



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال سوم، شماره‌ی ۱۰  
بهار ۱۳۹۱، صفحات ۱۰-۵

## تحلیلی بر حوادث فیزیکی و شیمیایی و میکروبی آب آشامیدنی شهر تبریز

احمد اصل هاشمی

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، مرکز مدیریت کشوری سلامت

(NPMC)، تبریز، ایران

[aaslhashemi@yahoo.com](mailto:aaslhashemi@yahoo.com)

حسن تقی پور

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

رضا دهقانزاده

گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران

### چکیده

تأمین آب سالم و بهداشتی یکی از مسائل مهم در ارتقاء سلامتی جامعه می‌باشد که برای رسیدن به آن اهداف باید کیفیت میکروبی و شیمیایی آب شرب را در شبکه آبرسانی کنترل کرد که اغلب کنترل میکروبی مد نظر است و کنترل شیمیایی تنها هنگام خروج از تصفیه خانه مورد بررسی قرار می‌دهند حال آن‌که شبکه توزیع خود می‌تواند تأثیر نامطلوبی بر کیفیت آب توزیع شده داشته باشد.

به منظور تعیین ارتباط جنس لوله بکار رفته در خطوط آبرسانی با رشد جمعیت میکروبی، کلر آزاد باقی‌مانده، کدورت، ابتدا شبکه‌های آبرسانی با جنس‌های مختلف شامل آزیست سیمان، چدن داکتیل، پلی اتیلن و گالوانیزه که در آن‌ها حداکثر طول شبکه را داشته باشد شناسایی، سپس نمونه برداری در سال ۱۳۸۷ هم‌زمان در روزهای مختلف هفته از شبکه‌هایی که از لحاظ کیفیت آب جاری در آن‌ها یکسان بوده انجام گردید.

نتایج نشان می‌دهد که میانگین و انحراف معیار آزاد باقی‌مانده در جنس‌های مختلف چدن داکتیل، آزیست، گالوانیزه و پلی اتیلن به ترتیب ۵۵/۱۲+، ۴۵/۱۷+۰، ۵۱/۱۳+۰، ۵۱/۱+۰ و میانگین و انحراف معیار کدورت در جنس‌های مختلف به ترتیب ۱/۱۷+۱، ۱/۱۷+۱/۵۹،

۰/۳۳+۰/۶۱/۵۲+۰/۷۲، میانگین و انحراف معیار تعداد باکتری‌ها در جنس‌های مختلف در دمای ۱۱-۱۲ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲۱/۱۲+۸۲/۵۷، ۲۹/۵۹+۱۴/۶، ۲۱/۵۳+۰/۹+۴۶/۴۲، ۲۵+ ۲۱، میانگین و انحراف معیار تعداد باکتری‌ها در جنس‌های مختلف در دمای ۲۱-۲۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱۲+۲۵، ۱۱۱/۷۴+۸۶، ۲۴۴/۸+۱۴۷/۴، ۲۹۹/۸۲+۲۶۹/۸ می‌باشد.

مطالعه انجام شده نشان می‌دهد که تغییرات باکتریایی باعث تغییر طعم و بوی آب، تشکیل لایه لزج بر روی جداره داخلی لوله، ایجاد خوردگی در سطح لوله، افزایش جمعیت‌های باکتریایی هنگام توزیع آب و کاهش کلر باقی‌مانده پس از خروج از تصفیه‌خانه می‌شود. با توجه به جنس لوله‌های بکار رفته و سختی آب در شهرستان تبریز، نوع خوردگی بیشتر شیمیایی است که اضافه کردن کلر باعث افزایش خوردگی و تأثیر بر روی کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی موجود در شهر کمک می‌کند بنابراین بررسی خواص شیمیایی آب در شبکه توزیع پس از خروج از تصفیه‌خانه لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

**کلید واژه‌ها:** کیفیت فیزیکی آب، کیفیت شیمیایی آب، کیفیت میکروبی آب.

## مقدمه

مطالعه‌ای که در سال ۱۹۷۶ انجام شد نشان داد تغییرات باکتریایی می‌تواند در طعم و بوی آب اشکالاتی ایجاد نماید و موجب تشکیل لایه لزج بر روی جداره داخلی لوله گردد. که در این لایه باعث ایجاد خوردگی در سطح لوله و تجزیه بیولوژیکی شده و تعویض این لوله‌ها مستلزم صرف هزینه زیادی خواهد بود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که در هنگام توزیع آب، جمعیت باکتریایی تمایل به افزایش دارند. عواملی که در رشد جمعیت باکتریایی تأثیر دارند عبارتند از:

- ۱- کیفیت باکتریایی آب تصفیه شده که وارد شبکه توزیع می‌شود.
  - ۲- دما و زمان ماند آب در شبکه توزیع.
  - ۳- وجود یا عدم وجود مواد ضد عفونی کننده‌ای که در تصفیه‌خانه مصرف می‌شود.
  - ۴- جنس لوله‌های به کار رفته در شبکه توزیع.
  - ۵- امکان دست‌یابی میکروب‌ها به مواد غذایی برای رشد.
- آب به عنوان حلال عمومی شناخته شده است و عوامل شیمیایی موجود در آن مربوط به قدرت حلالیت آب است. مقدار کل جامدات محلول، قلیائیت، سختی، فلوئور، فلزات و مواد مغذی از جمله عوامل شیمیایی مورد توجه در مسائل مربوط به کنترل کیفیت آب به شمار می‌رود. آب را می‌توان به عنوان محیطی دانست که در آن هزاران گونه عامل بیولوژیکی دوران حیات خود را در آن سپری می‌کنند. بنابراین به طور طبیعی آب آشامیدنی نباید حاوی هیچ‌گونه

غالباً آب آشامیدنی را هنگام خروج از تصفیه‌خانه مورد بررسی قرار می‌دهند و کمتر به افت کیفیت آن در طول شبکه‌های توزیع می‌پردازند حال آن‌که شبکه توزیع خود می‌تواند تأثیر بسیار نامطلوبی بر روی کیفیت آب بگذارد. عواملی که در ایجاد تغییرات کیفی در طول شبکه توزیع آب موثر می‌باشد عبارتند از:

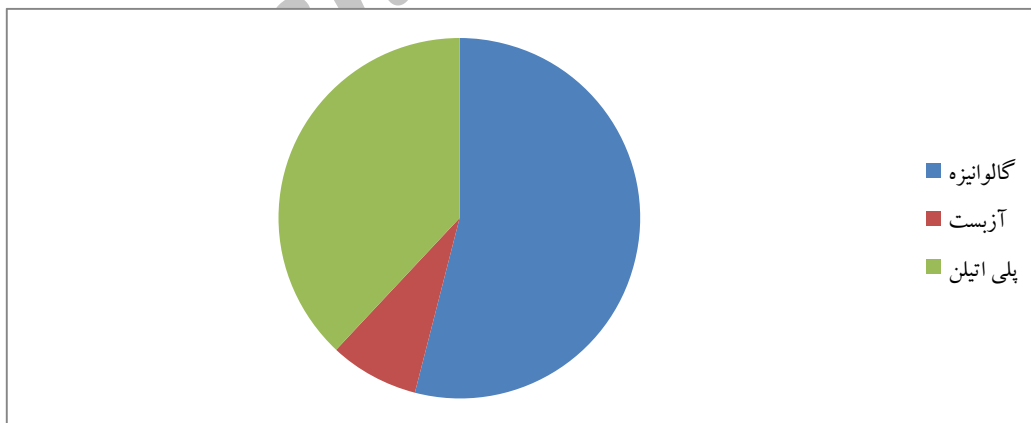
- ۱- کیفیت شیمیایی و بیولوژیکی منابع تأمین آب
  - ۲- ماندمان فرایند تصفیه‌خانه بر روی آب خام دریافتی
  - ۳- عمل کرد تأسیسات ذخیره‌سازی و سیستم توزیع آب
  - ۴- مدت زمان بهره‌برداری از تأسیسات به کار رفته در تصفیه‌خانه و شبکه آب‌رسانی
  - ۵- کیفیت آب تصفیه شده خروجی از تصفیه‌خانه
  - ۶- مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از تأسیسات آب‌رسانی
- علاوه بر تغییرات کیفی آب در طول شبکه توزیع باید نحوه رفتار هیدرولیکی مانند سینتیک تشکیل مواد آلاینده و تخریب ناشی از آن را مورد بررسی و تشخیص قرار داد [۹ و ۷ و ۲].

آب مورد نیاز برای ادامه حیات بشر باید از کمیت و کیفیت استاندارد برخوردار باشد و کیفیت آب طبق مقادیر توصیه شده برای مصارف مختلف از جمله مصارف خانگی، بهداشت فردی و ... مناسب و رعایت شده باشد و اگر مقدار توصیه شده از حد مجاز بیشتر شود با اتخاذ روش‌های اصلاحی می‌توان مشکلات حاصله را بر طرف نمود.

در ترکیدگی و کاهش قابلیت اعتماد شبکه است که می‌توان به صورت کلی در مورد آن بحث کرد. فرسودگی و خوردگی لوله‌ها بسته به نوع لوله در آن ایجاد می‌شود از مهم‌ترین عوامل تغییر دهنده کیفیت شیمیایی و میکروبی لوله در شبکه توزیع می‌باشد لذا شناخت عمر مفید برای لوله‌ها و اتصالات به کار رفته و نوع خوردگی در کنترل تغییرات ایجاد شده موثر می‌باشد.

گسترده‌گی بیشتر لوله‌های گالوانیزه و آسیب پذیری آن‌ها در برابر خوردگی در محیط خاک باعث ضربه پذیری و وقوع حوادث فیزیکی در این لوله می‌شود. در نمودار زیر فراوانی و وقوع حوادث فیزیکی را بر حسب نوع و جنس لوله مشاهده می‌کنید. بیش‌ترین درصد حوادث بر روی لوله‌ها به ترتیب بر اثر خوردگی، ترکیدگی و شکستگی می‌باشد که طبق نمودار فوق آسیب پذیری لوله‌های گالوانیزه در برابر خوردگی بیشتر از لوله‌های پلی اتیلنی می‌باشد [۵]. نمودار زیر درصد حوادث بر حسب جنس لوله را نشان می‌دهد.

میکروارگانیزم بیماری‌زا باشد. تحقیقات مول و دیگر همکارانش در خصوص تغییرات موقت و دائم باکتری‌ها در یک سیستم توزیع آب که از مواد آلی استفاده می‌کنند نشان می‌دهد که کلر آزاد و کلر باقی‌مانده کل، به سرعت و بلافاصله پس از خروج از تصفیه خانه کاهش می‌یابد و در قسمت‌هایی از شبکه که میزان باکتری شمارش شده در بالاترین حد خود بوده و نشانی از وجود کلر دیده نمی‌شد. مک کوی و السون ارتباط بین کیفیت باکتریایی و تیرگی مقدار ذرات موجود در آب توزیع شده را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه به دست آمده نشان داد تیرگی، تابع خطی غلظت ذرات کل بوده و به تعداد سلول‌های باکتریایی بستگی ندارد، تغییر کیفیت آب توسط باکتری‌ها در نتیجه یک سری وقایع پیوسته و غیر قابل پیش بینی در داخل شبکه رخ می‌دهد که در این صورت بین تیرگی و باکتری‌های شمارش شده ارتباط مستقیم وجود دارد [۱ و ۲ و ۳ و ۷ و ۱۰]. عواملی که در ایجاد حوادث و اتفاقات شبکه‌های توزیع آب شهری بیش از همه دخالت دارند عبارتند از: فرسودگی، کالاهای نامرغوب، نواقص فنی اولیه در اجرای شبکه‌ها، ساختار جغرافیایی شهرها، عدم کارایی شیر آلات، فعالیت اجرایی سایر ارگان‌ها جنس و نوع لوله از عوامل مهم و موثر



نمودار ۱. درصد حوادث بر حسب جنس لوله

داخل مایع یا گاز و یا گازی که می‌تواند به صورت فوق موجب تباهی و نقصان قطعات فلزی گردد خورنده نامیده می‌شود. نوع دیگر خوردگی، فرسایش یا (ERROSION)

### خوردگی

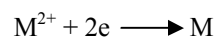
از نظر مهندسی مواد خوردگی عبارت است از تاثیر مایعات و یا گازها روی فلزات و در نتیجه انتقال مقداری از فلز به

$CO_2, SH_2$  محیط حفره را اسیدی کرده و لوله را خورنده و سوراخ می‌کند.

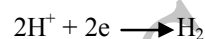
سولفیدها جزو آلاینده‌هایی هستند که محدودیت‌های شدیدی جهت حضور در سیستم‌های آب و فاضلاب در سراسر دنیا اعمال می‌کند. سولفیدها علاوه بر مشکلات بو، خورندگی تأسیسات فلزی و بتنی در لوله‌های آب و فاضلاب، سبب مسمومیت عوامل بیولوژیکی (باکتری‌ها) می‌شوند [۴ و ۲ و ۵].

زدایش بخشی از آلاینده‌های آب، کیفیت را بهبود می‌بخشد و از سوی دیگر عبور آب از شبکه در هم پیچیده و طولانی خطوط انتقال و توزیع و سکون آن در مخازن کیفیت آب را نقصان می‌دهند. شبکه‌های توزیع به دلایل گوناگون عامل نزول کیفیت آب هستند. راهیابی مواد آلی به شبکه ناشی از شکستگی‌ها، سیفون معکوس و نشت‌های زیر، تحلیل و فقدان ماده گند زدا، ایجاد و رشد بیوفیلم در جدار لوله‌ها، تأثیر متقابل کیفیت آب با جنس لوله و پوشش داخلی آن و عواملی نظیر آن شرایط را برای ایجاد و رشد جمعیت میکروبی در آب و تغییر ترکیب شیمیایی آن فراهم می‌آورد. براساس مستندهای علمی شمارش در تأسیسات توزیع آب شاخص کار آمدی برای تعیین چگونگی کاربرد آن‌ها است و به طور غیر مستقیم، عامل‌های اثر گذار بر تقلیل کیفیت را مشخص می‌کند جمعیت نسبتاً بالای میکروبی در شبکه توزیع نه تنها از لحاظ تأثیرگذاری بر سلامت مصرف کننده به ویژه در گروه‌های آسیب پذیر مورد توجه است، بلکه تشخیص باکتری شاخص کلیفرم را نیز با خطا مواجه می‌کنند. کربن آلی قابل توجه جذب (AOC) به ویژه در غلظت‌های بیش از ۱۵ میکروگرم بر لیتر، باقیمانده عامل گندزدا در آب، جنس شبکه، دما، کدورت و تعداد اولیه باکتری‌هایی که از طریق تصفیه خانه وارد شبکه می‌شوند عامل‌های اثرگذار بر نرخ رشد جمعیت میکروبی در خطوط آبرسانی محسوب می‌شوند. شبکه‌های فلزی محیط مناسبی برای رشد باکتری‌های آهن به ویژه باکتری (Gallianella) است. این باکتری دارای استالک پوشیده از هیدرواکسید آهن است در

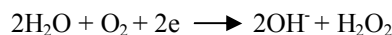
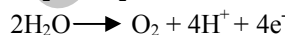
نامیده می‌شود که به وسیله عوامل فیزیکی ایجاد می‌شود که در هر صورت از پدیده‌های مخرب است. خوردگی به صورت تغییر تخریب‌آمیز در اثر عمل متقابل با محیط تعریف می‌شود. به طور معمول خوردگی هنگامی روی می‌دهد که در سطح یک فلز، پیل الکتروشیمیایی تشکیل می‌شود. قسمت خورده شده آند این پیل است که در آن واکنش اکسیداسیون زیر اتفاق می‌افتد و نشان دهنده تشکیل یک یون دو ظرفیتی از یک فلز با علامت M است.



چند واکنش کاتدی نیز ممکن است رخ دهد که یکی از این واکنش‌ها احیا هیدروژن است.



اکسیژن می‌تواند در واکنش‌های کاتدی دخیل باشد، این گونه واکنش‌ها منجر به احیاء اکسیژن به هیدروکسید آب یا پراکسید هیدروژن می‌شود.



### عوامل خورندگی

۱- عامل فیزیکی: شامل درجه حرارت، سرعت جریان، نوع فلز.

۲- عوامل شیمیایی: غلظت اکسیژن محلول، غلظت کل جامدات محلول، غلظت کلر باقیمانده.

۳- عوامل بیولوژیکی: توبرسول معمولی‌ترین پدیده خوردگی بیولوژیکی در سیستم لوله کشی است و بیشتر در مناطق که سرعت جریان در لوله کمتر از ۹۰ سانتی‌متر باشد اتفاق می‌افتد. توبرسول به این ترتیب که ارگانسیم‌های رشته‌ای در رسوبات بیولوژیکی در جدار داخلی لوله‌های آب شروع به رشد و چسبیدن به دیواره لوله کرده و غلافی را تشکیل می‌دهند که با ته‌نشینی اکسید آهن ضخیم‌تر می‌شود و با چسبیدن سر دیگر ارگانسیم‌های رشته‌ای به دیواره لوله حفره‌های سلول مانند درست می‌شود که باکتری‌ها با ایجاد

لوله‌های اتیلن، پروپیلن و سطوح لاستیکی رشد باکتری‌ها بیشتر از لوله‌های PVC و یا فولادی است [۱ و ۲ و ۶ و ۸

### مواد و روش

همانگی طوری صورت گرفت که نمونه برداری به طور هفتگی و به صورت گردشی در روزهای مختلف هفته صورت گیرد. پراکندگی و توزیع نمونه‌های برداشته شده بر حسب جنس لوله و سهم آن در شبکه توزیع متفاوت خواهد بود. در زیر چند نمونه از مطالعات انجام شده در مورد تأثیر جنس لوله بر روی کدورت و کلر باقی‌مانده و رشد میکروبی در لوله‌های مختلف توجه فرمایید.

به منظور تعیین ارتباط جنس لوله به کار رفته در خطوط آب‌رسانی با رشد جمعیت میکروبی ابتدا شبکه‌های آب‌رسانی با جنس‌های مختلف شامل جنس‌های آزبست سیمان، چدن داکتیل، پلی‌داکتیل، پلی‌اتیلن و گالوانیزه که در آن‌ها حداکثر طول شبکه را داشته باشد شناسایی گردید سپس شبکه‌هایی که از لحاظ کیفیت آب جاری در آن‌ها مشابهت داشته برگزیده شده و نمونه برداری از شبکه‌های انتخاب شده به طور هم‌زمان انجام گرفت و برنامه ریزی

جدول (۱): میانگین و انحراف معیار کلر آزاد باقی‌مانده و کدورت و تعداد باکتری‌ها در دمای ۱۵-۱۱ و دمای ۲۵-۲۱ درجه سانتی‌گراد در جنس‌های مختلف شبکه

جنس شبکه	میانگین و انحراف معیار کلر آزاد باقی‌مانده	میانگین و انحراف معیار کدورت	میانگین و انحراف معیار تعداد باکتری‌ها در دمای ۱۵-۱۱ درجه سانتی‌گراد	میانگین و انحراف معیار تعداد باکتری‌ها در دمای ۲۵-۲۱ درجه سانتی‌گراد
چدن داکتیل	۰/۵۵+۰/۱۲	۱/۱۷+۱	۱۵۵/۵۷+۸۲/۱۲	۲۵+۱۲
آزبست	۰/۴۵+۰/۰۱۷	۱/۵۹+۱/۱۷	۲۹/۵۹+۱۴/۶	۱۱۱/۷۴+۸۶
گالوانیزه	۰/۵۱+۰/۰۱۳	۰/۷۲+۰/۰۵۲	۵۳/۰۹+۴۶/۴۲	۲۴۴/۸+۱۴۷/۴
پلی اتیلنی	۰/۵۱+۰/۰۱	۰/۶۱+۰/۰۳۳	۲۵+۲۱	۲۹۹/۸۲+۲۶۹/۸

### بحث و نتیجه

تغییرات باکتریایی می‌تواند در طعم و بوی آب اشکالاتی ایجاد نماید و موجب تشکیل لایه لزج بر روی جداره داخلی لوله گردد که این لایه باعث ایجاد خوردگی در سطح لوله و تجزیه بیولوژیکی شده و تعویض این لوله‌ها مستلزم صرف هزینه بسیار زیادی خواهد بود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که هنگام توزیع آب جمعیت‌های باکتریایی تمایل به افزایش دارند. عواملی که در رشد جمعیت‌های باکتریایی تأثیر دارند به شرح زیر هستند.

برای درک تغییرات کیفی آب در طول شبکه توزیع باید نحوه رفتار هیدرولیکی مثل سینتیک تشکیل مواد آلاینده و تخریب ناشی از آن را تشخیص داد. این پارامترها را می‌توان در مقیاس کوچک با تشکیل و ساخت حلقه‌های مخصوص مورد بررسی قرار داد ولی بررسی در شبکه‌های توزیع به دلیل پیچیدگی اغلب سیستم‌های توزیع امکان پذیر نمی‌باشد. مطالعه‌ای که در سال ۱۹۷۶ انجام شد نشان می‌دهد که

- ۱- کیفیت باکتریایی آب تصفیه شده‌ای که وارد شبکه توزیع می‌گردد.
  - ۲- دما و زمان ماند در شبکه توزیع.
  - ۳- وجود یا عدم وجود مواد ضدعفونی کننده در تصفیه خانه.
  - ۴- جنس لوله‌های به کار رفته در شبکه توزیع.
- نتایج حاصله نشان می‌دهد که کلر آزاد و کلر باقیمانده کل به سرعت بلافاصله پس از خروج از آب تصفیه خانه کاهش می‌یابد و رابطه مستقیم و تنگاتنگی بین جنس لوله و نوع خوردگی و فرسایش لوله در اثر مصرف و نوع ماده شیمیایی که وارد شبکه توزیع می‌شود وجود دارد.
- باتوجه به نمودارهای فوق و جنس لوله‌های به کار رفته و سختی آب در شهرستان تبریز و نوع خوردگی بیشتر به علت شیمیایی است و عمده علت آن پایین بودن سختی آب است که با توجه به این مسئله بررسی خواص شیمیایی آب در شبکه توزیع پس از خروج از تصفیه خانه لازم و ضروری به نظر می‌رسد که اضافه کردن کلر به دلایلی ایجاد واکنش‌های اسیدی و بالابردن خوردگی نه تنها نمی‌توند این مسئله را از بین ببرد بلکه خود به افزایش خوردگی تاثیر بر روی کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی موجود در شهر کمک می‌کند، این موضوع در فصل‌های گرم سال به دلیل فعالیت بیشتر حائز اهمیت می‌باشد. همچنان که در سال‌های قبل شاهد چندین حادثه که مستقیم و یا غیر مستقیم می‌تواند به این مسئله ارتباط داشته باشد شاهد بودیم.

### منابع

- [۱]. مهندسی بهداشت محیط، ترجمه امیر حسین محوی، مهندس منصور عیسی لو، چاپ اول انتشارات دانشگاه علوم پزشکی تهران، زمستان ۷۱.
  - [۲]. منزوی.ت. "آبرسانی شهری" موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران ۱۳۷۳.
  - [۳]. تیز " راهنمای تصفیه آبهای صنعتی " ترجمه علی اکبر سمنار شاد، دکتر محمد رضا بنازاده، چاپ اول انتشارات واحد فوق برنامه بخش فرهنگی دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی.
  - [۴]. پروفیسور هارس، ج، فونتانو "مهندسی مواد و خوردگی" ترجمه - دکتر احمد ساعتچی، مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
  - [۵]. آسیب شناسی شبکه‌های توزیع آب شهری، فریدون بیگی، آب و محیط زیست شماره ۳۷، دی ۱۳۷۸.
  - [۶]. تحلیل حوادث شبکه‌های توزیع آب شهری، مسعود تابش، حمید رضا هنری آب و محیط زیست ۵۰.
  - [۷]. معیارها و رهنمودهای تحلیل کیفیت میکروبی آب آشامیدنی، مجید قنادی، آب و محیط زیست.
  - [۸]. استانداردهای آب آشامیدنی، ترجمه حمید موحدیان، آب و فاضلاب ۳۶.
  - [۹]. اندازه‌گیری و الگوسازی تغییرات کیفی آب در شبکه‌های توزیع و کاربرد عملی نتایج به دست آمده، حمید موحدیان، آب و فاضلاب شماره ۷.
- [10]. The potential for biofilm growth in water distribution systems "N.B.Hallam, J.R.West,C.F.Forster and J.simms" [www.elsvirer.com](http://www.elsvirer.com)
- [11]. physico- Chemical monitoring" [www.who.org](http://www.who.org)