



دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق - مخابرات سیستم

ناحیه‌بندی خودکار تصاویر تشدید مغناطیسی مغز انسان با
استفاده از اطلاعات اطلس و با کمک ماشین‌های بردار پشتیبان

بوسیله

کیوان کثیری

استادان راهنما

دکتر محمد جواد دهقانی

دکتر کامران کاظمی

استاد مشاور

دکتر محمدصادق هل‌فروش

شهریورماه ۱۳۸۹

صلى الله عليه وسلم

بسمه تعالی

ناحیه‌بندی خودکار تصاویر تشدید مغناطیسی مغز انسان با استفاده از اطلاعات اطلس
و با کمک ماشین‌های بردار پشتیبان

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

توسط

کیوان کشیری

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: عالی

دکتر محمد جواد دهقانی - دانشیار رشته مخابرات-سیستم (استاد راهنما)

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

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

دکتر حبیب الله دانیالی - استادیار رشته مخابرات-سیستم (داور)

دکتر محمد رشیدپور - استادیار رشته مخابرات-سیستم (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم که هیچگاه حمایت و محبت بی‌پایانشان را از من دریغ نداشتند و به برادر عزیزم که همواره پشتیبان و مشوق من بوده است.

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 استادان ارجمند خود جناب آقای دکتر محمدجواد دهقانی و جناب آقای دکتر کامران کاظمی به خاطر زحمات فراوان و کمک‌های بی‌دریغشان در پیشبرد و انجام این پایان‌نامه به عنوان استاد راهنما و همچنین 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 جهت ناحیه‌بندی خودکار تصاویر تشدید مغناطیسی مغز به سه بافت ماده سفید، ماده خاکستری و مایع مغزی-نخاعی می‌باشد. در روش ناحیه‌بندی ارائه شده، الگوریتم یادگیری مبتنی بر ماشین‌های بردار پشتیبان با قدرت طبقه‌بندی بالا و خطای عمومی‌سازی پایین به کار گرفته می‌شود. در این روش، الگوریتم کمترین مربعات به منظور تخمین تابع چگالی احتمال بافت‌ها انتخاب شده است. به منظور کاهش هر چه بیشتر دخالت کاربر در روند ناحیه‌بندی، از اطلاعات اولیه اطلس جهت انتخاب نمونه‌های آموزشی و نیز آموزش الگوریتم یادگیری استفاده می‌شود. جهت بهبود دقت نتایج در روش ارائه شده، مدلی سلسله‌مراتبی به عنوان روش پیشنهادی دوم جهت ناحیه‌بندی پیشنهاد شده است. در این مدل طی سه مرحله، عملیات حذف بافت‌های غیرمغزی، پیش‌پردازش و استخراج مایع مغزی-نخاعی، و ناحیه‌بندی ماده سفید و ماده خاکستری انجام می‌گردد. پس از آن، یک روش ترکیبی به عنوان روش سوم پیشنهادی در قالب مدل سلسله‌مراتبی ارائه شده جهت ناحیه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، به منظور انجام دو مرحله اول از روش سلسله‌مراتبی از روش ناحیه‌بندی FSL-FAST استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی بر داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی و ارزیابی‌های کمی و کیفی موید دقت و کارایی مدل سلسله‌مراتبی ترکیبی در مقایسه با روش‌های متداول ناحیه‌بندی و نیز روش FSL-FAST می‌باشد. نتایج ناحیه‌بندی تصاویر مغزی به‌دست آمده می‌تواند به کمک پردازش‌های بعدی در تحلیل آناتومی و یا تشخیص بیماری‌ها و آسیب‌های مغزی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی:

اطلس، تصاویر تشدید مغناطیسی، روش‌های ترکیبی، ماشین‌های بردار پشتیبان، مدل سلسله‌مراتبی، ناحیه‌بندی مغز، FSL-FAST

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
أ.....	فهرست مطالب
ث.....	فهرست جدول‌ها
ج.....	فهرست شکل‌ها
خ.....	فهرست نشانه‌های اختصاری
۱.....	فصل اول: ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغز انسان
۱.....	۱-۱- مقدمه
۲.....	۲-۱- ساختار مغز و تصویربرداری از مغز
۲.....	۱-۲-۱- ساختار مغز انسان
۳.....	۲-۲-۱- تصویربرداری از مغز
۴.....	۳-۲-۱- تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI)
۴.....	۴-۲-۱- اصول فیزیکی تصویربرداری تشدید مغناطیسی
۵.....	۵-۲-۱- تصاویر MRI و مغز انسان
۷.....	۳-۱- ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغز انسان
۷.....	۱-۳-۱- تعریف
۹.....	۲-۳-۱- کاربردها
۹.....	۳-۳-۱- چالش‌ها
۱۰.....	۴-۳-۱- راهکار پیشنهادی
۱۲.....	۴-۱- رئوس مطالب ارائه شده در این پایان‌نامه
۱۴.....	فصل دوم: مروری بر روش‌های ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغزی
۱۴.....	۱-۲- مقدمه
۱۴.....	۲-۲- پیش‌پردازش
۱۵.....	۱-۲-۲- حذف مجموعه
۱۶.....	۲-۲-۲- اصلاح نایکنواختی شدت روشنایی
۱۸.....	۳-۲-۲- کاهش نویز
۲۰.....	۴-۲-۲- استخراج ویژگی
۲۳.....	۳-۲- مروری بر روش‌های ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغزی
۲۵.....	۱-۳-۲- روش‌های آستانه‌گذاری

۲۷	۲-۳-۲- ناحیه‌بندی بر اساس اطلاعات ناحیه‌ای
۲۸	۳-۳-۲- ناحیه‌بندی بر اساس مرزها
۲۸	۴-۳-۲- روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی
۳۰	۵-۳-۲- روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی
۳۱	۶-۳-۲- روش‌های مبتنی بر مدل مارکف
۳۱	۷-۳-۲- روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی
۳۲	۸-۳-۲- روش‌های مبتنی بر ماشین‌های بردار پشتیبان
۳۵	۹-۳-۲- روش‌های مبتنی بر مدل‌های فرم‌پذیر
۳۶	۱۰-۳-۲- روش‌های مبتنی بر اطلس
۳۸	۱۱-۳-۲- روش‌های ترکیبی و متالگوریتم‌ها
۳۸	۱۲-۳-۲- دیگر روش‌ها
۳۹	۱۳-۳-۲- جمع‌بندی
۳۹	۴-۲- روش‌های ارزیابی
۴۰	۱-۴-۲- معیارهای شباهت
۴۰	۲-۴-۲- معیارهای نرخ موفقیت و خطا
۴۱	۵-۲- آشنایی با نرم‌افزارهای تحلیل تصاویر مغزی
۴۱	۱-۵-۲- SPM
۴۲	۲-۵-۲- FSL
۴۳	۳-۵-۲- BrainSuite
۴۳	۴-۵-۲- دیگر نرم‌افزارها
۴۴	۶-۲- خلاصه فصل
فصل سوم: ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغز انسان با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان و به کمک اطلاعات اطلس	
۴۵	۱-۳- مقدمه
۴۵	۲-۳- ماشین‌های بردار پشتیبان
۵۱	۱-۲-۳- طبقه‌بندی چندگانه بوسیله ماشین‌های بردار پشتیبان
۵۴	۲-۲-۳- رگرسیون با استفاده از ماشین‌های پشتیبان
۵۷	۳-۲-۳- ماشین‌های بردار پشتیبان - کمترین مربعات
۵۹	۳-۳- داده‌های MRI مغز
۵۹	۱-۳-۳- داده‌های شبیه‌سازی شده از پایگاه داده Brain Web
۵۹	۲-۳-۳- داده‌های واقعی IBSR

۳-۴- ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغزی با استفاده از الگوریتم یادگیری LS-SVM و اطلاعات پیشین اطلس	۶۰
۳-۴-۱- پیش‌پردازش	۶۰
۳-۴-۲- ناحیه‌بندی به کمک روش LS-SVM و اطلاعات اطلس	۶۱
۳-۴-۳- نتایج شبیه‌سازی	۶۴
۳-۵- ناحیه‌بندی سلسله‌مراتبی تصاویر MRI مغزی با استفاده از الگوریتم یادگیری LS-SVM و اطلاعات پیشین اطلس	۶۶
۳-۵-۱- حذف جمجمه	۶۸
۳-۵-۲- ناحیه‌بندی CSF	۶۸
۳-۵-۳- ناحیه‌بندی GM و WM	۶۹
۳-۵-۴- نتایج شبیه‌سازی	۶۹
۳-۶- خلاصه فصل	۷۵
فصل چهارم: ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغز انسان با استفاده از روش سلسله‌مراتبی ترکیبی	۷۶
۴-۱- مقدمه	۷۶
۴-۲- ناحیه‌بندی با استفاده از روش ترکیبی	۷۶
۴-۲-۱- حذف جمجمه	۷۸
۴-۲-۲- ناحیه‌بندی CSF	۷۸
۴-۲-۳- ناحیه‌بندی GM و WM	۷۸
۴-۳- نتایج شبیه‌سازی	۷۸
۴-۳-۱- نتایج شبیه‌سازی بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده	۷۸
۴-۳-۲- نتایج شبیه‌سازی بر روی داده‌های واقعی	۸۱
۴-۴- خلاصه فصل	۸۶
فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات	۸۷
۵-۱- نتیجه‌گیری	۸۷
۵-۲- پیشنهادات	۸۹
مراجع	۹۲

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳. ارزیابی کمی از روش LS-SVM مبتنی بر اطلس بر روی داده‌های BrainWeb.....	۶۵
جدول ۲-۳. ارزیابی کمی از روش LS-SVM مبتنی بر اطلس بر روی ۵ نمونه از داده‌های IBSR.....	۶۵
جدول ۳-۳. ارزیابی کمی از روش سلسله‌مراتبی پیشنهادی بر روی داده‌های BrainWeb ...	۷۲
جدول ۴-۳. ارزیابی کمی از روش سلسله‌مراتبی پیشنهادی بر روی داده‌های IBSR	۷۳
جدول ۱-۴. ارزیابی کمی از روش سلسله‌مراتبی ترکیبی بر روی داده‌های BrainWeb	۷۹
جدول ۲-۴. ارزیابی کمی از روش FSL-FAST بر روی داده‌های BrainWeb.....	۸۰
جدول ۳-۴. ارزیابی کمی از روش سلسله‌مراتبی ترکیبی بر روی داده‌های IBSR.....	۸۲
جدول ۴-۴. نتایج ناحیه‌بندی بر روی داده‌های IBSR.....	۸۳

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱. بافت‌های اصلی مغز.....	۳
شکل ۲-۱. نمونه‌ای از تصاویر T1 و T2.....	۶
شکل ۳-۱. نمونه‌ای از تصویر T1 مغز.....	۶
شکل ۴-۱. تقسیم‌بندی روش‌های ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغزی از دیدگاه‌های متفاوت.....	۸
شکل ۵-۱. هیستوگرام یک نمونه از تصویر MRI از نوع T1.....	۸
شکل ۶-۱. دیاگرام بلوکی نمونه برای ناحیه‌بندی تصاویر MRI.....	۱۰
شکل ۷-۱. نمونه‌ای از تصویر T1 و ناحیه‌بندی آن.....	۱۱
شکل ۱-۲. حذف حجمه با استفاده از روش BET.....	۱۶
شکل ۲-۲. اصلاح نایکنواختی شدت روشنایی.....	۱۸
شکل ۳-۲. نمونه‌ای از تصویر MRI از پایگاه داده BrainWeb تحت تاثیر نویز.....	۱۸
شکل ۴-۲. نمونه‌ای از هیستوگرام تصویر MRI مغز انسان با تعیین دو سطح آستانه جهت ناحیه‌بندی به سه کلاس به روش آستانه‌گذاری.....	۲۶
شکل ۵-۲. نمونه‌ای از فضای ویژگی دو بعدی.....	۲۹
شکل ۶-۲. ناحیه‌بندی توسط روش ارائه شده در [۳۹].....	۳۵
شکل ۷-۲. مدل اطلس ICBM 152.....	۳۶
شکل ۱-۳. دسته‌بندی خطی بوسیله SVM.....	۴۶
شکل ۲-۳. ساختار سلسله‌مراتبی از طبقه‌بندی چندگانه بوسیله SVM.....	۵۳
شکل ۳-۳. ساختار یک در برابر یک از طبقه‌بندی چندگانه بوسیله SVM.....	۵۳
شکل ۴-۳. ساختار یک در برابر همه از طبقه‌بندی چندگانه بوسیله SVM.....	۵۳
شکل ۵-۳. دیاگرام بلوکی ناحیه‌بندی با استفاده از LS-SVM و به کمک اطلس.....	۶۱
شکل ۶-۳. روند ناحیه‌بندی به کمک روش سلسله‌مراتبی.....	۶۷
شکل ۷-۳. دیاگرام بلوکی روش سلسله‌مراتبی.....	۶۸
شکل ۸-۳. ناحیه‌بندی برش ۷۳م از تصاویر پایگاه داده BrainWeb به کمک روش سلسله‌مراتبی.....	۷۱
شکل ۹-۳. نتایج شبیه‌سازی روش سلسله‌مراتبی بر روی داده‌های واقعی IBSR بر اساس معیار D.....	۷۴

- شکل ۳-۱۰. ناحیه‌بندی برش‌های ۱۷ و ۳۵ از تصاویر نمونه (۲۳-۱۰۰) پایگاه داده IBSR به کمک روش سلسله‌مراتبی ۷۴
- شکل ۴-۱. دیاگرام بلوکی روش سلسله‌مراتبی ترکیبی ۷۷
- شکل ۴-۲. ناحیه‌بندی برش ۷۳ ام از تصاویر پایگاه داده BrainWeb ۸۰
- شکل ۴-۳. نتایج شبیه‌سازی روش سلسله‌مراتبی ترکیبی بر روی داده‌های واقعی IBSR ۸۲
- شکل ۴-۴. ناحیه‌بندی تصویر نمونه ۲-۱۱۱ از IBSR ۸۴
- شکل ۴-۵. ناحیه‌بندی تصویر نمونه ۳-۱۱ از IBSR ۸۵
- شکل ۵-۱. مقایسه نتایج ناحیه‌بندی روش‌های سلسله‌مراتبی، FSL-FAST و روش LS-SVM مبتنی بر اطلس بر اساس میانگین ضریب Dice در پایگاه داده BrainWeb ۸۹
- شکل ۵-۲. مقایسه نتایج ناحیه‌بندی روش‌های سلسله‌مراتبی، FSL-FAST و روش LS-SVM مبتنی بر اطلس بر اساس میانگین ضریب Dice در پایگاه داده IBSR ۸۹

فهرست نشانه‌های اختصاری

AD	Anisotropic Diffusion
Adaboost	Adaptive Boosting
Adatron	Adaptive Perceptron
AIANN	Artifitual Immune-Activated Neural Network
BET	Brain Extraction Tool
BSE	Brain Surface Extraction
CNR	Contrast-to-Noise Ratio
CNS	Central Nervous System
COM	Co-Occurrence Matrix
CSF	Cerebrospinal Fluid
EEG	Electroencephalography
EM	Expectation Maximization
ERM	Empirical Risk Minimization
FAST	FMRIB Automated Segmetation Tool
FCM	Fuzzy C-Mean
FLIRT	FMRIB's Linear Image Registration Tool
FN	False Negative
FP	False Positive
FSL	FMRIB's Segmentation Library
GM	Grey Matter
GMM	Gaussian Mixture Model
HMMRF	Hidden Markov Random Field
IA	Immune Algorithm
IBSR	Internet Brain Segmentation Repository
ICA	Independent Component Analysis
ICBM	International Consertuim of Brain Mapping
INU	Intensity Non-Uniformity
KNN	K Nearest NEjghborhood
LS-SVM	Least Square Support Vector Machine
MAP	Maximum A Posterior
MCSVM	Multi-Classification Support Vector Machine
ML	Maximum Likelihood
MNI	Montreal Neurological Institution
MPM-MAP	Maximizer of the Posterior Marginals-Maximum A Posteriori Probability

MRF	Markov Random Field
MRI	Magnetic Resonance Imaging
MSE	Mean Square Error
OvA	One versus All
OvO	One versus One
PD	Proton Density
PNS	Peripheral Nervous System
PVE	Partial Volume Effect
QP	Quadratic Programming
RBF	Radial Basis Function
RF	Radio Frequency
RoI	Region of Interest
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SPM	Statistical Parametric Mapping
SRM	Structural Risk Minimization
SV	Support Vector, Support Value
SVM	Support Vector Machine
SVR	Support Vector Regression
TP	True Positive
TNF	True Negative Fraction
TPF	True Positive Fraction
VC	Vapnik-Chervonekis
WM	White Matter

فصل اول

ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغز انسان

۱-۱- مقدمه

با پیشرفت‌های حاصل شده در تکنولوژی سیستم‌های تصویربرداری، امکان تصویربرداری با دقت و کیفیت مناسب از اندام‌های داخلی بدن انسان همچون مغز فراهم آمده است. تمامی این تصاویر، در زمینه‌های متفاوت پزشکی از قبیل تشخیص آسیب‌ها و ارزیابی آن‌ها، آماده‌سازی و انجام اعمال جراحی با و یا بدون کمک گرفتن از ربات و سیستم‌های خودکار و نیز مطالعات آماری نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. تحلیل تصاویر پزشکی امر پیچیده‌ای است؛ چرا که تصاویر پزشکی حجم زیادی از اطلاعات را در برمی‌گیرند و نیز در برخی موارد آثار مصنوعی^۱ نامطلوبی از قبیل نویز نیز در آن‌ها وجود دارد.

تا کنون روش‌های تصویربرداری متفاوتی به منظور مطالعه عملکرد و آناتومی مغز انسان بوجود آمده‌اند. بیشتر سیستم‌های تصویربرداری، می‌توانند اطلاعات آناتومیکی دقیق به طور سه بعدی را در مورد موضع مورد مطالعه تولید کنند. یکی از این سیستم‌ها، سیستم تصویربرداری تشدید مغناطیسی^۲ (MRI) است. با پیشرفت تکنولوژی، سیستم‌های تصویربرداری MRI با دقت و قابلیت بسیار بالا قابل دسترس می‌باشند. با کمک روش تصویربرداری مغزی MRI، می‌توان از بافت‌های آناتومیکی با دقت و کنتراست^۳ مناسب تصویربرداری نمود. از آن‌جا که تصاویر MRI از تفکیک‌پذیری مکانی^۴ مناسب و قدرت تفکیک بسیار بالایی در بین بافت‌ها برخوردار است، این روش به عنوان یک روش تشخیصی غیرمهاجم^۵ به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. 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.

با گسترش سیستم‌های کامپیوتری تصویربرداری، ضروری به نظر می‌رسد که این حجم زیاد اطلاعات بتواند به طور خودکار، در حجم زیاد و سرعت قابل قبول مورد پردازش قرار گیرد. با این وجود، ارزیابی داده‌های پزشکی به منظور نیل به هدف تشخیص مناسب، نیازمند بررسی شهودی تخصصی از طرف پزشک متخصص است. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در

¹ Artifact

² Magnetic Resonance Imaging

³ Contrast

⁴ Spatial Resolution

⁵ Non-invasive

این زمینه به منظور دستیابی به پردازش خودکار تصاویر پزشکی در حجم بالا، با سرعت قابل قبول و دقت مناسب صورت گرفته است. در این فصل، به اختصار به تشریح ساختار مغز انسان، تصویربرداری تشدید مغناطیسی و کاربرد آن در تحلیل بیماری‌های مغزی پرداخته می‌شود. سپس، مساله ناحیه‌بندی تصاویر MRI مغز انسان، چالش‌های پیش رو و راهکارهای ارائه شده به اختصار بیان می‌شود. و در پایان به کلیات پایان‌نامه به اجمال پرداخته خواهد شد.

۱-۲- ساختار مغز و تصویربرداری از مغز

۱-۲-۱- ساختار مغز انسان

مغز انسان مرکز سیستم عصبی مرکزی^۱ (CNS) در انسان و مرکز اصلی کنترل در سیستم عصبی جانبی^۲ (PNS) محسوب می‌شود. مغز انسان ساختاری شبیه به ساختار عمومی مغز در دیگر پستانداران دارد، با این تفاوت که بیش از پنج برابر بزرگتر از میانگین مغز سایر پستانداران با اندازه بدن مشابه بدن انسان می‌باشد. علت عمده بزرگی مغز انسان وجود قشر مخ^۳، یک لایه از بافت‌های عصبی درهم تنیده که سطح مغز پیشانی را می‌پوشاند، می‌باشد.

مغز از یک لایه خاکستری رنگ به نام ماده خاکستری^۴ (GM) در خارج پوشیده شده و در زیر آن، ماده سفید^۵ (WM) با بیشترین حجم قرار دارد. با وجود اینکه مغز با کمک لایه استخوانی جمجمه^۶ محافظت می‌شود، به منظور محافظت بیشتر و تغذیه، مغز درون مایع مغزی-نخاعی^۷ (CSF) به طور معلق قرار گرفته است.

ماده خاکستری مغز، مهمترین و اصلی‌ترین جزء سیستم عصبی مرکزی است که بطور عمده از بدنه سلول‌های عصبی و همچنین دندریت^۸ها و آکسون^۹های حاوی میلین^{۱۰} و فاقد میلین تشکیل شده است. ماده خاکستری برخلاف ماده سفید دارای بدنه سلول‌های عصبی می‌باشد. تفاوت رنگ در ماده سفید و خاکستری به خاطر رنگ سفید میلین است. 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.

¹ Central nervous system

² Peripheral nervous system

³ Cerebral cortex

⁴ Gray Matter

⁵ White Matter

⁶ Skull

⁷ Cerebrospinal Fluid

⁸ Dendrite

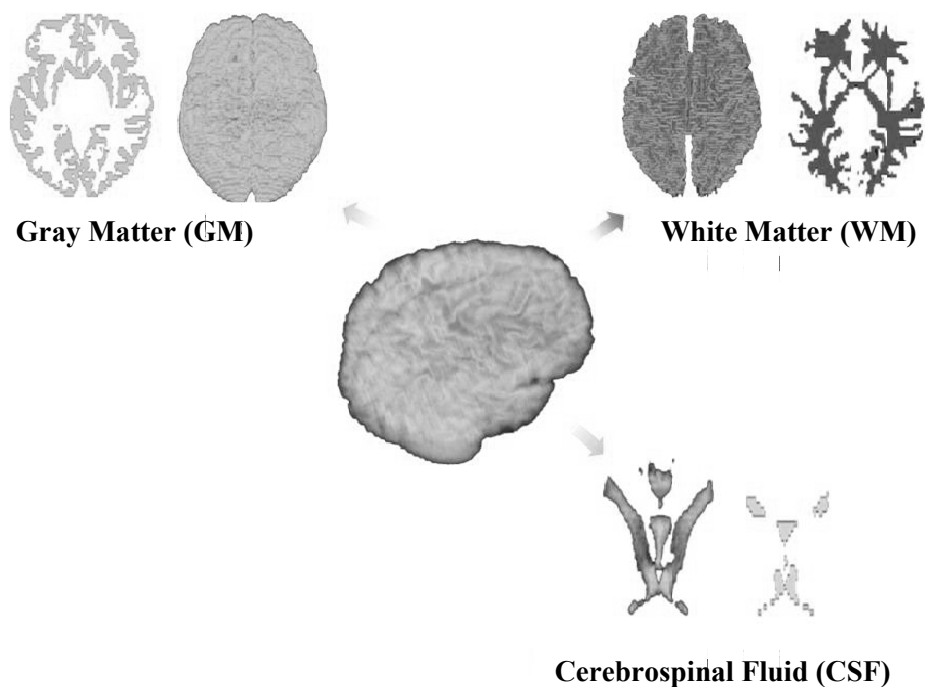
⁹ Axon

¹⁰ Myelin

ماده سفید به خاطر وجود میزان زیادی چربی در ساختار خود 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^۱ که بافت نرم مغز و نخاع^۲ را از استخوان‌های سخت احاطه‌کننده جدا می‌کند با مایع مغزی-نخاعی پر شده است. مایع مغزی نخاعی بسیار شبیه به پلاسمای خون بوده و اصلی‌ترین تهیه‌کننده مواد غذایی مغز می‌باشد [۱].

تقسیم‌بندی این سه نوع بافت در مغز انسان در شکل (۱-۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱. بافت‌های اصلی مغز (بر گرفته شده از [۲])

۱-۲-۲- تصویربرداری از مغز

جهت مطالعه مغز انسان، محققان از روش‌های تصویربرداری متفاوتی استفاده می‌کنند. روش‌های تصویربرداری از مغز در دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند. تصویربرداری ساختاری و کارکردی^۳ (عملکردی). در تصویربرداری ساختاری، ساختار مغز و آسیب‌شناسی ساختاری درون جمجمه به منظور درمان‌های معین مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در تصویربرداری عملکردی، برای بدست آوردن تصاویر عملکردی از ساختار مغز، یک نگاهت از اعمال مغزی به نواحی مغز انجام می‌شود [۳].

¹ Subarachnoid Space

² Spinal Cord

³ Structural and Functional Neuroimaging

در ادامه به تفصیل به روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی به عنوان یک روش تصویربرداری ساختاری پرداخته می‌شود.

۱-۲-۳- تصویربرداری تشدید مغناطیسی (MRI)

تصویربرداری تشدید مغناطیسی یک تصویر سه بعدی از جسم مورد مطالعه را با استفاده از پدیده تشدید مغناطیسی هسته‌ای^۱ و خاصیت مغناطیسی هیدروژن موجود در آب بدن بدست می‌دهد. تصویربرداری MRI از یک میدان مغناطیسی قوی و امواج رادیویی برای ایجاد تصاویر با کیفیت بالا بصورت دو یا سه بعدی از بافت‌های زنده استفاده می‌کند. به منظور ایجاد تصویر MRI، از یک میدان مغناطیسی نوسانی استفاده می‌شود. زمانی که این میدان قطع است، هسته اتم که در فرکانس خاص انرژی الکترومغناطیسی جذب کرده بوده، انرژی خود را آزاد می‌کند. حسگرها این تابش را دریافت می‌کنند و تصویر هدف بدست می‌آید. با استفاده از این تکنیک تصاویر از سطح و سطوح زیرین ساختارها با دقت بالا و با جزئیات قابل ایجاد است. محدودیت عمده این روش تصویربرداری، کند بودن فرآیند آن است. بنابراین تصویر بدست آمده فقط می‌تواند نمایانگر ساختارهای پایدار باشد.

۱-۲-۴- اصول فیزیکی تصویربرداری تشدید مغناطیسی

هسته اتم با تعداد فرد پروتون (مانند هسته هیدروژن) دارای یک خاصیت ذاتی است که به آن چرخش^۲ یا گشتاور زاویه‌ای گفته می‌شود که از حرکت و یا تغییر جهت محور حرکت ذرات باردار حاصل می‌شود. وقتی بدن انسان در یک میدان مغناطیسی قوی (B_0) قرار می‌گیرد، بیشتر هسته‌های هیدروژن آزاد، خود را هم جهت و یا خلاف جهت با میدان اعمال شده می‌کنند. برآیند این چرخش‌ها یک گشتاور مغناطیسی M موازی با B_0 ایجاد می‌کند. این گشتاور، پلاریزاسیون نامیده می‌شود. جهت موازی با پلاریزاسیون میدان B_0 ، جهت طولی^۳ (محور z) و صفحه عمود بر میدان B_0 ، صفحه قاطع^۴ (صفحه $x-y$) نامگذاری می‌شوند. هسته هیدروژن در جهت میدان مغناطیسی با نرخ $\omega_0 = \gamma B_0$ قرار می‌گیرد. ω_0 فرکانس زاویه‌ای (فرکانس Larmor) است و متناسب است با شدت میدان مغناطیسی با نسبت γ ، (برای هیدروژن $\gamma = 42.6 \text{ MHz/Tesla}$). سپس میدان پالس RF، B_{RF} با فرکانس ω_0 عمود به میدان B_0 اعمال می‌شود و به تبع آن گشتاور M از پلاریزاسیون میدان مغناطیسی منحرف می‌شود. این اثر، اثر تشدید نامیده می‌شود. هنگامی که پالس RF متوقف می‌شود، هسته به

¹ Nuclear Magnetic Resonance (NMR)

² Spin

³ Longitudinal

⁴ Transverse Plane

حالت تعادل باز می‌گردد بطوریکه M دوباره موازی با B_0 می‌شود. این رفتار، استراحت^۱ نامیده می‌شود. بسته به اینکه از چه بافتی تصویربرداری می‌شود، این زمان استراحت با ثابت‌های زمانی T1 و T2 توصیف می‌شود. ثابت زمانی T1 زمان مورد نیازی است که ۶۳٪ از M به حالت پایدار طولی بازگردد و ثابت زمانی T2 زمان مورد نیازی است برای چرخش هسته اتم تا همفازی خود را در غیاب میدان RF از دست بدهد. تفاوت زمان‌های استراحت (T1, T2) و در بافت‌های متفاوت به عنوان مکانیزم‌های ایجاد کنتراست بین بافت‌ها در تصویر بکار گرفته می‌شود [۴].

۱-۲-۵- تصاویر MRI و مغز انسان

بر خلاف روش‌هایی مانند CT^۲ که از تابش یونیزه استفاده می‌کنند، تصویربرداری MRI از سیگنال RF غیریونیزه برای ایجاد تصویر بهره می‌جوید. این روش، روش مناسبی برای تصویربرداری از بافت‌های غیر کلسیفیکه محسوب می‌شود. البته تصویربرداری MRI همچنین برای استخوان‌ها و دندان‌ها نیز قابل استفاده است.

تصویربرداری MRI امکان ایجاد کنتراست^۳ قابل توجه بین بافت‌ها را فراهم می‌آورد که در آن با تغییر پارامترهای اسکنر، کنتراست بافت‌ها نیز قابل تغییر است. در تصاویر مغزی از نوع T1، ماده سفید با میزان قابل توجه پروتئین و چربی، با شدت روشنایی بالا قابل تشخیص است. ماده خاکستری و CSF با درجه روشنایی کمتری قابل تشخیص داده می‌شوند. حال آنکه در تصاویر T2، آب و سیالات روشن و چربی تیره به نظر می‌آید. در نتیجه CSF روشن و ماده سفید و خاکستری دارای شدت روشنایی کمتری نسبت به CSF هستند. در شکل (۱-۲) دو نمونه از تصاویر MRI مغز، یکی T1 و دیگری T2 از برش ۷۳ ام از تصویر محوری^۴ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، در تصویر نوع T1، GM و WM به شکل واضحی از یکدیگر تفکیک شده‌اند. حال آنکه در تصویر نوع T2، CSF به طور آشکار از دیگر بافت‌ها قابل جداسازی است و تمایز قابل توجهی مابین بافت‌های GM و WM موجود نیست.

تصویربرداری تشدید مغناطیسی قابلیت تولید برش‌هایی از سطح مقطع بافت‌ها در هر جهت و صفحه به صورت دو بعدی و بازسازی آن به صورت سه بعدی را دارد. برش‌های تصویر MRI در سه صفحه محوری، کرنال^۵ و سجیتال^۶ انجام می‌شود. صفحات محوری عمود بر محور قائم هستند. صفحات کرنال به موازات صفحه‌ای هستند که حجم مغز را به دو قسمت پشتی و

¹ Relaxation

² Computed Tomography

³ Contrast

⁴ Axial

⁵ Coronal

⁶ Sagittal