

اثر تشدید ناشی از تابش موضعی میدان مغناطیسی کم‌شدت با فرکانس بسیار پایین بر سیگنال‌های مغزی: کارآزمایی بالینی تصادفی شده

سیدعلی شفیع‌داری^۱، سید محمد فیروزآبادی^۲، مژده قباوی^۳، کاظم رسول‌زاده طباطبایی^۴

^۱ دانشجوی دکتری فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

^۲ استاد فیزیک پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

^۳ دانشیار بیماری‌های مغز و اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

^۴ دانشیار روانشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: اثر میدان‌های مغناطیسی ضعیف با فرکانس بسیار کم (ELF-MFs) بر روی سیگنال‌های مغزی، توسط تعدادی از محققین مورد بررسی قرار گرفته است. تنها برخی از محققین اثر تشدید، یعنی افزایش در فرکانس سیگنال مغزی مطابق با فرکانس میدان تاییده شده را گزارش کرده‌اند. در اغلب این تحقیقات میدان مغناطیسی تولید شده به صورت یکنواخت تمام نواحی سر را در برمی‌گیرد. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثر تابش موضعی ELF-MF بر قسمت‌های مختلف مغز در سیگنال‌های مغزی و اثر تشدید آن صورت گرفت.

روش بررسی: این مطالعه به صورت کارآزمایی بالینی بر روی ۱۹ نفر دانشجوی مرد داوطلب با سن متوسط و انحراف معیار $25/6 \pm 1/6$ سال که همگی راست دست بودند، انجام گردید. در این بررسی، میدان‌های مغناطیسی موضعی با فرکانس ۳، ۵، ۱۰، ۱۷ و ۴۵ Hz با شدت $240 \mu T$ به ترتیب تنها بر نقاط T4، T3، T4، F3 و Cz، F4، نواحی سر در سیستم ۲۰-۱۰ تاییده شد. در پایان نیز توان نسبی در این ۵ نقطه از سر در باندهای فرکانسی متداول سیگنال‌های مغزی و فرکانس مشابه با فرکانس میدان مغناطیسی تاییده شده، محاسبه گردید، مقادیر به دست آمده قبل و حین تابش توسط آزمون تی وابسته ارزیابی شد.

یافته‌ها: تابش ناحیه مرکزی به وسیله میدان مغناطیسی موضعی، تغییر معنی‌داری ($p < 0/05$) در باند آلفای ناحیه پیشانی ایجاد کرد. کاهش در باند آلفا ناحیه مرکزی سر نیز بر اثر تابش ELF-MF به نواحی گیجگاهی، قابل مشاهده بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد تابش میدان مغناطیسی موضعی، هیچ‌گونه اثر تشدید در سیگنال‌های مغزی ندارد و ممکن است تغییر توان نسبی در هر قسمت از طیف رخ دهد. همچنین تغییر در سیگنال مغزی لزوماً محدود به ناحیه تحت تابش نمی‌باشد.

کلید واژه‌ها: مغناطیسی‌ها؛ مغز؛ امواج مغزی؛ الکتروانسفالوگرافی؛ امواج رادیویی؛ کارآزمایی بالینی تصادفی شده.

نویسنده مسئول مکاتبات: دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛

آدرس پست الکترونیکی: pourmir@modares.ac.ir

تلفن: ۰۲۱-۸۲۸۸۳۸۲۱

تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۳۰

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۸

مقدمه

گرفته است، که از آن جمله می‌توان اثر ضدتوموری ترکیب مختلف میدان‌های مغناطیسی استاتیک و ELF (۱)، اثر بر افزایش سرعت احیا و ترمیم استخوان (۲)، تغییر بعضی از پارامترهای بیومکانیک استخوان بر اثر تابش‌های میدان مغناطیسی ضعیف را نام برد (۳). همچنین به

تحقیقات زیادی در زمینه اثر میدان مغناطیسی کم‌شدت با فرکانس بسیار پایین ELF-MF (Extremely Low Frequency Magnetic Fields) بر سیستم‌های بیولوژیکی موجودات زنده خصوصاً انسان صورت

در بررسی های ELF-MF، پژوهشگران معمولاً از میدان یکنواخت تولید شده توسط کویل های هلمهولتر که تمام سر را در برمی گیرد، استفاده می کنند، بنابراین تمام نورون ها و منابع مولد سیگنال های مغزی (کل مغز) به طور یکسان تحت تابش میدان مغناطیسی قرار می گیرند، و با کمی تغییر در شدت یا فرکانس یا حتی زمان تابش، اثرات قاعده مند در EEG افراد تحت تابش مشاهده نمی شود (۲۲). علاوه بر این، تعدادی از محققین اثر تشدید (تقویت فرکانسی از سیگنال مغزی که مشابه با فرکانس موج تاییده شده است) در سیگنال مغز گزارش کردند (۲۳، ۱۵). در این تحقیق میدان مغناطیسی ELF به صورت موضعی به قسمت های مختلف سر داوطلبین تابش داده شد و وجود اثر تشدید به صورت موضعی در فرکانس های مختلف بررسی گردید، و به این سؤال پاسخ داده شد که تابش موضعی یک ناحیه از سر انسان باعث تغییرات سیگنال های مغزی ناحیه تحت تابش خواهد شد. نتایج این تحقیق و پاسخ سؤال های فوق می تواند گام اولیه برای هدایت هدفمند سیگنال مغزی توسط میدان های مغناطیسی به منظور درمان بعضی از بیماری های روانی باشد.

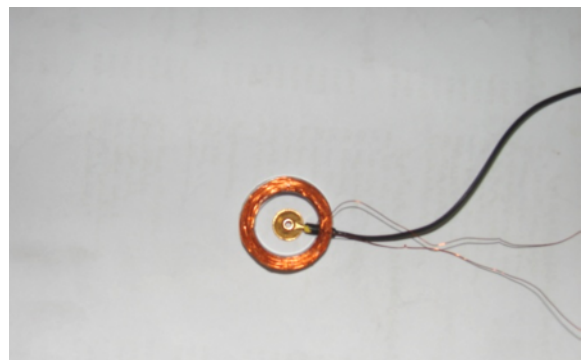
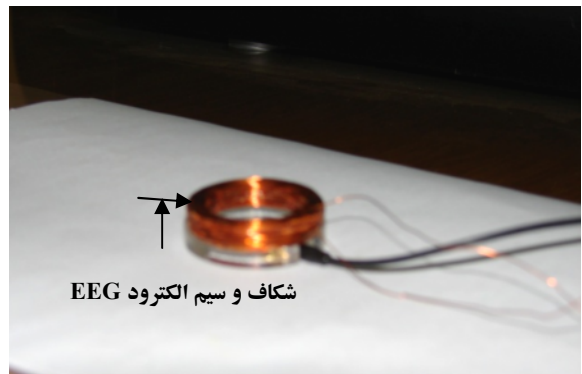
روش بررسی

این مطالعه به صورت کار آزمایشی بالینی بر روی ۱۹ نفر دانشجوی مرد داوطلب با سن متوسط و انحراف معیار $25/6 \pm 1/6$ سال که همگی راست دست بودند، انجام شد. هیچ یک از آنان سابقه بیماری روانی از قبیل صرع، سردرد مزمن و غیره که منجر به مصرف دارو شود، نداشتند. همچنین هیچ یک از آنان معتاد به مواد مخدر یا الکل نبوده و سیگار نیز مصرف نمی کردند و حداقل ۳ ساعت قبل از آزمایش، از نوشیدن چای یا قهوه خودداری نمودند. هر داوطلب بدون اطلاع از جلسه تابش ۲ بار جهت دریافت تابش و ثبت سیگنال مغزی مراجعه کرد. فاصله بین دو جلسه با توجه به محدودیت زمانی شرکت کنندگان بین ۷-۲ روز در تغییر بود. میدان مغناطیسی به وسیله یک کویل کوچک به قطر داخلی ۲cm و ارتفاع ۵cm با تعداد دور ۲۵۰، از جنس مس با شماره سیم ۰/۳۰ (ضخامت سیم و روکش لاکه ۰/۰۳ml) تولید شد. جریان اعمال شده به کویل به گونه ای است که میدان مغناطیسی تولید شده روی محور اصلی کویل در فاصله ۱/۵cm از سطح پوست، شدت $240 \mu T$ را داشته باشد. به عبارت دیگر، مرکز کویل در هر مرحله روی یکی از نقاط Cz، F3، T3، T4، Cz،

احساس درد (۴) و حس گرما (۵) نیز اشاره شده است. بررسی اثر تابش میدان مغناطیسی بر ناحیه سر انسان نشان می دهد میدان های ELF باعث بهبود تعادل انسان (۶)، کاهش رعشه کیفی (۷-۹)، همچنین افزایش فعالیت صرعی (۱۰، ۱۱)، به ویژه با منشأ تشکیلات هیپوکمپ می شود (۱۲). اما در مطالعه اثر میدان ها در ناحیه سر و گردن، یکی از متداول ترین روش ها؛ بررسی اثر میدان های مغناطیسی بر سیستم اعصاب مرکزی (به طور خاص مغز) بر پایه پایش تغییرات مشاهده شده در EEG (Electroencephalography) افراد تحت تابش می باشد. Bell در مطالعات سنجش اثرات ELF-MF با فرکانس ۶۰Hz روی EEG استراحت، مشاهده نمود که در ۸۰٪ افراد ($n=20$) تحت تابش، طیف EEG ثبت شده از نواحی مرکزی و آهیانه افزایش یافته است (۱۳). وی در ادامه دریافت که میدان $40 \mu T$ با فرکانس ۱۰Hz نسبت به میدان $20 \mu T$ و $1/5 Hz$ بر فرکانس تحریک فعالیت EEG تأثیر بیشتری دارد (میدان مغناطیسی ۱۰Hz روی EEG با فرکانس ۱۰Hz اثر بیشتری داشت و $1/5 Hz$ EEG در تابش میدان مغناطیسی $1/5 Hz$ اثرپذیرتر بود) (۱۴)، همچنین اثر تشدید میدان ELF در فرکانس ۵Hz را در EEG خرگوش نیز گزارش نمود (۱۵). Marino و همکارانش، افزایش هایی را در توان طیفی به خصوص در فرکانس های بالا (بیشتر از ۱۰Hz) نواحی مرکزی، آهیانه و پس سری در دو شرایط مختلف ۱۰Hz و $1/5 Hz$ هر دو با شدت $80 \mu T$ مشاهده کردند. اما آنها بر این نکته تأکید داشتند که تغییرات در فعالیت الکتریکی مغز در بازه $1-18/5 Hz$ می تواند رخ دهد و تغییر در فرکانس های مشابه فرکانس تابش (اثر تشدید) تحت تأثیر EMF مشاهده نمی شود (۱۶). Ghione در سال ۲۰۰۵ اثر ELF-MF در گستره فرکانسی ۶۰-۵۰Hz را روی فعالیت ریتم آلفا و ادراک انجام داد که در این بررسی فعالیت آلفا در نقطه CZ بعد از تابش میدان $80 \mu T$ در مقایسه با گروه شم ۲ برابر شد و در شدت $40 \mu T$ تأثیر معنی داری مشاهده نگردید (۱۷). در سال ۲۰۰۴، Cook به بررسی اثر میدان مغناطیسی ELF پالسی روی EEG انسان پرداخت، در نهایت نشان داد فعالیت آلفای EEG استراحت ($8-13 Hz$) در ناحیه پس سری (O1, O2, Oz) در مقایسه با گروه شم پس از تابش ۱۵ دقیقه ای افزایش می یابد (۱۸)، در تحقیقات بعدی گزارش نمود که تغییرات EEG به ویژگی های مجموعه پالس میدان مغناطیسی تاییده شده (ترتیب اکسپوزر اعمالی) و ثبت حساس است (۱۹-۲۱).

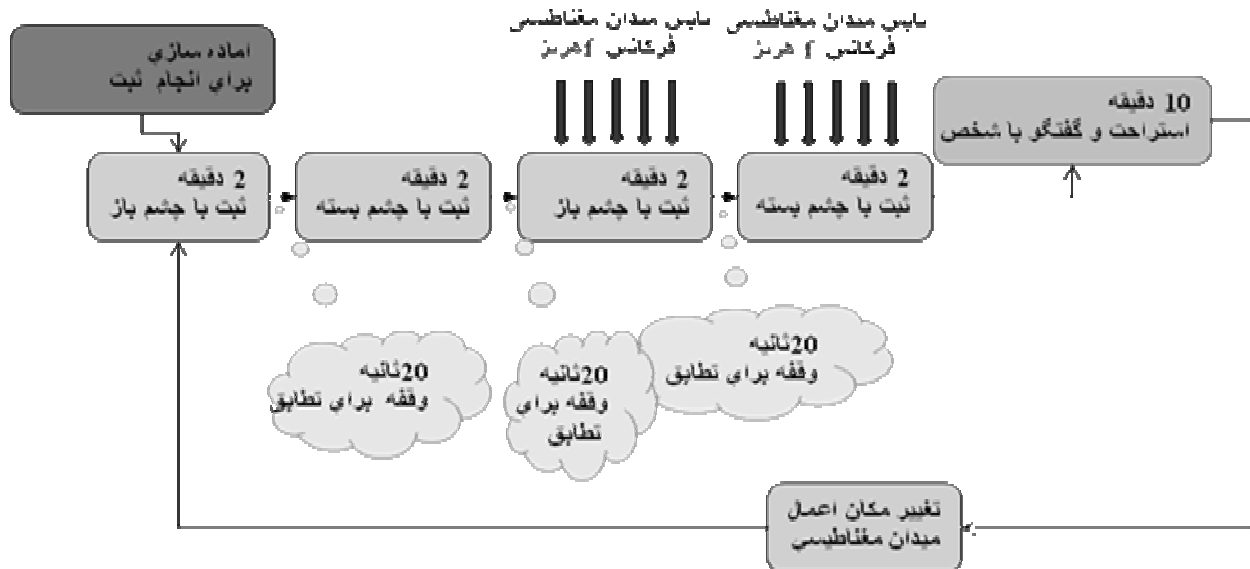
بر روی پیشانی نصب گردید. برای ثبت EEG از فیلتر میان‌گذر ۵-۲ Hz علاوه بر فیلتر ناچ ۵۰ Hz، برای به حداقل رساندن نویزهای EMG و حذف حرکت چشم استفاده شد. نرخ نمونه‌گیری دستگاه ۹۹۲ Hz و زمان انجام آزمایش ۸/۳۰ تا ۳ بعد از ظهر بود. نحوه تابش میدان بدین ترتیب است که سیگنال ژنراتور جریانی را به صورت ۲ ثانیه روشن و ۳ ثانیه خاموش تولید می‌کند که در هنگام روشن بودن با توجه به محل قرارگیری F4، Cz، F3، T3، T4، میدان مغناطیسی سینوسی به ترتیب یکی از فرکانس‌های ۳، ۵، ۱۰، ۱۷ و ۴۵ Hz اعمال می‌شود. به عبارت دیگر، در یک بازه ۵ ثانیه‌ای حین تابش، تابش میدان ۲ ثانیه خواهد بود و ۳ ثانیه مکث که در واقع ثبت EEG بدون نویز و اغتشاش ناشی از تابش را در پی دارد. تعداد تابش و ثبت ۵ ثانیه‌ای بایستی طوری باشد که حداقل ۲۰ ثبت سالم (بدون پلک زدن و حرکت چشم) را بتوان خارج نمود (۲ دقیقه). این عمل برای حالت چشم باز و بلافاصله برای حالت چشم بسته، با یک مکث ۲۰ ثانیه‌ای به منظور پایدار شدن حالت چشم بسته، انجام شد. پس از الکتروگذاری در هر یک از ۵ نقطه که در قسمت قبل بیان شد، ۲ دقیقه ثبت در حالت چشم باز و ۲ دقیقه ثبت در حالت چشم بسته صورت گرفت که بیانگر وضعیت EEG شرکت‌کننده بود. بلافاصله بعد از آن، کوئل روی یکی از ۵ نقطه به صورت تصادفی توسط یک باند کشی بسته شد، سپس ۲ ثبت در حالت چشم باز و بسته هر یک به مدت ۲ دقیقه با فاصله ۲۰ ثانیه از هم صورت گرفت. در ادامه، بلافاصله در دو حالت چشم باز و بسته همراه تابش میدان مغناطیسی، ELF ثبت شد. در نتیجه، مقایسه سیگنال ثبت شده در قبل و حین تابش میدان میسر گردید. پس از گذشت ۱۰ دقیقه برای اطمینان از عدم وجود اثر ماندگار از ثبت اول (بعضی از پژوهشگران وجود اثر ماندگار را حداکثر تا ۷ دقیقه بعد از تابش ۱۵ دقیقه‌ای تأیید کرده‌اند و برای زمان بیشتر از ۷ دقیقه بعد از تابش اثر معنی‌دار ماندگاری را گزارش نمودند) (۱۸). ثبت و تابش بعدی به همین نحو در محل دیگر و فرکانس مربوطه اجرا شد. در نهایت پس از تابش ۵ ناحیه ثبتي بدون حضور کوئل مثل ثبت اولیه پس از گذشت ۱۰ دقیقه از تابش ناحیه پنجم نیز انجام گردید (شکل شماره ۲). لازم به ذکر است دقیقاً تمام روند فوق برای جلسه‌ای که گروه شم را تشکیل می‌داد، نیز اجرا شد، با این تفاوت که دستگاه سیگنال ژنراتور روشن بود، اما پالسی تولید نمی‌کرد، در نتیجه جریان الکتریکی به کوئل تزریق نمی‌شد.

و F4 قرار می‌گرفت، برای حفظ حالت عمود بر مجموعه به علت وجود الکتروود ثبات EEG در مرکز کوئل و عبور سیم الکتروود از زیر کوئل، حلقه‌ای از پلکسی گلاس به قطر ۳ ml و با شکافی روی آن برای عبور سیم الکتروود ثبات EEG، به کوئل متصل بود (شکل شماره ۱)، به علت اینکه میدان به صورت یکنواخت روی محور اصلی و محور عمود بر آن تغییر نمی‌کند در نتیجه هر نوع گوس متر با توجه به حساسیت سطح ممکن است عدد متفاوتی را نشان دهد، بنابراین بهتر است جریان عبوری از کوئل در هنگام تابش ($i_{rms}=232mA$) و مشخصات کوئل توسط محققینی که قصد استفاده از نتایج این تحقیق را دارند نیز مدنظر قرار گیرد.



شکل شماره ۱: کوئل روی حلقه‌ای از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۳ ml دارای شکافی به منظور عبور سیم الکتروود ثبات EEG قرار دارد.

به منظور کاهش اثر میدان‌های مغناطیسی پیرامونی، عمل ثبت سیگنال در درون قفس فاراده با ابعاد $1/2 \times 1/8 \times 2/2m$ انجام شد. ابعاد مش توری پوشاننده قفس ۲ mm و از جنس آلومینیوم بود. از ۳ لامپ گازی بدون ترانس برای روشنایی محل آزمایش استفاده گردید. ثبت سیگنال‌های مغزی با استفاده از دستگاه Flexcomp، ساخت شرکت Thought Technology که توسط ۵ الکتروود، فعالیت مغزی نواحی Cz، F4 و نسبت به گوش سمت خودشان به جز Cz نسبت به گوش راست ثبت می‌کرد، صورت گرفت. الکتروود زمین نیز



شکل شماره ۲: فرآیند اجرای ثبت و تابش در هر جلسه در شکل فوق قابل مشاهده می‌باشد، در گروه شم میدان تابش صفر خواهد بود.

آزمون تی وابسته با سطح معنی داری کمتر از $p < 0.05$ مورد بررسی قرار گرفت. بررسی توان نسبی در فرکانس ۴۵Hz سیگنال مغزی، هنگام تابش میدان مغناطیسی $240 \mu T$ با فرکانس ۴۵Hz در ناحیه F4، توسط آزمون تی وابسته، هیچ تغییری معنی داری را نشان نداد. همچنین این عدم تأثیر معنی دار توسط آزمون تی وابسته برای توان نسبی فرکانس‌های ۱۷، ۱۰، ۵ و ۳Hz در سیگنال‌های ثبت شده به ترتیب در نواحی Cz، F3، T3 و T4، هنگامی که این نواحی تحت تابش میدان‌های مغناطیسی با فرکانس به ترتیب ۱۷، ۱۰، ۵ و ۳Hz و شدت $240 \mu T$ قرار داشتند، نیز صادق بود. نتایج فوق برای هر دو حالت چشم باز و بسته مشاهده گردید، اما با وجود عدم مشاهده اثرات تشدید در هریک از تابش‌های میدان مغناطیسی، بعضی از باندهای EEG دچار تغییراتی شد که به صورت جداول شماره ۵-۱ جمع‌بندی و ارائه شده است. در هر جدول، محل تحت تابش و حالت شخص از لحاظ چشم باز و بسته به تفکیک مشخص گردیده است. علاوه بر آن، اثراتی که از مقایسه طیف توان نسبی قبل و حین تابش توسط آزمون تی وابسته با هم مقایسه شده، و باندهایی که تغییرات معنی دار ($p < 0.05$) داشته‌اند همراه با میانگین و خطای استاندارد ($mean \pm SE$)، تفاضل توان نسبی هر باند حین و قبل از تابش با استفاده از نرم‌افزار Spss، درج شده است. پیکان‌های رو به بالا و پایین به ترتیب افزایش و کاهش باند مربوط را نمایش می‌دهد. در قسمت بدون تابش نیز مقادیر p نتیجه مقایسه مقادیر قبل و حین تابش فرضی (گروه شم)، مشاهده می‌شود.

با استفاده از نرم‌افزار MATLAB قطعات ۲ ثانیه‌ای میان ۳ ثانیه مکث هنگام تابش از هر ثبت جدا شد، برای هر دو حالت چشم باز و بسته حین تابش و قبل از تابش، ۲۰ قطعه بدون نویز انتخاب گردید، در حالت‌های بدون تابش نیز با فاصله ۳ ثانیه‌ای ثبت‌های ۲ ثانیه‌ای درست مشابه حالت تابش میدان، برداشته شد. سپس توسط تبدیل فوریه سریع (FFT) همراه با فیلتر Hanning، عمل تجزیه فرکانسی سیگنال‌های مغزی انجام گردید و پس از متوسط‌گیری روی طیف توان ۲۰ قطعه و به دست آمدن طیف توانی با افت و خیز کم، سهم هر ریتم و طیف توان آن به صورت نسبی استخراج شد. باندهای فرکانسی شامل: دلتا (۲-۴Hz)، تتا (۴-۷/۵Hz)، آلفا (۸-۱۲/۵Hz)، بتا (۱۳-۳۰/۵Hz) و گاما (۳۱-۴۷/۵Hz) تجزیه و تحلیل شدند. از طرفی، به منظور تحلیل دقیق‌تر باند آلفا به واسطه اهمیت آن در روانشناسی، باند آلفا-۱ (۸-۱۰Hz) و آلفا-۲ (۱۰/۵-۱۲/۵Hz) نیز بررسی گردید. مقایسه مقادیر قبل و حین تابش توسط آزمون تی وابسته با سطح معنی داری $p < 0.05$ و مقایسه گروه کنترل و گروه تحت تابش توسط آزمون تی مستقل ارزیابی شد.

یافته‌ها

به منظور مطالعه اثر تشدید، مقادیر توان نسبی فرکانس‌های معادل میدان‌های تاییده شده در طیف توان افراد شرکت کننده، قبل و حین تابش به تفکیک در دو حالت چشم باز و بسته استخراج شد، و توسط

جدول شماره ۲: نتایج حاصل از تابش ناحیه Cz تحت میدان مغناطیسی ۱۷Hz در حالت چشم باز

T4	T3	Cz	F4	F3	نقاط ثبت
					تحت تابش
					ELF-MF
آلفا (۰/۱۳۴)			آلفا (۰/۲۵۷)	آلفا (۰/۶۷۳)	
آلفا ۱ (۰/۳۹۶)			آلفا ۲ (۰/۲۷۷)	آلفا ۲ (۰/۸۹۲)	B=۰
آلفا ۱ ↑			آلفا ۱ ↑	آلفا ۱ ↑	B=۲۴۰ μT
۰/۰۵۲ ± ۰/۰۲۰			۰/۰۳۴ ± ۰/۰۱۵	۰/۰۳۱ ± ۰/۰۱۳	
آلفا ۱ ↑			آلفا ۲ ↑	آلفا ۲ ↑	
۰/۰۴۳ ± ۰/۰۱۳			۰/۰۱۳ ± ۰/۰۰۵	۰/۰۱۴ ± ۰/۰۰۵	

جدول شماره ۱: نتایج حاصل از تابش ناحیه F3 تحت میدان مغناطیسی ۱۰Hz در حالت چشم باز

T4	T3	Cz	F4	F3	نقاط ثبت
					تحت تابش
					ELF-MF
			آلفا-۲ (۰/۷۱۵)	آلفا-۲ (۰/۱۹۲)	
				بتا (۰/۶۷۷)	B=۰
			آلفا-۲ ↓	آلفا-۲ ↓	B=۲۴۰ μT
			۰/۰۲۳ ± ۰/۰۰۶	۰/۰۲۳ ± ۰/۰۰۹	
				بتا ↓	
				۰/۰۲۹ ± ۰/۰۱۱	

جدول شماره ۴: نتایج حاصل از تابش ناحیه T3 تحت میدان مغناطیسی ۵Hz در حالت چشم باز

T4	T3	Cz	F4	F3	نقاط ثبت
					تحت تابش
					ELF-MF
آلفا (۰/۰۸۸)		تا (۰/۸۰۱)	آلفا-۲ (۰/۳۰۶)	آلفا-۲ (۰/۱۶۷)	
آلفا ۱ (۰/۰۹۷)		آلفا ۲ (۰/۴۱۰)			B=۰
آلفا ۱ ↑		تا ↓	آلفا-۲ ↓	آلفا-۲ ↓	B=۲۴۰ μT
۰/۰۵۱ ± ۰/۰۲۱		۰/۰۱۴ ± ۰/۰۰۶	۰/۰۱۶ ± ۰/۰۰۴	۰/۰۱۴ ± ۰/۰۰۶	
آلفا-۱ ↑		آلفا ۲ ↓			
۰/۰۴۶ ± ۰/۰۱۹		۰/۰۱۴ ± ۰/۰۰۶			

جدول شماره ۳: نتایج حاصل از تابش ناحیه Cz تحت میدان مغناطیسی ۱۷Hz هر تریز در حالت چشم بسته

T4	T3	Cz	F4	F3	نقاط ثبت
					تحت تابش
					ELF-MF
					تا (۰/۳۹۲)
					بتا (۰/۲۲)
					تا ↑
					۰/۰۴۷ ± ۰/۰۱۷
					بتا ↓
					۰/۰۷۴ ± ۰/۰۱۸

جدول شماره ۵: نتایج حاصل از تابش ناحیه T4 تحت میدان مغناطیسی ۳Hz در حالت چشم بسته

T4	T3	Cz	F4	F3	نقاط ثبت
					تحت تابش
					ELF-MF
					بتا (۰/۹۰۳)
					دلتا (۰/۳۷۸)
					دلتا (۰/۱۱۰)
					دلتا (۰/۲۷۵)
					آلفا ۱ (۰/۰۹۶)
					بتا ↑
					دلتا ↑
					دلتا ↑
					دلتا ↑
					۰/۰۴۷ ± ۰/۰۱۸
					۰/۰۲۷ ± ۰/۰۱۰
					۰/۰۲۶ ± ۰/۰۱۲
					۰/۰۱۵ ± ۰/۰۰۷
					آلفا-۱ ↓
					۰/۰۱۶ ± ۰/۰۰۶
					۰/۰۴۷

داشت، در حالی که در گروه شم هیچ تغییر با معنی در طیف توان مشاهده نشد. با وجود تلاش بسیار برای حذف نویزهایی که در ناحیه T3 و T4 به خصوص توسط EMG ماهیچه‌های حول گردن و فک به علت طولانی شدن زمان آزمایش ظاهر می‌شد، باز هم متأسفانه اثراتی به صورت کاهش مقادیر p در حالت بدون تابش برای این نواحی قابل مشاهده بود.

در این بررسی، زمانی که ناحیه F3 تحت تابش میدان مغناطیسی ۱۰Hz قرار داشت، هیچ اثر معنی‌داری در حالت چشم بسته مشاهده نگردید. همچنین در اثر تابش ناحیه F4 چه در حالت چشم باز و چه در حالت چشم بسته، هیچ گونه اثر با معنی دیده نشد. به عبارت دیگر، اعمال میدان مغناطیسی ۲۴۰ μT با فرکانس ۴۵Hz بر ناحیه F4 هیچ تأثیری بر سیگنال‌های مغزی نگذاشت. تابش ناحیه T4 در حالت چشم باز نیز هیچ اثر مشخصی که از لحاظ آماری معنی‌دار باشد، نداشت. در مقایسه سیگنال مغزی قبل از شروع تابش و ثبت در حالت چشم باز و بسته و سیگنال مغزی

زمانی که ناحیه T3 در حالت چشم بسته تحت تابش میدان مغناطیسی با فرکانس ۵Hz قرار گرفت. طیف توان نسبی در باند دلتای این ناحیه (۰/۰۲۳ ± ۰/۰۱۰) و ناحیه F3 (۰/۰۳۵ ± ۰/۰۱۳) و همچنین باند آلفای ناحیه T4 (۰/۰۵۶ ± ۰/۰۲۵) تغییر معنی‌داری

مشابه اما با شدت کمتر و بیشتر از $240 \mu T$ بهتر می‌تواند صورت پذیرد.

یکی از نکات بسیار مهم، توجه به اثرات مشاهده‌شده در نواحی پیشانی است که از دو جنبه واجد اهمیت است:

الف: مشاهده اثرپذیری همزمان ۲ ناحیه F3 و F4 هنگامی که نواحی F3, Cz و F4 تحت تابش هستند (جداول شماره ۱، ۲ و ناحیه T3 حالت چشم بسته) و اثرناپذیری همزمان ۲ ناحیه در تابش ناحیه F4، که همگی را می‌توان در حالت چشم باز به ارتباط‌های بین این ۲ ناحیه و منابع مشترک تولید امواج مغزی مرتبط دانست که این نوع ارتباطات در مباحث روانشناسی و درمان بیماری‌های روانی از طریق سیگنال‌های مغزی کمی (QEEG (Quantitative EEG بسیار متداول می‌باشد (۲۶) و تابش موضعی نیز این مسئله را به روشنی نشان داده و بر آن صحنه می‌گذارد.

ب: با وجود اینکه در تحقیقاتی که تمام نواحی سر تحت تابش قرار دارد، باندهای فرکانسی مربوط به امواج حاصل از ناحیه پیشانی، هیچ اثری را نشان نمی‌دهد (۱۸، ۱۷) (۲۷، ۲۳، ۲۱)، اما در تحقیق حاضر، اثرات قابل توجهی در تابش موضعی این نواحی مشاهده گردید که می‌توان به نوعی مکانیزم مهارتی توسط تحریک نواحی که سیگنال‌های مناطق آهیانه و پس‌سری را کنترل می‌کند بر نواحی پیشانی تصور نمود، و یا به گردانیدن میدان مغناطیسی در سطح نوروها و سلول‌هایی که با هم ارتباط دارند، نسبت داد. با توجه به یافته‌های ارائه‌شده، تنها در حالت تابش نواحی گیجگاهی، اثراتی در ناحیه مرکزی قابل مشاهده است (جدول شماره ۴ و ناحیه T3 حالت چشم بسته)، درحالی که در تابش کل نواحی سر، به‌ندرت ناحیه مرکزی تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در صورت اثرپذیری موجب افزایش باند آلفا می‌شود (۲۸)، از طرفی، با تابش ۳ هرترزی ناحیه T4، موج آلفا-۲ کاهش می‌یابد. تابش ناحیه T3 و T4 در حالت چشم بسته، تقریباً در تمام باندها تأثیراتی قابل تأمل دارد (جداول شماره ۴ و ناحیه T3 حالت چشم بسته)، این نواحی مربوط به حالت تسکین درد در درمان‌های نروفیدبک که براساس تغییر سیگنال‌های مغزی بناشده، مورد استفاده و توجه می‌باشد (۳۷، ۳۶) (۳۰، ۲۹)، و افزایش باند آلفا که در تابش T3 در این نواحی به چشم می‌خورد، می‌تواند نوعی آرامش یا تسکین درد را در شخص القا کند که این موضوع به

ثبت‌شده، دقیقاً ۱۰ دقیقه بعد از آخرین تابش، تغییر خاصی در باندهای مختلف با توجه به ثبت ۵ نقطه مشاهده نگردید، که این نتیجه با نظر Cook، مبنی بر حذف تغییرات ناشی از اثر میدان‌ها در مدت بیشتر از ۷ دقیقه از زمان تابش مطابقت داشت (۱۸). بنابراین در روند پرتکل اجرایی مبنی بر حذف اثر ناشی از میدان بعد از ۱۰ دقیقه و تابش میدان بعدی، خللی ایجاد نشد.

بحث

Bell و همکارانش با مطالعه بر روی پدیده تشدید، گزارش نمودند که تابش میدان مغناطیسی 10 Hz باعث افزایش فرکانس 10 Hz در سیگنال مغزی می‌شود (۱۴)، که در تابش موضعی F3 با این فرکانس این پدیده قابل مشاهده نیست. اما در حالت چشم باز، ناحیه آلفا-۲ ($10-12/5$) و بتا ($13-29/5$) دچار تغییراتی گردید که تأییدکننده یافته Morino و همکارانش بود که تغییر در فرکانس $10-18/5 \text{ Hz}$ را در این مورد گزارش نمودند (۱۶) علاوه بر این، پدیده تشدید در فرکانس‌ها و محل‌های دیگر نیز مورد مطالعه قرار گرفت که هیچ‌یک از بررسی‌ها وجود چنین پدیده‌ای را تأیید نکرد. شاید ریشه تناقض را بتوان در تفاوت شدت تابشی ناحیه تالاموس جستجو نمود؛ زیرا یکی از منابع تولید امواج آلفا در این ناحیه می‌باشد، به‌طوری که اگر ارتباط بین تالاموس و کرتکس قطع شود با وجود امواج دلتا و تتا، امواج آلفا نیز حذف می‌گردد (۲۴) و چون میدان تابشی به کار گرفته‌شده در این آزمایش با عکس توان ۲ فاصله کاهش می‌یابد، بنابراین نواحی و هسته‌های مرکزی مغز نیز شدت میدان بسیار کمتری را تجربه خواهند کرد، و میدان‌هایی با شدت‌های مختلف اثر متفاوتی را به‌عنوان مثال بر روی موج آلفا می‌گذارند (۱۷)، اما با توجه به اینکه شدت میدان مغناطیسی تولیدشده توسط کوئل در فاصله $1/5 \text{ cm}$ از سطح پوست $240 \mu T$ است، بنابراین عدم اثرپذیری به‌صورت پدیده تشدید با منشأ کرتکس (فاصله متوسط قشر کرتکس تا سطح پوست تقریباً $1/2 \text{ cm}$ است) (۲۵)، در تابش میدان مغناطیسی با شدت $240 \mu T$ در نواحی مختلف با فرکانس‌های متنوع رد شده و حتی مشاهده پدیده تشدید در امواج دلتا و تتا که منشأ کرتکسی برای آن فرض می‌شود نیز محقق نشده است. در هر صورت بحث در این مورد، با انجام آزمایش‌های

نواحی پیشانی در اثر تابش Cz را توجیه کند، در حالی که تغییر در EEG ثبت شده ناحیه Cz، با وجود قرار گرفتن در معرض شدیدتر میدان مغناطیسی، قابل مشاهده نیست.

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد در تابش موضعی ELF-MF اثر تشدید مشاهده نمی‌شود. تابش موضعی در یک نقطه نیز لزوماً تغییر در نقطه تابش ایجاد نمی‌کند، که می‌توان منشأ آن را در ارتباطات بین نواحی مختلف مغز و گرادیان میدان مغناطیسی تصور نمود. همچنین بر اساس نتایج، تابش در بعضی از نواحی باعث تغییرات در باندهایی می‌شود که ممکن است در حوزه روانشناسی برای هدایت هدفمند سیگنال مغزی به منظور بهبود بعضی از بیماری‌ها مؤثر باشند که برای حصول به این هدف، گسترش تجربیات و تحقیقات بیشتر با به کارگیری میدان‌های مغناطیسی ELF با شدت‌ها مختلف، به منظور بررسی اثر پروتکل‌های مختلف تابش موضعی روی سیگنال مغزی ضروری به نظر می‌رسد.

تحقیق بیشتری نیاز دارد. پدیده دیگری که در این بررسی بسیار جالب به نظر رسید و البته نیازمند تحقیقات بیشتری با شدت‌های بالاتر و کمتر از شدت مورد استفاده در این مطالعه است، تأثیرناپذیری ناحیه Cz در شرایطی بود که این ناحیه تحت تابش میدان مغناطیسی با فرکانس ۱۷Hz قرار گرفت، در حالی که افزایش آلفا-۲ در نواحی F3 و F4 در حالت چشم باز مشاهده گردید، علاوه بر اینکه در حالت چشم بسته نیز تغییر در باند آلفا-۲ این نواحی قابل رؤیت بود، لذا دیدن این پدیده در کنار تحقیقاتی که با تابش ترکیبی از میدان مغناطیسی ۱۶/۵Hz و استاتیک، سعی در اثبات اهمیت اثر تشدید سیکلوترونی پتاسیم دارند (۳۱،۳۲) می‌تواند حایز اهمیت باشد. بنابر یافته‌های این مطالعات، ترکیب میدان مغناطیسی بسیار ضعیف حتی کمتر از ۱μT و میدان مغناطیسی استاتیک حدود ۴۰μT، می‌تواند باعث تشدید حرکت سیکلوترونی این یون شود. از طرفی، با توجه به میدان مغناطیسی زمین در تهران که حدود ۴۰μT می‌باشد و به علت میرایی میدان تولیدشده، احتمال رخداد این پدیده می‌تواند در فواصل دورتر نسبت به محل تابش نیز وجود داشته باشد و اثر بر

References:

- Novikov VV, Novikov GV, Fesenko EE. Effect of Weak Combined Static and Extremely Low-Frequency Alternating Magnetic Fields on Tumor Growth in Mice Inoculated with the Ehrlich Ascites Carcinoma. *Bioelectromagnetics* 2009;30(5):343-51.
- Hwang SJ, Lublinsky S, Seo YK, Kim IS, Judex S. Extremely Small-Magnitude Accelerations Enhance Bone Regeneration: A Preliminary Study. *Clin Orthop* 2009;467(4):1083-91.
- Gurgul S, Erdal N, Yilmaz SN, Yildiz A, Ankarali H. Deterioration of Bone Quality by Long-Term Magnetic Field with Extremely Low Frequency in Rats. *Bone* 2008;42(1):74-80.
- Del Seppia C, Ghione S, Luschi P, Ossenkopp KP, Choleris E, Kavaliers M. Pain Perception and Electromagnetic Fields. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 2007;31(4):619-42.
- Shupak NM, Prato FS, Thomas AW. Human Exposure to a Specific Pulsed Magnetic Field: Effects on Thermal Sensory and Pain Thresholds. *Neurosci Lett* 2004;363(2):157-62.
- Thomas AW, White KP, Drost DJ, Cook CM, Prato FS. A Comparison of Rheumatoid Arthritis and Fibromyalgia Patients and Healthy Controls Exposed to a Pulsed (200 μ T) Magnetic Field: Effects on Normal Standing Balance. *Neuroscience Letters* 2001;309(1):17-20.
- Legros A, Beuter A. Effect of a Low Intensity Magnetic Field on Human Motor Behavior. *Bioelectromagnetics* 2005;26(8):657-69.
- Legros A, Beuter A. Individual Subject Sensitivity to Extremely Low Frequency Magnetic Field. *Neurotoxicology* 2006;27(4):534-46.
- Legros A, Gaillot P, Beuter A. Transient Effect of Low-Intensity Magnetic Field on Human Motor Control. *Med Eng Phys* 2006;28(8):827-36.
- Dobson J, Pierre TS, Wieser HG, Fuller M. Changes in Paroxysmal Brainwave Patterns of Epileptics by Weak-Field Magnetic Stimulation. *Bioelectromagnetics* 2000;21(2):94-9.

11. Dobson J St. Pierre TG, Schultheiss-Grassi PP, Gregor Wieser H, Kuster N. Analysis of EEC Data from Weak-Field Magnetic Stimulation of Mesial Temporal lobe Epilepsy Patients. *Brain Res* 2000;868(2):386-91.
12. Fuller M, Wilson CL, Velasco AL, Dunn JR, Zoeger J. On the Confirmation of an Effect of Magnetic Fields on the Interictal Firing Rate of Epileptic Patients. *Brain Res Bull* 2003;60(1-2):43-52.
13. Bell GB, Marino AA, Chesson AL. Alterations in Brain Electrical Activity Caused by Magnetic Fields: Detecting the Detection Process. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1992;83(6):389-97.
14. Bell GB, Marino AA, Chesson AL. Frequency-Specific Responses in the Human Brain Cause by Electromagnetic-Fields. *Journal of the Neurological Sciences* 1994;123(1-2):26-32.
15. Bell G, Marino A, Chesson A, Struve F. Electrical States in the Rabbit Brain Can be Altered by Light and Electromagnetic Fields. *Brain Res* 1992;570(1-2):307-15.
16. Marino AA, Bell GB, Chesson A. Low-level EMFs are Transduced Like Other Stimuli. *J Neurol Sci* 1996;144(1-2):99-1.
17. Ghione S, Del Seppia C, Mezzasalma L, Bonfiglio L. Effects of 50 Hz Electromagnetic Fields on Electroencephalographic Alpha Activity, Dental Pain Threshold and Cardiovascular Parameters in Humans. *Neurosci Lett* 2005;382(1-2):112-7.
18. Cook CM, Thomas AW, Prato FS. Resting EEG Is Affected by Exposure to a Pulsed ELF Magnetic Field. *Bioelectromagnetics* 2004;25(3):196-203.
19. Cook CM, Saucier DM, Thomas AW, Prato FS. Exposure to ELF Magnetic and ELF-Modulated Radiofrequency Fields: The Time Course of Physiological and Cognitive Effects Observed in Recent Studies (2001-2005). *Bioelectromagnetics* 2006;27(8):613-27.
20. Cook CM, Thomas AW, Keenlside L, Prato FS. Resting EEG Effects during Exposure to a Pulsed ELF Magnetic Field. *Bioelectromagnetics* 2005;26(5):367-376.
21. Cook CM, Saucier DM, Thomas AW, Prato FS. Changes in Human EEG Alpha Activity Following Exposure to Two Different Pulsed Magnetic Field Sequences. *Bioelectromagnetics* 2009;30(1):9-20.
22. Cook CM, Thomas AW, Prato FS. Human Electrophysiological and Cognitive Effects of Exposure to ELF Magnetic and ELF Modulated RF and Microwave Fields: A Review of Recent Studies. *Bioelectromagnetics* 2002;23(2):144-57.
23. Bell GB, Marino AA, Chesson AL. Frequency-Specific Responses in the Human Brain Caused by Electromagnetic Fields. *J Neurol Sci* 1994;123(1-2):26-32.
24. Guyton AC, Hall JE. *Text Book of Medical Physiology*. 10th ed. Tehran: Samat; 2000. p. 848-849. [Text in Persian]
25. Rush S, Driscoll DA. EEG Electrode Sensitivity-an Application of Reciprocity. *IEEE Trans Biomed Eng* 1969;16(1):15-22.
26. Kropotov JD. *Quantitative EEG, Event-Related Potentials and Neurotherapy*. Elsviar; 2009. p. 131-133.
27. Bell GB, Marino AA, Chesson AL. Frequency-Specific Blocking in the Human Brain Caused by Electromagnetic Fields. *Neuroreport* 1994;5(4):510-2.
28. Ghione S, Seppia CD, Mezzasalma L, Bonfiglio L. Effects of 50Hz Electromagnetic Fields on Electroencephalographic Alpha Activity, Dental Pain Threshold and Cardiovascular Parameters in Humans. *Neuroscience Letters* 2005;382(1-2):112-7.
29. Othmer SF. Interhemispheric EEG Training. *Journal of Neurotherapy* 2005;9(2):87-96.
30. Sime A. Case Study of Trigeminal Neuralgia Using Neurofeedback and Peripheral Biofeedback. *Journal of Neurotherapy* 2004;8(1):59-70.
31. Kato M. *Electromagnetics in Biology*. Springer; 2006.
32. Novikov VV, Sheiman IM, Fesenko EE. Effect of Weak Static and Low-Frequency Alternating Magnetic Fields on the Fission and Regeneration of the Planarian *Dugesia (Girardia) Tigrina*. *Bioelectromagnetics* 2008;29(5):387-93.