



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Lokasyonlardan Alınan İçme Sularında Ağır Metal Analizi

Bayram POYRAZ*

Merkez Araştırma Laboratuvarı, DÜBİT, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: bayrampoyraz@duzce.edu.tr*

ÖZET

Dünyada endüstri ve şehirleşmenin artmasıyla giderek artan bir su ihtiyacı oluşmaktadır. Ağır metaller de içme suyu ile insan vücuduna alınan kimyasallar arasındadır. Yüksek seviyede ağır metal maruziyetinde ise insan vücuduna olumsuz etkileri vardır. Bu çalışma kapsamında 15 farklı lokasyondan içme suyu örnekleri alınmış ve ağır metal içerikleri belirlenmiştir. İncelenen içme suyu örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları uluslararası su değerlendirme kuruluşlarının izin verdiği limitler arasındadır. Bu çalışmanın Türkiye'deki içme suları kalitesinin yükselmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İçme suyu, Ağır metal, Zararlı kimyasallar.

Heavy Metal Analysis of Drinking Water Samples Taken from Different Locations

ABSTRACT

Ever-increasing water demand has been emerged together with growing industrialization and continuing urbanization in the world. Heavy metals, too, are among the chemicals pass human body through drinking water. They have adverse effects on human body when exposed to elevated levels. In the context of this study, drinking water samples were taken from 15 different locations and heavy metals concentrations were determined. According to the analysis results the concentrations of heavy metals examined were in the range of acceptable limits declared by international authorities. It is believed that this study will make an extra contribution for the improvement of the quality levels of drinking water in Turkey.

Keywords: Drinking water, Heavy metal, Harmful chemicals

I. GİRİŞ

ENDÜSTRİYEL faaliyetlerin artması birçok yaşamsal fonksiyonu etkileyen kimyasallarla insan vücudunu karşı karşıya bırakır. İnsanın temel gereksinim maddesi olan su, zararlı kimyasallarla insan vücudunun buluşmasında köprü vazifesi görmektedir. Dolayısıyla içtiğimiz suyun önemi yaşamsal fonksiyonların düzenliliği ve sürekliliği açısından önem arz etmektedir. Dünya sağlık örgütünün raporuna göre gelişmekte olan ülkelerde neredeyse nüfusun yarısı içme suyunun gereken standartlarda olmamasından dolayı sağlık problemleri çekmektedir [1]. İçme suyunda belli seviyenin üzerinde olması istenmeyen kimyasallar kirletici adıyla bilinir. Kirleticiler, İnorganik, organik, pestisit ve dezenfektan olarak sınıflandırılabilirler [2]. Bu kirleticiler arasında inorganik sınıfta bulunan ve sağlık açısından ciddi tehdit oluşturan ağır metaller, içme suyundaki konsantrasyonları bakımından izlenmesi gereken en önemlileridir. Ağır metallerin içme sularından uzaklaştırılması için çeşitli metot ve yöntemler hızla artarak devam etmektedir. Günümüzde pek çok alanda karşı karşıya kalınan ağır metaller genel anlamıyla yoğunluğu 5 gr/cm³, bir diğer ifadeyle suyun yoğunluğundan sayısal olarak 5 kat büyük olan metaller ve metaloidde denilen yarı metallerdir [3]. Bu ağır metaller canlılar için yaşamsal fonksiyonlarda temel görevleri üstlenmelerinin yanı sıra belirli bir konsantrasyonun üzerinde bulduklarında toksik etki gösterebilirler. Ağır metaller içme suyunda ppm (mg/L) ve ppb (µg/L) konsantrasyonlarında bulunurlar. Ağır metallerin içme suyundaki limit değerlerini belirlemek önemlidir. Bu değerlerin belirlenmesi üzerinde en yoğun çalışmalar Dünya sağlık örgütü ve A.B.D. çevre koruma örgütü tarafından yapılmaktadır. İçme suyunda bazı ağır metaller için limit değerler Tablo 1. de gösterilmiştir.

Tablo 1. USEPA ve WHO tarafından sudaki bazı kabul edilebilir ağır metal konsantrasyonları

Ağır Metal	Dünya sağlık örgütü (mg/L) [1]	ABD Çevre koruma örgütü (mg/L) [4]
Çinko	5	5
Arsenik	0.01	0.01
Magnezyum	50	50
Kalsiyum	50	50
Kadmiyum	0.003	0.005
Kurşun	0.01	0.01
Civa	0.001	0.002

İçme suyunun sağlanması akarsu, göl, baraj ve okyanuslar gibi yüzey suları ile birlikte kuyu suyu ve kaynak suyu gibi yeraltı sularıyla gerçekleşir. Avrupa'daki ülkeler arasında içme sularının tedarikiyle ilgili yeraltı ve yüzey sularının kullanım oranları bu ülkelerin lokasyonu, jeolojik yapısı, endüstriyel faaliyetleri ve antropojenlik gibi parametreler açısından farklılık göstermektedir. İçme suları İspanya, Belçika ve Hollanda da % 90 yüzey sularından sağlanırken, İsviçre ve Danimarka'da bu oran % 25'lerde seyretmektedir [4,5]. Su azlığı çeken ülkemizde ise içme sularının sağlanmasında tam bir sayısal oran bilinmemekle birlikte yüzey sularının kullanım oranı gittikçe artmaktadır [6].

itai hastalığı) ve ostropozda denilen kemikteki mineral yoğunluğunun düşük olması olan rahatsızlığa yol açtığı gözlemlenmiştir[10].

Dünya sağlık örgütü (WHO) içme suyunda tolere edilebilir Kadmiyum seviyesini 0,005 µg/L olarak belirlemiştir. Uluslararası kanser araştırma enstitüsü (AICR) Kadmiyumu Grup-I olarak bir başka ifadeyle karsinojen sınıfta değerlendirmektedir.

Civa, 13,53 gr/cm³ yoğunluğa sahiptir. Eski çağda duvar boyalarında HgS halinde, günümüzde diş dolgusunda civa amalgam halinde, metalik formuyla boya olarak kozmetikte kullanılır. Ayrıca termometre, barometre, balıklar ve klor üretimlerinde de civaya rastlanmaktadır. Civanın organik ve inorganik formu bulunur . Civanın organik formu inorganik formundan çok daha zararlı olduğundan sağlık açısından ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekir. Balıklar kolaylıkla inorganik civayı vücuttan atılması zor ve zararlı olan organik metilcivaya dönüştürürler. Civa, Kadmiyum gibi böbreklere zarar vermekle birlikte kontak egzamaya yol açar. 1950 de Japonya'daki balıklardan gelen metilcivayla minamata felaketi yaşanmakla birlikte Avrupa'da da doksanların başlarında bazı yerlerde metilciva bulaşmış ekmeklerden binlerce insan hayatını kaybetmiştir. Civayla ilgili rahatsızlıklar el ve ayaklarda uyuşmayla başlar duyma bozukluklarıyla devam eder uzun süreli maruziyette akciğer kanseri görülür ani yüksek dozda ise ölümler sonuclanır. WHO ya göre içme suyunda Civa seviyesi 0,001 mg/L olarak belirtilmiş olsa da Civa'nın yararlı yönünü ortaya koyan bir çalışma yoktur [7]. AICR Civa'yı kadmiyum gibi Grup-I sınıfta değerlendirmektedir.

Kurşun, 11,34 gr/cm³ yoğunluğa sahiptir. Pişirme ve saklamada kullanılan çömlerlerden, şaraplarda tatlandırıcı olarak Pb(CH₃COOH)₂ halinde rastlanabilir. Benzinlerde tetrametilkurşun (CH₃)₄Pb ve tetraetil kurşun (CH₃ CH₂)₄Pb olarak bulunmakla birlikte madenler tüm ağır metallerde olduğu gibi birer Kurşun kaynağıdır. İnorganik yapıdaki Kurşun kanda eritrositlere bağlanır. Kandaki yarı ömrü bir ay olup iskelette ise 20-30 yıldır. Kurşun maruziyetinde baş ağrısı, asabiyet, karın ağrısı ve merkezi sinir sistemiyle ilgili çeşitli rahatsızlıklar görülür. Kandaki kurşun seviyesinin artmasıyla IQ seviyesinin düşmesi ispatlanmıştır [7,8,11]. WHO ya göre içme suyunda izin verilen Kurşun düzeyi 0.01 mg/L dir. AICR Kurşunu Grup-2A denilen olası karsinojenler sınıfa almıştır.

Çinko, yoğunluğu 7,14 gr/cm³ tür. Karsinojenik bir metal olmayan çinko aynı zamanda temel elementler sınıfında yer almaktadır. ZnCl₂ formuyla deodorantlarda, bis (2-pyridylthio)zinc1,1-dioxide olarak kepek şampuanlarında, ZnSO₃ yapısıyla boyalarda parlaticı olarak, çeşitli çinko alaşımlar ise mutfak malzemelerinden sanayi ürünlerine kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Çinko'nun hücre fonsiyonlarında önemli görevleri vardır bunlardan bazılarında dehidrojenaz enzimi ve karbonik anhidraz ile ilgilidir ve bu fonsiyonlarda kofaktör görevi üstlenir. Eksikliğinde ishal, iştahsızlık, ağırlı adet, testesteron sayısında azalma ve hatta Squamous-cell carcinoma tipi kanser görülebilir. Yüksek oranda Çinko maruziyetlerinde ise kusma, bulantı, kanlı idrar, karaciğer fonsiyonlarının bozukluğu, kurşundaki gibi zeka geriliği ve anemi görülür. Çinko aynı zamanda erkeklik elementi olarak ta bilinir ve vücutta bakır dengesini de sağlar [12,13]. Lahana, Çinko açısından oldukça zengindir. A ve D vitamini eksikliği Çinko eksikliğinin habercisidir. WHO ya göre içme suyunda Çinko seviyesi 5 mg/L seviyesini geçmemelidir.

Antimon, yoğunluğu 6.68 gr/cm³ olan yarı metal bir elementtir. Çeliğin içine sertleştirme amacıyla, ev dekorasyon malzemelerinde stibonik asit yapısıyla RSbO(OH)₂ seramik ve cam endüstrisinde güçlendirme ve renklendirmede, ayrıca alev geciktirici olarak kullanılır. Ayrıca tıpta parazitlerle ilgili enfeksiyonlarda C₈H₄K₂O₁₂Sb₂.3H₂O olarak kullanılmaktadır[14]. Doksanların ortalarında bazı beşiklerde Antimon içeren malzemelerin kullanımı sonucunda Antimon'un metilasyonu ile cot-death de denilen ani bebek ölümleri gerçekleşmiştir[15]. Antimon maruziyetinde ciltte ve gözlerde kaşınma,

bulantı, kusma, ülser görülebilir [16]. WHO içme suyunda tolere edilebilir Antimon seviyesini 0,005 mg/L olarak belirlemiştir. Karsinojenliği noktasında herhangi somut bir veri bulunmamaktadır.

Bakır, yoğunluğu 8.96 gr/cm³ tür. Birçok kablo türü, kaplamalar, böcek ilaçları, petrol rafinerileri, besin katkı maddesi olarak ve piroteknik gibi alanlarda sıkça kullanılır. Örneğin CuSO₄ yüzey sularında alg oranını sabit tutmak amacıyla kullanılır. Seruloplazmin, SOD, Sitokrom C oksit gibi birçok enzimin yapısında bulunur. Aşırı maruziyetinde kusma, karın ağrısı, bulantı, karaciğer yetersizliği görülür. Eksikliğinde saçlarda pigment kaybı olan Menkes hastalığı [17,18] ve Wilson hastalığı görülür. Karaciğer, ıstiridye, susam ve fındıkta bol bulunur. Dışkı, safra, ter ve idrar yoluyla atılır[19]. WHO tarafından içme suyunda izin verilen Bakır seviyesi 0.02 mg/L olarak belirlenmiştir. AICR ye göre karsinojenik bir metal değildir.

Krom, yoğunluğu 7,19 gr/cm³ tür. Deri endüstrisi başta olmak üzere, boyalarda, seramik ve cam endüstrisinde sıkça kullanılır. Örneğin Pb(II)CrO₄ mantarlara karşı kullanılır. Sağlığa zarar verme açısından Krom'un doğada bulunduğu yükseltgenme basamağı çok önemlidir. Cr(VI) kolayca hücre membranına girip zarar verdiği için Cr(III) iyonuna göre çok zararlıdır. Cr(VI) karsinojenik etki göstermesiyle birlikte mutajenik etkide gösterir. Krom eksikliğinde insanda kan şekeri ve kolesterol düzeyi bozulur. Fazla mazurisinde sindirim bozuklukları, kanamalı hemoroid, kasılmalar ve akciğer kanseri görülür [20]. AICR'ye göre Cr(VI) Grup-I sınıfta yer alır dolayısıyla karsinojenik etki gösterirken Cr(III) karsinojenik değildir. WHO ya göre içme suyunda bulunması gereken Krom içeriği 0.02 mg/L seviyesini aşmamalıdır.

Mangan, yoğunluğu 7.21 gr/cm³ olan, havai fişeklerde MnO₂ olarak, ağartmada ve temizlik kimyasallarında KMnO₄ haliyle kullanılan bir ağır metaldir. Ayrıca çeşitli formlarıyla demir ve çelik alaşımı ile batarya ve cam endüstrisinde kullanılır. Hücre fonksiyonlarında ise Manganezsüperoksit dismutaz, piruvat karboksilaz, kinaz gibi hücre enzimlerinde bulunur. Kurşunsuz benzinlerde oktan artırıcı olarak Metilsiklopentadienil mangan trikarbonil kullanılır [21]. Çok çay içenlerin Mangan seviyesi yüksektir. Aşırı maruziyetinde merkezi sinir sistemine etki ederek kaslarda zayıflık gözlenmesine etkiye bulunur. Ayrıca Çinko gibi testosteron seviyesinde düşme ve uyuşukluk görülür [22]. Karsinojenik bir etkisi gözlenmemiştir. WHO içme suyunda bulunmasına izin verilen Mangan limitini 0,1 mg/L olarak belirlemiştir.

Selenyum, yoğunluğu 4.81 gr/cm³ tür. Mantar ve ıspanakla birlikte birçok proteinin yapısında bulunur. Genelde sülfürlü madenler birçok farklı Selenyum kompleksi içerir. Selenyum tiroid bezinin fonksiyonunu artırır bağışıklık sistemini güçlendirir. Eksikliğinde ise bir kalp rahatsızlığı olan Keshha hastalığı görülür[24]. Aşırı maruziyetinde sindirim bozuklukları, dalak ve pankreas şişmesi, kansızlık, tırnak kırılması ve saç kaybı görülür [23]. Antikarsinojen bir elementtir. WHO ya göre içme suyunda Selenyum içeriği 0,01 mg/L yi geçmemelidir.

Alüminyum, yoğunluğu 2,7 gr/cm³ tür. Alüminyumun 270 farklı minerali mevcut olup miktar bakımından yeryüzünde en çok bulunan metaldir. Ayrıca Oksijen ve silisyumdan sonra yer kabuğunda en çok bulunan üçüncü elementtir. Kola kutuları, mutfak malzemeleri, patates, ambalaj, çay, un, ıspanak birer Alüminyum kaynağıdır. Çocuklarda yüksek oranda Alüminyum içeriğinden dolayı tenekeli içecek kullanımı önerilmez. Alüminyumun organik şelatlarla birleştiği formlarında toksisite değeri artar. Maruziyetinde bulantı, kusma, ağız ve cilt ülseri, eklem ağrısı, davranış bozuklukları ve Alzheimer hastalığının gelişmesine neden olur. Karsinojenik etkisi bulunmamakla birlikte WHO içme suyunda izin verilen Alüminyum seviyesini 0,1 mg/L olarak belirlemiştir.

Vanadyum yoğunluğu 6 gr/cm³ olan ve çelik katkılarında ferovanadium formuyla, seramiklerde ise vanadyum pentaoksit olarak bulunan bir toksik bir metaldir. Petrol rafineriyle güç santrallerinde

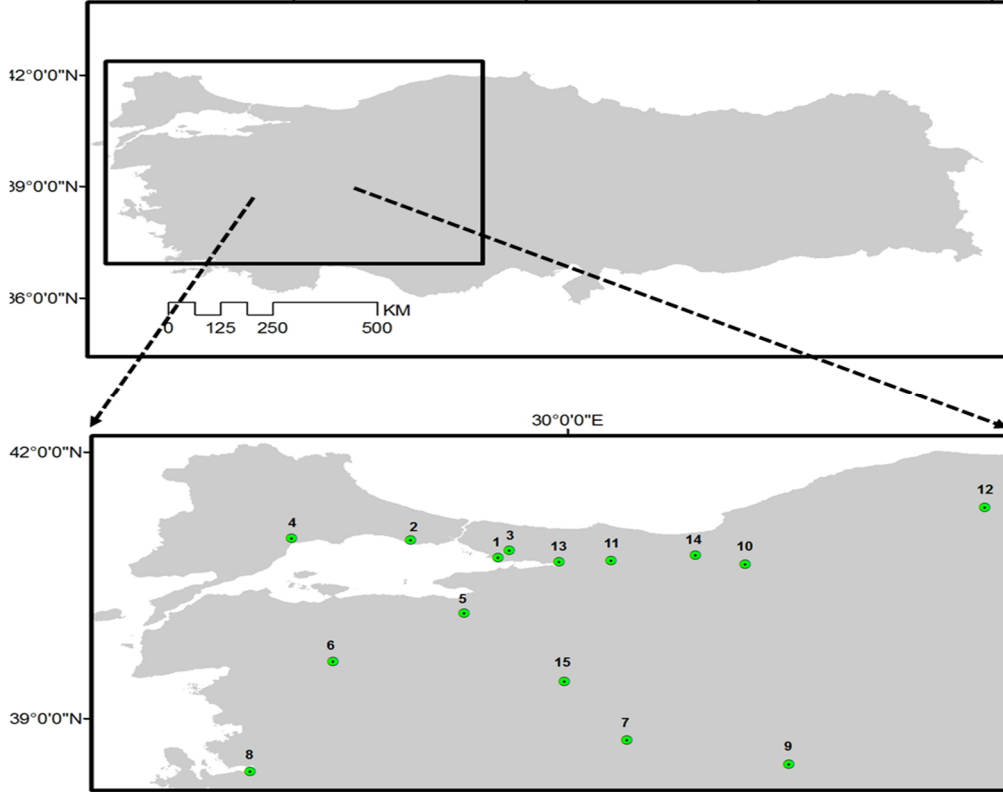
Vanadyumca zengin yakıtlar kullanılır. ICRS Vanadyumu, Krom(VI) ve Kadmiyum gibi Grup-I sınıfında değerlendirmektedir. WHO ya göre içme suyunda bulunması gereken Vanadyum içeriği 10 µg/L yi geçmemelidir. Ağır metal analizlerinde kullanılacak cihazın önemi büyüktür. Bu analizlerde matris denilen ortamdaki ağır metal konsantrasyonlarının birbirleriyle etkileşimleri açısından cihazın girişim etkileşimlerini ortadan kaldırması gerekmektedir birlikte cihazın dedeksiyon limitlerinin de istenilen analitik ihtiyacı karşılması gerekir. İçme suyunda ağır metal analizi için birçok cihaz kullanıldığı gibi en çok atomik spektroskopi temelinde çalışan Alevli atomik absorpsiyon spek. (FAAS), Grafit fırınlı atomik absorpsiyon spek. (GAAS), İndüktif eşleşmiş plazma emisyon spek. (ICP-OES) ve İndüktif eşleşmiş plazma kütle spek. (ICP-MS) adı verilen cihazlar kullanılmaktadır. Bu cihazlar arasında birçok elementi aynı anda verebilmesi (simultane) ve ppb seviyelerinin altında (ultra trace) analiz edebilmesi açısından ICP-MS cihazı en çok tercih edilen spektroskopik cihazdır.

II. DENEY

Numuneler belirlenen bölgelerdeki 15 ayrı lokasyondan (Şekil 3) 50 ml'lik polipropilen kaplara alınmıştır. Bu alınan numunelerin pH'ları % 67'lik konsantrasyona sahip HNO₃ ile 2 olarak ayarlanmış ve kapakları kapatılıp Düzce Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarına gönderilmiştir. Laboratuvara getirilen numuneler 0.45 µm gözenek boyutuna sahip poliester membran filtrelerden geçirildikten sonra analiz zamanına kadar +4 °C de saklanmıştır. Analizde ICP-MS cihazı olarak Thermo Scientific Element X2, Ultra saf su cihazı olarak Thermo Scientific TKA smart pure 2, pH metre olarak HANNA HI 2221 cihazları kullanılmıştır. Analizde kullanılan metot ise EPA 6020'dir. Ana stok ve ara stok olarak hazırlanan standart çözeltiler ve kimyasallar analitik saflıktadır. Sertifikalı içme suyu olarak LGC ERM-CA011b Hard Drinking water UK Metals isimli çözelti kullanılmış olup kalibrasyon grafiği için hazırlanan standartlar Suprapure özellikte %'67 derişime sahip Nitrik asit kullanılarak hazırlanmıştır. Ayrıca hazırlanan standartların ana stok çözeltilerinin konsantrasyonu 1000 ppm dir. Ana stok çözeltiler Fluka markasından temin edilmiştir. Analiz süresince de Nitrik asit olarak % 67'lik konsantrasyona sahip suprapure özellikteki Nitrik asit kullanılmış ve Merck firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan ultra saf suyun iletkenlik değeri 0.055 µS'dir. Hazırlanan stok çözeltilerde polipropilen kaplarda muhafaza edilmiştir. Analizin hemen öncesinde pH ları ayarlanmış olan su numunelerinden 1 ml alınmış ve polipropilen kaplarda, ultra saf su ile 20 ml ye tamamlanarak cihazda okuma yapılmıştır. ICP-MS cihazı çalışma şartlarında Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. ICP-MS cihazı çalışma şartları

Cihaz Ayarları	Değer
Radyo Frekans gücü	1404 W
Örnek derinliği	145 mm
Örnek süzücü huni	Ni
Peristaltik pompa	0.2 l/min
Spray odacığı sıcaklığı	2 °C
Süpürme zamanı	10 s
Alıkonma süresi	600 s
Argon akış oranı	
Plazma	13 l/min
Yardımcı	0.7 l/min
Nebulizer	0.91 l/min



Şekil 3. İçme suyu numunesi alınan lokasyonlar

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

Türkiye Cumhuriyeti 81 ilin 783.562 m² lik bir alana yayıldığı ve Avrupa'nın yüzölçümü olarak ikinci büyük devlettir. Avrupa ve Asya'yı birbirine bağlaması açısından önemli olan ülkede endüstriyel faaliyetler ve nüfus özellikle İstanbul ve çevresinde toplanmıştır. Bu nedenle analiz edilmek üzere alınan içme suyu numunelerinin lokasyonu belirlenirken bu bölgenin çevresine bağlı kalınmıştır. Cihazın analitik performansını değerlendirirken doğruluk, kesinlik gibi analitik ölçütlerden yararlanılır. Tablo 3'te cihazın analitik performansı görünmektedir. Burada verilen kalibrasyon eğimlerinden ve cihazın inebileceği dedeksiyon limitlerinden de görüldüğü gibi cihazın performansı oldukça yüksektir. Ayrıca cihazın bu analitik performansı Tablo 4'te görüldüğü gibi sertifikalı referans materyal ile analiz edilip çıkan sonuçlarla desteklenmiştir.

Tablo 3. Cihazın analitik performansı

Metal	Dedeksiyon Limiti (µg/L)	Kalibrasyon Eğimi	Çalışma aralığı (µg/L)
²⁷ Al	0,048	0,999947	5-50
⁵¹ V	0,024	0,999931	5-50
⁵² Cr	0,003	0,999965	5-50
⁵⁵ Mn	0,012	0,999961	5-50
⁵⁶ Fe	1,8	0,999923	50-500
⁵⁸ Ni	0,03	0,999977	5-50
⁵⁹ Co	0,003	0,999940	5-50
⁶⁵ Cu	0,027	0,999984	50-500
⁶⁶ Zn	0,15	0,999917	50-500
⁸² Se	0,018	0,999971	5-50
⁸⁸ Sr	0,003	0,999975	5-50
⁹⁵ Mo	0,009	0,999994	5-50
¹⁰⁷ Ag	0,204	0,999955	5-50
¹¹⁴ Cd	0,006	0,999921	5-50
¹¹⁸ Sn	0,03	0,999877	5-50
¹²³ Sb	0,003	0,999871	50-500
¹³⁸ Ba	0,006	0,999943	5-50
²⁰² Hg	0,057	0,999893	0.5-5
²⁰⁸ Pb	0,015	0,999951	5-50

Tablo 4. Sertifikalı Referans Materyal Analiz Sonuçları

Örnek^a	Element	Sertifika Değeri(µg/L)	Bulunan Değeri(µg/L)
LGC ERM-CA011b Hard Drinking water UK -Metals	Sb	5,11±0,23	4,95±0,15
	Zn	597±19	576,6±7,48
	Ba	115,2±3,70	123±3,05
	Cd	4,88±0,19	4,71±0,11
	Cr	48,2±1,60	45,2±0,70
	Cu	1936±75	1769±19,05
	Fe	186±11	189,2±3,66
	Pb	24,51±0,52	25,7±1,15
	Mn	48,3±1,61	46,6±0,58
	Mo	5,45±0,33	5,49±0,09
	Ni	19,27±0,68	17,05±0,24
	Se	9,91±0,41	10,02±0,12
	Sr	471±21	491,9±5,12
	V	4,75±0,34	4,83±0,08
Al	209±11	185±3,38	

^a. elde edilen değerler 3 ölçümün ortalamasıdır.

Tablo 5. Alınan Lokasyonlardaki sonuçlar (µg/ L)

Şehir /Element	Al	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Co	Cu	Zn	Se	St	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Pb
1	64,60	0,41	0,38	6,32	13,33	0,97	DLA	10,70	32,16	0,57	174,50	0,31	0,05	DLA	DLA	0,06	31,08	DLA	0,30
2	30,76	0,75	0,78	5,20	7,31	1,15	DLA	5,97	9,80	1,00	334,40	0,80	0,20	DLA	DLA	0,08	28,47	DLA	DLA
3	29,85	0,52	0,40	1,80	15,81	1,05	DLA	18,98	60,11	0,54	157,70	0,19	0,08	DLA	DLA	0,04	32,59	DLA	1,01
4	35,63	0,25	0,24	1,87	0,69	0,98	DLA	11,32	31,14	0,23	55,65	0,11	0,22	DLA	DLA	0,02	32,17	DLA	0,65
5	DLA	1,17	3,14	DLA	DLA	0,63	0,09	0,42	1,09	1,50	300,00	0,79	0,03	DLA	DLA	0,00	82,99	DLA	DLA
6	0,12	0,28	0,51	1,60	50,57	0,98	DLA	2,48	84,33	0,37	247,80	1,71	0,10	DLA	DLA	0,14	58,91	DLA	DLA
11	1,84	0,17	0,06	0,02	21,05	DLA	DLA	0,88	DLA	0,04	3,58	-0,01	1,30	DLA	DLA	DLA	2,99	DLA	0,17
13	DLA	8,08	3,10	DLA	DLA	0,15	DLA	0,07	DLA	0,52	387,40	0,28	0,03	DLA	DLA	-0,03	12,71	DLA	DLA
7	DLA	8,65	1,94	DLA	DLA	DLA	DLA	1,72	5,49	0,33	312,60	1,68	0,03	DLA	DLA	0,25	26,68	DLA	DLA
8	DLA	2,50	2,15	1,86	163,90	0,29	0,00	2,28	337,00	1,26	676,20	0,88	0,19	DLA	DLA	0,29	126,50	DLA	0,11
15	DLA	1,50	2,43	DLA	3,05	0,67	DLA	12,06	23,18	0,46	488,40	2,45	0,76	DLA	DLA	0,23	137,20	DLA	0,15
9	1,94	0,13	1,46	0,36	24,65	DLA	DLA	5,34	145,70	0,48	450,50	0,17	0,06	DLA	DLA	0,02	77,82	DLA	0,05
10	51,91	0,22	0,26	1,70	20,07	DLA	DLA	1,54	DLA	0,53	391,90	0,19	0,15	DLA	DLA	0,01	138,60	DLA	DLA
12	6,67	0,27	0,21	0,85	6,32	0,17	0,00	9,33	13,18	0,28	323,70	0,17	0,05	DLA	DLA	DLA	162,00	DLA	0,49
14	40,57	1,02	0,60	1,18	9,85	1,63	DLA	1,85	102,00	0,14	142,70	0,13	0,22	DLA	DLA	0,00	45,19	DLA	0,53

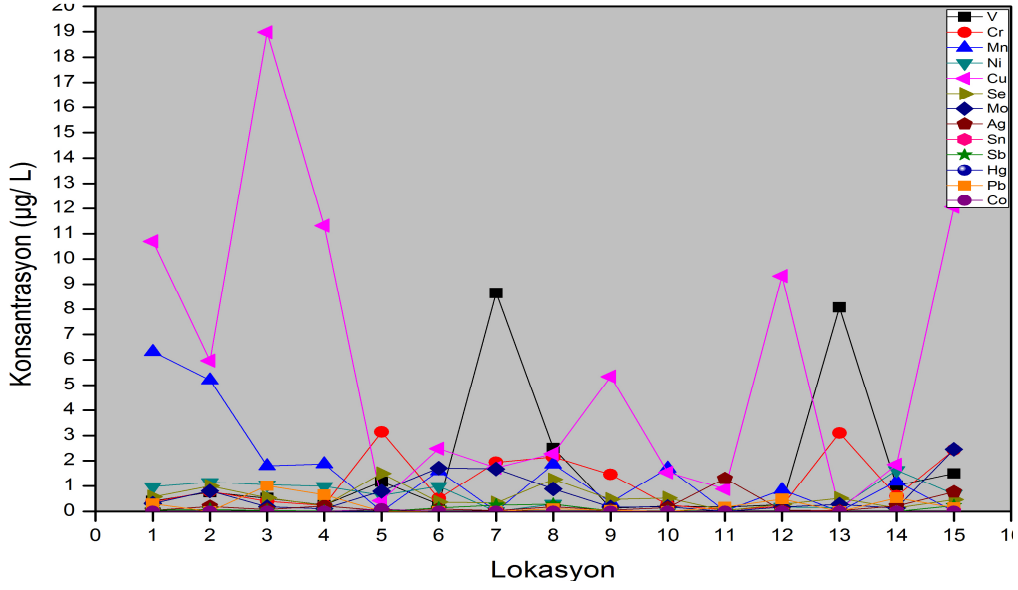
Not: DLA: Dedeksiyon Limiti Altı, **Sarı renk:** Marmara Bölgesi, **Yeşil renk:** İç Anadolu, **Kırmızı renk:** Karadeniz

Tablo 6. Bölge bazında ortalama ağır metal konsantrasyonları (µg/L)

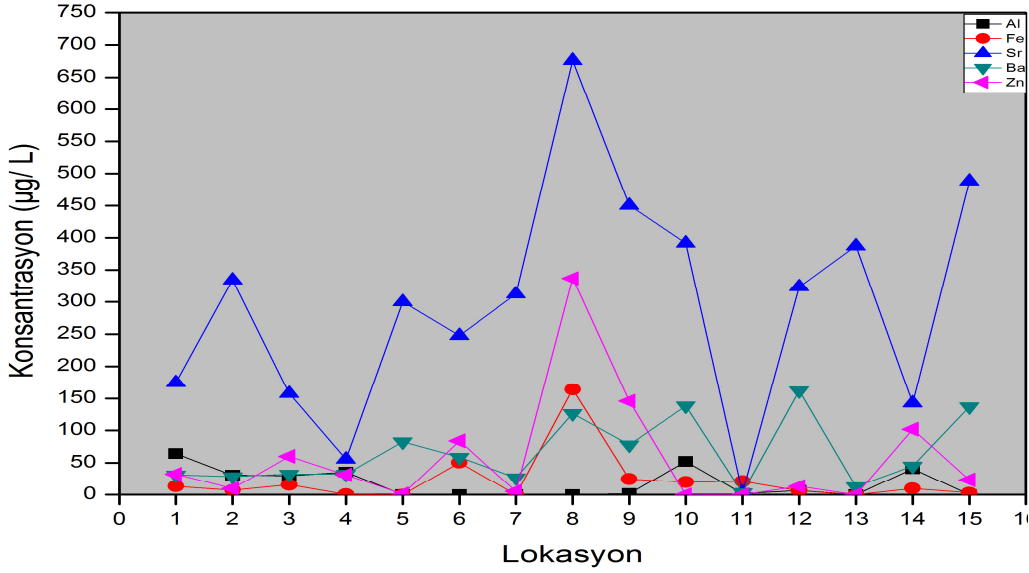
Bölge	Al	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Co	Cu	Zn	Se	St	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Pb
Marmara	27,13	1,45	1,08	2,80	18,13	0,85	0,09	6,35	36,44	0,60	201,89	0,52	0,25	DLA	DLA	0,04	35,24	DLA	0,53
Ege	DLA	4,22	2,17	1,86	83,48	0,48	0,00	5,35	121,89	0,69	492,40	1,67	0,33	DLA	DLA	0,26	96,79	DLA	0,13
Karadeniz	33,05	0,50	0,35	1,24	12,08	0,90	0,00	4,24	57,59	0,32	286,10	0,17	0,14	DLA	DLA	0,00	115,26	DLA	0,51

Örnekleme noktalarını bölgelere ayırmak suretiyle ayrıca bir değerlendirme de yapılmış ve Tablo 6’da gösterilmiştir. Bu elde edilen verilere göre Mn, Cu ve Pb açısından Marmara bölgesindeki içme suyundan kaynaklanan maruziyet oranı diğer bölgelerden fazla olduğu gözlenmiş olmasına rağmen bu oran tolere edilebilen limitler içindedir. V, Fe, Zn St ve Mo elementleri bakımından Ege bölgesinde tüketilen içme sularından ağır metallere maruz kalma durumu daha yüksektir.

Genel anlamda grafiksel olarak ağır metaller yüksek ve düşük derişimli olarak ayrılmış ve Şekil 4 ile Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Düşük konsantrasyonlu ağır metaller



Şekil 5. Yüksek konsantrasyonlu ağır metaller

Endüstriyel faaliyetler, hızlı şehirleşme, tarımsal aktiviteler, kontrolsüz atılan atıklar, sızıntılar, antropojenik kaynaklar, kazalar ve çevre felaketleri birer ağır metal kaynağıdır. Ağır metaller, konsantrasyon bakımından, kirleticiler arasında, içme suyunda büyük bir oranda bulunurlar.

Yapılan analizlerde endüstriyel faaliyetlerin yoğunlaştığı ve şehirleşmenin yüksek olduğu bölgelerde Alüminyum konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. Alüminyum konsantrasyonunun diğer bölgelere göre yüksek çıkmasına rağmen sonuçlar izin verilen limitlerin altındadır. Alüminyum, içecek tenek kutularından, mutfak malzemelerine kadar pek çok yerden bir şekilde içme sularına karışabilir. Vanadyumun konsantrasyonu incelendiğinde iki lokasyon haricinde önemsenmeyecek düzeydedir. Özellikle sodyum metavanadat içme suyu için oldukça zararlıdır. Dolayısıyla Vanadyum konsantrasyonu dikkatli bir şekilde takip edilmelidir. Stronsiyuma gelindiğinde, Stronsiyum vücutta bazı izotoplarının Kalsiyum yerine geçmesi nedeniyle ciddi kemik rahatsızlıklarına yol açar. İngiliz jeoloji enstitüsüne göre Türkiye Stronsiyum açısından Çin'den sonra dünyada en çok rezervi olan

ülkedir. Konsantrasyonlar yüksek görünse de değerler içme suyu limitlerinin altındadır. Vücutta Potasyum iyonlarının akışını engellediği için Baryum takip edilmesi gereken bir diğer elementtir. Baryum elementinin konsantrasyonunda dalgalanmalar gözlenmektedir. Floresan lambaların kaplanması, cam yapımında, bazı işletmelerde köpük azaltıcı olarak kullanılmasından dolayı bir şekilde içme suyuna geçebileceğini gösterir. Ama içme sularındaki Baryum konsantrasyonları tolere edilebilir seviyededir. Canlı vücudunun temel gereksinim duyduğu elementlerden biride Demir'dir. Demir hemoglobinin yapısında bulunmakla birlikte yaşamsal olaylar için önem arz etmektedir. Demir içeriğine bir başka açıdan yaklaşmaya çalışmak gerekir. Aktif karbon ve küçük gözenekli filtrelerin gelişimi öncesinde Demir sularında oldukça yüksek seviyelerde bulunurdu fakat son zamanlarda içme suyundaki Demir miktarları insan vücudunun içme suyundan günlük alması gereken miktarların altında (300 µg/L) seyretmektedir. Çıkan sonuçlarda bu ifadeleri desteklemektedir. Dolayısıyla içme suyunu saflaştırma işleminin kontrollü yapılması gerekmektedir. Demir elementinde ifade edilen durum Çinko elementi içinde geçerlidir. Analiz sonuçlarında sırasıyla Kadmiyum, Kalay ve Civa gibi sağlığa çok zararlı ağır metal elementlerin analiz edilen içme sularında dedeksiyon limitlerinin altında bulunduğu belirlenmiştir. Kobalt ve Nikelin ise önemli bir oranda bulunmadığı gözlemlenmiştir. Diğer bir zararlı ağır metal olan Kurşunun ise bazı lokasyonlarda belirlendiği, bununda muhtemel sebepleri arasında Kurşun içeren su tesisatlarının ve hatların aşınarak içme suyuna göç etmesidir. Bulunan bu Kurşuna rağmen konsantrasyonları izin verilen limitlerin içerisinde. Ayrıca Selenyum, Bakır gibi temel elementlerde sağlığa zararlı olmayacak konsantrasyon seviyelerinde gözlenmiştir.

IV. SONUÇ

Yeryüzünün en önemli tüketim maddesi sudur. İnsan vücudu yaşamsal fonksiyonları düzenli bir şekilde devam ettirebilmesi için suya ihtiyaç duyar. Bu nedenle içme sularında bulunan inorganik kirletici sınıftaki ağır metallerin düzenli bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada içme suyundaki ağır metal konsantrasyonlarının dünya sağlık örgütünün (WHO) içme suyunda izin verdiği limitlerin altında olduğu gözlenmiştir. Ayrıca analiz edilen içme sularının ağır metal seviyeleri bakımından Çevre ve Orman Bakanlığının su kirliliği kontrol yönetmeliğinde bulunan kıta içi su kaynaklarının sınıflara göre ayrıldığı tabloda, birinci sınıf içme suyu kalitesinde olduğu belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR: Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Merkezine ve kıymetli eşime katkılarından dolayı teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

- [1] WHO, Our Planet, Our health, Report of the WHO Commission on health and Environment World Health Organization, Geneva, 2 (1992). (<http://www.who.int/en/>)
- [2] F.X.R.Van Leeuwen *Food and Chemical Toxicology* **38** (2009) 51.
- [3] H. Symon *Human Activities Sci. Total Environ.* **57** (1986) 129.
- [4] USEPA/Global Program of action, Why the Marine Environment Needs Protection From Heavy Metals UNE/GPA Coordination office.
(http://www.oceansatlas.org/unatlas/uses/uneptextsph/wastesph/260_2_gpa_2004)
- [5] M.S. Holt *Food and Chemical Toxicology* **38** (2000) 21.

- [6] M. Ak, G. Akın *Ankara Üniv. Dil ve Tarih-Coğrafya Fak. Dergisi*, **47(2)** (2007) 105.
- [7] L. Jarup *British Medical Bulletin* **68** (2003) 167.
- [8] J.P. Buchet, R. Lauwerys, H. Roels, A. Bernard, P. Brauex, F. Claeys, G. Ducoffre, P. DePlaen, J. Staessen, A. Amery, P. Lijnen, L. Thijs, D. Rondhia, F. Sartor, A. Saint Remy, L. Nick *The Lancet* **336** (1990) 699.
- [9] L. Jarup, L. Hellstrom, T. Alfven, M.D. Carlsson, A. Grubb, B. Persson, C. Pettersson, G. Spang, A. Schütz, C.G. Elinder *Occup Environ. Med.* **57** (2000) 668.
- [10] T. Makino, *National Institute for Agro-Environmental Science*, **3-1-3**
- [11] Inorganic Lead. *Environmental Health Criteria, WHO*, **165** (1995) Geneva.
- [12] J.O. Duruibe, M.O.C. Ogwuegbu, J.N. Egwurugwu *International Journal of Physical Sciences* **2(5)** (2007) 112.
- [13] K. Nolan *J. Orthomol Psychiatry* **12** (2003) 270.
- [14] R. Bentley, T.G. Chasteen *Microbiology Molecular Biology Reviews.* **66(2)** (2002) 250.
- [15] J.H. Menkes, M. Alter, G.K. Steigleder, D.R. Weakley, J.H. Sung *Pediatrics* **29(5)** (1962) 764.
- [16] A.L. Jones, P.I. Dargon *Hepatic Toxicology (Chapter 11) in Shannon Haddad and Winchester's Clinical Measurement of Poisoning and Drug Overdose* Saunders (2007).
- [17] S.C. Luza, H.C. Speisly *American Journal of Clinical Nutrition* **63** (1996) 812.
- [18] J.A. Janus, E.I. Krajnc *National Institute of Public Health and Environmental Protection Appendix*, Bilthoven Netherlands, 1990.
- [19] D.R. Lynam, J.W. Roos, G.D. Pfeifer, B.F. Fort, T.G. Pullin *Neurotoxicology*, **20** (1999) 145.
- [20] ATSDR, *United States Department of Health and Human Service, Public Health Service Agency for Toxic substances and Disease Registry* (2000)
(<http://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-7.pdf>)
- [21] G.Q. Yang, S.Z. Wang, R.H. Zhou, S.Z. Sun *American Journal Clinical Nutrition* **37** (1983) 872.
- [22] J. Högborg, J. Alexander *Handbook on the Toxicology of Metals* **2** (1986) 482.
- [23] R.L. Commissaris, J.J. Cordon, S. Sprague, J. Keiser, G.H. Mayor, R.H. Rech *Neurobehavioral toxicology and teratology* **4** (1982) 403.
- [24] F.C.V. Potocnik, S.J. van Rensburg, D. Hon, R.A. Emsley, I.M. Moodie, R.T. Erasmus *Metab. Brain. Dis.* **21(2)** (2006) 139.
- [25] Y.F. Lin, J. Wang, A.J. Valocchi, Application for Water Resources Research, Making Groundwater Recharge and Discharge Estimate Maps in One Day An ArcGIS 9.2, ArcUser (<http://www.esri.com/news/arcuser/0408/groundwater.html>)