

بررسی کاربرد سنگ آتشفشانی پامیس در حذف آهن از آب

علیرضا رحمانی^۱

منیره عباسی^۲

زهرا کاشی تراش اصفهانی^۳

(دریافت ۸۸/۶/۱۱ پذیرش ۸۹/۶/۲۰)

چکیده

آهن چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است که حضور مقادیر بیشتر از استاندارد آن در آب، آثار نامطلوبی را ایجاد می نماید. این مطالعه با هدف به کارگیری سنگ پامیس در حذف یا کاهش آهن محلول در آب و مطالعه عوامل مؤثر بر آن شامل غلظت آهن و pH انجام شد. غلظت آهن در سه سطح ۰/۳، ۱ و ۵ میلی گرم در لیتر تهیه و با دو سطح ۱۰ و ۲۰ گرم از سنگ پامیس و سه سطح pH ۳/۵، ۷ و ۱۰ در سیستم ناپیوسته و در مراحل جداگانه مجاورت داده شد. به منظور تعیین کارایی سنگ پامیس در حذف آهن محلول، هر ۱۰ دقیقه یکبار نمونه برداری انجام شد و غلظت آهن باقیمانده در هر مرحله توسط روش اسپکتروفتومتری تعیین گردید. نتایج نشان داد که میزان جذب آهن محلول با مقدار ماده جاذب و pH محلول رابطه مستقیم دارد. همچنین سنگ پامیس استفاده شده به عنوان جاذب، قابلیت احیا و استفاده مجدد را دارا است. جذب آهن با مدل فروندلیچ انطباق بیشتری داشت. طبق یافته های این پژوهش، به دلیل دسترسی آسان و قیمت پایین سنگ پامیس، راندمان بالا در فرایند جذب و امکان احیا و استفاده مجدد از آن، به کارگیری این سنگ در تصفیه خانه های آب و فاضلاب به منظور حذف آهن پیشنهاد می گردد.

واژه های کلیدی: تصفیه آب، حذف آهن، سنگ پامیس، فرایند جذب، تصفیه فاضلاب

Investigating Iron Removal from Water by Using of Pumice Stone

Alireza Rahmani¹

Monireh Abbasi²

Zahra Kashitarash Isfahani³

(Received Sep. 2, 2009 Accepted Sep. 11, 2010)

Abstract

Iron is the 4th abundant elements of the earth's crust which high sub standard quantity of it in water distribution systems causes improper effects. The main objective of this research is to use Pumice stone for eliminating or decreasing of soluble Iron in water and to study in detail the effect of its factors. Three levels of Iron concentrations were prepared (0.3, 1 and 5 mg/L) and poured in a batch system in two Levels 10 and 20 g of Pumice stone. The pH were set at three levels (3.5, 7 and 10). The remaining Iron concentration was measured in each step of process by taking a sample in every 10 minutes using spectrometry method. The results showed that adsorption rate had a direct relation with adsorbent and soluble pH. Also in this method the used Pumice stone can be reused and regenerated. Iron absorption data can be presented by freundlich isotherm model. According to the results obtained, Pumice stone can be used with high efficiency in adsorption process of Iron from water and wastewater. Also low cost and easy accessibility of Pumice stone along with its possibility for reused and regeneration are other advantages of this stone for full-scale application.

Keywords: Water Treatment, Iron Elimination, Pumice Stone, Adsorption Process, Wastewater Treatment.

1. Assoc. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Center of Health Sciences Reserarr, Hamedan Unviersity of Medical Sciences, Hamedan
2. B.S. of Environmental Health, Faculty of Pubic Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan
3. M. Sc. of Environmental Health, Faculty of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan (Corresponding Author) (+98 21) 77556328 kashitarash@umsha.ac.ir

- ۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان
- ۲- کارشناس بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان
- ۳- کارشناس ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان (نویسنده مسئول) ۷۷۵۵۶۳۲۸ (۰۲۱) kashitarash@umsha.ac.ir

آهن یکی از عناصری است که در منابع آب و به خصوص آبهای زیرزمینی دیده می‌شود [۱]. آهن چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و آلودگی آن معمولاً به دوشکل یون فریک و فرو بروز می‌کند. آهن در آبهای سطحی غالباً به صورت فریک وجود دارد و در حالت طبیعی غیر محلول است و از ذرات آهن جامد تشکیل شده است [۲ و ۱]. آبهای زیرزمینی نیز دارای آهن فرو (شکل محلول آهن) هستند و معمولاً در ابتدای برداشت، روشن و بیرنگ هستند. این آبها پس از تماس با هوا کم کم تیره شده و در نهایت یک رسوب قهوه‌ای متمایل به زرد تا قرمز از هیدروکسید فریک در آنها تشکیل می‌شود [۱-۳].

مقادیر بیش از ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر آهن در آب باعث ایجاد مزه نامطلوب، قرمز شدن رنگ آب و ایجاد لکه روی وسایل و البسه و همچنین باعث تجمع رسوبات در لوله‌های آب و رشد باکتری کرونوتریکس و سایر باکتری‌های آهن در شبکه آب می‌شود [۲ و ۳]. این باکتری‌ها سبب گرفتگی چاهها و اختلال در سیستم آن خواهند شد [۴]. باکتری‌های آهن مانند کرونوتریکس و گالیونلا، یون فرو را به عنوان منبع انرژی مصرف و رسوب هیدروکسید فریک را ایجاد می‌کنند. در آبهای آهن دار، رشد باکتری‌های آهن ممکن است باعث گرفتگی لوله‌ها شود [۲ و ۳]. رشد این باکتری‌ها در آب آشامیدنی باعث بدبو شدن آن می‌شود. به علاوه رشد آنها در آبهایی که مصرف صنعتی دارند نیز باعث ایجاد اشکالاتی در سیستم آبرسانی صنعتی می‌گردد و از آنجایی که این باکتری‌ها انرژی خود را از اکسیداسیون یون فرو به دست می‌آورند، حذف آهن از آب به عنوان راه کنترلی پیشنهاد می‌گردد [۴].

تاکنون فرایندهای مختلفی از جمله هوادهی، اکسیداسیون شیمیایی و تبادل یونی برای حذف آهن از منابع آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گرفته است [۲-۴]. این روشها خصوصاً برای مناطق روستایی بسیار گران تمام می‌شوند [۵]. در طی سالیان اخیر تحقیقاتی برای دستیابی به جاذبهای با قیمت پایین برای حذف فلزات از آب بسیار مورد توجه قرار گرفته و توانایی کانی‌های معدنی در حذف فلزات از آب توسط محققان زیادی بررسی شده است [۶]. فاکتورهای متعددی از قبیل فرم شیمیایی فلزات (درجه اکسیداسیون)، نوع فلز، نوع کانی، غلظت فلز، مقدار جاذب، pH، حضور یا عدم حضور عوامل کمپلکس کننده و غیره در فرایندهای حذف و جذب فلزات به وسیله کانی‌های معدنی نقش دارند [۷-۹]. مهم‌ترین کانی‌های معدنی عبارت‌اند از کائولن، بنتونیت، زئولیت و ور میکولیت [۶ و ۹]. در این میان سنگ پامیس به دلیل قابلیت‌های فوق‌العاده، مورد توجه قرار گرفته است. پامیس یک سنگ آتشفشانی متخلخل غنی از سیلیس و غالباً با رنگ روشن است که

در اثر سرد شدن سریع لاوا در سطح زمین تشکیل می‌شود. مزیت‌های اصلی سنگ پامیس نسبت به سایر تعویض کننده‌های یونی در قدرت مکانیکی آن، پایداری در برابر محلولهای آلی و حملات میکروبی، سهولت انتقال به دلیل سبک بودن آن و قابلیت احیای مجدد آن است. در کشور ما این سنگ به فراوانی یافت می‌شود و به لحاظ قیمت بسیار مناسب آن به سهولت قابل دسترسی است [۶ و ۹]. به علاوه پامیس دارای تخلخل و مساحت سطح بزرگی است و به راحتی تحت فرایند قرار می‌گیرد. سنگ پامیس در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و $\text{pH}=8$ دارای ظرفیت جذب^۱ ۰/۰۵۵ میلی‌گرم بر گرم است [۵]. نسبت بالای سیلیکای آزاد در سطح متخلخل پامیس سبب شده که سطح آن دارای بار منفی شود. سرعت سرد شدن و خروج گازها از سنگ، یکسری حفرات نامنظم را در آن ایجاد نموده است. این ساختار پامیس سبب شده که آب و یون‌ها به درون حفرات وارد شوند و از ساختار کریستالی خارج شوند. هر دو شکل پودری و سنگی پامیس، پاک کننده، ضد عفونی کننده و صیقل دهنده ارزشمندی است. این سنگ ساختمان استخوان بندی شکلی دارد که اجازه می‌دهد یون‌ها و ملکول‌ها به داخل ساختار اسکلتی حرکت کنند و در سرتاسر آن مستقر شوند. پامیس به شکل گسترده‌ای به عنوان ماده پاک کننده کاربرد دارد و در اغلب عملیتهای مقدماتی شستشو به کار برده می‌شود. این سنگ بسیار سبک است به گونه‌ای که روی آب شناور می‌ماند. پامیس در حقیقت نوعی شیشه است [۸، ۱۰ و ۱۱]. پامیس در زمینه‌های مختلفی از محیط زیست مورد آزمایش و استفاده قرار گرفته است. این سنگ در حذف یون فسفات از آب و همچنین در حذف آفت‌کشها بسیار مؤثر عمل می‌کند [۱۲ و ۱۳]. از این سنگ در صنعت آب و فاضلاب به عنوان بستر نگهدارنده لجن استفاده شده است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که قیمت هر متر مکعب پامیس به منظور استفاده به عنوان بستر حدود ۲ درصد قیمت هر متر مکعب بسترهای تجاری است. از سنگ پامیس برای حذف رنگ و COD نیز استفاده شده است [۱۴]. پامیس همچنین دارای خاصیت تبادل کاتیونی نیز می‌باشد [۱۳].

هدف از این تحقیق بررسی قابلیت به کارگیری سنگ آتشفشانی پامیس، در فرایند حذف آهن از آب و تعیین اثر عواملی از قبیل pH، غلظت فلز، زمان تماس و مقدار جاذب در راندمان فرایند جذب بود.

۲- روش تحقیق

این مقاله حاصل یک مطالعه توصیفی-کاربردی است که به منظور بررسی حذف آهن با استفاده از سنگ آتشفشانی پامیس و تأثیر

^۱ Adsorption capacity

pH، زمان ماند و غلظت اولیه آهن محلول بر روی آن انجام گرفت. نمونه‌های سنگ پامیس به‌عنوان ماده جاذب از منطقه قروه واقع در استان همدان تهیه گردیدند. این نمونه‌ها تا رسیدن به اندازه مطلوب برای انجام آزمایش، آسیاب شده و سپس به کمک الک‌های استاندارد در محدوده اندازه ذرات با مش ۲۰ دانه‌بندی گردیدند. نمونه‌های آماده شده با آب مقطر شستشو داده شده و بعد از خشک نمودن برای انجام آزمایش‌ها نگهداری گردیدند. سپس نمونه آب خام حاوی آهن با غلظتهای ۰/۳، ۱ و ۵ میلی‌گرم در لیتر، از طریق اضافه نمودن سولفات فرو ساخت کارخانه مرک^۱ به آب مقطر تهیه گردید. در مراحل بعد، کارایی حذف آهن در pHهای ۳/۵، ۷ و ۱۰ و زمان تماس تا ۸۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفت و از دو سطح وزن جاذب ۱۰ و ۲۰ گرم استفاده گردید. کلیه آزمایش‌های این تحقیق براساس کتاب روشهای استاندارد انجام گرفت [۱۵].

برای انجام آزمایش‌ها، ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه آب شبیه‌سازی شده در مراحل جداگانه در ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری با مقادیر مختلفی از غلظتهای آهن و در pHهای مورد مطالعه تماس داده شد. در طول انجام آزمایش، نمونه با سرعت ۳۰ دور در دقیقه اختلاط داده شد. برای تعیین غلظت آهن باقیمانده از روش اسپکتروفتومتری و در طول موج ۵۱۰ نانومتر استفاده شد به این ترتیب که در هر مورد از آزمایش‌ها در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه از شروع آزمایش، نمونه برداری صورت گرفت و پس از سانتریفوژ نمودن نمونه‌ها، غلظت آهن باقیمانده تعیین و سپس با توجه به غلظت اولیه آهن، کارایی حذف در مراحل مختلف با استفاده از رابطه ۱ مورد محاسبه قرار گرفت

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه

C_i و C_f به ترتیب غلظت اولیه و غلظت نهایی آهن بر حسب میلی‌گرم در لیتر و E کارایی حذف است.

در ادامه آزمایش‌ها، احیای نمونه‌های سنگ پامیس اشباع شده از آهن با استفاده از آب مقطر، محلول اشباع کلرور سدیم، سود ۱ نرمال و اسید کلریدریک ۱ نرمال مورد مقایسه قرار گرفت. برای تعیین مشخصات ساختاری پامیس از تکنیک‌های پراکنش پرتو ایکس XRD^۲، XRF^۳ و میکروسکوپ الکترونی روبشی^۴ شرکت فیلیپس استفاده شد.

¹ Merck
² X-Ray Diffraction (XRD)
³ X-Ray Fluorescence (XRF)
⁴ Scanning Electronic Microscopy (SEM)

۲-۱- ایزوترم‌های جذب

در این مطالعه از ایزوترم‌های لانگمیر^۵ و فروندلیچ^۶ به منظور تحلیل جذب آهن توسط پامیس اصلاح شده استفاده گردید. مقدار ماده جذب شونده که به ازای واحد جرم ماده جاذب جذب شده است با استفاده از رابطه ۲ مورد محاسبه قرار گرفت

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2)$$

که در آن

q_e غلظت ماده جذب شونده در فاز جامد یعنی ماده جاذب بعد از اتصال بر حسب میلی‌گرم بر گرم، C_0 غلظت اولیه ماده جذب شونده در محلول بر حسب میلی‌گرم در لیتر، C_e غلظت تعادلی نهایی ماده جذب شونده بعد از برقراری تعادل بر حسب میلی‌گرم در لیتر، V حجم مایع در داخل راکتور بر حسب لیتر و m جرم ماده جذب شونده بر حسب گرم است.

به منظور تعیین ایزوترم‌های جذب از شکل خطی مدل‌های ایزوترمی لانگمیر و فروندلیچ استفاده گردید. شکل خطی مدل لانگمیر با استفاده از رابطه ۳ بیان می‌گردد [۱۶]

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} C_e \quad (3)$$

با ترسیم C_e/q_e (بر روی محور Y) نسبت به غلظت در نقطه تعادل یعنی C_e (بر روی محور X)، خط راستی حاصل خواهد شد که دارای شیب $1/n$ و عرض از مبدا $1/ab$ است. شکل خطی رابطه فروندلیچ نیز با استفاده از رابطه ۴ بیان می‌شود [۱۷]

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} (\log C_e) \quad (4)$$

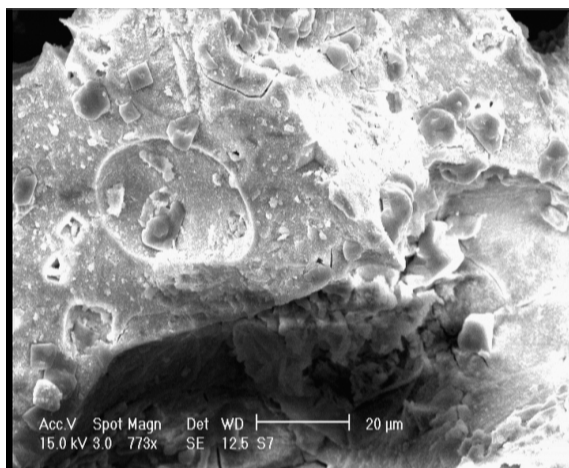
با ترسیم مقادیر $\log q_e$ (بر روی محور Y) نسبت به مقادیر $\log C_e$ (بر روی محور X) خط راستی حاصل خواهد شد که دارای شیب $1/n$ و عرض از مبدا $\log K_f$ است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشخصات ساختاری پامیس

برای تعیین خصوصیات ظاهری پامیس اولیه از SEM و برای تعیین ترکیبات و مشخصات ساختاری پامیس نیز از XRD و XRF استفاده گردید. شکل ۱ نشان دهنده تصویر میکروسکوپ الکترونی پامیس اولیه بوده که با بزرگنمایی ۵۰۰۰ تعیین شده است.

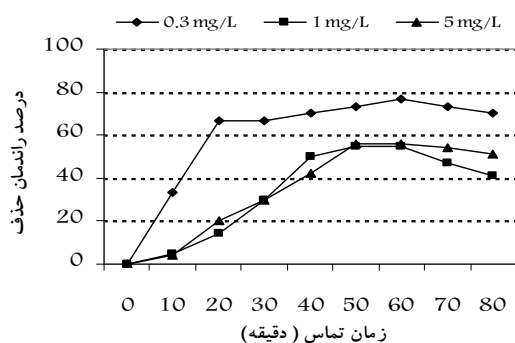
⁵ Langmuir
⁶ Freundlich



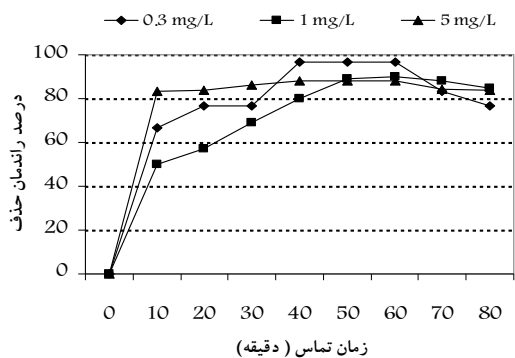
شکل ۱- تصویر الکترونی پامیس اولیه

جدول ۱- ترکیبات تشکیل دهنده پامیس بر حسب درصد

Total	Others	LOI	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
۱۰۰	۱/۲	۱/۰۶	۰/۳۷	۱/۱۴	۱/۴	۳/۱۵	۴/۲	۱۴/۱۲	۷۳/۹۸

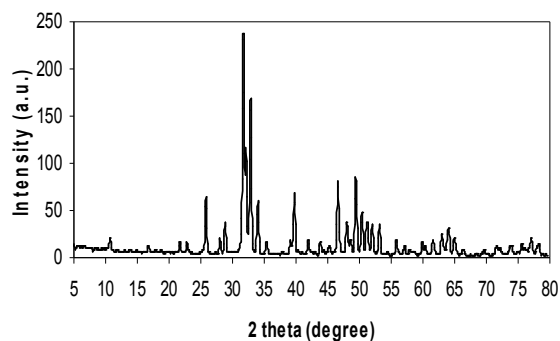


شکل ۳- راندمان حذف آهن محلول در آب توسط سنگ پامیس: pH=۳/۵، وزن جاذب ۱۰ گرم



شکل ۴- راندمان حذف آهن محلول در آب توسط سنگ پامیس: pH=۷، وزن جاذب ۱۰ گرم

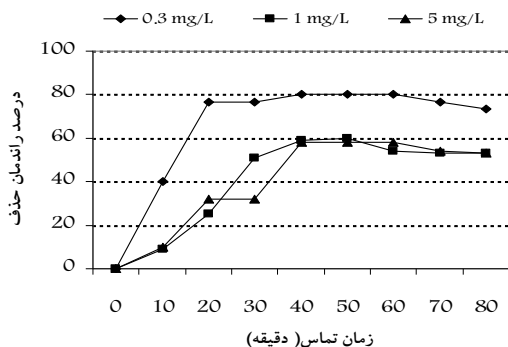
نمودار مندرج در شکل ۲ نشان می‌دهد که ساختار پامیس مورد استفاده عمدتاً از ترکیب SiO₂ است. نتایج حاصل از XRF نمونه نیز ترکیب شیمیایی پامیس را سیلیکا، آلومینا، اکسیدهای پتاسیم، سدیم و غیره نشان می‌دهد (جدول ۱). وجود این اکسیدهای فلزی در حضور آب، باعث تشکیل گروههای عامل سطحی می‌شوند که نقش بسیار مؤثری در حذف آلاینده‌ها از آب دارند.



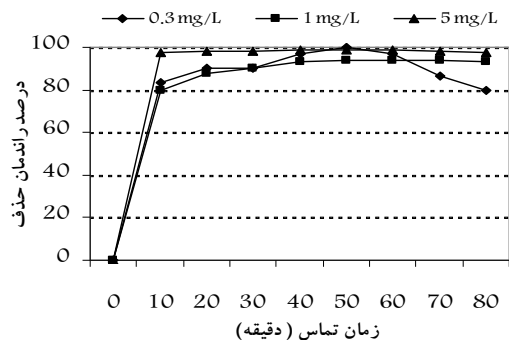
شکل ۲- XRD نمونه پامیس مورد استفاده در این تحقیق

۲-۳- بررسی تاثیر پارامترهای موثر بر فرایند جذب آهن توسط پامیس

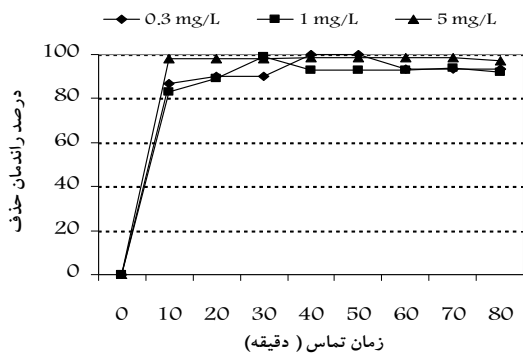
نتایج حاصل از بررسی حذف آهن با استفاده از سنگ پامیس در غلظتهای آهن ۰/۳، ۱ و ۵ میلی‌گرم در لیتر و pH های ۳/۵، ۷ و ۱۰ با وزن ۱۰ گرم پامیس در شکلهای ۳ تا ۵ و برای وزن ۲۰ گرم پامیس در شکلهای ۶ تا ۸ آورده شده است.



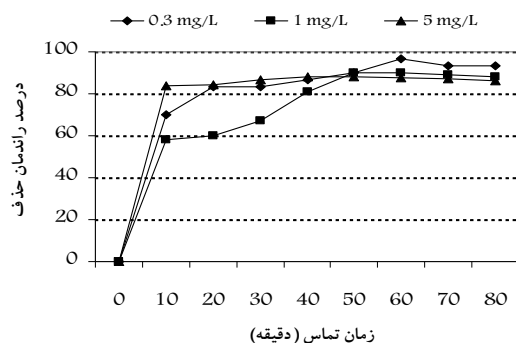
شکل ۶- راندمان حذف آهن محلول در آب توسط سنگ پامیس: pH=۳/۵، وزن جاذب ۲۰ گرم



شکل ۵- راندمان حذف آهن محلول در آب توسط سنگ پامیس: pH=۱۰، وزن جاذب ۱۰ گرم



شکل ۸- راندمان حذف آهن محلول در آب توسط سنگ پامیس: pH=۱۰، وزن جاذب ۲۰ گرم



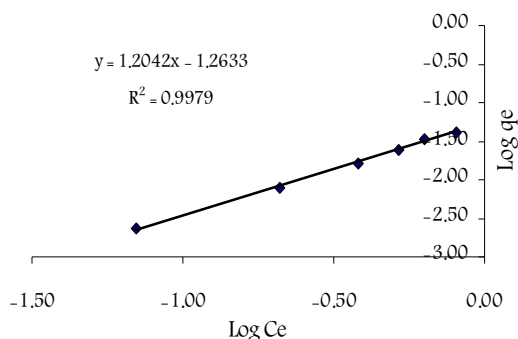
شکل ۷- راندمان حذف آهن محلول در آب توسط سنگ پامیس: pH=۷، وزن جاذب ۲۰ گرم

شدن به حالت تعادل، این سرعت کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرد. البته در این قسمت pH نقش مهمی را بازی می‌کند. به عنوان مثال مطابق شکل‌های ۳ تا ۵ برای غلظت ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر آهن بعد از زمان تماس ۱۰ دقیقه در pH های ۳/۵، ۷ و ۱۰ راندمان حذف به ترتیب ۳/۳، ۶۶/۷ و ۸۳/۳ درصد به دست آمد. بنابراین افزایش pH باعث کاهش زمان تماس و سرعت در انجام واکنش می‌گردد. همچنین به نظر می‌رسد که در pH پایین، سرعت واکنش با غلظت آهن نسبت عکس دارد در حالی که در pH های بالا این نسبت، مستقیم است.

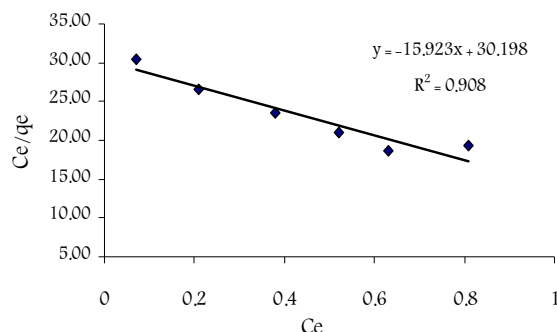
افزایش وزن جاذب نیز تا حدودی باعث افزایش راندمان می‌گردد. به عنوان مثال راندمان جذب در pH=۱۰ با زمان تماس ۱۰ دقیقه برای غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر آهن به ترتیب برای ۱۰ و ۲۰ گرم جاذب، ۸۰ و ۸۳ درصد است.

علاوه بر این، نظر به اینکه در آبهای طبیعی همواره یون‌های دیگری به غیر از آهن نیز یافت می‌شوند، می‌توان در تصفیه‌خانه‌ها عملاً از این سنگ در مقیاس انبوه نیز استفاده نمود به گونه‌ای که تحقیقات در این زمینه نشان داده است که سنگ پامیس می‌تواند

نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش pH، کارایی حذف یون آهن افزایش می‌یابد که این می‌تواند به دلیل ایجاد رقابت میان کاتیون‌ها و یون‌های پروتون در ساختار پامیس باشد. با افزایش pH محلول، یون‌های فلز جایگزین یون‌های هیدروژن در سطح پامیس می‌گردند و بنابراین میزان جذب نیز افزایش می‌یابد. دو مکانیسم ملکولی که در این امر دخالت دارند شامل تبادل کاتیونی غیر آلی در لایه داخلی و جذب ویژه در نتیجه تشکیل کمپلکس‌های سطحی هستند. میزان جذب بیشتر در مقادیر بالای pH مشخص می‌سازد که یون‌های فلزی از طریق چیلته شدن با سنگ پامیس وارد واکنش می‌شوند. یون‌های هیدروژن به دلیل تمایل بالایی که به محلهای تبادل یون و کمپلکس کننده دارند در تشکیل کمپلکس‌های فلزی مؤثر هستند [۵]. از طرفی هر چه pH محلول‌های آبی زیادتر باشد، مقدار کمتری جاذب مورد نیاز است و یا به عبارت دیگر، درصد جذب فلزات در مقادیر ثابت جاذب از میزان بالاتری برخوردار خواهد بود [۵، ۶ و ۱۲]. برای تمام آزمایش‌های انجام گرفته، زمان انجام تعادل حدود ۵۰ دقیقه بود. سرعت واکنش در دقایق اولیه زیاد بود ولی بعد از نزدیک



شکل ۱۰- ایزوترم فروندلیچ در جذب آهن بر روی پامیس



شکل ۹- ایزوترم لانگمیر در جذب آهن بر روی پامیس

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مدل‌های ایزوترمی لانگمیر و فروندلیچ در جذب آهن

لانگمیر		فروندلیچ		مدل
a	b	K _f	n	پارامتر
۰/۰۸۶	۲۷/۸۵	۷/۳۰۸	۳/۹۵	مقدار

ریاضی مطلوب است. با توجه به اینکه مقدار n به دست آمده در جذب آهن توسط پامیس اصلاح شده مطابق جدول ۲ برابر ۳/۹۵ است، از این رو مدل ایزوترمی فروندلیچ از نظر ریاضی مطلوب ارزیابی می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که پوکه معدنی پامیس از قابلیت بالایی در حذف و جذب آهن از محلول‌های آبی برخوردار است و می‌تواند به عنوان یک ماده مؤثر و ارزان قیمت در حذف آهن از محلول‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد. جذب آهن در pHهای پایین ناچیز است و با افزایش pH، میزان جذب افزایش می‌یابد به طوری که در pH برابر ۳/۵، درصد جذب آهن در غلظت ۱ برابر با ۵ درصد ولی در pH برابر ۱۰، به ۸۰ درصد می‌رسد. بررسی امکان احیای سنگ پامیس توسط احیاکننده‌های مختلف بسیار مورد توجه است که باید در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد.

۵- قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان به خاطر حمایت مالی از این تحقیق و فراهم نمودن امکانات لازم کمال تشکر را داشته و از خانم مهندس فاطمه ناظمی به خاطر همکاری در انجام تحقیق، تشکر و قدردانی می‌گردد.

فنل و ۴-کلروفنل را از محلول‌های آبی حذف نماید. آکبال^۱ نشان داد که پامیس توانایی حذف رنگ از محیط‌های آبی را داراست [۱۳]. یاووز و همکاران^۲ نیز نشان دادند که این سنگ قادر است بیش از ۸۰ درصد کاتیون‌های کروم و کادمیم را از محیط‌های آبی حذف نماید [۵]. در واقع حذف آهن به تنهایی نقطه قوت این سنگ نیست و علاوه بر آهن، حذف فلزات سنگین از قبیل کادمیم، کروم و حتی ترکیبات سمی مانند فنل نیز توسط سنگ پامیس امکان پذیر است.

۳-۳- تعیین ایزوترم‌های جذب

در مطالعات مربوط به جذب آلاینده‌ها بر روی جاذب‌های مختلف، تعیین ایزوترم‌های جذب و ظرفیت جاذب مورد استفاده از مهم‌ترین مشخصه‌هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد.

مطابق شکل‌های ۹ و ۱۰ مقادیر ضریب تعیین در جذب آهن با استفاده از پامیس اصلاح شده برای مدل‌های ایزوترمی لانگمیر و فروندلیچ به ترتیب برابر با ۰/۸۶۵ و ۰/۹۹۸ است. با توجه به این مقادیر، مشاهده می‌شود که فرایند جذب با قوت بیشتری تابع ایزوترم فروندلیچ است. همچنین مقادیر پارامترهای مدل‌های ایزوترمی لانگمیر و فروندلیچ در جدول ۲ آورده شده‌اند. در مورد مدل ایزوترمی فروندلیچ، n مقیاسی از شدت جذب است و چنانچه این مقدار در محدوده بین ۱ تا ۱۰ باشد، تابع ایزوترمی از نظر

¹ Akbal

² Yavuz et al.

- 1- Colter, R., and Mahler, L. (2006). *Iron in drinking water, Ebook Series of Publications on Drinking Water Contaminants and Treatments for them*, Oregon State University, PNW 589.
- 2- Qasim S.R., Motley, E. M., and Zhu, G. (2005). *Water works engineering, planning , design and operation*, Printice Hall PTR, Inc., N. J.
- 3- Bitton,G. (2005). *Wastewater microbiology*, 3rd Ed., Wiley-Liss Pub., Hoboken, N. J.
- 4- Reddy, P. G. (2005). "Removal of arsenic from drinking water by iron oxide coated pumice stone." Ph. D. Thesis, The University of Texas, USA.
- 5- Yavuz, M., Godea, F., Erol, P., Sema, O., and Yogesh, C. S. (2008). "An economic removal of Cu²⁺ and Cr³⁺ on the new adsorbents, Pumice and polyacrylonitrile/pumice composite." *J. of Chemical Engineering*, 137, 453-461.
- 6- Nurdan, K., Pazarlioglu, I., and Azmi, T. (2005). "Biodegradation of phenol by *Pseudomonas putida* immobilized onactivated pumice particles." *Process Biochemistry*, 40, 1807-1814.
- 7- Echeverria, J.C., Morera, M. T., Mazkarian, C., and Garrido, J. J. (1998). "Competitive sorption of heavy metal by soils isotherms and fractional factorial experiments." *Environmental Pollution*, 101, 275-284.
- 8- Sapci, Z., and Ustun, B. (2003). "The removal of color and COD from textile wastewater by using waste pumice." *Electronic J. of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 2(2), 286-290.
- 9- Sharbatmaleki, M. A., and Borghei, S. M. (2005). "Performance of Pumice stone as a packing in fixed-bed aerobic bioreactor." *J. of Water and Wastewater*, 56, 62-71. (In Persian)
- 10- Pehlivan, E., Richardson, A., and Zuman, P. (2004). "Electrochemical investigation of binding of heavy metal ions to Turkish lignites." *Electroanalysis*, 16 (16), 1292-1298.
- 11- Akbal, F., Akdemir, N., and Onar, A.N. (2000). "FT-IR spectroscopic detection of pesticide after sorption onto modified pumice." *Talanta*, 53, 131-135.
- 12- Panuccio, M. R., Sorgona, A., Rizzo, M., and Cacco, G. (2007). "Cadmium adsorption on vermiculite, zeolite and pumice, batch experimental studies." *J. of Environmental Management*, 90 (1), 365-374.
- 13- Akbal, F. (2005). "Sorption of phenol and 4-chlorophenol on to pumice treated with cationic surfactant." *J. Environ. Manag*, 74, 239-244.
- 14- Akbal, F. (2005). "Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto pumice powder." *J. of Colloid and Interface Science*, 286, 455-458.
- 15- Glesceria, L. A. E., and Eaton, A. D. (1998). *Standard method for the examination of water and wastewater*, 20th Ed., APHA, WEF, Washington D.C.
- 16- Langmuir, I. (1998). "The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica, and platinum." *J. Am. Chem. Soc.*, 40, 1361-1403.
- 17- Freundlich, H. Z., (1906a). "Over the adsorption in solution." *J. Phy. Chem.*, 57, 385-470.