

# İçme suyu şebekesinde bakteriyel yeniden çoğalmayı etkileyen faktörlerin belirlenmesi

Ufuk ALKAN, Arzu TEKSOY\*, Özgür ACAR

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa

## Özet

İçme suyu arıtma tesisi çıkışında bakteriyel standartları sağlayan içme suyu, tüketiciye ulaşana kadar dağıtım sistemi içerisinde bir takım değişikliklere uğramakta ve heterotrofik bakteri sayısında artış meydana gelebilmektedir. Bursa İli içme suyu dağıtım sisteminde meydana gelen bakteriyel değişimlerin ve bunları etkileyen mikro-çevresel faktörlerin incelendiği bu çalışmada arıtma tesisi çıkışı itibari ile yaklaşık 10200 m'lik bir hat üzerinde çalışılmıştır. Bu hat üzerinde seçilen 5 noktadan alınan örneklerde pH, bulanıklık, bakiye klor, nitrat, orto-fosfat, amonyum azotu, TOK (Toplam Organik Karbon), HBS (Heterotrofik Bakteri Sayısı), toplam koliform ve AOK (Asimile Edilebilir Organik Karbon) ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Bursa İli içme suyu dağıtım sisteminde arıtma tesisinden başlayarak şehrin doğusuna doğru uzanan hat üzerinde uzaklığa bağlı olarak bakteri sayısının arttığını göstermiştir. TOK, AOK ve amonyum azotu azalırken HBS değeri artmıştır. Bu parametreler arasındaki korelasyon katsayıları sırası ile -0.57, -0.74 ve -0.80 olarak belirlenmiştir. Bu değerler seçilen iletim hattı boyunca mikro-çevresel faktörlerin bakteriyel çoğalma üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. TOK, AOK ve amonyum-azotu ile uzaklık arasındaki korelasyon katsayıları ise -0.64, -0.89, -0.87 dir. Bazı noktalarda bakteri sayısının içme suyu standardı limit değerlerinin üzerinde olması, dağıtım sistemindeki bakiye klor konsantrasyonunun ( $<0.2 \text{ mg.l}^{-1}$ ) seçilen hat boyunca meydana gelen bakteriyel çoğalmanın kontrol edilmesinde yetersiz kaldığını ve suyun bakteriyel çoğalma potansiyeline sahip olduğunu işaret etmektedir.

**Anahtar kelimeler:** İçme suyu, HBS, Koliform, Bakteriyel yeniden çoğalma, TOK, AOK.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Arzu TEKSOY. arzu@uludag.edu.tr; Tel: (224) 442 81 77 dahili: 125.

Makale metni 18.03.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 10.08.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Determination of environmental factors influencing bacterial regrowth in drinking water distribution system

### Extended abstract

*In the present study, variations in microbial quality of drinking water and influential micro-environmental factors were examined in the distribution system of Bursa City. A 10200 m length of distribution line from the treatment plant was designated as the study area. pH, turbidity, residual chlorine, nitrate, ortho-phosphate, ammonium nitrogen, TOC (Total Organic Carbon), HPC (Heterotrophic Plate Count), total coliform and AOC (Assimilable Organic Carbon) measurements were carried out in water samples which were collected from 5 different points of the distribution system.*

*The results of this study, indicated that the number of bacteria increased with distance between treatment plant and east side of the city. HPCs were determined to be 29, 62, 101, 133 and 176 CFU.mL<sup>-1</sup> for the sampling points of 1., 2., 3., 4. and 5., respectively. TOC concentrations for the same points were 3.45, 2.64, 2.13, 1.61 and 1.19 mg.L<sup>-1</sup>. AOC concentrations measured in samples of point 1, 3 and 5 were 126.3, 99.1 and 92.1 µgC.L<sup>-1</sup>. It is known that AOC which is decomposed easily and utilized directly in cell synthesis forms 0.1-9% of TOC. In the present study, mean AOC concentration of water was measured to be 105.8 µgC.L<sup>-1</sup> and formed 4-8% of TOC (2.2 mg.L<sup>-1</sup>). Standard value for HPC is 100 CFU.mL<sup>-1</sup> according to WHO (World Health Organization) and AOC is required to be below 10 µgC.L<sup>-1</sup> in order to accomplish this standard. However, bacterial regrowth appears to be inevitable in our distribution system since mean AOC concentration (105.8 µgC.L<sup>-1</sup>) was much above of this standard.*

*Ammonium nitrogen concentrations were measured to be 0.26, 0.22, 0.17, 0.11 and 0.11 mg.L<sup>-1</sup> for the sampling points of 1., 2., 3., 4. and 5., respectively. Decreasing TOC, AOC and ammonium nitrogen concentrations were followed by increasing HPC. Correlation coefficients between HPC and TOC, AOC, and ammonium nitrogen were found to be -0.57, -0.74 and -0.80, respectively. These values signify the effect of micro-environmental factors on microbial growth. Concentrations of TOC, AOC and ammonium nitrogen decreased significantly with increasing distance from treatment plant. Correlation coefficients between distance and TOC, AOC and ammonium nitrogen were found to be -0.64, -0.89 and -0.87. Nitrate concentrations for the sam-*

*pling points were measured to be 3.05, 3.13, 3.15, 3.50 and 4.15 mg.L<sup>-1</sup> and indicated an increasing trend line with distance. It is thought that potential nitrification process cause this increase in nitrate concentrations. A positive correlation (0.57) was determined between nitrate concentration and HPC whereas no correlation (0.37) existed between nitrate concentration and distance.*

*Ortho-phosphate concentrations were measured to be 0.110, 0.087, 0.106, 0.082 and 0.078 mg.L<sup>-1</sup> for the same points. Although HPC increased with increasing ortho-phosphate at the end section of distribution system, no powerful correlation (-0.13) was determined between these parameters. Reduction of ortho-phosphate concentration in the distribution system indicated that ortho-phosphate was likely to be utilized by bacteria as a nutrient along with ammonium nitrogen and AOC. It is known that marginal variations in inorganic phosphate concentrations may stimulate bacterial growth in distribution systems. Mean pH values were measured to vary between 7.24 and 7.47 and this variation was found to be insignificant. However, this level of pH was thought to be appropriate for bacterial growth. Turbidity of water did not vary significantly in the distribution system. Mean turbidity levels were determined to be 2.49, 2.13, 2.36, 1.93 and 2.17 NTU for the sampling points of 1., 2., 3., 4. and 5., respectively. Mean turbidity level determined in the present study appears to comply with the drinking water standards. In general, turbidity is expected to increase with the increasing number of bacteria in water. However, turbidity doesn't increase unless bacterial growth occurs at significant levels. Therefore, in the present study, turbidity of water remained at reasonable levels as a result of minor increases of HPC in water.*

*Residual chlorine was found to be below 0.2 mgL<sup>-1</sup> at all sampling points, indicating that residual chlorine in the distribution system was not maintained at a level to control bacterial growth. Accordingly, HPC in water increased with distance, which provided convincing evidence for inadequate regrowth control in the distribution system. Microbiological parameters measured in this study showed that microbial quality of water was at a level which would not show any adverse effects on human health. However, bacteriological quality and AOC level of the water must be monitored continuously since the bacterial regrowth potential exists.*

**Keywords:** Drinking water, HPC, Coliform, Bacterial regrowth.

## **Giriş**

İçme suyu arıtma tesisi çıkışında bakteriyolojik standartlara uygun olan içme suyunun dağıtım sistemi içerisinde mikrobiyal stabilitesinin sağlanması oldukça zordur. İletim sırasında su tüketiciye ulaşana kadar bir takım değişikliklere uğrayabilmekte ve heterotrofik bakteri sayısı önemli oranda artabilmektedir (LeChevallier, 1987; Muyima ve NgCakani, 1998; Carter vd.,2000; Liu vd., 2002; Zhang ve DiGiano, 2002). Yeniden çoğalma olarak adlandırılan bu artış tat ve koku problemine, renk değişimine, borularda korozyona ve boru yüzeylerinde biyofilm oluşumuna yol açabilmektedir (Levy vd., 1986; Lee vd., 1980). Gibss ve diğerleri (1993) dağıtım sisteminde bakterilerin yeniden çoğalmasına neden olan üç potansiyel mekanizmanın mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Bunlar; i) arıtma sırasında inaktif olan veya hasar görmüş olan bakterilerin tekrar çoğalması; ii) suda serbest halde bulunan bakterilerin çoğalması ve; iii) boru yüzeyinde biyofilm tabakası oluşturan bağlı bakterilerin koparak sonradan çoğalmasıdır. Bakteriyel çoğalmada etkili olan faktörler ise içme suyunun nütrient içeriği, arıtma sonrasında suda mevcut olan bakteri sayısı, suyun dağıtım sisteminde bekleme süresi, hidrolik etkiler, boru ve bağlantı materyalleri, sudaki kalıntı dezenfektan konsantrasyonu, korozyon, sediment birikimi, sıcaklık ve yağmurdur (LeChevallier vd., 1996).

İçme suyu arıtma tesisinde dezenfeksiyon ile etkin bir mikroorganizma giderimi sağlansa da dezenfektan bileşiklerinin dağıtım sırasında kaybolması, dezenfektanların boru çeperlerine tutunmuş bakteriler üzerinde pek etkili olmaması ve dezenfeksiyona dirençli türlerin yaşamlarını sürdürebilmesi bakteriyel çoğalmanın kontrol altına alınmasında dezenfeksiyonu yetersiz kılmaktadır (Van der Kooij, 1992; LeChevallier, 1990; Lehtola vd., 2002). Öte yandan dezenfeksiyonda yaygın olarak kullanılan klor konsantrasyonunun arttırılması trihalometan ve organohalojen gibi kanserojenik yan ürünlerin oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca suyun tadında bozulmalara yol açmaktadır. Bu nedenle yeniden mikrobiyal çoğalmanın kontrol altına alınabilmesi dezenfektan dozunun arttırılmasın-

dan ziyade çoğalmayı teşvik eden faktörlerin, özellikle de nütrient içeriğinin giderilmesi ile sağlanabilmektedir.

Humik maddelerden kaynaklanan organik karbon, heterotrofik bakteriler tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (LeChevallier vd. 1990). Van der Kooij (1992) heterotrofik bakterilerin yeniden çoğalmasında en önemli etkenin, sudaki toplam organik karbonun (TOK) mikroorganizmalar tarafından kolaylıkla kullanılabilen kısmı olduğunu belirtmiştir. Asimile edilebilir organik karbon (AOK) olarak adlandırılan bu fraksiyonun sudaki konsantrasyonu düşük olduğunda mikroorganizma sayısının da düşük olduğunu tespit etmiştir. Organik nütrientlerin yanı sıra amonyum azotu ve ortofosfat gibi inorganik nütrientler de mikrobiyal çoğalmayı önemli oranda etkilemektedir (Van der Kooij, 1992; Miettinen vd., 1997).

Bu çalışmada, Bursa İli içme suyu dağıtım sistemindeki mikrobiyal çoğalma potansiyelinin belirlenmesi, su kalitesinin şebeke içindeki değişiminin ve buna etki eden mikro-çevresel faktörlerin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Seçilen iletim hattı boyunca 5 farklı noktadan alınan su örneklerindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimler belirlenerek bu parametrelerin su kalitesini ne şekilde etkilediği araştırılmıştır.

## **Materyal ve metod**

### **Su kaynakları**

Bursa İli içme suyu pınarlardan, yeraltı sularından ve Nilüfer Çayı'ndan temin edilmektedir. Pınarlardan alınan su miktarı  $510 \text{ l.sa}^{-1}$  yeraltı sularından alınan su miktarı ise  $793 \text{ l.sa}^{-1}$ 'dir. En önemli su kaynağı ise Nilüfer Çayı'dır. Vadinin üst kısımlarına kurulan Doğancı Barajı ile Nilüfer Çayı'nın %59'u regüle edilmektedir (Anonim, 1999).

### **Doğancı Barajı**

Bursa İli şehir merkezinin içme, evsel ve endüstriyel su ihtiyacı Doğancı Barajı'ndan temin edilmektedir. Barajın drenaj alanı  $450 \text{ km}^2$ , maksimum depolama hacmi  $37.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ , maksimum depolama alanı  $1.58 \times 10^6 \text{ km}^2$  (158 ha) olup günde  $125 \text{ hm}^3$  su çekilmektedir. Su

Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'ne (1988) göre Doğançı Barajı sıcaklık, çözünmüş oksijen, klorür, sülfat, amonyum azotu, toplam çözünmüş katı madde, demir, mangan, ve fekal koliform açısından I. Sınıf su kalitesine; nitrit azotu, nitrat azotu ve fosfat açısından ise II. sınıf su kalitesine sahiptir (Genç, 1998; BUSKİ, 1999). Doğançı Barajı'ndan temin edilen su 11 km'lik isale hattı ile Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisine iletilerek burada arıtılmaktadır. Tablo 1'de çalışma süresince ham su ve arıtılmış su kalitesini gösteren bazı parametrelerin ortalama değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Ham su ve arıtılmış suya ait bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikler

Parametre (ortalama değerler)	Ham su	Arıtılmış su
pH	8.3	7.7
Bulanıklık (NTU)	1.15	0.16
Nitrat (mg.l <sup>-1</sup> )	1.25	1.70
Amonyum Azotu (mg.l <sup>-1</sup> )	2.90	0.09
Orto-fosfat (mg.l <sup>-1</sup> )	0.30	0.11
Kalıntı Klor (mg.l <sup>-1</sup> )	0.00	0.52
Toplam Organik Karbon (mg.l <sup>-1</sup> )	13.02	3.45
Heterotrofik Bakteri Sayısı (CFU.ml <sup>-1</sup> )	1000	40
Toplam Koliform (CFU.100 ml <sup>-1</sup> )	26	0

### Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi

1994 yılında kurulan Dobruca İçme Suyu Arıtma Tesisi 500.000 m<sup>3</sup>/gün su arıtma kapasitesine sahiptir. Tesiste yer alan temel prosesler giriş ve havalandırma yapıları, durultma havuzları ve filtrelerdir. Bu proseslere yardımcı diğer üniteler ise idari bina, kimyasal ve klor depolama binaları, çamur yoğunlaştırıcı, filtre-pres, trafo, jeneratör ve bakım-onarım atölyesidir (BUSKİ, 1999).

### Dağıtım sistemi

Bursa İli içme suyu dağıtım açısından C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>, G<sub>4</sub> zonlarına ayrılmıştır. Arıtma tesisinden çıkan iki ana dağıtım hattın-

dan biri C<sub>1</sub> diğeri C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> zonlarını cazibe ile beslemektedir. G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>, G<sub>4</sub> zonları ise C<sub>1</sub> zonundan ve pınarlardan pompalanan takviye su ile beslenmektedir. Dağıtım sistemi içerisinde 27 adet depo mevcut olup toplam hacmi 208250 m<sup>3</sup>'tür. 15 adet pompa istasyonu bulunmaktadır. Dağıtım sisteminde kullanılan boruların % 50'si çelik olup geriye kalan kısmı PVC (polivinil karbon), PİK (dökme), FD (fondüktül) ve az miktarda asbestten yapılmıştır. Toplam boru uzunluğu 2036 km'dir (BUSKİ, 1999).

### Örnek alma noktaları

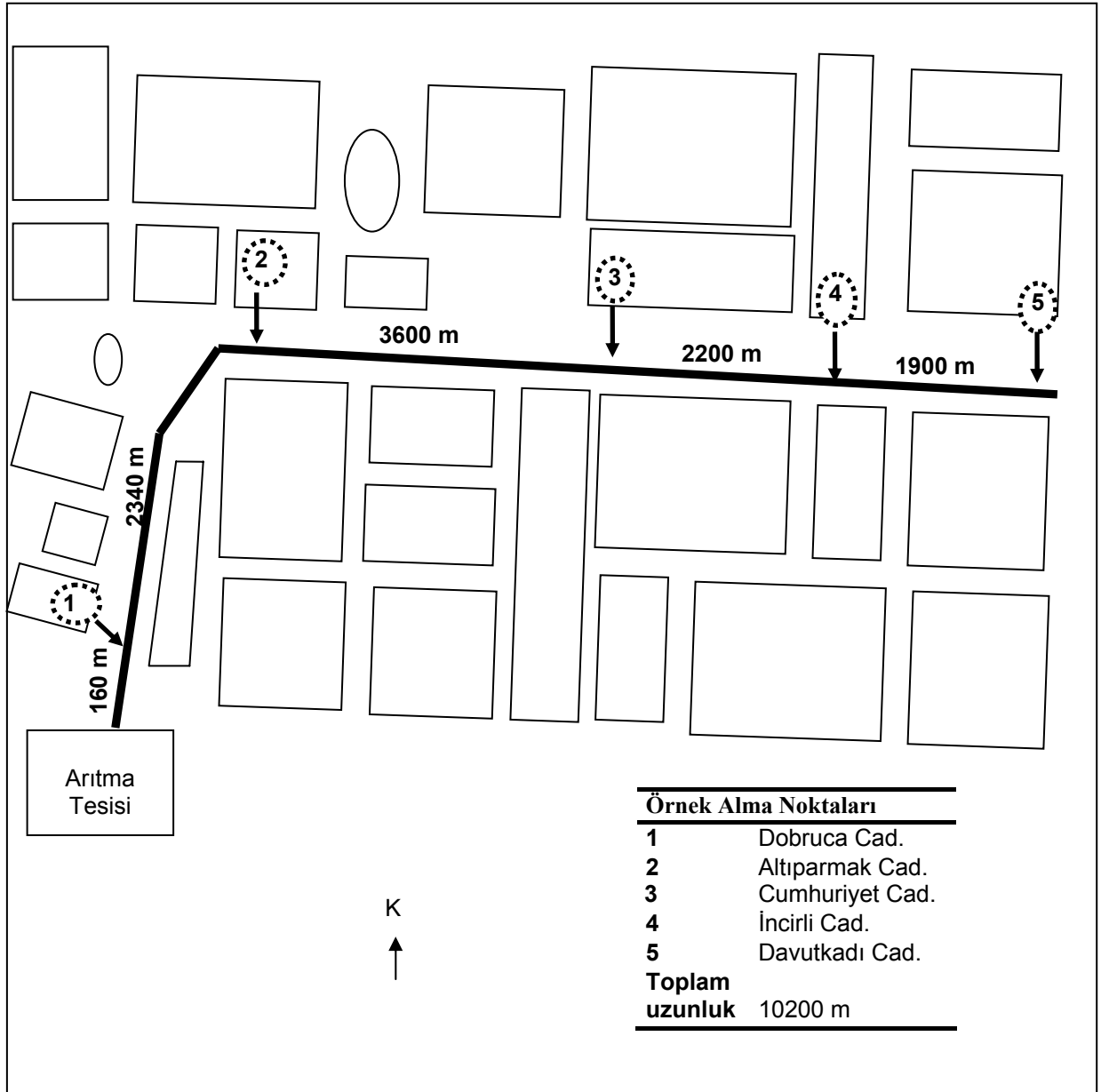
Çalışmada kullanılan su örnekleri, arıtma tesisinden başlayıp şehrin doğusuna doğru uzanan C<sub>1</sub> hattı üzerinde seçilmiş olan noktalardan alınmıştır. 1982 yılında tamamlanmış olan 10200 m uzunluğundaki hat çelik borulardan oluşmaktadır. Bu iletim hattından yaklaşık 239612 kişi su kullanmaktadır. Şekil 1'de iletim hattı üzerindeki örnek alma noktaları görülmektedir (BUSKİ, 1999)..

### Örneklerin alınması

Su örnekleri seçilen iletim hattı üzerindeki işyerlerine ait musluklardan alınmıştır. Mikrobiyolojik analizler için örnek alınırken musluk tam olarak açılarak 2-3 dakika suyun akması sağlanmıştır. Daha sonra kapatılıp musluğun ağzı alevden geçirilmiştir. 5 dakika daha su akıttıldıktan sonra musluk kısılmış ve örnek 1000 ml lik şişeye doldurulmuştur. Örnek almada kullanılan şişeler otoklavda 121°C'de 1.5 atm basınçta 15 dakika steril edilmiş olup 0.8 ml %3'lük sodyum tiyosülfat çözeltisi içermektedirler. Alınan örnekler 4°C'de korunarak 2 saat içerisinde laboratuvara getirilmiştir. Fiziksel ve kimyasal parametrelerin analizi için cam şişe ile 1000 ml su örneği alınmıştır.

### Fiziksel ve kimyasal analizler

Su örneklerinde pH, bulanıklık, TOK, nitrat, orto-fosfat ve bakiye klor tayinleri 14 hafta süresince her hafta yapılmıştır. Amonyum azotu konsantrasyonları çalışmanın son 6 haftalık süresi içerisinde haftalık olarak belirlenmiştir. pH 704 model Metrohm marka pH metre ile, bulanıklık 6035 model Jenway marka turbidimetre ile ölçülmüştür. TOK, nitrat ve amonyum azotu



Şekil 1. Bursa İli içme suyu dağıtım sisteminde seçilen örnek alma noktaları

analizleri Dr.Lange Lasa2Plus marka kolorimetrik fotometre ile, orto-fosfat tayini Standart Metotlarda önerilen askorbik asit yöntemine göre yapılmıştır. Bakiye klor konsantrasyonunun belirlenmesinde Standart Metotlarda önerilen DPD yöntemi kullanılmıştır (APHA, 1992).

#### Mikrobiyolojik analizler

HBS ve toplam koliform sayısı seçilen örnek alma noktalarında 14 haftalık çalışma süresince her hafta belirlenmiştir. AOK tayinleri ise 1, 3 ve 5. noktalarda çalışma süresinin son bir ayında 10 gün ara ile 3 defa yapılmıştır.

HBS değeri Standart Metotlara göre dökme plaka yöntemi ile R<sub>2</sub>A agara (Lab M) ekim yapılarak belirlenmiştir. Ekim yapılan petriyer 20 ± 2°C'de 5 gün inkübe edildikten sonra besiyeri üzerinde gelişen koloniler sayılmıştır. Toplam koliform sayısı yine Standart Metotlarda önerilen membran filtrasyon yöntemi ile belirlenmiştir. 100 ml su örneği Sartorius marka 0.45 µm gözenek çaplı membran filtreden süzülükten sonra membran filtre direkt LES Endo agar (Merck, 1.04044) üzerine konarak 37°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda membran filtre üzerinde gelişen koyu

kırmızı renkli metalik yeşil parlaklığa sahip tipik koliform kolonileri sayılmıştır. Lauril Triptoz Broth içeren tüplere aşılardan bu koloniler 37°C'de 48 saat inkübe edildikten sonra meydana gelen gaz oluşumu koliform varlığını doğrulamıştır (APHA, 1992). HBS ve toplam koliform değerleri üç paralelli ekim yapıldıktan sonra geometrik ortalama alınarak belirlenmiştir.

AOK konsantrasyonu çok düşük konsantrasyonlarda organik karbon içeren sularda gelişebilme yeteneğine sahip olan *Spirillum NO<sub>x</sub>* (ATCC 49643) suşu kullanılarak belirlenmiştir. Helezonik eğimli çubuk şeklindeki bu bakteri polar flagella yardımı ile hareket etmektedir. 0.2 ile 1.5 µm boyutlarında aerobik bir bakteri olup temiz sularda gelişim göstermektedir. *Spirillum NO<sub>x</sub>* suşu, içersinde 1 mg asetat karbonu bulunan pastörize edilmiş test suyunda maksimum yoğunluğa kadar çoğaltıldıktan sonra örnekler aşılardanmıştır. Daha sonra örneklerdeki mikroorganizma sayısı ve ampirik dönüşüm faktörü yardımı ile AOK konsantrasyonu hesaplanmıştır.

Aşının hazırlanması için liyofilize bakteri kültürü, otoklavlanmış ve filtre edilmiş 2 ml örnek içerisine konularak süspanse edilmiştir. Bu süspansiyondan alınan 100 µl aşı, içerisnde 50 ml otoklavlanmış ve filtre edilmiş örnek bulunan 125 ml lik steril erlene konulmuştur. Daha sonra 33.3 µl sodyum asetat (1 mg asetat C. l<sup>-1</sup>) çözeltisi eklenmiş ve canlı hücre sayısı maksimum sayıya ulaşınca kadar 25 °C'de inkübe edilmiştir. Bu karışımda organik karbonun sınırlı olması asetat karbonunun tamamen kullanılmasını sağlamış ve böylece aşından analizlenecek örnekler AOK transferini önlemiştir. İnkübasyon süresi boyunca stok aşı içerisinden örnek alınmış ve yayma plaka yöntemi ile bakteri sayısı belirlenerek bakteri kültürünün maksimum sayıya ulaşp ulaşmadığı kontrol edilmiştir. AOK analizi yapılacak örnek 9 adet 45 ml lik şişeye konularak 100 µl sodyum tiyosülfat çözeltisi ile kalıntı klor giderilmiştir. Daha sonra 60 °C'de 30 dakika pastörize edilip analize hazır hale getirilmiştir. Örnek soğutulduktan sonra içerisine 500 CFU.ml<sup>-1</sup> *Spirillum NO<sub>x</sub>* olacak şekilde aşı eklenmiştir. Aşı hacmi aşağıdaki formül yardımı ile belirlenmiştir:

Aşı hacmi= [500 CFU.ml<sup>-1</sup>x 40 ml/şişe] / CFU.ml<sup>-1</sup>stok aşı

Aşılardan örnek 15 °C'de karanlıkta bir hafta karıştırılmadan inkübe edilmiştir. İnkübasyonun 7., 8. ve 9. günlerinde üç şişe inkübatörden çıkarılmış ve bir dakika çalkalanmıştır. Daha sonra üç şişeden steril pipet yardımı ile 1ml örnek alınıp 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup> ve 10<sup>-4</sup> seyreltmeleri hazırlanmıştır. Her seyreltmeden alınan örnek iki paralelli olarak R<sub>2</sub>A agar üzerine ekilmiştir. Ekim yapılan petriyer 25°C'de 3-5 gün inkübe edildikten sonra besiyeri üzerinde gelişen 1-2 mm çapındaki beyaz koloniler sayılmıştır. 7, 8 ve 9.günde belirlenen bakteri sayısının ortalaması alındıktan sonra bakterinin asetat dönüşüm oranı kullanılarak AOK (µg.l<sup>-1</sup>) = [(N<sub>max</sub> \*1000) / Y] formülü ile hesaplanmıştır. *Spirillum NO<sub>x</sub>* suşu'nun dönüşüm oranı 1.2x10<sup>7</sup> CFU/µg karbon'dur (APHA, 1992). AOK kontaminasyonunu önlemek amacıyla, kullanılan tüm cam malzemeler % 2 lik hidroklorik asit çözeltisi ile yıkanıp 8 saat 250°C'de bekletilmiştir (Van der Kooij vd., 1982).

## Bulgular ve tartışma

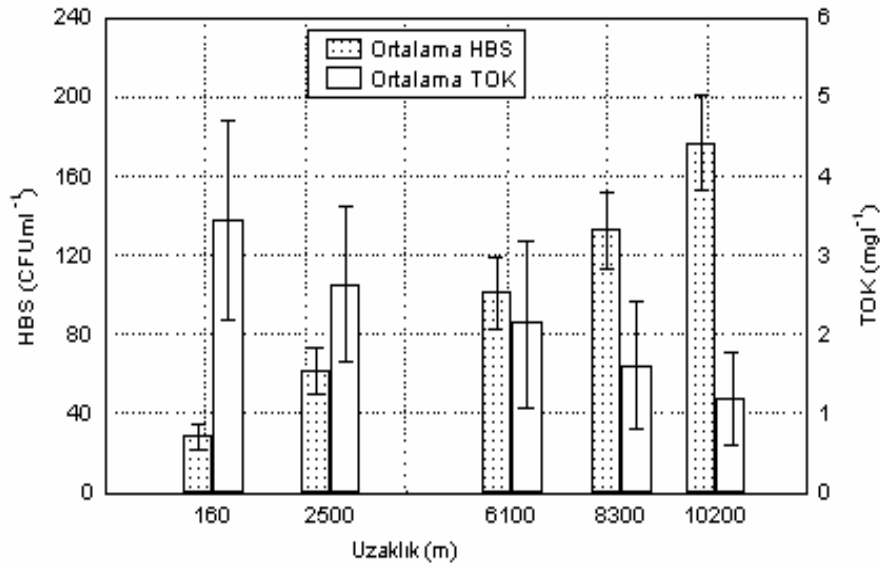
Dağıtım sisteminde içme suyunun mikrobiyal kalitesinin korunması, gelişmekte olan ülkelerin yanı sıra gelişmiş ülkelerde de sorun oluşturmaktadır. Yapılan pek çok çalışmada dezenfektan kalıntısının sürekliliğinin sağlanamadığı, mikrobiyal çoğalmanın meydana geldiği ve dolayısı ile içme suyu kalitesinin dağıtım sistemi içerisnde bozulduğu ortaya koyulmuştur (Power ve Nagy; 1999; Carter vd., 2000). Dağıtım sisteminden alınan örneklerin rutin analizi ile bu değişim belirlenebilmekte ve gerekli önlemler alınabilmektedir. Bursa İli içme suyu dağıtım sisteminden alınan su örneklerinde belirlenen fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik parametrelere ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

## Dağıtım sisteminde içme suyu kalitesinin değişimi

Çalışmadan elde edilen veriler arıtma tesisinden uzaklaştıkça suyun bakteriyel kalitesinin değiştiğini göstermektedir. Tesis çıkışından başlayarak devam eden iletim hattı üzerinde 1, 2, 3, 4 ve 5. noktalardaki ortalama HBS değerleri sırası

Tablo 2. Dağıtım sistemindeki fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parametrelerin maksimum, ortalama ve minimum değerleri

Parametre	Maksimum	Ortalama	Minimum
pH	7.8	7.5	6.3
Bulanıklık(NTU)	3.60	2.22	1.11
Nitrat (mg.l <sup>-1</sup> )	5.33	3.00	0.87
Amonyum Azotu (mg.l <sup>-1</sup> )	0.29	0.18	0.10
Orto-fosfat (mg.l <sup>-1</sup> )	0.24	0.09	0.01
Toplam Organik Karbon (mg.l <sup>-1</sup> )	6.17	2.20	1.00
Kalıntı Klor (mg.l <sup>-1</sup> )		<0.2	
Asimile Edilebilir Organik Karbon (µC/l <sup>-1</sup> )	138.50	106.12	85.20
Heterotrofik Bakteri Sayısı (CFU.ml <sup>-1</sup> )	240	100	19
Toplam Koliform (CFU.100 ml <sup>-1</sup> )	4	1.6	0



Şekil 2. Ortalama HBS değeri ve TOK konsantrasyonunun uzaklığa bağlı olarak değişimi

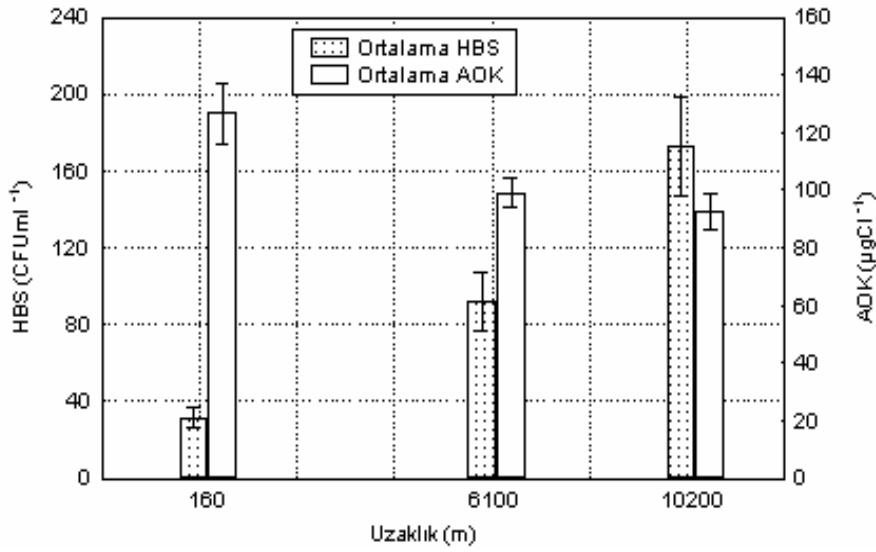
ile 29, 62, 101, 133 ve 176 CFU.ml<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Ortalama toplam koliform değerleri ise 1, 1, 2, 2 ve 3 CFU.100 ml<sup>-1</sup>'dir. Bu iki parametre uzaklığa bağlı olarak artış göstermiştir. Çalışma süresince tüm örnek alma noktalarında kalıntı klor konsantrasyonunun 0.2 mg.l<sup>-1</sup>'nin altında olması mikroorganizmaların iletim hattı boyunca çoğalmalarına olanak sağlamıştır. Genel olarak HBS değerinin yüksek olduğu örnekleme noktasında koliform değeri de yüksek bulunmuştur. Ancak her örnekleme noktasında böyle bir durum söz konusu değildir. Dolayısı ile HBS değeri ile koliform arasında her zaman bir ilişki olduğu söylenemez.

HBS değeri, son örnek alma noktasına doğru artarken TOK, AOK, amonyum azotu ve ortofosfat konsantrasyonları azalmıştır. İletim hattı üzerindeki 1. noktada 3.45 mg.l<sup>-1</sup> olan ortalama TOK konsantrasyonu 2.,3.,4. ve 5. örnek alma noktalarında sırası ile 2.64, 2.13, 1.61 ve 1.19 mg.l<sup>-1</sup> değerlerine düşmüştür (Şekil 2). Mikroorganizmalar tarafından kolaylıkla kullanılabilen AOK'un 1. örnek alma noktasındaki ortalama konsantrasyonu 126.3 µgC.l<sup>-1</sup>, 3. örnek alma noktasındaki ortalama konsantrasyonu 99.1 µgC.l<sup>-1</sup> ve 5. örnek alma noktasındaki ortalama konsantrasyonu 92.1 µgC.l<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir (Şekil 3). 1., 2., 3., 4., ve 5. örnek alma noktalarında tespit edilen ortalama amonyum azotu

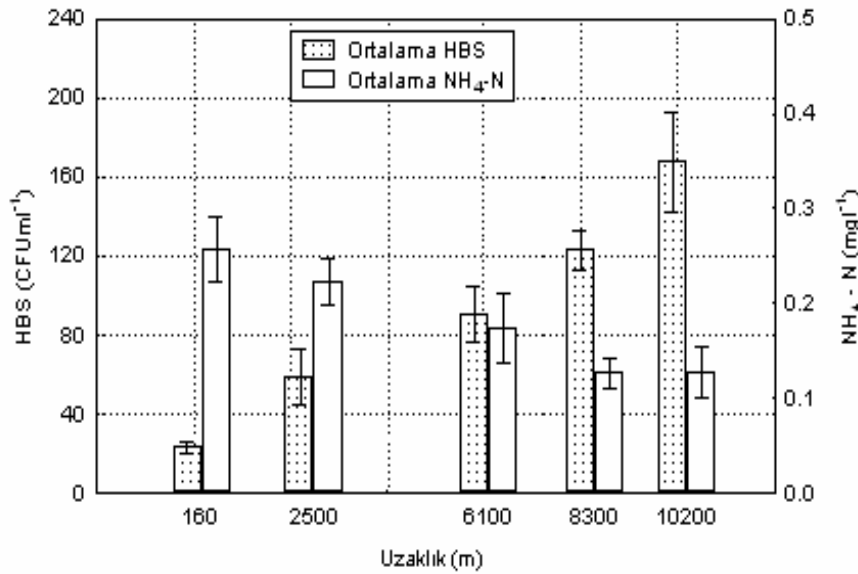
konsantrasyonları 0.26, 0.22, 0.17, 0.11 ve 0.11  $\text{mg.l}^{-1}$ 'dir (Şekil 4). Bu noktalarındaki ortalama nitrat konsantrasyonları ise sırası ile 3.05, 3.13, 3.15, 3.50 ve 4.15  $\text{mg.l}^{-1}$ 'dir. Şekil 5'ten de görüldüğü üzere nitrat konsantrasyonu TOK, AOK, amonyum azotu ve orto-fosfat konsantrasyonunun aksine iletim hattı sonuna doğru artmıştır. Orto-fosfat konsantrasyonu 1. noktada 0.110  $\text{mg.l}^{-1}$ , 2. noktada 0.087  $\text{mg.l}^{-1}$ , 3. noktada 0.106  $\text{mg.l}^{-1}$ , 4. noktada 0.082  $\text{mg.l}^{-1}$ , 5. noktada 0.078  $\text{mg.l}^{-1}$  olarak belirlenmiştir.

Çalışma süresince ortalama pH değeri örnek alma noktalarında sırası ile 7.47, 7.24, 7.44,

7.39 ve 7.46 olarak tespit edilmiştir. Arada küçük oynamalar olsa da dağıtım sistemi içerisinde suyun pH'sında meydana gelen değişim oldukça önemsizdir. Ancak bu pH bakterilerin çoğalması için uygun bir değerdir. Ortalama bulanıklık değeri 1. noktada 2.49 NTU, 2. noktada 2.36 NTU, 3. noktada 2.13 NTU, 4. noktada 1.93 NTU, 5. noktada 2.17 NTU olup, seçilen hat üzerinde önemli bir değişim göstermemiştir. Ölçülen ortalama bulanıklık değeri içme suyu standartlarında belirtilen limit değere uygundur. Genel olarak mikroorganizma sayısının artışı ile bulanıklık değerinin artması beklenir. Ancak çok yüksek oranlarda çoğalma meydana gelmedikçe

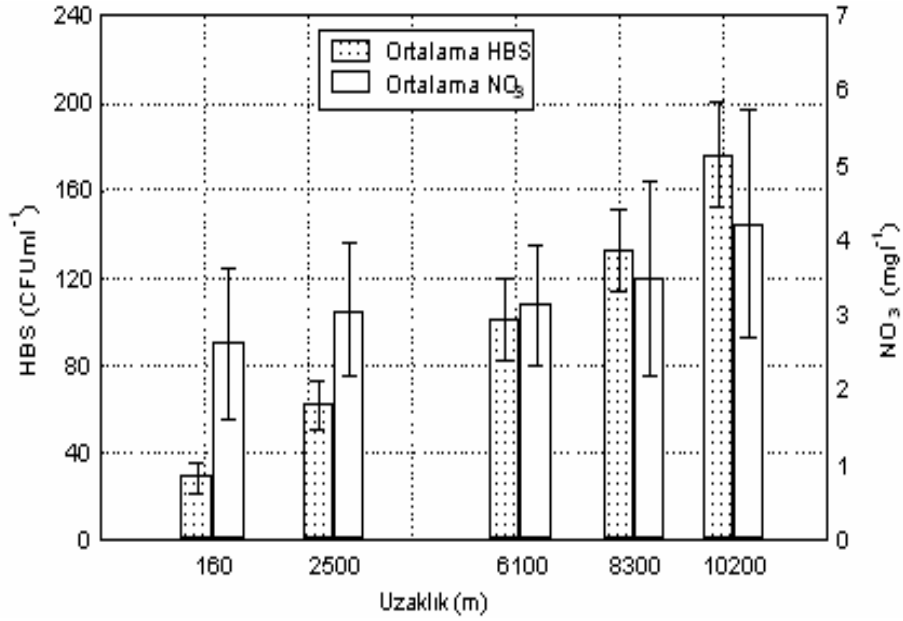


Şekil 3. Ortalama HBS değeri ve AOK konsantrasyonunun uzaklığa bağlı olarak değişimi

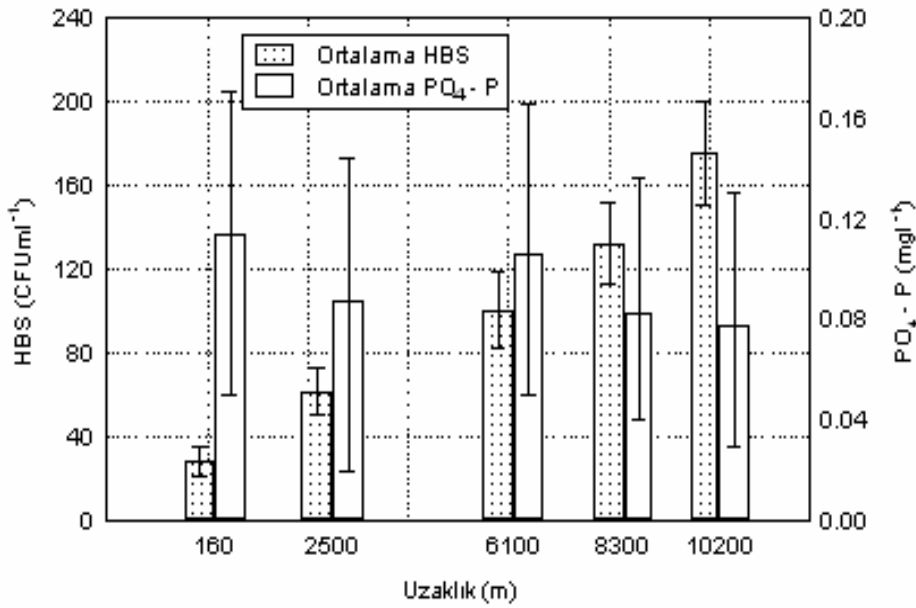


Şekil 4. Ortalama HBS değeri ve Amonyum Azotu konsantrasyonunun uzaklığa bağlı olarak değişimi





Şekil 5. Ortalama HBS değeri ve Nitrat konsantrasyonunun uzaklığa bağlı olarak değişimi



Şekil 6. Ortalama HBS değeri ve Orto-fosfat konsantrasyonunun uzaklığa bağlı olarak değişimi

bulanıklık değerlerinde belirgin değişimler meydana gelmez (Van der Kooij, 1992). Dolayısı ile bu çalışmada HBS sayısında meydana gelen artışın çok yüksek olmaması bulanıklık değerinin artışına yol açmamıştır. Van der Kooij (1992) bulanıklık ile HBS arasında bir korelasyonun varlığından söz etmenin mümkün olmadığını belirtmiştir.

### HBS ve kimyasal parametreler arasındaki korelasyonlar

Yapılan bu çalışmada arıtma tesisi çıkışı itibarıyla devam eden hat boyunca HBS değerinin artması Bursa İli içme suyunun bakteriyel çoğalma potansiyeline sahip olup, uygulanan dezenfeksiyonun bakteriyel çoğalmayı kontrol etmede yetersiz olduğunu işaret etmektedir. Çözünemeyen ve çözünemeyen organik karbon bile-

şiklerinden oluşan TOK'un, dağıtım sisteminde içme suyu arıtma tesisinden uzaklaştıkça azalması buna karşın HBS değerinin artması TOK'un bakteriler tarafından kullanıldığını göstermektedir. Bu iki parametre arasında belirlenen negatif korelasyon (-0.57) bu fikri desteklemektedir (Tablo 3). Evins ve diğerleri (1990) de TOK konsantrasyonunun dağıtım sistemi içerisinde uzaklığa bağlı olarak azaldığını, HBS değerlerinin arttığını saptamışlardır. Tablo 3'te kimyasal parametreler ile HBS arasındaki korelasyonu belirlemek üzere Pearson korelasyon katsayısı (r) ve bu katsayının önemini belirlemek üzere p değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 3. HBS ve kimyasal parametreler arasındaki korelasyon

Parametre	Heterotrofik Bakteri Sayısı	
	r	p
Toplam organik karbon	-0.57*	0.000
Asimile edilebilir organik karbon	-0.74*	0.021
Amonyum azotu	-0.80*	0.000
Nitrat	0.51*	0.000
Orto-fosfat	-0.13	0.296

\*istatistiksel olarak  $\alpha = 0.05$  düzeyinde önemli

Tüm noktalardaki ortalama TOK değeri  $2.2 \text{ mg.l}^{-1}$  olup literatürde bakteriyel çoğalma için belirtilen limit değerinin altındadır. Evins ve diğerleri (1990) özellikle  $3 \text{ mg.l}^{-1}$ 'nin üzerindeki TOK konsantrasyonlarında bakteriyel aktivitenin arttığını belirtmiştir. LeChevallier ve diğerleri (1990) de içme suyu dağıtım sistemindeki TOK konsantrasyonu  $2.4 \text{ mg.l}^{-1}$ 'nin üzerinde olduğunda koliformların yeniden çoğalabildiğini vurgulamışlardır. Bu çalışmadaki HBS ve koliform sayısındaki artış göz önüne alındığında belirlenmiş olan ortalama TOK konsantrasyonunun da ( $2.2 \text{ mg.l}^{-1}$ ) bakteriyel çoğalmaya neden olabileceği ortaya çıkmaktadır.

Daha önce yapılan pek çok çalışmada bakteriyel çoğalmayı kontrol eden en önemli faktörün AOK olduğu belirtilmiştir (Van der Kooij, 1992; LeChevallier vd., 1987). İletim hattı boyunca AOK konsantrasyonu azalırken HBS de-

ğerinin artması ve istatistiksel değerlendirme sonucu bu iki parametre arasında güçlü negatif korelasyon (-0.74) belirlenmesi AOK'nın bakteriyel çoğalma üzerindeki etkisini bir kez daha ortaya koymuştur (Tablo 3). LeChevallier ve diğerleri (1987) tarafından yapılan çalışmada da arıtma tesisi çıkışındaki AOK konsantrasyonunun, mikroorganizmaların substrat kullanımına bağlı olarak dağıtım sisteminin son noktasında azaldığı, koliform sayısındaki artışın da bu azalmayla ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Zhang ve DiGiano (2002) HBS ve AOK değerleri arasında güçlü bir korelasyon tespit edememekle birlikte, AOK değerinin yüksek olduğu noktada ( $>200 \text{ } \mu\text{gC.l}^{-1}$ ) HBS değerinin düşük olduğunu ( $>10 \text{ CFU.ml}^{-1}$ ) AOK değerinin düşük olduğu noktada ise ( $50 \text{ } \mu\text{gC.l}^{-1}$ ) HBS değerlerinin büyük bir kısmının yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Literatürde, kolay parçalanabilen ve direkt olarak hücre sentezinde kullanılan AOK'un, TOK'un %0.1-9'unu meydana getirdiği belirtilmiştir (Van der Kooij, 1992; Escobar, 2000). Bu çalışmada içme suyunda belirlenen ortalama AOK konsantrasyonu  $105.8 \text{ } \mu\text{gC.l}^{-1}$  olup, TOK'un ( $2.2 \text{ mg.l}^{-1}$ ) % 4.8'lik kısmını oluşturmaktadır. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO, 1993) içme suyu için HBS limit değerini  $100 \text{ CFU.ml}^{-1}$  olarak belirlemiş ve bu değer sağlanması için AOK konsantrasyonunun  $10 \text{ } \mu\text{gC.l}^{-1}$ 'den daha düşük olması gerektiği belirtilmiştir (Van der Kooij, 1992). Ancak bu çalışmada belirlenen ortalama AOK konsantrasyonunun ( $105.8 \text{ } \mu\text{gC.l}^{-1}$ ) önerilen değer çok üzerinde olması bakteriyel çoğalmanın kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.

Tablo 3'te verilmiş olan HBS ve amonyum-azotu arasındaki korelasyon katsayısı (-0.80), iletim hattının son noktasına doğru amonyum azotunda meydana gelen azalmanın mikroorganizmaların kullanımı ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Azotun indirgenmiş formu olan amonyak kemolitotrof bakteriler için elektron verici olup bu tür bakteriler üzerinde çoğalmayı teşvik edici özellik taşımaktadır (Tchobanoglous ve Burton, 1991; Van der Kooij, 1992). Öte yandan amonyum azotunda

meydana gelen azalmanın bir kısmının nitrifikasyon ile nitrata dönüşümden de kaynaklandığı düşünülmektedir.

Nitekim örnek alma noktası ile arıtma tesisi arasındaki uzaklık arttıkça nitrat konsantrasyonunun artması ve HBS değeri ile nitrat konsantrasyonu arasında pozitif korelasyonun (0.51) bulunması (Tablo 3), amonyum azotunun bir kısmının nitrifikasyon ile nitrata dönüştürüldüğü fikrini desteklemektedir. Her ne kadar çalışmada nitrifikasyon bakterileri incelenmemiş olsa da bu ilişki dağıtım sisteminde nitrifikasyon bakterilerinin de bulunabileceğini işaret etmektedir. Zira daha önce yapılmış çalışmalarda da dağıtım sisteminde arıtma tesisinden uzaklaştıkça nitrat ve HBS değerlerinin değiştiği, nitrat konsantrasyonunun yüksek olduğu noktada nitrifikasyon bakterilerinin sayısının da yüksek olduğu ve HBS ile arasında güçlü bir korelasyon bulunduğu bildirilmiştir (Power ve Nagy, 1999; Lipponen vd., 2002).

Çalışmada iletim hattının son noktasına doğru orto-fosfat konsantrasyonu azalırken HBS değerinin artış göstermesine rağmen bu iki parametre arasında güçlü bir korelasyon (-0.13) belirlenmemiştir (Tablo 3). Ancak orto-fosfat konsantrasyonunun iletim hattında gösterdiği azalma, mikroorganizmaların çoğalabilmeleri için amonyum azotu ve AOK ile birlikte orto-fosfatı da nütrient olarak kullanmaları ile ilişkilendirilebilmektedir. Çünkü içme sularındaki inorganik fosfor konsantrasyonunda meydana gelen küçük değişimler bakteriyel çoğalmayı arttırabilmekte veya azaltabilmektedir (Lehtola, 2002).

Dağıtım sisteminde arıtma tesisinden uzaklaştıkça bekleme süresinin artmasına bağlı olarak suyun kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinde bir takım değişiklikler olabilmektedir. Ancak her dağıtım sisteminin yapısı ve içme suyu özellikleri farklı olduğundan böyle bir genelleme yapmak zordur. Bu çalışmada ise uzaklığın içme suyunun kimyasal özelliklerini etkilediği belirlenmiştir. Tablo 4'te AOK, TOK, amonyum azotu, nitrat, orto-fosfat konsantrasyonları ile uzaklık arasındaki korelasyon katsayıları görülmektedir. AOK, TOK, amonyum azotu ile

uzaklık arasında güçlü bir negatif korelasyon mevcuttur. Ancak orto-fosfat konsantrasyonu ile uzaklık arasında oldukça düşük korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Nitrat konsantrasyonu ile uzaklık arasında ise zayıf bir doğrusal ilişki mevcuttur.

Tablo 4. Uzaklık ve kimyasal faktörler arasındaki korelasyon

Parametre	Uzaklık	
	r	p
Toplam organik karbon	-0.64*	0.000
Asimile edilebilir organik karbon	-0.89*	0.001
Amonyum azotu	-0.87*	0.000
Nitrat	0.37*	0.001
Orto-fosfat	-0.18	0.143

\*istatistiksel olarak  $\alpha = 0.05$  düzeyinde önemli

## Sonuçlar

Bursa İli içme suyu dağıtım sisteminden alınan su örneklerinin incelendiği bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- İncelenen örneklerde son örnek alma noktasına doğru HBS ve koliform sayılarının artması, suda mevcut olan nütrientlerin bakteriyel çoğalmayı destekleyecek düzeyde olduğunu işaret etmektedir.
- Bakiye klor konsantrasyonunun 0.2 mg.l<sup>-1</sup>'nin altında olması, dezenfektan kalıntısının sürekliliğinin sağlanmadığını ve bakteriyel çoğalmanın kontrol edilmesinde yetersiz kaldığını göstermektedir.
- Ortalama toplam organik karbonun (2.2 mg.l<sup>-1</sup>) %4.8'ini oluşturan AOK konsantrasyonu (105.8 µgC.l<sup>-1</sup>) bakteriyel çoğalmayı teşvik edici düzeydedir.
- İçme suyunun pH ve bulanıklık değerlerinde iletim hattı boyunca önemli bir değişim meydana gelmemiştir.
- TOK, AOK ve amonyum-azotu ile HBS değeri arasındaki korelasyon katsayıları sırası ile -0.57, -0.74 ve -0.80 olup, bu

parametrelerin dağıtım sistemindeki yeniden bakteriyel çoğalmada büyük önem taşıdığını göstermektedir.

- TOK, AOK ve amonyum-azotu ile uzaklık arasında belirlenen korelasyon katsayıları (-0.64, -0.89, -0,87) bu bileşiklerin arıtma tesisinden uzaklaşıldıkça bakteriler tarafından kullanılarak azaldığını işaret etmektedir.
- Dağıtım sistemindeki nitrat konsantrasyonu ile HBS arasındaki pozitif korelasyon (0.51) heterotrofik bakteri grubu içerisinde nitrifikasyon bakterilerinin de bulunabileceğini ve amonyum azotunun bu bakteriler tarafından kullanılarak nitrate dönüştürülmüş olabileceğini düşündürmektedir. Uzaklık ile nitrat konsantrasyonu arasında ise güçlü bir korelasyon (0.37) belirlenmemiştir.
- Ölçümleri yapılan bakteriyolojik parametreler halk sağlığını ciddi şekilde etkileyecek düzeyde değildir. Ancak AOK konsantrasyonu bakteriyel çoğalmayı teşvik edici düzeyde olduğu için hem arıtma tesisi çıkışından hem de dağıtım sistemi içerisinden alınan örneklerde rutin analizlerin yapılması ve bir takım koruyucu önlemlerin alınması yeniden bakteriyel çoğalmanın önlenmesinde faydalı olacaktır.
- Mikroorganizmaların çoğalmalarını etkileyen organik ve inorganik elementlerin arıtma sırasında etkin bir şekilde giderilmesi, daha etkili dezenfektanların kullanılması ve dezenfektan kalıntılarının sürekliliğinin sağlanması ile bakterilerin yeniden çoğalması önlenerek içme suyunun bakteriyel stabilitesi sağlanacaktır.

## Teşekkür

Bu çalışma Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Fonu tarafından 2000/49 nolu proje ile desteklenmiştir.

## Kaynaklar

APHA (1992). Standard Methods For The Examination Of The Water And Wastewater.18th Edition,

American Public Health Ass, Washington D.C, USA, 1193.

BUSKİ (1999). Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Dökümanları, Bursa.

Carter, J.T., Rice, E.W., Buchberger, S.G. ve Lee, Y. (2000). Relationships between levels of heterotrophic bacteria and water quality parameters in a drinking water distribution system, *Water Research*, **34**, 5, 1495-1502.

Escobar, I.C. veRandall, A.A. (2000). Sample storage impact on the assimilable organic carbon (AOC), *Water Research*, **34**, 5, 1680-1686.

Evins, C., Liebeschuetz J. ve Williams S.M.(1990). Aesthetic Water Quality Problems in Distribution Systems. A Source Document for Water Mains Rehabilitation Manual. Foundation for Water Research.

Genç, H. (1998). Doğancı Barajı Havza Yönetiminde Rezervuarların Matematik Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

Gibbs, R.A.,Scutt, J.E. ve Croll, B.T. (1993). Assimilable organic carbon concentrations and bacterial numbers in a water distribution system, *Water Science and Technology*, **27**, 3-4, 159-166.

LeChevallier, M.W., Babcock, R.M ve Lee, R.G. (1987). Examination and characterization of distribution system biofilms, *Appl. Environ. Microbiology*, **53**, 12, 2714-2724.

LeChevallier, M.W., Olson, B.H. ve Mcfeters, G.A. (1990). Assesing and Controlling Bacterial Regrowth in Distribution Systems. AWWA Research Foundation Order No: 90567, p.2.

LeChevallier, M.W., Shaw, N.J. ve Smith, D.B. (1996). Factors Limiting Microbial Growth in Distribution Systems, AWWA Research Foundation Order No: 90709 p.3.

Lee, S.H., O'connor, J.J. ve Banerji, S.K. (1980). Biologically mediated corrosion and its effects on water quality in distribution systems, *Journal AWWA*, **72**, 11, 636-639.

Lehtola, M.J., Miettinen, I.T., Vartiainen, T. ve Martikainen, P.J. (2002) Changes in content of microbially available phosphorus, assimilable organic carbon and microbial growth potential during drinking treatment processes, *Water Research*, **36**, 15, 3681-3690.

Levy, R.V.,Hart, F.L ve Cheetham, R.D.(1986) Public Health Significance of in Drinking Water, *Journal AWWA*, **78**, 9, 105-111.

Liu W., Wu, H., Wang, Z., Ong, S.L., Hu, J.Y. ve Ng, W.J. (2002). Investigation of Assimilable Organic Carbon (AOC) and bacterial regrowth

- in drinking water distribution system, *Water Research*, **36**, 891-898.
- Lipponen M.T.T, Suutari, M.H and Martikainen P.J. (2002). Occurrence of Nitrifying Bacteria and Nitrification in Finnish Drinking Water Distribution Systems, *Water Research*, **36**, 4319-4329.
- Miettinen I.T., Vartiainen, T. ve Martikainen P.J.(1997). Phosphorous in bacterial growth in drinking water, *Applied and Environmental Microbiology*, **63**, 8, 3342-3245.
- Muyima N.Y.O. ve NgCakani F. (1998). Indicator Bacteria and Regrowth Potential of Drinking Water in Alice, Eastern Cape, *Water SA*, **24**, 1, 29-33.
- Power K.N ve Nagy L.A. (1999). Relationship between bacterial regrowth and some physical and chemical parameters within Sydney's drinking water distribution system, *Water Research*, **33**, 3, 741-750.
- SKKY (1988). Türk Çevre Mevzuatı, cilt 2, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Ankara.
- Tchobanoglous G. ve Burton F.L. (1991). Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill, Inc. New York, p.85.
- Van der Kooij, Visser A. ve Hijnen W.A.M. (1982) Determining the Concentration of Easily Assimilable Organic Carbon in Drinking Water. *Journal AWWA*, October, 540-545.
- Van der Kooij, D.V.D. (1992). Assimilable Organic Carbon as an indicator of bacterial regrowth. *Journal AWWA*, February, 57-65.
- WHO, (1993). *Guidelines for Drinking Water Quality*, 2nd edn, vol. 1, Recommendations, World Health Organization. Geneva.
- Zhang, W. ve DiGiano F.A. (2002). Comparison of bacterial regrowth in distribution systems using free chlorine and chloramine: A statistical study of causative factors, *Water Research*, **36**, 1469-1482.