

### مقدمه و هدف

آرسنیک به عنوان یکی از خطرناک ترین عناصر برای موجودات زنده مطرح بوده و حضور آن در آبهای طبیعی می‌تواند زمینه ساز بروز مشکلات بهداشتی و زیست محیطی متعددی گردد. در مطالعه حاضر، توانایی عصاره میوه گیاه مورینگا پرگرینا بمنظور حذف آرسنیک از محلول های آبی مورد مطالعه قرار گرفته است.

### مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر که یک مطالعه تجربی در مقیاس آزمایشگاهی است در یک سیستم ناپیوسته انجام پذیرفت. به منظور بررسی کارایی عصاره میوه گیاه مورینگا پرگرینا بعنوان یک منعقد کننده طبیعی در حذف آرسنیک از محلول های آبی اثر متغیر های مهم بهره برداری از قبیل دوز منعقد کننده (ml/L ۵-۰/۱)، غلظت اولیه آرسنیک و pH محلول مورد بررسی قرار گرفت.

### یافته‌ها

نتایج حاصل از انجام آزمایشات نشان داد که pH مطلوب برای حداکثر حذف آرسنیک برابر ۶ می باشد و بالاترین میزان حذف برای غلظت های اولیه آرسنیک ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکرو گرم در لیتر به ترتیب برابر ۹۴/۶۱٪، ۹۲/۰۳ درصد و ۹۳/۹۸ درصد بدنبال وقوع فرایندهای ته نشینی، (رسوب دهی) همزمان و جذب سطحی حاصل گردید.

### نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر نتیجه گیری می شود که عصاره میوه گیاه مورینگا نه تنها منعقد کننده ای ارزان قیمت محسوب می شود بلکه حتی توانایی حذف مؤثر آرسنیک از محیط های آبی را نیز دارا می باشد.

## حذف آرسنیک از محیط های آبی با

### استفاده از عصاره دانه مورینگا

### پرگرینا بعنوان یک منعقد کننده

#### طبیعی

- ادریس بذرافشان<sup>\*۱</sup>
- فردوس کرد مصطفی پور<sup>۲</sup>
- حامد فریدی<sup>۳</sup>

۱. دانشیار عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت، دانشکده

بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران (نویسنده

مسئول)

Email: ed\_bazrafshan@yahoo.com

۲. استادیار عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت،

دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

۳. کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت،

دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

## کلمات کلیدی

حذف آرسنیک، مورینگا پرگرینا، انعقاد، منعقد کننده های طبیعی

### *Arsenic removal from aqueous environments by using Moringa Peregrina seed extract as a natural coagulant*

- **Bazrafshan E**<sup>1\*</sup>
- **Kord Mostafapour F**<sup>1</sup>
- **Faridi H**<sup>2</sup>

only was an inexpensive coagulant, but also it is a quite effective factor in removal of As(V) from aqueous environments.

#### **Key words**

Arsenic removal, Moringa Peregrina, Coagulation, Natural coagulants

#### **Abstract**

##### **Background**

Arsenic has been considered as one of the most hazardous elements for the living organisms and its presence in natural waters, can result in serious health and environmental problems. In this study, Moringa peregrina seed extract's ability to remove arsenate from aqueous solutions, in a batch system was investigated.

##### **Materials and methods**

This study is an experimental study which was performed in a batch reactor. The effects of major operating variables such as coagulant dose (0.1–5 ml L<sup>-1</sup>) and pH (2-11) were investigated.

##### **Results**

The optimum pH for arsenic removal by coagulation using Moringa peregrina seed extract was 6 and the highest removal was found to be 94.61%, 92.03% and 93.98% at initial As(V) concentration 100, 200 and 500 µg L<sup>-1</sup>, respectively, as a result of precipitation, co-precipitation and adsorption mechanisms.

##### **Conclusion**

According to the results, it was defined that Moringa peregrina seed extract not

1. Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran ed\_bazrafshan@yahoo.com
2. M.S.C. student in environmental health engineering, Department of environmental health, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran

آرسنیک در آبهای طبیعی یک مشکل و معضل جهانی بوده و آلودگی منابع آبی به این عنصر سمی در کشورهای از قبیل ایالات متحده آمریکا، چین، شیلی، بنگلادش، تایوان، مکزیک، آرژانتین، لهستان، کانادا، نیوزیلند، ژاپن، هندوستان و ایران گزارش شده است (۱۲،۱۳). با توجه به سمیت بالا و اثر سرطانزایی آرسنیک، سازمان بهداشت جهانی (WHO)، انجمن اروپایی (EU) و سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA) حداکثر غلظت مجاز آن را در آب آشامیدنی معادل  $10 \mu\text{g/L}$  تعیین نموده اند (۱۴،۱۵). در ایران نیز حداکثر غلظت مجاز آرسنیک در آب شرب توسط سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی (ISIRI) برابر  $10 \mu\text{g/L}$  پیشنهاد شده است.

با توجه به مخاطرات فراوان حضور آرسنیک در منابع آبی، حذف آن از آب بسیار حائز اهمیت می باشد. با توجه به اینکه بررسی های اخیر نشان دهنده آن است که آب منبع اصلی مواجهه با آرسنیک غیر آلی می باشد (۱۶). در طی سالهای اخیر روشهای مختلف تصفیه به منظور حذف آرسنیک از آب پیشنهاد و مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله می توان به اکسیداسیون شیمیایی، شناور سازی با هوای محلول، جذب سطحی، تبادل یونی، فرآیندهای غشایی، انعقاد الکتریکی، انعقاد شیمیایی، نانو تکنولوژی، سیستم های وتلند و فرایندهای بیولوژیکی اشاره نمود. هر یک از روشهای ذکر شده دارای مزایا و معایبی هستند و سیستم های تصفیه آبی با توجه به شرایط خاص خود ممکن است یکی از این روشها را با در نظر گرفتن جنبه های اقتصادی و مدیریتی انتخاب نمایند.

فرآیندهای انعقاد و جذب سطحی بدلیل هزینه پایین و راندمان بالا، از جمله رایج ترین روشهای مورد استفاده برای حذف آرسنیک از آبهای حاوی غلظت های بالای آرسنیک در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه می باشند (۱۷،۱۸). در عین حال مطالعات قبلی نشان داده است که فرآیند انعقاد

امروزه آلودگی فلزات سنگین بعنوان یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی مطرح می باشد (۱). حضور فلزات سمی در منابع آبی یک نگرانی مهم در تصفیه آب و فاضلاب بوده که اثرات بهداشتی آنها بر انسان بخوبی شناسایی شده است (۲). آرسنیک بعنوان یک شبه فلز، یکی از سمی ترین آلاینده های یافت شده در منابع آبی با توانایی ایجاد سرطان بوده که حضورش در این منابع می تواند منشأ طبیعی یا مصنوعی داشته باشد (۳،۴). منبع اصلی آرسنیک در منابع آب شرب، قطعات سنگی غنی از آرسنیک بوده که آب در آنها نفوذ کرده است با توجه به اینکه شبه فلز آرسنیک بطور طبیعی در پوسته زمین وجود داشته و در سرتاسر محیط طبیعی یافت می شود (۵). در عین حال ورود آرسنیک به منابع آبی می تواند حاصل فعالیت های صنعتی و عملیات بهره برداری از معادن باشد (۶). در طبیعت آرسنیک در اشکال شیمیایی و حالت های اکسیداسیون متعددی یافت می شود. دو حالت اکسیداسیون شایع در محیط آبی شامل آرسنیت ( $\text{As(III)}$ ) و آرسنات ( $\text{As(V)}$ ) می باشد (۷). آرسنیک سه ظرفیتی یا آرسنیت اغلب در آبهای زیرزمینی و آبهای گرم و تحت شرایط احیاء وجود داشته در حالیکه آرسنیک پنج ظرفیتی یا آرسنات اغلب در آبهای سطحی و آبهای زیرزمینی تحت شرایط اکسیداسیون حاضر می باشد (۸). آرسنیک بعنوان یک تهدید در منابع آبی مطرح بوده که در طول تاریخ با توجه به سمیت بالا جان میلیون ها نفر در سرتاسر جهان را تحت تأثیر قرار داده است. جذب مداوم آرسنیک می تواند سبب مسمومیت مزمن شده و مواجهه طولانی مدت با آن نیز می تواند باعث ایجاد صدماتی بر سیستم اعصاب مرکزی، کبد، پوست و در نتیجه وقوع انواع سرطان از قبیل هایپر کراتوزیس، سرطان ریه، سرطان پوست و سرطان پروستات شود (۹-۱۱).

در مقایسه با فرآیندهای جذب و تبادل یونی اقتصادی تر بوده و از کارایی بالاتری نیز برخوردار می باشد (۲۰،۱۹).

در فرآیند انعقاد معمولاً از نمک های آلومینیوم نظیر سولفات آلومینیوم و نمک های فریک از قبیل کلرید فریک یا سولفات فریک با توجه به هزینه کم و سهولت حمل و نقل و کاربردشان استفاده می شود. در حذف آرسنیک توسط این روش، ترکیبات شیمیایی مصرفی سبب تغییر شکل آرسنیک محلول به یک ترکیب جامد نامحلول قابل ته نشین می شوند. آرسنیک محلول همچنین ممکن است بر روی سایت های سطحی هیدروکسید جذب سطحی شده و همراه با دیگر گونه های در حال ته نشین رسوب نماید (۲۱). در ادامه جامدات حاصله در این فرآیند با استفاده از مکانیسم های ته نشینی و یا فیلتراسیون حذف می شوند.

منعقد کننده های طبیعی دارای منشاء طبیعی و یا معدنی بوده که قبل از ظهور و ورود نمک های شیمیایی در تصفیه آب مورد استفاده قرار می گرفته اند، اما با توجه به حقیقت فقدان یک درک و بینش علمی در خصوص میزان اثربخشی و مکانیسم عمل شان قادر به رقابتی کارآمد با ترکیبات شیمیایی نبوده اند. از این رو، استفاده از منعقد کننده های طبیعی بدون هرگونه ارزیابی علمی به حداقل رسید. به عبارتی بدنبال پیشرفت های عظیم علمی کاربرد این ترکیبات طبیعی با استقبالی سرد مواجه گردید و تنها در مناطق دور افتاده برخی از کشورهای در حال توسعه همچنان مورد استفاده قرار می گرفت (۲۲). با این وجود، طی سال های اخیر در خصوص استفاده از منعقد کننده های طبیعی در تصفیه آب در کشورهای در حال توسعه علاقه مندی خاصی پدیدار شده است که این مهم ناشی از مزایایی از قبیل قابلیت تجزیه بیولوژیکی منعقد کننده، تولید لجن کمتر و نیز حداقل مخاطرات زیست محیطی و بهداشتی می باشد (۲۳،۲۴).

از میان ترکیباتی که به عنوان منعقد کننده طی سال های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است می

توان به عصاره گیاه مورینگا اولیفر (Moringa oleifera) اشاره نمود. برتری استفاده از منعقد کننده های طبیعی نظیر مورینگا اولیفر نسبت به منعقد کننده های شیمیایی در موارد متعددی گزارش شده است (۲۵،۲۶). علاوه بر این، کاربرد مورینگا اولیفر به عنوان یک منعقد کننده طبیعی در تصفیه آب در مقایسه با منعقد کننده های شیمیایی لجن کمتری تولید می نماید (۲۷). بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط Ndabigengesere و همکاران، مکانیسم انعقاد با مورینگا شامل جذب سطحی و خنثی سازی بارهای کلوئیدی می باشد (۲۶). مصرف مورینگا اولیفر به عنوان یک منعقد کننده طبیعی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۲۸،۲۹).

در مطالعه حاضر عصاره میوه گیاه مورینگا پراگرینا (Moringa peregrina) که یک گونه بیابانی بوده و در جنوب شرقی ایران در استان سیستان و بلوچستان رشد می کند مورد استفاده قرار گرفته است. در مقیاس جهانی، این گیاه در شمال شرقی آفریقا و جنوب غرب آسیا رشد می کند. زمینی که گیاه مورینگا پراگرینا در آن رشد می کند معمولاً پوشیده از سنگ بوده و معمولاً در قسمت های شیب دار کوهها مشاهده می شود (۲۹). مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کارایی عصاره میوه (دانه) گیاه مورینگا پراگرینا در حذف آرسنیک از محلول های آبی انجام پذیرفت. در این راستا اثر پارامترهای مختلف از قبیل pH محلول، دوز منعقد کننده و غلظت اولیه آرسنیک مورد بررسی قرار گرفته است.

## روش پژوهش

### آماده سازی عصاره دانه مورینگا پراگرینا

دانه های خشک مورینگا پراگرینا از منطقه ای در نزدیکی شهرستان نیکشهر واقع در جنوب استان سیستان و بلوچستان جمع آوری گردید. فرایند آماده

بطور همزمان جهت انجام فرایند انعقاد و لخته سازی تحت عملیات اختلاط قرار می گرفتند (یک ظرف بعنوان نمونه شاهد). در آغاز عملیات اختلاط، منعقد کننده طبیعی با دوز مورد نظر افزوده می شد و نمونه ها به مدت ۲ دقیقه با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه تحت عمل اختلاط سریع و سپس برای مدت ۲۰ دقیقه تحت عمل اختلاط کند قرار می گرفتند. در ادامه نمونه ها برای مدت ۳۰ دقیقه جهت وقوع فرایند ته نشینی بصورت راکد ننگه داشته می شدند (انتخاب مقادیر ذکر شده در خصوص آزمایش جار با توجه به پیش تست های انجام در این مطالعه و بررسی متون صورت گرفته است). در پایان عملیات ته نشینی، توسط پی پت نمونه ای با حجم معین برداشت و از صافی ۰/۴۵ میکرونی عبور داده می شد. نمونه عبوری تا زمان سنجش غلظت آرسنیک باقی مانده در یخچال و در دمای ۴ درجه سانتیگراد ننگه داری می شد. خاطر نشان می شود که تمامی آزمایشات در دمای آزمایشگاه (۲۰ درجه سانتیگراد) انجام می پذیرفت. گستره پارامترهای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. در پایان راندمان حذف آرسنیک (E) بر حسب درصد بصورت زیر محاسبه شد:

$$E = \frac{(C_i - C_f)}{C_i} \times 100$$

که در این رابطه  $C_i$  غلظت اولیه ( $\mu\text{g/L}$ ) و  $C_f$  غلظت نهایی آرسنیک ( $\mu\text{g/L}$ ) می باشد. علاوه بر این، پس از تعیین شرایط بهینه (pH و دوز منعقد کننده عصاره دانه مورینگا پراگرینا) برای حذف آرسنیک، اثر متغیر کدورت اولیه نیز بر حذف آرسنیک در غلظت های اولیه آرسنیک معادل ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکروگرم در لیتر تعیین مقدار شد. نمونه های سنتتیک حاوی کدورت با افزودن سوسپانسیون استوک کائولین به آب مقطر تهیه شد. سوسپانسیون استوک کائولین حاوی ۱۰ گرم کائولین در یک لیتر آب مقطر بود. در پایان یک سری از آزمایشات جار با استفاده از یک لیتر آب شیر برداشت (نمونه آب طبیعی) حاوی غلظت های

سازی و استخراج عصاره دانه این گیاه به شرح زیر انجام پذیرفت:

پس از جدا سازی پوسته های دانه گیاه مورینگا پراگرینا، دانه ها توسط یک دستگاه آسیاب خانگی به شکل پودری شکل تبدیل شدند. در ادامه ۵ گرم از پودر حاصل در یک محلول NaCl ۱ مولار به حجم ۱۰۰ میلی لیتر حل شد. نمونه حاصل برای مدت ۳۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه (حدود ۲۰ درجه سانتیگراد) جهت استخراج اجزاء فعال انعقاد هم زده شد. محلول حاصل دارای pH حدود ۷ بود. سپس، محلول تهیه شده دو بار توسط صافی صاف شد (صافی ۰/۴۵ میکرونی). محلول عبوری از صافی ظاهری شفاف و شبیه شیر داشت. تولید محلول استوک مورینگا پراگرینا بصورت روزانه بوده و در همان روز مورد استفاده قرار می گرفت، هر چند که برخی محققین بر پایداری عصاره تولیدی تأکید کرده بودند (۲۳).

### آماده سازی محلول آرسنیک

تمامی ترکیبات شیمیایی مورد استفاده در پژوهش حاضر از نوع آزمایشگاهی بودند. محلول استوک آرسنیک ( $100 \text{ mg/L}$ ) از طریق انحلال نمک سدیم هیدروژن آرسنات ( $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) در آب مقطر دو بار تقطیر تهیه و محلول های رقیق تر مورد نیاز برای انجام آزمایشات ( $500 \mu\text{g/L}$ ،  $100$ ،  $200$ ) با رقیق سازی محلول استوک تهیه شد. تنظیم pH محلول های مورد آزمایش (۱۱-۲) با استفاده از HCl یا NaOH ۱ مولار انجام پذیرفت.

### فرآیند انعقاد

آزمایشات جار رایج ترین روش مورد استفاده در ارزیابی و بهینه سازی فرآیند های انعقاد و لخته سازی محسوب می شود. مطالعه حاضر شامل آزمایشاتی در سیستم بسته (نا پیوسته) همراه با اختلاط سریع، اختلاط آرام و ته نشینی بود. ظروف آزمایش جار (۶ ظرف) توسط یک لیتر محلول آرسنیک با غلظت مورد نظر پر می شد و نمونه ها

آرسنیک ۵۰۰-۱۰۰ میکرو گرم در لیتر انجام پذیرفت. مشخصات نمونه آب واقعی مورد استفاده در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۱: گستره مقادیر پارامترهای مورد بررسی در مطالعه حاضر

NTU، کدورت،	اختلاط سریع، اختلاط آرام، ته نشینی	غلظت اولیه آرسنیک، $\mu\text{g/L}$	دوز منعقد کننده، ml/L	pH
۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۵۰	۲ دقیقه (۱۰۰ rpm)، ۳۰ دقیقه (۴۰ rpm) دقیقه	۵۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰	۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵	۲-۱۱

### یافته‌ها

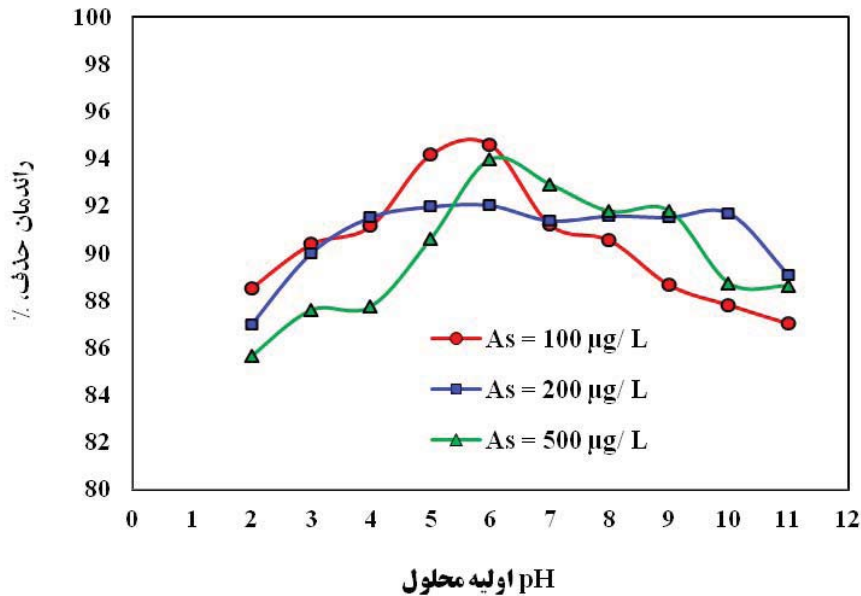
در مطالعه حاضر اثر pH اولیه محلول در حذف آرسنیک توسط عصاره دانه گیاه مورینگا پرگرینا به عنوان یک منعقد کننده طبیعی در دوز منعقد کننده معادل ۱ ml/L و برای غلظت های اولیه آرسنیک معادل ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکرو گرم در لیتر مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود در pH معادل ۲ راندمان حذف ۸۸/۵۲ درصد، ۸۶/۹۸ درصد و ۸۵/۶۶ درصد به ترتیب در غلظت های اولیه ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکرو گرم در لیتر حاصل شده است. همچنین بر اساس شکل نمودار ۱ برای غلظت آرسنیک معادل ۱۰۰ میکروگرم در لیتر با افزایش pH شاهد افزایش راندمان حذف بوده به نحوی که در pH معادل ۶ راندمان حذف به حداکثر مقدار خود برابر ۹۴/۶۱ درصد رسید. در عین حال افزایش بیشتر pH کاهش راندمان حذف را به دنبال داشت به نحویکه در pH برابر ۱۱ راندمان حذف تا ۸۷/۰۳ درصد کاهش یافت. علاوه بر این بر اساس شکل شماره ۱ برای غلظت آرسنیک معادل ۲۰۰ میکروگرم در لیتر نیز حداکثر راندمان حذف معادل ۹۲/۰۳ درصد در pH معادل ۶ حاصل گردید. از طرفی شرایط مشابه برای غلظت آرسنیک معادل ۵۰۰ میکروگرم در لیتر حاصل شد به نحوی که در pH برابر ۶ راندمان حذف به ۹۳/۹۸ درصد رسید. در عین حال، افزایش و کاهش pH، کاهش راندمان حذف آرسنیک را به دنبال داشت. بدین ترتیب برای سایر آزمایشات pH معادل ۶ مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۲: مشخصات کیفیت نمونه آب واقعی مورد استفاده برای برخی آزمایشات

پارامتر مورد بررسی	غلظت
pH	۷/۸۲
هدایت الکتریکی، $\mu\text{S/cm}$	۶۲۷
کدورت، NTU	۰/۴
آهن، mg/L	۰/۰۴
منگنز، mg/L	۰/۰۱۱
سولفات، mg/L	۴۱
کلور، mg/L	۵۳
سدیم، mg/L	۲۶
نیتрат، mg/L	۶

### آنالیز نمونه‌ها

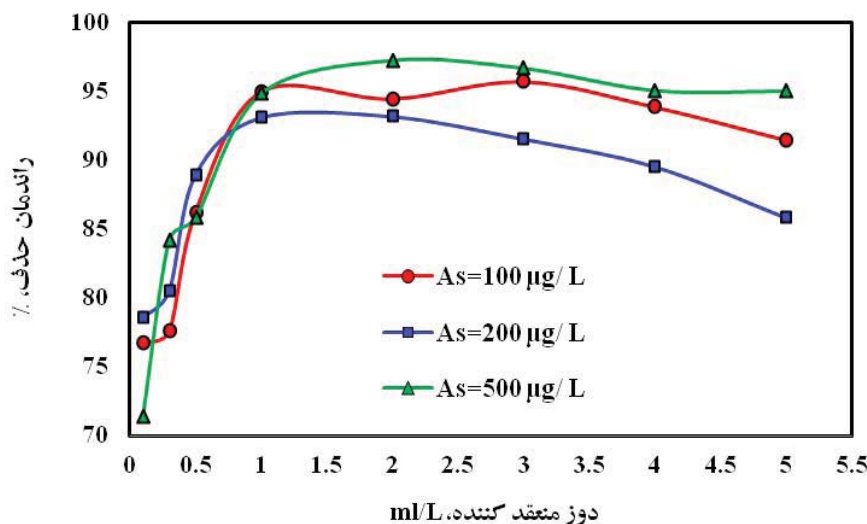
غلظت آرسنیک باقی مانده در محلول های مورد آزمایش با استفاده از روش دی اتیل دی تیو کاربامات نقره (SDDT) و با استفاده از یک دستگاه اسپکتروفتومتر UV-VI (PG, Instruments Ltd) در طول موج ۵۳۰ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت. pH نمونه ها با استفاده از pH متر (مدل Denver Ultra basic-UB10) و کدورت توسط کدورت سنج (مدل WTW 355 IR) سنجش شد. خاطر نشان می شود که آزمایشات بصورت دو بار تکرار انجام پذیرفت و نتایج ذکر شده بصورت میانگین می باشد.



نمودار ۱: اثر pH بر راندمان حذف آرسنیک (دوز منعقد کننده معادل ۱ ml/L)

شد. به عبارت دیگر، بالاترین راندمان حذف معادل ترتیب در غلظت های اولیه ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ µg/L در دوز منعقد کننده ۳، ۲ و ۲ میلی لیتر در لیتر حاصل شد. بدین ترتیب برای سایر آزمایشات دوز منعقد کننده ۲ ml/L عصاره مورینگا پرگرینا مورد استفاده قرار گرفت.

نمودار شماره ۲ اثر دوز منعقد کننده طبیعی عصاره دانه مورینگا پرگرینا (۱/۰ تا ۵ ml/L) را در حذف آرسنیک برای غلظت های آرسنیک ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکرو گرم در لیتر نشان می دهد. همانطور که از شکل ۲ مشاهده می شود حداکثر راندمان حذف آرسنیک برای غلظت های حداقل و حداکثر در دوز منعقد کننده ۳ و ۲ ml/L حاصل

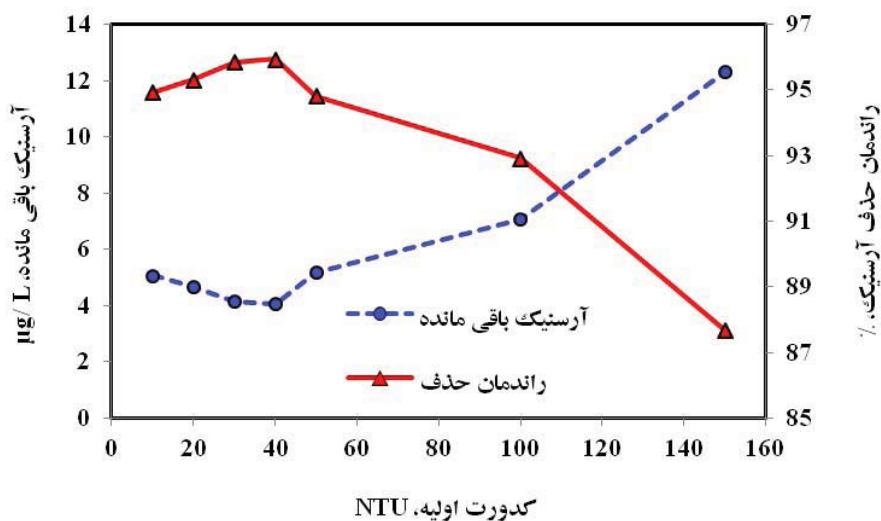


نمودار ۲: اثر دوز منعقد کننده مورینگا پرگرینا بر حذف آرسنیک در غلظت های مختلف (pH معادل ۶)

بر اساس نتایج ارائه شده در نمودار ۵ (برای غلظت اولیه آرسنیک ۵۰۰ میکروگرم در لیتر) با افزایش مقدار کدورت محلول های مورد بررسی از ۹۶/۹۲ تا ۱۰ به ۵۰ NTU، راندمان حذف نیز از ۹۶/۹۲ درصد به ۹۸/۰۷ درصد افزایش یافت اما با افزایش بیشتر مقدار کدورت راندمان حذف آرسنیک کاهش یافته به نحویکه در کدورت اولیه ۱۵۰ NTU راندمان حذف به ۹۵ درصد کاهش یافت.

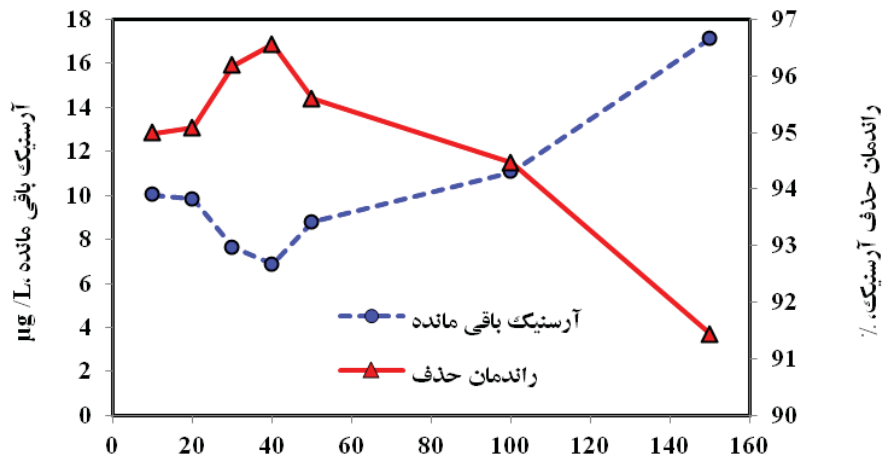
در نمودار شماره ۶ کارایی عصاره دانه مورینگا پراگرینا به عنوان منعقد کننده در حذف آرسنیک از نمونه های آب واقعی در غلظت های متفاوت آرسنیک (۵۰۰-۱۰۰  $\mu\text{g/L}$ ) نمایش داده شده است. همانطور که در نمودار مشاهده می شود، راندمان حذف آرسنیک با افزایش غلظت اولیه آن تا غلظت ۴۰۰  $\mu\text{g/L}$  افزایش و سپس کاهش یافته است به نحوی که حداکثر راندمان در غلظت اولیه آرسنیک ۴۰۰  $\mu\text{g/L}$  حاصل شد.

در نمودارهای ۳ الی ۵ اثر کدورت اولیه محلول بر حذف آرسنیک در غلظت های اولیه آرسنیک ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکروگرم در لیتر با دوز منعقد کننده ۲ ml/L در pH معادل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در نمودار شماره ۳ نمایش داده شده است با افزایش مقدار کدورت محلول های مورد بررسی از ۱۰ NTU به ۴۰ NTU، راندمان حذف نیز از ۹۴/۹۲ درصد به ۹۵/۹۴ درصد افزایش یافت اما با افزایش بیشتر مقدار کدورت راندمان حذف کاهش یافت به نحویکه در کدورت اولیه ۱۵۰ واحد راندمان حذف به کمترین مقدار و معادل ۸۷/۶۸ درصد رسید. همچنین بر اساس نتایج ارائه شده در نمودار ۴ (برای غلظت اولیه آرسنیک ۲۰۰ میکروگرم در لیتر) با افزایش مقدار کدورت محلول های مورد بررسی از ۱۰ NTU به ۴۰ NTU، راندمان حذف نیز از ۹۴/۹۹ درصد به ۹۶/۵۶ درصد افزایش یافت اما با افزایش بیشتر مقدار کدورت راندمان حذف آرسنیک کاهش یافت. در عین حال



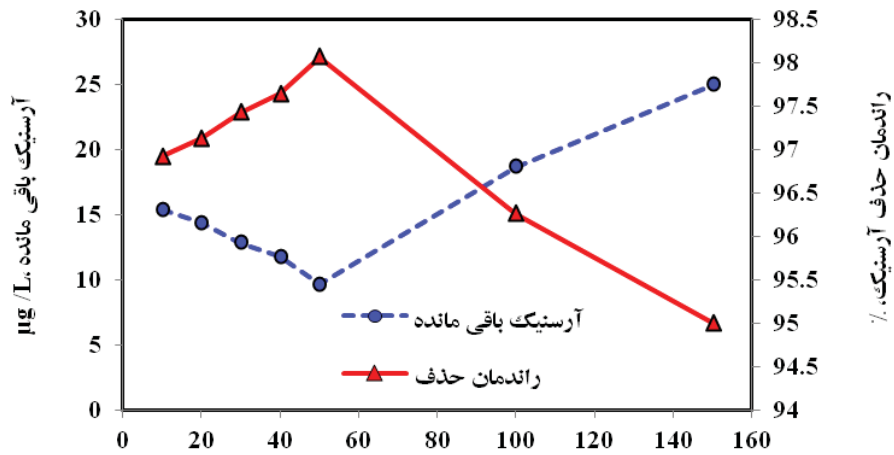
نمودار ۳: اثر کدورت اولیه بر راندمان حذف آرسنیک از محلول سنتتیک (pH برابر ۶، دوز منعقد کننده برابر ۲ ml/L غلظت اولیه آرسنیک برابر ۱۰۰  $\mu\text{g/L}$ )





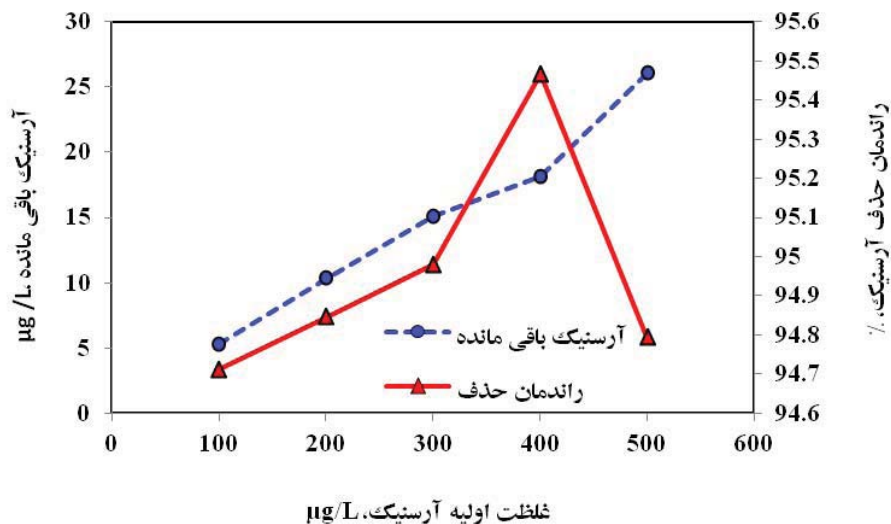
کدورت اولیه، NTU

نمودار ۴: اثر کدورت اولیه بر راندمان حذف آرسنیک از محلول سنتتیک (pH برابر ۶، دوز منعقد کننده برابر ۲ ml/L، غلظت اولیه آرسنیک برابر ۲۰۰ µg/L)



کدورت اولیه، NTU

نمودار ۵: اثر کدورت اولیه بر راندمان حذف آرسنیک از محلول سنتتیک (pH برابر ۶، دوز منعقد کننده برابر ۲ ml/L، غلظت اولیه آرسنیک برابر ۵۰۰ µg/L)



نمودار ۶: راندمان حذف آرسنیک از آب شیر برداشت (نمونه واقعی) در غلظت های مختلف آرسنیک (pH برابر ۶، دوز منعقد کننده برابر ۲ ml/L)

### بحث و نتیجه گیری

این نتیجه با یافته های حاصل از مطالعه Yarahmad و همکاران در خصوص حذف کدورت توسط عصاره دانه مورینگا اولیفرآ مطابقت دارد (۳۲).

دوز منعقد کننده مورد استفاده در فرآیند انعقاد یکی از مهمترین پارامترهای تأثیر گذار در تعیین شرایط بهینه برای عملکرد مطلوب منعقد کننده ها در فرآیند انعقاد و لخته سازی است. الزاماً، دوز ناکافی یا دوز اضافه کارایی نامطلوب فرآیند را بدنبال خواهد داشت. بنابراین، تعیین دوز بهینه جهت به حداقل رسانیدن هزینه های مصرف ماده منعقد کننده و میزان تولید لجن و نیز کسب شرایط مناسب تصفیه از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار می باشد. از این رو در مطالعه حاضر، اثر دوز منعقد کننده (عصاره دانه مورینگا پیرگرینا) در حذف آرسنیک در گستره ۰/۱ تا ۵ ml/L مورد بررسی قرار گرفت.

همانطور که از نمودار ۲ مشاهده می شود حداکثر راندمان حذف آرسنیک برای غلظت های حداقل و حداکثر در دوز منعقد کننده ۳،۲ و ۲ میلی لیتر در لیتر عصاره مورینگا پیرگرینا حاصل شد. به عبارت دیگر، بالاترین راندمان حذف معادل

یکی از مهمترین پارامترهای بحرانی در فرآیند انعقاد و حذف آلاینده ها از محلول های آبی pH محلول می باشد (۳۱،۳۰). به منظور تعیین pH مطلوب در حذف آرسنیک توسط عصاره دانه گیاه مورینگا پیرگرینا به عنوان یک منعقد کننده طبیعی، جذب آرسنیک (آرسنات) به عنوان تابعی از غلظت یون هیدروژن مورد بررسی قرار گرفت. نمودار ۱ اثر متغیر pH را در گستره ۱۱-۲ بر راندمان حذف آرسنیک تحت دوز منعقد کننده معادل ۱ ml/L نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می شود حداکثر راندمان حذف در pH معادل ۶ حاصل شده و راندمان حذف به تدریج برای تمامی غلظت های آرسنیک کاهش می یابد. به عبارت دیگر، حذف بهینه آرسنیک در pH برابر ۶ حاصل شده و سپس به تدریج با افزایش بیشتر pH کاهش می یابد. بالاترین میزان حذف معادل ۹۴/۶۱ درصد، ۹۲/۰۳ درصد و ۹۳/۹۸ درصد به ترتیب در غلظت های اولیه ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میکرو گرم در لیتر حاصل شد. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که عصاره دانه مورینگا پیرگرینا مورد استفاده در این تحقیق از اثر ناچیزی بر مقدار pH برخوردار است.

۹۵/۶۹ درصد، ۹۳/۱۸ درصد و ۹۷/۲۴ درصد به ترتیب در غلظت های اولیه ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰  $\mu\text{g/L}$  در دوز منعقد کننده ۳، ۲ و ۲ میلی لیتر در لیتر حاصل شد. افزایش بیشتر دوز منعقد کننده مصرفی بهبود راندمان حذف آرسنیک را بدنال نداشت. در حقیقت، افزایش بیشتر دوز منعقد کننده، افزایش غلظت آرسنیک باقی مانده در محلول را بدنال داشت. نتایج حاصله در مقادیر دوز بهینه فرایند انعقاد با مقادیر ارائه شده در مطالعات قبلی انجام شده مطابقت دارد (۳۴،۳۳). به عبارت دیگر افزایش بیشتر دوز منعقد کننده مصرفی سبب تثبیت مجدد ذرات یا پایداری مجدد ذرات کلوئیدی و برگشت بار ذرات می شود (۳۵). بطور کلی می توان نتیجه گیری نمود که دوز های منعقد کننده طبیعی پائین تر شرایطی مطلوب تر محسوب می شود. این نکته نه تنها از نقطه نظر اقتصادی حائز اهمیت است بلکه سبب ایجاد دوزهای مواد آلی کمتری در نمونه آب مورد پردازش شده می شود که خود احتمال رشد مجدد میکروارگانیسم ها در آب را به حداقل می رساند (۳۶). با این وجود، نتایج حاصله تنها برای شرایط واقعی معتبر می باشد.

در عین حال، حذف بالاتر (>۹۷٪) برای نمونه های با غلظت حداکثر آرسنیک ( $500 \mu\text{g/L}$ ) حاصل شد. این نتیجه با یافته های گزارش شده توسط سایر محققین همخوانی دارد (۲۸،۲۷). این محققین افزایش راندمان حذف کدورت را با افزایش مقدار کدورت اولیه نمونه های مورد بررسی گزارش نموده اند. همچنین همانطور که از نمودار ۲ مشاهده می شود، پس از انجام فرایند انعقاد توسط عصاره دانه مورینگا پرگرینا، برای غلظت اولیه آرسنیک  $500 \mu\text{g/L}$ ، غلظت آرسنیک باقی مانده به کمتر از  $100 \mu\text{g/L}$  کاهش یافت که این مقدار معادل حداکثر غلظت مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی تعیین شده توسط WHO و EPA است.

مطالعه اثر کدورت اولیه بر حذف آرسنیک در غلظت های اولیه آرسنیک متفاوت (شکل ۵-۳) نشان دهنده آن است که افزودن کدورت به نمونه

می تواند افزایش جزئی حذف آرسنیک نسبت به شرایط کاربرد منعقد کننده به صورت منفرد را به دنبال داشته باشد، زیرا کدورت خود می تواند شرایط را برای برخورد بیشتر ذرات به یکدیگر و در نتیجه افزایش راندمان حذف فراهم نماید. با این وجود، افزودن بیشتر کدورت با کاهش راندمان حذف آرسنیک همراه بود که احتمالاً دلیل آن مصرف عمده منعقد کننده برای حذف کدورت موجود بوده است. برای نمونه های مورد بررسی در غلظت های اولیه ۱۰۰، ۲۰۰ و  $500 \mu\text{g/L}$ ، بالاترین راندمان حذف در مقدار کدورت اولیه معادل NTU، ۴۰ و ۵۰ و pH معادل ۶ حاصل شد.

بمنظور مطالعه کارایی عصاره دانه مورینگا پرگرینا به عنوان یک منعقد کننده طبیعی در حذف آرسنیک از نمونه های آب واقعی، آزمایشاتی در غلظت های متفاوت آرسنیک ( $500-100 \mu\text{g/L}$ ) انجام پذیرفت. نتایج حاصل از آزمایشات صورت گرفته در جار با افزودن دوز منعقد کننده  $2 \text{ ml/L}$  در نمودار ۶ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، راندمان حذف آرسنیک با افزایش غلظت اولیه آن تا غلظت  $400 \mu\text{g/L}$  افزایش و سپس کاهش یافته است به نحوی که حداکثر راندمان در غلظت اولیه آرسنیک  $500 \mu\text{g/L}$  حاصل شد. همچنین بر اساس نمودار ۶ پس از انجام فرایند انعقاد و لخته سازی با استفاده از منعقد کننده مورینگا پرگرینا، غلظت آرسنیک باقی مانده در نمونه های مورد بررسی تنها برای غلظت اولیه  $100 \mu\text{g/L}$  به کمتر از  $10 \mu\text{g/L}$  (حداکثر غلظت مجاز در آب آشامیدنی) کاهش یافت. بدین ترتیب می توان نتیجه گیری نمود که برای کسب راندمان بالاتر در غلظت های آرسنیک بیشتر، به مقادیر زیادتری از منعقد کننده نیاز می باشد.

در مطالعه حاضر فرایند انعقاد و لخته سازی توسط منعقد کننده طبیعی عصاره دانه مورینگا پرگرینا برای حذف آرسنیک از محلول های آبی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بررسی های انجام گرفته در این مطالعه بیانگر آن است که عصاره دانه

استاندارد آرسنیک در آب آشامیدنی با غلظت های اولیه کمتر از ۱۰۰ میکروگرم در لیتر را دارد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند از حمایت مالی معاونت محترم تحقیقات و فن آوری دانشگاه علوم پزشکی زاهدان (شماره طرح ۲۵۰۶-۹۱) جهت انجام این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

### References

1. Bazrafshan E, Mahvi A.H., Zazouli M.A Removal of zinc and copper from aqueous solutions by Electrocoagulation technology using iron electrodes, *Asian Journal of Chemistry*, 2011; 23: 5506-5511.
2. Atafar Z, Mesdaghinia A, Nouri J, Homae M, Yunesian M, Ahmadimoghaddam M, et al. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration, *Environmental Monitoring and Assessment* 2010; 160: 83-87.
3. Heidari M, Moattar F, Naseri S, Samadi M.T. Khorasani N. Evaluation of aluminum-coated pumice as a potential arsenic(V) adsorbent from water resources, *International Journal Environmental Research* 2011; 5(2): 447-456.
4. Sen M, Manna A, Pal P. Removal of arsenic from contaminated groundwater by membrane-integrated hybrid treatment system, *Journal of Membrane. Science* 2010; 354: 108-113.
5. Baskan M.B., Pala A, A statistical experiment design approach for arsenic removal by coagulation process using aluminum sulfate, *Desalination* 2010; 254: 42-48.
6. Dong L, Zinin P.V, Cowen J. P, Ming L.C. Iron coated pottery granules for arsenic removal from drinking water, *Journal of Hazardous Materials* 2009; 168: 626-632.
7. Figoli A, Cassano A, Criscuoli A, Salatul Islam Mozumder M, Tamez Uddin M, et al. Influence of operating parameters on the arsenic removal by

مورینگا پرگرینا یک منعقد کننده طبیعی کارآمد و قابل اعتماد جهت حذف آرسنیک محسوب می شود. گستره pH بهینه برای حذف آرسنیک معادل ۶ تعیین مقدار شد. در این pH، درصد حذف آرسنیک با افزودن منعقد کننده بدلیل وقوع پدیده ناپایداریسازی شیمیایی ذرات کلوئیدی بدنبال خنثی سازی بارها روندی صعودی را از خود نشان داد. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که عصاره دانه گیاه مورینگا پرگرینا توانایی تأمین غلظت

- nanofiltration, *Water Research* 2010; 44: 97 - 104.
8. Henken K.R., Hutchison A. Arsenic chemistry. In: Henken, K.R. (Ed.), *Arsenic Environmental Chemistry, Health Threats and Waste Treatment*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2009: 9-68.
9. Li Y, Wang J, Luan Z, Liang Z. Arsenic Removal from Aqueous Solution Using Ferrous Based Red Mud Sludge, *Journal of Hazardous Materials* 2010; 177: 131-137.
10. Jeong Y, Fan M, Singh S, Chuangd C.L., Saha B, Leeuwenb J.H. Evaluation of iron oxide and alminum oxide aspotential arsenic (V) adsorbents, *Chem. Eng. and Proc.* 2007; 46: 1030-1039.
11. Hudak P. F. Nitrate, Arsenic and Selenium Concentrations in the Pecos Valley Aquifer, West Texas, USA, *International Journal Environmental Research* 2010; 4(2): 229-236.
12. Sen M, Manna A, Pal P. Removal of arsenic from contaminated groundwater by membrane-integrated hybrid treatment system, *Journal of Membrane Science* 2010; 354: 108-113.
13. Mohan D, Pittman Jr Ch.U. Arsenic removal from water/wastewater using adsorbents-A critical review, *Journal of Hazardous Materials* 2007; 142: 1-53.
14. Haque N, Morrison G, Aguilera I.C., Torresdey J.L.G. Iron-modified light expanded clay aggregates for the removal of arsenic (V) from groundwater, *Microchemical Journal* 2008; 88: 7-13.
15. World Health Organization (WHO), *Guidelines for drinking water quality Incorporating First and Second Addenda*,

- Vol. 1, Recommendations, third edition, WHO, Geneva, Switzerland, (2008).
16. I Villaescusa, Bollinger I.J.C. Arsenic in drinking water: sources, occurrence and health effects: a review, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 2008; 7: 307–323.
17. Borho M, Wilderer P. Optimized removal of arsenate (III) by adaptation of oxidation and precipitation processes to the filtration step, *Water Science and Technology* 1996; 34 (9): 25–31.
18. Kord Mostafapour F, Pourmoghadas H, Shahmansouri M.R., Parvaresh A. Arsenic removal by dissolved air flotation, *Journal of Applied Science* 2006; 6 (5): 1153-1158.
19. Salim M, Munkage Y. Removal of arsenic from aqueous solution using silica ceramic: adsorption kinetics and equilibrium studies, *International Journal Environmental Research* 2009; 3 (1): 13–22.
20. Kim J, Benjamin M.M. Modeling a novel ion exchange process for arsenic and nitrate removal, *Water Research* 2004; 38(8): 2053–2062.
21. Geucke T, Deowan S.A., Hoinkis J, Pätzold Ch. Performance of a small-scale RO desalinator for arsenic removal, *Desalination* 2009; 239: 198-206.
22. Kumar P.R., Chaudhari S, Khilar K.C., Mahajan S.P. Removal of arsenic from water by electrocoagulation, *Chemosphere* 2004; 55 (9): 1245–1252.
23. Ghosh B, Das M.C., Gangopadhyay A.K., Das T.B., Singh K, Lal S, et al. Removal of arsenic from water by coagulation treatment using iron and magnesium salt, *Indian Journal of Chemical Technology* 2003; 10 (1): 87-95.
24. Zhu H, Jia Y, Wu X, Wang H. Removal of arsenic from water by supported nano zero-valent iron on activated carbon, *Journal of Hazardous Materials* 2009; 172: 1591-1596.
25. Lizama A K., Fletcher T.D., Sun G. Removal processes for arsenic in constructed wetlands. *Chemosphere*. 2011; 84: 1032-1043.
26. Katsoyiannis I.A., Zouboulis A.I. Application of biological processes for the removal of arsenic from ground waters, *Water Research* 2004; 38: 17-26.
27. Song S, Lopez-Valdivieso A, Hernandez-Campos D.J., Peng C, Monroy-Fernandez M.G., Razo-Soto I. Arsenic removal from high-arsenic water by enhanced coagulation with ferric ions and coarse calcite, *Water Research* 2006; 40: 364 - 372.
28. Choong S.Y., Chuah T.G., Robiah Y., Gregory Koay F.L., Azni I. Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview, *Desalination* 2007; 217: 139–166.
29. Lakshmanan D, Clifford D.A., Samanta G. Comparative study of arsenic removal by iron using electrocoagulation and chemical coagulation, *Water Research* 2010; 44: 5641-5652.
30. Ghurye G, Clifford D.A., Tripp A.R. Pilot study of coagulation microfiltration for arsenic removal from groundwater. *J. AWWA*. 2004; 96 (4): 143-152.
31. Mondal P, Majumder C.B., Mohanty B. Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated water: recent developments, *Journal of Hazardous Materials* 2006; B137: 464-479.
32. Ndabigengesere A, Narasiah K.S., Quality of water treated by coagulation, using *Moringa oleifera* seeds, *Water Research* 1998; 32(3): 781-791.
33. Katayon S, Noor M.M., Asma M, Abdul Ghani L.A., Thamer A.M., Azni I., et al. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation, *Bioresource Technology* 2006; 97 (3): 1455-1460.
34. Shahriari T, Nabi Bidhendi G, Shahriari Sh, Evaluating the Efficiency of *Plantago Ovata* and Starch in Water turbidity removal. *International Journal Environmental Research* 2012; 6(1): 259-264.
35. Ndabigengesere A, Narasiah K.S., Talbot B.G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*, *Water Research* 1995; 29: 703-710.
36. Ndabigengesere A, Narasiah K.S. Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with

- Moringa oleifera seeds. Environ. Technol. 1997; 17: 1103–1112.
37. McConnachie G.L., Folkard G.K., Mtawali M.A., Sutherland J.P. Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes, Water Research 1999; 33: 1425-1434.
38. Suleyman A.M., Evison L.M. Optimizing physical parameters affecting coagulation of turbid water with Moringa Oleifera seeds, Water Research 1995; 29: 2689-2695.
39. Hegazy A.K., Hammouda O, Lovett-Doust J, Gomaa N.H. Population dynamics of Moringa peregrina along altitudinal gradient in the northwestern sector of the Red Sea, Journal of Arid Environments 2008; 72: 1537- 1551.
40. Shi B, Li G, Wang D, Feng C, Tang H. Removal of direct dyes by coagulation: the performance of preformed polymeric aluminum species, Journal of Hazardous Materials 2007; 143 (1–2): 567–574.
41. Chu W, Dye removal from textile dye wastewater using recycled alum sludge, Water Research 2001; 35 (13): 3147–3152.
42. Yarahmadi M, Hossieni M, Bina B, Mahmoudian M.H., Naimabadie A, Shahsavani A. Application of Moringa Oleifer seed extract and polyaluminum chloride in water treatment, World Applied Sciences Journal 2009; 7(8): 962-967.
43. Donmez M, Akbal F. The removal of As (V) from drinking waters by coagulation process using iron salts. World Academy of Science, Engineering and Technology 2011; 78: 437-439.
44. Sanghi R, Bhattacharya B, Dixit A, Singh V. Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions, Journal of Environmental Management 2006; 81: 36–41.
45. Duan J, Gregory J. Coagulation by hydrolysing metal salts, Advances in Colloid and Interface Science 2003; 100–102: 475–502.
46. Sciban M, Klačnja M, Antov M, Škrbic B. Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn, Bioresource Technology 2009; 100: 6639–6643

Archive