



İÇME SUYUNDA AGRESİVİTENİN SAPTANMASI VE ŞEBEKEDEN
KOROZYONUN ÖNLENMESİ

(DETERMINATION OF CORROSIVE PROPERTIES OF DRINKING WATER AND
ELIMINATION OF THESE PROPERTIES AT THE NETWORK)

Enver Y. KÜÇÜKGÜL* Davut ÖZDAĞLAR*

ÖZET/ABSTRACT

Kent içme ve kullanma suyu sistemlerinde, iletilen veya depolanan sular ile temas ettikleri metal yüzeyler arasında bir seri kompleks tepkime korozyon sonucu oluşabilmektedir. Su ile malzeme arasında oluşan yükseltgenme-indirgenme tepkimeleri sonucu temas edilen metali oksitleyerek yüzey bozulmasına zamanla metalin doğadaki yapısına dönmesine neden olmaktadır. Tahtalı Barajı'ndan temin edilen içme sularının, korozif etkisi, boru ve donanımında zamanla çözünmeyi arttırarak, demir, kurşun, bakır ve diğer toksik ağır metallerin derişimini kötü yönde etkilemesinin bir sonucu olarak, yazın tüketicilerin şikayetlerine neden olan kırmızı su problemini de oluşturabilmektedir. Bu çalışmada incelenen sular; Tahtalı Barajı'ndan, arıtma tesisi çıkışından, şehir şebekesinden ve şikayet olan evlerden alınan su örnekleridir. İncelemede su kalitesi, fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik parametreleri yanı sıra çözünmüş gazlar, korozyon indeksleri ve malzemenin suyla etkileşmesi incelenmiştir. Korozyon, kalıntı klor fazlalığı, düşük pH, şebekede suyun beklemesi, sıcaklık değerinin yüksekliği vb. sebeplerle artmaktadır. İncelemeler sonucu Tahtalı Barajı suyunun agresif karakterde olduğu saptanmış ve çalışma da bu sorunun oluşma nedenleri ve sorunun çözümü için yapılması gereken hususlar tespit edilerek çözüm önerileri getirilmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT

Corrosion is a complex series reactions between the water and metal surfaces and materials in which the water is stored or transported. The corrosion processes is an oxidation/reduction reaction that returns refined or processed metal to their more stable ore state. With respect to the corrosion potential of Tahtalı Dam drinking water, the primary concerns include the potential presence of toxic metals, such as lead and copper, deterioration and damage to household plumbing, and aesthetic problems such as; stained laundry, bitter taste and reddish-brown stains around basins and drains. This project describes the process of determining the water quality, water quality index (WQI) for Tahtalı Dam waters as well as the results of application of the index for water evaluation in İzmir, for a one year period. The WQI includes the parameters of temperature, anions and cations and heavy metals, iron bacteria, all the physical, chemical and some bacteriological parameters, mineralization, corrosion coefficient, dissolved gases, etc. Relation between corrosive surface water, water chemistry and distribution system (pipeline network) in İzmir were evaluated by use of series monitoring and several corrosion indexes. Water-chemistry information for water samples collected each month from Görece Water Treatment Plant's influent-effluent waters and from the city houses from 1999 to 2001 was used to determine its quality and also to calculate corrosion index. Water is considered corrosive if the index value is negative, preventing the precipitation of calcium carbonate, therefore, allowing corrosive reactions with the interior of piping system. Microbially related water quality problems are of particular interest because ferrous materials have been found to support larger populations of attached microorganisms even in the presence of disinfectants. These types of waters which generally contain high ionic concentration and dissolved carbon dioxide will increase the conductivity of water promoting corrosion. Corrosion can also be accelerated by low pH, low flow rate within the piping, high water temperature and presence of suspended solid and excess chlorine. Over the next few years, all regulated community water systems will be required to monitor their levels of lead and copper, with samples being taken from cold water taps in consumer's homes.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Kentsel içme suyu, Su arıtımı, Korozyon, , gresiflik indeksi, Su kalitesi
Municipal drinking water, Water treatment, Corrosion, Agresivity index, Water quality

*Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fak., Çevre Mühendisliği Bölümü, Buca, İZMİR

1. GİRİŞ

Ülkemizde 1980 yılına kadar su kaynaklarının planlanmasında temel hedefler, sektörel bazda belli bir ihtiyacın karşılanması doğrultusunda su kaynağının geliştirilmesi ve suyun neden olduğu zararların önlenmesine yönelik sistemlerin tasarımı şeklinde gelişmiştir. 1980'li yıllardan sonra ise çevresel faktörler kendini hissettirmeye başlamıştır. Hızlı kentleşme ve sanayileşme sonucu doğal suların kalitesi hızla bozulmaya başlamış, kullanılabilir su kaynakları giderek azalmıştır. İzmir Şehir şebekesinden su alan birçok semtte zaman zaman musluklardan kırmızı renkli, bulanık su alınması şikayetleri oluşmaktadır. Bu şikayetler semtlerin genelinde yaygın olmayıp bazen yan yana olan iki haneden sadece birinde oluşabilmektedir. Bu noktadan hareketle, Tahtalı Barajı'ndan alınarak arıtma tesisinde arıtıldıktan sonra İzmir Kentine verilen su için, arıtma tesisi giriş ve çıkış suyu, ana iletim hattı, sonu ve şehir şebekesinde belirli noktalardan alınan su örneklerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler incelenmiştir. Bu durum; şebeke, arıtma, baraj gölü, havza jeolojisi, hidroloji ve hidrojeolojisi, doğal kaynak yönetimi ve hatta hava kalitesinden bağımsız düşünülemeyecek kadar karmaşıktır. Sorunlara yol açan temel neden agresif karakterdeki su yapısı olmasının yanı sıra, şebeke materyali, bileşimleri, konut içi tesisat ve ekipmanları, baraj haznesinde kirlenme ve mevcut arıtma tesisinin bu sorunun çözümüne uygun arıtma teknolojisine sahip olmaması gibi sebepler sayılabilir.

Şebekede kullanılan malzeme niteliğine göre agresif sular farklı korozyon türleri oluşturabilmektedir. Galvanizli malzeme çinko, kadmiyum ve bazen de kurşun birleşimindedir. Su sayaçları, vanalar ve bağlantı elemanları pirinçten olabilmektedir. Eski binalarda ise bağlantılar kurşun ve kalay bileşimlidir. Şebekedeki farklı metallerden oluşan boruların olması durumunda bileşimlerine göre metalik elektrot potansiyeli yüksek olanlar öncelikle çözünecektir. Galvanik karakterdeki korozyonda önce bağlantılı iki metalden elektrot potansiyeli yüksek olanın çözünmesi gerçekleşir. Pitting korozyonunda, boru iç çeperlerinde bileşim homojenliği yoksa korozyon bu noktada yoğunlaşarak borunun delinmesine kadar sürer. Crevice korozyonuna genellikle bağlantı bölgelerinde rastlanılır. Bazen de su hızı ve yönünün sık değiştiği bölgelerde rastlanılan erozyon tipi korozyon görülmektedir.

2. KOROZYON

2.1. Korozyon Nedir ve Nasıl Oluşur?

, agresif suların etkisi ile su arıtma tesisi, iletim, depolama, yükseltme ve dağıtım sistemlerinde su ile temas eden maddelerin kısmi çözünmesine korozyon denilmektedir. Korozyon, yapısal bozunmalara, sızmalara, kapasite kaybına ve suyun kimyasal ve mikrobiyal kalitesinin bozulmasına yol açabilir. Boruların ve bağlantıların içsel korozyonu, belli standart değerleri sağlamasının tavsiye edildiği kadmiyum, bakır, demir, kurşun ve çinko gibi maddeleri içeren bazı su bileşenlerinin derişimine direkt etkide bulunabilir. Korozyon kontrolü bundan dolayı içme ve kullanma suyu sistemlerinin yönetiminde de önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada su kalitesinin iyileştirilmesi amaçlandığından sadece boruların içsel korozyonu ile ilgilenilmiştir. Boruların dışsal korozyona karşı korunumu da çok önemlidir fakat dışsal korozyon su kalitesiyle daha az ilgilidir. Korozyon kontrolü, pH, kalsiyum, bikarbonat, karbonat ve çözünmüş oksijen derişimlerini içeren birçok parametreyi barındırır (Snoyenik ve Jenkins, 1980).

Su dağıtım sistemlerinin yapısında bulunan birçok metal, suyun varlığında kararsızdır ve korozyon olarak bilinen prosese, yani çözünebilir forma dönüşmeye yada bozunmaya eğilimlidir. Korozyonun oluşma hızını birçok kimyasal ve fiziksel parametre etkilemektedir. Çok hızlı yada aşırı derecede yavaş gerçekleşebilir. Korozyon ürünlerinin ve prosesin kararlı son ürünlerinin özellikleri büyük öneme sahiptir. Eğer bunlardan biri suda çözünür ise korozyon hızlı gerçekleşir. Bununla birlikte, korozyon ürünlerinin çözünmeyen olduğu durumlarda su yüzeyinde koruyucu kireç tabakası oluşabilir ve korozyon daha yavaş gerçekleşir. Çözünmeyen korozyon ürünleri sadece sızdırmaz tabaka oluşturduğunda koruyucudur. Eğer sünger benzeri yada tiftik bir kütle oluşturursa korozyon devam eder ve su kalitesinin bozulmasına, borunun taşıyıcı kapasitesinin azalmasına ve kalıntı klordan korunabilen mikrobiyal gelişimlere (biyofilmlere) yol açar.

Korozyon ayrıca suyla temasta olan metallerin elektriksel özellikleri tarafından da çok fazla etkilenir. Değişik metaller suyla temaslarında elektrik yükü geliştirmeye değişik eğilimler gösterirler ve bu fark galvanik sistemlerde kendini gösterir. Değişik iki metal (yada elektriksel iletkenliğe sahip diğer maddeler) temasta olduğunda negatif elektrotta çözünen metalde galvanik hücre oluşur. Galvanik hücreler korozyona itici güç sağlarlar. Korozyon hızı, temelde çözünmüş reaktiflerin metal yüzeylerine transfer olduğu yerdeki ve reaksiyonun olduğu yerden başka yere transfer edildiği yerdeki hız tarafından kontrol edilir. Bundan dolayı, korozyon hızları sudaki iyonların artan derişimleri ve ayrıca artan türbülans ile doğrusal olarak artar (Tebbut, 1992).

Çok yüksek su hızlarında, korozyon hızı erozyon korozyonu sonucunda yükselebilir. Genel olarak diğer kimyasal reaksiyonlarla, sıcaklık arttıkça korozyon hızı da artar. Belli metaller pasifasyon olarak bilinen olaya maruz kalırlar. Demir, nikel, krom ve bunların alaşımlarını kapsayan bu metaller için belli voltaj uygulamaları korozyon hızında ciddi düşüslere yol açar. Bu amaçla “anodik koruma” yı içeren bazı korozyon kontrol yöntemlerinden faydalanılır. Bakır, kurşun ve çinko korozyonu anodik koruma ile kontrol edilemez (Çizmecioğlu, 1998).

Çözünmüş oksijen, korozyon hızını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Korozyon reaksiyonuna direkt olarak katılır ve çoğu durumda çözünmüş oksijen derişimi arttıkça korozyon hızı da artar. pH; çözünürlüğü, reaksiyon hızını ve bazı derecelerde korozyon reaksiyonlarındaki çoğu metal türlerinin yüzey kimyalarını kontrol eder. Metal yüzeyinde koruyucu film oluşumuyla ilgili olduğundan oldukça önem taşır. Dağıtım sistemlerinde kullanılan metallerin korozyonunda klorür iyonunun agresif hareketinin önemine dair artan birçok delil vardır. Kalıntı klorun, ayrıca korozyon hızını etkilediğine dair bazı bilgiler mevcuttur (ITII, 1997). İçme suyunda sıcaklık 15°C’tan büyükse, pH 6.5 civarındaysa, karbondioksit derişimi 5 mg/L’den büyükse ve su yumuşaksa korozyona yol açan agresif bir karakter sergiler (InterCorr, 2005).

2.2. İçme Suyu Borularında Korozyon

İçme suyu şebekesi boruları içerisinde en çok etkilenecek türler demir bileşimli döküm borulardır. , ncaş şebekede bu borularla ilişkide olan bakır, kurşun ve benzeri metaller de korozyon açısından incelenmelidir. Bakır boru tesisatı, genel korozyona, etkin saldırıya ve oyuk korozyonuna maruz kalabilir. Bakırın genel korozyonu, en çok yumuşak, pH’ı 6.5’in altındaki asidik suların birleşik etkisi ile gerçekleşir. 60 mg/L CaCO₃ sertliğinden daha az sertlikteki sular bakıra çok agresiftir. Bundan dolayı böyle sular bakır borularla transfer edilmemeli yada bakır kaynakıcılarda ısıtılmamalıdır. Etkin saldırı, aşırı akış hızlarının bir sonucudur ve yüksek sıcaklıktaki ve düşük pH’taki yumuşak suyla daha da kötü bir hal alır. Bakırın oyuklaşması 5 mg/L’nin üzerindeki karbondioksit derişimindeki sert yeraltı sularının

ve yüksek oksijen seviyesinin birleşik etkisi için kullanılır. Organik renk (hümkik maddeler) içeren yüzeysel sular oyuk derişimi ile ilişkilendirilebilir. Genel ve oyuk korozyonu problemlerinin yüksek oranı, koruyucu oksit tabakası henüz oluşmamış yeni borularda görülür (Bellissent-Funel ve Neilson, 1986).

Kurşun korozyonu su kalitesine ters etkiye sahiptir. Kurşun boru tesisatı eski evlerde hala yaygındır ve kurşun lehimler özellikle bakır boruları bağlamak için geniş çapta kullanılmıştır. Kurşun çok sayıdaki formlarda pH'a bağlı olarak suda kararlıdır. Kurşun çözünürlüğü, çözünmeyen kurşun karbonatlarının oluşumları ile büyük çapta kontrol edilir. Kurşunun çözünürlüğü, denge karbonat derişimindeki önemli düşüşten dolayı, pH'ın 8.0'ın altına düşmesiyle önemli miktarda artar. Bundan dolayı kurşun korozyonu düşük pH ve düşük alkalinitedeki sularda maksimum olma eğilimindedir. Kontrol yöntemi olarak pH 8.0-8.5 aralığında tutulabilir.

Beton, agregatı sararak sabitleştirmesi için çimentonun bağlayıcı olarak kullanıldığı, agregat, çimento ve suyun bileşimi olan kompozit bir maddedir. Çimento temel olarak kalsiyum silikatlarının ve alüminatlarının bir miktar serbest kireç ile karışımıdır. , gragatın düzgün çakıl ve kumdan oluştuğu çimento harcı demir ve çelik su borularının iç yüzeylerini kaplayarak koruyucu madde görevini görür. , sbest-Çimento borularda, agregat asbest lifleridir. Hem kirecin ve diğer çözünebilir maddelerin çözünmesinden, hem de klorür ve sülfat gibi agresif iyonların kimyasal saldırılarından dolayı (bu kimyasal saldırı çimento borunun yapısal bozulmasıyla sonuçlanabilir) çimentonun bozunmasına sebep olur. Suyun çimentoya olan agresifliği, kalsiyum karbonatın çökeltme yada çözünme potansiyelini ölçen Langelier indeksinin değeri ile ilişkilendirilir. , yırca benzer olarak, çimentonun çözünme potansiyelinin miktarını belirlemeye özel "agresivite indeksi" vardır. 8.5 yada daha yüksek pH değerleri çimento korozyonunun kontrolünde gerekli olabilir.

Mikroorganizmalar, düşük pH'lı ve yüksek koroziv iyon derişimli bölgeler oluşturarak, oksidasyon proseslerine aracı olarak yada korozyon ürünlerini gidererek ve koruyucu yüzey filmlerini bozarak boru maddesinin korozyonunda önemli bir rol oynayabilir. Korozyonu oluşturan en önemli bakteriler, sülfat indirgeyen bakteriler ve demir bakterileridir. , yırca nitrat indirgeyen bakteriler ve metan üreten bakteriler de aynı rolleri oynayabilirler. Mikroorganizmaların neden olduğu korozyon, dağıtım sistemlerinde kalıntı klor derişiminin korunmadığı, özellikle suyun uzun süre bekleyebildiği uç noktalarda ve hızın düşük olduğu yerlerde problem yaratabilir. , yırca bu korozyon çeşidi, boru iç yüzeylerindeki ağır kireç oluşumlarının yerinden çıkarıldığı yada çok fazla korozyon ürünlerinin oluştuğu yerlerde de problem yaratabilir.

2.3. Korozyon İndeksleri

Her çeşit özel suyun korozyon potansiyelini karakterize etmek için geliştirilmiş çok sayıda indeks vardır. Bu indekslerin çoğu metal yüzeyi üzerindeki kalsiyum karbonat kireci ile tortu oluşturma eğiliminde olan suyun daha az koroziv olacağı kabulüne dayanır. Bundan dolayı, iyi bilinen Langelier indeksi, suyun gerçek pH'ı ile aynı alkalinitedeki ve kalsiyum sertliğindeki suyun katı kalsiyum karbonat ile dengede olduğu pH olan doyunluk pH'ı arasındaki farktır. Kalsiyum sertliğine ve alkaliniteye ek olarak, doyunluk pH'nın hesaplanmasında, toplam çözünmüş maddelerin derişimi ve sıcaklığı göz önünde tutulur.

Doyunluk pH'ından daha yüksek pH'a sahip sular (pozitif Langelier indeksi) kalsiyum karbonat ile fazlasıyla doymuştur. Bunun tersi olarak, doyunluk pH'ından daha düşük pH'a sahip sular (negatif Langelier indeksi) kalsiyum karbonat ile doymamıştır ve bundan dolayı agresif olarak düşünülür (bundan dolayı kireç tabakasını yerinden çıkarmaya eğilimli olur). Nomograflar, doyunluk pH'ının belirlenmesini basitleştirmek için uygundur. İdeal olarak,

şebekeye verilen su doygunluk pH'ında yada bu değerin biraz üzerinde olmalıdır. Langelier indeksi ve benzeri diğer indeksler su kalitesi tahminlerinde yardımcı olabileceği görülmüştür (Şengül ve Küçükgül, 1997). Bununla birlikte, kalsiyum karbonat kirecinin her zaman koruyucu olacağı ve bu tabakayı oluşturamayan suyun her zaman korozif olduğu kabulü kompleks olan bu olayı basitleştirir. Klorür ve sülfat derişimlerinin bikarbonat derişimlerine oranının (Larson oranı), demir ve çeliği bozan suyun korozifiliğın miktarını belirlemek için faydalı olduğu görülmüştür (TİSKİP, 2001). Benzer bir yaklaşımla, pirinç donanımlardan çınko çözünmesi konusunda da kullanılabilir. Bu bölümde deneysel çalışma sonuçlarını aşağıdaki indekslere göre yapabiliriz.

a. Agresive İndeks (AI)

$$AI = pH + \log[(A)(H)] \quad (1)$$

A : Toplam alkalinite; mg CaCO₃/L, H: Sertlik; mg CaCO₃/L

b. Ryznar Stabilite İndeksi (RSI)

$$RSI = 2pH_s - pH \quad (2)$$

pH = yerinde ölçülen pH, pH_s = CaCO₃ ile doygunluk pH'ı

c. McCauley'in Driving Force İndeksi (DFI)

$$DFI = Ca^{++}(\text{ppm}) \times CO_3(\text{ppm}) / K_{SO} \times 10^{10} \quad (3)$$

Ca²⁺ = mg Kalsiyum CaCO₃/L, CO₃ = mg CaCO₃/L,

K_{SO} = Çözünürlük çarpımı CaCO₃

d. Riddick'in Korozyon İndeksi (CI)

$$CI = 75/Alk \ CO_2 + \frac{1}{2} (Sertlik - Alk) + Cl^- + 2N \times (10/SiO_2) \times ((DO+2)/(Sa+DO)) \quad (4)$$

CO₂ = mg/L, Cl⁻ = mg/L, Sertlik = mg CaCO₃/L, Alkalinite = mg CaCO₃/L,

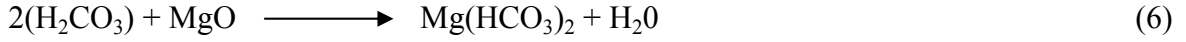
N = mg/L, DO = mg/L, Doygunluk DO= (oksijen doygunluğu), mg/L

İçme suyu şebeke elemanlarında korozyonun engellenmesi için yapılabilecek işlemler;

- Korozyonu engelleyecek kimyasal ön arıtım,
- Su sıcaklığını düşürmek,
- Demir ve bakır boruları PVC veya polietilen borularla değiştirmek diye sıralanabilir.

Bunlara ilaveten SI'ı değiştirmek ve boru iç çeperlerinde kalsiyum veya magnezyum karbonat film tabakasını oluşturmaya çalışmak gerekir. Ayrıca konutlarda küçük ölçekli nötralizasyon filtreleri veya ilave baz katkısı düşünülebilir. Böylece pH ve suyun sertliği arttırılmış olur. Nötralizasyon filtrelerindeki kimyasal tepkimeler aşağıdaki şekilde gerçekleşir.





Suyun sertliğinin 120 mg CaCO₃/L'den büyük olması sağlanmalıdır. Su haznelerinde veya barajda bu durum sağlanabilir. Nötralizasyon filtreleri şebeke basıncının düşmesine yol açabilir. pH 6'ya düşmedikçe kostik dozlama yapılmamalıdır. Filtrelerin bakımı ve işletilmesi başlı başına bir sorundur. Haznede yapılacak bir iyileştirme için sertliği veya alkaliniteyi veya her ikisini birlikte arttırmak gerekir. Ayrıca boru çeperleri izlenmesi gereklidir. Karbonatlı film tabakasının oluşması gözleninceye kadar sertlik artırılabilir. Konutlardaki bakır boruların özellikle sıcak su taşıyan çelik borularla bağlantı elemanları elektrik iletkenliği olmayan malzemeden seçilerek monte edilmelidir. Bu durum, akımın kesilmesine yol açarak galvanik korozyonu, engelliyecektir.

Su haznelerinde sıcaklık artışı ve askıda katı madde derişimi korozyon hızını arttırıcı bir faktördür. Klorür de aynı şekilde korozyon için güçlü bir destekçi maddedir. Korozyon derecesi şebekedeki farklı metallerin bir arada bulunmasıyla daha da yükselir, buna ortam ve çevre koşulları da önemli bir faktör olarak katılır. Yumuşak suların korozyonunda en önemli faktörlerden biri de kalsiyum ve magnezyum açığının fazla olmasıdır (Tchobanoglous ve Burton, 1991). Ayrıca tuzlu sular sodyum klorür açısından zengin olduğu için elektriksel iletkenliği arttırarak korozyon artışına yol açarlar. Korozyonun sağlık, estetik ve ekonomik açıdan etkileri unutulmamalıdır. İçme sularında agresiflikten dolayı çözünmüş metal derişiminin artışı insan sağlığı açısından çok önemli olmasının yanı sıra şebeke ve tesisatların ömrünün kısalması bakımından ekonomik kayıplara yol açan bir faktördür. Çözünmüş materyaller zamanla boru içlerinde tıkanmaya veya basınç kayıplarına da yol açar. Tüketici şikayetleri renk ve tat unsurundan dolayı artarak devam edecektir.

2.4. Korozyon Kontrolü Yöntemleri

Korozyon kontrolündeki temel yöntemler aşağıdaki gibidir:

- Korozyon hızını etkileyen çevresel parametrelerin kontrolü,
- Kimyasal inhibitörlerin eklenmesi,
- Elektrokimyasal ölçümler,
- Sistem tasarımının göz önünde tutulması.

Su şebekelerindeki korozyonun kontrolü için en yaygın olarak uygulanan yöntemler; pH kontrolü, karbonat sertliğini arttırmak yada sodyum polifosfat, silikat ve çinko ortofosfat gibi korozyon inhibitörleri eklemektir. Kullanılacak kimyasalların türü ve dozu, su arıtımında kullanılan diğer kimyasallar ile uyum içinde olmalıdır. pH kontrolü önemli bir yaklaşım olmasına rağmen, her zaman göz önünde tutulması gereken husus bu işlemin su arıtımında diğer parametreleri nasıl etkileyeceğidir (Hahn vd., 2000). Polifosfatlar, çözelti fazında suya ilave edilebilen uzun polimerik zincir yapısındaki moleküllerdir. Uygulama sonucu boru iç yüzeylerinde monomolekülerfilm tabakası oluşturarak korozyonu engellerler. Bu uygulama için uzun süreli dozlama yapılmalı ve şebekede sürekli olarak izleme yapılmalıdır (Oetbar, 2000). Şebekede özellikle demir boruların yer aldığı bölgede uygulama dozu 1.0 mg/L değerinden başlanarak izlenmeli gerektiğinde doz arttırılarak çözünmüş demir derişiminin standartların altına kadar düşmesi sonucu optimizasyona gidilmelidir.

İçme suyu dağıtım sistemi materyallerindeki korozyonun kontrolü su temin edici İdare tarafından dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Bu amaçla EPA, Kurşun ve Bakır Kontrolü Yönetmeliği, yasal gereklilikleri, kurşun ve bakırın tüketiciyi maruz bıraktığı sağlık risklerini azaltmak amacıyla korozyonun kontrolünü şart koşmaktadır (LCR, 1991; EPA, 2001). İyi bir korozyon kontrolü çalışması, beraberinde tüm su dağıtım sisteminde su kalitesi

ve bütünlüğün devamı için önemlidir. Biyofilm büyümesi, rengi bozulmuş su (kırmızı ve/veya mavi su), tat ve koku şikayetleri, hidrolik akış kısıtlaması; su kalitesi, korozyon ve korozyon kontrolü çalışmalarından direkt olarak etkilenen sistemin verileridir. Korozyon ve korozyon kontrolü son yıllarda kapsamlı olarak araştırılmış olsa da, hala daha gelecek araştırmalara ihtiyaç duyan birçok şartı ve sorunları olan konudur (Stumn ve Morgan, 1981).

Kurşun ve bakırın temas ettiği çeşme sularının izlenmesi gereklidir. USEPA'nın kurşun ve bakır yönetmeliğine göre örneklerin belli bölgelerden bu tür bileşimli materyallerle temas etmiş yerlerden 6-16 saat içinde alınmalıdır. Gece uzun beklemeden sonra, sabah kurşun ve bakıra maruz kalınması açısından en kötü olarak bilinen zaman sürecidir. Suyun metal üzerinde bekleme süresinin etkisi birçok açıdan önemlidir. Metal derşimine karşı bekleme süresini açıklayan bir sistematik model insanların maruz kalmalarını önceden belirlemek için yararlı olacaktır. Bu bilgi ayrıca; çözünürlük modellerinden ve alan izleme verilerinden tahmin edilen teorik metal seviyeleriyle ev içme suyu metal derşimlerindeki değişim farklılığını açıklar. Ayrıca bu modeller korozyon kontrolü arıtmalarının karşılaştırılmasında da önemlidir. Bakırın çözünmesi üzerinde yapılan araştırmalar DIC (çözünmüş anorganik karbondioksit) ve pH'nın içme suyundaki bakır seviyeleri için önemli olduğunu kanıtlar. DIC, pH ile kurşun çözünürlüğü arasındaki ilişkiler de kısmen bilinmektedir. pH'ı arttırmak ve/veya DIC'ı düşürmekle korozyon kontrolünü başarmak mümkündür. pH ve DIC'ye bağlı olarak suda H_2CO_3 yada $CO_{2(aq)}$ şeklinde çözünmüş CO_2 fraksiyonları bulunur. Havalandırma bu CO_2 'i giderir sonrada pH'ı arttırır, DIC'ı düşürür. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki korozif sular (düşük pH, yüksek CO_2 derşimi ve düşük sertlik) havalandırma ile arıtımı uygulandığında, arıtmadan önce ve sonra CO_2 ile DIC ve pH'la olan ilişkiye bağlı olarak, havalandırmanın kurşun ve bakır korozyonuna etkisi incelenmiştir. Baştaki su kalitesi koşullarında havalandırmanın kurşun ve bakır korozyon kontrolü için alternatif olduğu kanıtlanmıştır. CO_2 giderildikçe pH artar, DIC düşer. İkincil fayda ise VOC, radon ve demir giderimi havalandırmayla sağlanabilir. İşletmeler için havalandırmanın maliyeti düşüktür. Az donanım ve operasyon gerektirdiği için küçük tesislerde tercih edilebilir. Bunun yanı sıra düşük DIC içeren sular, kalsiyum karbonat bozunması ve mikrobiyolojik aktivitelerin artması için potansiyel oluşturduğundan dolayı havalandırma uygulamasında limitler vardır ve belirli kıstaslara göre uygulanmalıdır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Genel

Kalite parametrelerinin izlenebilmesi için aşağıdaki noktalarda ayda bir kere su numuneleri alınmış; parametrelerin bir kısmı yerinde, bir kısmı ise bölüm laboratuvarlarında analizlenmiştir. Örneklem noktaları: (i) Arıtma tesisi girişi, (ii) Arıtma tesisi çıkışı, (iii) Şehir şebekesi, olarak seçilmiştir. İncelenen parametreler bölüm laboratuvarlarında Standart Metotlarda belirtilen analiz yöntemlerine göre volumetrik, gravimetrik, spektrometrik ve enstrümantal analiz teknikleri kullanılarak sonuçları elde edilmeye çalışılmıştır (Clesceri, Greenberg and Eaton, 1998). Şehir şebekesi suyundan dolayı bazı noktalarda halkın şikayetine konu olan hususlar, şehrin bir çok bölgesinde evlerden alınan su örnekleri alınmıştır. İzmir'de mevcut şebekede kullanılan boru tipleri çeşitleri belirlenmiş, bunların suyla olan etkileşimleri incelenmiştir. Bu amaçla borulardan alınan örnekler laboratuvarda korozyon ve etkileri açısından deneysel testlere tutulmuştur. Analiz programı tamamlandıktan sonra izleyici madde yardımıyla şebekede su yaşı ölçülmüştür.

3.2. Fiziksel ve Kimyasal Parametreler

İzlenen parametreler, EC, T, Br⁻, Cl⁻, F⁻, HCO₃⁻, S⁻², NO₂⁻, NO₃⁻, Top. N, NH₄⁺-N, PO₄⁻³-P, SiO₃⁻, SO₄⁻², B⁺³, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, Cr⁺⁶, Cu⁺², Top. Fe, Fe⁺², H⁺ ve Mn⁺². Bu parametrelerden pH, EC (Elektriksel İletkenlik), T (sıcaklık) cihazla, Ser. CO₂ (serbest karbondioksit), Top. CO₂ (toplam karbondioksit), MO Alk. (Metil oranj alkalinitesi), FF Alk. (Fenol fitalein alkalinitesi), MO Asidite (Metil oranj asiditesi), FF Asidite (Fenol fitalein asiditesi), DO (Çözünmüş oksijen), Cl₂ (Serbest klor), Top. Sertlik (Toplam sertlik) parametreleri volumetrik yöntem kullanılarak örneklerin alındığı noktada yerinde analizlenmiştir.

3.3. Organik Kimyasal Parametreler

AOX (Adsorblanabilir organik halojenler), TC (Toplam karbon), IC (Anorganik karbon), TOC (Toplam organik karbon), POC (Uçucu organik karbon) bu parametre deneysel olarak VOC parametresine eşdeğer kabul edilmektedir. Ayrıca Biyokimyasal ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı parametreleri de suyun organik içeriği hakkında önemli ipuçları vermekte olduğu için ölçülerek değerlendirilmelerde kullanılmıştır. Yukarıda sıralanan parametrelerin laboratuvar sonuçları arıtma tesisi giriş, çıkış ve şebekedeki ölçümler sırasıyla Çizelge 2’de sunulmuştur. Şebeke izlemesi için, Limontepe semti 3820. sokakta bulunan boru sonunu örnek olarak programa alınmıştır. Bu çizelgelerde Mayıs, Haziran, Temmuz, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında alınan numuneleri göstermektedir. Verilerin detayları TİSKİP 2001 projesinde sunulmuştur (TİSKİP, 2001).

3.4. Biyolojik Parametreler

Analizlerin yapıldığı süre içinde örnekleme noktalarından alınan sularda; alg sayımı ve tanıları membran filtre tekniği kullanılarak, demir bakterileri için katı seyreltme plaka ve sıvı tüp zenginleştirme ve izolasyon besi yerleri tekniği kullanılarak yapılmıştır. Bu ölçüm sonuçlarına ait veriler Çizelge 1’de sunulmaktadır.

Çizelge 1. Mikrobiyolojik Ölçüm Sonuçları

Dönem	Numune	Alg sayısı (adet/ml)	Demir bakterisi
Mayıs	Aritma tesisi giriş	56.20	Var
	Aritma tesisi çıkış	0.27	Yok
	Şebeke	2.42	Var
Haziran	Aritma tesisi giriş	74.30	Var
	Aritma tesisi çıkış	0.09	Yok
	Şebeke	5.21	Var
Temmuz	Aritma tesisi giriş	58.11	Var
	Aritma tesisi çıkış	1.00	Var
	Şebeke	22.92	Var
Eylül	Aritma tesisi giriş	67.39	Var
	Aritma tesisi çıkış	0.51	Yok
	Şebeke	1.85	Var
Ekim	Aritma tesisi giriş	27.66	Var
	Aritma tesisi çıkış	1.27	Var
	Şebeke	26.84	Var

Yukarıda sıralanan parametreler için seçilen noktalardaki analizlerde alg tanıları (arıtma tesisi giriş suyunda: *Cyclotella sp.*, *Navicula sp.*, *Surirella sp.*, *Pediastrum sp.*, *Ceratium sp.*, *Mertismopedia sp.*, *Gymnodinium sp.*, *Volvox sp.*, *Synedra sp.*, arıtma tesisi çıkış suyunda: *Syndera sp.*, *Nitzchia sp.*, *Erimodesmus sp.*, *Chlorella sp.*, *Cyclotella sp.*, *Botryococcus sp.* ve şebekede ise *Polycystis sp.*, *Thallus sp.*, *Batrachospermium sp.*), sayıları ve Demir Bakterilerinin tayini analizleri Bölümümüz Mikrobiyoloji Laboratuvarında yapılmış olup, analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur. Yapılan analiz sonuçları irdelendiğinde İZSU içme suyu arıtma tesisi çıkışında alglerin % 99 oranında arıtıldığı, demir bakterilerine arıtma tesisi giriş suyu ile şebekede rastlandığı gözlenmiştir. Örnek serisinden iki kez de arıtma tesisi çıkış suyunda demir bakterilerine rastlanmıştır. Arıtma tesisi çıkış suyunda demir bakterilerine rastlanması; çıkış suyunu taşıyan veya çıkış suyuna kadar su taşıyan iletim sistemlerinde, ara mekanik boru bağlantılarında olabilecek aşınmaların (örneğin klorlama yapılan borularda olabilecek aşınmalar veya kimyasal çökeltim tankında demirli koagülant maddelerin kullanımı ile oluşabilecek boru yıpranmaları) varlığı ile açıklanabilir.

3.5. İncelenen Su Örneklerinde Korozyon İndekslerinin Hesaplanması

Altı aylık dönemde örnekleme noktalarından alınan sular bölüm laboratuvarlarında bu indekslerin gerektirdiği analitik hazırlıklar ve deneysel çalışmalar yapılarak ölçümlenmiş ve sonuçları Çizelge 3’de verilen indekslere göre ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesap sonuçları Çizelge 4’den Çizelge 9’a kadar sunulmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde de görülebileceği gibi sular kalsiyum karbonatça doymamış, orta düzeyde agresif (moderately aggressive) karakterde olan bir sudur. EPA’ya göre içme suları korozif olmamalıdır (EPA, 2001).

Çizelge 3. Korozyon İndeksleri

1	Langelier Saturation Index (LSI)
2	Agressive Index (AI)
3	Ryznar Stability Index (RSI)
4	Riddick's Corrosion Index (CI)
5	Driving Force Index (DFI)

Çizelge 4. Korozyon İndeksleri – Mayıs Ayı Ölçüm Sonuçları

İndeks	AT Girişi		AT Çıkış		Şebeke	
	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç
Langelier Saturation Index (LSI)	-0,15	Doymamış	-0,32	Doymamış	-0,19	Doymamış;
Agressive Index (AI)	11,99758	Orta düzeyde agresif	11,69664	Orta düzeyde agresif	11,75879	Orta düzeyde agresif
Ryznar Stability Index (RSI)	7,9	Doymamış	7,92	Doymamış	7,81	Doymamış;
Riddick's Corrosion Index (CI)	4,83	Çökelme olabilir	9,49	Korozif olmayan	12,819	Korozif olmayan
Driving Force Index (DFI)	0,00162	Doymamış	0,00078	Doymamış	0,00162	Doymamış;

Çizelge 5. Korozyon İndeksleri – Haziran Ayı Ölçüm Sonuçları

İndeks	AT Girişi		AT Çıkış		Şebeke	
	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç
Langelier Saturation Index (LSI)	-0,08	Doymamış	-0,45	Doymamış	-0,57	Doymamış;
Agressive Index (AI)	12,18716	Orta düzeyde agresif	11,66948	Orta düzeyde agresif	11,64963	Orta düzeyde agresif
Ryznar Stability Index (RSI)	7,9	Doymamış	8,22	Doymamış	8,34	Doymamış;
Riddick's Corrosion Index (CI)	5,43	Korozif olmayan	12,379	Korozif olmayan	17,757	Korozif olmayan
Driving Force Index (DFI)	0,00191	Doymamış	0,00077	Doymamış	0,00060	Doymamış;

Çizelge 6. Korozyon İndeksleri -Temmuz Ayı Ölçüm Sonuçları

İndeks	AT Girişi		AT Çıkış		Şebeke	
	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç
Langelier Saturation Index (LSI)	-0,20	Doymamış	-0,57	Doymamış	-0,60	Doymamış
Agressive Index (AI)	12,15637	Orta düzeyde agresif	11,44181	Orta düzeyde agresif	11,52160	Orta düzeyde agresif
Ryznar Stability Index (RSI)	8,1	Doymamış	8,29	Doymamış	8,3	Doymamış
Riddick's Corrosion Index (CI)	5,43	Korozif olmayan	8,186	Korozif olmayan	10,49	Korozif olmayan
Driving Force Index (DFI)	0,00177	Doymamış	0,00048	Doymamış	0,00042	Doymamış

Çizelge 7. Korozyon İndeksleri -Ağustos Ayı Ölçüm Sonuçları

İndeks	AT Girişi		AT Çıkış		Şebeke	
	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç
Langelier Saturation Index (LSI)	-0,15	Doymamış	-0,20	Doymamış;	-0,25	Doymamış
Agressive Index (AI)	12,55576	Orta düzeyde agresif	11,91420	Orta düzeyde agresif	11,93021	Orta düzeyde agresif
Ryznar Stability Index (RSI)	8,4	Doymamış	7,85	Doymamış;	8,05	Doymamış
Riddick's Corrosion Index (CI)	13,61	Korozif olmayan	25,0505	Orta düzeyde agresif	12,599	Korozif olmayan
Driving Force Index (DFI)	0,00434	Doymamış	0,00099	Doymamış;	0,00125	Doymamış

Çizelge 8. Korozyon İndeksleri - Eylül Ayı Ölçüm Sonuçları

İndeks	AT Girişi		AT Çıkış	
	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç
Langelier Saturation Index (LSI)	8,14	Doymamış	7,50	Doymamış
Agressive Index (AI)	12,4671545	Orta düzeyde agresif	11,88021	Orta düzeyde agresif
Ryznar Stability Index (RSI)	-8,14	Doymamış	-7,5	Doymamış
Riddick's Corrosion Index (CI)	13,25	Korozif olmayan	21,5	Korozif olmayan
Driving Force Index (DFI)	0,00433	Doymamış	0,00105	Doymamış

Çizelge 9. Korozyon İndeksleri – Ekim Ayı Ölçüm Sonuçları

İndeks	AT Girişi		AT Çıkışı	
	Değer	Sonuç	Değer	Sonuç
Langelier Saturation Index (LSI)	-0,22	Doymamış	-0,53	Doymamış
Agressive Index (AI)	12,02346	Orta düzeyde agresif	11,65596	Orta düzeyde agresif
Ryznar Stability Index (RSI)	8,08	Doymamış	8,33	Doymamış
Riddick's Corrosion Index (CI)	7,97	Korozif olmayan	14,86	Korozif olmayan
Driving Force Index (DFI)	0,18	Doymamış	0,017	Doymamış

3.6. Şebeke Borularının Materyalinin İncelenmesi

İçme suyu şebekesinde kullanılan boru türlerinden örnekler alınarak, bu örneklerde ince kesitlerin laboratuarda kesikli sistemde su ile olan ilişkileri incelenmiştir. Şebekede çap ve boyut olarak bu boruların ne kadar kullanıldığı hususuna idareden yeterli cevap alınmadığı için sonuçların tüm şehir şebekesi için genelleştirilmesi yapılamamıştır. İzmir’de şebekede kullanılan içme suyu boru tipleri türlerine göre grupladığımızda: Betonarme, Çelik, Düktil, Pik döküm, Galvaniz, Asbest ve Polietilen olarak sayılabilir. Bu boruların iç yüzeylerinin niteliği, montajı ve kullanım aşamasında iç yüzeylerinin durumu, boru ek yerleri ve bağlantı izolasyonlarının nasıl yapıldığı hakkında yeterli bilgi alınamamıştır. Şehir şebekesinin; iletim, şebeke ve branşmanları hakkında yetersiz veri vardır. Öte yandan eski bir yerleşim yeri olan İzmir’de şebeke borularında ve bina bağlantıları ile ev ve işyerlerinde demir, bakır, kurşun vb. pek çok metal bileşimleri de suyla temas halindedir. Özellikle konutların içinde, boru bağlantı elemanlarının, çoğunluğunun yumuşak demir (döküm) malzemeden oluştuğu görülmüştür.

İzmir’de, kentleşme süreci uzun yıllara dayandığı için içme suyu şebekesinde çok çeşitli boru türleri kullanılmıştır. Şebekenin detayı, kullanılan malzemelerin bileşimleri, boyutları, kaç yıldır kullanıldığı gibi hususlar tam olarak bilinmemektedir. Bu durum temin edilen hidrolik verilerin su kalitesi ile ilgili değerlendirmeleri yaparken çeşitli hatalara neden olmaktadır. Bu çalışmada mevcut şebekede kullanılan boru malzemelerinden örnekler alınarak, bu örneklerden ince kesitler hazırlanmıştır. Bu hale getirilen materyaller laboratuarda kesikli sistemde farklı kimyasal bileşimli çözeltilerle (Oetbar, 2000) olan ilişkileri incelenmiştir. Şebekede çap ve boyut olarak bu boruların ne kadar kullanıldığı hususunda yeterli bilgi alınmadığı için sonuçların tüm şehir şebekesi için genelleştirilmesi yapılamamıştır.

İçme Suyu boru tiplerine göre kullanılan çözeltilerin malzeme üzerine olan etkileri aşağıda Çizelge 10’da gösterilmektedir. Bu işlemler için boru türlerine aşağıdaki kodlar verilerek işlem sonuçları tablolaştırılmıştır. Deneysel çalışmada boru türleri birinci seride 5 cm² yüzey alanında ve 2 mm kalınlığında parçalar kesilerek, ikinci seride ise kesit kalınlığı değiştirilmeden aşağıdaki çözeltilerde 6, 12 ve 24 saat kapalı cam kaptaki bekletilmiştir.

Birinci seride boru materyallerinde korozyonla kütle kaybı amaçlanmıştır. Ancak bu deney koşullarında bu tür bir işlem gerçekleşmemiştir. İkinci seri çalışmasında; bekletme süreleri sonunda Betonarme, Çelik, Galvaniz, Asbest ve Polietilen borularda bir değişim gözlemlenmediği, Düktil (kesit işlemi sırasında yüzeyi aktif hale gelmiş olabilir) ve pik döküm boruların yüzey bozulmaları ve paslanma belirtileri (mikroskop altında incelenerek) görüldü. Boruların iç yüzeylerindeki nitelik değişimlerinin olup olmadığı, incelenmesi gereken bir husustur. Agresif karakterli olan bu su ana borularda iletim hatlarında şimdilik önemli bir değişimi başlatmamış olsa bile durumun bu şekilde devam etmesiyle yakın gelecekte daha büyük sorunlar yaratabilir. Branşmanlar ve sayaç sonrası etkileşim çok daha önemli olmaktadır. Özellikle yaz aylarında sıcakların artışıyla halkın şikayetleri

çoğalmaktadır. Bu durumu yerinde incelemek için İzmir'in; Buca, Şirinyer, Karabağlar, Mithatpaşa, Hatay ve Üçkuyular semtlerinde bir kaç konutta musluklardan su kontrolleri yapılmıştır. İncelenen evlerden bir kaçının hidroforlu olması çalışma amacı açısından önemli ipuçları vermiştir. Bu konutlarda 12–24 saat bekleme periyodu sonunda çeşmelerden sarımsı, kahverengi hatta kırmızımsı su, ilk akış sırasında 5–10 litre su sarfiyatı süresince devam etmekte olup daha sonra seyreterek renksiz hale gelmektedir. Korozyonun bina içi tesisat ve ekipman malzemesinde çok etkili olduğu görülmüştür. Konutlarda kullanılan boru bağlantı elemanlarının çoğunlukla döküm ve yumuşak demir malzemedan oluşu, demir çözünmesinin bu noktalarda çok hızlı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Demir dışında, bakır ve kurşun veya alaşımlarının kullanılması da aynı sonuçları ortaya çıkarmaktadır. Bazı evlerden kırmızı su şikayetine benzer mavi–yeşil su şikayetleri alınması buralarda da bakır çözünmesinin varlığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 10. Şebekedeki boru türlerinin bazı çözeltilerde bekletilmesiyle korozyon oluşturma durumu (-: korozyon yok, +: korozyon var)

İşlem	Süre (saat)	Boru türleri						
		Betonarme	Çelik	Düktül	Döküm	Galvaniz	Asbest	Polietilen
Şebeke suyu	6	-	-	-	-	-	-	-
	12	-	-	+	+	-	-	-
	24	-	-	++	+++	+	-	-
Ca(OH) ₂ çözeltisi 0.01 M	6	-	-	-	-	-	-	-
	12	-	-	-	-	-	-	-
	24	-	-	-	-	-	-	-
Na ₂ HPO ₄ çözeltisi 0.01 M	6	-	-	-	-	-	-	-
	12	-	-	-	-	-	-	-
	24	-	-	-	-	-	-	-

3.7. Şebekede Su Yaşının İncelenmesi

Deneyisel çalışma için Görece Arıtma Tesisi çıkış suyunda 2-2.5 mg/L bakiye klor oluşacak şekilde pik değerler yaratabilmek amacıyla yaklaşık 10 dakika süreli yüksek klor dozlaması (~5 mg/L) yapılmıştır. Çalışmaların sonuçlarını; (i) P 38 pompa merkezi ve (ii) Limontepe 3820 sokakta izleyici-kaydedici ekipmanlar yardımıyla klor pikleri izlenerek su yaşı hesaplanmaya çalışılmıştır. Gerçekte böyle bir çalışmanın daha duyarlı olarak yapılabilmesi için SCADA'nın tam olarak çalışmaya başlaması gerekir.

Su tüketimi gün içinde değiştiği gibi günden güne de değişim göstermektedir. Debilerden de anlaşıldığı üzere bu kadar sıklıkla değişim gösteren su ihtiyacında yapılan birkaç ölçümden uygulamada kullanılabilecek sıhhatli bir seyahat süresi elde etmek mümkün değildir. Kullanılabilecek bir değer için şebekenin birçok noktasında bu deneyler periyodik debi değişimlerini de ifade edebilmek için periyodik sürelerle tekrarlanmalıdır. Böyle yapılmış birçok deney sonucunda elde edilen seyahat süresi kullanılarak birinci dereceden bozunma reaksiyonu ($C_t = C_0 \cdot e^{-kt}$) ile hesaplamalar yapmak hatta kestirimler yapmak mümkündür. SCADA tesis edildikten sonra bu tür deneylerin periyodik olarak yapılmasının mümkün olacağını ummaktayız.

Bu çalışmada yukarıdaki yöntemi kullanarak yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 11'de verilmiştir. Son ölçüm çalışmalarından bir sonuç elde edilemediğinden bu çalışma ile ilgili değerler verilmemiştir. Çizelgeler incelendiğinde ortalama seyahat süresi 8.5 saat 10.5 saat arasında değişmektedir. Bu seyahat süresinin oldukça uzun bir kısmı 17200 m uzunluğundaki 2.2 m çapındaki ana boruda geçmektedir. Kaba bir hesapla sırasıyla $Q_1=2.9 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2=4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $Q_3=5.35 \text{ m}^3/\text{s}$ debi kabulü ile $V_1=0.77 \text{ m/s}$, $V_2=1.20 \text{ m/s}$ ve $V_3=1.42 \text{ m/s}$ olarak hesaplanabilir. Buna göre ana boruda geçen süre $t_1=6.2$ saat, $t_2=3.98$ saat ve $t_3=3.37$ saat olmakta böylece şebekedeki seyahat süresi $t_1=4.3$ saat, $t_2=4.52$ saat ve $t_3=5.13$ saat olduğu görülmektedir.

Çizelge 11. Şebekede 1.dönem ölçüm sonuçları

Klor Veriliş Saati	Klorun Ulaştığı Saat	Seyahat Süresi
09:00	18:15	9 saat 15 dakika
14:00	24:10	10 saat 10 dakika
21:00	09:00	12 saat
	Ortalama	10 saat 28 dakika

Şebekede 2. dönem ölçüm sonuçları

Klor Veriliş Saati	Klorun Ulaştığı Saat	Seyahat Süresi
09:00	17:30	8 saat 30 dakika
13:00	-	-
17:00	-	-
21:00	06:30	9 saat 30 dakika
01:00	11:06	10 saat 6 dakika
05:00	14:36	9 saat 36 dakika
	Ortalama	8 saat 30 dakika

Şebekede 3. dönem ölçüm sonuçları

Klor Veriliş Saati	Klorun Ulaştığı Saat	Seyahat Süresi
09:00	16:30	7 saat 30 dakika
13:00	21:15	8 saat 15 dakika
17:00	02:15	9 saat 15 dakika
21:00	07:10	10 saat 10 dakika
01:00	10:35	9 saat 35 dakika
05:00	13:20	8 saat 20 dakika
	Ortalama	8 saat 50 dakika

Bu çalışmada yaptığımız gibi deneyler yaparak çeşitli noktalardaki seyahat süresi, hız, debi gibi şebeke kontrolünde çok önem taşıyan büyüklükleri elde etmek mümkündür. Yıllık, aylık, günlük ölçüm sonuçlarından yararlanarak şebekenin kullanımı, davranımı ve su kalitesi izlenmesi ve benzeri konularda bilgi edinmek ve geleceğe yönelik projeksiyonlar yapmak mümkün olabilir. Korozyon açısından bu sonuçlar su yaşının etkili olduğunu göstermektedir. Agresifliğin etkisinin azaltılması için şebeke işletme yönetimince su yaşının düşürülmesi gerekmektedir.

4. DENEY SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Deneysel çalışmalar kapsamında izlenen 52 parametrenin derişim düzeylerini ve agresivite açısından önemini şu şekilde özetleyebiliriz. pH; arıtma tesisinde çıkışta bir miktar düşülmesine rağmen şebekede süre gelen tepkimelerle azalış daha da devam etmektedir. Özellikle sıcaklığın artışı ile en düşük 7.10 değerini alması korozyon açısından anlamlıdır. pH_s; Doğunluk indeksi ve suyun karbonat çökmesi bakımından önemli olan doğunluk pH değeri su sıcaklığının düşmesi ile oluşan tepkimelerden dolayı özellikle sonbaharda yükselmektedir. Elektriksel İletkenlik Parametresi; Suda çözülmüş maddelerin miktarı hakkında bir fikir veren bu parametre açısından gerek giriş, gerekse çıkış sularında gözlenen yüksek iletkenlik değeri özellikle şebekede üst limit değerindedir. Önceki yıllara baktığımızda 400 µmho değerine ulaştığını göstermektedir. Sıcaklık; İzmir Kenti ve Tahtalı havzasının özellikle yaz aylarında artan sıcaklığı nedeniyle içme suyu barajı ve şebeke bu durumdan etkilenmektedir. Sudaki tepkimeleri, çözünme ve korozyon artışını etkilediği için agresif suların etkisini arttırmaktadır. Sağlıklı bir suda sıcaklığın 10–15°C'yi aşmaması gerekir. TSE'de (TSE 266, 1997) tavsiye edilen değer 12°C'yi, maksimum müsaade edilebilir değer ise 25°C'yi göstermektedir. Sıcaklığın 25°C'yi geçmesi halinde su kalitesi bakımından olumsuz tepkimeleri arttırdığı için içme suyu standartlarında da bu limitin aşılması tavsiye edilir. Önceki yıllarda izlenmeyen bu parametre altı aylık dönemdeki değerlerine baktığımızda 6., 7. ve 8. aylarda giriş ve çıkışta üst sınırdan olup şebekede ise kabul edilemeyecek kadar yüksektir. Verilerde de görüldüğü gibi su hakkında oluşan şikayetlerin çoğunun da sebebini oluşturmaktadır. Sıcaklığın düşürülmesi teknolojik olarak mümkündür. Aşırı sıcakların beklendiği dönemlerde suyun soğutulmasında yarar vardır. Klorür derişimleri incelendiğinde, standartlarda sağlık sorunları açısından akut etkisi olmayan bir parametre olmasına rağmen su kimyası bakımından önemlidir. TSE 266'da 25-600 mg/L limitleri verilmesine rağmen EPA 250 mg/L düzeyini üst sınır olarak kabul etmektedir (EPA, 2001). Çizelgelerden de görüldüğü gibi 25-40 mg/L düzeylerinde derişim göstermektedir. Bu düzeyin artması korozyonu arttıracığı için istenmeyen bir durumdur. Kalsiyum-Magnezyum ve Toplam Sertlik parametrelerin derişimi ve toplam sertlik değerlerine baktığımızda, pH_s değerinde de gözlemlediğimiz gibi Tahtalı havzasının suyu çok yumuşak su sınıfına girmektedir. Kalsiyum derişimi, Magnezyum derişimi ve Toplam Sertlik derişimi değerleri izlendiğinde bu durum görülebilmektedir. Suyun bu durumu kalsiyum karbonat dengesi açısından doymamış düzeyi gösterdiği için korozyon açısından en önemli parametredir. WHO (WHO, 1997) ve EPA standartlarında yer almamasının başlıca nedeni korozif suların bu özelliği giderilmeden şebekeye verilmesi istenmeyen bir özellik olmasındandır. İzmir için, kaynakta (baraj gölünde) veya arıtma tesisinde kireç ilavesiyle doğunluk ve korozyon indeksleri düzenleme çalışmaları yapıldıktan sonra bu üç derişim değerinin de artırılması mümkün olabilecektir.

Nitrit, nitrat, amonyum ve toplam azot derişimleri; Nitrit bu çalışmamızdaki ölçümlerde saptanılmamıştır. Önceki yıllara ait değerler nitrit ve nitrit azotu olarak incelendiğinde genellikle sıfır düzeyini korumaktadır. Nitrat derişimi altı ay süresince ortalama 0.5 mg/L, nitrat azotu olarak ise standartlarda (TSE, WHO, EPA) verilen değerlerin çok altındadır. Amonyum, ölçüm limitinin altında olduğu görülmüştür. Ancak bu dönem çalışmamızda toplam azot sıcakların arttığı haziran-temmuz aylarında TSE 266'da verilen 1 mg/L üst sınır değerine yaklaştığı görülmektedir. Karbondioksit, bikarbonat, asidite ve alkalinite derişimleri; Tahtalı Barajı suları için, yarattığı sorunlar bakımından dikkate alınması gereken parametre gurubu, karbondioksit ve türleri, bikarbonat, alkalinite ve asiditedir. İZSU'nun önceki yıllara ait verileri arasında bu parametre gurubu bulunmamaktadır. Gerek kalsiyum karbonat ve sertlik parametreleri gerekse korozyon indekslerini hesaplamak ve sonucu yorumlamak

açısından oldukça yararlıdır. Atmosferik karbon dioksit ve suda çeşitli faktörlere bağlı olarak karbonat türevlerinin derişimi arttırır, pH, diğer çözünen gazlar, ağır metallerin derişim düzeylerine ve kimyasal tepkimelerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. pH'ın 7-7.5 aralığında suda atmosferik karbondioksit normal değeri olan $3-3.5 \times 10^{-5}$ M'lık derişimi, inceleme süresince $2.46-3.28 \times 10^{-5}$ M aralığında kalmıştır. Verilerden de görüldüğü gibi oluşturduğu düşüş değeri diğerleri ile paralellik içindedir. Aynı düşüş trendi doygunluk alkalitesi, metil oranj alkalitesi ve fenol fitalein alkalitesindeki değerlerle uyum içindedir. Aynı zaman periyodunda bu ilişkilerin sonucu olarak agresif karbondioksinin derişiminin artışına yol açmaktadır. Bu derişim salınımlarını korozyon indeksleri için kullandığımızda düşük pH, yüksek sıcaklık, klorür, klor, çözünmüş oksijen vb. parametrelerin oluşturduğu etkileşimlerle orta düzeyde agresifliğe yol açmakta ve şebekede rastladığımız demir mangan vb. gibi ağır metal derişimlerinin artışına yol açmaktadır. EPA kriterlerine göre (EPA, 2001) ikincil standartlardan olan demir parametresi suyumuzun agresif olmasından dolayı bizim için çok önemlidir. Özellikle yaz aylarında şebekedeki standartları çok aşan düzeyi suyun kullanımı sırasında görülen renk nedeniyle oldukça yoğun şikayetlere yol açmaktadır. Arıtma tesisi giriş ve çıkış suyunda ortalama olarak 0.15 mg/L olan düzey, şebekede agresiviteden dolayı 1.0-1.2 mg/L düzeylerine çıkmaktadır. Fe^{2+} ve toplam demir derişimlerinden görülebileceği gibi şebekedeki derişim, çıkış suyundan daha yüksek değerler göstermektedir. İletim hattı ve şebeke içinde yol açtığı etkilerin çok daha fazlasını bina içinde yapan agresif su karakteri sağlık risklerine de yol açabilecektir. Arıtma tesisi giriş ve çıkış suyunda da standardın üstünde olan derişim değeri büyük bir ihtimalle arıtma için kullanılan yöntem ve sistem yetersizliği ile açıklanabilir. Böylesi bir su karakterinde diğer anyon ve katyonlara baktığımızda demirin boruda çökmesi veya tortu oluşturması sözkonusu değildir. Öte yandan standartlar açısından mangan derişimi üst limit değerinde kimi zaman aşmaktadır. Derişim değerleri havzanın yeraltısuyu açısından incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu hali ile de ikincil standart derişim aralıklarının üzerinde görülmektedir. Arıtma tesisi açısından kullanılan reaktifler dikkate alındığında diğer bir önemli parametre alüminyumdur. TSE 266 ve EPA'ya göre 0.05-0.2 mg/L aralığı dikkate alındığında verilerden de görüleceği gibi ortalama 0.15 mg/L değerindedir. Bu durum arıtma tesisinde demir klorür yerine alüminyum içeren kimyasal maddelerin kullanılması kararından tamamen vazgeçilmesi gerektiğini göstermektedir. Ağır metaller; çinko, kurşun, bakır, gümüş, kadmiyum, krom (6+) ve toplam krom, nikel derişimleri; İçme sularında olmaması gereken kurşun gerek bu çalışmada saptanamamasına karşın önceki yıllarda göl suyunda ve arıtma çıkışında 3-5µg/L düzeyinde olması kirlenmenin varlığına işaret etmemektedir. Ancak havzanın havaalanı uçuş sahası içinde olmasıyla ve evsel/endüstriyel baskılarla ileride etkilenebilecektir. Ayrıca agresiviteninde bu konuda pozitif faktör olabileceği kanısını akla getirmektedir. Antimon, arsenik, bakır, gümüş, kadmiyum, nikel, krom ve krom (+6) derişimleri standartların altındadır. Serbest klor; arıtma tesisinde ön klorlama ve dezenfeksiyon amacıyla sıvı klor kullanılmaktadır. Geleneksel olarak ve gelişmekte olan ülkelerce tercih edilen bu dezenfektan madde sudaki çeşitli maddelerle türevlerini oluşturması ile potansiyel sağlık sorunu oluşturucu bir maddedir. Çıkış suyunda yüksek tutulan bu değer şebekede standartların düzeyine kadar düşmekte, ancak korozyonu arttırıcı özelliği nedeniyle her zaman alternatiflerini düşünmek gerekmektedir.

AOX parametresi; Tahtalı barajında ham su kalitesi AOX parametresi yönünden içme amaçlı kullanıma engel oluşturacak seviyede değildir. Ancak endüstriyel atıksularının baraja verilmesine bağlı olarak bazı organik maddelerin baraja girmesi ve arıtmada uygulanan klorlama işlemleri sonucunda AOX derişimi artmakta ve içme suyunda bulunmasına izin verilen değerlerin üzerine çıkmaktadır. Ülkemizde içme sularında AOX standardı bulunmamakla beraber, Almanya'da toplam organik klorlu maddeler için konulmuş olan 10

$\mu\text{g/l}$ limit değeri göz önüne alındığında, şebeke suyundaki AOX değerinin çok yüksek olduğu değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Ön klorlama ve son klorlamanın AOX konsantrasyonunda artışa neden olduğu görülmektedir. Şebekede AOX değerlerinde bir miktar düşüş olduğu görülmektedir. Ancak bu düşüş, standartları sağlamaktan uzaktır. Renk ve bulanıklık; İçme sularında renk belirli düzeylere kadar kabul edilmesine rağmen bulanıklık istenmeyen bir parametredir. Özellikle korozif karakterden dolayı şebekede uç noktalarda, bekleme süresinin fazla olduğu metal, demir ve demir bileşimli borularda renk standartları çok aşmaktadır. Bu durum beraberinde bulanıklığı arttırmaktadır. Göl suyunun seviye düşüşü, organik madde ve kirleticilerin artışı yanı sıra sıcaklığın yüksekliği nedeniyle artan biyolojik aktivite ile giriş sularında bazı dönemler için standartların üstünde bir derişimin gözlemlenmesine neden olmaktadır. Çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluk oranı; Çözünmüş oksijen ve oksijenin doygunluk oranına baktığımızda, giriş suyunun iyi bir havalandırma ile derişiminin yükseldiğini görmekteyiz. Ancak şebekedeki ölçümlere göre oksijen tüketilmektedir. Korozif suların oksijen tükettiği bilinmektedir. Oksijen metallerin oksidasyonu ve diğer yükseltgenme tepkimeleri ile tüketildiği gibi ayrıca şebeke bünyesinde bir organik büyümenin de olabileceğini akla getirmektedir. KOİ ve BOİ; Altı aylık ölçüm döneminde ve önceki ölçümlerde arıtma tesisinin organik maddeyi büyük oranda giderdiği görülmekle birlikte, şebekede bu değerlerin yükseldiği görülmekte olup bu da şebeke suyuna girişimlerin olabileceği ihtimalini akla getirmektedir. TOC, IC, TC ve VOC; İncelenen örneklerde toplam karbonun % 90 oranında anorganik karbon kökenli olduğu, toplam değerlerin %10'u oranında organik yapıda olup bu değerinde % 90 oranında uçucu bileşenlerden kaynaklandığı görülmektedir. Karbonun bu haliyle yüksek oranda bikarbonatlardan ileri gelebileceği söylenebilir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tahtalı Baraj Gölü ve Havzasının her türden kirlenmeye karşı korunabilmesi için tüm yasal yaptırımların ve önlemlerin uygulamaya konulması için gerekir. Gölde su seviye düşüşünün devam etmesi halinde buharlaşma kayıplarına karşı önlem alınmalıdır. Gölde su seviye düşüşü oluşması halinde, göl için kritik süreç tahminlerden önce gerçekleşebilir. Başlangıçta eser miktarlarda olan tehlike ve zarar verici maddeler açısından artış görülecektir. Bu suyun arıtılması için, başlangıçta proje dizayn kriterlerinden ne kadar sapma olduğu araştırılmamıştır. Bu durum ve çıkış suyunun kalitesinin şüpheli ve riskli parametrelerce zenginleşmesini ve sonuçta arıtma tesisinde yeni üniteler ile çözüm gerektirebilecektir. Boruda suyun çözünmüş oksijen derişiminin düşürülmesi, kalıntı klor oranının azaltılması, suyun tamponlama kapasitesinin artırılması, sudaki çözünmüş katı madde derişiminin düşürülmesi ve şebeke su sıcaklığının düşürülmesi ile olası korozyon şikayetleri azalacaktır. Uzun vadede baraj suyunun kalite gözlemi ve diğer araştırmaların öncelikli olarak başlatılması gerekir. Bu çalışmaların ardından göl suyunda kalite değişimi için karbonat dengesini değiştirecek çalışmanın başlatılması gerekir. Kireç uygulaması için önce pilot çalışma sonra saha çalışması yapılmalıdır. Bu önerilerden pek çoğu düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilir. Ancak bu alanda zaman kaybetmemek en önemli husustur.

Arıtma tesisinde yapılacak iyileştirme için adsorbsiyon (reçine kolonları veya aktif karbon) üniteleri hazırlanmalıdır. Bunların kullanılması su kalitesini iyileştirecektir. Klorlamanın oluşturduğu riskler açıktır. Agresif karakterdeki su klorlama ile daha fazla korozif olmaktadır. Eser organiklerin varlığı ile kanserojen, teratojen hatta mutajen madde oluşumu söz konusu olabilmektedir. İçme suyundaki organikler büyük oranda ön klorlama ile giderilmeye çalışılmaktadır. Ancak çıkış suyunda ilave klorlama yapılması başta Sağlık Bakanlığınca zorunlu tutulmaktadır. Şebekede Sağlık Bakanlığı elemanlarınca denetim

yapılmakta ve bakiye klor derişimi 0.5 mg/L'nin altına düşölünce İdare ikaz edilmektedir. Hatta sıcak aylarda Sağlık Bakanlığı yayınladığı talimatlarla, klorlamanın hiper klorlama düzeyi ile 1.0 mg/L'ye çıkarılmasını istemektedir. Uç noktalarda bu klor derişimini tutturabilmek için tabii ki, Arıtma Tesisinde aşırı klorlama yapılmak zorundadır. AOX parametresi ölçümlerinde de gördüğümüz gibi bu durum klorlu bileşiklerin derişimini ve oluşturduğu riskleri arttırmaktadır. Bilindiği gibi bu durum aynı zamanda agresivitenin etkisini de hızlandırmaktadır. Bu nedenle de, İzmir'de klorlama yerine bir an önce ozonlamaya geçilmelidir.

Şebeke malzemeleri bu suyun agresif karakteri nedeniyle; pik, demir, düktil, asbest boru tiplerinden olumsuz yönde etkilenmektedir. İzmir'de yeni döşenecek boruların polietilen olması gereklidir. Ayrıca sayaç sonrası tesisat ve ekipmanlar için şehir genelinde kısıtlayıcı uygulamalar ortaya konmalıdır. Piyasada satılan yumuşak demir, alüminyum, bakır, pirinç vb. bağlantı ekipmanları yerine paslanmaz çelik veya polimer bazlı elemanların kullanımı önerilmelidir. İzmir'de bunların uygulamaya konması ilgili meslek odaları ile koordineli çalışmayı gerektirebilir. Büyükşehir ve ilçe belediyelerinde konutlar ve diğer yapılar için verilen proje onayı ve inşaat ruhsatı gibi zorunlu kontrol aşamalarında bu hususların denetimi yapılabilir. Ancak bu durumun daha detaylı bir çalışma ile yeniden incelenerek bir plan dahilinde yapılmasında yarar vardır. Suyun karakteri nedeniyle oluşan tüketici şikayetleri için sokaktaki boru ile birlikte hane içi musluk çıkışlarından örneklemelere devam edilmelidir. Korozyon sorunu için kısa vadede yapılacakları sıralarsak; öncelikle şikayetçi hane içinde bulunan ekipmanların bileşimleri incelenmelidir. Yeterli ve sorunsuz bulunursa ana boruda suyun çevresel koşullarının iyileştirilmesi yanı sıra teknik olanakların elverdiği ölçüde, bu bölgelerde su yaşının 6 saatin altına düşürölmesi gerekir. Hidrolik koşullar değiştirilirse şikayet oranı azalacaktır. Bu amaçla SCADA kapsamında işletim sistemi ve kalite optimizasyonu için bir çalışma grubu oluşturulmalıdır.

Ölkemizde yürürlükte olan standartların biran önce yeniden gözden geçirilerek revize edilmesi gereklidir. İçme suyu kalite parametrelerinin EPA, WHO standartlarındaki tavsiye edilen değerler hedef seçilmelidir. Gelişmiş ölkelerde su kalitesini izlemek için sahip olunan ekipmanlar temin edilerek, laboratuvarların yeniden organize edilmesi ve yapılmayan yüzlerce analiz parametresinin rutin analiz programlarına dahil edilmesi gerekir. Bu parametrelerde acil olanları; criptosporodium, virüsler, organik kimyasal maddelerin tümü, halojenli organik maddeler ve pestisitler olup rutin analizlerde yapılanların ise daha sık periyotlarla yapılmasında yarar vardır. Bu çalışmalara ilaveten kalite denetimi yapan ve bu işlerle uğraşan personel ve teknik eleman sayıları da yetersizdir. Şu anda diğer kentlerimizde olduğu gibi, İzmir Kentinde de eleman sayısı yetersizdir. İzmir'de bu konuda çalışan kadroların sayısı EPA kriterlerine göre 50 000 nüfuslu bir yerleşim için öngörölmekte olup, İZSU'da su işleriyle ilgili mevcut kadroların sayısının en az 15-20 katına çıkarılması gerekir. Kadroların genişletilmesi ve uzman grupların oluşturulması gereklidir. İçme suyu kalitesi ile uğraşan planlamacılar, halkın şebeke suyunu tüketmesi için cezbedici düzeyde kaliteli su hazırlanması ve bu alandaki ulusal kaynak israfının önüne geçmek için bu hususları dikkate alan yeni planlamalar yapılmalıdır.

Çağımızda artan çok uluslu bir terör olayında içme suyu kaynakları hedef seçilmesi durumunda acil eylem planlarının uygulanması için ek projeler gerekir. Erken uyarı ve anında müdahale bu projelerde özel bölümler olması gerekir. İçme suyu hakkında oluşan şikayetlerin çoğunun sebebini mevcut durum yanı sıra sıcaklık da oluşturmaktadır. Şebekedeki su sıcaklığının düşürölmesi teknolojik olarak mümkündür. Baraj gölü yeterli su seviyesine ulaşması durumunda daha derinden su almak, mevcut şebeke borularının yönetmeliklerde belirtildiği gibi zemin kotundan 1 m aşağıya alınması veya İzmir için daha da derine inilmesi ile mevcut durumda yüzeye çok yakın boruların aşırı ısınmasının önüne geçilerek su kalite

kaybına yol açan bu durum önlenabilir. Aksi takdirde, aşırı sıcakların beklendiği dönemlerde suyun soğutulması gibi pahalı bir uygulama agresiflik sorunundan dolayı gündeme gelebilir.

TEŞEKKÜR

Bu makale büyük oranda TİSKİP Projesi'nden kaynaklanan verileri içermektedir. Bu nedenle projenin tamamlanması için gerek bilgi, fikir, doküman ve destek sağlayan gerek bölümümüzdeki gerekse yurt dışındaki danışmanlara teşekkürlerimizi bir borç biliriz. Mrs. Darren Lytle (USEPA), UNEP-Infoterra-USA yetkililerine, EU'dan National Focal Points Uzmanlarına, Prof. Dr. Hans RUEFFER'e, Klaus LUEDCKE'ye (GEIN), Amelia ONYANGO (UNEP-Library), İZSU TİSKİP proje grubuna ve Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Bölümü'nden projeye katılan değerli öğretim üyelerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Bellissent-Funel, M.C., Neilson, G.W. (1986): "The Physics and Chemistry of Aqueous Ionic Solutions", NATO ASI Series, France.
- Çizmeçioğlu, Z. (1998): "İsale Hatlarının Katodik Koruması", İSKİ, ISBN 975- 8215-28- 0. İstanbul.
- EPA, (2001) "US EPA National Primary Drinking water Standards", USA
- Hahn, H.N., Hoffmann, E., Odegaard, H. (2000): "Chemical Water and Wastewater Treatment", VI. Springer, Germany.
- InterCorr (2005): "Corrosion Resources", <http://www.corrosionsource.com>.
- L. S. Clesceri, A. E. Greenberg and A. D. Eaton (Editörler) (1998): "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", APHA-AWWA-EPA, USA.
- LCR, (1991): "Lead and Copper Rule", Fed. Reg., 56:110:2640 Environmental Protection Agency, USA
- Oetbar, Rudolf A. (2000): "Experiences of Water Works With the Dosage of Phosphate and Lime", CFB- Germany.
- Snoyenik, V.L., Jenkins, D. (1980): "Water Chemistry" John Wiley & Sons. Inc. USA.
- Stumm, W., Morgan, J.J. (1981): "Aquatic Chemistry", John Wiley & Sons. Inc. Canada.
- Şengül, F., Küçükgül, E.Y. (1997): "Çevre Mühendisliğinde Fiziksel – Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler", DEÜ Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L. (1991): "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse", Metcalf & Eddy, Third Edition . Mc Graw- Hill Inc. USA.
- Tebbutt, THY (1992): "Principles of Water Quality Control", Fourth Ed., Pergamon Press. UK.
- The International Technical Information Institute [ITII] (1997): "Toxic and Hazardous, Industrial Chemicals Safety Manual" Tokyo.
- TİSKİP, (2001): "Tahtalı Barajı İçme Suyu Kalitesi İzleme Projesi" DEÜ, Müh.Fak. Çevre Böl. İzmir.
- TSE 266 (1997): "Türk İçme Suyu Standartları", TSE Gen. Md. Ankara
- WHO (1997): "Drinking Water Standards" Dünya Sağlık Teşkilatı, Cenova.

Çizelge 2. Görece Arıtma Tesisi giriş, çıkış suyu ve şebekedeki su kalitesinin aylık değişimi

Sıra	Parametre	Birim	Standart	Arıtma Tesisi Giriş Suyu						Arıtma Tesisi Çıkış Suyu						Şebeke			
				Mayıs	Haz	Tem	Eylül	Ekim	Kasım	Mayıs	Haz	Tem	Eylül	Ekim	Kasım	Mayıs	Haz	Tem	Eylül
1	pH	-	6,5-8,5	7,60	7,74	7,70	8,10	8,14	7,64	7,28	7,32	7,15	7,45	7,50	7,27	7,43	7,20	7,10	7,55
2	pHs	-	-	7,75	7,82	7,90	8,25	8,24	7,86	7,60	7,77	7,72	7,65	7,90	7,80	7,62	7,77	7,70	7,80
3	EC	µmho	400	340	341	345,0	375	345	305	345	368	358,0	370	325	300	396	375	387,0	365
4	T	°C	12, (25)	16,7	20,5	24,50	24,5	17,2	14,6	16,8	23,0	27,2	25,7	17,5	14,3	26,7	31,6	33,40	30,0
5	Br ⁻	mg/L	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
6	Cl ⁻	mg/L	25	26,0	26,0	40,00	50,00	32,48	30,00	26,0	37,0	40,00	56,000	32,98	37,90	35,0	38,0	40,00	40,00
7	F ⁻	mg/L	-, (1)	0,18	0,16	0,18	0,20	n.d.	n.d.	0,15	0,14	0,15	0,170	n.d.	n.d.	0,13	0,16	0,18	0,21
8	HCO ₃ ⁻	mg/L	-	190,0	170,8	141,50	165,92	143,4	158,6	177,0	158,6	137,50	158,60	146,4	156,2	158,6	156,2	150,00	146,40
9	S ²⁻	mg/L	-, (0,002)	3,20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
10	NO ₂ ⁻	mg/L	-, (0,0066)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
11	NO ₃ ⁻	mg/L	25, (22)	0,50	0,70	0,80	0,40	0,5	0,6	0,50	0,60	0,60	0,40	0,2	0,2	0,60	0,60	0,80	0,50
12	Top. N	mg/L	-	0,50	0,70	0,80	0,41	0,5	0,6	0,50	0,60	0,60	0,40	0,2	0,2	0,60	0,60	0,80	0,50
13	NH ₄ ⁺ -N	mg/L	0,05, (0,2)	n.d.	n.d.	n.d.	0,04	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
14	PO ₄ ³⁻ P	mg/L	0,4, (0,02)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
15	SiO ₃ ⁻	mg/L	-	6,90	8,50	8,70	7,4	7,9	8,2	7,10	7,80	8,00	6,8	6,8	6,9	6,60	7,10	8,00	7,0
16	SO ₄ ⁻²	mg/L	25	21,59	21,74	24,00	24	25	30	19,59	20,68	22,00	22,0	20	18	25,79	17,98	20,00	17,5
17	B ³⁺	mg/L	1, (1)	n.d.	n.d.	0,10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,10	n.d.
18	Ca ²⁺	mg/L	100	41,68	36,07	36,07	35,27	32,06	34,06	41,68	37,67	34,46	36,07	34,06	34,66	44,08	38,47	34,46	36,07
29	Mg ²⁺	mg/L	30	23,37	26,79	31,67	29,72	24,36	24,60	23,37	18,99	22,40	32,65	28,02	25,57	19,96	30,20	32,65	31,67
20	Na ⁺	mg/L	20	12,24	14,72	15,60	16,50	16,25	16,45	12,87	14,72	15,50	16,25	16,15	15,45	12,95	14,72	15,45	16,45
21	K ⁺	mg/L	10	2,744	3,390	3,65	3,60	3,60	3,85	2,965	3,480	3,60	3,45	3,55	3,50	3,050	3,360	3,45	3,51
22	Cr ⁶⁺	mg/L	-	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-
23	Cu ²⁺	mg/L	0,1, (0,02)	0,030	0,110	0,01	0,048	0,047	0,041	0,123	0,011	0,016	0,010	0,011	0,011	0,028	0,008	0,012	0,010
24	Top. Fe	mg/L	0,05, (0,3)	0,091	0,129	0,197	0,154	0,15	0,145	0,172	0,129	0,132	0,078	0,074	0,072	1,250	1,080	1,100	0,07
25	Fe ²⁺	mg/L		n.d.	0,05	0,100	0,01	0,13	0,1	0,050	0,040	0,040	0,005	0,045	0,075	0,075	0,220	0,173	0,10
26	Mn ²⁺	mg/L	0,02, (0,3)	0,003	0,010	0,01	0,021	0,02	0,02	n.d.	0,010	0,01	0,016	0,012	0,02	n.d.	0,012	0,015	0,018

Çizelge 2. Görece Arıtma Tesisi giriş, çıkış suyu ve şebekedeki su kalitesinin aylık değişimi (devamı)

Sıra	Parametre	Birim	Standart	Arıtma Tesisi Giriş Suyu						Arıtma Tesisi Çıkış Suyu						Şebeke			
				Mayıs	Haz	Tem	Eylül	Ekim	Kasım	Mayıs	Haz	Tem	Eylül	Ekim	Kasım	Mayıs	Haz	Tem	Eylül
27	Pb ²⁺	mg/L	-, (0,01)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
28	Zn ²⁺	mg/L	0,1, (0,2)	0,036	0,061	0,07	0,015	0,02	0,02	0,685	0,061	0,063	0,080	0,006	0,08	0,081	0,054	0,060	0,080
29	TKM	mg/L		388	191	226	221	254	226	303	195	221	221	240	227	277	202	228	230
30	AKM	mg/L	-	n.d.	7,2	n.d.	n.d.	8	n.d.	n.d.	2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2	n.d.	n.d.
31	ÇKM	mg/L	(500)	388	184	224	217	246	226	303	193	218,00	215	240	227	275	200	224,00	225
32	UKM	mg/L		76,0	160,0	119	112	146	98	82,0	135,0	120	118	134	102	67,6	129,0	177	180
33	Ser. CO ₂	mg/L		4,994	3,990	3,49	n.d.	1	2,497	2,497	2,490	2,49	1,970	3,49	4,990	14,982	4,990	5,99	2,996
34	Agr. CO ₂	mg/L		6,160	7,920	7,69	148,0	132	135	3,080	4,400	4,50	140,0	130,00	135,000	17,600	14,080	13,20	145,0
35	Top. CO ₂	mg/L		11,154	11,910	11,18	148	133	137,497	5,577	6,890	6,99	141,970	133,49	139,990	35,582	19,070	19,19	148,00
36	Doy. Alk.	mg CaCO ₃ /L		230	158	160	148	132	130	225	140	150	140	130	123	156	160	150	145
37	MO Alk.	mg CaCO ₃ /L		156	140	130	136	118	130	145	130	110	130	120	128	130	128	120	120
38	FF Alk.	mg CaCO ₃ /L		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
39	MO Asid.e	mg CaCO ₃ /L		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
40	FF Asidite	mg CaCO ₃ /L		0,30	4,00	3,00	1	1	2	0,30	4,50	5,00	2	2	6	7,00	10,00	5,00	2
41	DO	mg/L	(8)	5,19	4,30	4,3	5,2	7,08	6,25	8,27	9,00	6,0	8,4	9,60	9,30	5,50	6,50	5,0	3,6
42	Cl ₂	mg/L	0,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,26	1,00	1,50	1,8	1,45	1,54	n.d.	0,30	n.d.	n.d.
43	Top. Sert.	mg CaCO ₃ /L		160,00	200	220,00	210,0	180	186	180,00	172	178,00	224,0	200	190	164,00	220	220,00	200,0
44	AOX	µg/L		14,50	25,3	16,8	28,0	29,9	25,1	123,10	155,8	176,0	156,8	146,6	138,2	89,00	84,9	127,6	95,3
45	Renk	Pt-Co	1, (5)		25	28	30	50	60		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	75,00	65	75,00	75
46	Bulanıklık	JTU	5		n.d.	n.d.	20	25	25		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	25,00	10	n.d.	20
47	KOI	mg/L	(25)	n.d.	10	8,00	28	n.d.	16	n.d.	n.d.	4,00	10	n.d.	12	12,00	12	4,00	12
48	BOI	mg/L	(4)	n.d.	n.d.	n.d.	12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5	n.d.	n.d.	n.d.	2,5	n.d.	5
49	TC	mg/L		32,53	28	30,00	31,00	31,040	34,330	29,69	26	27,70	28,63	31,040	30,580	30,00	26	27,10	29,06
50	IC	mg/L		30,05	26	27,60	29,30	27,380	30,620	28,31	24,5	25,10	26,84	27,970	29,490	27,50	25,5	26,30	28,28
51	TOC	mg/L		2,48	2	2,40	1,70	3,450	3,710	1,37	1,5	2,60	1,79	3,040	1,090	2,50	0,5	0,80	0,78
52	POC	mg/L		2,41	2,49	1,81	1,90	0,787	1,854	1,84	2,86	2,27	2,05	1,255	2,658	1,86	2,49	2,30	1,94