

## مقاله پژوهشی

## بیوستز نانوذرات آهن مغناطیسی توسط سه گونه لاکتوباسیلوس و بررسی اثر ضدباکتریایی و جذب نیترات آب توسط آن‌ها

مینا ذوالفقاری، بهین امیدی\* و رودابه بهزادی اندوهجردی

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۴۰۱/۰۱/۱۴، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲

### چکیده

بیوستز یکی از روش‌های مدرن ساخت نانوذرات است که در آن از موجودات زنده به عنوان یک بیوراکتور استفاده می‌شود. در این تحقیق از ۳ گونه لاکتوباسیلوس فرمنتوم، پلانتروم و اسیدوفیلوس جهت بیوستز نانوذرات آهن مغناطیسی استفاده شده است. محلول یک میلی‌مولار از  $Fe_2O_3$  تهیه شد و سوپرناتانت هر یک از لاکتوباسیلوس‌ها به آن افزوده شد. برای اثبات بیوستز MINPs از تغییر رنگ محلول، UV-Vis، XRD، FTIR و TEM استفاده شد. اثر ضد میکروبی MINPs به روش دیسک دیفیوژن و تعیین MIC و MBC انجام شد. درصد جذب نیترات توسط MINPs از آب هم توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۱۰ nm انجام شد. تغییر رنگ محلول نشانه بیوستز MINPs است. پیک در ناحیه ۴۴۱ تا ۴۵۰ اسپکتروفتومتر مشاهده شد. نتایج XRD و FTIR هم تاییدی بر بیوستز MINPs داشتند. سایز MINPs بین ۲۰-۳۰ نانومتر و شکل آن‌ها کروی بوده است. نتایج اثر ضد میکروبی MINPs به روش دیسک دیفیوژن و MIC به ترتیب عبارت است از باسیلوس سرئوس  $26 \pm 0/5$  و  $30 \pm 1/2$ ، استافیلوکوکوس اورئوس  $21 \pm 1$  و  $40 \pm 0/8$ ، اشریشیا کلی  $18 \pm 0/5$  و  $65 \pm 1$  و سودوموناس آئروژینوزا  $2 \pm 14$  و  $80 \pm 0/0$  درصد جذب نیترات از آب ۶۰ درصد بوده است. نتایج نشان داد که هر سه گونه لاکتوباسیلوس توانایی بیوستز نانوذرات آهن مغناطیسی را دارند که دارای خواص ضد میکروبی مناسب بر علیه گرم مثبت‌ها و گرم منفی‌ها دارد و در حذف نیترات از آب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** بیوستز، نانوذرات آهن مغناطیسی، لاکتوباسیلوس.

### ۱- مقدمه

سیستم‌های زنده در مقیاس مولکولی فراهم می‌شود که تلفیقی از علوم زیستی و مهندسی در حوزه نانو است [۱، ۲]. نانویوتکنولوژی تأثیرات زیادی در حوزه‌های پزشکی، داروسازی، ژنتیک مولکولی و بیوتکنولوژی داشته و خواهد داشت. بطور مثال در ساخت سیستم‌هایی دارویی نوین بر پایه

نانویوتکنولوژی یکی از شاخه‌های مهم بیوتکنولوژی است که با کاربردهای وسیع خود نقش کلیدی را در قرن بیست و یکم پیدا کرده است. در نانویوتکنولوژی امکان تعامل

\* عهده‌دار مکاتبات: بهین امیدی

نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، دانشکده علوم پایه، گروه زیست‌شناسی

تلفن: ۰۲۱-۴۴۶۰۰۱۸۴، دورنگار: ۰۲۱-۴۴۶۰۰۱۸۴، پست الکترونیکی: behin.omidi@yahoo.com

پروبیوتیک‌ها به مجموعه میکروارگانیسم‌هایی گفته می‌شود که برای انسان نه تنها بی‌آزارند بلکه دارای فواید متعددی از جمله ساخت انواع ویتامین‌های گروه B، بالا بردن سطح سیستم ایمنی و مقابله با میکروارگانیسم‌های پاتوژن می‌باشند [۲۶]. در تحقیق تراییان و همکاران در سال ۲۰۱۸ از لاکتوباسیلوس کازئی در بیوسنتز نانوذرات آهن استفاده شده است [۲۷]. در تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۹ که توسط فانی و همکاران انجام شده برای بیوسنتز نانوذرات آهن از لاکتوباسیلوس فرمنتوم استفاده شده است [۲۸]. با توجه به غیر بیماری‌زا بودن این دسته از باکتری‌ها می‌توان انتظار داشت که نانوذرات حاصل شده از آن‌ها ایمن هستند و می‌تواند در مصارف داروسازی یا پزشکی استفاده شوند. پیرامون اثرات ضد میکروبی نانوذرات آهن مطالعات بسیاری انجام شده است.

در پژوهش‌های متعدد به اثرات ضد میکروبی نانوذرات آهن بر علیه باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت پرداخته شده است [۲۹-۳۲]. اثرات ضد بیوفیلمی نانوذرات آهن، بر بیوفیلیم تولید شده توسط باکتری‌های سودوموناس اثرورژینوزا، کلبسیلا پنومونیه، اسیتوباکتر بومانی بررسی انجام شده است [۳۳-۳۶]. نتایج تحقیقات به عمل آمده نشان داده شده که با افزودن نانوذرات آهن به خاک از رشد انگل‌ها، قارچ‌ها، حشرات و سایر عوامل پاتوژن گیاهی، ممانعت به عمل آمده است که عوامل یاد شده موجب خسارات مالی چشمگیری در کشت گیاهان است که با این روش کمک شایانی به کشاورزی شده است [۳۷، ۳۸]. در این تحقیق هم اثرات ضد باکتریایی نانوذرات آهن بیوسنتز شده بر علیه اشیریشیا کلی، سودوموناس آثرورژینوزا، استافیلوکوکوس اورئوس و باسیلوس سرئوس بررسی شده است. از نانوذرات آهن مغناطیسی در زیست‌پالایی و رفع سمومی از خاک، مانند سم D.D.T در پژوهش‌های متعددی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و باعث کاهش عملکرد و حتی حذف این سموم از محیط شده‌اند [۳۹]. در حذف آلودگی‌های خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، از نانوذرات آهن استفاده شده است. در تصفیه

پروتئین‌های نو ترکیب و یا قطعات ژنی، رهایش کنترل شده و هوشمند دارو، ساخت و طراحی بیوسنسورهای جهت تشخیص همزمان چندین بیماری، ساخت ابزارهای نانومتری بر پایه DNA، طراحی و ساخت پروتئین‌ها یا آنزیم‌هایی با عملکرد جدید بواسطه تغییر توالی، طراحی پروتئین‌های درمانی با ویژگی‌های بهبود یافته مثل انحلال‌پذیری بالاتر و یا پایداری بیشتر مثل آنتی‌بادی‌های کاتالیتیک و غیره [۹-۳]. یکی از ساختارهایی که در نانوبیوتکنولوژی توجه زیادی به آن شده است نانوذرات مغناطیسی مانند نانوذرات آهن است. در طبیعت اکسید آهن مختلف وجود دارد که در بین آن‌ها مگنتیت ( $Fe_3O_4$ )، ماگمیت ( $\gamma-Fe_2O_3$ ) و هماتیت ( $\alpha-Fe_2O_3$ ) خواص منحصر بفردی را نشان می‌دهد. مگنتیت‌ها به دلیل منحصر بفرد بودن در خواص مغناطیسی، کاتالیزوری، بیوشیمیایی و خواص فیزیکی نسبت به سایر اکسیدهای آهن برتری دارند و ماده ایده‌آلی برای استفاده در کاربردهای صنعتی و زیست پزشکی محسوب می‌شوند [۱۱، ۱۰]. نانوذرات آهن مغناطیسی در سیستم دارورسانی به عنوان حامل دارو مورد استفاده قرار گرفتند که به علت افزایش جذب دارو و رهایش داروی قابل کنترل و هدفمند کاربرد بسیار پررنگی پیدا کرده‌اند [۱۵-۱۲]. همچنین در تکنیک عکس برداری MRI [۱۶] و ساخت داروهای ضد سرطان و ضد تومور نیز از آن‌ها استفاده شده است [۱۹-۱۷]. با توجه به کاربردهای وسیع نانوذرات آهن مغناطیسی راهکارهای متعددی جهت سنتز آن‌ها ارائه شده است که بیشترین سهم را روش‌های شیمیایی دارند [۲۰]. اما در سال‌های اخیر محققان روش جدیدی را ابداع کردند که در آن از موجودات زنده مانند گیاهان، باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها به عنوان یک بیوراکتور جهت سنتز نانوذرات استفاده می‌کنند که این روش را بیوسنتز یا سنتز سبز می‌نامند [۲۵-۲۱]. در این پژوهش از روش سنتز سبز جهت تولید نانوذرات مغناطیسی استفاده شده است و توانایی سه گونه باکتری لاکتوباسیلوس در سنتز سبز نانوذرات آهن مگنتیت بررسی شده است. لاکتوباسیلوس‌ها مهمترین جنس از گروه بزرگ پروبیوتیک‌ها هستند.

جدا نموده، سوپرناتانت‌های حاصل را توسط فیلتر میلی پور ۰/۴۵ میکرون فیلتر می‌نماییم. جهت بررسی امکان بیوسنتز نانوذرات روی توسط لاکتوباسیلوس‌ها، برای هر باکتری فائل جداگانه در نظر گرفته شد و درون فائل‌های استریل محلول  $Fe_2O_3$  یک میلی مولار تهیه شد.

برای تهیه این محلول از آب دیونیزه استریل استفاده شد. سپس به محلول  $Fe_2O_3$  مقدار ۱۰ cc از سوپرناتانت باکتری اضافه شد و در دمای محیط بر روی شیکر با دور ۲۰۰ rpm قرار داده شد. تغییر رنگ اولیه محلول ۰/۰۰۱ مولار اکسید آهن  $Fe_2O_3$  به رنگ قرمز ارغوانی یا قهوه‌ای تیره متمایل به سیاه نشانه تولید نانوذرات آهن می‌باشد [۲۷].

یکی از روش‌های تحلیل نانوذرات مطالعه طیف جذبی آن‌ها در محدوده طول موج نور مرئی و فرابنفش توسط دستگاه اسپکتروفتومتری UV-Visible است. این روش برای مطالعه ذرات نامرئی نیمه رسانا و نانوذرات فلزی که در محدوده طول موج نور مرئی، تشدید پلاسمونی دارند موثر است. به این منظور از نمونه‌های تهیه شده در طول موج‌های بین ۲۵۰ تا ۶۵۰ nm مورد بررسی قرار گرفتند [۲۷، ۲۸].

دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز FTIR، برای بررسی تغییرات ارتعاش پیوند بین مولکول‌ها که در نتیجه طول پیوند و یا زاویه پیوند ایجاد می‌شود به شناسایی ترکیبات آلی و معدنی و گروه‌های عاملی آن‌ها می‌پردازد و حتی می‌تواند پیوندهای کووالانسی لیگاندهای فلزی را شناسایی کند. به این منظور محلول حاوی نانوذرات را به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ گردید و در مرحله بعد یا آب مقطر استریل شستشو شد و دوباره سانتریفیوژ شد، رسوب حاصل که حاوی نانوذرات است به مدت ۱۸ ساعت در دستگاه فریزدرایر قرار داده شد و پودر حاصل با KBr به صورت قرص در آمده و توسط دستگاه FTIR مورد بررسی قرار گرفت [۲۷، ۲۸].

برای مطالعه مواد با ساختار بلوری از دستگاه XRD استفاده می‌شود. ناحیه پرتوی X در طیف الکترومغناطیس در محدوده بین پرتوی گاما و فرابنفش قرار دارد، با استفاده از

پساب‌ها هم بخصوص پساب‌های کشاورزی از آن‌ها به کرات استفاده شده است [۴۰]. از آنجا که آب‌های زیرزمینی، منابعی بسیار ارزشمند هستند آلودگی‌زدایی آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. از نانوذرات آهن در آلودگی‌زدایی آب‌های زیرزمینی و حذف کادمیوم، نیترات و غیره استفاده شده است [۴۱، ۴۲]. در تحقیق حاضر میزان جذب نیترات موجود در آب نیز توسط نانوذرات آهن مغناطیسی بیوسنتز شده مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیقی مشابه در سال ۲۰۲۱ که توسط Liu و همکاران انجام شده که در آن سنتز سبز نانوذرات آهن انجام شده و میزان جذب نیترات آب هم بررسی شده است [۴۲]. در تحقیقی دیگری که توسط Katata همکاران در سال ۲۰۱۸ انجام شده سنتز سبز نانوذرات آهن توسط عصاره *Moringa oleifera* انجام شده و میزان جذب نیترات آب توسط نانوذرات آهن بیوسنتز شده هم بررسی شده است [۴۳]. در پژوهش حاضر توانایی باکتری‌های غیربیماری‌زای لاکتوباسیلوس در بیوسنتز نانوذرات آهن مغناطیسی بررسی شد و اثرات ضدباکتریایی و جذب نیترات از آب توسط نانوذرات آهن بررسی شد.

## ۲- فعالیت‌های تجربی

باکتری‌های مورد استفاده در این پژوهش از بانک میکروبی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه گردید که لیست آن‌ها در جدول ۱ عنوان شده است.

جدول ۱: لاکتوباسیلوس‌های مورد استفاده.

Bacteria	PTCC
<i>Lactobacillus fermentum</i>	۱۶۳۸
<i>Lactobacillus plantarum</i>	۱۰۵۸
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	۱۶۴۳

لاکتوباسیلوس‌های مذکور را در محیط MRS Broth کشت داده و در انکوباتور  $37^{\circ}C$  با ۵ درصد  $CO_2$  به مدت ۴۸ ساعت قرار داده، سپس آن‌ها را با دور ۴۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ کرده، سوپرناتانت و توده باکتری‌ها را

باکتری‌های مورد استفاده در این پژوهش جهت بررسی اثرات ضد میکروبی، از بانک میکروبی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه شد و لیست آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: باکتری‌های مورد استفاده در اثرات ضد میکروبی.

Bacteria	PTCC
<i>Escherichia coli</i>	۱۳۳۰
<i>Staphylococcus aureus</i>	۱۱۱۲
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	۱۶۹۰
<i>Bacillus cereus</i>	۱۸۵۷

سویه‌های استاندارد باکتری‌های ذکر شده روی محیط کشت نوترینت آگار کشت داده شد و در گرمخانه با  $37^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت گرماگذاری شدند. پس از طی مدت انکوباسیون از باکتری‌های رشد کرده برای تهیه سوسپانسیون باکتری استفاده شد. برای تهیه سوسپانسیون میکروبی مقداری از کلنی باکتری را بوسیله آنس برداشته و به لوله آزمایش استریل حاوی ۱۵ cc محیط کشت نوترینت برات استریل افزوده و توسط شیکر هم زده شد. سپس جذب نوری این سوسپانسیون در طول موج  $600\text{nm}$  توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر بررسی شد تا جذبی حدود ۱ داشته باشد که در این حالت تعداد باکتری‌ها  $(1/5 \times 10^8 \text{ cfu/ml})$  خواهد بود. برای بررسی خاصیت ضد میکروبی نانوذرات آهن بیوستتر شده از روش دیسک دیفیوژن و به روش کربی بوئر استفاده شد. در این روش از دیسک‌های بلانک که آغشته به نانوذرات آهن بیوستتر شده در غلظت‌های مختلف استفاده گردید. دیسک‌ها در محیط کشت مولر هیتون آگار که باکتری‌های مورد بررسی بطور یکنواخت بر روی آن کشت داده شده قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در  $37^{\circ}\text{C}$  انکوبه شدند و سپس قطر هاله عدم رشد در اطراف دیسک مورد بررسی قرار گرفت. MIC کمترین غلظتی از ماده ضد میکروبی است که باعث مهار رشد میکروارگانیسم می‌شود.

این ناحیه طیفی می‌توان اطلاعاتی در خصوص ساختار، جنس ماده و نیز تعیین مقادیر عناصر بدست آورد که تعیین جنس نانوذرات تولید شده در این پژوهش توسط این تکنیک مدنظر ماست. این دستگاه از یک دایره فلزی به نام دایره پراش تشکیل شده است که چشمه پدید آورنده پرتو X و آشکارساز روی محیط آن و محل قرارگیری نمونه در مرکز آن تعبیه شده است. با تابش پرتوی X از زوایای از قبل تعیین شده و جمع آوری بازتابش آنها نوع نمونه و ساختار آن مشخص می‌شود. به این منظور محلول حاوی نانوذرات را به مدت ۱۰ دقیقه با دور  $13000 \text{ rpm}$  سانتریفیوژ گردید و در مرحله بعد با آب مقطر استریل شستشو شد و دوباره سانتریفیوژ شد، رسوب حاصل که حاوی نانوذرات است به مدت ۱۸ ساعت در دستگاه فریزدرایر قرار داده شد و پودر حاصل توسط دستگاه مورد بررسی قرار گرفت [۲۷،۲۸].

برای تعیین اندازه و شکل نانوذرات تولید شده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده شد. نمونه‌های تهیه شده در آزمایشات، به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه در دستگاه سونیکاتور قرار داده شد سپس یک قطره از محلول را بر روی گریدهایی که با Formvar کوت داده شده‌اند قرار داده شد و در زیر نور UV قرار داده شده تا گریدها خشک شوند. گریدهای آماده شده توسط میکروسکوپ الکترونی TEM مورد بررسی قرار گرفت [۲۷،۲۸].

به منظور تعیین غلظت نانوذرات آهن بیوستتر شده، از دستگاه Atomic Absorption Assay استفاده شد. غلظت‌های مشخص از نانوذرات آهن استاندارد توسط دستگاه خوانده شده و منحنی استاندارد رسم شد و نمونه‌های مورد آزمایش توسط دستگاه AAA بررسی شدند و غلظت نانوذرات بیوستتر شده مشخص گردید. جهت بررسی خاصیت مغناطیسی محصول، پس از خشک کردن نمونه در دستگاه فریزدرایر پودر حاصله را در آب مقطر حل نموده و در مجاورت آهنربای قوی قرار داده شد و جذب پودر حاصله به سمت قطب آهنربا مورد بررسی قرار گرفت.

را نشان داد. محلول‌های کلونیدی نانوذرات فلزی که اندازه‌ای کوچکتر از طول موج تابش نور مرئی دارند دارای Surface Plasmon Resonance (SRP)، هستند که می‌توانند باعث افزایش رنگ‌های سوسپانسیون کلونیدی حاوی نانوذرات شود که این تغییر رنگ در مورد نانوذرات آهن قهوه‌ای رنگ می‌باشد. در این تحقیق هم این تغییر رنگ مشاهده شد که اولین تایید توانایی بیوسنتز نانوذرات آهن توسط لاکتوباسیلوس‌های انتخابی است و با نتایج سایر محققان همسویی دارد [۲۱، ۲۳، ۲۷، ۲۸].



شکل ۱: تغییر رنگ محلول  $Fe_2O_3$  و ایجاد رنگ قهوه‌ای و اثبات بیوسنتز نانوذرات آهن مغناطیسی توسط لاکتوباسیلوس فرمنتوم.

برای اطمینان از تولید نانوذرات آهن مغناطیسی از دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Visible استفاده شد. در بررسی توسط این دستگاه در نقطه  $441 \text{ nm}$  بلندترین پیک نمودار نمایان شده بود و جذب حداکثری در آن ناحیه مشاهده شد. با تطبیق عدد بدست آمده با منابع، این عدد مبین تولید نانوذرات آهن است. بطور کلی نانوذرات آهن در محدوده بین  $400 \text{ nm}$  تا  $500 \text{ nm}$  نانومتر بیشترین میزان جذب را دارند. با ظاهر شدن پیک نمونه در نقطه  $441 \text{ nm}$  تا  $450 \text{ nm}$  اثبات تولید نانوذرات آهن توسط لاکتوباسیلوس‌ها صورت گرفت (شکل ۲).

فلزات را می‌توان به عنوان پلاسما محبوس شده‌ای در نظر گرفت که در حالت عادی در تعادل هستند بعد از یک تحریک خارجی مثل تابش، الکترون‌ها از وضعیت تعادلشان خارج می‌شوند به جلو و عقب نوسان می‌کنند که به عنوان پلاسما شناخته می‌شود این نوسان‌ها در هر نانوذره فلزی

در این پژوهش از روش ماکرودیلوشن استفاده شد. به این منظور از نانوذرات آهن غلظت‌های مختلفی را به صورت سریالی تهیه کرده و به همه لوله‌ها  $100 \mu\text{l}$  از سوسپانسیون باکتری مورد نظر اضافه کرده سپس به مدت ۲۴ ساعت در  $37^\circ\text{C}$  انکوبه کرده و بعد از آن غلظتی که رشد در آن مشاهده نشده به عنوان MIC تعیین شدند. MBC به عنوان کمترین غلظت از یک عامل ضد میکروبی است که برای کشتن ۹۹/۹ درصد از ارگانسیم اولیه مورد نیاز است در این روش از غلظت‌های MIC بدست آمده به همراه غلظت قبل و بعد بر روی محیط کشت مولر هیتون اگر کشت داده شد و رشد و ایجاد کلنی آن‌ها بررسی شد [۲۹-۳۲]. جهت بررسی میزان جذب نیترات از آب توسط نانوذرات آهن بیوسنتز شده نمونه‌های آب آلوده به نیترات توسط نمک نیترات پتاسیم تهیه شدند.

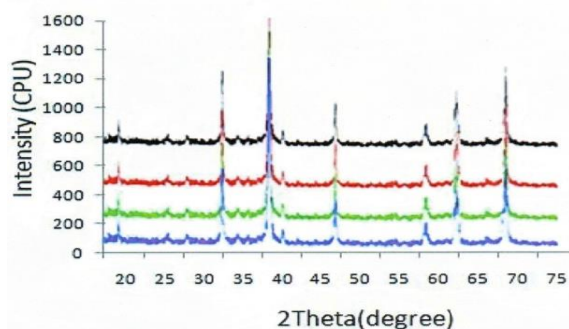
با حل کردن مقدار مشخصی نمک نیترات پتاسیم محلول مادر حاوی نیترات با غلظت  $1000 \text{ mg/lit}$  تهیه شد. برای محافظت و ماندگاری محلول  $2 \text{ cc}$  کلروفرم به آن اضافه شد. تهیه نمونه‌هایی با غلظت‌های مختلف نیز با رقیق سازی محلول مادر انجام گرفت. سپس به آن نانوذرات آهن مغناطیسی بیوسنتز شده اضافه گردید و به مدت ۲۴ ساعت در تماس قرار گرفت، در نهایت غلظت نیترات باقی مانده در محلول توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج  $410 \text{ nm}$  نانومتر قرائت شد [۴۳، ۴۴].

### ۳- نتایج و بحث

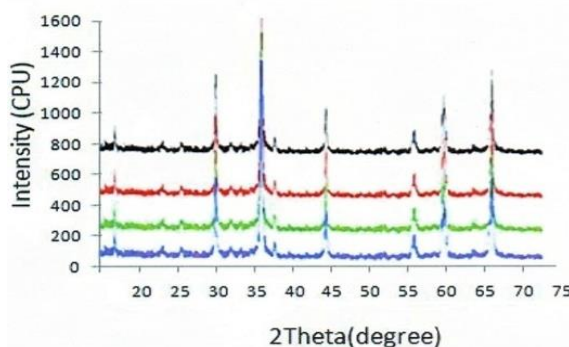
پارامتر سوپرناتانت جدا شده از باکتری‌ها را به محلول آبی  $0/001$  مولار اکسید آهن  $Fe_2O_3$  افزودیم و محلول به رنگ قرمز ارغوانی درآمد. پس از گذشت ۷۲ ساعت تغییر رنگ محلول به سمت قهوه‌ای تیره متمایل سیاه کاملاً مشهود بود که تولید نانوذرات آهن صورت گرفته است.

قابل ذکر است که بر طبق نتایج بدست آمده در بین لاکتوباسیلوس‌های مورد استفاده لاکتوباسیلوس فرمنتوم توانایی بالاتر و بهتری را در بیوسنتز نانوذرات آهن مغناطیسی

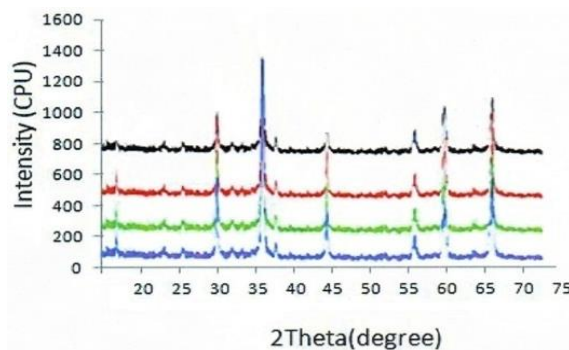
شده اسفیریکال و گاهی اکتاگونال تخمین زده می شود و ابعاد تقریبی ۳۴-۴۴ nm قابل انتظار است که در مشاهدات با میکروسکوپ الکترونی این موارد اثبات شد (شکل ۳ تا ۵). نتایج بدست آمده همسو با نتایج سایر تحقیقات گذشته بوده است [۲۱،۲۳،۲۷،۲۸].



شکل ۳: دیاگرام XRD حاصل از بیوستز نانوذرات آهن توسط لاکتوباسیلوس فرمتوم.

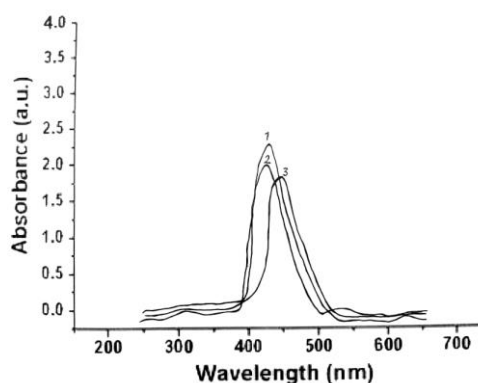


شکل ۴: دیاگرام XRD حاصل از بیوستز نانوذرات آهن توسط لاکتوباسیلوس پلانتروم.



شکل ۵: دیاگرام XRD حاصل از بیوستز نانوذرات آهن توسط لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس.

یک جذب قوی در ناحیه مرئی طیف الکترومغناطیسی ایجاد می کند. نوسان جمعی آنها به عنوان SRP شناخته می شود [۴۳]. در تحقیق انجام شده هر چهار لاکتوباسیلوس SRP قوی در ناحیه نقطه ۴۴۱ nm تا ۴۵۰ nm نشان دادند که نتایج بدست آمده با تحقیقات محققین دیگر هم خوانی داشته است [۲۱،۲۳،۲۷،۲۸].



شکل ۲: نمودار بررسی جذب نانوذرات آهن بیوستز شده توسط لاکتوباسیلوس ها در دستگاه اسپکتروفتومتر. (در نمودار شماره یک پیک شماره ۱ مربوط به لاکتوباسیلوس فرمتوم، پیک شماره ۲ مربوط به لاکتوباسیلوس پلانتروم، پیک شماره ۳ مربوط به لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس می باشد.)

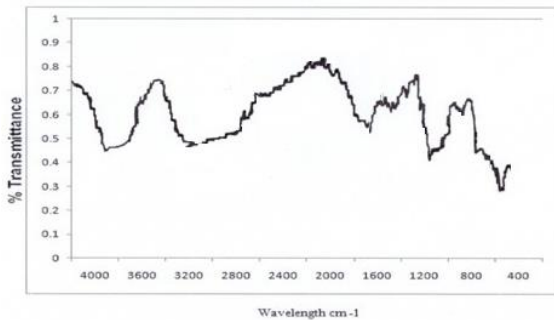
جدول ۳: مقایسه نقطه پیک جذب در UV-VIS اسپکتروفتومتر در سه گونه لاکتوباسیلوس.

گونه های لاکتوباسیلوس ها	نقطه پیک جذب (نانومتر)
لاکتوباسیلوس فرمتوم	۴۴۱
لاکتوباسیلوس پلانتروم	۴۳۹
لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس	۴۵۰

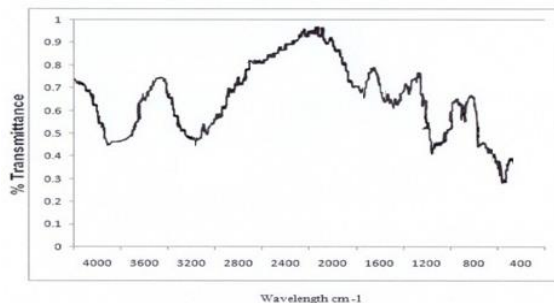
طیف بدست آمده از دستگاه XRD بر اساس اسناد بدست آمده از پایگاه تطبیق اطلاعات داده دیفراکشن JCPDS data (pdf number 87-2334) مبین آن است که پراش های ۲۰۰، ۳۱۱، ۵۱۱، ۴۴۰ به ترتیب برای زوایای ۳۰/۴، ۳۵/۸، ۴۳/۵، ۵۴/۱ حضور نانوذرات مغناطیسی  $Fe_3O_4$  را نشان می دهند. بر اساس سند JCPDS data (pdf number 39-1346) وجود پیک در زاویه ۳۳/۲ درجه نشان دهنده تولید  $Fe_2O_3$  است. بر اساس مشخصات بدست آمده شکل نانوذرات آهن بیوستز

اندازه نانوذرات نیز در محدوده ۳۰-۲۰ nm محاسبه شد (شکل ۹ تا ۱۱).

در تحقیق Herlekar و همکاران که در آن از عصاره گیاهان مختلف جهت بیوستز نانوذرات آهن مغناطیسی استفاده شده جمع آوری کرده اند که بر طبق نتایج بدست آمده عصاره چای سبز توانایی بیوستز آهن در اندازه ۴۰-۶۰ nm را داشته که کروی شکل بوده است و از عصاره oolong tea ، plantain ، Pomegranate ، Eucalyptus ، sorghum bran ، Tridax ، dodonae viscosa ، banana peel ، peel نیز Melaeuca nesophila ، Vineleave ، procumbent استفاده شده است که به ترتیب قطر آهن مغناطیسی بیوستز شده توسط به ترتیب عبارت است از ۴۰-۵۰ nm ، ۴۰-۵۰ nm ، ۵۰-۸۰ nm ، ۵۰-۲۰۰ nm ، ۱۰۰-۲۰۰ nm ، ۵۰-۸۰ nm ، ۶۰-۱۰۰ nm ، ۸۰-۱۰۰ nm و ۴۵ nm و ۴۰-۶۰ nm بوده است که همگی کروی شکل بوده اند [۲۱].



شکل ۷: دیاگرام FTIR حاصل از بیوستز نانوذرات آهن توسط لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس.

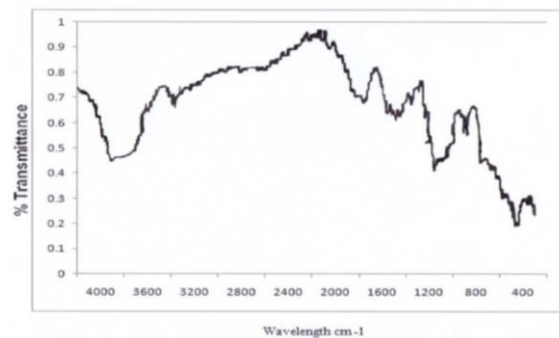


شکل ۸: دیاگرام FTIR حاصل از بیوستز نانوذرات آهن توسط لاکتوباسیلوس پلانناروم.

باند های متعددی از این شکل بدست آمد که در طیف مادون قرمز کمتر از ۷۰۰ طیف های جذبی Fe-O حضور دارند. محدوده ۴۰۳ ، ۵۰۷ و ۵۵۰ cm<sup>-1</sup> حضور گروه آهن را نشان می دهند. محدوده ۳۳۳۱ cm<sup>-1</sup> حضور گروه هیدروکسیل O-H و ۲۰۰۲ cm<sup>-1</sup> عامل O-H حاصل از پیوند با مولکول آب را نشان می دهد. محدوده ۱۶۵۹ cm<sup>-1</sup> مبین حضور گروه کربونیل C=O است و محدوده ۱۴۲۱ و ۱۵۶۱ cm<sup>-1</sup> مبین حضور گروه O=C=O در نمونه است. این به این معناست که گروه های دخیل در واکنش بیوستز نانوذرات آهن در این نمونه گروه های ذکر شده می باشد (شکل ۶ تا ۸). نتایج بدست آمده همسو با نتایج سایر تحقیقات گذشته بوده است [۲۱، ۲۳، ۲۷، ۲۸].

جدول ۴: مقایسه طیف XRD در سه گونه لاکتوباسیلوس ها.

زاویه پراش باکتری	(۲۰۰)	(۳۱۱)	(۵۱۱)	(۴۴۰)
لاکتوباسیلوس فرمتوم	۳۰/۴	۳۵/۸	۴۳/۵	۵۴/۱
لاکتوباسیلوس پلانناروم	۲۸/۹	۳۴/۰۱	۴۲/۱	۵۳/۵
لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس	۲۹/۱	۳۵/۱	۴۳/۱	۵۲/۸



شکل ۶: دیاگرام FTIR حاصل از بیوستز نانوذرات آهن توسط لاکتوباسیلوس فرمتوم.

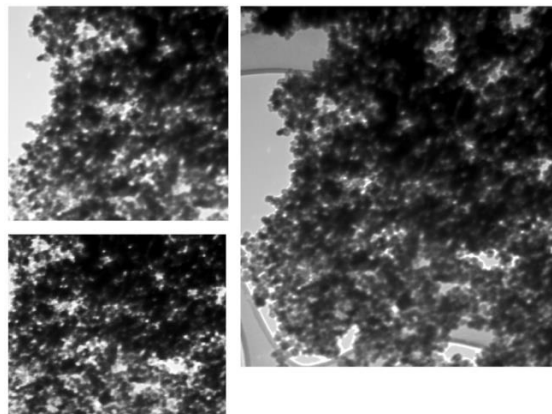
در تصاویر حاصله شکل نانوذرات آهن تولید شده به خوبی قابل تشخیص بوده و اسفیریکال تشخیص داده شده است.



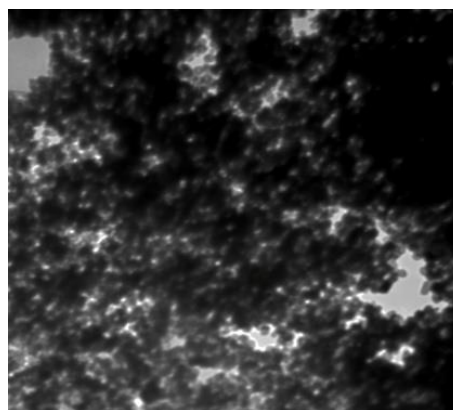
لاکتوباسیلوس فرمنتوم نانوذرات آهن با اندازه ۱۵-۱۰ nm بیوسنتز کردند [۲۸].

جدول ۵: مقایسه FTIR حاصل از بیوسنتز نانوذرات آهن در سه گونه لاکتوباسیلوس ها.

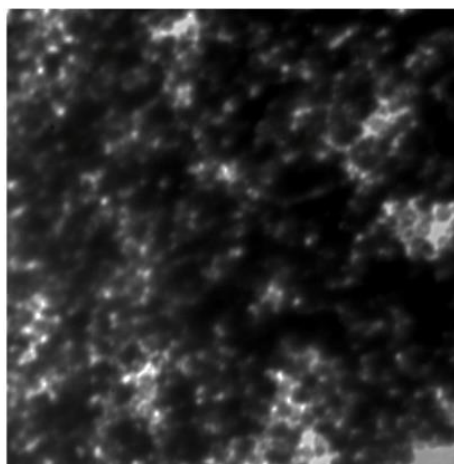
گروه‌های عاملی	لاکتوباسیلوس فرمنتوم	لاکتوباسیلوس پلاتناروم	لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس
CO کربونیل	۱۶۵۹/۱۶۵۹	۱۶۶۱/۰۵	۱۶۵۰/۳۲
CO استری	۱۲۸۶/۶۴	۱۲۹۵/۶۰	۱۲۸۰/۳۳
FeO	۴۳۲/۸۶	۴۳۰/۵۰	۴۲۹/۸۷
	۵۵۰/۴۲	۵۵۰/۹۸	۵۴۹/۰۲
	۵۰۷/۴۳	۵۰۵/۳۰	۵۰۵/۸۹
OH هیدروکسیل	۳۳۳۱/۱۸	۳۳۲۹/۲۰	۳۳۳۰/۰۰
OH پیوندی با مولکول آب	۲۰۰۲/۵۱	۲۰۰۲/۱۸	۲۰۰۱/۸۰
CH متیل یا متیلن	۲۹۷۶/۵۶	۲۹۷۷/۲۱	۲۹۷۸/۳۶
CH سیمتریک	۲۹۰۰/۲۱	۲۸۹۶/۹۸	۲۸۹۸/۲۰
CH <sub>3</sub> سیمتریک	۱۳۷۶/۰۲	۱۳۷۵/۳۳	۱۳۷۰/۰۲
OH, CH	۱۳۸۹/۹۱	۱۳۸۷/۲۰	۱۳۸۹/۵۲



شکل ۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانوذرات آهن بیوسنتز شده توسط لاکتوباسیلوس فرمنتوم.



شکل ۱۰: تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانوذرات آهن بیوسنتز شده توسط لاکتوباسیلوس پلاتناروم.



شکل ۱۱: تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانوذرات آهن بیوسنتز شده توسط لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس.

در تحقیق حاضر از ۳ گونه باکتری لاکتوباسیلوس (فرمنتوم، پلاتناروم، اسیدوفیلوس) جهت بیوسنتز نانوذرات آهن مغناطیسی استفاده شد و هر ۳ گونه توانایی بیوسنتز را داشتند

Mondal و همکاران در سال ۲۰۲۰ مجموعه‌ای از باکتری‌های تولید کننده نانوذرات مغناطیسی تهیه کرده‌اند که بر طبق آن *Thermoanaerobacter* در شرایط بی‌هوازی نانوذرات آهن مغناطیسی با اندازه ۲۵-۵۰ نانومتر سنتز کرده است و *Bacillus subtilis*، *Thiobacillus thioparus*، *Microbacterium thioparius* باکتری احیا کننده سولفات جدا شده از دریاچه گوا در هند به ترتیب ۵۰-۲۵ nm، ۴۸-۶۶ nm، ۵۰ nm و ۳۲-۴۸ nm سایز نانوذرات آهن مغناطیسی تولید شده توسط آن‌ها بوده است [۲۳].

در تحقیق ترابیان و همکاران در سال ۲۰۱۸ توسط لاکتوباسیلوس کازئی نانوذرات آهن با اندازه ۱۵ nm بیوسنتز کردند [۲۷] و فانی و همکاران در سال ۲۰۱۹ توسط



محقق دیگری به نام Yadav و همکارانش در سال ۲۰۲۰ هم بررسی جذب فلزات سنگین را توسط نانوذرات آهن مغناطیسی را انجام دادند و توانایی جذب فلزات توسط نانوذرات آهن مغناطیسی را اثبات کردند [۴۶]. در سال ۲۰۱۳ هم Giraldo و همکاران را اثبات جذب فلزات سنگین توسط نانوذرات آهن را اثبات کردند که این توانایی در تحقیق حاضر هم به اثبات رسید.

اما در بین آن‌ها لاکتوباسیلوس فرمنتوم بهترین پاسخ را از نظر سایز و غلظت نانوذرات آهن بیوستنز شده نشان داد سایز نانوذرات بیوستنز شده ۲۰-۳۰ nm بوده است که در مقایسه با سایر تحقیقات انجام شده توانایی مناسبی برای این باکتری‌ها محسوب می‌شود. پس از خشک کردن نمونه در دستگاه فریزدرایر پودر حاصله را در آب مقطر حل نموده و در مجاورت آهنربای قوی قرار دادیم. مشاهده شد که پودر به سمت قطب آهنربا جذب شده و در کنار آن قرار گرفت. در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.

جدول ۶: جذب نیترات توسط نانوذرات آهن مغناطیسی بیوستنز شده توسط لاکتوباسیلوس‌ها.

غلظت اولیه نیترات mg/ml	غلظت بعد از مواجهه با نانوذرات آهن مغناطیسی mg/ml
۱۰	۲±۰/۵
۳۰	۱۲±۰/۰
۵۰	۲۰±۱/۰
۷۰	۳۰±۲/۱
۱۰۰	۴۲±۰/۸



شکل ۱۲: تصویر جذب نانوذرات آهن بیوستنز شده به سمت آهنربای قوی.

نتایج حاصل از دستگاه جذب اتمی AAA نشان داد که غلظت نانوذرات آهن بیوستنز شده ۲۴۵ µg/ml بوده است از این غلظت اولیه، غلظت‌های متعددی تهیه شد تا MIC یا کمترین غلظت مهارکنندگی رشد باکتری‌های مذکور توسط نانوذرات آهن بیوستنز شده بدست آید نتایج در جدول شماره نمایش داده شده است.

نتایج حاصل از مواجهه شدن غلظت‌های مختلف نیترات در آب با نانوذرات آهن بیوستنز شده با لاکتوباسیلوس‌های مذکور توانسته بطور میانگین ۶۰ درصد میزان نیترات موجود در آب را جذب نماید که این نسبت بسیار قابل توجه می‌باشد.

جدول ۷: بررسی اثر ضد میکروبی نانوذرات آهن مغناطیسی بیوستنز شده توسط لاکتوباسیلوس‌ها.

باکتری	قطر هاله عدم رشد (mm)	MIC (µg/ml)	MBC (µg/ml)
<i>Escherichia coli</i>	۰±۱۸/۵	۱±۶۵	۰±۷۵/۵
<i>Staphylococcus aureus</i>	۱±۲۱	۰±۴۰/۸	۰±۵۰/۰
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	۲±۱۴	۰±۸۰/۰	۱±۱۰۰
<i>Bacillus cereus</i>	۰±۲۶/۵	۱±۳۰/۲	۲±۴۰/۵

در این تحقیق جذب نیترات از آب توسط نانوذرات آهن مغناطیسی بیوستنز شده بررسی شد که بنابر نتایج بدست آمده به صورت میانگین ۶۰ درصد جذب نیترات صورت گرفته است که بسیار قابل توجه می‌باشد. در تحقیقی که توسط Zkassae انجام شده بر روی جذب نیترات توسط نانوذرات آهن مغناطیسی بررسی انجام شده و نتایج نشان داده که جذب نیترات توسط نانوذرات آهن صورت گرفته و هر چه سایز نانوذرات آهن کوچکتر باشد میزان جذب نیترات بیشتر است و از طرفی میزان جذب با pH در ارتباط است [۴۵].

جمع آوری از تحقیقات انجام شده داشتند که مشخص کرد نانوذرات آهن اثر ضد میکروبی موثری بر سودوموناس، اشریشیا کلی، باسیلوس سرئوس داشته است و در بین قارچ‌ها بر آسپرژیلوس نایجر و آلترناریا آلترناتا موثر بوده است که با تحقیق حاضر همخوانی دارد [۲۳]. در سال ۲۰۱۸ Parven و همکاران اثر ضدقارچی نانوذرات آهن را بررسی کردند و داشتن خواص ضدقارچی نانوذرات آهن را اثبات کردند [۳۷] و در سال ۲۰۱۷ Norouzi و همکاران اثر ضدانگلی نانوذرات آهن را اثبات کردند [۳۸]. در واقع تمامی تحقیقات حاکی از توانایی خاصیت ضد میکروبی نانوذرات آهن مغناطیسی دارد که در این تحقیق هم بر هر چهار باکتری مورد استفاده تاثیر گذار بوده است.

#### ۴- نتیجه گیری

نانوذرات مغناطیسی از لحاظ علمی و تکنولوژیکی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. کاربرد این نانوذرات در ذخیره سازی اطلاعات، سنسورها، کاتالیست‌ها و مخصوصاً در بیوپزشکی و بخصوص به عنوان حامل دارو، محرک قوی برای تحقیقات بر روی سنتز نانوذرات مگنتیت با خواص مناسب می‌باشد [۱۲-۱۵]. تولید نانوذرات آهن مغناطیسی با روش‌های متعدد شیمیایی و فیزیکی انجام می‌گیرد اما با معضلاتی همراه است [۲۰]. اخیراً شاخه در نانوتکنولوژی به نام نانوبیوتکنولوژی ایجاد شده است که در آن از سیستم‌های زنده مانند گیاهان و میکروارگانیسم‌ها و جلبک‌ها جهت تولید محصولات نانو بخصوص نانوذرات استفاده می‌شود [۲۵-۲۱]. در تحقیق حاضر از ۳ گونه باکتری لاکتوباسیلوس (فرمنتوم، پلانتروم و اسیدوفیلوس) جهت بیوسنتز نانوذرات آهن مغناطیسی استفاده شد و هر ۳ گونه توانایی بیوسنتز را داشتند اما در بین آن‌ها لاکتوباسیلوس فرمنتوم بهترین پاسخ را از نظر سایز و غلظت نانوذرات آهن بیوسنتز شده نشان داد سایز نانوذرات بیوسنتز شده ۳۰-۲۰ نانومتر بوده است که در مقایسه با سایر تحقیقات انجام شده توانایی مناسبی برای این باکتری‌ها محسوب می‌شود. علت انتخاب لاکتوباسیلوس‌ها این بوده است که در

در این تحقیق اثرات ضد میکروبی نانوذرات آهن مغناطیسی بیوسنتز شده بررسی شد که به ترتیب باسیلوس سرئوس، استافیلوکوکوس اورئوس، اشریشیا کلی، سودوموناس آئروژینوزا نسبت به نانوذرات آهن حساسیت نشان دادند که در جدول شماره ۷ بیان شده است این نتایج با سایر تحقیقات انجام شده همسو می‌باشد بطور مثال در تحقیق Barchering و همکاران در سال ۲۰۱۴ اثر نانوذرات آهن را بر باکتری سودوموناس آئروژینوزا بررسی کردند که نتایج حاکی از موثر بودن در کنترل رشد سودوموناس و بیوفیلیم ناشی از آن توسط نانوذرات آهن بوده است که هر چه سایز نانوذرات کوچکتر بوده غلظت پایین تری بر بیوفیلیم تاثیر گذار بوده است [۳۱]. در سال ۲۰۲۰، Armijo و همکاران نانوذرات آهن با سایز ۱۶ نانومتر را با روش شیمیایی سنتز کردند و اثر آن را بر سودوموناس آئروژینوزا بررسی کردند طی این تحقیق روزهای مجاورت با بیوفیلیم هم بررسی شد که ۶ روز مواجهه توانسته بر بیوفیلیم تاثیر بگذارد [۳۲]. Abdul و همکاران در سال ۲۰۱۹ اثر ضد بیوفیلیمی نانوذرات آهن را بر بیوفیلیم‌های ناشی از استافیلوکوکوس اورئوس و اشریشیا کلی بررسی کردند که غلظت ۵۰ mg/ml و طی ۲۰ ساعت بر بیوفیلیم استافیلوکوکوس اورئوس تاثیر داشته ولی بر اشریشیا کلی اثر کمی داشته است [۳۳].

در تحقیقی که در سال ۲۰۱۸ توسط Heba Mohamed Fahmy و همکاران انجام شد توسط عصاره گیاهان Oolong tea, polyphenols, tea waste, tea powder, tea, Eucalyptus, Murraya koenigii, Amaranthus dubius, Ocimum sanctum, curcuma aromaticum, Syzygium Dodonaea, Tridax procumbens, Emblica officinalis Lawsonia inermis, Spinacia oleracea, viscosa و Punica granatum, Gardenia jasminoides, (henna) Colocasia esculenta, نانوذرات آهن بیوسنتز کردند و بر روی اسیتوباکتر و آسپرژیلوس اوریزه اثرات آن را بررسی کردند و تاثیر مثبت نانوذرات آهن بر پاتوژن‌های مذکور اثبات شد [۲۲]. در سال ۲۰۲۰ Mondal و همکاران

## سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مادی و معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی انجام شده است که بدین ترتیب از همگی عزیزان تشکر و قدردانی می‌گردد.

## مراجع

- [1] M.G. Morais, V.G. Martins, D. Steffens, P. Pranke, J.A. da Costa, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **14**, 2014, 1007.
- [2] M. Thangamani, S.K. Bharathi, N.S. Kumar, *Materials Science and Engineering*, **1091**, 2021, 012031.
- [3] R. Ali, T. Batool, B. Manzoor, H. Waseem, S. Mehmood, A. Kabeer, *Antibiotics and Antimicrobial Resistance Genes in the Environment*, **1**, 2020, 350.
- [4] K.K. Jain, *Drug Delivery Systems*, **9**, 2020, 55.
- [5] M.A. Mir, B.A. Bhat, *Applications of Nanomaterials in Agriculture, Food Science, and Medicine*, **114**, 2021, 229.
- [6] A. Sivakami, R. Sarankumar, S. Vinodha, *Bio-manufactured Nanomaterials*, **82**, 2021, 1.
- [7] H. Meruvu, *Nanobiotechnology*, VOL, 2021, 123.
- [8] D. Shcharbin, I. Halets-Bui, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **182**, 2019, 110354.
- [9] E.A. Moaca, E.D. Coricovac, *Iron Ores Iron Oxide Mater*, **45**, 2018, 229.
- [10] S. Natarajan, K. Harini, *BMC Materials*, **1**, 2019, 1.
- [11] S. Yalcin, U. Gündüz, *Journal: Handbook of Polymer and Ceramic Nanotechnology*, **3**, 2019, 1.
- [12] T. Vangijzegem, D. Stanicki, S. Laurent, *Expert opinion on Drug Delivery*, **16**, 2019, 69.
- [13] M. Ebadi, K. Buskaran, *Alexandria Engineering Journal*, **60**, 2021, 733.
- [14] C. Turrina, S. Berensmeier, *Pharmaceuticals*, **14**, 2021, 405.
- [15] S.M. Dadfar, D. Camozzi, *Journal of Nanobiotechnology*, **18**, 2020, 1.
- [16] F. Soetaert, P. Korangath, *Advanced Drug Delivery Reviews*, **19**, 2020, 1.
- [17] S. Zhao, X. Yu, Y. Qian, W. Chen, J. Shen, *Theranostics*, **10**, 2020, 6278.
- [18] K. Li, C. Xue, *Nanoscale*, **12**, 2020, 130.
- [19] I. Fatimah, G. Fadillah, S.P. Yudha, *Arabian Journal of Chemistry*, **15**, 2021, 103301.
- [20] M. Herlekar, S. Barve, R. Kumar, *Journal of Nanoparticles*, **8**, 2014, 1.
- [21] H.M. Fahmy, F.M. Mohamed, *Bionanoscience*, **8**, 2018, 491.
- [22] P. Mondal, A. Anweshan, M.K. Purkait, *Chemosphere*, **28**, 2020, 127509.
- [23] D. Sharma, S. Kanchi, K. Bisetty, *Arabian Journal of Chemistry*, **12**, 2019, 3576.
- [24] M. Wegmann, M. Scharr, *In Precision Medicine*, **38**, 2018, 145.
- [25] T. Teame, A. Wang, *Frontiers in nutrition*, **7**, 2020, 589.
- [26] P. Torabian, F. Ghandehari, M. Fatemi, *Asian Journal of Green Chemistry*, **2**, 2018, 181.
- [27] M. Fani, F. Ghandehari, M. Rezaee, M. Fatemi, *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, **9**, 2019, 89.
- [28] A. Zahoor, T. Iqbal, *Biological Sciences-PJSIR*, **64**, 2021, 202.
- [29] P.N. Kirdat, P.B. Dandge, R.M. Hagwane, A.S. Nikam, *Materials Today: Proceedings*, **43**, 2021, 2826.
- [30] J. Borcherding, J. Baltrusaitis, H. Chen, *Environmental Science: Nano*, **1**, 2014, 123.
- [31] L.M. Armijo, S.J. Wawrzyniec, M. Kopciuch, *Journal of Nanobiotechnology*, **18**, 2020, 1.

طی قرن‌ها انسان از لاکتوباسیلوس‌ها استفاده شده است و دانشمندان آن‌ها را باکتری‌های بی‌ضرر و غیر بیماری‌زا می‌دانند و به کلیه مراحل رشد و ویژگی‌های آن‌ها واقف هستند. ابعاد کوچک نانوذرات تولید شده توسط لاکتوباسیلوس‌ها، فرم مناسب آن‌ها، نرخ رشد بالا و شرایط رشد آسان و کم هزینه بودن و همچنین تولید بیوسنتز دیگر ویژگی‌های مفید آنهاست که باعث می‌شود لاکتوباسیلوس‌ها به عنوان ابزاری موفق و مناسب برای مسیرهای بیوسنتزی انتخاب شوند [۴۷]. چگونگی بیوسنتز نانوذرات فلزی در باکتری‌ها بر حسب مکانیزم‌های دفاعی و مقاومتی باکتری‌ها شکل می‌گیرد. مقاومتی که باکتری به یون‌های فلزی دارد به دلیل وجود دیواره است و در حقیقت بسیار انتخابی برای جذب و تولید نانوذرات عمل می‌کند. دیواره باکتری با دارا بودن از بار منفی واکنش با یون فلزی با بارهای مثبت واکنش الکترواستاتیک می‌دهد. آنزیم‌های موجود در باکتری عمل احیا فلزات و تولید نانوذرات را انجام می‌دهند و به این صورت نانوذرات تولید شده‌اند [۲۳، ۲۴]. اغلب محققان در بیان روش قطعی مکانیسم تولید نانوذرات در میکروارگانیسم‌ها تلاش زیادی کردند اما هنوز سوالات زیادی در این خصوص مطرح است. اما همگی بر این عقیده استوار هستند که در معرض قرار گرفتن یون‌های فلزی با میکروارگانیسم منجر به آزاد سازی آنزیم ردوکتاز و به دنبال آن احیای یون فلزی می‌شود آنزیم مترشحه وابسته به کوفاکتور NADH می‌باشد. طی تحقیقات انجام شده عنوان شده است که نیترات ردوکتاز مسئول احیا یون فلزی و به دنبال آن بیوسنتز نانوذرات بوده است. میکروارگانیسم‌ها می‌توانند این آنزیم را به صورت داخل یا خارج سلولی داشته باشند [۲۳، ۲۴]. در این تحقیق بیوسنتز نانوذرات مغناطیسی توسط سه گونه لاکتوباسیلوس انجام شد و خاصیت ضد میکروبی و جذب نیترات نانوذرات آهن بیوسنتز شده بررسی شد که نتایج بدست آمده حاکی از خصوصیت مناسب آن‌ها دارد. امید است با ادامه دادن تحقیقات بتوان به داروهای جایگزین دست پیدا کرد.

- [38] M.Z. Kassae, E. Motamedi, A. Mikhak, R. Rahnemaie, *Chemical Engineering Journal*, **166**, 2011, 490.
- [39] V.K. Yadav, S.H. Khan, *Nanomaterials*, **10**, 2020, 1551.
- [40] H. Liu, Y. Sun, X. He, H. Zhang, J. Wei, L. Zhu, *Separation and Purification Technology*, **267**, 2021, 118663.
- [41] L. Katata-Seru, T. Moremedi, O.S. Aremu, I. Bahadur, *Journal of Molecular Liquids*, **256**, 2018, 296.
- [42] A. Csaki, O. Stranik, W. Fritzsche, *Expert review of Molecular Diagnostics*, **18**, 2018, 279.
- [43] M.Z. Kassae, E. Motamedi, A. Mikhak, R. Rahnemaie, *Chemical Engineering Journal*, **166**, 2011, 490.
- [44] V.K. Yadav, D. Ali, *Nanomaterials*, **10**, 2020, 1551.
- [45] L. Giraldo, A. Erto, *Adsorption*, **19**, 2013, 465.
- [46] J. Gao, S. Yu, X. Zhu, *Journal of Evidence Based Dental Practice*, **20**, 2020, 101398.
- [31] F.R. Abdul, H.T. Subhi, N.A. Taher, I.A. Raheem, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, **11**, 2019, 1126.
- [32] P. Velusamy, C.H. Su, K. Kannan, *Biotechnology and Applied Biochemistry*, **44**, 2021, 113.
- [33] H.T. Al-Mousawi, N.H. Al-Janabi, *Journal of Genetic and Environmental Resources Conservation*, **9**, 2021, 122.
- [34] S. Masoudian, F. Hosseini, K. Amini, K. Investigating the Effects of Iron Oxide Nanoparticles on the Expression of Biofilm Production Genes and Antibiotic Resistance in *Klebsiella pneumoniae* Strains, 2021.
- [35] S. Parveen, A.H. Wani, *Microbial pathogenesis*, **115**, 2018, 287.
- [36] R. Norouzi, *J Biol Today's World*, **6**, 2017, 196.
- [37] T. Poursaberi, E. Kono, A.M. Sarrafi, M. Hassanisadi, F. Hajifathli, *Chemical Science Transactions*, **1**, 2012, 658.