

تأثیر زمان و شدت امواج مغناطیسی روی فازهای رشدی باکتری *Escherichia coli*

فرهاد نامداری^{۱*}، سید مسلم موسویان^۲، محمد بخشی پور^۳

۱- دانشیار، گروه مهندسی برق-قدرت، دانشکده فنی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- دانشجو دکتری، بیماری‌شناسی گیاهی، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- دانشجو دکتری، گروه مهندسی برق-قدرت، دانشکده فنی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

یافته / دوره بیست و یکم / شماره ۱ / بهار ۹۸ / مسلسل ۷۹

چکیده

دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۸ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۱/۱۳

مقدمه: میدان‌های مغناطیسی به واسطه پرتوهای خود اثرات گوناگونی روی رفتار سلولی و بیوشیمیایی میکروارگانیسم‌ها دارد. لازم است تأثیر این میدان‌های مغناطیسی روی بعضی از میکروارگانیسم‌ها مثل باکتری‌ها به صورت وسیع‌تری انجام بیابد. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر میدان مغناطیسی روی باکتری *Escherichia coli* (PTCC 1330) است.

مواد و روش‌ها: باکتری *E. coli* در محیط کشت مایع در غلظت مناسب تهیه شد. سپس این باکتری در میدان مغناطیسی ۰، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز در مدت‌زمان‌های ۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۲۸ و ۳۲ ساعت قرار داده شد. در نهایت، جمعیت آنها محاسبه و تأثیر این امواج روی فازهای رشدی باکتری در قالب طرح فاکتوریل سنجدیده شد.

یافته‌ها: شدت میدان‌های ۱، ۵، ۱۰، ۲۰ هرتز باعث افزایش تعداد سلول باکتری شدند. با افزایش شدت میدان تا ۵۰ هرتز روند رشدی باکتری کاهش یافت. شدت میدان ۵، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز باعث افزایش در زمان فاز رشد تأخیری باکتری و میدان‌های ۱، ۱۰ و ۲۰ هرتز باعث افزایش در زمان فاز ثابت رشد باکتری شدند. در شدت میدان ۱ تا ۳۰ هرتز طول زمان هر تقسیم سلولی کاهش یافت و در شدت میدان ۱۰ هرتز این میزان به بیشترین میزان خود رسید. ولی در میدان ۴۰ و ۵۰ هرتز سرعت زمان تولیدمثل باکتری کاهش نشان داد.

بحث و نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه باکتری *E. coli* یک باکتری بیماری‌زا و درعین حال باکتری بسیار مهم در فعالیت‌های است. می‌توان از نتایج این پژوهش در روند افزایش و کاهش جمعیت باکتری بهره جست.

واژه‌های کلیدی: فاز تأخیری، رشد نمایی، بیماری باکتریایی، میکروارگانیسم، ضد باکتری.

*آدرس مکاتبه:، خرم‌آباد، دانشگاه لرستان، دانشکده فنی، گروه مهندسی برق - قدرت.

پست الکترونیک: namdari.f@lu.ac.ir

مقدمه

در چند دهه اخیر مطالعه و تحقیق پیرامون اثرات میدان‌های الکترومغناطیسی روی موجودات زنده مورد توجه دانشمندان زیادی قرار گرفته است. در این زمینه، رشته‌هایی مانند بیومغناطیس و بیوالکتریسیته پدید آمده است که در آن‌ها جنبه‌های متفاوت این موضوع مشخص و کلاسه‌بندی شده و محققان هرکدام در یکی از شاخه‌های آن مشغول به فعالیت هستند (۱). در همین راستا علم بررسی و مطالعه پیرامون اثرات میدان‌های مغناطیسی روی سلول اعم از پروکاریوت و یوکاریوت را Extremely low frequency (ELF) می‌گویند. میدان‌های مغناطیسی ELF میدان‌های مغناطیسی با فرکانس بسیار پایین (کمتر از ۳۰۰ هرتز) هستند که به دو علت مورد توجه می‌باشند. دلیل اول اثر محسوس این میدان‌ها روی سیستم‌های بیولوژیک و دومین دلیل وجود این میدان‌ها در محیط زندگی انسان به علت استفاده از وسایل الکتریکی است (۲). این میدان‌های مغناطیسی در شدت ۰/۵ تا ۲ هرتز اثر معنی‌داری روی مراکز کنترل عصبی انسان ندارد (۳).

یکی از مباحثی که اخیراً دانشمندان به آن پرداخته‌اند، کاربرد امواج مغناطیسی در کنترل عوامل میکروبی می‌باشد. اگرچه تأثیر امواج ناشی از میدان‌های مغناطیسی و الکترومغناطیسی بر انسان و سایر موجودات زنده سال‌ها موضوع تحقیقات دانشمندان علوم مختلف بوده است، اما این اثر بر میکروارگانیسم‌ها نسبت به سایر موجودات در مقیاس کمتری مورد مطالعه قرار گرفته است (۴). این میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌توانند بر فعالیت بیولوژیک موجودات زنده از طریق تغییر غلظت هورمون‌ها، فعالیت آنزیم‌ها، سیستم‌های انتقال یون، اثرگذاری روی میکروتوبول‌های میکروارگانیسم‌ها و موارد دیگر تأثیر بگذارند (۵،۶). امواج الکترومغناطیسی با ایجاد اختلال در سیگنال‌های بیوالکتریک باکتری در طی تقسیم

سلولی و در نهایت تأثیر منفی بر فعالیت سلولی و توالی‌های DNA باعث جلوگیری از رشد باکتری E.coli گردیده است (۷).

میدان مغناطیسی ثابت و کم فرکانس ۱۰ میلی تسلا در مدت ۳۰ دقیقه باعث کاهش رشد Escherichia coli و Staphylococcus aureus گردید (۸). در مطالعه دیگری استراساک و همکاران در سال ۲۰۰۲ اثر میدان مغناطیسی ثابت برای E.coli را کشنده گزارش کردند. در مقابل تعدادی از مطالعات از اثر تحریکی میدان‌های مغناطیسی بر میکروب‌ها سخن به میان آورده‌اند به طوری که در بررسی Gerencser و همکاران بر حسب زمان تأثیرگذاری میدان ثابت مغناطیسی اثر بازدارندگی یا تحریک‌کنندگی میدان بر سرعت و تعداد کلنی Seretia aureus و marcescens گزارش می‌کند این اثر در مورد S. aureus در میدان ۱/۵ تسلا تا ۶ ساعت تحریک رشد، ۶ تا ۷ ساعت اثر مهار و پس از ۷ ساعت بدون اثر بود (۹). در بررسی Binni میدان مغناطیسی ثابت صفر تا ۱۱۰ میلی تسلا اثرات متغیری بر رشد E.coli داشته است (۱۰). همچنین در مطالعات دیگری کاهش ۴۰ درصدی رشد باکتری E.coli به وسیله میدان مغناطیسی گزارش شده است (۱۱). در مطالعه ای باکتری E.coli پس از ۶ و ۴ ساعت قرار گرفتن به ترتیب در میدان ۸ و ۱۰ میلی تسلا بطور کامل حذف شد و بیان شد شدت میدان‌های الکترومغناطیسی پایین در زمان‌های مختلف در حذف E.coli از کارآیی بالایی دارد (۱۸). سایر محققان نیز تأثیر میدان مغناطیسی بر رشد باکتری را گزارش داده‌اند (۱۷-۱۲).

هدف از پژوهش حاضر بررسی زمان و شدت میدان مغناطیسی روی فازهای رشد باکتری Escherichia coli به‌عنوان یک باکتری بیماری‌زای انسان و باکتری مهم در بحث انتقال ژنوم است.

مواد و روش‌ها

تهیه باکتری

سویه باکتری (*Escherichia coli* (PTCC 1330) از مرکز کلکسیون قارچ‌ها و باکتری‌های ایران (سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران) تهیه شد. باکتری موردنظر به روش کشت ۱۶ خطی روی محیط کشت مواد غذایی (Nutrient Agar) تکثیر داده شد و در آب مقطر استریل در غلظت ۱۰۶ در ویال‌های ۲ سی‌سی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

ایجاد میدان مغناطیسی

با استفاده از یک سیم‌پیچ استوانه‌ای با هسته از جنس فریت یک میدان مغناطیسی ایجاد شد. شدت و دامنه این میدان مغناطیسی با استفاده از دستگاه اسپکتروم آنالایزر مدل آرونیا NF-5035 که قابلیت اندازه‌گیری رنج فرکانسی ۱ هرتز تا ۱ مگاهرتز را دارد، اندازه‌گیری شد. سیم‌پیچ‌ها در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و به وسیله دماسنج دمای آن‌ها کنترل شد.

نحوه اعمال میدان مغناطیسی بر رشد باکتری

بدین منظور ابتدا باکتری روی محیط کشت مواد غذایی کشت داده شد. از کشت ۲۴ ساعته باکتری سوسپانسیونی در آب مقطر استریل تشکیل شد. به روش رقیق‌سازی غلظت‌های مختلف از باکتری موردنظر در محیط کشت مایع به دست آمد. سپس برای نتایج آزمایش از غلظت ثابت به تعداد ۱۰۰ واحدهای تشکیل‌دهنده کلنی (CFU) باکتری استفاده شد. سپس سلول‌های باکتری با غلظت مشخص‌شده در مدت‌زمان‌های ۰، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۲۸ و ۳۲ در شدت میدان مغناطیسی صفر (تیمار شاهد)، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز قرار داده شدند. تغییرات رشدی در سلول‌های باکتری با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر سنجیده شد. این آزمایش با طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. برای اطمینان از سنجش جمعیت

باکتری، در زمان‌های تیمار شده باکتری مزبور روی پلیت حاوی محیط کشت جامد باکتری کشت داده شدند و جمعیت باکتری تخمین زده شد. در شرایطی که در تیمار اعمال‌شده رشد باکتری زیاد بود و قابلیت شمارش روی محیط کشت جامد نبود ابتدا از باکتری سری رقت گرفته شد و سپس کشت داده شد و در نهایت جمعیت دقیق باکتری شمارش شد. در نهایت با استفاده از فرمول زیر طول زمان تولید نسل (تقسیم دوتایی) سلول محاسبه شد (۱۹).

$$GT = \frac{t}{3.3 \times \log \frac{b}{B}}$$

در این فرمول GT طول زمان تولید نسل، t زمان بین دو تقسیم سلولی، b تعداد باکتری در زمان دوم و B تعداد باکتری در زمان اول می‌باشد.

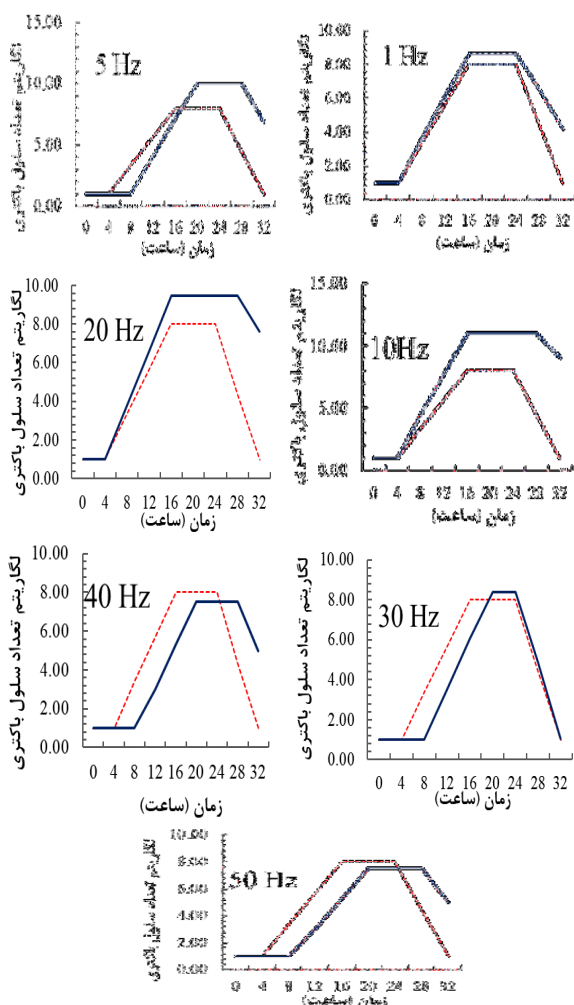
تجزیه آماری

داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19 مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی انجام پذیرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Microsoft Office Excel 2015 رسم شدند.

یافته‌ها

تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای زمان و شدت میدان مغناطیسی و اثر متقابل این دو فاکتور روی فازهای رشدی باکتری *E. coli* در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱).

شدت میدان‌های مختلف روی فازهای رشدی باکتری *E. coli* نشان داد که در شدت میدان ۱۰ هرتز بیشترین افزایش را در تعداد سلول‌های باکتری دارد و با دیگر تیمارهای شدت میدان تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد ایجاد نمود. شدت میدان‌های ۱، ۵، ۱۰، ۲۰ هرتز به‌طورکلی باعث افزایش در مقدار لگاریتم تعداد سلول باکتری شدند و شدت میدان‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز باعث کاهش جمعیت باکتری *E. coli* شدند. در بین این



نمودار ۱. شدت میدان‌های مختلف مغناطیسی (هرتز) روی نمودار رشد باکتری *E. coli* در این نمودار نمودار نقطه‌چین تیمار شاهد (بدون اعمال میدان مغناطیسی) است.

اثر مدت زمان میدان مغناطیسی روی لگاریتم رشد باکتری *E. coli* در فازهای رشدی نشان داد که در دو زمان ۲۰ و ۲۴ ساعت بعد از قرارگیری باکتری در میدان‌های مختلف بیشترین میزان جمعیت باکتری مشاهده شد. از آنجایی که این دو زمان در مرحله فاز ثابت رشد باکتری قرار دارد این مقدار طبیعی است. در همه زمان‌های بکار گرفته شده، به جز زمان ۴ ساعت که فاز تأخیری رشد باکتری است، منحنی رشد باکتری در همه فازهای رشدی تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد با تیمار شاهد نشان دادند (جدول ۳).

در نمودار ۲ اثر زمان‌های مختلف در یک میدان ثابت را روی رشد لگاریتمی باکتری نشان داده است. بیشترین

تیمارها شدت میدان ۳۰ هرتز بیشترین اثر منفی را روی لگاریتم تعداد سلول باکتری گذاشت و باعث کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد (شدت میدان=صفر) در جمعیت باکتری شد (جدول ۲).

جدول ۱. تجزیه واریانس تأثیر شدت و مدت زمان میدان روی

لگاریتم تعداد سلول باکتری *E. coli* در فازهای رشدی

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	مقادیر F	P-value
اثر فاکتور	۱	۵۹۵۷/۷۰	۵۹۵۷/۷۰	۱۱۳۸۰/۱۶**	۰/۰۰۰۱
میدان	۷	۲۹۰/۵۸	۴۱/۵۱	۷۹/۲۹**	۰/۰۰۰۱
زمان	۸	۱۹۱۷/۴۶	۲۳۹/۶۸	۴۵۷/۸۳**	۰/۰۰۰۱
زمان×میدان	۵۶	۲۷۵/۸۴	۴/۹۳	۹/۴۱**	۰/۰۰۰۱
خطا	۱۴۴	۷۵/۳۹	۰/۵۲		
کل	۲۱۶	۸۵۱۶/۹۶			
		ضریب تغییرات (/)			۸/۹۱

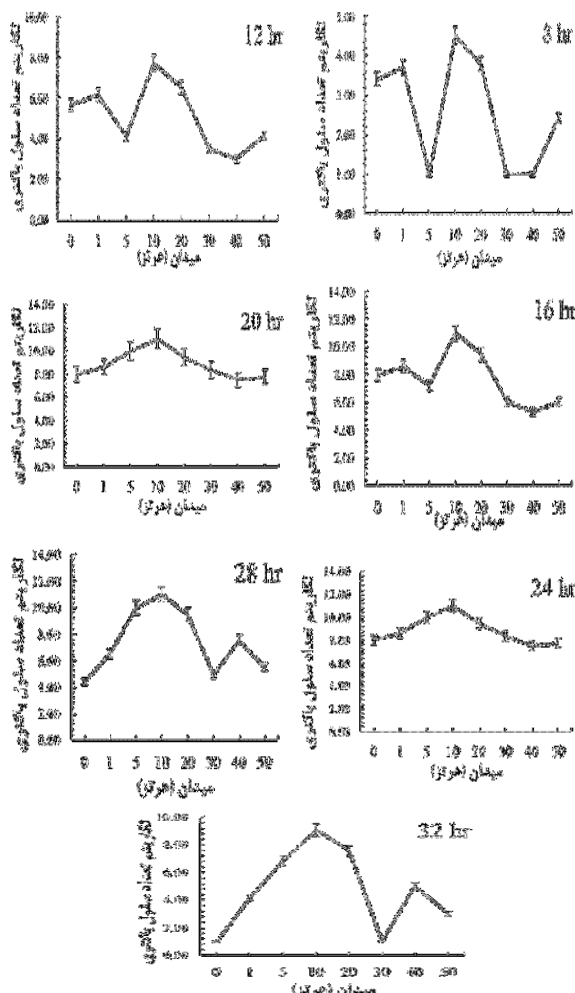
جدول ۲. تأثیر شدت میدان‌های مختلف روی لگاریتم تعداد

سلول باکتری *E. coli* در فازهای رشدی

شدت میدان (هرتز)	لگاریتم تعداد سلول باکتری
۰	۴/۵۰ e
۱	۵/۳۷ c
۵	۵/۶۸ c
۱۰	۷/۴۸ a
۲۰	۶/۴۶ b
۳۰	۳/۹۱ d
۴۰	۴/۲۹ de
۵۰	۴/۳۲ de

تیمارهای شدت میدان ۵، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز، زمان فاز رشد تأخیری (Lag phase) باکتری *E. coli* را نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند و سایر تیمارها تأخیری روی مرحله تأخیری باکتری نداشتند. تیمارهای ۱۰ و ۲۰ هرتز باعث افزایش و تیمار با شدت میدان ۳۰ هرتز باعث کاهش در زمان فاز ثابت رشد باکتری شدند. هیچ‌کدام از شدت میدان‌های بکار گرفته شده روی رشد نمایی باکتری تغییری ایجاد نکرد و باکتری مورد مطالعه در همه تیمارهای شدت میدان در مدت ۱۲ ساعت رشد نمایی خود را کامل کردند (نمودار ۱).

شد. در شدت میدان ۱ تا ۳۰ هرتز زمان تولید نسل یا زمان هر تقسیم نمایی باکتری کمتر شد و باکتری با سرعت بیشتری در فاز نمایی یا لگاریتمی شروع به تولیدمثل کرد.



شکل ۲. تأثیر مدت زمان میدان‌های مختلف مغناطیسی مختلف

(ساعت) روی نمودار رشد باکتری *E. coli*

جدول ۴. تجزیه واریانس تأثیر شدت میدان‌های مختلف

جدول ۳. تأثیر مدت زمان میدان مغناطیسی روی لگاریتم تعداد سلول باکتری <i>E. coli</i> در فازهای رشدی					
زمان (ساعت)		لگاریتم تعداد سلول باکتری			
۰	۱ e				
۴	۱ e				
۸	۲/۶۰ d				
۱۲	۵/۱۱ c				
۱۶	۷/۷۱ b				
۲۰	۸/۸۴ a				
۲۴	۸/۸۴ a				
۲۸	۷/۴۱ b				
۳۲	۴/۷۵ c				

(هرتز) روی زمان مرگ و میر باکتری *E. coli*

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	مقادیر F	P-value
تیمار	۷	۹۳۰/۷۰	۱۳۲/۹۶	۲/۹۴*	۰/۰۳۵
خطا	۱۶	۷۲۳/۹۱	۴۵/۲۴		
کل	۲۳	۱۶۵۴/۶۱			
ضریب تغییرات (%) ۸/۳۳					

**سطح معنی داری $P > 0.01$, *سطح معنی داری $0.05 < P < 0.1$, ns معنی دار نشدن $P < 0.05$

نوسانات در جمعیت باکتری در زمان ۸ ساعت در شدت میدان مغناطیسی ۵ می‌باشد که کاهش شدیدی در روند رشدی جمعیت باکتری نشان داد. زمان‌های ۱۲ و ۱۶ ساعت نیز در شدت میدان ۵ هرتز باعث روند کاهشی نشان داد زیرا در شدت میدان ۵ هرتز فاز تأخیری باکتری افزایش یافته است. ولی با توجه به اینکه در سایر زمان‌ها و در همین میدان باعث افزایش چشمگیری در رشد باکتری شد، اثر کلی اثر متقابل این دو تیمار در رشد لگاریتمی باکتری مثبت بود و تفاوت معنی داری با تیمار شاهد در سطح یک درصد نشان داد. همان‌طور که در نمودار ۲ مشخص است تیمارهای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز در همه زمان بکار گرفته شده، به جز زمان‌هایی که در محدوده فاز مرگ باکتری است (زمان ۲۸ و ۳۰ ساعت) باعث کاهش جمعیت باکتری شده‌اند و میدان ۱۰ هرتز در همه تیمارهای زمانی بیشترین افزایش را در نرخ رشد باکتری نشان داد و با همه تیمارهای شدت میدان تفاوت معنی داری در سطح یک درصد آماری ایجاد کرد (نمودار ۲).

جدول ۳. تأثیر مدت زمان میدان مغناطیسی روی لگاریتم

تعداد سلول باکتری *E. coli* در فازهای رشدی

زمان (ساعت)	لگاریتم تعداد سلول باکتری
۰	۱ e
۴	۱ e
۸	۲/۶۰ d
۱۲	۵/۱۱ c
۱۶	۷/۷۱ b
۲۰	۸/۸۴ a
۲۴	۸/۸۴ a
۲۸	۷/۴۱ b
۳۲	۴/۷۵ c

نتایج تجزیه واریانس تأثیر شدت میدان مغناطیسی

روی مدت زمان شروع تقسیم سلولی یا تولید نسل

(Generation Time) و مدت زمان مرگ و میر باکتری

E. coli در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری را ایجاد کرد

(جدول ۴ و ۵).

شدت میدان‌های مختلف مغناطیسی باعث تغییرات

زیادی روی سرعت تولیدمثل و مرگ و میر باکتری *E. coli*

افزایش در زمان تولیدمثل باکتری شدند. روی زمان کاهش نسل یا مرگومیر همه تیمارهای شدت میدان مغناطیسی به جز تیمار ۳۰ هرتز، باعث افزایش زمان مرگومیر باکتری شدند. مقدار تغییرات مرگومیر باکتری در تیمار ۳۰ هرتز با تیمار شاهد تفاوت معنی داری نشان نداد (جدول ۶ و نمودار ۳).

بحث و نتیجه گیری

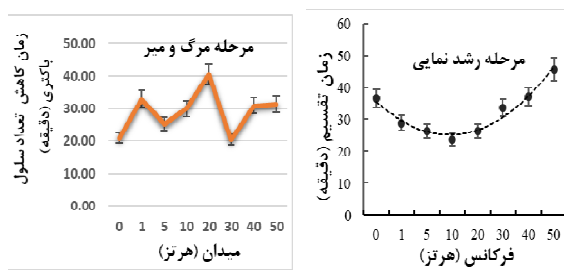
در دنیای امروز موجودات زنده در معرض پرتوهای نوری، الکتریکی و مغناطیسی مختلفی قرار می گیرند، که این پرتوها ممکن است اثرات مطلوب و یا نامطلوبی روی موجودات مختلف بگذارد و زندگی و روند رشد و تولیدمثل آنها را تحت تأثیر قرار دهد (۲۰). در پژوهش حاضر به بررسی اثرات پرتو مغناطیسی روی باکتری E.coli پرداخته شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که شدت‌های مختلف میدان و زمان در معرض قرار گرفتن در این میدان‌ها باعث تغییراتی در سیکل زندگی و یا فازهای رشد باکتری E.coli می‌شود. شدت میدان‌های ۱، ۵، ۱۰، ۲۰ هرتز به‌طور کلی باعث افزایش در تعداد سلول باکتری E.coli شدند و با افزایش شدت میدان تا ۵۰ هرتز روند رشدی باکتری متوقف و کاهش یافت. باکتری E.coli تحت تأثیر میدان ۱۰ هرتز بیشترین افزایش در تعداد سلول و در ۳۰ هرتز بیشترین کاهش در تعداد سلول را نشان داد. شدت میدان‌های مختلف بکار گرفته شده در پژوهش حاضر روی مدت‌زمان فازهای رشدی باکتری نیز اثر گذاشتند و باعث تغییراتی در نمودار فاز رشدی باکتری E.coli شدند. به‌نحوی که شدت میدان ۵، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز زمان فاز رشد تأخیری باکتری را افزایش دادند و شدت ۱۰ و ۲۰ هرتز باعث افزایش و شدت میدان ۳۰ هرتز باعث کاهش در زمان فاز ثابت رشد باکتری شدند. در پژوهش‌های مشابه ژو و همکاران و وست و همکاران بیان شد که باکتری‌هایی که در معرض میدان مغناطیسی قرار گرفته‌اند نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش

جدول ۵. تجزیه واریانس تأثیر شدت میدان‌های مختلف

(هرتز) روی زمان تقسیم شدن نمایی باکتری E.coli

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	مجموع مربعات (SS)	میانگین مربعات (MS)	مقادیر F	P-value
تیمار	۷	۱۱۳۴/۵۱	۱۶۲/۰۷	۳/۲۵*	۰/۰۲۴
خطا	۱۶	۷۹۷/۵۵	۴۹/۸۵		
کل	۲۳	۱۹۳۲/۰۵			
		ضریب تغییرات (%)		۸/۱۷	

**سطح معنی داری $P > 0.01$ ، *سطح معنی داری $0.05 < P < 0.01$ ، ns معنی دار نشدن $P < 0.05$



نمودار ۳. تأثیر شدت میدان‌های مختلف مغناطیسی (هرتز)

روی فاز رشد نمایی و مرگومیر باکتری E.coli

جدول ۶. مقایسه میانگین تأثیر شدت میدان روی مدت‌زمان

تولید هر نسل و مرگومیر باکتری در مرحله رشدی باکتری

E.coli		
شدت میدان (هرتز)	زمان تولید نسل (هر تقسیم دوتایی)	زمان کاهش نسل (مرگومیر)
۰	۲۶/۴۹ b	۲۰/۹۰ c
۱	۲۸/۸۶ bc	۳۳ ab
۵	۲۶/۳۲ c	۲۵/۳۳ bc
۱۰	۲۳/۵۳ d	۳۰/۰۴ b
۲۰	۲۶/۳۳ c	۴۰/۴۶ a
۳۰	۳۳/۵۹ b	۲۰/۴۴ c
۴۰	۳۷/۰۳ ab	۳۰/۹۸ b
۵۰	۴۵/۵۸ a	۳۱/۳۷ b

در شدت میدان ۱۰ هرتز، باکتری هر ۲۳/۵۳ دقیقه یکبار تولید نسل (تقسیم دوتایی سلول) داشت این در حالی بود که در تیمار شاهد باکتری هر ۳۶/۴۹ دقیقه یکبار تولید نسل انجام داشت و به همه تیمارها در سطح پنج درصد تفاوت معنی دار ایجاد نمود. بعد از تیمار ۱۰ هرتز، به ترتیب تیمارهای ۵، ۲۰ و ۱ هرتز کمترین زمان تولیدمثل و یا به عبارتی سریع‌ترین زمان تقسیم دوتایی شدن را نشان دادند. تیمارهای ۴۰ و ۵۰ هرتز باعث

رشد داشتند (۱۵، ۲۱). در پژوهش دیگری آرولت و همکاران بیان نمودند که میدان مغناطیسی با شدت ۲ میلی تسلا به مدت ۶ و ۱۶ ساعت به ترتیب باعث کاهش و افزایش رشد باکتری اشرشیاکلی می‌شود (۲۲). این در حالی است که ناشیمنتو و همکاران در سال ۲۰۰۳ میلادی بیان داشتند شدت میدان ۷/۲-۱۰ میلی تسلا در ۱۲ دقیقه باعث کاهش رشد باکتری اشرشیاکلی می‌شود (۲۳). همچنین منی و همکاران نشان دادند که اعمال پالس‌های میدان مغناطیسی اثر کشندگی و کاهش تراکم بر باکتری E.coli دارد (۲۴). با مقایسه این پژوهش‌ها با پژوهش حاضر این مطلب را آشکار می‌شود که میدان‌های مختلف مغناطیسی تأثیر متفاوتی روی روند تغییرات رشدی باکتری‌ها مخصوصاً باکتری E.coli دارد.

در پژوهش حاضر مدت‌زمان قرارگیری سلول باکتری E.coli در میدان نیز به‌عنوان فاکتور بعدی روی فازهای رشدی باکتری بررسی شد و مشخص شد که هرچقدر که باکتری بیشتر در معرض این پرتوهای مغناطیسی قرار بگیرند تغییرات رشدی آن محسوس‌تر است. در زمان‌های ۲۰ و ۲۴ ساعت باکتری بیشترین میزان سلول باکتری را نشان داد و در این دو زمان به‌جز در میدان ۴۰ و ۵۰ هرتز، جمعیت باکتری نسبت به نمونه شاهد افزایش نشان داد. تیمارهای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ هرتز در همه زمان بکار گرفته‌شده، به جز زمان‌هایی که در محدوده فاز مرگ باکتری است (زمان ۲۸ و ۳۰ ساعت) باعث کاهش جمعیت باکتری شده‌اند و میدان ۱۰ هرتز در همه تیمارهای زمانی بیشترین افزایش را در نرخ رشد باکتری نشان داد. در پژوهشی مشابه اعمال میدان مغناطیسی با شدت ۱۰-۲/۷ میلی تسلا در مدت‌زمان ۱۲-۰ دقیقه، باعث کاهش جمعیت باکتری‌های هتروتروف شد (۵).

اثر دیگر شدت میدان مغناطیسی روی سرعت زمان نرخ تولیدمثل باکتری است، که با اعمال تیمارهای مختلف در فاز رشد نمایی و مرگومیر باکتری مشخص شد که

شدت میدان‌های مختلف مغناطیسی باعث تغییرات زیادی روی سرعت تولیدمثل و مرگومیر باکتری E.coli شدند. در شدت میدان ۱ تا ۳۰ هرتز طول زمان هر تقسیم سلولی کاهش یافت و باکتری با سرعت بیشتری شروع به تقسیم شدن کرد. به‌نحوی که در شدت میدان ۱۰ هرتز این میزان سرعت به بیشترین میزان خود رسید. ولی در دو میدان ۴۰ و ۵۰ هرتز سرعت زمان تولیدمثل باکتری کاهش شدیدی نشان داد و باکتری E. coli با سرعت کمتری شروع به تقسیم شدن کرد. همچنین تأثیر میدان مغناطیسی روی زمان روند تغییرات مرگومیر باکتری نشان داد همه تیمارهای شدت میدان مغناطیسی به جز تیمار ۳۰ هرتز، باعث افزایش زمان مرگومیر باکتری شدند و جمعیت باکتری با سرعت کمتری کاهش یافت.

در پژوهش‌های استراساک و همکاران نیز میدان مغناطیسی ۵۰ هرتزی رشد باکتری‌های Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Leclercia, Paracoccus denitrificans, adecarboxylata, Rhodococcus erythropolis و Sphingomonas paucimobilis کاهش داده است (۱۶). تأثیر این میدان‌ها روی باکتری و سلول‌ها مختلف می‌تواند از طریق اثرگذاری روی فعالیت آنزیم‌ها، سیستم‌های انتقال یون، اثرگذاری روی میکروتوبول‌های میکرواورگانیزم‌ها، خاصیت تراوایی غشا سلول، و... باشد (۶، ۷). برخی از محققان نیز بیان داشته‌اند که این تأثیرات می‌تواند از طریق تأثیر روی محیط زندگی باکتری مثل تغییر دادن اسیدیته، دما، CO₂، شوری و ... باشد (۱۵).

نتایج پژوهش حاضر در خصوص به‌کارگیری اثر شدت و زمان میدان مغناطیسی به‌منظور بررسی واکنش باکتری E.coli به این تیمارها بسیار متفاوت بود. به‌طور کلی مشخص شد اثر اعمال میدان مغناطیسی در شدت‌های بالا (۳۰ تا ۵۰ هرتز) به‌طور عموم سبب مرگ و کاهش جمعیت باکتری E. coli شده در صورتی که اعمال میدان

مغناطیسی در شدت‌های پائین تر مخصوصاً ۱۰ هرتز اثرات افزایشده رشد دارد. البته این روند تغییرات رشدی باکتری مورد مطالعه به مدت‌زمان اعمال میدان نیز بستگی داشت. با توجه به نتایج پژوهش حاضر و با توجه به اینکه باکتری E.coli یک باکتری بیماری‌زا و درعین حال باکتری بسیار مهم در امور پژوهشی و مخصوصاً انتقال ژن می‌باشد. می‌توان از نتایج این پژوهش در روند افزایش و کاهش جمعیت باکتری بهره جست.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی به شماره ۹۶۵۰۱۲۶۹۷ مصوب دانشگاه لرستان که تحت حمایت مادی و معنوی دانشگاه لرستان می‌باشد که بدین وسیله مراتب قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Fojt L, Strašák L, Vetterl V. Extremely-low frequency magnetic field effects on sulfate reducing bacteria viability. *Electromagnetic biology and medicine*; 2010; 29(4), 177-185.
2. Kavet R. EMF and current cancer concepts. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*; 1996; 175(5), 339-357.
3. Villard S, Allen A, Bouisset N, Corbacio M, Thomas A, Guerraz M, Legros A. Impact of extremely low-frequency magnetic fields on human postural control. *Experimental brain research*; 2018; 1-13.
4. Samarghandi MR, Khoshniyat R, Rahmani A R, Roshanaei G, Poormohammadi A, Saedpanah K. A study on the Effect of Magnetic fields on Microorganisms existing in Water. *Journal of Research in Environmental Health*; 2016; 2(1), 11-19.
5. Strašák L, Vetterl V, Šmarda J. Effects of low-frequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli*. *Bioelectrochemistry*; 2002; 55(1-2), 161-164.
6. Falahati A, Boluri B. The effect of sine magnetic fields on growth *E. Coli*. *Journal of Shahid Sadughi University of Medical Sciences*; 2000; 7, 59-63.
7. Al-Harbi FF, Alkhalifah DH, Elqahtani ZM, Ali FM, Mohamed SA, Abdelbacki AMM. Nonthermal control of *Escherichia coli* growth using extremely low frequency electromagnetic (ELF-EM) waves. *Bio-medical materials and engineering, (Preprint)*; 2018; 1-12.
8. 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), 337-341.
9. Gerencser VF, Barnothy MF, Barnothy JM. Inhibition of bacterial growth by magnetic fields. *Nature*; 1962; 196, 539-41.
10. Binhi VN, Alipov YD, Belyaev IY. Effect of static magnetic field on *E. coli* cells and individual rotations of ion-protein complexes. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*; 2001; 22(2), 79-86.
11. Ramon C, Ayaz M, Streeter DD. Inhibition of growth rate of *Escherichia coli* induced by extremely low-frequency weak magnetic fields. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association*; 1981; 2(3), 285-289.
12. Lekhtlaan-Tynisson NP, Shaposhnikova EB, Kholmogorov VE. The effect of the extremely weak field on the cultures of bacteria *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Biofizika*; 2004; 49(3), 519-523.

13. Ishizaki Y, Horiuchi SI, Okuno K, Ano T, Shoda M. Twelve hours exposure to inhomogeneous high magnetic field after logarithmic growth phase is sufficient for drastic suppression of *Escherichia coli* death. *Bioelectrochemistry*; 2001; 54(2), 101-105.
14. Stepanian RS, Barsegian AA, Alaverdian ZHR, Oganessian GG, Markosian LS, Aĭrapetian SN. The effect of magnetic fields on the growth and division of the lon mutant of *Escherichia coli* K-12. *Radiatsionnaia biologii, radioecologii*; 2000; 40(3), 319-322.
15. Xu YB, Duan XJ, Yan JN, Du YY, Sun SY. Influence of magnetic field on activity of given anaerobic sludge. *Biodegradation*; 2009; 20(6), 875.
16. Strašák L, Vetterl V, Fojt L. Effects of 50 Hz magnetic fields on the viability of different bacterial strains. *Electromagnetic Biology and Medicine*; 2005; 24(3), 293-300.
17. Gholami M, Dehghani FE, Zarghampour Z, Mirzaei R, Dehghani NM. Performance of ultrasonic process on removal of fecal indicator bacteria of *Escherichia coli* and *enterococcus faecalis* from drinking water; 2012; 36-41.
18. Selamat R, Abustan I, Arshad MR, Kamal NHM. Removal of *Escherichia coli* via low frequency electromagnetic field in riverbank filtration system. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2018; 140(1), 012011.
19. Widdel F. Theory and measurement of bacterial growth. Di dalam *Grundpraktikum Mikrobiologie*; 2007; 4(11), 1-11.
20. Dutreux N, Notermans S, Gongora-Nieto MM, Barbosa-Cánovas GV, Swanson BG. Effects of combined exposure of *Micrococcus luteus* to nisin and pulsed electric fields. *International journal of food microbiology*; 2000; 60(2-3), 147-152.
21. West RW, Hinson WG, Lyle DB, Swicord ML. Enhancement of anchorage-independent growth in JB6 cells exposed to 60 hertz magnetic fields. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*; 1994; 34(1), 39-43.
22. Aarholt E, Flinn EA, Smith CW. Effects of low-frequency magnetic fields on bacterial growth rate. *Physics in Medicine & Biology*; 1981; 26(4), 613.
23. Nascimento LF, Botura G, Mota RP. Glucose consume and growth of *E. coli* under electromagnetic field. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*; 2003; 45(2), 65-67.
24. Li M. Sterilization of *Escherichia coli* cells by the application of pulsed magnetic field, *Journal of Environmental Sciences*, 2004, 16(2), 348-352.

Time and Intensity of Electromagnetic waves impacts on the Growth phase of Escherichia coli bacteria

Namdari F^{*1}, Moosavian M², Bakhshipour M³

1. Assistant professor, Department of Electrical and Power Engineering, Faculty of Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran, namdari.f@lu.ac.ir

2. Ph.D. Student, Dept. of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

3. Ph.D. Student, Department of Electrical and Power Engineering, Faculty of Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Received: 29 Dec 2018

Accepted: 2 Feb 2019

Abstract

Background: Electromagnetic fields have various effects on the biochemical and cellular behavior of microorganisms due to radiation. It is necessary to investigate more extensively the effects of these magnetic fields on some microorganisms, such as bacteria. The purpose of this study was to investigate the effects of magnetic fields on Escherichia coli bacteria (PTCC 1330).

Materials and Methods: E.coli bacteria were prepared in liquid growth medium at the proper density. Then, the bacteria were placed in a magnetic field of 0, 1, 5, 10, 20, 30, 40 and 50 Hz at 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 and 32 time intervals. Afterwards, their population was calculated, and the impact of these waves on the bacteria growth phases, based on the factorial pattern, was measured.

Results: Field intensities of 1, 5, 10 and 20 Hz caused an increase in the number of bacteria cells. With increasing field intensity to 50 Hz, the growth of bacteria was reduced. Field intensities of 5, 30, 40 and 50 Hz caused an increment in the time of the lag phase, and field intensities of 1, 10 and 20 Hz caused an increment in the time of the stationary phase. At 1 to 30 Hz field intensities, the duration time of each cell division was reduced, and at 10 Hz field intensity, this reduction reached a minimum. But at a field intensity of 40 and 50 Hz, the time velocity of bacteria reproduction decreased.

Conclusion: Given that E.coli bacteria is a pathogen, and at the same time a very important bacteria in scientific activities, the results of this study could be used in procedures to increase and decrease the population of this bacteria population.

Keywords: Stationary phase, Log growth, Bacterial disease, Microorganism, Anti-bacterial.

***Citation:** Namdari F, Moosavian M, Bakhshipour M. Time and intensity of electromagnetic waves impacts on growth phase of Escherichia coli bacteria. Yafte. 2019; 21(1):111-121.