

بررسی امکان جذب زیستی همراه با تولید نانوذرات سرب و تلوریت توسط باکتری شینلا زوگلوئید DSM287

بهداد طاهری^۱، فاطمه تاجی^۲، سمیه رئیسی^{۳*}، محسن مبینی دهکردی^۳، فرهاد بنی مهدی^۱

۱- کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی میکروبی، گروه ژنتیک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۲- دکتری تخصصی زیست شناسی تکوینی، گروه ژنتیک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۳- دانشیار، گروه ژنتیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

*صندوق پستی: ۸۸۱۸۶۳۴۱۴۱، شهرکرد، ایران
s.reisi@sku.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱

چکیده

فلزات تجزیه‌ناپذیر، به دلیل داشتن ماهیت تجمع زیستی در غلظت‌های بالا، برای موجود زنده سمیت‌زا هستند. آنها از طرق گوناگون از جمله صنایع و به شکلی کنترل نشده وارد سیستم‌های آبی می‌شوند. از سویی، با توجه به نقش باکتری‌ها به عنوان یک جاذب زیستی برای حذف فلزات، می‌توان از آنها در جداسازی فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی استفاده کرد. هدف از مطالعه، بررسی جذب زیستی فلزات سرب و تلوریت توسط باکتری شینلا زوگلوئید DSM287 و امکان تولید نانوذرات، توسط باکتری می‌باشد. در این مطالعه جذب زیستی فلزات سرب و تلوریت تحت شرایط مختلف pH، دما، غلظت اولیه و زمان انکوباسیون بررسی شدند. سپس، احتمال تشکیل نانوذرات همراه با جذب زیستی بررسی شد و نانوذرات توسط آزمون‌های مختلف تایید شدند. مطابق با نتایج، شینلا زوگلوئید DSM287 یک باکتری مقاوم به سرب و تلوریت، به ترتیب با MIC ۲۴۰۰ و ۱۰۰ میکروگرم/میلی‌لیتر است. همچنین، می‌تواند در شرایط قلیایی و دمای بین ۲۸ تا ۳۲ درجه و زمان‌های انکوباسیون مختلف یک جاذب خوب برای یون‌های سرب و تلوریت باشد. علاوه بر این، باکتری همراه با جذب زیستی یون‌های تلوریت را به نانوذرات تلوریت تبدیل کرد. نتایج آزمون DLS و ZETA اندازه ۱۵۰ نانومتر و بار ۳۴- را برای نانوذرات محاسبه کرد.

کپی‌رایت © ۲۰۲۵، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس (TMU Press). این مقاله به صورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 قرار دارد. بر اساس این مجوز، شما می‌توانید این مطلب را در هر قالب و رسانه‌ای کپی، بازنشر و بازآفرینی کنید و یا آن را ویرایش و بازسازی نمایید، به شرط آنکه نام نویسنده را ذکر کرده و از آن برای مقاصد غیرتجاری استفاده کنید.

همچنین، میکروسکوپ الکترونی TEM این نانوذرات را به صورت کروی نامنظم نشان داد. بنابراین، به طور خلاصه می توان گفت باکتری مورد مطالعه دارای پتانسیل بسیار خوبی در جذب فلزات سرب و تلوریت داشته و می تواند امیدی برای حذف این آلودگی ها از آب باشد.

کلید واژگان: باکتری شینلا زوگلوئید DSM287، جذب زیستی، سرب، نانوذرات تلوریت.

۱-مقدمه

فلزات سنگین، عناصر فلزی با چگالی نسبتاً بالا هستند که برخلاف آلاینده های آلی، از نظر زیستی، تجزیه پذیر نبوده و در غلظت های نسبتاً کم نیز سمیت بالایی دارند [۱ و ۲]. به دلیل ماهیت تجمع زیستی این فلزات، غلظت بیش از حد آنها برای موجود زنده سمی است و می توانند با تجمع در بافت های زنده مشکلاتی برای سلامت انسان ایجاد کند. بنابراین، کنترل انتشار فلزات سنگین در محیط بسیار مهم است [۳]. جاذب های زیستی یا زیست توده طبیعی، در مقادیر بالا و در عین حال کم هزینه در آزمایشگاه های تحقیقاتی شیمیایی و میکروبیولوژی برای جذب فلز و آنیون استفاده می شوند [۴]. اثر باکتری هایی مانند، باسیلوس سرئوس، اشریشیا کلای و سودوموناس آئروژینوزا نیز به عنوان جاذب های زیستی گزارش شده است [۵]. در یک بررسی جذب زیستی دو فلز Cu^{2+} و Zn^{2+} توسط جلبک سبز دریایی خشک شده در pH برابر با ۵ گزارش شده است [۶]. همچنین، جذب بیولوژیکی مس، روی، سرب، نیکل و کادمیوم توسط قارچ ریزوپوس آریزوس^۱ به روش فیزیکی انجام شده است [۴]. بسیاری از گونه های میکروبی می توانند گونه های فلزی را از محلول های آبی رقیق شده متمرکز کنند و آنها را در داخل یا روی سطح ساختار سلولی خود انباشته کنند. پیچیدگی ساختار سلولی میکروارگانیسم نشان می دهد مسیرهای مختلفی در جذب یونی دخیل هستند. بنابراین، جذب یون های فلزی می تواند از مکانیسم های مختلفی مانند جذب فیزیکی، تبادل یونی و اتصال هماهنگ به گروه های عاملی در سطح سلول های

زنده یا غیرزنده ناشی شود [۶]. این مکانیسم ها را می توان با دو معیار طبقه بندی کرد. معیار اول بر اساس متابولیسم سلولی است که می توان آن را به متابولیسم وابسته و متابولیسم مستقل تقسیم کرد. در متابولیسم وابسته، جذب فعال (جذب آهسته تر) وابسته به متابولیسم است و باعث انتقال یون ها از طریق غشای سلولی به سیتوپلاسم برای تجمع درون سلولی می شود. این جذب زیستی فقط برای سلول های زنده معتبر است [۷]. در حالت متابولیسم غیر وابسته، این جذب غیرفعال یون ها (جذب سریع) در سطح میکروبی در یک بازه زمانی کوتاه از طریق برهمکنش فیزیکی-شیمیایی (تبادل یون، کمپلکس، هماهنگی و شلاته کردن) است. اساس جذب وجود گروه های کاربردی در سطح سلولی می باشد [۷]. معیار دوم مکانیسم های جذب زیستی را بر اساس حذف یونی از محلول های آبی آلوده و چسبیدن آنها به مکان های خاصی از زیست توده طبقه بندی می کند، که می تواند خارج سلولی، در سطح سلول، یا داخل سلولی باشد. با توجه به اهمیت و بررسی این مورد در ایجاد سمیت برای موجودات زنده و محیط زیست، دو ترکیب (فلز سنگین سرب و فلز تلوریت) در این مطالعه بررسی شدند. سرب به دلیل تأثیری که بر اقتصاد، صنعت و مهمتر از آن سلامت انسان دارد، یکی از مهمترین فلزات سنگین است که در سراسر جهان در حوزه های مختلف، به ویژه در صنعت استفاده می شود. اثرات اولیه سرب در بدن مربوط به اختلالات عصبی، همتولوژیک، قلبی-عروقی، ایمنی، استخوان، تولید مثل و کلیه است [۸]. همچنین، می تواند

^۱ *Rhizopus arrhizus*

مشاهده واکنش گرم و حضور یا عدم حضور لاکتوز، در محیط مک کانگی آگار رشد داده شد. در کلنی‌های حاصل از باکتری، با استفاده از کیت اکسیداز و کاتالاز، مثبت یا منفی بودن باکتری مورد نظر برای دو آنزیم فوق، ارزیابی شد.

۲-۲ تعیین حداقل غلظت مهاري سرب و تلوریت

در این مرحله برای مشخص شدن میزان تحمل باکتری برای غلظت سرب (Pb(II)) و تلوریت پتاسیم، حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) در حضور نمک فلزات انجام شد. در ابتدا رقت های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰ و ۲۴۰۰ میکروگرم/میلی‌لیتر از نمک تلوریت پتاسیم و سرب در حضور کنترل مثبت (شامل باکتری و محیط کشت) و کنترل منفی (شامل کمترین رقت محلول و محیط کشت) تهیه شد. هر رقت همراه با محیط کشت باکتری و محلول نمک فلز و مقدار مشخصی از باکتری در ۴ خانه از یک پلیت ۹۶ خانه اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد (تکرار ۴ تایی برای هر غلظت). پس از این مدت، اولین رقتی که در آن کدروت باکتری یا عدم رشد آن مشاهده نشود، به عنوان حداقل غلظت بازدارندگی مشخص می‌شود.

۲-۳ بررسی و تعیین میزان جذب زیستی سرب

ابتدا یک میلی‌لیتر از باکتری ($OD_{600}=1$) در ۱۰۰ میلی‌لیتر از محیط کشت مایع تلقیح شد. کشت تهیه شده در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، در انکوباتور شیکردار با ۱۳۰ دور بر دقیقه تا زمانی که باکتری‌ها به فاز رشد نمایی برسند، قرار گرفت. از این باکتری‌ها برای آزمون جذب زیستی استفاده شد. جذب زیستی دو فلز مورد بررسی تحت شرایط مختلف مانند دما، pH، زمان انکوباسیون و غلظت اولیه فلز انجام شد.

برای تعیین جذب زیستی فلزات مورد بررسی، غلظت‌های مختلفی از هر دو فلز با توجه به میزان تحمل باکتری برای رشد و میزان MIC در محیط کشت مایع تهیه شد (تلوریت:

عملکرد کلسیم را مهار کند یا به جای آن با پروتئین‌ها وارد واکنش شود. این فلز در غلظت‌های پایین با تداخل در سیستم ترمیم DNA گاهی به همراه پروتئین کیناز C، به عنوان محرک سنتز DNA، باعث ایجاد موتاسیون می‌شود. بنابراین، ممکن است منجر به بروز سرطان در موجودات زنده شود [۹]. تلوریت به دلیل ویژگی‌های خاص نوری، الکتریکی و کاتالیزوری خود، کاربردهای گسترده‌ای دارد. از جمله این کاربردها در صنعت می‌توان به پالایش نفت، ساخت باتری‌های قابل شارژ، جوشکاری، رنگ‌آمیزی شیشه، ساخت پنل‌های خورشیدی و فناوری نانو اشاره کرد. تلوریت معمولاً با سنگ مس معدنی مرتبط است و به طور عمده از لجن آند در فرایند مس الکترولیتی به دست می‌آید [۱۰]. تلوریت می‌تواند عامل مشکلاتی از جمله تحریک سیستم عصبی، تشنج و ایست قلبی-تنفسی شود. این فلز در محیط چهار حالت پایدار دارد که تلوریت (IV) برای میکروارگانیسم‌های دخیل در تجزیه زیستی، سمی‌ترین حالت می‌باشد [۱۱]. باکتری شینلا زوگلوئید، یکی از باکتری‌هایی است که نقش مهمی در تصفیه فاضلاب دارد. این باکتری گونه‌های مختلفی دارد که هر کدام تعدادی از آلاینده‌های آلی را تجزیه می‌کنند و همچنین یک جاذب زیستی مفید برای حذف فلزات سنگین است. با توجه به این ویژگی باکتری شینلا زوگلوئید، در مطالعه حاضر، گونه DSM287 باکتری انتخاب و عملکرد آن در جذب زیستی سرب و تلوریت همراه با تشکیل نانوذرات بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ سویه باکتری و شرایط کشت

گونه شینلا زوگلوئید DSM287 از مرکز ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران با کد دسترسی IBRC-M 10805 تهیه شد. این باکتری در محیط غنی شده لوریا برتونی کشت داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۶ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد. باکتری کشت شده، برای تایید ویژگی‌های مختلف تحت آزمون‌های بیوشیمیایی مختلف قرار گرفت. برای

۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میکروگرم/ میلی لیتر، سرب: ۱۰۰، ۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۲۰۰ میکروگرم/ میلی لیتر). سپس، میزان ۰/۵ میلی لیتر از سوسپانسیون باکتری با غلظت نیم مک فارلند (1.08×10^8) به هر کدام اضافه و به انکوباتور شیکردار با دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و ۱۳۰ دور بر دقیقه به مدت ۴۸ ساعت انتقال داده شد. بعد از این زمان، سوسپانسیون سلولی در سانتریفیوژ با ۴۰۰۰ دور بر دقیقه دور به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شد و محیط رویی برای مشخص کردن میزان فلز جذب شده توسط باکتری جداسازی شد. برای بررسی سنجش تاثیر دما در میزان جذب زیستی فلزات، باکتری در غلظت بهینه از فلز مورد نظر و دماهای ۲۵، ۲۸، ۳۰، ۳۲ و ۳۷ درجه سانتی گراد کشت داده شد. برای بررسی جذب زیستی فلزات در pHهای مختلف، ابتدا محیط های کشت مختلف با pHهای ۵ تا ۹ تهیه شد و به منظور اطمینان از رشد باکتری بدون اضافه شدن فلز، جذب زیستی بررسی شد. باکتری امکان رشد در pHهای ۶ الی ۸ را دارا بود. بنابراین، محیط کشت های با pHهای برابر با ۶، ۶/۸، ۷، ۷/۲، ۷/۴، ۷/۸ و ۸ در شرایط استریل تهیه و به تمامی لوله های آزمایش میزانی از فلز که در آن بیشترین جذب زیستی مشاهده شد، اضافه شد و در دمای مناسب با بیشترین جذب زیستی کشت داده شد. علاوه بر این، برای مشخص شدن زمان تماس باکتری با فلز، تیمار در مدت زمان ۰ تا ۷۲ ساعت نیز سنجیده شد.

سنجش میزان سرب در ابتدای تیمار و در انتهای آزمون توسط روش طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) با دستگاه ICP انجام شد. همچنین، برای سنجش میزان تلوریت از روش رنگ سنجی با اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۰۰ نانومتر با سدیم بور هیدرات استفاده شد.

۲-۴ بررسی تشکیل نانوذرات و تایید آنها

در این مطالعه، برای بررسی توانایی زیستی باکتری در جذب و احیای یون های فلزی تلوریت (TeO_3^{2-}) و سرب (Pb^{2+})، ابتدا باکتری مورد نظر در محیط کشت مایع حاوی غلظت مشخصی از نمک های فلزی (سدیم تلوریت و نیترات سرب) کشت داده شد. تغییر رنگ محیط کشت، به عنوان شاخصی از احیای زیستی فلزات و احتمال تشکیل نانوذرات فلزی درون سلولی یا خارج سلولی، بررسی شد. پس از طی زمان انکوباسیون مناسب (۲۴ تا ۴۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد با سرعت شیکر ۱۲۰ دور در دقیقه)، محیط کشت حاوی باکتری و فلزات سانتریفیوژ شد (۶۰۰۰ دور بر دقیقه، به مدت ۱۰ دقیقه) و مایع رویی حذف شد. توده سلولی باکتری با ۵ میلی لیتر آب مقطر استریل بازسوسپانسیون شد و برای تخریب دیواره سلولی و آزادسازی نانوذرات احتمالی، سوسپانسیون با استفاده از دستگاه سونیکاتور^۱ به مدت ۲۰ دقیقه و با توان متوسط (۲۰ کیلوهرتز) تیمار شد. به محلول حاصل، SDS (سدیم دودسیل سولفات ۱ درصد) افزوده شد تا با شکستن کامل غشای سلولی، آزادسازی نانوذرات به حداکثر برسد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه، نمونه مجدداً سانتریفیوژ شد (۱۰۰۰۰ دور بر دقیقه، به مدت ۱۵ دقیقه). رسوب به دست آمده شامل نانوذرات، سه بار با آب مقطر استریل شست و شو داده شد و در نهایت در یک میلی لیتر آب مقطر بازتعقیق شد. نانوذرات استخراج شده برای آنالیزهای فیزیکوشیمیایی و ساختاری آماده شدند و با استفاده از روش های مختلف مانند DLS، ZETA، XRD، FTIR، TEM بررسی شدند.

۲-۴-۱ پراکندگی دینامیکی نور (DLS)

برای تعیین اندازه ذرات و توزیع اندازه آنها در محلول، از دستگاه DLS (مانند Malvern Zetasizer Nano ZS) استفاده شد. نمونه ها قبل از آزمون با فیلتراسیون (سرنگ فیلتر ۰/۲۲ میکرون) آماده شدند و اندازه گیری در دمای اتاق و با سه تکرار انجام شد.

^۱ ultrasonic probe

۲-۴-۲ پتانسیل زتا (Zeta Potential)

برای بررسی بار سطحی و پایداری کلوئیدی نانوذرات در محلول آبی، آزمون زتا پتانسیل با استفاده از همان دستگاه DLS در حالت الکتروفورز انجام شد. نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شدند.

۲-۴-۳ پراش پرتو ایکس (XRD)

برای بررسی ساختار بلوری و فازهای معدنی نانوذرات، از دستگاه XRD (مانند Philips PW1730 یا PANalytical X'Pert PRO) با اشعه $\text{Cu-K}\alpha$ ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) در دامنه زاویه 2θ بین ۱۰ تا ۸۰ درجه استفاده شد. نمونه‌ها به صورت خشک و پودر شده روی لامل آلومینیومی قرار داده شدند.

۲-۴-۴ طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)

برای شناسایی گروه‌های عاملی سطح نانوذرات و ارزیابی برهم‌کنش‌های زیستی، از دستگاه FTIR (مانند Thermo Nicolet Nexus) در بازه طیفی 4000 تا 400 cm^{-1} استفاده شد. نمونه‌ها به روش KBr pellet تهیه و تحلیل شدند.

۲-۴-۵ میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)

برای مشاهده شکل، اندازه و مورفولوژی نانوذرات، از TEM (مانند JEOL JEM-2100) استفاده شد. نمونه‌ها ابتدا روی گریدهای مسی (copper grid) قرار گرفته و پس از خشک شدن در خلأ، تصویربرداری انجام شد.

۲-۵ بررسی سمیت سلولی نانوذرات

برای بررسی اثر سمیت سلولی نانوذرات زیستی استخراج‌شده، از سلول‌های فیبروبلاست پوست انسانی (HDF؛ Human Dermal Fibroblasts) به عنوان مدل سلولی استفاده شد. سلول‌ها در محیط کشت DMEM حاوی ۱۰ درصد سرم گاوی (FBS) و ۱ درصد پنی‌سیلین-استرپتومایسین، در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و اتمسفر مرطوب با ۵ درصد CO_2 نگهداری شدند.

برای انجام آزمایش سمیت، تعداد ۸۰۰۰ سلول در هر چاهک از پلیت ۹۶ خانه‌ای کشت داده شد. پس از ۲۴

ساعت انکوباسیون، سلول‌ها با نانوذرات استخراج‌شده در غلظت‌های مختلف (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر) تیمار شدند. ارزیابی زنده‌مانی سلولی با استفاده از آزمون رنگ‌سنجی MTT^۱ انجام شد. در دو بازه زمانی ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تیمار با نانوذرات، مقدار ۲۰ میکرولیتر محلول MTT (با غلظت ۵ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر در PBS) به هر چاهک افزوده شد و پلیت‌ها به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و در تاریکی انکوبه شدند تا رنگ فورمازان تشکیل شود. پس از آن، محیط کشت به آرامی خارج شد و به هر چاهک، ۱۰۰ میکرولیتر از محلول دی‌متیل‌سولفوکساید (DMSO) افزوده شد تا کریستال‌های فورمازان حل شوند. جذب نوری محلول حاصل با استفاده از دستگاه میکروپلیت‌ریدر در طول موج ۴۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. درصد زنده‌مانی سلول‌ها با مقایسه جذب نوری هر تیمار نسبت به نمونه کنترل (سلول‌های بدون تیمار با نانوذرات) محاسبه شد. تمام آزمایش‌ها در سه تکرار مستقل انجام شد و نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شدند.

۳-نتایج**۳-۱-۳ نتایج کشت باکتری و میزان حداقل غلظت مهاري**

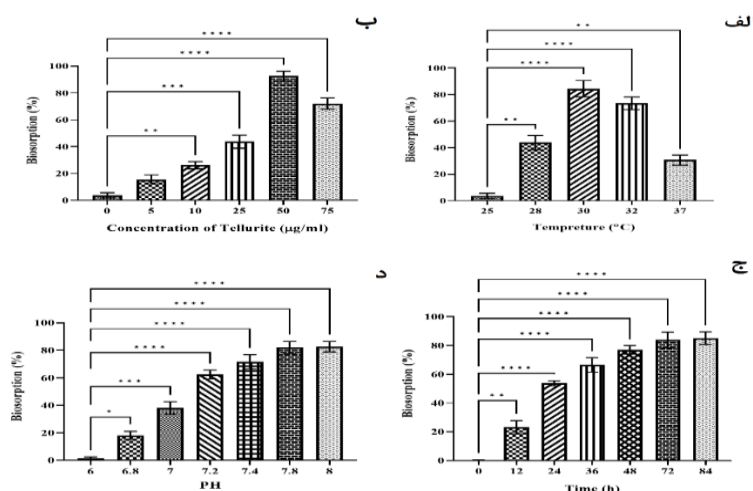
نتایج حاصل از بررسی آزمون‌های بیوشیمیایی بر روی باکتری شینلا زوگلوئید DSM287 نشان داد که باکتری فوق، گرم منفی است و به دلیل عدم مشاهده رنگ ارغوانی در مک کانگی آگار، نوع لاکتوز منفی را تایید می‌کند. همچنین، نتایج بررسی تست اکسیداز و کاتالاز برای کلونی‌های باکتری نشان دهنده منفی بودن هر دو تست بود. نتایج حاصل از تعیین حداقل غلظت مهارکنندگی تلوریت نشان داد کمترین غلظتی از تلوریت که مانع رشد باکتری می‌شود، معادل با غلظت ۱۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر است. برای فلز سنگین سرب غلظت ۲۴۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر به عنوان حداقل غلظت مهاري محاسبه شد.

^۱ 3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5 diphenyl tetrazolium bromide

۲-۳ نتایج میزان جذب زیستی تلوریت و سرب

بررسی نتایج حاصل از اثر دما بر روی میزان جذب تلوریت نشان داد که در دماهای ۳۰ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد، جذب زیستی تلوریت به میزان قابل‌توجهی افزایش داشته به صورتی که در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد این میزان به حدود ۹۰ درصد رسیده است (شکل ۱ الف). اثر غلظت اولیه فلز بر روی میزان جذب زیستی تلوریت نشان داد که با افزایش غلظت تلوریت تا ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر، جذب زیستی توسط باکتری افزایش معناداری نشان می‌دهد ($p < 0.001$) (شکل ۱ ب). اما با افزایش غلظت بیشتر از ۵۰ میکروگرم کاهش در میزان جذب زیستی ایجاد شد. بنابراین، برای سایر آزمون‌های مربوط به محاسبه جذب زیستی از غلظت ۵۰ میکروگرم/میلی‌لیتر از تلوریت استفاده

شد. نتایج حاصل از بررسی میزان جذب زیستی تلوریت در طول زمان نشان داد که درصد جذب زیستی با افزایش زمان تماس (تا ۷۲ ساعت) تقریباً تا ۹۰ درصد افزایش داشته و پس از آن تا ثابت می‌شود ($P < 0.001$) (شکل ۱ ج). نتایج حاصل از بررسی اثر PH محیط در میزان جذب زیستی تلوریت نشان داد که بازده جذب زیستی به‌طور معناداری تحت تاثیر PH محلول بوده و افزایش PH به سمت شرایط قلیایی سبب افزایش بازده در میزان جذب زیستی تلوریت تا ۸۰ درصد می‌شود ($p < 0.001$) (شکل ۱ د). با این وجود جذب زیستی تا حدود ۶۰ الی ۷۰ در PH های محدوده خنثی نیز رخ داد. شرایط با PH اسیدی سبب عدم جذب زیستی تلوریت به‌صورت بهینه شده که می‌تواند به‌دلیل عدم رشد مناسب باکتری در این شرایط و احتمال کاهش توده زیستی در کشت باشد.



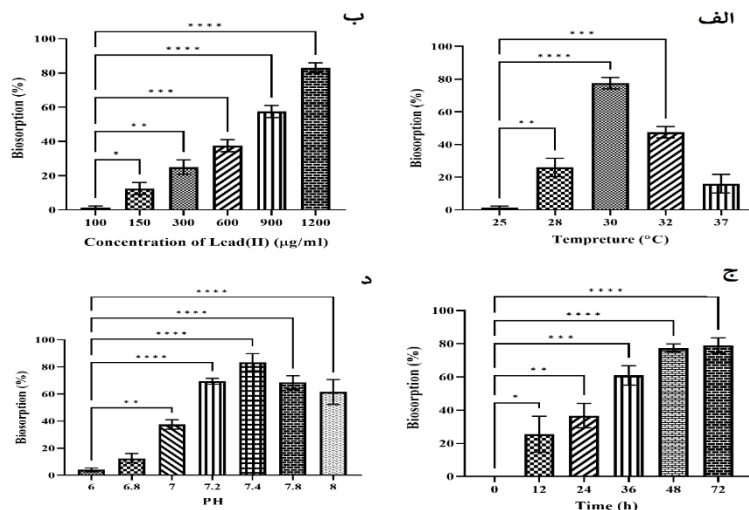
شکل ۱ اثر فاکتورهای (الف) دما، (ب) غلظت، (ج) زمان تماس با فلز تلوریت، و (د) pH، بر میزان جذب تلوریت توسط باکتری. الف) جذب زیستی تلوریت در دماهای ۳۰ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد به‌طور معناداری افزایش یافته و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به حدود ۹۰ درصد رسید. ب) جذب زیستی تلوریت تا غلظت ۵۰ میکروگرم/میلی‌لیتر به‌طور معناداری افزایش یافت ($p < 0.001$). با این حال، با افزایش غلظت بیشتر از ۵۰ میکروگرم/میلی‌لیتر کاهش در جذب زیستی مشاهده شد. ج) جذب زیستی تلوریت با افزایش زمان تماس به‌طور مداوم افزایش یافت و تا ۷۲ ساعت به تقریباً ۹۰ درصد رسید، پس از آن نرخ جذب ثابت شد. د) جذب زیستی تلوریت به‌طور معناداری تحت تأثیر pH محلول قرار گرفته و بیشترین جذب زیستی (تا ۸۰ درصد) در شرایط قلیایی مشاهده شد، در pH خنثی، جذب زیستی بین ۶۰ تا ۷۰ درصد بود. میزان معناداری با علامت ستاره مشخص شد: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, **** $p < 0.0001$.

در بررسی اثر فاکتورهای مختلف بر میزان جذب زیستی سرب، نتایج حاصل از بررسی نقش دما در جذب زیستی سرب در محدوده دمایی ۲۵ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد نشان داد که دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد، سبب افزایش جذب زیستی سرب (حدود ۸۰ درصد) توسط باکتری می‌شود. کاهش جذب زیستی سرب با افزایش دما نشان‌دهنده برهمکنش جذب ضعیف بین سطح زیست توده و یون فلز بود که نشان از این بود که جذب سرب توسط زیست توده، وابسته به دما بود (شکل ۲ الف). در بررسی میزان غلظت اولیه سرب بر درصد جذب زیستی توسط باکتری نشان داد که افزایش غلظت سبب افزایش جذب توسط باکتری می‌شود و بیشترین مقدار این جذب (۸۵ درصد) در غلظت ۱۲۰۰ میکروگرم به‌صورت معناداری ($P < 0.001$) مشاهده شد (شکل ۲ ب). مطابق با نتایج به‌دست آمده از اثر مدت زمان تماس با فلز، جذب زیستی با افزایش زمان تماس تا

۴۸ ساعت به صورت معناداری افزایش نشان داده و بعد از آن به یک حالت ثبات رسیده است، بنابراین فاکتور مدت زمان نیز می‌تواند در جذب زیستی سرب موثر باشد (شکل ۲ ج). نتایج حاصل از بررسی با مشخص شدن محدوده pH برای رشد باکتری (۶ تا ۸)، بررسی میزان جذب زیستی نشان داد که محدوده خنثی (۷/۲ الی ۷/۸) بیشترین میزان جذب زیستی را ایجاد می‌کند. در حالی که میزان جذب در محدوده اسیدی بسیار پایین و در محدوده قلیایی هم کمتر از میزان خنثی محاسبه شد (شکل ۲ د).

۳-۳ نتایج تشکیل نانوذرات و مشخص کردن خصوصیات فیزیکی شیمیایی آنها

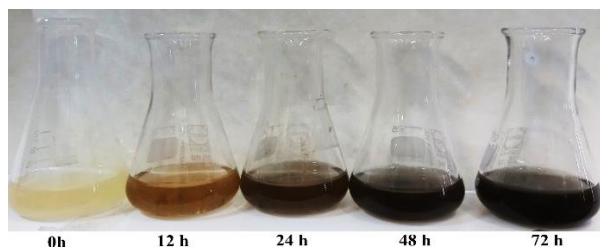
برای مشخص شدن احتمال سنتز نانوذرات، تغییرات رنگ در محیط کشت باکتری در طول زمان‌های مختلف بررسی شد.



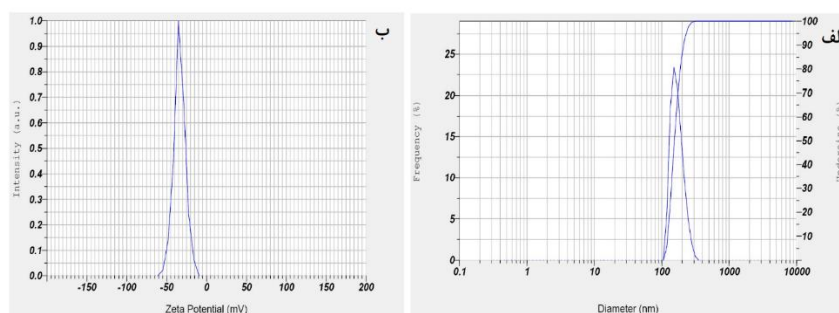
شکل ۲ اثر فاکتورهای (الف) دما، (ب) غلظت، (ج) زمان تماس با فلز سرب، و (د) pH، بر میزان جذب سرب توسط باکتری. (الف) تأثیر دما (۲۵ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد) بر جذب زیستی سرب، که نشان‌دهنده بیشینه جذب در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد است؛ (ب) تأثیر غلظت اولیه یون سرب (تا ۱۲۰۰ میکروگرم بر لیتر) بر درصد جذب، با بیشینه جذب در غلظت ۱۲۰۰ میکروگرم به‌صورت معنادار نشان داده شده است؛ (ج) تأثیر مدت زمان تماس (تا ۷۲ ساعت) بر درصد جذب زیستی، با بیشینه جذب در ۴۸ ساعت؛ (د) تأثیر pH محیط (۶ تا ۸) بر جذب زیستی، با بیشترین جذب در محدوده خنثی (۷/۲ تا ۷/۸). میزان معناداری با علامت ستاره مشخص شد: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, **** $p < 0.0001$.

نشان داد که بار سطحی مربوط به نانوذرات برابر با -34 و نشان دهنده پایداری بالای آنها بود (شکل ۴ ب). آزمون FTIR برای تجزیه و تحلیل گروه‌های عاملی مهم در سطح نانوذرات انجام شد. باتوجه نتایج این آزمون در شکل ۵ الف پیک‌های اصلی ایجاد شده شامل، 3400 cm^{-1} گروه هیدروکسیل، 2936 cm^{-1} گروه هیدروکربن، 1655 cm^{-1} گروه آلکیل، 1047 cm^{-1} شاخه آمینی در پیوند CN هستند. علاوه بر این، آزمون طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس نانوذرات تلوریت نشان داد که ساختار شش وجهی برای این نانوذرات حفظ شده است و کریستال‌های تلوریت دارای پیک‌هایی در محدوده 0.2θ شامل، $38/2$ ، $32/27$ ، $1/5$ و $45/3$ بودند (شکل ۵ ب). هرچه پیک تیزتر و ارتفاع آن بلندتر بود، نشانه تقارن بیشتر ترکیب، و هرچه پیک‌ها پهن‌تر و ارتفاع آنها کمتر، نشانه تقارن کمتر آن خواهد بود. به همین دلیل وجود چنین پیک‌هایی نشان دهنده منظم بودن ساختار نانوذرات است.

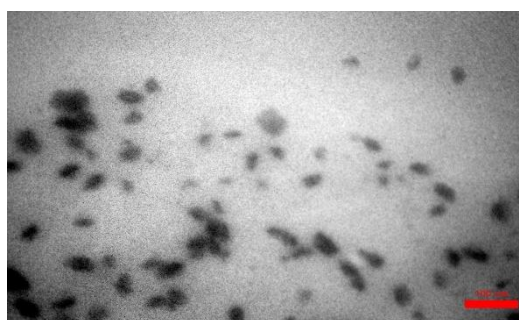
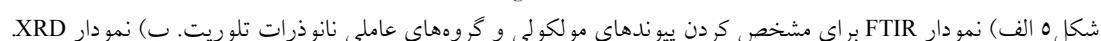
با توجه به مشاهدات به‌دست آمده، تغییر رنگ تنها در کشت تیمار شده با تلوریت مشاهده شد. این تغییر رنگ در مدت زمان ۱۲ تا ۷۲ ساعت بعد از تیمار با تلوریت پتاسیم در کشت باکتری مشاهده شد و رنگ محیط از بی‌رنگ به قهوه ای و سیاه تغییر پیدا کرد (شکل ۳). بنابراین، با مشاهده تغییر رنگ به تیره، این احتمال تشکیل نانوذرات تلوریت افزایش یافت و آزمون‌های تاییدی شامل بررسی سایز، ویژگی‌های ظاهری و بار نانوذرات برای آنها انجام شد. برای تعیین اندازه تقریبی نانوذرات تلوریت از آنالیز DLS استفاده شد. آنالیز شعاع هیدرودینامیکی نانوذرات نشان داد که اندازه نانوذرات در محدوده ۱۰۰ تا ۱۵۰ نانومتر بود (شکل ۴ الف). همچنین، شاخص PDI یا شاخص چند پراکندگی محاسبه شده در این آنالیز برابر با 0.3 بود، این شاخص نشان دهنده توزیع اندازه نانوذرات بود که هر چه کمتر و به سمت عدد صفر نزدیک شود فراوانی نانوذرات در یک محدوده بیشتر خواهد بود. نتایج حاصل از ارزیابی پتانسیل ZETA برای تعیین میزان بار الکتریکی نانوذرات



شکل ۳ تغییر رنگ محیط کشت باکتری شینلا زوگلوئید DSM287 در تیمار با تلوریت در زمان‌های مختلف.



شکل ۴ نتایج مربوط به اندازه نانوذرات (الف) و بار سطحی آنها (ب).



شکل ۶ تصویر میکروسکوپ الکترونی TEM از نانوذرات تلوریت

میکروگرم بر میلی‌لیتر حدود ۸۰ درصد بوده و با افزایش غلظت تا ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر میزان زنده‌مانی برای سلول به حدود ۶۰ درصد رسید. پس مقادیر پایین از نانوذرات تلوریت تولید شده برای سلول‌ها مضر نبوده و منجر به آسیب جدی در سلول‌ها نمی‌شود (شکل ۷).

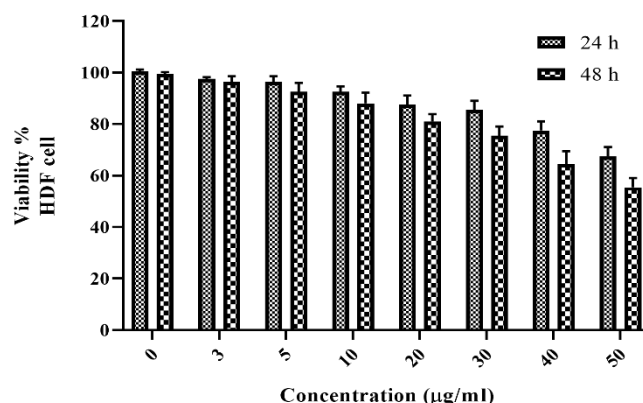
٤- بحث

در مطالعه حاضر، جذب زیستی فلزات سرب و تلوریت توسط باکتری شینلا زوگلوئید DSM287 همراه با تولید نانوذرات توسط باکتری فوق، بررسی شد.

نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که نانو ذرات تلوریت به شکل کروی نامنظم بوده و پراکندگی مناسبی در محلول داشتند. مرز بین این نانوذرات مشخص بود و اندازه آنها بین ۵۰ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر است (شکل ۶).

۳-۴ نتایج بررسی سمیت نانوذرات سنتز شده

علاوه بر این، بررسی غلظت‌های مختلف نانوذرات تلوریت ایجاد شده در تیمار سلول سالم فیبروبلاست پوستی نشان داد که زنده‌مانی سلول‌ها در غلظت‌های پایین‌تر از ۳۰



شکل ۷ نمودار زنده‌مانی سلول‌های فیروبلست پوستی انسان در تیمار با نانوذرات تلوریت

تلوریت (IV) دارند. علاوه براین، نانولوله‌های بیوژنی تلوریوم قادر به جذب سرب، مس، رنگ‌های متیلن بلو، مالاشیت گرین و آزور B هستند که در نتیجه تعامل الکترواستاتیک انجام شده است [۱۴]. در مطالعه حاضر ابتدا اثر غلظت اولیه فلزات بر میزان جذب زیستی یون‌های فلزی ارزیابی شد. نتایج حاصل از مطالعه حاضر در بررسی اثر غلظت نشان داد که با افزایش غلظت یون‌های فلزی سرب و تلوریت، سرعت جذب توسط زیست توده افزایش یافته، به گونه‌ای که غلظت بهینه برای سرب، غلظت ۱۲۰۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر و برای تلوریت غلظت ۵۰ میکروگرم بر میلی‌لیتر در تیمار باکتری، ارزیابی شد. از آنجا که با افزایش غلظت، ظرفیت جذب بیولوژیکی افزایش می‌یابد و این افزایش سطح غلظت، تا جایی است که هیچ تغییر قابل توجهی در جذب فلز مشاهده نمی‌شود، بنابراین در این حالت، سطح جاذب زیستی نسبتاً اشباع شده و فاقد مکان‌های آزاد برای جذب یون‌های فلزی است. احتمالاً با افزایش غلظت، احتمال برخورد بین سطح جاذب و فلز بیشتر می‌شود [۱۵].

یکی دیگر از پارامترهای محیطی مورد بررسی دما است که به‌طور قابل توجهی بر جذب فلزات سنگین تاثیر می‌گذارد.

مطالعات ژانگ و همکاران با هدف بررسی تجزیه زیستی و جذب سرب، توسط گونه باکتریایی شینلا زوگلوئید PQ7 در شرایط آبی، نشان داد که، گونه PQ7 می‌تواند، در شرایط مختلف تغییرات pH، میزان دوز اولیه و زمان تماس، فلز سرب را تا حداکثر تا ۲۲۲/۲۲ میلی‌گرم جذب کند. این عدد در مقایسه با سایر باکتری‌های گزارش شده بیشترین پتانسیل برای تصفیه بیولوژیکی فلزات سنگین را نشان می‌دهد [۱۲]. در پژوهشی دیگر با هدف حذف یون‌های سرب از محلول‌های آبی توسط سویه جلبک سبز کلادوفورا ریولاریس^۱ گزارش شد که جذب بیولوژیکی سرب توسط گونه جلبک فوق، به دلیل اتصال سرب به گروه هیدروکسیل آمین بوده و با افزایش غلظت اولیه سرب و همچنین دما، جذب زیستی افزایش داشته است [۱۳]. همچنین، در مطالعه ای دیگر گزارش شده است که گونه باکتریایی شینلا زوگلوئید WSJ-2 قادر است در شرایط هوای نانومولکول‌های تلوریوم (IV) را سنتز و پتانسیل زیادی در تصفیه زیستی آلودگی سمی ناشی از تلوریوم داشته باشد [۱۱]. طی پژوهشی دیگر سویه باکتریایی شینلا زوگلوئید WSJ-2 در شرایط هوای قادر به تبدیل تلوریت (IV) به نانو ساختارهای تلوریوم است که سمیت کمتری نسبت به

^۱ *Cladophora rivularis*

در مطالعه حاضر نتایج حاصل از بررسی اثر دما نشان داد که با افزایش دما (از ۲۵ به ۳۰ درجه سانتی‌گراد) میزان جذب یون سرب و تلوریت افزایش یافت و پس از آن (تا دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد) روندی کاهشی نشان داد. احتمالاً روند کاهشی که در میزان جذب تلوریت و سرب دیده شد به برهمکنش ضعیف بین زیست توده و یون فلز مربوط می‌شود. با توجه به اینکه دما با تغییر پایداری گونه های یون فلزی، تغییر پیکربندی دیواره سلولی میکروارگانیسم و تغییر یونیزه شدن قطعات شیمیایی روی دیواره سلولی، همراه است، توانسته است بر جذب زیستی یون‌های فلزات، تاثیر گذار باشد. از آنجا که این عوامل ممکن است به‌طور همزمان یا جداگانه بر روی محل‌های اتصال موجود در زیست توده تاثیر بگذارند. بنابراین، دما نقش عمده‌ای در جذب فلزات سنگین داشته است [۱۷ و ۱۶].

از آنجا که pH خواص سطحی جاذب‌ها، گروه‌های عاملی و حالت یونی گونه‌های فلزی را کنترل می‌کند، بنابراین در مطالعه حاضر اثر pH بر روی دو فلز سنگین سرب و تلوریت نیز بررسی شد. نتایج حاصل از بررسی اثر pH در محدوده ۸-۶ در یون سرب نشان داد که جذب زیستی در محدوده pH خنثی نسبت به pHهای اسیدی و بازی بیشتر است. همچنین، نتایج حاصل از بررسی اثر pH در یون تلوریت نشان داد که با افزایش pH، سرعت جذب، افزایش یافته و پس از آن در pH برابر با ۸ ثابت شد. بنابراین، در ارتباط با سرب و تلوریت، pH اسیدی باعث عدم جذب بهینه می‌شود. با افزایش pH، میزان جذب زیستی یون‌های فلزی، افزایش قابل توجهی نشان دادند. به‌نظر می‌رسد این رفتار، با رقابت بین پروتون و یون‌های فلزی برای محل اتصال روی سطح جاذب زیستی، قابل توضیح است. در pH کم، با احاطه شدن سطح جاذب زیستی توسط یون‌های H^+ ، برهمکنش یون‌های فلزی را با محل‌های اتصال سطحی کاهش می‌دهد و با افزایش pH، غلظت پروتون کاهش پیدا

می‌کند و جذب یون‌های فلزی توسط مکان‌های اتصال روی سطح جاذب زیستی، به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. احتمالاً افزایش pH باعث دناتوره شدن در مکان‌های اتصال فلز شده و با افزایش بار منفی در سطح سلول، توانسته است باعث افزایش ظرفیت جذب یون‌های فلزی توسط میکروارگانیسم شود. بنابراین، انتخاب pHهای بالاتر، منجر به رسوب فلزات شده و با تجزیه و تحلیل تداخل پیدا می‌کنند [۲۰-۱۸]. یکی دیگر از پارامترهای کلیدی برای استفاده موفق از جاذب زیستی، اثر مدت تماس است. نتایج مطالعه حاضر، نشان داد که با افزایش زمان تماس، سرعت جذب یون‌های سرب و تلوریت افزایش یافت. به‌طور کلی جذب زیستی یون‌های فلزی شامل دو مرحله است. مرحله اول، ضربه سریع اولیه، که در آن سرعت جذب زیستی بالا است مرحله دوم کندتر است و در آن، فرایند جذب به حالت تعادل می‌رسد [۱۲].

در بخش دیگری از مطالعه حاضر، برای بررسی احتمال تشکیل نانوذرات، نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های مربوط به محیط کشت باکتری در حضور فلزات سنگین سرب و تلوریت، بررسی شد. این نتایج نشان از مشاهده تغییر رنگ، تنها در محیط‌های کشت حاوی تلوریت، بود. کاهش میکروبی تلوریت ($Te(IV)$) به نانو ساختارهای کمتر سمی تلوریوم، یک راه بالقوه برای پاکسازی زیست محیطی تلوریت فراهم می‌کند و ممکن است منبع اصلی برای بازیابی بیشتر تلوریوم باشد [۱۱ و ۲۲]. علاوه بر این، اثر سمیت نانوذرات روی رده سلولی سالم HDF بررسی شد و نتایج حاصل از آن نشان داد که در غلظت‌های پایین، میزان زنده‌مانی سلول‌ها حدود ۸۵ درصد بود. اما با افزایش غلظت کمی از میزان زنده‌مانی سلولی کاسته شد. بنابراین، مقادیر پایین، غیر مضر بوده و احتمالاً آسیب جزئی در سلول‌ها ایجاد می‌کند.

۵- نتیجه‌گیری

ecological systems, environmental pollution, cultivation, and production processes in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;219:112336.

[4] Md Yusop AH, Ulum MF, Al Sakkaf A, Hartanto D, Nur H. Insight into the bioabsorption of Fe-based materials and their current developments in bone applications. *Biotechnology Journal*. 2021;16(12):2100255.

[5] Hiew BYZ, Lee LY, Lee XJ, Thangalazhy-Gopakumar S, Gan S. Utilisation of environmentally friendly okara-based biosorbent for cadmium (II) removal. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28 (30):40608-22.

[6] Wang J, Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology advances*. 2009;27(2):195-226.

[7] Singh S, Kumar V, Datta S, Dhanjal DS, Sharma K, Samuel J, et al. Current advancement and future prospect of biosorbents for bioremediation. *Science of the Total Environment*. 2020;709:135895.

[8] de Souza ID, de Andrade AS, Dalmolin RJS. Lead-interacting proteins and their implication in lead poisoning. *Critical reviews in toxicology*. 2018; 48(5):375-86.

[9] Kopp B, Zalko D, Audebert M. Genotoxicity of 11 heavy metals detected as food contaminants in two human cell lines. *Environmental and molecular mutagenesis*. 2018; 59(3):202-10.

[10] Ramos-Ruiz A, Sesma-Martin J, Sierra-Alvarez R, Field JA. Continuous reduction of tellurite to recoverable tellurium nanoparticles using an upflow anaerobic sludge bed (UASB) reactor. *Water research*. 2017;108:189-96.

[11] Wu S, Li T, Xia X, Zhou Z, Zheng S, Wang G. Reduction of tellurite in *Shinella* sp. WSJ-2 and adsorption removal of multiple dyes and metals by biogenic tellurium nanorods. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2019;144:104751.

[12] Zhang W, Huang Y. The Synthesis of PbS NPs and Biosorption of Pb(II) by *Shinella Zoogloeoides* PQ7 in Aqueous Conditions. *Water*. 2020;12(7):2065.

[13] Jafari N, Senobari Z. Removal of Pb (II) ions from aqueous solutions by *Cladophora rivularis* (Linnaeus) Hoek. *The scientific world journal*. 2012;2012.

در مطالعه حاضر، باکتری *شینلا زوگلوئید DSM287* به جذب فلزات سرب و تلوریت بوده است و این فلزات را در شرایط مختلف محیطی با درصدهای مختلف جذب کرد. بر اساس نتایج به دست آمده، شرایط بهینه برای جذب زیستی تلوریت شامل دمای ۳۰ تا ۳۲ درجه سانتی گراد، غلظت اولیه ۵۰ میکروگرم بر میلی لیتر، زمان تماس تا ۷۲ ساعت و pH قلیایی (بالتر از ۷) می باشد که تحت این شرایط، جذب تلوریت تا حدود ۹۰ درصد افزایش یافت. در مقابل، جذب زیستی سرب در دمای بهینه ۳۰ درجه سانتی گراد، غلظت اولیه ۱۲۰۰ میکروگرم بر میلی لیتر، زمان تماس تا ۴۸ ساعت و در محدوده pH خنثی (۷٫۲ تا ۷٫۸) به حداکثر مقدار خود (حدود ۸۵ درصد) رسید. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که جذب زیستی هر دو فلز به شرایط محیطی وابسته بوده و تنظیم دقیق پارامترهایی مانند دما، غلظت اولیه، زمان تماس و pH نقش تعیین کننده ای در افزایش کارایی حذف زیستی آنها دارد. علاوه بر این قادر به تبدیل نمک تلوریت به نانوساختارهای تلوریم بوده است که نانوذراتی در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ نانومتر را ایجاد کرد. بنابراین، به طور خلاصه می توان گفت باکتری مورد مطالعه دارای پتانسیل بسیار خوبی در جذب فلزات سرب و تلوریت داشته و می تواند امیدی برای حذف این آلودگی های فلزی از آب و یا خاک های آلوده باشد.

۶-منابع

[1] Rahman Z, Singh VP. The relative impact of toxic heavy metals (THMs)(arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environmental monitoring and assessment*. 2019;191(7):1-21.

[2] Sall ML, Diaw AKD, Gningue-Sall D, Efremova Aaron S, Aaron J-J. Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;27:29927-42.

[3] Chen Y-G, Huang J-H, Luo R, Ge H-Z, Wołowicz A, Wawrzekiewicz M, et al. Impacts of heavy metals and medicinal crops on

- [19] Zeng F, Ali S, Zhang H, Ouyang Y, Qiu B, Wu F, et al. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental pollution*. 2011;159(1):84-91.
- [20] Huang J, Yuan F, Zeng G, Li X, Gu Y, Shi L, et al. Influence of pH on heavy metal speciation and removal from wastewater using micellar-enhanced ultrafiltration. *Chemosphere*. 2017;173:199-206.
- [21] Ibrahim WM. Biosorption of heavy metal ions from aqueous solution by red macroalgae. *Journal of Hazardous Materials*. 2011; 192 (3):1827-35.
- [22] Yadav VK, Fulekar M. Biogenic synthesis of maghemite nanoparticles (γ -Fe₂O₃) using Tridax leaf extract and its application for removal of fly ash heavy metals (Pb, Cd). *Materials Today: Proceedings*. 2018; 5 (9) :20704-10.
- [14] Iravani S, Varma RS. Bacteria in heavy metal remediation and nanoparticle biosynthesis. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2020;8(14):5395-409.
- [15] Wadhawan S, Jain A, Nayyar J, Mehta SK. Role of nanomaterials as adsorbents in heavy metal ion removal from waste water: A review. *Journal of Water Process Engineering*. 2020; 33:101038.
- [16] Chen T, Zhang Y, Wang H, Lu W, Zhou Z, Zhang Y, et al. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. *Bioresource technology*. 2014;164:47-54.
- [17] Arora R. Adsorption of heavy metals—a review. *Materials Today: Proceedings*. 2019; 18: 4745-50.
- [18] Chen X, Wright JV, Conca JL, Peurrung LM. Effects of pH on heavy metal sorption on mineral apatite. *Environmental Science & Technology*. 1997;31(3):624-31.

Investigation of the Possibility of Biosorption Along with the Production of Lead and Tellurium Nanoparticles by the Bacterium *Shinella zoogloeoides* DSM287

Behdad Taheri¹, Fatemeh Taji², Somayeh Reisi³, Mohsen Mobini³, Farhad Banimehdi¹

1. MSc, Faculty of Science, Shahrekord University, Shahrekord- Iran
2. Ph.D, Department of Genetics, Faculty of science, Shahrekord University, Shahrekord- Iran
3. Associated professor, Department of Genetics, Faculty of science, Shahrekord University, Shahrekord- Iran

s.reisi@sku.ac.ir

Receipt: 2024/08/13

Accepted: 2025/08/02

Abstract

Non-biodegradable metals exhibit toxicity to living organisms at high concentrations due to their bioaccumulative nature. They enter aquatic systems through various pathways, including industrial activities, often in an uncontrolled manner. Given the role of bacteria as effective biosorbents, they can be employed for the removal of heavy metals from industrial wastewater. The aim of this study was to investigate the biosorption of lead and tellurite by *Shinella zoogloeoides* DSM287 and assess its potential for nanoparticle biosynthesis. In this study, the biosorption of lead and tellurite was evaluated under various conditions, including different pH levels, temperatures, initial metal concentrations, and incubation times. Subsequently, the potential formation of nanoparticles during the biosorption process was investigated, and the presence of nanoparticles was confirmed using various analytical techniques. According to the results, *Shinella zoogloeoides* DSM287 exhibited resistance to lead and tellurite, with minimum inhibitory concentrations (MICs) of 2400 µg/mL and 100 µg/mL, respectively. Furthermore, the bacterium acted as an efficient biosorbent for lead and tellurite ions under alkaline conditions, at temperatures between 28–32 °C, and across different incubation periods. Additionally, the bacterium was able to convert tellurite ions into tellurium nanoparticles during the biosorption process. Dynamic Light Scattering (DLS) and zeta potential analyses revealed that the biosynthesized nanoparticles had an average size of approximately 150 nm and a surface charge of –34 mV. Transmission Electron Microscopy (TEM) showed the nanoparticles to be irregularly spherical in shape. In summary, the studied bacterium demonstrated a high potential for the biosorption of lead and tellurite and could be considered a promising candidate for the removal of these contaminants from aquatic environments.

Keywords: *Shinella zoogloeoides* DSM287, biosorption, lead, tellurium nanoparticles.