

## جداسازی و شناسایی باکتری‌های مغناطیسی از مناطق مختلف ایران و شناسایی نانو ذرات آهن سنتزی درون آن‌ها

ساره فراهانی<sup>1</sup>، عباس اخوان سپهی<sup>2\*</sup>، لاله فرهنگ متین<sup>3</sup>

1- کارشناس ارشد میکروبیولوژی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران

2- دانشیار میکروبیولوژی دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران

3- استادیار فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران

\* تهران، صندوق پستی 936/19585

Akhavansepahy@gmail.com

(دریافت مقاله: 92/11/17 پذیرش مقاله: 94/2/15)

**چکیده-** باکتری‌های مغناطیسی، تحت تأثیر میدان مغناطیسی زمین جهت‌گیری می‌کنند. انواع اشکال کوکسی، باسیل و ماریچی در آن‌ها مشاهده شده است. فراساختار مگنتوزوم در این باکتری‌ها باعث جهت‌گیری آن‌ها تحت تأثیر میدان مغناطیسی و به عنوان بخش ذخیره آهن محسوب می‌شود. در این پژوهش حضور باکتری‌های مغناطیسی در نقاط مختلف کشور ایران با ویژگی آب شیرین، نیمه شور و شور شامل معدن آهن مروارید زنجان، تالاب میقان، خلیج فارس و کویر قم بررسی شد. رسوبات و آب جمع‌آوری شده، تحت اثر میدان مغناطیسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد تمام انواع باکتری‌های جداسازی شده، گرم منفی و واجد اشکال باسیلی، اسپیریلوم و کوکسی بودند. بعد از اثر میدان مغناطیسی در لوله موئین حاوی باکتری مغناطیسی پاسخ آن‌ها به میدان مغناطیسی مشاهده شد. نمونه‌های تالاب میقان، کویر قم و معدن آهن مروارید زنجان به علت داشتن رسوب و همچنین نمونه بیشتری از باکتری مغناطیسی، به طور ویژه مورد بررسی قرار گرفتند. در تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری ذرات نانوی آهن درون آن‌ها قابل رویت بود. بررسی مولکولی، توالی یابی و BLAST در تارنمای NCBI نمونه ی معدن آهن مروارید زنجان حضور باکتری مغناطیسی *Magnetospirillum magnetotacticum* را به اثبات رسانید. تراکم بیشتر ذرات نانوی آهن در نمونه تالاب میقان در مقایسه با معدن آهن، بیانگر این است که وفور یون آهن به تنهایی، عامل افزایش سنتز نانو ذرات آهن توسط باکتری مغناطیسی نیست.

کلیدواژگان: باکتری‌های مغناطیسی، *Magnetospirillum magnetotacticum*، نانو ذرات، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، مگنتوزوم.

### 1- مقدمه

مورفولوژی و فیلوژنتیکی یک گروه ناهمگون از

پروکاریوت‌های آبی هستند که فعالانه در طول میدان

باکتری‌های مغناطیسی عمدتاً از نظر متابولیکی،

مغناطیسی شنا می‌کنند [1]. این رفتار مغناطیس‌گرایی نامیده می‌شود که به علت حضور کریستال‌های حوزه مغناطیسی منفرد داخل سلولی مگنتایت ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) و/یا گریژیت ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) است که با یک لپید دو لایه‌ای به نام مگنتوزوم احاطه شده است. مگنتوزوم‌ها معمولاً به صورت زنجیره‌ای در درون سلول سازماندهی می‌شوند و خاصیت دو قطبی مغناطیسی دائمی به سلول می‌بخشند [1].

دانشمندان مختلفی سویه‌های گوناگون باکتری‌های مغناطیسی را در نقاط مختلف جهان شناسایی کردند، مانند: بلیکمور و همکاران سویه MS-1، ماتسونگ و همکاران سویه AMB-1 [2]، شلیفر و همکاران *M.gryphiswaldense* [3]، سویه‌های ویبریو آب شور، MV-1، به وسیله بازیلینسکی و همکاران [4]، MC-1، توسط دی‌لانگ و همکاران [5]، ملدرام و همکاران یک اسپیریلیوم دریایی با عنوان MMS-1 [6]، که معمولاً با نام MV-4 هم یاد می‌شود، باکتری مغناطیس‌گرای باسیلی شکل کاهنده سولفات با عنوان مگنتیکوس دسولفوویبریو سویه RS-1 توسط ساکاگوچی و همکاران شناسایی شدند [7]. بازیلینسکی و همکاران از طبقات مختلف آب نمونه‌برداری کردند، که این مناطق شامل ناحیه اوتروفیک، اپی لیمنیون و هایپولیمنیون است [8]. شارما و همکاران از آبگیر مجاور کارخانه‌ی بازیافت آهن در منطقه اوتاراکاند کشور هند، نمونه‌برداری کردند. بعد از نمونه‌برداری قطب جنوب آهن ربا را به مدت یک ساعت بالای بطری‌های حاوی نمونه قرار دادند [9].

لین و همکاران رسوب سطحی از عمق 5 تا 10 سانتی‌متری را از دریاچه Beihai در بیجینگ مرکزی چین جمع‌آوری نمودند و بلافاصله آن‌ها را به فلاسک‌هایی با حجم 600 میلی لیتر انتقال دادند و به مدت چند هفته در دمای اتاق نگهداری کردند [10]. امروزه با توجه به محدودیت‌هایی که در مورد باکتری‌های متداول ایجاد

شده، مانند مقاومت آنتی بیوتیکی، شناخت باکتری‌های جدید با ویژگی منحصر به فرد همچون باکتری‌های مغناطیسی بیش از گذشته باید مورد توجه قرار گیرد؛ عمومیت کاربرد این باکتری‌ها در سایر زمینه‌ها شامل پزشکی، داروسازی، زیست فناوری و فیزیک هم از جنبه‌های مهم آن است، مانند استفاده در: MRI [11]، معالجه توده سرطانی [12]، سنجش ایمنی و اتصال به رسیپتور، ساخت بیوسنسور [13].

## 2- مواد و روش‌ها

به منظور ساخت محیط کشت اختصاصی برای باکتری‌های مغناطیسی، از روش تهیه محیط کشت مگنتواسپیریلیوم (DSMZ 380) استفاده شد.

### 2-1- روش نمونه‌برداری

برخی از مناطق ایران که مورد بررسی قرار گرفت، شامل کویر میقان در شهر اراک از استان مرکزی ( $34^\circ/11'$  شمالی،  $50^\circ/49'$  شرقی)، معدن آهن مروارید در استان زنجان ( $35^\circ/79'$  شمالی و  $48^\circ/69'$  شرقی) و دریاچه حوض سلطان در کویر قم از استان قم ( $34^\circ/45'$  تا  $35^\circ/15'$  عرض جغرافیایی و  $50^\circ/45'$  تا  $51^\circ/15'$  طول جغرافیایی). نمونه‌برداری از عمق 10 تا 20 سانتی‌متری صورت گرفت در حین نمونه‌برداری pH و دمای محیط اندازه‌گیری شد؛ با نسبت 1:3 رسوب به آب. نمونه‌ها داخل فالكون‌های 50 میلی‌لیتری منتقل شد. بلافاصله تحت تأثیر آهنربا با میدان 1/2 تسلا قرار گرفتند و در دمای 4 درجه سانتی‌گراد به مدت 1 ماه نگهداری شدند.

بعد از طی یک ماه به محیط کشت تهیه شده بر اساس روش DSMZ 380 تلقیح شدند. بعد از تلقیح مجدداً در کنار آهنربا قرار گرفته و به مدت یک ماه در انکوباتور با دمای 26 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. به منظور سنتز نانوذرات آهن، آهن‌ربای مورد استفاده در این مرحله

واجد میدان مغناطیسی بیشتری بود (1/2 T و 1/46).

## 2-2- آماده سازی محیط کشت

برای تهیه محیط کشت مواد بر طبق روش استاندارد DSMZ Medium 380 (آلمان) باکتری *Magnetospirillum* عمل شد. محلول عناصر معدنی و محلول ویتامین در حجم یک لیتر و محلول کوئینات فریک در حجم 100ml تهیه می شود. به ازای هر لیتر محلول مادر، 10ml محلول ویتامین، 5ml محلول عناصر معدنی، 2ml محلول کوئینات فریک، 0.68g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ، 0.37g  $\text{L}(+)\text{-Tartaric acid}$ ، 0.37g  $\text{Succinic acid}$ ، 0.12g  $\text{NaNO}_3$ ، 0.05g  $\text{Na-thioglycolate}$ ، 0.05g  $\text{Na-acetate}$  و 0.5mg *Resazurin* مورد استفاده قرار گرفت. قبل از مخلوط کردن این ترکیبات pH محلول حاوی عناصر معدنی با اضافه کردن KOH یا هیدروکسید پتاسیم به 6/5 رسانده و به کمک گاز  $\text{N}_2$  اکسیژن زدایی شد. محلول کوئینات فریک و عناصر معدنی به مدت 15 دقیقه با فشار 15 پاسکال در دمای 121 درجه سانتی گراد اتوکلاو شدند. بعد از اتوکلاو گذاری، زمانی که دمای محلول به 45 درجه سانتی گراد رسید، محلول ویتامین فیلتر شده به آن اضافه شد.

## 2-3- مواد شیمیایی

محلول ها شامل عناصر معدنی، ویتامین و محلول کوئینات فریک می باشد.

محلول معدنی متشکل از *SIGMA Nitritotriacetic acid* (Aldrich-Germany)،  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  هپتا هیدرات سولفات منیزیم،  $\text{NaCl}$  کلرید سدیم،  $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  دی هیدرات سولفات منگنز،  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  هپتا هیدرات سولفات کبالت،  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  هپتا هیدرات سولفات روی،  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  دی هیدرات کلرید کلسیم،  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  هپتا هیدرات سولفات آهن،  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  هگزا هیدرات کلرید نیکل،

$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  دودکاهیدرات سولفات آلومینیم پتاسیم،  $\text{H}_3\text{BO}_3$  اسید بوریک،  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  دی هیدرات مولیبدات دی سدیم،  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  پنتا هیدرات سولفات مس،  $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  پنتا هیدرات سلنیت سدیم، محلول ویتامین واجد، *Pyridoxine-HCl*، *Nicotinic acid*، *Riboflavin*، *Thiamine-HCl*،  $2\text{H}_2\text{O}$ ، *Folic acid*.

برای محلول کوئینات فریک از  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  هگزا هیدرات کلرید فریک و *Quinic acid* اسید کوئینیک استفاده شد.

علاوه بر سه محلول گفته شده ترکیبات  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  فسفات پتاسیم مونو بازیک،  $\text{L}(+)\text{-Tartaric acid}$ ،  $\text{NaNO}_3$  نیترات سدیم،  $\text{Na-Succinic acid}$ ،  $\text{Na-thioglycolate}$  (SIGMA Aldrich-Germany)، *Resazurin acetate* (SIGMA-USA) به محلول اضافه می شود. سایر مواد محصول شرکت Merck آلمان می باشد. محیط های کشت به صورت شکل 1 نگهداری شدند.

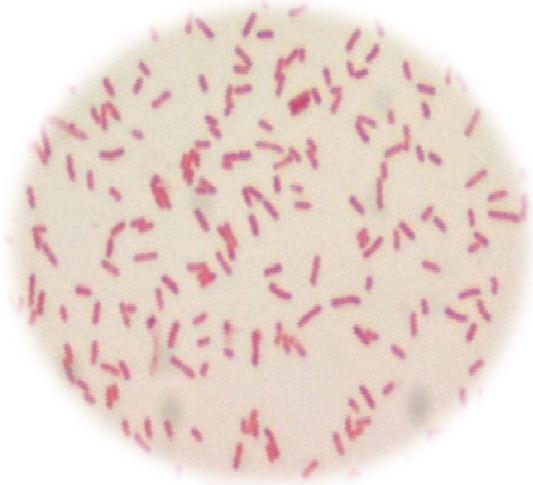


شکل 1 محیط کشت اختصاصی در کنار آهن ربا

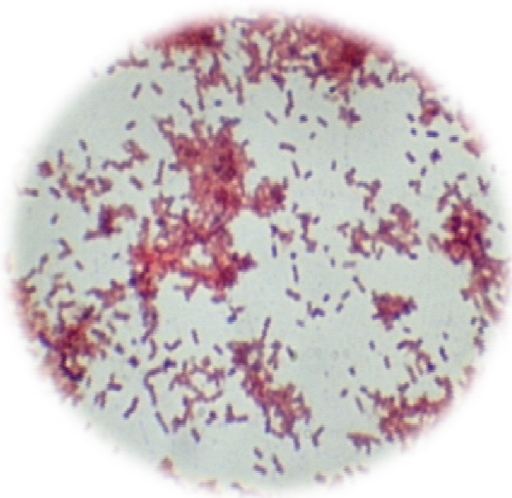
## 2-4- روش میکروسکوپی

به منظور بررسی دقیق و قطعی وجود باکتری مغناطیسی و

شکل‌های 2 و 3 به ترتیب رنگ‌آمیزی گرم از نمونه‌های تالاب میقان و معدن آهن را نشان می‌دهند.



شکل 2 تصویر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی 1000 برابر پس از رنگ‌آمیزی گرم از نمونه تالاب میقان اراک



شکل 3 تصویر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی 1000 برابر پس از رنگ‌آمیزی گرم از نمونه معدن آهن مروارید زنجان

### 3-2- میکروسکوپ الکترونی عبوری

نتایج میکروسکوپ الکترونی عبوری حضور مگنتوزوم را در محور طولی سلول به وضوح نشان داد. شکل‌های 4 و 5 به ترتیب از تالاب میقان و معدن آهن تهیه شده است. شکل اسپیریلی در شکل 4 مشهود است.

نانوذرات آهن درون آن، در نمونه‌های کشت داده شده، بررسی با میکروسکوپ الکترونی عبوری انجام شد. روش تهیه نمونه برای مشاهده با میکروسکوپ الکترونی عبوری: ابتدا با سانتیفیوژ یخچال‌دار با سرعت rpm 14000، به مدت 2 دقیقه در دمای 4 درجه سانتی‌گراد نمونه‌ها رسوب داده شدند و در ادامه تثبیت با گلو تارآلدهید 2/5%، شست‌وشو با بافر فسفات، تثبیت با تتراکسید آزیموم 1%، آبگیری با درصدهای مختلف الکل اتانول، آبگیری با اکسید پروپیلن، انتقال به درون رزین و سپس قالب‌گیری و برش‌گیری با دستگاه اولترامیکروتوم به اندازه 70nm تا 100 و در آخر رنگ‌آمیزی مثبت برش‌ها با یورانیل استات 2% و سیترات سرب 1%. مشاهده نمونه زنده با میکروسکوپ فاز متضاد و با استفاده از روش "Holding drop" انجام شد. برای مشاهده با میکروسکوپ نوری رنگ‌آمیزی گرم صورت گرفت.

### 1. استخراج DNA

روش استاندارد جداسازی DNA باکتری‌های گرم منفی

### 2. PCR

به منظور تکثیر ژن 16S rRNA سویه‌های منتخب از پرایمر Universal که توسط شرکت روبین طب گستر سنتز گردید، استفاده شد.

27F(5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3')  
1492R(5'-GGTACCTTGTTACGACTT-3')

### 3. توالی‌یابی

پس از انجام PCR، محلول به منظور توالی‌یابی به شرکت فزاپژوه فرستاده شد.

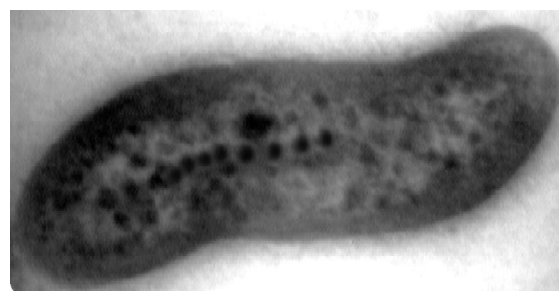
### 3- نتایج

#### 3-1- رنگ‌آمیزی گرم

تهیه رنگ‌آمیزی گرم از نمونه‌ها حاکی از این بود که باکتری‌های مورد نظر گرم منفی و میله‌ای شکل بودند.



شکل 7 نمونه معدن آهن مروارید زنجان، عکس PCM با بزرگنمایی 400 برابر



شکل 4 نمونه تالاب میقان اراک، عکس TEM با بزرگنمایی 31/5 KX



شکل 5 نمونه معدن آهن مروارید زنجان، عکس TEM بزرگنمایی 8 KX

### 4-3- PCR و BLAST

نتایج PCR نمونه معدن آهن مروارید زنجان پس از توالی یابی و BLAST کردن در تارنمای ExTaxon و NCBI دو نتیجه در بر داشت، از بین دو نمونه حاصل از PCR، نمونه اول شباهت 99 درصدی با *Klebsiella oxytoca* و نمونه دوم شباهت 100 درصدی با *Magnetospirillum magnetotacticum* را نشان داد.

### 4- بحث

پژوهش حاضر به منظور جداسازی و شناسایی باکتری‌های مغناطیسی صورت گرفته است و باکتری‌های مغناطیسی در محیط‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سعی بر این شد تا نمونه‌برداری از سایر مناطق ایران صورت گیرد و تنوعی از اکوسیستم‌هایی که باکتری‌های مغناطیسی می‌تواند در آن‌ها وجود داشته باشند نشان داده شود. این مناطق شامل کویر قم و تالاب میقان با محیط نسبتاً شور، اقلیم کوهستانی با آب شیرین، خلیج فارس با آب شور و معدن آهن با اسیدیته بالا، می‌شود.

نتایج این پژوهش با پژوهش فرزاد و همکاران که در سال 2009 در دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است [14] مشابه می‌باشد و نسبت به آن نمونه‌ی کامل‌تری است زیرا علاوه بر نمونه‌برداری از مناطق مختلف، جنس و گونه

### 3-3- میکروسکوپ فاز متضاد

مشاهدات تکمیلی با استفاده از میکروسکوپ فاز متضاد حرکت باکتری را تحت اثر میدان مغناطیسی نشان داد. تصاویر تهیه شده در شکل‌های 6 و 7 گویای این جهت‌گیری مغناطیسی است.



شکل 6 نمونه تالاب میقان اراک، عکس PCM با بزرگنمایی 400 برابر

باکتری مغناطیسی به کمک روش‌های مولکولی تعیین شد. جداسازی باکتری از منطقه OATZ صورت گرفت، که می‌تواند به عنوان شاهدهی برای میکروآئروفیل بودن این باکتری‌ها باشد [15-17].

باکتری‌های رنگ‌آمیزی شده با روش گرم، مشابه با نتایج بازیلینسکی همگی گرم منفی بودند [15]. نانو ذرات آهن سنتزی این باکتری‌ها پیرو مطالعات انجام شده توسط بازیلینسکی و راجر درون سلولی بوده و به شکل مگنتوزوم مشاهده شدند [15, 18, 19]. از بین رفتن نظم مگنتوزوم در طی مشاهده با میکروسکوپ الکترونی عبوری، می‌تواند به علت حضور اکسیژن بیش از 1% باشد [20]. چرا که بلیکمور اکسیژن را به عنوان عامل مختل کننده نظم مگنتوزوم‌ها بیان کرده است.

مقایسه بین حضور و عدم حضور باکتری در محیط بومی (مادری) با محیط کشت اختصاصی، نشان داد در صورت عدم استفاده از محیط کشت اختصاصی، می‌توان باکتری را با رعایت شرایط استریل در محیط مادری کشت داد و جداسازی نمود؛ یعنی می‌توان در صورت لزوم از محیط مادری به عنوان محیط کشت اختصاصی برای همان باکتری استفاده کرد [21, 22].

بررسی کدورت محیط کشت به طور مداوم نشان داد که مدت زمان 3 هفته برای انکوبه نمودن آن‌ها کافی است و در محیط‌های با کدورت بیشتر تعداد باکتری‌های بیشتری قابل جداسازی است.

pH اندازه‌گیری شده قبل و بعد از کشت این باکتری‌ها گواه آن بود که شرایط رشد بهینه آن‌ها pH خنثی است؛ به عنوان نمونه pH محیط معدن آهن در حین نمونه‌برداری pH اسیدی با مقدار 3 بود و بررسی اولیه با میکروسکوپ نوری بعد از رنگ‌آمیزی گرم تعداد نمونه‌های کمی از باکتری را نشان داد، متعاقباً بعد از کشت دادن آن‌ها در محیط اختصاصی و گذشت چند هفته تعداد باکتری‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته بود

و این در شرایطی بود که دستگاه pH متر، pH 6/5 را نشان داد و می‌تواند بیانگر این باشد که باکتری مغناطیسی در pH اسیدی رشد خود را متوقف کرده یا کاهش داده است و پس از دست‌یابی به شرایط محیطی مناسب رشد خود را آغاز کرده و تکثیر می‌شود. تغییر رنگ محیط کشت نشان دهنده‌ی رشد و انجام واکنش اکسیداسیون و احیا توسط باکتری مغناطیسی است [23].

مشاهدات میکروسکوپ الکترونی عبوری وجود باکتری‌های مغناطیسی به عنوان باکتری‌های گرم منفی را به اثبات رساند؛ غشای خارجی و فضای پری پلاسمیک کاملاً واضح بود.

از نظر مورفولوژیکی اشکال کوکسی، اسپریلیوم و باسیلی در نمونه‌های مورد بررسی مشاهده شد [15]. نکته قابل توجه پس از کسب نتایج این بود که تعداد باکتری‌ها در نمونه‌های تالاب میقان و قم به نسبت بیشتر از معدن آهن بود. این می‌تواند دلیلی باشد بر این که حضور و رشد باکتری‌های مغناطیسی تنها به وفور آهن محیط وابسته نیست، بلکه به عوامل دیگری از جمله مواد غذایی محیط هم بستگی دارد. نتایج کلی حاصل از این پژوهش بیانگر میکروایروفیل بودن باکتری‌های مغناطیسی مورد بررسی است و افزایش رشد آن‌ها در محیط مغذی همراه با نمک‌های حاوی آهن انجام می‌شود. باکتری‌های مغناطیسی را از نقاط مختلفی که آب وجود دارد می‌توان جداسازی کرد.

خصوصیات باکتری از نظر ژنتیکی و پروتئین‌های مگنتوزوم که بخش مورد توجه این باکتری‌ها است را می‌توان در مطالعاتی که در آینده به منظور تکمیل اطلاعات انجام می‌شود، به‌طور دقیق بررسی و تجزیه و تحلیل کرد.

## 5- قدردانی و تشکر

از جناب آقای دکتر سید عباس شجاع‌الساداتی، استاد

- McGirr, R., Dhanvantari, S., Thompson, R.T., Figueredo, R., Koropatnick, J., Foster, P. & Prato, F.S., (2009) Magnetic resonance imaging of cells overexpressing MagA, an endogenous contrast agent for live cell imaging. *Mol Imaging*. 8, 129–139.
- [12] Alphandery, E., Faure, S., Seksek, O., Guyot, F. & Chebbi, I. (2011) Chains of magnetosomes extracted from AMB-1 magnetotactic bacteria for application in alternative magnetic field cancer therapy. *ACS Nano*. 5, 6279–6296.
- [13] Martel, S., Tremblay, C., Ngakeng, S., and Langlois, G. (2006) Controlled Manipulation and Actuation of Micro-objects with Magnetotactic Bacteria. *Applied Physics Letters*. Vol. 89, 233904.
- [14] Farzan, F., Shojaosadati, S.A. and Abdul Tehrani, H., 2010 Preliminary report on the isolation and identification of Magnetotactic bacteria from Iran environment, *Iranian Journal of Biotechnology*. 8, 98-102.
- [15] Bazylinski, D. A. (1995) Structure and function of the bacterial magnetosome. *ASM News* 61, 337–343.
- [16] Blakemore, R. P., Frankel, R. B. & Kalmijn, A. J. (1980) South-seeking magnetotactic bacteria in the southern hemisphere. *Nature* 236, 384–385.
- [17] Heyen, U. & Schüler, D. (2003) Growth and magnetosome formation by microaerophilic *Magnetospirillum* strains in an oxygen-controlled fermentor. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 61, 536–544.
- [18] Bazylinski, D. A. and Frankel R. B., (2004) Magnetosome Formation in Prokaryotes, nature behavior in bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 53, 103-128.
- [19] Rogers, F. G. et al. (1990) Intercellular structure in a many-celled magnetotactic procaryote. *Arch. Microbiol.* 154, 18–22.
- [20] Blakemore, R. P., Short, K. A., Bazylinski, D. A., Rosenblatt, C. & Frankel, R. B. (1985) Microaerobic conditions are required for magnetite formation within *Aquaspirillum magnetotacticum*. *Geomicrobiol. J.* 4, 53–71.
- [21] Sakaguchi, T., Burgess, J. G. & Matsunaga, T. (1993a) Magnetite bullet-formation by a sulphate-reducing bacterium. *Nature* 365, 47–49.
- [22] Sakaguchi, H. et al. (1993b) Oxygen concentration-dependent induction of a 140-kDa protein in magnetic bacterium *Magnetospirillum magnetotacticum* MS-1. *FEMS Microbiol. Lett.* 107, 169–174.
- [23] Blakemore, R. P., (1982) Magnetotactic bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 36: 217-238.

بیوتکنولوژی صنعتی دانشگاه تربیت مدرس به خاطر تمام همکاری‌های ایشان با این گروه تحقیقاتی، قدردانی می‌شود. همچنین از آقای مهندس مجتبی فراهانی که در طی مراحل نمونه‌برداری همکاری نموده‌اند، تشکر می‌شود.

## 6- منابع

- [1] Bazylinski, D. A., Frankel, R. B. (2004) Magnetosome Formation in Prokaryotes. *Nature Reviews Microbiology*. 2, 217-230.
- [2] Matsunaga, T., Sakaguchi, T. & Tadokoro, F. (1991) Magnetite formation by a magnetic bacterium capable of growing aerobically. *Appl Microbiol Biotechnol.* 35, 651–655.
- [3] Schleifer, K-F., Schüler, D., Spring, S., Weizenegger, M., Amann, R., Ludwig, W., Kohler, M. (1991) The genus *Magnetospirillum* gen. nov., description of *Magnetospirillum gryphiswaldense* sp. nov. And transfer of *Aquaspirillum magnetotacticum* to *Magnetospirillum magnetotacticum* comb. nov. *Syst Appl Microbiol.* 14, 379–385.
- [4] Bazylinski, D. A., Frankel, R. B., Jannasch, H. W. (1988) Anaerobic magnetite production by a marine, magnetotactic bacterium. *Nature*. 334. 518–519.
- [5] Delong, E. F., Frankel, R.B., Bazylinski, D.A. (1993) Multiple evolutionary origins of magnetotaxis in bacteria. *Science*. 259, 803–806. [PubMed: 17809345].
- [6] Meldrum, F. C., Mann, S., Heywood, B.R., Frankel, R.B., Bazylinski, D.A. (1993) Electron microscope study of magnetosomes in two cultured vibrioid magnetotactic bacteria. *Proc Roy Soc Lond B.* 251, 237–242.
- [7] Sakaguchi, T., Burgess, J.G., Matsunaga, T. (1993) Magnetite formation by a sulphate reducing bacterium. *Nature*. 365, 47–49.
- [8] Bazylinski, D. A., Schlezinger, D.R., Howes, B.H., Frankel, R.B., Epstein, S.S. (2000) Occurrence and distribution of diverse populations of magnetic protists in a chemically stratified coastal salt pond. *Chemical Geology*. 169, 319-328.
- [9] Sharma, Gyan Prakash and Balomajumder, Chandrajit. (2011) Preliminary isolation report of aerobic magnetotactic bacteria in a modified nutrient medium. *Recent Research in Science and Technology*. 3(11), 71-75.
- [10] Lin, W., Li, J. and Pan, Y. (2011) Novel Magnetotactic Bacteria in the Phylum Nitrospirae. *Applied and Environmental Microbiology* p. 668–675.
- [11] Goldhawk, D.E., Lemaire, C., McCreary, C.R.,