması yeraltısuyu planlama ve yönetim araştırmalarında kritik değere sahiptir. Yeraltısularının kimyasal yapısı akiferlerin mineralojik ve kimyasal özellikleri, akım koşulları, akım hızı ve akifer içinde suyun kalma süresi ile ilişkilidir (Freeze ve Cherry, 1979; Appelo ve Postma, 1996). Bunun yanında arazi kullanımına bağlı olarak gerçekleşen antropojenik etkenlerde yeraltısuyu kimyasını etkilemektedir. Yeraltısularında kalite problemlerinin yaşanmaya başlamasıyla yeraltısuyu kirliliği, kalite değerlendirmeleri ile evsel, tarımsal ve endüstriyel kullanımlara uygunluğun değerlendirildiği araştırmalar artmıştır (Ramesh ve Elonga, 2012; Stamatis vd., 2011; Ako vd., 2011; Aghazadeh ve Mogaddam, 2011; Singh vd., 2011; Rajmohan vd., 2000; Al-Bassamand ve Al-Rumikhani 2003; Elhatip vd., 2003; Garg vd., 2009; Umar vd., 2009; Kumar vd., 2009).

Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının sağlanması ve kalitelerinin korunması için havza bazında ayrıntılı hidrojeolojik çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır. Araştırma alanı olarak seçilen İnegöl havzası, Marmara Bölgesi'nde, Bursa İlinin güneydoğusunda yer alan önemli havzalarımızdan bir tanesidir. Havza tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapıldığı bir bölge olması yanında endüstriyel açıdan da gelişmiştir. Bu çalışmada, İnegöl Havzası'nın jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin incelenmesi yanında yeraltısuyunun kimyasal yapısını kontrol eden etkenler araştırılmıştır. Ayrıca, yeraltısuyu kalite analizleri ile farklı amaçlar için yeraltısularının kullanılabilirliği incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

Çalışma alanının 1/100000 ölçekli jeoloji haritası önceki araştırmalar ve arazi çalışmaları ile hazırlanmış ve CoreDRAW-X4 yazılımı kullanılarak çizilmiştir. Yeraltısuyu akım yönü ve mevsimsel değişimin tespiti için 37 kuyuda Mayıs ve Kasım -2010 dönemlerinde yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmıştır. Akifer parametreleri DSİ 1. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyularından temsili olarak seçilen 15 adet kuyuda açıldıkları tarihlerde yapılan sabit seviyeli düşüm deneyi verileri kullanılarak Cooper-Jacob yöntemi ile Aquifer Test 4.0 bilgisayar yazılım programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

İnceleme alanında yeraltısuyu kalitesi ve kullanım koşullarının belirlenebilmesi amacıyla akiferi genel olarak temsil eden noktalarda sondaj kuyuları ve kaynak sularından Mayıs ve Kasım -2010 dönemlerinde döneminde su örnekleri alınmıştır. Örnek alımı işlemleri sırasında çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri yerinde

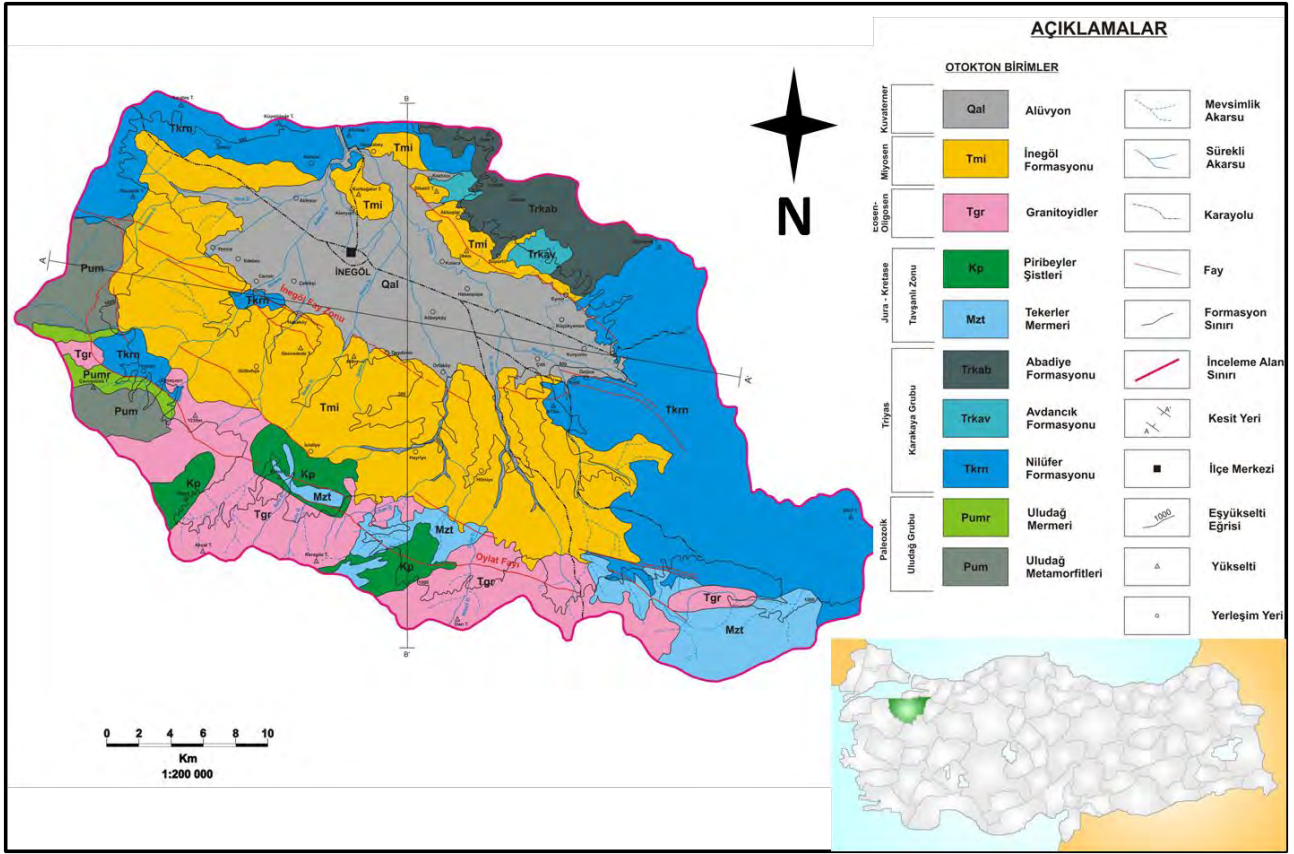
ölçülmüştür. Su örneklerinin anyon (Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>), kation (Na, K, Ca, Mg), azot türevleri (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>) ve iz element (Mn, Cu, Zn, Pb, As, Fe, Cr) analizleri DSİ 1. Bölge Müdürlüğü laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

## 3. Jeoloji

İnceleme alanında yeraltısuyu bulunduran ortamların tespiti, yeraltısuları dinamiği, yeraltısuyu seviyesinde mevsimsel değişiklikler, yeraltısularının etkileşimde olduğu kayaçlar yeraltısularının kullanılabilirliğini doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bu bilgilerin doğru tespiti için öncelikle inceleme alanında bulunan jeolojik birimler ve hidrojeolojik özellikleri tanımlanmıştır.

İnceleme alanında Sakarya zonu ve Tavşanlı zonu tektonik birliklerine ait birimler bulunmaktadır. Sakarya zonu, altta Uludağ masifinde yüzeyleyen Paleozoik yaşlı bir temel ve bu temeli tektonik olarak örten Permiyen-Triyas yaşta dalma batma zonu kayalarından (Karakaya grubu) meydana gelmektedir. Tavşanlı zonu ise mavi şistler, ofiyolit ve ofiyolitli melanjdan oluşmuştur (Okay, 1984; MTA, 2009). İnceleme alanında yer alan kaya birimleri; özellikleri ve birbirleri ile olan ilişkileri göz önünde bulundurulduğunda tüm birimlerin otokton konumlu olduğu belirlenmiştir. Bu birimler yaşlıdan gence doğru; Uludağ grubu içerisinde bulunan Uludağ metamorfileri, Uludağ mermeri, Karakaya grubu olarak adlandırılan Nilüfer formasyonu, Avdancık formasyonu ve Abadiye formasyonu ile Tavşanlı zonu içerisinde bulunan Tekerler mermeri ve Piribeyler şistleri ile Granitoidler, İnegöl formasyonu ve alüvyondan oluşmuştur (Şekil 1).

Birçok araştırmacı tarafından Paleozoik yaşında olabileceği düşünülen Uludağ metamorfileri genellikle gnays ile amfibolit ardalanması ve yer yer mermer ara tabakalarından oluşmaktadır (Ketin, 1947; Okay vd., 2008). Uludağ mermeri genellikle beyazımsı açık gri renkli, ince-orta-kalın tabakalı, bazen masif yer yer erime boşluklu, erime yüzeyli, sert ve sağlam dayanımlıdır (Ketin, 1947). Birim, Uludağ metamorfileri üzerinde uyumlu olarak bulunmaktadır. Permo-Triyas yaşlı Nilüfer formasyonu, diyorit, diyabaz, mikrogabro, spilit metabazit türü kayalar ve metapelitik kayalardan oluşmuştur (Akyüz ve Okay, 1996; Okay vd., 1991). Avdancık formasyonu kumtaşı, silttaşı, kiltası, kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır (Genç vd., 1986). Formasyonun yaşı yorumsal olarak Permiyen sonrası ile Üst Triyas arasındadır (Genç, 1986). Permiyen yaşlı Abadiye formasyonu spilit, spilitik bazalt, radyolarit, çamurtaşı, kumtaşı, kireçtaşı, diyabaz ve çörtlerden oluşmuştur (Genç vd., 1986; Genç, 1986). Jura yaşlı Tekerler mermeri genellikle gri, kirli beyaz mavimsi renkli, taze yüzeyi çoğu yerde beyaz renkli, iri kristalli mermerlerden meydana gelmiştir. Piribeyler şistleri, silisli şeyl kökenli mikali



**Şekil 1.** İnceleme alanının jeoloji haritası (DSİ, 1981; MTA, 2009; Ünver, 2010)

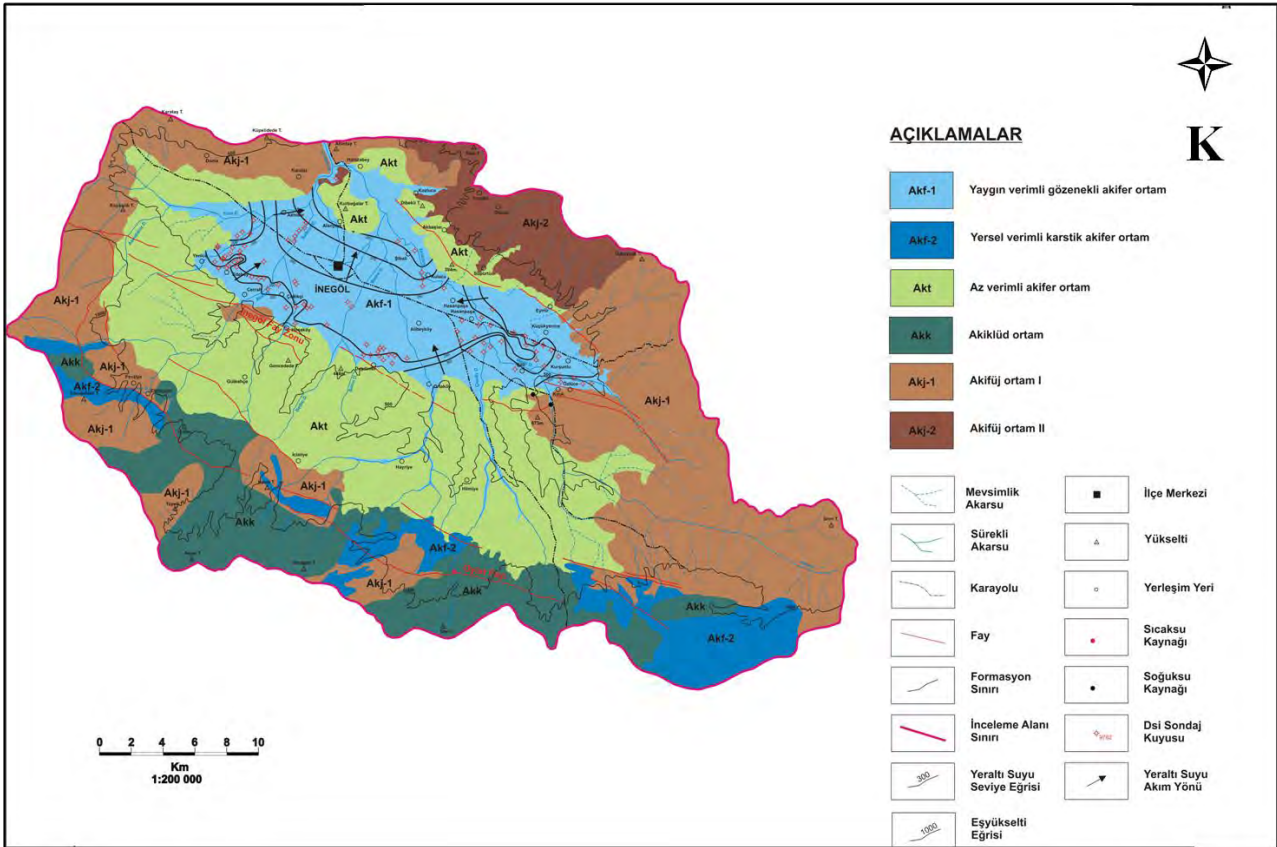
şist, çört kökenli mikalı kuvars şist, pelajik killi kireçtaşı kökenli kalkışist ve bazik volkanik kökenli mavi şistlerden meydana gelmiştir. Bu formasyon, konkordan bir dokanakla Tekerler mermerleri üzerinde yer almaktadır (Tekeli vd., 1989). İnceleme alanının genellikle güneyinde yer alan Eosen-Oligosen yaşlı (Okay vd., 2008) granitoidler, granodiyorit ve granit bileşimlidir. İnegöl formasyonu konglomera, kumtaşı, marn, kiltası, killi kireçtaşı ve kireçtaşından oluşmuştur. Havzanın güneyinde daha çok konglomera, kumtaşı, kiltası, çamurtaşları, kuzeyinde ise konglomera, kumtaşı, marn, kiltası, killi kireçtaşı ve kireçtaşından oluşan seviyeler daha yaygındır. Birimin yaşı Üst Miyosen olarak belirlenmiştir ve kendinden yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır (Genç, 1986).

#### 4. Hidrojeoloji

İnceleme alanındaki bulunan birimler hidrojeolojik özellikleri açısından yeniden değerlendirilmiştir. Havza sınırları içerisinde geniş alanlarda yüzeyleyen alüvyon 'Yaygın Verimli Taneli Ortam Akifer'i, Tekerler ve Uludağ mermerleri 'Yersel Verimli Karstik Akifer Ortam', İnegöl formasyonu 'Akitart Ortam', Granitoidler 'Akiklüd Ortam', Piribeyler şistleri, Uludağ metamorfittleri, Nilüfer formasyonu 'Akifüj Ortam-1', Abadiye formasyonu ve Avdancık formasyonu 'Akifüj Ortam-2' olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 2; Ünver, 2010). İnceleme alanının en önemli akiferini oluşturan alüvyon gevşek tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutundaki malzemenin

bu birimlerin farklı kombinasyonlarından oluşmaktadır. Alüvyon kalınlığı 40-200 m arasında değişmektedir. Sondaj kuyularının logları incelendiğinde; alüvyon akiferin yersel olarak farklılıklar gösterdiği, kil seviyelerinin bölgesel olarak kalınlaştığı ve/veya sık tekrarlandığı görülmektedir. Kil seviyeleri arasında genel olarak çakıl ve killi çakıl seviyeleri bulunmaktadır. Çakıl seviyelerinin arttığı kuyulara ait akifer parametreleri ve debi değerleri önemli miktarlarda arttığı gözlenmektedir.

Havza genelinde alüvyon tabanında İnegöl formasyonu bulunmaktadır. İnegöl formasyonunun konglomera ve kumtaşı seviyelerinden de yeraltısuyu elde edilebilmektedir. Konglomera ve kumtaşı seviyeleri marn ve kil ile ardalanmalıdır. Bu durum bölgede açılan bazı kuyuların artezyen özellik taşımasına da neden olmaktadır. Alüvyon akifer içinde açılan kuyularda çakıllı seviyelerin arttığı ve tabanda İnegöl formasyonuna ait konglomera seviyelerinin kesildiği bölgelerdeki kuyuların debilerinde artış gözlenmektedir. Tekerler ve Uludağ mermeri karstlaşmanın yoğun olarak gözlemlendiği çatlaklı - kırıklı yapıları nedeniyle akifer özelliği taşımaktadır. Bu birimler içerisinde açılmış sondaj kuyuları bulunmamaktadır. Ancak, mevsimsel olarak soğuk su kaynak boşalimleri mermerlerden gerçekleşmekte ve ayrıca, Oylat termal su kaynağının da rezervuar kayacı olması nedeniyle havzanın



**Şekil 2.** İnceleme alanının hidrojeoloji haritası

önemli akiferlerini oluşturmaktadır. Çalışma alanında sadece alüvyon kesilen kuyularda permeabilite katsayısı (K)  $2.20 \times 10^{-4}$ - $5.78 \times 10^{-5}$  m/s, transmisibilite katsayısı (T)  $1.12 \times 10^{-2}$ - $8.61 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s ve depolama katsayısı değerleri (S)  $1.01 \times 10^{-1}$ - $1.18 \times 10^{-3}$  arasında değişmektedir. Alüvyon ve Neojen birimlerin kesildiği kuyularda ise K  $1.00 \times 10^{-5}$ - $7.17 \times 10^{-6}$  m/s, T  $1.19 \times 10^{-3}$ - $8.61 \times 10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s ve S değerleri  $2.09$ - $4.57 \times 10^{-2}$  arasındaki değerlerde olduğu görülmektedir (Ünver, 2010).

İnceleme alanında yaklaşık 306 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bunlardan temsili olarak seçilen 37 kuyuda yağışlı ve kurak dönemlerde (Mayıs-Kasım 2010) statik seviye ölçümleri yapılmış ve yeraltısuyu seviye haritaları hazırlanmıştır (Tablo 1). Hazırlanan yeraltısuyu seviye haritalarında genel olarak yeraltısuyu akım yönünün havza genelinde doğuda kuzeybatı ve batıda kuzeydoğu yönlerinde olduğu görülmektedir (Şekil 2). Havzanın yüzey suyu boşalmasını sağlayan Kocasü Deresi yeraltısuyu boşalmasını da kontrol etmektedir. Alüvyon akiferin kuzeyine doğru İnegöl merkez ve kuzeyinde yeraltısuyu seviye eğrilerinin seyrekleştiği görülmektedir. Bu bölgelerde hidrolik eğim  $0.0052$  civarındadır. Eğrilerin seyrekleştiği bölgeler yüksek permeabiliteli, düşük hidrolik eğimli ortamları temsil etmektedir. Yeraltısuyu seviye eğrileri batıda Yenice, Edebey ve Çeltikçi civarlarında ise sıklaşmaktadır. Bu bölgelerde hidrolik eğim  $0.016$  civarındadır. Alüvyon akiferin doğusunda Hasanpaşa ve Alibeyköy civarında ise hidrolik eğim  $0.011$  değerlerinde

hesaplanmıştır. Eğrilerin sıklaştığı bölgeler ise düşük permeabiliteli, yüksek hidrolik eğimli ortamları temsil etmektedir.

Alüvyon ovada yeraltısuyu seviye değişimleri incelenerek bu seviye değişimlerini etkileyen jeolojik ve hidrojeolojik faktörler araştırılmıştır. İnegöl havzasında serbest akiferi temsil eden alüvyon ortamda yeraltı suyunun yüzeyden derinliği  $4.35$  –  $40.00$  metre arasında ölçülmüştür (Tablo 1). Yeraltısuyu seviyesi doğal ve yapay kökenli etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Doğal olarak yağış, buharlaşma ve yüzeysel akış ile yapay olarak ise yeraltısuyu çekimi seviye değişimini denetleyen faktörlerdir. Seviye değişimleri tüm kuyularda aynı oranda gerçekleşmemiştir. Yağışlı dönem temsil eden Mayıs-2010 ölçümlerinde yeraltısuyu derinliği, bölgesel değişiklikler dışında, genel olarak kurak dönem temsil eden Kasım-2010 ölçümlerinden daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

### Su kaynakları

İnceleme alanında bulunan en önemli kaynaklar Oylat, Çitli ve Kınık kaynaklarıdır.  $40$  °C sıcaklık ile boşalan Oylat termal su kaynağı, İnegöl'ün (Bursa)  $27$  km güneyinde Oylat deresi kenarında fay zonundan boşalmaktadır. Karstlaşmanın yoğun olarak gözlemlendiği çatlaklı - kırıklı yapıdaki mermer ve rekristalize kireçtaşlarından oluşan Uludağ mermerleri rezervuar kaya niteliğindedir. Oylat kaynağının suları kaptaj içerisinde toplanarak kaplıca

bünyesinde kullanılmaktadır (Pasvanoğlu, 2008, 2009, 2011). Çitli kaynağı İnegöl ilçesinin 11 km güneydoğusunda Çitli köyündedir. Denizden 500 m yüksekte bir yamaçta yüzeye çıkan kaynak İnegöl ve Nilüfer formasyonları dokanağından boşalmaktadır. Kınık kaynağı ise İnegöl ilçesinden 16 km uzaklıkta Eskişehir karayolu üzerinde Mezit boğazında bulunmaktadır. Kaynak 1952 yılından beri maden suyu fabrikasında kullanılmaktadır. Kınık kaynağı metabazik ve metapelitik kayalardan oluşan Nilüfer formasyonu içinde fay zonundan boşalmaktadır.

**Tablo 1.** İnceleme alanında yeraltısuyu statik seviye ölçümleri

Bölge	Kuyu No	Seviye Farkı (m)	Yeraltısuyu Derinliği (m)	
			Mayıs (2010)	Kasım (2010)
K.Yenice	28782	-2.50	9.40	11.90
Özlüce	39020	4.15	27.20	23.05
Özlüce	39019	-0.35	24.30	24.65
Özlüce	39018	0.50	22.20	21.70
Deydinler	42076	2.45	34.70	32.25
Çeltikçi	50551	2.85	7.20	4.35
Yenice	38686	4.70	40.00	35.30
Edebey	39028	4.40	28.35	23.95
Çeltikçi	50555	1.82	20.92	19.10
Edebey	33045	-0.60	13.70	14.30
Hocaköy	4116	1.95	27.25	25.30
Yenice	36396	3.45	31.60	28.15
Kurşunlu	33316	-0.30	12.30	12.60
K.Yenice	28784	0.45	13.30	12.85
Hocaköy	41017	1.34	22.60	21.26
Deydinler	36611	1.55	23.70	22.15
Deydinler	36057	-0.41	26.14	26.55
Deydinler	36056	0.10	24.60	24.50
Edebey	33044	4.75	26.70	21.95
K.Yenice	28783	0.35	10.60	10.25
Edebey	50519	3.15	18.10	14.95
Kurşunlu	49610	-0.85	12.30	13.15
Edebey	50518	0.30	9.25	8.95
Kurşunlu	49609	-0.77	10.33	11.10
Kurşunlu	49608	-0.20	9.80	10.00
Hocaköy	41018	1.90	16.90	15.00
Kurşunlu	49606	0.15	8.00	7.85
Kurşunlu	49612	1.84	15.34	13.50
Yenice	41023	0.55	5.75	5.20
Hocaköy	41019	1.87	20.45	18.58
Kurşunlu	49607	-0.20	9.70	9.90
Hocaköy	41015	1.75	17.60	15.85
Hocaköy	41014	1.65	16.75	15.10
Çeltikçi	50554	2.50	7.55	5.05
Çeltikçi	50553	1.83	13.53	11.70
Kurşunlu	49611	-0.13	13.00	13.13
Yenice	41507	7.35	21.80	14.45

## 5. Hidrojeokimya

Suların hidrojeokimyasal özellikleri kullanım alanlarını denetleyen en önemli unsurdur. Yüzey ve yeraltısularının kalitesi insan faaliyetleri ve doğal etkenlerin bir fonksiyonudur. Hidrojeokimyasal araştırmalar bu etkenlerin tespiti ve sonuçları hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. İnceleme alanında yeraltısuyu kalitesi belirlenerek kimyasal özelliklerle hidrojeolojik ilişkinin tespiti amacıyla Mayıs-Kasım 2010 dönemlerinde yerinde ölçüm ve

örneklemeler yapılmıştır (Tablo 2). Havza genelinde toplam iyon içeriği Mayıs-2010 döneminde 11.93-19.78 meq/l, Kasım-2010 döneminde ise 12.34-24.07 meq/l değerlerinde olduğu görülmektedir.

**Fiziksel parametrelerin mevsimsel değişimi;** Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), su içerisinde bulunan hidronyum ve OH<sup>-</sup> iyon konsantrasyonlarının azalıp artmasına bağlı olarak suyun asit veya bazik özelliğe sahip olmasıdır. pH değeri Mayıs-2010 ölçümlerinde 7.06-7.91, Kasım-2010 ölçümlerinde ise 7.04-7.65 arasında değiştiği için 'Bazik karakterli' olarak tanımlanmıştır. Suların özgül elektriksel iletkenlikleri (EC), sudaki iyon varlığına, toplam derişimlerine, sıcaklığa bağlı olarak değişen ve suların kullanılabilirlik sınıflamaları için önemli bir parametredir. Çalışma alanında yeraltısuyunun EC değerleri, Mayıs-2010 döneminde 565-991 µS/cm, Kasım-2010 döneminde ise 564-1168 µS/cm arasında değişmektedir. Kasım döneminde yeraltısularının EC değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Sertlik suların kalitesini belirten iyon özelliklerinden en önemlisidir. Suların sertliği başta kalsiyum, magnezyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg sülfat, Ca-Mg nitrat ve az miktarda da demir, alüminyum ve stronsiyum iyonlarından ileri gelmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Çalışma alanında yeraltı suyunun sertliği Mayıs-2010 döneminde 24.20-36.45 Fr° arasında, Kasım-2010 döneminde 27.80-46.65 Fr° arasında değişmektedir. Sertlik değerlerinin suların bileşimindeki Mg<sup>+2</sup> iyonunun artışına bağlı olarak Kasım-2010 döneminde daha fazla olduğu görülmektedir. Çalışma alanında yeraltısuları Fransız sertlik derecesine göre *Oldukça sert* su sınıfı ile *Sert* su sınıfında yer almaktadır.

**Major iyonların mevsimsel değişimi;** Çalışma alanında genel olarak kurak dönemi temsil eden Kasım-2010 analiz sonuçlarına göre major iyonların dizilimi Mg>Ca>Na>K; HCO<sub>3</sub>>SO<sub>4</sub>>Cl; HCO<sub>3</sub>>Cl>SO<sub>4</sub> şeklindedir. Mayıs-2010 döneminde ise Ca>Mg>Na>K; HCO<sub>3</sub>>SO<sub>4</sub>>Cl şeklindedir. Kurak dönemde Mg iyonunda yüksek oranlarda artış tespit edilmiştir. Yeraltısularında bulunan magnezyumun kaynağı dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit vb.) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsid, tremolit gibi mineralleridir (Şahinci, 1991). İnceleme alanında Mg artışı İnegöl formasyonu içerisinde bulunan kayaçlardaki dolomit mineralleri ile ilişkilidir.

Ayrışma, iyon alışverişi ve atmosferik ve antropojenik kaynaklardan girdiler yeraltısuyundaki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonunu kontrol eden temel kazanım mekanizmalarıdır. Yeraltısuyunda farklı çözülmüş iyonların oranları temel kaya veya akiferdeki miktarları ve çözünürlüklerine bağlıdır (Singh vd., 2012; Sarin vd., 1989; Singh ve Hasnain 1999). Hidrojeokimyasal

**Tablo 2.** Yeraltısularının kimyasal analiz sonuçları (İyonlar meq/l cinsinden belirtilmiştir.)

\*Mayıs-2010; \*\*Kasım-2010

Kuyu No	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Toplam Sertlik (Fr <sup>0</sup> )	EC $\mu$ S/cm	pH	Ca/Mg	Na/Cl	Su Sınıfı
50653	0.70	0.087	3.91	0.93	0.33	0.42	5.66	24.20	626	7.39	4.20	2.11	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
50653	0.77	0.052	2.60	3.52	0.36	0.37	5.94	30.60	628	7.55	0.74	2.14	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
38686	0.88	0.069	4.56	0.98	0.84	1.22	5.85	27.75	798	7.13	4.65	1.04	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
38686	0.89	0.15	2.75	5.17	1.38	0.79	5.31	39.60	791	7.64	0.53	0.64	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
41014	0.78	0.104	3.47	3.21	0.31	0.64	6.57	33.45	723	7.20	1.08	2.45	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
41014	0.74	0.12	1.79	3.78	0.47	0.46	4.20	27.85	702	7.54	0.47	1.57	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
50556	2.03	0.072	3.13	4.17	0.31	1.98	8.08	36.45	991	7.18	0.75	6.46	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
50556	1.54	0.042	1.53	6.21	1.80	1.82	8.52	38.70	1000	7.29	0.25	0.85	Mg-HCO <sub>3</sub>
9782	0.97	0.044	3.92	3.14	0.31	0.99	6.80	35.30	711	7.91	1.25	3.11	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
9782	1.00	0.064	2.91	4.93	0.64	1.12	7.45	39.20	828	7.46	0.59	1.56	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
27059	0.67	0.080	3.10	2.00	0.42	0.72	4.94	25.50	565	7.46	1.55	1.59	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
27059	1.20	0.096	1.98	3.57	0.52	0.32	5.15	27.80	564	7.48	0.55	2.30	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
28784	0.87	0.070	3.32	3.20	0.29	0.66	6.47	32.65	694	7.12	1.03	3.0	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
28784	0.90	0.060	2.18	4.17	0.47	0.98	5.81	31.75	679	7.51	0.52	1.91	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
21694	0.50	0.050	5.34	0.60	0.19	0.75	5.68	29.65	660	7.07	8.9	2.63	Ca-HCO <sub>3</sub>
21694	0.49	0.071	2.58	3.97	0.39	1.36	5.39	32.75	671	7.65	0.65	1.25	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
27061	0.52	0.060	4.91	0.98	0.21	0.77	5.74	29.45	670	7.06	5.01	2.47	Ca-HCO <sub>3</sub>
22322	0.59	0.050	3.84	1.88	0.19	0.21	5.91	28.60	569	7.30	2.04	3.1	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
58088	0.79	0.094	3.15	5.97	0.53	1.24	8.02	45.60	1087	7.64	0.53	1.49	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
21777	1.50	0.068	2.90	3.65	0.50	0.63	6.74	32.75	760	7.24	0.79	3.0	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
6502	1.52	0.068	3.17	6.15	1.39	0.90	10.8	46.65	1168	7.04	0.51	1.09	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
39019	1.19	0.097	2.66	4.60	0.53	0.38	6.91	36.30	743	7.20	0.58	2.24	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>

veriler suda çözülmüş iyonların muhtemel kaynaklarının yorumlanmasında kullanılmaktadır.

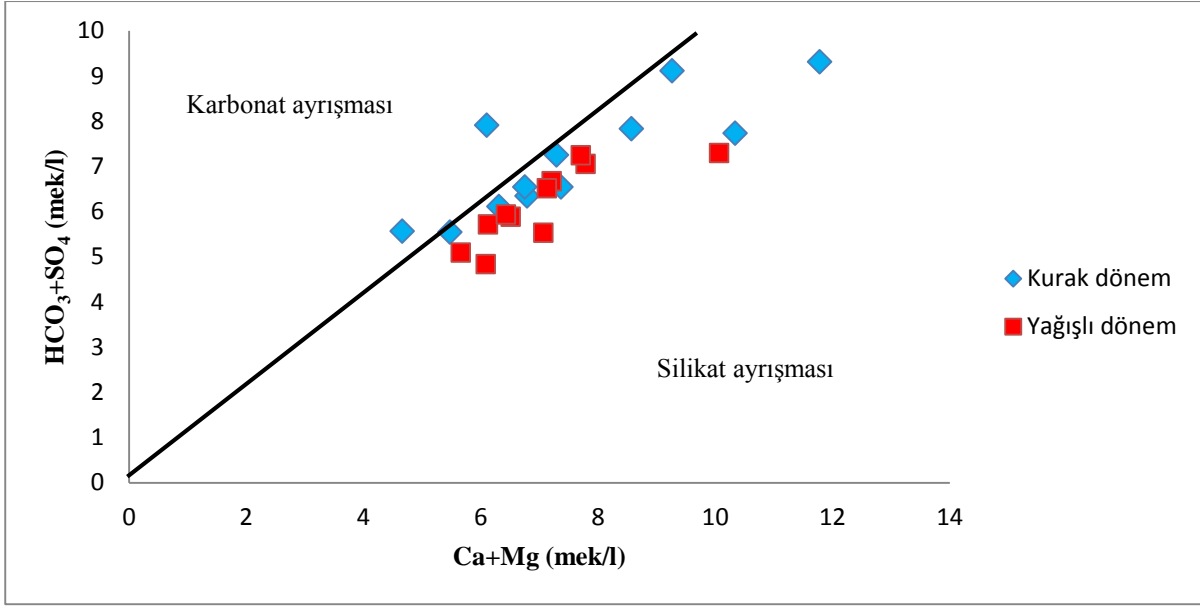
Potansiyel hidrokimyasal davranış Ca/Mg ve Na/Cl oranları arasındaki ilişkiden çıkarılabilir (Han vd., 2009). Yeraltısuyunun Ca/Mg oranları alüvyon akiferde mevcut kalsit ve dolomit çözünürlüğü hakkında yorum yapılmasını sağlayabilir. Genel olarak, Ca/Mg oranı 1'e eşit ise dolomit çözünürlüğünün varlığından bahsedilir. Daha büyük değerler ise kalsit katkısını yansıtır (Maya ve Loucks, 1995). Dolayısıyla, Ca/Mg=1 doğrusuna yakın değerler kalsit ve dolomit çözünürlüğünü işaret ederken, 2'den büyük değerler silikat mineralleri ayrışmasının etkisini gösterir (Katz vd., 1998; Han vd., 2009). İnceleme alanında yeraltısuyunun Ca konsantrasyonu kurak dönemde 1.53-3.17 meq/l, yağışlı dönemde ise 3.1-5.34 meq/l arasında değişmektedir. Mg konsantrasyonu kurak dönemde 3.52-6.21 meq/l, yağışlı dönemde ise 0.6-4.17 meq/l arasında değişmektedir. İnceleme alanında yeraltısularının Ca/Mg oranları kurak dönemde 1'den küçük değerler almaktadır. Yağışlı dönemde ise bölgesel olarak (Bilalköy, Yenice, Hasanpaşa, Çitli, Süpürtü) 2'den büyük değerler gözlenmektedir (Tablo 2). Bu durum yeraltısuyuna Ca iyonlarını sağlayan baskın prosesin silikat ayrışması olduğunu göstermektedir (Datta and Tyagi 1996). Kurak dönemde Mg konsantrasyonunun artışı dolomit çözünürlüğü, magnezyumlu minerallerin ayrışması ve dedolomitasyon süreçleri ile ilişkilidir.

Na/Cl oranı 1 civarında veya üzerinde ise iyon alışveriş proseslerine işaret eder ve sodyumun silikat ayrışmasından kaynaklandığını göstermektedir (Meyback, 1987; Kumar vd., 2006; Tay, 2012). İnceleme alanında her iki dönemde yeraltısuyunun

Na/Cl oranları genel olarak 1'den büyüktür (Tablo 1). Bu durum, iyon alışverişi sonucu kil minerallerindeki Na iyonlarının yeraltısuyundaki Ca iyonları ile yer değiştirdiğini göstermektedir.

Yeraltısuyunda çözülmüş bileşenlerin kaynağı bireysel iyonların bolluğu, iyonik oranlar ve onların korelasyonlarına bakılarak değerlendirilebilir. Ca, Mg, SO<sub>4</sub> ve HCO<sub>3</sub> kayacın mineralojisine bağlı olarak ayrışma sırasında suya eklenen majör elementlerdir. (Ca+Mg)-(HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>) grafiğinde örnek noktaları 1:1 doğrusuna yakınsa kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğunu gösterir. SO<sub>4</sub> ve HCO<sub>3</sub> içeriklerinin fazlalığından dolayı noktalar sağa kayarsa iyon alışverişinin varlığını yansıtır (Cerling vd., 1989; Datta ve Tyagi, 1996; Fisher ve Mulican, 1997). Eğer, ters iyon değişim prosesi varsa Ca ve Mg iyonlarının artışından dolayı noktalar sola kayacaktır (Singh vd., 2011). İnceleme alanında yeraltısuyu örnekleri (Ca+Mg)-(HCO<sub>3</sub>+SO<sub>4</sub>) grafiği üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3). Örneklerin büyük bir çoğunluğu 1:1 denge çizgisinin altında bulunmaktadır. Bu durum, iyon alışverişi ve ayrışma süreçlerinin baskın olduğunu göstermektedir.

**Hidrojeokimyasal fasiyes;** Majör iyonları oluşturan katyonlar (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup>, Mg<sup>+</sup>) ve anyonlar (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>=</sup>) doğal suların toplam iyonik içeriğinin % 90'ından fazlasını oluşturmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Yeraltısularının dolaşım esnasında kayalarla temas halinde olması iyon içeriğini değiştirmektedir. Piper diyagramına göre inceleme alanında yeraltısuları genelde alkali toprak elementlerin toplamı (Ca+Mg), alkali elementlerin toplamından (Na+K) büyük, zayıf asit kökleri



Şekil 3. (Ca+Mg)-(HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>) diyagramı

toplamının (HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>) güçlü asit köklerinin toplamından (SO<sub>4</sub>+Cl) büyük ve "karbonat sertliği % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir (Şekil 4a,b). Bu diyagrama göre yeraltısularının kurak dönemde (Kasım-2010) Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde, yağışlı dönemde (Mayıs-2010) ise Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü ve Ca-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir.

Schoeller (1955) suları bileşimindeki klorür, sülfat, karbonat-bikarbonat miktarları ile anyon-kasyon derişim ilişkilerine göre sınıflandırmıştır. Yağışlı ve kurak dönemde yapılan analiz sonuçlarının her ikisinde de örnekler, Schoeller (1955)'in klorür sınıflamasına göre, 'Normal klorürlü sular', sülfat sınıflamasına göre, 'Normal sülfatlı sular' sınıfına girmektedir. Karbonat-bikarbonat derişimi bakımından ise genel olarak 'Hiperkarbonatlı- Normal karbonatlı sular' sınıfına girmektedir.

**Kaynak sularının hidrokimyasal özellikleri;** İnceleme alanı içerisinde bulunan Oylat Çitli ve Kınık kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri önceki yapılan çalışmalar üzerinden değerlendirilmiştir (Tablo 3). İnceleme alanında bulunan Oylat kaynağının Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979)'ne göre sınıfı Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesindedir (Pasvanoğlu, 2011). Ayrıca, kaynak suyunun içerisinde az miktarda demir, mangan, krom gibi ağır metaller bulundurmamakla beraber hipertermal, hidrokarbonat tuzlarca zengin oligometalik ve kalsiyum sülfatlı sular grubuna girmektedir. Oylat kaynağı Na, Cl, SO<sub>4</sub> içeriği ve sertlik derecesi bakımından devamlı içilebilen sular, EC bakımından ise zorunlu durumlarda içilebilen sular sınıfında olduğu belirlenmiştir (Pehlivan ve Yılmaz, 1995).

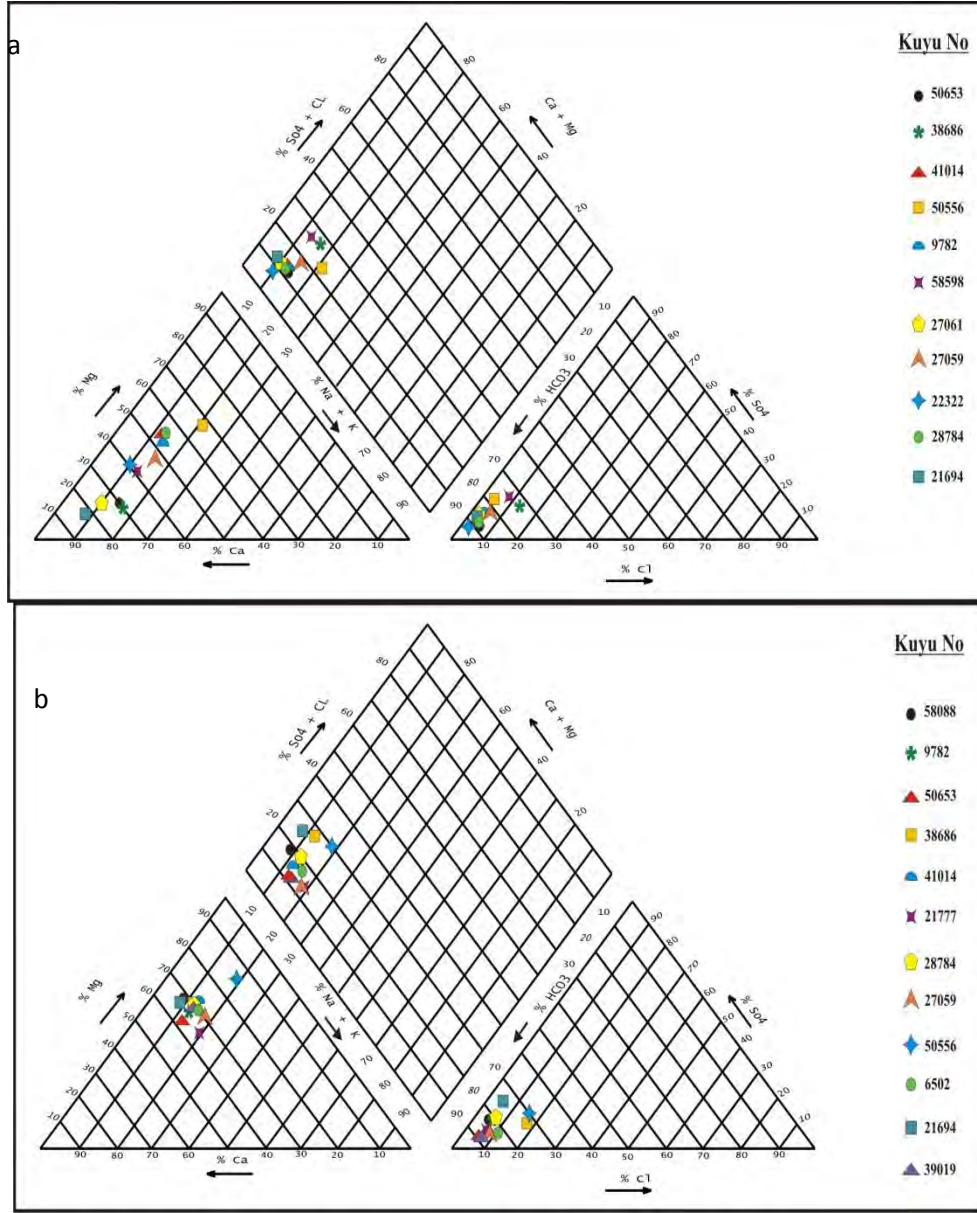
Önceki araştırmacılar (Erentöz ve Ternek, 1968; Pehlivan ve Yılmaz, 1995) tarafından yapılan analiz sonuçlarına göre Çitli kaynağının Na-Ca-HCO<sub>3</sub>'lü sular

sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Kaynak suyunun yüze çıkışı sırasında etkileşim halinde olduğu konglomera, kumtaşı, marn, kıltaşı ve kireçtaşı birimlerinin araldanmasından oluşan İnegöl formasyonu ve diyorit, diyabaz, mikrogabro, spilit türü bazik magmatik kökenli metabazik ve metapelitlerden oluşan Nilüfer formasyonu ile kaya su etkileşimine bağlı olarak sodyum ve bikarbonat elementlerinde aşırı artışlar gözlenmiştir. Piper diyagramında Kınık kaynağının da Na-Ca-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Kaynağın fay boyunca yüze çıkması kayalar ile etkileşim zamanını artırmaktadır. Bu durum suyun bünyesine kayaların bileşimindeki Na iyonunun daha fazla alınmasına neden olmaktadır. Su içerisinde serbest CO<sub>2</sub> gazının bulunması HCO<sub>3</sub> iyonunun da artışını sağlamıştır. Kınık kaynak suyunda 6.3 mg/l bor içeriği ölçülmüştür (MTA, 2009).

### 5.1. İçme suyu ve sulama suyu olarak kullanılabilirlik

İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde öncelikle Türk İçme Suyu (TSE 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006) standartları kullanılmıştır. Sondaj kuyularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri ve anyon-kasyon içerikleri açısından sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Ayrıca, çalışma alanında yeraltısularının içilebilirlik özelliklerinin tespit edilmesinde Schoeller diyagramı kullanılmıştır (Şekil 5). Yeraltısularında Mayıs-Kasım 2010 dönemlerinde yapılan analizler Schoeller diyagramı üzerinde değerlendirildiğinde EC ve sertlik bakımından 'Orta İyi Kaliteli Sular' sınıfında olduğu; sodyum, klor ve sülfat içerikleri bakımından ise 'Çok İyi Kaliteli Sular' sınıfında olduğu görülmektedir.

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sodyum yüzdesi (%Na), artıksal sodyum karbonat (RSC) ve

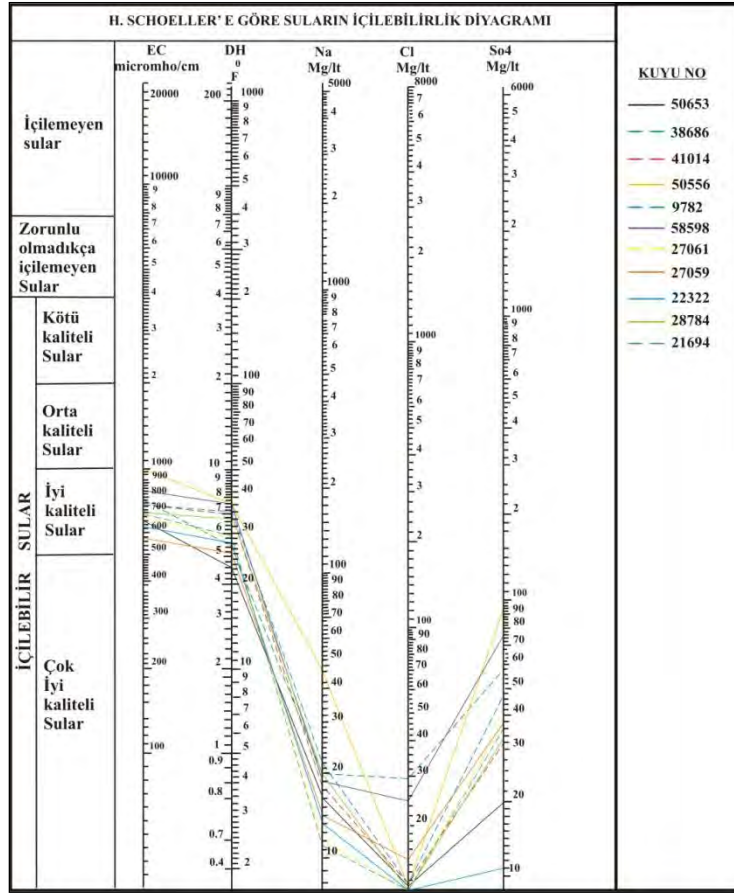


Şekil 4. İnceleme alanındaki sularının Piper diyagramı a:Mayıs-2010; b:Kasım-2010

Tablo 3. Termal ve minerali su kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (mg/l)

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fr <sup>0</sup>	EC µS/cm	pH	T C <sup>0</sup>	Su sınıfı
<b>OYLAT KAYNAĞI</b>												
Pehlivan ve Yılmaz, 1995	17.5	4.30	129.2	7.05	6.0	215	194.11	30.0	740	7.26	40.0	Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
Çağlar, 1947; İÇDR, 2008	21.7	2.82	119.6	5.60	2.6	228	161.6	32.1		7.30	40.5	Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
Pasvanoğlu, 2011	22.3	3.6	114.0	7.8	2.8	206	173.8		780	7.73	40.8	Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
<b>ÇİTLİ KAYNAĞI</b>												
Erentöz ve Ternek, 1968	1220.6	28.2	80.70	80.1	81.7	89.7	3939.0	53.1	5040	6.50	15.0	Na-HCO <sub>3</sub>
Pehlivan ve Yılmaz, 1995	516.30	21.4	111.3	7.06	31.0	87.3	1244.6	30.7	5060	7.26	13.5	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
<b>KINIK KAYNAĞI</b>												
MTA, 2009	632.0	56.0	298	141	48.5	108	3966.3	132	380	6.9		Na-Ca-HCO <sub>3</sub>





Şekil 5. İnceleme alanındaki suların Schoeller diyagramı (Mayıs-2010)

geçirgenlik indeksi (PI) yeraltısuyunun tarımsal kullanımlar için uygunluğunu belirlemek için kullanılan önemli parametrelerdir (Srinivasa-Gowd, 2005; Raju, 2007).

**Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR):** Sulama suyu kalitesinin belirlenmesi açısından önemli bir kriter olan sodyum miktarı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltmakta ve sulama işleminden sonra toprak yüzeyinde kabuksu yapıların oluşmasına neden olmaktadır. SAR oranı aşağıda verilmiş formül ile hesaplanmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Alüvyon akiferde açılan kuyularda tespit edilen SAR değerleri Mayıs-2010 döneminde 0.29-1.07, Kasım-2010 döneminde ise 0.27-0.83 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 4). Tespit edilen SAR değerlerine göre sular 'Çok İyi Özellikte Sulama Suyu' sınıfında yer almaktadır.

**Sodyum yüzdesi (% Na):** Su içerisinde çözülmüş fazla miktardaki iyonlar, bitkileri ve tarım toprağını fiziksel ve kimyasal yollarla etkileyerek verimi düşürmektedir. Özellikle tuzlu sulardaki  $Na^+$ , zemindeki  $Ca^+$  iyonları ile yer değiştirerek toprağın geçirgenliğini azaltır ve havalanmasını engeller. Böylece dolaylı olarak bitkilerin gelişmesi yavaşlamaktadır. Bu nedenlerle, % Na değerinin sınır değerleri aşması istenmemektedir (Erguvanlı ve

Yüzer, 1987). % Na değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır. İnegöl havzasında yeraltısularının % Na değeri Mayıs-2010 döneminde 7.66-21.65, Kasım 2010 döneminde ise 6.85-18.44 arasında değişmektedir (Tablo 4). Mayıs döneminde % Na değerinin yüksek oranlarda tespit edilmesi yeraltısularının sodyum içeriğinin artışı ile gerçekleşmemektedir. Mayıs döneminde  $Mg^{+2}$  iyonu konsantrasyonunun düşmesi % Na oranının yükselmesine neden olmaktadır. Tespit edilen %Na değerlerine göre sular **Çok iyi sulama suyu** sınıfında yer almaktadır.

**Artıksal sodyum karbonat (RSC):** RSC sulamada kullanılan suyun karbonat ve bikarbonat içeriğinin tehlike etkisinin tespiti için kullanılmaktadır (Aghazadeh ve Mogaddam, 2011). RSC değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (Eaton, 1950).  $RSC < 1.25$  ise sulama için uygun, 2.5'dan büyük değerler ise uygun olmayan sular olarak tanımlanmaktadır (USEPA, 1999).

$$RSC = (rCO_3^{2-} + rHCO_3^-) - (rCa^{+2} + rMg^{+2}) \quad (3)$$

Çalışma alanında yeraltısularının RSC değeri -2.15 ve 0.19 meq/l arasında değişmektedir ve **İyi sulama suyu** sınıfında yer almaktadır (Tablo 4).

**Geçirgenlik indeksi (PI):** Bu parametre Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1989) tarafından yapılan çalışmalarda PI değeri sulama suyu için uygunluğun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. PI değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Doneen, 1964; WHO 1989). PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmektedir. >%75 sınıf I, %25-75 sınıf II ve <%75 değerleri sınıf III olarak değerlendirilmektedir. I ve II sınıf sular iyi sulama sularıdır (Ragunath, 1987;

Aghazadeh ve Mogaddam, 2011; Ramesh ve Elango, 2012).

$$PI=100 \times [(rNa + \sqrt{rHCO_3}) / (rNa + rCa + rMg)] \quad (4)$$

İnceleme alanında yeraltısularının PI değerleri % 36.54 ile 55.57 arasında değişmektedir. %25 ile 75 arasındaki değerler PI değeri için II. sınıf suları temsil etmektedir (Tablo 4).

**Tablo 4.** İnceleme alanındaki suların iz element ve azot türevleri analiz sonuçları

Kuyu No	Mn µg/l	Cu µg/l	Zn µg/l	Pb µg/l	As µg/l	Fe µg/l	Cr µg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	%Na	SAR	RSC	PI
50653*	2.78	34.28	15.6	1.28	1.97	193.00	4.68	-	0.005	12.44	0.45	0.82	55.58
50653**	20.14	43.75	24.7	3.28	0.71	<b>437.5</b>	6.15	0.102	0.022	11.03	0.44	-0.18	46.55
38686*	23.29	-	-	-	0.93	<b>517.7</b>	7.76	-	0.003	13.53	0.53	0.31	51.38
38686**	24.16	8.58	8.72	-	1.61	<b>699.3</b>	5.51	3.230	0.049	9.95	0.45	-2.16	36.25
41014*	1.89	-	-	-	0.49	42.87	7.48	-	0.005	10.33	0.43	-0.11	44.81
41014**	16.49	102.2	49.5	5.66	1.08	64.84	6.86	3.510	0.034	11.56	0.45	-0.58	44.20
50556*	13.21	27.02	-	-	0.56	-	6.75	-	0.004	21.65	1.07	0.78	52.22
50556**	39.91	24.36	29.2	1.17	1.04	<b>402.8</b>	6.26	0.113	0.013	16.52	0.78	0.78	48.04
9782*	<b>146.9</b>	25.99	42.7	1.30	2.39	<b>517.9</b>	16.6	-	0.004	11.96	0.51	-0.26	44.55
9782**	<b>63.26</b>	7.74	11.3	-	1.75	291.2	7.40	0.186	0.018	11.19	0.50	-0.39	42.18
27059*	1.41	-	-	-	-	63.66	3.19	-	0.009	11.45	0.42	-0.16	50.13
27059**	9.15	6.33	45.3	-	0.53	192.7	3.86	0.000	0.031	17.46	0.72	-0.4	51.39
28784*	27.05	-	7.76	-	1.27	<b>416.1</b>	6.85	-	0.010	11.65	0.48	-0.05	46.19
28784**	13.03	17.0	208	1.98	1.46	124.4	10.7	0.000	0.033	12.37	0.51	-0.54	45.66
21694*	32.91	2.79	11.5	3.01	0.83	<b>637.3</b>	4.13	-	0.017	7.66	0.29	-0.26	44.77
21694**	33.62	-	-	-	1.75	<b>432.2</b>	3.62	0.000	0.008	6.85	0.27	-1.16	39.94
27061*	21.45	4.76	17.7	5.87	0.45	<b>570.1</b>	5.46	-	0.015	7.99	0.30	-0.15	45.48
22322*	45.76	3.22	47.7	1.50	1.88	<b>1980.</b>	6.39	0.011	-	9.23	0.35	0.19	47.87
58088**	13.66	6.38	10.6	-	0.86	<b>1046.</b>	18.6	0.222	0.012	7.86	0.37	-1.1	36.55
21777**	30.41	12.88	33.1	0.54	2.06	233.1	5.61	0.000	0.00	18.44	0.83	0.19	50.88
6502**	<b>70.4</b>	10.37	13.5	3.29	1.54	<b>859.6</b>	7.49	0.004	0.00	13.91	0.70	1.56	44.45
	50	2000		10	10	200	50	50 mg/l	0.5 mg/l	TS266 (2005) µg/l			
	50	1000	5000	50	10	300	50	45 mg/l		WHO (2006) µg/l			

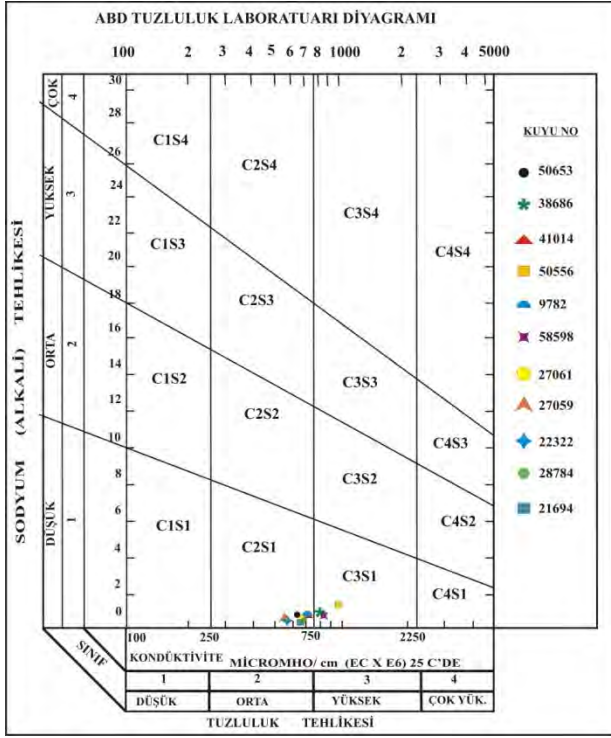
**ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı:** Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde genel olarak ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramından yararlanılmaktadır. Diyagramda EC ve SAR değerlerine göre 16 ayrı kategori bulunmaktadır. İnegöl havzası yeraltısuyunda yapılan Mayıs ve Kasım-2010 analiz sonuçları değerlendirildiğinde ABD Tuzluluk diyagramına göre C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> - C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> sınıfında yer aldığı görülmektedir (Şekil 6). C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> sınıfındaki sular orta derecede suya ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılan orta tuzlulukta su ve sodyuma karşı çok duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygun olan az sodyumlu sular özelliğindedir. C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> sınıfında yer alan sular ise drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Ancak, bazı bitkiler için kullanılabilen fazla tuzlu su ve ender halde sulama suyu olarak kullanılabilen fazla sodyumlu su olarak tanımlanmaktadır (Ünver, 2010).

**Wilcox diyagramı:** Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemede kullanılan diğer bir diyagram ise Wilcox diyagramıdır. Bu diyagramda suların EC değerleri ile % Na değerleri sınıfların

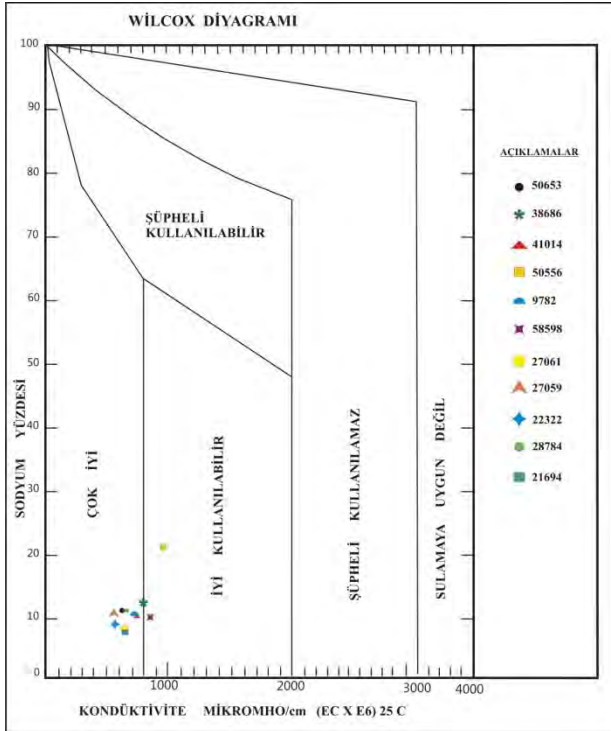
belirlenmesinde kullanılan parametrelerdir. İnceleme alanındaki sular, yağışlı ve kurak dönemde sulama suyu olarak kullanımı açısından aynı özellikleri sergilemiş '**çok iyi-iyi kullanılabilir sular**' sınıfında yer almıştır (Şekil 7; Ünver, 2010 ).

## 5.2. Yeraltısuyu kirliliği

Yeraltısuları değişim ve seyrelme kapasitelerinin çok sınırlı olması nedeniyle kirlenmeye karşı yüzeysel sulardan daha duyarlıdır. Yeraltısularını kirlüten unsurları jeojenik ve antropojenik kökenli olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Jeojenik kökenli kirlilik; suların içerisinden geçtikleri kayaçlarla etkileşimleri nedeniyle bünyelerine aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Su içerisinde çözünmüş halde bulunan elementlerin miktarı etkileşim süresi ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde yeraltısuları kirliliğine sebep olan en önemli etken ise; antropojenik kökenli olarak tanımlanan tarımsal faaliyetler, katı - sıvı atıklar ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan yani insanların faaliyetleri sonucu gerçekleşen kirliliktir.



Şekil 6. İnceleme alanındaki suların ABD Tuzluluk Lab. diyagramı (Mayıs-2010)



Şekil 7. İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramı (Mayıs-2010)

Çalışma alanında karşılaşılan en büyük kirlenmeler tarımsal faaliyetler ile katı ve sıvı atıklardır. Alüvyon akiferde tarımsal faaliyetlerden ileri gelen pestisit ve gübre kullanımının sebep olduğu kirlilik yaygın olarak görülmektedir. İnegöl ilçesinde tarım ekonomik hayatın temel unsurlarından biri olmuştur. Tarımsal kaynaklı kirlilik yanı sıra endüstriyel

faaliyetlerden kaynaklanabilecek kirlilik de bölge için önem taşımaktadır. İnegöl Organize Sanayi Bölgesi 1976 yılında Türkiye'de ilk kurulan sanayi bölgeleri arasında yer almaktadır. İnegöl Organize Sanayi Bölgesinde 110 bin m<sup>2</sup> alanda 1997 yılında inşaatına başlanan atık su arıtma tesisi 2001 yılında faaliyete geçmiştir. Tesiste günde 30 bin m<sup>3</sup> evsel atık (İnegöl ilçesi kanalizasyon) ve 30 bin m<sup>3</sup> endüstriyel atık olmak üzere toplam 60 bin m<sup>3</sup> atık su arıtılmaktadır. Organize sanayi bölgesi atık sularının 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği hükümlerine göre arıtıldıktan sonra Kocasu deresine boşalan Kalburt deresi'ne deşarj edilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, inceleme alanında bulunan köylerin kanalizasyon suları İnegöl havzasının en önemli yüzey suyu olan Kocasu deresinin kollarına boşalmaktadır (ÇED, 2010). Kirlenmelerin yeraltısularına etkisini araştırmak amacıyla 11 farklı lokasyondan su örnekleri alınarak, DSİ 1. Bölge Müdürlüğü Laboratuvarlarında ağır metal ve azot türevleri analizleri yaptırılmıştır (Tablo 4).

**Azot Türevleri:** Yeraltısuyunda belirlenen önemli kirlenmelerden olan azot, çoğunlukla nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) şeklinde bulunur. Yeraltısuyunda nitrat derişimi tarımsal faaliyetler ve evsel atıkların toprağa yada toprak altına verilmesi gibi nedenlerle giderek artmaktadır. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> yeraltısuyunda en sık rastlanan şekli olmasına karşın, çözülmüş azot, amonyum (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), azot (N<sub>2</sub>), azot oksit (N<sub>2</sub>O) ve organik azot şeklinde bulunabilmektedir (Uslu ve Türkman, 1987). Sularda 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması bu suyun antropojenik kökenli kirlenmeler tarafından kirlendiğini göstermektedir. Türk içme suyu (TS 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu (WHO, 2006) standartlarına göre içme sularında nitrat içeriğinin 50 mg/l'yi aşmaması istenmektedir.

Çalışma alanında her iki dönemde de yapılan azot türevi analizlerinde, yeraltısularında nitrat konsantrasyonu açısından tehlike arz edici bir değere rastlanmamıştır. Nitrit ve amonyağa ise her iki dönemde de belli lokasyonlarda rastlanmıştır (Tablo 4). Bu durum, çalışma alanında yapay gübre kullanımı ve hayvan atıklarının gübre olarak kullanımı nedeniyle yeraltısuyunun kirlendiğini ortaya koymaktadır. Yeraltısularının içme suyu amaçlı kullanımı sakıncalıdır. Sürekli analizlerle düzenli izlemelerin yapılması kullanılan tarımsal mücadele ilaç tür ve miktarlarının kontrol altına alınması gereklidir.

**Ağır Metaller:** Ağır metaller yeraltısularında izlenen üçüncül elementlerdir. Bunlar 'geçiş elementleri' yada 'iz elementler' olarak da tanımlanmaktadır. İnceleme alanında yeraltısularında yapılan analizlerde değerlendirilebilecek miktarlarda belirlenen mangan (Mn), bakır (Cu), çinko (Zn), kurşun (Pb), arsenik (As), demir (Fe) ve krom (Cr)

iyonlarının analizleri ele alınmıştır. Yağışlı ve kurak döneme ait her iki örnekleme döneminde de Mn ve Fe konsantrasyonlarının sınır değerleri aştığı görülmektedir (Tablo 4). Deydinler'de bulunan 9782 nolu kuyuda Mayıs-2010 döneminde 146,90 µg/l, Kasım-2010'da 63,26 µg/l ve Kurşunlu'da bulunan 6502 nolu kuyuda Kasım-2010 döneminde 70,40 µg/l Mn ölçülmüştür. Fe ise kurak ve yağışlı dönemde de alüvyon akiferin kuzeydoğu ve güneybatısında bulunan lokasyonlarda 1980 µg/l değerine kadar ulaştığı gözlenmektedir (Tablo 4; Ünver, 2010).

Demir ve manganez elementleri yer kabuğunda oldukça bol miktarda bulunmaktadır. Termal olmayan yeraltısularında demirin çözünürlüğü 0.01-500 mg/l arasında değişmektedir. Özellikle asidik maden suları 100 mg/l'den fazla demir içerebilmektedir. Yeraltısularında 0.2 mg/l'den daha az miktarda Mn bulunabilmektedir (Şahinci, 1991). Tortul kayalar diğerlerine nazaran Fe elementini daha fazla içerebilmektedir. Mn ise daha çok ultrabazik, bazik kayalar ile granitlerde bol miktarda bulunmaktadır. Söz konusu lokasyonlarda jeojenik kökenli kirliliğin baskın olduğu söylenebilir. Bu lokasyonlarda İnegöl formasyonu kesilmiştir. İnegöl formasyonu içerisinde bulunan tortul kayalar Fe içeriği açısından oldukça zengindir. Ayrıca, bu bölgeler fay zonu ile doğrudan ilişkili olan bölgelerdir. Mn elementi ise İnegöl formasyonunun tabanında bulunan Nilüfer formasyonuna ait metabazaltik kayalarla ilişkilidir. Sonuç olarak, çalışma alanında yeraltısularında Fe ve Mn iyonlarındaki noktasal artışlar fay zonu boyunca derin dolaşım ve kayalarla etkileşim zamanının fazla olmasına bağlı olarak kaya-su etkileşimi ve alüvyon akiferde tarımsal faaliyetler için kullanılan tarımsal mücadele ilaçlarının etkisi ile gerçekleşmektedir.

## 6. Sonuçlar

1127 km<sup>2</sup> beslenme alanına sahip İnegöl Havzası yarı kapalı havza özelliği taşımaktadır. Bölgede yer alan kaya birimleri otokton olup yaşlıdan gence doğru Uludağ metamorfileri, Uludağ mermeri, Nilüfer, Avdancık ve Abadiye formasyonları, Tekerler mermeri, Piribeyler şistleri, granitoidler, İnegöl formasyonu ve alüvyondan oluşmaktadır. Havzanın yüzey suyu boşalmasını sağlayan Kocasu deresi yeraltısuyu boşalmasını da kontrol etmektedir. Özellikle yağışlı dönemde Kocasu deresine yeraltısuyundan beslenme miktarı artmakta bu durum havza genelinde yeraltısuyu seviyeleri etkilemektedir.

İnceleme alanında yeraltısularının kurak ve yağışlı dönem analiz sonuçları Piper diyagramı ile değerlendirildiğinde genel olarak kurak dönemi temsil eden Kasım-2010 ölçümlerinde Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde, yağışlı dönemi temsil eden Mayıs-2010 döneminde ise Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü ve Ca-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. İnceleme

alanında kaya-su etkileşimi ile ilişkili olarak kimyasal ayrışma süreçlerinin baskın olduğu ve kurak dönemde yeraltısularının Mg konsantrasyonu artışının dolomit çözünürlüğü ve magnezyumlu minerallerin ayrışması ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Yeraltısularında Mayıs-Kasım 2010 dönemlerinde yapılan analizler Schoeller diyagramı üzerinde değerlendirildiğinde elektriksel iletkenlik (EC) ve sertlik bakımından 'Orta-İyi Kaliteli Sular' sınıfında olduğu; sodyum, klor ve sülfat içerikleri bakımından ise 'Çok İyi Kaliteli Sular' sınıfında olduğu görülmektedir. Sulama suyu olarak kullanılabilirliğin değerlendirilmesi için sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum yüzdesi, artıksal sodyum karbonat, geçirgenlik indeksi değerleri ile ABD tuzluluk diyagramı ve Wilcox diyagramları kullanılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre İnegöl Havzası yeraltısularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.

İnceleme alanında yeraltısuyu kirliliğinin tespiti için azot türleri (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>) ve ağır metal (Mn, Cu, Zn, Pb, As, Fe, Cr) analizleri yapılmıştır. Nitrat konsantrasyonu açısından tehlike arz edici bir değere rastlanmamıştır. Nitrit ve amonyağa ise her iki dönemde de belli lokasyonlarda ölçülmüştür. Bu durum, çalışma alanında yapay gübre kullanımı ve hayvan atıklarının gübre olarak kullanımı nedeniyle yeraltısuyunun kirlendiğini ortaya koymaktadır. Yağışlı ve kurak döneme ait Mn ve Fe konsantrasyonlarının sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Bu iyonlarındaki noktasal artışların İnegöl ve Nilüfer formasyonları ile kaya-su etkileşimi ve antropojenik etkenler ile gerçekleştiği düşünülmektedir.

## Teşekkür

Yazarlar, bu çalışma sırasındaki desteklerinden dolayı Devlet Su İşleri 1. Bölge Müdürlüğü'ne ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Dilek Yılmaz'ın teşekkür ederler.

## Kaynaklar

Aghazadeh, N., Mogaddam, A., 2011. Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 176:183-195.

Ako, A.A., Shimada, J., Hosono, T., Ichianagi, K., Nkeng, G.E., Fantong, W.Y., Eyong, G.E.T., Roger, N.N., 2011. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking, domestic, and agricultural uses in the Banana Plain (Mbanga, Njombe, Penja) of the Cameroon Volcanic Line, Environ Geochem Health, 33:559-575

- Akyüz, S., Okay, İ.A., 1996. A Section Across a Tethyan Suture in Northwest Turkey. *International Geological Review*, 38, 405-418.
- Al-Bassam, A. M., Al-Rumikhani, Y. A., 2003. Integrated hydrochemical method of water quality assessment for irrigation in arid areas: Application to the Jilh aquifer, Saudi Arabia. *Journal of African Earth Sciences*, 36, 345-356.
- Appelo, C. A. J., Postma, D., 1996. *Geochemistry, groundwater and pollution* (p. 536). Rotterdam: Balkema.
- Cerling, T.E., Pederson, B.L., Damm, K.L.V., 1989. Sodium calcium ionexchange in weathering of shale; implication for global weathering. *Budget*, 17, 552-554.
- Çağlar, K.Ö., 1947. Türkiye Maden Suları ve Kaplıcalarının Etüt ve Analiz Sonuçları, MTA yayınları, Ankara.
- ÇED, 2010. İnegöl Organize Sanayi Bölgesi Ortak Atıksu Arıtma Tesisi, Çamur Kurutma ve Kojenerasyon Tesisi Çevresel Etki Değerlendirmesi Nihai Raporu, Enerji ve Çevre Yatırımları A.Ş., Ankara
- Datta, P.S., Tyagi, S.K., 1996. Major ion Chemistry of Groundwater in Delhi Area: Chemical Weathering Processes and Groundwater Flow Regime. *Journal of Geological Society India* 47:179-188.
- DSİ, 1981. İnegöl Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu, 42s.
- Doneen, L.D., 1964. Water quality for agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48.
- Eaton, F.M., 1950. Significance of Carbonates in Irrigation Water. *Soil Science*, 69, 123-133. DOI:10.1097/00010694-195002000-00004.
- Elhatip, H., Afsin, M., Kuscu, L., Dirik, K., Kurmac, A., Kavurmacı, M., 2003. Influences of Human Activities and Agriculture on Groundwater Quality of Kayseri-Incesu-Dokuzpinar springs, Central Anatolian part of Turkey. *Environmental Geology*, 44, 490-494.
- Erentöz, C., Ternek, Z., 1968. Türkiye'de Termomineral Kaynaklar ve Jeotermik Enerji Etüdüleri, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. Yeraltısuları Jeolojisi, İTÜ yayınları no:23, 339s, İstanbul
- Fisher, R.S., Mullan, F.W., 1997. Hydrochemical Evolution of Sodium-Sulfate and Sodium-Chloride Groundwater Beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans- Pecos, Texas, USA. *Hydrogeology Journal*, 10(4), 455-474.
- Freeze, R. A., Cherry, J. A., 1979. *Groundwater* (p. 604). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Garg, V. K., Suthar, S., Singh, S., Sheoran, A., Garima, M., Jain, S., 2009. Drinking water quality of southwestern Haryana India: Assessing human health risks associated with hydrochemistry. *Environmental Geology*, 58(6), 1329-1340.
- Genç, Ş., 1986. Uludağ-İznik Gölü Arasının Jeolojisi, MTA Rapor No:7853 (yayınlanmamış).
- Genç, Ş., Selçuk, H., Cevher, F., Gözler, Z., Karaman, T., Bilgi, C., Akçören, F., 1986. İnegöl (Bursa) - Pazaryeri (Bilecik) Arasının Jeolojisi, MTA Rapor No: 7912 (yayınlanmamış).
- Han, D., Liang, X., Jin, M., Currell, M.J., Han, Y., Song, X., 2009. Hydrogeochemical Indicators of Groundwater Flow Systems in the Yangwu River Alluvial Fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. *Environmental Management* 44:243-255.
- IAH (International Association of Hydrogeologists), 1979. Map of mineral and thermal water of Europe, Scale 1:500 000. International Association of Hydrogeologists, London.
- İÇDR, 2008. Bursa İli Çevre Durum Raporu, Bursa Valiliği Çevre İl Müdürlüğü, Bursa.
- Katz, B.G., Coplen, T.B., Bullen, T.D., Davis, J.H., 1998. Use of Chemical and Isotopic Tracers to Characterize the Interaction between Groundwater and Surface Water in Mantled Karst. *Groundwater* 35:1014-1028
- Ketin, İ., 1947. Uludağ Masifinin Tektoniği hakkında, T.J.K bülteni, 1, 1, Ankara.
- Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S., Kumar, B., 2006. Identification and Evaluation of Hydrogeochemical Process in the Groundwater Environment of Delhi, India. *Environmental Geology* 50: 1025-1039
- Kumar, S.K., Rammohan, V., Sahayam, J.D., Jeevanandam, M., 2009. Assessment of groundwater quality and hydrogeochemistry of Manimuktha River basin, Tamil Nadu, India *Environ Monitoring Assessment*, 159:341-351
- Maya, A.L., Loucks, M.D., 1995. Solute and Isotopic Geochemistry and Groundwater Flow in the Central Wasatch Range, Utah. *Journal of Hydrology*, 172:31-59
- Meyback, M., 1987. Global Chemical Weathering of Surficial Rocks Estimated from River-Dissolved Loads., *American Journal of Science*, 287, 401-428.

- MTA, 2009. Bursa İli ve Kentsel Alanların (İl-İlçe Merkezleri) Yerbilim Verileri, MTA Derleme No: 11163, Ankara.
- Okay, A.İ., 1984. Ağvanis metamorfitleleri ve civarının jeolojisi, MTA Dergisi, 99/100, 16-31.
- Okay, A.İ., Siyako, M., Bürkan, K.A., 1991. Geology and Tectonic Evolution of the Biga Peninsula, Northwest Turkey. Bulletin of the İstanbul Technical University, 44, 191-256.
- Okay, A.İ., Satır, M., Zatin, M., Cavazza, W., Topaz, G., 2008. An Oligocene Ductile Strike-Slip Shear Zone: The Uludağ Masif, Northwest Turkey-Implications for the Westward Translation of Anatolia, Geological Society of America. 26229, 2nd pages / 1 of 19.
- Pasvanoğlu, S., 2008. Evaluation of Hydrochemical and Reservoir Temperature of Bursa-Oylat Resort IAHR-Groundwater Symposium 18-20 June, İstanbul.
- Pasvanoğlu, S., 2009. Bursa-Oylat Sıcak Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal ve İzotopik yönden İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi BAP Projesi, Proje No: 2005/19 (in Turkish, unpublished).
- Pasvanoğlu, S., 2011. Hydrogeochemical and Isotopic Investigation of the Bursa-Oylat thermal waters, Turkey. Environmental Earth Science, 64:1157-1167
- Pehlivan, R., Yılmaz, O., 1995. Marmara Bölgesi Termomineral Kaynaklarının İçilebilirliği ve İnsan Sağlığına Etkisi, İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri Dergisi, İstanbul.
- Ragunath, H.M., 1987. Groundwater. New Delhi: Wiley.
- Rajmohan, N., Elango, L., Ramachandran, S., Natarajan, M., 2000. Major Ion Correlation in Groundwater of Kancheepuram Region, South India. Indian Journal of Environmental Protection, 20(3), 188-193.
- Ramesh, K., Elango, L., 2012. Groundwater Quality and its Suitability for Domestic and Agricultural use in Tondiar River Basin, Tamil Nadu, India. Environmental Monitoring Assessment, 184:3887-3899.
- Raju, N.J., 2007. Hydrogeochemical Parameters for Assessment of Groundwater Quality in the upper Gunjanaeru River Basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India. Environmental Geology, 52:1067-1074.
- Sarin, M.M., Krishnaswamy, S., Dilli, K., Somayajulu, B.L.K., Moore, W.S., 1989. Major ion Chemistry of the Ganga-Brahmaputra River System: Weathering Processes and fluxes to the Bay of Bengal. Geochim Cosmochim Acta, 53:997-1009
- Schoeller, H., 1955. Gechemie des eaux souterranes. Rev. Inst. Franc. Petrole, Paris, 10, 3-4.
- Singh, A.K., Hasnain, S.I., 1999, Environmental geochemistry of Damodar river basin, east coast of India. Environmental Geology 37:124-136
- Singh, K., Hundal, H.S., Singh, D., 2011. Geochemistry and Assessment of Hydrogeochemical Processes in Groundwater in the Southern part of Bathinda District of Punjab, Northwest India. Environ Earth Sci 64:1823-1833.
- Singh, A.K., Mondal, G.C., Singh, T.B., Singh, S., Tewary, B.K., Sinha, A., 2012. Hydrogeochemical Processes and Quality Assessment of Groundwater in Dumka and Jamtara Districts, Jharkhand, India, Environmental Earth Science, 67:2175-2191
- Srinivasa Gowd, S., 2005. Assessment of Groundwater Quality for Drinking and Irrigation Purpose: A case study of Peddavanka Watershed, Anantapur District, Andhra Pradesh, India. Environmental Geology 48:702-712.
- Stamatis, G., Alexakis, D., Gamvroula, D., Migiros, G., 2011. Groundwater Quality Assessment in Oropos-Kalamos Basin, Attica, Greece, Environmental Earth Science, 64:973-988
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 548s, İzmir.
- Tay, C.K., 2012. Hydrochemistry of Groundwater in the Savelugu-Nanton District, Northern Ghana. Environ Earth Science 67: 2077-2087.
- Tekeli, O., Boray, A., Akyürek, B., Akay, E., 1989. Gökçedağ (Dursunbey, Balıkesir) Dolayının Jeolojisi. MTA Rapor No: 8608, Ankara.
- TS266, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü -Ankara.
- Umar, R., Ahmed, I., Alam, F., Khan, M.M., 2009. Hydrochemical Characteristics and Seasonal Variations in Groundwater Quality of an Alluvial Aquifer in parts of Central Ganga Plain, Western Uttar Pradesh, India, Environmental Geology, 58(6), 1295-1300

USEPA, 1999. National Primary Drinking Water Regulations, Available at <http://WWW.epa.gov/OGWD/hfacts.html>.

Uslu, O., Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınlar Eğitim Dizisi, Ankara, 364s.

Ünver, Ö., 2010. İnegöl (Bursa) Havzasının Hidrojeoloji İncelemesi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 83 s, Isparta

WHO, 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. In: Report of a WHO Scientific Group: Technical report series 778, WHO, Geneva, 74.

WHO, 2006. Guidelines for Drinking Water Quality. 3rd edition incorporating 1st and 2nd addenda, World Health Organization.