

## **Electrical Absorption of *Staphylococcus aureus* in Liquid Culture Medium**

**Mohammad Reza Nahaei<sup>1,2\*</sup>, Hassan Amini<sup>1</sup>, Atabak Asvadi Kermani<sup>1</sup>, Naiereh Didevar<sup>2</sup>, Behnam Amini<sup>3</sup>,  
Mohammad Akbari Dibavar<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Hematology and Oncology Research Center, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Department of Medical Microbiology, School of Medicine, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>School of Management and Medical Information, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

\*Corresponding author; E-mail: nahaeim@yahoo.com

Received: 12 July 2017    Accepted: 18 September 2017    First Published online: 4 July 2019  
Med J Tabriz Uni Med Sciences Health Services. 2019 August- September; 41(3):95-100

### **Abstract**

**Background:** All microorganisms are negatively charged using the sulfate groups in acid mucopolysaccharids, ionized phosphate groups of the phospholipids and some other chemical groups on their surfaces. Recent researches concerning the effect of electrical fields on the biologic processes, anti-inflammatory and carcinogenic effects provides a good opportunity to investigate whether these fields can gravitate or repel the microorganisms or not, therefore in this experimental study electrical gravitation of *Staphylococcus aureus* in liquid culture medium was investigated.

**Methods:** To make the electrical field a plastic tank with positive electrode (cathode) and negative electrode (anode) was constructed on the either sides. Afterwards the tank was filled with sterile nutrient broth medium and *S. aureus* ATCC 29213 was cultured. For homogenization of the bacteria in all parts of the medium, the medium was stirred and positive and negative charges were generated in the poles of the tank. After 24 hours, sampling was performed from different parts of the tank and the samples were cultured in nutrient agar medium. This experiment repeated three times in the same manner and the average results were calculated.

**Results:** Average results of bacterial counts on samples taken from different parts of the tank with an electrical field intensity of 20 Nm/colon in all three experiments showed that the numbers of *S. aureus* near the positive electrode was  $8.2 \times 10^3$  CFU/ml, in the middle of the medium was  $6.2 \times 10^3$  CFU/ml and near the negative electrode was  $3.6 \times 10^3$  CFU/ml.

**Conclusion:** The electrical fields caused *S. aureus* gravitation towards positive electrode.

**Keyword:** Electrostatic potential (zeta potential), Negative surface charge, Electric potential difference, Electric power supply, *Staphylococcus aureus*.

**How to cite this article:** Nahaei M R, Amini H, Asvadi Kermani A, Didevar N, Amini B, Akbari Dibavar M. [Electrical Absorption of *Staphylococcus aureus* in Liquid Culture Medium]. Med J Tabriz Uni Med Sciences Health Services. 2019 August- September; 41(3):95-100. Persian.

## مقاله پژوهشی

### جذب الکتریکی باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در محیط کشت مایع

محمد رضا نهائی<sup>۱\*</sup>، حسن امینی<sup>۱</sup>، اتابک اسودی کرمانی<sup>۱</sup>، نیره دیده ور<sup>۲</sup>، بهنام امینی<sup>۲</sup>، محمد اکبری دیباور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>مرکز تحقیقات هماتولوژی و اونکولوژی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران  
<sup>۲</sup>گروه آموزشی میکروب شناسی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، ایران  
<sup>۳</sup>دانشکده مدیریت و اطلاع رسانی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، ایران  
\*نویسنده مسئول: ایمیل nahaeim@yahoo.com

دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۱ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۷ انتشار برخط: ۱۳۹۸/۴/۱۳  
مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی - درمانی تبریز، مرداد و شهریور ۱۳۹۸؛ ۴۱(۳):۹۵-۱۰۰

## چکیده

**زمینه:** همهی میکروارگانیسم‌ها به دلیل داشتن گروههای سولفات در اسید موکوپلی ساکاریدها و نیز گروههای فسفات یونیزه در فسفولیپیدها و برخی گروههای شیمیایی دیگر دارای بار الکتریکی منفی در سطح خود هستند و از طرفی پژوهش‌های رو به گسترش در خصوص تأثیر میدان‌های الکتریکی بر روی زندگی بیولوژیک از اثرات ضد التهابی گرفته تا اثرات کارسینوژن، بستر مناسبی را جهت بررسی این سوال که آیا این میدان‌ها می‌توانند موجب جذب یا دفع میکروارگانیسم‌ها گردند، فراهم می‌سازد. لذا در این مطالعه جذب الکتریکی استافیلوکوکوس اورئوس در محیط کشت مایع مورد تجسس قرار گرفت.

**روش کار:** جهت ایجاد میدان الکتریکی از تانک پلاستیکی استفاده شد که در دو طرف آن الکترود مثبت (کاتد) و الکترود منفی (آند) تعبیه گردید. پس از استریل‌سازی، تانک تهیه شده با محیط کشت مایع نوترینت براث پر شد و باکتری مورد مطالعه (*S.aureus* ATCC 29213) در آن کشت گردید و جهت پخش یکسان باکتری در قسمت‌های مختلف بوسیله لوپ، مایع درون تانک بهم زده شد. سپس با اتصال به جریان الکتریسیته شارژ مثبت و منفی در دو قطب تانک ایجاد شد. بعد از ۲۴ ساعت از رشد باکتری از مناطق مختلف تانک نمونه‌برداری شده و نسبت به شمارش باکتری‌ها از مناطق مختلف نمونه‌برداری بعمل آمده و در محیط کشت نوترینت آگار کشت گردید. آزمایش فوق سه بار در شرایط یکسان تکرار و میانگین نتایج بدست آمده محاسبه گردید.

**یافته‌ها:** نتایج میانگین شمارش باکتری بر روی نمونه‌های برداشته شده از مناطق مختلف تانک با میدان‌های الکتریکی با شدت ۲۰ نیوتن بر کولون، در سه بار آزمایش بعمل آمده نشان داد که تعداد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در سمت الکترود مثبت  $10^3 \times 1/2$  CFU/ml در وسط تانک  $10^3 \times 6/2$  و در سمت الکترود منفی  $10^3 \times 3/6$  بود.

**نتیجه‌گیری:** مقایسه نتایج بدست آمده بر روی تعداد باکتریها در سمت الکترود مثبت، الکترود منفی و وسط تانک نشانگر تأثیر مستقیم این میدان‌ها در جابجایی و جذب باکتری‌ها به سمت الکترود مثبت بود.

**کلید واژه‌ها:** پتانسیل الکترواستاتیک (پتانسیل زتا)، شارژ سطحی منفی، اختلاف پتانسیل الکتریکی، منبع تغذیه الکتریکی، استافیلوکوکوس اورئوس.

**نحوه استناد به این مقاله:** نهائی م، امینی ح، اسودی کرمانی ا، دیده ور ن، امینی ب، اکبری دیباور م. جذب الکتریکی باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در محیط کشت مایع. مجله پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی-درمانی تبریز. ۱۳۹۸؛ ۴۱(۳):۹۵-۱۰۰

حق تألیف برای مؤلفان محفوظ است.

این مقاله به دسترسی آزاد توسط دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی - درمانی تبریز تحت مجوز کرییتیو کامنز (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) منتشر شده که طبق مفاد آن هرگونه استفاده تنها در صورتی مجاز است که به اثر اصلی به نحو مقتضی استناد و ارجاع داده شده باشد.

## مقدمه

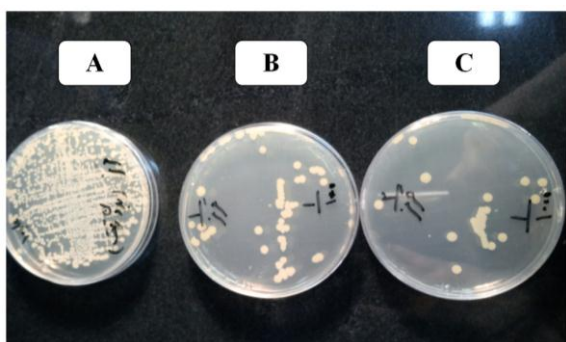
پتانسیل زتا نباید با پتانسل الکتروود یا پتانسیل الکتروشیمیایی اشتباه شود چرا که واکنش‌های الکتروشیمیایی اصولاً در تعیین پتانسیل زتا دخیل نیستند (۱۲). پتانسیل زتا به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست اما می‌توان با استفاده از فرمولهای تئوری و مشخص کردن تجربی میزان حرکت الکتروکیتیک یا توان حرکتی الکتروفوریتیک، دینامیک آن را محاسبه کرد. پتانسیل زتا را در یک ذره باردار با ایجاد یک میدان الکتریکی در طرفین این ذره باردار هم می‌توان اندازه‌گیری کرد. این ذره باردار با پتانسیل زتا به سمت الکتروود مثبت حرکت می‌کند و البته نسبت سرعت حرکت وابسته به مقدار و اندازه پتانسیل زتا در هر ذره است و با همین تفاوت در سرعت-ها، پتانسیل زتای ذره توسط تکنیک Laser Doppler اندازه‌گیری می‌شود و توسط فرمول‌هایی به مقادیر پتانسیل سطحی این ذرات می‌توان پی برد (۱۸-۱۵). پتانسیل الکترواستاتیک منفی در نتیجه‌ی جذب پروتون توسط یک چگالی الکترونی بالا است (۱۹). از طرف دیگر براساس قانون بارهای الکتریکی، همواره بارهای الکتریکی با ماهیت همسان همدیگر را دفع می‌کنند به طوری که ذره با بار الکتریکی منفی موجب رانش ذره دیگر با بار الکتریکی منفی می‌شود و بارهای الکتریکی با ماهیت ناهمسان همدیگر را جذب می‌کنند به نحوی که ذره با بار الکتریکی منفی، ذره دیگر با بار الکتریکی مثبت را جذب می‌کند (۲۰). با کنار هم قرار دادن دو واقعیت فوق سؤالی که پیش می‌آید این است که آیا وجود شارژ الکتریکی در سطح میکروارگانیسم‌ها می‌تواند موجب تأثیرپذیری آن‌ها از میدان‌های الکتریکی شود؟ و اینکه اگر تأثیری وجود داشته باشد به چه نحو خواهد بود؟ در راستای پاسخ به این سؤالات به خصوص جهت روشن نمودن تأثیر میدان‌های الکتریکی در جذب یا دفع باکتری‌ها، مطالعه‌ی حاضر برنامه‌ریزی و انجام گردید. هرچند زمینه‌ی مطالعاتی که بتواند دیگر اثرات میدان‌های الکتریکی بر روی ساختار سلولی باکتری، اثر داروها در حضور میدان و ... را تعیین کند وجود دارد. در این مطالعه، جذب الکتریکی باکتری استافیلوکوکوس اورئوس در محیط کشت مایع مورد بررسی قرار گرفت.

## روش کار

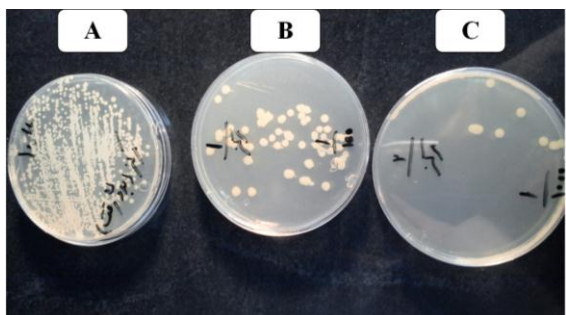
محیط کشت مایع انتخابی برای این آزمایش نوترینت براث (Merck) بود که محیط کشت یاد شده بر اساس دستورالعمل شرکت سازنده تهیه و سپس در حرارت ۱۲۱ درجه سانتیگراد و ۱/۵ پوند فشار به مدت ۱۵ دقیقه استریل و جهت ایجاد امکان جذب و دفع باکتری‌ها مورد استفاده قرار گرفت. محیط کشت مایع به میزان ۴۰۰ میلی‌لیتر که حدود ۵/۴ حجم ظرف آزمایشی را پر می‌کرد آماده گردید و به داخل تانک استریل شده ریخته شد. محیط کشت بلاد آگار (Merck) نیز به منظور کشت و شمارش باکتری‌ها مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا یک ظرف پلاستیکی به ابعاد ۱۲۰ mm طول، ۸۰ mm عرض و ۶۰ mm ارتفاع، جهت تعبیه‌ی میدان

پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها شبکه‌ای از بار الکتریکی منفی را در سطح خود دارند که افینیتی انتخابی و اتصال بین سلول‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این شبکه با داشتن بار الکتریکی در بدخیمی‌ها، توان متابولیکی، افینیتی داروها و حتی در ارتباط بین انگل و میزبان نقش مهمی را ایفا می‌کند (۷-۱). خواص هیدروفوبیک و الکتریکی داروها نیز در توزیع داروها در بافت‌های زنده مؤثر است (۸). نتایج مطالعات قبلی انجام شده نشان می‌دهند که از محتمل‌ترین موارد برای جایگاه‌های آنیونی در غشای سلول‌ها می‌توان به گروه‌های سولفات موجود در اسید موکو پلی‌ساکاریدها و گروه‌های فسفات یونیزه در فسفولیپیدها و گروه‌های کربوکسیل باردار که ناشی از حضور اسیدسیالیک هستند (یا ناشی از گروه‌های کربوکسیل موجود در استیک آمینو اسید پروتئین) اشاره کرد (۱۳-۶). علاوه بر موارد فوق از دیگر عوامل ایجاد کننده‌ی شارژ سطحی منفی، می‌توان به پپتیدوگلیکان موجود در دیواره سلولی باکتری‌ها اشاره کرد که در باکتری‌های گرم مثبت تا ۴۰ لایه پپتیدوگلیکان وجود دارد که حدود ۵۰٪ از لایه دیواره سلولی را تشکیل می‌دهد. این ترکیب در باکتری‌های گرم منفی نیز به نظر می‌رسد فقط یک یا دو لایه باشد که ۵ تا ۱۰٪ ماده دیواره سلولی را تشکیل می‌دهد (۱۴). مورد دیگر که اکثراً در دیواره سلولی باکتری‌های گرم مثبت یافت می‌شود اسیدهای تیکوئیک و تیکورونیک می‌باشد که ممکن است تا ۵۰٪ وزن خشک دیواره و ۱۰٪ وزن خشک کل سلول را به خود اختصاص دهد. اصطلاح اسید تیکوئیک مشتعل بر تمامی دیواره غشا یا پلیمرهای کپسولی حاوی گلیسروفسفات یا ریبیتول فسفات است، که بار منفی دارند؛ اسیدهای تیکوئیک به طور مشابه تا حدودی مسئول بار منفی سطح سلول هستند. عمدتاً دو نوع اسید تیکوئیک بنام‌های اسید تیکوئیک دیواره (Wall teichoic acid, WTA) و اسید لیپوتیکوئیک (Lipoteichoic acid, LTA) وجود دارند. WTA و LTA توأم با پپتیدوگلیکان، شبکه یا ماتریکس پل آنیونی را به وجود می‌آورند که فراهم کننده‌ی عملکردهای مربوط به انعطاف‌پذیری، حفره‌دار بودن، قدرت الاستیسیته و خصوصیات الکترواستاتیک پوشش است، اگرچه همه باکتری‌های گرم مثبت WTA و LTA را ندارند. باکتری‌هایی که فاقد این پلیمرها هستند از نظر عملکردی فعالیت مشابهی دارند (به خصوص فعالیت الکترواستاتیکی) (۱۴). پتانسیل زتا یک اصطلاح علمی برای پتانسیل‌های الکتروکیتیک سیستم‌های کلئیدی است و از دیدگاه تئوری پتانسیل زتا، پتانسیل الکتریکی عرض یک غشای دو لایه است. در خصوص ذرات پراکنده در یک محلول هر چه میزان پتانسیل زتا بیشتر باشد نشان از پایداری بیشتر ذرات و عدم به هم چسبیدگی در بین ذرات دارد. پتانسیل زتا به طور عمده جهت تعیین کمیت مقادیر شارژ الکتریکی غشای دو لایه به کار گرفته می‌شود. هر چند علیرغم اعمال دقت فراوان در کیفیت کار انجام شده پتانسیل زتا دقیقاً مساوی با پتانسیل الکتریکی سطحی در غشای دو لایه نیست، با این وجود پتانسیل زتا تنها راه موجود برای تعیین ویژگی‌های غشاهای دو لایه است.

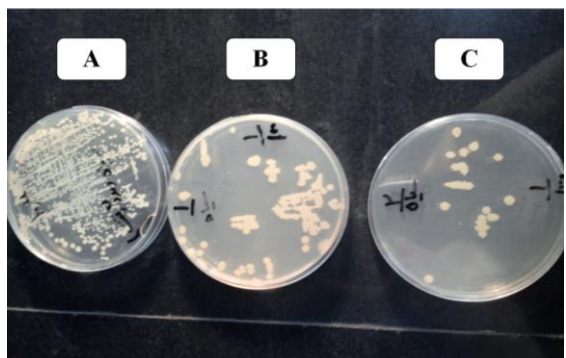
شرایط فوق در سه نوبت مجزا تا مدت ۲۴ ساعت حفظ شد تا امکان جذب باکتری‌ها توسط الکترودها فراهم آید و تعداد باکتری‌های رشد یافته از سه نوبت آزمایش انجام شده محاسبه گردید. از محل نزدیک الکتروود مثبت، قسمت وسط تانک و از محل نزدیک الکتروود منفی نمونه‌برداری انجام شد. برای محاسبه‌ی تعداد باکتری در نواحی مختلف ذکر شده ۱۰ میکرولیتر از محیط حاوی رشد باکتری برداشته شد و بعد از رقیق‌سازی در پلیت‌های مختلف کشت شده و در شرایط  $37^{\circ}\text{C}$  انکوبه گردید تا با شمارش کلنی‌های رشد یافته تعداد باکتری‌های موجود در آنها شمارش گردد (تصاویر ۲-۴). پس از انجام آزمایش، شمارش کلنی‌ها از سه ناحیه‌ی نزدیک الکتروود مثبت، وسط تانک و نزدیک الکتروود منفی در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲: رشد باکتری *S. aureus* در نزدیکی الکتروود منفی با نمونه‌برداری در رقت‌های ۱۰ میکرولیتر (پلیت A)، ۱ میکرولیتر (پلیت B) و ۰/۱ میکرولیتر (پلیت C).



شکل ۳: رشد باکتری *S. aureus* از وسط تانک با نمونه‌برداری در رقت‌های ۱۰ میکرولیتر (پلیت A)، ۱ میکرولیتر (پلیت B) و ۰/۱ میکرولیتر (پلیت C).



شکل ۴: رشد باکتری *S. aureus* در نزدیکی الکتروود مثبت با نمونه‌برداری در رقت‌های ۱۰ میکرولیتر (پلیت A)، ۱ میکرولیتر (پلیت B) و ۰/۱ میکرولیتر (پلیت C).

الکتریکی در داخل آن انتخاب شد. در دو طرف این ظرف با قرار دادن الکترودهایی فلزی به رنگ قرمز (به نشانه الکتروود مثبت) و رنگ سیاه (به نشانه الکتروود منفی) شرایط جهت ایجاد یک میدان الکتریکی در داخل ظرف فراهم آمد. تانک آماده شده در دمای  $121^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد و  $1/5$  پوند فشار به مدت ۱۵ دقیقه استریل گردید و سپس مورد استفاده قرار گرفت. سوپه‌ی باکتری استافیلوکوکوس اورئوس (ATCC 29213) جهت آزمایش استفاده شد به نحوی که غلظت معادل نیم مک فارلند از این باکتری در سرم فیزیولوژی آماده گردید و ۱ میلی‌لیتر از آن به ظرف حاوی محیط کشت مایع تزریق گردید. جهت پخش یکسان باکتری در محیط کشت، پس از تلقیح باکتری با لوپ استریل محیط کشت کاملاً به هم زده شد تا از پخش کامل باکتری در کل محیط اطمینان حاصل شود. دو الکتروود قرمز و مشکی به ترتیب به سیم‌های رابط پایانه مثبت و منفی ترانسفورماتور متصل شد تا تحت تأثیر میدان الکتریکی ۲ ولت قرار گرفت. نکته مهم در مورد میدان‌های الکتریکی و الکترودها این است که همواره در الکتروود منفی که الکتروود الکترون دهنده می‌باشد، تجمع الکترون وجود دارد که موجب ایجاد میدانی با بار الکتریکی منفی می‌شود که با بار الکتریکی سطحی میکروارگانیزم‌ها هم نام می‌باشد؛ از طرفی الکتروود مثبت یک الکتروود الکترون خواه بوده و همین امر موجب ایجاد میدانی در اطراف الکترودها با جهت مثبت به منفی می‌شود و هر ذره که دارای بار الکتریکی منفی باشد در اثر این میدان از الکتروود منفی دور و به الکتروود مثبت نزدیک‌تر خواهد شد.

### یافته‌ها

پس از ۲۴ ساعت از شروع آزمایش که تانک در میدان الکتریکی قرار گرفت، کدورت محیط کشت در سمت الکتروود مثبت بیشتر بود، روند کاهش شفافیت محیط از الکتروود منفی (راست) به سمت الکتروود مثبت (چپ) و تجمع توده خاکستری اطراف الکتروود مثبت در تصویر ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: بیست و چهار ساعت پس از تأثیر میدان الکتریکی به تانک محتوی محیط کشت مایع محتوی باکتری استافیلوکوکوس اورئوس تجمع باکتری‌ها در نزدیکی الکتروود مثبت (چپ).

جدول ۱: تعداد باکتری استافیلوکوکوس اورئوس (ATCC 29213) رشد یافته در نواحی سه گانه آزمایش (نزدیک الکترود مثبت، وسط تانک و نزدیک الکترود منفی).

تعداد کلنی‌های رشد یافته در رقت‌های	تعداد کلنی‌های رشد یافته در رقت‌های	تعداد کلنی‌های رشد یافته در رقت‌های	ناحیه آزمایشی در محیط کشت
۰/۰۰۱ میکرولیتر	۰/۰۱ میکرولیتر	۱۰ میکرولیتر	
۲۵	۸۹*	غیر قابل شمارش	نزدیک الکترود مثبت
۱۴	۶۲	غیر قابل شمارش	وسط تانک
۱۹	۳۶	غیر قابل شمارش	نزدیک الکترود منفی

\* اعداد نمایش داده شده در جدول میانگین بدست آمده از سه بار شمارش کلنی‌ها می‌باشد.

## بحث

بر اساس قانون بارهای الکتریکی در فیزیک بارهای همنام همدیگر را دفع و بارهای غیرهمنام همدیگر را جذب می‌کنند (۲۰). بر همین مبنا برای مثال در ساختار کپسول بومن در کلیه‌ها یکی از عوامل مهم در پیشگیری از فیلتراسیون پروتئین‌ها و عدم مشاهده پروتئین در ادرار، شارژ الکتریکی منفی موجود در غشای پودوسیت‌ها به عنوان سلول‌های در برگیرنده کپسول بومن است که وجود این شارژ منفی و از طرفی بار الکتریکی منفی در بسیاری از پروتئین‌ها، موجب جلوگیری از فیلتراسیون پروتئین‌ها می‌شود به نحوی که هرگونه اختلال در این شارژ منفی موجب اختلال در عملکرد کلیه‌ها و پروتئینوری می‌گردد (۲۱). در برخی مطالعات نشان داده شده است که کلیانس ذرات با بار الکترواستاتیک مثبت به دلیل بار الکتریکی منفی غشای پایه گولومولی نسبت به ذرات با بار الکترواستاتیک منفی بیشتر بوده است (۸). در برخی مطالعات اثبات شده است که با ایجاد تغییر در شارژ الکتریکی داروها تأثیرگذاری دارو تغییر می‌یابد (۲) که بیانگر اهمیت توجه به تأثیر بارهای الکتریکی در اثر متقابل سلول با سلول، سلول با ماده و نیز ماده با ماده در علوم زیستی است. باکتری‌ها و ویروس‌ها در pH فیزیولوژیک دارای بار الکتریکی منفی هستند (۱). این بار الکتریکی به دلیل وجود انواع فسفولیپیدهای غشایی، پپتیدوگلیکان، اسیدتیکوئیک (مشمول بر تمامی دیواره غشا یا پلیمرهای کپسولی حاوی گلیسروفوسفات یا ریبیتول فسفات)، اسید تیکورونیک و پروتئین‌ها است و همانگونه که از نتایج مطالعه حاضر برمی‌آید میدان‌های الکتریکی می‌توانند با تأثیرگذاری بر روی این شارژ الکتریکی سطحی میکروارگانیسم‌ها موجب جذب و دفع آنها در جهت میدان شوند. وجود میدان الکتریکی موجب شد تا باکتری استافیلوکوکوس اورئوس که مثل دیگر میکروارگانیسم‌ها دارای ساختار فسفولیپیدی و پروتئین و دیگر عوامل با شارژ الکتریکی منفی در سطح خود است (۱۴)، به سمت الکترود مثبت جذب شود و تعداد کلنی‌های رشد یافته در نمونه‌های برداشته شده از نواحی سه گانه بیانگر همین مسئله است. همانگونه که از شمارش تعداد کلنی‌ها مشخص می‌شود (جدول ۱)، تعداد باکتری‌ها از الکترود منفی به الکترود مثبت افزایش یافت که نشان از پراکندگی معنی‌دار و قابل تفسیر بر مبنای قانون بارهای الکتریکی می‌باشد، به نحوی که با نزدیک‌تر شدن به الکترود مثبت با تراکم بارهای مثبت تراکم باکتری‌ها نیز افزایش یافت. نیروی الکتریکی وارده از میدان، بر اساس قانون بارهای

همنام و ناهمنام می‌باشد. شدت نیرو در چنین مواقعی به عواملی هم چون شدت میدان الکتریکی، میزان شارژ الکتریکی سطحی ذره وابسته به رابطه  $F=qE$  است که در این رابطه  $F$  نیروی وارد بر ذره،  $q$  میزان بار الکتریکی سطحی ذره و  $E$  شدت میدان الکتریکی است (۲۰). با توجه به رابطه یاد شده شدت میدان الکتریکی به عنوان فاکتوری مهم در میزان نیروی وارد بر ذره می‌باشد و می‌توان با افزایش یا کاهش آن در فازهای غیرمایع یا فازهای مایع با ضریب یونیزاسیون متفاوت، میزان نیروی وارد بر ذره باردار موجود در محدوده میدان را افزایش و کاهش داد. نکته مهم در بررسی نتایج توجه به فاز و ویسکوزیته محیطی است که باکتری در آن جایجا می‌شود؛ مسلم است که ویسکوزیته محیطی کشت نیز در میزان جایجایی باکتری و نتایج حاصل از آزمایش تأثیر به سزایی دارد و هرچه میزان ویسکوزیته محیطی کمتر باشد امکان تأثیرگذاری میدان الکتریکی روی ذره باردار بیشتر می‌شود. تحقیق در زمینه تأثیرات بیولوژیک میدان‌های الکتریکی با توجه به ارتقای ابزار بررسی ریزسولولی می‌تواند امکان مناسبی برای استفاده از اطلاعات به دست آمده از این مطالعات را فراهم آورد. در مطالعه حاضر میدان الکتریکی در حالی موجب جذب و دفع و اعمال نیروی الکتریکی بر باکتری استافیلوکوکوس اورئوس می‌شد که در آن جایجایی باکتری به دلیل ویسکوزیته محیطی کشت تحت تأثیر قرار می‌گرفت، به عبارتی حذف عامل ویسکوزیته محیطی به عنوان عامل محدود کننده جایجایی باکتری، از قبیل طراحی آزمایش در فاز گاز، نتایج واضح‌تری از تأثیر میدان الکتریکی در جذب و دفع باکتری به دست می‌دهد که نیاز به مطالعه‌ی بیشتر در این زمینه را نشان می‌دهد.

## نتیجه‌گیری

تئوری مربوط به ارائه‌ی حفاظهایی با ساختار میدان‌های الکتریکی برای جلوگیری از نفوذ باکتری‌ها و دیگر میکروارگانیسم‌ها با توجه به یافته‌های حاصل از آزمایش‌های انجام شده، اثبات شد و نشان داد که می‌توان با استفاده از همین اصل یعنی ایجاد میدان‌های الکتریکی منفی برای جلوگیری از نفوذ میکروارگانیسم‌ها به نواحی مد نظر (از قبیل دستگاه تنفسی، اتاق بیماران تحت شیمی درمانی و ...) استفاده نمود و چنین امری گام مهمی در جهت پیشگیری از مواجهه با میکروارگانیسم‌های خطرناک خواهد بود.

## قدردانی

از مرکز تحقیقات هماتولوژی و انکولوژی دانشگاه علوم پزشکی تبریز که با حمایت مالی و از گروه آموزشی میکروبیولوژی دانشکده پزشکی تبریز به دلیل در اختیار قرار دادن مکان تحقیق و امکانات آزمایشگاهی تشکر و قدردانی می‌شود.  
**منابع مالی:** مرکز تحقیقات هماتولوژی و انکولوژی دانشگاه علوم پزشکی تبریز به شماره طرح ۲۴۳۷ مورخه ۱۳۸۹/۷/۲۹.

**منابع متقابل:** مؤلف اظهار می‌دارد که منافع متقابلی از تالیف یا انتشار این مقاله ندارد.

**مشارکت مؤلفان:** م ر ن، ح ا و همکاران طراحی، اجرا و تحلیل نتایج مطالعه را بر عهده داشتند. همچنین مقاله را تالیف نموده و نسخه نهایی آن را خوانده و تایید کرده‌اند.

## References

1. Evzen B, James H. Hurley. Structural basis for membrane targeting by the MVB12-associated  $\beta$ -prism domain of the human ESCRT-I MVB12 subunit. *PNAS* 2012; **109**(6): 1901-1906. doi: 10.1073/pnas.111759 7109
2. Ronghua L, Ling Xi, Danfeng L, Xiangyi Ma, Wanhua Yang, Yandong Xi, et al. Enhanced targeted anticancer effects and inhibition of tumor metastasis by the TMTP1 compound peptide TMTP1-TAT-NBD. *Journal of Controlled Release* 2012; **161**: 893-902. doi: 10.1016/j.jconrel.2012.05.002
3. Haeffner E W, Doenges KH, Buchholz J. Difference in cell surface 5'-nucleotidase activity, protein iodination and membrane properties between mouse lymphoma and rat adenocarcinoma cell variants with low and high-metastatic potential. *Int J Biochem* 1988; **20**(9): 929-935. doi: 10.1016/0020-711x(88)90177-2
4. Carter H B, Partin A W, Coffey D S. Prediction of metastatic potential in an animal model of prostate cancer: flow cytometry quantification of cell charge. *J Urol* 1989; **142**: 1338-1341. doi: 10.1016/s0022-5347(17)39093-6
5. Schaeffer B E, Schaeffer H E, Brick I. Cell electrophoresis of amphibian blastula and gastrula cells; the relationship of surface charge and morphogenetic movement. *Dev Biol* 1973; **34**: 66-76. doi: 10.1016/0012-1606(73)90339-4
6. Meirelles M N, Souto-Pradón T, De Souza W. Participation of cell surface anionic sites in the interaction between *Trypanosoma cruzi* and macrophages. *J Submicrosc Cytol* 1984; **16**(3): 533-545.
7. Montiero V G, Soares C P, D E Souza W. Host cell surface sialic acid residues are involved on the process of penetration of *Toxoplasma gondii* into mammalian cells. *FEMS Microbiol Lett* 1998; **164**: 323-327. doi: 10.1016/s0378-1097(98)00229-8
8. Donald E, Mager V, Chao Xu. Physiologically Based Pharmacokinetic Model for Composite Nanodevices: Effect of Charge and Size on In Vivo Disposition. *Pharm Res* 2012; **29**: 2534-2542. doi: 10.1007/s11095-012-0784-7
9. Zasloff M, Adams P, Beckerman B, Campbell D A, Ziying H, Luijtenc E. Squalamine as a broad-spectrum systemic antiviral agent with therapeutic potential. *PNAS* 2011; **108**(38): 15979-15983. doi: 10.1073/pnas.1108558 108
10. Burry R W, Wood J G. Contributions of lipids and proteins to the surface charge of membranes: An electron microscopy study with cationized and anionized ferritin. *J Cell Biol* 1979; **82**(3): 726-741. doi: 10.1083/jcb.82.3.726
11. Snyder E L, Saenz Ch C, Denicourt C, Meade B R, Cui Xi Sh, Kaplan I M, et al. Enhanced targeting and killing of tumor cells expressing the CXCR4 chemokine receptor 4 by transducible anticancer peptides. *Cancer Res* 2005; **65**(23): 10646-10650. doi: 10.1158/0008-5472
12. Seaman GVP, Uhlenbruck G. The surface structure of erythrocytes from some animal sources. *Arch Biochem Biophys* 1963; **100**: 493-502. doi: 10.1016/0003-9861(63) 90117-6
13. Gasic G J, Berwick L, Sorrentino M. Positive and negative colloidal iron as cell surface electron stains. *Lab Invest* 1968; **18**: 63-71.
14. Jawetz A, Adelberg M. Medical Microbiology. 25<sup>th</sup> ed. New York, Mac Graw Hill, 2010; PP: 21-30.
15. Löbbus M, Sonnfeld J, van Leeuwen H P, Vogelsberger W, Lyklema J. An Improved Method for Calculating Zeta-Potentials from Measurements of the Electro kinetic Sonic Amplitude. *J Colloid Interface Sci* 2000; **229**(1): 174-183. doi: 10.1006/jcis.2000.6980
16. Ross S, Morrison E D. *Colloidal Systems and Interfaces*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, John Wiley Sons, 2008; PP: 122-143.
17. Qian N, Sejnowski T J. Predicting the secondary structure of globular proteins using neural network models. *J Mol Biol* 1988; **202**(4): 865-884. doi: 10.1016/0022-2836(88) 90564-5
18. Kerker M. *Electromagnetic Scattering Proceedings*. 5<sup>th</sup> ed. New York, Macmillan, 1999; PP: 122-131.
19. Bozek K, Nakayama E E, Kono K, Shioda T. Electrostatic potential of human immunodeficiency virus type2 and rhesus macaque simian immunodeficiency virus capsid proteins. *Frontiers in Microbiology* 2012; **3**: 206. doi: 10.3389/fmicb.2012.00206
20. Tomas L. Floyd. Principles of Electric Circuits. 5<sup>th</sup> ed. New York, Thieme, 2009; PP: 502-543.
21. Longo F, Kasper H, Jameson L. *Harrison's principles of Internal Medicine*. 18<sup>th</sup> ed. New York, Mac Graw Hill, 2012; PP: 2279-2286.