پژوهش ـ ـي

مجله محيط شناسي، شماره۳۷، بهار ۱۳۸۴، صفحه ۳۴-۲۷

فعاليت باكتري هاي گوگردي در خاک معدن مس سرچشمه

مهندس حسن سالاری *
دکتر علی احمدی مقدم **

چكيده

به منظور بررسي پتانسيل باكتري هاي كموليتوتروف در استخراج مس از خاک معدن مس سرچشمه و نيز جداسازي گوگرد آن (در حال حاضر به صورت آلاينده دي اكسيد گوگرد به محيط رها مي شود) فعاليت دو باكتري گوگردي بر روي خاک هاي اين معدن در كشت خالص هر يک از باكتري ها و كشت هاي مخلوط دو باكتري مقايسه گرديد. محلول محتوي دو باكتري تيوباسيلوس فرواكسيدانس[۱] (TF) و تيوباسيلوس تيواكسيدانس[۲] (TT) كه هر كدام بتنهايي و نيز با هم به ترتيب در محيط كشت 9K و ايمايي[۳] كشت شدند، به خاک معدن مس سرچشمه با سه عيار ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد مس اضافه شدند. نتايج حاصل از اندازه گيري مقدار مس آزاد شده در محلول ها با استفاده از اسپكتروفتومتر جذب اتمي نشان داد كه در مدت ۶۰ روز باكتري TF مقدار بيشتري مس را نسبت به باكتري TT آزاد كرده و مقدار مس آزاد شده در محيط كشت مخلوط دو باكتري، كمي كمتر از مقدار آن در محيط كشت هاي حاوي باكتري TF وبه طور معني داري بيشتر از باكتري TT بود. گوگرد آزاد شده حاصل از فعاليت باكتري ها كه به صورت گوگرد عنصري در رسوب آزاد مي شود، توسط حلال آلي كربن دي سولفيد جداسازي شد. مقدار گوگرد آزاد شده در محلول محتوي هر يک از باكتري ها و محلول محتوي مخلوط دو باكتري نيز تفاوت معني دار نشان داد. ميزان اسيد سولفوريک توليد شده در اثر فعاليت باكتري ها كه به وسيله تغييرات pH محلول ها در آغاز و انتهاي هر آزمايش اندازه گيري شد، نشان داد كه مقدار اين اسيد نيز همزمان با تغيير عيار سنگ معدن و محيط كشت باكتري تغيير كرد. شمارش تعداد باكتري ها در محيط هاي كشت نشان داد كه افزايش ميزان آزاد شدن مس با افزايش تعداد هر دو گونه باكتري همبستگي مثبت دارد، با اين حال تعداد باكتري TF در كشت هاي خالص بيشتر از TT و بيشتر از مجموع دو باكتري در كشت مخلوط بود.

كليدواژه:

باكتري هاي گوگردي، آلاينده هاي محيطي، گوگرد عنصري، مس سرچشمه، اسپكتروفتومتر.

تاريخ دريافت: ۱۳۸۲/۱۰/۲۴ تاريخ پذيرش: ۱۳۸۳/۶/۳۰

* مربي پژوهشي مركز بين المللي علوم و تكنولوژي پيشرفته و علوم محيطي.
** استاديار بخش زيست شناسي دانشگاه شهيد باهنر كرمان.

سرآغاز

استخراج مس در معادن مس از جمله معدن سرچشمه به روش گداخت[۴] صورت مي گيرد كه منجر به آزاد شدن مقدار زيادي گاز دي اكسيد گوگرد مي شود. اين گاز تأثير سوئي بر پوشش گياهي منطقه و همچنين بر pH خاک دارد و منجر به حلال بودن كاتيون هاي بازي در خاک مي گردد. وجود اين گاز در هوا نيز از طريق توليد باران هاي اسيدي خسارت جبران ناپذيري بر منطقه وارد مي كند (احمدي مقدم، ۱۳۶۶؛ كوچكي و حسيني، ۱۳۸۰). امروزه استفاده از ميكروارگانيزم هاي گوگردي كموليتوتروف[۵] و مزوفيل در استخراج فلزاتي چون مس، آهن، اورانيوم و نيكل معروف به پديده استخراج ميكربي[۶] در كشورهايي مانند استراليا،كانادا، شيلي، چين، پرو و ايالات متحده امريكا، بويژه در سنگ هايي كه داراي عيار كم هستند تا حد زيادي جانشين روش هاي گداخت استخراج فلزات شده است. به طوري كه مس در مجموع در اين كشورها به ميزان ۱۲۲۸۸/۱ هزار تن در سال ۱۹۹۸، ۱۲۷۱۲ هزار تن در سال ۱۹۹۹ و ۱۳۲۴۳/۷ هزارتن در سال ۲۰۰۰ با اين روش استخراج شده است (Fernando, 2002 و Smith, 1996). در روش استخراج ميكربي از باكتري هاي كموليتوتروف مزوفيل، براي مثال تيوباسيلوس ها استفاده مي شود. با توجه به وفور معادن كم عيار مس در ايران و به صرفه نبودن استخراج آنها با روش هاي گداخت و همچنين عدم توليد آلاينده هاي هوا در استخراج ميكربي نياز به كارگيري اين روش احساس مي شود. استفاده از اين روش مي تواند منشا فعاليت هاي جديد اقتصادي و سالم زيست محيطي براي استخراج فلزات از جمله مس باشد. مزيت اين روش علاوه بر اهميت اقتصادي آن در بازيافت فلزات از سنگ هاي كم عيار، جلوگيري از تبديل تركيبات گوگردي موجود در خاک معدن به دي اكسيد گوگرد و هيدروژن سولفوره است كه هر دو از آلاينده هاي محيطي هستند(Schippers et al.,1999). براي توسعه صنعت استخراج ميكربي فلزات، علاوه بر نياز به ساخت دستگاه ها، توجه به فعاليت هاي ميكربي مربوط، بويژه با استفاده از منابع طبيعي موجود لازم است. تاكنون تيوباسيلوس هاي متفاوتي از خاک هاي معدني جداسازي شده كه در برخي موارد اثر اين باكتري ها بر روي پاره اي از كاني هاي مس يا آهن مطالعه شده است. همان طوري كه اثر مخلوط دو يا چند باكتري از جنس هاي متفاوت براستخراج آهن از پيريت موجود در معادن آهن انجام شده است (Batagelia et al., 1998)، با اين حال بيشتر كارهاي انجام شده با اين روش بر روي سنگ هاي معدن مس در حالي صورت گرفته كه فقط نقش يک باكتري بررسي شده است (اميني، ۱۳۸۱، سعيد و معطري، ۱۳۸۱؛ Suzuki, 2001) و نقش و تأثير متقابل باكتري ها كه عموماً در محيط هاي طبيعي ممكن است به صورت مخلوط وجود داشته باشند كمتر مورد توجه قرار گرفته است.

باكتري هاي كموليتوتروف گوگردي TFوTT هوازي اجباري، ميله اي شكل، گرم منفي و داراي فلاژله قطبي اند و تشكيل اسپور نمي دهند. در محدودة pH ۱/۵ تا ۴/۵ بهترين رشد را دارند. دامنة دمايي آنها ۱۰- ۳۵ درجة سانتيگراد و بهينة فعاليت آنها در دماي ۲۵-۳۰ درجة سانتيگراد است. انرژي خود را از اكسيداسيون مواد معدني به دست مي آورند(Johnson, 1998). منبع ازت مورد نياز آنها نمک هاي آمونيوم و نيترات است. اين باكتري ها انرژي مورد نياز خود را از اكسيداسيون سنگ معدن كوولیت (CuS) و تبديل آن به مس محلول و گوگرد عنصري طبق معادلة زير به دست مي آورند(Umrania, 2002).

معادلة (۱):

$$CuS + \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ \rightarrow Cu^{++} + H_2O + S$$

در صورتي كه باكتري توانايي انجام معادله ۱ را نداشته باشد مي تواند گوگرد موجود در محيط را طبق معادله۲ به سولفات تبديل كرده و از انرژي حاصل استفاده كند.

معادله (۲):

$$S + \frac{3}{2}O_2 + H_2O \rightarrow SO_4^{--} + 2H^+$$

وجود سنگ معدن مس به صورت كالكوسيت (Cu_2S) نيز در محيط كشت باكتري اين امكان را به باكتري گوگردي مي دهد كه اين ماده را ابتدا به كوولیت تبديل كند و سپس طبق واكنش ۱ فرايند را ادامه دهد.

معادله (۳):

$$2Cu_2S + O_2 + 4H^+ \rightarrow 2CuS + 2Cu^{++} + 2H_2O$$

اين پديده به طور طبيعي گاهي در معادن آهن و مس اتفاق مي افتد كه منجر به آزاد شدن يونهاي سنگين Fe^{++} و Cu^{++} و نيز اسيدي شدن زه آبهاي اين معادن مي شود (Suzuki, 2001).

در اين مطالعه ميزان فعاليت دو باكتريTT و TF كه توسط مركز تحقيقات و مطالعات سرچشمه از خاک اين معدن جداسازي شده بودند به صورت مخلوط و همچنين جداگانه بر روي سه نوع خاک كم عيار معدن مس سرچشمه (۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴) بررسي شد. به منظوربررسي كمي فعاليت باكتري ها در جداسازي كاتيون مس از گوگرد عنصري، مقدار مس آزاد شده در محيط هاي مختلف كشت اندازه گيري و مقدار گوگرد آزاد شده نيز با روش شيميايي جداسازي و اندازه گيري شد. بعلاوه، همزمان با فعاليت باكتريها رشد باكتريها نيز از طريق شمارش آنها كنترل گرديد.

مواد و روش ها

ابتداباكتريTFدرمحيط كشت اختصاصي 9K (Silverman & Lundgren,1959)

[KCl 0.1 g/l, $MgSO_4$ .7 H_2O 0.5g/l, KH_2PO_4 0.5 g/l, $Ca(NO_3)_2$ .4H_2O 0.01g/l, $(NH_4)_2SO_4$ .7 H_2O 0.5 g/l, $FeSO_4$ .7H_2O 44g/l]

و باكتري TT در محيط كشت اختصاصي ايمايي(Imai, 1978)

[NH_4Cl 0.1 g/l, KH_2PO_4 0.3 g/l, $MgCl_2$. 6H_2O 0.1g/l, $CaCl_2$. 2H_2O 0.14 g/l, $FeSO_4$. 7H_2O 0.01 g/l, S 10 g/l]

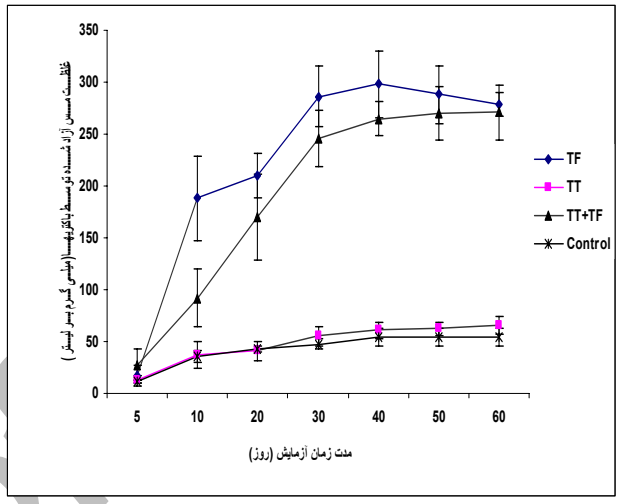
كشت شدند. براي تهية كشت مخلوط دو باكتري نيز حجم هاي مساوي ازباكتري هابر روي محيط كشت ايمايي كشت شدند. درسري هاي ۵ تايي از ارلن ماير۲۵۰ سي سي، از ظروف لرزان آزمايشگاهی در هر ظرف هر كدام ۵ گرم خاک معدن و ۳۰ سانتيمتر مكعب از محلول كشت پايه [$(NH_4)_2SO_4$ 3.7g/l, H_3PO_4 0.8 g/l, KOH 0.48 g/l, $MgSO_4$ .7 H_2O 0.52 g/l] ريخته شد. اسيديته محيط كشت با اضافه كردن قطراتي از سولفوريک اسيد به ۲ رسانده شد؛ اين اسيديته منطبق با دامنة pH مورد نظر باكتري هاست. همچنين محيط كشت پايه فاقد هر نوع كاتيون فلزي است كه امكان رقابت را با مس در واكنش هاي اكسيداسيون و احيا از بين مي برد. با استفاده از سرنگ استريل يک سانتيمتر مكعب از محيط كشت هاي حاوي باكتري ها (ايمايي ، 9K) به ارلن مايرها اضافه شد به طوري كه براي هر تيمار باكتري ۵ تكرار در نظر گرفته شد. مجموعه اي ۵ تايي نيز بدون اضافه كردن باكتري ها تهيه و به عنوان شاهد در نظر گرفته شد . ظروف آزمايشگاهي در دماي ۳۰ (Konishi et al., 2001) درجه سانتيگراد به مدت ۶۰ روز در انكوباتور قرار داده شدند. هر ۱۰ روز يک بار يک نمونه ۱۰ سانتيمتر مكعبي از هر ظرف برداشت و سانتريفوژ و غلظت مس در محلول رويي آن با استفاده از اسپكتروفتومتر جذب اتمي اندازه گيري شد و سپس محلول و رسوب حاصل به ظرف اوليه برگردانده شدند. بعد از ۶۰ روز مقدار كل هر محلول سانتريفوژ و پس از اندازه گيري مقدار مس در محلول بالايي pH آن اندازه گيري و بر اساس تغييرات pH مقدار سولفوريک اسيد توليد شده در اثر فعاليت باكتري ها محاسبه گرديد. به رسوب زيرين مقدار ۱۰ سانتيمترمكعب از ماده آلي كربن دي سولفيد اضافه و پس از مخلوط كردن آن و حل شدن گوگرد در حلال مزبور، محلول با استفاده از كاغذ صافي صاف شد. پس از اينكه حلال فرار كربن دي سولفيد از محلول صاف شده تبخير شد وزن گوگرد باقيمانده اندازه گيري گرديد. در عين حال، در فاصله هاي ۱۰ روز، همزمان با اندازه گيري جذب اتمي مس ۱سي سي از محلول بالايي، ابتدا 10^{-6} بار رقيق و سپس با استفاده از اسپريدر[۷] ۰/۱ ميلي ليتر از محلول رقيق شده روي محيط كشت جامد 9K و ايمايي كه به آنها آگار اضافه شده بود، كشت شدند و سپس در انكوباتور در دماي ۳۰ درجه سانتيگراد قرار داده شدند. پس از رشد باكتري ها تعداد كلوني ها شمارش و در معكوس درجه رقت ضرب و بر اساس آن تعداد باكتري ها در ۱۰۰ميلي ليتر از محلول اوليه بر حسب MPN[۸] محاسبه گرديد(Oblinger et al., 1975). حدود اطمينان ۹۵% براي داده هاي حاصل از آزمايشات محاسبه و همراه با ميانگين داده هاي مربوط با استفاده از نرم افزار آماري Excel به صورت نمودار رسم شد.

يافته ها

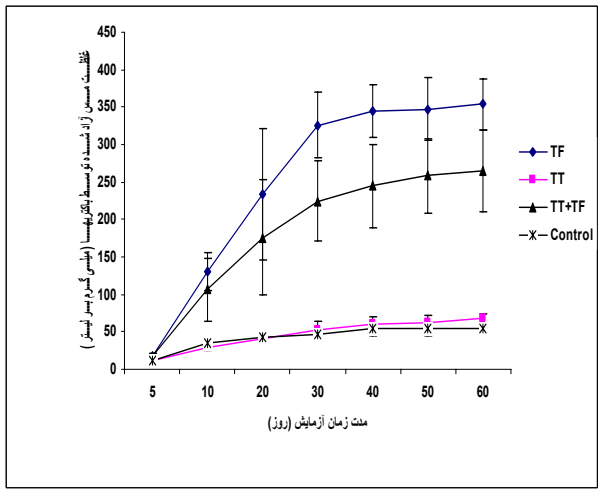
نتايج حاصل از اندازه گيري مقدار كاتيون مس در محلول هاي محتوي سه تيمار باكتريايي در هر سه نوع خاک نشان مي دهد كه فعاليت باكتريTF به طور معني داري بيشتر ازTT است و در مخلوط دو باكتري نيز مقدار كمتري مس نسبت به باكتريTF در حالت تنها آزاد شده است. منحني هاي مربوط به آزاد سازي مس در هر سه خاک و با تيمارهاي TF و مخلوط دو باكتري، شكل مشابهي دارند. به طوري كه تا روز سي ام اين ميزان روند صعودي دارد و پس از آن ثابت مي ماند.

نتايج حاصل از اندازه گيري ميزان گوگرد تخليص شده، تفاوت آشكاري را بين مقدار گوگرد آزاد شده در تيمار باكتري TF با دو تيمار ديگر نشان مي دهند.

همچنين مقدار سولفوريک اسيد توليد شده در پايان آزمايش در محيط کشت مخلوط دوباکتري بيش از دو تيمار ديگر است (نمودار هاي ۱ تا ۴).

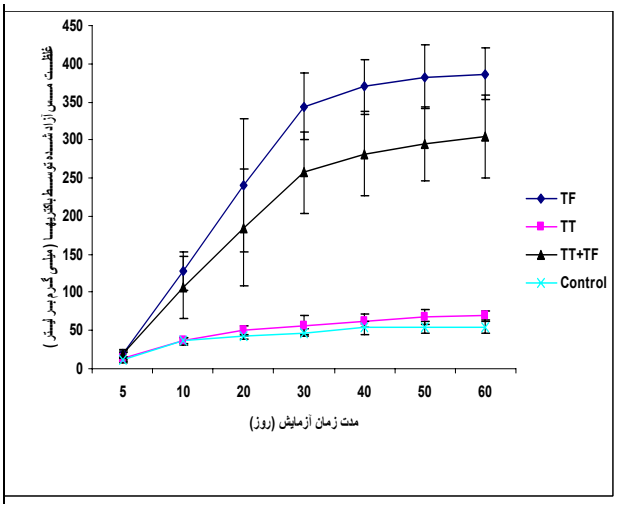


نمودار شماره (۱): ميزان مس آزاد شده توسط تيمارهاي مختلف باکتريايي در خاک مس با عيارهاي ۰/۲ درصد.خطوط عمودي حدود اطمينان(CI) ۹۵% را براي هر ميانگين نشان مي دهند.

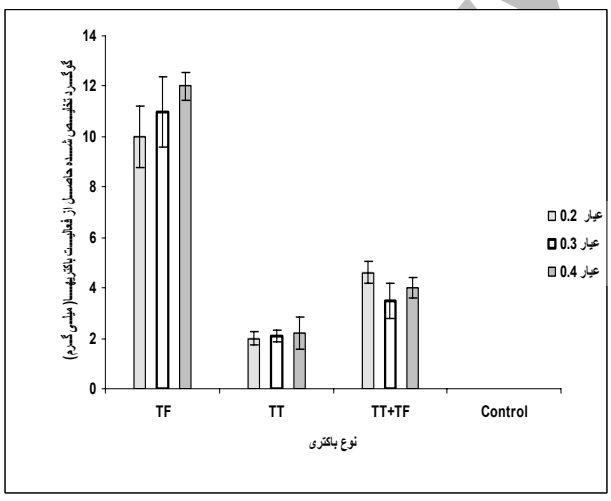


نمودار شماره (۲): ميزان مس آزاد شده توسط تيمارهاي مختلف باکتريايي در خاک معدن مس با عيار ۰/۳ درصد
خطوط عمودي حدود اطمينان(**CI**) ۹۵% را براي هر ميانگين نشان مي دهند.

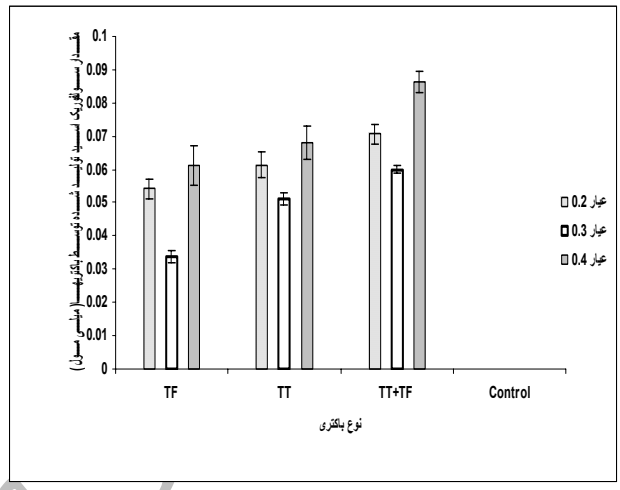
شمارش تعداد باکتري ها نيز در تيمارهاي مختلف افزايش تعداد اين ميکروارگانيسم ها را همزمان با فعاليت آنها نشان مي دهد.



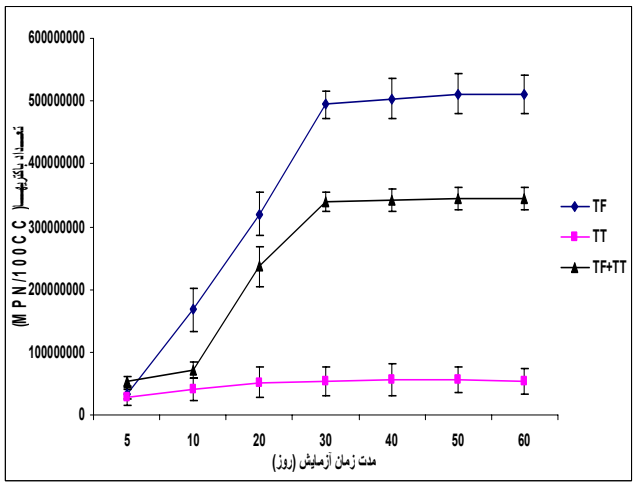
نمودار شماره (۳) : ميزان مس آزاد شده توسط تيمارهاي مختلف باکتريايي در خاک معدن مس با عيار ۰/۴ درصد.خطوط عمودي حدود اطمينان(CI) ۹۵% را براي هر ميانگين نشان مي دهند.



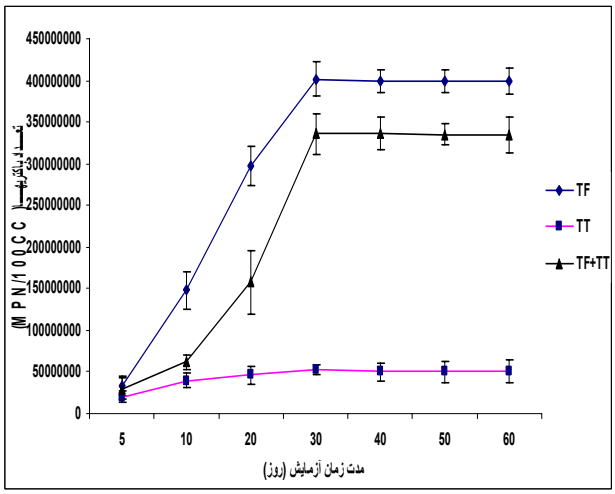
نمودار شماره (۴): ميزان گوگرد تخليص شده، حاصل از فعاليت باکتري هاي مختلف در خاک مس با عيارهاي۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد پس از ۶۰ روز تماس باکتري با خاک. خطوط عمودي حدود اطمينان(CI) ۹۵% را براي هر ميانگين نشان مي دهند.



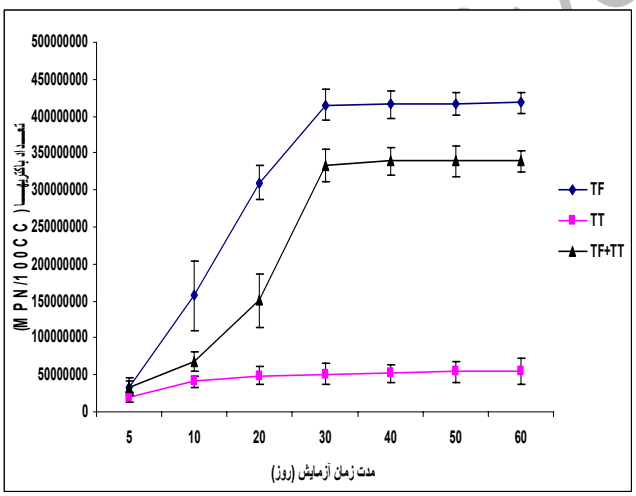
نمودار شماره (۵): ميزان اسيدسولفوريک توليد شده توسط تيمارهاي مختلف باکتريايي در خاک مس با عيارهاي۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد پس از ۶۰ روز تماس باکتري با خاک. خطوط عمودي حدود اطمينان(CI) ۹۵% را براي هر ميانگين نشان مي دهند.



نمودار شماره (۷): تعداد باکتري ها در محيط کشت سه تيمار باکتريايي که بر روي خاک معدن مس با عيار۰/۳ درصد رشد کرده اند. خطوط عمودي حدود اطمينان(CI) ۹۵% را براي هر ميانگين نشان مي دهند.



نمودار شماره (۶): تعداد باکتري ها در محيط کشت سه تيمار باکتريايي که بر روي خاک معدن مس با عيار ۰/۲درصد رشد کرده اند. خطوط عمودي حدود اطمينان(CI) ۹۵% را براي هر ميانگين نشان مي دهند.



نمودار شماره (۸): تعداد باکتري ها در محيط کشت سه تيمار باکتريايي که بر روي خاک معدن مس با عيار۰/۴ درصد رشد کرده اند. خطوط عمودي حدود اطمينان(CI) ۹۵% را براي هر ميانگين نشان مي دهند.

بحث و نتيجه گيري

احداث كارخانه هاي استخراج فلز با استفاده از باكتري هاي شيميوسنتز كننده روز به روز در دنيا، بويژه در كشورهاي در حال توسعه كه بيشترين معادن فلزي را هم دارند در حال انجام و گسترش است. اين مسئله علاوه بر اينكه موجب رونق اقتصادي در اين كشورها مي شود، به عنوان يک صنعت سالم محيط زيستي، ضمن جلوگيري از آلودگي ها از هدر رفتن مقادير زياد گوگرد به صورت SO_2 و فلزات كمياب نيز ممانعت مي كند. در اين صنعت تنها با وجود باكتري، آب، هـوا و مقـدار كمـي محيط كشت مي توان عناصر موجود در سنگ معدن فلزي از جمله مس را استخراج كرد. با اين حال علي رغم وجود تعداد بي شماري از معادن كوچک و بزرگ مس در ايران تا كنون به منظور راه اندازي اين صنعت در كشور گام مـؤثري برداشته نشده است. البته در اين راه لازم است تا ضمن به‌كارگيري مهارت هاي فن آوري شده در ساخت ابزار مربوط، ميزان و چگونگي فعاليت باكتري هاي مربوط نيز مورد بررسي قرار گيرد. از آنجا كه باكتري‌هاي شيميوسنتزكننده، جنس‌ها و گونه‌هاي متفاوتي دارند، شناسايي ميزان فعاليت هر كدام از اين تاكسون‌ها مي تواند راه‌گشاي فعاليت هاي صنعتي در اين زمينه باشد. نتايج حاصل از تحقيق حاضر جنبه هايي از فعاليت دو باكتري را روشن ساخته است. براي مثال بر اساس نتايج به‌دست آمده از فعاليت دو باكتريTF و TT در اين تحقيق ضمن اينكه توانايي TF در آزاد سازي مس مشخص مي شود، نتايج نشان مي دهد كه باكتري TT اين توانايي را ندارد. اما زياد شدن ميزان اسيد سولفوريک در محيط كشت محتوي باكتري TT نشان مي دهد كه اين باكتري توانايي توليد اسيد را از طريق اكسيداسيون گوگرد عنصري داراست و از اين رو مي توان پيش بيني كرد كه در كشت مخلوط دو باكتري، گوگرد حاصل ازفعاليت باكتري TF را نيز تبديل به اسيد كند. فعاليت باكتري TF سبب مي شود كه ضمن آزاد سازي مس از كوولیت (CuS)، گوگرد موجود نيز به صورت گوگرد عنصري آزاد و روي سطوح ذرات خاک رسوب كند و در اين صورت پس از اشغال سطوح خاک به وسيلة گوگرد و نيز باكتري TT در كشت مخلوط، باكتري TF نتواند تماس بيشتري با خاک داشته باشد كه اين موضوع باعث كاهش فعاليت آزاد سازي مس به ويژه در كشت مخلوط نسبت به كشت خالص TF مي شود. به همين دليل است كه در صنايع استخراج ميكربي سعي صنعتگران بر اين است تا تانک هايي را با حداقل حجم و حداكثر كارايي براي انجام فعاليت ميكربي بسازند كه محلول موجود در آن دائماً مخلوط شود تا هر چه بيشتر سطح تماس باكتري با ذرات خاک افزايش يابد و در ساخت اين تانک ها ضمن اينكه اين جنبه مدنظر است مقاومت آن به اسيد نيز مورد توجه قرار مي گيرد. بر اين اساس مي توان گفت كه در صورت فراهم بودن شرايط ايده‌آل تماس باكتري TF با ذرات خاک، ميزان آزاد سازي مس توسط اين باكتري ها در كشت مخلوط نيز كمتر از كشت خالص نخواهد بود.

جنبه اي كه از عدم رشد باكتري TT در محيط كشت پايه بدون آهن مي توان برداشت كرد اين است كه باكتري يادشده ضمن اينكه نياز به آهن دارد شايد بتواند در اكسيداسيون سنگ معدن گوگردي آهن (پيريت) مـؤثر باشد و آهن را آزاد كند. به هر حال اين مسئله نياز به تحقيق بيشتر دارد. همان طوركه ذكر شد باكتري TT در آزاد سازي مس نقش ندارد و فعاليت آن بر روي اكسيداسيون گوگرد حاصل از فعاليت TF است كه منجر به توليد اسيد مي شود. از طرف ديگر باكتري TF ضمن آزادسازي گوگرد و مس مي تواند مقداري از گوگرد را به اسيد تبديل كند (نمودار ۵). اين نتايج پيشنهاد مي‌كند كه مي‌توان فقط با وجود باكتري TF مس و گوگرد را به دست آورد؛ همچنين اين باكتري محيط اسيدي لازم براي فعاليت خود را فراهم مي كند. در صورتي كه در صنايع مربوط هدف فقط استخراج مس و گوگرد عنصري باشد، مي توان در اين مرحله از طريق الكتروليز و استفاده از حلال گوگرد اين دو ماده را جدا كرد، اما اگر هدف تبديل مقدار گوگرد بيشتري به اسيد و در نهايت توليد كودهاي شيميايي مربوط باشد، لازم است يا در كشت مخلوط دو باكتري و اسيد مورد نظر را در كشت هاي متوالي كه به ترتيب حاوي TF و TT باشند، به دست آورد. البته همان طور كه نتايج به‌دست‌آمده نشان مي‌دهند مقدار مس آزاد شده توسط فعاليت باكتري‌ها هميشه با مقدار اسيد سولفوريک توليد شده و يا گوگرد استخراج شده همبستگي خطي مثبت نداشته است (نمودار ۵). اين موضوع را مي توان به اين واقعيت مربوط دانست كه اگر چه خاک هاي معدني مورد استفاده از نظر مقدار مس موجود در آنها عيار سنجي و در آزمايش هاي به كار گرفته مي شوند، اما از نظر مقدار گوگرد موجود عيار سنجي نمي شوند و مانند كاني هاي موجود در خاک هاي مزبور از انواع مختلفي اند كه مقدار گوگرد هر يک از آنها مي تواند متفاوت باشد. چنانكه كالكوسيت (Cu_2S) و كوولیت (CuS) هر يک مي توانند منشا مقدار متفاوتي از اسيد توليد شده باشند. همين وضعيت علت تفاوت در ميزان گوگرد استخراج شده در

محيط کشت باکتري ها را توضيح مي دهد. با اين حال ممکن است با افزايش عيار خاک، باکتري نوع ماده مصرفي براي تأمين انرژي خود را نيز تغيير دهد. همان طور که مي تواند در عيارهاي متفاوت از کالکوسيت (Cu_2S)، کوولیت (CuS) و يا گوگرد براي تامين انرژي، استفاده کند و واکنش هاي اکسيداسيون را بسته به تراکم مواد موجود در محيط انجام دهد که اين مسئله موجب تفاوت در ميزان محصولات توليد شده خواهد شد.

مقادير مس آزاد شده به وسيلة باکتري ها در کشت هاي خالص و مخلوط نشان مي دهد که اين مقدار از خاک هاي با عيار ۰/۲ و ۰/۳ درصد مس به ترتيب افزايش داشته است. اما با خاک با عيار ۰/۴ درصد مس مقدار آن نسبت به ۰/۳ درصد ثابت مانده است. اين نتايج ضمن اينکه تأييدي بر اين است که استخراج ميکربي حداقل در شرايط موجود در خاک هاي کم عيار کارايي دارد، جنبه هاي ديگري را نيز در اين زمينه روشن مي کند. همان طور که گفته شد براي افزايش ميزان آزاد سازي مس همراه با افزايش عيار سنگ، لازم است امکان تماس باکتري ها با ذرات خاک افزايش يابد که اين مسئله نياز به طراحي هاي صنعتي در تانک هاي مربوط دارد؛ از طرف ديگر ايجاد شرايطي که در تانک هاي مربوط، فعاليت مداوم باکتري ها در کشت هاي مداوم صورت گيرد و در همان زمان خارج کردن محصولات حاصل يعني مس، گوگرد و اسيد مي تواند موجب تداوم انجام واکنشها و توليد بيشتر محصولات همزمان با افزايش عيار خاک گردد. با اين حال بايد توجه داشت که در مورد چگونگي انجام واکنش هاي استخراج ميکربي دو نظريه وجود دارد. نظرية اول به اين مسئله معتقد است که باکتري مستقيماً به خاک معدن حمله مي کنـــد و با اکسيـــده کردن فلـــز مربوط الکتـــرون موجـــود را صرف واکنش هاي احيايي در غشاي خود و در نتيجه تأمين انرژي مورد نياز خود مي کند(استخراج ميکربي مستقيم). نظرية دوم بر اين اساس مبتني است که باکتري با اکسيده کردن آهن فرو موجود در محيط کشت پايه و تبديل آن به آهن فريک و استفاده از الکترون آن خلاء الکتروني ايجاد مي کند و در نتيجه مس و يا آهن موجود در سنگ معدن را به طور غير مستقيم اکسيداسيون القايي و سپس آن را آزاد مي کند (استخراج ميکروبي غير مستقيم) (Tributsch, 2001). نتايج حاصل از تحقيق حاضر که افزايش آزاد سازي مس را همراه با افزايش عيار خاک نشان نمي دهد بيشتر نظريه اول را تأييد مي کند که در آن سطوح تماس ذرات خاک توسط گوگرد حاصل پوشيده مي شوند. اين وضعيت مي تواند راهگشايي براي استفادة باکتري ها در استخراج فلز از سنگ هاي معدن با عيار بالا باشد. همان طور که ذکر شد لازم است با حذف دائمي محصولات واکنش ها در کشت هاي مداوم، امکان تماس باکتري ها با خاک معدن را به طور دائم فراهم کرد. با توجه به موارد پيش گفته مي توان پيش بيني کرد که در شرايط غير صنعتي موجود در اين تحقيق، تعداد باکتري هاي توليد شده در کشتهاي با عيار مختلف، متفاوت باشد (نمودارهاي ۶ الي ۸). همان طور که از نمودارها بر مي آيد در عيار کم سنگ معدن، امکان تماس باکتري ها با سطوح بيشتري از خاک به نسبت مقدار مس موجود ميسر بوده است تا خاک هاي با عيار بالاتر که در نتيجة آن ميزان اشغال سطوح خاک در عيارهاي بالا تا نسبت کمتر و در نتيجه فعاليت و تعداد باکتري ها به همان نسبت پايين تر آمده است(نمودار ۸).

نتايج حاصل از اين تحقيق مي تواند گامي در راه استخراج ميکربي مس به منظور اقتصادي کردن آن و جلوگيري از توليد آلاينده SO_2 باشد. به هر حال بايد گفت که روش استخراج ميکربي فلزات ضمن اينکه مي تواند در استخراج فلزات از معادن موجود مورد استفاده قرار گيرد، مي تواند به طور وسيعي در بازيافت فلزات کمياب که عموماً در پسماندهاي صنعت ذوب مس يافت مي شوند مورد استفاده قرار گيرد.

جداسازي گوگرد با ماده آلي CS_2 که در اين تحقيق انجام گرفت ضمن اينکه مي تواند راهگشايي براي جلوگيري از آلودگي گوگردي و نيز استخراج اين ماده شود، موجب خواهد شد پساب حاصل از استخراج ميکربي فلزات نيز پس از جداسازي گوگرد به طور جداگانه با باکتري هاي مربوط تيمار و فلزات کمياب و ارزشمند آن از اين طريق به دست آيد. نکته ديگري که ذکر آن لازم به نظر مي رسد اين است که سنگ معدن مس بجز سنگ هاي گوگردي معمولاً محتوي مقداري سنگ هاي اکسيدي مس است که براي استخراج مس از اين سنگها لازم است واکنش های مورد نياز با افزودن مواد شيميايی ديگر مورد تحقيق قرار گيرد. برای پيشبرد فعاليت در زمينة استخراج ميکربی، شناسايی گونه های ديگر باکتريايی مزوفيل و نيز استفاده از باکتري هاي ترموفيل کموليتو تروف در کشت هاي خالص و مخلوط و تأثير آنها بر سنگ هاي پر عيار، در شرايطي که حتي الامکان محدوديت تماس باکتري ها با ذرات خاک از بين رفته باشد، ضروري به نظر مي رسد. البته براي راه اندازي اين صنعت لازم است علاوه بر به دست آوردن نتايج مربوط به جنبه های بيولوژيک از فعاليت های متخصصان صنايع فلزی و زمين شناسان استفاده شود.

تشکر و قدردانی

بدين وسيله از جناب آقاي دكترعبدالحميد نمكي شوشتري كه در شناسايي باكتري ها راهنمايي و كمک هاي ارزنده اي كرده اند و نيز از مسئولان محترم مركز تحقيقات و مطالعات مس سرچشمه كه نمونه هاي باكتري و خاک را در اختيار ما قرار داده اند، تشكر مي كنيم .

یادداشت ها

1- Thiobacillus ferrooxidans
2- Thiobacillus thiooxidans
3- Imai
4- Metallurgic
5- Cemolitotroph
6- Bioleaching
7- Spreader
8- Most probable number

فهرست منابع

احمدي مقدم،ع . ۱۳۶۶. بررسي اثرات صنايع مس سرچشمه بر محيط با توجه به پوشش گياهي منطقه. پايان نامه كارشناسي ارشد دانشگاه تهران. ۱۵۵ ص.

اميني ، م . ۱۳۸۱ . استخراج بيولوژيكي مس به روش ستوني . خلاصه مقالات اولين همايش آشنايي با كاربردهاي بيوتكنولوژي در استان كرمان. سازمان پژوهش هاي علمي و صنعتي ايران.

سعيد ، م . معطري ، ب. ۱۳۸۱ . بازيابي مس به روش بيوليچينگ از سنگهاي سولفوري كم عيار معدن دره زار مجتمع مس سرچشمه. خلاصه مقالات اولين همايش آشنايي با كاربردهاي بيوتكنولوژي در استان كرمان. سازمان پژوهشهاي علمي و صنعتي ايران.

كوچكي ، ع . حسيني ، م ۱۳۸۰. بوم شناسي محيط زيست، تأليف بيل فريد من. انتشارات دانشگاه فردوسي مشهد. ۲۵۶ ص.

Batagelia, F. et al. 1998. The mutual effect of mixed thiobacilli and leptosprilli population on pyrite bioleaching. Mineral Engineering. 11: 195 - 205.

Fernando, A. 2002. Present and future of bioleaching in developing countries. Electronic journal of biotechnology. 5: 196-199.

Imai, K. 1978. On the mechanism of bacterial leaching, In: Metallurgical Application of Bacterial Leaching and Related Microbiologic Phenomena. Murr, L.E. Torma, A.E. Brierley, J.A (Eds). Academic press, New York. 275 - 282.

Johnson, D. B. 1998. Biodiversity and ecology of acidophilic microorganisms. FEMS Microbiology Ecology. 27: 307- 317.

Konishi, Y. et al. 2001. Copper recovery from chalcopyrite concentrate by acidophilic thermophile *Acidianus brierleyi* in batch and continuous flow stirred tank reactors. Hydrometallurgy. 59: 271–282.

Oblinger, J. L. et al. 1975. Understanding and teaching the most probable number technique. Journal milk food technol. 38: 540- 545.

Schippers, A. et al. 1999. Intermediary sulphur compounds in pyrite oxidation. Apple, Microbial Biotechnology. 52: 104 – 110.

Silverman, M. P and Lundgren, D. G. 1959. Studies on the chemo-autotrophic iron bacterium ferrobacillus ferrooxidance.In: An improved medium and a harvesting procedure for securing high cell yields. Journal of Bacteriology.77: 642-647.

Smith, j. E. 1996. Biotechnology.Thired Edition. Cambridge University Press. Pp236.

Suzuki, I. 2001. Microbial leaching of metals from sulphid minerals. Biotechnology Advances.19: 119-132.

Tributsch, H. 2001. Direct versus indirect bioleaching. Hydrometallurgy. 59: 177- 185.

Umrania, V. V. 2002. Screening of thermoacidophilic autotrophic bacteria for covellite solubilization. Applied Biochemistry and Biotechnology. 103: 359- 366.