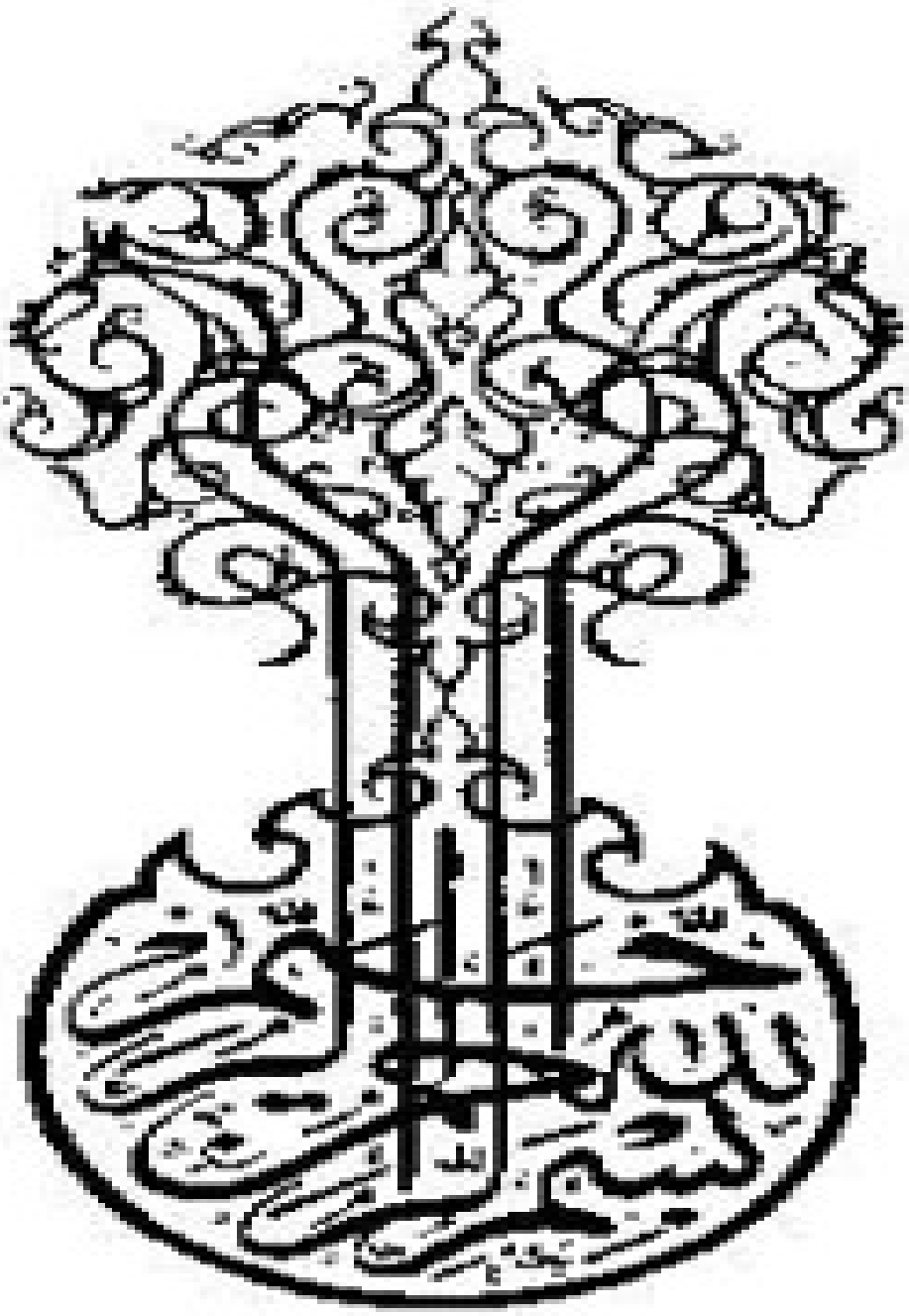


دانشکده علوم پایه

پایان نامه کارشناسی ارشد

اثر میدان های الکترومغناطیسی بر بیان eIF4E در کورتکس مغز

از:

معصومه عاشوری گورابی

استاد راهنما:

دکتر فرهاد مشایخی

شهریور ۱۳۹۱

خدایا:

به من زیستنی عطا کن، که در لحظه مرگ بر بی ثمری لحظه ای که برای زیستن گذشته است حسرت نخورم و مردنی عطا کن که بر بیهودگیش سوگوار نباشم. برای اینکه هر کس آنچنان می میرد که زندگی می کند.

خدایا:

تو چگونه زیستن را به من بیاموز، چگونه مردن را خود خواهم آموخت.

خدایا:

به من آرامش ده تا بپذیرم آنچه را که نمی توانم، تغییر دهم.

دلیری ده تا تغییر دهم آنچه را که می توانم تغییر دهم.

بینش ده تا تفاوت این دو را بدانم.

روزی از روزها،

شبی از شب ها،

خواهم افتاد و خواهم مرد،

اما می خواهم هر چه بیشتر بروم،

تا هر چه دورتر بیفتم،

تا هر چه دیرتر بیفتم،

هر چه دیرتر و دورتر بمیرم،

نمی خواهم حتی یک گام یا یک لحظه، پیش از آن که می توانسته ام بروم و بمانم، افتاده باشم و جان داده باشم، همین.

خدایا:

به من توفیق تلاش در شکست، صبر در نومیدی،

عظمت بی نام، ایمان بی ریا،

مناعت بی غرور، عشق بی هوس

و خوبی بی نمود روزی کن.

(((حمد و سپاس بی پایان آن خدای را که بر من منت نهاد تا در دریای علم بی کرانش غور کنم و در این راه همواره یاریم نمود.)))

مراتب قدردانی خود را تقدیم می کنم به...

همسرم، به خاطر تمام حمایت ها، دلگرمی ها، راهنمایی ها، گذشت ها و... هر چه یک انسان در راه تعالی انسان دیگر با همه عشق و وجودش می تواند نثار کند. از اینکه در مسیر پرفراز زندگی همسفری همچون او را در کنار خود دارم، بی تملق بر خود می بالم.

خانواده ام، که نگاه مهربان خود را در هیچ زمانی از زندگی، از من محروم نکردند و همواره مشوق من در مسیر علم و دانش بوده اند. دستان گرم و پر محبتشان را می بوسم.

خانواده همسرم، به خاطر حمایت های خالصانه و بی دریغشان.

استاد مهربان و دلسوزم، **جناب آقای دکتر فرهاد مشایخی**، که قلمم از نگارش زحماتشان فرسوده است، چرا که مرا بدون یاری ایشان توان به سرانجام رساندن این مهم نبود.

تمامی **اساتید بزرگوارم**، خانم **دکتر زیور صالحی**، آقای **دکتر محمد حاصلی**، آقای **دکتر عجمیان** که موجبات پیشرفت مرا فراهم نمودند.

جناب آقای **دکتر حمید رضا مشایخی و همکاران محترمشان در گروه فیزیک** که زحمت طراحی و ساخت دستگاه ایجاد کننده میدان الکترومغناطیسی را کشیدند و زمینه را برای انجام آزمایشات برای من فراهم کردند.

خانم **هادوی** که با دلسوزی فراوان و راهنمایی های ارزشمندشان، همواره مرا در مسیر انجام آزمایشات به ویژه در شرایط سخت یاری نمودند.

تمامی **دوستان و همراهان عزیزم**، در دانشکده علوم پایه به ویژه **دوستان فرهیخته ام در آزمایشگاه تکوین** که در حین انجام پروژه در کنارم بودند و با همفکری آنها توانستیم بر موانع زیادی فارغ آمده و در عین حال روزهای خوب و افتخار آمیزی را در کنار هم تجربه کنیم .

تمامی همکاران در آزمایشگاه تکوین، آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی، آزمایشگاه بیوشیمی و آزمایشگاه فیزیک که در حین انجام پروژه یاریم نمودند.

برای تمامی این عزیزان و دوستان از درگاه خداوند آرزوی موفقیت و سلامت را دارم.

چکیده

اثر میدان های الکترومغناطیسی بر بیان eIF4E در کورتکس مغز

معصومه عاشوری گورابی

در بسیاری از انواع سلولها، فرآیند ترجمه می تواند از طریق بیان فاکتور آغاز ترجمه، تنظیم شود. فاکتور آغاز ترجمه یوکاریوتی 4E (eIF4E)، که به ساختار کلاهک در انتهای 5'mRNA متصل می شود، نقش مهمی در تنظیم ترجمه و سنتز پروتئین بر عهده دارد. فسفوریله شدن eIF4E مستقیما با فعالیت آن مرتبط است. اعتقاد بر این است که فسفوریله شدن eIF4E و افزایش مداوم فعالیت آن در تنظیم بیان ژن به هنگام تمایز سلول ها در طی تکوین سیستم عصبی بسیار موثر است. هدف از این تحقیق بررسی اثر میدانهای الکترومغناطیسی بر بیان eIF4E در کورتکس مغز موش می باشد. تفاوت معنی داری در غلظت کل پروتئین بین گروههای تحت میدان و کنترل مشاهده نشد، اما انجام ایمونوهیستوشیمی و وسترن بلات نشان داد که میدانهای الکترومغناطیسی بیان eIF4E را در کورتکس مغز نمونه های تحت میدان در مقایسه با نمونه های کنترل به طور قابل توجهی افزایش می دهند. به طور کلی نتیجه گیری می شود که میدانهای الکترومغناطیسی بر فرآیند پروتئین سازی در کورتکس مغز از طریق افزایش بیان eIF4E اثر می گذارند.

کلید واژه: میدان الکترومغناطیسی، فاکتور آغاز کننده ترجمه یوکاریوتی 4E، کورتکس مغز، پروتئین سازی.

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

چکیده فارسی..... س

چکیده انگلیسی..... ش

فصل اول/ مقدمه

۱-۱. میدانهای الکترومغناطیسی..... ۱

۱-۲. ماهیت انرژی الکترومغناطیسی..... ۲

۱-۳. انواع تشعشعات الکترومغناطیسی..... ۲

۱-۳-۱. تفاوت بین تشعشعات الکترومغناطیسی یونیزه کننده و تشعشعات غیر یونیزه کننده..... ۲

۱-۴. بررسی اثرات مختلف میدانهای الکترومغناطیسی بر مغز..... ۳

۱-۴-۱. تاثیر میدانهای الکترومغناطیسی بر روی غشاء سلول های نورون..... ۳

۱-۴-۲. تاثیر میدانهای الکترومغناطیسی بر سیستم های انتقال دهنده عصبی در مغز..... ۴

۱-۴-۳. میدانهای الکترومغناطیسی و ترشح ملاتونین..... ۴

۱-۴-۴. بررسی مطالعات تاثیر میدانهای الکترومغناطیسی بر عملکرد مغز در انسان..... ۵

۱-۵. مکانیسم اثرات میدانهای الکترومغناطیسی بر مغز..... ۷

۱-۵-۱. تاثیر میدانهای الکترومغناطیسی بر تکثیر، تمایز و ترمیم سلولهای عصبی در مغز..... ۷

۱-۵-۲. تحریک مغناطیسی تراجمجمه ای ریتمیک و اثرات حفاظت کننده آن بر نورونها..... ۱۰

۱-۵-۳. نقش میدانهای الکترومغناطیسی در بیماری های تحلیل رونده عصبی..... ۱۲

۱- ۶. اثرات مفید تشعشعات الکترومغناطیسی در پزشکی..... ۱۳

۱- ۷. سنتز پروتئین..... ۱۳

۱-۸. eIF4E..... ۱۴

۱-۹. نقش eIF4E در سلول..... ۱۵

۱-۹-۱. eIF4E و آغاز ترجمه وابسته به cap..... ۱۵

۱-۹-۲. eIF4E و خروج از هسته mRNAs خاص..... ۱۷

۱-۹-۳. eIF4E و تشکیل حافظه..... ۱۸

۱-۹-۴. eIF4E و پیری ۱۸
۱-۹-۵. eIF4E و ترجمه mRNAs ویروسی بدون cap ۱۹
۱-۹-۶. eIF4E به عنوان یک واحد تنظیمی RNA ۱۹
۱-۱۰. عوامل موثر بر بیان eIF4E در سلول ۲۲
۱-۱۱. تنظیم فعالیت eIF4E ۲۲
۱-۱۱-۱. فسفوریله شدن eIF4E و اهمیت آن ۲۲
۱-۱۱-۲. پروتئین های متصل شونده به eIF4E یا 4E-BPs ۲۳
۱-۱۲. گذرگاه mTOR ۲۴
۱-۱۳. اهمیت بیان و فسفوریله شدن eIF4E در تومور ۲۵
۱-۱۴. اثر میدان های الکترومغناطیسی بر پروتئین سازی ۲۸
۱-۱۵. هدف ۳۱

فصل دوم / مواد و روشها

۲-۱. دستگاه های مورد نیاز..... ۳۲

۲-۲. مواد مورد نیاز..... ۳۳

۲-۳. تهیه نمونه..... ۳۵

۲-۴. بررسی اثر میدان های الکترومغناطیسی بر مورفولوژی و ضخامت کورتکس مغز موش های نر بالغ..... ۳۶

۲-۴-۱. روش آماده کردن نمونه های کورتکس مغز برای قالب بندی و برش گیری..... ۳۶

۲-۴-۲. رنگ آمیزی به روش هماتوکسیلین- ائوزین..... ۳۷

۲-۵. تهیه بافر لیز برای بدست آوردن عصاره مغز موش..... ۳۸

۲-۶. تهیه عصاره سلولی از بافت کورتکس مغز موش..... ۳۹

۲-۷. تعیین غلظت کل پروتئین به روش برادفورد..... ۴۰

۲-۷-۱. آماده سازی محلول ها..... ۴۰

۲-۷-۱-۱. تهیه محلول برادفورد..... ۴۰

۲-۷-۱-۲. تهیه استوک BSA..... ۴۱

۲-۷-۱-۳. تهیه محلول های استاندارد..... ۴۱

۲-۷-۱-۴. انجام مراحل تعیین غلظت پروتئین های کورتکس مغز..... ۴۲

۲-۸. آماده سازی محلول ها و بافر های مورد نیاز برای الکتروفورز..... ۴۲

۲-۸-۱. تهیه بافر مخزن یا بافر الکترود..... ۴۲

۲-۸-۲. تهیه بافر نمونه..... ۴۳

۲-۸-۳. تهیه بافر ژل بالا..... ۴۳

۲-۸-۴. تهیه بافر ژل پایین..... ۴۴

۲-۸-۵. تهیه آکریل آمید ۳۰٪ و بیس آکریل آمید ۰/۸٪..... ۴۴

۲-۸-۶. تهیه آمونیوم پرسولفات۴۰٪..... ۴۴

۲-۹. آماده سازی ژل الکتروفورز ۴۵

۲-۹-۱. نحوه تهیه ژل پایین..... ۴۵

۲-۹-۲. نحوه تهیه ژل بالا..... ۴۵

۲-۱۰. آماده سازی نمونه ها برای انجام الکتروفورز..... ۴۶
۲-۱۱. روش انجام الکتروفورز SDS-PAGE..... ۴۷
۲-۱۲. رنگ آمیزی ژل پلی آکریل آمید..... ۴۸
۲-۱۲-۱. تهیه بافرهای رنگ آمیزی نیترات نقره..... ۴۹
۲-۱۲-۱-۱. تهیه محلول تثبیت کننده..... ۴۹
۲-۱۲-۱-۲. تهیه محلول حساس گر..... ۴۹
۲-۱۲-۱-۳. تهیه محلول رنگ آمیزی..... ۵۰
۲-۱۲-۱-۴. تهیه محلول ظاهر کننده..... ۵۰
۲-۱۲-۱-۵. تهیه محلول متوقف کننده..... ۵۰
۲-۱۲-۲. انجام رنگ آمیزی نیترات نقره..... ۵۰
۲-۱۳. بررسی بیان نسبی eIF4E در عصاره کورتکس مغز به روش وسترن بلات..... ۵۱
۲-۱۴. بررسی تمرکز eIF4E درکورتکس مغز به روش ایمونوهیستوشیمی..... ۵۳
۲-۱۴-۱. قالب گیری و برش گیری نمونه ها..... ۵۳
۲-۱۴-۲. رنگ آمیزی نمونه ها با آنتی بادی ضد eIF4E..... ۵۴

فصل سوم / نتایج

۳-۱. اثر میدان الکترومغناطیسی بر مورفولوژی و ضخامت لایه های مختلف کورتکس مغز در موش..... ۵۹

۳-۲. تعیین غلظت کل پروتئین به روش برادفورد..... ۶۳

۳-۲-۱. میزان غلظت کل پروتئین در عصاره کورتکس مغز گروه تحت میدان و گروه کنترل..... ۶۴

۳-۳. بررسی اثر میدان الکترومغناطیسی بر الگوی بیان پروتئین ها در کورتکس مغز به روش الکتروفورز..... ۶۵

۳-۴. بررسی بیان نسبی eIF4E در عصاره کورتکس مغز موش بالغ به روش وسترن بلات..... ۶۷

۳-۵. مطالعه تمرکز eIF4E در بافت کورتکس مغز موش به روش ایمونوهیستوشیمی..... ۶۹

فصل چهارم / بحث

۴-۱. بحث..... ۷۵

۴-۲. پیشنهادات..... ۸۲

فصل پنجم / منابع..... ۸۳

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۲-۱. تهیه بافر لیز..... ۳۹
جدول ۲-۲. تهیه محلول های استاندارد برای انجام برادفورد..... ۴۱
جدول ۲-۳. محلول های ژل پایین..... ۴۵
جدول ۲-۴. محلول های ژل بالا..... ۴۶
جدول ۳-۱. محاسبه جذب غلظت های مختلف Bovin serum albumin..... ۶۳
جدول ۳-۲. غلظت کل پروتئین عصاره کورتکس مغز در موش های تحت میدان و کنترل..... ۶۵
جدول ۳-۳. بیان نسبی فاکتور eIF4E در عصاره کورتکس مغز موشهای گروه تحت میدان و کنترل..... ۶۸
جدول ۳-۴. بیان نسبی فاکتور eIF4E در نمونه های بافت کورتکس مغز موشهای گروه تحت میدان و کنترل..... ۷۲

فهرست شکلها

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۱-۱. نمایش دستگاه های ساتع کننده امواج الکترومغناطیسی با فرکانسهای مختلف..... ۱

شکل ۱-۲. نمایی شماتیک از طیف الکترومغناطیسی..... ۳

شکل ۱-۳. اثرات تیمار rTMS روی بقای سلول های HT22..... ۱۱

شکل ۱-۴. ساختار سه بعدی eIF4E در موش..... ۱۴

شکل ۱-۵. نقش حیاتی eIF4E در سیتوپلاسم سلول..... ۱۶

شکل ۱-۶. نقش eIF4E در خروج از هسته mRNAs خاص..... ۱۸

شکل ۱-۷. اتصال eIF4E به پروتئین VP_g متصل شده به انتهای 5' RNA ویروسی، در Caliciviruses ... ۱۹

شکل ۱-۸. نمای شماتیک از فعالیت eIF4E RNA regulon..... ۲۱

شکل ۱-۹. توالی اسید آمینه ای eIF4E در انسان، موش و *Saccharomyces cerevisiae*..... ۲۱

شکل ۱-۱۰. نمای شماتیک از گذرگاه سیگنالدهی mTOR..... ۲۵

شکل ۲-۱. برش فرونتال بافت کورتکس مغز موش..... ۳۷

شکل ۳-۱. برش عرضی از بافت کورتکس مغز موش قرار گرفته در میدان الکترومغناطیسی و موش کنترل..... ۶۰

شکل ۳-۲. مقایسه تعداد سلولهای لایه های مختلف کورتکس مغز در موشهای تحت میدان و کنترل..... ۶۱

شکل ۳-۳. مقایسه مورفولوژیکی ضخامت لایه های مختلف کورتکس مغز در موشهای تحت میدان و کنترل..... ۶۲

شکل ۳-۴. مقایسه ضخامت لایه های مختلف کورتکس مغز در موشهای تحت میدان و کنترل..... ۶۲

شکل ۳-۵. منحنی استاندارد BSA با غلظت های متفاوت همراه با معادله خط و ضریب همبستگی..... ۶۴

شکل ۳-۶. مقایسه غلظت کل پروتئین های عصاره کورتکس مغز در موشهای تحت میدان و کنترل..... ۶۵

شکل ۳-۷. الگوی الکتروفورزی بیان پروتئین های عصاره کورتکس مغز در موش های قرار گرفته در میدان الکترومغناطیسی و موشهای کنترل..... ۶۶

شکل ۳-۸. آنالیز وسترن بلات بیان نسبی پروتئین eIF4E در عصاره کورتکس مغز موش قرار گرفته در میدان الکترو-مغناطیسی و موش کنترل ۶۷

شکل ۳-۹. بیان نسبی eIF4E در عصاره کورتکس مغز موشهای تحت میدان و کنترل ۶۸

شکل ۳-۱۰. بررسی بیان eIF4E در بافت کورتکس مغز موش های تحت میدان و موش های کنترل به روش ایمونو-هیستوشیمی..... ۶۹
شکل ۳-۱۱. بررسی بیان eIF4E در ناحیه حدواسط بافت کورتکس مغز موش های تحت میدان و کنترل به روش ایمونو-هیستوشیمی..... ۷۰
شکل ۳-۱۲. بررسی بیان eIF4E در ناحیه صفحه قشری بافت کورتکس مغز موشهای تحت میدان و کنترل به روش ایمونو-هیستوشیمی..... ۷۱
شکل ۳-۱۳. بیان نسبی eIF4E در نمونه های کورتکس مغز موش های تحت میدان و کنترل..... ۷۲
شکل ۳-۱۴. بررسی بیان سیتوپلاسمی eIF4E در بافت کورتکس مغز موشهای تحت میدان و کنترل به روش ایمونوهیستو-شیمی..... ۷۴

فهرست علائم اختصاری

4E-BP: 4E Binding Protein

APS: Amoniume per sulphate

ATP: Adenosine Tri Phosphate

BSA: Bovine Serum Albumine

DTT: Di Tio Tritole

EDTA: Ethylene Diamine Tetra Acetate

eIF4E: eukaryotic Initiation Factor 4E

eIFs: eukaryotic Initiation Factors

ERK: Extracellular Signal Regulated Kinase

FGF2: Fibroblast Growth Factor 2

IRES: Internal Ribosome Entry Site

MAPK: Mitogen-activated protein kinases

mRNA: Messenger Ribo Nucleic Acid

mTOR: Mammalian Target Of Rapamycin

NGF: Nerve Growth Factor

ODC: Ornithine De Carboxylase

PKC: Protien Kinase C

PMSF: Poly Methyl Sulphonyle Fluoride

PTEN: Phosphatase and tensin homologe

SDS: Sodium Dodecyl Sulphate

SDS-PAGE: Sodium Dodecyl Sulphate Poly Acrylamide Gel Electrophoresis

TEMED: N, N, N', N'-Tetramethyl-ethylendiamine

UTR: Un Translated Region

VEGF: Vascular Epidermal (Endothelial) Growth Factor

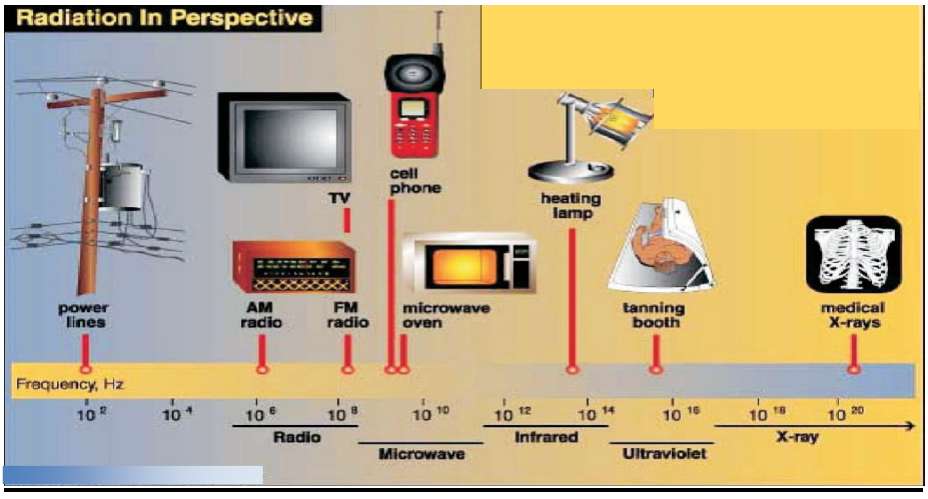
فصل اول

مقدمه

در قرن اخیر با افزایش گسترده مخابرات ماهواره ای و زمینی، تلفن های همراه، مایکروویو و سایر دستگاه های تولید کننده امواج الکترومغناطیسی، خانه، محل کار و تفریگاه ها در معرض تشعشعات مختلف الکترومغناطیسی قرار دارند. تاکنون جنبه های گوناگونی از آثار بیولوژیکی این تشعشعات بر سلامت بدن مورد بررسی قرار گرفته است [Grafström et al., 2008]. با توجه به افزایش نگرانی ها در مورد خطرات سلامتی، به ویژه خطر ابتلا به تومورهای مغزی ناشی از قرار گرفتن در میدانهای الکترومغناطیسی [Hardell et al., 2009] و در نظر گرفتن این مهم که در ایجاد تومورها نیاز به تولید پروتئین های فراوان است، در این تحقیق تاثیر میدانهای الکترومغناطیسی بر بیان eIF4E در کورتکس مغز مورد بررسی قرار گرفت، که یک فاکتور مهم در فرآیند ترجمه پروتئین ها در سلول می باشد و نقشی اساسی در ایجاد و پیشرفت بسیاری از انواع تومورها بر عهده دارد. لذا در ابتدا به تشریح ماهیت میدانهای الکترومغناطیسی و تاثیر آنها بر فرآیندهای مختلف عملکردی مغز پرداخته می شود.

۱-۱) میدانهای الکترومغناطیسی:

تشعشع الکترومغناطیسی به صورت انتشار انرژی در فضا به شکل امواج الکتریکی و مغناطیسی که با یکدیگر حرکت می کنند، تعریف می شود. این امواج می توانند توسط حرکت بارهای الکتریکی در اشیاء فلزی هادی یا آنتن تولید شوند و میدانهای الکترومغناطیسی برای مشخص کردن حضور انرژی الکترومغناطیسی در محلی اتلاق می شوند. امواج رادیویی[1]، مادون قرمز، نور مرئی، اشعه های فرابنفش، ایکس و گاما اشکالی از انرژی الکترومغناطیسی به حساب می آیند (شکل ۱-۱). میدانهای الکترومغناطیسی به دو صورت ۱) پیوسته یا سینوسی و ۲) پالسی می باشند [Schelkunoff, 1943; Van Bladel, 1964; Surgeon et al., 2005].



شکل ۱-۱: نمایش دستگاه های ساتع کننده امواج الکترومغناطیسی با فرکانس های مختلف [Surgeon et al., 2005].

1- Radio Frequency

۱-۲) ماهیت انرژی الکترومغناطیسی:

انرژی الکترومغناطیسی از منبع تولید، به صورت امواج، که در یک چرخه ۳۶۰ درجه نسبت به زمان تغییر می کنند، انتشار می یابد. شکل موجی که اغلب به عنوان فرم موج پایه مورد بررسی قرار می گیرد، شکل موج سینوسی است [Mantiply, 1988].

۱-۳) انواع تشعشعات الکترومغناطیسی:

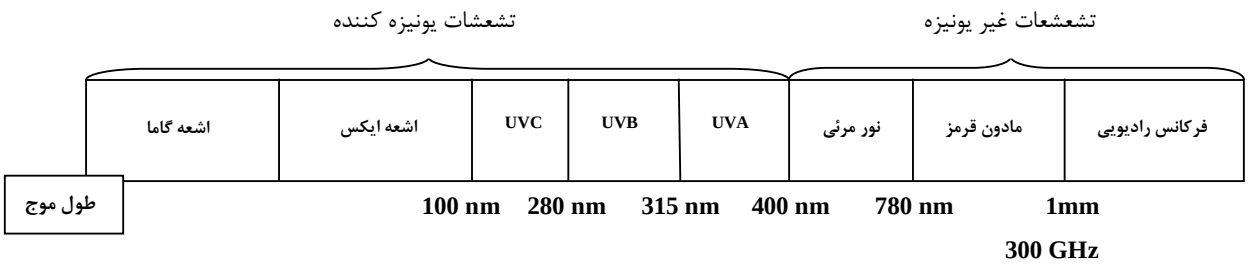
مفاهیم تشعشعات الکترومغناطیسی، هنوز به صورت مفاهیمی مبهم تلقی می شوند. شکی نیست که یکی از دلایل عمده این ابهام، آشکار نبودن این امواج است. به طور کلی تشعشعات الکترومغناطیسی بر دو نوع هستند: ۱) تشعشعات یونیزه کننده[1]، ۲) تشعشعات غیر یونیزه کننده[2]. در بیشتر مواقع تشعشعات الکترومغناطیسی یونیزه کننده با انواع غیر یونیزه کننده آن توسط افراد اشتباه گرفته می شوند. بنابراین ضروری است که تفاوت بین این دو نوع امواج الکترومغناطیسی به خوبی مشخص گردد، زیرا اختلاف عمده ای بین اثرات این تشعشعات وجود دارد [Schilling, 2000; Vihar et al., 2005].

۱-۳-۱) تفاوت بین تشعشعات الکترومغناطیسی یونیزه کننده و تشعشعات غیر یونیزه کننده:

۱) تشعشعات الکترومغناطیسی یونیزه کننده: این نوع از تشعشعات، انرژی الکترومغناطیسی کافی برای شکستن پیوند اتم ها و مولکول ها در بافت، ایجاد رادیکال های آزاد و همچنین تغییر واکنش های شیمیایی بدن را دارند و می توانند باعث سرطان گردند. پرتوهای گاما و ایکس، دو نوع تشعشعات یونیزه کننده به حساب می آیند.

۲) تشعشعات الکترومغناطیسی غیر یونیزه کننده: این نوع از تشعشعات کاملا ایمن هستند، اثرات دمایی کمی دارند و انرژی لازم برای ایجاد هر نوع آسیب طولانی مدت به بافت بدن را ندارند. انرژی فرکانس رادیویی، نورمرئی و تشعشعات مایکروویو به عنوان غیر یونیزه کننده ها به حساب می آیند (شکل ۱-۲) [Schilling, 2000; Vihar et al., 2005].

1- Ionizing radiation
2- Non-ionizing radiation



شکل ۱-۲: نمایی شماتیک از طیف الکترومغناطیسی. بیشترین انرژی فرکانس رادیویی که با توجه به استانداردهای ایمنی مورد استفاده قرار می گیرد طول موج آن حدود $۱۰^{-۳}$ متر و با فرکانس ۳۰۰ گیگاهرتز می باشد. ۳۰۰ گیگاهرتز معادل انرژی ۰/۰۰۰۱۲۵ الکترون ولت است که چهار مرتبه از انرژی لازم برای یونیزاسیون کمتر است [Schilling, 2000].

۱-۴) بررسی اثرات مختلف میدانهای الکترومغناطیسی بر مغز:

با توجه به یافته های علمی، امروزه این مسئله مدنظر است که میزان تاثیرگذاری و به تبع آن خطرات احتمالی ناشی از امواج الکترومغناطیسی بر مغز انسان، با توجه به اینکه مغز نزدیکترین اندام هدف برای تشعشعات طول موج کوتاه الکترومغناطیسی در زمان مکالمه با تلفن همراه می باشد، از سایر نواحی بدن بیشتر است [Hardell et al., 2009]. در واقع سر انسان به عنوان یک آنتن و بافت مغز به عنوان یک دریافت کننده امواج رادیویی عمل می کنند. لذا تحقیق درباره جوانب مختلف تاثیرگذاری این امواج بر مغز ضروری می نماید [Weinberger and Richter, 2002]. در زیر فهرستی از مطالعات انجام شده در این زمینه آورده شده است.

۱-۴-۱) تاثیر میدانهای الکترومغناطیسی بر روی غشاء سلول های نورون:

غشای لپیدی که در اطراف سلول وجود دارد و غشاهای داخل سلولی، برای عملکرد طبیعی سلول، حیاتی و مهم میباشند. مولکولهای پروتئینی مهمی در داخل غشای سیتوپلاسمی وجود دارند که به عنوان گیرنده های مولکولهای خارج سلولی تشخیص دهنده فاکتورهای رشد، هورمون ها، انتقال دهنده های عصبی و غیره عمل می کنند. پروتئین های غشایی دیگر، پمپ ها[1] هستند که مانند کانالهایی عمل می کنند که نقش آنها انتقال یونهایی مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم با استفاده از منبع انرژی ATP از میان غشاء می باشد. تغییرات در هدایت کانال های یونی، که جریان یونها را در میان غشاء افزایش یا کاهش می دهند، باعث تغییراتی در پتانسیل واقع در درون سلولها می شود. در مورد یک نورون این امر می تواند روی تحریک پذیری و ماده انتقالی تولید شده در انتهای آکسون نورون، در محل سیناپس ها تاثیر بگذارد. تشعشعات الکترومغناطیسی می توانند روی کانال های غشایی و پروتئین های غشای نورونها در مغز اثر بگذارند، این تاثیرات در فرکانسهای بالا آشکار تر است، اما در

1- Pumps

فرکانس های پایین هم قابل مشاهده می باشند [Repacholi, 1998]. از جمله این اثرات، کاهش میزان تشکیل و کاهش فرکانس باز شدن کانالهای غشاء نورونها است [Unep, 1993]. تراوش یون های سدیم و پتاسیم که توسط غشاء سلولهای نورون انجام می شود، با تشعشعات الکترومغناطیسی در محدوده ۲۷ مگاهرتز تا ۱۰ گیگاهرتز تحت تاثیر قرار می گیرند [Cleary, 1990]. میدانهای الکترومغناطیسی با فرکانس ۲/۴۵ گیگاهرتز باعث کاهش تعداد کیسه های در برگیرنده کلسیم در داخل سلول های عصبی موشها می شوند و چون کلسیم در عملکرد نورون ها نقشی حیاتی دارد، بدین ترتیب باعث کاهش قابلیت تحریک نورون ها می گردند [Kittle et al., 1996]. ریزش پروتئین از غشاء نورون ها به عنوان نتیجه دیگر تاثیر تشعشعات فرکانس رادیویی گزارش شده است [Liburdy and Vanek, 1987].

اعتقاد بر این است که بعضی از این تاثیرات وقتی در نورون ها اتفاق می افتند که شدت میدان الکترومغناطیسی باعث ایجاد حرارت قابل توجهی شود که بیشتر از درجه حرارت طبیعی مغز باشد. با این وجود برخی از شواهد نشان می دهند که تشعشعات فرکانس رادیویی در سطوحی که توسط تلفن همراه تولید می شوند، علی الرغم آنکه بسیار ضعیف و حفاظت شده هستند، روی کانال های یونی و پروتئین های غشای نورون ها در مغز تحت شرایط فیزیولوژیکی طبیعی اثر می گذارند [Ammari et al., 2008; Valentini et al., 2007].

۱-۴-۲) تاثیر میدانهای الکترومغناطیسی بر سیستم های انتقال دهنده عصبی در مغز:

تغییرات در مقادیر ماده انتقال دهنده عصبی آزادشونده از پایانه های عصبی، می تواند باعث تغییراتی در عملکرد مغز شود. از آنجایی که آزاد شدن این مواد، به میزان کلسیم داخل سلولها وابسته است، بنابراین می توانند توسط تشعشع الکترومغناطیسی تحت تاثیر قرار گیرند. در یک بررسی مشاهده شد که میدان الکترومغناطیسی با فرکانس ۲/۴۵ گیگاهرتز باعث کاهش غلظت ماده انتقالی مهم استیل کولین در مغز موش می شود [Modak, 1991]. مطالعاتی همچنین روی نورآدرنالین، انتقال دهنده آمین و سروتونین متمرکز شده اند. تغییرات مختلفی در میزان این انتقال دهنده ها و متابولیت های آنها بعد از تشعشع دراز مدت الکترومغناطیسی بدست آمده است [Merritt et al., 1977; Inaba et al., 1992].

۱-۴-۳) میدانهای الکترومغناطیسی و ترشح ملاتونین:

ملاتونین یک هورمون است که توسط غده پینال و هیپوتالاموس ترشح می شود. ملاتونین یک گیرنده موثر رادیکالهای آزاد است که این رادیکالهای آزاد به سلولها آسیب می رسانند. شواهدی وجود دارد که نشان می دهند، ملاتونین یک تاثیر ضد سرطانی دارد. بنابراین تغییرات در ترشح ملاتونین، در ایجاد و پیشرفت تومور موثر است [NIEHS, 1998].

مطالعات نشان میدهند که میدانهای الکترومغناطیسی با فرکانس بسیار پایین، روی عملکرد غده پینال تاثیر می گذارند و ترشح ملاتونین را توسط این غده کاهش می دهند. بدین ترتیب یک رابطه بین تشعشع الکترومغناطیسی و سرطان نشان داده شد [Stevens, 1987].

۱-۴-۴) بررسی مطالعات تاثیر میدانهای الکترومغناطیسی بر عملکرد مغز در انسان:

اکثر مطالعات در مورد تاثیرگذاری امواج الکترومغناطیسی بر مغز، در خصوص حیوانات به ویژه موشها انجام شده است. تفاوت هایی در الگوی انرژی فرکانس رادیویی بین موشها و انسان وجود دارد که برخی از آنها عبارتند از:

۱) اندازه بافت مغز در انسان و موش نسبت به یکدیگر متفاوت است. تشعشعات به صورت یکنواخت در مغز جونده ها اعمال می شوند، در صورتی که در مغز انسان که بزرگتر است فقط نواحی از مغز که به گوش نزدیکترند، تحت تشعشع قرار می گیرند.

۲) استخوان جمجمه موش خیلی نازک است، در مقابل ضخامت بیشتر بافت های سطحی مغز (استخوان، ماهیچه، پوست) در انسان، منجر به کاهش قابل توجه جذب تشعشعات الکترومغناطیسی بین سطح و عمق مغز می گردد.

۳) ساختمان و ترکیب مغز در انسان و موش مشابه نیست. در انسان کورتکس بسیار سازمان یافته تر می باشد.

بنابراین تعمیم نتایج مطالعات حیوانی به تغییرات در عملکرد مغز انسان نادرست است. مغز پستاندارانی که از نظر اندازه به انسان نزدیکترند، مدل بهتری در توزیع انرژی الکترومغناطیسی جذب شده را ارائه می دهند [Ammari et al., 2008]. بر طبق آماری که اتحادیه ارتباطات تلفن همراه بین الملل[1] در سال ۲۰۰۵ منتشر کرد، تقریبا یک و نیم بیلیون مشترک تلفن همراه در سراسر جهان وجود دارند که ۱/۴ کل جمعیت جهان را شامل می شوند [Hospitals et al., 2005]. با توجه به گسترش قابل توجه استفاده کنندگان تلفن همراه، در دهه‌ای اخیر مطالعات زیادی بر این مسئله متمرکز شده اند، که تاثیر سیگنالهای تلفن همراه را بر عملکرد مغز انسان مورد بررسی قرار دهند. مطالعاتی که در زمینه حافظه و تمرکز صورت گرفته است نشان می دهند که سیگنالهای تلفن همراه باعث کاهش تمرکز افراد تحت تشعشع نمی شوند، اما می توانند حافظه افراد را تحت تاثیر قرار دهند [Preece et al., 1999; Koivisto et al., 2000; Bouji et al., 2012]. برخی از محققان معتقد هستند که تشعشع سیگنالهای تلفن همراه در سطوح توانی خاص، تاثیرات بیولوژیکی را که قدرت آنها برای تاثیرات رفتاری کافی است، در پی دارد [Preece et al., 1999; Koivisto et al., 2000]. در زمینه تاثیر سیگنالهای سیستم جهانی تلفن همراه[2] (GSM) روی جریان خونی- مغزی[3] مشاهده شد، سیگنالهایی با فرکانس ۹۰۰ مگاهرتز به مدت ۳۰ دقیقه به طور قابل توجه ای جریان خونی- مغزی را در محیط کورتکس طرفی از مغز که در معرض تشعشعات قرار می گیرد، افزایش

1- The International Telecommunications Union (ITU)
2- Global system for mobile
3- Cerebral blood flow