مقایسه پلی‌آلومینیوم کلراید، سولفات آلومینیوم و کلراید فریک در حذف کلیفرم کل و TOC

محمدرضا شاهمنصوری* علی‌اصغر نشاط**

(دریافت ۸۲/۵/۵ پذیرش ۸۲/۹/۱۲)

چکیده

در تصفیه‌خانه‌های آب، فرآیند انعقاد جایگاه ویژه‌ای داشته و همواره تلاش بر این بوده تا در عین صرف هزینه‌های کم، راندمان بالایی در این بخش از تصفیه آب به دست آید. در فرآیند انعقاد مواد منعقدکننده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند که اغلب از نمک‌های فلزی (به خصوص آهن و آلومینیوم) بوده و با مکانیسم‌های خاصی باعث حذف ذرات کلوئیدی از آب می‌گردند. امروزه در کشور ایران منعقدکننده‌هایی که بیشترین کاربرد را در تصفیه‌خانه‌های آب دارند، سولفات آلومینیوم یا آلوم و در درجه بعد کلراید فریک می‌باشند. در کشورهایی نظیر کانادا، ایتالیا، آمریکا، چین، فرانسه و انگلستان اخیراً ماده‌ای به نام پلی‌آلومینیوم کلراید (PAC) جایگزین آلوم شده است. هدف از این بررسی مقایسه ماده منعقد کننده PAC با آلوم و کلراید فریک در حذف TOC[1] و کلیفرم کل که از شاخص‌های آلودگی شیمیایی و میکروبی آب می‌باشند در غلظت‌های بهینه برای حذف کدورت از آب خام تصفیه‌خانه شهر اصفهان به عنوان منبع اصلی در تأمین آب شهری بوده است.

در این بررسی تعداد ۲۰ نمونه از آب خام ورودی به تصفیه‌خانه در زمان‌های مختلف برداشته شد. ابتدا مقادیر کلیفرم کل و TOC نمونه‌های آب خام اندازه‌گیری شده و بعد از به دست آوردن غلظت بهینه مواد منعقد کننده در حذف کدورت با آزمایش جار، میزان کلیفرم کل و TOC در این غلظت بهینه، مجدداً اندازه گرفته شد. آزمایش‌ها برای هر نمونه آب با سه منعقد کننده آلوم، کلراید فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید انجام گرفت.

نتایج حاصل بیانگر میزان pH بهینه، غلظت بهینه مواد منعقد کننده در حذف کدورت و مقادیر TOC و کلیفرم کل به دست آمده بعد از تأثیر مواد منعقد کننده بودند. طبق این نتایج، میانگین درصد حذف کدورت، کلیفرم کل و TOC به ترتیب برای آلوم شامل ۹۲/۱، ۹٤/٤۳ و ٤۰/۳ درصد بودند. این مقادیر برای منعقد کننده کلراید فریک شامل ۹۵/۷٤، ۹۷/۸ و ۵۵/٦٤ درصد و برای پلی آلومینیوم کلراید عبارت بودند از ۹۵/۳، ۹۷/۳ و ٤۲/۰۲ درصد.

نتایج به دست آمده نشان داد که کلراید فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت، کلیفرم‌های کل و TOC کارایی بهتری نسبت به آلوم دارند و کلراید فریک در حذف TOC بهتر از PAC عمل می‌نماید. با در نظر گرفتن مشکلات مربوط به مصرف کلراید فریک، استفاده از PAC به عنوان منعقد کننده در حذف کدورت، کلیفرم‌های کل و TOC گزینه بهتری نسبت به آلوم و کلراید فریک در فرآیند انعقاد می‌باشد.

واژه‌های کلیدی : انعقاد، آلوم، پلی‌آلومینیوم کلراید، کلراید فریک، حذف TOC و کاهش کلیفرم کل.

---

* عضو هیئت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

[1]-Total Organic Carbon

Comparison of Poly Aluminum Chloride, Aluminum Sulfate and Ferric Chloride in Removal of TOC and Total Coliform

Shahmansouri, M. (Ph.D) and Neshat, A.A. (M.Sc.)
Isfahan University of Medical Sciences

Abstract

Coagulation is one of the important processes in water treatment plants. The experts attempt to find out both low cost and high efficient coagulant in water treatment plants. The coagulants which are widely used in coagulation process, are inorganic salts, specially Iron and Aluminum salts.. Aluminum Sulfate and Ferric Chloride are two coagulants which are used in many water treatment plants in Iran. Recently there is a tendency to use a new coagulant which is called Ploy Aluminum Chloride (PAC) which are used in many other countries such as Canada, America, China and England. The purpose of this study was comparison of PAC, Alum and Ferric Chloride removal of TOC and Total coliforms as indicators of chemical and biological pollution of water and to find out optimum concentrations for turbidity removal of raw water of Esfahan water treatment plant.

In this study 20 samples of raw water were taken during 4 months from Esfahan water treatment plant. At first, the amounts of total coliforms and TOC was measured. Then the optimum coagulant dosage for turbidity removal was obtained using jar test apparatus Final TOC and total coliform concentrations were measured after jar test study.

The results of this study show that Ferric Chloride and PAC in removal of turbidity, total coliforms and TOC are more efficient than Alum. It was also found Ferric Cholide in removal of TOC is better than PAC. Due to Ferric Chloride disadvantages, the PAC coagulant is recommended as a good alternative for Alum in coagulation process.

مقدمه

تصفیه‌خانه آب اصفهان از سال ۱۳٦۸ با ظرفیت ۵m^3/s به منظور تأمین بخشی از آب آشامیدنی مصرفی شهر اصفهان و شهرهای اقماری آن مورد بهره‌برداری قرار گرفت. تأمین آب خام اولیه از طریق برداشت از زاینده‌رود و در محل چم آسمان می‌باشد که به دلیل تغییرات کیفی، فرآیندهای کامل تصفیه فیزیکی در این تصفیه‌خانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. واحدهای تصفیه شامل آشغالگیر، دانه‌گیر، و واحد کلرزنی (که در حال حاضر غیرفعال است) و واحدهای ته‌نشینی اولیه، انعقاد، لخته‌سازی، زلال‌ساز، ازون زنی، صافی‌های دوبستری و کلرزنی می‌باشد. سولفات آلومینیوم یا آلوم به عنوان ماده منعقد کننده در نظر گرفته شده که از زمستان ۱۳۸۱ پلی آلومینیوم کلراید جایگزین آن گردیده است.

آبی که به صورت طبیعی و یا به دست بشر آلوده شده است، برای تبدیل به آب آشامیدنی باید فرآیندهای مختلف تصفیه را طی نماید. فرآیندهای متداول در تصفیه آب عبارتند از : انعقاد، لخته‌سازی، ته‌نشینی، صاف‌سازی و گندزدایی. انعقاد فرآیندی است که طی آن ذرات ریز غیر قابل ته‌نشینی که اصطلاحاً کلوئید نامیده می‌شوند، به یکدیگر چسبیده و ذرات درشت‌تر را تشکیل می‌دهند. اندازه ذرات کلوئید موجود در آب بین ۱ تا ۰/۰۰۱ میکرون می‌باشد. این در حالی است که سرعت ته‌نشینی خود به خود ذره‌ای با قطر ۰/۱ میکرون، حدود ۳ متر در یک میلیون سال می‌باشد لذا فرآیند صاف‌سازی آب، بدون استفاده از موادی که سرعت ته‌نشینی ذرات کلوئید را افزایش دهند، غیرممکن می‌نماید [۱].

تاریخچه استفاده از مواد منعقد کننده بسیار کهن بوده و به استفاده از مصریان از آلوم در ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد بر می‌گردد. سال‌ها بعد در انگلستان در سال ۱۷٦۷ مردم عادی جهت زلال‌سازی آب‌های گل آلود از این ماده استفاده نمودند. در سال ۱۸۸٤ نیز اولین امتیاز انعقاد به وسیله پرکلراید آهن در شرکت آب نیواورلئان به ثبت رسید و یک‌سال بعد دانشگاه روتگرز[1] نتایج اولین تحقیقات خود را در مورد آلوم به عنوان یک منعقد کننده انتشار داد. حاصل تحولات یاد شده این بود که عمل انعقاد به عنوان پیش‌فرآیندی که فیلتراسیون را کامل خواهد کرد،

[1] Rutgers

شناخته شد [۱]. طی این فرآیند از مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده مختلفی استفاده می‌شود. مواد منعقدکننده شامل موادی است که برای ناپایدارسازی ذرات و چسباندن آن‌ها به یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند، در حالی که هدف از اضافه کردن کمک منعقد کننده‌ها افزایش دانسیته ذرات به هم چسبیده و کمک به ته‌نشینی سریع‌تر آن‌هاست. معمولاً نمک‌های فلزی مثل سولفات آلومینیوم یا آلوم، سولفات فریک، سولفات فرو، کلراید فریک، پلی‌مرهای آلی آنیونی، کاتیونی و غیر یونی از جمله مواد منعقد کننده می‌باشند و از کمک منعقدکننده‌ها می‌توان به سیلیکات سدیم، کربنات کلسیم، بنتونیت و آلومینات سدیم اشاره نمود [۳]. تحقیقات گسترده‌ای در زمینه فرآیند انعقاد انجام شده و مواد منعقد کننده مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتیجه این تحقیقات در سال‌های اخیر ورود ماده منعقدکننده‌ای به نام پلی‌آلومینیوم کلراید[1] (PAC) بوده است که امروزه در کشورهایی مثل آمریکا، کانادا، چین، ایتالیا، فرانسه و انگلستان کاربرد پیدا کرده است [٤ و ۵]. پلی آلومینیوم کلراید دارای فرمول‌شیمیایی $Al_2(OH)_nCl_{6-n}$ بوده و طی واکنش هیدرات آلومینیوم $Al(OH)_3$ با اسید هیدروکلرو (HCl) مطابق واکنش زیر به دست می‌آید :

$$2Al(OH)_3+nHCl \rightarrow Al_2(OH)_nCl_{6-n}+H_2O$$

این ماده به شکل پودر زرد رنگی است که میزان Al_2O_3 آن بین ۲۷ تا ۳۰ درصد می‌باشد. pH محلول یک درصد آن ۳/۵ تا ۵ بوده و در صورت ئیدرولیز شدن در آب شارژ قوی کاتیونی به وجود می‌آورد. PAC بعد از ئیدرولیز شدن در آب بار مثبت بیشتری نسبت به آلوم تولید می‌کند و بنابراین انتظار می‌رود در خنثی‌سازی بار منفی ذرات کلوئیدی و مواد آلی موجود در آب‌ها موثر باشد [٦].

مواد منعقد کننده از قبیل آلوم، کلرید فریک و PAC بیشتر برای حذف عوامل مولد کدورت در آب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در منابع آب، عواملی که باعث ایجاد کدورت می‌گردند، یا منشأ شیمیایی دارند یا ناشی از عوامل بیولوژیک بوده و یا بر گرفته از عوامل فیزیکی هستند [۵]. هدف از این بررسی که به صورت یک مطالعه مقطعی است، مقایسه ماده منعقد کننده PAC با مواد منعقد کننده آلوم و کلراید فریک در حذف TOC[2] و کلیفرم کل در غلظت بهینه این مواد برای حذف کدورت می‌باشد. از آنجا که منبع اصلی تأمین آب شرب در اصفهان تصفیه‌خانه باباشیخ‌علی است، لذا آب مورد آزمایش در این تحقیق آب ورودی به این تصفیه‌خانه بوده است.

TOC یا کل کربن آلی از جمله شاخص‌های مهم در تشخیص آلودگی‌های آلی آب بوده [۵] و کلیفرم کل نیز از جمله شاخص‌های مهم در تشخیص آلودگی میکروبی آب می‌باشد. تعیین کلیفرم کل که به محتمل‌ترین تعداد باکتری‌های کلیفرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب گفته می‌شود، از این جهت مهم است که نشانگر آلودگی آب توسط یک یا ترکیبی از سه منبع فضولات انسانی، حیوانی و یا آلودگی ناشی از خاک می‌باشد [۲].

مواد و روش‌ها

برای انجام این بررسی تعداد ۲۰ نمونه هر یک با حجم ۲۰ لیتر در طول مدت انجام طرح که از بهمن ۱۳۸۱ تا اردیبهشت ۱۳۸۲ بود، از آب خام ورودی به تصفیه‌خانه باباشیخ‌علی اصفهان برداشته شد. بر روی هر یک از این نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه، آزمایش‌های زیر به ترتیب اعمال گردید.

۱- تعیین میزان pH ، کدورت، کلیفرم کل و TOC نمونه. نمونه‌های مورد آزمایش برای تعیین TOC و کلیفرم کل در ظروف مجزا و استاندارد که از قبل آماده شده بودند جمع‌آوری می‌گردید.

۲- آزمایش جار بر روی نمونه آب خام با هر یک از سه منعقد کننده آلوم، کلراید فریک و PAC انجام گرفت و غلظت بهینه هر یک از این مواد در حذف کدورت به دست آمد [۳]. در این آزمایش برای تعیین غلظت بهینه، برای آلوم و PAC از غلظت‌های ٤، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد و برای کلراید فریک از غلظت‌های ٤،۸، ۱٦، ۲٤، ۳۲ و ٤۰میلی‌گرم در لیتر استفاده شد.

۳- تعیین میزان TOC و کلیفرم کل نمونه‌ها بعد از انجام آزمایش جار در غلظت‌های بهینه هر کدام از مواد منعقد کننده در حذف کدورت [۷].

[1] Poly Aluminum Chloride

[2] Total Organic Carbon

برای انجام آزمایش جار از دستگاه جار شش‌خانه‌ای بزرگ استفاده گردید. میزان سرعت اختلاط تند و سرعت اختلاط کند به ترتیب ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت یک دقیقه و ٤٠ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه بوده و زمان ته‌نشینی برابر ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد [۳]. برای تعیین میزان کلیفرم کل از روش ۹ لوله‌ای استفاده شد و چون میزان کلیفرم کل از لحاظ کمیت و تعداد احتمالی کلیفرم‌ها حائز اهمیت بود، لذا فقط به آزمایش احتمالی در تخمیر ۹ لوله‌ای اکتفا گردید [۲]. برای تعیین میزان TOC روش احتراق با اشعه مادون قرمز[1] و دستگاه TOC متر از نوع Micro NC مورد استفاده قرار گرفت [۷].

تجزیه و تحلیل نتایج بررسی، شامل آنالیز واریانس بوده و مقایسه دو به دوی این نتایج با روش Bonferroni انجام شد.

نتایج

در این بررسی نتایجی حاصل آمد که بیانگر میزان pH بهینه، غلظت بهینه مواد منعقد کننده در حذف کدورت و مقادیر TOC و کلیفرم کل به دست آمده بعد از تأثیر منعقد کننده بود. جدول ۱ خلاصه نتایج به دست آمده در این بررسی را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این بررسی pHهای مورد آزمایش برای انتخاب pH بهینه، شامل ۵/۵، ٦، ٦/۵، ۷، ۷/۵ و ۸ بودند. نتایج به دست آمده نشان داد که منعقد کننده کلراید فریک برای حذف کدورت در pHهای ٦ و ٦/۵ بیشترین تأثیر را داشته است، و همچنین در این pHها راندمان خوبی در حذف TOC و کلیفرم کل دارا بود. آلوم و PAC نیز در pHهای ٦/۵ و ۷ تأثیر خوبی در حذف کدورت داشته و در pH برابر ٦ کارایی خوبی در حذف TOC و کلیفرم کل داشتند. در این آزمایش غلظت‌های ٤٠ و ۵۰میلی‌گرم در لیتر آلوم و PAC، بیشترین میزان حذف را در کدورت آب خام دارا بودند و برای کلراید فریک نیز این غلظت‌ها شامل ۳۲ و ٤٠میلی‌گرم در لیتر بود.

از جدول ۱ پیداست که میزان حذف کدورت حاصل از کلراید فریک و PAC بهتر از آلوم بوده (نمودار ۱) و بین نتایج حاصل از این دو منعقد کننده در حذف کدورت و نتایج حاصل از منعقد کننده آلوم اختلاف معنی‌دار وجود دارد (P<۰/۰۵). در حالی که بین نتایج حذف کدورت حاصل از کلراید فریک و PAC اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (P>۰/۰۵). نتایج حذف TOC نشان می‌دهد که میزان حذف TOC توسط کلراید فریک نسبت به آلوم و PAC بهتر می‌باشد (نمودار ۲). این نتایج با تحقیقات قبلی که توسط ج- اناتاسیو[2] و همکارانش بر روی آب رودخانه هیلزبورو[3] در سال ۱۹۹۵ انجام داده‌اند، همخوانی دارند [۸]. نتایج حاصل از آلوم و PAC در حذف TOC اختلاف‌معنی‌داری را نشان نداد (P>۰/۰۵). اما بین نتایج حاصل از کلراید فریک و دو منعقد کننده دیگر اختلاف معنی‌دار وجود دارد (P<۰/۰۵). نتایج به دست آمده از تأثیر سه ماده منعقد کننده در حذف کلیفرم کل نشان می‌دهد که درصد حذف کلیفرم کل توسط کلراید فریک و PAC بهتر از آلوم بوده (نمودار ۳) و بین نتایج این دو اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (P>۰/۰۵). بین نتایج حاصل از کلراید فریک و PAC در حذف کلیفرم کل و نتایج حاصل از آلوم اختلاف معنی‌دار می‌باشد (P<۰/۰۵).

نتایج به دست آمده از این بررسی نشان می‌دهد که کلراید فریک و PAC در حذف کدورت، کلیفرم کل و TOC بهتر از آلوم بوده‌اند و کارایی کلراید فریک در حذف TOC نیز بهتر از PAC بوده است. بنابراین با در نظر گرفتن مشکلات مربوط به کلراید فریک مانند مشکلات خوردگی، وارد ساختن فلزات سنگین به آب آشامیدنی و مشکلات ناشی از باکتری‌های آهن [۹] استفاده از PAC به عنوان منعقد کننده گزینه بهتری نسبت به آلوم و کلراید فریک در فرآیند انعقاد می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از سرکار خانم مهندس وحید دستجردی، جناب آقای مهندس اکبری، سرکار خانم حاتم‌زاده، کارکنان آزمایشگاه شیمی تصفیه‌خانه آب اصفهان و دیگر عزیزانی که در انجام این طرح ما را یاری کردند، کمال امتنان و تشکر را داریم.

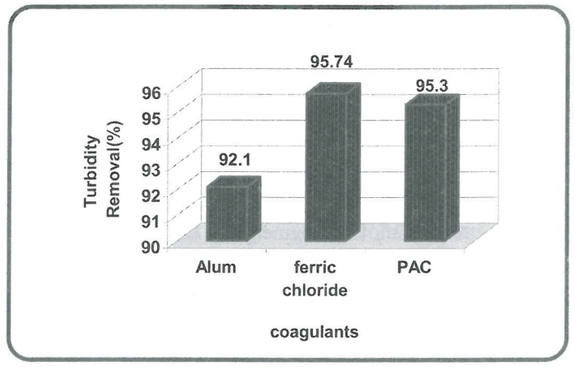
[1] Combustion Infra Red

[2] G.Inatasio

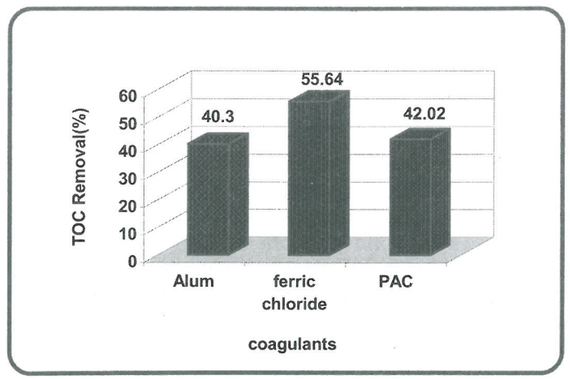
[3] Hillsborough

جدول ۱- خلاصه نتایج آزمایش‌های تأثیر مواد منعقد کننده در حذف TOC و کلیفرم کل در غلظت‌های بهینه برای حذف کدورت

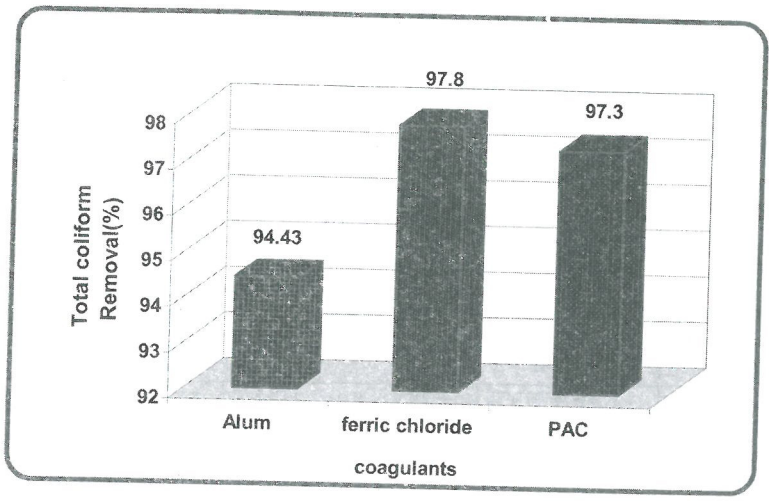
ماده منعقد کننده	میانگین درصد حذف کلیفرم کل	میانگین مقدار اولیه کلیفرم کل	میانگین درصد حذف TOC (میلی‌گرم بر لیتر)	میانگین مقدار اولیه TOC (میلی‌گرم بر لیتر)	میانگین درصد حذف کدورت	میانگین مقدار اولیه کدورت
کلراید فریک	۹۷/۸	۱۰۵۸/۹	۵۵/٦٤	۳/۳۷	۹۵/۷٤	۱۹
آلوم	۹٤/٤۳	۱۰٤۸/۷	٤۰/۳	۳/۲۳	۹۲/۱	۱۹
پلی آلومینیوم کلراید	۹۷/۳	۱۰۳۹	٤۲/۰۲	۳/۳	۹۵/۳	۱۹



نمودار ۱- نتایج حذف کدورت توسط منعقدکننده‌ها



نمودار ۲- نتایج حذف TOC توسط منعقدکننده‌ها



نمودار ۳- نتایج حذف کلیفرم کل توسط منعقدکننده‌ها

مراجع

۱- ذهب صنیعی، ا.، (۱۳۷۰). "*فرآیندهای تصفیه آب*"، جلد اول، شرکت نیرو چاپ.

۲- غلامی، م.، محمدی، ح.، (۱۳۷۷). "*میکروبیولوژی آب و فاضلاب*"، موسسه فرهنگی انتشاراتی حیان.

3- Kent, D.K., (1992). "*Water Treatment Plant Operation*", Vol. 1, Chapter 4, Coagulation and Flocculation, California State University, Sacramento, .School of Engineering, USA.

4- Monod, J. Brault, J.L., (1991). "*Water Treatment Hand Book*", Degremont, 6th ed, Vol. 1, Chapte 3, Lavoisier Publishing, France.

5- Montogomery, J. M., (1995). "*Water Treatment Principles and Design*", John Wiley and Sons Inc., USA.

6- http://www. alumina. alcoa. Com/applications/pas.asp?I=4 and A=9

7- APHA, AWWA, WEF, (1992). "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*", 18th. Ed, American Public Health Association, Washington.

8- Christian Volk, and et al, (2000). "*Impact of Enhanced and Optimized Coagulation on Removal of Organic Matter and its Biodegredable Fraction in Drinking Water*", Water Res. Vol. 34, No. 12.

9- Alanc. Twort, Dond, Ratnayaka and Malcolm J. Brandt, (2000). "*Water Supply*", Arnold Publishing, London, 5th Edition.