

ORGANİK MADDE KONSANTRASYONUNUN TRIHALOMETAN (THM) BİLEŞİKLERİNİN OLUŞUMUNA ETKİSİ

Sezen KÜÇÜKÇONGAR, Mehmet Faik SEVİMLİ, Esra YEL

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kampus-KONYA

ÖZET: Klor en yaygın olarak kullanılan dezenfektandır ve sulardaki doğal organik maddeler (DOM) ile reaksiyona girerek dezenfeksiyon yan ürünlerini (DYÜ) oluşturmaktadır. DYÜ'lerin en yaygın iki türü trihalometan (THM) ve haloasetik asit (HAA) bileşikleridir insan ve çevre sağlığı açısından oldukça sakıncalıdır. Bu çalışmada Konya'da evsel ve endüstriyel su temininde ihtiyacı karşılayan Altınapa Barajı'ndan alınan su örneği, ters osmoz membran sisteminden geçirilerek mevcut çözünmüş organik maddelerin izole edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen izolattan belirli seyreltmeler yapılarak farklı organik madde konsantrasyonlarında 4 farklı THM bileşiğinin oluşumu ve türlerin dağılımı belirlenmiştir. Farklı organik madde konsantrasyonlarında elde edilen toplam THM miktarı 58-108 µg/L aralığındadır ve toplam THM içerisinde kloroform (CF) % 63-89'lük kısmı oluşturmaktadır. Organik madde konsantrasyonunun artırılması ile THM bileşiklerinin konsantrasyonlarının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal organik madde, trihalometan, TOK.

The Effects of Organic Matter Concentration On Trihalomethane (Thms) Compounds Formation

ABSTRACT: Chlorine is widely used disinfectant and reacts with natural organic matter (NOM) in waters to form disinfection by-products (DBPs). Trihalomethanes (THMs) and haloacetic acids (HAAs) are the most common DBPs and potentially hazardous to environment and human health. In this study, water sample was obtained from Altınapa Dam, which has been used for the domestic and industrial water supply purposes in Konya. Dissolved organic matters in the dam water sample were isolated using a reverse osmosis membrane. The isolate was diluted with distilled water to adjust the different organic matter concentrations. Formation and speciation of four THM compounds were determined at different organic matter concentrations. The range of total THMs concentrations are 58-108 µg/L and chloroform (CF) is 63-89 % of total THMs. Increasing organic matter concentrations increase THMs concentrations.

Key Words: Natural organic matter, trihalomethane, TOC.

GİRİŞ

Dezenfektanların su arıtımında kullanımının en önemli sebebi, su ile bulaşan hastalıklara engel olunması ve su kaynaklarındaki patojen organizmaların inaktive edilmesidir. Klorun su arıtımında sürekli bir proses halinde kullanımı ilk olarak Belçika'nın bir kasabasında 1900'lü yıllarda başlamıştır. ABD'de su arıtma tesislerinde filtrasyon ve dezenfeksiyonun uygulanması tifo ve kolera gibi su ile bulaşan hastalıkların azalmasını sağlamıştır. Ancak Rook

(1974) ve Bellar ve Lichtenberg (1974)'in yaptığı çalışmalar sonucu içme sularının klorlanması bir sonucu olarak THM oluştuğu belirlenmiştir. Doğal sulardaki organik maddeler içme suyu arıtımında kullanılan özellikle klor olmak üzere farklı oksidan ve dezenfektanlarla verdikleri reaksiyonlar açısından önemlidir.

Doğal organik maddeler tüm yüzeysel sular ve yeraltı sularında kompleks biyotik ve abiyotik reaksiyonların bir sonucu olarak bulunmaktadır. Bu nedenle doğal organik maddeler, makromoleküler hümitik maddeler,

daha küçük molekül ağırlıklı hidrofilik asitler, proteinler, yağlar, karboksilik asitler, amino asitler, karbonhidratlar ve hidrokarbonları içine alan organik maddelerin heterojen bir karışımıdır. Klor ham içme suyuna ilave edildiğinde, sudaki DOM'lerle reaksiyona girerek kloroform, mono-, di- ve trikloroasetik asit ve diğer klorlu dezenfeksiyon yan ürünlerini (DYÜ) oluşturmaktadır. Eğer su belirli miktarlarda bromür içeriyorsa, klor bromürü hipobromöz aside okside edecek ve hipobromöz asit de DOM ile klorlu DYÜ'lere benzer şekilde bromoform (BF), bromlu asetik asitler ve diğer bromlu DYÜ'leri oluşturmak üzere reaksiyona girecektir. Sonuçta DOM ve bromür içeren ham içme sularına klorun ilave edilmesi klorlu, bromlu ve bromo-kloro DYÜ'lerin oluşumu ile sonuçlanacaktır (Singer, 1999; Minear ve Amy, 1996).

THM bileşiklerinin oluşumu propanon ve klor arasındaki reaksiyon ile tanımlanabilir. Klorlu sularda propanon trikloropropanona kolaylıkla okside olmakta ve trikloropropanon özellikle yüksek pH değerlerinde hidroliz reaksiyonuyla CF'u oluşturmaktadır. Suda bromun bulunması halinde, bromlu propanonlar da oluşabilmektedir. THM bileşikleri hidrolizle diğer pek çok trihalojenli DYÜ bileşiğine veya ara ürünlere hidrolize olabilmektedir. Bu trihalojenli DYÜ'ler trihaloasetonitrilleri, trihaloasetaldehitleri ve bromlu trihaloasetik asitleri içermektedir (Xie, 2004).

Oluşan halojenli DYÜ'lerin dağılımı pek çok faktöre bağlıdır ve bunlar içerisinde en önemli olanları DOM'in miktarı ve karakteristikleri, pH, SUVA₂₅₄, sıcaklık, bromür konsantrasyonu, klor/bromür oranıdır (Amy ve diğ., 1987; Reckhow ve diğ., 1990; Adin ve diğ., 1991; Chang ve diğ., 2001; Kitiş, 2001).

DYÜ'lerin en yaygın iki türü THM ve HAA bileşikleri insan ve çevre sağlığı açısından oldukça sakıncalıdır. Klorlanmış içme sularının tüketimi, üriner ve sindirim sisteminde kanser gibi rahatsızlıklar ve diğer bazı sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Lee ve diğ., 2004; Fawell, 1999). EPA, Avrupa Birliği ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından DYÜ bileşikleri için pek çok sınırlamalar getirilmiş olup, özellikle son yapılan revizyonlarda maksimum limit daha düşük konsantrasyonlara

çekilmektedir ve bu durum bu konunun insan ve çevre sağlığı açısından önemini ifade etmektedir. Türkiye'de ise bu konuda yasal sınırlandırmaların yetersiz olmasının sebeplerinden en önemlisi konunun ciddiyetinin geniş kitlelerce bilinmiyor olmasıdır.

Bu çalışmada Altınapa Barajı suyundan organik maddenin izolasyonu; izolattan kontrollü şartlarda, bilinen toplam organik karbon (TOK) düzeylerinde numuneler elde edilmesi; bu numunelerin klorlanması sonucu THM oluşturma potansiyeli ve THM türlerinin dağılımının belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Konya ilinde içme suyu temini amacıyla faydalanılan Altınapa Barajı'ndan bir defaya mahsus su örneği alınmıştır. Su numunesi kaynağından alındıktan hemen sonra laboratuvara getirilmiş ve aynı gün içerisinde gerekli analizleri yapılarak, ters osmoz membran sisteminden geçirilerek çözünmüş organik madde (ÇOM) konsantre edilmiştir. Elde edilen konsantre izolat deney süresine kadar +4 °C'de ve karanlıkta muhafaza edilmiştir.

Altınapa Barajı, Konya ilinde, Meram Çayı üzerinde, sulama ve içme suyu temini amacı ile 1963 - 1967 yılları arasında inşa edilmiş bir barajdır. Barajın gövde hacmi 325,000 m³, akarsu yatağından yüksekliği 32 m, normal su kotunda göl hacmi 15 hm³, normal su kotunda göl alanı 2.20 km²'dir. 1,400 hektarlık bir alana sulama hizmeti vermekte, yılda 38 hm³ içme ve kullanma suyu sağlamaktadır. Baraj suyu numunesi için elde edilen ham su değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Altınapa Barajı ham su numunesi ölçüm değerleri.

Parametre	Altınapa Barajı
ÇOK (mg/L)	2.48
pH	8.26
İletkenlik (µS/cm)	367
Bulanıklık (NTU)	5.48
Br, µg/L*	<20

Bu değer (Ates ve diğ., 2007) çalışmasından alınmıştır.

Su kaynağından alınan numune ters osmoz membranından geçirilerek organik maddeler izole edilmiş ve daha konsantre hale getirilmesi sağlanmıştır. Kullanılan ters osmoz membranı Filmtec firmasından temin edilmiştir.

TOK ölçümleri Standart Metot 5310 B'de (2005) verilen yüksek-sıcaklıkta yakma metoduna uygun olarak Shimadzu marka ASI-V otomatik örnekleyici ile donatılmış Shimadzu marka TOC-V_{CPH} analizörde gerçekleştirilmiştir. TC ve IC analizlerinin her biri için en az 5 noktali kalibrasyon eğrileri elde edilmiştir.

Klor analizi Standart Metotlar'da (2005) belirtilen 4500-Cl G. DPD kolorimetrik metoduna uygun olarak yapılmıştır. Bu metot suda iyodür iyonunun bulunması halinde serbest klorun DPD indikatörü ile birleşerek pembe renk oluşturması ve oluşan rengin spektroskopik olarak tayin edilmesi esasına dayanmaktadır.

Klorlama çalışmaları "uniform formation conditions (UFC)" protokolüne uygun olarak yapılmıştır (Summers ve diğ., 1996). Bu protokol THM ve HAA oluşum potansiyelleri baz alınarak yapılan oluşum potansiyeli (FP) ve simüle edilmiş dağıtım şebekesi (SDS) metotlarındaki dezavantajların giderildiği, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki içme suyu dağıtım şebekesindeki ortalama klorlama şartlarını simüle edilerek geliştirilmiş bir metottur. Temel prensibi 8.0 ± 0.2 pH değerinde ve 20.0 ± 1.0 °C sıcaklıkta 24 ± 1 saat inkübasyon süresinin sonunda sudaki kalıntı klor değerinin 1.0 ± 0.4 mg/L olmasıdır. Klorlama klor ihtiyacı olmayan cam inkübasyon şişeleri içerisinde yapılmıştır. Amber cam şişeler 125 mL hacminde olup teflon septası bulunan kapaklar kullanılmıştır. Cam şişeler her kullanımdan önce musluk suyu ve ultra saf su ile yıkanmış 140 °C'de kurutulmuştur. Başlangıçta verilecek uygun klor dozunun belirlenebilmesi için farklı klor/ÇOK oranlarında klor dozlamaları yapılmış ve 24 saat sonunda kalıntı klor değerleri tespit edilmiştir. Bu amaçla ÇOK konsantrasyonu sabit tutulmuş ve başlangıçta dozlanan klor dozları değiştirilmiştir. Literatürde klor/ÇOK oranı 2.5-5.0 aralığında verilmektedir (Kitiş, 2001).

Bu çalışmada su numuneleri konsantre su numunelerinden yaklaşık 2, 3 ve 4 mg/L ÇOK konsantrasyonu içerecek şekilde saf su ile

seyreltilmiştir. Stok klor çözeltisi, Merck firmasından temin edilen % 6-14 aktif klor içeren sodyum hipoklorit çözeltisinden seyreltilerek hazırlanmıştır. UFC protokolünde belirtildiği üzere şişeler 24 saat karanlıkta bekletilmiştir. 24 saat sonrasında bakiye klor değerleri DPD kolorimetrik yöntemi ile belirlenmiştir. Numunelerin bakiye klor değerleri belirlendikten sonra, gerekli miktarda sodyum sülfid çözeltisi eklenerek THM analizleri yapılmadan önce klorun aktivitesinin durması sağlanmıştır. 24 saat sonrasında 1.0 ± 0.4 mg/L serbest klor konsantrasyonunu veren klor dozu belirlendikten sonra, her bir su numunesine belirlenen bu dozda klor verilmiş ve 0.5, 1, 2, 4, 8, 24 ve 48 saat sonrasında bakiye klor değerleri belirlenmiş ve THM bileşiklerinin analizi için işlemlere geçilmiştir.

THM bileşiklerinin analizi EPA 551.1 (1995) numaralı metot modifiye edilerek yapılmıştır. THM bileşiklerinin analizi için 20 mL numune vida kapaklı teflon septalı cam ekstraksiyon vialine bir cam pipet yardımıyla türbülans oluşturmadan dikkatlice aktarılmıştır. Numuneye organik çözücü olarak 8 mL MTBE yavaşça eklenmiş ve ardından sudaki iyonik kuvveti yükselterek THM bileşiklerinin organik faza aktarılmasını kolaylaştırmak amacıyla 8.5 g sodyum sülfat ilave edilmiştir. Ekstraksiyon vialeri kapakları kapatılarak 4 dk çalkalandıktan sonra, 2 dk beklemeye bırakılmış ve faz ayrımının gerçekleşmesi sağlanmıştır. Net bir faz ayrımı elde edildikten sonra, MTBE fazının 2 mL'si bir cam pastör pipeti yardımıyla, gaz kromatograf cihazı otomatik örnekleyici vialine aktarılmıştır.

Analiz işlemi için Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Konya İl Kontrol Laboratuvarı Müdürlüğü Kalıntı Laboratuvarı'nda bulunan Agilent 7683 model otomatik sıvı örnekleyici ile donatılmış Agilent 6890 model gaz kromatograf cihazı ve µECD (mikro elektron yakalayıcı dedektör) kullanılmıştır. Verilerin analizinde HP ChemStation programı kullanılmıştır. Cihazda 30 m uzunluğunda, 0.25 mm iç çapında ve 0.25 µm film kalınlığında HP-5MS kapiler kolonu kullanılmıştır. Taşıyıcı gaz olarak 2.2 mL/dk debisinde helyum gazı ve make up gaz olarak 28.9 mL/dk debisinde azot gazı kullanılmıştır. Enjektör sıcaklığı 200 °C ve dedektör sıcaklığı

290 °C'ye ayarlanmıştır. Çalışmalar splitless modda gerçekleştirilmiştir. Fırın sıcaklığı 35 °C'den başlatılmış ve bu sıcaklıkta 22 dk bekletilmiştir. Sıcaklık 10 °C/dk hızla 125 °C'ye yükseltilmiş ve toplam analiz süresi 31 dakika olarak belirlenmiştir. Analiz için 1 µL enjeksiyon hacmi kullanılmıştır.

CF, bromodiklorometan (BDCM), dibromoklorometan (DBCM) ve BF içeren THM standardı Supelco firmasından temin edilmiştir. Metanol çözücüsü içerisinde çözülmüş olan standartta bileşiklerin saflığı % 96.9-99.9 aralığında değişmektedir. Yukarıda belirtilen şartlarda GC cihazına enjekte edilen standart için 6 noktalı kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur.

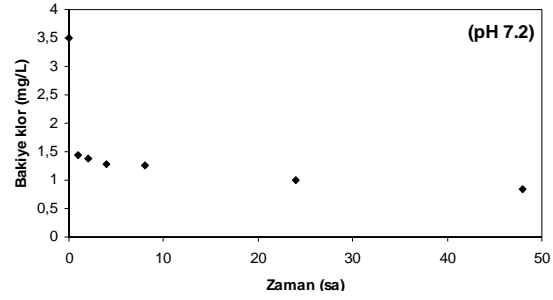
ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Altınapa Barajı'ndan alınan ham su numunesinden elde edilen izolat, bütün dezenfektan uygulamalarında istenilen TOK konsantrasyonlarına saf su ile seyreltilerek kullanılmıştır. Deneylerde doğal organik madde TOK olarak ifade edilmiş ve konsantrasyon deneylerinde TOK'un 2, 3 ve 4 mg/L'lik numuneleri kullanılmıştır.

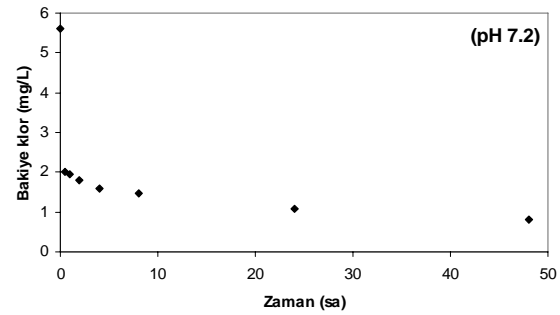
TOK değerinin yaklaşık 2 mg/L'ye ayarlandığı izolat için 1.4-4.2 mg/L aralığında, TOK değerinin yaklaşık 3 mg/L'ye ayarlandığı izolat için 2.8-6.3 mg/L aralığında ve TOK değerinin 4 mg/L'ye ayarlandığı izolat için 2.8-6.3 mg/L aralığında klor dozlamaları yapılmıştır. UFC protokolüne göre uygun klor dozunun belirlendiği numunelerde 48 saat boyunca bakiye klor ve TOK değerleri belirlenmiştir.

TOK konsantrasyonunun 2, 3 ve 4 mg/L'lik olduğu izolat numunelerinin pH 7.2 değerlerinde bakiye klorun zamana karşı değişimi sırasıyla Şekil 1, 2 ve 3'de verilmiştir.

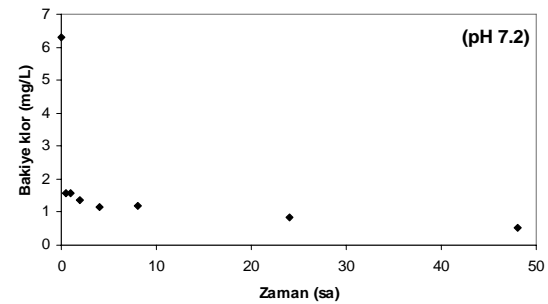
TOK değerinin 2, 3 ve 4 mg/L'ye ayarlandığı numuneler için uygun klor dozu sırasıyla 3.5, 5.6 ve 6.3 mg/L olarak belirlenmiş ve uygun klor dozunun verildiği şişelerde THM bileşiklerinin zamana bağlı oluşumunu belirlemek amacıyla, klorun şişelere dozlandığı andan itibaren 0.5, 1, 2, 4, 8, 24 ve 48 saat sonrasında klor reaksiyonu sodyum sülfite ile durdurulmuş numunelerde THM bileşiklerinin analizleri yapılmıştır.



Şekil 1. Bakiye klor konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Altınapa Barajı izolatından başlangıç TOK: 2 mg/L, klor dozu: 3.5 mg/L).



Şekil 2. Bakiye klor konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Altınapa Barajı izolatından başlangıç TOK: 3 mg/L, klor dozu: 5.6 mg/L).



Şekil 3. Bakiye klor konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Altınapa Barajı izolatından başlangıç TOK: 4 mg/L, klor dozu: 6.3 mg/L).

TOK = 2 mg/L, pH 7.2 için THM oluşumu

TOK konsantrasyonunun 2 mg/L'ye ayarlandığı pH değerinin 7.2 olduğu numune için elde edilen CF, BDCM, DBCM ve toplam THM bileşiklerine ait grafikler Şekil 4'de görülmektedir. BF bileşiği tespit limitinin altında bulunmuştur. Zamana karşılık CF miktarında

sürekli bir artış gözlemlenmiştir. CF, THM bileşikler içerisinde en kararlı durumdaki son üründür. Bu nedenle miktarında herhangi bir azalma gözlemlenmemiş ve sürekli bir artış görülmüştür. THM bileşiklerinin oluşumu klor ve bromun sadece metan ya da klorlu metanla reaksiyonlarından oluşmamaktadır. Klor, brom ve doğal organik maddelerin verdiği kompleks reaksiyonlar sonucunda THM'ler oluşmaktadır ve her bir THM bileşiğinin de kendi arasında dönüşüm reaksiyonları gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle Şekil 4'de de görüldüğü üzere toplam THM miktarında 48 saat boyunca artma gözlemlenirken, 48. saatte analiz edilen numunelerde BDCM miktarı azalırken, CF ve DBCM miktarı artmaktadır.

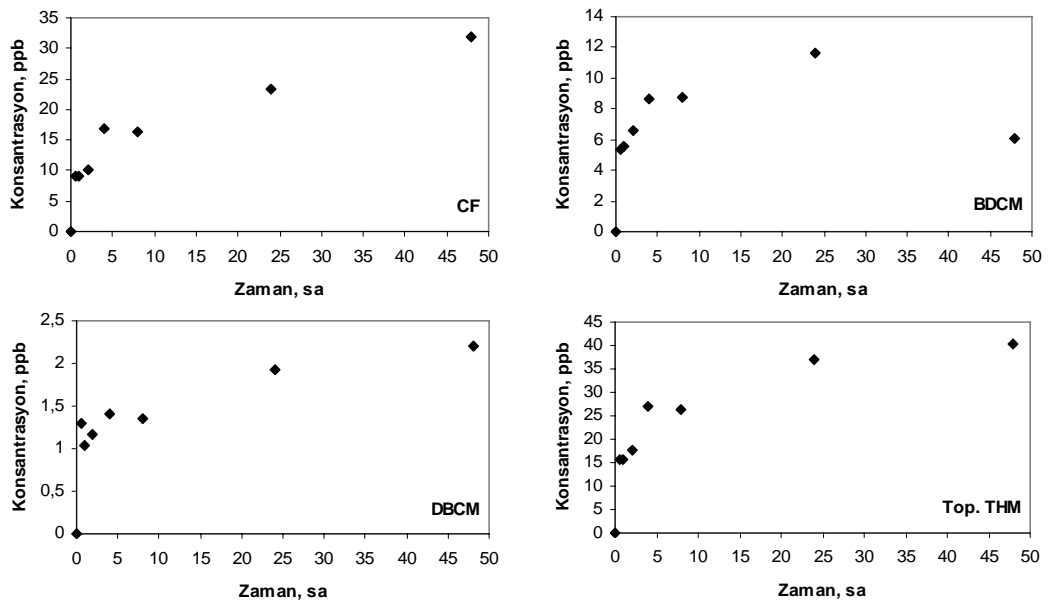
TOK = 3 mg/L, pH 7.2 için THM oluşumu

TOK konsantrasyonunun 3 mg/L'ye ayarlandığı, pH değerinin 7.2 olduğu numune için elde edilen CF, BDCM, DBCM ve toplam THM bileşiklerine ait grafikler Şekil 5'de görülmektedir. BF bileşiği tespit limitinin altında bulunmuştur. TOK konsantrasyonunun 3 mg/L'ye artırılması halinde toplam THM ve CF konsantrasyonlarında 48 saat boyunca artış gözlemlenmiştir. 2 mg/L TOK içeren numunelerden farklı olarak BDCM konsantrasyonunda 24. saatten itibaren bir

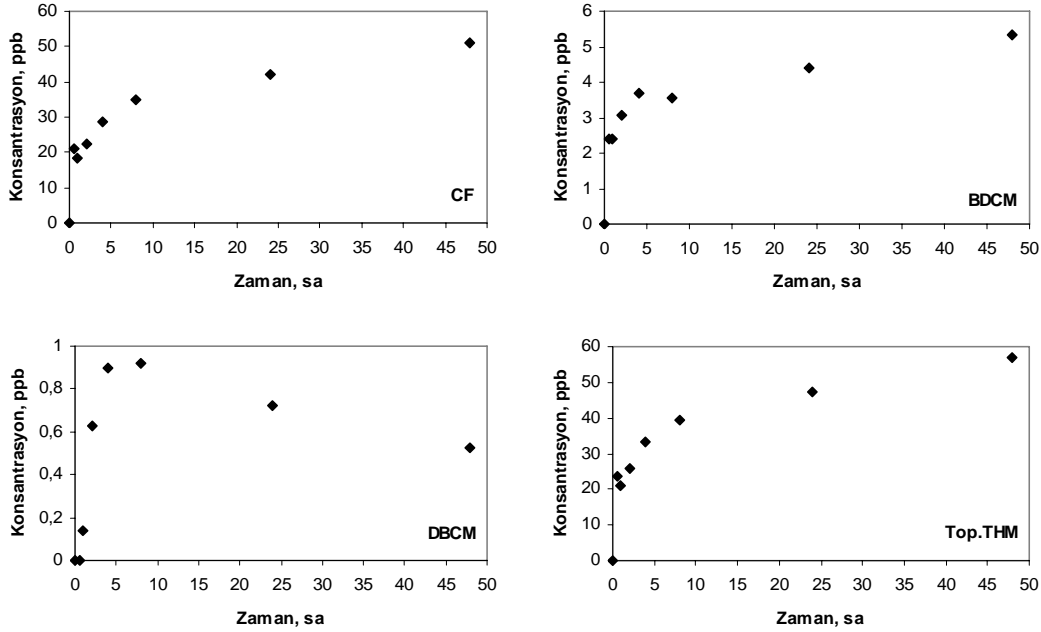
düşme görülmemiş, ancak DBCM konsantrasyonu 8. saatten itibaren azalan bir eğilim göstermiştir. Artan organik madde konsantrasyonu ile oluşan DYÜ konsantrasyonunun artması da beklenen bir durumdur. Bunun birinci nedeni DYÜ oluşturacak öncü bileşenlerin miktarının artması, ikinci nedeni ise suyun klor ihtiyacının artmasıdır. Buna bağlı olarak toplam THM miktarında artış gözlemlenmiş, ancak diğer artışların yanında DBCM konsantrasyonunun düşüşü daha kısa sürede meydana gelmiştir.

TOK = 4 mg/L, pH 7.2 için THM oluşumu

TOK konsantrasyonunun 4 mg/L'ye ayarlandığı pH değerinin 7.2 olduğu numune için elde edilen CF, BDCM, DBCM ve toplam THM bileşiklerine ait grafikler Şekil 6'da görülmektedir. BF bileşiği tespit limitinin altında kalmıştır. TOK konsantrasyonunun daha da artırılması beklenildiği üzere CF ve toplam THM konsantrasyonunun zamana bağlı olarak artmasına neden olmuştur. Ancak bu sette BDCM miktarındaki 4.-8. saatler arasında oluşan azalma, DBCM miktarında artma şeklinde görülmüştür. Yani bu iki tür arasında birindeki azalma diğerindeki artış şeklinde gözlemlenmiştir.

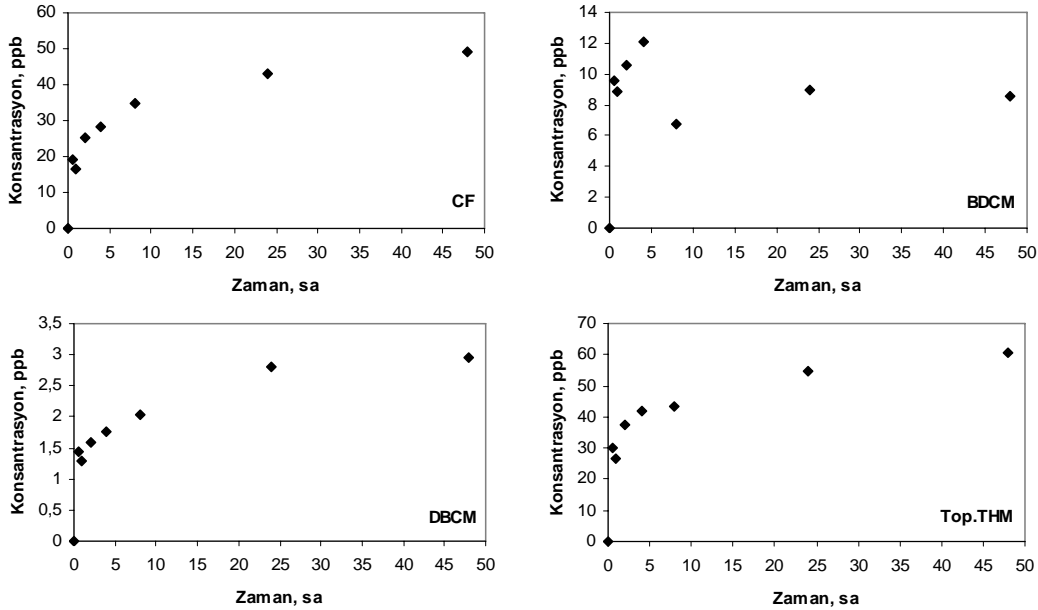


Şekil 4. THM konsantrasyonlarının zamanla değişimi (Altınapa Barajı izolatından başlangıç TOK: 2 mg/L, pH: 7.2, klor dozu: 3.5 mg/L).



Şekil 5. THM konsantrasyonlarının zamanla değişimi

(Altnapa Barajı izolatından başlangıç TOK: 3 mg/L, pH: 7.2, klor dozu: 5.6 mg/L).

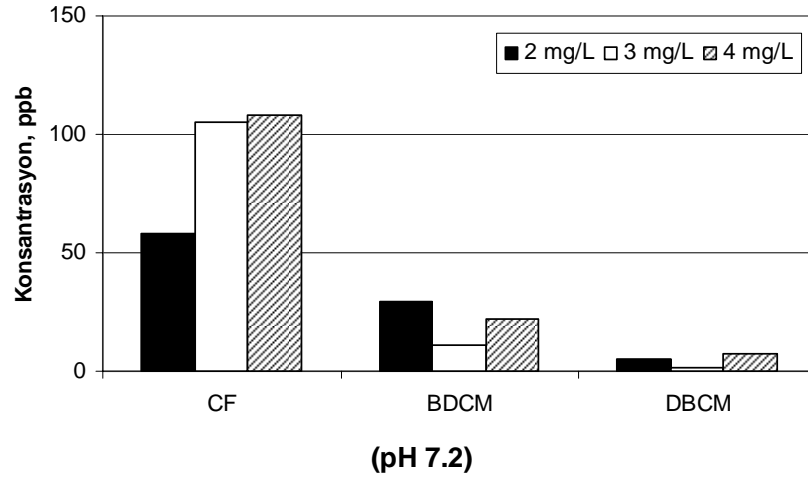


Şekil 6. THM konsantrasyonlarının zamanla değişimi

(Altnapa Barajı izolatından başlangıç TOK: 4 mg/L, pH: 7.2, klor dozu: 6.3 mg/L).

Altnapa Barajı izolatında farklı TOK konsantrasyonlarında pH 7.2 değeri için 24 saat sonrasında oluşan her bir THM bileşiğinin dağılımı Şekil 7'de görülmektedir. Türkiye'de baraj suları düşük TOK konsantrasyonu ve bromür içeriğine sahiptir (Ates ve diğ., 2007) ve Altnapa Barajı'nda da bromür düzeyi 20 µg/L'den daha düşük düzeylerde olduğu için BF

bileşiği tespit limitlerinin altında bulunmuştur. CF bileşiği TOK konsantrasyonuna bağlı olarak düzenli bir şekilde artmaktadır. Tüm TOK konsantrasyonlarında en yüksek konsantrasyonlarda oluşan tür CF olurken (58-108 µg/L aralığında), BDCM ve DBCM bileşikleri (11-29 µg/L ve 1.8-7 µg/L aralığında) buna kıyasla çok düşük seviyelerde kalmıştır.



Şekil 7. Altınapa Barajı izolatu için 24 saat sonrasında farklı pH değerlerinde TOK konsantrasyonuna göre oluşan THM bileşiklerinin dağılımı.

CF, THM türleri içerisinde en baskın olarak oluşan türdür (Sung ve diğ., 2000; Ates ve diğ., 2007) ve farklı TOK konsantrasyonlarında CF toplam THM konsantrasyonunun % 63-89'lük kısmını oluşturmaktadır. TOK konsantrasyonu arttıkça oluşan CF konsantrasyonu da artmaktadır.

TARTIŞMA

Altınapa Barajı izolatından farklı TOK seviyelerine seyreltilerek klorlanan numunelerde zamana bağlı toplam THM miktarı organik madde arttıkça düzenli olarak artmıştır. THM için bu beklenen bir durumdur (Xie, 2004). Bunun temel nedeni TOK miktarındaki artışa bağlı olarak, UFC protokolünde istenilen bakiye klor dozunu sağlayabilmek için, izolatu klor ihtiyacı artması ve bunun yanısıra DYÜ oluşumunu sağlayan öncü bileşenlerin miktarının da artmasıdır (Xie, 2004). Bu

durumun da doğal olarak DYÜ oluşumunu artırması beklenmektedir. Suda mevcut TOK ve bromür konsantrasyonları doğrudan DYÜ oluşumunu etkilemektedir, ancak klor/bromür, bromür/TOK oranı oluşan DYÜ türlerinin dağılımları üzerinde etkili olmaktadır (Krasner ve diğ., 1996). Ancak TOK artışı ile klor ihtiyacı arasında doğrusal bir ilişki mevcut değildir ve klor ihtiyacı TOK artış oranından daha az veya fazla oranda olabilmektedir. Bu durumun da klor ile reaksiyona giren maddelerin her su kaynağında değişiklik göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 1041123 no.lu Kariyer Projesi ve Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 05101022 no.lu Tez Projesi olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Adin, A., Katzhendler, J., Alkassidy, D., Acha, R., 1991, Trihalomethane Formation in Chlorinated Drinking Water: A Kinetic Model, *Water Res.*, 25, 7, 797-805.
- Amy, G.L., Chadik, P.A., Chowdhury, Z.K., 1987, Developing Models for Predicting Trihalomethane Formation Potential and Kinetics, *J. Am. Water Work Ass.*, 79, 89-97.
- APHA, AWWA, WEF, 2005, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, Washington DC.
- Ates, N., Kaplan, S.S., Sahinkaya, E., Kitis, M., Dilek, F.B., Yetis, U., 2007, Occurrence of Disinfection By-Products in Low DOC Surface Waters in Turkey, *Journal of Hazardous Materials*, 142, 526-534.

- Bellar, T.A., Lichtenberg, J.J., 1974, Determining Volatile Organics at Microgram-per-liter Levels by Gas Chromatography, *J. Am. Water Work Ass.*, 66, 739-744.
- Chang, E.E., Lin, Y.P., Chiang, P.C., 2001, Effects of Bromide on the Formation of THMs and HAAs, *Chemosphere*, 43, 1029-1034.
- EPA, 1995, Method 551.1, Determination of Chlorination Disinfection By-Products, Chlorinated Solvents and Halogenated Pesticides/Herbicides in Drinking Water by Liquid-Liquid Extraction and Gas Chromatography with Electron-Capture Detection, Office of Research and Development, Ohio.
- Fawell, J.K., 1999, The Risks of DBPs in Perspective, Fielding, M, Farrimond, M. (ed.), *Disinfection By-Products in Drinking Water, Current Issues*, 157-164, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Kitiş, M., 2001, Probing Chlorine Reactivity of Dissolved Organic Matter for Disinfection By-Product (DBP) Formation: Relations with Specific Ultraviolet Absorbance (SUVA) and Development of the DBP Reactivity Profile, (Ph.D.), Clemson University.
- Krasner, S.W., Scimanti, M.J., Chinn, R., Chowdhury, Z.K., Owen, D.M., 1996, The Impact of TOC and Bromide on Chlorination By-Products Formation, Minear, R.A. and Amy, G.L. (ed.), *Disinfection By-Products in Water Treatment-The Chemistry of Their Formation and Control*, 59-90, Lewis Publishers, Florida.
- Lee, S.C., Guo, H., Lam, S.M.J., Lau, S.L.A., 2004, Multipathway Risk Assessment on Disinfection By-Products of Drinking Water in Hong Kong, *Environmental Research*, 94, 47-56.
- Minear, R.A., Amy, G.L., 1996, *Water Disinfection and Natural Organic Matter: History and Overview*, ACS Symposium Series 649, American Chemical Society, Washington DC.
- Reckhow, D.A., Singer, P.C., 1990, Chlorination By-Products in Drinking Waters: From Formation Potentials to Finished Water Concentrations, *J. Am. Water Work Ass.*, 173-180.
- Rook, J.J., 1974, Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Waters, *Water Treatment Examination*, 23, 234-243.
- Singer, P.C., 1999, Humic Substances as Precursors for Potentially Harmful Disinfection By-Products, *Water Sci. Technol.*, 40, 9: 25-30.
- Summers, R.S., Hooper S.M., Shukairy, H.M., Solarik, G., Owen, D., 1996, Assessing DBP Yield: Uniform Formation Conditions, *J. Am. Water Work Ass.*, 88, 6, 80-93.
- Sung, W., Matthews, R., P., O'Day, K., Horigan, K., 2000, Modeling DBP Formation, *J. Am. Water Work Ass.*, 92, 5, 53-63.
- Xie, Y.F., 2004, *Disinfection Byproducts in Drinking Water, Formation, Analysis and Control*, Lewis Publishers, Pp: 154.