







دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی پزشکی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی پزشکی گرایش  
بیوالکترونیک

استخراج ارتباطات تأثیری بین نواحی مغز با روش‌های گرافیکی احتمالی و با  
استفاده از داده‌ی تصویربرداری عملکردی (fMRI)

استاد راهنما:

دکتر مجید محمد بیگی

استاد مشاور:

دکتر محمد علی عقابیان

پژوهشگر:

محمد علی صفری شریف آبادی

اسفند ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه  
متعلق به دانشگاه اصفهان است.

شبه نگارش پایان نامه  
رجایت شده است



دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی پزشکی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک  
آقای محمد علی صفری شریف آبادی تحت عنوان

استخراج ارتباطات تأثیری بین نواحی مغز با روش‌های گرافیکی احتمالی و با استفاده از  
داده‌ی تصویربرداری عملکردی (fMRI)

در تاریخ ۹۰/۱۲/۲۴ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

امضا  
امضا  
امضا  
امضا

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر مجید محمد بیگی با مرتبه‌ی علمی استادیار

۲- استاد مشاور پایان نامه دکتر محمد علی عقابیان با مرتبه‌ی علمی دانشیار

۳- استاد داور داخل گروه دکتر علیرضا کریمیان با مرتبه‌ی علمی استادیار

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر سعید کرمانی با مرتبه‌ی علمی استادیار

امضای مدیر گروه



## سپاسگزاری

پروردگار بلند مرتبه را با زبان قاصر خود، شاکر و سپاسگزارم که فرصتی مناسب را برای شناخت آیتی دیگر از آیات بیکرانش بر من ارزانی داشت و مجالی عطا فرمود تا با بهره‌گیری از محضر اساتیدی فرهیخته و مزین به اخلاق نیکو، نگارش این مشق را به پایان برسانم.

به ثمر رسیدن این پژوهش را مدیون همه کسانی هستم که در کسوت استاد، کارمند، دوست و یا به هر شکل دیگری مرا یاری کردند. هر چند ذکر نام همه این بزرگواران از توانم خارج است اما بر خود لازم می‌دانم از کسانی که در انجام این پژوهش نقش بسزایی داشته‌اند با ذکر نام قدردانی کنم:

از استاد فرزانه و با اخلاق خود، جناب آقای دکتر مجید محمد بیگی که راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشته و همواره ایده‌های خام اینجانب را مجال ظهور داده و در پرورش این ایده‌ها، صبر و حوصله‌ای مثال زدنی داشتند بسیار سپاسگزارم.

از آقای دکتر محمد علی عقابیان ضمن این که بر من منت نهاده و مشاوره‌ی این پایان نامه را قبول فرمودند با نگاهی علمی و دقیق بر غنای کار افزودند تشکر و قدردانی می‌کنم.

سپاس فراوان دارم از همه‌ی اساتید گرانقدرم در دانشگاه اصفهان که از هیچ کمکی به من در دوران تحصیل دریغ نکردند و همچنین از تمام کارمندان و کارکنان گروه مهندسی پزشکی دانشگاه اصفهان و از تمامی دوستان و همکلاسی‌های بزرگواریم به خاطر راهنمایی و دلگرمی‌هایشان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

بیش از همه مراتب سپاس و قدردانی خود را نثار پدر و مادر و خانواده‌ی عزیزم می‌دارم که با حمایت‌ها و تشویق‌های بی دریغشان، توانی مضاعف توأم با آسودگی خاطر برای من به ارمغان آوردند و معترفم هر چه دارم از دعای خیر و مناجات شبانه پدر و مادر رنجور و دلسوزم است.

تقدیم به ولی حق حضرت علی (علیه السلام) امیرالمؤمنین و امام المتقین که پادشاه هر  
آن که در زمین است و پادشاه هر آن که در آسمان است و تقدیم به مادر خوبی ها حضرت  
فاطمه الزهرا (سلام الله علیها) که یگانه حامی ولایت در عصر تاریک ظلمت بود و تقدیم به  
امید منظران امام مهدی (عجل الله تعالی فرجه الشریف) صاحب الزمان که شمشیر  
عدالتش بنیان مسکبران را در هم می کوبد.

## چکیده

یکی از روش‌های غیرتهاجمی مطرح در بررسی چگونگی فعالیت ناحیه‌های مختلف مغز در پاسخ به فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیکی، استفاده از روش تصویربرداری عملکردی مغناطیسی است که هدف از این تصویربرداری یافتن نگاهی از مغز است که مراکز انجام فعالیت‌های مختلف را در مغز مشخص می‌کند.

به طور کلی سه نوع ارتباط ساختاری، عملکردی و تأثیری در نواحی مختلف مغز تعریف می‌شود: ارتباط ساختاری مشخص‌کننده‌ی راه‌های عصبی موجود بین دو یا چند ناحیه‌ی مغزی است، ارتباط عملکردی به صورت همبستگی زمانی پیشامدهای عصبی - فیزیولوژیکی نواحی جدا از هم تعریف می‌شود و ارتباط تأثیری جهت ارتباط یک سیستم نورونی را بر روی دیگری نشان می‌دهد.

از بین سه نوع ارتباط تعریف شده، ارتباط‌های تأثیری برای فهم عملکرد کامل فعالیت رخ داده در مغز و به دست آوردن جهت ارتباط‌های بین نواحی فعال شده کاربرد بیشتری دارد، به این دلیل که در این نوع ارتباط برخلاف ارتباط‌های ساختاری و عملکردی، تعاملات دو طرفه بین نواحی فعال شده‌ی مغز بر روی یکدیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته و در روش‌های به دست آورنده‌ی ارتباط‌های تأثیری در نظر گرفته و مدل می‌شوند، به همین علت پژوهش حاضر تمرکز خود را بر روی ارزیابی و مقایسه‌ی انواع روش‌های به دست آورنده‌ی ارتباط‌های تأثیری بین نواحی مغزی قرار داده است و در نهایت به علت شباهت ساختاری زیاد بین سیستم عصبی و مدل‌های گرافیکی احتمالی مثل روش شبکه‌های بیزین این روش را برای این منظور مورد استفاده قرار داده است.

در پژوهش حاضر الگوریتم‌های مختلفی از روش شبکه‌های بیزین مثل: جستجوی حریصانه، الگوریتم‌های PC، CPC و GES بر روی داده‌های مصنوعی و واقعی متعدد برای به دست آوردن ارتباط‌های تأثیری، اجرا شده است که در بین این الگوریتم‌ها، الگوریتم PC نسبت به بقیه دارای نتایجی با امتیاز BIC بیشتری می‌باشد.

در نهایت این پژوهش به این نتیجه رسیده است که الگوریتم‌های موجود در روش شبکه‌های بیزین در مقایسه با سایر روش‌های به دست آورنده‌ی ارتباط‌های تأثیری مثل روش DCM (که نسبت به سایر روش‌های مطرح در این موضوع بیشترین استفاده را در سال‌های اخیر داشته است) دارای مزیت‌هایی مثل: نیاز نداشتن به فرض مدل اولیه برای اجرا، داشتن محاسبات کمتر، قابلیت کار کردن با داده‌های ناقص و اجرای راحت‌تر الگوریتم‌های به کار رفته، می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** داده‌ی fMRI، سیگنال BOLD، ارتباط‌های تأثیری، شبکه‌های بیزین.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### ۱. فصل اول: معرفی پژوهش

۱-۱	مقدمه	۱
۲-۱	اهمیت موضوع	۳
۳-۱	مراحل انجام پژوهش	۳
۴-۱	معرفی فصول	۴

### ۲. فصل دوم: تصویربرداری عملکردی مغناطیسی (fMRI)

۱-۲	مقدمه	۶
۲-۲	تصویربرداری عملکردی مغناطیسی (fMRI)	۸
۳-۲	آزمایش fMRI	۱۱
۴-۲	نحوه انجام تصویربرداری fMRI	۱۲
۵-۲	خصوصیات سیگنال fMRI و عوامل نامطلوب موجود در آن	۱۴

### ۳. فصل سوم: روش‌های تحلیل داده‌ی fMRI

۱-۳	مقدمه	۱۵
۲-۳	پیش پردازش	۱۶
۳-۳	روش‌های محل‌یابی نقاط فعال شده‌ی مغز	۱۹
۱-۳-۳	روش‌های پارامتری	۱۹
۱-۱-۳-۳	روش تفاضلی	۱۹
۲-۱-۳-۳	روش تحلیل همبستگی	۲۰
۳-۱-۳-۳	روش تحلیل خطی عمومی	۲۲
۲-۳-۳	روش‌های غیر پارامتری	۲۳
۱-۲-۳-۳	روش‌های مبتنی بر خوشه بندی	۲۳
۲-۲-۳-۳	تحلیل مؤلفه‌های اصلی	۲۴
۳-۲-۳-۳	تحلیل مؤلفه‌های مستقل	۲۴
۴-۳	تحلیل آماری در حوزه‌ی ویولت	۲۶

### ۴. فصل چهارم: ارتباط‌های بین نواحی فعال شده‌ی مغز

۱-۴	مقدمه	۲۷
۲-۴	ارتباط‌های ساختاری	۲۸
۱-۲-۴	تصویرگری مسیرهای عصبی	۲۹
۱-۱-۲-۴	تکنیک MRI	۲۹

## عنوان

## صفحه

۲-۲-۴	تصویربرداری تانسور انتشار (DTI).....	۳۲
۳-۴	ارتباط‌های عملکردی.....	۳۳
۱-۳-۴	روش تحلیل همبستگی و کسل بنیادی.....	۳۴
۲-۳-۴	روش تحلیل همبستگی متقابل.....	۳۴
۳-۳-۴	روش تحلیل چسبیدگی.....	۳۵
۴-۳-۴	الگوریتم PCA و ICA.....	۳۶
۴-۴	ارتباط‌های تأثیری.....	۳۸
۱-۴-۴	روش مدل‌سازی معادله‌ها ساختاری.....	۳۸
۱-۱-۴-۴	نحوه‌ی اجرای روش SEM.....	۴۰
۲-۴-۴	روش علیت گرانگر (GCM).....	۴۱
۱-۲-۴-۴	سری‌های زمانی دومتغیره و علیت گرانگر جفتی.....	۴۲
۲-۲-۴-۴	سری‌های زمانی سه متغیره و علیت شرطی گرانگر.....	۴۳
۳-۴-۴	روش مدل‌سازی روابط علی دینامیکی (DCM).....	۴۵
۱-۳-۴-۴	مقایسه‌ی مدل‌ها و انتخاب مدل بهینه.....	۴۹
۲-۳-۴-۴	اجرای مثالی عملی از روش DCM برای داده‌ی fMRI.....	۵۱

## ۵. فصل پنجم: مدل‌های گرافیکی احتمالی

۱-۵	مقدمه.....	۵۶
۲-۵	روش شبکه‌های بیزین.....	۵۹
۱-۲-۵	استنتاج (Inference).....	۶۴
۱-۱-۲-۵	استنتاج با استفاده از توزیع توأم کامل.....	۶۴
۲-۱-۲-۵	مشکلات استنتاج با توزیع توأم کامل و راه‌حل آن‌ها.....	۶۶
۳-۱-۲-۵	انواع مدل استنتاج.....	۶۶
۲-۲-۵	یادگیری (Learning).....	۶۸
۱-۲-۲-۵	تخمین حداکثر احتمال (ML).....	۷۰
۲-۲-۲-۵	روش حداکثر انتظار (EM).....	۷۲
۳-۲-۲-۵	روش‌های جستجو در فضای گراف‌ها (انتخاب گراف بهینه).....	۷۶
۱-۳-۲-۲-۵	روش‌های امتیازگرا.....	۷۷
۲-۳-۲-۲-۵	روش‌های محدودیت گرا.....	۸۴

## ۶. فصل ششم: نتایج

۱-۶	مقدمه.....	۸۹
۲-۶	داده‌های مصنوعی و واقعی fMRI.....	۹۰
۳-۶	نتایج مربوط به داده‌های مصنوعی.....	۹۳

عنوان	صفحه
۴-۶ نتایج مربوط به داده‌های واقعی .....	۹۵
۱-۴-۶ داده‌ی مربوط به Attention to motion .....	۹۵
۲-۴-۶ نتایج اجرای الگوریتم PC بر داده‌ی Silent reading task .....	۹۸
<b>۷. فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادها</b>	
۱-۷ نتیجه گیری .....	۱۰۲
۲-۷ پیشنهادها .....	۱۰۴
۸. منابع و مآخذ .....	۱۰۵

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲) میزان قدرت تفکیک مکانی و زمانی دستگاه‌های مختلف تصویر برداری [۴]..... ۷
- شکل ۲-۲) نمایی از دستگاه fMRI [۱]..... ۹
- شکل ۳-۲) اثر BOLD (افزایش جریان و میزان مصرف اکسیژن خون و در نتیجه افزایش سیگنال MRI در هنگام فعالیت عصبی) [۷]..... ۱۰
- شکل ۴-۲) نمونه‌ای از سیگنال BOLD [۸]..... ۱۰
- شکل ۵-۲) نمونه‌ای از تحریکات داده شده در آزمایش fMRI [۱۱]..... ۱۲
- شکل ۶-۲) نمونه‌ای از نحوه‌ی قرار گرفتن فرد در حین تصویرگیری fMRI [۱۱]..... ۱۳
- شکل ۱-۳) پالس پریودیک..... ۲۰
- شکل ۲-۳) اثر ترند در سیگنال fMRI..... ۲۱
- شکل ۱-۴) انواع ارتباط‌های تعریف شده بین نواحی مغزی [۱۸]..... ۲۸
- شکل ۲-۴) تصویر استاندارد MRI: مسیرهای عصبی قابل شناسایی نمی‌باشند [۱۸]..... ۲۹
- شکل ۳-۴) نمونه‌ای از تصویرگیری مسیرهای عصبی [۱۸]..... ۳۱
- شکل ۴-۴) نمونه‌ای از تصاویر DTI [۱۹]..... ۳۳
- شکل ۵-۴) روش تحلیل همبستگی و کسل بنیادی..... ۳۴
- شکل ۶-۴) خلاصه‌ای از معادله‌های حالت دوخطی و فرم گرافی مدل..... ۴۶
- شکل ۷-۴) شماتیک مدل همودینامیک مورد استفاده در DCM برای fMRI [۳۷]..... ۴۷
- شکل ۸-۴) نمودار انتخاب مدل طبق مناسب بودن و میزان پیچیدگی مدل..... ۴۹
- شکل ۹-۴) روند کلی روش DCM برای داده‌ی fMRI..... ۵۰
- شکل ۱۰-۴) میزان استفاده از روش‌های SEM، GCM و DCM برای به دست آوردن ارتباط‌های تأثیری با استفاده از داده‌ی fMRI در سال‌های اخیر [۴۰]..... ۵۱
- شکل ۱۱-۴) خلاصه‌ای از قسمت انتخاب و مقایسه‌ی مدل روش DCM..... ۵۳
- شکل ۱۲-۴) MAP و چگالی ثانویه برای همه‌ی پارامترهای مدل بهینه [۴۳]..... ۵۳
- شکل ۱۳-۴) تأثیر فعالیت ناحیه‌ی PPC بر افزایش فعالیت در ناحیه‌ی V5 در اثر تمرکز روی نقاط محرک [۴۴]..... ۵۴
- شکل ۱۴-۴) مقایسه‌ی سری‌های زمانی نواحی درگیر در دو حالت اندازه‌گیری شده و مدل شده..... ۵۴
- شکل ۱-۵) مدل‌های گرافیکی احتمالی: ترکیبی از تئوری احتمال و تئوری گراف..... ۵۷
- شکل ۲-۵) نحوه‌ی محاسبه‌ی توزیع پیوسته‌ی احتمال برای هر گره با استفاده از قانون احتمال شرطی..... ۵۸
- شکل ۳-۵) نمونه‌ای از BN: گراف بدون حلقه‌ی جهت دار (DAG)..... ۶۰
- شکل ۴-۵) (الف): BN و تعریف گره‌ی والد (parent)، (ب): مثالی برای محاسبه‌ی توزیع احتمال توأم..... ۶۱
- شکل ۵-۵) BN و تعریف گره‌های ولد و غیر ولد به منظور کاهش پیچیدگی محاسبات..... ۶۳
- شکل ۶-۵) یک BN به همراه پارامترهای گراف (توزیع احتمال توأم گره‌ها)..... ۶۷
- شکل ۷-۵) تخمین پارامترهای شبکه با ساختار معلوم و مشاهدات کامل با روش ML [۵۴]..... ۷۰
- شکل ۸-۵) محاسبه‌ی پارامترهای مربوط به گراف شکل ۷-۵ قسمت (a)..... ۷۱

- شکل ۵-۹) تخمین پارامترهای شبکه با ساختار معلوم و مشاهدات ناقص با روش EM [۵۴]..... ۷۳
- شکل ۵-۱۰) مقادیر اولیه  $\theta^0$  برای پارامترها برای شروع کار روش EM [۵۴]..... ۷۳
- شکل ۵-۱۱) مجموعه مشاهدات کامل D و انواع حالت‌های ارتباط بین گره‌های گراف مورد بررسی [۵۴]..... ۷۸
- شکل ۵-۱۲) عملیات جستجوی محلی برای استخراج گراف بهینه [۵۴]..... ۸۲
- شکل ۵-۱۳) عملیات جستجوی حریصانه برای پیدا کردن مجموعه گره‌های والد گرهی  $X_5$  [۵۴]..... ۸۳
- شکل ۵-۱۴) مراحل ۱ و ۲ الگوریتم PC [۵۶]..... ۸۵
- شکل ۵-۱۵) مراحل ۱ و ۲ الگوریتم PC در قالب مثال [۵۷]..... ۸۶
- شکل ۵-۱۶) قانون اول مرحله‌ی ۳ الگوریتم PC برای جهت دهی به اتصال‌های gp [۵۶]..... ۸۷
- شکل ۵-۱۷) اعمال قانون اول مرحله‌ی ۳ بر gp به دست آمده در انتهای شکل ۵-۱۵ [۵۷]..... ۸۷
- شکل ۵-۱۸) سایر قوانین مرحله‌ی ۳ الگوریتم PC برای جهت دهی به اتصال‌های gp [۵۶]..... ۸۷
- شکل ۵-۱۹) مثالی برای قوانین شکل ۵-۱۸ در مرحله‌ی ۳ الگوریتم PC [۵۶]..... ۸۸
- شکل ۵-۲۰) جواب نهایی مثال شکل ۵-۱۵ با روش الگوریتم PC [۵۷]..... ۸۸
- شکل ۶-۱) دو نمونه از سری‌های زمانی سیگنال BOLD شبیه سازی شده به عنوان داده‌ی مصنوعی [۳۳]. ۹۰
- شکل ۶-۲) گراف‌های اصلی یا صحیح داده‌های مصنوعی Sim1 و Sim2..... ۹۳
- شکل ۶-۳) گراف‌های نهایی حاصل از الگوریتم PC و Greedy search برای داده‌ی Sim1..... ۹۴
- شکل ۶-۴) گراف‌های نهایی حاصل از الگوریتم‌های GES و CPC برای داده‌ی Sim1..... ۹۴
- شکل ۶-۵) گراف‌های نهایی حاصل از الگوریتم PC و Greedy search برای داده‌ی Sim2..... ۹۴
- شکل ۶-۶) گراف‌های نهایی حاصل از الگوریتم‌های GES و CPC برای داده‌ی Sim2..... ۹۵
- شکل ۶-۷) گراف‌های نهایی حاصل از الگوریتم‌های GES و Greedy search برای داده‌ی Attention..... ۹۷
- شکل ۶-۸) گراف‌های نهایی حاصل از الگوریتم‌های PC و CPC برای داده‌ی Attention..... ۹۷
- شکل ۶-۹) گراف نهایی حاصل از الگوریتم PC برای داده‌ی Silent reading task..... ۹۹

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲) مقایسه‌ی قدرت تفکیک زمانی و مکانی برخی از روش‌های تصویربرداری از مغز. ۸.....
- جدول ۱-۵) توزیع توأم کامل یک قلمرو ساده مربوط به مثال دندان درد. ۶۴.....
- جدول ۲-۵) انواع حالت‌های یادگیری به همراه روش‌های مورد استفاده در شبکه‌های بیزین. ۶۹.....
- جدول ۳-۵) کامل کردن مشاهدات ناقص D (شکل ۵-۹) در روش EM [۵۴]. ۷۴.....
- جدول ۴-۵) جدول توزیع احتمال تجربی به دست آمده از روی مشاهدات کامل شده‌ی D. ۷۵.....
- جدول ۵-۵) پارامترهای احتمالی محاسبه شده در مرحله‌ی دوم طبق رابطه‌ی (۳۱-۵)  $(\theta^1)$ . ۷۵.....
- جدول ۱-۶) مشخصات داده‌های مصنوعی مورد استفاده [۳۳]. ۹۰.....
- جدول ۲-۶) سه نمونه از کلمه و شبه کلمه. ۹۲.....
- جدول ۳-۶) اطلاعات مربوط به اسکنر مورد استفاده برای این آزمون [۶۲]. ۹۲.....
- جدول ۴-۶) ادامه‌ی اطلاعات مربوط به اسکنر [۶۲]. ۹۲.....
- جدول ۵-۶) نتایج تابع امتیاز BIC مربوط به داده‌ی Sim1. ۹۳.....
- جدول ۶-۶) نتایج تابع امتیاز BIC مربوط به داده‌ی Sim2. ۹۳.....
- جدول ۷-۶) مختصات مربوط به نواحی PPC، V5 و V1 با توجه به اطلس برودمن. ۹۶.....
- جدول ۸-۶) نتایج تابع امتیاز BIC مربوط به داده‌ی Attention. ۹۷.....
- جدول ۹-۶) مختصات مربوط به نواحی درگیر در Silent reading task با توجه به اطلس برودمن [۶۲]. ۹۸.....

## کوتاه نوشت‌ها

Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)	تصویربرداری عملکردی مغناطیسی
Blood Oxygen Level Dependence (BOLD)	وابسته به سطح اکسیژن خون
Bayesian Networks (BN)	شبکه‌های بیزین
Statistical Parametric Mapping (SPM)	نگاشت پارامتری آماری
Positron Emission Tomography (PET)	مقطع نگاری با نشر پوزیترون
Hemodynamic Response Function (HRF)	تابع پاسخ همودینامیک
Radio Frequency (RF)	فرکانس رادیویی
Principal Component Analysis (PCA)	تحلیل مؤلفه‌های اصلی
Independent Component Analysis (ICA)	تحلیل مؤلفه‌های مستقل
General Linear Modeling (GLM)	مدل‌سازی خطی عمومی
Diffusion Tensor Imaging (DTI)	تصویربرداری تانسور انتشار
Structural Equation Modeling (SEM)	مدل‌سازی معادله‌ی ساختاری
Maximum Likelihood (ML)	حداکثر احتمال
Granger Causality Method (GCM)	روش علیّت گرانگر
Dynamic Causal Model (DCM)	مدل‌سازی روابط علیّی دینامیکی
Posterior Parietal Cortex (PPC)	قشر جداری پسین
Primary Visual Cortex (V1)	قشر بینایی اولیه
Extrastriate Visual Cortex (V5)	قشر بینایی پرشیاردار
Directed Acyclic Graph (DAG)	گراف بدون حلقه‌ی جهت‌دار
Log Likelihood (LL)	لگاریتم احتمال

Expectation Maximization (EM)	حداکثر انتظار
Bayesian Information Criterion (BIC)	معیار اطلاعات بیزین
Greedy Equivalence Search (GES)	جستجوی هم ارزی حریمانه
Peter & Clark algorithm (PC)	الگوریتم پیتر و کلارک
Conservative PC algorithm (CPC)	الگوریتم پیتر و کلارک محافظه کار
Graph Pattern (gp)	الگوی گراف
PreFrontal Cortex (PFC)	قشر پیش قدامی
Extrastriate Cortex (EC)	قشر پر شیاردار
Superior Parietal Lobe (SPL)	لوب جداری فوقانی
Middle Frontal Gyrus (MFG)	برآمدگی چین خورده‌ی مغز فرونتال میانی

## ۱. فصل اول: معرفی پژوهش

### ۱-۱ مقدمه

مغز انسان که پیچیده ترین عضو دستگاه عصبی است، مرکز کنترل تمام اعمال و رفتار ما است. این عضو وظیفه کنترل تمام فعالیت‌هایی را که انجام می‌دهیم، احساس می‌کنیم و به آن فکر می‌کنیم را بر عهده دارد. مغز اطلاعات را از همه بخش‌های بدن دریافت نموده و آن‌ها را پردازش نموده و با ارسال پیام‌هایی به عضلات نحوه عملکرد آن‌ها را کنترل می‌کند. برای کنترل هر عمل خاص در مغز ناحیه یا نواحی خاصی وجود دارد.

مطالعه‌ی نحوه‌ی عملکرد مغز به عنوان برترین عضو سیستم عصبی بدن انسان همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. امروزه تصویربرداری عملکردی به صورت ابزار علمی عصبی برای به دست آوردن ارتباط عملکردی و تأثیرات متقابل نواحی مختلف مغز به کار می‌رود.

یکی از روش‌های غیرتهاجمی مطرح در بررسی چگونگی فعالیت ناحیه‌های مختلف مغز در پاسخ به فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیکی، استفاده از روش‌های تصویربرداری عملکردی مغناطیسی<sup>۱</sup> (fMRI) است. هدف از تصویربرداری عملکردی مغناطیسی مغز یافتن نگاهی از مغز است که مراکز انجام فعالیت‌های مختلف را در مغز مشخص می‌کند [۱].

---

<sup>۱</sup> Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

پایه‌ی این روش بررسی تغییرات میزان اکسیژن خون است که در اثر وقوع فعالیت سلول‌های مغزی در ناحیه‌ای خاص رخ می‌دهد. از آنجا که میزان جریان خون در سر رابطه نزدیکی با فعالیت سلول‌های عصبی دارد اندازه‌گیری میزان جریان خون برای پی بردن به کارکرد مغز مناسب است [۱].

یک روش برای تصویرگیری بر مبنای سطح اکسیژن خون وجود دارد که به آن روش وابسته به سطح اکسیژن خون (BOLD)<sup>۱</sup> گفته می‌شود [۲].

به طور کلی سه نوع ارتباط در بین نواحی فعال شده‌ی مغزی در بررسی یک آزمون خاص توسط تصویربرداری fMRI تعریف می‌شود

۱. ارتباط ساختاری

۲. ارتباط عملکردی

۳. ارتباط تأثیری

ارتباط‌های ساختاری<sup>۲</sup> مشخص‌کننده‌ی راه‌های عصبی موجود بین دو یا چند ناحیه‌ی مغزی است، ارتباط‌های عملکردی<sup>۳</sup> به صورت همبستگی زمانی پیشامدهای عصبی- فیزیولوژیکی<sup>۴</sup> نواحی جدا از هم تعریف می‌شود و ارتباط‌های تأثیری<sup>۵</sup> جهت ارتباط یک سیستم نرونی را بر روی دیگری نشان می‌دهد.

در این پژوهش تمامی ارتباط‌های تعریف شده در بین نواحی فعال شده‌ی مغزی در بررسی یک آزمون خاص با استفاده از داده‌های fMRI مورد بررسی قرار می‌گیرد و انواع روش‌های تعیین‌کننده‌ی این ارتباط‌ها بررسی خواهند شد.

اما به طور خاص بنا به دلایلی که در فصل‌های آتی به آن اشاره می‌گردد، این پژوهش به دنبال استخراج دسته‌ی سوم از ارتباط‌ها یعنی ارتباط‌های تأثیری در بین نواحی مغزی با استفاده از مدل‌های گرافیکی احتمالی<sup>۶</sup> مثل روش شبکه‌های بی‌زین<sup>۷</sup> می‌باشد.

<sup>۱</sup> BOLD: Blood-Oxygen-Level-Dependence

<sup>۲</sup> Structural Connectivity

<sup>۳</sup> Functional Connectivity

<sup>۴</sup> Neurophysiologic

<sup>۵</sup> Effective Connectivity

<sup>۶</sup> Probabilistic Graphical Models (PGM)

<sup>۷</sup> Bayesian Networks (BN)

## ۲-۱ اهمیت موضوع

یکی از کاربردهای مهم این پژوهش شناسایی مکانیزم و عملکرد مغز است که این موضوع در بررسی اختلال‌ها و بیماری‌های مغزی روانی بسیار مفید و نتیجه‌بخش بوده است، به طور مثال برای بیماری پارکینسون با استفاده از ارتباط‌های عملکردی بین نواحی مختلف مغزی نشان داده شده است که در حالت استراحت کاهش فعالیت در ناحیه‌ی هسته‌های قاعده‌ای و افزایش فعالیت در ناحیه‌ی قشر حرکتی و مخچه در بیماران نسبت به افراد سالم وجود دارد [۳].

از دیگر کاربردهای این پژوهش می‌توان به این موضوع اشاره کرد که پیدا کردن ارتباط‌های تأثیری بین ژن‌ها نیز مسأله‌ای مشابه این پژوهش می‌باشد، در نتیجه روش‌های پیشنهادی و نتایج گرفته شده از آن در این پژوهش برای به دست آوردن ارتباط‌های تأثیری، برای پیدا کردن ارتباط‌های بین ژن‌ها در مبحث شبکه‌های نظم دهنده‌ی ژنی<sup>۱</sup> نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

## ۳-۱ مراحل انجام پژوهش

روند کلی کار در این پژوهش به این گونه است که ابتدا باید داده‌های fMRI با توجه به آزمون مورد نظر تهیه گردند که یا از داده‌های fMRI موجود و یا با انجام تصویربرداری آماده می‌شوند. این نکته باید اشاره گردد که در این پژوهش از داده‌های موجود استفاده شده است.

در مرحله‌ی بعد به منظور کاهش عوامل نامطلوب موجود در داده‌ها (انواع نوفه و درست نما موجود در داده‌های fMRI) چند مرحله پیش پردازش بر روی داده‌های خام صورت می‌گیرد.

پس از آن با استفاده از روش‌های محل‌یابی نقاط فعال شده‌ی مغز (روش‌های فصل سوم)، و استفاده از اطلاعات آناتومیک و تجربی با توجه به آزمون مورد بررسی، نقاط فعال شده‌ی مغز که در برخورد با آزمون از خود افزایش فعالیت نشان داده‌اند، مشخص می‌شوند. سپس با استفاده از اطلس‌های استاندارد مغزی (مثل اطلس پرودمن<sup>۲</sup>، اطلس آکسفورد<sup>۳</sup> و غیره) مختصات نقاط فعال شده‌ی مغزی به دست آورده می‌شود.

در مرحله‌ی بعد با استفاده از جعبه‌ی نرم افزاری SPM8<sup>۴</sup> که در محیط نرم افزار MATLAB اجرا می‌گردد، میانگین سری‌های زمانی سیگنال‌های BOLD کل و کسل‌های نقاط فعال شده، به صورت مجزا با توجه به مختصات به دست آمده در مرحله‌ی قبل، برای هر ناحیه استخراج می‌شوند و این سری‌های زمانی همان داده‌های

<sup>۱</sup> Gene Regulatory Networks (GRN)

<sup>۲</sup> Brodmann atlas

<sup>۳</sup> Oxford atlas

<sup>۴</sup> SPM: Statistical Parametric Mapping, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm>

ورودی برای روش‌های به دست آورنده‌ی ارتباط‌های تأثیری می‌باشند، همان‌طور که اشاره شد در این پژوهش از روش‌های شبکه‌های بیزین برای استخراج ارتباط‌های تأثیری استفاده می‌شود، پس سری‌های زمانی استخراج شده به عنوان ورودی برای این روش‌ها استفاده می‌شود.

سپس با استفاده از این داده‌ها و روش‌های یادگیری ساختاری<sup>۱</sup> در شبکه‌های بیزین گراف مربوط به ارتباط‌های تأثیری بین نواحی فعال شده‌ی مغزی استخراج می‌گردد که این گراف به طور کلی نواحی درگیر در برخورد با آزمون مورد بررسی و میزان تأثیر آن‌ها بر یکدیگر را نشان می‌دهد.

## ۴-۱ معرفی فصول

پژوهش حاضر در قالب ۷ فصل به صورت زیر آماده و ارائه گردیده است:

در فصل اول به معرفی کلی پژوهش شامل اهمیت موضوع، کاربردهای پژوهش و مراحل انجام آن پرداخته شده است.

در فصل دوم به معرفی انواع روش‌های به کار رفته برای تعیین محل وقوع فعالیت‌های عصبی و ارتباط‌های نواحی مختلف در مغز و بررسی مزایا و معایب هر کدام پرداخته می‌شود و با مقایسه روش‌های با یکدیگر علت انتخاب روش تصویربرداری fMRI در این پژوهش توضیح داده خواهد شد.

در ادامه‌ی فصل دوم، اصول روش تصویربرداری fMRI، انواع مدل‌های طرح آزمون در fMRI، نحوه‌ی انجام تصویربرداری fMRI و خصوصیات سیگنال fMRI و عوامل موثر در ایجاد درست نما و نوفه در این روش، به تفصیل شرح داده خواهد شد.

در فصل سوم ابتدا مراحل پیش پردازش<sup>۲</sup> بر روی داده‌های خام به منظور کاهش عوامل نامطلوب موجود در داده‌ها (انواع نوفه و درست نما موجود در داده‌های fMRI) بررسی می‌گردد و پس از آن اولین دسته از روش‌های تحلیل داده‌های fMRI یعنی روش‌های محل یابی نقاط فعال شده‌ی مغز<sup>۳</sup> مورد بررسی قرار می‌گیرند که خود شامل دو دسته روش‌های پارامتری و غیرپارامتری می‌باشند و در این فصل تمام روش‌های پارامتری و غیرپارامتری به صورت کامل بررسی خواهند شد.

در فصل چهارم دسته‌ی دوم از روش‌های تحلیل داده‌ی fMRI یعنی انواع روش‌های به دست آوردن ارتباط‌های بین نواحی فعال شده‌ی مغزی (ارتباط‌های ساختاری، ارتباط‌های عملکردی و ارتباط‌های تأثیری) مورد بررسی

<sup>۱</sup> Structure Learning

<sup>۲</sup> Preprocessing

<sup>۳</sup> Localizing Brain Activity