



دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق - مخابرات سیستم

ناحیه بندی خودکار تصاویر MRI مغزی با استفاده از الگوریتم

سطوح همتراز

بوسیله

زهرا شاهوران

استاد راهنما

دکتر کامران کاظمی

استاد مشاور

دکتر محمدصادق هل فروش

بهمن ماه ۱۳۹۰

صلى الله عليه وسلم

بسمه تعالی

ناحیه بندی خودکار تصاویر MRI مغزی با استفاده از الگوریتم سطوح همتراز

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

توسط

زهرا شاهوران

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه:

دکتر کامران کاظمی - استادیار رشته مخابرات-سیستم (استاد راهنما)

دکتر محمد صادق هل‌فروش - دانشیار رشته مخابرات-سیستم (استاد مشاور)

دکتر محمد جواد دهقانی - دانشیار رشته مخابرات-سیستم (داور)

دکتر حبیب‌الله دانیالی - استادیار رشته مخابرات-سیستم (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تقدیم به

همسر عزیزم که با شکیبایی و مهربانی مرا در این راه یاری نمود و به پدر و مادر
مهربان و صبورم که همواره با حمایت و محبت بی‌پایانشان پشتیبان و مشوق من
بوده‌اند.

سپاسگزاری

اکنون با به پایان رسیدن این مقطع تحصیلی بر خود لازم می‌دانم که از تمامی استادان، دوستان و عزیزانی که در طول این دوره تا به ثمر رسیدن آن مرا یاری و همراهی نمودند سپاسگزاری نمایم. بویژه از استاد ارجمند خود جناب آقای دکتر کامران کاظمی به خاطر زحمات فراوان و کمک‌های بی‌دریغشان در پیشبرد و انجام این پایان‌نامه به عنوان استاد راهنما و همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمدصادق هل‌فروش به عنوان استاد مشاور در این پایان‌نامه کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

در این پایان‌نامه هدف ارائه روشی خودکار به منظور ناحیه‌بندی تصاویر تشدید مغناطیسی مغز انسان به سه بافت مختلف ماده سفید، ماده خاکستری و مایع مغزی-نخاعی بر اساس الگوریتم سطوح همتراز می‌باشد. از مهمترین چالش‌ها در ناحیه‌بندی خودکار تصاویر تشدید مغناطیسی مغزی وجود نویز و نایکنواختی شدت روشنایی می‌باشد. در روش پیشنهاد شده در این پایان‌نامه با استفاده از الگوریتم سطوح همتراز، به طور همزمان ناحیه‌بندی تصاویر تشدید مغناطیسی مغزی، اصلاح نایکنواختی شدت روشنایی و حذف نویز انجام می‌گیرد. بدین منظور تابعی‌ای پیشنهاد شده است که از توزیع گوسی به همراه محاسبه اطلاعات میانگین و واریانس محلی بهره می‌جوید. در این روش با مدل کردن نایکنواختی شدت روشنایی تصاویر تشدید مغناطیسی مغزی به صورت یک مدل ریاضی به اصلاح آن در زمینه ناحیه‌بندی این گونه تصاویر پرداخته می‌شود. همچنین در روش پیشنهادی از میدان تصادفی مارکوف (مدل مارکوف) برای مدل سازی همبستگی مکانی بین پیکسل‌ها/وکسل‌های تصاویر تشدید مغناطیسی استفاده شده است. نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی داده‌های شبیه سازی شده و واقعی تصاویر تشدید مغناطیسی و همچنین ارزیابی‌های کیفی و کمی کارایی و دقت بالای روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های ارائه شده در سال‌های اخیر مانند LGDF و FSL را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی:

تصویر تشدید مغناطیسی، ناحیه‌بندی مغز، الگوریتم سطوح همتراز، مدل مارکوف، ناهمگنی شدت روشنایی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: ناحیه بندی تصاویر تشدید مغناطیسی مغز..... ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۲-۱- ساختمان مغز ۲

۳-۱- تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI) ۴

۴-۱- انواع تصاویر MRI مغزی انسان ۶

۵-۱- مروری بر روش های ناحیه بندی ۶

۶-۱- مشکلات ناحیه بندی تصاویر MRI ۷

۷-۱- اهداف پایان نامه ۸

۸-۱- رئوس مطالب ارائه شده در این پایان نامه ۹

فصل دوم: مروری بر روش های ناحیه بندی تصاویر MRI ۸

۱-۲- مقدمه ۸

۲-۲- روش های ناحیه بندی و دسته بندی آن ها ۸

۱-۲-۲- ناحیه بندی با استفاده از دسته بندی کننده ها ۹

۲-۲-۲- ناحیه بندی با کمک خواص ناحیه یا ناحیه بندی ساختاری ۹

۳-۲-۲- ناحیه بندی با استفاده از مرزهای تصویر ۱۰

۴-۲-۲- روش های ترکیبی ۱۳

- ۱۳ ۵-۲-۲- الگوریتم‌های آماری.....
- ۱۳ ۳-۲- روش مدل‌های فرم پذیر.....
- ۱۴ ۱-۳-۲- سطوح همتراز بر اساس لبه.....
- ۲۱ ۲-۳-۲- مدل‌های فرم پذیر ناحیه‌ای بر اساس روش مامفورد-شاه.....
- ۲۴ ۳-۳-۲- سطوح همتراز چند فاز.....
- ۲۶ ۴-۲- ناهمگنی شدت روشنایی (بایاس).....
- ۳۰ ۵-۲- مدل مارکوف.....
- ۳۱ ۱-۵-۲- تئوری مدل مارکوف.....
- ۳۲ ۲-۵-۲- استفاده از مدل مارکوف در ناحیه بندی تصاویر.....
- ۳۲ ۶-۲- خلاصه.....
- ۳۳ فصل سوم: ناحیه بندی تصاویر MRI مغزی با استفاده از روش پیشنهادی.....
- ۳۴ ۱-۳- الگوریتم پیشنهادی.....
- ۳۴ ۱-۱-۳- فرمول بندی بیز.....
- ۳۵ ۲-۱-۳- معرفی احتمال اولیه.....
- ۳۶ ۳-۱-۳- معرفی احتمال شرطی.....
- ۳۶ ۲-۳- مدل آماری برای تصاویر با ناهمگنی شدت روشنایی.....
- ۳۷ ۳-۳- فرمول بندی تابع انرژی.....
- ۳۷ ۴-۳- فرمول بندی بر اساس سطوح همتراز.....
- ۳۷ ۱-۴-۳- مدل دوفاز.....
- ۴۰ ۲-۴-۳- مدل چند فازه.....

۴۱	۳-۵- نتایج عددی
۴۲	۳-۵-۱- پایگاه داده های تصاویر MRI مغزی
۴۲	۳-۵-۱-۱- داده های شبیه سازی شده از پایگاه داده Brain Web
۴۲	۳-۵-۱-۲- داده های واقعی IBSR
۴۳	۳-۵-۲- ارزیابی کیفی
۴۳	۳-۵-۲-۱- مدل دو فاز
۴۸	۳-۵-۲-۲- مدل چند فاز
۵۱	۳-۵-۳- ارزیابی کمی
۵۷	۳-۵-۴- خلاصه
۵۸	فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۵۸	۴-۱- نتیجه گیری
۵۹	۴-۲- کاربردها
۶۰	۴-۳- پیشنهادات
۶۱	فهرست مراجع

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳. میانگین و انحراف از معیار، معیار شباهت برای نتایج ناحیه بندی تصاویر سه بعدی MRI مغزی شبیه سازی شده و واقعی با استفاده از روش پیشنهادی و روش LGDF برای استخراج سه بافت WM،GM و CSF	۵۵
جدول ۲-۳. میانگین و انحراف از معیار، معیار Jaccard برای نتایج ناحیه بندی تصاویر سه بعدی MRI مغزی شبیه سازی شده و واقعی با استفاده از روش پیشنهادی و روش LGDF برای استخراج سه بافت WM،GM و CSF	۵۵
جدول ۳-۳. میانگین و انحراف از معیار، معیار Sensitivity برای نتایج ناحیه بندی تصاویر سه بعدی MRI مغزی شبیه سازی شده و واقعی با استفاده از روش پیشنهادی و روش LGDF برای استخراج سه بافت WM، GM و CSF	۵۶
جدول ۴-۳. میانگین و انحراف از معیار، معیار Specificity برای نتایج ناحیه بندی تصاویر سه بعدی MRI مغزی شبیه سازی شده و واقعی با استفاده از روش پیشنهادی و روش LGDF برای استخراج سه بافت WM، GM و CSF	۵۶
جدول ۵-۳. میانگین معیار Jaccard برای نتایج ناحیه بندی تصاویر سه بعدی MRI مغزی واقعی با استفاده از روش های مختلف ناحیه بندی برای استخراج سه بافت WM،GM و CSF	۳۴

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱. معرفی بافت های سه گانه مغز با استفاده از تصویر MRI	۳
شکل ۲-۱. نحوه قرار گیری یک بافت در میدان مغناطیسی سیستم تصویر برداری MRI	۴
شکل ۳-۱. تصویر شبیه سازی شده MRI گرفته شده از یک بزرگسال	۵
شکل ۴-۱. تصویر واقعی MRI گرفته شده از یک بزرگسال	۵
شکل ۵-۱. مقایسه دو تصویر T1 و T2	۵
شکل ۱-۲. هیستوگرام یک تصویر سه بعدی که با استفاده از دو آستانه T1 و T2 به سه ناحیه تقسیم می شود.	۱۱
شکل ۲-۲. نواحی داخلی و خارجی تعیین شده توسط نقاط +1 و -1 که در فضای یک بعدی می باشند.	۱۶
شکل ۳-۲. تابع ضمنی $\phi(x) = x^2 - 1$ و تعریف نواحی Ω^- و Ω^+ و $\partial\Omega$	۱۷
شکل ۴-۲. تابع فاصله علامت دار $\phi(x) = x - 1$ و نواحی داخلی و خارجی و رمز توصیف شده توسط آن.	۱۸
شکل ۵-۲. تقسیم تصویر به چهار ناحیه توسط دو منحنی ϕ_1 و ϕ_2	۲۴
شکل ۶-۲. تقسیم تصویر به هشت ناحیه توسط سه منحنی ϕ_1 ، ϕ_2 و ϕ_3	۲۵
شکل ۷-۲. مقایسه تصویر شبیه سازی شده MRI مغزی با ناهمگنی شدت روشنایی در مقابل تصویر بدون ناهمگنی شدت روشنایی	۲۶
شکل ۸-۲. ناهمگنی شدت روشنایی در تصویر واقعی از داده های IBSR	۲۷
شکل ۹-۲. انواع متدهای اصلاح بایاس Prospective	۲۹
شکل ۱۰-۲. انواع متدهای اصلاح بایاس Retrospective	۲۹
شکل ۱-۳. کاربرد الگوریتم پیشنهادی در ناحیه بندی تصاویر ساختگی در حضور نویز و بایاس	۴۳

- شکل ۳-۲. کاربرد الگوریتم پیشنهادی در ناحیه بندی تصاویر ساختگی در حضور نویز و بایاس..... ۴۴
- شکل ۳-۳. کاربرد متد پیشنهادی در ناحیه بندی تصاویر MRI مغزی برای برش ۹۲ تصاویر شبیه سازی شده در حضور نویز و بایاس از پایگاه داده Brain Web..... ۴۵
- شکل ۳-۴. کاربرد متد پیشنهادی در ناحیه بندی تصاویر MRI مغزی برای برش ۹۷ تصاویر شبیه سازی شده در حضور نویز و بایاس از پایگاه داده Brain Web..... ۴۷
- شکل ۳-۵. کاربرد الگوریتم پیشنهادی در ناحیه بندی تصاویر MRI مغزی شبیه سازی شده برای برش ۹۷ در حضور نویز و بایاس از پایگاه داده Brain Web..... ۴۹
- شکل ۳-۶. کاربرد الگوریتم پیشنهادی در ناحیه بندی تصاویر MRI مغزی واقعی برای برش ۱۶ در حضور نویز و بایاس. ردیف اول تصویر داده شماره ۱۱۱-۲ و ردیف دوم تصویر داده شماره ۱۱-۳ از پایگاه داده IBSR..... ۵۰
- شکل ۳-۷. ارزیابی کمی نتایج ناحیه بندی تصاویر سه بعدی MRI مغزی شبیه سازی شده با استفاده از روش پیشنهادی و روش LGDF برای سه بافت مختلف WM، GM و CSF با کمک معیار شباهت..... ۵۳
- شکل ۳-۸. ارزیابی کمی نتایج ناحیه بندی تصاویر سه بعدی MRI مغزی واقعی با استفاده از روش پیشنهادی و روش LGDF برای دو بافت مختلف WM و GM با کمک معیار شباهت..... ۵۴

فهرست نشانه‌های اختصاری

CSF	Cerebrospinal Fluid
GM	Grey Matter
H	Heaviside
IBSR	Internet Brain Segmentation Repository
LBF	Local Binary Fitting
LGDF	Local Gaussian Distribution Fitting
MRF	Markov Random Field
MRI	Magnetic Resonance Imaging
PC	Piecewise Constant
PVE	Partial Volume Effect
RF	Radio Frequency
WM	White Matter

فصل اول

ناحیه بندی تصاویر تشدید مغناطیسی مغز

۱-۱- مقدمه

تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI)^۱ متداولترین روش جهت مطالعه بافت‌های مغزی شامل ماده سفید (WM)^۲، ماده خاکستری (GM)^۳ و مایع مغزی نخاعی (CSF)^۴ می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی، سیستم‌های تصویربرداری MRI با دقت و قابلیت بسیار بالا قابل دسترس می‌باشند. با کمک روش تصویربرداری MRI می‌توان از بافت‌های آناتومیکی با دقت و کنتراست مناسب تصویربرداری نمود. با پیشرفت‌های انجام شده در زمینه ساخت سیستم‌های تصویربرداری تشدید مغناطیسی امکان تصویربرداری با کیفیت و تفکیک‌پذیری بالا از بافت‌های مغزی فراهم شده است. استخراج مغز از تصاویر MRI برای مطالعات آناتومی و تشخیص بیماری در پزشکی مورد توجه بسیار قرار گرفته است و بخش قابل توجهی از تحقیقات در زمینه پردازش تصویر را به خود اختصاص داده است.

از آن جا که تصاویر MRI از تفکیک‌پذیری مکانی^۵ مناسب بین بافت‌ها برخوردار می‌باشند، این تصاویر به عنوان یک روش تشخیصی غیرتهاجمی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌-

^۱ - Magnetic Resonance Imaging (MRI)

^۲ - White Matter (WM)

^۳ - Gray Matter (GM)

^۴ - Cerebrospinal Fluid (CSF)

^۵ - Spatial Resolution

گیرند. از جمله کاربردهای تصاویر بدست آمده از این روش تصویربرداری می‌توان به استفاده از آن‌ها برای مشاهده، تحلیل و مطالعه آناتومی، تشخیص بیماری و ناهنجاری‌ها، تشخیص تومورها، آسیب شناسی و در نهایت کمک به انجام عمل‌های جراحی پیچیده اشاره کرد [۱]. همچنین از بافت‌های استخراج شده در کاربردهای پزشکی چون مطالعه رشد مغز و نیز بررسی روند بیماری‌هایی مانند آلزایمر و صرع [۲] استفاده می‌شود.

پردازش بر روی این تصاویر و استخراج اطلاعات از آنها نیازمند بکارگیری پردازش‌های اولیه می‌باشد که مهمترین آنها ناحیه‌بندی تصویر است. هدف از ناحیه‌بندی تصویر، تقسیم آن به نواحی با معنی به منظور کاربردی خاص می‌باشد. به طور کلی ناحیه‌بندی عبارتست از تقسیم بندی یک تصویر با کمک شباهت‌ها، مانند رنگ، به طوری که از ترکیب آنها تصویر اولیه ایجاد شود. ناحیه‌بندی بافت‌های مغزی به معنی جداسازی بخش‌های WM، GM و CSF از تصاویر MRI مغزی می‌باشد. نواحی استخراج شده در کاربردهای پزشکی مانند مطالعه فرآیند رشد مغز و طراحی مدل سه بعدی سر کاربرد دارند [۳]. همچنین از مدل سه بعدی ایجاد شده می‌توان برای مطالعه انتشار امواج الکتریکی در مغز استفاده نمود.

۱-۲- ساختمان مغز

مغز انسان مرکز کنترل در سیستم عصبی جانبی^۱ است. مغز انسان ساختاری شبیه به ساختار مغز در دیگر پستانداران دارد، با این تفاوت که بیش از پنج برابر بزرگتر از میانگین مغز سایر

^۱- Peripheral nervous system

پستاندارن با اندازه بدن مشابه بدن انسان می‌باشد. علت عمده بزرگی مغز انسان وجود قشر مخ^۱، یک لایه از بافت‌های عصبی درهم تنیده که سطح مغز پیشانی را می‌پوشاند می‌باشد. مغز انسان از سه بافت مختلف تشکیل شده است. بافت خاکستری رنگ به نام ماده خاکستری (GM) لایه خارجی مغز را تشکیل می‌دهد و در زیر این بافت ماده سفید (WM) قرار دارد. با وجود پوشیده شدن مغز با لایه استخوانی جمجمه، به منظور حفاظت بیشتر و تغذیه، مغز درون مایعی به نام مایع مغزی-نخاعی (CSF) قرار گرفته است.

ماده سفید، اصلی‌ترین جزء سیستم عصبی مرکزی است که عمدتاً از بدنه سلول‌های عصبی و همچنین دندریت^۲ها و آکسون^۳های حاوی میلین^۴ و فاقد میلین تشکیل شده است. ماده خاکستری برخلاف ماده سفید دارای بدنه سلول‌های عصبی می‌باشد. تفاوت رنگ در ماده سفید و خاکستری در مغز به دلیل رنگ سفید میلین می‌باشد. در بافت‌های زنده، ماده خاکستری به رنگ خاکستری مایل به قهوه‌ای دیده می‌شود که این رنگ به خاطر وجود مویرگ‌های خونی و بدنه سلول‌های عصبی است.

به دلیل وجود میزان زیادی چربی در ساختار ماده سفید، این بافت به رنگ سفید به نظر می‌رسد. ماده سفید تشکیل شده از آکسون‌هایی است که نواحی خاکستری را به هم متصل می‌کند و در واقع حامل سیگنال‌های عصبی هستند. فضای بین پرده عنكبوتی و پرده نرم‌شامه^۵ که بافت نرم مغز و نخاع^۶ را از استخوان‌های سخت احاطه‌کننده جدا می‌کند با مایع مغزی-نخاعی پر شده

¹- Cerebral cortex

²-Dendrite

³- Axon

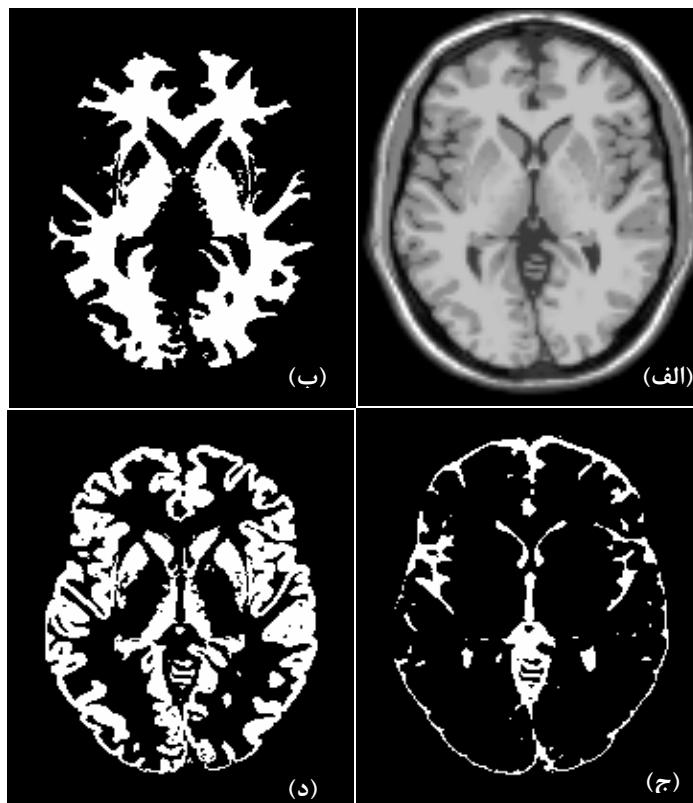
⁴- Myelin

⁵-Subarachnoid Space

⁶-Spinal Cord

است. مایع مغزی-نخاعی بسیار شبیه به پلاسمای خون بوده و اصلی‌ترین تهیه‌کننده مواد غذایی مغز می‌باشد [۴].

در شکل (۱-۱) تقسیم بندی این سه بافت با استفاده از تصویر MRI مغزی نشان داده شده است.

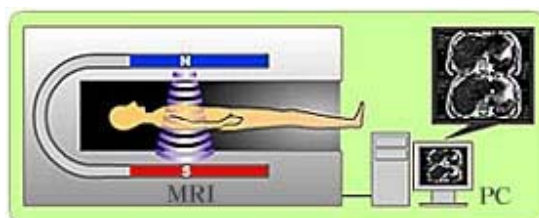


شکل ۱-۱. معرفی بافت های سه گانه مغز با استفاده از تصویر MRI. (الف). تصویر اصلی. (ب). بافت سفید (WM). (ج). مایع مغزی-نخاعی (CSF). (د). بافت خاکستری (GM)

۳-۱- تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI)

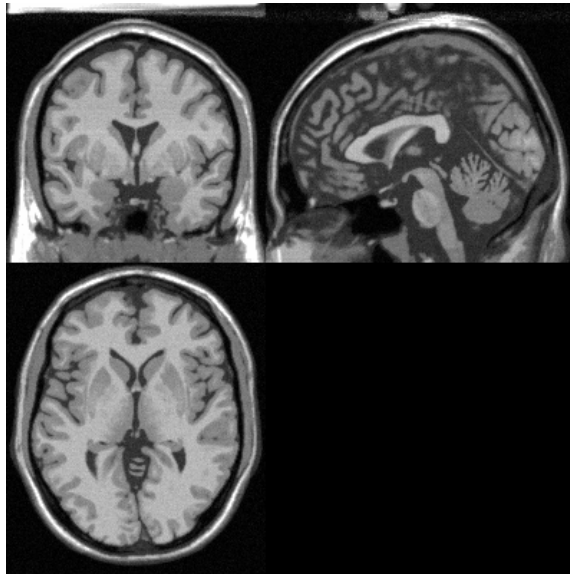
در روش تصویر برداری MRI از فراوانی آب در بدن برای تصویر برداری از بافت‌های بدن به روش تشدید مغناطیسی استفاده می‌شود. در این روش برای ایجاد یک تصویر سه بعدی از بافت مورد نظر، بدن تحت تابش یک میدان مغناطیسی قوی قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲) که شدت آن گاهی چندین برابر شدت میدان مغناطیسی زمین می‌باشد. در زمان قطع میدان مغناطیسی، هسته اتم انرژی جذب شده خود را آزاد می‌کند. سنسورها تابش مورد نظر را دریافت کرده و تصویر به دست می‌آید.

در تصویر برداری MRI قابلیت تولید برش‌هایی از سطح مقطع بافت‌ها موجود می‌باشد. این برش‌ها به سه صورت روبرویی^۱، جانبی^۲ و افقی^۳ انجام می‌گیرد. شکل (۱-۳) و (۱-۴) نمونه‌ای از تصاویر MRI شبیه سازی شده و واقعی گرفته شده از مغز بزرگسالان در سه نمای روبرویی، جانبی و افقی می‌باشد.

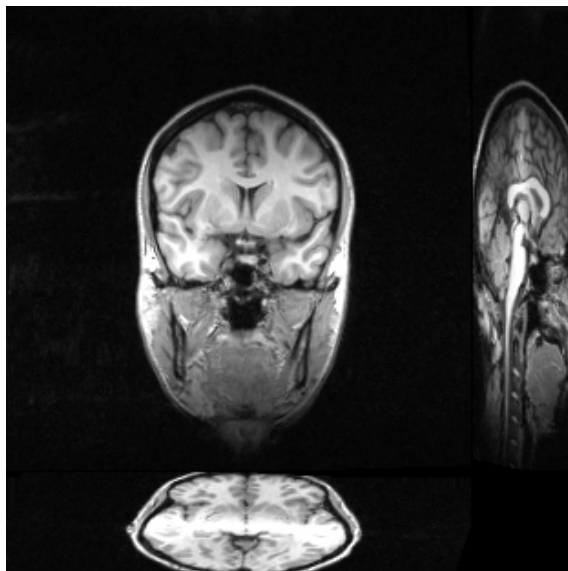


شکل ۱-۲: نحوه قرار گیری یک بافت در میدان مغناطیسی سیستم تصویر برداری MRI

^۱- Coronal
^۲- Sagittal
^۳- Axial



شکل ۱-۳. تصویر شبیه سازی شده MRI گرفته شده از یک بزرگسال



شکل ۱-۴. تصویر واقعی MRI گرفته شده از یک بزرگسال