مقایسه کارآیی عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی آلومینیم کلراید در حذف کدورت آب

بیژن بینا [۱] عباس شاهسونی [۲]
غلامرضا اصغری [۳] اکبر حسن‌زاده [۴]

(دریافت ۸۵/۶/۱۵ پذیرش ۸۵/۱۲/۱۷)

چکیده

فرآیندهای انعقاد و لخته‌سازی از مهم‌ترین فرآیندها در تصفیه‌خانه‌های آب می‌باشند. در ایران برای فرآیند انعقاد از نمکهای فلزی سولفات آلومینیم و کلرید فریک استفاده می‌گردد. در طی سالهای اخیر از ماده منعقد کننده پلی‌آلومینیم کلراید در تصفیه‌خانهٔ آب بابا شیخعلی استفاده می‌گردد. استفاده از منعقد کننده‌های سنتزی از لحاظ جنبه‌های بهداشتی و هزینه‌های اقتصادی در کشورهای در حال توسعه مقرون به صرفه نمی‌باشد. هدف از این مطالعه مقایسه کارآیی دو منعقدکننده پلی آلومینیم کلراید و عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* به عنوان مهم‌ترین منعقد کننده طبیعی شناخته شده، می‌باشد. *مورینگا اولیفرا* در مناطق جنوبی کشور ایران به گز روغنی معروف است. یک گونه از این درخت به نام *مورینگا پرجنریا* (خار عروس) بومی کشور ایران است. این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی بر روی آب مقطر حاوی کدورت مصنوعی کائولین انجام گردید. آزمایش‌ها در چهار محدوده کدورت ۱۰، ۵۰، ۵۰۰، و NTU ۱۰۰۰ و چهار محدوده pH، ۵ ، ۶ ، ۷ و ۸ با استفاده از دستگاه جار انجام گردید. عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* در غلظت بهینه ۳۰-۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بهینه برابر با ۸-۶ به ترتیب قادر به حذف ۵۵، ۸۹، ۹۷ و ۹۸ درصد کدورتهای فوق می‌باشد. پلی آلومینیم کلراید در غلظت بهینه ۳۰-۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بهینه برابر با ۸ قادر به حذف ۸۹ ، ۹۵ ، ۹۸ و ۹۹ درصد از کدورتهای فوق می‌باشد. عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* تأثیر اندکی بر pH دارد و در حذف کدورتهای بالا نسبت به کدورتهای پایین کارآیی بیشتری دارد. کارآیی پلی آلومینیم با کاهشpH کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: کدورت، *مورینگا اولیفرا*، پلی آلومینیم کلراید، انعقاد، لخته‌سازی.

Comparison of Water Turbidity Removal Efficiencies of *Moringa oleifera* Seed Extract and Poly-aluminum Chloride

Bijan Bina [1] *Abbas Shasavani* [2]
Gholamreza Asghare [3] *Akbar Hasanzade* [4]

(Received Sep. 6, 2006 Accepted Mar. 8, 2007)

Abstract

Coagulation and flocculation are essential processes in water treatment plants. Metal salts such as aluminum sulphate and ferric chloride are commonly used in the coagulation process in Iran. Poly-aluminum chloride (PAC) has been used recently in Baba-Sheykhali Water Treatment Plant in Isfahan. Synthetic coagulants have health problems associated with them and are additionally uneconomical for use in developing countries. In this study, PAC and *Moringa oleifera* seed extract were compared for their efficiency as coagulants. *Moringa oleifera*, locally called "*oil gaz*" in Iran, grows in southern parts of Iran. One variety of this tree, *Moringa progeria*, is indigenous to Iran. For the purposes of this study, lab experiments were performed using distilled water containing synthetic caoline. Four turbidity levels of 10, 50, 500, and1000 (NTU) and four pH levels of 5,

۱- استاد دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
۲- دانشجوی دکترای بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ahsavani@hlth.mui.ac.ir
۳- دانشیار گروه فارماکوگنوزی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
۴- عضو هیئت علمی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان

1- Professor of Environmental Health, Isfahan University of Medical Sciences
2- PhD Student of Environmental Health, Tehran University of Medical Sciences, Shahsavani@hlth.mui.ac.ir
3- Assoc. Prof. of Pharmacology, Isfahan University of Medical Sciences
4- Faculty Member, Department of Environmental Health, Isfahan University of Medical Sciences

6, 7, and 8 were used for the jar test. It was found that *oleifera* seed extract was capable of removing 98, 97, 89, and 55% of the turbidity in the four experiments at optimum concentration levels of 10-30 (mg/l) for all four pH levels of 6 to 8, respectively. PAC, in contrast, removed 99, 98, 95, and 89% of the turbidity at optimum concentrations of 20-30 (mg/l) for a pH level of 8. The results indicate that *Moringa oleifera* seed extract has little effect on pH level and enjoys higher removal efficiency for higher turbidity levels. Reducing pH level decreased PAC turbidity removal efficiency.

Keywords: Turbidity, *Moringa oleifera*, PAC, Coagulation, Flocculation.

۱- مقدمه

حدود یک میلیارد نفر از مردم دنیا فاقد آب آشامیدنی سالم هستند. سالانه بیش از ۶ میلیون نفر (حدود ۲ میلیون کودک) در اثر ابتلای به اسهال ناشی از آب آلوده می‌میرند. در این میان کشورهای در حال توسعه هزینه گزافی را جهت واردات مواد شیمیایی نظیر پلی آلومینیم کلراید و آلوم پرداخت می‌نمایند[۱]. به همین دلیل این کشورها به روشهای کم هزینه که احتیاج به نگهداری و مهارت کمی داشته باشد، نیاز مبرم دارند. در بیشتر تصفیه‌خانه‌های آب ایران از آلوم و کلرید فریک استفاده می‌گردد. هم اکنون در تصفیه خانه آب اصفهان از پلی آلومینیم کلراید استفاده می گردد. استفاد از منعقد کننده‌های سنتزی معایبی دارند که در ادامه به آنها اشاره می‌شود. پلی آلومینیم کلراید و آلوم ناخالصیهایی مانند اپی کلروئیدین که خاصیت سرطانزایی دارند را به آب اضافه می نمایند [۲و۳]. آلومینیم عامل مهم مسموم کننده در آنسفالوپاتی دیالیزی شناخته شده است. آلومینیم احتمالاً یکی از عوامل دخیل در بیماری آلزایمر می‌باشد[۲، ۳ و ۴]. آلوم در اثر واکنش با قلیائیت آب باعث کاهش pH آب می‌گردد و کارآیی آن در آبهای سرد کاهش می‌یابد[۵]. در کشور انگلستان در چندین تصفیه‌خانه آب از آلژینات سدیم (نوعی پلیمر طبیعی که از جلبکهای قهوه‌ای تهیه می‌شود) به مقدار ۰/۴ تا ۰/۵ میلی گرم بر لیتر به عنوان کمک منعقد کننده همراه با آلوم استفاده می‌کنند[۶]. سابقه تاریخی استفاده از بخشهای مختلف مواد گیاهی از قبیل پوست، ریشه، ساقه و دانه جهت زلال‌سازی آب، مربوط به مندرجات کتابی به زبان سانسکریت است که از ۴۰۰۰ سال پیش در کشور هندوستان از دانه‌های درخت نیرمالی [۱] برای زلال‌سازی آب کدر رودخانه‌ها استفاده می‌کردند. در کشور پرو نیز به طور سنتی آب را با شیره لزج برگهای نوعی کاکتوس [۲] زلال می‌کردند [۶]. کاکتوس از جمله مواد طبیعی است که جهت حذف کدورت در مقیاس آزمایشگاهی از آن استفاده شده است. این گیاه ۹۵ درصد کدورت NTU ۱۵۰ را در غلظت بهینه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر حذف می‌نماید [۷]. مؤسسه ملی تحقیقات مهندسی محیط زیست [۳] کشور هند مطالعاتی بر روی دانه گونه‌های مختلف زیر به منظور تعیین کارآیی آنها به عنوان کمک منعقد کننده انجام داده است که عبارت‌اند از : درخت نیرمالی [۴]، درخت تمر هندی [۵]، گیاه گوار [۶]، گیاه ختمی چینی [۷]، شنبلیله [۸] و عدس [۹] که این امر نشان دهنده کارآیی این مواد جهت حذف کدورت می‌باشد [۶]. بامیه [۱۰]، برنج [۱۱]، کیتوسان [۱۲] و... از جمله سایر مواد طبیعی هستند که جهت حذف کدورت استفاده شده‌اند[۱ و ۸].

در این میان *مورینگا اولیفرا* که در جنوب ایران به نام گز روغنی مشهور است، به عنوان مهم‌ترین منعقد کننده طبیعی دنیا شناخته شده است[۹]. *مورینگا اولیفرا* یک درخت گرمسیری متعلق به خانواده مورینگاسه [۱۳] است، که شامل ۱۴ گونه می‌باشد [۱ و ۱۰]. در اطراف رود نیل به خصوص کشور سودان از دانه‌های این درخت جهت کاهش کدورت آب استفاده می‌گردد. درخت *مورینگا اولیفرا* در اطراف رود نیل به شجره الرواق یا درخت زلال ساز مشهور می‌باشد[۱۱]. گونه اولیفرا بومی هند شمالی و معروف‌ترین گونه در بین همه گونه‌هاست. این درخت که نسبت به خشکی مقاوم است هم در نواحی خشک و نیمه خشک و هم در نواحی مرطوب رشد می‌کند و به درخت معجزه [۱۴] معروف است [۱]. در بعضی از بخشهای هند و آفریقا، غلافها (نیام)، برگها و گلهای این درخت به عنوان یک منبع غذایی به کار می‌رود [۵ و ۱۲]. برگهای این درخت، سرشار از ویتامین‌ها، مواد معدنی و پروتئین‌ها می‌باشد [۵ و ۱۲]. محتوای کلسیم و آهن دانه‌های درخت مورینگا بسیار بالا و فسفر آن پایین است و در فیلیپین جهت کم خونی تجویز می‌گردد [۵ و ۱۲]. روغن استخراج شده از دانه‌های این درخت دارای ۷۳ درصد اولئیک اسید است و جهت پخت و پز و روغن‌کاری استفاده می‌گردد [۱۲]. *مورینگا اولیفرا* به سرعت رشد کرده و ارتفاع آن در یکسال به بیش از ۴ متر می‌رسد. ارتفاع نهایی این درخت ۶ تا ۱۵

[1] Nirmali
[2] Cactus
[3] National Environmental Engineering

[4] Strychnos potatorum
[5] Tamerindus Indica
[6] Cyamopsis
[7] *Hibiscus sabdariffa*
[8] *Trigonella foenum*
[9] *Lens esculenta*
[10] Okura
[11] Rice
[12] Chitosan
[13] Moringaceae
[14] Miracle Tree

متر است [۱، ۱۲و۱۳]. یک گونه از این درخت به نام *مورینگا پرجنریا* (خار عروس) بومی کشور ایران است و در نواحی بیابانی استان سیستان و بلوچستان رشد می‌نماید [۹]. مزایای استفاده از *مورینگا اولیفرا* در تصفیه آب در ادامه آورده شده است. یک عامل ضد میکروبی (Rhamnosyloxy Benzyl-isothiocynate) در دانه‌های این درخت شناخته شده است که توانایی حذف ۱ تا ۴ لگاریتم کلیفرم را در آب دارد [۱ و ۱۴]. عصاره استخراج شده از دانه‌های *مورینگا اولیفرا* رشد کلیفرم، *سودوموناس آئروژینوزا*، *استافیلوکوک آئروس*، باکتریوفاژها و ویروس تبخال را مهار می‌نماید که باعث کاهش نیاز به گندزدایی آب می‌گردد [۱۵ و ۱۶]. طبق مطالعات سانی در سال ۱۹۹۴ عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* همزمان با ۹۹ درصد کاهش کدورت، ۶۰ تا ۷۰ درصد سختی آب را نیز حذف می‌نماید [۱۴]. مطالعات ناراسیا در سال ۱۹۹۸ نشان می‌دهد که عامل فعال انعقادی در عصاره دانه *مورینگا اولیفرا*، پروتئین کاتیونی دایمری با وزن ملکولی ۱۳ کیلو دالتون و نقطه ایزو الکتریک ۱۰-۱۱ می‌باشد [۵،۴ و ۱۰]. مطالعات موییبی[1] در در سال ۲۰۰۳ نشان داد که کارآیی عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* در حذف کدورت برابر با کارآیی آلوم می‌باشد [۳]. از پوسته دانه *مورینگا اولیفرا* جهت تولید کربن فعال استفاده شده است و طبق مطالعات میشل[2] در سال ۱۹۹۶ ظرفیت جذب فنلی کربن پیرولیز شده حاصل از پوسته *مورینگا اولیفرا* برابر با کربن تجاری است [۱۷]. حجم لجن تولید شده به وسیله عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* ۵ برابر کمتر از حجم لجن تولید شده به وسیله آلوم است [۱، ۵ و ۱۰]. لجن بیولوژیکی حاصل از *مورینگا اولیفرا* می‌تواند به عنوان کود استفاده گردد و باعث کاهش قابل توجهی در هزینه‌های دفن گردد [۳]. عصاره استخراج شده *مورینگا اولیفرا* بر روی pH و هدایت الکتریکی و قلیائیت آب پس از تصفیه تأثیر نمی‌گذارد [۱ و ۱۰]. مطالعات آنسلمه[3] در سال ۱۹۹۸ نشان می‌دهد که نمک کلرید سدیم، حلالیت اجزای فعال انعقادی در دانه‌های *مورینگا اولیفرا* را افزایش می‌دهد [۱۰]. مطالعات تسودا[4] در سال ۱۹۹۹ نشان می‌دهد که مؤثرترین نمک جهت استخراج عامل فعال انعقادی در دانه‌های *مورینگا اولیفرا* نمک کلرید سدیم است. کارآیی عصاره استخراج شده توسط کلرید سدیم ۷/۴ برابر بیشتر از عصاره استخراج شده به وسیله آب مقطر در حذف کدورت می‌باشد [۴]. طبق مطالعات اُکادا[5] در سال ۲۰۰۱ عامل فعال پروتئینی استخراج شده از دانه‌های *مورینگا اولیفرا* به وسیله دیالیز و تعویض یونی ۳۴ برابر مؤثرتر از عصاره استخراج شده توسط آب مقطر است و این ماده فعال پروتئینی دارای وزن ملکولی ۳۰۰۰ دالتون است و در غلظت ۰/۶ میلی‌گرم بر لیتر ۹۹/۹ درصد کدورت NTU ۱۰را حذف می‌نماید. همچنین این ماده پروتئینی باعث افزایش کربن آلی محلول آب نمی‌گردد [۱۸]. پلی‌آلومینیم کلراید یا آلومینیم کلراید هیدراته از لحاظ ترکیبی یک ماکرو ملکول معدنی است که منومرهای آن یک کمپلکس دو هسته‌ای از آلومینیم می‌باشد [۱۹]. این ترکیب در غلظتهای پایین در محیط آبی تشکیل کمپلکس چند هسته‌ای داده و همین خاصیت باعث توانایی منحصر به فرد این منعقد کننده در فرآیند انعقاد می‌گردد. این ماده دارای ساختار پلیمری به فرمول عمومی $(AL_3(OH)_{6-X}\ CL_X.YH_20)_Z$ می‌باشد که طی واکنش هیدروکسید آلومینیم با اسید کلریدریک مطابق واکنش زیر تولید می‌شود

$$2AL(OH)_3 + nHCL \longrightarrow Al_2(OH)_n\ Cl_{6-n} + H_2O$$

مقدار Z بین ۱۲ تا ۱۸ متغیر است. ولی برای فرمولاسیون مفید در ۹۵درصد ترکیبات Z برابر با ۱۵ می باشد. در حالت ایده آل میزان $A1_2O_3$ برابر با ۳۰ درصد می‌باشد[۲۰]. در ملکول‌های پلی‌آلومینیم کلراید، آلومینیم به صورت پلیمری شامل عوامل هیدروکسید و کلراید و در بعضی انواع آن سولفات و نمکهای معدنی مانند، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلراید و غیره است. برخلاف سولفات آلومینیم که بخش کوچکی از آن به صورت منومر ظاهر می‌شود، در ملکول پلی آلومینیم کلراید بخش عمده آلومینیم به شکل پلیمرهای بزرگ آلیگومر از کاتیون‌های Al_{13} با یون‌های ۷+ به صورت $[Al_{13}(OH)_{24}O_4(H_2O)]^{+7}$ ظاهر می‌شود [۲۱]. pH محلول یک درصد پلی‌آلومینیم کلراید ۳/۵ تا ۵ می‌باشد. پلی‌آلومینیم کلراید هم به صورت مایع و هم به شکل جامد با خلوص ۱۸ تا ۳۰ درصد تولید می‌شود [۲۲]. پلی آلومینیم کلراید مورد استفاده در این تحقیق از نوع جامد و نمونه مورد استفاده در تصفیه‌خانه آب باباشیخعلی اصفهان بود که ساخت کشور چین می‌باشد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- آماده سازی نمونه‌ها

نگهداری مقدار کافی آب حاوی کدورت طبیعی در آزمایشگاه به دلیل ناپایدار بودن عملی نیست، به این ترتیب به منظور حذف فاکتورهای مداخله کننده، از آب مقطر استفاده گردید. آزمایش‌ها در آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان انجام شد. ابتدا به صورت تصادفی از شیر آب

[1] Muyibi
[2] Michel
[3] Anselme
[4] Tesuji
[5] Okuda

شکل ۱- دانه‌های *مورینگا اولیفرا* با پوسته و غلاف

شکل ۲- دانه‌های *مورینگا اولیفرا* بدون پوسته و غلاف

موجود در آزمایشگاه نمونه‌ای به حجم ۶ لیتر برداشت گردید و سپس از سوسپانسیون کائولین سبک مطابق روش اسمیت و کوهن جهت ایجاد کدورت در نمونه‌ها استفاده شد [۲]. دانه‌های مورد استفاده در این تحقیق از مرکز تحقیقات کشاورزی استان بوشهر تهیه گردید و پس از تأیید گونه این درخت توسط کارشناسان آن مرکز، گونه دانه‌های این درخت توسط اساتید گروه فارماکوگنوزی دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان مورد تأیید قرار گرفت. در شکلهای ۱و ۲، تصویر دانه های این درخت آورده شده است.

۲-۲- سوسپانسیون کائولین

در این تحقیق با استفاده از کائولین سبک ساخت شرکت فلوکا[1] و با فرمول شیمیایی $H_2Al_2Si_2O_8,8H_2O$ (سیلیکاژل آلومینیم هیدراته) که به صورت پودر سفید رنگ وجود دارد، در نمونه آب گرفته شده از شیرهای آب موجود در آزمایشگاه، کدورت مصنوعی ایجاد گردید. به این ترتیب که ۱۰ گرم از پودر کائولین وزن شده را به مدت ۳ ساعت در یک آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک کرده و سپس از آون خارج نموده و به مدت نیم ساعت در دسیکاتور قرار داده و حدود ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به پودر کائولین اضافه گردید. سوسپانسیون را به مدت ۲۴ ساعت در حرارت اتاق قرار داده و بعد از آن حجم مخلوط را به ۱/۵ لیتر رسانیده و توسط همزن برقی به مدت ۲۰ دقیقه کاملاً مخلوط گردید. سپس سوسپانسیون را به مدت ۴ ساعت در حالت سکون قرار داده تا ذرات درشت‌تر ته‌نشین گردند. یک لیتر از مایع رویی به یک ارلن شیشه‌ای منتقل و به عنوان استوک نگهداری شد [۲].

[1] Fluka

۲-۳- استخراج عصاره دانه *مورینگا اولیفرا*

میوه درخت *مورینگا اولیفرا*، ۳۰-۲۰ سانتی‌متر طول دارد و هر میوه حاوی ۲۰ دانه کروی شکل است. به طور متوسط هر دانه ۴-۳ گرم وزن دارد [۵]. جهت استخراج عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* ابتدا پوستهٔ دانه را جدا کرده و سپس هسته آن را در هاون له کرده و ۵ گرم پودر دانه *مورینگا اولیفرا* را با ۵۰۰ میلی‌لیتر از حلّال کلرید سدیم ۱ مولار مخلوط نموده و سوسپانسیون به مدت ۱۰ دقیقه با استفاده از یک همزن مغناطیسی جهت استخراج عصاره، بهم زده شد. در ادامه سوسپانسیون را از یک فیلتر کاغذی با روزنه های ۸ میکرومتری عبور داده و عصاره عبوری از فیلتر جهت آزمایش‌ها استفاده گردید [۴].

۲-٤- تعیین غلظت بهینه عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی آلومینیم کلراید

ابتدا هر یک از بشرها با ۱۰۰۰ میلی‌لیتر از نمونه آب ساخته شده با کدورت مشخص پر شد و بر روی نمونه‌ها آزمایش‌هایی به ترتیب زیر انجام گردید:

۱- تعیین میزان pH و کدورت اولیه نمونه‌ها؛

۲- آزمایش جار بر روی نمونه‌های آب خام با هر یک از دو منعقد کننده عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی آلومینیم کلراید به تنهایی انجام گرفت و غلظت بهینه هر یک از مواد در حذف کدورت به دست آمد. در این آزمایش‌ها جهت تعیین غلظت بهینه عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی آلومینیم کلراید از غلظتهای ۵۰، ۴۵، ۴۰، ۳۵، ۳۰، ۲۵، ۲۰، ۱۵، ۱۰ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر استفاده گردید (فاز ۱).

۳- در فاز ۲ آزمایش‌ها، pH نمونه‌های آب حاوی کدورت مشخص در چهار مقدار ۸، ۷، ۶ و ۵ به وسیله هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک تنظیم گردید. که هدف از انجام این آزمایش تعیین اثر pH بر روی کارآیی این دو منعقد کننده بود؛

۴- میزان تغییرات pH و کدورت نهایی نمونه‌ها پس از انجام آزمایش‌های جار در هر دو فاز فوق بررسی گردید؛

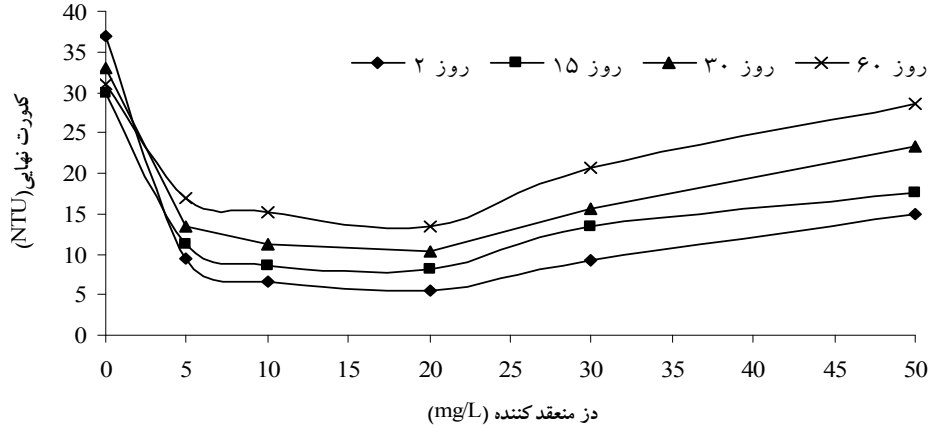
۵- یک نمونه از عصاره استخراج شده به مدت ۲ روز، ۱۵ روز، ۳۰ روز و ۶۰ روز در یخچال نگهداری گردید. کارآیی این عصاره‌ها در حذف کدورت نمونه‌های آب با کدورت اولیه ۵۰NTU و pH برابر با ۷ آزمایش گردید که نتایج در شکل ۳ آورده شده است.

آزمایش‌های جار به وسیله دستگاه شش خانه‌ای ساخت شرکت فیلیپس و برایدِ[1] انجام گردید. سرعت اختلاط تند و کند به ترتیب ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه و ۴۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه و زمان ته‌نشینی برابر ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. جهت تعیین کدورت نمونه‌ها از دستگاه کدورت سنج HACH 2100A و برای اندازه‌گیری میزان pH از دستگاه pH متر استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

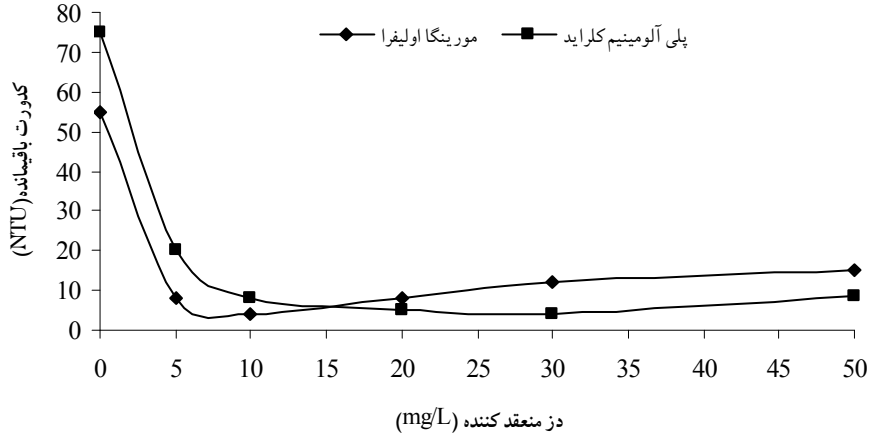
در این تحقیق سه محدوده کدورت بالا از ۱۰۰۰NTU تا ۵۰۰NTU، کدورت متوسط ۵۰NTU و کدورت پایین ۱۰NTU در آب ایجاد گردید و کارآیی عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی‌آلومینیم کلراید در حذف کدورتهای فوق مقایسه گردید. نتایج در شکلهای ۴ تا ۷ آورده شده است.

[1] Philips & Brid

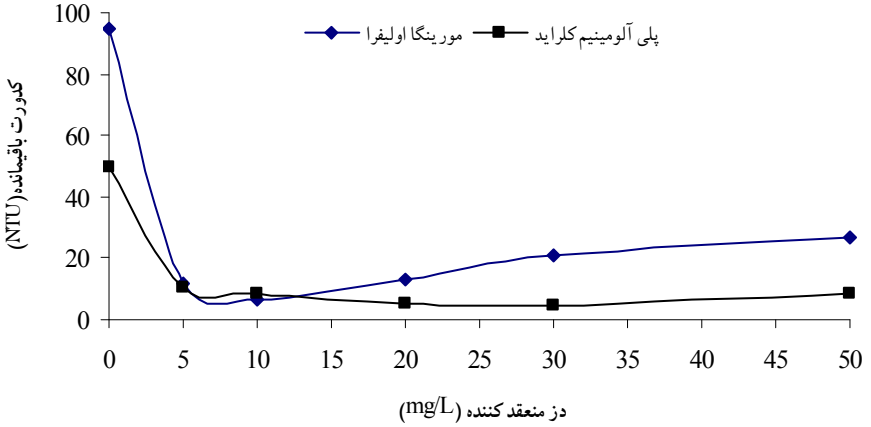


شکل ۳- تأثیر زمان نگهداری بر روی کارآیی عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* در حذف کدورت اولیه ۵۰ NTU و pH اولیه برابر با ۷

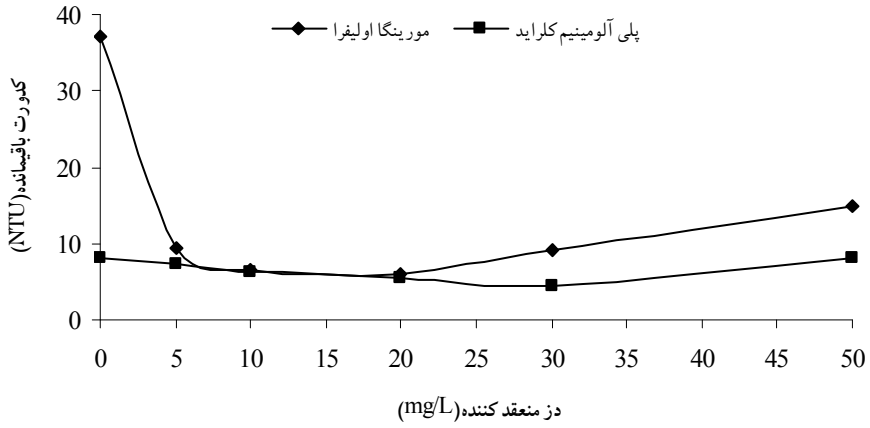
طبق شکل ۴ ، غلظت بهینه عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* در حذف کدورت NTU ۱۰۰۰ برابر با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بهینه برابر با ۸ می‌باشد. غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* قادر به حذف ۹۹/۴درصد کدورت اولیه NTU ۱۰۰۰ می‌باشد و کدورت نهایی در غلظت بهینه ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۴/۱NTU کاهش یافته است. غلظت بهینه پلی‌آلومینیم کلراید در حذف کدورت NTU ۱۰۰۰ برابر با ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بهینه برابر با ۸ می‌باشد. پلی‌آلومینیم کلراید در غلظت ۳۰ میلی گرم بر لیتر قادر به حذف ۹۹/۶ درصد از کدورت اولیه NTU ۱۰۰۰ می‌باشد و کدورت نهایی را به NTU ۴ کاهش می‌دهد. طبق شکل ۵، غلظت بهینه عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* در حذف کدورت NTU ۵۰۰ برابر با ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بهینه برابر با ۶ می‌باشد. در این غلظت، عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* قادر به حذف ۹۸/۷ درصد کدورت می‌باشد و کدورت NTU ۵۰۰ به ۶/۲NTU کاهش می‌یابد. غلظت بهینه پلی‌آلومینیم کلراید در حذف کدورت NTU ۵۰۰ برابر با ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بهینه برابر با ۸ می‌باشد. پلی آلومینیم کلراید قادر به حذف ۹۸/۹ درصد کدورت NTU ۵۰۰ می‌باشد و کدورت نهایی را به NTU ۵/۵ کاهش می‌دهد. طبق شکل ۶ ، عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* قادر به کاهش ۹۱ درصد کدورت NTU ۵۰ می‌باشد. عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* در غلظت بهینه ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بهینه برابر با ۷، کدورت NTU ۵۰ را تا NTU ۶ کاهش می‌دهد. غلظت بهینه پلی‌آلومینیم کلراید در حذف کدورت NTU ۵۰ برابر با ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH بهینه برابر با ۸ می‌باشد. کدورت NTU ۵۰ در غلظت و pH بهینه مذکور به NTU ۴/۵ کاهش می‌یابد. پلی‌آلومینیم کلراید قادر به حذف ۸۹ درصد کدورت NTU ۵۰ می‌باشد. طبق شکل ۷، غلظت و pH بهینه عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* جهت حذف کدورت NTU ۱۰ برابر با ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH برابر با ۸ می‌باشد به این



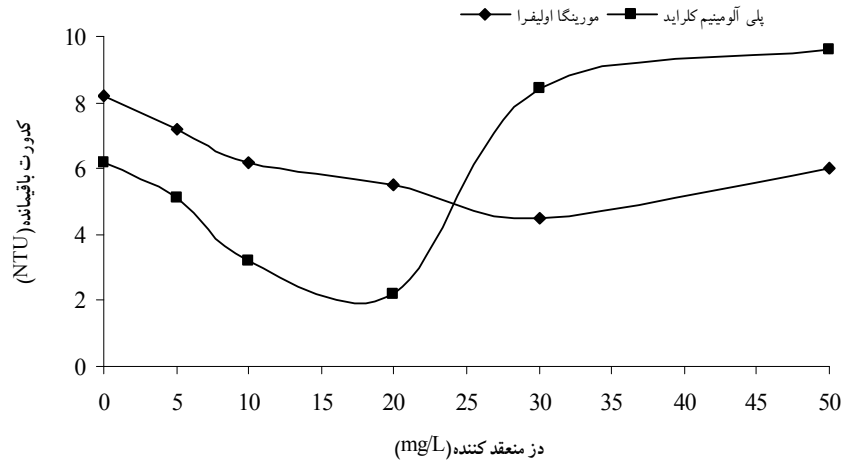
شکل ۴- مقایسه کاهش کدورت متعاقب استفاده از غلظتهای مختلف عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی آلومینیم کلراید بر روی نمونه آب با کدورت اولیه برابر NTU ۱۰۰۰



شکل ۵- مقایسه کاهش کدورت متعاقب استفاده از غلظتهای مختلف عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی آلومینیم کلراید بر روی نمونه آب با کدورت اولیه برابر NTU ۵۰۰



شکل ۶- مقایسه کاهش کدورت متعاقب استفاده از غلظتهای مختلف عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی آلومینیم کلراید بر روی نمونه آب با کدورت اولیه برابر ۵۰ NTU



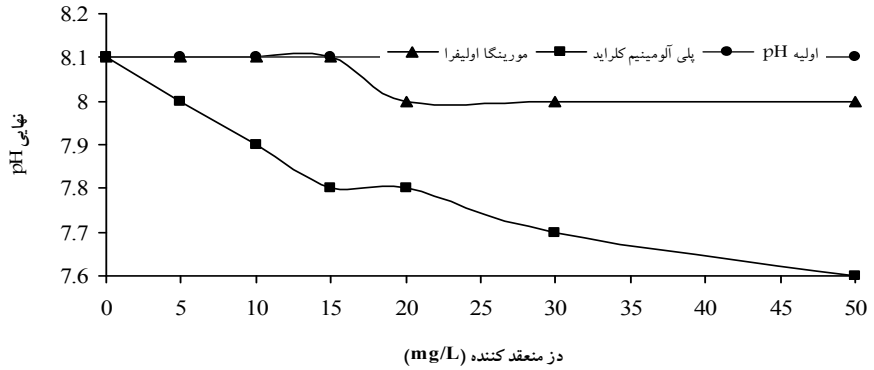
شکل ۷- مقایسه کاهش کدورت متعاقب استفاده از غلظتهای مختلف عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی آلومینیم کلراید بر روی نمونه آب با کدورت اولیه برابر ۱۰ NTU

ترتیب که کدورت ۱۰ NTU به ۴/۵ NTU کاهش می‌یابد. عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* قادر به کاهش ۵۵ درصد کدورت ۱۰ NTU می‌باشد. غلظت و pH بهینه پلی‌آلومینیم کلراید در حذف کدورت ۱۰NTU برابر با ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۸ می‌باشد و پلی آلومینیم کلراید قادر به حذف ۸۹ درصد کدورت ۱۰ NTU می‌باشد.

طبق شکل ۸، عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* تأثیر اندکی بر pH نمونه‌های آب دارد و pH را به میزان ۰/۱ کاهش می‌دهد، در صورتی که پلی‌آلومینیم کلراید باعث کاهش pH به میزان کمتر از ۰/۵ می گردد.

شکل ۳ ، تأثیر زمان نگهداری را بر کارآیی عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* نشان می‌دهد. با افزایش زمان نگهداری، کارآیی عصاره *مورینگا اولیفرا* به میزان اندکی کاهش می‌یابد. به طوری که بهترین کارآیی در کدورت ۵۰ NTU و pH برابر با ۷ در زمان نگهداری ۲ روز و در غلظت بهینه ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کارآیی عصاره ۸۹ درصد به دست آمد. در زمان نگهداری ۱۵ روز در همان غلظت کدورت ۵۰ NTU به ۸/۱ NTU کاهش یافت که کارآیی عصاره ۸۳ درصد بود و در زمان نگهداری ۳۰ روز در همان غلظت کدورت ۵۰ NTU به ۱۰/۲ NTU کاهش یافت، که به این ترتیب عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* ۷۹/۴ درصد کارآیی داشت. همچنین در زمان نگهداری ۶۰ روز در همان میزان غلظت کدورت اولیه ۵۰NTU به ۱۳/۵ NTU کاهش یافت، که نشان می‌دهد، کارآیی عصاره دانه مورینگا اولیفرا در حذف کدورت ۷۳ درصد می‌باشد.

طبق شکلهای ۴ تا ۷ نتایج زیر به دست آمد:



شکل ۸- تأثیر غلظت منعقدکننده عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* و پلی آلومینیم کلراید بر روی نمونه آب با pH اولیه برابر با ۱ و ۸

۱- کارآیی منعقد کننده عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* بر خلاف پلی‌آلومینیم کلراید تحت تأثیر pH نمی‌باشد و pH به میزان اندکی باعث افزایش کارآیی آن می‌گردد که این از مزایای منعقد کننده‌های طبیعی می‌باشد.

۲- عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* طبق شکل ۴، در غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به پلی‌آلومینیم کلراید در غلظت ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر قادر به حذف کدورت NTU ۱۰۰۰ می‌باشد.

۳- با کاهش کدورت، کارآیی عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* کاهش می‌یابد. به طوری که غلظت بهینه آن از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش می‌یابد. اما پلی‌آلومینیم کلراید در کدورتهای پایین کارآیی بهتری دارد.

۴- نتایج آنالیز آماری نشان می‌دهد که میانگین کارآیی منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید در حذف کدورتهای (NTU ۱۰۰۰ و ۵۰۰، ۵۰، ۱۰) ۹۲/۴ درصد و انحراف معیار آن ۷/۸ ± می‌باشد. میانگین کارآیی عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* در حذف کدورتهای (NTU ۱۰۰۰ و ۵۰۰، ۵۰، ۱۰) ۸۳/۲ درصد و انحراف معیار آن ۲۰/۸ ± می‌باشد (جدول ۱).

نتایج آزمون آماری t مستقل، این اختلاف را معنی‌دار نشان می‌دهد(Pvalue <0.001). یعنی این که بین کارآیی پلی‌آلومینیم کلراید و عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* در حذف کدورتهای فوق اختلاف معنی داری وجود داشته و کارآیی پلی‌آلومینیم کلراید بیشتر است.

۵- طبق شکل ۸، عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* باعث کاهش pH نهایی نمونه‌های آب نمی‌گردد؛ در صورتی که پلی‌آلومینیم کلراید به طور متوسط باعث کاهش کمتر از ۰/۵ در pH نهایی نمونه‌های آب می‌گردد.

۶- افزایش زمان نگهداری باعث کاهش کارآیی عصاره دانه *مورینگا اولیفرا* می‌گردد. آزمون آماری Anova (Pvalue =0.000) نشان دهنده همین امر است. طبق مطالعات پیتر[1] در سال ۲۰۰۱ پلی‌آلومینیم کلراید نیز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد فقط به مدت ۴ تا ۵ ماه کارآیی اولیه خود را حفظ می‌نماید[۲۳].

۷- نتایج آنالیز آماری Anova (Pvalue = 0.000) نشان دهنده این است که منعقد کننده پلی‌آلومینیم کلراید باعث کاهش pH می‌گردد. همچنین کاهش pH باعث کاهش کارآیی پلی آلومینیم کلراید می‌گردد (جدول ۲).

۸- مطالعات نشان می‌دهد که مکانیسم غالب در حذف کدورت توسط عصاره دانه *مورینگا اولیفرا*، جذب سطحی و خنثی‌سازی بار و پل زنی بین ذره‌ای می‌باشد. نتایج مطالعه فوق نیز بیانگر این است که با کاهش غلظت کائولین، غلظت مورد نیاز *مورینگا اولیفرا* نیز افزایش یافته است و نشان دهنده این است که مکانیسم غالب، جذب سطحی و خنثی سازی بار می‌باشد؛ در حالی که مکانیسم غالب پلی‌آلومینیم کلراید پل زنی بین ذره‌ای می‌باشد.

[1] Peter

جدول ۱- مقایسه میانگین درصد حذف کدورت در پلی آلومینیم کلراید و عصاره *مورینگا اولیفرا*

نوع منعقد کننده	تعداد(N)	میانگین	انحراف معیار
پلی آلومینیم کلراید	۹۶	۹۲/۴	۷/۸
عصاره *مورینگا اولیفرا*	۹۶	۸۳/۲	۲۰/۸

جدول ۲- تأثیر pH بر روی حذف کدورت توسط منعقد کننده پلی آلومینیم کلراید

کدورت اولیه (NTU)	pH اولیه	غلظت پلی آلومینیم کلراید	کدورت نهایی (NTU)	درصد حذف کدورت
۵۰	۸/۱	۲۰	۴/۵	۹۱
۵۰	۷/۱	۲۰	۶	۸۸
۵۰	۶/۱	۲۰	۹/۳	۸۱
۵۰	۵/۱	۲۰	۱۳/۲	۷۳

۹- هزینه کشت هر کیلو گرم دانه *مورینگا اولیفرا* تقریباً ۲ دلار است و در مقایسه با هزینه تولید آلوم و پلی آلومینیم کلراید (هر کیلو گرم تقریباً ۱ دلار) هزینه بیشتری لازم دارد. اما از لحاظ بهداشتی استفاده از عصاره استخراج شده *مورینگا اولیفرا* دارای مضرات کمتری است. با توجه به رشد این درخت در مناطق جنوبی ایران، نیاز به مطالعه بیشتری در مورد افزایش کشت این درخت می‌باشد تا امکان استفاده از دانه‌های این درخت جهت تصفیه آبهای مناطق روستایی و مناطقی با کدورت زیاد (اهواز) فراهم گردد. طبق مطالعات فولکارد[1] در سال ۲۰۰۴ بر اساس متوسط تولید سه کیلوگرم دانه برای هر درخت، با محصول یک درخت می‌توان ۳۰ متر مکعب آب را تصفیه کرد(غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر). بعلاوه اگر فاصله هر درخت سه متر باشد، از هر یک هکتار سطح زیر کشت این درختان می‌توان ۳۰×۱۰^{۴} متر مکعب آب را تصفیه نمود [۲۴]. در پایان پیشنهاد می‌گردد که این تحقیق بر روی آب ورودی تصفیه‌خانه آب اصفهان در مقیاس پایلوت انجام گردد.

[1] Folkard

۴- مراجع

1-Kebreab, A. G. (2004). "Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment." KTH Land and Water Resources Engineering Univ., TRITA.LWR PhD THESIS 1013.

۲- مصطفی پور، ف. (۱۳۸۴). "حذف ارسنیک وآلومینیم در آب آشامیدنی با استفاده از فرآیند DAF." پایان نامه دکترای بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان.

3- Muyibi, M.S., and Akif, M.S.(2003). "Treatment of surface water with *Moringa oleifera* seed extract and alum-acomparative study using a pilot scale water treatment plant." *J. Env. Studies,* 60(6) , 617-626.

4- Okuda, T., and Bass, A.U. (1999). "Improvement of exteraction method of coagulation active component from *Moringa oleifera* seed." *Wat. Res.,* 33 (15) , 3373 -3378.

5- Katayon, S., Megat Mohd Noor, M.J., Asma, M., Abdul Ghani, L.A., Thamer, A.M., Azni, I., Ahmad, J. Khor, B.C., and Suleyman, A.M. (2006). "Effects of storage condition of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. " *Bio. Technology*, 97(13), 1455-1460.

۶-عظیمی، ع.ا.، و زمان زاده، م.ز. (۱۳۸۳). *تصفیه آبهای سطحی در کشور های در حال توسعه*، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۹۲-۱۰۰.

7- Zhang, J., Zhang, F., Luo, Y., and Yang, H.(2006). "A preliminary study on cactus as coagulant in water treatment." *Process Biochemistry*, 41(3), 730-733.

8- Diaz, A, Rincon, N., Escorichuela, A., and Fernandez, N. (1999). "A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigeneous to Venezuela." *Process Biochemistery*, 35, 391-395.

۹-مظفریان، و. (۱۳۷۵). *فرهنگ نامهای گیاهان دارویی*، انتشارات فرهنگ معاصر، تهران ، ۳۵۳-۳۵۴.

10- Anselme, N., and Narasish, K.S. (1998). "Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds." *Wat. Res.,* 32 (3), 781-791.

۱۱- وکیلی، ب. (۱۳۷۶). "استفاده از گیاهان دارویی به عنوان پلی الکترولیت های طبیعی در فرآیند تصفیه آب ومقایسه آنها با پلی الکترولیت مصنوعی از نظر کارآیی و اقتصادی." پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان .

12- Martin, L. (2004). "The Moringa tree." *Echo technical note*, <www.xc.org/echo/the moringa>, (Nov. 11, 2006).

13- Lilliehook, H. (2005). "Use of sand filtration on river water floculater with *Moringa oleifera*." Master thesis, Lulea University, Department of civil and environmental engineering.

14-Muyibi, S.A., and Euion, L.M. (1995). "*Moringa oleifera* seeds for softening hard water." *J. Water Res.,* 29 (4), 1099-1105.

15-Lipipun, V. (2003). "Efficacy of thai medicinal plant extracts against herps simplex virus type1 infection in vitro and in vivo." *Antiviral Research*, 60(3), 175-180.

16-Caceres, A. (1991). "Pharmacologicl properties of *Moringa oleifera* preliminary screening for antimicrobial activity." *J. Ethnopharmacol*, 33, 213-220.

17- Warhurst, A.M., Mc Connachie, G.L. and Pollard, S.J.T. (1999). "The production of activited carbon for water treatment in Malawi from the waste seed husks of *Moringa oleifera*." *Wat. Sci. Technology,* 34, 177-184.

18- Okuda, T., Bass, A.U., Nishijima, W., and Okada, M. (2001). "Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt olution."*Wat. Res.,* 35 (2), 405-410.

۱۹- شرکت شیمیایی تصفیه تهران. (۱۳۸۴). *استفاده از پلی آلومینیم کلراید در تصفیه آب و فاضلاب*، سهامی خاص.

20- Shanawaz, S., Yeomin, Y., Gray, A., and Jaekyng, Y. (2004). "Determining effectiveness of conventional and coagulants through effective characterization schemes." *J. Chemosphere* , 57, 1115-1122.

21- Mccurdy, K., Carlson, K., and Gregory, D.(2004). "Floc morphology and cyclic shearing recovery comparison of alum and polyaluminium chloride coagulants." *Wat. Res.,* 38, 486-494.

۲۲- قره چاهی، ع. (۱۳۸۰) . *کاربرد پلی آلومینیم کلراید در تصفیه آب آشامیدنی*، تحقیقات علمی کاربردی تصفیه خانه آب اصفهان، انتشارات وزارت نیرو، ۳۰-۴۰.

23- Peter, G., and Fisher, S. (2001). "Using polyaluminium coagulants in water treatment." *Proc., Water Industry Operators Association*, Australia.

24- Folkard, G.K., and Sutherland, J. (2004). "Water clarification using *Moringa oleifera* seed coagulant." <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs. pdf>, (Nov., 11, 2006).