

Removal of Chromium from Industrial Wastewater

Sardashti, A. R. (Ph.D)

Department of Chemistry, University of Sistan and Balochestan, Zahedan

Abstract

Chromium is not presented in natural water. However it enters to water resources from industrial wastewater such as electroplating, tanning, pigment, dye, printing, etc. which causes serious problems in the environment. Here studies carried out on the wastewater of a tanning factory (Mashhad Hemmatabad).

UV-Visible studies showed that this kind of wastewater contains chromium (III) only. The samples have been converted to dichromate by treating with ammonium persulphate in presence of silver nitrate and few drops of concentrated sulphuric acid. The measurements have been done by atomic absorption spectrophotometry with nitrous acetylene flame.

By plotting the absorption verses concentration (2-9ppm) a straight line is obtained which has a relative standard deviation of 1.63%. When standard deviation is thrice the detection limit comes out to be 0.1mg/l

Many of reference discussed the removal of metallic ions from industrial wastewater by ionic exchange processes, thus we tried to remove chromium by the process of semicontinu in column using humic acid as a natural cationic exchanger.

The results showed that, under optimum conditions, from a wastewater containing 162.56 mg/lit of Cr (III) ion it is possible to remove 96.27%. In this experiment there is no need of any change in the pH.

حذف کروم از پساب‌های صنعتی

(دریافت ۸۱/۷/۱۷ پذیرش ۸۲/۳/۲۸)

علیرضا سردشتی*

چکیده

کروم به طور معمول در آب‌های طبیعی وجود ندارد و از پساب‌های ناشی از صنایع دباغی، آبکاری، رنگ‌سازی به فرم‌های شیمیایی مختلف وارد جریان‌های آب می‌گردد و مشکلات زیست‌محیطی به دنبال دارد. در این تحقیق پساب یکی از کارخانجات دباغی مورد بررسی قرار گرفت. طیف uv-vis نشان می‌دهد که در این پساب فقط کروم (III) وجود دارد. اندازه‌گیری‌ها توسط اسپکتروفتومتری جذب اتمی، با شعله نیتروز-استیلن انجام شده است. رابطه بین جذب و غلظت در محدوده ۲ تا ۹ ppm کاملاً خطی و هیچگونه مزاحمتی از طرف سایر کاتیون‌ها مشاهده نشد. انحراف استاندارد نسبی ۱/۶۳٪ است و حد تشخیص آن ۰/۱ mg/L می‌باشد. با توجه به این که فناوری حذف یون‌های فلزی از پساب بر پایه فرآیند تبادل یونی در سال‌های اخیر کاربرد فزاینده‌ای یافته است، لذا برای حذف کروم (III) از نمونه پساب، از روش semicontinu in column هیومیک اسید که یک مبادله کننده کاتیونی طبیعی است، استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در شرایط بهینه کروم (III) را با غلظت ۱۶۲/۵۶ mg/L می‌توان از محلول پساب با راندمان ۹۶/۲۷٪ بدون تغییر pH حذف کرد.

واژه‌های کلیدی: هیومیک اسید- تبادل یونی- پساب دباغی- کروم (III)- جذب اتمی شعله‌ای.

مقدمه

گسترش روزافزون صنایع هر روز دامنه آلودگی‌های محیطی از جمله آلودگی آب‌ها را گسترده‌تر و خطرناک‌تر می‌سازد. در بسیاری از کشورها فاضلاب‌های تولید شده، بدون تصفیه، به محیط و منابع آب ریخته می‌شود و نابودی موجودات آبی گیاهی و حیوانی را به دنبال دارد. نقش بیولوژیکی و سمیت عناصر خاص به مقدار زیاد وابسته به فرم شیمیایی آن عناصر است. کروم (III) در غلظت‌های کم به فعال کردن انسولین کمک می‌کند، در حالی که کروم (VI) پس از عبور از غشای سلولی موجب سرطان ریه می‌گردد [۱]. نمک‌های کرومات و بیکرومات خیلی سمی‌تر از نمک‌های کروم سه ظرفیتی می‌باشند. به خصوص کرومات هنگامی که وارد شبکه‌های آبرسانی می‌شود، برای سلامتی انسان خطرناک می‌باشد [۲]. به منظور حذف کروم از پساب‌های صنعتی می‌توان از

پلیمرهای طبیعی، مانند هیومیک اسید استخراج شده از خاک جنگلی و کیتین و کیتین و کیتوسان استخراج شده از پوسته سخت پوستان دریایی استفاده نمود. رنگ‌های آنیونی مانند کرومات و بیکرومات را می‌توان در محیط اسیدی از پساب‌های رنگرزی و نساجی توسط کیتین و کیتوسان حذف نمود [۳]. هم‌چنین برای حذف یون‌های کرومات و بیکرومات موجود در فاضلاب‌ها می‌توان از یک غشای مایع امولسیون چندتایی در محیط اسیدی استفاده کرد [۴]. حذف کروم (III) از پساب‌های صنعتی توسط کیتین استخراج شده از پوسته میگو، نیز گزارش شده است [۵]. در ترکیه برای حذف کروم از فاضلاب‌های صنعتی از ژئولیت طبیعی به نام کلینوپتیولیت استفاده می‌شود [۶]. با تصفیه پساب می‌توان از آلودگی آب‌ها جلوگیری کرد و امکان استفاده مجدد از فاضلاب‌های صنعتی که از حجم زیادی نیز برخوردار هستند، را فراهم نمود [۷] کاربرد

* دانشگاه میستان و بلوچستان، گروه شیمی

دوباره فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری در کشاورزی، علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب شیرین، می‌تواند به واسطه دارا بودن مواد کودی و غذایی، استفاده خوبی برای گیاهان و تقویت زمین کشتزارها داشته باشد [۸].

در این تحقیق سعی شده است ضمن اندازه‌گیری کروم در نمونه پساب دباغی، روشی ساده با راندمان بالا و مقرون به صرفه از نظر اقتصادی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه

نمونه پساب مورد بررسی سبز رنگ است که از یک کارخانه دباغی واقع در همت‌آباد مشهد نمونه‌برداری شد. پس از صاف کردن نمونه پساب، pH به میزان ۳/۸۵ اندازه‌گیری شد. سپس تست هالوژن به کمک نیترات نقره انجام شد و معلوم گردید که نمونه دارای یون کلرید است.

اکسیداسیون کروم (III) توسط پرسولفات آمونیم

۱۰ میلی‌لیتر نمونه پساب فیلتر شده را با ۱۰ میلی‌لیتر پرسولفات آمونیم و یک الی دو قطره نیترات نقره مخلوط کرده و توسط سود جامد، محیط بازی می‌شود. مخلوط را به مدت نیم ساعت در دمای ۱۵۰°C حرارت داده (یون‌های نقره به عنوان کاتالیزور عمل می‌کنند و مانع اکسایش یون کلرید می‌گردند) تا رنگ محلول زرد شود که حاکی از تشکیل یون کرومات است. با خارج کردن مقدار اضافی پرسولفات آمونیم و افزایش چند قطره سولفوریک اسید غلیظ و کمی حرارت، بیکرومات تشکیل می‌شود.

پس از آن محلول را سرد کرده از ستون حاوی هیومیک اسید به منظور حذف کاتیون‌های مزاحم عبور داده و بعد توسط اسپکتروفتومتر UV-Vis اندازه‌گیری می‌شود.

حذف کروم از پساب

یک ستون شیشه‌ای به طول ۱۵۰ cm و سطح قاعده ۱ cm^۲ مورد استفاده قرار گرفته، سپس با ۲ گرم هیومیک اسید پر می‌شود، سپس محلول نمونه پساب دباغی فیلتر شده، از این ستون به طور آهسته و با یک سرعت یکنواخت عبور داده می‌شود. حجم‌های ده میلی‌لیتر را در قسمت خروجی ستون جمع‌آوری کرده و پس از اکسیداسیون محلول خروجی توسط پرسولفات آمونیم، با

اسپکتروفتومتری UV-Vis یا مستقیماً توسط جذب اتمی با شعله نیتروز-استیلن اندازه‌گیری می‌شود. حجم‌های خروجی^۱ ابتدا دارای مقادیر کم کروم (III) می‌باشد ولی به تدریج مقادیر آن در آن‌ها افزایش می‌یابد، تا جایی که ستون توسط کروم (III) اشباع شود. منحنی‌های C=f(ml effluent) Break through رسم می‌شود. ناحیه سمت چپ منحنی مقدار کروم (III) تثبیت شده روی هیومیک اسید می‌باشد [۹ و ۱۰].

مواد و دستگاه‌ها

الف) مواد:

آمونیم پرسولفات- سدیم پراکسید- هیدروژن پراکسید ۶ حجمی- نیتریک اسید- سولفوریک اسید- هیدروکلریدریک اسید- سود جامد- نیترات نقره- پتاسیم بیکرومات جامد همه از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

ب) دستگاه‌ها:

دستگاه جذب اتمی فیلیپین ساخت انگلستان- همزن مکانیکی E.L.M-

CD620 Digital pHmeter همراه با الکتروود مرکب شیشه کالومل ساخت زاگ شیمی- دستگاه پتانسیواستا Metrohm 694

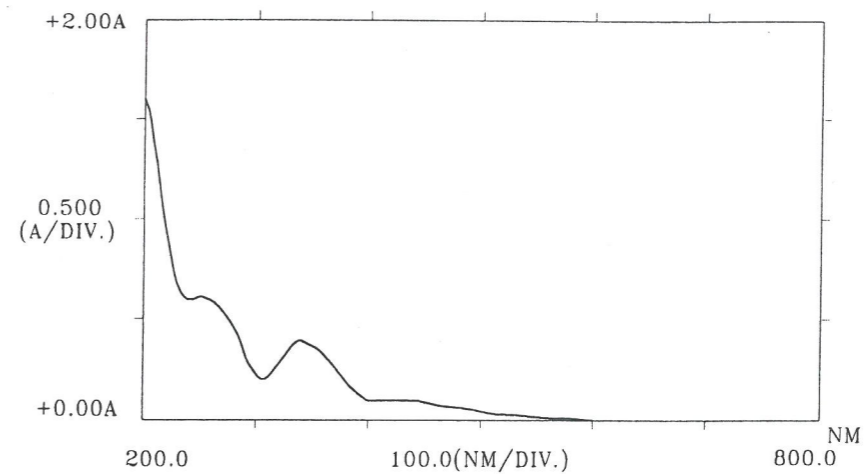
نتایج و بحث

داده‌های حاصل از مطالعه پتانسیومتری نشان می‌دهد که کروم (III) با Pka=۲/۳۶ و PKc=۲/۳۴ به خوبی روی هیومیک اسید تثبیت می‌شود و کمپلکس پایداری با گروه‌های کربوکسیل بنزوتیک تشکیل می‌دهد [۱۱].

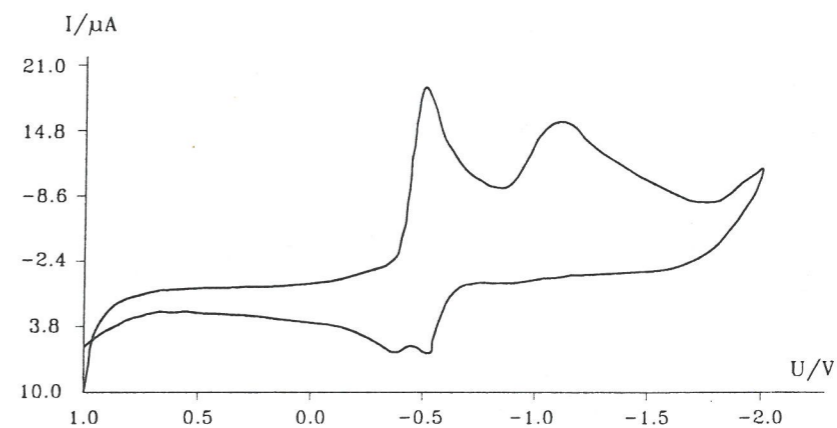
با این روش بیش از ۹۴٪ از کروم (III) توسط هیومیک اسید حذف می‌شود.

فن تبادل یونی Semi continu in column برای حذف کروم (III) به کار گرفته شده است. نمونه خروجی از ستون حاوی کروم (III) از طریق اکسیداسیون توسط Na₂O₂ و H₂O₂ و S₂O₈(NH₄) تبدیل به بیکرومات می‌شود. به موجب طیف UV-Vis راندمان اکسیداسیون با پرسولفات آمونیم از سایرین بیشتر است (نمودار ۱).

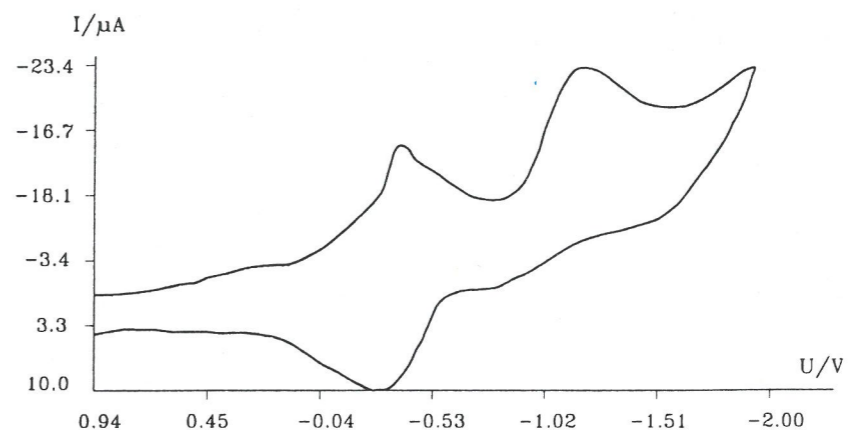
¹ Effluent



نمودار ۱- طیف uv-vis اکسیداسیون ۵ میلی لیتر نمونه پساب در محیط بازی توسط پرسولفات آمونیوم در حضور نترات نقره و سپس اسید سولفوریک غلیظ.



نمودار ۲- ولتاگرام چرخه‌ای هیومیک اسید در DMF خشک و TBAPC (۰/۱M) با استفاده از الکتروکاتود پلاتین و الکتروکاتود رفرنس نقره- کلرید نقره در سرعت روبش ۱۰۰ mv/s.



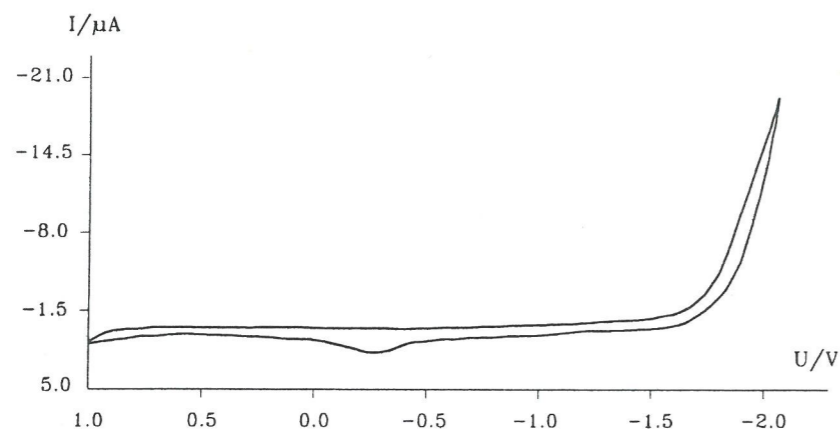
نمودار ۳- ولتاگرام چرخه‌ای هیومیک اسید در DMSO خشک و TBAHF (۰/۱M) با استفاده از الکتروکاتود پلاتین و الکتروکاتود رفرنس نقره- کلرید نقره در سرعت روبش ۲۰۰ mv/s.

هیومیک اسید خالص شده در حلال‌های DMSO و DMF خشک و الکترولیت‌های حامل TBAPC و TBAHF توسط الکترودهای کاردیسک پلاتین مورد مطالعه ولتامتری چرخه‌ای قرار گرفت [۱۲]. ولتاگرام‌های نمودارهای ۲ و ۳، نشان می‌دهند که یک جفت ردوکس برگشت‌پذیر در پتانسیل‌های منفی برای همه حالات وجود دارد، پس از افزایش مقدار کمی پتاسیم دی کرومات، جفت ردوکس هیدروکینون/کینون موجود در ساختمان هیومیک اسید طبق نمودارهای ۴ و ۵ حذف می‌گردد.

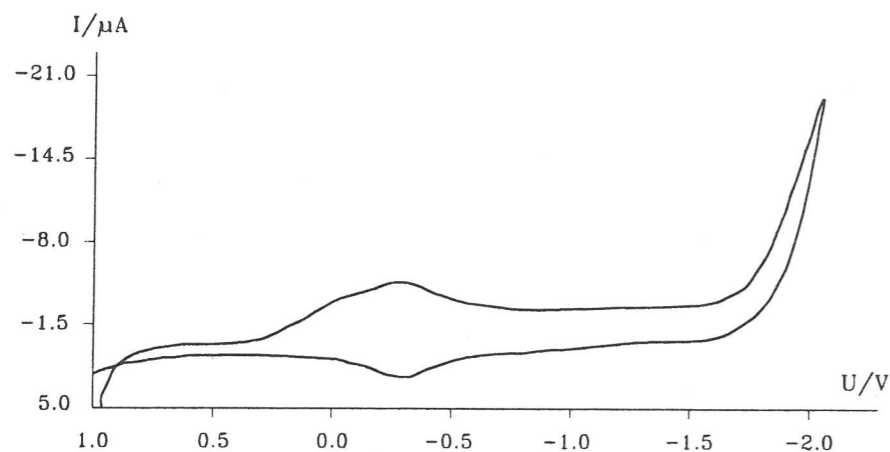
منحنی‌های Break through، نشان می‌دهند که در شرایط بهینه یون کروم (III) با غلظت ۱۶۲/۵۶ mg/l را می‌توان از محلول آبی پساب با راندمان ۹۶/۲۷٪ حذف کرد

(جدول ۱ و نمودار ۶). بازیابی کروم (III) از ستون، توسط HCl (۲M) با راندمان ۷۲٪ و با هیدروکلریدریک اسید (۰/۵M) با راندمان ۵۴٪ صورت می‌گیرد (جدول ۲ و نمودار ۷) [۱۱]. نتایج به دست آمده با نتایج حاصله کروم از روش تصفیه بیولوژیکی توسط فانجی مقایسه شده و مشخص گردید که از نظر سادگی و صرفه اقتصادی برتری دارد [۱۳].

اندازه‌گیری‌هایی توسط اسپکتروفتومتری UV-Vis و تکنیک جذب اتمی با شعله نیتروز-استیلن انجام شده است، که نتایج تقریباً یکی است. اکسیداسیون نمونه پساب توسط پرسولفات آمونیوم و تبدیل آن به بیکرومات یکی از روش‌های مطمئن اندازه‌گیری کل کروم با اسپکتروفتومتری UV-Vis است.



نمودار ۴- ولتاگرام چرخه‌ای محتویات سل شکل ۲، در حضور بیکرومات پتاسیم خشک اضافه شده با سرعت روبش ۵۰ mv/s.



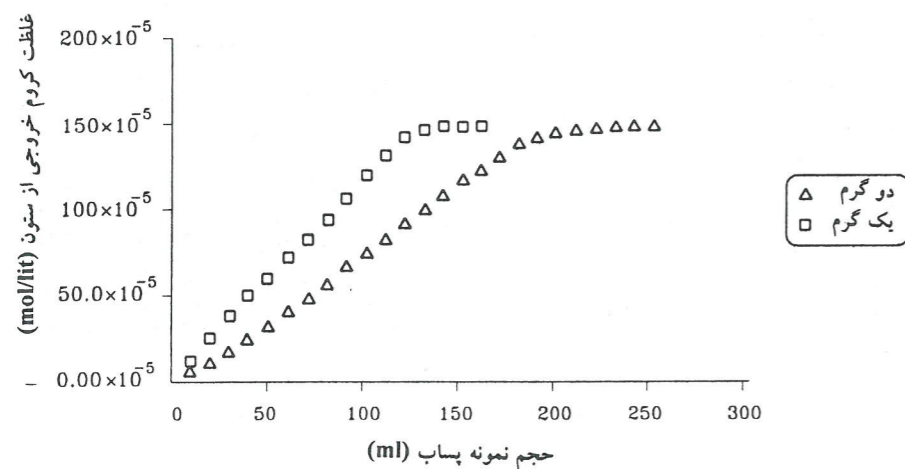
نمودار ۵- ولتاگرام چرخه‌ای محتویات سل شکل ۳، در حضور بیکرومات پتاسیم خشک اضافه شده با سرعت روبش ۱۰۰ mv/s.

جدول ۱- نمونه پساب فیلتر شده و گذرانده شده از ستون حاوی یک گرم و دو گرم هیومیک اسید استخراج شده از خاک جنگلی نهارخوران گرگان (نمودار ۶).

ردیف	حجم نمونه پساب (ml)	غلظت کروم خروجی از ستون (mg/l) حاوی یک گرم هیومیک اسید - ۰.۵۰٪ نسبت به مواد خشک	غلظت کروم خروجی از ستون (mg/l) حاوی دو گرم هیومیک اسید - ۰.۴۰٪ نسبت به مواد خشک
۱	۱۰	۱۰/۹۶۲	۶/۷۶
۲	۲۰	۲۷/۵۶	۱۱/۹۱۸
۳	۳۰	۴۱/۳۷	۱۸/۹۵۸
۴	۴۰	۵۴/۴۳۴	۲۶/۵۲
۵	۵۰	۶۵/۶۵۶	۳۴/۵۰۸
۶	۶۰	۷۸/۴۶۶	۴۳/۸۲۶
۷	۷۰	۹۰/۶۴۶	۵۲/۸۶۴
۸	۸۰	۱۰۲/۲۱۲	۶۱/۰۵۸
۹	۹۰	۱۱۵/۹۲۸	۷۲/۵۰۸
۱۰	۱۰۰	۱۳۰/۵۶۲	۸۱/۴۴۲
۱۱	۱۱۰	۱۴۴/۱۶۴	۹۱/۱۴۶
۱۲	۱۲۰	۱۵۵/۳۶	۱۰۰/۱۹۴
۱۳	۱۳۰	۱۶۰/۶۸	۱۰۹/۶۴۸
۱۴	۱۴۰	۱۶۲/۲۶۲	۱۱۸/۹۴۴
۱۵	۱۵۰	۱۶۲/۵۶۲	۱۲۸/۶۹
۱۶	۱۶۰	۱۶۲/۵۶۲	۱۳۵/۲۸۴
۱۷	۱۷۰		۱۴۳/۶۷۶
۱۸	۱۸۰		۱۵۱/۵۰۸
۱۹	۱۹۰		۱۵۵/۶۶۸
۲۰	۲۰۰		۱۵۹/۰۵۸
۲۱	۲۱۰		۱۶۱/۴۴
۲۲	۲۲۰		۱۶۱/۴۴
۲۳	۲۳۰		۱۶۵/۵۶۲
۲۴	۲۴۰		۱۶۲/۵۶۲
۲۵	۲۵۰		۱۶۲/۵۶۲

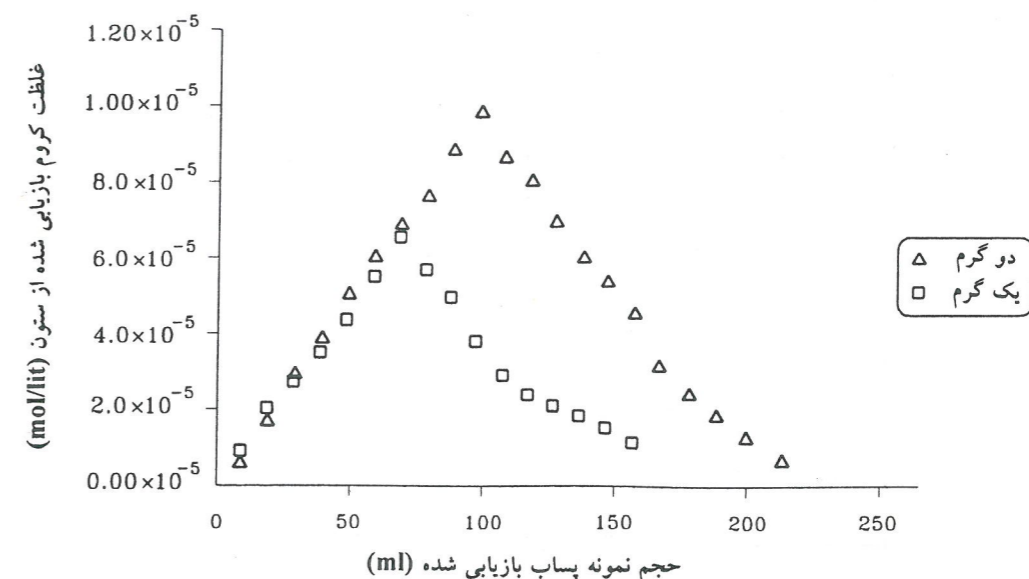
جدول ۲- بازیابی ستون‌های حاوی دو گرم و یک گرم هیومیک اسید موجود در شکل ۶ توسط هیدروکلریدریک اسید.

ردیف	حجم هیدروکلریدریک اسید ۲ مولار (ml)	غلظت کروم بازیابی از ستون (mg/l) حاوی یک گرم هیومیک اسید - ۰.۵۰٪ نسبت به مواد خشک	حجم هیدروکلریدریک اسید ۰/۵ مولار (ml)	غلظت کروم بازیابی از ستون (mg/l) حاوی دو گرم هیومیک اسید - ۰.۴۰٪ نسبت به مواد خشک
۱	۱۰	۹/۳۳۸	۱۰	۷/۸
۲	۲۰	۲۱/۳۶۲	۲۰	۱۹/۰۶
۳	۳۰	۳۰/۵۳۴	۳۰	۳۲/۸۰۲
۴	۴۰	۳۹/۰۵۲	۴۰	۴۳/۷۳۲
۵	۵۰	۴۸/۲۷۶	۵۰	۵۷/۱۴۸
۶	۶۰	۶۱/۱	۶۰	۶۹/۱۹۲
۷	۷۰	۷۳/۱۹۶	۷۰	۷۷/۴۱۸
۸	۸۰	۶۳/۷۱	۸۰	۸۶/۷۹۸
۹	۹۰	۵۴/۸۹	۹۰	۱۰۰/۰۵۸
۱۰	۱۰۰	۴۱/۳۹۲	۱۰۰	۱۱۱/۷۷۸
۱۱	۱۱۰	۳۱/۳۹۲	۱۱۰	۹۷/۸۹۶
۱۲	۱۲۰	۲۵/۵۶۴	۱۲۰	۹۱/۸۹۶
۱۳	۱۳۰	۲۱/۹۶۴	۱۳۰	۷۸/۶۷۶
۱۴	۱۴۰	۱۸/۸۰۴	۱۴۰	۶۷/۲۰۴
۱۵	۱۵۰	۱۵/۳۳	۱۵۰	۵۹/۶۴۴
۱۶	۱۶۰	۱۱/۰۲۴	۱۶۰	۵۰/۰۴۴
۱۷	۱۷۰			۳۴/۵۷
۱۸	۱۸۰			۲۶/۴۱۶
۱۹	۱۹۰			۱۸/۵۱۲
۲۰	۲۰۰			۱۲/۴۲۸
۲۱	۲۱۰			۷/۰۵۴



نمودار ۶- مقایسه دو نمونه پساب فیلتر شده و گذرانده شده از ستون حاوی هیومیک اسید (۲گرم و ۱گرم).

- 1- Nilson, S. and Hanson, E.H. (1998). Anal. Chem. Acta., 366, PP 166-176.
- 2- Krishna R. Reddy. (1999). "Supraja Chintham Reddy Waste Management", Mc Graw-Hill 269-282.
- 3- McKay, G., Blair, H.S. and Gardner, J.R. (1982). "Adsorption of Dyes on Chitin I. Equilibrium Studies", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 27, 4827-4837.
- 4- Chakraivirti, A.K. and et al. (1995). "Liquid Membrane Multiple Emulsion Process of Cr (VI)", Colloids Surface, A Physicochem Eng. Aspects., 103. PP 62-71.
- 5- Chui, V.W.D, MOK, K.W. Luong, C.Y. Ng B.P, and Ma, K.K. (1996). "Removal and Recovery of cu (II). Cr(III)", Environment International, Vol. 22, No.4, PP163-168.
- 6- Sardashti, A.R., Kazemian, H. and Akramzadeh Ardakani, M. (2001). "Determination of Chemical Composition and Investigation of the Ion Exchange Properties of a Natural Zeolite from Zahedan Region in Iran", 13th International Zeolit Conference, Montplleir France.
- 7- Coughlin, R.W., Deshaies, M.R., Davis, E.M. (1990). "Chitosan Incrab Shell Wastes Purifies Electroplating Wastewater", Environ. 9, PP 35-39.
- 8- Metcalf and Eddy, Inc. (1991). "Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse", 3rd, Ed, Revised by G. Tchobanoglous and F.L. Barton, McGraw-Hill, Inc. New York.
- 9- Legrand, G. and Louvrier, J. (1978). "Extraction Par Solvant Organiques", J.T.S.M, 73 Eannee, No. 5, PP 293-297.
- 10- Sardashti, A.R. (1984). "Aptitude a l Echange d Iond d Epuration", These Docteur, INPG, France PP 61-90.
- 11- Sardashti, A.R. (1999). "Ion Exchange Properties of Sewage Treatment Plant Sludge", J. Analysis, 27, No. 5, PP 432-435.
- 12- Sardashti, A., Hadadzadeh, H. (2001). 10th Biennial Seminar of Electrochemistry of Iran.
- 13- Mukkaohsu, M., Sheng, Sh., and Ying Chang, F. (1991). "Removal of Heavy Metals from Wastewater By Fungi Granulate", Institute of Environmental Eng., National Chang Kang Unversity. 1-University Rd Tanin Taiwan R.O.G. PP 146-155.
- 14- Mohamad, (1991). "Purification of Hard Chrome Bath Using Patented Ion Exchange", Technology. ECO-TEC-INC, Pickoring Ontarin Canada, PP 649-653.
- 15- Liberti, L. and et al. (1995). "A Review of the RIM-MUT Process Natural Zeolit 93", (D.W>Ming and F.A. Mumtun eds). Int. Comm. Nat Zeolit Brock Port, New York, PP 351-362.
- 16- Otteweel. S. (1995). Chem. Eng., 16, P 600
- 17- Dimitova, S. (1996). "Metal Sorption", Wat. Res., 30, PP 222-228.
- 18- Malion, E. Malamis, M. and Sakellar, P.O. (1992). Water. Sci. Technol., 25, P 133.



نمودار ۷- مقایسه بازایی از ستون‌های حاوی هیومیک (۲ گرم و ۱ گرم) موجود در نمودار ۶ توسط هیدروکلریدریک اسید ۲ مولار و ۰/۵ مولار.

بیکرومات استفاده نمود و به موجب نتایج حاصله از فن تبادل یونی Semicontinu in column می‌توان کروم (III) موجود در پساب دباغی را با راندمان ۹۶/۲۷٪ حذف نمود و حتی آن را با راندمان ۷۲٪ بازیابی کرد، این امر ارزش روش فوق را از نظر سهولت و اقتصادی بودن بیش از پیش تأیید می‌کند [۱۲]. بنابراین هیومیک اسید یک فیلتر مناسب برای حذف کروم می‌باشد که می‌تواند به طور سریع و بدون تغییر pH، ۹۶/۲۷ درصد از کروم موجود در پساب را حذف کند. آب خارج شده دارای ۶mg/l کروم به همراه مقداری کلسیم و منیزیم می‌باشد که برای آشامیدن مناسب نیست، زیرا مقدار استاندارد کروم در آب آشامیدنی کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر است و از آن فقط برای آبیاری زمین‌های کشاورزی می‌توان استفاده نمود. اگر pH را با سدیم هیدروکسید به ۶ برسانیم، می‌توانیم صد درصد کروم را توسط هیومیک اسید حذف کنیم ولی میزان جامدات در بستر فیلتر زیاد می‌شود. اگر مقدار کروم اولیه در پساب زیاد گردد، در آن صورت میزان حذف، کمتر خواهد شد. با توجه به این که به مقدار استوکیومتری از تبادل‌کننده نیازی نیست [۱۸]، بنابراین درصد حذف بستگی به غلظت اولیه کروم در پساب دارد.

نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری کروم در آب‌های سطحی و فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی، می‌تواند میزان آلودگی را در بخشی از محیط‌زیست تعیین کند، در نشست بین‌المللی ۲۶ سپتامبر ۱۹۷۵ مقررات قبلی اصلاح شده است [۹]. کروم معمولاً از آلودگی‌های صنعتی به فرم‌های مختلف کروم (III) و کرومات و بیکرومات وارد محیط زیست می‌شود، با توجه به این که کرومات و بیکرومات به مراتب سمی‌تر از نمک‌های کروم (III) می‌باشند، گاهی اوقات لازم است برای جلوگیری از تکثیر باکتری‌ها، مقداری کرومات قلیایی وارد فاضلاب‌ها شود [۲ و ۱۴].

هیومیک اسید یک مبادله‌کننده کاتیونی طبیعی استخراج شده از خاک جنگلی نهارخوران گرگان با CEC بالا و انتخابگری^۱ خوب برای حذف کروم از نمونه پساب صنعتی ما به کار گرفته شده است، زیرا فناوری حذف یون‌های فلزی از پساب بر پایه فرآیند تبادل یونی در سال‌های اخیر کاربرد فزاینده‌ای یافته است [۱۵، ۱۶ و ۱۷]. طبق نتایج حاصل از ولتاگرام‌های چرخه‌ای، از هیومیک اسید موجود در لجن پساب، می‌توان برای حذف

^۱ Selective