



Research Article

Evaluation of the Effects of Alternating Magnetic Fields on the Growth of *Escherichia coli* and *Staphylococcus Aureus* Bacteria

Mohamad Reza Bayatiani¹, Fatemeh Seif^{1*} , Mohamad Arjomandzadegan², Mona Moghadasi², Arash Parvin²

¹ Medical Physics and Radiotherapy Department, Arak University of Medical Sciences and Khansari Hospital, Arak, Iran

² Infectious Diseases Research Center and Department of Microbiology and Immunology, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran

* **Corresponding author:** Fatemeh Seif, Medical Physics and Radiotherapy Department, Arak University of Medical Sciences and Khansari Hospital, Arak, Iran. Email: fseif@arakmu.ac.ir

DOI: [10.61882/jams.28.4.268](https://doi.org/10.61882/jams.28.4.268)

How to Cite this Article:

Bayatiani MR, Seif F, Arjomandzadegan M, Moghadasi M, Parvin A. Evaluation of the Effects of Alternating Magnetic Fields on the Growth of *Escherichia coli* and *Staphylococcus Aureus* Bacteria. *J Arak Uni Med Sci.* 2025;28(4): 268-74. DOI: [10.61882/jams.28.4.268](https://doi.org/10.61882/jams.28.4.268)

Received: 11.02.2025

Accepted: 01.09.2025

Keywords:

Alternating magnetic field;
bacterial growth;
Escherichia coli;
Staphylococcus aureus

© 2024 Arak University of Medical Sciences

Abstract

Introduction: In today's world, with the expansion of electronic technologies and equipment generating electromagnetic fields, humans and other living organisms are continuously exposed to these fields. This exposure can have significant biological effects on the growth and function of living organisms. This study aimed to evaluate the effects of alternating magnetic fields with different intensities and frequencies on the growth of *Escherichia coli* (*E. coli*), a Gram-negative bacterium, and *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), a Gram-positive bacterium.

Methods: This study investigated the effects of alternating magnetic fields with intensities of 1 and 2 millitesla and frequencies of 50, 75, 100, and 150 Hz on the growth of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. The standard plate counting technique was used for this purpose. Samples were incubated at 37°C for 24 hours, and the number of colonies was counted as colony-forming units per milliliter (CFU/ml).

Results: The results showed that the number of *Escherichia coli* colonies significantly increased under the influence of magnetic fields compared to the control group ($P < 0.05$). In contrast, the number of *Staphylococcus aureus* colonies significantly decreased after exposure to the magnetic field ($P < 0.05$).

Conclusions: The results of this study indicate that alternating magnetic fields can have different effects on the growth of various bacteria. According to these findings, a decrease in the number of colonies was observed in *Staphylococcus aureus* due to the magnetic field, while an increase in the number of colonies was observed in *Escherichia coli*. These findings could be used in the development of new methods for controlling bacterial growth and in biotechnological applications.

ارزیابی اثرات میدان‌های مغناطیسی متناوب بر رشد باکتری‌های اشریشیا کلی و استافیلوکوکوس اورئوس

محمدرضا بیاتیانی^۱، فاطمه سیف^{۱*} , محمد ارجمندزادگان^۲، مونا مقدسی^۲، آرش پروین^۲

^۱ گروه فیزیک پزشکی و پرتودرمانی، دانشگاه علوم پزشکی اراک و بیمارستان خوانساری، اراک، ایران

^۲ مرکز تحقیقات بیماری‌های عفونی و گروه میکروبیولوژی و ایمونولوژی، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

* نویسنده مسئول: فاطمه سیف، گروه فیزیک پزشکی و پرتودرمانی، دانشگاه علوم پزشکی اراک و بیمارستان خوانساری، اراک، ایران.

ایمیل: fseif@arakmu.ac.ir

DOI: 10.61882/jams.28.4.268

چکیده	تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳
مقدمه: در دنیای امروز، با گسترش فناوری‌های الکترونیکی و تجهیزات تولیدکننده میدان‌های الکترومغناطیسی، انسان‌ها و سایر موجودات زنده به‌طور مداوم در معرض این میدان‌ها قرار دارند. این مواجهه می‌تواند تأثیرات بیولوژیکی قابل‌توجهی بر رشد و عملکرد موجودات زنده داشته باشد. این پژوهش به ارزیابی تأثیر میدان‌های مغناطیسی متناوب با شدت‌ها و فرکانس‌های مختلف بر میزان رشد باکتری‌های اشریشیا کلی (<i>Escherichia coli</i>) به عنوان یک باکتری گرم منفی و استافیلوکوکوس اورئوس (<i>Staphylococcus aureus</i>) به عنوان یک باکتری گرم مثبت، پرداخته است.	تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰
روش کار: این مطالعه، اثر میدان‌های مغناطیسی متناوب با شدت‌های ۱ و ۲ میلی‌تسلا و فرکانس‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ هرتز بر رشد باکتری‌های اشریشیا کلی و استافیلوکوکوس اورئوس مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، از تکنیک شمارش صفحات استاندارد استفاده شد. نمونه‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انکوبه شدند و تعداد کلونی‌ها به صورت واحدهای تشکیل‌دهنده کلونی (CFU/ml) شمارش شد.	واژگان کلیدی:
یافته‌ها: نتایج نشان داد که تعداد کلونی‌های اشریشیا کلی تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی به‌طور معنی‌داری بیشتر از گروه کنترل بود ($P < ۰/۰۵$). درمقابل، تعداد کلونی‌های استافیلوکوکوس اورئوس پس از مواجهه با میدان مغناطیسی کاهش معنی‌داری ($P < ۰/۰۵$) را نشان داد.	میدان مغناطیسی متناوب؛
نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که میدان‌های مغناطیسی متناوب می‌توانند تأثیرات متفاوتی بر رشد باکتری‌های مختلف داشته باشند. طبق این نتایج، کاهش در تعداد کلونی‌ها بر اثر اعمال میدان مغناطیسی در استافیلوکوکوس اورئوس مشاهده شد، در حالی که افزایش تعداد کلونی‌ها در اشریشیا کلی دیده شد. این یافته‌ها می‌توانند در توسعه روش‌های جدید برای کنترل رشد باکتری‌ها و کاربردهای بیوتکنولوژی مورد استفاده قرار گیرند.	رشد باکتری‌ها؛
	اشریشیا کلی؛
	استافیلوکوکوس اورئوس
	تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی اراک محفوظ است.

ارجاع: بیاتیانی محمدرضا، سیف فاطمه، ارجمندزادگان محمد، مقدسی مونا، پروین آرش. ارزیابی اثرات میدان‌های مغناطیسی متناوب بر رشد باکتری‌های اشریشیا کلی و استافیلوکوکوس اورئوس.

مجله دانشگاه علوم پزشکی اراک ۱۴۰۴؛ ۲۸ (۴): ۲۶۸-۲۷۴.

مقدمه

امروزه با پیشرفت‌های علمی و فناوری، اکثر مردم در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی ناشی از خطوط انتقال برق و تعداد زیادی از دستگاه‌های الکتریکی قرار دارند (۱، ۲). به‌ویژه در دو دهه اخیر، در جوامع علمی و اجتماعی نگرانی‌هایی در مورد آسیب‌های احتمالی ناشی از قرار گرفتن در معرض میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین (کمتر از ۳۰۰ هرتز) وجود داشته است. این نگرانی‌ها همچنین در زمینه اثرات میدان مغناطیسی بر عملکردهای زیرسلولی، سلولی و بافتی نیز مطرح هستند (۳-۶).

سیستم‌های زیستی پرداخته‌اند، اما به دلیل پیچیدگی این سیستم‌ها و فرایندها، توافق نهایی در مورد این اثرات حاصل نشده است. برای مثال، در حالی که برخی مطالعات اپیدمیولوژیک رابطه بین قرار گرفتن در معرض میدان‌های مغناطیسی و القای سرطان را تأیید می‌کنند (۷، ۸)، مطالعات دیگر در شرایط in-vivo و in-vitro این نتایج را رد می‌کنند (۹، ۱۰). به‌عنوان نمونه، برخی مطالعات نشان داده‌اند که میدان‌های الکترومغناطیسی در تولید استرس اکسیداتیو و رادیکال‌های آزاد و برهم زدن تعادل آنتی‌اکسیدان‌ها نقش دارند (۱۱). Suzuki و همکاران افزایش فرکانس میکرونوکلئوس در موش Balb/C را در نتیجه قرار گرفتن در

مطالعات متعددی به بررسی اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی بر

با فرکانس بسیار پایین به همراه FeCl_3 بر بقای سلول‌ها تأثیر نگذاشت، اما تغییرات مورفولوژیکی مشاهده شد (۲۴).

Segatore و همکاران، اثر میدان‌های الکترومغناطیسی با شدت ۲ میلی‌تسلا و فرکانس ۵۰ هرتز را بر رشد و حساسیت آنتی‌بیوتیکی اشیریشیا کلی و سودوموناس آئروجینوزا بررسی کردند. نتایج نشان داد که میدان الکترومغناطیسی به‌طور قابل توجهی نرخ رشد هر دو سویه باکتری را تغییر داد. در مدت ۶، ۴ و ۸ ساعت انکوباسیون، تعداد سلول‌ها کاهش قابل توجهی داشت، اما پس از ۲۴ ساعت، درصد سلول‌ها افزایش یافت. حساسیت به آنتی‌بیوتیک در هر دو باکتری تحت تأثیر قرار نگرفت (۲۰).

Masood، اثر شدت‌های مغناطیسی ۲ و ۴ میلی‌تسلا با فرکانس‌های ۲۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز و زمان‌های مواجهه ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعت را بر رشد باکتری‌های *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشیریشیا کلی* بررسی کرد. پس از مواجهه، تعلیق‌های سلولی به صفحات آگار مولر-هینتون تلقیح شدند. پاسخ‌های مشخص برای هر دو نمونه باکتری به شدت، فرکانس و زمان مواجهه بستگی داشت. کاهش آماری معنی‌داری در تعداد کلنی‌های تشکیل شده مشاهده شد که به‌ویژه در زمان‌های مواجهه طولانی‌تر برجسته بود (۲۵).

Fojt و همکاران، اثر میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس ۵ هرتز و شدت ۱۰ میلی‌تسلا را با زمان مواجهه کمتر از ۳۰ دقیقه بر *اشیریشیا کلی*، *لکریسیا آدکارپوکسیلاتا* و *استافیلوکوکوس اورئوس* بررسی کردند. نتایج نشان داد که برای تمام انواع باکتری، بقای سلولی با افزایش زمان مواجهه یا شدت میدان مغناطیسی کاهش یافت. بالاترین کاهش بقای سلولی و بیشترین تأثیر میدان مغناطیسی برای *اشیریشیا کلی* مشاهده شد، در حالی که کمترین تأثیر میدان مغناطیسی برای سویه *استافیلوکوکوس اورئوس* بود (۱۶).

تحقیقات دیگری نیز درباره اثر میدان‌های مغناطیسی بر باکتری‌ها انجام شده است (۲۶-۲۱).

با توجه به مطالعات پیشین، اثرات میدان‌های مغناطیسی بر رشد باکتری‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است، اما نتایج متناقض و ناهمگونی در این زمینه گزارش شده است (۲۴). این تناقضات احتمالاً ناشی از تفاوت در شرایط آزمایشی، نوع باکتری‌ها، شدت و فرکانس میدان‌های مغناطیسی و مدت زمان مواجهه است.

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر میدان‌های مغناطیسی متناوب با شدت‌ها و فرکانس‌های مختلف بر رشد دو گونه باکتریایی مهم، یعنی *اشیریشیا کلی* (گرم منفی) و *استافیلوکوکوس اورئوس* (گرم مثبت)، طراحی شده است. این پژوهش با استفاده از روش‌های استاندارد و شرایط کنترل‌شده، به دنبال ارائه داده‌های قابل اطمینان و مقایسه‌ای است که می‌تواند به رفع تناقضات موجود در مطالعات قبلی کمک کنند. علاوه بر این، این مطالعه به بررسی تفاوت‌های احتمالی در پاسخ باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی به میدان‌های مغناطیسی می‌پردازد، که می‌تواند به درک بهتر مکانیسم‌های بیولوژیکی تحت تأثیر این میدان‌ها منجر شود.

روش کار

باکتری‌ها

در این مطالعه، اثر میدان‌های الکترومغناطیسی متناوب با شدت‌های ۱ میلی‌تسلا و ۲ میلی‌تسلا و فرکانس‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ هرتز بر رشد

معرض میدان مغناطیسی ثابت گزارش کردند (۱۲).

Udroiu و همکاران افزایش فرکانس میکرونوکلیوس در خون نوزادان موش‌هایی را که والدینشان در دوران بارداری در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس پایین قرار داشتند، گزارش کردند (۱۳).

یکی از موضوعات مورد توجه در سال‌های اخیر، بررسی اثر میدان‌های الکترومغناطیسی و تابش‌های غیر یونیزان بر رشد انواع باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی و تغییرات بیولوژیکی آن‌ها بوده است. در این زمینه، برخی نتایج تأثیر کنترل‌کننده این میدان‌ها بر رشد باکتری‌ها را تأیید کرده‌اند (۱۴-۱۶)، در حالی که برخی دیگر اثرات معکوس را گزارش کرده‌اند (۱۷-۱۹). نتایج متناقض گزارش‌شده احتمالاً به این دلیل است که رشد، عملکرد، بقا و تغییرات مورفولوژیکی باکتری‌ها در میدان مغناطیسی می‌تواند تابعی از نوع باکتری، شدت میدان، فرکانس، نوع میدان مغناطیسی (ثابت یا متناوب)، مدت زمان قرار گرفتن در معرض میدان و سایر عوامل فیزیکی باشد (۲۰).

Brkovic و همکاران اثر میدان مغناطیسی چرخشی ۳۰ میلی‌تسلا با فرکانس ۵۰ هرتز را بر رشد و فعالیت متابولیکی سلول‌های باکتری‌های اشیریشیا کلی و استافیلوکوکوس اورئوس بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که میدان مغناطیسی چرخشی تأثیر افزایشی بر رشد و فعالیت متابولیکی سلولی این باکتری‌ها دارد. این اثر به‌ویژه در بازه زمانی ۳۰ تا ۱۵۰ دقیقه و برای کشت‌های استافیلوکوکوس اورئوس غالب بود. کاهش سریع و قابل توجهی در رشد نمونه‌های اشیریشیا کلی مشاهده شد. نتایج نشان داد که میدان مغناطیسی چرخشی ۳۰ میلی‌تسلا با فرکانس ۵۰ هرتز اثر تحریک‌کننده‌ای بر رشد و فعالیت متابولیکی هر دو نوع باکتری دارد (۲۱).

Masood و همکاران، اثر میدان‌های الکترومغناطیسی با فرکانس‌های بالا و پایین (۷۰۰ میلی‌گوس) را بر باکتری *اشیریشیا کلی* بررسی کردند. نمونه مورد بررسی به مدت شش ساعت در معرض میدان الکترومغناطیسی قرار گرفت، در حالی که نمونه کنترل جدا نگه داشته شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تعداد *اشیریشیا کلی* تحت تأثیر میدان با فرکانس بالا به‌طور قابل توجهی افزایش یافت، در حالی که در گروه فرکانس پایین کاهش قابل توجهی مشاهده شد. همچنین میدان‌های الکترومغناطیسی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی *اشیریشیا کلی* تأثیر منفی داشتند (۲۲).

Beretta و همکاران تغییرات مورفولوژیکی باکتری‌ها را پس از قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی با فرکانس ۵۰ هرتز و شدت ۱۰ میلی‌تسلا بررسی کردند. سویه‌های باکتریایی مورد بررسی شامل اشیریشیا کلی و پاراکوکوس دنیتریفیکانس بودند. کاهش بقای سویه‌های باکتری مختلف در نتیجه قرار گرفتن در معرض میدان مغناطیسی متناوب مشاهده شد. با این حال، هیچ تغییری در مورفولوژی باکتری‌ها پس از یک ساعت مواجهه با میدان مغناطیسی مشاهده نشد (۲۳).

Kohno و همکاران، اثر میدان مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین به همراه FeCl_3 را بر رشد و مورفولوژی باکتری‌ها ارزیابی کردند. میدان مغناطیسی به شکل سینوسی با فرکانس ۵۰ هرتز بود و در محور جفت سیم‌پیچ به‌طور یکنواخت اعمال شد. نمونه‌های *اشیریشیا کلی* با غلظت‌های مختلف FeCl_3 تحت تأثیر میدان مغناطیسی ۲ میلی‌تسلا به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. تعداد کلنی‌های زنده شمارش شد و برای بررسی مورفولوژی از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. میدان مغناطیسی

تولید شدند. این دستگاه شامل مدارهای الکترونیکی و سیم‌پیچ‌های هلمولتس بود (شکل ۱). با استفاده از جداول کالیبراسیون، ولتاژهای مناسب به سیم‌پیچ‌های هلمولتس اعمال شد تا میدان‌ها و فرکانس‌های موردنظر بین فضای دو سیم‌پیچ هلمولتس تولید شوند. طراحی سیم‌پیچ‌های هلمولتس به گونه‌ای بود که میدان نسبتاً یکنواختی در فضای آزمایش (بین دو سیم‌پیچ) تولید می‌شد. برای اطمینان از یکنواخت بودن میدان مغناطیسی، شدت میدان مغناطیسی با استفاده از گوس متر (GM2 آلفالاب، آمریکا) قبل از اعمال میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شد. مدار اصلی و سیم‌پیچ‌های هلمولتس مورد استفاده برای تولید میدان‌های مغناطیسی متناوب در این مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک با کد اخلاق (IR.ARAKMU.REC.1394.143) می‌باشد.

یافته‌ها

قابلیت بقا در اشیریشیالکی

نتایج مربوط به واحدهای تشکیل‌دهنده کلنی (CFU/mL) برای اشیریشیالکی در گروه‌های کنترل و آزمایشی تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی ۱ و ۲ میلی‌تسلا با فرکانس‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ هرتز در جدول ۱ خلاصه شده است. هر آزمایش سه بار تکرار شد و مقادیر به صورت میانگین $\pm$ انحراف معیار گزارش شده‌اند. نتایج نشان داد که تعداد کلنی‌های اشیریشیالکی در گروه‌های مواجهه‌شده با میدان‌های مغناطیسی به‌طور معنی‌داری بیشتر از تعداد کلنی‌های گروه کنترل بود ($P < 0.05$). این افزایش در تعداد کلنی‌ها در تمام فرکانس‌ها و شدت‌های میدان مغناطیسی مشاهده شد، که نشان‌دهنده تأثیر تحریک‌کننده میدان‌های مغناطیسی بر رشد این باکتری است.

قابلیت بقا در اشیریشیالکی

تعداد کلنی‌های باکتریایی (CFU/mL) برای استافیلوکوکوس اورئوس در گروه‌های کنترل و آزمایشی تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی ۱ و ۲ میلی‌تسلا با فرکانس‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ هرتز در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که تعداد کلنی‌های استافیلوکوکوس اورئوس در گروه‌های مواجهه‌شده با میدان‌های مغناطیسی به‌طور معنی‌داری کمتر از تعداد کلنی‌های گروه کنترل بود ($P < 0.05$). این کاهش در تعداد کلنی‌ها در برخی فرکانس‌ها و شدت‌های میدان مغناطیسی مشاهده شد.

باکتری‌های اشیریشیالکی (گرم منفی) و استافیلوکوکوس اورئوس (گرم مثبت) ارزیابی شد. برای هر سویه باکتری، دو گروه شامل گروه آزمایشی (قرار گرفته در معرض میدان مغناطیسی متناوب) و گروه کنترل (بدون مواجهه با میدان مغناطیسی) در نظر گرفته شد.

درمان‌های مواجهه

اثر مواجهه با میدان‌های مغناطیسی مختلف بر میزان رشد در سویه‌های آزمایشی بر اساس شمارش کلنی‌های زنده ارزیابی شد. برای هر باکتری دو گروه لوله آزمایش شامل گروه کنترل (بدون مواجهه با میدان مغناطیسی) و گروه آزمایشی به‌طور جداگانه تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی ۱ و ۲ میلی‌تسلا با فرکانس‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ هرتز به مدت ۱۰ ساعت قرار گرفتند. پس از مواجهه، تعداد سلول‌های زنده در گروه‌های آزمایشی و کنترل با استفاده از رقیق‌سازی سریالی و شمارش روی آگار مواد مغذی (مطابق روش‌های توضیح داده‌شده در مرجع‌های ۲۴ و ۳۲) تعیین شد.

آزمایش‌های قابلیت بقا

مقادیر حداقل غلظت مهارکننده (MIC) با استفاده از روش متداول تعیین شدند. یک سوسپانسیون با غلظت 5×10^5 واحد تشکیل‌دهنده کلنی در میلی‌لیتر (CFU/mL) طبق دستورالعمل‌های CLSI استفاده شد. برای هر درمان، سه رقت در سه پتری دیش تهیه شد. رقت‌های گروه کنترل و گروه‌های آزمایشی شده روی محیط کشت آگار مواد مغذی (مرک، آلمان) با روش پخش روی صفحات آگار ریخته شدند و به مدت شب در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انکوبه شدند. رشد سلولی برای هر گروه با استفاده از رقت‌دهی ده‌برابری سوسپانسیون‌های باکتریایی بررسی شد و از CFU برای کمی‌سازی نتایج استفاده شد. نتایج به‌صورت مقادیر رقت گزارش شد که در آن‌ها هیچ رشد قابل‌مشاهده‌ای مشاهده نشد (مقادیر MIC). اثر میدان مغناطیسی متناوب بر اساس تغییرات CFU/ml به‌عنوان معیاری برای باکتری‌های زنده در شدت‌ها و فرکانس‌های مختلف میدان‌ها ارزیابی شد. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد و اثر مواجهه با میدان مغناطیسی با مقایسه شمارش‌های باکتریایی زنده تعیین شد (۲۷، ۲۸).

مواجهه با میدان مغناطیسی متناوب

میدان‌های مغناطیسی متناوب اعمال‌شده شامل میدان‌های ۱ و ۲ میلی‌تسلا با فرکانس‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ هرتز بودند. این میدان‌ها با استفاده از دستگاهی که به‌طور خاص برای این مطالعه طراحی شده بود،



شکل ۱. مدار اصلی (الف) و سیم‌پیچ هلمولتس (ب) که برای تولید میدان‌های مغناطیسی متناوب در این مطالعه استفاده شدند.

جدول ۱. تعداد کلنی‌های باکتری/شریشیالکی (CFU/mL) در گروه‌های کنترل و آزمایشی برای میدان‌های مغناطیسی ۱ و ۲ میلی‌تسلا با فرکانس‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ هرتز.

فرکانس	رئیق‌سازی ۷	رئیق‌سازی ۶	رئیق‌سازی ۵	رئیق‌سازی ۴	رئیق‌سازی ۳	فرکانس	رئیق‌سازی ۷	رئیق‌سازی ۶	رئیق‌سازی ۵	رئیق‌سازی ۴
-	۲۷	۴۸۰	۷۲۰	۵۰ Hz	۲۰	-	۲۷	۴۸۰	۷۲۰	۵۰ Hz
گروه کنترل	۲	۵۲۰	۶۰۵	۷۵ Hz	۱۸	گروه تحت تابش	۲	۵۲۰	۶۰۵	۷۵ Hz
(0 mT)	۳۵	۲۱۰	۴۵۰	۱۰۰ Hz	۱۸	میدان	۳۵	۲۱۰	۴۵۰	۱۰۰ Hz
-	۳۵	۱۰۷	۷۲۰	۱۵۰ Hz	۴۷	(1 mT)	۳۵	۱۰۷	۷۲۰	۱۵۰ Hz
-	۳۸۵	۵۶۰	۸۰۰	۵۰ Hz	۱۸	-	۳۸۵	۵۶۰	۸۰۰	۵۰ Hz
گروه کنترل	۹۰	۶۱۶	۱۵۵۲	۷۵ Hz	۱۹	گروه تحت تابش	۹۰	۶۱۶	۱۵۵۲	۷۵ Hz
(0 mT)	۸۵	۳۴۰	۱۰۷۲	۱۰۰ Hz	۱۴	میدان	۸۵	۳۴۰	۱۰۷۲	۱۰۰ Hz
-	۲۰۰	۸۷۲	۱۳۰۴	۱۵۰ Hz	۱۸	(2 mT)	۲۰۰	۸۷۲	۱۳۰۴	۱۵۰ Hz

جدول ۲. تعداد کلنی‌های باکتری/استافیلوکوکوس اورئوس (CFU/mL) در گروه‌های کنترل و آزمایشی برای میدان‌های مغناطیسی ۱ و ۲ میلی‌تسلا با فرکانس‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ هرتز.

فرکانس	رئیق‌سازی ۷	رئیق‌سازی ۶	رئیق‌سازی ۵	رئیق‌سازی ۴	رئیق‌سازی ۳	فرکانس	رئیق‌سازی ۷	رئیق‌سازی ۶	رئیق‌سازی ۵	رئیق‌سازی ۴
-	۲۴	۱۱۸	۱۳۴۰	۵۰ Hz	۲	-	۲۴	۱۱۸	۱۳۴۰	۵۰ Hz
گروه کنترل	۱۰	۱۱۴	۸۰۰	۷۵ Hz	۱۰	گروه تحت تابش	۱۰	۱۱۴	۸۰۰	۷۵ Hz
(0 mT)	۱۲	۲۵۴	۹۲۰	۱۰۰ Hz	۳۴	میدان	۱۲	۲۵۴	۹۲۰	۱۰۰ Hz
-	۱۸	۱۳۷	۸۵۶	۱۵۰ Hz	۸	(1 mT)	۱۸	۱۳۷	۸۵۶	۱۵۰ Hz
-	۱۶	۱۰۲	۶۶۸	۵۰ Hz	۱۳	-	۱۶	۱۰۲	۶۶۸	۵۰ Hz
گروه کنترل	۸	۴۳	۵۹۲	۷۵ Hz	۱۰	گروه تحت تابش	۸	۴۳	۵۹۲	۷۵ Hz
(0 mT)	۵	۸۲	۸۳۲	۱۰۰ Hz	۴	میدان	۵	۸۲	۸۳۲	۱۰۰ Hz
-	۱۳	۱۰۵	۷۲۰	۱۵۰ Hz	۱۴	(2 mT)	۱۳	۱۰۵	۷۲۰	۱۵۰ Hz

بحث

اثر میدان‌های مغناطیسی متناوب ۱ و ۲ میلی‌تسلا با فرکانس‌های ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ هرتز بر روی باکتری‌های/شریشیالکی (گرم مثبت) و استافیلوکوکوس اورئوس (گرم منفی) ارزیابی شد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین کاهش واحدهای تشکیل کلنی (اثر منفی میدان مغناطیسی) بر رشد باکتری‌ها در استافیلوکوکوس اورئوس گرم مثبت مشاهده شد. از طرف دیگر، کوچکترین اثر میدان مغناطیسی (افزایش واحدهای تشکیل کلنی) برای/شریشیالکی گرم منفی مشاهده شد. بر اساس نتایج جدول ۱ برای باکتری/شریشیالکی با استفاده از میدان مغناطیسی ۱ میلی‌تسلا، در رت‌های ۵ و ۶ در گروه کنترل (گروه بدون میدان مغناطیسی) تعداد کلنی‌ها کمتر از گروه آزمایشی (گروه با میدان مغناطیسی) بود.

با این حال، می‌توان از داده‌ها نتیجه گرفت که استفاده از میدان مغناطیسی متناوب ۱ میلی‌تسلا یا ۲ میلی‌تسلا موجب افزایش رشد/شریشیالکی می‌شود. کاهش CFU برای استافیلوکوکوس اورئوس مشاهده شد. این باکتری به میدان مغناطیسی حساس بود. نظریه‌های اصلی که تلاش می‌کنند اثرات میدان‌های مغناطیسی بر سیستم‌های بیولوژیکی را توضیح دهند، اثرات آن‌ها بر تشکیل رادیکال‌های آزاد و نفوذپذیری کانال‌های یونی در غشای سیتوپلاسمی و به تبع آن اختلال در حمل و نقل یون‌ها به درون سلول‌ها است (۲۹).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که روند رشد باکتری‌های/شریشیالکی و

استافیلوکوکوس اورئوس متفاوت است. این اثر بستگی به فرکانس اعمال‌شده ندارد. این ممکن است به دلیل تفاوت‌های موجود در غشای سلولی این دو سویه باکتریایی باشد. باکتری‌های گرم مثبت غشای ضخیم‌تری دارند و بنابراین در برابر فشارهای مکانیکی و عوامل دیگر مقاوم‌تر هستند. از سوی دیگر، باکتری‌های گرم منفی غشای سلولی نازک‌تری دارند اما دارای دو لایه سیتوپلاسمی هستند که کنترل بیشتری بر ورود و خروج مواد مختلف به باکتری دارند. این فرضیه‌ها وجود دارد که میدان‌های الکترومغناطیسی بر نفوذپذیری کانال‌های یونی در غشای سیتوپلاسمی سلول‌ها اثر دارند. این کانال‌ها ورود و خروج مواد به داخل سلول‌ها و باکتری‌ها را کنترل می‌کنند و نقش مهمی در فعالیت‌های حیاتی آن‌ها دارند. اثرات احتمالی دیگر می‌تواند تشکیل رادیکال‌های آزاد به دلیل اعمال میدان‌های مغناطیسی و اثرات آن‌ها بر غشای سلولی باشد.

در مطالعات قبلی مانند مطالعه‌ی Inhan-Garip و همکاران (۱۴)، Strašák و همکاران (۱۵) و Fojt و همکاران (۱۶) گزارش شده است که رشد باکتری‌ها با اعمال میدان‌های مغناطیسی با فرکانس‌های بسیار پایین و فرکانس‌های پایین کاهش یافته است.

در مطالعات دیگر، Justo و همکاران (۱۸) و Gaafar و همکاران (۱۹) گزارش کرده‌اند که اعمال فرکانس‌های بسیار پایین بر/شریشیالکی موجب افزایش رشد آن شده است. نتایج مطالعه حاضر با نتایج گزارش شده توسط Justo و همکاران (۱۸) و Gaafar و همکاران (۱۹) هم‌راستا بود، زیرا در این مطالعه، رشد/شریشیالکی و استافیلوکوکوس اورئوس در

بر رشد باکتری‌های گرم مثبت دارد که نشان‌دهنده پاسخ تطبیقی پیشرفته است. مطالعات بیشتر و دقیق‌تر در این زمینه پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک با کد ۲۲۹۵ می‌باشد.

سهم نویسندگان

تمامی نویسندگان در تمامی قسمت‌های مقاله نقش داشتند.

تضاد منافع

بدین‌وسیله نویسندگان عدم تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

References

- Liao C-T, Wang C-C, Chen W-C, Tsai H-C, Tang SG, Yeh J-Y, et al. Radiation-induced hearing impairment in patients treated for malignant parotid tumor. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 1999;108(12):1159-64. **pmid:** 10605921 **doi:** 10.1177/000348949910801211
- Singh IP, Slevin NJ. Late audiovestibular consequences of radical radiotherapy to the parotid. *Clin Oncol (R Coll Radiol)*. 1991;3(4):217-9. **pmid:** 1657112 **doi:** 10.1016/s0936-6555(05)80743-5
- Di Lazzaro V, Capone F, Apollonio F, Borea PA, Cadossi R, Fassina L, et al. A consensus panel review of central nervous system effects of the exposure to low-intensity extremely low-frequency magnetic fields. *Brain Stimul*. 2013;6(4):469-76. **pmid:** 23428499 **doi:** 10.1016/j.brs.2013.01.004
- Morabito C, Guarnieri S, Fanò G, Mariggio MA. Effects of acute and chronic low frequency electromagnetic field exposure on PC12 cells during neuronal differentiation. *Cell Physiol Biochem*. 2011;26(6):947-58. **pmid:** 21220925 **doi:** 10.1159/000324003
- Protection ICoN-IR. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys*. 2010;99(6):818-36. **pmid:** 21068601 **doi:** 10.1097/HP.0b013e3181f06c86
- Focke F, Schuermann D, Kuster N, Schär P. DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure. *Mutat Res*. 2010;683(1-2):74-83. **pmid:** 19896957 **doi:** 10.1016/j.mrfmmm.2009.10.012
- Verkasalo PK, Pukkala E, Kaprio J, Heikkilä KV, Koskenvuo M. Magnetic fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish adults: nationwide cohort study. *BMJ*. 1996;313(7064):1047-51. **pmid:** 8898595 **doi:** 10.1136/bmj.313.7064.1047
- Feychting M. Health effects of static magnetic fields—a review of the epidemiological evidence. *Prog Biophys Mol Biol*. 2005;87(2):241-6. **pmid:** 15556662 **doi:** 10.1016/j.pbiomolbio.2004.08.007
- Verschaeve L. Evaluations of international expert group reports on the biological effects of radiofrequency fields. In: *Wireless Communications and Networks-Recent Advances*. 2012:523-46. **doi:** 10.5772/37762
- Lagroye I, Percherancier Y, Juutilainen J, De Gannes FP, Veyret B. ELF magnetic fields: animal studies, mechanisms of action. *Prog Biophys Mol Biol*. 2011;107(3):369-73. **pmid:** 21914452 **doi:** 10.1016/j.pbiomolbio.2011.09.003
- Sahebjamei H, Abdolmaleki P, Ghanati F. Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco cells. *Bioelectromagnetics*. 2007;28(1):42-7. **pmid:** 16988990 **doi:** 10.1002/bem.20262
- Suzuki Y, Ikehata M, Nakamura K, Nishioka M, Asanuma K, Koana T, et al. Induction of micronuclei in mice exposed to static magnetic fields. *Mutagenesis*. 2001;16(6):499-501. **pmid:** 11682641 **doi:** 10.1093/mutage/16.6.499
- Udroiu I, Cristaldi M, Ieradi L, Bedini A, Giuliani L, Tanzarella C. Clastogenicity and aneuploidy in newborn and adult mice exposed to 50 Hz magnetic fields. *Int J Radiat Biol*. 2006;82(8):561-7. **pmid:** 16966183 **doi:** 10.1080/09553000600876660
- Inhan-Garip A, Aksu B, Akan Z, Akakin D, Ozaydin AN, San T. Effect of extremely low frequency electromagnetic fields on growth rate and morphology of bacteria. *Int J Radiat Biol*. 2011;87(12):1155-61. **pmid:** 21401315 **doi:** 10.3109/09553002.2011.560992
- Strašák L, Vetterl V, Šmarda J. Effects of low-frequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli*. *Bioelectrochemistry*. 2002;55(1):161-4. **pmid:** 11786365 **doi:** 10.1016/s1567-5394(01)00152-9
- Fojt L, Strašák L, Vetterl V, Šmarda J. Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus*. *Bioelectrochemistry*. 2004;63(1-2):337-41. **doi:** 10.1016/j.bioelechem.2003.11.010
- Cellini L, Grande R, Di Campli E, Di Bartolomeo S, Di Giulio M, Robuffo I, et al. Bacterial response to the exposure of 50 Hz electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*. 2008;29(4):302-11. **pmid:** 18175330 **doi:** 10.1002/bem.20391
- Justo OR, Perez VH, Alvarez DC, Alegre RM. Growth of *Escherichia coli* under extremely low-frequency electromagnetic fields. *Appl Biochem Biotechnol*. 2006;134(2):155-63. **pmid:** 16943636 **doi:** 10.1385/abab.134.2.155
- Gaafar E, Hanafy MS, Tohamy E, Ibrahim MH. Stimulation and control of *E. coli* by using an extremely low frequency magnetic field. *Romani J Biophys*. 2006;16(4):283-96.
- Segatore B, Setacci D, Bennato F, Cardigno R, Amicosante G, Iorio R. Evaluations of the effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on growth and antibiotic susceptibility of *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Int J Microbiol*. 2012;2012:587293. **pmid:** 22577384 **doi:** 10.1155/2012/587293
- Brkovic S, Postic S, Ilic D. Influence of the magnetic field on microorganisms in the oral cavity. *J Appl Oral Sci*.

- 2015;23(2):179-86. **pmid:** 26018310 **doi:** 10.1590/1678-775720140243
22. Masood S, Saleem I, Smith D, Chu W-K. Growth pattern of magnetic field-treated bacteria. *Curr Microbiol.* 2020;77(2):194-203. **pmid:** 31776652 **doi:** 10.1007/s00284-019-01820-7
23. Beretta G, Mastorgio AF, Pedrali L, Saponaro S, Sezenna E. The effects of electric, magnetic and electromagnetic fields on microorganisms in the perspective of bioremediation. *Rev Environ Sci Biotechnol.* 2019;18:29-75. **doi:** 10.1007/s11157-018-09491-9
24. Kohno M, Yamazaki M, Kimura I I, Wada M. Effect of static magnetic fields on bacteria: *Streptococcus mutans*, *Staphylococcus aureus*, and *Escherichia coli*. *Pathophysiology.* 2000;7(2):143-8. **pmid:** 10927195 **doi:** 10.1016/s0928-4680(00)00042-0
25. Masood S. Effect of weak magnetic field on bacterial growth. *Biophysical Reviews and Letters.* 2017;12(04):177-86. **doi:** 10.1142/S1793048017500102
26. Woroszyło M, Ciecholewska-Juśko D, Junka A, Pruss A, Kwiatkowski P, Wardach M, et al. The impact of intraspecies variability on growth rate and cellular metabolic activity of bacteria exposed to rotating magnetic field. *Pathogens.* 2021;10(11):1427. **pmid:** 34832583 **doi:** 10.3390/pathogens10111427.
27. Al-Khaza'leh KA, Al-fawwaz AT. The effect of static magnetic field on *E. coli*, *S. aureus* and *B. subtilis* viability. *J Nat Sci Res.* 2015;5:153-7.
28. Esmekaya MA, Acar SI, Kiran F, Canseven AG, Osmanagaoglu O, Seyhan N. Effects of ELF Magnetic Field in Combination with Iron (III) Chloride (FeCl₃) on Cellular Growth and Surface Morphology of *Escherichia coli* (*E. coli*). *Appl Biochem Biotechnol.* 2013;169(8):2341-9. **pmid:** 23446980 **doi:** 10.1007/s12010-013-0146-x.
29. Galvanovskis J, Sandblom J. Periodic forcing of intracellular calcium oscillators theoretical studies of the effects of low frequency fields on the magnitude of oscillations. *Bioelectrochemistry and bioenergetics.* 1998;46(2):161-74. **doi:** 10.1016/S0302-4598(98)00143-3
30. Piatti E, Albertini MC, Baffone W, Fraternale D, Citterio B, Piacentini MP, et al. Antibacterial effect of a magnetic field on *Serratia marcescens* and related virulence to *Hordeum vulgare* and *Rubus fruticosus* callus cells. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol.* 2002;132(2):359-65. **pmid:** 12031461 **doi:** 10.1016/s1096-4959(02)00065-9.