

Ankara İli İlçelerinde Musluk Sularında Seçilmiş Uçucu Organik Bileşiklerin (UOB) Varlığının Araştırılması*

Investigation of the Presence of Selected Volatile Organic Compounds (VOC) in Tap Water in Ankara Provincial Districts

Onur Kenan Ulutaşⁱ, Bengüsu Aslanⁱⁱ

ⁱDr. Öğr. Üyesi, Gazi Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, F. Toksikoloji AD. <https://orcid.org/0000-0001-8819-9461>

ⁱⁱLisans Öğrencisi, Gazi Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi. <https://orcid.org/0000-0002-4828-9195>

ÖZ

Amaç: Su kaynaklarının temizliği ve güvenilirliği konusu halk sağlığı açısından düzenli ve sürekli kontrol altında tutulan bir husustur. Bununla birlikte, düzenli olarak kontrol edilen kimyasal kirleticilerin listesi sınırlıdır ve bölgesel veya zamana bağlı değişikliklerle meydana gelen bazı kirleticilerin varlığının gözden kaçabileceği unutulmamalıdır. Uçucu Organik Bileşikler (UOB), hem havaya buharlaşan hem de suda çözünen organik kimyasallardır. UOB normal günlük hayatımızda sanayide, tarımda, ulaşımda ve birçok işlemden kullanıldığı için günlük yaşamda yaygındır. Yaygın olarak kullanılan UOB çevreye salındığı bilinmekte ve su kaynaklarına ve yer altı sularına ulaştıklarında, birçok UOB kalıcı hale gelebilmekte ve içme suyu tedarik sistemine dahil olabilmektedirler. Bu kimyasalların birçoğu zehirli olup ve içme suyu veya çevrede insan sağlığı veya ekolojik kaygılar oluşturabilmektedirler. Uçucu organik kirleticiler de büyük bir çeşitlilik göstermektedir ve uzun vadeli ve ülke çapında geniş ve yaygın kaynaklara dayalı araştırmalar, su kaynaklarında bazı UOB görüldüğünü göstermektedir.

Yöntem: Bu çalışmada Ankara ilindeki musluk sularında bölgesel bir su kirliliği olup olmadığını tespiti için sinyal araştırması yapılmıştır. Ankara ili ilçelerinden musluk suyu numuneleri alınmış olup, UOB miktarı Head Space Gaz Kromatografisi yöntemi ile ölçülmüştür.

Bulgular: Formaldehit, n-pentan, tertbutilmetileter, n-hekzan, etilasetat, heptan, 1-butanol, 1,4-dioksan için gerçekleştirilen ölçümler tayin sınırları (LOD) altında kalmıştır.

Sonuç: Çalışmanın sonuçları, ilin herhangi bir bölgesinde seçilmiş 8 adet UOB kimyasalı için kirliliğe işaret eden bir sinyal olmadığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: İçme suyu, Uçucu organik bileşikler, Kirlilik

ABSTRACT

Objective: The cleanliness and reliability of water resources is an issue that is kept under regular and continuous control in terms of public health. However, the list of regularly controlled chemical pollutants is limited and it should be noted that the presence of some pollutants that occur with regional or temporal changes may be overlooked. Volatile Organic Compounds (VOC) are organic chemicals that both evaporate into air and dissolve in water. VOC are common in everyday life, used in industry, agriculture, transportation and many processes. They are known to be released into the environment, can reach water sources and groundwater, may become persistent and enter the drinking water supply system. Many of these chemicals are toxic, may pose human health or ecological concerns. Volatile organic pollutants also show great diversity, and long-term and nationwide studies based on large and widespread sources indicate that some VOC are seen in water sources.

Method: In this study, a signal search was conducted to determine whether there is a regional water pollution in tap waters in Ankara. Tap water samples were taken from the districts of Ankara and the amount of VOC was measured by Head-Space-Gas-Chromatography method.

Results: Measurements performed for formaldehyde, n-pentane, tertbutylmethylether, n-hexane, ethylacetate, heptane, 1-butanol, 1,4-dioxane were below the limits of detection (LOD).

Conclusion: The results of the study show that there is no signal indicating pollution for 8 selected VOC in any region of the province.

Keywords: Drinking water, Volatile organic compounds, Pollution

*Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi 2023; 13 (2):428-436

DOI: 10.31020/mutfd.1221320

e-ISSN: 1309-8004

Geliş Tarihi – Received: 19 Aralık 2022; Kabul Tarihi - Accepted: 17 Nisan 2023

İletişim - Correspondence Author: Onur Kenan Ulutaş <onurkenan@gmail.com>

Giriş

Ankara ilinin nüfus gelişimine bakıldığında, ülke ortalamasının üzerinde bir nüfus artış hızı yakalandığı görülmekte olup, Ankara ilinin 1990 – 2000 döneminde yıllık nüfus artış hızı %21.4 olarak tespit edilmiştir.¹ 2007 yılı itibari ile adrese dayalı kayıt sistemi ile nüfus tespiti sistemine geçildikten sonra 2007-2021 yılı senelik bazlı nüfus artışı ortalaması %18,0 olarak hesaplanabilmekte; 2008-2011, 2013-2015, 2018-2019 yıllarında senelik artışın %20'nin üstünde görülmektedir.² Elbette bu hızlı büyüme, büyük bir nüfus artışına ve nüfus artışı da içme suyu kaynağı ihtiyacında ciddi bir talep olarak ortaya çıkmıştır. Kızılırmak-Kesikköprü, Elmadağ-Karagli Yeraltı Barajı, Kavşakkaya Barajı, Akyar Barajı, Çubuk Barajı, Eğrekkaya Barajı, Kurtboğazi Barajı, Çamlıdere Barajı ile su kaynakları sağlanmakta olup, bu su kaynakları, toplam 9 adet su arıtma tesisi ile arıtılmakta ve şebekeye Türk Standartlarına ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sınır değerlerine uygun olacak şekilde verilmektedir. Bu arıtma işlemi sonrasında ev içme suyu dağıtımına çıkana kadar yine bir çok kontrolden geçmekte olan içme suyu, akrilamid, antimon, arsenik, benzen, benzoapiren, bor, bromat, kadmiyum, krom, bakır, siyanür, 1,2-dikloroetan, epikloridin, florür, kurşun, civa, nikel, nitrat, nitrit, pestisitler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, selenyum, tetrakloroeten, trikloroeten, trihalometan, vinil klorür, alüminyum, amonyum, klorür, demir, mangan, sülfat, sodyum, trityum için kontrole tabi tutularak, güvenilir sınırlar içinde bulunması kontrol edilerek ve sağlanarak halka sunulmaktadır.³

Görüldüğü gibi su birçok denetimden geçmektedir ve bütün mesele içme suyunun en sağlıklı şekilde halkın kullanımına sunulmasıdır ancak tüm kimyasal bileşikler kontrol etmek elbette mümkün değildir. Endüstriyel faaliyetler sonucu atıklar ve sanayi gazları ortaya çıkabilmekte, bunun dışında tarım alanları ile şehirlerin iç içe karışması ile su kaynaklarının çevrelerinde tarımsal faaliyetlerin yürütülüyor olması ve bu sırada kullanılan kimyasallar hem çevre açısından risk oluşturmaktadır hem de insan sağlığı açısından önemli bir sağlık risk faktörü olmaktadır. Bu maddelere, uzun süre az miktarlarda dahi maruz kalınması, insan vücudunda biyobirikime sebep olabileceğinden hava, su ve topraktaki kirletici kimyasal miktarlarının sürekli kontrol edilmesi ve izlenmesi gerekmektedir.⁴

Çevresel kirlenmeden sorumlu ve çeşitli sağlık riskleri oluşturan bir diğer kimyasal grup da Uçucu Organik Bileşikler, UOB (Volatile Organic Compounds, VOC)" olarak anılmaktadır. UOB çözücüler, yakıtlar, cila ve boyalar, yapışkanlar, soğutucular, deodorantlar, petrol esaslı yakıtlarla ve farmasötik ve tarımsal ürünlerin üretiminde bulunabilmektedir. İnsan yapımı, karbon zinciri temelli, normal oda sıcaklığında yüksek buhar basıncına sahip organik kimyasallar olup, kimyasal yapıları ve fiziksel özellikleri sayesinde su ortamında kolayca yayılabilmektedirler. Su ortamında bulunması, çoğu zaman bir üretim alanından gelen bir kimyasal dökülme veya endüstriyel kirlilik belirtisi olup, suda çözüldüklerinde/dağıldıklarında da renksiz ve insan tarafından genel olarak kokusu alınamayan kimyasallardır.⁵ Kanserojen ve toksik özelliğe sahip insan ve çevre sağlığı açısından risk taşıyan UOB mevcut olup, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği çerçevesinde belirlenmiş kriterlere bağlı kalarak su kaynaklarının insanlara ulaştırılmasında gerekli testleri yapmakta ve uygun seviyelerde ve izin verilen değerlerde içme suyu halka sunulmakta, ilgili kontrol edilen kimyasallar arasında 1,2-dikloroetan, benzen, trikloroetilen, tetrakloroeten, tribromometan uçucu organik kirleticilerin var olduğu da görülmektedir.^{6,7}

Bu kimyasallar ulusal listelerde tanımlanmış ve kontrolü yapılıyor olsa da, daha bir çok kirletici ya da kirletici göstergesi uçucu organik kimyasal bileşikler bulunmakta ve çevrede izleme ve değerlendirme yapılması gerektiği ortadadır. Amerika Birleşik Devletleri'nin Coğrafi İzleme Kurumunun Ulusal Su Kalitesi Değerlendirme Programı kapsamında 3498 su kaynağı/kuyusu örneğinin %19'unda, ölçülebilir seviyede UOB varlığı olduğu gösterilmiştir. Bu ölçüm sonucu elde edilen bilgiler sonucunda da kirlilik sebebinin ya da kaynağının tespitine yönelik bilgi verdiği için su kaynaklarının uçucu organik birleşikler açısından incelenmesinin gerekliliği vurgulanmaktadır.⁸

Bu bilgilerden hareketle başlattığımız çalışmamızda sanayi, tarım ve ulaşımda kullanılan, şehir ve çevresinin sanayi ve ulaşımdan kaynaklanan kirliliği yansıtacak şekilde 8 adet UOB seçilmiş olup; Ankara İli sınırları içinde nüfus yoğunluğunun en yüksek olduğu ilçelerini tamamını kapsayacak şekilde Çankaya, Yenimahalle, Keçiören, Haymana, Etimesgut, Polatlı ve Gölbaşı ile karşılaştırma yapılabilmesi için Çamlıdere ilçelerinden toplanan musluk sularında, bölgesel olarak kirlenmeye işaret eden herhangi bir işaret olup olmadığına yönelik seçilen UOB'lerin tespit çalışmaları yapılmıştır.

Gereç ve Yöntem

Numunelerin Toplanması

Ankara kent nüfus yoğunluğunun en yüksek olduğu ilçelerini tamamını kapsayacak şekilde su örneklerinin toplanması gerçekleştirilmiştir. Kent içi ve yoğun yerleşim merkezi olarak Çankaya, Yenimahalle, Keçiören, Haymana, Etimesgut, Polatlı, Gölbaşı ilçelerinden; muhtemel bir karşılaştırma sağlaması açısından ise nüfus yoğunluğunun çok az olduğu, çevresinde de sanayi ve otoyol hattının oldukça az olduğu Çamlıdere ilçesinden şehir şebekesine bağlı ev içi çeşme suyu örnekleri Haziran 2022 ayında toplanmıştır. Numuneler analiz gününe kadar -20°C'de saklanmıştır.

Kimyasallar

Uçucu organik bileşikler n-pentan, formaldehit, tertbutilmetileter, n-hekzan, etilasetat, heptan, 1-butanol, 1,4-dioksan'ın standart çözeltileri deiyonize su ile hazırlanmıştır. Deiyonize su (18 MΩ cm-) bir Milli-Q su arıtma sisteminden (Millipore, Bedford, MA, ABD) elde edilmiştir. Yüksek saflıkta helyum, hidrojen ve kuru hava gazları (gaz kromatografisi için), Hatgrup Sanayi ve Tıbbi Gazlar A.Ş., Ankara, Türkiye'den satın alınmıştır.

Kromatografik Koşullar

Uçucu organik bileşikler n-pentan, formaldehit, tertbutilmetileter, n-hekzan, etilasetat, heptan, 1-butanol, 1,4-dioksan analizleri Head Space Gaz Kromatografisi Alev İyonizasyon Dedektörü (HS-GC-FID) ile gerçekleştirilmiştir. Cihazda yapılan çalışmalarda optimize edilmiş yöntem bilgisi **Tablo 1'**de verilmiştir.^{9,10}

Tablo 1. Numene analizde kullanılan head space örnekleyici parametreleri ve gaz kromatografisi yöntemi koşulları verilmiştir.

| Gaz Kromatografisi Yöntem Koşulları | |
|---|---|
| Enjektör sıcaklığı | 200 °C |
| Dedektör sıcaklığı | 230 °C |
| Helyum (taşıyıcı gaz) debisi | 1 mL/dak, sabit akış modu |
| Hidrojen | 30 ml/dk |
| Kuru hava | 400 ml/dk |
| Bölünme (split) oranı | 1:200 |
| Fırın programı | 40 °C (5 dk), 60°C'ye 5 °C/dk artışla (0 dk), 30 °C/dk artışla 150 °C'ye (1 dk). Post run 210 °C (1 dk) |
| Ekstraksiyon yeri | Head space |
| Örnek enjeksiyonu | Head space |
| Head Space Örnekleyici Parametreleri | |
| Fırın sıcaklığı | 130 °C |
| Döngü sıcaklığı | 135 °C |
| Transfer hattı sıcaklığı | 140 °C |
| Enjeksiyon hacmi | 1 mL |
| GC çevrim süresi | 13 dk |
| Head Space şişesi denge süresi | 2 dk |
| Enjeksiyon süresi | 0,06 dk |

Kalibrasyon Standartlarının Hazırlanması

Analitlerin çalışma standardı çözeltileri gravimetrik yöntemle hazırlanmış ve analitin buharlaşmasını önlemek için analitin suya eklenmesi prosedürü uygulanmıştır. Her bir doğru ağırlıklandırılmış standart, hacimsel şişeye ilave edilerek deiyonize su ile 10 mL'ye seyreltilmiştir. Şişe kapakları hemen kapatılarak vortekslenmiştir.

Ardından 2 mL standart karışımı, 20 mL'lik head space şişesine aktararak bekletilmeden Headspace kırımlı Alüminyum kapaklar ve PTFE/Si septum ile kapatılmıştır. Bekletilmeden HS-GC-FID ile analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon standartları taze olarak hazırlanmış, pik alanlara karşı standart konsantrasyonlarının yüzdesine karşı altı noktalı kalibrasyon eğrisi çizilmiştir.

Yönteme Ait Diğer Bilgiler

Yöntem, standart prosedürlere göre doğrulanmıştır.¹¹ Her bir analit için tespit alt sınırı (LOD), sinyal/gürültü (S/N) oranı 3 olarak elde edilen tespit edilebilir konsantrasyon olarak tanımlanırken, tayini alt sınırı (LOQ), S/N'si 10'u veren tespit edilebilir konsantrasyon olarak tanımlanmıştır. UOB tanımlanması, numunelerin aynı kromatografik koşulları altında alıkonma sürelerinin (tR) saf standart ile karşılaştırılmasına dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. UOB standart karışımının kromatogramı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Yapılan ölçümlerde UOB kimyasalları ile hazırlanan kalibrasyon denklemleri, tespit ve tayin sınırları verileri **Tablo 2'**de verilmiştir.

Tablo 2. Ölçümlenen uçucu organik bileşikler için hazırlanan standart çözeltiler ile elde edilen kalibrasyon denklemleri, tespit alt sınırları (LOD) ve kantitatif tayin alt sınırları (LOQ)

| | LOD, ug/L | LOQ, ug/L | Kalibrasyon denklemleri | R ² |
|---------------------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|
| n-pentan | 0,0129 | 0,0390 | $y = 13237x + 28,105$ | 0,9379 |
| formaldehit | 0,1096 | 0,3321 | $y = 1806,3x + 3,7931$ | 0,9318 |
| tertbutilmetilether | 0,0301 | 0,0912 | $y = 6632x + 23,522$ | 0,9882 |
| n-hekzan | 0,0543 | 0,1646 | $y = 3485,3x + 16,885$ | 0,9241 |
| etilasetat | 0,1267 | 0,3839 | $y = 1942,5x + 3,4054$ | 0,9881 |
| heptan | 0,3666 | 1,1109 | $y = 2273,9x + 47,178$ | 0,9995 |
| 1-butanol | 0,5470 | 1,6577 | $y = 487,84x + 0,8752$ | 0,9737 |
| 1,4-dioxan | 5,1345 | 15,5590 | $y = 72,565x + 0,4584$ | 1,0 |

Bulgular

Gaz Kromatografisi ile uçucu organik bileşiklerin ölçüm ve tayin sınırları kalibrasyon eğrilerinin çıkarımından sonra numuneler ile gerçekleştirilen ölçümlerde, uçucu organik bileşikler için gerçekleştirilen ölçümlerde, ölçümü yapılan kimyasal bileşikler için ölçüm sonuçları tüm örnekler için tayin ve ölçüm sınırlarının altında kalmıştır.

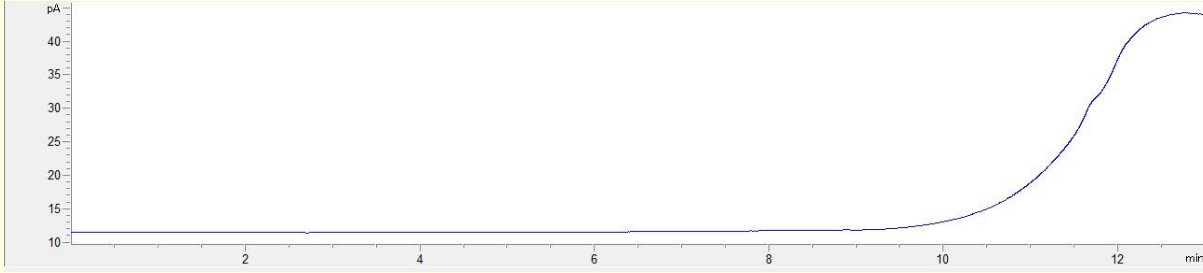
Çalışma kapsamında Ankara ili ilçelerinden toplanan su numuneleri, ölçümü gerçekleştirilen uçucu organik bileşikler açısından bir kirlilik varlığına dair sinyal vermemiştir. Örnek sonuçları **Tablo 3'**de özetlenmiştir.

Tablo 3. Uçucu organik bileşikleri için Ankara ile ilçelerinde çeşme suyu örneklerinde gerçekleştirilen ölçümlerin sonuçları

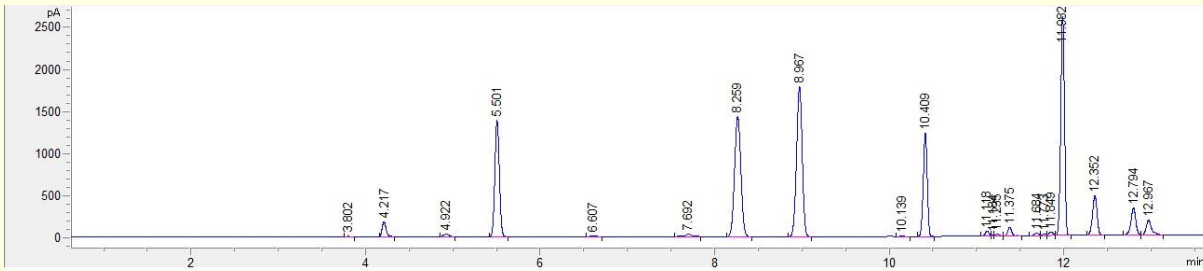
| | Çankaya | Yenimahalle | Keçiören | Etimesgut | Haymana | Polatlı | Gölbaşı | Çamlıdere |
|---------------------|---------|-------------|----------|-----------|---------|---------|---------|-----------|
| n-pentan | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD |
| formaldehit | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD |
| tertbutilmetilether | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD |
| n-hekzan | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD |
| etilasetat | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD |
| heptan | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD |
| 1-butanol | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD |
| 1,4-dioksan | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD | < LOD |

LOD seviyeleri n-pentan 0,0129 ug/L; formaldehit 0,1096 ug/L; tertbutilmetileter 0,0301 ug/L; n-hekzan 0,0543 ug/L; etilasetat 0,1267 ug/L; heptan 0,3666 ug/L; 1-butanol 0,5470 ug/L; 1,4-dioksan 5,1345 ug/L

Çalışmada ölçümü yapılan bir numunenin kromatogramı **Şekil 1**'de, kalibrasyon denklemlerinde kullanılan spike edilmiş numune kromatogramı **Şekil 2**'de verilmiştir.



Şekil 1. Çankaya ilçesine ait numune örneği ile HS-GC-FID gerçekleştirilen ölçüme ait kromatogram



n-pentan 0,067 g/mL; formaldehit 0,045 g/mL; tertbutilmetileter 0,082 g/mL; *n*-heksan 0,073 g/mL; etilasetat 0,096 g/mL; heptan 0,075 g/mL; 1-butanol 0,089 g/mL; 1,4-dioksan 0,113 g/mL; metanol 0,088 g/ml içeren karışım. Uygulama seyreltme oranı 1/100. Internal standart: metanol.

Şekil 2. Uçucu organik bileşiklerle spiked edilmiş bir örnek ile HS-GC-FID gerçekleştirilen ölçüme ait kromatogram

Tartışma ve Sonuç

Normalde, içme suyundaki kirletici seviyeleri akut sağlık etkilerine neden olacak kadar yüksek değildir. Bunun yerine, genellikle uzun süreler boyunca küçük miktarlara maruz kaldıktan sonra ortaya çıkan kronik etkiler gözlemlendiği bilinmekte; kronik sağlık etkileri arasında sinir sistemi bozuklukları, karaciğer ve böbrek hasarı, lösemi, üreme sistemi ve bağışıklık sistemi eksikliklerinin yanı sıra çeşitli kanser türleri yer aldığı bildirilmektedir.^{12,13}

Ankara ili genelinde Sağlık Bakanlığı ve ASKİ Genel Müdürlüğü ortak kararı ile şebeke sistemini ve yaşayan nüfusu temsil edecek şekilde denetleme izlemeleri yapılmakta, bazı noktalarda elde edilen olası kimyasal/kirlilik yükü miktarına göre de artan sayılarda kontrol izlemeleri gerçekleştirilmekte, hali hazırda sonuç olarak su ile ilgili ulusal ve uluslararası kalite kontrol kriterleri karşılayacak şekilde çalışmalar yapıldığı görülmektedir.³ Yapılan çalışmalar su için belirlenmiş sayıda kimyasal düzeyinde gerçekleştirilmekte, denetleme ve kontrol izleme sayıları bölgesel olarak artış sağlasa bile kriterlerde yer almayan olası durum ve kimyasal miktarları için ölçüm yapıldığına dair bir bilgi açıklanan raporlarda yer almamaktadır.¹⁴

Ankara ili ve çevresinde su kirliliğinin varlığı ve su kirliliğinin çevre yaşamına ilgisi üzerine yoğunlaşan çalışmalar bulunmakta olup, Türkiye popülasyonunun %98.6'sından fazlasına insani amaçlı su tüketiminde şehir şebeke/musluk suyunun kullanılması nedeniyle, doğrudan Ankara ilinde yaşayanların ev su kullanımında maruz kalınan kirlilik düzeyine yönelik bilgi verememektedir.¹⁵⁻²² Ankara musluk suyunda doğrudan perfluroalkil bileşikleri, perklorat bileşikleri, radyoaktif bileşikler ve uçucu organik bileşiklerden sayılan trihalometanlar bulunduğunu gösteren çalışmalar görülmekte olup, çalışmalar kimyasal ailelerine odaklanmakta, genel bir uçucu organik kirliliği taraması bilgisi bulunmamaktadır.²³⁻²⁵

Uçucu organik kirleticiler de çok sayıda çeşitlilik göstermekte olup, daha önce yapılmış uzun dönem ve ülke çaplı geniş ve yaygın kaynaklara dayanılarak yapılan çalışmalarda bazı UOB su kaynaklarında görüldüğü

belirtmiştir. Bu çalışmalardan değerlendirilecek kirlilik türüne göre farklı UOB bileşikleri belirlemek ve tespitlerinin yapılabileceği görülmektedir.⁸

Özellikle ayakkabı, deri ve çatı kaplama ürünleri için yapıştırıcıların formülasyonunda ve ayrıca çeşitli ürünlerin temizlenmesi ve yağdan arındırılması ile tekstil imalatında bir çözücü olarak kullanılması nedeniyle endüstriyel ortamlarda sıklıkla tercih edilen hekzan; yine sanayide yağ çözücü olarak sıklıkla kullanılan, özellikle ticari uygulamalarda boya ve kaplama sanayinde tüketici ürünlerinde sıklıkla karşılaşılmakta olduğu için heptan; yüksek oktanlı benzin üretiminde de sıklıkla kullanıldığı bilinen ve yine sanayide köpük formu geliştirmede ve özellikle sık kullanılan polistiren köpük için yapısal madde olan pentan; araba fren ve hidrolik sıvılarının büyük bir çoğunluğunu oluşturan, araç akaryakıtlarına da katılan bütanol; sanayi üretimde sıklıkla kullanıldığı gibi, araba egzoz dumanında da bulunup çevresel yayılımı olduğu bilinen formaldehit; sanayi kullanımı ya da yan ürün olarak kozmetik kirletici olmanın yanısıra aslında su ve toprakta birikme eğiliminde olan ve yer altı su kirliliği problemlerine çoğu zaman yol açtığı tespit edilen dioksan; hem sanayi hem tüketici ürünlerinde yapıştırıcı, boya ve parfümde solvent olarak oldukça geniş bir kullanımı bulunan etilasetat; araç akaryakıtlarında vuruş önleyici olarak oldukça yüksek miktarlarda kullanılan ve çevresel yıkıma dayanıklı olduğu için de çevresel kirletici olduğu bilinen; kullanımına yönelik kısıtlamalarına rağmen halen su kaynaklarında yaygın olarak bulunabilen ve izlenmesi gerektiği çalışmalarda ifade edilen tertbutilmetileter, tarım, endüstriyel ve şehir yaşamını kapsayacak şekilde kent ve çevresinde sanayi ve trafik kaynaklı kirliliği yansıtaacağı düşünülerek seçilmiştir.²⁶⁻³³

İçme suyu düzenlemelerine ve kontrol uygulamalarına rağmen ve içme suyu tüketimden önce neredeyse her zaman dezenfekte edilmesine rağmen, içme suyunda UOB varlığını belirlemek için beş Meksika kentinden alınan örnekleri analiz edildiği bir çalışmada örneklerin% 88'inde benzen bulunduğunu saptanmış, içme suyunda benzen oluşumuna, yeraltı petrol depolama tanklarından sızıntılar ve bu ürünlerin kazara dökülmeleri ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir.³⁴ Ülkemizde UOB kirliliğini ölçmek üzerine çalışma sayısı oldukça az olup, Balıkesir ili atmosferindeki UOB kirlilik ve kaynaklarını belirlemek için yapılan bir çalışmada, en baskın UOB kaynağın trafik olduğu tespit edilmiş, öte yandan endüstriyel faaliyetlerin kentin toplam VOC yüküne katkısı da anlamlı bulunmuş, küçük bir şehirdeki endüstriyel faaliyetlerin bile kentsel toplam VOC yükü için önemli olabileceği sonucuna varılmıştır.³⁵ Çalışmada, UOB kirliliğinin su kaynağı çevrei örnekleme noktalarında daha yüksek bulunması nedeniyle su kalitesi üzerinde bir etkisi olabileceği iddia edilebilir olduğu, su kalitesinin korunması için gerekli önlemler alınması için UOB kirliliği açısından dikkatle incelenmesi gerektiği de vurgulanmıştır.³⁵ Endüstriyel, kentsel aktivite, trafik gibi kaynakların su kaynaklarında yaratmış olduğu UOB kirlilik olasılığı vurgulanmış olsa da ülkemizde bu konuda yapılan çalışma sayısı ne yazık ki hiç yok denecek kadar azdır.

Ankara içme suyunda UOB olarak tanımlanan trihalometanların (THM) oluşumunu araştırmak üzere Tokmak ve arkadaşları çalışmamızdakine benzer şekilde ilçelerden tüketici musluk suyu örnekleri toplayarak THM içeriği açısından analiz etmişlerdir. Tüm çalışılan numunelerde kloroform olduğu olduğunu gözlemlerken, hiçbirinde bromoform bulunamadığını çalışmalarında belirtmişlerdir. İlgili çalışmada incelenen THM bileşikleri, endüstriyel, tarımsal işlem veya şehir yaşamına bağlı olarak oluşan kimyasallar olmadığı, tamamıyla suyun klorlanması ve dezenfeksiyonu sırasında ortaya çıktığını bildirmişlerdir.²³ Uluslararası çalışmalarda da, THM içeriklerinin suyun klorlanması nedeniyle tüm örneklerde zaten karşılaşıldığı, asıl endüstriyel tesisler ve benzin istasyonları gibi içme suyunu kirleten diğer kirlilik kaynakları daha fazla araştırılması gerektiği vurgulanmıştır.³⁶ İzmir ilinde, 100 evden alınan içme suyu örneklerinde 54 UOB derişimleri ölçülmüş olup, kloroform, bromodiklorometan, dibromoklorometan ve bromoform, benzen, toluen, p-ksilen, ve naftalin en sık belirlenen kimyasallar olduğu gözlenmiş, metropol alanda ölçülen derişimler bütün uçucu organik maddeler için diğer ilçelerde ölçülenlerden daha yüksek bulunduğu bilgisi de

verilirken, Türkiye’de içme sularındaki farklı UOB kirletici seviyeleri ile ilgili daha fazla çalışma gerekli olduğu da vurgulanmıştır.³⁸

Analitik prosedürlerin seçiminde sadece hedef bileşiklerin tespiti hedeflenmemekte, özellikle konsantrasyonların düşük olduğu çevresel matrislerde, analitik aletin hassasiyetine uymak için uygun örnekleme ve ön-işlem tekniklerinin gerekliliği de önem arz etmektedir. İçme ve doğal su örneklerinde bulunan UOB konsantrasyon seviyeleri genellikle ppb ($\mu\text{g L}^{-1}$) olmakta, hem konsantrasyon hem de örnek matrisinden doğrudan ölçümlene sağlanması nedeniyle Headspace Gaz kromatografisi yaklaşımı, sulu matrislerden UOB ekstraksiyonu için yaygın olarak kullanılmaktadır.³⁹⁻⁴¹ Diğer uçucu organik bileşiklerin ölçümlerinde de valide ve optimize olarak kullanıldığımız çalışmamızdaki head space gaz kromatografisi tekniği de, ppt (ng L^{-1}) ile ppb ($\mu\text{g L}^{-1}$) seviyesinde ölçüm hassasiyetine sahip olması ile UOB ölçümü için uygun ve duyarlı olarak ön plana çıkmaktadır.^{9,10,42}

İçme suyunda uçucu organik bileşiklerin varlığı ve potansiyel insan sağlığı ilgisini araştıran çalışmalar, UOB kirliliğinin sulara kaynak bağımlı olduğunu ve göstermekte; oluşumu, sularındaki UOB kaynaklarını, taşınımını ve akıbetini anlamada yardımcı olabilmek adına, UOB analizlerinin yapımını önermektedirler.^{8,37} Çalışmamızda da tarım, endüstriyel ve şehir yaşamını kapsayacak şekilde kent ve çevresinde sanayi ve trafik kaynaklı kirliliği yansıtacağı düşünülen sekiz adet uçucu organik bileşik kimyasal seçilmiş, hiçbir kimyasal için tayin sınırı üzerinde bir kirlilik bilgisine ulaşılamamıştır.

Türkiye nüfusunun >%98,6’sı için kuyu suyu (veya doğrudan yeraltı suyu kullanımı) birincil kaynak olarak kullanılmamakta olup, çalışmamız doğrudan hane halkının olası kimyasal maruziyetini saptayabilmek adına çalışma musluk sularında gerçekleştirilmiştir.²² Çalışmada elde edilen bulgular ev içi maruziyet açısından, araştırılan kimyasallar adına bir maruziyet olmadığını göstermekte, su arıtma sisteminin iyi çalışmakta olduğu ya da ilgili kimyasallar için bir kirlenme etkeninin şehir şebeke su sistemini etkilemediğini düşündürmektedir. Bu çalışma yer altı sularında gerçekleştirilmediği bilgisiyle, ileri yapılacak su kirlilik kaynakları izleme çalışmalarında yeraltı sularının kirlilik açısından kontrol etmesi gerektiği de unutulmamalıdır.

Bilgi

Bu çalışma 2021 yılı TÜBİTAK 2209/A projesi desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma “Investigation of the presence of volatile organic pollutants (VOCs) in tap water in Ankara provincial districts” başlığıyla 2-5 Kasım 2022’de Antalya, Türkiye’de yapılan 11. Uluslararası Türk Toksikoloji Derneği Kongresi’nde sözlü olarak sunulmuştur.

Çalışmada yer alan yazarların konuyla ilgili bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırmacı Katkı Oranı Beyanı

Onur Kenan Ulutaş: Fikir / kavram, tasarım, veri toplama ve işleme, denetleme, analiz ve yorum, kaynak taraması, makale yazımı, eleştirel inceleme, kaynaklar ve fon sağlama.

Bengüsü Aslan: Fikir / kavram, tasarım, veri toplama ve işleme, denetleme, analiz ve yorum, kaynaklar ve fon sağlama.

Kaynaklar

1. Ankara Büyük Şehir Belediyesi. Sosyo-Demografik Yapı. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://www.ankara.bel.tr/files/3113/4726/7225/5-sosyodemografi.pdf>
2. Türkiye İstatistik Kurumu. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. [atıf tarihi: 24 Mart 2023] Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-SonucLari-2022-49685>
3. Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü. Ankaralının İçme Kullanma Suyu Kontrol Tablosu. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <http://www.aski.gov.tr/yukle/dosya/SuKaliteNoktalari.pdf>

4. Casarett and Doull's Toksikolojinin Temelleri. Watkins JB, Klaassen CD, editörler. (ISBN-13: 978-6059215183) Ankara Nobel Tıp Kitapevleri; 2017.
5. Güzel B, Canlı O, Öktem Olgun E. Sularda Bulunan Uçucu Organik Bileşikler ve Sağlığa Etkileri. Anadolu University Journal of Science and Technology C- Life Sciences and Biotechnology 2018;7:277-290.
6. CDC: Glossary of Volatile Organic Compounds. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://www.cdc.gov/nceh/clusters/fallon/glossary-voc.pdf>
7. Sağlık Bakanlığı. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/02/20050217-3.htm>
8. Zogorski JS, et al. The quality of our Nation's waters—Volatile organic compounds in the Nation's ground water and drinking-water supply wells: U.S. Geological Survey Circular 2006;1292:101 p. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1292/pdf/circular1292.pdf>
9. Berkkan A, Ulutaş OK. Analytical Performance And Validation Of Head Space – Gas Chromatography – Flame İonization Detector (HS-GC-FID) Method For Alcohol Content And Evaluation Of Efficiency And Possible Toxicity Of Hand Sanitizers At The Time Of Pandemic. Revue Roumaine de Chimie 2021;66:547–556.
10. Berkkan A, Ulutaş OK. Evaluation of Alcohol Content of Cologne Products in the Turkish Market Amid the COVID-19 Pandemic. Gazi Medical Journal 2020;31:513-517.
11. EMEA. Note for guidance on validation of analytical procedures: text and methodology (CPMP/ICH/381/95). London, UK: EMEA; 1995.
12. Calderon RL, et al. The Epidemiology of Chemical Contaminants of Drinking Water. Food and Chemical Toxicology 2000;38:S13-S20.
13. Cantor KP, et al. Drinking Water and Cancer. Cancer Causes and Control 1997;8:292-308.
14. Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü. Ankara Güncel Su Analiz Sonuçları. [atıf tarihi: 24 Mart 2023] Erişim adresi: <https://www.aski.gov.tr/TR/SuAnalizSonuclari.aspx>
15. Atıcı T, Ahiska S. Pollution and algae of Ankara Stream. Gazi University Journal of Science 2005;18(1):51-59.
16. Cok I, et al. Evaluation of DNA damage in common carp (*Cyprinus carpio* L.) by comet assay for determination of possible pollution in Lake Mogan (Ankara). Scientific World Journal 2011;11:1455-61.
17. Alkan A, Alkan N, Yanar B. Investigation of pollution levels originated from anthropogenic gadolinium in Ankara Stream. Environ Sci Pollut Res Int 2020;27(19):23677-23685.
18. Kucukosmanoglu AG, Filazi A. Investigation of the Metal Pollution Sources in Lake Mogan, Ankara, Turkey. Biol Trace Elem Res 2020;198(1):269-282.
19. Karakoç G, Erkoç FU, Katircioğlu H. Water quality and impacts of pollution sources for Eymir and Mogan Lakes (Turkey). Environ Int 2003;29(1):21-7.
20. Özer T, et al. Spatial and temporal variations in composition of algae assemblages with environmental variables in an urban stream (Ankara, Turkey). Environmental Monitoring and Assessment 2019;191(6):387.
21. Bakir B, et al. The quality of groundwater for certain chemicals in military fields in Ankara. Military Medicine 2003;168(12):1007–1010.
22. Türkiye İstatistik Kurumu. Belediye Su İstatistikleri. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Belediye-Su-Istatistikleri-2018-30668>
23. Tokmak B, et al. Trihalomethanes and associated potential cancer risks in the water supply in Ankara, Turkey. Environmental Research 2004;96(3):345-352.
24. Kapdan E, et al. Radioactivity survey and risk assessment study for drinking water in capital city Ankara, Turkey. International Journal of Environmental Analytical Chemistry 2022;0:1-13. <https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2109965>
25. Endirlik BÜ, et al. Assessment of perfluoroalkyl substances levels in tap and bottled water samples from Turkey. Chemosphere 2019;235: 1162-1171.
26. National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 8058, n-HEXANE. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/n-HEXANE>.
27. National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 8900, Heptane. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Heptane>.
28. National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 8003, Pentane. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Pentane>.
29. National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 263, 1-Butanol. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Butanol>.
30. National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 712, Formaldehyde. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Formaldehyde>.
31. National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 31275, Dioxane. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Dioxane>.

32. National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 8857, Ethyl Acetate. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethyl-Acetate>.
33. National Center for Biotechnology Information (2022). PubChem Compound Summary for CID 15413, Methyl tert-butyl ether. [atıf tarihi: 1 Aralık 2022] Erişim adresi: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methyl-tert-butyl-ether>.
34. Gelover S, et al. GC-MS Determination of Volatile Organic Compounds in Drinking Water Supplies. *Environmental Toxicology* 2000;15:131-139.
35. Yalçın E, et al. Potential sources and measured concentrations of VOCs in Balıkesir ambient atmosphere. *Atmósfera* 2020;33(3):269-284.
36. Kuo HW, et al. VOC concentration in Taiwan's household drinking water. *Sci Total Environ* 1997;208(1-2):41-7.
37. Rowe BL, et al. Occurrence and potential human-health relevance of volatile organic compounds in drinking water from domestic wells in the United States. *Environmental Health Perspectives* 2007;115(11):1539–1546.
38. Kavcar P, et al. Occurrence, oral exposure and risk assessment of volatile organic compounds in drinking water for İzmir. *Water research* 2006;40(17):3219–3230.
39. Dewulf J, Van Langenhove H. Anthropogenic volatile organic compounds in ambient air and natural waters: a review on recent developments of analytical methodology, performance and interpretation of field measurements. *J Chromatogr A* 1999;843(1-2):163-177.
40. Schmidt TC. Analysis of methyl tert-butyl ether (MTBE) and tert-butyl alcohol (TBA) in ground and surface water. *Trends Anal Chem* 2003;22:776-784.
41. Mohammadi A, Alizadeh N. Automated dynamic headspace organic solvent film microextraction for benzene, toluene, ethylbenzene and xylene. *J Chromatogr A* 2006;1107(1-2):19-28.
42. Ulutaş OK, Berkkan A. A new direct extraction by gas-chromatography with flame ionization detector coupled to head space method for the determination of alcohol content of high matrix wine products. *Rev. Roum. Chim* 2022;67(10–12):569–577.