

Bursa- İnegöl Ovası yeraltı su içeriğinin on yıllık dönemdeki değişimi

Variation in groundwater quality of Bursa- İnegöl Plain throughout ten years period

İsmail TAS, Bayram DAVARCI

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Terzioğlu Yerleşkesi, ÇANAKKALE

Sorumlu yazar (Corresponding author): İ. Taş, e-posta (e-mail): tas_ismail@yahoo.com

MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi 18 Ekim 2016
Düzeltilme tarihi 20 Mart 2017
Kabul tarihi 01 Nisan 2017

Anahtar Kelimeler:

Su Kirliliği
Bor
Amonyum
Nitrit
İnegöl Ovası

ÖZ

Son yıllarda yaşanan kuraklıklar sonucu yüzey sularında meydana gelen azalmalar yeraltı sularına olan talebi artırmaktadır. Artan su çekimleri yeraltı suyu seviyesinin yanında kalitesinde de bir takım değişimlere neden olmaktadır. Bursa-İnegöl Ovası, tarımsal üretim ve sanayinin yoğun olduğu bölgelerdendir. Alanda 6 farklı köydeki yeraltı su kuyusunun 2002 ile 2011 yılındaki katyon, anyon, elektriksel iletkenlik, sodyum adsorbsiyon oranı, pH, amonyum ve nitrit değerleri karşılaştırılmış ve sınıflandırılmıştır. Örneklenen kuyu sularının 2011 yılı bor içerikleri, Schofield (1936) sınıflandırmasına göre sınıflandırıldığında Küçükyenice köyü kuyusunun dışındaki diğer tüm kuyular, izin verilen limitlerin çok üstünde olarak belirlenmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri referans alınarak değerlendirildiğinde, amonyum değerleri 2002 yılı birinci sınıf özelliği gösterirken 2011 yılında ikinci ve üçüncü sınıfa, nitrit değerleri ise 2002 yılında birinci sınıfa yer alırken 2011 yılında dördüncü sınıfa yani kullanılamaz sınıfına düştüğü belirlenmiştir.

ARTICLE INFO

Received 18 October 2016
Received in revised form 20 March 2017
Accepted 01 April 2017

Keywords:

Water quality
Boron
Ammonium
Nitrite
Inegol Plain

ABSTRACT

The decreases in surface waters because of recent droughts increased the demands for groundwater. Excessive withdrawals altered both the level and quality of groundwaters. Bursa-İnegöl Plain is located in a region with intensive agricultural and industrial activities. In this study, cation, anion, electrical conductivity, sodium adsorption ratio, pH, ammonium and nitrate values of groundwater wells in 6 different villages in 2002 and 2011 were compared and classified. Boron concentrations of groundwater wells in 2011 were classified according to Schofield (1936) classification system and it was observed that except for Küçükyenice village well, boron concentrations of all wells were way above the allowable limits. Considering the quality criteria specified in inter-continental Surface Water Quality Classes of Water Pollution Control Regulation, it was observed that while ammonium values were presented first class quality in 2002, the quality class dropped to second and third quality. Similarly for nitrite values, the first class quality in 2002 dropped to fourth class (non-usable class) in 2011.

1. Giriş

Su kullanıcıları açısından en önemli etmenler, suyun kalitesi ve miktarıdır. Özellikle sürdürülebilir tarımsal üretim doğrudan bu iki etmene bağlıdır. Sulamada kullanılan suyun kalitesi sadece toprak tuzluluğu açısından değil, aynı zamanda kullanılan gübre ve ilaçların etki mekanizmaları, alınabilirliği, sulama sistemlerinde kullanılan metal bölümlerde, damlatıcıların ve yağmurlama başlık memelerinin tıkanmasında da olumsuz etkiler gösterebilmektedir. Sulama suyu özellikleri, onun niteliğini tanımlamakla birlikte alındığı kaynağa göre farklılıklar gösterir ve aynı zamanda da iklim ve jeolojik yapıya göre de bölgeden bölgeye farklılık gösterir. Suyun sağlandığı konumun yeraltı ve yerüstü kaynağı olması su niteliğini önemli ölçüde etkilediği gibi, alındığı jeolojik yapıların özellikleri de suyun kimyasal içeriklerini etkiler. Sulama suyunun niteliğini,

birçok unsur birleşik biçimde etkilemektedir. Bunlar; pH, alkalilik, karbonat ve bikarbonatlar, çözünebilir tuzlar, sertlik, makro ve mikro besin elementleridir. Sulama suyu niteliğinin değerlendirilebilmesi için, bitki büyümesi açısından önemli özelliklerinin ve kabul edilebilir düzeylerinin veya konsantrasyonlarının bilinmesi gerekir (Will ve Faust 2005).

Kimyasal içeriği dikkate alındığında sulama suyu kalitesini belirleyici unsurların başında toplam eriyebilir tuz oranı, Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) ve miktara bağlı olarak iyon toksisitesi olarak tanımlanabilir. Grismer (1990)'a göre sulamada kullanılan suyun kalitesi bitki gelişiminde önemli rol oynar. Suyun kalitesinde içerdiği tuz ve toksik element miktarı etkilidir. Tuz içeriği yüksek olan su ile sulama, hem toprak profilinin çözünebilir tuz içeriğinde, hem de drenaj sularının tuz

yükünde artışa neden olur. Drenaj suyuna ulaşamayan tuzlar toprakta birikir. Bütün bitkiler tuz içeren iyonların optimum miktarlarına ihtiyaç duyarlar. Ancak bu miktarın artması bitkinin zarar görmesine neden olur.

Çelik ve Argün (2001), Yerköy ovası yerüstü ve yeraltı sularının kalitesini ve birbiriyle olan ilişkilerini saptamak amacıyla yaptıkları bir çalışmada, B ve Mn elementlerinin izin verilen maksimum değerleri aştığı ve bunun nedenlerinin litosferik (ana materyal ile ilgili) olduğu saptanmıştır. **Zengin ve Bayraklı (1992)**, Konya Ovasında yeraltı sulama sularının yerüstü sulama sularına göre daha düşük pH'ya sahip olduğunu ve yeraltı suyunun daha fazla Ca^{++} ve Fe^{+++} içerdiğini belirlemiştir. Yine drenaj kanallarının EC, Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- , Cl değerlerinin çok yüksek olduğunu, tuzluluk yönünden Konya şehir kanalizasyonu, Arapçayırı ana drenaj kanalı, Hotamış Gölü ve Akşehir Gölü sularının çok yüksek EC değerlerine sahip olduğunu saptamışlardır. Ayrıca İvriz, May, Apa, Altınapa barajları Beyşehir ve Çavuş Gölü ile Göksu nehri sularının sorunsuz, yani iyi kaliteli sulama suları olduklarını belirlemiştir.

Tarımsal üretimin yoğun şekilde gerçekleştirildiği alanlardan olan seralarda üretim yapılan topraklar düşük kalite sulama suyu kullanımı, yoğun gübreleme ve tarımsal ilaçlama nedeniyle tuzluluk ve diğer bozulmalarla karşı karşıyadır. Özellikle seracılığın yoğun olarak yapıldığı Antalya civarında söz konusu durum birçok araştırmacı tarafından dile getirilmektedir. Bölge genelinde gübre kullanımı ülkemiz ortalamasının üzerinde olup, özellikle de Kumluca yöresinde oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Seracılığın yoğun şekilde yapıldığı bu bölgede, seraların sulama suyu ihtiyaçları yeraltı sularından karşılanmaktadır. Yöredeki sera toprakları tuzluluk seviyeleri oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır (**Kaplan ve Akay 1995**). Benzer şekilde Kale ilçesinde yapılan çalışmada, sulama amaçlı olarak kullanılan yeraltı sularının EC değerlerinin çeşitli kuyular için Kasım ayında $0.85-4.1$ dS m^{-1} arasında, Haziran ayında ise $0.83-4.4$ dS m^{-1} arasında değiştiği bildirilmektedir. Antalya-Serik yöresindeki seralarda kullanılan sulama sularının kalitelerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada, Antalya-Serik yöresini temsilen 25 adet seradan alınan sulama suyu örneklerinin % 68'inin C_2 , % 32'sinin C_3 tuzluluk sınıfına girdiği, SAR ve Na (%) açısından ise tüm örneklerin 1. sınıfta yer aldığı belirlenmiştir (**Öktüren Asri ve ark. 2010**). Kullanım miktarları ve tuzluluk düzeylerine göre Türkiye seracılık işletmelerinin büyük bölümünü kapsayan Akdeniz ve Ege Bölgesinde sulama amaçlı kullanılan yeraltı suları tuzluluğunun önemli bir problem olduğu belirtilmiştir (**Dişli 1997**).

Hindistan-Pageru nehri çevresinden toplanan 99 yeraltı suyu örneğinde elementle mevsimsel değişim incelenmiştir. Yeraltı su seviyeleri yağıştan, evsel ve sulama amaçlı çekimlerden doğrudan etkilenmekte ve aynı zamanda muson yağmurları sonucu havza yeraltı sularının Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ gibi önemli alkali element içeriklerinde artış olmasına karşın su kalitesinin içme-kullanma ve sulama için uygun olduğu saptanmıştır (**Sreedevi 2002**).

Bilindiği gibi azotlu bileşiklerin (nitrit, nitrat, amonyum vb.) canlı bünyesinde fazla miktarda bulunması istenmemektedir. Özellikle insan sağlığı göz önüne alındığında bünyede oluşan birikime bağlı olarak ölüme sonuçlanmaya değin birçok probleme yol açmaktadır. Bitki ve hayvanlarda ise

verim ve kalite kaybına neden olmaktadır. Ayrıca azotlu mineral gübrelerin bilinçsiz olarak, önerilen değerlerin çok üzerinde uygulanması ve aynı zamanda hatalı sulama uygulamaları sonucu toprakta ve yeraltı sularında birikim meydana gelmektedir. Bu olumsuzluklara, iklim düzensizliği ve buna bağlı olarak da yetersiz beslenmeyle aşırı çekimde dahil edildiğinde yeraltı sularının kalitesi gün geçtikçe bozulmaktadır. 23 Temmuz 2016 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan "Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği" beşinci maddesinde belirtilen 50 mg l^{-1} üst sınırını aşan bölgeler, NO_3^- 'e hassas bölgeler olarak belirlenip, tarımsal kaynaklı nitratın suda neden olduğu kirlenmenin, azaltılması ve önlenmesine ilişkin çalışmaların yapılması zorunlu hale getirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, Bursa ili İnegöl ilçesi sınırlarında yer alan ve aktif şekilde sulamada kullanılan kuyuların 10 yıllık dönemde EC, SAR, Bor, Amonyum ve NO_2 değerlerinde meydana gelen değişim değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma alanı

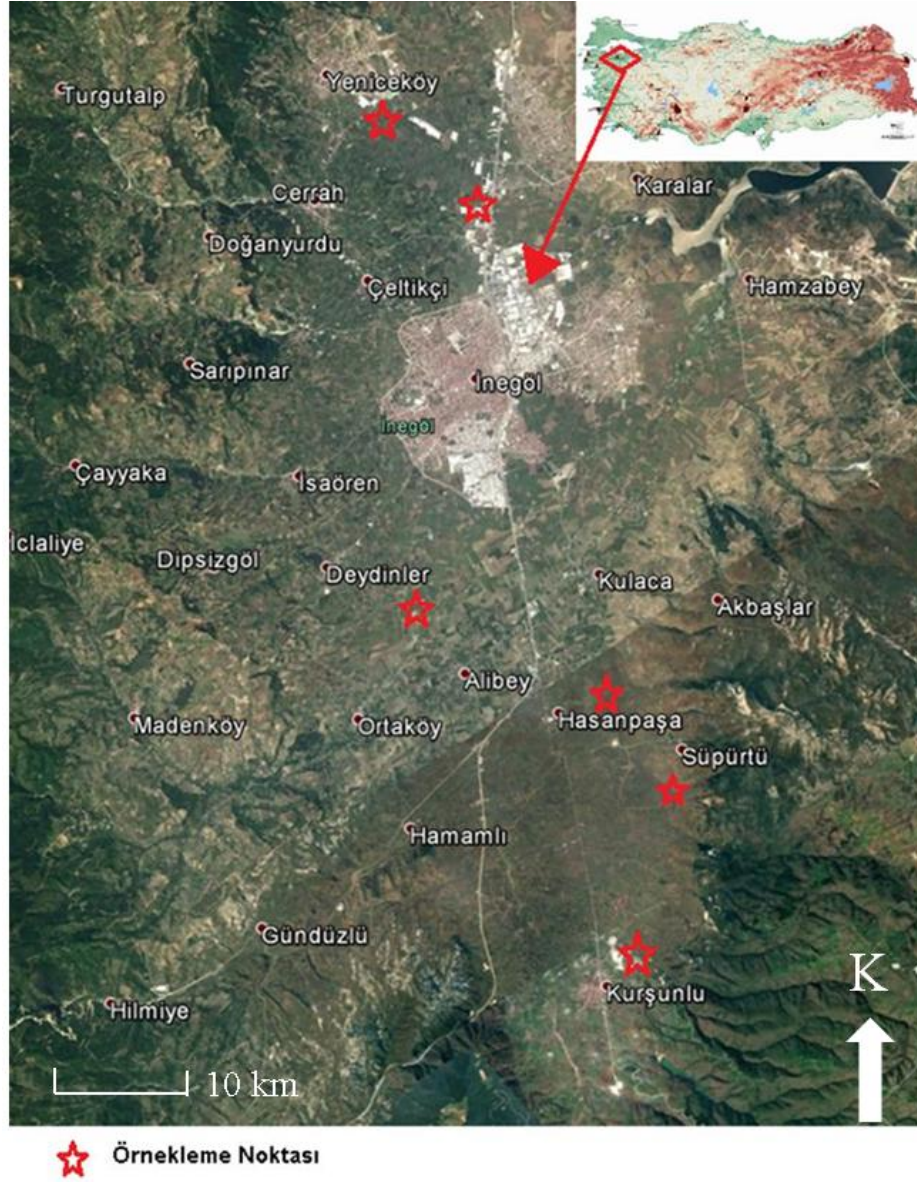
Bursa ili İnegöl ilçesi, Marmara Bölgesi'nin güneydoğusunda olup $40^{\circ} 09'$ derece kuzey enlemi ile $29^{\circ} 49'$ doğu boylamı arasında yer almaktadır (**Şekil 1**). İnegöl Ovası'nın alanı 148 km²'dir. Havza üstünde bulunan Küpeli (558 m) ile Karadoğu (534 m) tepelerinin yüksekliği bir plato alanı ile kuzeydeki Yenişehir Ovası'ndan ayrılır. Doğusunda 1030 m yüksekliğe ulaşan Ahı Dağı bulunmaktadır. İlçenin, toplam tarım arazisi 27343 ha, kültür arazisi 29723 ha, orman arazisi 42422 ha, çayır-mera arazisi 18042 ha, göl-bataklık-kayalık ve meskûn alanı ise 9817 ha'dır. Tarım alanının, % 66'sı tarla, % 29'u meyvelik ve % 5'i sebze bahçesinden oluşmaktadır. İnegöl'deki tarımsal üretim değerinin % 82'si bitkisel ve % 18'i hayvansal üretimden oluşmaktadır (**Anonim 2012**). İlçede yetiştirilen sebze ve meyve ürünleri yurtdışına da pazarlanmaktadır. Sebze ve meyve alanında domates, pırasa, patates, çilek, şeftali ve son yıllarda ay çekirdeği önemli oranlarda üretilmektedir (**İB 2016**).

2.2. İklim

Çalışma alanı iklimi Akdeniz ile Karadeniz iklimi arasında geçiş özelliği göstermektedir. Yaz ayları daha çok Akdeniz iklimine benzer. Sıcak ve az yağışlıdır. Kış ayları ise soğuk ve yağışlıdır. Bölge iklimine ilişkin bazı iklim parametrelerinin uzun yıllar ortalaması **Çizelge 1**'de sunulmuştur (**MGM 2016**). Yıllık ortalama sıcaklık 12.5 °C'dir. Maksimum sıcaklık ortalaması 19.1 °C, Minimum sıcaklık ortalaması ise 7.1 °C'dir. En yüksek ortalama sıcaklık 29.6 °C ile Temmuz ayıdır. En düşük ise -3.5 °C ile Ocak ayıdır. Yağışın uzun yıllar ortalaması 600 mm ve buharlaşma ise 1110 mm'dir. Ortalama rüzgar hızı 2.2 m s^{-1} , güneşlenme süresi 198.5 saat ay^{-1} ve nisbi nem ortalaması ise % 65'dir.

2.3. Su örnekleri ve analiz yöntemleri

Deydinler, Edebey, Hasanpaşa, Küçükyenice, Kurşunlu ve Yenice köylerindeki kuyulardan Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından toplanan su numuneleri, yine aynı kurum bünyesinde bulunan laboratuvarlarda **Çizelge 2**'de verilen yöntemlere göre analiz edilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı ve örnekleme noktaları.

Figure1. Study area and sampling points.

Çizelge 1. Bursa iline ait uzun yıllık (1960-2015) iklim verileri (MGM 2016).

Table 1. Climate data of long-term (1960-2015) of Bursa (MGM 2016).

Aylar	T _{ort}	T _{minort}	T _{makort}	Yağış (mm)	Güneşlenme Süresi (Saat)	Buharlaştırma (mm)	Rüzgar (m s ⁻¹)	Nispi Nem (%)
Ocak	2.8	-3.5	7.4	67	103	0	2.3	75
Şubat	4.2	-2.4	9.4	54	111	0	2.2	71
Mart	7.2	1.3	13.2	59	151	0	2.2	65
Nisan	12.0	6.1	18.9	50	185	94	2.2	61
Mayıs	16.1	10.6	23.4	48	251	139	2.2	61
Haziran	20.1	14.8	27.4	47	290	176	2.4	58
Temmuz	22.1	17.2	29.6	24	324	206	2.5	57
Ağustos	21.7	17.2	29.4	23	311	194	2.5	56
Eylül	17.8	13.0	26.2	30	250	134	2.1	63
Ekim	13.2	8.1	20.3	63	178	76	1.9	70
Kasım	8.5	3.0	14.4	63	130	42	1.7	71
Aralık	4.9	-0.4	9.6	70	97	50	2.0	75
Ort. / Top.	12.5	7.1	19.1	600	198.5	1110	2.2	65

Çizelge 2. Analizler ve analiz yöntemleri.**Table 2.** Analyzes and analysis methods.

Yapılacak analizin adı	Birimi	Yöntemi
Elektriksel iletkenlik	Micromhoscm ⁻¹	Kondüktivimetre
pH		pH metre
Potasyum (K)	me l ⁻¹	ICP
Kalsiyum (Ca)	me l ⁻¹	ICP
Magnezyum (Mg)	me l ⁻¹	ICP
Sodyum (Na)	me l ⁻¹	ICP
Karbonat ve Bikarbonat	me l ⁻¹	H ₂ SO ₄ ile titrasyon
Klorür (Cl)	me l ⁻¹	AgNO ₃ ile titrasyon
Sülfat (SO ₄)	me l ⁻¹	EDTA ile titrasyon
Nitrat	me l ⁻¹	ICP
Bor	ppm	ICP

3. Bulgular ve Tartışma**3.1. Katyon ve anyon içeriğindeki değişimi**

Örnekleme yapılan kuyuların katyon ve anyon analiz sonuçları on yıllık zaman diliminde farklılık göstermiş ve elde edilen sonuçlar **Çizelge 3**'de sunulmuştur. Kurşunlu, Hasanpaşa, Yenice ve Deydinler köyünde yer alan kuyuların kalsiyum içerikleri, 2011 yılı sonuçlarına göre hafif bir artış göstermektedir. Küçükyenice ve Edebey köyündeki kuyularda ise hafif bir azalma söz konusudur. Suların magnezyum içeriği ise tüm kuyularda hafif artış göstermiştir. Kurşunlu köyü yeraltı suyunda sodyum konsantrasyonu 2002 yılında 0.6 me l⁻¹ iken 2011 yılında 2.9 me l⁻¹ yükselmiş ve yaklaşık 5 kat artmıştır. Deydinler köyü kuyusunda ise hafif bir yükselme gözlenmiştir. Yenice ve Küçükyenice köyü kuyularının sodyum içeriğinde hafif bir düşüş saptanmıştır. Potasyum içeriği ise Kurşunlu köyü kuyusunda 2002 yılında 0.04 me l⁻¹ iken 2011 yılında bu değer 0.10 me l⁻¹'ye yükselmiştir. Deydinler ve Edebey köyü kuyularında ise hafif bir azalma görülmektedir. Bikarbonat bakımından incelendiğinde Hasanpaşa köyü kuyusunun dışındaki tüm kuyuların içeriklerinde artış belirlenmiştir. En yüksek artış Kurşunlu Köyü kuyusunda olup 3.3 me l⁻¹'den 12.6 me l⁻¹ yükseldiği saptanmıştır. Sülfat içeriği ise Küçükyenice ve Edebey köyü kuyularında hafif bir düşme sergilerken diğer kuyularda artış göstermiştir. Deydinler köyü kuyusunun 2002 yılındaki sülfat içeriği 0.8 me l⁻¹ iken, 2011 yılında yaklaşık dört kat artışla 2.3 me l⁻¹'ye yükselmiştir. Kuyuların klor içerikleri incelendiğinde, Kurşunlu köyü kuyusu 2002 yılında 0.1 me l⁻¹ iken, 2011 yılında bu değer 0.4 me l⁻¹'ye yükselmiştir. Yenice köyü kuyusu ise 2002 yılında 1.3 me l⁻¹ iken 2011 yılında bu değer 0.5 me l⁻¹'ye kadar düşmüştür. Diğer kuyularda ise önem arz edecek değişim gözlenmemiştir.

3.2. İletkenlik, pH ve SAR değerlerindeki değişim

Sulama sularının niteliklerinin sınıflandırılmasında çok sayıda sınıflandırma sistemi bulunmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de yaygın olarak kullanılan sınıflandırma sistemi ABD Tuzluluk Laboratuvar Sınıflandırmasıdır. Bu sınıflandırmada, elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranı göz önüne alınarak 16 farklı sınıf oluşturulmuştur. Sınıflandırmaya göre hem elektriksel iletkenlik değeri (0-0.25 dS m⁻¹ birinci, 0.25-0.75 dS m⁻¹ ikinci; 0.75-2.25 dS m⁻¹ üçüncü ve 2.25 dS m⁻¹'den yüksek olan sular ise dördüncü sınıfa girmektedir) hem de SAR değeri(SAR<10: Az sodyumlu; SAR=10-18: Orta sodyumlu; SAR=18-26 Yüksek sodyumlu ve SAR>26 Çok yüksek sodyumlu) dört farklı sınıfa ayrılmaktadır (**Richards**

1954). Elektriksel iletkenlik değeri tek başına yeterli değildir. Bu nedenle anılan sınıflandırma sisteminde suların SAR değeri de dikkate alınmaktadır.

Araştırma alanındaki yeraltı suyu kuyularının 2002 ve 2011 yılındaki elektriksel iletkenlik, SAR ve pH değerleri **Çizelge 4**'de verilmiştir. Söz konusu çizelge incelendiğinde Kurşunlu, Küçükyenice ve Hasanpaşa köylerindeki kuyu sularının elektriksel iletkenlik değerlerinde on yıllık dönemde artış belirlenmiştir. Söz konusu artış Kurşunlu köyündeki kuyuda iki kattan daha fazla olarak belirlenmiştir. Diğer kuyu sularının elektriksel iletkenlik değerleri ise hafif bir düşüş göstermektedir. Benzer durum SAR değerleri içinde geçerlidir. Kurşunlu köyündeki kuyunun SAR değeri 0.6'dan 1.9'a yükselmiştir. Yenice köyü kuyusunun SAR değeri ise 1.2'den 0.3'e düşmüştür. Diğer örnekleme noktaları olan Deydinler, Edebey, Hasanpaşa ve Küçükyenice köylerindeki kuyu sularının SAR değerleri ise hafif azalma göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde tüm kuyuların suları SAR bakımından birinci sınıftır.

Çizelge 3. Kuyuların katyon ve anyon değerlerindeki değişim.**Table 3.** Changing of cation and anion values in well water.

Örnek Noktaları	Yıllar	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl
		me l ⁻¹						
Deydinler	2002	2.2	1.5	1.6	0.06	6.4	0.8	0.4
	2011	2.7	5.4	2.1	0.04	6.9	2.3	0.4
Edebey	2002	2.8	1.5	1.1	0.07	6.6	1.1	0.6
	2011	2.1	2.5	0.8	0.05	7.5	1.0	0.6
Hasanpaşa	2002	1.9	0.8	0.5	0.04	3.9	1.0	0.2
	2011	2.3	1.4	0.5	0.04	3.1	1.6	0.2
Küçükyenice	2002	1.8	1.7	1.1	0.05	5.1	1.6	0.4
	2011	1.7	2.4	0.9	0.05	7.2	1.1	0.3
Kurşunlu	2002	1.2	0.7	0.6	0.04	3.3	0.4	0.1
	2011	1.3	3.5	2.9	0.1	12.6	1.0	0.4
Yenice	2002	2.3	1.2	1.5	0.04	5.4	0.8	1.3
	2011	6.4	3.6	0.8	0.04	8.1	1.3	0.5

Çizelge 4. Kuyuların EC, SAR ve pH değerlerindeki değişim.**Table 4.** Changing of EC, SAR and pH values in well water.

Örnek Noktaları	EC (µs cm ⁻¹)		EC Sınıfları		SAR		pH	
	2002	2011	2002	2011	2002	2011	2002	2011
Deydinler	918	871	3	3	1.2	1.1	7.4	8.2
Edebey	983	847	3	3	0.8	0.5	7.5	7.2
Hasanpaşa	601	633	2	2	0.4	0.3	7.3	7.3
Küçükyenice	773	902	3	3	0.8	0.6	7.3	7.2
Kurşunlu	459	1070	2	2	0.6	1.9	7.6	6.9
Yenice	907	854	3	3	1.2	0.3	7.2	7.0
EC Sınıf Aralıkları	Birinci Sınıf 0-250		İkinci Sınıf 250-750		Üçüncü Sınıf 750-2250		Dördüncü Sınıf 2250-5000	
SAR Sınıf Aralıkları	Birinci Sınıf SAR < 3		İkinci Sınıf 3 < SAR < 9		Üçüncü Sınıf 9 < SAR			
pH Aralığı					6.5 – 8.5			

Örneklerin pH değerleri incelendiğinde, Deydinler köyü kuyusunda 2002 yılında 7.4 ölçülen değer 2011 yılında 8.2'ye yükselmiştir. En fazla düşüş ise Kurşunlu köyü kuyusunda belirlenmiştir. Söz konusu kuyu suyunun pH değeri 2002 yılında 7.6 iken 2011 yılında bu değer 6.9'a düşmüştür. Hasanpaşa köyü kuyusunda değişim gözlenmemiş ancak, Edebey, Küçükyenice ve Yenice köylerinde ise hafif azalma saptanmıştır. Kurşunlu ve Hasanpaşa köyleri drenaj havzasının başlangıç bölümünde yer almaktadır. Değerlendirmeye tabi tutulan elektriksel iletkenlik, SAR ve pH değerleri birlikte değerlendirildiğinde on yıllık zaman diliminde havzanın yeraltı suları söz konusu kalite değişkenleri açısından iyi durumdadır.

3.3. Bor içeriğindeki değişim

Bor her ne kadar bitki gelişimi için gerekli element olsa da çok düşük dozlarda toksisteye neden olabilmektedir. Normal şartlar altında, bor toksisitesine maruz kalan bitkilerin boyları kısalmış ve yaş ağırlıkları azalır. Azot, Fosfor ve Potasyum makro bitki besin elementlerinden olup bitkilerin temel yaşamsal fonksiyonlarını etkilemektedir. Söz konusu üç element ile bor arasında sinerjik bir etki söz konusudur (Patel ve Golakia 1986; Singh ve Singh 1990; Gezgin ve Hamurcu 2006).

İncelenen yıllar itibarıyla araştırma alanı yeraltı suyu kuyularının bor içeriklerindeki değişim Çizelge 5'de gösterilmektedir. Sınıflandırma sistemi olarak Scofield (1936)'ın sınıflaması kullanılmıştır. Söz konusu sınıflandırmada sulama suyunun bor içeriği bitkilerin toleransına göre hassas, yarı toleranslı ve toleranslı olmak üzere üç temel sınıfa ayrılmış ve bu sınıflarda konsantrasyon miktarına bağlı olarak beş farklı alt sınıf oluşturulmuştur. Yapılan değerlendirme sonunda oluşan sınıflar aynı çizelgede verilmiştir. En fazla artış Edebeyköyü kuyusunda belirlenmiştir. Söz konusu kuyuda 2002 yılında bor tespit edilememiş ancak 2011 yılında yapılan ölçümlerde 11.15 mg l⁻¹'lik bor içeriği saptanmıştır. Diğer bir ifadeyle söz konusu kuyuda bor konsantrasyonu on yıllık dönemde yaklaşık 11 kat artış göstermiştir. Benzer şekilde Kurşunlu köyü kuyusunda 4 kat, Yenice ve Deydinler köyü kuyularında 3 kat ve Hasanpaşa köyü kuyusunda ise 2 kat olarak belirlenmiştir.

Analiz sonuçları, hassas bitkiler bakımından incelendiğinde, 2002 yılında Kurşunlu, Küçükyenice ve Edebey köyleri birinci sınıftan 2011 yılında Küçükyenice köyü kuyusu (dördüncü sınıf) dışındaki tüm kuyular beşinci sınıfa düşmüştür. Yarı tolerans bakımından incelendiğinde ise Edebey, Küçükyenice ve Kurşunlu köyü kuyuları 2002 yılında birinci sınıf özellik gösterirken, 2011 yılında Küçükyenice köyü kuyusunun dışındaki diğer tüm kuyular beşinci sınıf özellik göstermektedir. Küçükyenice köyü kuyusu birinci sınıftan ikinci sınıfa düşmüştür. Toleranslı bitkiler bakımından değerlendirildiğinde ise benzer şekilde Edebey, Küçükyenice ve Kurşunlu köyü kuyuları 2002 yılında birinci sınıf özellik gösterirken, 2011 yılında Küçükyenice köyü kuyusunun dışındaki diğer tüm kuyular beşinci sınıf özellik göstermektedir. Yarı toleranslı bitkilerde olduğu gibi toleranslı bitkilerde de Küçükyenice köyü kuyusu birinci sınıftan ikinci sınıfa düşmüştür. Mevcut durumda Küçükyenice köyü kuyusu dışındaki kuyular, bor içeriği yüksekliği nedeniyle sulama suyu olarak kullanılmamalıdır.

3.4. Amonyum ve Nitritiçeriğindeki değişim

Amonyum suya azotlu organik bileşiklerin bozulması yoluyla girer. Mikrobiyolojik aktivite sonucu meydana gelir. Mikrobiyolojik kirlenmenin kimyasal belirtisidir. Ev atık sularında yaklaşık 10-20 mg l⁻¹ amonyum ve organik amin bileşikleri bulunur (Polat 2009). Azotlu organik bileşiklerin suda parçalanması sonucu amonyak oluşur. Oluşan amonyak suda çözdürülürse amonyum hidroksit elde edilir. Çözelti içinde bulunan toplam amonyak miktarı sıcaklığa ve suyun pH'sına bağlı olarak değişir. Suyun pH değerinin yüksek olması amonyağın toksite etkisini artırır. Sularda amonyak yaygın şekilde amonyum halindedir. Nitrat ve nitrit insan ve hayvan kaynaklı organik maddelerin dekompozisyonu sonucu oluşmaktadır. Bu bileşiklerin sudaki varlığı bakteriyel bir bulaşmanın varlığını gösterir. Son yıllarda nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak, bu maddelerin sularda bulunma olasılığı ve miktarı artış göstermiştir. Azot içeren sanayi atık suları, suni gübreler ve bozulmaya uğramış organik maddeler nitrat ve nitritin en önemli kaynağını oluşturmaktadır (Abercrombie ve Caskey 1972; Scorer 1974; Ağaoğlu ve ark. 2007).

Çizelge 5. Kuyuların Bor içeriğindeki değişim.

Table 5. Changing of Boron content in well water.

Yıl / Örneklem N.	Deydinler	Edebey	Hasanpaşa	Küçükyenice	Kurşunlu	Yenice	
2002	2.35	0	2.52	0	0	3.11	
2011	7.32	11.15	4.12	1.23	4.3	10.50	
2002	Hassas ¹	5. sınıf (>1.25)	1. sınıf (<0.33)	5. sınıf (>1.25)	1. sınıf (<0.33)	1. sınıf (<0.33)	5. sınıf (>1.25)
	Yarı Toleranslı ¹	4. sınıf (<2.50)	1. sınıf (<0.67)	5. sınıf (>2.50)	1. sınıf (<0.67)	1. sınıf (<0.67)	5. sınıf (>2.50)
	Toleranslı ¹	3. sınıf (<3.75)	1. sınıf (<1.00)	4. sınıf (<3.75)	1. sınıf (<1.00)	1. sınıf (<1.00)	4. sınıf (<3.75)
2011	Hassas	5. sınıf (>1.25)	5. sınıf (>1.25)	5. sınıf (>1.25)	4. sınıf (<1.25)	5. sınıf (>1.25)	5. sınıf (>1.25)
	Yarı Toleranslı	5. sınıf (>2.50)	5. sınıf (>2.50)	5. sınıf (>2.50)	2. sınıf (<1.33)	5. sınıf (>2.50)	5. sınıf (>2.50)
	Toleranslı	5. sınıf (>3.75)	5. sınıf (>3.75)	5. sınıf (>3.75)	2. sınıf (<2.00)	5. sınıf (>3.75)	5. sınıf (>3.75)
Değişim	Hassas	5'den 5. sınıfa	1'den 5. sınıfa	5'den 5. sınıfa	1'den 4. sınıfa	1'den 5. sınıfa	5'den 5. sınıfa
	Yarı Toleranslı	4'den 5. sınıfa	1'den 5. sınıfa	5'den 5. sınıfa	1'den 2. sınıfa	1'den 5. sınıfa	5'den 5. sınıfa
	Toleranslı	3'ten 5. sınıfa	1'den 5. sınıfa	4'den 5. sınıfa	1'den 2. sınıfa	1'den 5. sınıfa	4'den 5. sınıfa

¹: Scofield (1936) sınıflandırmasına göre oluşan sınıflar.

Araştırma alanındaki yeraltı suyu kuyularının 2002 ve 2011 yılındaki amonyum değerleri Çizelge 6'da verilmiştir. "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" dikkate alındığında oluşan amonyum sınıflar ($\text{mg NH}_4^+-\text{N l}^{-1} < 0.2$ birinci sınıf, $0.2-1.0$ arası ikinci sınıf, $1-2$ üçüncü sınıf ve $2 <$ dördüncü sınıf) Çizelge 6'da verilmiştir. Amonyum bakımından 2002 yılında tüm kuyu suları birinci sınıftan 2011 yılında ikinci ve üçüncü sınıfa düşmüşlerdir. En yüksek amonyum artışı Kurşunlu köyü kuyusunda 1.86 mg l^{-1} olarak gerçekleşmiştir. Önlem alınmaması durumunda yakın gelecekte amonyum kirliliği nedeniyle söz konusu kuyular kullanılamaz duruma dönüşecektir. Benzer şekilde aynı yönetmenlikte nitrit sınıflar ($\text{mg NO}_2^--\text{N l}^{-1} < 0.01$ birinci sınıf, $0.01-0.06$ arası ikinci sınıf, $0.06-0.12$ üçüncü sınıf ve $0.3 <$ dördüncü sınıf) dikkate alındığında oluşan sınıflar Çizelge 6'da verilmiştir. 2002 yılında tüm örnek kuyuları nitrit bakımından iyi durumda olup birinci sınıfta yer alırken 2011 yılından sınır değerlerinin çok üzerine çıkmış ve dördüncü sınıfa düşmüşlerdir. 2011 yılı değerleri dikkatlice incelendiğinde bulunan değerlerin çok yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek değer Kurşunlu Köyü kuyusunda 37.16 mg l^{-1} olarak ölçülmüştür. Ayrıca kuyu sularının belirlenen nitrit içerikleri Ayers ve Westcot'un (1994) hayvan içme suları için önerdikleri üst limit (10 mg l^{-1}) değerinin de oldukça üstünde bulunmaktadır. Bu sınıflandırma sisteminde sadece Yenice kuyusunun suyu 7.09 mg l^{-1} lik konsantrasyonla izin verilen üst limitin altında belirlenmiştir. Amonyum konusunda, DeSimone ve Howes (1998) ve Kreidler (1979) ve nitrit konusunda ise Pirinçi ve Servi (1993); Durmaz ve ark. (2007) ve Ağaoğlu ve ark. (2007) kendi çalışma alanlarında benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Çizelge 6. Kuyuların Amonyum içeriğindeki değişim.

Table 6. Changing of ammonium content in well water.

Örnekleme Noktaları	Amonyum (mg l^{-1})		Sınıfı ¹		Nitrit (mg l^{-1})		Sınıfı ¹	
	2002	2011	2002	2011	2002	2011	2002	2011
Deydinler	0.000	1.06	I	III	0.006	21.73	I	IV
Edebey	0.106	0.53	I	II	0.003	15.57	I	IV
Hasanpaşa	0.014	0.34	I	II	0.008	11.05	I	IV
Küçükyenice	0.075	0.62	I	II	0.005	18.55	I	IV
Kurşunlu	0.019	1.86	I	III	0.006	37.16	I	IV
Yenice	0.000	0.34	I	II	0.005	7.09	I	IV

¹: Sınıflar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ilgili tabloları dikkate alınmıştır (Anonim 2016).

4. Sonuç

Su kaynaklarını kullanım amacına uygunluğu ancak yapılan analizler sonucunda doğrulanabilir. Düşük kalite suların, sulama suyu olarak kullanımı, özel önem ve önlem gerektiren konulardandır. Çalışma alanında incelenen kuyu sularının on yıllık dönemdeki, EC, SAR, pH, katyon ve anyon değişkenlerinde önemli bir değişim saptanmamıştır. Söz konusu değişken açısından havzanın yeraltı suları iyi durumdadır. Bor içeriği yüksek sulama sularının bulunduğu bölgelerde mutlaka bora dayanıklı ve tercihen topraktan bor elementi kaldırabilen çeşit ve genotiplerin seçilmesi gereklidir. Borlu toprakların ıslahı oldukça güç ve maliyetli bir iş olması nedeniyle, bu suların uzun süreli kullanımlarda mutlaka topraktaki birikimi izlenmeli ve gerekli tedbirler alınmalıdır. Uzun dönemli planlamalarda,

suyun hacimsel bakımdan yeterli olduğu durumda pamuk, kuşkonmaz, yonca, ayçiçeği, yerelması gibi bor dayanımı yüksek ve aynı zamanda bor alımı yüksek olan bitkilerin tercih edilmesi, sürdürülebilir tarımsal üretim için son derece önemlidir. Ayrıca toprakta biriken borun bir kısmı bu şekilde kaldırılabilir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri dikkate alındığında 2002 yılında tüm örnek kuyuların amonyum ve nitrit değerleri bakımından birinci sınıftan 2011 yılında amonyum değerleri ikinci ve üçüncü sınıfa düşmüş ve nitrit bakımından ise dördüncü sınıfa gerilemiştir. En yüksek nitrit içeriği Kurşunlu Köyü kuyusunda 37.16 mg l^{-1} olarak ölçülmüştür. Ayrıca, Ayers ve Westcot'un (1994) hayvan içme suları için önerdikleri nitrit için üst limit (10 mg l^{-1}) değerinin de oldukça üstünde olduğu belirlenmiştir.

Resmi Gazetenin 23 Temmuz 2016 tarih ve 29 779 sayı ile yayınlanan Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği'nin beklenen faydayı sağlaması ancak düzenli izleme ve değerlendirme yapılmasıyla mümkün olabilir. Türkiye'nin tamamında özellikle tarımın yoğun olarak yapıldığı ve yeraltı sularının sulamada kullanıldığı bölgelerde, en küçük havzalarda dahil riskli bölgeler belirlenmeli ve gerekli tedbirlerin alınarak uygulanması sağlanmalıdır.

Teşekkür

Çalışmanın tamamlanmasında katkıda bulunan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 1. Bölge Müdürlüğü'ne katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Abercrombie FN, Caskey AL (1972) The spectrofotometric determination of nitrate in water. Res.Rep. Univ. III. Urbana-Champaign, 49: 1-79.
- Ağaoğlu S, Alisharlı M, Alemdar S, Dede S (2007) Van bölgesi içme ve kullanma sularında nitrat ve nitrit düzeylerinin araştırılması. YYÜ. Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 18(2): 17-24.
- Anonim (2012) İnegöl ekonomi raporu. İnegöl Ticaret ve Sanayi Odası. Bilgi Hizmetleri ve Proje Müdürlüğü, İnegöl.
- Anonim (2016) Su Kirliliği kontrolü yönetmeliği. Web Adresi: <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7221&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0>. Erişim Tarihi: 20.08.2016.
- Ayers RS, Westcot DW (1994) Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 173.
- Çelik M, Arıgün Z (2001) Yerköy (Yozgat) ovası yüzey ve yer altı sularının kalitesi ve kirliliği. I. Çevre ve Jeoloji Sempozyumu (Yeraltı suları ve Çevre Sempozyumu) Bildiriler Kitabı, 21-23 Mart 2001, İzmir, pp. 159-171.
- DeSimone LA, Howes BL (1998) Nitrogen transport and transformations in a shallow aquifer receiving waste water discharge: a mass balance approach. Water Resources Research, 34; 2: 271-285.
- Dişli Y (1997) Antalya ili Kale (Demre) ilçesi yer altı sulama suyu kalitesi üzerine bir araştırma. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı (Yüksek lisans Tezi), Konya.
- Durmaz H, Ardiç M, Aygün O, Genli N, (2007) Şanlıurfa ve yöresindeki kuyu sularında nitrat ve nitrit düzeyleri. YYÜ. Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 18(1): 51-54.
- Gezgin S, Hamurcu M (2006) Bitki beslemede besin elementleri arasındaki etkileşimin önemi ve bor ile diğer besin elementleri

- arasındaki etkileşimler. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 20(39): 24-31.
- Grismer ME (1990) Leaching fraction, soil salinity and drainage efficiency. California Agriculture, Vol. 44/6, pp. 24-26.
- İB (2016) İnegöl Belediyesi web sayfası. Adres: <http://www.inegol.bel.tr/inegol/> İnegöl tarihi. Erişim Tarihi: 25.05.2016.
- Kaplan M, Akay S (1995) Salinity of irrigation water of green houses and its effects on the soil salinity in Kumluca and Finike regions. 9th Symp of CIEC, Kuşadası-Turkey. pp. 379-384.
- Kreitler CW (1979) Nitrogen-isotope studies of soils and ground water nitrate from alluvial fan aquifers in Texas. Journal of Hydrology Volume 42, Issues 1-2, June 1979, pp. 147-170.
- MGM (2016) Meteoroloji Genel Müdürlüğü web sayfası. Adres: <http://www.meteor.gov.tr>. Erişim Tarihi: 22.06.2016.
- Öktüren Asri F, Demirtaş EI, Arı N, Arpacıoğlu AE, Özkan CF (2010) Antalya-Serik yöresi seralarında kullanılan sulama sularının kalitelerinin belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 23(2): 145-150.
- Patel MS, Golakia BA (1986) Effect of calcium carbonate and boron application on yield and nutrient uptake by groundnut. J. Indian Soc. Soil Sci. 34, 815-820.
- Pirinççi İ, Servi K (1993) Elazığ bölgesinde kullanılan sularda nitrat ve nitrit düzeylerinin belirlenmesi. Fırat Üniv. Sağlık Bil. Derg. 7(1): 91-100.
- Polat A (2009) Bir damla su. 1. Baskı, A4 Ofset Matbaacılık, Barın Cilt Evi, İstanbul.
- Richards LA (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, U.S. Salinity Lab. Staff, U.S.D.A. Agr. Handbook No.60, USA.
- Scofield CS (1936) The salinity of irrigation water. Smithson Inst. Ann. Report., 1935: pp. 275-287.
- Scorer R (1974) Nitrogen: a problem of decreasing dilution. New Scientist, 62: 182-184.
- Singh BP, Singh B (1990) Response of French bean to phosphorus and boron in acid Alfisols in Meghalaya. J. Indian Soc. Soil Sci. 38, 769-771.
- Sreedevi P (2002) A case study on changes in quality of groundwater with seasonal fluctuation of Pageru riverbasin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, India. Environmental Geology, 42(4): 414-423.
- Will E, Faust JE (2005) Irrigation water quality for greenhouse production. Agricultural Extension Service, PB 1617, The University of Tennessee, USA.
- Zengin M, Bayraklı F (1992) Konya ovası sulama sularının su kalitesi açısından sınıflandırılması üzerine bir araştırma. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2(4), Konya.