

تحديد الشروط المثلى لإزالة الفلوريد من مياه الشرب باستخدام طريقة نالكوندا (التخثير والترسيب)

زينب علي زناد
الكلية التقنية كركوك
قسم هندسة البيئة والتلوث

قصي كمال الدين الاحمدي
جامعة الموصل
كلية الهندسة- قسم هندسة البيئة

المخلص

تعد طريقة نالكوندا من الطرق الفعالة في ازالة الفلوريد وخصوصا لتراكيز الفلوريد الاولية القليلة والمتوسطة المتواجدة في مياه الخام. تم في هذا البحث ايجاد وتحديد الشروط المثلى لإزالة الفلورايد من خلال دراسة العوامل المؤثرة على كفاءة نزع الفلوريد والمتمثلة بـ (تركيز الفلوريد الاولي، الرقم الهيدروجيني، كمية الشب المضافة، الية التحريك وزمن المزج لعمليتي التلييد والتخثير، وزمن الترسيب). اثبتت نتائج البحث ان التركيز الاولي للفلوريد لا يؤثر بشكل كبير على الكفاءة، حيث بلغت كفاءة الازالة (88%) عند تركيز فلوريد اولي (3) ملغرام/ لتر، في حين كانت كفاءة الازالة مساوية لـ (86%) عند تركيز فلوريد اولي (10) ملغرام/ لتر وعند نفس ظروف القياس. كذلك لوحظ خلال البحث تأثر كفاءة الازالة بمقدار حامضية وقاعدية الوسط، حيث كانت كفاءة الازالة مساوية لـ (85%) عند قيمة (pH) تقارب (7)، في حين انخفضت نسبة الازالة الى (72%) و (63%) وعند قيم (pH) مساوية لـ (4) و(9) وعلى التوالي ولنفس ظروف القياس. كما لوحظ خلال البحث تأثر كفاءة الازالة بكل من كمية الشب المضافة، زمن المزج، وزمن الترسيب. حيث تم الحصول على افضل كفاءة ازالة عند زمن مزج سريع يساوي (1 دقيقة) وزمن تلييد وتخثير يساوي (5 دقيقة). كذلك وجد انه من الممكن الحصول على كفاءة الازالة نفسها عند زيادة فترة المزج السريع لغاية (3 دقيقة) ومن ثم الانتقال الى عملية الترسيب مباشرة. واخيرا تم خلال البحث تعيين زمن الترسيب المثالي، حيث تم الحصول على افضل كفاءة ازالة عند زمن ترسيب يساوي (1 ساعة) وعند ظروف القياس المختلفة.

The Optimum Conditions For Fluoride Removal From Drinking Water Using Nalgonda Method (Flocculation And Sedimentation)

Dr. Kossay K. Al-Ahmady

Zainab A. Znad

University of Mosul
College of Engineering, Environmental Eng. Department

College of Technology, Kirkuk
Environment and Pollution Eng. Department

Abstract

The Nalgonda method is one of the effective methods for fluoride removal, especially with low and medium initial fluoride concentrations. In this research, the ideal conditions were found through studying the factors that affect the fluoride removal efficiency (initial fluoride concentration, pH, alum dose, mixing time for flocculation and coagulation processes, and the sedimentation time). The research results proved that initial fluoride concentration does not significantly effect the efficiency. As the removal efficiency amounted to (88%) for the initial fluoride concentration of (3) mg/L. While the removal efficiency was equal to (86%) for an the initial fluoride concentration of (10) mg/L. pH value was proved to be effective, as the removal efficiency was equal to (85%) when the (pH) value is equal to (7), while the removal decreased to (72%) and (63%) when the (pH) values were equal to (4) and (9) respectively. Alum dose, time of mixing, and the time of sedimentation were also affecting on the removal efficiency. Best removal efficiency obtained at the times of mixing and flocculating equal to (1 min) and (5 min) respectively. Also it was found that it's possible to get the same removal efficiency when increasing the period of rapid mixing to (3 min) and then directly move to the sedimentation process. Finally, the ideal sedimentation time has been set, best removal efficiency has been achieved a sedimentation time equal to (1 hour) and at the different measurement conditions.

Keywords: Fluoride removal, Drinking water, Nalgonda method, Flocculation, Sedimentation

المقدمة

يتواجد الفلوريد بتراكيز مختلفة في مياه السطحية والجوفية بالإضافة الى تواجده في بعض الاغذية. ويعزى سبب تواجد الفلوريد في المياه السطحية والجوفية الى تفاعل الفلزات الحاوية عليه مع المياه او نتيجة لارتفاع منسوب المياه السطحية الملوثة بالفلوريد ووصولها للمياه الجوفية.

يعد الفلوريد مفيدا اذا اخذ بكميات مثالية، ولكن الحد المثالي للتناول اليومي غير متفق عليه، بسبب ظروف التغذية الفردية والتي تختلف اختلافا كبيرا، بالإضافة الى تواجده بتراكيز عالية في مياه الشرب وتواجده في المياه الجوفية لبلدان كثيرة.

ان تناول الطعام يؤدي الى ان انخفاض الرقم الهيدروجيني للفم، مما يؤدي الى حدوث تبادل ايوني على سطوح الاسنان ومن ثم تشكل حجيرات مجهرية ومؤديا بالنهاية الى زوال التمعدن وحدث النخور السنية، اما الفلوريد فيقوم بسد تلك الحجيرات وبتثبيت الكلس على الاسنان ويمنع حدوث التبادل الايوني على سطح السن، وكما يقوم بعملية تعديل الوضع الجرثومي في الفم عند التعرض لتركيز فلوريد يتراوح بين (0.5-1 ملغم/لتر) في مياه الشرب، ولكن التناول المفرط من الفلوريد يؤدي الى ضياع السن بأكمله وتشكيل تجاويف شديدة اكثر من كونه علاجا وبذلك يسبب تفلور الاسنان او تسمم الاسنان بالفلوريد (Dental Fluorosis) (WHO, 2004)، كما أن التعرض طويل الأمد والغير طبيعي لمستويات الفلوريد في مياه الشرب يسبب التسمم الهيكلية بالفلوريد (Skeletal Fluorosis) (WHO, 2004). ولا يعد تأثير الفلوريد مقتصرًا على الاسنان فقط، حيث تعد العظام مخزنا للكميات الكبيرة للفلوريد، كون ان الجرعات العالية من الفلوريد تحفز على تكاثر الخلايا البانية للعظام حتى لدى المرضى المسنين، الا انه يغير ايضا في بنية العظام البلورية، فمع ان الفلوريد قد يزيد من حجم العظام فان قوتها تتناقص وبشكل واضح، وهذا قد يزيد من خطر الاصابة بالكسور العظمية اضافة لإمكانية تسمم الهيكل العظمي المتوسط الشدة بالفلور وتصلب المفاصل (فاجن، 2008)

يبلغ التركيز الطبيعي للفلورايد في مياه البحيرات والمياه الجوفية بحدود (0.5 ملغم/ لتر)، وتعد هذه الكميات أقل بكثير من الحد الأقصى لمنظمة الصحة العالمية لتركيز الفلوريد والبالغ (1.5 ملغم/لتر)، الا ان الموقف العلمي من المياه الحاوية على الفلوريد في طريقه الى التغيير حاليا، كما ان الوضع يدعو الى القلق لأن كمية الفلوريد الإضافية التي نتناولها من الأطعمة والمشروبات والمستحضرات الاخرى غير معروفة (WHO, 2004). وهذا ما حفز العديد من الباحثين الى ايجاد وبحث امكانية استعمال عدد من الطرق لإزالة الفلوريد كطريقة التخثير والتبادل الايوني، والتي توصف بأنها عملية ارتباط ايون الفلوريد الزائد مع كواشف كيميائية مخصصة والمتمثلة بكبريتات الألمونيوم $(Al_2(SO_4)_3)$ وأملاح المغنسيوم، وتستخدم هذه الطريقة عندما يكون تركيز الفلوريد بالمياه ما بين (1-5 ملغم/لتر)، (الفضل، 2009). كذلك تمثل طريقة الامتزاز (Absorption) احد طرق الازالة حيث يتم استخدام معادن متعددة لها القدرة على امتزاز الفلوريد، او بواسطة راتنجات قوية القاعدية كالفحم المنشط وأوكسيد الألمونيوم المنشط، (الفضل، 2009). ومن بين طرق الازالة المهمة الاخرى طريقة التخثير والتلييد (طريقة نالكوندا) والتي تعد من الطرق الفعالة في ازالة الفلوريد وخصوصا عندما تكون تراكيز الفلوريد الاولية قليلة او متوسطة في مياه الخام. وعلى الرغم من اهمية الطريقة فانه لا تزال الظروف المثلى التي تتم فيها الازالة بهذه الطريقة غير واضحة لحد الان.

يهدف هذا البحث الى تحديد الشروط المثلى لازالة الفلوريد من مياه الشرب باستخدام طريقة نالكوندا (التخثير- الترسيب)، وذلك من خلال دراسة تأثير تغاير كل من تغير قيمة تركيز الفلوريد الاولي، الرقم الهيدروجيني (حموضة وقاعدية الوسط)، كمية الشب المضافة في عملية التلييد على نسبة نزع الفلوريد من المياه المفلورة، كما ويهدف البحث الى تعيين زمن المزج المثالي لعملية التلييد والتخثير وزمن الترسيب المثالي لعملية الترسيب للحصول على اعلى كفاءة ازالة للفلوريد.

استعراض المراجع

بينت العديد من الدراسات امكانية استخدام المواد المختلفة لازالة الفلورايد اعتمادا على التركيز الاولي للعنصر في الماء، حيث ذكر (Runaska et al, 1970) ان استخدام ريزينات (Resins) التبادل ذات القلوية العالية من الممكن ان تزيل الشوارد السالبة بما فيها الفلوريد وبمعدل (2.5-18.3%) تقريبا من المحاليل حينما يكون تركيز الفلوريد الاولي فيها اقل او مساوي لـ (15 ppm). كما دلت التجارب المخبرية العديدة التي اجراها (Bulusu et al, 1979) ان استخدام مادة السيربنتين $(Mg_6Si_4O_{10}(OH))$ يكون كفوءا عندما يكون تركيز الفلورايد مرتفعا وبحدود (80 غرام/ لتر)، كما بين الباحثون (Bishop et al, 1987) امكانية استعمال (Al_2O_3) المنشط في نزع الفلوريد بمعدل (75%) عندما يكون تركيز الفلوريد الاولي بحدود (5 ppm).

كذلك درس الباحثون (Nawlakhe et al, 1996) فعالية نزع الفلوريد بطريقة نالكوندا عند اضافة المخثر بمرحلة واحدة او بمرحلتين ومن ثم الترسيب، حيث كانت النسبة المئوية لنزع الفلوريد 74% و 86% على الترتيب. واستخدم الباحث (Ingallinella et al, 2000) تقنية التخثير بواسطة كلوريد الالمونيوم المتعدد (Polyaluminum

الأحمدي : تحديد الشروط المثلى لإزالة الفلوريد من مياه الشرب باستخدام طريقة نالكوندا (التخثير والترسيب)

(chloride) تليها عملية الترشيح بواسطة مرشح ثنائي الوسط (Dual media filtration) في ازالة الفلورين والزرنيخ من المياه الجوفية. كما اظهرت الدراسة التي قام بها (long et al, 2001) كفاءة الفحم الفعال الحيواني والنباتي الناتج من تفحيم قشور جوز الهند والرز في ازالة الفلوريد من مياه الشرب.

واشار البحث الذي قام به (Jiao et al, 2002) الى ان طريقة التناضح العكسي (RO) فعالة لازالة شوارد مختلفة من الماء بما فيها ايون الفلوريد، في حين درس الباحثون (Chidambaram et al, 2003) فعالية المواد الطبيعية المختلفة المستخدمة في ازالة الفلوريد من المياه، والمتمثلة بالتربة الحمراء، الرماد المتطاير، الفحم، الطين المستخدم في صناعة الطابوق ومعدن سيربنتين، واجراء تحليل الارتباط لنزع ايون الفلوريد مع الوقت، و اشارت النتائج كفاءة التربة الحمراء في عملية الازالة يليها الطين، الرماد المتطاير، معدن سيربنتين واخيرا الفحم.

وتوصل الباحثون (Rao Nagendra et al, 2003) الى امكانية ازالة الفلوريد من مياه الشرب والفضلات بواسطة كل من التبادل الايوني وعمليات الامتزاز او التخثير بالإضافة الى عمليات الترسيب، وكما بين بان كل من عمليتي التبادل الايوني والامتزاز يمكن ان تستخدم لتراكيز فلوريد اولية مختلفة مع تحقيق الازالة الكاملة للفلوريد تحت الظروف المناسبة الا انها مرتفعة الكلفة.

كذلك قام (الحصاباني وآخرون، 2006) بدراسة تحليلية لطرائق ازالة الفلوريد من مياه الشرب تبين بان طريقة التخثير او طريقة نالكوندا تعد من افضل الطرائق لنزع الفلوريد.

في حين اجري الباحثون (López Valdivieso et al, 2006) دراسة عن تأثير درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني على كفاءة نزع الفلوريد من الماء، حيث وجد ان الحد الاقصى لامتصاص الفلوريد يحدث عندما يكون الرقم هيدروجيني (5-6) وعند درجات حرارية تتراوح بين (25-45) درجة مئوية، كما وجد ان زيادة درجة الحرارة من (25-40) درجة مئوية يخفض من كفاءة ازالة الفلوريد.

وكما اوضح (Tembhurkar et al, 2006) من خلال دراسة طرق ازالة الفلوريد مدى ملائمة الفحم المنشط المستخدم في عملية الامتزاز بالاستناد الى بعض العوامل المؤثرة والمتمثلة: بجرعة المواد المضافة والمستخدم في عملية الامتزاز، والزمن المستغرق للامتزاز بالإضافة الى مقدار تركيز الفلوريد الاولي، ووجد من خلال هذه الدراسة بان الجرعة المثلى للفحم كانت بمقدار (2 غرام/100 مليلتر) عند فترة مكوث مساوية لـ (120 دقيقة)، حيث بلغت كفاءة الازالة عند الظروف المثلى السابقة (94%).

واظهرت نتائج الدراسة التي قام بها (العناز وآخرون، 2007) تواجد الفلوريد في مياه الشرب بتركيز اقل من التركيز المثالي للفلوريد وهو (0.7 ملغم/لتر) والذي جرى تحديده وفقا لمعدل درجات الحرارة العليا. و اشارت الدراسة التي قام بها (Hu et al, 2008) الى معالجة محتوى الفلوريد العالي في مياه الفضلات باستخدام نظام جريان مستمر (تخثير - تعويم) باستعمال مساري ثنائية القطب من الألمنيوم.

اما (Stewart et al, 2009) فقد اجري دراسة تحليلية لإزالة الفلوريد من المياه الصالحة للشرب عن طريق استخدام أكسيد الألمنيوم (Alumina) في عمليات الامتزاز، حيث وجد من خلال عملية التحليل ان امتزاز الفلوريد هي عملية معقدة عند وجود فرق في التركيب السطحي، قيم الرقم الهيدروجيني، درجة الحرارة، تركيز الفلوريد بالإضافة الى وجود ايونات مثل الكبريت والبيكاربونات التي تتفاعل لإعطاء مدى واسع من قيم الامتزاز النوعية.

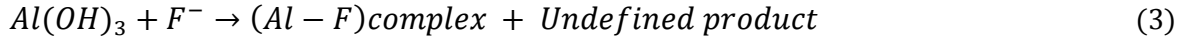
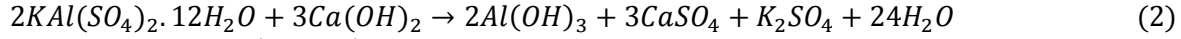
كذلك استخدم الباحثون (Bennajah et al, 2010) نموذج حركي ذو متغيرات معينة لتخمين كمية الفلوريد المزالة من مياه الشرب بواسطة تقنية (التخثير-التعويم) الكهربائي.

ودرس (Bhagat et al, 2011) تأثير استخدام حجر الكلس (Limestone) والدهون في ازالة الفلوريد من مياه الشرب، في حين قام الباحثون (Sim et al, 2011) بدراسة لتحديد تركيز الفلوريد في مياه الشرب وأوصوا بأن ارتفاع تركيز الفلوريد عن (1.5 ملغم /لتر) يمكن ان يكون ضار بالصحة.

المواد وطرائق العمل

تم في هذا البحث استخدام طريقة نالكوندا والتي تعد من الطرق المناسبة في ازالة الفلوريد، وذلك لعدة مزايا اهمها: ملائمتها في معالجة المياه الحاوية على الفلوريد، قابلية تحويل الحمأة المتولدة الى شب مرة ثانية والاستفادة منها لأغراض اخرى، بساطة التصميم وسهولة الصيانة والتشغيل، ازالة أنية لكل من اللون، العكورة، الروائح، البكتريا، والملوثات العضوية بالإضافة الى انخفاض الكلفة عند مقارنتها مع غيرها من الطرق (Feenstra, et al, 2007). تمثلت طريقة العمل بتحضير المياه المصنعة المؤلفة من محلول فلوريد الصوديوم الحاوي على ايون الفلوريد بتركيز اولي (10 ملغم/لتر) (Standard methods, 1985)، والتي استخدمت في تحضير سلسلة المحاليل القياسية الخاصة بالقياس وبالإضافة الى استخدامها في تحضير النماذج المصنعة المختلفة التركيز. تتضمن طريقة العمل اضافة كل من مادة الشب لبدء عملية التلييد وتكوين ايون الفلوريد من تحلل فلوريد الصوديوم (معادلة رقم 1)، بالإضافة الى مادة هيدروكسيد الكالسيوم لمعادلة حامضية الوسط وتكوين هيدروكسيد الالمنيوم ونواتج اخرى نتيجة تفاعلها مع الشب (معادلة رقم 2)،

(الحاصباني، 2006) (Pedresn, 1995) والتحرك وفق الآلية القياسية للتحريك ((1F + 5S(1hr)) والمتمثلة بمزج سريع (F) بسرعة (100 دورة/ دقيقة) لمدة دقيقة واحدة وبلها مزج بطيء (S) بسرعة (25 دورة/ دقيقة) لمدة خمسة دقائق، وتنتهي هذه الطريقة بعملية الترسيب وإزالة الفلوريد بعد مرور ساعة واحدة من خلال ترسيب مركب (Al-F) المعقد المتكون في عملية التخثير والناتج من اتحاد هيدروكسيد الألمنيوم مع أيون الفلوريد (معادلة رقم 3)، يبين الجدول رقم (1) المعاملات المستخدمة في البحث لتحديد الشروط المثلى لإزالة الفلوريد من المياه المفلورة:



الجدول رقم (1) : المراحل والمتغيرات التشغيلية المستخدمة خلال البحث

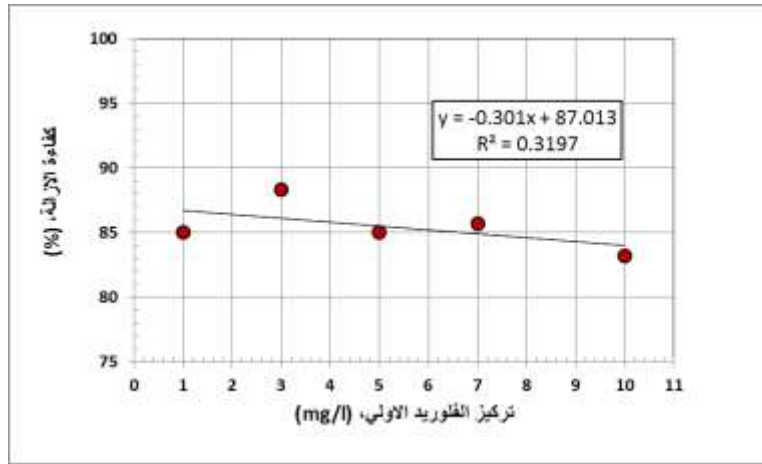
تركيز الفلوريد الأولي (ملغرام/لتر)					تركيز الفلوريد الأولي	المرحلة الأولى
10	7	5	3	1		
7					الرقم الهيدروجيني	
1.14					كمية الشب (ملغرام/لتر)	
مزج سريع (F) = 1 ، مزج بطيء (S) = 5					زمن المزج السريع + البطيء (دقيقة)	
1 (ساعة)					زمن الترسيب (ساعة)	
الرقم الهيدروجيني					قيمة الرقم الهيدروجيني	المرحلة الثانية
9	8	7	6	4	تركيز فلوريد أولي (غرام/لتر)	
3 و 10					كمية الشب (غرام/لتر)	
مزج سريع (F) = 1 ، مزج بطيء (S) = 5					زمن المزج السريع + البطيء (دقيقة)	
1 (ساعة)					زمن الترسيب (ساعة)	
كمية الشب (غرام/لتر)					جرعة الشب	المرحلة الثالثة
1.425	1.140	0.855	0.570	0.285	تركيز فلوريد أولي (ملغرام/لتر)	
3 و 10					الرقم الهيدروجيني	
مزج سريع (F) = 1 ، مزج بطيء (S) = 5					زمن المزج السريع + البطيء (دقيقة)	
1					زمن الترسيب (ساعة)	
زمن المزج (السريع + البطيء) (دقيقة)					زمن المزج	المرحلة الرابعة
مزج سريع فقط (F) = 3	مزج سريع فقط (F) = 5	مزج سريع (F) = 1 ، مزج بطيء (S) = 3	مزج سريع (F) = 1 ، مزج بطيء (S) = 5			
3 و 10					تركيز فلوريد أولي (ملغرام/لتر)	المرحلة الخامسة
7					الرقم الهيدروجيني	
1.14					كمية الشب (غرام/لتر)	
1					زمن الترسيب (ساعة)	
زمن الترسيب (ساعة)					زمن الترسيب	
94	72	22	2	1	0.5	
3 و 10					تركيز فلوريد أولي (ملغرام/لتر)	
7					الرقم الهيدروجيني	
1.14					كمية الشب (غرام/لتر)	
مزج سريع (F) = 1 ، مزج بطيء (S) = 5					زمن المزج السريع + البطيء (دقيقة)	
او مزج سريع فقط (F) = 3						

الأحمدي : تحديد الشروط المثلى لإزالة الفلوريد من مياه الشرب باستخدام طريقة نالكوندا (التخثير والترسيب)

استخدمت الطريقة اللونية والتي تسمى أيضا بطريقة الاليزارين البصرية (Alizarin visual method) في تحديد تركيز الفلوريد المتبقي في النماذج المأخوذة، والتي تعتمد على مقارنة لون النماذج مع تدرج الألوان للمحاليل القياسية المعلومة التركيز.

النتائج والمناقشة

1- تأثير تغير قيمة تركيز الفلوريد الاولي على نسبة نزع الفلوريد من المياه المفلورة:
يبين الشكل رقم (1) العلاقة ما بين تراكيز الفلوريد الاولية وبين كفاءة ازالته عند ثبوت المعاملات الاخرى.

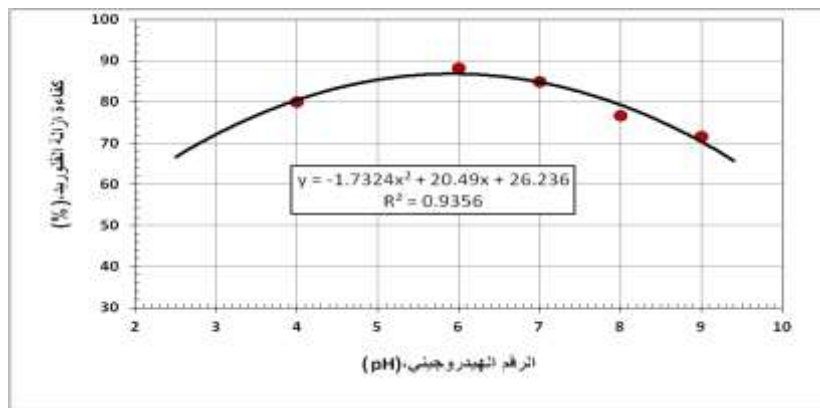


الشكل (1): تأثير تغير تركيز الفلوريد الاولي على كفاءة ازالته

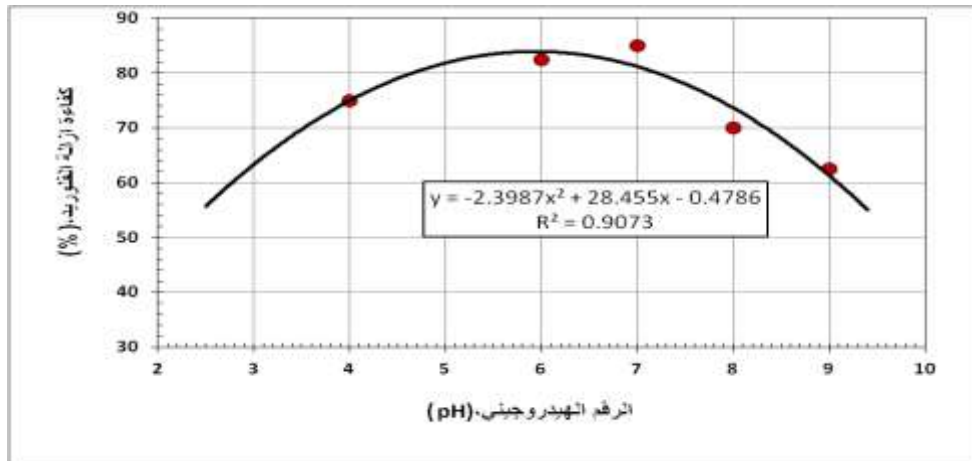
وكما يلاحظ من نتائج الشكل اعلاه فان كفاءة ازالة الفلوريد تكون متساوية تقريبا وبمعدل (85.45%) تقريبا بالرغم من تفاوت تراكيزه الاولية، كذلك يلاحظ ان العلاقة ما بين تغير تركيز الفلوريد الاولي وكفاءة الازالة تأخذ شكل معادلة من الدرجة الاولى ذات ميل قليل نسبيا (-0.301) مما يؤشر عدم تأثر كفاءة الازالة بتغير التراكيز الاولية للفلور، فعند التراكيز (1 و 5 ملغرام/ لتر) كانت كفاءة الازالة بمقدار (85%)، في حين اصبحت هذه الكفاءة مساوية لـ (83.2%) عند التركيز (10 ملغرام/ لتر)، وتتوافق هذه النتيجة مع ما بينه الباحثون (الحاصباني، 2006) و (Poulsen, 1995) و (Pedersen, 1995).

2- تأثير قيمة الرقم الهيدروجيني (حموضية وقاعدية الوسط) على كفاءة ازالة الفلوريد:

توضح الاشكال (2 و 3) العلاقة ما بين كفاءة ازالة الفلوريد وقيم الرقم الهيدروجيني للمياه المفلورة، وذلك ضمن مدى تغير رقم هيدروجيني للمياه المفلورة يتراوح من (4 - 9) وتراكيز فلوريد اولية (3 و 10 ملغرام/ لتر).



الشكل (2): تأثير الرقم الهيدروجيني على كفاءة ازالة الفلوريد عند تركيز فلوريد اولي (3 ملغرام/ لتر).

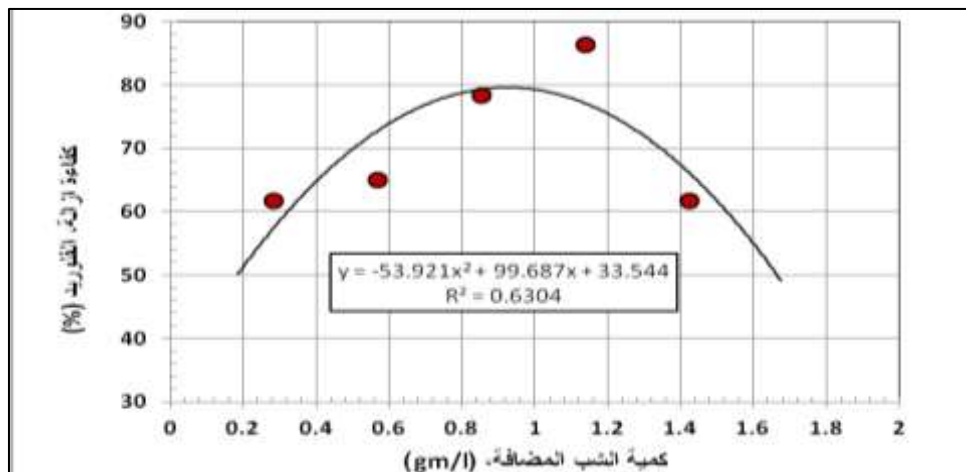


الشكل (3): تأثير الرقم الهيدروجيني على كفاءة ازالة الفلوريد عند تركيز فلوريد اولي (10 ملغرام/ لتر).

حيث يتبين من الاشكال ان اعلى كفاءة ازالة للفلوريد كانت عند رقم هيدروجيني مساوي لـ (6) تقريبا، اي عند الرقم الهيدروجيني للماء الطبيعي، في حين تنخفض في حالة نقصان الرقم الهيدروجيني الى (4) وعند زيادته الى (9) تقريبا، والسبب في ذلك يعود الى ان امتزاز الفلوريد مرتبط بتشكيل هيدروكسيد الالمنيوم الامفوتيري $(Al(OH)_3)$ والذي تكون كفاءة ترسيبه مرتفعة في الاوساط المعتدلة، ويزداد انحلاله بالاوساط الشديدة الحامضية والقاعدية، حيث ان جزءا من الشب يتحد مع ايونات الفلوريد الزائدة مكونة مركب فلوريد الالمنيوم (AlF_3) وهو شحيح الذوبان في الماء، ومن ثم يترسب بواسطة هيدروكسيد الالمنيوم $(Al(OH)_3)$. وتتوافق هذه النتيجة مع ما بينه كل من الباحثون (الحصباي، 2006)، (Neeri, 2000) و (Azbar, 2000).

3- تأثير تغاير كمية الشب المضافة في عملية التليد على نسبة نزع الفلوريد:

يبين الشكل (4) العلاقة ما بين كفاءة ازالة الفلوريد وكمية الشب عند تركيز فلوريد اولي هو (3 ملغرام/ لتر). وكما يلاحظ من الشكل فان اعلى كفاءة ازالة للفلوريد كانت (86%) عند كمية شب مضافة مقدارها (1.14 غرام/لتر) وتتوافق هذه القيمة مع ما اوصى به كل من الباحثين (الحصباي، 2006) و (Pedresn, 1995). ويعزى السبب في ذلك الى الحالة المعتدلة للرقم الهيدروجيني التي يصلها المحلول نتيجة اضافة هذه الكمية وتفاعلها مع هيدروكسيد الكالسيوم ومعادلة الحامضية للوسط وبالمقارنة مع الكميات الاخرى، مما يؤدي الى زيادة في كمية هيدروكسيد الالمنيوم الامفوتيري المتكون والمسؤول عن ترسيب مركب فلوريد الالمنيوم وبالتالي ازالة الفلوريد، في حين تنخفض الكفاءة عن ذلك عند نقصان كمية الشب المضافة وزيادتها عن (1.14 غرام/لتر)، والتي لا يتعادل فيها الوسط القاعدي او الحامضي بشكل كاف، مما يقود الى انخفاض في كمية هيدروكسيد الالمنيوم الامفوتيري المسؤول عن امتزاز الفلوريد، وبالتالي كفاءة ازالة للفلوريد منخفضة، وتتوافق هذه النتائج مع ما بينه كل من (Azbar, 2000)، (Neeri, 2000) و (الحصباي، 2006).



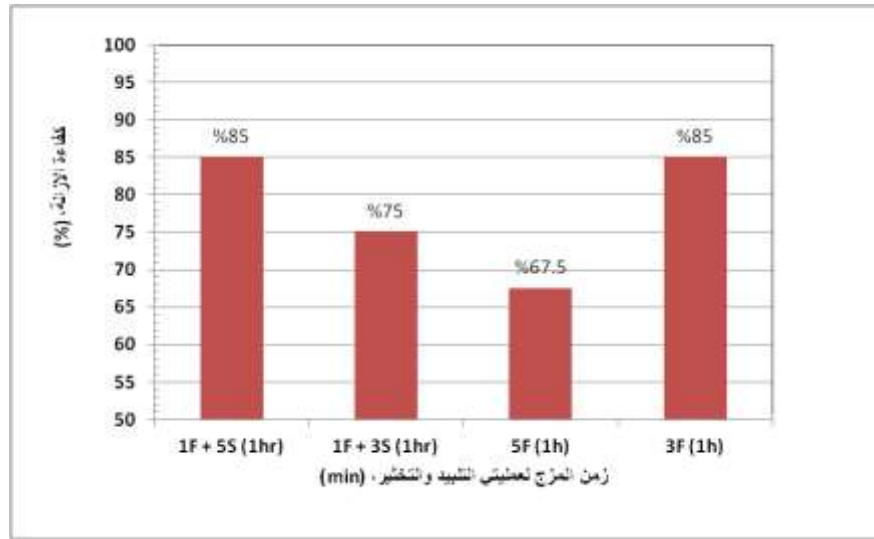
الشكل (4): تغير كمية الشب المضافة على كفاءة ازالة الفلوريد عند تركيز فلوريد اولي (3 ملغرام/ لتر).

الأحمدي : تحديد الشروط المثلى لإزالة الفلوريد من مياه الشرب باستخدام طريقة نالكوندا (التخثير والترسيب)

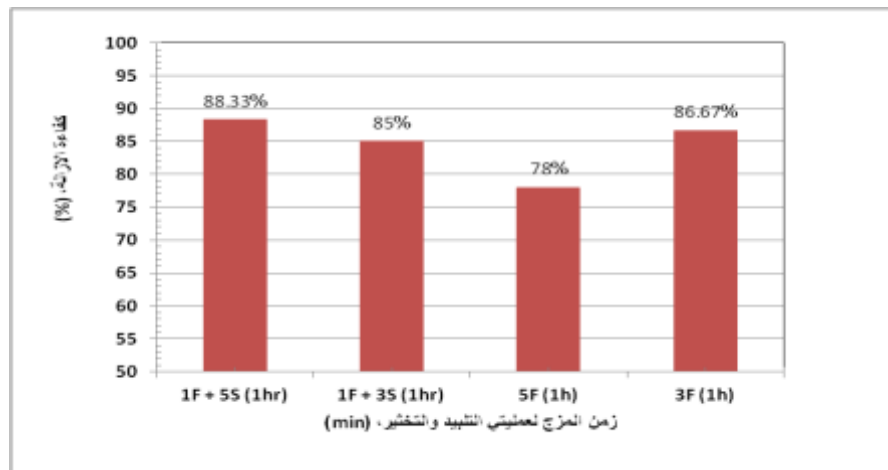
4- تحديد الزمن المثالي لعمليتي التلييد والتخثير للحصول على اعلى كفاءة ازالة للفلوريد:

تبين الاشكال (5 و 6) نتائج تغير زمن المزج لعمليتي التلييد والتخثير مع كفاءة الازالة عند تراكيز فلوريد اولية هي (3 و 10 ملغم/ لتر). وكما يلاحظ من النتائج في الشكل رقم (5) فان اعلى كفاءة ازالة للفلوريد كانت (88%) تقريبا عند زمن مزج الالية القياسية للتحريك والمتمثل بالمزج السريع لعملية التلييد ولمدة (1 دقيقة)، ومن ثم المزج البطيء لمدة (5 دقائق) لعملية التخثير، كما واطهرت النتائج ايضا انه يمكن اجراء عملية التلييد فقط والمزج ولمدة (3 دقيقة) اي وفق الالية (3F (1h)) بدلا من زمن المزج لعمليتي التلييد والتخثير للالية القياسية للتحريك، حيث بلغت كفاءة الازالة للفلوريد عندها تقريبا (87%).

كذلك يلاحظ من الشكل رقم (6) وعند تركيز فلوريد أولي (10 ملغم/ لتر) فان كفاءة الازالة مماثلة للكفاءة عند تركيز الفلوريد الاولي (3 ملغم/ لتر)، بالاضافة الى امكانية المزج بدل زمن عمليتي التلييد والتخثير للالية القياسية للتحريك وفق زمن المزج للالية (3F (1h))، ويتوافق هذا مع ما بينه (الحاصباني، 2006).



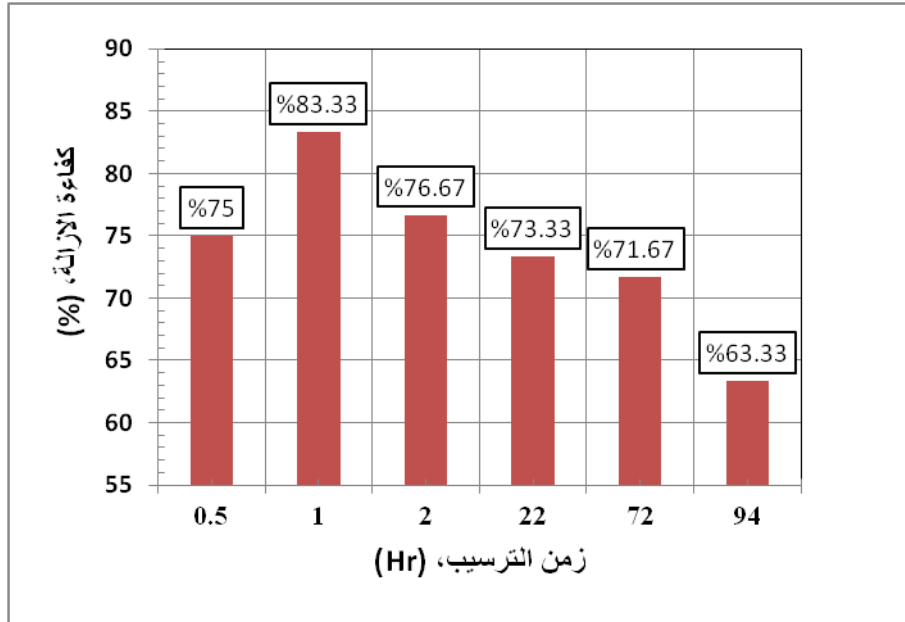
الشكل رقم (5): العلاقة بين كفاءة ازالة الفلوريد وزمن المزج لعمليتي التلييد والتخثير عند تركيز فلوريد اولي (3 ملغم/ لتر).



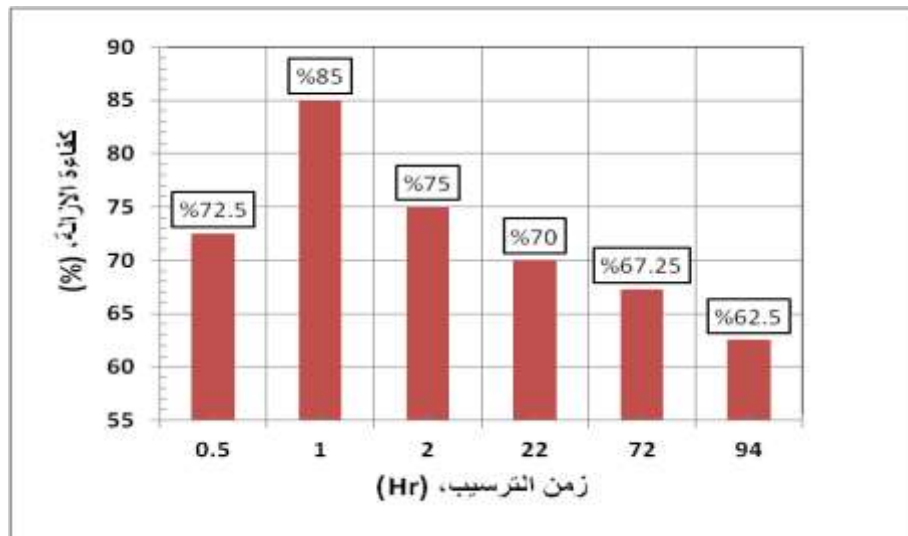
الشكل رقم (6): العلاقة بين كفاءة ازالة الفلوريد وزمن المزج لعمليتي التلييد والتخثير عند تركيز فلوريد اولي (10 ملغم/ لتر).

5- تعيين زمن الترسيب المثالي لعملية الترسيب لكفاءة مثالية لازالة فلوريد:

توضح الأشكال (7 و 8) تأثير تغير زمن الترسيب على كفاءة ازالة الفلوريد عند المعاملات المثلى والمتمثلة بالرقم الهيدروجيني، كمية الشب المضافة، وزمن التلييد والتخثير المثالي لتركيز فلوريد اولي (3 و 10 ملغم/ لتر) وعلى التوالي.



الشكل (7): تأثير زمن الترسيب على كفاءة ازالة الفلوريد عند تركيز فلوريد اولي (3 ملغم/ لتر).



الشكل (8): تأثير زمن الترسيب على كفاءة ازالة الفلوريد عند تركيز فلوريد اولي (10 ملغم/ لتر).

وكما يلاحظ من نتائج الشكل (7) فان زمن الترسيب المناسب هو ساعة واحدة، وهذا الزمن مطابق لزمن الترسيب في الالية القياسية للتحريك، في حين يلاحظ نفس الكفاءة لزمن الترسيب في نتائج الشكل (8) عند تركيز اولي (10 ملغم/لتر)، ويعزى السبب في ذلك الى ان الارتباط ما بين ايون الفلوريد وهيدروكسيد الالمنيوم ($Al(OH)_3$) عند تكوين مركب (Al-F) المعقد ناتج من عملية امتزاز كيميائي لمدة زمنية تبلغ (1) ساعة من زمن الترسيب، في حين يصبح هذا الارتباط ضعيف جدا وبشكل تدريجي بعد ذلك الزمن اي بعد مرور ساعة واحدة من زمن الترسيب، فينتج عن ذلك تحرر ايون الفلوريد مرة ثانية عن هيدروكسيد الالمنيوم وبالتالي زيادة تركيزه ومن ثم انخفاض كفاءة ازالته، ويتوافق هذا تماما مع ما بينه (Tembhurkar; 2006)، (الحصاني، 2006)، (Cengiz, 2000) و (Azbar, 2000).

الاستنتاجات:

1. وجود تأثير لقيمة التركيز الاولي للفلوريد على كفاءة الازالة ولكنه قليل، حيث تبقى كفاءة الازالة تقريبا نفسها عند تراكيز فلوريد اولية مختلفة.
2. للرقم الهيدروجيني تأثير على كفاءة الازالة، حيث وصلت كفاءة الازالة (85%) عند قيمة رقم هيدروجيني مساوي لـ (6) تقريبا، بالمقابل تنخفض الكفاءة في الاوساط الحامضية والقاعدية، بسبب زيادة انحلال هيدروكسيد الالمنيوم مؤديا الى عدم ترسيب مركب فلوريد الالمنيوم.
3. تتأثر كفاءة ازالة الفلوريد بكمية الشب المضافة، فقد تم تسجيل اعلى كفاءة ازالة (86.33 %) عند استخدام الشب بتركيز (1.14 غرام/ لتر)، وذلك نتيجة الى الحالة المعتدلة لرقم الهيدروجيني التي يصلها المحلول عند اضافة هذه الكمية من الشب.
4. تتحقق اعلى كفاءة ازالة عند المزج لمدة مساوية لكل من عمليتي التليد والتخثير في الالية القياسية للتحريك، كذلك بالإمكان تحقيق الكفاءة نفسها عند زيادة زمن المزج السريع الى (3 دقيقة) ومن ثم الانتقال الى عملية الترسيب مباشرة، بدلا من مزج السريع لمدة (1 دقيقة) يليه المزج البطيء لمدة (5 دقيقة) ومن ثم الانتقال الى عملية الترسيب.
5. وقت الترسيب له تأثير على كفاءة الازالة، حيث وجد ان الزمن (1 ساعة) يمثل وقت الترسيب المثالي لتحقيق كفاءة ازالة مثالية تتراوح بين (83.33 و 85 %) عند تركيز فلوريد اولي (3 و 10 ملغرام/ لتر) على التوالي.

المصادر

أ- المصادر العربية:

- 1- الحصباني؛ مها، الجبة؛ ملك، (1996)، "دراسة طرائق نزع الفلوريد من مياه الشرب"، (22)، العدد الاول، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية.
- 2- العناز؛ ليث عبد العليم، عباوي؛ سعاد عبد، (2007)، "تقييم تراكيز الفلور في مياه الشرب لمدينة الموصل"، مجلة هندسة الرافدين، جامعة الموصل- كلية الهندسة، المجلد (15) العدد الاول.
- 3- فاجن؛ دان، (2008)، "اعادة النظر حول الفلوريد"، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، مجلة العلوم، العدد:24.
- 4- الفضل؛ خالد، (2009)، "ازالة الفلوريد"، مجلة المياه، الجزء الثاني، مدير خدمات البيئة و المختبرات، وشنه لمعدات المياه (www.almyah.net).

ب- المصادر الاجنبية:

5. APHA, AWWA and WPCF, (1985), "standard methods for the examination of water and wastewater", American public health association, Washington, D. C., 16th ed.
6. Azbar N. and Turkman A., (2000), "Defluoridation in drinking waters", water science and technology, No.(42), pp. 403-407.
7. Bhagat S. L.; (2011), "Fluoride Removal From Water Using Edible Oil And Crushed Limestone" Science Reviews & Chemical Communications, vol. (1), No. (1), pp. 49-62.
8. Bennajah M. , Darmane Y. , Touhami M. E. and Maalmi M., (2010), "A variable order kinetic model to predict defluoridation of drinking water by electrocoagulation electroflotation", International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. (2), No. (12), 2010, pp. 42-52.
9. Bishop, P. L. and Sansoucy, G., (1987), "AWWA.", (70), pp. 554.
10. Bulusu K. R., Sundaresan B. B., Pathak B. N., Nawlakhe W. G., Kulkarni D. N. and Thergaonkar V. P., (1979), "Fluorides in water, Defluoridation Methods and their Limitations", Vol. (60), pp. 1-25.
11. Cengiz M., Kir E., Kir I. and Fen S. D. ü. (1998), "Bilimleri Enstitü Dergisi", No.(3), p. 69.
12. Chidambaram S., Ramanathan A. L., Vasudevan S., (2003), " Fluoride removal studies in water using natural materials", Water SA, Vol. (29), No. (3) , pp. 339-344.
13. Feenstra I. ,vasak I., and Griffioen J., (2007), "fluoride in ground water: over view and evaluation of removal methods".

14. Gupta S. K. and Deshpande R. D., (1998), "Depleting Groundwater levels and Increasing fluoride concentration in villages of Mehsana District, Gujarat, India: cost to economy and Health", Project Report.
15. Hu C.Y., Lo S. L., Kuan W. H. and Lee Y. D. , (2008), "Treatment of high fluoride-content wastewater by continuous electrocoagulation – flotation system with bipolar aluminum electrodes" Separation and Purification Technology, vol. (60), pp.1-5.
16. Ingallinella A. M., Fernández R. G. and Stecca L. M., (2000), "Arsenic and fluorine removal from ground water by coagulation with polyaluminum chloride and double filtration" cis@fceia.unr.edu.ar.
17. Jiao Z., Zhang Y., Yang M. and Huaang X. M., (2002), "Removal Fluoride using rare earth based inorganic adsorbent", vol. (21), No. (4), pp. 365-370.
18. Long R. Q. and Yang R. T., (2001), "Carbon Nanotubes as Superior Sorbent for Dioxin Removal", American Chemical Society, No. (123), pp. 2058.
19. López Valdivieso A, Reyes Bahena J. L., Song S, and Herrera Urbina R., (2006), " Temperature effect on the zeta potential and fluoride adsorption at the alpha-Al₂O₃/aqueous solution interface", J. Colloid Interface Sci., vol. (298), No. (1), pp.1-5.
20. Müller K., Johnson A., Meierhofer R. and Wegelin M., (2006), "Fluoride Removal in Developing Countries: State-of-the Art of Defluoridation Techniques in East Africa", Sandec News, No. (7), pp. 12-13.
21. Nawlakhe W. G., Bulusu K. R., Ppathak B. N. and Paramasivam R., (1996), "Settling Characteristic of Flocculent Suspension in Defluoridation of Water by Nalgonda Technique", Water Chemistry Division, NEERI, Nagpur, India, No. (30), p. 103.
22. Neeri D., (2000), "Defluoridation technology mission on drinking water in villages and related water management", National Environment Engineering Research institute Nagpur India, No.(77), p. 20.
23. Pedersen A., (1995), "Optimization and pilot implementation of the Nalgonda technique on household level for use in Tanzania", Technical university of Denmark, No.(18), pp. 21-33.
24. Poulsen B. K. (1995), "Optimization of the Nalgonda Technique Adding Different Ghemicals", Technical. University of Denmark, No.(41), p. 34.
25. Rao Nagendra C.R., (2003) "Fluoride And Environment- A Review", Proceedings of the Third International Conference on Environment and Health, University of Madras and Faculty of Environmental Studies, York University, pp. 386 – 399.
26. Runaska W., Kawane M. and Kajima T., (1970), "Removal of Fluorides Ion by Anion Exchange Resin", Chemical Abstracts, No.(45), p. 5033.
27. Sim J. M. and Leong K. M., (2011), "Feasibility study on fluoride removal in drinking water in Mehsana, India", International NGO Journal, Vol. (6), No. (10), pp. 224-228.
28. Stewart T., (2009), "Removal of Fluoride from Drinking Water: Analysis of Alumina Based Sorption", Institute of Biogeochemistry and Pollutant Dynamics, Department of Environmental Sciences.
29. Tembhurkar A. R. and Dongre S., (2006), "studies on fluoride removal using adsorption process", Journal of Environ. science & Eng., vol. (48), No. (3), pp.151-156.
30. World Health Organisation, (2004), "Guideline for drinking water supply", Geneva, Switzerland, 3rd Edition.