

Çevresel Risk Azaltma Yöntemleri İçin Toplam Maruziyet İndeksinin Kullanılması

Halil ARI

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,

ari@harran.edu.tr

Özet

Klorlama, bakteri ve virüslere karşı güvenli su temini yaptı ve neredeyse tifo, kolera ve dizanteri gibi su kaynaklı hastalıkları tamamen ortadan kaldırdı. Bununla birlikte, sağlık için yapılan klorlama bazı dezenfeksiyondan yan ürünleri risklerini ortaya çıkarttı.

Çoklu maruziyet yolu boyunca, çoklu ortam ve çoklu kirleticilere olan toplam maruziyeti hesaplamak için yeni bir indeks bulundu: toplam maruziyet indeksi (TMİ). TMİ, bileşen maruziyetin eklenebilir olduğunu varsayarak ve birden çok kirleticilere maruz kalmayı ortam ve maruziyet yolu boyunca normalleştirilmiş bir toplam maruz kalma bileşenleri olarak ekler. Bir kontrol stratejisinin etkinliğini kestirmek pahalı ve zaman alıcı bir epidemiyolojik araştırma gerektirir. Bir kontrol stratejisinin uygulamaya konduktan birkaç yıl sonra etkinliğini değerlendirmek için kümülatif risk (KR) ile ilişkilendiren TMİ bir ilk adım olarak kullanılabilir.

Bu çalışma, birden çok yol ve çoklu medya boyunca evdeki trihalomethanların (THM) toplam maruz kalma ve risk değerlendirmesine TMİ ve kümülatif risk yöntemi kullanılarak ulaşılır. THM'nin toksik etkilerinden birisi karaciğer kanseridir.

Risk yöneticisi, THM'nin TMİ ile KR arasındaki ilişkiye ve seçilen kabul edilebilir risk düzeyine göre, kabul edilebilir bir risk seviyesine ulaşmak için etkili bir azaltma stratejisi belirlemesi mümkün olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kümülatif Risk, Su Kirliliği, Toplam Maruz Kalma İndeksi

Using Total Exposure Index For Assessing Risk Reduction Strategies

Abstract

Chlorination has made water supply safe from bacteria and viruses, and has almost completely eliminated risks of waterborne diseases such as typhoid fever, cholera and dysentery. However, the health benefit of chlorination has introduced some possible risks from the by-products of the disinfection process.

A new metric is introduced to estimate total exposure to multiple pollutants across media and routes: The Total Exposure Index (TMİ). The TMİ assumes that component exposures are additive but adds exposures to multiple pollutants across media and routes as a normalized sum of component exposures. Estimating the efficiency of a control strategy requires an expensive and time-consuming epidemiological investigation. A model relationship that associates TMİ with cumulative risk (CR) may be used as a first step to assess the efficiency of a control strategy a few years after the strategy has been implemented.

This study assesses total exposure and risk from multiple routes and multiple media residential exposure to THMs using the TMİ and cumulative risk assessment method. One of THMs toxic effects is liver cancer.

Based on the relationship between TMI and CR of THMs and the selected acceptable risk level, the risk manager will be able to identify an efficient reduction strategy to reach an acceptable risk level.

Keywords: Cumulative Risk, Water Pollution, Total Exposure Index

1. Giriş

Trihalometanlar (THM) kloroform, diklorobromometan (DCBM), klorodibromometan (CDBM) ve bromoform (TBM), doğal organik içeren su klorlama yan ürünleridir. Bir ABD Çevre Koruma Ajansı çalışmasında THM'ler hemen hemen klorlanmış bütün su kaynaklarında mevcut olduğu keşfedilmiştir [1-2]. Su dezenfeksiyonunun faydaları iyi olarak bilinse de çeşitli istenmeyen dezenfeksiyon yan ürünlerinin yan etkileri mevcuttur. Dezenfektanlar klor gibi suyun içindeki doğal anorganik ve organik madde ile reaksiyona girer. Araştırmalar dezenfeksiyon yan ürünleri laboratuvar hayvanlarında kanserojen olduğunu göstermektedir. İçme suyu arıtımının çoğunluğunda dezenfektan olarak klor kullanıldığından, arıtılmış sularda THM'ler oluşmaktadır. THM'ler kloroform dışında laboratuvar hayvanlarında ve ayrıca insanlarda da kansere neden olurlar [3].

Maruz kalmak, insan dış sınırının bir veya daha fazla biyolojik, kimyasal veya fiziksel maddelerle belirli bir zaman boyunca olan temasıdır. Kirletici TMI [4] daha önceden tanıtıldı ve ilk defa içme suyunda bulunan THM'lere maruz kalmayı değerlendirmek için bu çalışmada kullanıldı. TMI, parça maruziyetin eklenebilir olduğunu varsayar ve birden çok kirleticilere, ortamlara ve farklı yollar boyunca olan maruziyetleri toplam maruz kalma bileşenleri olarak ekler.

Kümülatif risk, farklı yollar boyunca ortak bir toksiklik mekanizmasını paylaşan çoklu kirleticilere maruz kalmadan kaynaklanan olumsuz sağlık etkilerinin ortaya çıkma olasılığıdır [5]. THM, bir hücre ile olan bir olay etkileşmesi ile başlayarak, önemli olaylar, süreçler dizisi ve operasyonel ve anatomik değişiklikler yoluyla devam eden ve kanser formasyonu ile sonuçlanan ortak bir eylem modu paylaşmaktadırlar [6].

Bu çalışmada olasılıklı Monte Carlo simülasyonları kullanılarak içme suyundaki THM maruziyetinden kaynaklanan TMI ve KR hesaplandı. İçme suyu THM verileri ABD ulusal içme suyu veri tabanından (Arizona Eyaleti) (1988-1997) alınmıştır.

2. Kümülatif Risk (KR)

KR, kişinin ömür boyunca, çoklu kirleticiler (p), çoklu yollar (r) ve çoklu ortam (m) boyunca kanser olma olasılığı olarak formül (1)'e göre hesaplanmıştır. THM'den kloroform hariç insanlara karaciğer kanseri yapmaktadır [3].

$$KR = \sum_{p=1}^p \sum_{r=1}^r PD_{p,r} \times EF_{p,r} = \sum_{p=1}^p \sum_{r=1}^r R_{p,r} \quad (1)$$

Burada:

KR :kümülatif risk (birimsiz);

$PD_{p,r}$:kirletici p'nin r maruziyet yolundaki potansiyel dozu (mg/kg/gün);

$EF_{p,r}$:kirletici p'nin r maruziyet yolundaki kanserojenlik eğim faktörü [(mg/kg/gün)⁻¹];

$R_{p,r}$:kansere olma olasılığı (birimsiz).

THM'nin kanserojenlik eğim faktörleri USEPA (US Environmental Protection Agency), IRIS (Integrated Risk Information System) (<http://www.epa.gov.tr/iris>)'den temin edilebilmektedir.

3. Toplam Maruziyet İndeksi (TMİ)

TMİ (2) numaralı formülle tanımlanmaktadır:

$$TMİ = 10 \left\{ \sum_p^P \sum_r^R \sum_m^M \left[1 - \frac{E_{p,r,m,max}^{stareji} - E_{p,r,m,göz}^{stareji}}{E_{p,r,m,max}^{stareji} - E_{p,r,m,min}^{stareji}} \right] \times \left[1 - \frac{E_{p,r,m,max}^{baş} - E_{p,r,m,göz}^{stareji}}{E_{p,r,m,max}^{baş}} \right] \right\} \quad (2)$$

Burada:

$E_{p,r,m,max}^{stareji}$:çoklu kirleticiler (p), çoklu yollar (r) ve çoklu ortam (m) boyunca toplam maruziyetin 95. persentil değeri;

$E_{p,r,m,göz}^{stareji}$:çoklu kirleticiler (p), çoklu yollar (r) ve çoklu ortam (m) boyuncaki maruziyet değeri;

$E_{p,r,m,min}^{stareji}$:çoklu kirleticiler (p), çoklu yollar (r) ve çoklu ortam (m) boyunca toplam maruziyetin 5. persentil değeri;

$E_{p,r,m,max}^{baş}$:çoklu kirleticiler (p), çoklu yollar (r) ve çoklu ortam (m) boyunca toplam maruziyetin başlangıç koşulunun maksimum değeri;

P :TMİ deki kirletici sayısı (çalışmada: 3);

R :her p kirleticisinin maruziyet yolu (çalışmada: 3);

M :ölçülen kirleticilerin ortam sayısı (çalışmada: 2).

Bu çalışmada kullanılan ortam, kirleticiler ve maruziyet yolları Tablo 1 de özetlenmiştir.

Tablo 1. İçme suyundaki THM için TMİ hesaplamasındaki maruziyet yolları, ortamlar ve kirleticiler.

Maruziyet Yolları	Ortamlar	Kirleticiler
Yutma	Su	Diklorobromoform Klorodibromoform Bromoform
Solunma	Hava	Diklorobromoform Klorodibromoform Bromoform
Dermal	Su	Diklorobromoform Klorodibromoform Bromoform

Maruziyet, doz, risk ve TMİ hesaplamaları Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılarak olasılıksal olarak hesaplanır. Monte Carlo yöntemi matematiksel bir denklem veya model çözümü için bir olasılık yaklaşım elde etmek için istatistiksel örnekleme teknikleri kullanan bir analiz bilgisayar tabanlı bir yöntemdir [7]. [8]'a göre, Monte Carlo analizi süreci şöyle açıklanabilir: $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ bir model bağımsız değişkenler olabilir. İlk olarak, tüm giriş değişkenler eğri uydurma teknikleri kullanılarak bir olasılık dağılımı atanır ve daha sonra da simülasyon işlemi bu olasılık dağılıma dayalı modeli kullanarak tüm değişkenler için bir değer üretir. Bu işlem, çok sayıda (N) tekrarlanır. Bu nedenle, N tane model değeri ve karşılık gelen model çıkışların değişken setleri elde edilir. Bu çalışmada N, 10000 alınmıştır. Çıkışların dağılımları gerçek çıkış dağılışı olarak karşılık gelir. Crystal Ball ® yazılımı [9] Monte Carlo analizi için bu çalışmada kullanılmıştır.

Her bir değişken için eğri uydurma teknikleri yardımıyla bir olasılık dağılımı ataması yapılır. Tablo 2'de atamaları yapılan parametreler özetlenmiştir.

Tablo 2. Değişik maruziyet yolları için kullanılan fiziksel değişkenler.

Kirletici	Soluma	Yutma	Dermal
Diklorobromoform (DCBM)	C_su_DCMBM (mg/m ³)	C_su_DCMBM (mg/m ³)	C_su_DCMBM (mg/m ³)
Klorodibromoform(CDBM)	C_su_CDBM (mg/m ³)	C_su_CDBM (mg/m ³)	C_su_CDBM (mg/m ³)
Bromoform(TBM)	C_su_TBM (mg/m ³)	C_su_TBM (mg/m ³)	C_su_TBM (mg/m ³)
	t_duş (dk/gün)	V_su_çeşme (L/gün)	t_duş (dk/gün)
	Q_su (L/dk)	VA (kg)	H (cm)
	Q_hava (L/dk)		VA (kg)
	V_banyo (L)		
	SH (m ³ /saat)		

Not: Tablo 1'deki parametreler için seçilen verilerle ilgili daha fazla bilgi için [10]'a bakın.

C_su_CDBM : Suda ölçülen CDBM konsantrasyonu, mg/m³

C_su_DCMBM : Suda ölçülen DCMBM konsantrasyonu, mg/m³

C_su_TBM : Suda ölçülen TBM konsantrasyonu, mg/m³

CDBM : Klorodibromometan, CHBr₂Cl

DCMBM : Diklorobromometan, CHCl₂Br

H : Kişinin boyu, cm

Q_hava : Havalandırma debisi, L/dk

Q_su : Duş suyu debisi, L/dk

SH : Kişinin hava soluma hızı, m³/saat

t_duş : Günlük duş alma zamanı, dk/gün

TBM : Tribromometan, CHBr₃

VA : Kişinin vücut ağırlığı, kg

V_banyo : Duş kabini hacmi, L

V_su_çeşme : Kişinin su tüketimi, L/gün

4. Sonuçlar

Simülasyon senaryoları Tablo 3'te her bir kimyasala gelen azalma yüzdesi ile birlikte listelendi. Bu çalışmada her bir kirletici için uygulanan 12 azaltma senaryosu yüzdeleri 0, 10 25, 30, 40, 50, 60, 75, 80, 90, 95 ve 100'dür. %100 değeri kirleticinin tamamının ortadan kaldırılması ve %0 değeri ise kirletici hiç azaltılmamış demektir.

1 numaralı senaryo başlangıç yani herhangi bir azaltma yapılmamış normal haldir. 3., 31., ve 32. senaryoda ise iki kirletici tamamen sistemden kaldırılmış; sadece bir kirletici ortamdadır.

KR, THM konsantrasyonlarının çeşitli risk azaltma senaryolarında (32 adet) (Tablo 3) hesaplandı ve bu risk değerleri ile onlara karşılık gelen TMİ değerleri ile regresyon analizi yapıldı. Her senaryo için TMİ değeri olarak, 10000 defa hesaplanan TMİ dağılımının 90. persentil ortalama değeri alınmıştır. 90. persentil değerinin alınmasının nedeni ise; USEPA 90. persentil hesaplanan risk değerinin yüksek duyarlılığından dolayı üst uç değer olarak tanımlamasıdır [11-12].

KR ile TMİ arasındaki bağıntı ($R^2=0,76$) aşağıdaki şekilde regresyon analizi ile bulundu:

$$KR = -2,04 \times 10^{-5} + 4,66 \times 10^{-6} \cdot TMİ \quad (3)$$

USEPA kabul edilebilir kanser risk seviyesini 10^{-4} ile 10^{-6} arasında kullanır [13-16]. Eğer 10^{-6} (1 milyon kişide 1 kişinin kanser olması olasılığı) kabul edilebilir kanser risk seviyesi seçilirse, elde edilen 3 numaralı bağıntıdan TMİ değerinin 2,1178 değerinden küçük olması ile bu kabul edilebilir seviyeye ulaşılabilir. Aynı şekilde, TMİ değerinin 4,2605 veya daha küçük olması halinde 10^{-5} kabul edilebilir seviyesine ulaşılabilir. Görüldüğü gibi TMİ değeri ile doğrusal ilişkisi bulunan KR, yani insanların ömür boyu (70 yıl) kansere yakalanma riski tahmini mümkündür.

Tablo 3. TMİ ve KR Hesaplama Senaryoları.

Sena No	Azaltma (%)			Sen No	Azaltma (%)		
	DCBM	CDBM	TBM		DCBM	CDBM	TBM
1	0	0	0	17	50	95	30
2	0	95	0	18	60	10	50
3	0	100	100	19	75	30	40
4	10	30	60	20	80	60	75
5	10	60	75	21	80	80	80
6	25	10	10	22	80	95	90
7	25	10	30	23	90	75	50
8	25	30	10	24	90	80	95
9	30	25	30	25	90	90	95
10	30	50	75	26	95	0	0
11	40	50	10	27	95	60	10
12	40	60	75	28	95	75	80
13	40	90	25	29	95	90	80
14	50	25	60	30	95	95	95
15	50	50	50	31	100	0	100
16	50	60	75	32	100	100	0

5. Tartışma ve Sonuç

TMİ, birden çok kirleticiyi (THM), birden çok maruziyet yolunda (solunum, yutma ve dermal), ve çoklu ortamda (hava, su) toplam maruziyetin bir ölçüsü olarak hesaplanmaktadır. Ortam veya maruziyet yoluna özel TMİ değeri 0 ile 10 arasında değişmektedir. Sıfır ve 10 değeri sırasıyla, minimum ve maksimum değeri temsil eder.

32 azaltma stratejileri göz önüne alındığında, KR ile TMİ arasında ilişki kurulmuş ve halk sağlığı kontrol stratejisinin etkili bir ölçüsü olacağı düşünülebilir. TMİ ve KR arasındaki ilişki lineer regresyon kullanarak istatistiksel olarak anlamlı bir model ile açıklanmıştır. Maruziyet ile risk arasındaki ilişki çok önemlidir çünkü eğer bu ilişki hesaplanırsa karar vericiler (risk yöneticileri) halk sağlığı için kabul edilebilir seviyesine ulaşmak için uygulanması gereken kararı uygulayabilirler. Açıkçası risk yöneticisi ekonomi, politika gibi diğer faktörleri de dikkate alır, TMİ yalnızca KR'yi gösterir.

İstenilen kabul edilebilir risk düzeyine (toplumun ömür boyu kansere yakalanma olasılığı) bağlı olarak, risk yöneticisi, kabul edilebilir bir risk seviyesine ulaşmak için azaltma stratejisi formüle edebilir.

7. Kaynaklar:

1. Bellar, T.A., Lichtenberg, J.J. and Kroner, R.C., Occurrence of organohalides in chlorinated drinking water, *Journal of the American Water Works Association* 66, 703–706,1974.
2. Rook J., 'Formation of haloforms during chlorination of natural water,' *Journal Water Treatment Examination* 23, 234, 1974.
3. USEPA, Toxicological Review of Chloroform (CAS No.67-66-3) in Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS), US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/635/R-01/001,2001.
4. Moschandreas, D. J., Karuchit, S., Lebowitz, M., O'Rourke, M.K. and Gordon. S., The Total Exposure Index Scheme, Eighth Conference of the International Society of Exposure Analysis, Boston, Massachusetts, USA, August 15-18, 1998.
5. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), Framework for cumulative risk assessment, Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/630/P-02/001F, May, 2003.
6. USEPA, Guidelines for Carcinogen Risk Assessment, Risk Assessment Forum, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/630/P-03-001F, http://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p-download_id=439797, March, 2005.
7. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), Guiding Principles for Monte Carlo Analysis, US Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, EPA/630/R-97/001, March, 1997.
8. Cox, D.C., and Baybutt, P., "Methods for Uncertainty Analysis: A Comparative Survey," *Risk Analysis*, (1) 4, 1981.
9. Sargent, R., and Wainwright, E., *Crystal Ball Version 4.0 User Manual*, Decisioneering, Inc., 1996.
10. Ari, H., Total exposure index, a practical tool for assessing risk reduction strategies, PhD thesis, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, 2004.
11. Callahan, M.A., Clinker, R.P., Whitmore, R.W., Kalton, G., Sexton, K., "Overviews of of Important Design Issues for a National Exposure Assessment Survey," *J. Expos. Anal. Environ. Epidemiol.* 5 (3): 257-282, 1995.
12. Sexton, K., Callahan, M.A., Bryan, E.F., Saint, C.G., Wood, W.P., "Informed decisions about protecting and promoting public health: Rationale for a national human exposure assessment survey," *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 5 (3), 233-256, 1995.
13. Fewtrell, L., and Bartram, J., *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*, WHO (World Health Organization), IWA Publishing, London, UK, 2001.
14. NRC (National Research Council), *Review of the Army's Technical Guide on Assessing and Managing Chemical Hazards to Deployed Personnel*, National Academy of Science, 2004.
15. Sadowitz, M. and Graham, J.D., A survey of residual cancer risks permitted by health, safety and environmental policy, *Risk: Health, Safety & Environment*, 17(Winter): 17-35,1995.
16. Smith, A.H., Is the proposed new arsenic water standard of 10 ug/l sufficiently protective of public health?, <http://wwwbr.cr.usgs.gov/Arsenic/FinalAbsPDF/smith.pdf> , 2001.