



Evaluations of water quality and the determination of trace elements on biotic and abiotic components of Felent Stream (Kütahya, Sakarya River Basin/Turkey)

Cem TOKATLI¹; Esengül KÖSE¹; Arzu ÇİÇEK²; Naime ARSLAN^{*1}, Özgür EMİROĞLU³

¹Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 43100, Kütahya, Turkey

²Anadolu Üniversitesi, Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi, 26555, Eskişehir, Turkey

³Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 26020, Eskişehir, Turkey

Abstract

Felent Stream which is one of the most important branches of the Porsuk River, is located within the borders of Kütahya. It is especially exposed to agricultural, domestic, industrial and thermal pollution. At the present study, samples were collected from 3 stations in 2009 and 2010 and some limnological parameters of water such as pH, temperature, dissolved oxygen, % oxygen saturation, conductivity, salinity, nitrite, nitrate, chloride, phosphate, sulfate, ammonium and chemical oxygen demand were determined. In addition, levels of some elements (Fe, Zn, As, B, Cd, Cr, Cu, Pb) were determined in water, sediment, and gastropoda species (*Lymnaea stagnalis* Linnaeus, 1758, full body). Data obtained were evaluated according to the criteria of SKKY (Water Pollution Control Regulation) and TKG (Turkish Food Codex). Our results show that concentrations of all elements in *Lymnaea stagnalis* were higher than water samples and the concentrations of Zn and B were higher than sediment samples. In addition, the levels of As, Pb, Zn and Cd in *Lymnaea stagnalis* samples were detected higher than the limit specified in the Turkish Food Codex. Cd, As, Zn, Fe and B values detected from water, sediment and gastropoda samples were increased at all stations during our study period of one-year. Furthermore, our results determined that, in terms of inorganic pollution parameters the water quality of the first station was II. class, second station was III. class, third station was IV. class, according to Continental Water Pollution Control Regulations for Domestic Water Supplies Quality Criteria.

Key words: Felent Stream, Trace Element, *Lymnaea stagnalis*, Water Quality, Factor Analysis

----- * -----

Felent Çayı (Kütahya, Sakarya Nehir Havzası) biyotik ve abiyotik öğelerinde iz element seviyelerinin tespiti ve su kalitesinin değerlendirilmesi

Özet

Kütahya il sınırları içinde bulunan ve Porsuk Nehri'nin önemli kollarından biri olan Felent Çayı, özellikle tarımsal, evsel, endüstriyel ve termal kirliliğe maruz kalmaktadır. Çalışmamızda, 2009 ve 2010 yıllarında 3 istasyondan örnekleme yapılmış ve sudaki bazı limnolojik parametreler (pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen, % oksijen doygunluğu, iletkenlik, tuzluluk, nitrit, nitrat, klor, fosfat, sülfat, amonyum, KOİ) ile su, sediment ve gastropoda örneklerinde (*Lymnaea stagnalis* Linnaeus, 1758, tüm vücut) iz elementlerden Fe, Zn, As, B, Cd, Cr, Cu, Pb seviyeleri tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve Türk Gıda Kodeksi kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Yapılan araştırma sonucunda gastropoda örneklerinde; tüm elementlerin suya göre daha yüksek olduğu, Zn ve B değerlerinin sedimente göre daha yüksek olduğu, Cd, Pb, As ve Zn değerlerinin ise Türk Gıda Kodeksi'nde yumuşakçalar için belirtilen limit değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Suda, sedimentte ve gastropoda örneklerinde tespit edilen Cd, As, Zn, Fe ve B değerlerinin çalışılan bir yıllık süre boyunca tüm istasyonlarda artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kriterlerine göre inorganik kirlilik parametreleri açısından; 1. istasyon II. sınıf, 2. istasyon III. sınıf, 3. istasyon ise IV. sınıf su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Felent Çayı, İz Element, *Lymnaea stagnalis*, Su Kalitesi, Faktör Analizi

* Corresponding author / Haberleşmeden sorumlu yazar: Tel.: +902222393750/2851; Fax.: +902222393578; E-mail: narслан@ogu.edu.tr

1. Giriş

Çevre kirliliği gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde son yıllarda büyük bir problem haline gelmiştir. Kirleticilerin son durak olarak özellikle akuatik ortamlara bırakılması suların kalitesini bozarak suda yaşayan canlıların ve bu canlılarla beslenen insanların yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kirleticilerden özellikle endüstriyel atıklar ve bazı pestisitler içerisinde bulunan ağır metaller, deşarj edildikleri ortamda uzun süre kalabilmeleri, sucul canlılarda toksik etkiler meydana getirmeleri ve besin zincirinde akümüle olarak insan sağlığını tehdit etmeleri nedeniyle büyük önem taşırlar. Sucul ortamlarda normal şartlarda belli derişimlerde denge halinde bulunan ağır metaller, kentsel ve endüstriyel bölgelerde daha yoğun olmak üzere ya sedimentte birikirler ya da biota tarafından absorbe edilirler. Sedimentlerin çoğu bu kirleticileri uzun süre bünyesinde muhafaza ederler (Wildi et al., 2004; Kılıç vd., 2009; Yücel vd., 2010).

Sucul ekosistemlerde ağır metallerle kirlenmiş sedimentler ekosistem sağlığını tehdit eden büyük bir stres kaynağıdır. Sedimentin içinde ve üzerinde yer alan su canlıları için büyük bir risk faktörü oluşturmaktadır (Del Valls et al., 1998; Türkoğlu, 2008). Bu nedenle kirlenmiş ekosistemlerde yaşayan ve dokularında ağır metalleri biriktiren sucul canlılar, buldukları ortamın kirlilik derecesini ve kontaminantların etkilerini belirlemek için biyoindikatör olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden son yıllarda kirlilik araştırmalarında biyoindikatör türlerle ilgili çalışmalar artmıştır (Özmen, 2004; Hongyi et al., 2009; Xiaobo et al., 2009; Mendil vd., 2010).

Sucul habitatlarda kirlilik çalışmalarında bentik canlıların büyük bir kısmı biyoindikatör olarak kullanılmaktadır. Yumuşakçalar, geniş bir coğrafi alana sahip olmaları, bentik çevrede yoğun bulunmaları, sedenter olmaları ve ağır metalleri absorbe etmeleri nedeniyle uygun biyoindikatör canlılar olarak kullanılmaktadırlar (Sawidis et al., 1995; Blackmore and Wang, 2003; Xiaobo et al., 2009). Mollusca filumunun tür bakımından en zengin sınıfı olan Gastropoda türleri metal kirliliği izlenmesinde yaygın olarak kullanılmakla beraber besin zincirinin önemli bir halkasını oluşturmaktadır (Başçınar, 2009).

Çalışmamızda, bölge sakinleri ve Kütahya halkı için büyük önem arz eden, Porsuk Çayı'nın (Sakarya Nehir Havzası) en önemli kollarından ve kirlilik kaynaklarından biri olan Felent Çayı'nın su kalitesinin izlenmesi ve belirlenen 3 istasyondan toplanan su, sediment ve Gastropoda sınıfının Lymnaeidae familyasına mensup *L. stagnalis* örneklerinde bazı toksik element seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Yaklaşık 35 km uzunluğunda olan Felent Çayı, Köprüören Havzası'nın kuzeybatısından doğarak, Enne Baraj Gölü'ne ulaşır, Kütahya'nın kuzeyinde Porsuk Çayı'na dökülür (ÇED, 2006). Çalışmamızda, Aralık 2009 ve Aralık 2010 tarihlerinde Felent Çayı üzerinde tespit ettiğimiz 3 istasyondan, su ve sediment örnekleri, ikinci istasyondan ayrıca gastropoda örnekleri toplanmıştır. Birinci istasyonumuz, Felent Çayı'nın kaynak bölgesine oldukça yakın Köprüören Köyü'nde; ikinci istasyonumuz, kaplıca tesislerinin yoğun olarak bulunduğu ve çayın yoğun bir termal kirliliğe maruz kaldığı Yoncalı İlçesi'nde; üçüncü istasyonumuz ise Kütahya Merkez çıkışında, Felent Çayı'nın Porsuk Çayı'na karışmadan hemen öncesinde yer alır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı
Figure1. Study area

2.2. Fizikokimyasal Analizler

Felent Çayı'nda pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen, % oksijen doygunluğu, iletkenlik, tuzluluk parametreleri Multi Ölçüm Cihazı (HQ40D) ile arazide belirlenmiştir. nitrit, nitrat, klor, fosfat, sülfat, amonyum ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ise Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Spektrofotometre (HACH LANGE DR 2800) ile ölçülmüştür.

2.3. Kimyasal Analizler

Suda, çözülmüş elementlerin belirlenmesi için su örnekleri öncelikle, 0,45 µm gözenek çaplı membran filtreden (selüloz nitrat) süzülmüştür. Süzüntüden alınan bir miktar su numunesi (1+1) nitrik asit ile hemen pH < 2'ye ayarlanmıştır. Tüp kapatılıp karıştırılarak, örnek analize hazır hale getirilmiş ve çözülmüş elementlerin içerikleri Varian marka ICP-OES 720 ES cihazı ile ölçülmüştür (EPA, 2001).

Araziden alınan sediment örnekleri 0,5 mm'lik elekten geçirildikten sonra etüve konarak 105 °C'de 2 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Etüvde tamamen nemi giderilen numunelerden 0,5 g alınarak mikrodalgada nitrik asit ve perklorik asit ile sindirme işlemine tabi tutulmuştur. Organik yıkımları biten örnekler soğutulup, santrifüjlendikten sonra filtre kağıdından süzülerek, hacimleri saf su ile 100 ml'ye tamamlanıp Varian marka ICP-OES 720 ES ile metal içerikleri saptanmıştır (EPA, 1998).

Gastropoda örnekleri bentik kepçesi ile toplanmıştır. Laboratuvara getirilerek tür teşhisi yapıldıktan sonra örnekler analiz işlemine kadar –20 °C'de derin dondurucuda saklanmıştır. Derin dondurucudan çıkarılan örnekler bütün olarak 105 °C'de kurutularak öğütülmüştür. Nemi tamamen kaybolan numunelerden 0,5 g alınarak nitrik asit ve perklorik asit (3:1) ilave edilerek ve mikrodalga ile digestion (sindirme) işlemine tabi tutulmuştur. Organik yıkımı biten örnekler filtreden süzülerek, hacimleri saf su ile 100 ml'ye tamamlanarak tüm metal analizleri Varian ICP-OES 720 ES ile yapılmıştır (ASTM, 1985; APHA, 1992). Su, sediment ve gastropoda örneklerinde ölçülen metal analizleri Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır.

3. Bulgular

2009 ve 2010 yıllarında Felent Çayı üzerinde belirlenen 3 istasyondan örnekleme yapılmış ve sudaki pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen, % oksijen doygunluğu, iletkenlik, tuzluluk, nitrit, nitrat, klor, fosfat, sülfat, amonyum, KOİ ile su, sediment ve *L. stagnalis*'lerde demir, çinko, arsenik, bor, kadmiyum, krom, bakır ve kurşun seviyeleri tespit edilmiştir.

Felent Çayı'nın suyunda tespit ettiğimiz fizikokimyasal parametreler ve Kıta içi su kaynak sınıflarına göre kalite kriterleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Felent Çayı'nda tespit edilen fizikokimyasal parametreler (1: SKKY, 2004)

Table 1. The physicochemical parameters detected in Felent Stream

Parametreler	2009 YILI			2010 YILI			Kıta İçi Su Kaynak Sınıfları ¹ (mg/lt)			
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	1.	2.	3.	4.
Ph	7,25	7,26	7,22	7,30	7,15	7,42	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	< 6,0-9,0 >
Sıcaklık (°C)	12,1	25,4	16,4	12,8	27,1	17,1	25	25	30	> 30
Çözülmüş Oksijen (mg/L)	13,35	3,38	3,01	12,58	2,55	2,25	8	6	3	< 3
% Oksijen Doymunluğu	109	46	40	105	35	30	90	70	40	< 40
Nitrit (mg/L)	0,014	0,05	0,039	0,016	0,058	0,042	0,002	0,01	0,05	> 0,05
Nitrat (mg/L)	2,23	2,52	3,45	2,08	3,08	3,32	5	10	20	> 20
Amonyum (mg/L)	0,029	0,035	0,038	0,025	0,045	0,048	0,2	1	2	> 2
Sülfat (mg/L)	15,2	82,2	75,3	20,2	75,6	69,5	200	200	400	> 400
KOİ (mg/L)	9,5	39,2	158	10,7	34,6	177	25	50	70	> 70
Cl (mg/L)	0,019	0,022	0,03	0,02	0,02	0,03				
Fosfat (mg/L)	0,15	0,44	0,25	0,16	0,48	0,23				
İletkenlik (µs/cm)	358	754	1299	472	729	1338				
Tuzluluk (‰)	0,30	0,39	0,7	0,30	0,38	0,79				

2009 Yılında Felent Çayı'ndan toplanan su, sediment ve *L. stagnalis* örneklerinde belirlenmiş olan element derişimleri Tablo 2'de, 2010 yılında Felent Çayı'ndan toplanan su, sediment ve *L. stagnalis* örneklerinde belirlenmiş olan element derişimleri ise Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Felent Çayında 2009 yılında tespit edilen element akümülyasyonları

Table 2. Element accumulations detected in Felent Stream in 2009

(TEL: Eşik etki değeri, LEL: En düşük etki değeri, MET: Minimal etki eşik değeri; 1: SKKY, 2004; 2: MacDonald ve ark., 2000; 3: TGK, 2002)

İSTASYONLAR															
Elementler (2009)	F1		F2			F3		Kıta İçi Su Kaynak Sınıfları ¹ (mg/lt)				Sediment Kalite Kriterleri ² (mg/kg)			Yumuşakçalar İçin Kabul Edilebilir Değerler ³ (mg/kg)
	Su mg/lt	Sdmt mg/kg	Su mg/lt	Sdmt mg/kg	<i>Lymnea stagnalis</i> mg/kg	Su mg/lt	Sdmt mg/kg	1. Sınıf	2. Sınıf	3. Sınıf	4. Sınıf	TEL	LEL	MET	
Kadmiyum (Cd)	0,005	1,02	0,007	0,98	0,88	0,011	2,21	0,003	0,005	0,01	>0,01	0,596	0,6	0,9	0,1
Kurşun (Pb)	0,013	21,24	0,026	23,80	3,42	0,03	40,21	0,01	0,02	0,05	>0,05	35	31	42	1
Arsenik (As)	0,017	14,34	0,034	12,43	8,48	0,049	17,52	0,02	0,05	0,1	>0,1	-	-	-	1
Çinko (Zn)	0,09	55,4	0,11	51,40	82,27	0,33	125,08	0,2	0,5	2	>2	123	120	150	50
Bakır (Cu)	0,012	46,41	0,049	55,13	19,93	0,09	52,23	0,02	0,05	0,2	>0,2	35,7	16	28	20
Krom (Cr)	0,009	88,78	0,022	58,33	47,77	0,024	137,62	0,02	0,05	0,2	>0,2	37,3	26	55	-
Demir (Fe)	0,22	7980	0,28	19663	9496	0,25	28251	0,3	1	5	>5	-	-	-	-
Bor (B)	0,051	70,45	0,43	62,13	65,08	0,11	121,55	1	1	1	>1	-	-	-	-

Tablo 3. Felent Çayında 2010 yılında tespit edilen element akümülyasyonları

Table 3. Element accumulations detected in Felent Stream in 2010

(TEL: Eşik etki değeri, LEL: En düşük etki değeri, MET: Minimal etki eşik değeri; 1: SKKY, 2004; 2: MacDonald ve ark., 2000; 3: TGK, 2002)

İSTASYONLAR															
Elementler (2010)	F1		F2			F3		Kıta İçi Su Kaynak Sınıfları ¹ (mg/lt)				Sediment Kalite Kriterleri ² (mg/kg)			Yumuşakçalar İçin Kabul Edilebilir Değerler ³ (mg/kg)
	Su mg/lt	Sdmt mg/kg	Su mg/lt	Sdmt mg/kg	<i>Lymnea stagnalis</i> mg/kg	Su mg/lt	Sdmt mg/kg	1. Sınıf	2. Sınıf	3. Sınıf	4. Sınıf	TEL	LEL	MET	
Kadmiyum (Cd)	0,009	1,66	0,01	1,78	1,02	0,012	2,42	0,003	0,005	0,01	>0,01	0,596	0,6	0,9	0,1
Kurşun (Pb)	0,011	20,05	0,022	19,13	3,06	0,029	38,81	0,01	0,02	0,05	>0,05	35	31	42	1
Arsenik (As)	0,037	18,09	0,042	17,66	9,93	0,058	19,45	0,02	0,05	0,1	>0,1	-	-	-	1
Çinko (Zn)	0,11	58,21	0,15	61,06	86,22	0,37	139,78	0,2	0,5	2	>2	123	120	150	50
Bakır (Cu)	0,01	45,09	0,045	45,32	15,08	0,08	50,23	0,02	0,05	0,2	>0,2	35,7	16	28	20
Krom (Cr)	0,009	87,44	0,018	54,9	45,89	0,022	133,61	0,02	0,05	0,2	>0,2	37,3	26	55	-
Demir (Fe)	0,27	8120	0,32	28700	12880	0,26	29153	0,3	1	5	>5	-	-	-	-
Bor (B)	0,071	91,87	0,75	87,81	95,15	0,12	144	1	1	1	>1	-	-	-	-

Felent Çayı suyunda tespit edilen fizikokimyasal ve inorganik parametrelere göre yapılan Faktör Analizi (FA), korele verileri kullanarak etkileşimli değişken faktörlerini tespit edebilmek için uygulanmıştır. Uygulamada, özdeğerleri birden büyük olan temel bileşenler yani faktörler değerlendirilmiştir. Rotasyona uğramış kümülatif varyans yüzdelere göre, üç faktör total varyansın % 96,54'ünü açıklamıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Kümülatif varyans yüzdeleri
Table 4. Percentages of cumulative variance

Faktörler	Rotasyondan önce			Rotasyondan sonra		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	11,228	56,140	56,140	7,266	36,331	36,331
2	6,744	33,720	89,861	6,379	31,897	68,228
3	1,337	6,685	96,546	5,664	28,318	96,546

Birinci faktör total varyansın % 36,33'ünü açıklar ve krom, kurşun, bakır, sülfat, iletkenlik, Cl, KOİ, çinko, nitrat ve tuzluluk parametreleri ile pozitif, çözünmüş oksijen parametresi ile negatif ilişkilidir. İkinci faktör total varyansın % 31,89'unu açıklar ve sülfat, bor, sıcaklık, fosfat, demir ve nitrit parametreleri ile pozitif, çözünmüş oksijen ve pH parametreleri ile negatif ilişkilidir. Üçüncü faktör total varyansın % 28,31'ini açıklar ve iletkenlik, Cl, KOİ, kadmiyum, arsenik, çinko, amonyum, nitrat, tuzluluk parametreleri ile pozitif ilişkilidir (Tablo 5).

Tablo 5. Rotasyona uğramış bileşen matrisi
Table5. The matrix component after rotation

Değişkenler	Faktörler		
	1	2	3
krom	,960		
kurşun	,937		
bakır	,855		
sülfat	,818	,565	
ÇO	-,770	-,519	
iletkenlik	,748		,621
Cl	,698		,550
KOİ	,662		,659
bor		,993	
sıcaklık		,942	
fosfat		,941	
demir		,908	
nitrit		,854	
pH		-,646	
kadmiyum			,956
arsenik			,898
çinko	,547		,755
amonyum			,728
nitrat	,634		,713
tuzluluk	,654		,678

4. Sonuçlar ve tartışma

2009 ve 2010 yıllarında, Felent Çayı suyunda tespit edilen bazı fizikokimyasal parametreler ve su, sediment ve *L. stagnalis*'lerde tespit edilen bazı inorganik kirlilik parametreleri ile bölgenin su kalitesi, bazı toksik elemetlerin abiyotik ve biyotik öğelerdeki akümülayon seviyeleri ve yıllık değişimleri tespit edilmiştir.

Felent Çayı'nda tespit ettiğimiz pH ve sıcaklık değerleri F2 istasyonu hariç diğer istasyonlarda çalışma periyodumuz boyunca normal değerler sergilemiştir ve Kıta İçi Su Kaynakları Kriterlerine göre bu parametreler açısından 1. sınıf su kalitesine sahiptir. F2 istasyonu ise sıcaklık açısından 3. sınıf su kalitesine sahiptir.

Çözünmüş oksijen ve KOİ değerleri açısından kaynağa yakın F1 istasyonu Kıta İçi Su Kaynakları Kriterlerine göre 1. sınıf su kalitesine sahiptir. F2 ve F3 istasyonları çözünmüş oksijen değerleri açısından 2009 yılında 3. sınıf, 2010 yılında 4. sınıf su kalitesine sahiptir. KOİ değerleri açısından ise F2 istasyonu 2. sınıf, F3 istasyonu ise 4. sınıf su kalitesine sahiptir.

Tespit edilen nitrit değerleri açısından Kıta İçi Su Kaynakları Kriterlerine göre F1 istasyonu 1. sınıf, F2 istasyonu 4. sınıf, F3 istasyonu ise 3. sınıf su kalitesine sahiptir. Nitrat, amonyum ve sülfat değerlerinin Felent Çayı için

risk teşkil etmediği ve Kıta İçi Su Kaynakları Kriterlerine göre tüm istasyonların bu parametreler açısından 1. sınıf su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Literatür bilgilerine göre, yüzey sularında toplam fosfat 0,02 mg/l ye kadar ise 1. sınıf, 0,02-0,16 mg/l ise 2. sınıf, 0,16-0,65 mg/l ise 3. sınıf, >0,65 mg/l ise 4. sınıf'a girmektedir (Uslu ve Türkman, 1987). Bu sınıflandırmaya göre tespit edilen fosfat değerleri açısından F1 istasyonu 2. sınıf, F2 ve F3 istasyonları ise 3. sınıf su kalitesine girmektedir.

Yapılan araştırma sonucunda Felent Çayı'ndan toplanan sediment ve *L. stagnalis* örneklerinde, tüm element konsantrasyonlarının suya göre daha yüksek olduğu, gastopodlarda tespit edilen Zn ve B değerlerinin ise sedimente göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Fe ve B değerleri tüm istasyonlarda limit değerlerin altındadır ve Kıta İçi Su Kaynakları Kriterlerine göre tüm istasyonlar bu parametreler açısından 1. sınıf su kalitesine sahiptir.

Kıta İçi Su Kaynakları Kriterlerine göre, F1 istasyonu Zn, Cr ve Cu değerleri açısından 1. sınıf, F2 istasyonu Zn değerleri açısından 1. sınıf, Cu değerleri açısından 2. sınıf, Cr değerleri açısından 2009 yılında 2. sınıf, 2010 yılında 1. sınıf, F3 istasyonu ise Zn ve Cr değerleri açısından 2. sınıf, Cu değerleri açısından 3. sınıf su kalitesine sahiptir.

Pb değerleri açısından Kıta İçi Su Kaynakları Kriterlerine göre F1 istasyonu 1. sınıf, F2 ve F3 istasyonları ise 3. sınıf su kalitesine sahiptir.

2009 yılında Kıta İçi Su Kaynakları Kriterlerine göre As açısından 1. sınıf su kalitesine sahip olan F1 istasyonu, 2010 yılında 2. sınıf su kalitesine düşmüş, yine bu parametre açısından 2009 yılında 2. sınıf su kalitesine sahip F3 istasyonu, 2010 yılında 3. sınıf su kalitesine düşmüştür. F2 istasyonu ise As açısından 2. sınıf su kalitesine sahiptir.

Kıta İçi Su Kaynakları Kriterlerine göre F1 ve F2 istasyonları Cd açısından 3. sınıf, F3 istasyonu ise 4. sınıf su kalitesine sahiptir. Ayrıca bir yıllık süre boyunca tüm istasyonlarda Cd seviyelerinde önemli artışlar gözlenmiştir.

Çalışmamızda tespit edilen pH ve sıcaklık değerleri F2 istasyonu hariç normal değerler sergilemiştir. F2 istasyonu, Kütahya iline bağlı Yoncalı İlçesi'nde yer almaktadır ve bu bölgede bulunan kaplıca ve hamamlar Felent Çayı'nı yoğun bir termal kirliliğe maruz bırakmaktadır. Aralık ayında örnekleme yapmamıza rağmen bu bölgede su sıcaklığı 27 derece civarındadır. Bu durum mevcut flora ve faunayı olumsuz yönde etkilemekte ve suyun kalitesini düşürmektedir.

Bilindiği gibi sudaki çözülmüş oksijen miktarı sıcaklıkla ters orantılıdır ve oksijenin suda eriyebilirliği sıcaklık arttıkça azalır (Tanyolaç, 2009). F2 istasyonunda, termal hariç önemli bir deşarj olmamasına rağmen çözülmüş oksijen miktarı oldukça düşüktür ve bu nedenle bölgedeki düşük oksijen değerlerinin en önemli nedeni sıcaklığın oldukça yüksek oluşudur. F3 istasyonu, Kütahya Pis Su Arıtma Tesisleri'nden gelen deşarj ve Kütahya Şeker Fabrikası atıkları ile yoğun bir organik kirliliğe maruz kalmaktadır. Oksijenin suda eriyebilirliğini etkileyen diğer etmenler tuz yoğunluğu, çözülmüş maddeler ve biyolojik olaylardır (Tanyolaç, 2009). Bu istasyonun tuzluluk ve iletkenlik değerleri oldukça yüksektir. Yoğun biçimde deşarj edilen organik atıkların oksidasyonu çözülmüş oksijen değerlerini oldukça düşürmekte, bu durum KOİ değerlerinede olumsuz olarak yansımaktadır. Ayrıca çalışma periyodumuz süresince çözülmüş oksijen değerlerinde önemli bir düşüş, KOİ değerlerinde ise önemli bir yükseliş tespit edilmiştir. Bu durum Felent Çayı'nın günden güne kirlilik durumunun arttığı ve su kalitesinin azaldığının bir göstergesidir.

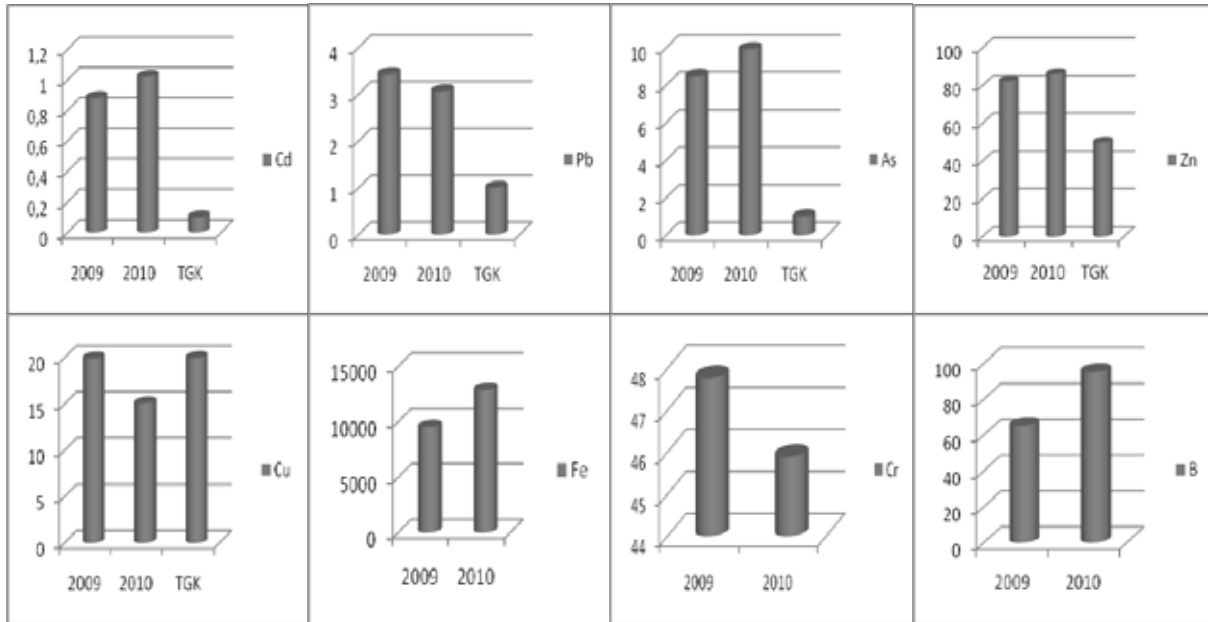
Elektriksel iletkenlik ve tuzluluk değerlerinde akarsu boyunca kademeli bir artış söz konusudur ve geçen bir yıllık sürede Felent Çayı'ndaki çözülmüş iyonize ve toplam katı madde miktarında hızlı bir artış olduğu belirlenmiştir. Bu durum akarsu kalitesini ve akuatik yaşamı olumsuz yönde etkilemektedir.

Nitritin, amonyumdan nitrate ulaşan biyolojik oksidasyonda ara ürün olduğu, çoğunlukla doğal sulardaki yoğunluğunun düşük olduğu, fakat organik kirliliğin bulunduğu düşük oksijenli sularda yüksek yoğunluklara ulaştığı ve büyük miktarlarda bulunması halinde lağım kirlenmesini akla getirdiği bilinmektedir (Egemen ve Sunlu, 1996). F2 ve F3 istasyonlarında tespit edilen nitrit değerleri, bu parametrenin bölgeler açısından önemli bir risk faktörü teşkil ettiğini göstermektedir. Felent Çayı'nın geçmiş olduğu yerleşim bölgelerinin kanalizasyon atıkları ve özellikle Kütahya Pis Su Arıtma Tesisleri'nin atıkları akarsu boyunca nitrit değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca çalışma periyodumuz olan 1 yıllık süre içinde nitrit değerlerinin tüm istasyonlarda artış gösterdiği belirlenmiştir.

Nitrat ve amonyum değerleri akarsu boyunca kademeli bir artış göstermesine rağmen çalışma periyodumuz boyunca limit değerleri aşmamıştır. Yine tespit edilen sülfat değerlerinde anormal ve bölge için riskli bir durum gözlenmemiştir.

Alıcı sulara fosfatın %91'inin evsel ve endüstriyel atık-sulardan, %9'nun ise tarımsal alanlardan geldiği bildirilmektedir (Egemen ve Sunlu, 1996). Araştırma alanındaki fosfor değerlerinin yüksek olması, Felent Çayı'nın yerleşim bölgelerinin ve tarımsal arazilerin yakınlarından akışa sahip olması ve bu nedenle akış havzası içinde deşarj olduğu fikrini akla getirmektedir.

L. stagnalis'lerde tespit edilen Cd, Pb, As ve Zn değerlerinin Türk Gıda Kodeksi'nde yumuşakçalar için belirtilen limit değerlerin oldukça üzerinde olduğu ve özellikle Cd ve As değerlerinin Türk Gıda Kodeksi'nde belirtilen limit değerlerden yaklaşık on kat fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). Bilindiği gibi sucül ekosistemlerde de, tüm ekosistemlerde olduğu gibi canlılar arasındaki madde ve enerji geçişleri besin zinciri yoluyla sağlanır. Besin piramidinin üst basamaklarındaki türler, özellikle en üst basamakta yer alan insanlar, dokularında kirlenmeleri biriktirmiş olan alt basamaklardaki türlerle beslendiğinde, pek çok kirleniciyi özellikle de toksik elementleri çok daha fazla biriktirirler (Arslan vd., 2009).



Şekil 2. *Lymnea stagnalis* örneklerinde tespit edilen element biyoakümülyasyonları ve TGK limit değerleri
Figure 2. Element bioaccumulations detected in *Lymnea stagnalis* samples and the limit values of TGK

Suda tespit ettiğimiz Zn, Cr ve Cu değerlerinde kademeli bir artış söz konusudur. F1 ve F2 istasyonlarında tespit edilen Zn, Cr ve Cu değerleri risk oluşturacak konsantrasyonlara ulaşmamış olmasına rağmen, F3 istasyonunda özellikle tespit edilen Cu değerleri her iki yılda da oldukça yüksektir.

Bilindiği gibi kurşun, motorlu taşıt yakıtlarında katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Kurşunlu yakıtların yanması sonucu kurşun öncelikle atmosfere, buradan da yağmurlar vasıtasıyla en yakın sucul sisteme geçer (Denny et al., 1987). Felent Çayı, Tavanlı – Kütahya ve Kütahya – Eskişehir karayollarına oldukça yakın mesafelerde konumlanmıştır ve bu durumun çaydaki yüksek kurşun seviyelerinin pirimer nedenini oluşturduğunu düşünmekteyiz. Avcılık faaliyetleri de sucul sistemlere kurşun akümülyasyonunda önemli bir faktördür (Akman vd., 2004). Felent Çayı çevresinde özellikle kış aylarındaki avcılık faaliyetleri yüksek kurşun seviyelerinin önemli nedenlerinden biridir.

As değerlerinde tüm istasyonlarda geçen bir yıllık sürede oldukça yüksek bir artış tespit edilmiştir. Arseniğin en önemli kullanım alanlarından biri, yüksek toksisitesinden dolayı pestisit üretimidir (Baş ve Demet, 1992). Felent Çayı çevresinde sürdürülen yoğun tarımsal faaliyetler ve kullanılan pestisitlerin, sudaki yüksek arsenik miktarının en önemli nedenini teşkil ettiğini düşünmekteyiz.

Tespit ettiğimiz Cd konsantrasyonları, Felent Çayı ve çevresi için en riskli elementin Cd olduğunu göstermektedir. Kaynak bölgesine oldukça yakın bir mesafede bulunan birinci istasyonda bile Cd seviyeleri sınır değerlerin çok üzerindedir. Ayrıca bir yıllık süre boyunca tüm istasyonlarda Cd seviyelerinde önemli artışlar gözlenmiştir. Kadmiyum, endüstride kullanılan en yaygın metallerden biridir ve maden alaşımları, madeni levha kaplamacılığı, piller, mürekkep, boya, plastiklerin yapısında yer alan pigmentler gibi çok çeşitli kullanım alanına sahiptir (Güven, 1999). Kadmiyumun en önemli ve yaygın kullanım alanlarından biri de fosfatlı gübrelerdir ve az önce de belirttiğimiz gibi Felent Çayı'nın çevresinde çok fazla tarım arazisi mevcuttur (Kahvecioğlu vd., 2003). Kadmiyumun, tüm akarsu boyunca suda, sedimentte ve gastropoda örneklerinde çok yüksek konsantrasyonlara ulaşmasının en önemli nedeni, yoğun tarımsal faaliyet baskısı ve kullanılan fosfatlı gübrelerin yağışlar ve sulama ile süzülmesi sonucu Felent Çayı'na deşarjıdır.

MacDonald et al. (2000) tarafından belirtilen sediment kalite kriterlerine göre, Felent Çayı'nda hem 2009 hem 2010 yıllarında tüm istasyonlarda tespit edilen Cd, Cu ve Cr değerleri TEL, LEL ve MET değerlerinin oldukça üzerindedir (Tablo 2 ve 3). 2009 ve 2010 yıllarında F1 ve F2 istasyonlarının sedimentinde tespit edilen Pb ve Zn değerleri sınır değerlerin altındadır. Ancak F3 istasyonunda tespit edilen Pb ve Zn değerleri her ne kadar MET değerinin altında olsa da TEL ve LEL değerlerinin oldukça üzerindedir ve bu durum ileride bu parametrelerin F3 istasyonu için önemli risk oluşturabileceğini göstermektedir. Ayrıca çalışma periyodumuz olan bir yıllık süre boyunca Pb, Cu ve Cr hariç, tüm elementlerin tüm istasyonlarda sedimentteki birikim seviyeleri artış göstermiş, özellikle bor değerlerindeki hızlı artış dikkat çekmiştir.

Sonuç olarak, Felent Çayı'nda su, sediment ve gastropoda örneklerinde tespit edilen toksik element değerlerinin, genel olarak çalışılan bir yıllık süre boyunca tüm istasyonlarda artış gösterdiği belirlenmiştir. Felent Çayı'nda kademeli bir kirliliğin söz konusu olduğunu, bu kirlilik seviyelerinin ve özellikle toksik element yükünün günden güne artış gösterdiğini ve bu durumun su kalitesini ve akuatik yaşamı olumsuz yönde etkilediğini söyleyebiliriz. Bölgede azda olsa sürdürülen balıkçılık faaliyetleri ve geçtiği çoğu bölgenin sulama suyunu teşkil etmesi nedeniyle hem direkt, hem de dolaylı olarak insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bir an önce gerekli önlemler

alınmalı ve somut adımlar atılmalıdır. Özellikle bölge halkına gerekli eğitimler verilerek bilinçsiz kimyasal gübre, tarımsal ilaç ve pestisitlerin kullanımı engellenmelidir. Yoncalı bölgesinden suya karışan termal deşarj ve Kütahya’da yer alan endüstri kuruluşlarının, özelliklede çaya organik atık deşarjında bulunan tesislerin kesinlikle arıtıma tabi tutulmayan atıklarının Felent Çayı’na aktarımı engellenmelidir. Bunu sağlamak için ciddi yaptırımlar uygulanmalı, gerekirse işletmelere yüksek cezalar kesilmeli ve denetimler artırılmalıdır. Bölgenin su kalitesi sürekli takip edilmeli, elde edilen veriler ve oluşabilecek muhtemel olumsuz senaryolar yöre halkıyla da paylaşılarak bilinçlenmeleri ve tarımsal faaliyetlerinde sürdürülebilirliği korumak için sadece kendilerini değil çevrelerini de düşünceleri gerektiği bilinci yerleştirilmelidir.

Kaynaklar

- Akman, Y., Ketenoglu, O., Kurt, L., Düzenli, S., Güney, K. ve Kurt, F. 2004. Çevre Kirliliği (Çevre Biyolojisi). Palme Yayıncılık, Ankara, 299 syf.
- APHA 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. In A.E. Greenberg, L.S.Clesceri, A.D. Eato (eds.), American Public Health Association, 18th ed., Washington, U.S.A.
- Arslan, N., Koç, B., Çiçek, A., Emiroğlu, Ö. ve Malkoç, S. 2009. Uluabat Gölü bazı biyotik ve abiyotik öğelerinde gümüş birikimi. Türkiye Sulak Alanlar Kongresi, Eskikaraağaç, Bursa, 183 – 191.
- ASTM 1985. Preparation of Biological Samples for Inorganic Chemical Analysis 1. Annual Book of ASTM Standards, D-19, pp. 740- 747
- Baş, L. ve Demet, Ö. 1992. Çevresel Toksikoloji Yönünden Bazı Ağır Metaller. Çevre Dergisi, sayı:5
- Başçınar, S. 2009. Bentik Canlılar ve Biyoindikatör Tür. Yunus Araştırma Bülteni, 1, 5-8 s.
- Blackmore, G. ve Wang W. X. 2003. Comparison of metal accumulation in mussels at different local and global scales. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22(2): 388–395.
- ÇED 2006. Kütahya İl Çevre Durum Raporu. T.C. Kütahya Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, 324syf.
- Del Valls, T. A., Blasco, J., Sarasquete, M. C., Forja, J. M. ve Gomez-Parra, A. 1998. Evaluation of heavy metal sediment toxicity in littoral ecosystems using juveniles of the fish *Sparus aurata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 41: 157-167.
- Denny, P., Hart, B. T., Lasheen, M. R., Subramanian, V. ve Wong, M. H. 1987. Group Report: Lead, Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic In The Environment. In: S.C.O.P.E. of the I.C.S.U. (Hutchinson, T. C., Meema, K. M., -eds.). Canada.
- Egemen, Ö. ve Sunlu, U. 1996. Su Kalitesi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları Yayın No:14. Ege Üniversitesi Basımevi, İZMİR, 153s
- EPA METHOD 200.7. 2001. Determination Of Metals And Trace Elements In Water And Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.
- EPA METHOD 3051. 1998. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils.
- Güven, K. 1999. Biyokimyasal ve Moleküler Toksikoloji. Dicle Üniversitesi Basımevi, 200s. Diyarbakır.
- Hongyi, N., Wenjing, D., Qunhe, W. ve Xingeng, C. 2009, Potential toxic risk of heavy metals from sediment of the Pearl River in South China, *Journal of Environmental Sciences* 21(2009) 1053–1058.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. 2003. Metallerin çevresel etkileri-I. *Metaller Dergisi*, 136: 47-53.
- Kılıç S., Çavuşoğlu K., Kılıç M. 2009. The effects of lead (Pb) pollution caused by vehicles on the pollen germination and pollen tube growth of apricot (*Prunus armeniaca* cv. Sekerpare). *Biological Diversity and Conservation (BioDiCon)*, Volume 2/3, 23-28.
- Mendil, D., Ünal, F. O., Tüzen, F. ve Soylak, M. 2010, Determination of trace metals in different fish species and sediments from the River Yes ilırmak in Tokat, Turkey. *Food and Chemical Toxicology* 48 (2010) 1383–1392.
- Sawidis, T., Chettri, M. K., Zachariadis, G. A ve Stratis, J. A. 1995. Heavy metals in aquatic plants and sediments from water systems in Macedonia, Greece. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 32(1): 73–80.
- SKKY 2004. Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği, 31 Aralık 2004 tarihli Resmi Gazete No: 25687, <http://www.cevreorman.gov.tr/yasa/y/25687>
- Özmen, H., Külahçı, F., Çukurovalı, A. ve Doğru, M. 2004. Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey) *Chemosphere* 55, 401–408
- Tanyolaç, J. 2009. Limnoloji. Hatiboğlu Yayınevi, Ankara, 294 syf.
- TGK 2002. Türk Gıda Kodeksi. Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerinde Belirli Bulaşanların Maksimum Seviyelerinin Belirlenmesi Hakkında Tebliğ. No:2002/63.
- Türkoğlu, M. 2008. Van Gölü’nden alınan Su, Sediment ve İnci Kefali (*Chalcalburnus tarichi*, PALLAS 1811) Örneklerinde Bazı Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, 45 s.
- Uslu, O. ve Türkman, A. 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi 1. Ankara. 364s.
- Wildi, W., Domink, J., Thomas, R. L., Favarger, P., Haller, L., Perroud, A. ve Peytremann, C. 2004. River, reservoir and lake sediment contamination by heavy metals downstream from urban areas of Switzerland. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 9: 75-87.
- Xiaobo, L., Linzhi, J., Yunlong, Z., Wang, Q. and Yongxu, C. 2009, Seasonal bioconcentration of heavy metals in *Onchidium struma* (Gastropoda: Pulmonata) from Chongming Island, the Yangtze Estuary, China. *Journal of Environmental Sciences* 21, 255–262.
- Yücel, E., Edirmelioğlu, E., Soydam, S., Çelik, S., Çolak, G. 2010. *Myriophyllum spicatum* (Spiked water-milfoil) as a biomonitor of heavy metal pollution in Porsuk Stream/Turkey. *Biological Diversity and Conservation (BioDiCon)*, Volume 3/2, 133-144.

(Received for publication 15 March 2012; The date of publication 15 August 2012)