Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 28(6), 901-911, 2022

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Karbon bazlı dezenfeksiyon yan ürünlerinin çoklu maruziyet yolları için kanser risklerinin değerlendirilmesi: Isparta içme suyu

Life-Time cancer risk assessment of carbonaceous disinfection by-products through multiple pathways of exposure in drinking water: Isparta distribution system

Cihan ÖZGÜR[1], Bilgehan İlker HARMAN[2], Hasan KOSEOGLU[2], Sehnaz Sule KAPLAN BEKAROGLU[2]*

[1]Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
cihanozgur@isparta.edu.tr

[2]Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
ilkerharman@sdu.edu.tr, hasankoseoglu@sdu.edu.tr, sulebekaroglu@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 13.07.2021 Düzeltme Tarihi/Revision: 29.10.2021 doi: 10.5505/pajes.2021.26053
Kabul Tarihi/Accepted: 16.11.2021 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ), öncül maddeler ve dezenfektanlar arasındaki reaksiyonlar sonucu oluşan mutajenik ve karsinojenik bileşiklerdir. Bu çalışma kapsamında, Isparta içme suyu dağıtım sisteminden bir yıl boyunca aylık olarak alınan numunelerde trihalometanlar (THM) ve haloasetik asitlerin (HAA) konsantrasyonlarının ve türleşmelerinin belirlenmesinin yanı sıra, yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyon yolları ile karbon bazlı DYÜ'lerden kaynaklanan yaşam boyu toplam kanser riskleri hesaplanmıştır. THM konsantrasyonu 24-57 µg/L aralığında, HAA konsantrasyonları ise 12-36 µg/L aralığında değişim göstermiştir. Çok yollu maruziyet dikkate alınarak hesaplanan en yüksek ortalama toplam kanser risk değeri erkekler için 8.3E-05 ve kadınlar için ise 8.1E-05'tir. THM kanser riskine en yüksek katkıyı inhalasyon (ortalama %62), ardından yutma (ortalama %27) ve en düşük katkıyı dermal (ortalama %11) maruziyet oluşturmaktadır. Isparta içme suyu dağıtım sisteminde, THM için hesaplanan kanser risk değerleri, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Teşkilatı (USEPA)'nın belirlediği ihmal edilebilir risk değerinden (1E-06) kadınlar için 81, erkekler için ise 83 kat daha fazladır. HAA için çoklu maruziyet yollarından kaynaklı ortalama toplam kanser riski erkeklerde ve kadınlarda sırasıyla 3.3E-05 ve 4.4E-05'dir. HAA için, ortalama toplam yaşam boyu kanser risk değerleri USEPA'nın belirlediği ihmal edilebilir risk değerinden kadınlar için 44, erkekler için 33 kat daha fazladır.

Anahtar kelimeler: Dezenfeksiyon yan ürünleri, Haloasetik asit, Kanser risk değerlendirilmesi, Toplum sağlığı, Trihalometan.

Abstract

Disinfection by-products (DBPs) are mutagenic and carcinogenic compounds formed as a result of reactions between precursors and disinfectants in water sources. The aim of this study is to monitor the concentration and speciation of trihalomethanes (THMs) and haloacetic acids (HAAs) and in water samples taken monthly from 5 points of the Isparta water distribution system for 1 year. Also, the lifetime cancer risk of THMs and HAA$_5$ through oral ingestion, dermal absorption, and inhalation exposure from tap water in 5 districts in Isparta are estimated. The total concentrations of THMs and HAAs in tap water samples were ranged 24-57 µg/L and 12-36 µg/L, respectively. The estimated total carcinogenic risk levels of THMs for male and female through ingestion, dermal absorption, and inhalation were 8.3E-05 and 8.1E-05, respectively. Among the three pathways studied in THMs exposure, inhalation contributed 62% of the total risk followed by oral exposure (27%) and dermal contact (%11). In the Isparta water distribution system, the total cancer risk values estimated for THM are 81 times higher for women and 83 times higher for men than the negligible risk value (1E-06) determined by the United States Environmental Protection Agency (USEPA). The estimated total carcinogenic risk levels of THMs for male and female through multi-pathway were 3.3E-05 and 4.4E-05, respectively. For HAA, the mean total lifetime cancer risk values are 44 times higher for women and 33 times higher for men than the negligible risk value determined by the USEPA.

Keywords: Cancer risk assessment, Disinfection by products, Haloacetic acid, Public health, Trihalomethane.

1 Giriş

Dezenfeksiyon, su kaynaklı bulaşıcı hastalıklara karşı halk sağlığının korunması için içme suyu arıtma tesislerinde uygulanan zorunlu bir prosestir. Dünya genelinde dezenfeksiyon prosesinde, düşük maliyet, kolay kullanım, kanıtlanmış teknoloji, yüksek verimlilik dahil olmak üzere bir dizi kritik avantaja sahip olması nedeniyle dezenfektan olarak klor yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğal organik maddeler ve inorganik maddeler ile klor gibi dezenfektanlar reaksiyona girerek mutajenik ve karsinojenik olan dezenfeksiyon yan ürünlerini (DYÜ) oluşturmaktadır [1],[2]. Literatürde, farklı dezenfektanlar ve bunların kombinasyonlarının kullanılması sonucunda yaklaşık 700 DYÜ türü oluştuğu tespit edilmiştir. Klorlanmış içme sularında tespit edilen ilk halojenli yan ürünler trihalometanlardır (THM) [3],[4]. İçme suyunda en fazla oluşan DYÜ türleri, birçok ülkede içme suyu yönetmeliklerinde yer alan THM ve haloasetik asitler (HAA)'dir [5],[6]. THM'ler, kloroform, diklorobromometan, klorodibromometan ve bromoform olmak üzere 4 bileşikten oluşmaktadır, kloroform genel olarak oluşan en baskın türdür [4],[7]. HAA, dokuz türden oluşmaktadır ve içme sularında oluşan en baskın türler dikloroasetik asit ve trikloroasetik asittir. Bromokloroasetik asit, dibromoasetik asit, monokloroasetik asit ve monobromoasetik asit de sularda tespit edilebilmesine rağmen oldukça düşük seviyelerde bulunmaktadır [8]. Amerika Birleşik

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na (USEPA) göre, THM ve HAA türleri B1, B2 ve C grupları olarak kategorize edilir [9]. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Teşkilatı (USEPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen içme suyundaki THM konsantrasyonu sırasıyla 80 µg/L ve 100 µg/L olarak sınırlandırılmıştır [10],[11]. Ülkemizde ise "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" te içme ve kullanma sularında bulunması gereken maksimum toplam THM konsantrasyonu 100 µg/L olarak belirlenmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda THM'lere maruziyet sonucu mesane, böbrek, göğüs ve karaciğer kanserleri arasında önemli bir ilişki olduğunu rapor edilmiştir [12]. Ayrıca son araştırmalar, THM'lerin intrauterin büyüme geriliği, düşük doğum ağırlığı, erken doğum, konjenital malformasyonlar ve ölü doğum gibi durumlara neden olabileceğini göstermiştir [13],[14]. Toksikolojik çalışmalar, birçok DYÜ türünün kanserojen ve teratojenik olduğunu ortaya çıkarmıştır ve epidemiyolojik çalışmalar, üreme sağlığı etkileri, astım ve mesane kanseri gibi çeşitli sağlık sorunlarının DYÜ'lere maruz kalma ile ilişkili olduğunu göstermiştir [15],[16]. Dezenfeksiyon sonrası arıtılmış su, içme ve günlük olarak aktif el yıkama, duş alma, yüzme, temizlik veya yemek pişirme için kullanılmaktadır [17]. HAA'ler uçucu olmadıkları için THM'ler ile maruziyet yolları farklıdır. Xu ve diğ. [18] HAA'ler için inhalasyonun kanser risk değerlendirmelerinde önemli bir maruziyet yolu ile olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, çok düşük cilt geçirgenlikleri nedeniyle HAA'lerin dermal dozu ihmal edilebilir seviyelerdedir. Bu nedenle kanser risk değerlendirmelerinde, THM'ler için yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyon yolları ile maruziyetleri dikkate alınırken, HAA'ler için yalnızca yutma yoluyla maruziyet dikkate alınmaktadır [12],[19].

Ülkemizde geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde birkaç şehrin içme suyu dağıtım sisteminde DYÜ kaynaklı kanser risk değerlendirmesi araştırmaları gerçekleştirilmiştir. Ankara, İstanbul, İzmir, Sakarya ve Kayseri için sadece THM kaynaklı risk değerlendirilmesi yapılmış ve genel olarak ihmal edilebilir seviyelerin üstünde değerler rapor edilmiştir [20]-[26]. Ancak bugüne kadar ülkemizde HAA türleri de dikkate alınarak karbon bazlı DYÜ'ler kaynaklı kanser risk değerlendirmesine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma Isparta içme suyu dağıtım sisteminde hem THM hem de HAA kaynaklı kanser risk değerlendirmesinin gerçekleştirildiği ilk çalışma olma özelliği taşımaktadır. Bu çalışmanın ana amacı Isparta ilinde içme suyu şebekesini temsil edecek şekilde 5 farklı bölgeden bir yıl boyunca aylık olarak THM ve HAA miktarlarının ve türlerinin izlemesi ve yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyon yoluyla meydana gelecek yaşam boyu kanser riskinin değerlendirilmesidir.

2 Materyal ve metot

2.1 Numune alma

Bu çalışma, Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Isparta şehrinde gerçekleştirilmiştir. Isparta ili, Göller Bölgesi'nde yer almaktadır. Isparta ilinin temel içme suyu kaynağı Eğirdir Gölü'dür. Eğirdir Gölü'nden elde edilen yüzey suyu arıtma tesisine aktarılmaktadır. İçme suyu şebekesi arıtma tesisi ve kuyu suları olmak üzere iki farklı su kaynağından beslenmektedir. Bazı bölgelere su sadece arıtma tesisi çıkış sularından sağlanırken, bazı bölgelerde arıtma tesisi çıkış sularına kuyu suları ilave edilmektedir. Ancak şebekedeki suyun %80'inden fazlası arıtma tesisi çıkış sularından sağlanmaktadır. İçme suyu arıtma tesisinde konvansiyonel üniteler kullanılmaktadır ve arıtma tesisi sırasıyla havalandırma, koagülasyon, flokülasyon, çökeltme, filtrasyon ve klor ile dezenfeksiyon ünitelerinden oluşmaktadır. Isparta içme suyu arıtma tesisinde dezenfektan olarak klor kullanılmaktadır.

Isparta içme suyu dağıtım sistemini kullanım yoğunluğunu ve şebeke uzunluğunu temsil edecek şekilde 5 örnekleme noktasından su numuneleri toplanmıştır. Seçilen noktalar şebekenin tamamını temsil etmesi açısından içme suyu arıtma tesisi dezenfeksiyon ünitesi çıkışından başlamak üzere şebekenin en son noktasına kadar gidilmiştir. Ancak bazı bölgelerde kuyu suları ilave edildiği için su yaşı baz alınarak değerlendirme yapmak mümkün olmamaktadır. Örnekleme programı 2015 yılı Kasım ayı ile 2016 yılı Ekim ayı aralığında ayda bir kere su örneği alınacak şekilde tasarlanarak tüm noktalardan 12'şer numune olmak üzere toplam 60 adet su örneği alınmıştır. Su kalitesi parametreleri pH, sıcaklık, serbest klor numune alma esnasında sahada ölçülmüştür. Bakiye kloru uzaklaştırmak ve DYÜ oluşumunu sonlandırmak için her numune şişesine serbest klor konsantrasyonuna göre hesaplanmış sodyum sülfit (Na_2SO_3) eklenmiştir. Numune alma aparatları (cam şişeler, kapaklar) gerekli yıkama ve deiyonize su ile durulama işlemleri sonrası 105 °C'de bir etüvde 2 sa. boyunca kurutularak hazırlanmıştır. Her örnekleme için 1 L içme suyu numunesi toplanmış ve örnekler soğutucu taşıma kapları kullanılarak laboratuvara getirilmiştir. Tüm analizler en geç bir hafta içinde gerçekleştirilmiştir. Isparta içme suyu dağıtım sistemi numune alma noktaları Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Isparta içme suyu dağıtım sistemi numune alma noktaları.

Figure 1. Sampling points in Isparta drinking water distribution system.

2.2 Analitik metotlar

Su kalitesi parametrelerinden pH ve sıcaklık standart metotlara göre WTW Multi 340i/Set kullanılarak, serbest klor kolorimetrik esasa dayanan DPD metodu ile Pocket Colorimeter II kullanılarak, toplam organik karbon (TOK) standart metot 5310B yöntemiyle TOC-L CPH Shimadzu cihazı ile 254 nm'de ultraviyole absorbansı (UV254) standart metot 5910 yöntemiyle UV-1700 Shimadzu marka ölçüm cihazıyla tespit edilmiştir. THM ve HAA analizleri USEPA 551.1 ve USEPA 552.2 sıvı-sıvı ekstraksiyon metoduna göre yapılmış ve gaz kromatografisi ile ölçülmüştür [27].

2.3 Maruziyet ve yaşam boyu kanser risk değerlendirmesi

ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) kılavuzuna göre içme suyu örneklerinde THM'ler ve HAA'ler için yaşam boyu kanseri risk değerleri hesaplanarak tahmin edilmiştir. THM'lere ve HAA'lara maruz kalma, kronik günlük alım (CDI) kullanılarak hesaplanmıştır. Yutma (oral), inhalasyon ve dermal absorpsiyonu yolları göz önünde bulundurularak içme suyu karbon bazlı DYÜ türleri için yaşam boyu kanser risk değerlendirilmesi USEPA [28] tarafından geliştirilen denklemler (Denklem 1-2-3) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$CDI_{yutma} = \frac{C_w * IR_w * EF * ED}{BW * AT} \quad (1)$$

$$CDI_{inh} = \frac{C_{air} * IR_a * ET * EF * ED}{BW * AT} \quad (2)$$

$$CDI_{der.abs.} = \frac{C_w * SA * CF * PC * ET * EF * ED}{BW * AT} \quad (3)$$

Bu denklemlerde; C_w dezenfeksiyon yan ürünlerinin (mg L^{-1}) sudaki konsantrasyonu, C_{air} ise dezenfeksiyon yan ürünlerinin (mg/m^3) havadaki konsantrasyonudur. CF (Denklem 3) cm^3'ten L'ye dönüşüm faktörüdür. İçme suyundaki uçucu dezenfeksiyon yan ürünlerinin havadaki konsantrasyonlarını tahmin etmek için Little [29] inhalasyon modeli kullanılmıştır. Çeşme suyunda ölçülen DYÜ konsantrasyonuna bağlı olarak havadaki DYÜ konsantrasyonunu en doğru şekilde tahmin eden model çalışmalarından biri Little (1992) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu modelde kullanılan kütle transfer katsayıları hesaplanırken beş adet gerçek ölçekli duş sistemlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır ve bu katsayılar kullanarak havadaki tahmin edilen DYÜ konsantrasyonları ve gerçek ölçümler arasındaki korelasyonlar yüksektir. İçme suyunda bulunan uçucu dezenfeksiyon yan ürünlerine maruz kalmada en büyük katkı sağlayan ortam duş alma ortamıdır. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin buharlaşma oranları su sıcaklığına bağlıdır. Literatürde duş için su sıcaklığı genel olarak 40 ^oC olarak kabul edilmektedir. Türkiye'deki popülasyon özelliklerine özgü parametreler (BW: vücut ağırlığı, ED: maruziyet süresi-yıl, SA: cilt alanı ve AT: maruziyet süresi-gün), doğru bir değerlendirme sunmak için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) [30] raporları kullanılmıştır. IR_w günlük su alım oranını (L/gün), EF maruziyet sıklığını (gün/yıl), IR_a günlük solunum miktarını (m^3/sa), ET maruziyet süresini (saat/gün), PC ise spesifik permeabilite katsayısını göstermektedir (cm/sa). Little [29] tarafından geliştirilen model denklemleri Denklem 4-9'da gösterilmektedir.

$$Y_s(t) = [1 - \exp(-bt)](a/b) \quad (4)$$

$$b = \left\{\left(\frac{Q_L}{H}\right)[1 - \exp(-N)] + Q_G\right\}/V_s \quad (5)$$

$$a = \{Q_L C_w[1 - \exp(-N)]\}/V_s \quad (6)$$

$$N = (K_{OL}A)/Q_L \quad (7)$$

$$C_{air} = (Y_s(t) + Y_{si})/2 \quad (8)$$

Bu denklemlerde; Y_s duş esnasında t zamanında THM konsantrasyonunu, Q_L su akış hızı (L/dk), Q_G hava akış hızı (L/dk.), V_s banyo hacmi (m^3), H Henry kanunu sabiti (boyutsuz), $K_{OL}A$ toplam kütle transfer katsayısı, a sudaki THM konsantrasyonunun havadaki THM konsantrasyonuna dönüşümü (µg/m^3*dk.), b ise su akış hızına bağlı dönüşüm faktörüdür (L/dk.*m^3). Kanserojen riskleri hesaplanan CDI ve her bir DYÜ türünün kanser eğim faktörü (SF) değerleri kullanılarak yapılmıştır. Çoklu maruziyet yolları için hesaplamalar Pan [19] tarafından yapılan çalışma baz alınarak Denklem 9-12 aralığında gösterilmektedir.

$$CR_{yutma} = CDI_{yutma} * SF_{yutma} \quad (9)$$

$$CR_{der.abs.} = CDI_{dermal\ absorpsiyon} * SF_{dermal\ absorbsiyon} \quad (10)$$

$$CR_{inh.} = CDI_{inhalasyon} * SF_{inhalasyon} \quad (11)$$

$$CR_{Toplam} = CR_{yutma} + CR_{dermal\ absorpsiyon} + CR_{inhalasyon} \quad (12)$$

Burada; CR_{yutma}, $CR_{dermal\ absorpsiyon}$ ve $CR_{inhalasyon}$ kanser riskinin maruziyet yollarıdır. SF_{yutma}, $SF_{dermal\ absorbsiyon}$ ve $SF_{inhalasyon}$ ise her bir dezenfeksiyon yan ürününün (mg kg-1 gün)-1 kanser eğim faktörünü göstermektedir. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin kanser risk değerlendirilmesinde girdi parametrelerinin tanımları ve değerleri Tablo 1'de, kanser risk faktörleri Tablo 2'de gösterilmektedir.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Su kalitesi değerlendirmesi

Isparta içme suyu ihtiyacını karşılayan ana içme suyu kaynağı Eğirdir Gölü'dür. Ancak su kullanımının artmasından dolayı içme suyu şebekesine şehrin farklı noktalarında bulunan kuyulardan da ek besleme yapılmaktadır. Eğirdir Gölü'nde; içme suyu ve tarımsal sulama suyu temini, balıkçılık, turizm ve enerji üretimi gibi birçok alanda çeşitli faaliyetler yapılmıştır. Tarım sektörü, Eğirdir Gölü'nden en fazla su çekiminin yapıldığı alandır. Eğirdir Gölü havzasında miktar ve kalite açısında gölü en fazla tehdit eden faaliyetler arasında tarımsal aktiviteler bulunmaktadır. Eğirdir Gölü havzasındaki su kalitesini tehdit eden başlıca antropojenik kaynaklar; evsel-endüstriyel katı ve sıvı atıklar, tarımsal mücadele ilaçları ve gübrelerdir. Son yıllarda gölden bilinçsiz su çekimi yapıldığı ve aynı zamanda su kalitesi bozulduğu için göl havzasının iklim koşulları da değişmektedir.

Bu çalışmada, Isparta içme suyu dağıtım sistemi 5 farklı noktada 12 ay boyunca (Kasım 2015-Ekim 2016) ayda bir izlenmiş ve pH, elektriksel iletkenlik, sıcaklık, serbest klor, TOK, 254 nm UV absorbansı, spesifik UV absorbansı ve bromür iyonu değerlerini belirlemek için analizleri yapılmıştır. Su kalitesi parametrelerinin yıllık ortalaması Tablo 2'de verilmiştir. Su dağıtım sisteminin numune alma noktalarının yıllık pH ortalaması 8.20, yıllık iletkenlik ortalaması 366 µS/cm, yıllık sıcaklık ortalaması 16 ^oC, yıllık TOK ortalaması 2.18 mg/L, yıllık UV absorbansı ortalaması 0.025 cm^{-1}, yıllık spesifik UV absorbansı ortalaması 1.21 L/mg.m olarak ölçülmüştür. Düşük spesifik UV absorbansı değerlerine sahip olan numunelerde bulunan doğal organik maddenin ise daha çok hidrofilik özellikte olduğunu göstermektedir. Numune alma dönemi boyunca Br^- iyonu tespit limit olan 10 µg/L'nin altında tespit edilmiştir. İzlenen su kalitesi parametreleri arasında özellikle sıcaklık, serbest klor, TOK, spesifik UV absorbansı ve Br^- iyonu değerleri, karbon bazlı dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunda etkili parametrelerdir.

Tablo 1. DYÜ'lerin yaşam boyu toplam kanser risk değerlendirilmesinde kullanılan girdi parametreleri.

Table 1. Input parameters used to assess life-time cancer risk of DBPs.

Parametre		Değer		Referans
		Kadın	Erkek	
$K_{OL}A$ (L/dk.)	Kloroform	7.4		
	Bromodiklorometan	5.9		[29]
	Dibromoklorometan	4.6		
	Bromoform	3.7		
Q_L (L/dk.)		5		
Vs (m^3)		6		[29]
Qg (L/dk.)		50		
H (40 °C) (Birimsiz)	Kloroform	0.35		
	Bromodiklorometan	0.186		[31]
	Dibromoklorometan	0.102		
	Bromoform	0.058		
PC (cm/sa.)	Kloroform	0.16		
	Bromodiklorometan	0.18		[32]
	Dibromoklorometan	0.20		
	Bromoform	021		
IRa (m^3/sa.)		0.66	0.84	[19]
IRw (L/gün)		2		[23]
EFh (gün/yıl)		365		-
ED (yıl)		81	75.6	
BW (kg)		68.4	77.4	[30]
AT (gün)		29565	27594	
ET (saat/gün) (Dermal)		0.13	0.12	[33]
SA (cm^2)		17700	18900	[30]
ET (saat/gün) (inhalasyon)		0.2		[34]

Tablo 2. DYÜ türlerinin kanser eğim faktörleri [26].

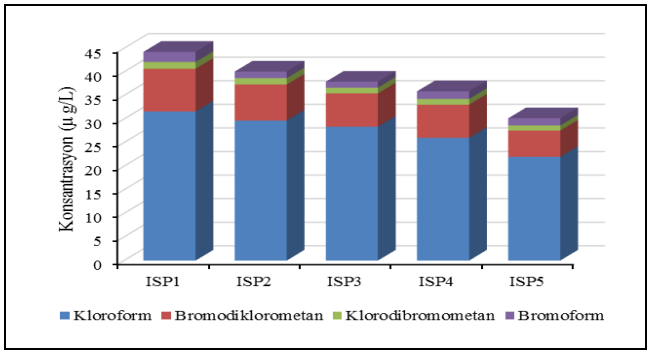
Table 2. Cancer slope factors of disinfection by products species used in the study [26].

	Kanser Eğim Faktörü $(mg/kg/gün)^{-1}$		
Trihalometan	Yutma	Dermal Absorpsiyon	İnhalasyon
Kloroform	0.0061	0.0305	0.0805
Bromodiklorometan	0.062	0.0633	0.13
Dibromoklorometan	0.084	0.14	0.084
Bromoform	0.079	0.0132	0.00385
Haloasetik asit			
Dikloroasetik asit	0.05		
Trikloroasetik asit	0.07		

TOK ve spesifik UV absorbansı analizleri ile belirlenen doğal organik maddeler, DYÜ oluşumunda etkin birincil öncül madde olarak kabul edilmektedir [35],[36]. Bu çalışma kapsamında doğal organik maddenin ölçümü için TOK, UV absorbansı ve spesifik UV absorbansı kullanılmıştır. Isparta içme suyu dağıtım sisteminin yıllık ortalama su kalite verileri Tablo 3'te gösterilmektedir.

3.2 Karbon bazlı dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu

Şekil 2'de Isparta içme suyu dağıtım sisteminde tespit edilen THM türleri ve konsantrasyonlarının yıllık ortalama değerleri gösterilmektedir. Tespit edilen en baskın THM türü kloroformdur. Bromür iyonu konsantrasyonu 10 µg/L altında olmasına rağmen, tüm bromlu türler tespit edilmiştir. ISP1 numaralı numune alma noktası arıtma tesisindeki dezenfeksiyon ünitesi çıkışında, ISP5 numaralı numune alma noktası ise dezenfeksiyon ünitesine en uzak noktada ve su tüketiminin oldukça düşük dolayısıyla su yaşının yüksek olduğu bir konumdadır. Ancak bazı noktalarda kuyu sularından ilaveler yapıldığı için su yaşına göre THM miktarı açısından net değerlendirme yapmak mümkün değildir. Su dağıtım sisteminde DYÜ oluşum miktarı ve türleşmesi, klor talebi, pH, TOK, su sıcaklığı, TOK değeri ve su yaşına göre değişmektedir [37].



Şekil 2. Isparta içme suyu dağıtım sisteminde tespit edilen THM türleri ve konsantrasyonları.

Figure 2. Concentrations and speciation of THMs in Isparta water distribution system.

Tablo 3. Isparta içme suyu dağıtım sisteminin yıllık ortalama su kalite verileri

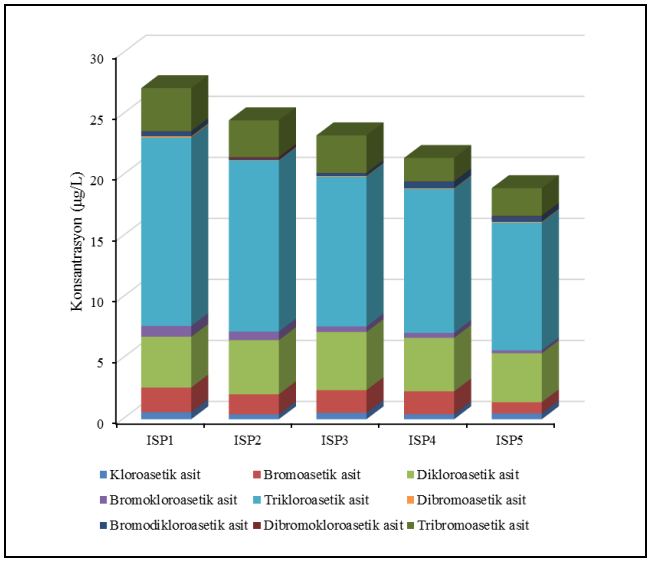
Table 3. Annual average value of water quality parameters in Isparta drinking water distribution system.

	pH	İletkenlik (µS/cm)	Sıcaklık (°C)	Serbest Klor (mg/L)	TOK (mg/L)	UV_{254} (cm^{-1})	Spesifik UV Absorbansı (L/mg.m)
ISP1	8.15	365	14.9	0.78	2.25	0.027	1.28
ISP2	8.21	365	15.9	0.68	2.25	0.026	1.21
ISP3	8.23	367	16.6	0.32	2.13	0.024	1.15
ISP4	8.21	367	16.8	0.24	2.11	0.024	1.15
ISP5	8.19	364	15.7	0.36	2.18	0.026	1.25

İlave edilen kuyu sularının DYÜ değerlerinde seyrelmeye neden olduğundan şebeke boyunca THM değerleri azalmaktadır. Numune alma noktalarının yıllık ortalama toplam THM miktarları, ISP1 noktasından ISP5 noktasına doğru sırasıyla 44, 40, 38, 36 ve 30 µg/L olarak tespit edilmiştir. Isparta içme suyu dağıtım sisteminde tespit edilen en yüksek THM konsantrasyonu ISP1 numaralı numune noktasında 57 µg/L, en düşük THM konsantrasyonu ise Isparta 5 No.lu numune alma bölgesinde 22 µg/L olarak belirlenmiştir.

En yüksek THM değeri yaz mevsiminde, en düşük THM ortalaması ise kış mevsiminde gözlenmiştir ve benzer trende birçok çalışmada rastlanmıştır [38],[39]-[41]. Yaz mevsiminde artan THM konsantrasyonunun başlıca sebebi yüksek su sıcaklığı ve artan klor talebi ile ilişkilendirilmektedir [37],[42]. Golfinopoulos ve diğ. [43] yaptıkları çalışmada özellikle yaz mevsimlerinde sıcaklık, serbest klor ve THM konsantrasyonlarında kayda değer bir artış gözlemlemişlerdir. Rodriguez ve diğ. [40] klor talebi, sıcaklık ve THM oluşumu arasında iyi bir korelasyon tespit etmişlerdir. Isparta içme suyu şebekesinde mevsimsel olarak su kalite parametreleri incelendiğinde tüm noktaların ortalama su sıcaklığı ilkbahar mevsiminde 14 °C, yaz mevsiminde 21 °C, sonbahar mevsiminde 20 °C, kış mevsiminde ise 10 °C olarak tespit edilmiştir. THM konsantrasyonun ilkbahar mevsimi ortalaması 23 µg/L, yaz mevsimi ortalaması 29 µg/L, sonbahar mevsimi ortalaması 22 µg/L, kış mevsimi ortalaması ise 18 µg/L'dir. Mevsimler arası THM konsantrasyonu değerlendirildiğinde en yüksek konsantrasyona sahip yaz mevsimi ile en düşük konsantrasyona sahip kış mevsimi arasında %35-40 arası bir azalma görülmektedir. Bu azalmanın sebebi yaz mevsiminden kış mevsimine geçişlerde su sıcaklığının azalma kaynaklı olabilir. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumuna katkı sağlayan diğer önemli su kalite parametreleri de serbest klor ve toplam organik karbondur. Serbest klor konsantrasyonu mevsimler boyunca kayda değer değişiklik göstermemiştir. İlkbahar mevsimi tüm noktalar ortalaması 0.46 mg/L, yaz mevsimi tüm noktalar ortalaması 0.45 mg/L, sonbahar mevsimi tüm noktalar ortalaması 0.49 mg/L ve kış mevsimi tüm noktalar ortalaması ise 0.50 mg/L olarak ölçülmüştür. Toplam organik karbon konsantrasyonunun mevsimsel değişimi tüm noktaların ortalaması dikkate alındığında ilkbahar mevsiminde 2.09 mg/L, yaz mevsiminde 1.80 mg/L, sonbahar mevsiminde 2.73 mg/L, kış mevsiminde ise 1.88 mg/L olarak ölçülmüştür. Özellikle sonbahar mevsiminde toplam organik karbon konsantrasyonunun artması mevsim geçişlerindeki su kaynaklarındaki organik madde artışına bağlanabilmektedir. Ancak şebeke suyunda hem arıtma tesisi çıkışından gelen su hem de belli bölgelerde kuyulardan yeraltı suyu karıştırıldığı ve karışım oranları net olarak tespit edilemediği için su kalite parametreleri ve DYÜ oluşumu arasında anlamlı bir korelasyonlar elde edilememiştir.

Şekil 3'te Isparta içme suyu dağıtım sisteminde tespit edilen toplam HAA türlerinin yıllık ortalama konsantrasyonları gösterilmektedir. Isparta numune alma noktalarından elde edilen ortalama HAA konsantrasyonları ISP1 noktasından ISP5 noktasına doğru sırasıyla 27, 25, 24, 21 ve 19 µg/L olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen 9 HAA türünden en baskın türler, dikloroasetik asit ve trikloroasetik asittir [44]. En yüksek ortalama HAA konsantrasyonu yaz mevsiminde 29 µg/L olarak, en düşük ortalama HAA konsantrasyonu ise kış mevsiminde 18 µg/L olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar literatür ile uyum göstermektedir ve Rodriguez ve diğ. [45] yaptıkları çalışmada HAA konsantrasyonunu yaz mevsiminde kış mevsimine kıyasla 4 kat daha yüksek tespit etmişlerdir. Dağıtım sistemi boyunca HAA konsantrasyonunun azalmasından sorumlu temel mekanizmanın, daha sıcak aylarda azalan klor konsantrasyonu neticesinde meydana gelen biyofilm tabakasının gerçekleştirdiği biyolojik parçalanma mekanizması etkin olmaktadır [41],[46].

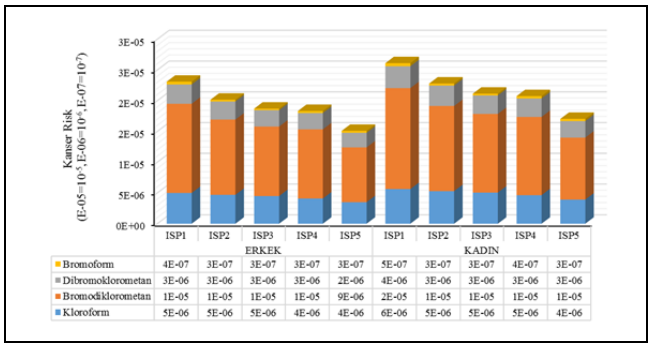


Şekil 3. Isparta içme suyu dağıtım sisteminde tespit edilen HAA türleri ve konsantrasyonları.

Figure 3. Concentrations and speciation of HAAs in Isparta water distribution system.

3.2.1 Yutmadan (oral) kaynaklanan kanser riski

Karbon bazlı dezenfeksiyon yan ürünlerinin maruziyetinden kaynaklanan yaşam boyu kanser riski, Isparta içme suyu dağıtım şebekesinde numune alma noktalarında ölçülen ortalama DYÜ konsantrasyonlarına göre her bir maruziyet yolu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Yutma yoluyla kanser riski hem erkekler hem de kadınlar için değerlendirilmiştir. Şekil 4'te Isparta içme suyu dağıtım sistemi yutmadan kaynaklı ortalama THM kanser riski değerleri gösterilmektedir.



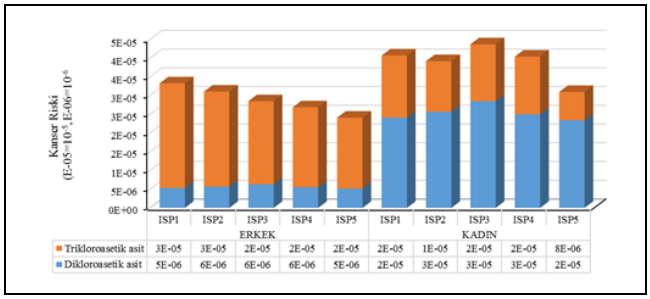
Şekil 4. Erkek ve kadınlar için Isparta dağıtım sistemi yutma maruziyeti kaynaklı THM türleri için yaşam boyu kanser riski.

Figure 4. Life-time cancer risk for THMs species through ingestion exposure in males and females at Isparta distribution system.

Yutma maruziyetinde erkekler için en yüksek yaşam boyu ortalama kanser riski ISP1 noktasında 2.3E-05 iken, en düşük kanser riski değeri ISP5 noktasında 1.1E-05 olarak hesaplanmıştır. Kadınların tüm numune alma noktalarında erkeklere kıyasla kanser riskinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Yutma maruziyetinde kadınlar için en yüksek yaşam boyu ortalama kanser riski ISP1 noktasında 2.6E-05, en düşük kanser riski de ISP5 noktasında 1.7E-05 olarak hesaplanmıştır.

Tüm numune alma noktalarının yıllık ortalama değerleri incelendiğinde, bromodiklorometan hem erkeklerde hem de kadınlarda THM'den kaynaklı kanser riskine en fazla katkı yapan tür olarak tespit edilmiştir. Bromodiklorometan konsantrasyonunun kloroforma göre oldukça düşük olmasına rağmen, kanser eğim faktörü yaklaşık 10 kat yüksek olduğu için katkısı daha fazladır. Bromoform hem kadınlarda hem de erkeklerde tüm THM'ler arasında en düşük kanser riskini vermektedir. Hem erkekler hem de kadınlar için THM türlerinin yutma kaynaklı kanser riskine katkısı büyükten küçüğe doğru sırasıyla bromodiklorometan, kloroform, dibromoklorometan ve bromoform olarak hesaplanmıştır. Birden fazla toksik maddeye maruz kalma sinerjistik etkilere neden olduğundan dolayı bu bileşikler tek tek olmasalar bile, birlikte önemli kanser riski oluşturmaktadır. Bromodiklorometanın toplam kanser riskine yaptığı katkı %61, kloroformun yaptığı katkı %23, dibromoklorometanın yaptığı katkı %14, bromoformun yaptığı katkı ise %2'dir. Bu sonuçlar, kanser riski değerlendirmesi üzerine yapılan önceki çalışmalar tarafından da desteklenmektedir [20],[21],[47],[48]. Düşük bromür iyonu konsantrasyonuna sahip sularda, bromoformun kanser riskine en düşük katkıyı yaptığı bildirilmiştir. Uyak ve diğ. [21] dibromoklorometanın toplam THM kanser riskine en fazla katkı sağlayan tür olduğunu ayrıca kloroformun da önemli derecede katkı sağladığını vurgulamıştır. Çalışmamızda kloroform toplam THM kanser riskine en fazla katkı sağlayan ikinci THM türü olarak tespit edilmiştir.

Yutma yoluyla HAA'den kaynaklanan kanser riski hem erkekler hem de kadınlar için hesaplanmıştır. Şekil 5'te Isparta içme suyu dağıtım sistemi yutmadan kaynaklı HAA için ortalama kanser riski cinsiyete göre gösterilmektedir. HAA maruziyeti kaynaklı en yüksek yaşam boyu ortalama kanser risk değeri erkeklerde ve kadınlarda ISP1 noktasında sırasıyla 2.8E-05 ve 3.2E-05 olarak hesaplanmıştır. En düşük kanser riski değeri de erkeklerde ve kadınlarda ISP5 noktasında sırasıyla 1.9E-05 ve 2.1E-05'dir. Tüm numune alma noktalarında toplam kanser riski 1.0E-06'dan büyüktür. Yutma yoluyla HAA en yüksek ortalama kanser risk değerleri incelendiğinde, dikloroasetik asitin toplam kanser riskine yaptığı katkı %20, trikloroasetik asit katkısı ise %80'dir. THM'lere maruz kalma, yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyon yollarıyla, HAA'lere maruz kalma ise yutma yoluyla meydana gelmektedir [12]. Bu sebeple yutma yolu ile hesaplanan kanser riski aynı zamanda yaşam boyu toplam HAA kaynaklı toplam risk değerlerini temsil etmektedir.

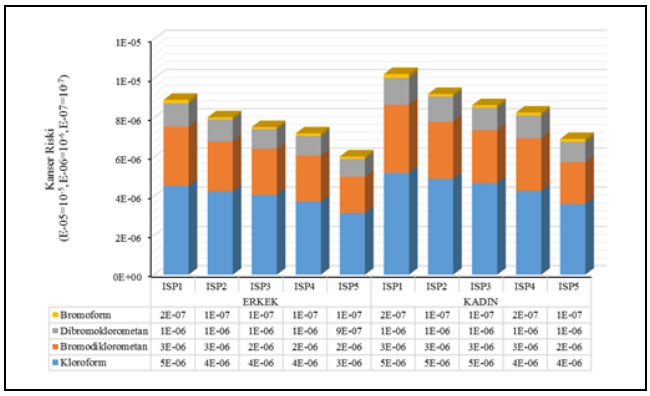


Şekil 5. Erkek ve kadınlar için Isparta dağıtım sistemi yutma maruziyeti kaynaklı HAA türleri için yaşam boyu kanser riski.

Figure 5. Life-time cancer risk for HAAs species through ingestion exposure in males and females at Isparta distribution system.

3.2.2 Dermal absorpsiyondan kaynaklanan kanser riski

Suda bulunan kanser risk faktörleri duş alırken, banyo yaparken ve yüzerken cilt yoluyla vücuda nüfuz eder [49]. Türk Standartları Enstitüsü'ne (TSE) göre, erkekler ve kadınlar farklı cilt yüzey alanlarına sahiptir (sırasıyla 1.89 m^2 ve 1.77 m^2). Şekil 6'da Isparta içme suyu dağıtım sistemi dermal absorpsiyondan kaynaklı THM kanser riski cinsiyete göre gösterilmektedir.



Şekil 6. Erkek ve kadınlar için Isparta dağıtım sistemi dermal absorpsiyon maruziyeti kaynaklı THM türleri için yaşam boyu kanser riski.

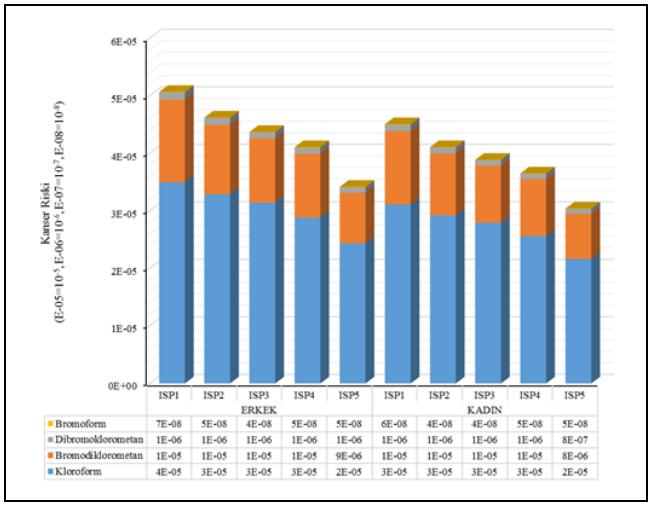
Figure 6. Life-time cancer risk for THMs species through dermal absorption exposure in males and females at Isparta distribution system.

Isparta içme suyu dağıtım sisteminde erkekler ve kadınlar için dermal absorpsiyon yoluyla bromoform hariç THM türlerinin kanser riskleri, USEPA tarafından öngörülen kabul edilebilir risk seviyesinden (1.0E-06) yüksektir. Dermal absorpsiyon yoluyla erkeklerde yaşam boyu ortalama kanser riski en yüksek değeri ISP1 noktasında 8.9E-06 olarak, en düşük risk değeri ise ISP5 noktasında 6.0E-06 olarak hesaplanmıştır. Kadınlarda ise dermal absorpsiyon yoluyla en yüksek kanser riski ISP1 noktasında 1.0E-05, en düşük kanser riski ise ISP5 noktasında

6.9E-06 olarak tespit edilmiştir. Erkekler ve kadınlar arasında cilt yüzey alanı farklılığına rağmen, diğer çalışmalardan farklı olarak kadınların erkeklere göre daha yüksek risklere sahip olduğu bulunmuştur [21],[50]. Erkeklerde ve kadınlarda dermal absorpsiyon yoluyla yaşam boyu kanser riski maruziyeti sonuçlarına göre THM'den kaynaklanan kanser riskine katkıyı sırasıyla %52 kloroform, %32 bromodiklorometan, %14 diklorobromometan ve %2 bromoform oluşturmaktadır. Dermal absorpsiyon tüm maruziyet yolları arasında en az katkıyı yapan maruziyet yolu olduğu tespit edilmiştir.

3.2.3 İnhalasyondan kaynaklanan kanser riski

İnhalasyon maruziyeti, banyo yapma, duş alma ve yemek pişirme gibi su kullanımı sırasında uçucu bileşikler nedeniyle meydana gelmektedir [21],[50]. Duş alırken ortaya çıkan ortam, uçucu bileşiklerin en fazla olduğu ortam olarak tespit edilmiş ve dolasıyla en fazla inhalasyon kaynaklı kanser riski bu ortamda oluşmaktadır. Şekil 7'de Isparta içme suyu dağıtım sistemi inhalasyondan kaynaklı THM kanser riski cinsiyete göre gösterilmektedir. Tüm numune alma noktalarında hem erkek hem de kadınlarda inhalasyon maruziyetine bağlı THM için kanser riski, USEPA tarafından önerilen kabul edilebilir kanser riski seviyesi olan 1.0E-06'yı aşmaktadır. Kloroform hem erkekler hem de kadınlar için en yüksek ortalama kanser riskine sahiptir ve kloroformu sırasıyla bromodiklorometan, dibromoklorometan ve bromoform izlemektedir. İnhalasyon yoluyla oluşan yaşam boyu kanser riski hem erkeklerde hem de kadınlarda en yüksek değer, ISP1 noktasında sırasıyla 5.1E-05 ve 4.5E-05 olarak hesaplanmıştır. Kanser riski türler bazında incelendiğinde en yüksek katkı kloroformdan gelmektedir. Bromlu THM'ler ile karşılaştırıldığında, kloroformun yüksek inhalasyon riski, Tablo 1 ve 2'de gösterildiği gibi yüksek Henry sabiti (H), kütle transfer katsayısı (KOLA) ve yüksek inhalasyon eğim faktöründen gelir.

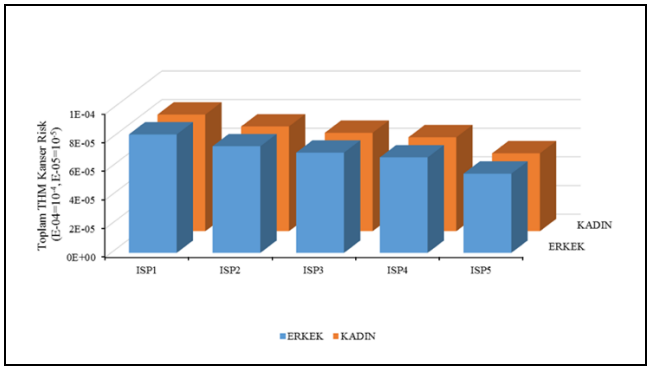


Şekil 7. Erkek ve kadınlar için Isparta dağıtım sistemi inhalasyon maruziyeti kaynaklı THM türleri için yaşam boyu kanser riski.

Figure 7. Life-time cancer risk for THMs species through inhalation exposure in males and females at Isparta distribution system.

3.3 Dezenfeksiyon yan ürünleri yaşam boyu toplam kanser riski değerlendirmesi

Çok yollu maruziyet (yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyon maruziyeti) için THM'lerin oluşturduğu yaşam boyu toplam kanser riski, içme suyu dağıtım sistemi numune alma noktaları için cinsiyete göre hesaplanmış ve Şekil 8'de gösterilmektedir. THM'lerin yaşam boyu toplam kanser riskleri, USEPA tarafından tanımlanan ihmal edilebilir risk seviyesinden (1.0E-06) daha yüksektir. THM konsantrasyonları yüksek olmadığı ve bromlu DYÜ'ler daha az oluştuğu için kanser riski değerleri kabul edilebilir risk aralığındadır (1.0E-06<Kanser Riski <1.0E-04). Çok yollu maruziyette erkekler için hesaplanan en yüksek ortalama yaşam boyu toplam kanser risk değeri 8,3E-05, kadınlar için ise 8.1E-05'tir. Kadın ve erkekler için yaşam boyu toplam kanser risk değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Tüm noktaların yıllık ortalama değerleri göz önüne alındığında kanser risk değerleri EPA'nın belirlediği ihmal edilebilir risk değerinden kadınlar için 81, erkekler için 83 kat daha fazladır.



Şekil 8. Cinsiyete göre THM'ler için çoklu maruziyet yolları için yaşam boyu yıllık ortalama toplam kanser riskleri

Figure 8. Lifetime average annual total cancer risks for multiple exposure routes for THMs by gender.

Tablo 4'te bir yıl boyunca ölçülen THM ve HAA konsantrasyonlarına göre hesaplanan mevsimsel ve toplam kanser risk değerleri gösterilmektedir. Hem mevsimsel hem de maruziyet yollarının katkısındaki değişimin belirlenmesi amacıyla her bir nokta için tüm maruziyet yolları için mevsimsel hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalarda her bir nokta için mevsimsel ortalama değerleri göz önüne alınmıştır. Yaz aylarında toplam THM miktarı en fazla olmasına rağmen, türleşmede meydana gelen farklılıklar sebebiyle en yüksek yaşam boyu risk son bahar aylarında ISP1 noktasında hesaplanmıştır. THM konsantrasyonları düşük olsa bile, sonbahar aylarında ISP1 noktası için hesaplanan toplam kanser risk değeri 1.0E-04 değeri kabul edilebilir risk aralığı olarak verilen 1.0E-06<CR<1.0E-04 olan değerin üst sınırındadır. Ancak maruziyet yolları bazında ayrı ayrı incelendiğinde değerler kabul edilebilir risk aralığında kalmaktadır. Erkeklerde toplam kanser riskine en yüksek katkıyı inhalasyon maruziyeti (ortalama %62), ardından yutma (ortalama %27) ve en az katkıyı dermal (ortalama %11) maruziyet oluşturmaktadır. Kadınlar için de katkı oranlarında benzer sıralamalar elde edilmiş, ancak katkı yüzdeleri dikkate alındığında erkeklere göre inhalasyonun katkısı ortalama %5 daha düşüktür.

Tablo 4. Farklı maruziyet yollarında erkekler için mevsimsel THM ve HAA kaynaklı yaşam boyu kanser riskleri.

Table 4. Lifetime cancer risks of THM and HAA for different exposure routes for male.

Erkek		THM (E-04=10^{-4}, E-05=10^{-5}, E-06=10^{-6})				HAA (E-05=10^{-5})
		Yutma	Dermal Absorpsiyon	İnhalasyon	Toplam THM Risk	Toplam HAA Risk
İlkbahar	ISP1	2.2E-05	8.2E-06	4.9E-05	7.9E-05	2.7E-05
	ISP2	2.0E-05	8.1E-06	4.8E-05	7.6E-05	2.7E-05
	ISP3	2.1E-05	8.4E-06	5.0E-05	7.9E-05	2.9E-05
	ISP4	1.8E-05	7.4E-06	4.5E-05	7.0E-05	2.8E-05
	ISP5	1.7E-05	6.4E-06	3.7E-05	6.1E-05	2.5E-05
Yaz	ISP1	2.1E-05	1.0E-05	5.4E-05	8.5E-05	4.9E-05
	ISP2	1.6E-05	8.2E-06	5.1E-05	7.5E-05	4.8E-05
	ISP3	1.1E-05	6.8E-06	4.4E-05	6.2E-05	3.9E-05
	ISP4	1.4E-05	7.4E-06	4.4E-05	6.6E-05	3.8E-05
	ISP5	1.2E-05	6.3E-06	3.8E-05	5.7E-05	3.2E-05
Sonbahar	ISP1	3.4E-05	1.0E-05	5.8E-05	1.0E-04	2.6E-05
	ISP2	3.3E-05	1.0E-05	5.3E-05	9.6E-05	2.5E-05
	ISP3	2.9E-05	9.2E-06	4.9E-05	8.8E-05	2.4E-05
	ISP4	2.9E-05	8.9E-06	4.6E-05	8.4E-05	2.1E-05
	ISP5	2.0E-05	6.6E-06	3.4E-05	6.0E-05	1.8E-05
Kış	ISP1	1.6E-05	7.1E-06	4.2E-05	6.5E-05	3.2E-05
	ISP2	1.3E-05	5.7E-06	3.4E-05	5.2E-05	2.5E-05
	ISP3	1.4E-05	5.6E-06	3.2E-05	5.1E-05	2.1E-05
	ISP4	1.2E-05	5.1E-06	3.0E-05	4.7E-05	2.1E-05
	ISP5	1.1E-05	4.8E-06	2.8E-05	4.4E-05	2.1E-05

THM'ler için yaşam boyu toplam kanser riski hesaplanırken yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyon yolları dikkate alınmaktadır. Ancak HAA'lere maruz kalma ise yutma yoluyla meydana gelmektedir. Bu sebeple yutma yolu ile hesaplanan kanser riski aynı zamanda yaşam boyu toplam HAA kaynaklı toplam risk değerlerini temsil etmektedir. HAA için çoklu maruziyet yollarından kaynaklı ortalama toplam kanser riskinin en yüksek risk değeri erkeklerde ve kadınlarda ISP1 noktasında sırasıyla 3.3E-05 ve 4.4E-05 olarak hesaplanmıştır. Tüm noktaların yıllık ortalama değerleri göz önüne alındığında kanser risk değerleri USEPA'nın belirlediği ihmal edilebilir risk değerinden kadınlar için 44, erkekler için 33 kat daha fazladır. Mevsimlere göre değerler göz önüne alındığında en yüksek risk değeri yaz aylarında ISP1 noktasında 4.9E-05 olarak hesaplanmıştır.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı maruziyet yolları dikkate alınarak THM ve HAA'ler için yaşam boyu kanser risk değerleri hesaplanmıştır. Isparta içme suyu dağıtım sisteminde tüm noktalarda THM değerleri, yönetmelikte belirtilen sınır değerlerden düşüktür. THM'ler için oluşan en baskın tür kloroform, HAA'ler için oluşan baskın türler dikloroasetik asit ve trikloroasetik asittir. Kanser risk değerlendirilmesinde yutma, inhalasyon ve dermal absorpsiyon olmak üzere üç farklı maruziyet yolu için yaşam boyu kanser riski hesaplanmıştır. Bu çalışma trikloroasetik asit ve dikloroasetik asite bağlı HAA kanser risk değerlendirmesi açısından ülkemizde bir ilk olma özelliği göstermektedir. Erkekler için yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyonla maruziyet sonucu oluşan THM kanser risk değerleri sırasıyla 2.3E-05; 8.9E-06 ve 5.1E-05 ve yutma maruziyeti sonucu oluşan HAA kanser risk değerleri ise 3.3E-05'tir. Kadınlar için ise yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyon maruziyeti sonucu oluşan THM kanser risk değerleri sırasıyla 2.6E-05, 1.1E-05 ve 4.5E-05 ve yutma sonucu oluşan HAA kanser risk değerleri ise 4.4E-05'tir. Çok yollu maruziyet (yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyonla maruziyet toplamı) göz önüne alınarak hesaplanan en yüksek ortalama kanser riski değeri erkekler için 8.3E-05, kadınlar için bir yıllık tüm noktaların ortalama değeri ise 8.1E-05'tir. HAA için çoklu maruziyet yollarından kaynaklı ortalama toplam kanser riski Isparta içme suyu dağıtım sistemi için en yüksek risk değeri erkeklerde ve kadınlarda sırasıyla 3.3E-05 ve 4.4E-05 olarak hesaplanmıştır. Hem THM hem de HAA için hesaplanan kanser riski değerleri, ihmal edilebilir risk (1.0E-06) değerinden oldukça yüksektir. THM için en yüksek riskin inhalasyonu maruziyetinden kaynaklandığı, HAA için en yüksek riskin de trikloroasetik asitte yutma maruziyeti neticesinde olduğunu ortaya koymuştur. THM için, erkeklerde toplam kanser riskine en yüksek katkıyı inhalasyon maruziyeti (ortalama %62), ardından yutma (ortalama %27) ve en az katkıyı dermal (ortalama %11) maruziyet oluşturmaktadır. Bu çalışmada ayrıca farklı mevsimlerdeki kanser riskleri de hesaplanmıştır. Kadınlar ve erkekler için THM ve haloasetik asitten kaynaklanan risk maruziyeti yutma, dermal absorpsiyon ve inhalasyon yollarında maksimum değerler sonbahar mevsiminde görülmüştür. En yüksek toplam THM ve HAA değerleri yaz aylarında elde edilmesine rağmen, THM ve HAA türleşmesinde mevsimsel olarak meydana gelen farklar ve her bir türün kanser risk faktörü farklı olmasından dolayı mevsimsel riskler farklı çıkmıştır. Günümüzde DYÜ'lerin halk sağlığı üzerindeki etkilerini en aza indirmek için mevzuatlar daha da sıkılaştırılmaktadır. Ülkemizde yapılacak mevzuat düzenlemelerinde DYÜ grupları yerine her bir DYÜ türü için bireysel olarak çıkış suyu standartları konulması daha uygun olabilir. Çünkü DYÜ türlerinin her birinin kanser eğim faktörleri farklı olduğundan, sağlık üzerindeki etkisi de farklıdır. THM ve HAA kanser risklerini birlikte değerlendirildiği ve ülkemizde ilk olan bu çalışmada elde edilen sonuçlar içme suyunda DYÜ kaynaklı risklere karşın kontrol stratejilerinin belirlenmesi için faydalı olabilir.

5 Conclusions

In this study, lifetime cancer risk values were calculated for THMs and HAAs by considering different exposure routes. THM values at all points in the Isparta drinking water distribution system are lower than the limit values specified in the regulation. The most dominant species for THMs are chloroform, while the dominant species for HAAs are dichloroacetic acid and trichloroacetic. In cancer risk assessment, lifetime cancer risk was calculated for three different exposure routes: ingestion, inhalation, and dermal absorption. This study is a first in our country in terms of the risk assessment of HAA due to trichloroacetic acid and dichloroacetic acid. For men, the THM cancer risk values resulting from ingestion, dermal absorption and inhalation exposure were 2.3E-05, respectively; 8.9E-06 and 5.1E-05, and HAA cancer risk values resulting from ingestion exposure are 3.3E-05. For women, the THM cancer risk values resulting from ingestion, dermal absorption and inhalation exposure are 2.6E-05, 1.1E-05 and 4.5E-05, respectively, and the HAA cancer risk values resulting from ingestion are 4.4E-05. The highest mean cancer risk value calculated by considering multipath exposure (sum of ingestion, dermal absorption, and inhalation exposure) is 8.3E-05 for men and 8.1E-05 for women, the mean value for all one-year points. The mean total cancer risk for HAA from multiple exposure routes was calculated as 3.3E-05 and 4.4E-05 in men and women, respectively, with the highest risk value for the Isparta drinking water distribution system. The cancer risk values calculated for both THM and HAA are considerably higher than the negligible risk (1.0E-06). It revealed that the highest risk for THM was from inhalation exposure, while the highest risk for HAA was from ingestion exposure to trichloroacetic acid. For THM, inhalation exposure (average 62%) contributed the highest to total cancer risk in men, followed by ingestion (average 27%), and dermal exposure (mean 11%) contributed the least. In this study, cancer risks in different seasons were also calculated. Maximum values for risk exposure from THM and haloacetic acid for women and men in the ingestion, dermal absorption and inhalation routes were seen in the autumn season. Although the highest total THM and HAA values were obtained in the summer months, seasonal risks were different due to the seasonal differences in THM and HAA speciation and the cancer risk factor of each species. Today, regulations are being tightened even more to minimize the effects of DBPs on public health. In the legislative arrangements to be made in our country, it may be more appropriate to set individual effluent standards for each DBP type instead of DBP groups. Because each type of DBP has different cancer slope factors, its effect on health is different. The results obtained in this study, which is the first in our country, in which THM and HAA cancer risks are evaluated together, may be useful for determining control strategies against DBP-related risks in drinking water.

6 Teşekkür

Bu çalışma "İçme Suyu Kaynaklarında ve Şebekelerde Azot Bazlı Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin ve Öncüllerinin Mevsimsel Değişiminin İncelenmesi" başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında desteklenmiştir (Proje No: 113Y416).

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Cihan ÖZGÜR ve Şehnaz Şule KAPLAN BEKAROĞLU fikrin oluşması, tasarımın yapılması ve literatür taraması başlıklarında; Bilgehan İlker HARMAN ve Hasan KÖSEOĞLU elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, numune alımı ve sonuçların incelenmesi başlıklarında; Cihan ÖZGÜR yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur". "Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır"

9 Kaynaklar

[1] Stalter D, O'Malley E, von Gunten U, Escher BI. "Mixture effects of drinking water disinfection by-products: implications for risk assessment". *Environmental Science.: Water Research § Technology*, 6(9), 2341-2351, 2020.

[2] Fakıoğlu M, Karpuzcu ME, Öztürk İ. "İçme sularında alg kaynaklı tat ve koku sorununun değerlendirilmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1141-1156, 2018.

[3] Alkhatib E, Peters R. "Wet weather impact on trihalomethane formation potential in tributaries to drinking water reservoirs". *Environmental Monitoring Assessment*, 139(1-3), 173-181, 2008.

[4] Liu ZQ, Shah AD, Salhi E, Bolotin J, von Gunten U. "Formation of brominated trihalomethanes during chlorination or ozonation of natural organic matter extracts and model compounds in saline water". *Water Research*, 143, 492-502, 2018.

[5] Andersson A, Ashiq MJ, Shoeb M, Karlsson S, Bastviken D, Kylin H. "Evaluating gas chromatography with a halogen-specific detector for the determination of disinfection by-products in drinking water". *Environmental Science and Pollution Research*, 26(8), 7305-7314, 2018.

[6] Kargaki S, Iakovides M, Stephanou EG. "Study of the occurrence and multi-pathway health risk assessment of regulated and unregulated disinfection by-products in drinking and swimming pool waters of Mediterranean cities". *Science of the Total Environment*, 739, 1-16, 2020.

[7] Blatchley ER, Margetas D, Duggirala R. "Copper catalysis in chloroform formation during water chlorination". *Water Research*, 37(18), 4385-4394, 2003.

[8] Richardson SD, Ternes TA. "Water analysis: emerging contaminants and current issues". *Analytical Chemistry*, 86(6), 2813-2848, 2014.

[9] Wang Y, Zhu G, Engel B. "Health risk assessment of trihalomethanes in water treatment plants in Jiangsu Province". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170(2), 346-354, 2009.

[10] Matamoros V, Mujeriego R, Bayona JM. "Trihalomethane occurrence in chlorinated reclaimed water at full-scale wastewater treatment plants in NE Spain". *Water Research*, 41(15), 3337-3344, 2007.

[11] World Health Organization. "Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum". Geneva, Switzerland, Licence, CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2017.

[12] Van Veldhoven K, Keski-Rahkonen P, Barupal DK, Villanueva CM, Font-Ribera L, Scalbert A, Bodinier B, Grimalt JO, Zwiener C, Vlaanderen J. "Effects of exposure to water disinfection by-products in a swimming pool: a metabolome-wide association study". *Environmental International*, 111, 60-70, 2018.

[13] Fakhri Y, Mohseni-Bandpei A, Oliveri Conti G, Keramati H, Zandsalimi Y, Amanidaz N, Hosseini Pouya R, Moradi B, Bahmani Z, Rasouli Amirhajeloo L, Baninameh Z. "Health risk assessment induced by chloroform content of the drinking water in Iran: systematic review". *Toxin Reviewers*, 36(4), 342-351, 2017.

[14] Mohammadi A, Faraji M, Ebrahimi AA, Nemati S, Abdolahnejad A, Miri M. "Comparing THMs level in old and new water distribution systems; seasonal variation and probabilistic risk assessment". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 192, 1-7, 2020.

[15] Carter RAA, Joll CA. "Occurrence and formation of disinfection by-products in the swimming pool environment: A critical review". *Journal of Environmental Science (China)*, 58, 19-50, 2017.

[16] Peng F, Peng J, Li H, Li Y, Wang B, Yang Z. "Health risks and predictive modeling of disinfection byproducts in swimming pools". *Environment International*, 139, 105726, 2020.

[17] Kujlu R, Mahdavianpour M, Ghanbari F. "Multi-route human health risk assessment from trihalomethanes in drinking and non-drinking water in Abadan, Iran". *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 42621–42630 2020.

[18] Xu X, Weisel CP. "Inhalation exposure to haloacetic acids and haloketones during showering". *Environmental Science Technology*, 37(3), 569-576, 2003.

[19] Pan S, An Wei, Li H, Su M, Zhang J, Yang M. "Cancer risk assessment on trihalomethanes and haloacetic acids indrinking water of China using disability-adjusted life years". *Journal of Hazardous Materials*, 280, 288-294, 2014.

[20] Tokmak B, Capar G, Dilek FB, Yetis U. "Trihalomethanes and associated potential cancer risks in the water supply in Ankara, Turkey". *Environmental Research*, 96(3), 345-352, 2004.

[21] Uyak V. "Multi-pathway risk assessment of trihalomethanes exposure in Istanbul drinking water supplies". *Environment International*, 32(1), 12-21, 2006.

[22] Aslan S, Turkman A. *Cancer Risk Assessment in Drinking Water of Izmir, Turkey.* Editors: Mothersill C, Mosse I, Seymour C. Multiple Stressors: A Challenge for the Future. NATO Science for Peace and Security Series. 381-389, Frankfurt, Germany, Springer, Dordrecht, 2007.

[23] Genisoglu M, Ergi-Kaytmaz C, Sofuoğlu SC. "Multi-Route-Multi-Pathway exposure to trihalomethanes and associated cumulative health risks with response and dose addition". *Journal of Environmental Management*, 233, 823-831, 2019.

[24] Baytak D, Sofuoğlu A, Inal F, Sofuoglu SC. "Seasonal variation in drinking water concentrations of disinfection by-products in Izmir and associated human health risks". *Science of Total Environment*, 407(1), 286-296, 2008.

[25] Has M. Sakarya İli Şebeke Suyunda trihalometan Miktarının Belirlenmesi ve Risk Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2019.

[26] Ates N, Kaplan-Bekaroglu SS, Dadaser-Celik F. "Spatial/Temporal distribution and multi-pathway cancer risk assessment of trihalomethanes in low TOC and high bromide groundwater". *Environmental Science: Processes Impacts*, 22, 2276-2290, 2020.

[27] United States Environmental Protection Agency. "Guidelines for Exposure Assessment". U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, District of Columbia, Environmental Protection Agency, 600, Z-92, 001, 1992.

[28] United States Environmental Protection Agency. "Guidelines for Carcinogen Risk Assessment". Washington D.C., EPA, 600, P-92, 003C, 1996.

[29] Little JC. "Applying the Two-Resistance Theory to Contaminant Volatilization in Showers". *Environmental Science Technology*, 26(7), 1341-1349, 1992.

[30] Türkiye İstatistik Kurumu. "Nüfus ve Demografi" https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109 (10.02. 2021).

[31] Nicholson BC, Magure BP, Bursill DB. "Henry's law constants for the trihalomethanes: effects of water composition and temperature". *Environmental Science Technology*, 18(7), 518-521, 1984

[32] Legay C, Rodriguez MJ, Sadiq R, Sérodes JB, Levallois P, Proulx F. "Spatial variations of human health risk associated with exposure to chlorination by-products occurring in drinking water". J*ournal of Environmental Management*, 92(3), 892-901, 2011.

[33] Zhang H, Chang S, Wang L, Wang W. "Estimating and comparing the cancer risks from trihalometans and low-level arsenic in drinking water based on disability-adjusted life years". *Water Research*, 145, 83-93, 2018.

[34] Lee SC, Guo H, Lam SMJ, Lau SLA. "Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kong". *Environmental Research*, 94(1), 47-56, 2004.

[35] Kim J. "Fate of THMS and HAAs in low TOC surface water". *Environmental Research*, 109(2), 158-165, 2009.

[36] Kumari M, Gupta SK. "Age dependent adjustment factor (ADAF) for the estimation of cancer risk through trihalomethanes (THMs) for different age groups-a innovative approach". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 960-968, 2018.

[37] Rodriguez M, Serodes JB. "Spatial and Temporal Evolution of Trihalomethanes in Three Water Distribution Systems". *Water Research*, 35(6), 1572-86, 2001.

[38] Lebel GL, Benoit FM, Williams DT. "A One-Year Survey of Halogenated Disinfection By-Products in The Distribution System of Treatment Plants Using Three Different Disinfection Processes". *Chemosphere*, 34(11), 2301-2317, 1997.

[39] Williams DT, Lebel GL, Benoit FM. "Disinfection byproducts in Canadian drinking water". *Chemosphere*, 34(2), 299-316, 1997.

[40] Rodriguez MJ, Vinette Y, Serodes JB, Bouchard C. "Trihalomethanes in drinking water of greater québec region (Canada): Occurrence, Variations and Modelling". *Environmental Monitoring and Assessment*, 89(1), 69-93, 2003.

[41] Scheili A, Rodriguez MJ, Sadiq R. "Seasonal and spatial variations of source and drinking water quality in small municipal systems of two Canadian regions". *Science of the Total Environment*, 508(1), 514-524, 2015.

[42] Golfinopoulos SK, Arhonditsis GB. "Multiple regression models: A methodology for evaluating trihalomethane concentrations in drinking water from raw water characteristics". *Chemosphere*, 47(9), 1007-1018, 2002.

[43] Golfinopoulos SK, Xilourgidis NK, Kostopoulou MN, Lekkas TD. "Use of a multiple regression model for predicting trihalomethane formation". *Water Research*, 32(9), 2821-2829, 1998.

[44] Avşar E, Karadağ SG, Toröz İ, Hanedar A. "İstanbul Ömerli ham suyunda dezenfeksiyon amaçlı klor dioksit kullanımının dezenfeksiyon yan ürün (DYÜ) oluşumuna etkisinin araştırılması". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3), 297-302, 2017.

[45] Rodriguez MJ, Serodes JB, Levallois P. "Behavior of trihalomethanes and haloacetic acids in a drinking water distribution system". *Water Research*, 38(20), 4367-4382, 2004.

[46] Uyak V, Soylu S, Topal T, Karapinar N, Ozdemir K, Ozaydin S, Avsar E. "Spatial and seasonal variations of disinfection byproducts (DBPs) in drinking water distribution systems of Istanbul City, Turkey". *Environmental Forensics*, 15(2), 190-205, 2014.

[47] Hsu CH, Jeng WL, Chang RM, Chien LC, Han BC, "Estimation of potential lifetime cancer risks for trihalomethanes from consuming chlorinated drinking water in Taiwan". *Environmental Research*, 85(2), 77-82, 2001.

[48] Viana RB, Cavalcante RM, Braga FMG, Viana AB, Araujo JC, Nascimento RF, Pimentel AS. "Risk assessment of trihalomethanes from tap water in Fortaleza, Brazil". *Environmental Monitoring and Assessment*, 151(1), 317-325, 2009.

[49] Weisel CP, Jo WK. "Ingestion, inhalation and dermal exposure to chloroform and trichloroethene from tap water". *Environmental Health Perspectives*, 104(1), 48-51, 1996.

[50] Lee J, Ha KT, Zoh KD. "Characteristics of trihalomethane (trihalometan) production and associated health risk assessment in swimming pool waters treated with different disinfection methods". *Science of The Total Environment*, 407(6), 1990-1997, 2009.