برهم‌کنش بین باکتری‌ها و کانی‌های رسی

شیرین صیقلانی[۱] و حسن رمضانپور [۲]
۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان

چکیده

باکتری‌ها با روش‌های گوناگونی موجب تغییر و دگرگونی کانی‌های رسی می‌شوند، از این روش‌ها می‌توان به انحلال، تغییر شکل و پالایش، کاهش عناصر کمیاب در کانی‌های رسی و جذب آنها اشاره نمود. باکتری‌ها این دگرگونی‌ها را با تولید سیدروفورها و کلات‌ها و کاهش یا افزایش جذب عناصر کمیاب روی کانی‌های رسی انجام می‌دهند. علاوه بر این باکتری‌ها می‌توانند بر روی بار لایه ای، ظرفیت تبادل کاتیونی، کاتیون‌های قابل تبادل و ویژگی‌های مکانیکی کانی‌های رسی اثر گذار باشند. مطالعه اثر متقابل کانی رسی-ریزجاندار به دلیل پتانسیل زیاد برهم کنش باکتری‌ها با کانی‌های رسی در خاک‌ها و رسوبات که باعث تغییراتی در ویژگی‌ها و رفتارهای کانی‌های رسی می‌شود، بسیار گسترده است. مقاله حاضر تأثیرات باکتری-های مختلف را بر ویژگی‌های کانی‌های رسی مختلف به طور خلاصه بیان می‌کند.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌ها، انحلال، کاهش، سطح ویژه

مقدمه

کانی‌های رسی، یعنی سیلیکات‌های آلومینیوم لایه‌ای، فراوان‌ترین کانی‌ها در دشت‌های رسوبی، پوسته‌های هوازده و خاک-ها بوده و ریزجانداران نقش اساسی در انحلال مواد زمین، توزیع در چرخه عناصر، باروری خاک و کیفیت آب دارند (Kretzschmar and Voegelin, 2001). علاوه بر این باکتری‌ها در تشدید تغییر شکل کانی‌ها شناخته شده‌اند (lee and Fein, 2000).

در سال‌های اخیر به جنبه‌های مختلفی از نقش ریزجانداران در تغییر کانی‌های رسی مثل کاهش آهن ساختاری، خاکدانه-سازی، همآور سازی، انحلال، بار لایه‌ای، ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییرات در ساختارها و پایداری رسی توجه شده است (Maurice et al., 2001a). هدف از مقاله حاضر، خلاصه کردن یافته‌های اخیر مربوط به اثرات باکتری‌ها بر ویژگی‌ها و رفتار رس‌ها است. طیف وسیعی از ریزجانداران و کانی‌های رسی استفاده شده در مطالعات ذکر شده در جدول ۱ آورده شده است.

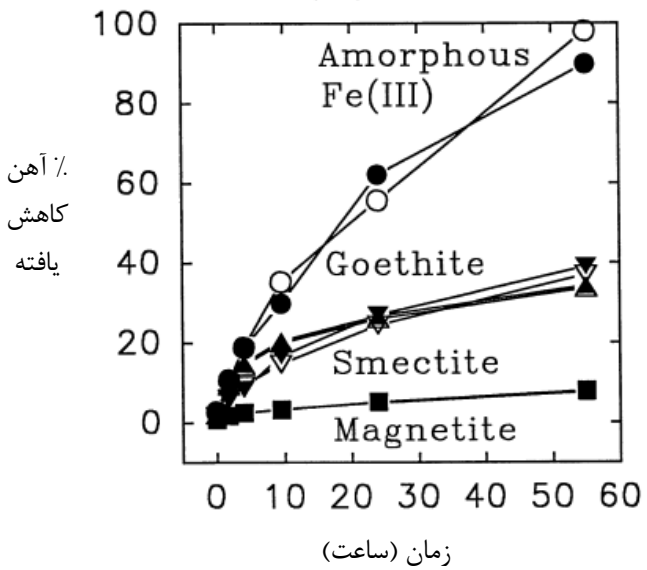
جدول شماره ۱-خلاصه‌ای از ریزجانداران و کانی‌های رسی استفاده شده در پژوهش‌های بر هم کنش میکروبی با کانی‌های رسی

باکتری استفاده شده	کانی‌های رسی استفاده شده	ویژگی‌های مطالعه شده	منبع
Pseudomonads, Bacillus licheniformis, Bacillus cereus, Bacillus lentus, Bacillus polymixa	ورمی‌کولیت و کلریت	انحلال و کلات شدن	(Berthelin and Belgy ,1979)
Xanthomonas campestris	مونت‌موریلونایت	تشکیل بیوفیلم	(Dorioz et al.,1993)
Shewanella oneidensis	اسمکتایت	کاهش آهن (III)	(Kostka et al.,1999a)
Pseudomonas mendocina	کائولینایت	انحلال و کلاته شدن	(Maurice et al.,2001a)
Shewanella putrefaciens CN32	نانترونیت	کاهش آهن (III)	(Jaisi et al., 2007a)
Bacillus mucilaginosus	بنتونیت	انحلال و سطح ویژه	(Zhu et al.,2011)
Pseudomonas fluorescens CHA0	ورمی‌کولیت	انحلال، بار لایه‌ای و CEC	(Muller and Defago ,2006)

اثرات بر هم‌کنش میکروبی روی ویژگی‌های رسی و رفتارهای شیمیایی

کاهش آهن (III) در کانی‌های رسی

اولین مطالعات در این زمینه در اواخر دهه ۸۰ توسط استاکی و همکاران (۱۹۸۷) با استفاده از نانترونیت و مونت-موریلونیت انجام شد که آهن (III) اکتاهدرال به آهن (II) به وسیله باکتری‌های بومی در حال رشد کاهش یافت. تا به امروز اغلب مقالات چاپ شده درباره کاهش آهن (III) در کانی‌های رسی توسط ریزجانداران، با سایر انواع بر هم‌کنش بین کانی‌های رسی و باکتری‌ها است (شکل ۱).



شکل ۱-کاهش کانی‌های مختلف دارای آهن (III) توسط باکتری کاهنده آهن *Shewanella putrefaciens* در یک محیط با حداقل لاکتات به عنوان منبع کربن با فرض ثابت نگه داشتن چگالی سلول. سرعت کاهش کانی‌های اکسید آهن توسط این سویه همبستگی مستقیم با سطح ویژه کانی‌های مختلف دارد که به عنوان تنها گیرنده الکترون در محیط عمل می‌کند. اشکال دایره‌ای (اکسید آهن آمورف؛ سطح ویژه ۶۰۰ متر مربع بر گرم)، مثلث با نوک به سمت پایین (گوتیت؛ با ۲۰ متر مربع بر گرم)، مثلث با نوک به سمت بالا (اسمکتیت؛ با سطح ویژه ۷۲۰ متر مربع بر گرم)، و اشکال مربع (مگنتیت؛ با ۴ متر مربع بر گرم)

بیشتر پژوهش‌ها نشان می‌دهند که حد و سرعت کاهش میکروبی آهن (III) در کانی‌های رسی بستگی زیادی به شرایط آزمایش دارد. موارد زیر در مطالعات گزارش شده است: ۱) ریزجانداران و کانی‌های رسی اثر عمده‌ای روی حد و سرعت کاهش زیستی دارند، ۲) مقدار کاهش زیستی با افزایش محتوای آهن کل کانی رسی افزایش می‌یابد (Ernstsen et al., 1998)، ۳) اندازه رس را کاهش، سطح ویژه را افزایش داده و سرعت کاهش زیستی زیاد می‌شود (Jaisi et al., 2007)، ۴) کانی‌های رسی با بار لایه‌ای کمتر برای کاهش زیستی مطلوب‌تر است (Seabaugh et al., 2006)، ۵) افزایش نسبت میکروبی به کانی رسی سرعت و حد کاهش زیستی را زیاد می‌کند (Jaisi et al., 2007)، ۶) شیمی محلول (مثل pH و وجود یا عدم وجود Al و K) بر سینتیک کاهش زیستی تأثیر می‌گذارد، ۷) وجود مواد آلی در بین لایه، مقدار و سرعت کاهش زیستی را کم می‌کند (Zhang et al., 2007) و ۸) دما به طرق مختلف بر کاهش زیستی اثر می‌گذارد.

به منظور مدل‌سازی سرعت کاهش میکروبی آهن (III) در نانترونیت، یک مدل بیوژئوشیمیایی سینتیک توسعه یافته است (Jaisi et al., 2007). مدل ذکر شده شامل سینتیک کاهش میکروبی آهن (III) در شرایط اشباع سطحی، تولید آهن (II) و جذب آن به کانی رسی و سطح سلولی می‌شود.

تجمع و همآوری

اثرات عمده‌ی باکتری‌ها روی فابریک رس (کائولینیت یا مونت‌موریلونیت) چسبیدن صفحات کوچک رسی به سلول و ترشح پلی‌ساکارید قوی است که به حفرات رسی نفوذ می‌کند. علیموا و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۹) نیز تشکیل تجمعات رس-باکتری را به همراه بیوفیلم (مواد پلی‌ساکاریدی خارج سلولی یا EPS) گزارش کردند، این تجمعات به ۵۰ تا ۳۰۰ میکرومتر می‌رسد. ذرات رسی در سوسپانسیون تقریبا اندازه باکتری را دارند و تشکیل بیوفیلم ساده را می‌دهند(Alimova et al., 2006). سطح ویژه‌ی زیاد ذرات رسی چسبیدن به سطوح توسط باکتری‌ها را افزایش می‌دهد.

مطالعات جیسی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که کاهش ساختار آهن (III) توسط ریزجانداران نیز بر تجمع ذرات رسی اثر گذاشته، هم بر کاهش آهن (III) و تشکیل EPS در رشد تجمع کانی رسی در آزمایشات کاهش زیستی اهمیت فراوانی دارند. پل پلیمری به عنوان عامل مهم در تجمع ذره بوده و کاهش رس و EPS ترشح شده توسط باکتری‌ها ممکن است از عوامل غالب در همآوری رس‌ها باشد. EPS ممکن است به صورت عامل اتصال در فرایند همآوری با تشکیل پل‌های پلیمری بین ذرات رس عمل کرده و منجر به توده‌های بیشتر شود. به احتمال زیاد تجمع ذرات رس با افزایش اثرات متقابل الکترواستاتیک بین ذرات رس و یا با افزایش تعاملات بار منفی سطوح رس و اتصال به کاتیون‌ها گسترش می‌یابد.

انحلال

کوستکا و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که میزان انحلال به حضور عوامل کلات کننده در محلول و تغییرات برگشت پذیر CEC و سطح ویژه بر کاهش و اکسیداسیون اسمکتایت خالص بستگی دارد. برتلین و بلگی (۱۹۷۹) اظهار داشتند که انحلال ورمی‌کولیت توسط فعالیت‌های میکروبی با حذف مقادیر کمی از منیزیم و سیلیس ساختمانی از ورمی‌کولیت همراه است. از آنجایی که میزان انحلال وابسته به pH است، لذا در pH کمتر از ۵ و بیشتر از ۸ انحلال و تولید عوامل کلات‌کننده (اسیدهای آلی) افزایش می‌یابد. لیگاندهای آلی، از جمله سایدروفورها ممکن است آهن را از کائولینیت رها سازند.

سطح ویژه

سطح ویژه زیاد یکی از مهم‌ترین خواص کانی‌های رسی خاک و رسوبات است. کوستکا و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که کاهش زیستی، سطح ویژه را در اسمکتیت در حدود ۳۰٪ و در مونت‌موریلونیت تا ۵۰٪ کاهش می‌دهد. پژوهش‌های جیسی و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که کاهش در سطح ویژه به اندازه دانه و میزان کاهش آهن (III) بستگی دارد.

بار لایه‌ای و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

افزودن الکترون‌ها به ساختمان کانی‌های رسی با کاهش آهن (III) به آهن (II) باعث افزایش یا کاهش در بار منفی لایه‌ای و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود. بار لایه‌ای در اسمکتایت که توسط *Shewanella oneidensis* کاهش می‌یابد، افزایش CEC از ۰/۸۲ به ۱/۵ میلی مول در گرم است، و در مونت‌موریلونیت افزایش محدوده از ۰/۸۵ تا ۰/۹۹ میلی مول در گرم است (Kostka et al., 1999).

با توجه به پژوهش‌های مولر و دیفاگو (۲۰۰۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی در ورمی‌کولیت در برهم‌کنش با باکتری هوازی به مقدار Na و K در ساختار ورمی‌کولیت بستگی دارد. ورمی‌کولیت حاوی پتاسیم کمترین CEC را نشان می‌دهد. مقدار کاتیون-های قابل تبادل نیز به روش خشک کردن بستگی دارد. پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهند که غلظت Mg و Ca قابل تبادل در نمونه‌های آون خشک به دلیل لایه لایه شدن در درجه حرارت بالاتر بیشتر از ورمی‌کولیت هوا خشک است.

اثرات سیدروفورهای میکروبی تولید شده و کلات‌کننده‌ها بر خواص کانی‌های رسی

پژوهش‌های موریس و همکاران (۲۰۰۱) نشان داد که انحلال اگزالات (تولید شده توسط ریزجانداران) می‌تواند آهن را از کائولینیت‌ها در غلظت یک دهم میلی مول در شرایط هوازی حل کند (Maurice et al, 2001). زو و همکاران (۲۰۱۱) آزادسازی Si و Al را توسط بر هم‌کنش مونت‌موریلونیت با باکتری *Bacillus mucilaginosus* به عنوان پیامد متابولیت‌های تولید شده توسط میکروب‌ها شرح داده‌اند. در یک مقدار pH مشخص، مقدار آهن آزاد شده از نانترونیت بین سویه‌ها متفاوت است و ۲ تا ۱۲ برابر بیشتر از زمانی است که تحت شرایط غیرزیستی است.

نتیجه‌گیری

بیشتر پژوهش‌ها در زمینه برهم‌کنش باکتری - کانی رسی مربوط به کاهش آهن (III) به آهن (II) در ساختار کانی‌های رسی خاک توسط باکتری‌ها بوده است. انواع مختلفی از باکتری‌های خاک توانایی کاهش ساختاری آهن (III) را در کانی‌های رسی اسمکتیت دارند و باعث می‌شوند تا ۹۰٪ از آهن موجود در فیلوسیلیکات‌ها کاهش یابد. کاهش باکتریایی کانی‌های رسی اثر شدیدی بر شیمی سطح کانی دارد. کاهش باکتریایی باعث از هم پاشیدن ساختار فیلوسیلیکات، کاهش سطح ویژه، افزایش چگالی بار سطحی و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود. اغلب آزمایشات به استفاده از اسمکتایت‌ها (نانترونیت) و انتخاب محدودی از سویه‌های باکتری مثل (*Pseudomonads*، *Shewanella oneidensis*، *Shewanella putrefaciens*، *Geobacter metallireducens*) تمرکز کرده‌اند. پژوهش‌های ذکر شده در مقاله حاضر اهمیت باکتری‌ها را در تغییر حالت اکسیداسیون آهن در کانی‌های رسی ثابت می‌کند. هرچند که مکانیزم کاهش آهن تنها مکانیزم اثر گذار بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی کانی‌های رسی نیست. مطالعه برهم کنش ریزجانداران و کانی‌ها به دلیل پتانسیل بالایی که بر هم‌کنش باکتری‌ها با کانی‌های رسی دارند، هنوز گسترده است و منجر به تغییراتی در هماوری، انحلال، سطح ویژه، بار لایه‌ای و ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شوند.

منابع

Alimova A, Block K, Rudolph E, Katz A, Steiner J C, GottliebP, Alfano R R. 2006. Bacteria-clay interactions investigated by light scattering and phase contrast microscopy. ProcSPIE. 6094: 10.1117.

Alimova A, Katz A, Steiner N, Rudolph E, Wei H, SteinerJ C, Gottlieb P. 2009. Bacteria-clay interaction: Structuralchanges in smectite induced during biofilm formation. ClayClay Miner. 57: 205–212.

Berthelin J, Belgy G. 1979. Microbial degradation of phyllosilicates during simulated podzolization. Geoderma. 21: 297–310.

Dorioz J M, Robert M, Chenu C. 1993. The role of roots, fungi and bacteria on clay particle organisation. An experimental approach. Geoderma. 56: 179–194.

Ernstsen V., Gates W.P., Stucki J.W., 1998. Microbial reduction of structural iron in clays- a renewable source of reduction capacity. J environ Qual. 27: 761-766.

Jaisi D.P., Dong H., and Liu C. 2007 c. Kinetic analysis of microbial reduction of Fe (III) in nontronite. Environ Sci Technol. 41:2437-2444.

Jaisi D P, Eberl D D, Dong H, Kim J W. 2011. The formation of illite from nontronite by mesophilic and thermophilic bacterial reaction. Clay Clay Miner. 59: 21–33.

Kretzschmar R and Voegelin A. 2001. Modeling competitive sorption and release of heavy metals in soils. *In* Selim H M, Sparks, D L. (eds.) Heavy Metals Release in Soils. Lewis Publishers Boca Raton. pp. 55–87.

Kostka J E, Haefele E, Viehweger R, Stucki J W. 1999a. Respiration and dissolution of iron (III)-containing clay minerals by bacteria. Environ Sci Technol. 33: 3127–3133.

Lee J-U and Fein J.B. 2000. Experimental study of the effects of Bacillus subtilis on gibbsite dissolution rates under near neutral pH and nutrient-poor conditions. Chem Geol. 166: 193-202.

Maurice P.A., Vierkorn M.A., Hersman L.E and Fulghum J.E. 2001a. Dissolution of well and poorly ordered kaolinites by an aerobic bacterium. Chem Geol. 180: 81–97.

Muller B. and Defago G. 2006. Interaction between the bacterium Pseudomonas fluorescens strain CHAO and vermiculite. Effects on chemical, mineralogical and mechanical properties of vermiculite. J Geophys Res. 111:1029.

Seabaugh J.L., Dong H., Kukkadapu R.k., Ebrel D.D., Morton J.P and Kim J.W. 2006. Microbial reduction of Fe (III) in the Fithian and Muloorina illites: Contrasting extents and rates of bioreduction Clay clay Miner. 54:67-79.

Stucki J. W., Komadel P., and Wilkinson H. T. 1987. Microbialreduction of structural Fe (III) in smectites. Soil Sci. Soc. Am. J. 51, 1663–1665.

Zhang G., Kim J.W., Dong H., and Sommer A.J. 2007b. Microbial effects in promoting the smectite to illite reaction: role of organic matter intercalated in the interlayer. Am Mineral. 92: 1401-1410.

Zhu Y., Li Y., Lu. A. H., Wang H.R., Yang X.X., Wang C.Q., Cao W.Z., Wang Q.H., Zhang X.L. and Pan D.M. 2011. Study of the interaction between bentonite and a strain of Bacillus mucilaginosus. Clay Clay Miner. 59: 538-545.

Interactions between Clay Minerals and Bacteria

Sh. Seyghalani[1], H. Ramezanpur[2]
1,2- Ph.D student and Associate Professor of soil science in Guilan University

Abstract
There are numerous ways in which bacteria can interact with clay minerals and alter them: dissolution, refinement and transformation, reduction of trace elements incorporated in the clay minerals and uptake of trace elements from these minerals, e.g., by the production of siderophores and chelators and enhancement or reduction of absorbance of trace elements on clay minerals. In addition, bacteria can influence layer charge, cation exchange capacity (CEC) and exchangeable cations. The field of clay mineral-microorganism interaction is still wide open because of the large potential that the interactions of bacteria with clay minerals in soils and sediments may result in changes in clay mineral properties and behaviors. This review summarizes the influences of various bacteria on the properties of different clay minerals

Keywords: Bacteria, Dissolution, Reduction, Surface Area