جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

مروری بر غنی‌سازی میکروبی اورانیوم

ادیب ظاهری عبده‌وند، علیرضا کشتکار، فائزه فاطمی
سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم وفنون هسته‌ای

چکیده:
احیا و رسوب‌دهی اورانیوم توسط اکتریاز دو دهه‌ی پیش تاکنون باهدف جلوگیری ازانتشار آندرمحیط موردتوجه بسیاری ازمحققین قرارگرفته و مقالات متعددی در این زمینه چاپ شده است.در تعداد محدودی از منابع علمی موجود در این زمینه، تغییر ترکیب ایزوتوپی اورانیوم درطول فرایندهای میکروبی مشاهده شده که قابلیت آنرا در غنی‌سازی اورانیوم تایید می-نماید. دلیل این امرنیزوجودیک اختلاف جزیی درسرعت احیای میکروبی بین دوایزوتوپ اورانیوم ذکرشده است. فاکتوره ای جداسازی مختلفی، بسته به نوع باکتری و شرایط احیا، برای این روش گزارش شده که بابهینه‌سازیشرایط احیا،امکان افزایش فاکتورجداسازی وجوددارد.

کلیدواژه:

احیا،رسوب‌دهی، اورانیوم،باکتری، غنی‌سازی، فاکتور جداسازی

مقدمه

غنی‌سازی اورانیوم، یکی از مراحل مهم چرخه‌ی سوخت هسته‌ای می‌باشد.به این منظور، روش‌هایمختلفی شامل نفوذ گازی، سانتریفیوژ گازی، آیرودینامیک، نفوذ جرمی، نفوذ حرارتی، لیزر و الکترومغناطیسی وجود دارد که از این میان فقط دو روش اول در ابعاد صنعتی مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۱].در برخی از منابع علمی نسبتا جدید،تفکیک ایزوتوپی اورانیوم طی واکنش احیای میکروبی توسط برخی از باکتری‌های بی‌هوازی تایید و گزارش شده است. لذا فرایند احیای میکروبی می‌تواند به عنوان یک روش بالقوه در غنی‌سازی اورانیوم به شمار آید [۲،۳،۴،۵،۶،۷،۸و۹]. در اینمقاله، ابتدا به بحث احیای میکروبی اورانیوم پرداخته شده و سپس مباحثی راجع به تغییر ترکیب درصدایزوتوپی اورانیوم ناشی از احیای میکروبی ارائه شده است.

احیای میکروبی اورانیوم

احیای میکروبی اورانیوم اولین بار در سال ۱۹۶۲ توسط Woolfolk وهمکارش با استفاده ازباکتری*Micrococcuslactilyticus* و با مصرف هیدروژن (به عنوان دهنده‌ی الکترون) گزارش شد. این کار اگرچه اولین گزارش احیای میکروبی اورانیوم به شمار می‌رود اما میکروبی بودن فرایند احیا در آن اثبات نشده است. گزارش بعدی حدود ۲۹ سال بعد در سال ۱۹۹۱ توسط شخصی به نام D. R. Lovley در مقاله‌ای در مجله-

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

یNature ارائهشد که میکروبی بودن احیای اورانیوم توسط دو باکتریGS-15 و *A.putrefaciens* به خوبیاثباتشده است. لذا در بیشتر مقالات بعدی در این حوزه، به همین مقالهی آقای Lovley ارجاع میشود [۱۰ و ۱۱].

درکارهایتحقیقاتیبعدی،جنس-

هایمختلفباکتریاییازجمله*Geobacter*،*Shewanella*،*Clostridium*و*Desulfovibrio*بهمنظوراحیایمیکروبیاورانیوممورداستفادهقرارگرفتهاند[۱۲، ۱۳، ۱٤، ۱۵ و ۱٦].

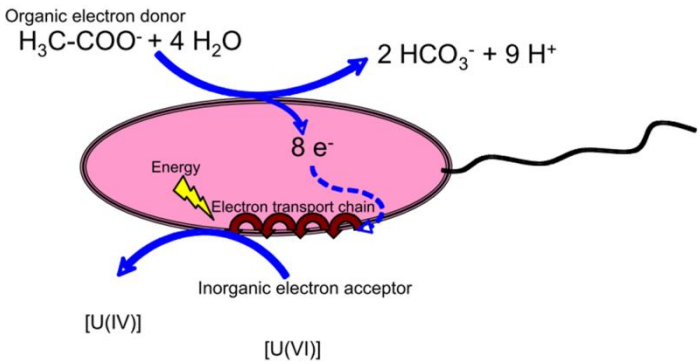
درکارهایتحقیقاتیجدیدتر،بیشترروییجنس*Geobacter*کارشدهاست.علتمزیتاینباکتریبهوجوداندامکهایباریکوبلندآن با نام pili مربوطاستکهکارانتقالالکترونراتسریعمینماید[۱۳،۱۷و۱۸].

اورانیوم در طبیعت معمولا در دو حالت اکسایشی U(VI) و U(IV) وجود دارد. تحرک و سرنوشت نهایی اورانیوم در محیط کاملا به حالت اکسایشی آن وابسته است. اورانیوم شش ظرفیتی (معمولا به صورت اورانیل UO_2^{2+}) حلالیت بالایی در آب و تحرک بالایی در محیط دارد. در حالیکه فرم کاهش یافتهی اورانیوم (معمولا به صورت مولکولهای اورانینیت UO_2) حلالیت بسیار پایین و در نتیجه تحرک خیلی کمی در آب و محیط دارد [۱۹و۲۰].

منظور از احیای میکروبی اورانیوم، تغییر حالت اکسایش اورانیوم از U(VI) به U(IV) با استفاده از باکتری میباشد (شکل۱). در این فرایند، باکتری الکترونها را از یک الکترونده (مانند استات، هیدروژن مولکولی یا ...) گرفته و در نهایت به یک گیرندهی نهایی الکترون (که در اینجا U(VI) است) میدهد. دو مثال از احیای میکروبی اورانیوم در ادامه آمده است[۱۱].

C (۱)

H (۲)

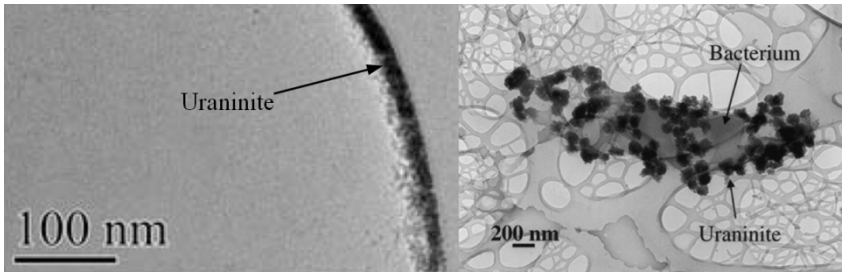


شکل۱: شماتیک نحوهی احیای میکروبیاورانیوم توسط باکتری[۲۱]

عامل اصلی احیا در باکتریها، آنزیمهای سیتوکروم هستند [۱۷]. به علتطبیعت نامحلول U(IV)، محل تشکیل رسوب را میتوان به عنوان شاخصی جهت تعیین محلآنزیمهایاحیا کنندهدانست.تصاویر TEMنشان میدهد که

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

تشکیل اورانینیتهم درفضایخارجسلولیوهمدرفضاییپریپلاسمیک امکان پذیر است (شکل۲)؛ در موارد بسیار محدودی، تشکیل اورانینیت در سیتوپلاسم نیز مشاهده شده است[۲۲].



شکل۲: تصاویر TEM از تشکیل رسوب سیاه‌رنگ اورانینیت طی فرایند احیای میکروبی؛ در ناحیه‌ی خارج سلولی (تصویر سمت راست) [۲۳] و در ناحیه‌ی پریپلاسمیک (تصویر سمت چپ) [۱۶]

غنی‌سازی میکروبیاورانیوم

با وجود تکثر مقالات در زمینه‌ی احیایمیکروبی اورانیوم، تعدادمنابع علمی موجود درزمینه‌یتغییر ترکیب درصد ایزوتوپی اورانیوم طی فرایند احیای میکروبی بسیار محدود است [۲ تا ۹]. نکته‌ی مهم این منابع علمی، این است که در برخی از آنها ترکیب درصد ایزوتوپ سبک‌تر اورانیوم در اورانیوم احیا شده نسبت به اورانیوم اولیه بیشتر [۲، ۳ و ۹] و در برخی نیز کمتر [٤ تا ۸] است. مقادیر فاکتورهای جداسازی گزارش شده نیز متفاوت است.

در بیشتر همین منابع محدود موجود، از تغییر ترکیب درصد ایزوتوپی اورانیوم به عنوان یک عامل شناساگر جهت تایید فرایند احیا و انجام برخی مطالعات ژئوشیمیایی استفاده شده است. مقدار فاکتور جداسازی آنها نیز بسیار کوچک است [۳ تا ۸]. فقط در دو منبع علمی (یک ثبت اختراع و یک پایان‌نامه‌ی دکتری) مقدار فاکتور جداسازی در آن قابل ملاحظه بوده ولذا در آنها از غنی‌سازی اورانیومبحث است [۲ و ۹].

به منظور غنی‌سازی میکروبی،اورانیوم بایدبا باکتری مناسب در تماس قرارگرفته و بخشی از آن احیا شود. برای رسیدن به یک غنای مطلوب، اورانیوم احیا شده رامی‌توان پس از اکسایش و انحلال در آب،مجددا به فرایند احیای میکروبی وارد نمود. تغییر غنای ایزوتوپی در این فرایند، ناشی از اختلاف سرعت احیای دو ایزوتوپ اورانیوم است. فاکتور جداسازی در این روش حدود ۱/۰٦ (در ثبت اختراع) و حدود۱/۰۳ (در پایان‌نامه) گزارش شد کهاز روش دیفیوژن گازی بسیار بیشتر و از روش سانتریفیوژ گازی کمی کمتر است. حتی با بهینه‌سازی فرایند، می‌توان به فاکتور جداسازی بالاتری از روش سانتریفیوژ گازی نیز دست یافت. پارامترهای مختلفی شامل دما،pH،نوعالکترون-دهنده،غلظتاولیه‌یاورانیوم،نوعوغلظتمیکروارگانیسم،مدتزمانانکوباسیون (درجه‌یاحیا) در این فرایند موثر هستند. باتوجه به آنزیمی بودن فرایند احیای میکروبی اورانیوم، انجام فرایند در سیستم‌های آنزیمی بدون سلول نیز امکان-پذیر است.سرعت احیا در سیستم‌هایبدون سلول نسبت به سیستم‌های سلولی بیشتر ولی سرعت رسوب‌دهی آنها کمتر است [۲ و ۹].

غلظت اورانیوم احیا نشدهدر محلولU_tدر فرایند احیا با گذشت زمان از رابطه‌ی ذیل محاسبه می‌شود.

$$U \qquad (۳)$$

که در این رابطه، U_0، غلظت اورانیوم در شروع واکنش (زمان صفر) و k، ثابت واکنش است. مقدار ثابت واکنش احیا برای ایزوتوپ‌های مختلف اورانیوم، متفاوت است. مقادیر k برای دو ایزوتوپ در جدول آورده شده است [۲].

جدول1: مقدار ثابت واکنش احیا *k* برای دو ایزوتوپ مختلف اورانیوم [۲]

ایزوتوپ	K (hr-1)
U^{235}	$٤/١٧ \pm ٠/٢٠ \times ١٠^{-٢}$
U^{238}	$٣/٨٣ \pm ٠/١٥ \times ١٠^{-٢}$

طبق رابطه‌ی ۳، غلظتهر یک از دوایزوتوپ اورانیوم موجود در محلول با گذشت زمان به صورت نمایی کم می‌شود. باتوجه به جدول ۱، ایزوتوپ سبک‌تر با سرعت بیشتری احیا می‌شود. لذا در یک مدت زمان معین پس از شروع واکنش احیا، انتظار می‌رود نسبت ایزوتوپ سبک‌تر به کل اورانیوم در رسوب بیش از این نسبت در محلول اولیه باشد [۲]. همچنین فاکتور جداسازی (α) از رابطه‌ی ذیل محاسبه می‌شود.

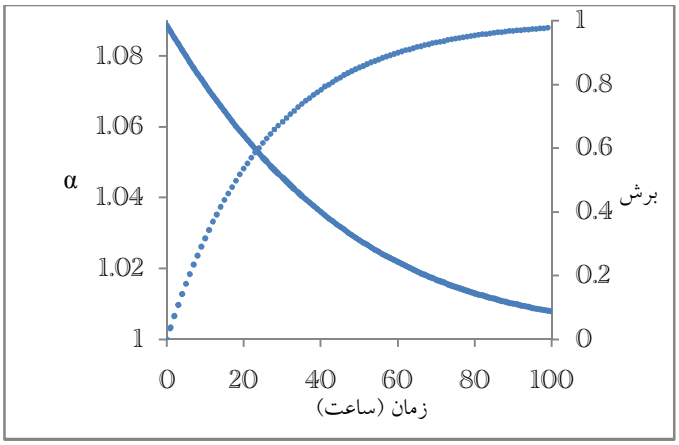
$$\alpha \qquad (٤)$$

که x و y در این رابطه،نسبت جرمی یا مولی ایزوتوپ سبک‌تر به کل اورانیوم به ترتیب در جریان تهی‌شده و جریان غنی شده هستند. برش نیزیک پارامترمهم در غنی‌سازی استکه از رابطه‌ی ذیلمحاسبهمی‌شود.

$$\theta \qquad (٥)$$

که در این رابطه، M، دبی (جرمی یا مولی) جریان غنی‌شده، Z، دبی جریان خوراک، y، کسر(جرمی یا مولی) جزء مطلوب در جریان غنی‌شده، x، کسر جزء مطلوب در جریان تهی‌شده و z، کسر جزء مطلوب در جریان خوراک می‌باشد[۱].

با استفاده از روابط ۳، ٤ و ٥ و جدول ۱، می‌توان تغییراتفاکتورجداسازیوبرشرا بازمان محاسبه نمود (شکل ۲). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، ضریب جداسازی از یک مقدار بیشینه در ابتدای واکنش احیا شروع شده و با گذشت زمان کم می‌شود. در انتهای واکنشفاکتور جداسازی به عدد میل می‌کند؛ یعنی اگر زمان واکنش آنقدرباشدکه همه‌ی اورانیوم احیا شود جداسازی ایزوتوپی رخ نخواهد داد.از طرفی هر چقدر ضریب برش کمتر انتخاب شود، فاکتور جداسازی بیشتری بدست می‌آید.



شکل۳: نمودار تغییرات فاکتورجداسازی (خط ممتد) و برش (خطچین) با زمان

نتیجه‌گیری

احیا و رسوب‌دهی میکروبی اورانیوم، روشی اثبات شده برای جداسازی اورانیوم از آب می‌باشد. تغییر غنای اورانیوم طی فرایند احیای میکروبی در برخی از منابع معتبر علمی تایید شده است. این دستاورد مهم، اگر به حالت بالفعل برسد می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش‌های پیچیده‌ی موجودبه منظور غنی‌سازی اورانیوم باشد.برای رسیدن به این هدف، بررسی‌های دقیقآزمایشگاهی با هدف افزایش αضروری است.

مراجع

1- Manson Benedict, Thomas H. Pigford, Hans Wolfgang Levi, Nuclear Chemical Engineering, Second Edition, 1981.
2- Kenneth R. Czerwinski, Martin F. Polz, Uranium enrichment using microorganisms. US Patent 7,452,703 B, 2008.
3- Laura K. Rademacher, Craig C. Lundstrom, Thomas M. Johnson, Robert A. Sanford, Juanzho Zhao, Zhao Feng Zhang, Experimentally determined uranium isotope fractionation during reduction of hexavalent U by bacteria and zero valent iron, Environ. Sci. Technol., 40, 6943-6948, 2006.
4- Stefan. Weyer, Ariel D. Anbar, Axel Gerdes, Gwyneth W. Gordon, Thomas J. Algeo, Edward A. Boyle, Natural fractionation of 238U/235U, Geochimica et CosmochimicaActa 72,345–359, 2008.
5- Charles John Bopp, Craig C. Lundstrom, Thomas M. Johnson, Robert A. Sanford, Phillip E. Long, Kenneth H. Williams, Uranium 238U/235U isotope ratios as indicators of reduction: Results from an in situ biostimulation experiment at Rifle, Colorado, U.S.A., Environmental Science and Technology,1-21, 2010.
6- AnirbanBasu, Isotopic fractionation of chromium and uranium during abiotic and microbial Cr(VI) reduction and microbial U(VI) reduction, PhD thesis in Geology, University of Illinois, 2013.

7- AnirbanBasu, Robert A. Sanford, Thomas M. Johnson, Craig C. Lundstrom, Frank E. Loffler, Uranium isotopic fractionation factors during U(VI) reduction by bacterial isolates, Geochimica et CosmochimicaActa 136,100–113, 2014.
8- MalgorzataStylo, NadjaNeubert,Yuheng Wang, Stefan Weyer, Rizlan Bernier-Latmani, Uranium isotope fractionation as a signature for biotic reduction processes, Goldschmidt, 2404, 2014.
9- Lisa Maureen Mullen, Bacterial Influence on Uranium Oxidation Reduction Reactions: Implications for Environmental Remediation and Isotopic Composition, PhD thesis in Nuclear Engineering, Department of Nuclear Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2007.
10- Clifford Allen Woolfolk, Helen. R. Whiteley, Reduction of inorganic compounds with molecular hydrogen by Micrococcus lactilyticus. I. Stoichiometry with compounds of arsenic, selenium, tellurium, transition and other elements. J. Bacteriol., 84:647–658, 1962.
11- Derek R. Lovley, Elizabeth J. P. Phillips, Yurl A. Gorby, Edward R. Landa, Microbial reduction of uranium. Nature 350:413–416, 1991.
12- Derek R. Lovley, Eric E. Roden, Elizabeth J. P. Phillips, Joan C. Woodward, Enzymatic iron and uranium reduction by sulfate-reducing bacteria. Marine Geology, 113, 41-53, 1993.
13- Dena L. Cologgi, SanelaLampa-Pastirk, Allison M. Speers, Shelly D. Kelly, Gemma Reguera, Extracellular reduction of uranium via Geobacter conductive pili as a protective cellular mechanism, Environmental Sciences,2011.
14- Rayford B. Payne, Darren M. Gentry, Barbara J. Rapp-Giles, Laurence Casalot, Judy D. Wall, Uranium Reduction by Desulfovibriodesulfuricans Strain G20 and a Cytochrome c3 Mutant, Applied and environmental microbiology, 68, (6), 3129–3132, 2002.
15- WeiminGao, Arokiasamy J. Francis, Reduction of Uranium (VI) to Uranium (IV) by Clostridia, Applied and environmental microbiology, 74 (14), 4580–4584, 2008.
16- Matthew J. Marshall, Alexander S. Beliaev, Alice C. Dohnalkova, David W. Kennedy, Liang Shi, Zheming Wang, Maxim I. Boyanov, Barry Lai, Kenneth M. Kemner, Jeffrey S. McLean, Samantha B. Reed, David E. Culley, Vanessa L. Bailey, Cody J. Simonson, Daad A. Saffarini,MargaretF.Romine, John M. Zachara, James K. Fredrickson, c-Type Cytochrome-Dependent Formation of U(IV) Nanoparticles by Shewanellaoneidensis, PloS Biology,4(8), 1324-1333, 2006.
17- Roberto Orellana, Janet J. Leavitt, Luis R. Comolli, RoseannCsencsits, NoemieJanot, Kelly A. Flanagan, Arianna S. Gray, ChingLeang, MounirIzallalen, TündeMester, Derek R. Lovley, U(VI) Reduction by Diverse Outer Surface c-Type Cytochromes of Geobactersulfurreducens, Applied and Environmental Microbiology, 79 (20), 6369–6374, 2013.
18- Melissa Barlett, Kai Zhuang, RadhakrishnanMahadevan, Derek R. Lovley, Integrative analysis of Geobacter spp. And sulfate-reducing bacteria during uranium bioremediation, Biogeosciences, 9, 1033–1040, 2012.

19- Milind S. Thombre, Bruce M. Thomson, Larry L. Barton, Microbial reduction of uranium using cellulosic substrates, HSRC/WERC Joint conference on the environment, Albuquerque, NM, 1996.
20- BaohuaGu, Wei-Min Wu, Matthew A. Ginder-Vogel, Hui Yan, Matthew W. Fields, Jizhong Zhou, Scott Fendorf, Craig S. Criddle, Philip M. Jardine, Bioreduction of Uranium in a Contaminated Soil Column, Environ. Sci. Technol., 39, 4841 – 4847, 2005.
21- Philip E. Long, Steve B. Yabusaki, P. D. Meyer, Christopher J. Murray, Lucie N'Guessan, 2008, Technical Basis for Assessing Uranium Bioremediation Performance. U.S.NRC, NUREG/CR–6973.
22- Judy D.Wall, Lee R. Krumholz, Uranium Reduction, Annu. Rev. Microbiol., 60, 149-166, 2006.
23- AbdesselamAbdelouas, Werner Lutze, Weiliang Gong, Eric H. Nuttall, Betty A. Strietelmeier, Bryan J. Travis, Biological reduction of uranium in groundwater and subsurface soil, The Science of the Total Environment, 250,21-35, 2000.