

ARASTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

**PORSUK HAVZASI YÜZEYSEL VE YERALTI SUYU KİRLİLİK DÜZEYİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Recep BAKIŞ¹, Hakan KOYUNCU², Aysun ÖZKAN³, Müfide BANAR³,
Gülün YILMAZ⁴, Ertuğrul YÖRÜKOĞULLARI⁵**

ÖZ

Bu makalede, sanayi, tarım ve evsel atık sularla yoğun bir şekilde kirletilen Porsuk çayı ve havzasındaki yüzeysel ve yeraltı suyu kirlilik düzeyi araştırılmıştır. Bu amaçla, Porsuk çayı boyunca ve havza içinden 20 istasyon seçilerek, 2 yıl boyunca mevsimsel yüzeysel ve yeraltı su örnekleri alınmıştır. Yüzeysel sulara toplam 18, yeraltı sularında ise toplam 15 parametre analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevsimsel değişikliklerin sebebine bakılmaksızın, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Kıta İçi Su Kaynakları sınıfları ve uluslar arası standartlarla karşılaştırılmıştır. Porsuk çayı ve havzasındaki hem yüzey suyunun hem de yeraltı suyunun IV. Kalite su sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Porsuk Çayı, Porsuk Havzası, Yüzeysel su kirliliği, Yeraltı su kirliliği.

**AN INVESTIGATION OF THE SURFACE AND GROUNDWATER POLLUTION
LEVEL IN THE PORSUK BASIN**

ABSTRACT

In this paper, the surface water and the groundwater of the Porsuk creek and its basin were studied in order to determine their pollution levels. The basin waters are commonly polluted by industrial, agricultural and domestic wastewaters. In order to determine the pollution levels, 20 different stations along the Porsuk creek and 20 wells close to the surface water sampling stations in the Porsuk basin were selected and seasonal surface water and groundwater samples were collected for 2 years. For the surface waters, 18 parameters and for the groundwater, 15 parameters were analyzed. The results were compared with according to the Water Pollution Control regulation and international standards without considering seasonal variations. The surface water and the ground water of the Porsuk creek and Porsuk basin were found to be in the class of IV water quality.

Keywords: Porsuk Creek, Porsuk Basin, Surface water pollution, Groundwater pollution.

¹Anadolu Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. İnşaat Müh. Böl. İki Eylül Kampüsü, 26470, Eskişehir
Tel: 0222-3213550-6605 e-mail: rbakis@anadolu.edu.tr

²Anadolu Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü.

³Anadolu Üniversitesi Çevre Müh. Bölümü.

⁴Anadolu Üniversitesi, Porsuk Meslek Yüksekokulu.

⁵Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü.

1. GİRİŞ

Türkiye’de, sürdürülebilir bir büyüme ve kalkınma için çevre kirliliği büyük bir engel teşkil etmekte ve çevre kirliliği içinde su kirliliği en önemli kısmı oluşturmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de su; son derece değerli, ekonomik ve stratejik bir doğal kaynaktır. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, evsel atıksuların %95’i, sanayi atıksularının da %70’i arıtılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmekte, bunun sonucu olarak da, temiz su kaynakları kirlenmektedir. Dünyada halen 1,4 milyar insan temiz su kullanma imkânından mahrumdur ve nehirlerin çoğu kirli su durumdadır. Gelişmekte olan ülkelerdeki hastalıkların %80’i, kirlenmiş suların kaynaklanmaktadır (Gümrükçüoğlu ve Baştürk, 2007).

Ülke genelinde olduğu gibi, Porsuk havzasında da, gelişen tarımsal faaliyetler, hızlı nüfus artışı ve endüstrileşmeye paralel olarak su ihtiyaçları artmaktadır. Temiz su ihtiyaçlarını karşılayacak uygun kaynakların yetersizliği, aşırı su tüketimi ve mevcut su kaynaklarının kirlenmesi, Porsuk havzasındaki Porsuk çayı ve Porsuk havzası yüzey ve yeraltı suyu kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle, Porsuk havzasında kıt olan su kaynaklarının gerek nicelik ve gerekse nitelik bakımından verimli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Çünkü havzada teknik olarak kullanılabilir durumdaki tatlı su kaynakları oldukça sınırlıdır. Bu bağlamda, Porsuk çayı ve havzadaki yeraltı suyu alternatifsiz su kaynakları olması bakımından hayati önem taşımaktadır.

Porsuk havzasında, özellikle şehirlerin içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarını sağlamak için yüzeysel ve yeraltı sularında kimyasal maddelerin olmaması veya standartlarda verilen sınır değerlerin aşılmaması, sağlık açısından çok önemlidir. Bu kimyasalların en önemlileri ise, kanserojenik özellikli ağır metaller ve sanayi atıklarından kaynaklanan toksik kimyasal maddelerdir.

Bu noktadan hareketle, bu çalışmada, Porsuk çayı boyunca yüzeysel su kirliliğinin tespiti yanında, Porsuk havzasındaki yeraltı suyu kirliliği de araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, mevsimsel değişikliklerin sebebine bakılmaksızın, incelenen suların her mevsimdeki durumunun tespiti için Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’nde (SKKY) ve diğer standartlarda verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak havza bazında su kirliliği seviyesi belirlenmiştir. Böylece, evsel, endüstriyel ve tarımsal alanlardaki su ihtiyacını karşılayan ve tek kaynak

olarak kullanılan Porsuk çayı ve yeraltı suyunun kirlilik düzeyinin ortaya konulması, havza bazındaki entegre kirlilik araştırması konusundaki boşluğu tamamlamaktadır.

1.1 Çalışma Sahası ve Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Bu çalışmada, 11325 km²’lik bir alana sahip olan Porsuk havzası ve havzanın en önemli akarsuyu olan Porsuk çayının kirlilik düzeyi araştırılmıştır. Porsuk çayının konumu ve örneklem noktaları Şekil 1’de verilmektedir. Porsuk çayı, bütün havzayı drene etmektedir (Şekil 1). Porsuk çayı, Kütahya’nın Murat dağı eteklerinden doğmaktadır. Kütahya ve Eskişehir gibi iki büyük kent merkezini ve birçok yerleşim alanını geçerek 436 km yol katettikten sonra Sazılar mevkiinde 660 m kotlarında Sakarya nehrine dökülmektedir (Bakış, 2008).

Porsuk çayı, bu uzun yol boyunca, Kütahya ve Eskişehir kent merkezlerinin içme, kullanma ve sanayi suyunu sağlamaktadır. Ayrıca, sulama suyu ve çeşitli amaçlarla da (balıkçılık, mesire vb.) kullanılmaktadır. Ancak, bu kullanılan temiz sular, Porsuk çayına tekrar, evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksular şeklinde deşarj edilmektedir.

Porsuk çayı, Porsuk barajı ve Porsuk havzasındaki yeraltı suyu kirliliği ile ilgili kişisel ve kurumsal anlamda bölgede pek çok araştırma yapılmıştır. Ancak bu araştırmaların çoğu, Kütahya ve Eskişehir kent merkezleri civarı veya Porsuk çayında belirli bir noktaya kadar yapılmıştır.

Yücel ve arkadaşları tarafından 1995 yılında yapılan bir araştırmada, Porsuk çayından sulanan toprakların ve Porsuk çayı kenarında büyüyen bitkilerin, kirlilikten etkilenme düzeylerinin araştırılması için, Porsuk çayının doğduğu yerden, Eskişehir çıkışına kadar olan kısmında, ayrıca, Felent çayı ile Sarısuyun Porsuk çayı ile birleştiği noktaların kıyısından toprak ve bitki yaprakları (*P. australis* ve *S. erectum*’un) örnekleri alınarak, Cd, Zn, Cu ve Pb ağır metal kirliliği araştırılmıştır. Araştırma sonunda, Porsuk çayındaki ağır metal kirliliğinin kabul edilemeyecek boyutlara ulaştığı belirtilmiştir (Yücel vd., 1995).

1997 yılında, Atıcı tarafından, Sakarya nehrinin mevcut kirliliğine ilaveten, Porsuk ve Ankara çaylarının, Sakarya nehrine karıştığı noktalardan su örnekleri alınarak, kirliliğe neden olan sayıca fazla alg türleri tespit edilmiştir. Bu



Şekil 1. Porsuk çayı, Porsuk havzası ve çalışmada kullanılan istasyon yerleri

alg türleri ile suyun fiziksel ve kimyasal kirliliği arasında bağ oluşturulmuş ve kirliliği tolere eden farklı alg türleri belirlenmiştir (Atıcı, 1997).

2003-2004 yılları arasında Kütahya ilindeki çeşitli sanayi kuruluşlarının Porsuk çayına karışan deşarj sularında pH, BOİ, KOİ, AKM, Pb, Cd, yağ ve gres ile toplam fosfor analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, örneklerdeki ağır metal seviyelerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki sınır değerleri aştığı görülmüştür (Özyurt vd., 2004).

“Sakarya-Seyhan Havzalarında Kirlenme Durumlarının İncelenmesi ve Bu Havzalarda Kalite Sınıflarının Tespiti” isimli projede, yan kollardan Sakarya nehrine büyük ölçüde kirlilik yükünün geldiği görülmüştür. Bu kirlilik yükünün Porsuk çayı kökenli olduğu ve evsel atıkların yanı sıra endüstriyel atıklardan da kaynaklandığı belirtilmiştir (Çevre Atlası, 2004).

Porsuk barajının kaynağında ve akıntı yönünde su kalitesini olumsuz yönde etkileyen başlıca faktörlerin; Kütahya kentinin kısmen arıtılmış ve/veya arıtılmamış atıksuları, Tügsaş Gübre Endüstrisi'nin atıksuyu, Kütahya Şeker Fabrikası, mezbaha atıkları ve tarımsal alandan gelen gübre ve tarımsal ilaç kirliliği olduğu vurgulanmıştır. Porsuk çayı, Kütahya girişinde I. sınıf iken, Kütahya çıkışından sonra III. ve IV.

sınıf düzeylerine düşmektedir. Bazı kirlilik parametreleri bakımından baraj gölünde oluşan iyileşme ile I. ve II. sınıf düzeylerine gelmektedir. Eskişehir kent çıkışında, kirlilik nedeniyle tekrar IV. sınıf olmaktadır (DSİ, 2002; Efelerli ve Büyükerşen, 2008).

Porsuk çayı, evsel ve endüstriyel atıklar için alıcı ortam olarak kullanılmaktadır. Özellikle, memba bölgesinde yer alan Kütahya bölgesinden gelen kirlilik yükü, Porsuk çayı ile Porsuk barajına girmektedir. Bu kirlilik su kalitesini bozmaktadır. Özellikle azot bileşikler bakımından yoğun bir kirliliğe maruz kalmaktadır. Kütahya azot fabrikası deşarj kanalı Porsuk çayı ve Eskişehir şebeke suyundaki azot bileşiklerinin çeşitli tarihlerdeki düzeylerinin değerlendirildiği çalışmalarda, azot derişimleri ve kirlilik seviyeleri belirlenmiştir (Giritlioğlu, 1981; Oruç, 1985; Oruç, 1992; Oruç, 1996; Oruç, 1997; Oruç, 1998).

Köprüören havzasından drene olup Enne baraj gölüne giren sular, etkileşimde olduğu birimlerden dolayı ağır metallerce zenginleşmektedir. Baraj suları Porsuk çayı aracılığı ile Kütahya ovasını terk etmektedir. Özellikle As, Pb ve Se derişimleri WHO'nun içme suyu standartlarına göre değerlendirilmiş ve sağlık açısından sakıncalı olduğu tespit edilmiştir (Nalbantçılar vd., 2006).

Porsuk çayı üzerindeki gözlem istasyonlarına ait su kalitesi değerleri coğrafi bilgi sistemleri ile modellenmiş ve modellemede, debi (Q , m^3/s), sıcaklık (T , $^{\circ}C$), Çözünmüş Oksijen (CO , $mg L^{-1}$), Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ($BOİ$, $mg L^{-1}$), amonyak azotu (NH_3-N), nitrat azotu (NO_3-N), nitrit azotu (NO_2-N) ve ortofosfat ($o-PO_4$) ($mg L^{-1}$), parametreleri kullanılarak su kalite haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalara göre, Porsuk barajı menbası ve mansabının IV. sınıf su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir (Arslan, 2008).

Eskişehir ovasının yüzeysel ve yeraltı suyu kirliliği çalışmalarında, kanalizasyon şebekesinin inşaatından sonra, ovadaki yeraltı suyu kirlilik değişimi incelenmiştir. Yüzeysel ve yeraltı suyunun etkileşimi nedeniyle özellikle ağır metal olarak Pb, Cr, Mn, Fe ve Cd derişimlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir (Yüce vd., 2006; Yüce, 2007).

Porsuk çayı ve sedimentlerinde (*Salmonella typhimurium* TA 98, TA100) mutajenite potansiyelinin bakteriler üzerindeki etkilerinin araştırılması çalışmasında, yüzeysel su ve sedimentte ağır metallerin (Cu, Cd, Pb, Al ve Ni) farklı bölgelerde Kıta İçi Su Kaynakları sınır değerlerini aştığı bildirilmiştir (Kutlu vd., 2004).

Bütün bu çalışmalardan başka, DSİ III. Bölge Müdürlüğü, Porsuk havzasında, uzun yıllar boyunca devam ettirdiği çalışmalar sonucunda, havzanın coğrafi, jeolojik, hidrolojik ve iklim özellikleri ile su kalitesine yönelik detaylı çalışmalar yapmaktadır. Su kalitesi (fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mikrobiyolojik özellikler) gibi temel özellikler, DSİ tarafından izlenmektedir (DSİ, 1980; DSİ, 2009).

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada; Porsuk havzasındaki kirlilik düzeyinin belirlenmesi için, Porsuk çayı ve Porsuk havzasından (kuyulardan), 2005, 2006 yıllarında yaz ve kış mevsimlerinde (2 yıl boyunca) eş zamanlı olarak 20 istasyondan (Şekil 1) yüzeysel ve yeraltı su örnekleri alınmıştır. Böylece her istasyon ve kuyudan farklı zamanlarda (yaz ve kış mevsimlerinde) toplam 4 örnek alınmış ve analiz edilmiştir.

Porsuk çayı suyu ve yeraltı suyu analizlerinde Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 1'de verilen Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflandırılması'ndaki temel parametreler esas alınmış ve uygulanan metotlar Tablo 1'de verilmiştir. Porsuk çayı yüzeysel su numuneleri, çayın yan kolları ve atıksu deşarjlarından sonra

tam karışımın sağlandığı belirlenen kesit üzerinde, su yüzeyinden 30-40 cm aşağıdan alınmıştır. Numune alma işleminde kirliliğin yoğun olduğu ve alıcı ortamlara deşarj edilen noktalardan sonraki önemli bölgeler dikkate alınmıştır. Yeraltı su numuneleri, derin kuyulardan pompa yardımıyla 10 dakika kadar bir süre akıtıldıktan sonra alınmıştır (özellikle sulama mevsiminde kuyular çalışmaktadır). Bütün yüzeysel ve yeraltı su numuneleri, steril plastik kaplara alınacak su ile en az iki kere çalkalanarak 2 lt hacminde alınmıştır. pH, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık değerleri numune alma sırasında okunmuştur. Ağızları iyice kapatılan su numuneleri, etiketlenmiş ve aynı gün laboratuvara taşınarak buzdolabına konulmuştur. Diğer analizler ise, 2 gün içinde tamamlanmıştır. Sodyum, potasyum, bor ve ağır metal analizleri, su örnekleri süzöldükten sonra, Perkin Elmer Optical Emission Spectrometer Optima 4300 DV cihazında yapılmıştır (ICP-OES). Tüm analizler, 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonuçları, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) Kıta İçi Su Kaynakları Sınıflandırması (KSKS), EPA (U.S. Environmental Protection Agency), WHO (World Health Organization), EU (European Union) ve TS266 Standartları ile karşılaştırılmıştır (SKKY, 2009; EPA, 1999; Avrupa Birliği, 1998; Türk Standartları Enstitüsü, 2005; Dünya Sağlık Örgütü, 1993). Ancak KSKS standardı, temel karşılaştırma standardı olarak ön planda tutulmuştur. Buna göre parametreler 3 ana başlık halinde incelenmiştir.

- A) *Fiziksel ve inorganik-kimyasal parametreler:* pH, elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T $^{\circ}C$), sülfat (SO_4^{2-}), ortofosfat ($o-PO_4$), sodyum (Na), potasyum (K), nitrat azotu (NO_3^-N), nitrit azotu (NO_2^-N)
- B) *Organik Parametreler*
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)
- C) *İnorganik Kirlenme Parametreleri*
Kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), bakır (Cu), krom (Cr), nikel (Ni), çinko (Zn), mangan (Mn) ve bor (B) analizleri yapılmıştır.

3. BULGULAR

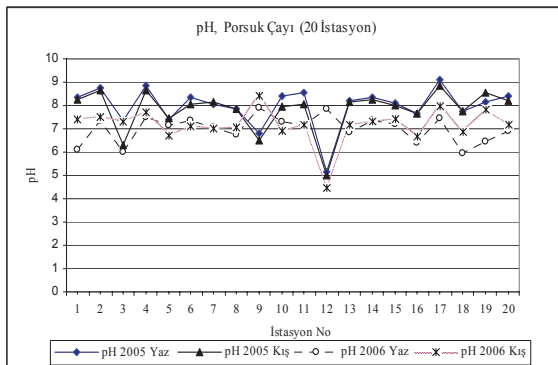
Fiziksel ve inorganik-kimyasal parametreler: pH, elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T $^{\circ}C$), sülfat (SO_4^{2-}), ortofosfat ($o-PO_4$), sodyum (Na), potasyum (K). Fiziksel ve inorganik-kimyasal parametreler, KSKS'ı ve diğer standartlara göre, aşağıda açıklandığı şekilde, analiz sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Yüzeysel su ve yeraltı suyu analizlerinde uygulanan metotlar

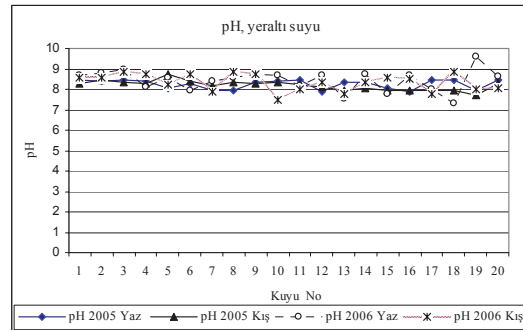
Parametre	Metot	Uygulanan Örnekler
pH	TS 3263 ISO 10523 Su Kalitesi-pH Tayini	Yüzeysel su, yeraltı suyu
Elektriksel iletkenlik (EC)	TS 9748 EN 27888 Su Kalitesi-Elektriksel İletkenlik Tayini	Yüzeysel su, yeraltı suyu
Fosfat (PO ₄)	TS 7886 Su Kalitesi-Ortofosfat Tayini-Kalay II Klorür Metodu	Yüzeysel su
Kurşun (Pb), Çinko (Zn), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bor (B), Mangan (Mn), Sodyum (Na), Potasyum(K)	EPA 200.7 Rev.5: 2001 ICP-OES Spektroskopik Metot	Yüzeysel su, yeraltı suyu
Nitrit (NO ₂ ⁻ -N)	TS 7526 EN 26777 Moleküler Absorpsiyon Spektrometrik Metot	Yüzeysel su, yeraltı suyu
Nitrat (NO ₃ ⁻ -N)	TS 6232 Su Kalitesi-Nitrat Tayini- Damıtma-dan Sonra 4-Florofenol Spektrometrik Metot	Yüzeysel su, yeraltı suyu
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	TS 2789 ISO 6060 Titrasyon Metodu	Yüzeysel su
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	SM 4500-SO ₄ ²⁻ E (21. Baskı, 2005) Türbidimetrik Metot	Yüzeysel su

3.1 pH Tayini

Belirlenen istasyon noktalarından yaz ve kış mevsimlerinde alınan Porsuk çayı yüzeysel ve yeraltı suyu numunelerinde, pH değerleri, arazide Cole Parmer marka pH metre ile ölçülmüş olup, yüzeysel ve yeraltı sularına ait pH değerleri Şekil 2 ve Şekil 3’de sunulmuştur. Bütün istasyonlarda ortalama yıllık pH değerleri 2005 ve 2006’da sırasıyla 7,89-7,07’dir.



Şekil 2. Porsuk çayı boyunca pH değişimi



Şekil 3. Yeraltı suyunda, 20 kuyudaki pH değişimi

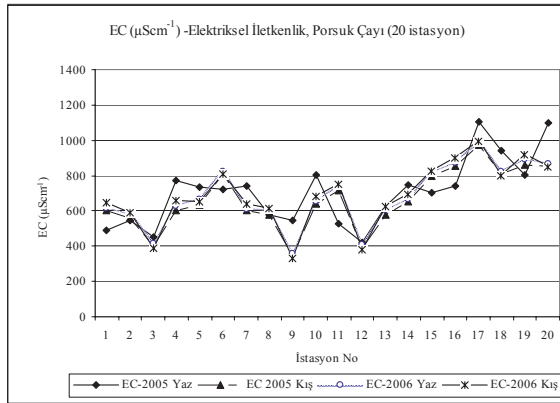
Porsuk çayı yüzey suyu pH değerleri 2005 yaz ve kış mevsimleri için sırasıyla ortalama 7,81 ve 7,98 olarak bulunmuştur. pH değerleri yaz 2006 ve kış 2006 için ise sırasıyla ortalama 7,14 ve 7,01 olarak bulunmuştur (Şekil 2). WHO ve EU standardında istenen sınır değerler ise 6,5-8,5 arasında verilmiştir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği KSKS standardına göre ise, pH için Sınıf: I:6,5-8,5; II:6,5-8,5; III:6-9; IV: <6 ve >9’dur. Buna göre, pH değeri bakımından su kalitesinin genel olarak I. ve II. Sınıf, bazı istasyonlarda (Kütahya Azot Fabrikası öncesi, Beylikova, Yeşildon, Yunusemre) III. ve IV. sınıf olduğu görülmektedir.

Porsuk havzası kuyu sularında 2005 yaz ve kış mevsimlerinde ortalama pH 8.19-8.25 arasında ve 2006 yaz ve kış mevsimlerinde 8,34-8,44 arasında değişmektedir. Bu değerler yeraltı suyunun bazik özellikte olduğunu göstermektedir. KSKS'e göre, genelde yeraltı su kalitesi I.-II. sınıf arasında değişmektedir (Şekil 3).

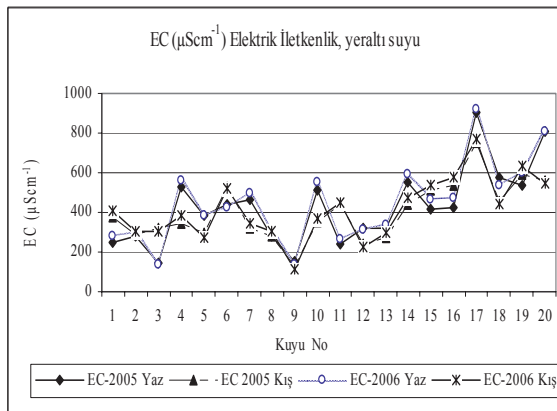
3.2 Elektriksel İletkenlik, EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

2005 ve 2006 yıllarında ortalama elektriksel iletkenlik (EC) değerleri sırası ile 683,3-684,8 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 'dir. Porsuk yüzey suyunda, elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 20°C'de, 2005 yaz ve kış mevsimleri için ortalama 662 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ve 704 $\mu\text{S cm}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 2006 yaz ve kış için ise sırasıyla ortalama 689 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ve 680 $\mu\text{S cm}^{-1}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4).

Yeraltı suyunda, EC değerleri, 2005 yaz ve kış mevsimleri için ortalama 427 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ve 402 $\mu\text{S cm}^{-1}$ olarak okunmuştur. Kış 2006 ve yaz 2006 için ise ortalama 413 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ve 443 $\mu\text{S cm}^{-1}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 5).



Şekil 4. Porsuk Çayı boyunca EC değişimi



Şekil 5. Yeraltı suyunda, 20 kuyuda EC değişimi

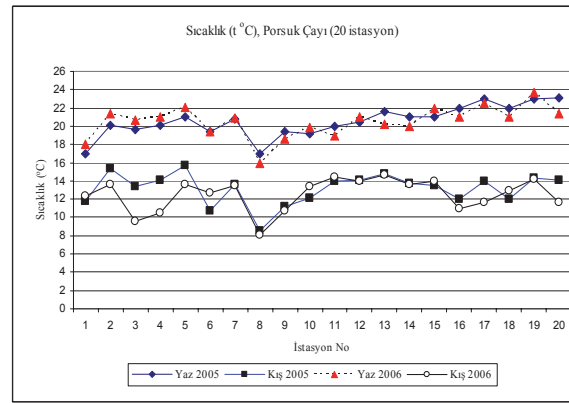
Her iki grup su numunelerinde, KSKS standardına göre, EC ile ilgili herhangi bir sınır de-

ğer yoktur. TS266'da sınır değerler olarak, Sınıf 1-2, Tip 1'de 650 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ve sınıf 2, Tip 2'de 2500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ değerleri verilmiştir. Ayrıca, WHO ve EU standartlarındaki 2500 $\mu\text{S cm}^{-1}$ sınır değeri göz önüne alınırsa, yüzeysel ve yeraltı sularında iletkenlik açısından herhangi bir sorun görünmemektedir.

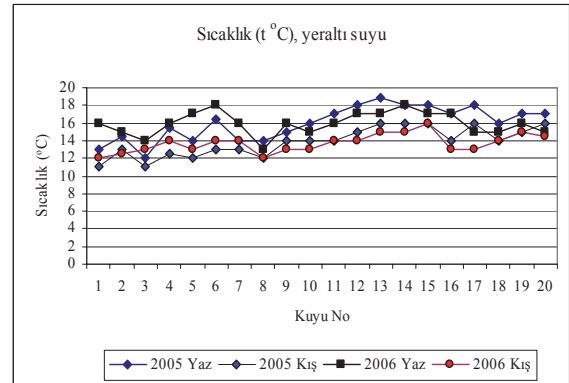
3.3 Sıcaklık

Porsuk çayı yüzeysel ve yeraltı su numunelerinin ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 6 ve 7'de verilmektedir. Bütün istasyonların ortalama sıcaklık değerleri 2005 ve 2006'da 16,85-16,5°C arasındadır.

Porsuk çayı boyunca 2005 yaz ve 2006 yaz mevsimlerinde ölçülen Porsuk çayı yüzey suyu ortalama sıcaklığı aynı olup, 20,5°C'dir. 2005 ve 2006 kış mevsimleri ortalama yüzey suyu sıcaklığı ise 13,2 ve 12,5°C olarak ölçülmüştür.



Şekil 6. Porsuk çayı boyunca su sıcaklığı



Şekil 7. Porsuk havzası yeraltı suyu sıcaklığı

Porsuk havzası kuyularında ölçülen ortalama yeraltı suyu sıcaklığı, 2005 yılının yaz ve kış aylarında sırasıyla 16 ve 13,9°C; 2006 yılının yaz ve kış aylarında ise sırasıyla 16 ve

13,7°C'dir. Porsuk kaynakları civarında yeraltı su sıcaklığı yaz aylarında 11-13°C ve kış aylarında 13-12,6°C arasında ölçülmüştür. Porsuk barajı çıkış bölgesi sonrasında kuyularda ölçülen yeraltı suyu sıcaklığı 12-14°C ile en düşük değerleri almıştır.

Su ortamındaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sıcaklığın etkisi altındadır. Su sıcaklığının yükselmesi oksijenin suda çözünürlüğünü azaltırken, balıkların oksijen gereksinimini yükseltir. Ayrıca, yüksek sıcaklık, pek çok kimyasal bileşiğin çözünürlüğünü artırarak kirleticilerin sudaki canlı yaşamı üzerindeki etkilerini çoğaltır. Porsuk boyunca yetişen bitki örtüsü de su sıcaklığından etkilenmektedir. Bu değişimler de Porsuk'ta yaşayan balık ve diğer sucul formlar üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır.

Endüstriyel ve kanalizasyona ait atıksuların sıcaklıkları doğal akarsulardan daha yüksektir. Su sıcaklığındaki artış miktarı, akarsuyun taşıdığı toplam su miktarı ile ona karışan atıksu miktarı arasındaki oran ve atıksuların katılmasından sonra akarsuyun kat ettiği mesafe etkili olmaktadır. Porsuk çayındaki bu yüksek sıcaklık, debisine oranla daha yoğun atıksu deşarj edilmesinden kaynaklanmaktadır. Endüstriyel ve kanalizasyon atıksularından kaynaklanan sıcaklık artışının mevsimsel olarak soğuk devrelerde daha belirgin olduğu görülmüştür. Soğuk mevsimlerde bütün akarsularda sıcaklık fazlalığı belirgin olarak izlenmektedir. Sıcak dönemlerde ise, atıksuların sıcaklığı ile akarsuların sıcaklığı yakın değerler taşıdığından, kirlilikten kaynaklanan sıcaklık artışı belirgin değildir. Sonuç olarak Porsuk çayındaki bu sıcaklık artışı atıksuların doğrudan akarsuya verildiğini göstermektedir.

3.4 Nitrat Azotu (NO₃⁻-N)

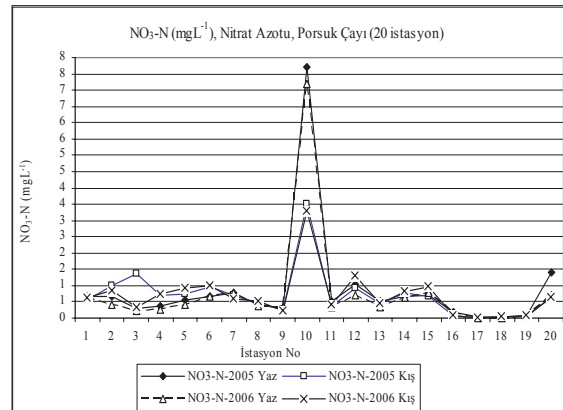
Porsuk çayı boyunca ve Porsuk havzasındaki su örneklerinde ölçülmüş nitrat azotu değerleri Şekil 8 ve 9'da verilmektedir. Yüzey suyunda ortalama nitrat azotu (NO₃⁻-N) miktarı, 2005 yaz ve kış ve 2006 yaz ve kış aylarında sırasıyla 0,881, 0,705, 0,744 ve 0,688 mg/L olarak bulunmuştur.

Suda bulunan ve azotun doğal bir formu olan nitrat, insan ve hayvan sağlığı açısından zararlıdır. Nitrat suda oldukça kolay çözünür ve sudan kolayca ayırt edilemez. Nitrat, kokusuz ve tatsızdır. Suda nitrat bulunması kirlenmenin uzun süre önce olduğunun bir göstergesidir. Bir insanın tüketeceği 1 litre suda bulunması gereken nitrat miktarı 10 miligramdır (10 mg L⁻¹

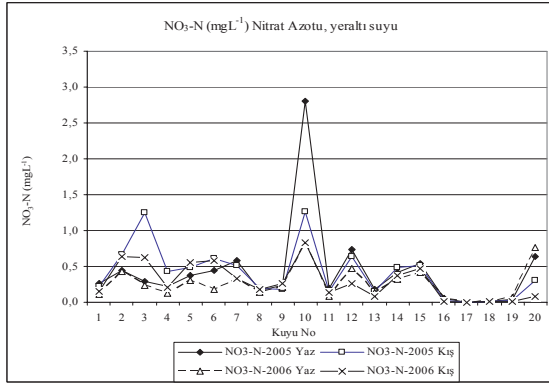
NO₃⁻-N). Öte yandan, bitkilerin büyümesi ve toprağın verimliliğinin artması için ise nitrat gereklidir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği KSKS'göre, nitrat sınır değerleri, nitrat azotu cinsinden I., II., III. ve IV. sınıf sularda 5, 10, 20 ve >20 mg L⁻¹ olarak verilmiştir. TSE266 da bu değer nitrat olarak 25-50 mg L⁻¹, EPA'da nitrat azotu olarak, 10 mg L⁻¹ ve WHO'da nitrat olarak 3 mg L⁻¹ sınır değerindedir.

Buna göre, nitrat azotu değerleri, 2005 yılının yaz aylarında Eşenkara deresi sonrasında 7,72 (10 nolu ist.), Sazılar mevkiinde (20 nolu ist.) 1,4 mg L⁻¹ ile en büyük değeri alırken, 2005 kış mevsiminde, Kütahya pis su arıtma tesisi öncesi 1,35 mg L⁻¹ ve Eşenkara deresi sonrası 3,5 mg L⁻¹ değerlerine değişmiştir. 2006 yılının yaz aylarında, nitrat bakımından en kirliliğe Eşenkara deresi sonrasında (10 nolu ist.) 7,17 mg L⁻¹ ve kış mevsiminde aynı istasyonda 3,27 mg L⁻¹ olan bölgedir. Eskişehir çıkışından, Yeşildon yakınlarına kadar ortalama değer 1 mg L⁻¹ olup, Sazılar bölgesi öncesine kadar düşük değerler söz konusudur. Sazılardan, Sakarya nehri'ne kadar yeniden 1-1,5 mg L⁻¹ seviyelerine çıkmaktadır. Bunun da tarımsal kirlilikten kaynaklandığı düşünülmektedir. Bütün standartlara göre, Porsuk çayı nitrat kirliliği bakımından I. ve II. Sınıf su kalitesindedir.



Şekil 8. Porsuk çayı nitrat kirliliği



Şekil 9. Porsuk havzası yeraltı suyu nitrat kirliliği

Yeraltı suyu kirliliği 2005 yılının yaz ve kış aylarında ortalama 0,403 ve 0,407 mg L⁻¹ olarak belirlenmiştir. 2006 yılının yaz ve kış aylarında ise ortalama 0,26 ve 0,29 mg L⁻¹ olarak ölçülmüştür. 2005 yılının yaz aylarında Eşenkara deresi sonrasında 2,80 mg L⁻¹ (10 nolu ist), 2005 yılının kış aylarında ise Eşenkara deresi sonrasında 1,27 mg L⁻¹, Kütahya pis su arıtma tesisi öncesi 1,25 mg L⁻¹ olarak tespit edilmiştir. Yeraltı suyu, nitrat kirliliği bakımından I. sınıf su kalitesinde görülmektedir.

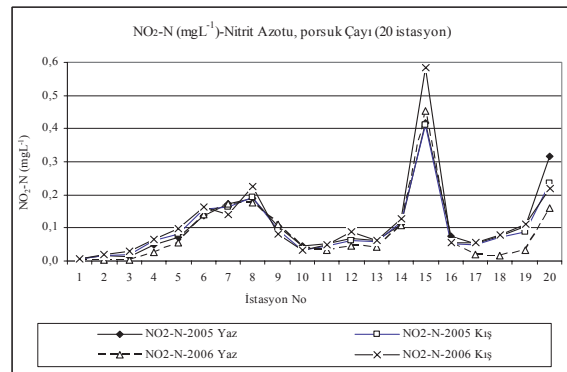
3.5 Nitrit Azotu (NO₂⁻-N)

Doğal suların yapısında nitrat vardır. Ancak, nitritin içme sularında olması hiç istenmez. Suda nitrit belirlenmesi NH₃→NO₂⁻→NO₃⁻ geçişine göre, kirlenmenin yeni olduğunun bir göstergesidir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği KSKS'e göre, nitrit sınır değerleri, nitrit azotu cinsinde I., II., III. ve IV. sınıf sularda sırasıyla, 0,002; 0,01; 0,05 ve >0,05 mg L⁻¹ olarak verilmiştir. Nitrit cinsinden olmak üzere; TSE266'da 0,1-0,5 (0,03-0,15 nitrit azotu cinsinden) mg L⁻¹, EPA'da 1 (0,30 nitrit azotu cinsinden) mg L⁻¹, WHO'da 3 (0,91 nitrit azotu cinsinden) mg L⁻¹ sınır değerleridir.

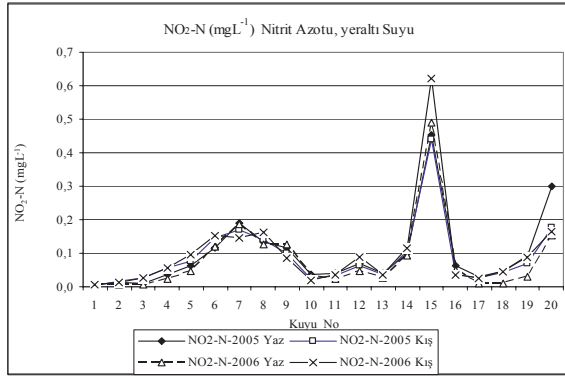
Porsuk çayı suyundaki, nitrit kirliliği Şekil 10'da verilmiştir. Porsuk çayında ortalama nitrit azotu (NO₂⁻-N) 2005 yılının yaz ve kış ayları ve 2006 yılının yaz kış ayları için sırasıyla, 0,107; 0,101; 0,085 ve 0,114 mg L⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu değerler KSKS'in sınır değerlerini aşmaktadır. Nitrit derişimleri, Kütahya pis su arıtma tesisi öncesine (4 nolu ist) kadar düşük değerlere sahip iken (II. sınıf su kalitesi), bu tesisten sonra artmakta ve Porsuk baraj sonrasında en yüksek değere (0,22 mg L⁻¹) ulaşmaktadır. Eşenkara deresi sonrasında azalan konsantrasyonlar, Eskişehir pis su arıtma tesisi öncesi, Şeker çiftliği ve Alpu civarında en yüksek de-

ğerlere (0,45-0,58 mg L⁻¹) ulaşmıştır. 2006 yılının kış ve yaz mevsimlerinde nitrit derişimleri 2005 yılı değerlerinden daha yüksek bulunmuştur (Şekil 10). Eskişehir sonrası, Şeker çiftliği (15 nolu ist.) civarında 2005 yılının yaz ve kış aylarında (0,41 mg L⁻¹) ve Yeşildon civarlarında nitrit değerleri azalırken, Yunusemre Sazılar kısmında tekrar artarak 2005 yaz ve kış mevsimlerinde 0,31 ve 0,23 mg L⁻¹ değerlerine ulaşmıştır. 2006 yaz ve 2006 kış aylarında ise bu değerler sırasıyla 0,16 ve 0,21 mg L⁻¹ olarak ölçülmüştür. Genel olarak 2005 yılı yaz ve kış mevsimlerinde, KSKS'e göre su kalitesi Kütahya öncesi I.-II. Sınıf su kalitesindedir. Kütahya çıkışından sonra Sakarya nehrine kadar IV. sınıf (çok kirli) su kalitesindedir.

Porsuk havzası yeraltı suyundaki nitrit değerleri Şekil 11'de verilmektedir. Bu kuyulardaki ortalama nitrit derişimleri 2005 yılının yaz ve kış ayları ve 2006 yılının yaz ve kış ayları için, sırasıyla, 0,098; 0,090; 0,081 ve 0,102 mg L⁻¹ olarak ölçülmüştür. Yeraltı sularında en yüksek değerler, Sabuncupınar köprüsü civarındaki yeraltı sularında (0,189 mg L⁻¹) ölçülmüştür. Şeker çiftliği yeraltı suları yine nitrit bakımından yüksek (0,48-0,62 mg L⁻¹) çıkmıştır. Nitrit cinsinden olmak üzere; TSE266'da 0,1-0,5 (0,03-0,15 nitrit azotu cinsinden) mg L⁻¹, EPA'da 1 (0,30 nitrit azotu cinsinden) mg L⁻¹, WHO'da 3 (0,91 nitrit azotu cinsinden) mg L⁻¹ sınır değerleri verilmiştir. Bu kriterlere göre hem yüzeysel sular hem de yeraltı suları pek çok istasyonda istenen değerlerden yüksektir. Yeraltı suyu IV. sınıf su kalitesindedir. Yeraltı ve yüzey sularındaki yüksek nitrit derişimleri sudaki oksijen azlığının göstergesidir.



Şekil 10. Porsuk çayı nitrit kirliliği

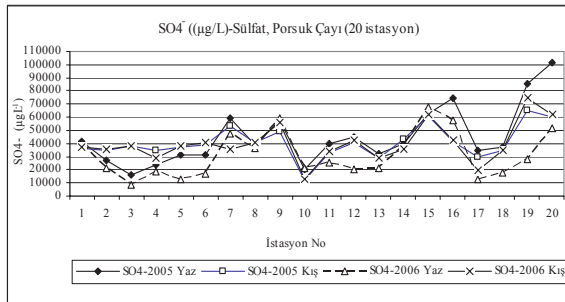


Şekil 11. Porsuk havzası yeraltı suyu nitrit kirliliği

3.6 Sülfat (SO₄⁻²)

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, KSKS'e göre, sülfat sınır değerleri, I., II., III. ve IV. sınıf sularda 200, 200, 400 ve >400 mg L⁻¹ olarak verilmiştir. TSE266 da bu değer 25-250 mg L⁻¹ EU ve EPA'da 250 mg L⁻¹, WHO 500 mg L⁻¹ verilmiştir.

Porsuk çayı yüzey suyunda, 2005 yaz ve kış aylarında ortalama sülfat değerleri 44,9 ve 40,6 mg L⁻¹; 2006 yaz ve kış mevsimlerinde ortalama sülfat değerleri 31,7 ve 39,8 mg L⁻¹ olarak ölçülmüştür. Porsuk kaynaklarından itibaren yüksek seyreden derişim değerleri (>40 mg L⁻¹), Porsuk barajı öncesi 47-58 mg L⁻¹ seviyelerine ulaşmakta, Porsuk baraj çıkışında ise 36-40 mg L⁻¹ seviyelerine düşmektedir. Eşenkara deresi civarlarında azalan sülfat değerleri, Eskişehir sonrasında tekrar artmakta ve Şeker çiftliği ile Alpu civarlarında daha da artarak 60-67 mg L⁻¹ seviyelerine çıkmaktadır. Yeşildon civarlarında azalan sülfat değerleri, Yunusemre Sazılar mevkiinde en yüksek derişimlere (101,1 mg L⁻¹) ulaşmaktadır (Şekil 12). KSKS'e göre, Porsuk çayı sülfat değerleri açısından I. sınıf su kalitesindedir. Yeraltı suyu ise sülfat bakımından incelenmemiştir.



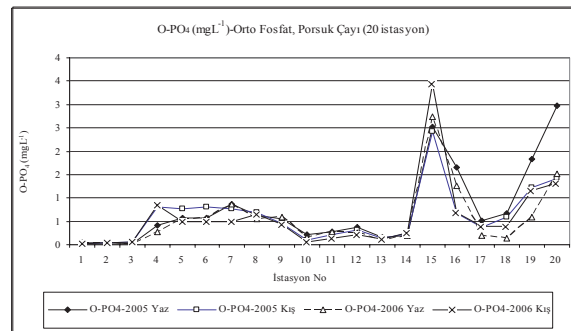
Şekil 12. Porsuk çayı sülfat kirliliği

3.7 Orto-Fosfat (o-PO₄)

Fosfor doğal sularda, erimiş organik fosfor veya suda asılı halde bulunan organik fosfor şeklinde bulunur. Çoğu sularda ortalama toplam fosfor içeriği 0,01-0,03 mg L⁻¹ arasında değişir. Evsel atık su içeriğindeki insan atıkları ve deterjanlar ise fosfat içerir (Tanyolaç, 2004).

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği KSKS'göre, toplam fosfor sınır değerleri, I., II., III. ve IV. sınıf sularda 0,02; 0,16; 0,65 ve >0,65 mg L⁻¹ olarak verilmiştir. Orto fosfat sınır değerleri KSKS'de olmadığı için, toplam fosfor sınır değerleri kullanılmıştır. Porsuk çayı suyundaki, orto fosfat kirliliği Şekil 13'de verilmektedir.

Orto-fosfat çoğu sularda temel fosfat kaynağıdır. Porsuk çayı boyunca su kalitesi orto-fosfat değeri bakımından incelendiğinde, Porsuk kaynaklarından (1 nolu ist.) Kütahya pis su arıtma tesisi öncesine kadar I. sınıf su niteliği göstermektedir. Kütahya'nın girişinden Eskişehir çıkışına kadar olan kesimde, sınır değerlerin aşıldığı görülmüştür (Şekil 13). Bu kesimde en yüksek değer 2006 kış döneminde Kütahya azot fabrikası öncesi (4 nolu ist.) 0,84 mg L⁻¹ olarak ölçülmüştür. En düşük değer ise Eşenkara deresi sonrasında (10 nolu ist.) 0,22 mg L⁻¹ ölçülmüş olup, bu değere göre su, en az III. sınıf su grubuna girmektedir. Şeker çiftliğinde (15 nolu ist.) orto fosfat en yüksek (3,44 mg L⁻¹) derişimindedir. Orto fosfat değerleri, toplam fosfor değerlerinden az olmasına rağmen, III.-IV. sınıf su kalitesinde bulunmuştur. Yeraltı suyu orto fosfat bakımından incelenmemiştir.

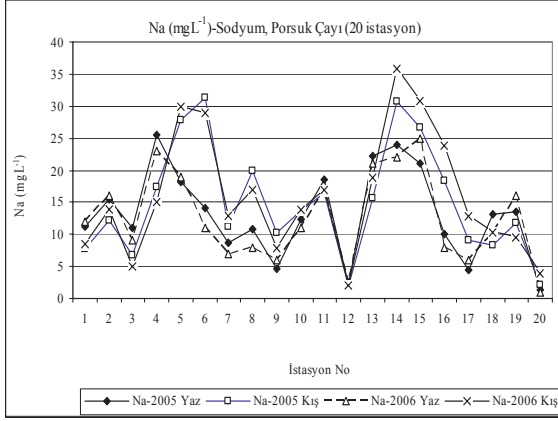


Şekil 13. Porsuk çayı orto fosfat kirliliği

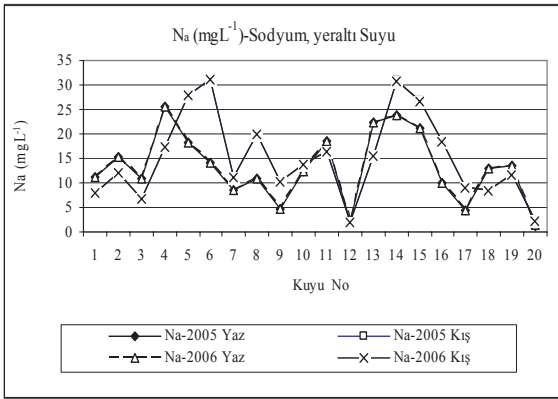
3.8 Sodyum (Na)

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği KSKS'göre, toplam sodyum sınır değerleri, I., II., III. ve IV. sınıf sularda 125, 125, 250 ve >250 mg L⁻¹ olarak verilmiştir. TSE266'da bu

değer 100-200 mg L⁻¹, WHO 200 mg L⁻¹ (doğal sulara normalde <20 mg L⁻¹ bulunur) verilmektedir. Porsuk Çayı ve yeraltı suyundaki sodyum kirliliği Şekil 14 ve 15’de verilmektedir. 2005 ve 2006 yılları ortalama sodyum (Na) değerleri, 14,04 ve 14,25 mg L⁻¹ olarak ölçülmüştür.



Şekil 14. Porsuk çayı sodyum kirliliği



Şekil 15. Porsuk havzası yeraltı suyu sodyum kirliliği

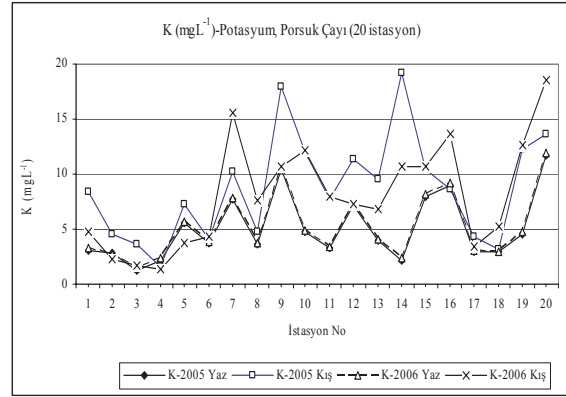
Porsuk yüzey suyunda, 2005 yaz ve kış mevsimlerinde ölçülen sodyum miktarı birbiri ile paralellik göstermiştir. Porsuk kaynaklarında 7-11 mg L⁻¹ olan sodyum değerleri Kütahya azot fabrikası sonrası (4 nolu ist.) 17-25 mg L⁻¹ seviyelerine, Çalca Beşdeğirmen civarlarında (5 ve 6 nolu ist.) 31,2 mg L⁻¹’a yükselmiştir. Porsuk barajı çıkışında düşen değerler, Eskişehir şeker fabrikası civarında daha da azalarak 2,16 mg L⁻¹ civarlarına düşmüştür. Eskişehir pis su arıtma tesisi öncesinde sodyum tekrar yükselmiş ve 30,7 mg L⁻¹’ye ulaşmıştır. Porsuk çayı genelde sodyum bakımından I. sınıf su kalitesindedir.

Yeraltı suyu bakımından da bütün kuyuların suları, KSKS’e göre sınır değerlerin altında ölçülmüştür. Beşdeğirmen ve Çalca kuyularında (5 ve 6 nolu kuyular) 18,1-31,3 mg L⁻¹ arasında değişmiştir. Eskişehir pis su arıtma tesisi öncesi ve Şeker çiftliğinde (14 ve 15 nolu kuyular) 21,2-36 mg L⁻¹ değerlerinde ölçülmüştür.

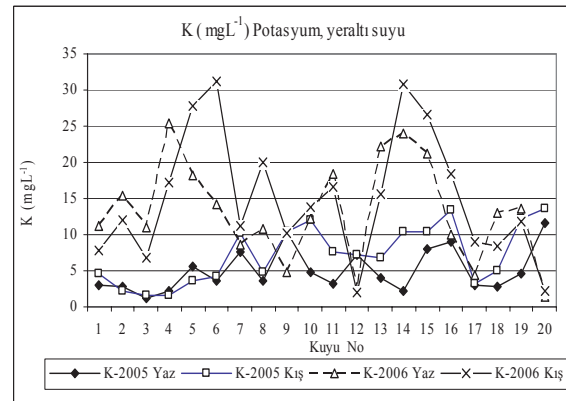
3.9 Potasyum (K)

Potasyumun etkisi sodyumda olduğu gibidir. Kirlilik kaynağını genelde endüstriyel atıksular, tarımsal gübreler ve toprak yapısı oluşturur.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği KSKS’da, potasyum sınır değerleri için herhangi bir sınır değer verilmemiştir. TSE266’da (1997) bu değer 12 mg L⁻¹ verilmiştir (İSKİ, 2010). Porsuk çayındaki potasyum kirliliği Şekil 16’da verilmektedir. 2005 ve 2006 yılları potasyum (K) ortalamaları sırasıyla 6,90 ve 6,62 mg L⁻¹’dir.



Şekil 16. Porsuk çayı potasyum kirliliği



Şekil 17. Porsuk havzası yeraltı suyu potasyum kirliliği

Porsuk çayı boyunca ölçülen ortalama potasyum (K) değerleri, 2005 yaz ve kış mevsimler-

inde 5,06 ve 8,74 mg L⁻¹ ve 2006 yaz ve kış mevsimlerinde ise 5,19 ve 8,06 mg L⁻¹ olarak ölçülmüştür. Porsuk çayında en yüksek potasyum değerleri 2005 ve 2006 kış mevsimlerinde görülmüştür. 2005 yılı kış aylarında en yüksek Musaözü ve Eşenkara dereleri arasında (9 ve 10 nolu ist.) 10,5-18 mg L⁻¹, Eskişehir pis su arıtma tesisi öncesi (14 nolu ist.) 19,2 mg L⁻¹ ve kış 2006'da en yüksek değerler Sabuncupınar köprüsü (7 nolu ist.) 15,6 mg L⁻¹, Sazılar mevkinde 18,5 mg L⁻¹ olarak elde edilmiştir. 2005 yaz mevsiminde en yüksek değerler Musaözü deresi sonrası (9 nolu ist.) 10,5 mg L⁻¹ ve Sazılar istasyonu (20 nolu ist.) 11,7 mg L⁻¹ olarak bulunmuştur. 2006 yaz mevsiminde de aynı istasyonlarda 10,63 ve 11,89 mg L⁻¹ değerleri ölçülmüştür (Şekil 16).

Porsuk havzası yeraltı suyu kuyularında ölçülen ortalama potasyum (K) değerleri, 2005 yaz ve kış mevsimlerinde 5,05 ve 7,28 mg L⁻¹ ve 2006 yaz ve kış mevsimlerinde 13,11 ve 14,99 mg L⁻¹ ölçülmüştür. Porsuk havzası yeraltı suyunda, 2005 yılında ölçülen potasyum değerleri, 2006 yılında ölçülen değerlerden genel olarak daha küçük bulunmuştur. 2005 yaz ve kış mevsimlerinde ölçülen en yüksek yeraltı suyu potasyum değerleri Eşenkara deresi benzinlik arası (10 ve 11 nolu kuyular) 12,2-18,4 mg L⁻¹, Alpu (16 nolu kuyu) 13,5-18,4 mg L⁻¹ ve Sazılar yeraltı suyunda (20 nolu kuyu) 11,6-13,6 mg L⁻¹ olarak ölçülmüştür (Şekil 17).

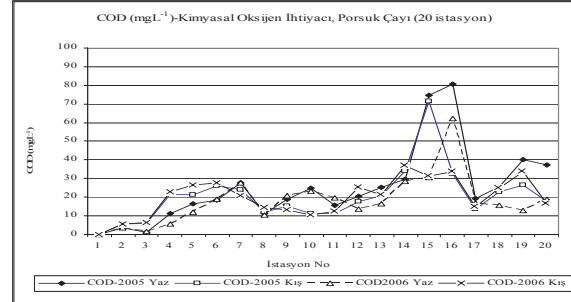
4. ORGANİK PARAMETRELER

4.1 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) su ve atıksu örneklerinde kirliliğin derecesinin belirlenmesinde kullanılan bir kirlilik parametresidir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği KSKS'e göre, KOİ sınır değerleri, I., II., III. ve IV. sınıflarında 25, 50, 70 ve <70 mgL⁻¹ olarak verilmiştir. EPA, TS266, EU ve WHO standartları içme suları için olduğundan herhangi bir sınır değeri söz konusu değildir. Porsuk Çayında, KOİ kirlilik parametresi her bir istasyon için Şekil 18'de verilmiştir. 2005 ve 2006 yıllarında ölçülen ortalama KOİ, 22,88 ve 18,94 mgL⁻¹'dir.

Porsuk çayında 2005 yaz ve kış mevsimlerinde akarsu boyunca ölçülen ortalama KOİ değerleri, 25,1 ve 20,6 mg L⁻¹'dir. 2006 yaz ve kış mevsimlerinde ise ortalama değerler 17,9 ve 19,9 mg L⁻¹ bulunmuştur. KOİ yükü bakımından, Kütahya Azot Fabrikası öncesi ile Porsuk barajı girişi arasında (4 ve 7 nolu ist.) II. sınıf su kalitesindedir. Musaözü deresi Eskişehir arası II.

sınıf ve Eskişehir çıkışı ile şeker fabrikası sonrası II. sınıf ve Eskişehir şeker fabrikası sonrası ile Beylikova arasında IV. sınıf su kalitesindedir (Şekil 18).



Şekil 18. Porsuk çayında KOİ değişimi

Porsuk çayının başlangıcı olan Porsuk kaynakları istasyonunda henüz herhangi bir deşarj sözkonusu olmadığından KOİ derişimi sıfırdır. Ancak, Ağaçköy istasyonundan itibaren kirlilik artmakta ve KOİ değerleri büyüyerek 5-7 nolu istasyonlarda sırası ile 22,7; 26,6 ve 27,5 mg L⁻¹ değerlerine yükselmektedir. Porsuk barajı çıkışında 10 mgL⁻¹ seviyelerine düşen KOİ değerleri, Musaözü deresinden sonra tekrar artarak, 2005 yaz döneminde Şekerçiftliği ve Alpu civarlarında (15 ve 16 nolu ist.) 74,5 ve 80,8 mg L⁻¹ seviyelerine yükselmektedir. KOİ'un Eskişehir çıkışından sonra artması, evsel ve endüstriyel kirliliğin Porsuk çayına bir şekilde karıştığını göstermektedir. Yeraltı suyunda KOİ analizi yapılmamıştır.

5. İNORGANİK KİRLENME PARAMETRELERİ

İnorganik kirlenme parametrelerinin kirlilik düzeylerinin belirlenmesi için yüzeysel ve yeraltı suyunda, kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), bakır (Cu), krom (Cr), nikel (Ni), çinko (Zn), mangan (Mn) ve bor (B) analizleri yapılmıştır. Su numuneleri analiz sonuçları ile KSKS sınır değerlerinin karşılaştırılması için kirlenme parametrelerinin sınır değerleri Tablo 2'de verilmektedir (SKKY, 2009).

5.1 Porsuk Çayı Yüzeysel Su Numunelerinde, 2005, 2006 Yıllarında Mevsimsel İnorganik Kirlenme Parametrelerinin KSKS'e Göre Kirlilik Düzeyleri

Cd (Kadmiyum): Porsuk çayı boyunca 2005 yaz ve kış mevsimlerinde, istasyonlardan alınan örneklerde, Cd>10 µg L⁻¹ ölçülmüş olup, bunun sınır değerleri aştığı gözlenmiştir. Kadmiyum derişimi yönünden bu dönemde Porsuk çayı, IV. sınıf su kalitesindedir. Benzer şekilde, 2006 yaz ve kış mevsimlerinde de maksimum sınır değerler aşılmıştır.

Tablo 2. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY), Kıta İçi Su Kaynakları Sınıflandırması (KSKS)'na göre bazı inorganik kirletici parametrelerin sınır değerleri (SKKY, 2009).

Su sınıfı	İnorganik kirletici ($\mu\text{g L}^{-1}$)							
	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn	Mn	B
Sınıf 4 (çok tehlikeli ve zararlı)	>10	>50	>200	>50	>200	>2000	>3000	>1000
Sınıf 3 (tehlikeli ve zararlı)	10	50	200	50	200	2000	3000	1000
Sınıf 2 (az tehlikeli ve zararlı)	5	20	50	20	50	500	500	1000
Sınıf 1 (tehlikesiz ve zararsız)	3	10	20	Ölçülmeyecek kadar az	20	200	100	1000

Bu mevsimlerde ise Porsuk çayı, Cd bakımından IV. sınıf su kalitesi gözlemlenmiştir (Şekil 19-22).

Pb (Kurşun): Porsuk çayı 2005 yaz örneklerinde, Porsuk barajı çıkışına kadar Pb derişimi IV. sınıf su kalitesindedir ($60-130 \mu\text{g L}^{-1}$), baraj çıkışı ise II. ve III. sınıf ($30 \mu\text{g L}^{-1}$)dır. Eskişehir-Sazılar arasında $10 \mu\text{g L}^{-1}$ değeri ölçülmüştür. 2006 yaz ve mevsiminde, Pb, 2 nolu istasyonda $20 \mu\text{g L}^{-1}$ (II. Sınıf su kalitesi) değerinde ölçülmüş olup, geriye kalan bütün istasyonlarda IV. sınıf su kalitesindedir. 2006 kış mevsiminde, Pb'un genelde II. Sınıf su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 19-22).

Cu (Bakır): 2005 yaz ve kış mevsimlerinde bakır derişiminin $10 \mu\text{g L}^{-1}$ olduğu tespit edilmiş olup, I. sınıf su kalitesi gözlemlenmiştir. Ancak, 2006 yaz ve kış mevsiminde bütün istasyonlarda IV. sınıf su kalitesi gözlemlenmiştir (Şekil 19-22).

Cr (Krom): 2005 yaz ve kış ve 2006 kış mevsimlerinde krom derişimi $10 \mu\text{g L}^{-1}$ tespit edildiği için, I. ve II. sınıf su kalitesindedir. 2006 yaz mevsiminde ise Porsuk baraj sonrasındaki bütün istasyonlarda IV. sınıf su kalitesinde olduğu görülmüştür (Şekil 19-22).

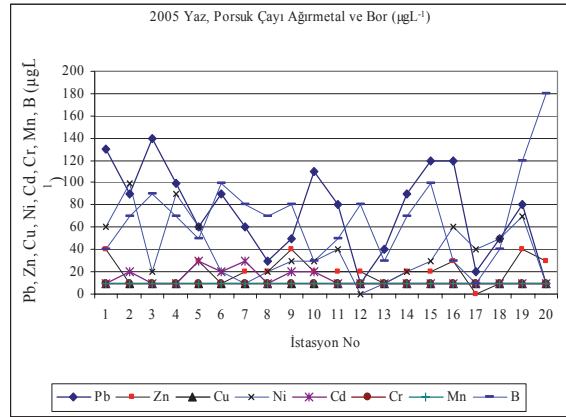
Ni (Nikel): 2005 yaz ve kış mevsiminde nikel yönünden Kütahya-Porsuk barajı arası I. ve II. Sınıf su kalitesi, baraj sonrasında ise III. sınıf su kalitesi ölçülmüştür. 2006 yaz ve kış mevsimlerinde genel olarak III. ve IV. sınıf su kalitesi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 19-22).

Zn (Çinko): Porsuk çayında, 2005 yaz ve kış mevsimlerinde çinko kirliliği bakımından, I. sınıf su kalitesi bulunmuştur. Ancak, 2006 yaz ve kış mevsimlerinde, genel olarak I.-III. sınıf su kalitesi olduğu görülmüştür (Şekil 19-22).

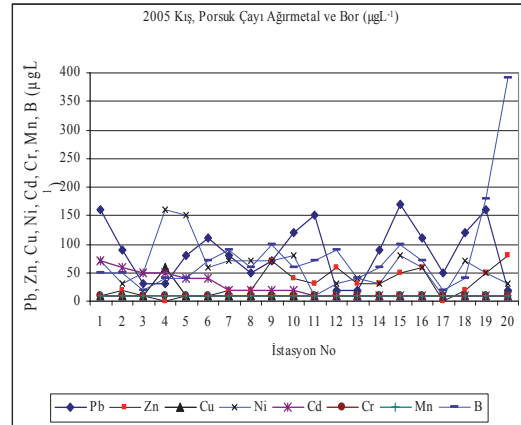
Mn (Mangan): Mangan bakımından Porsuk çayı su kalitesinin, 2005 yılında I. sınıf ve 2006

yılında I. ve II. sınıf olduğu bulunmuştur (Şekil 19-22).

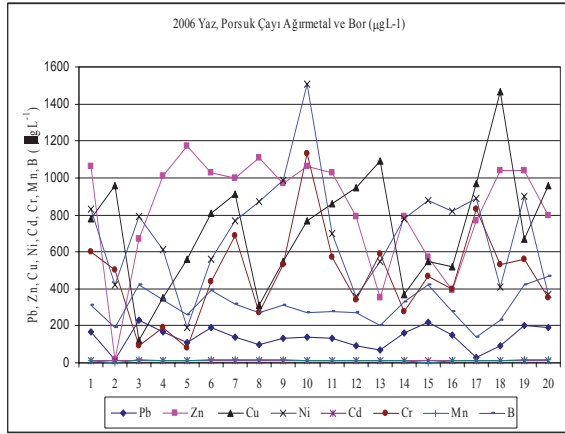
B (Bor): Bor bakımından Porsuk Suyu I. sınıf su kalitesindedir (Şekil 19-22).



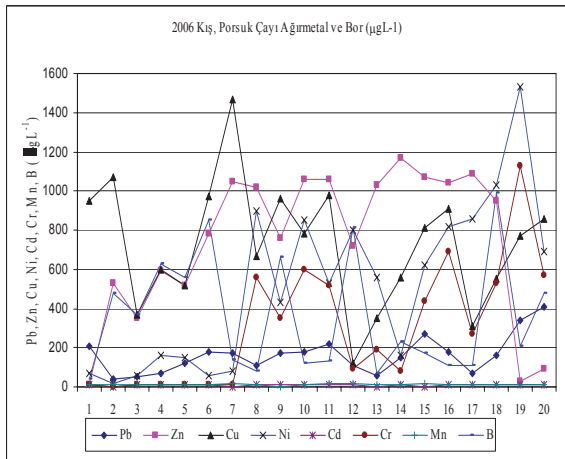
Şekil 19. Porsuk çayında, 2005 yaz mevsiminde ağır metallerin ve borun değışımi



Şekil 20. Porsuk çayında, 2005 kış mevsiminde ağır metallerin ve borun değışımi



Şekil 21. Porsuk çayında, 2006 yaz mevsiminde ağır metallerin ve borun değişimi



Şekil 22. Porsuk çayında, 2006 kış mevsiminde ağır metallerin ve borun değişimi

5.2 Porsuk Havzası Yeraltı Suyu Numunelerinde, 2005, 2006 Yıllarında Mevsimsel İnorganik Kirletici Parametrelerin KSKS'e Göre Kirlilik Düzeyleri

Cd (Kadmiyum): Porsuk havzası yeraltı suyu 2005 yaz döneminde 1, 3 ve 4 nolu kuyularda III. sınıf; 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 19 ve 20 nolu kuyularda IV. sınıf su kalitesindedir. Baraj akıntı yönünde 13, 17 ve 18 nolu kuyularda ise III. sınıf bulunmuştur. Benzer şekilde, 2006 kış mevsiminde bütün kuyularda III. ve IV. sınıf su kalitesi değerleri ölçülmüştür. 2006 yaz ve kış mevsimlerinde ise Kadmiyum derişimi bütün kuyularda III. ve IV. sınıf olarak bulunmuştur (Şekil 23-26).

Pb (Kurşun): 2005 yaz mevsiminde, 8 nolu kuyu hariç, 1-11 nolu kuyularda Pb derişimi III.

ve IV. sınıf su kalitede bulunmuştur. 2005 kış mevsiminde kurşun kirliliği II.-IV. sınıf aralığında değişmektedir. 2006 yaz ve kış mevsimlerinde, bütün kuyularda Pb derişimi IV. sınıf su kalitesindedir (Şekil 23-26).

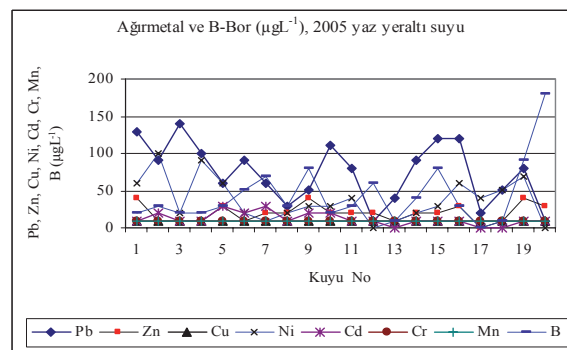
Cu (Bakır): 2005 yaz ve kış mevsimlerinde KSKS'e göre, Bakır derişimi I. sınıf su kalitesindedir. 2006 yaz ve kış mevsimlerinde ise, 3 ve 12 nolu kuyular, I. ve III. sınıf su kalitesinde olup, geriye kalan bütün kuyularda IV. sınıf su kalitesinde gözlemlenmiştir (Şekil 23-26).

Cr (Krom): 2005 yaz ve kış mevsimleri ile 2006 kış mevsiminde, su kalitesi, I. ve II. sınıf aralığındadır. 2006 yaz mevsiminde ise, 17 nolu kuyu III. sınıf ve geriye kalan bütün kuyularda IV. sınıf su kalitesi ölçülmüştür (Şekil 23-26).

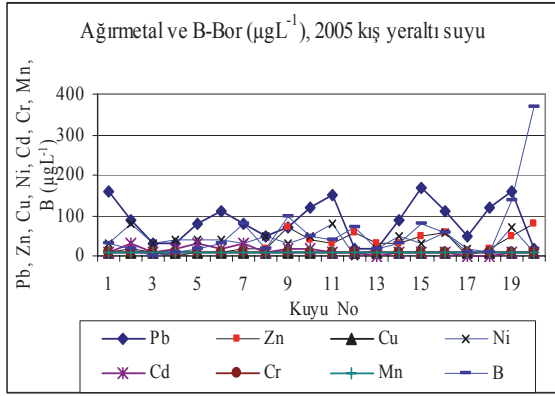
Ni (Nikel): 2005 yaz ve kış mevsimlerinde Porsuk çayı nikel bakımından I.-III. sınıf su kalitesindedir. 2006 yaz ve kış mevsimlerinde bütün kuyular, IV. sınıf su kalitesindedir (Şekil 23-26).

Zn (Çinko): 2005 yaz ve kış mevsimlerinde Zn derişimi I. sınıf su kalitesini göstermektedir. 2006 yaz ve kış mevsimlerinde ise barajın memba bölgesi, I.-II. sınıf ve akıntı bölgesi IV. sınıf su kalitesindedir (Şekil 23-26).

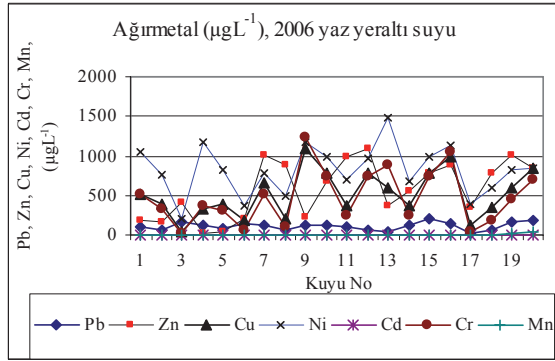
Mn (Mangan) ve B (Bor): Mangan ve bor kirliliği bakımından Porsuk çayı 2005 ve 2006 yılında I. sınıf su kalitesindedir (Şekil 23-26).



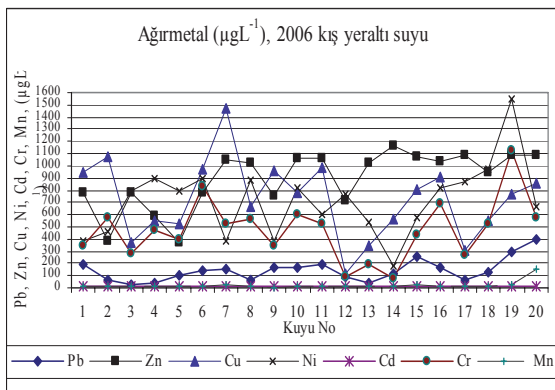
Şekil 23. Porsuk havzası yeraltı suyunda 2005 yaz mevsiminde ağır metallerin ve borun değişimi



Şekil 24. Porsuk havzası yeraltı suyunda 2005 kış mevsiminde ağır metallerin ve borun değişimi



Şekil 25. Porsuk havzası yeraltı suyunda 2006 yaz mevsiminde ağır metallerin değişimi



Şekil 26. Porsuk havzası yeraltı suyunda 2006 kış mevsiminde ağır metallerin değişimi

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Porsuk çayı ve havzasına ait yüzeysel ve yeraltı su kirliliği araştırılmıştır. Bu

amaçla 2005 ve 2006 yılları arasında (2 yıl süresince) Porsuk çayından ve yeraltı suyundan, 20 istasyon ve kuyuya ait su örnekleri alınarak incelenmiştir. Porsuk çayı doğduğu yerden, membaşı sayılan Beşkarış (Kokar) deresi ve Porsuk kaynaklarına kadar olan 117 km'lik kısmı genel olarak su kirliliği açısından temizdir. Ancak, Kütahya Porsuk baraj gölü arasının (117-184 km arası, 67 km), pek çok parametre bakımından kirli olduğu tespit edilmiştir. Kirlilik parametreleri bu kısımda 7 istasyon noktası kullanılarak belirlenmiştir. Porsuk baraj gölü (dahil)-Sazılar arası (184-460 km arası, 276 km) boyunca 6 adedi Eskişehir'de olmak üzere toplam 13 istasyondan numuneler alınmıştır. Bu kesimde hem yüzeysel hem de yeraltı suyunun KSKS sınır değerlerini aştığı tespit edilmiştir. Özellikle, nitrit ve ağır metal bakımından yüzeysel ve yeraltı sularının kirlilik parametrelerinin KSKS sınır değerlerini aştığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde, yeraltı suyunun, yukarıda incelendiği gibi, pek çok parametre bakımından kirli su grubunda yer aldığı bulunmuştur. Bu sebeple, Porsuk çayı suyu ve yeraltı suyu kesinlikle içilmemelidir. Porsuk çayı ve yeraltı suyu ile sulanan toprakların ve yetiştirilen bitkilerin kirlilik seviyeleri mutlaka araştırılarak, sağlık bakımından ayrıca irdelenmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK (Proje No: ÇAYDAG 104Y180) ve Anadolu Üniversitesi Proje No: AÜBAP 030224) tarafından desteklenmiştir (Proje Yürütücüsü: Koyuncu, H).

KAYNAKLAR

Arslan, Ö. (2008). Su Kalitesi Verilerinin CBS ile Çok Değişkenli İstatistik Analizi (Porsuk Çayı Örneği), *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, Sayı 99, 2008/2 (www.hkmo.org.tr).

Atıcı, T. (1997). Sakarya Nehri Kirliliği ve Algler, *Ekoloji Çevre Dergisi*, Sayı: 24, 28-32.

Avrupa Birliği. (1998). *Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption.*

Bakış, R. (2008). Porsuk Havzası Su Potansiyelinin Hidroelektrik Enerji Yönünden Araştırılması, Araştırma Projesi No: AUBAP 050247, 255 Eskişehir.

- Çevre Atlası. (2004). *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Türkiye Çevre Atlası*, 425.
- DSİ, Devlet Su İşleri, III. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, (2009).
- DSİ, *Porsuk Nehri Su Yönetim Planı, Nihai Raporu*, Cilt 4, Su-Yapı Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., Cilt 1/4-Ana Rapor, Aralık 2001, Özet Raporu, Ocak 2002, (2002).
- DSİ, Protection of Intend Water Quality Porsuk River Pilot Project TUR/77/019, Project Report, Ministry of Energy and Natural Resources, General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ), with Assistance World Health Organization/U.N. Development Program, (1980).
- Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Guidelines for Drinking Water Quality, (1993).
- Efelerli, S.S. ve Büyükerşen, Y. (2008). Porsuk Havzası Su Yönetimi ve Eskişehir Örneği, *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, 451-459.
- EPA (US Environmental Protection Agency), Safe Drinking Water is in Our Hands-Existing Standards and Future Priorities, (1999).
- Giritlioğlu, T. (1981). *Eskişehir-Porsuk İçme suyu Projesi Su Kalitesi İncelemeleri*, İller Bankası Yayını No:30, Ankara.
- Gümrükçüoğlu, M. ve Baştürk, O. (2007). Sürdürülebilir Su Yönetiminde Nehir Kirliliği Üzerine Bir Çalışma, *TMMOB 2. Su Politikaları Kongresi*, 521-529.
- İSKİ, İçme Suyunda Ölçümü Yapılan Parametreler, (<http://www.iski.gov.tr/Web>), (2010).
- Kutlu, M., Aydoğan, G., Susuz, F. ve Özata, A. (2004). The *Salmonella* mutagenicity of water and sediments from the Porsuk River in Turkey, *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 17(2), 111-116.
- Nalbantçılar, M.T., Arık, F. ve Haşımoğlu, A. (2006). Enne Barajı'ndaki (Kütahya) Kirlilik Düzeyi ve Nedenleri, 59. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri*, Ankara.
- Oruç, N. (1985). Eskişehir İçme Suyu Kaynağı Olarak Porsuk Çayı'nın Endüstriyel ve Evsel Atıklarla Kirlenmesi, 9. *Dünya Şehircilik Günü*, Anadolu Üniv. 6-8 Ekim, Eskişehir.
- Oruç, N. (1992). Kütahya Tügsaş Azot Fabrikası Deşarj Kanalındaki Azot Kanalındaki Azot Bileşiklerinin Derişimi ve Bunun Porsuk Çayı Açısından Önemi, The ninth Turkish-German-Polish. *Environmental Engineering Symposium. Boğaziçi Univ. İstanbul, Oct. 5-7*.
- Oruç, N. (1998). Kütahya Tügsaş Azot Fabrikası Drenaj Kanalındaki Azot Bileşiklerinin Derişimi (1994-1995-1996 Yılları) ve bunun Porsuk Çayı Açısından Önemi, *Kayseri I. Atıksu Sempozyumu*.
- Oruç, N., Porsuk ve Azot, I. (1996). *Eskişehir Kent Sorunları Kurultayı, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi* (Anadolu Üniv. ve Osmangazi Üniv. katkılarıyla), 29-31 Mayıs, Eskişehir.
- Oruç, N. (1997). Porsuk ve Azot, Sanayide Yeni Ufuk, *Eskişehir Sanayi Odası Dergisi*, Sayı:3
- Özyurt, M.S., Dayıoğlu, H., Bingöl, N. ve Yamık, A. (2004). Porsuk Baraj Havzası'nın Kütahya Kökenli Kirlilik Problemi, *DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı 6, 43-52.
- SKKY, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Çevre Ve Orman Bakanlığı, Resmi Gazete Tarihi:31/12/2004, Resmi Gazete Sayısı:25687, (2009).
- Tanyolaç, J. (2004). Limnoloji (Tatlı su Bilimi), Hatiboğlu Yayıncılık, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü, TSE 266-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, (2005).
- Yüce, G., Pinarbasi, A., Ozcelik, S., Ugurluoğlu, D., Soil and Water Pollution Derived from Anthropogenic Activities in The Porsuk River Basin, Turkey, *Environ Geol.*, 49: 359-375, (2006).
- Yüce, G. (2007). Spatial distribution of groundwater pollution in the Porsuk River Basin (PRB), Turkey, *International Journal of Environment and Pollution*, 30 (3-4), 529-547.
- Yücel, E., Doğan, F. ve Öztürk, M. (1995). Porsuk Çayında Ağır Metal Kirlilik Düzeyleri ve Halk Sağlığı İlişkisi, *Ekim-Kasım-Aralık 1995* Sayı: 17, 29-32.

