

## Akkaya Barajını Besleyen Kızılca (Karasu) Deresindeki Bakteriyolojik Kirlenmenin İncelenmesi Ve Kirliliğin Azaltılması İçin Çözüm Önerileri

Bilal TUNÇSİPER

Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

[tuncsiperb@nigde.edu.tr](mailto:tuncsiperb@nigde.edu.tr)

Geliş Tarihi (Received): 14.03.2016

Kabul Tarihi (Accepted): 02.05.2016

Yüzeysel su kaynaklarının sürdürülebilir korunmasına yönelik olarak, bu kaynakları kirlüten akarsulardaki bakteriyolojik kirlenme üzerine yapılan araştırmalar büyük bir önem arz etmektedir. Bu sebeple, Niğde İli sınırları içerisindeki Akkaya baraj gölü için en önemli besleyici ve kirlenmeye sebep olan Kızılca deresi yüksek bakteriyel yüklemelerden dolayı aşırı kirlenmiş ve kullanılamaz hale geldiğinden, Ekim 2014 ve Eylül 2015 tarihleri arasında 1 yıllık süre ile mevsimlere bağlı olarak göl ile onu besleyen derenin su kalitesi incelenmiş ve su kirliliği mevzuatında bildirilen kıta içi su kalite standartlarına göre sınıflandırmak için su kalite parametreleri analiz edilmiştir. Dere ve baraj içerisinde seçilen 6 farklı istasyonda aylık olarak su örnekleri toplanmıştır. Tüm istasyonlardan toplanan örnekler üzerinde sıcaklık, pH, Çözünmüş Oksijen (ÇO), Fekal Koliform (F.Koli.) kirlenme parametreleri analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler Kızılca deresinin su kirliliği mevzuatında bildirilen kıta içi su kalite standartlarına göre F.Koli. açısından III. sınıf kalite su özelliğinde olduğunu göstermiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre genel bir değerlendirme yapıldığında Kızılca deresinin Niğde Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi (NBAAT) deşarjlarından sonraki mansap kısımlarında aşırı derecede kirlendiği ve adeta bir atıksu kanalına dönüştürüldüğü ve neticesinde de Akkaya baraj gölünün su kalitesini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akarsu kirliliği, göl kirliliği, içme suyu kaynaklarının kontrolü, doğal atıksu arıtma sistemleri

## Investigation of Bacteriological Contamination In Kızılca (Karasu) Creek Feeding Akkaya Reservoir And Solution Proposals To Reduce Contamination

With intention to the sustainable protection of surface water sources, researches made on bacteriological contamination in streams that pollute water resources are of great importance. Therefore, because Kızılca creek (Karasu) feeding Akkaya reservoir (Nigde, Turkey) is contaminated with high bacterial loadings, and its ecosystem also becomes dysfunctional, it is examined the change in water quality of Kızılca creek and Akkaya reservoir depending on the distance, their water quality parameters was analyzed between October 2014 to September 2015 periods, and determined their quality classes according to Water Pollution Control Regulation. Water samples were collected at monthly intervals from five stations chosen on creek toward downstream from upstream. The values and degrees of flowing rate, temperature, pH, Dissolved Oxygen (DO), and Faecal Coliform (F.Coli.) were determined for each station separately. Data obtained from the experiment results shown that Kızılca creek was in low quality standard (Class III) in terms of F.Coli. according to intra-continental water quality standards declared in water pollution law. As a results of studies, it was determined that creek was excessively polluted and a most significant threat to Akkaya reservoir.

**Key words:** In-stream pollution, lake pollution, control of drinking water sources, natural wastewater treatment systems

### Giriş

Sucul ekosistemi olumsuz etkilemesi ve yeniden kullanılabilirliğini sınırlaması nedeniyle su kaynaklarındaki bakteriyel kirlenmenin tüm boyutlarıyla incelenmesi hem halk sağlığı hem de su kaynaklarının sürdürülebilir kontrolü açısından büyük bir önem arz etmektedir. Yüzeysel su

kaynakları insanlar ve hayvanlar için hayati öneme sahip bir doğal kaynak olmasının yanı sıra, rekreasyon, tarımsal sulama, enerji üretimi, su ürünleri üretimi gibi daha birçok alanda insanların yaşamlarının sürdürülmesinde çok değerli bir kaynaktır. İnsan yaşamında bu kadar değerli olan yüzeysel su kaynaklarının bakteriyel kirlenmesi öncelikle insanların bu ihtiyaçlarının olumsuz

yönde etkilenmesini sağlayacak ve ayrıca birçok sağlık problemini de beraberinde getirecektir. Bu açıdan, yüzeysel su kaynaklarının sürdürülebilir olarak korunmasına yönelik olarak, bu kaynakları kirleten akarsulardaki bakteriyolojik kirlenme üzerine yapılan araştırmalar büyük bir önem arz etmektedir.

Su kaynaklarından Bakteriyel kirlenmenin bir göstergesi olan koliform bakteriler sıcakkanlı hayvanların bağırsak sisteminde yaşayan mikroskobik canlılardır. Atık maddeler ya da dışkılarda yaşadıklarından su ortamında yüksek sayıda bulunmaları suyun dışkı ile kirlendiğinin bir göstergesi sayılır. Bu bakteriler kendileri gibi aynı ortamda yaşayan hastalık yapıcı organizmaların da bir göstergesi sayılırlar (USEPA, 2003). F.Koli. bakterileri uzun süre hayatta kalabilmekte ve hatta bazı durumlarda özellikle akarsuların sedimentlerinde aşırı üreyerek çoğalabilmektedirler (Byappanahalli ve ark., 2003; Crabill ve ark., 1999; Davies ve ark., 1995).

Su kirliliğinin kontrolü ve su kalitesinin izlenmesinde spesifik hastalık yapıcı (patojenik) organizmaların teşhisi oldukça güç, pahalı ve zaman tüketici bir işlemdir. Bu sebeple dışkı ile kirlenmenin mevcut olduğu atıksularda hastalık yapıcı tüm bakterilerin bir göstergesi olarak yalnızca F.Koli. organizmalar test edilmektedir (Anonymous, 2008; Sullivan ve ark., 2005; Chao ve ark., 2003).

Ham dışkı materyalleri F.Koli. bakterileri içerdiği gibi su ortamına aşırı organik madde ilave etmektedir. Bu organik materyaller suda oksijen tüketimine sebep olarak sucul yaşamı olumsuz etkilemektedir. Akarsular ya da derelerdeki bakteri seviyeleri ortamdaki besin maddelerine, sıcaklığa ve yağışlar gibi diğer çevre ya da hidrolik koşullara bağlı olarak önemli derecede değişkenlik göstermektedir.

Su sıcaklığı düştüğünde F.Koli. sayıları azalmaktadır (Saldutti, 2009; Schnabel ve ark., 2010). Lechevallier ve ark. (1996) aylık ortalama su sıcaklığındaki azalışla birlikte F.Koli. bakterilerinin azaldığını göstermiştir. Lamka ve ark. (1980) akarsularda yağışlı havalardan sonra ve daha sıcak havalarda F.Koli. açısından kirlenmenin daha fazla olduğunu göstermiştir (The Assessment of Fecal Coliform Bacteria in Cumberland Valley Springs, 2009). (Adhikari ve ark., 2007; Chambers ve ark., 2008). Yağışlardan sonra ya da havaların ısınmasıyla birlikte eriyen karların toprak

üzerindeki koliformlar yüzeysel akışlarla derelere taşıdığından derelerde F.Koli. kirliliği artmaktadır.

Kirletilmiş akarsuların taban kısımlarında sedimentler patojen bakteriler için uygun yaşam koşulları sağlamaktadır. Akarsulara yüksek katı madde girişi taban kısmında sediment miktarının ve dolayısıyla da patojen bakteri konsantrasyonunun artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple kirletilmiş akarsulardaki bakteriyel kirlenmenin azaltılması için öncelikle katı madde yükünün düşürülmesi gerekmektedir.

İnsanların gelecekteki yaşam kalitesini belirleyecek en önemli unsurlardan birisi de "toprak ve su kirliliği" olarak görülmektedir. Bu kirliliklerin kaynağı sadece endüstriyel değil, aynı zamanda tarımsal faaliyetler de olabilmektedir. Ülkemizden bir örnek verecek olursak; Trakya Bölgesi'nde bulunan Ergene nehrindeki sanayiden kaynaklanan kirlenmeye ilaveten, Uzunköprü ilçesinin de içinde yer aldığı Ergene Havzası'nda sıkça dile getirilen en önemli sorunlardan birisinin aşırı gübre kullanımına bağlı tarımsal kirlilik olduğu belirtilmektedir (Bellitürk, 2011).

Yüzeysel su rezervlerinin kirlenmesinde iklimsel şartlar, toprak ve jeolojik karakteristikler, arazi kullanım yöntemleri, noktasal kirletici kaynaklar (septik deşarjlar, kaçak boşaltımlar) ve yayılı kirletici kaynaklar (Hayvancılık, çiftlik hayvanlarının atıkları, evcil hayvanlarının atıkları, sebze üretiminde kullanılan hayvan gübreleri ile mera ve çayırarda hayvanların otlatılması) büyük önem arz etmektedir.

Niğde İli'nin önemli bir sulama suyu kaynağı olan Akkaya baraj gölünün iki önemli kirletici kaynağı mevcuttur. Bunlar noktasal ya da noktasal olmayan kirletici kaynaklardır. Baraja deşarj edilen en önemli noktasal kaynaklar başta Niğde Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi (NBAAT) çıkış sularını alan Kızılca deresi olmak üzere, Organize Sanayi Atıksu Arıtma Tesisi (OSAAT) çıkış suları, Niğde Üniversitesi Arıtma Tesisi çıkış suları ve Birko Atıksu Arıtma Tesisi (BAAT) çıkış sularıdır.

Noktasal olmayan kirletici kaynaklar ise havzanın drenaj alanı içerisinde gerçekleştirilen tarımsal işlemlerle toprağa karışan gübre içerikli organik kirleticilerin yağış sularının etkisiyle oluşan yüzey akımlarıyla ya da derelerle baraja gelen kirleticilerdir.

NBAAT 1997 yılında şehir atıksularının arıtılması için inşaa edilmiş olup yaklaşık 992 l/s'lik debiye göre projelendirilmiştir (Akdoğan ve Köksaldı,

2010). Niğde şehrinin evsel atıksularının yanısıra Kızılca Deresi'nin, zamanla Aktaş, Gümüşler ve Fertek kasabalarının atıksularının ve şehrin yağış sularının da arıtma tesisine bağlanmasından dolayı tesis kapasitesi yeterli gelmemeye başlamıştır.

Yüksek debi fazlalığı ve dolayısıyla işletme problemleri nedeniyle yeterli arıtım yapamayan tesis atıksularını ve zaman zaman vidanjörlerle oldukça kirli kaçak deşarjları da alan Kızılca deresindeki su kalitesi menba kısmına oranla bir hayli bozulmuştur. Kızılca Deresi'nin arıtma tesis çıkışından baraja kadar olan mesafeleri içerisinde dere kenarına yakın bölgelerinde yer yer tarımsal işlemler ve hayvancılıklar da yapılmaktadır. Dolayısıyla bu bölgelerde özellikle yağışlı günlerde dereye yüksek oranda AKM (3000 ton/yıl) girdisi de olmaktadır. Bu kirleticiler Akkaya baraj gölü üzerinde bir baskı kaynağı oluşturarak gölün trofik seviyesinin olumsuz yöne doğru (oligotrofik-mezotrofik-ötrofik-hipertrofik) ilerlemesine neden olmaktadır.

Bu sebeplerle, bu çalışmada, Akkaya baraj gölündeki ve gölü kirleten Kızılca deresindeki mevcut su kalitesinin belirlenebilmesi için barajı kirleten NBAAT'nin dereye deşarj edildiği bölgeye, tarımsal uygulamaların yoğun geliştiği bölgelere, derenin baraja döküldüğü bölgeye ve baraj çıkış sularının dereye tahliye edildiği bölgedeki dere içerisinde ve ayrıca baraj gölü içerisinde gövdeye yakın mesafelerde örnekleme noktaları seçilmiştir. Ekim 2014 ve Eylül 2015 tarihleri arasında, su

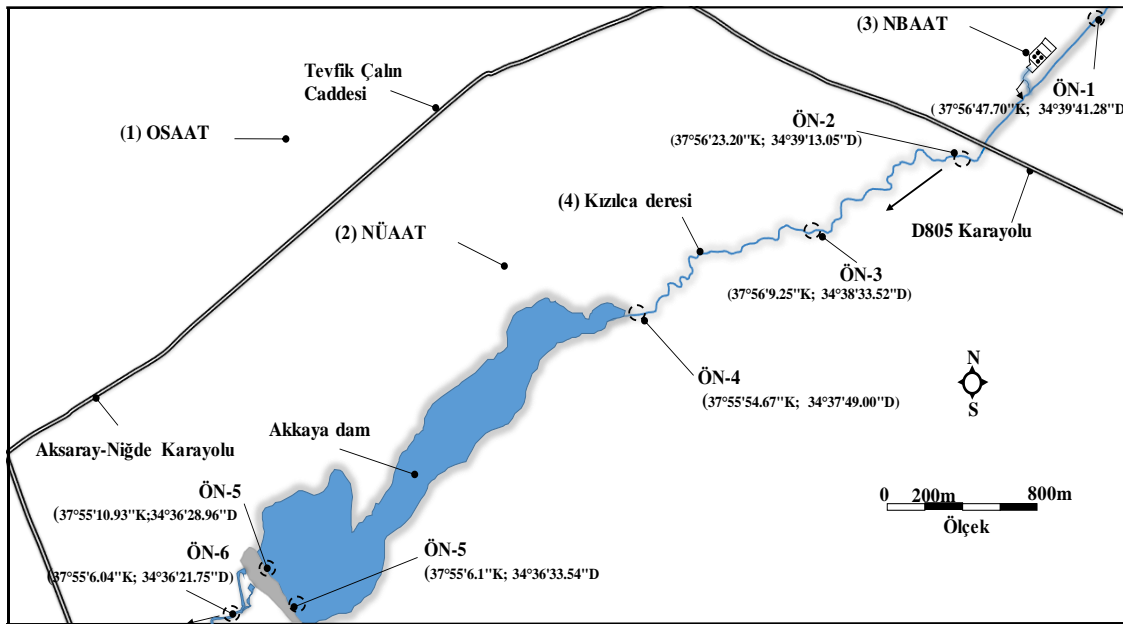
kalite parametrelerinden akım, su sıcaklığı, pH, çözünmüş oksijen (ÇO), F.Koli. değerleri aylık olarak her bir örnekleme noktası için ayrı ayrı belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda Akkaya baraj gölündeki ve baraj gölü için en önemli bir besleyici ve kirletici kaynak konumunda olan Kızılca deresindeki mevcut bakteriyel kirlenmenin mevsimlere bağlı olarak değişimleri tespit edilmiş ve mevcut kirlenmenin önlenmesi için çözüm önerileri sunulmuştur. Elde edilen sonuçların göldeki su kalitesinin korunmasına yönelik daha sonraki yapılacak çalışmalar için de bir temel teşkil edeceği düşünülmektedir.

## Materyal ve Yöntem

### Örnekleme Noktalarının Seçimi ve Örneklerin Toplanması

Örnekleme noktaları SKKY (2009) numune alma ve analiz metodları tebliği'nin 10 Maddesi, c bendine uygun olarak seçilmiş ve bu noktaların koordinatları GPS ile belirlenerek harita üzerine işlenmiştir (Şekil 1). Örnekleme noktaları her mevsim kaynağa ulaşım kolaylığı sağlanacak şekilde seçilmiştir. Numuneler sırayla derenin baraj gölüne girişinden önceki 4 farklı noktasından (ÖN-1, ÖN-2, ÖN-3, ÖN-4), barajdan (ÖN-5) ve derenin baraj çıkışındaki bir noktasından (ÖN-6) alınmıştır.



Şekil 1. Çalışma sahası vaziyet planı ve örnekleme noktalarının görünümü  
Figure 1. Location plan of study site and view of sampling points

İlk örnekleme noktası şehir çıkışı ile NBAAT arasındaki mesafede olup tesisin kuzey doğusunda 200 m uzaklıktaki bir mesafede seçilmiştir. NBAAT'den güney batı istikametinden yaklaşık 350 m uzaklıkta ikinci örnekleme noktası (ÖN-2), 2100 m uzaklıkta üçüncü örnekleme noktası (ÖN-3), 3150 m uzaklıkta dördüncü örnekleme noktası (ÖN-4), 4800m uzaklıkta Akkaya baraj gölü içerisinde gövdeye yakın mesfelere iki adet beşinci örnekleme noktaları (ÖN-5) ve 5000 m uzaklıkta ise altıncı örnekleme noktası (ÖN-6) seçilmiştir.

Bir nolu örnek noktası (ÖN-1) derenin şehirdeki kirlenme potansiyelini tespit etmek için seçilmiştir. İki nolu örnekleme noktasının (ÖN-2) derenin tüm sularının bypas edilip arıtıldığı NBAAT çıkışı sonrası seçilmesinin nedeni derenin tesisten hemen sonraki mansap kısmındaki mevcut kirlenme potansiyelini tespit etmek içindir.

Üç nolu örnekleme noktası (ÖN-3) zirai faaliyetlerin ve hayvancılığın yoğun olduğu bölgede seçilerek derenin bu tür faaliyetlerden olumsuz etkilenip etkilenmediğini tespit etmek için seçilmiştir. Üç nolu örnekleme bölgesi civarlarında derenin etrafı genel olarak ağaçlarla kaplıdır. Dört nolu örnekleme noktasının (ÖN-4) derenin baraja dökülmeden önceki bölgeden seçilmesinin nedeni bir önceki örnekleme noktasındaki muhtemel zirai faaliyetlerin ve hayvancılığın dereye olan olumsuz etkilerinin devam edip etmediğini tespit etmek içindir.

Beş nolu örnekleme noktasının (ÖN-5) baraj gölünün içerisinden alınmasının sebebi ise hem barajdaki mevcut kirlenme potansiyelini hem de barajdan sonra altıncı örnekleme noktasındaki mevcut kirlenme potansiyeli üzerine baraj gölüne etkisini tespit etmek içindir. Su derinliğine bağlı olarak su yüzeyinden yaklaşık 30-40 cm aşağısından ve tabandan en az 20 cm yukarisından alınan numuneler karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Numuneler yaklaşık 1 yıl süre ile aylık olarak alınmış ve analiz edilmiştir.

### Örneklerin Fizikokimyasal Analizleri

Standart Metodlara (APHA, AWWA, WEF, 1998) göre her örnekleme noktasında yerinde çoklu su kalite ölçer ( WTW inolab-IDS multi 9430) kullanılarak fizikokimyasal su kalite parametrelerinin (sıcaklık, çözünmüş oksijen ve pH) ölçümleri yapılmıştır. PH: Elektromagnetik

Metod (Standart Metod 4500-H+B), Sıcaklık: Laboratuvar ve Alan Metod (Standart Metod 2550 B), Çözünmüş Oksijen (ÇO): Membran Elektrod Metod (Standart Metod 4500-OG) yöntemine göre yapılmıştır.

### Örneklerin Bakteriyolojik Analizleri

Su örneklerinin bakteriyolojik analizleri membranla süzme yöntemine (TS ISO 9308-1, 1990) göre yapılmıştır. Koliform sayısı En Muhtemel Sayı (EMS) olarak belirlenmiştir. Bu yöntemde 100 mL örnek steril filtre kağıdından süzülükten sonra, filtre kağıdı "Lactose TTC Agar with Tergitol 7" besiyerinin olduğu petri kabına konulmakta ve  $36 \pm 2$  °C de  $21 \pm 3$  saat inkübasyona bırakılmıştır.

İnkübasyon sonrası kolonilerin oluşmadığı tespit edildiğinde inkubasyon süresi toplamda  $44 \pm 4$  saate çıkarılarak koliformlar belirlenmiştir. Test sonucunda üremenin mevcut olup olmamasına bakılarak doğrulama testi yapılmıştır. Analiz sonucunda kolonilerin (koliformlar) toplam sayısı 100 mL'deki EMS olarak verilmiştir. Sayım sonucu EMS olarak seyreltme faktör ile çarpılarak hesaplanmıştır.

### Bulgular ve Tartışma

Ekim 2014-Eylül 2015 tarihleri arasında Akkaya baraj gölü ve onu kirlüten kızılca deresindeki örnekleme noktalarından aylık olarak alınan su numunelerinin bazı fizikokimyasal parametrelerin ve F.Koli. değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1'de görüldüğü gibi bir yıllık çalışma periyodu süresince çalışma bölgesindeki ortalama hava sıcaklığı  $14,7$  °C iken (Anonymous, 2014), Kızılca deresinde ortalama su sıcaklığı  $16,5$  °C ve gölde ortalama  $18,3$  °C'dir. Göldeki su sıcaklığının biraz daha yüksek olmasının muhtemel nedeninin göldeki suyun durgun olması ve güneş ışınlarına maruz kalan su yüzey alanının daha yüksek olması olarak değerlendirilmiştir. Dere ve göldeki yıllık ortalama pH değerleri yaklaşık aynı düzeyde ( $7,3$ ) bulunmuştur. Bu değerler Kızılca deresinin ve Akkaya baraj gölünün bazik olduğunu göstermektedir. Fitoplanktonlar fotosentez olayı sonucunda ortamda bulunan karbondioksit ( $CO_2$ )' i tüketip pH değerini yükseltebilmektedirler (Boyd,1990).

Çizelge 1. Kızılca deresi ve Akkaya baraj gölüne ait bazı fizikokimyasal parametrelerin ve F.Koli. yıllık ortalama değerleri

Table 1. The average annual values of some physicochemical parameters and F.Coli. in Kızılca creek and Akkaya dam

Örnekleme Noktaları	Kirlenici Parametreler					
	Debi (l/gün)	Su Sıcaklığı (°C)	pH	ÇO (mg/l)	F.Koli. (EMS/100 ml)	
Yıllık Ortalama Değerler						
Kızılca deresi	ÖN-1	246	17,0±8,3	7,30±0,13	2,28±0,69	7453±3222
	ÖN-2	826	17,1±8,6	7,23±0,23	0,33±0,15	19253±12932
	ÖN-3	799	15,9±7,9	7,70±0,30	0,23±0,10	39253±20417
	ÖN-4	791	17,3±8,0	7,25±0,14	0,91±0,16	16130±9416
	ÖN-6	1165	15,2±5,9	7,26±0,13	1,16±0,17	4646±1073
Akkaya barajı	ÖN-5		18,3±8,4	7,30±0,23	4,55±1,12	2744±865

± Standart sapma değerleri göstermektedir.

Deredeki yıllık ortalama ÇO değeri 0.98mg/l iken bu değer aşırı kirli dereye göre daha temiz olan barajda doğal olarak daha yüksek (4,55 mg/l) bulunmuştur. Üstelik aşırı kirlenmiş deredeki kirlenici göl içerisinde seyreklenmektedirler. Deredeki ÇO değerlerinin genelde 1 mg/l'nin altında olması derenin septik deşarjlarla oldukça kirlendiğini göstermektedir. Bununla birlikte yüzeysel su kaynaklarındaki yüksek F.Koli. bakteri sayısı, suyun kirlenme derecesinin ve mikrobiyolojik kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (USEPA, 2002; Davis ve ark., 2005).

Dereye deşarj edilen septik atıksular, tam olarak arıtılmamış atıksular, kaçak dökülen kirli atıksular ve yüzeysel akışlarla dereye giriş yapan dışkı kaynaklı organik atık sular içerisindeki yüksek oranlardaki koliform ve diğer bakterilerin sudaki organik maddeleri oksitleyerek ÇO değerini oldukça düşürebilmektedirler. Çizelge 1'de verilen sonuçlara göre, tüm örnekleme noktalarında alınan örneklerin tümünde koliform bakterilerin tespit edilmesi dışkı kaynaklı atıkların dere ve baraj gölüne karıştığını göstermektedir.

Analiz sonuçları hem dere hem de barajdaki suyun koliform yönünden mevzuata uygun olmadığını göstermektedir. Sonuçlar gölün IV. sınıf (çok kirlenmiş su) olduğu ortaya çıkarmıştır. Bu sebeplerle, gölün içme suyu temini, rekreasyon, balık üretimi, hayvan üretimi, sulama suyu gibi amaçlar için kullanımının sakıncalı olduğu

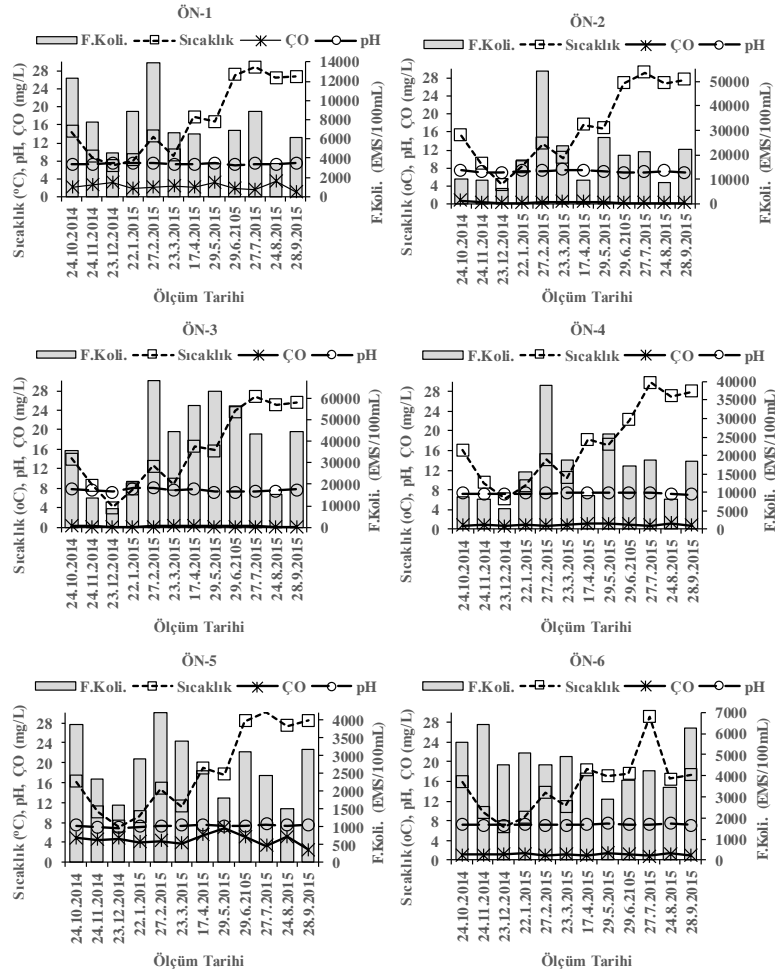
görülmektedir. Kızılca deresi ve Akkaya baraj gölündeki F.Koli. sayısının pH, ÇO ve su sıcaklığına bağlı olarak aylara göre değişimleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi Kızılca deresi ve baraj gölündeki F.Koli. sayısı 1 yıllık çalışma periyodu içerisinde aylara göre önemli ölçüde değişiklik göstermektedir. Deneysel sonuçlara göre, en yüksek F.Koli. sayıları daha yüksek pH değerlerinde elde edilmiştir. Kızılca deresindeki örnekleme noktalarında yapılan İstatistiksel analiz sonuçları pH değerleri ile F.Koli. sayısı arasında pozitif bir ilişkinin (Pearson korelasyon katsayısı=0.067-0.253) olduğunu ve bu ilişkinin %95 düzeyinde anlamlı olmadığını göstermektedir ( $p=0.427-0.837>0.05$ ). Akkaya baraj gölü (ÖN-5) için yapılan İstatistiksel analiz sonuçları ise pH değerleri ile F.Koli. sayısı arasında negatif bir ilişkinin (Pearson korelasyon katsayısı=-0.76) olduğunu fakat bu ilişkinin %95 düzeyinde anlamlı olduğunu göstermektedir ( $p=0.004<0.05$ ).

Bununla birlikte deneysel sonuçlara göre, Kızılca deresindeki ve Akkaya baraj gölündeki en yüksek F.Koli. sayıları daha düşük ÇO konsantrasyonlarında elde edilmiştir. Kızılca deresindeki ve Akkaya baraj gölündeki örnekleme noktalarında yapılan İstatistiksel analiz sonuçları genel olarak ÇO değerleri ile F.Koli. sayısı arasında negatif bir ilişkinin olduğunu ve bu ilişkinin %95 düzeyinde anlamlı olmadığını göstermektedir ( $p=0.10-0.94>0.05$ ).

Literatürde bilhassa yağış alan mevsimlerde yüzeysel su kaynaklarında Koliform bakterilerinde önemli oranlarda bir artış gözlemlendiği bildirilmiştir

(Speicher, 2015; Elmacı ve ark.,2008; Davis ve Ark., 2005; Karafistan ve Arık Çolakoğlu, 2005).



Şekil 2. Kızılca deresi ve Akkaya baraj gölündeki F.Koli. sayısının pH, ÇO ve su sıcaklığına bağlı olarak aylara göre değişimleri

Figure 2. Monthly changes of F.Coli. number in Kızılca creek and Akkaya dam depending on pH, dissolved oxygen (DO) and water temperature

Metoroloji verilerine göre 29.05.2015 ve 24.08.2015 tarihlerinde çalışma bölgesinde ortalama yağış (yağmur) miktarı 0,9 mm'dir. Bu çalışmada literatürde elde edilen sonuçlara benzer şekilde tüm örnekleme noktalarında 2014 yılı Ocak (ortalama 2,2 mm yağmur ve 1,5 cm kar) ve Şubat ayında (ortalama 0,7 mm yağmur ve 0,5 cm kar) ve bilhassa 2015 Mayıs (ortalama 0,8 mm yağmur) ve Ağustos (ortalama 1,0 mm yağmur) aylarındaki yağışlı günlerden (Anonymous, 2014) sonra F.Koli. bakteri oranlarında belirli bir artış gözlenmiştir. Bu artışın muhtemel sebebinin literatürde belirtildiği üzere hem yağışların hem de eriyen karların

yüzeysel akışla kirleticileri dere ve baraja taşınmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.

### Mevsimsel Değişimlerin ve Sıcaklığın Etkileri Bakteriyolojik Kirlenme Üzerine Etkileri

Çizelge 2'de Akkaya baraj gölü ve Kızılca deresindeki F.Koli. sayısının mevsimlere ve su sıcaklığına bağlı olarak değişimi verilmiştir. Mevsimsel farklılıkların ve sıcaklığın bakteriyolojik kirlenme üzerine etkilerini ortaya koyabilmek için yağışlı mevsimlerdeki ve karların eriyişi ile yüzeysel akışların gerçekleştiği dönemlerdeki ölçümler ortalama değerlerde hesaba katılmamıştır.

Çizelge 2’de görüldüğü üzere Kızılca deresinin şehir çıkışı ile baraj gölü girişi arasındaki mesafelerinde (ÖN-1,2,3 ve 4) daha sıcak mevsimlerde bilhassa ortalama su sıcaklığının ortalama 29 °C olduğu yaz aylarında F.Koli. sayısının diğer aylara nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Kızılca deresindeki ÖN-1,2,3 ve 4’deki veriler için yapılan İstatistiksel analiz sonuçları ortalama sıcaklıklar ile F.Koli. sayısı arasında pozitif bir ilişkinin (Pearson korelasyon katsayısı=0.64-0.83) olduğunu fakat bu ilişkinin %95 düzeyinde anlamlı olmadığını göstermektedir (p=0.17-0.36>0.05).

Kızılca deresi ÖN-6’da ve Akkaya baraj gölündeki örnekleme noktalarında tüm mevsimlerde ortalama F.Koli. sayısı yaklaşık aynı düzeydedir. ÖN-5 için yapılan İstatistiksel analiz sonuçları ortalama sıcaklıklar ile F.Koli. sayısı arasında negatif bir ilişkinin (Pearson korelasyon katsayısı=-0.48) olduğunu ve bu ilişkinin %95 düzeyinde

anlamlı olmadığını göstermektedir (p=0.523>0.05).

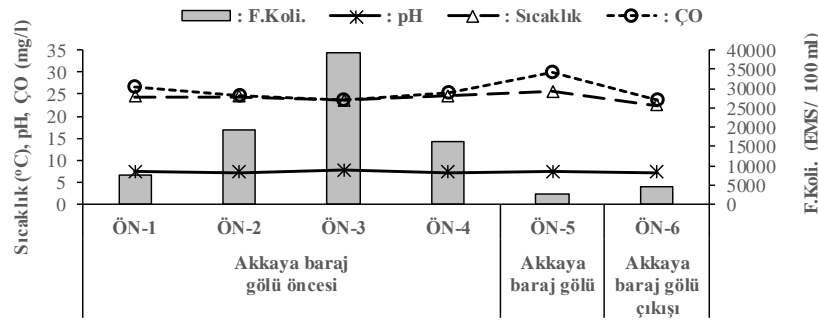
Baraj gölünde (ÖN-5) F.Koli. sayısı su sıcaklığının ortalama 30 °C olduğu yaz aylarında biraz daha yüksek bulunmasına karşın bu sonuç baraj gölündeki F.Koli. sayısının mevsimlere ya da sıcaklığa bağlı olarak değiştiğini ispat etmemektedir. Zira ÖN-5 için yapılan İstatistiksel analiz sonuçları ortalama sıcaklıklar ile F.Koli. sayısı arasında pozitif bir ilişkinin (Pearson korelasyon katsayısı=0.89) olduğunu ve bu ilişkinin %95 düzeyinde anlamlı olmadığını göstermektedir (p=0.107>0.05). Baraj gölündeki F.Koli. sayısının mevsimlere ya da sıcaklığa bağlı olarak fazla bir değişim göstermemesinin muhtemel sebeplerinin baraj gölündeki seyrelme etkilerinden ve güneşin koliform bakteriler üzerine olumsuz etkilerinden dolayı olduğu düşünülmektedir (Hadas ve ark., 2004; An ve ark., 2002; McCambridge, and McMeekin, 1984).

Çizelge 2. Akkaya baraj gölü ve Kızılca deresindeki F.Koli. sayısının mevsimlere ve su sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Table 2. Change of F.Coli. number in Kızılca creek and Akkaya dam depending on seasons and water temperature

	Örnekleme Noktaları	Mevsimler	Hava	Su	F.Koli.*
			Sıcaklığı (°C)	Sıcaklığı (°C)	(EMS/100 ml)
			Ortalama Değerler		
Kızılca deresi	ÖN-1	İlkbahar	14,8	17,7	6500
		Yaz	26,0	28,8	8930
		Sonbahar	13,7	17,9	7000
		Kış	6,5	7,5	6700
	ÖN-2	İlkbahar	14,8	17,6	9770
		Yaz	26,0	29,2	21200
		Sonbahar	13,7	18,3	16100
		Kış	6,5	6,3	12200
	ÖN-3	İlkbahar	14,8	16,6	56700
		Yaz	26,0	26,9	43500
		Sonbahar	13,7	17,2	29000
		Kış	6,5	6,0	15050
	ÖN-4	İlkbahar	14,8	18,2	9200
		Yaz	26,0	29,8	18700
		Sonbahar	13,7	18,7	13330
		Kış	6,5	7,5	10650
	ÖN-6	İlkbahar	14,8	18,5	4120
		Yaz	26,0	29,2	4230
Sonbahar		13,7	13,6	6340	
Kış		6,5	7,8	4800	
Akkaya barajı	ÖN-5	İlkbahar	14,8	18,9	2560
		Yaz	26,0	30,1	2785
		Sonbahar	13,7	19,3	2755
		Kış	6,5	8,1	2250

\*:Yağışlı mevsimlerdeki ve karların eriyişi ile yüzeysel akışların gerçekleştiği dönemlerdeki ölçümler hesaba katılmamıştır.



Şekil 3. Kızılca deresindeki F.Koli. sayısının derenin uzunluğu boyunca değişimi

Figure 3. Change of F.Coli. number in Kızılca creek along its length

### Bakteriyolojik Kirlenmenin Dere Uzunluğu Boyunca Değişimi

Akkaya baraj gölündeki ve dere uzunluğu boyunca F.Koli. sayısının pH, ÇO ve su sıcaklığına bağlı olarak değişimleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü gibi Kızılca deresi ve baraj gölündeki F.Koli. sayısı dere uzunluğu boyunca önemli ölçüde değişiklik göstermektedir.

Deredeki yıllık ortalama F.Koli. sayısı 7453 ile 19253 EMS/100 ml arasında değişmektedir. Derenin debisinin düşük olduğu (yıllık ortalama debi:246 l/gün) şehir çıkışına yakın mesafedeki ÖN-1 noktasında fazla kirlenme olmadığı için F.Koli. sayısı (7453 EMS/100ml) diğer noktalara göre oldukça düşük bulunmuştur.

Derenin NBAAT çıkış sularının karıştığı noktanın hemen ilerisinden alınan ikinci örnekleme noktasında ise bu değer ortalama olarak 19253 EMS/100ml olup oldukça artmıştır. Bunun muhtemel sebebinin tam olarak arıtma yapamayan ve debisi oldukça yüksek olan NBAAT çıkış sularının etkisinin olabileceği düşünülmektedir.

F.Koli. sayısındaki en yüksek değer (39253 EMS/100ml) bir sonraki örnekleme noktasında (ÖN-3) tespit edilmiş olup bu değer ilk örnekleme noktasındaki değerden yaklaşık 5.3 katı değerindedir. Bunun muhtemel sebepleri dere kenarındaki tarımsal faaliyetlerle kullanılan gübrelerin ve etraftaki çiftlik hayvanların dışkı içeren atıklarının yağışlardan sonra yüzeysel akışlarla dereye geçmesi sayılabilir.

ÖN-3'ten sonraki yani derenin baraja girişindeki ÖN-4 noktasında ise F.Koli. sayısı önceki örnekleme noktasına nazaran bir hayli düşmüştür.

Bu düşüşün muhtemelen daha önceki kirlenme noktasındaki kirleticilerin dere uzunluğu boyunca seyrelmeye uğramalarından ve derenin bu kısımlarında dereye dışarıdan gübre atıkları gibi yayılı kirleticilerin girişinin fazla olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

ÖN-6 noktası baraj gölünün dereye hemen deşarj edildiği kısmında olduğu için muhtemelen baraj gölü çıkışından sonra seyrelme etkisiyle F.Koli. sayısı derenin mansap kısımlarındaki değerlerinden daha düşük bulunmuştur.

### Sonuç ve Öneriler

Çalışma sonuçlarından elde edilen verilere göre, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SSKY) "Tablo 1: Kita İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" ve "Tablo 2: Göller, Göletler, Bataklıklar ve Baraj Haznelerinin ötrofikasyon Kontrolü Sınır Değerleri" (EK-1)'e göre Kızılca deresinin ÇO ve F.Koli. açısından tamamen III. kalitede su özelliğini yansıttığı ve Baraj gölünün ise ötrofik hale geldiği sonucuna varılmıştır. Bu sebeplerle, Kızılca deresindeki aşırı kirlenmenin ve dolayısıyla Akkaya baraj gölünde yaratacağı olumsuz problemlerin önüne geçilebilmesi için yapılması gereken uygulamalar bir öneri niteliğinde aşağıda sunulmuştur:

A-Kızılca deresinin stabilizasyonu için öneriler;

(1)-Barajı besleyen dereye atık sularını boşaltan kurum ve kuruluşların arıtma tesisleri alıcı ortama deşarj limitlerini sağlayacak düzeyde arıtım yapmaları mutlaka sağlanmalıdır, (2)-Derenin özellikle şehir içerisinde kalan kısmı temizlenmeli, rehabilite edilmeli ve sürekli olarak kontrol altına alınmalıdır, (3)-Dere içerisinde sürekli bir su akımı



sağlanmalıdır. Bunun için özellikle derenin menba kısmındaki drenaj alanı içerisinde yağışlarla gelen suların biriktirilerek kurak dönemlerde derenin beslenmesi sağlanabilir.

Şehir içerisinde çeşitli tesislerden oluşacak yıkama sularının dereye verilmesi sağlanabilir ve (4)-Drenin baraja yakın olan kısımlarındaki kirlenmenin azaltılması için bu bölgeler bitkilendirilmelidir. Bunun için yapay sulakalan arıtma sistemleri derenin stabilizasyonunda kullanılabilir.

B-Akkaya baraj gölü için öneriler;

(1)-Öncelikli olarak baraj gölüne yönelik Entegre Su Yönetim Planı oluşturulmadır, (2)- Baraja yağışlı günlerde yüzeysel akışlarla gelmesi muhtemel tüm yayılı kirlenme kaynaklarının (özellikle zirai işlemler ve hayvancılıkla oluşan gübreler) girişini azaltmak için baraj gölünün etrafı bitkilendirilmelidir. Bunun için baraj gölünün kenarlarına yakın kısımlarında yapay sulakalan sistemleri oluşturularak baraja yüzeysel akışlarla gelen özellikle azot ve fosfor gibi kirlenme yüklerini azaltılması sağlanabilir, (3)-Baraja çeşitli tesislerle (NÜAAT ve OSAAT) yapılan tüm atıksu deşarjlarının alıcı ortam koşullarını bozmayacak düzeyde deşarjlarının sağlanması, (4)-Baraj gölünün ekolojik dengesine (kaçak ağ atımı ve kuş türlerinin avlanması gibi) müdahaleden kesinlikle kaçınılmalıdır ve (5)-Akkaya baraj gölü yukarıda izah edilen önlemlerle temizlendikten sonra su kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için rekreasyonel faaliyetlerle değerlendirilmelidir. Bunun için doğal bir sulakalan konumundaki gölün doğa eko-turizmine ve kuş gözlemciliğine açılması sağlanabilir.

Dereler gibi noktasal kirlenme kaynaklarından su rezervlerine ulaşan organik madde, besin elementleri (azot ve fosfor) ve koliform grubu bakteriler su kalitesinin bozulmasında en önemli kirlenme parametreleri olarak görülür. Bu kirlenme kaynaklarındaki kirlenme yüklerini gidermek için en kolay ve en ekonomik uygulanabilir yol derelerin doğal yapısını bozmadan rehabilite edilmeleridir. Türkiye ölçeğinde derelerdeki mevcut kirlenmenin önlenmesi için yapılan rehabilitasyon çalışmalarının çoğunda ne yazık ki dereler genellikle birer betonarme kanal şekline çevrilmekte ve böylelikle derenin doğal yapıları bozulmakta ve zamanla kirlenmenin boyutları daha da artmaktadır.

Derelerin doğal yapısını bozmadan onları doğal atıksu arıtma sistemine çevirerek stabilize etmek de mümkündür. Aşırı kirlenmiş derelerdeki su

kalitesinin iyileştirilmesi için öncelikle noktasal kirlenme kaynaklarındaki kirlenme yüklerinin azaltılması gerekir. Öncelikli olarak, derelerdeki kirlenmeden sorumlu olan mevcut işletmeler ve tesislerin SKKY'inde öngörülen alıcı ortam deşarj limitlerini sağlayacak şekilde atıksularını arıtmaları için yerel idare tarafından zorlanmalı, denetlenmelidir ve gerektiğinde cezai yasal prosedürler mutlaka uygulanmalıdır.

Derelerin mevcut drenaj alanı içerisinde yağışlar nedeniyle yüzeysel akışla gelen kirlenme yüklerinde derelerin ve dolayısıyla barajların kirlenmesinde diğer önemli bir husustur. Derelerin drenaj alanları içerisindeki tarımsal faaliyetlerle oluşan kirlenme için yapay havuzların oluşturulması ile atıksuların yeniden kullanılmasını sağlanarak bu suların derelere yağışlarla girişleri önenebilir. Bunun yanısıra dere kenarlarının mümkün olduğunca bitkilendirilmesi sağlanarak kirlenme yüklerinin derelere geçişleri azaltılabilir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Akkaya baraj gölünü kirlenme Kızılca deresinde kirliliğin incelenmesi ve dere ve çıkış sularının arıtılması için uygun bir bertaraf yönteminin belirlenmesi adı altında FEB 2013/35-BAGEP nolu proje olarak Niğde Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

## Kaynaklar

- Adhikari, H., D. Barnes, S. Schiewer and D. White, 2007. Total coliform survival characteristics in frozen soils, J. Environ. Eng.133: 1098–1105.
- Akdoğan, F. ve P. Köksaldı, 2010. "Niğde Belediyesi ve Akkaya Baraj Gölü", Akkaya Baraj Gölü ve Çevre Sorunları Çalıştayı, 10 Şubat, Çalıştay Kitapçığı, Niğde, s.6-9.
- An, J. Y. and G.P. Breidenbach, 2005. Monitoring E. coli and total coliforms in natural spring waters as related to recreational mountain areas, Environmental Monitoring and Assessment, 102: 131-137.
- Anonymous, 2008. Bacteria: Sources, Types, Impact on Water Quality-A General Overview, Minnesota Pollution Control Agency, <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-iw3-20.pdf>.
- Anonymous, 2014. Türkiye Hava Durumu, <http://www.accuweather.com/tr/tr/nigde/319795/january-weather/319795?monyr=1/1/2015&view=table>.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association), and WEF (Water Environment Federation), 1998. "Standard Methods for the Examination of Water and

- Wastewater, 20 th Edition, United Book Press, Inc., Baltimore, Maryland.
- Bellitürk, K., 2011. Edirne İli Uzunköprü İlçesi Tarım Topraklarının Beslenme Durumlarının Belirlenmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 8 (3): 8-15.
- Byappanahalli, M., M. Fowler, D. Shively and R. Whitman, 2003. Ubiquity and persistence of *E. coli* in a midwestern coastal stream, Appl. Environ. Microbiol.69: 4549–4555.
- Boyd, C.E., 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Birmingham Publishing Company, Birmingham, Alabama.
- Chambers, M., M. Ford, D. White, D. Barnes and S. Schiewer, 2008. Distribution and transport of fecal bacteria at spring thaw in a rural Alaskan community, J. Cold Reg. Eng. 22: 16–37.
- Chao, K. K., C.C. Chao and W.L. Chao, 2003. Suitability of the traditional microbial indicators and their enumerating methods in the assessment of fecal pollution of subtropical freshwater environments, J. Mikrobiol. Immunol Infec.36: 288-293.
- Crabill, C., J. Donald, J. Snelling, R. Foust G. and Southam, 1999. The impacts of sediment fecal coliform reservoirs on seasonal water quality in Oak Creek, Arizona, Water Res. 33: 2163–2171.
- Davies, C., J. Long, M. Donald and N. Ashbolt, 1995. Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments, Appl. Environ. Microbiol.61: 1888– 1896.
- Davis, K., M. Anderson and M.V. Yates, 2005. Distribution of indicator bacteria in Canyon Lake, California, Water Research.39: 1277–1288.
- Elmacı, A., A.Teksoy, F.O. Topaç, N. Özengin ve H.S. Başkaya, 2008. Uluabat gölünün mikrobiyolojik özelliklerinin mevsimsel değişiminin incelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13: 93-103.
- Hadas, O., M.G. Corradini and M. Peleg, 2004. Statistical analysis of the fluctuating counts of fecal bacteria in the water of Lake Kinneret, Water Research, 38: 79-88
- Karafistan, A. ve F.A. Çolakoğlu, 2005. Physical, chemical and microbiological water quality of the Manyas Lake, Turkey, Mitigat. Adap.Strateg. Global Change, 10: 127-143.
- Lamka, KG, M.W. LeChevallier and R.J. Seidler, 1980. Bacterial contamination of drinking water supplies in a modern rural neighborhood, Applied and Environmental Microbiology, 39:734-8.
- Lechevallier, M., N.J. Shaw and D.B. Smith, 1996. Chapter 5, Factors Limiting Microbial Growth in the Distribution System: Laboratory and Fullscale Experiments, (Ed(s): M.W. LeChevallier and N.J. Shaw). American Water Works Association Publishers, USA. p:57-66.
- McCambridge, J. and T.A. McMeekin, 1984. Effect of solar radiation and predacious microorganisms on survival of fecal and other bacteria, Applied Environmental Microbiology, 41: 1083-1087.
- Saldutti, S., 2009. The Assessment of Fecal Coliform Bacteria in Cumberland Valley Springs, Pennsylvania, USA.
- Schnabel, W.E., A.M. Asce, T. Wilson, R. Edwrds, G. Stahnke, M. Maselko, D.C. Maddux and K. N. Duddleston, 2010. Variability, Seasonality, and Persistence of Fecal Coliform Bacteria in a Cold-Region, Urban Stream, Journal of Cold Regions Engineering, 24:54:75
- Speicher, A.R., 2015. An investigation into bacterial contamination in an urban nebraska stream using microbial source tracking, Thesis of Master of Science, University of Nebraska, Faculty of Graduate College, Lincoln, Nebreska, USA.
- SKKY, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, RG: 31.12.2004, Sayı: 25687, Ankara.
- SKYY, 2012. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, RG: 30.11.2012, Sayı:28483, Ankara.
- Sullivan, T. J., K.U. Snyder, E. Gilbert, J.M. Bischoff, M. Wusternberg, J. Moore and D. Moore, 2005. Assessment of water quality in association with land use in the Tillamook Bay watershed, Oregon, USA, Water, Air and Soil Pollution.161: 3-23.
- TS ISO 9308-1, 1990. Water quality-Detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive *Escherichia coli*-Part 1: Membrane filtration method, 1990-10-01
- USEPA, 2002. Implementation guidance for ambient water quality criteria for bacteria, US EPA-823-B-02-003, US EPA, Washington DC., USA.
- USEPA, 2003. Bacterial water quality standards for recreational waters, Washington, D.C., USA.