

## ذهن به مثابه محصول هماهنگی شبکه‌ای: نقش یکپارچگی ساختاری و هم‌زمانی کارکردی در شکل‌گیری پدیده‌های ذهنی

رویا مقدم دیمه<sup>۱</sup>، علی غنائی چمن آباد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران،

[roya.moghadamdeimeh@mail.um.ac.ir](mailto:roya.moghadamdeimeh@mail.um.ac.ir)

<sup>۲</sup> گروه روانشناسی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، [ghanaee@um.ac.ir](mailto:ghanaee@um.ac.ir)

### چکیده

پرسش از اینکه ذهن چگونه از فعالیت‌های عصبی پدیدار می‌شود، طی دهه‌های اخیر به مسئله‌ای اساسی در علوم اعصاب، روان‌شناسی شناختی و فلسفه‌ی ذهن تبدیل شده است. رویکردهای شبکه‌محور در علوم اعصاب نشان می‌دهند که ذهن محصول فعالیت یک ناحیه‌ی منفرد مغزی نیست، بلکه نتیجه‌ی هماهنگی دینامیک شبکه‌های گسترده‌ی مغزی [۱۴] است. شواهد حاصل از تصویربرداری‌های عصبی و مدل‌های نظری همچون نظریه‌ی اطلاعات یکپارچه (IIT) [۲]، [۷] و نظریه‌ی فضای کاری جهانی (GWT) [۴] بیانگر آن است که یکپارچگی ساختاری، هم‌زمانی کارکردی و تعامل میان شبکه‌های پیش‌فرض، اجرایی و سالیانس نقش اساسی در ایجاد آگاهی، تجربه‌ی ذهنی و عملکردهای شناختی دارند. این مقاله با مرور نظام‌مند ادبیات پژوهش، تحلیل نظری چارچوب‌های شبکه‌ای و ارائه‌ی یک مدل مفهومی، استدلال می‌کند که ذهن یک پدیده‌ی ظهوریافته و شبکه‌ای است که از تعامل هماهنگ سراسر مغز پدید می‌آید. نتایج این بررسی پیامدهایی مهم برای مدل‌سازی ذهن، فهم اختلالات شناختی و توسعه‌ی رویکردهای نوین در علوم اعصاب دارد.

کلید واژه- ذهن، شبکه‌های مغزی، یکپارچگی ساختاری، هم‌زمانی کارکردی، نظریه‌ی اطلاعات یکپارچه، فضای کاری جهانی، علوم اعصاب شبکه‌ای، آگاهی.

نوسانی و یکپارچگی ساختاری-کارکردی، بستری مشترک برای انتقال اطلاعات و ایجاد حالت‌های ذهنی فراهم می‌کنند.

### ۱- مقدمه

ظهور رویکرد علوم اعصاب شبکه<sup>۱</sup> موجب شده است که مغز به‌عنوان یک سیستم پیچیده با ارتباطات چندلایه بررسی شود. بر این اساس، پدیده‌های ذهنی نه محصول یک ساختار منفرد، بلکه حاصل یک دینامیک هماهنگ کل‌مغزی هستند. این مقاله با

فهم چگونگی پدیدار شدن ذهن از فعالیت‌های عصبی یکی از چالش‌های عمیق علوم شناختی است. گرچه دیدگاه‌های سنتی بر نقش نواحی خاصی از مغز در آگاهی و شناخت تأکید داشتند، اما پژوهش‌های جدید مبتنی بر تحلیل شبکه‌ای نشان می‌دهند که فرایندهای ذهنی، نتیجه‌ی تعامل گسترده‌ی مجموعه‌ای از شبکه‌ها هستند. [۱]، [۵] این شبکه‌ها از طریق الگوهای هم‌زمانی

نواحی مختلف در طول زمان، چه در حالت استراحت<sup>۴</sup> [۱۷] و چه در حین انجام تکلیف<sup>۵</sup>.

- نقش: بروز سازماندهی پویا و موقت برای پردازش اطلاعات خاص؛ نشان دهنده جریان فعال اطلاعات.
- روش شناسی مرتبط: fMRI (همبستگی های پایین فرکانس BOLD)، EEG/MEG (هم فازی نوسانات عصبی).

### ۳-۳ نظریه اطلاعات یکپارچه<sup>۶</sup> [۲]، [۷]

این نظریه (IIT) نخستین بار توسط تونونی<sup>۷</sup> مطرح شد و یکی از تأثیرگذارترین چارچوب های معاصر در تبیین منشأ آگاهی است. این نظریه بیان می کند که یک سامانه زمانی می تواند تجربه آگاهانه ایجاد کند که دو شرط اساسی را برآورده سازد:

۱. تولید اطلاعات متمایز
۲. یکپارچگی ساختاری-علی میان اجزای آن.

به بیان دیگر، آگاهی زمانی پدیدار می شود که حالت های شبکه عصبی نه تنها اطلاعات غنی و متفاوتی بسازند، بلکه این اطلاعات به گونه ای باشند که تنها در چارچوب کل شبکه قابل تبیین باشند و به اجزای مستقل فروکاسته نشوند.

IIT شدت آگاهی را با کمیتی به نام  $\Phi$  (phi) اندازه گیری می کند که بیانگر میزان یکپارچگی علی<sup>۸</sup> در شبکه است. در این چارچوب، شبکه هایی که دارای اتصالات بازگشتی گسترده، تعاملات دوطرفه و هم زمانی کارکردی پایدار هستند، مقدار  $\Phi$  بالاتری تولید می کنند؛ از این رو، چنین شبکه هایی بیشتر مستعد ایجاد آگاهی تلقی می شوند [۲].

بر اساس شواهد نوروفیزیولوژیک، در وضعیت هایی مانند بیهوشی عمومی، خواب عمیق یا آسیب های گسترده مغزی،

هدف تبیین نقش این هماهنگی شبکه ای، به مرور پیشینه، ارائه مدل مفهومی و تحلیل نتایج می پردازد.

## ۲- بیان مسئله

مسئله اصلی این پژوهش این است که: ذهن چگونه می تواند از تعامل میان شبکه های گسترده ی مغزی پدیدار شود و نقش هماهنگی شبکه ای در ایجاد حالت های ذهنی چیست؟

با وجود پیشرفت های گسترده در تصویربرداری و مدل سازی عصبی، هنوز توضیح فراگیری برای چگونگی پیدایش آگاهی و تجربه ی ذهنی ارائه نشده است. این مقاله با تمرکز بر دو مؤلفه ی کلیدی:

۱. یکپارچگی ساختاری

۲. هم زمانی کارکردی

بررسی می کند که چگونه این دو عامل در تعامل شبکه های مغزی منجر به شکل گیری ذهن می شوند.

## ۳- بحث

در این بخش مهم ترین مطالعات مرتبط، مرور و خلاصه سازی شده اند:

### ۳-۱ یکپارچگی ساختاری [۸]

• تعریف: توصیف اتصالات فیزیکی دائمی بین نواحی مغز که توسط ماده سفید<sup>۹</sup> [۲۱] ایجاد می شوند.

• نقش: فراهم کردن بستر فیزیکی و مسیرهای ارتباطی بالقوه؛ تعیین کننده سرعت و جهت گیری انتقال اطلاعات.

• روش شناسی مرتبط: تصویربرداری تنسور پراکندگی (DTI) و فیبر تراکتوگرافی [۲۲].

### ۳-۲ هم زمانی کارکردی [۸]

• تعریف: اندازه گیری همبستگی فعالیت های عصبی<sup>۱۰</sup> در

<sup>۴</sup>Resting State

<sup>۵</sup>Task-Based

<sup>۶</sup>Integrated Information Theory

<sup>۷</sup>Tononi

<sup>۸</sup>causal integration

<sup>۹</sup>White Matter

<sup>۱۰</sup>Functional Connectome

نظریه پیش‌بینی می‌کند که عملکردهای شناختی پیچیده مانند حافظه کاری و توجه نیازمند هماهنگی گسترده شبکه‌ها هستند. شواهد تجربی:

EEG و MEG نشان می‌دهند که هنگام پردازش آگاهانه محرک‌ها، نوسان‌های هم‌زمان در شبکه‌های پیش‌پیشانی و حسی افزایش می‌یابد.

GWT توانسته با موفقیت توضیح دهد که چرا بعضی پردازش‌های حسی بدون آگاهی رخ می‌دهند، اما برخی اطلاعات وارد تجربه ذهنی می‌شوند. پیرو پژوهش‌های اخیر در علوم اعصاب از هماهنگی پویا میان شبکه‌های بزرگ مقیاس شکل می‌گیرند. در همین راستا، مدل ۷ شبکه‌ای مغز که توسط Yeo و همکاران معرفی شده است، قشر مغز را به هفت شبکه اصلی طبقه‌بندی می‌کند که هر کدام وظیفه‌ای کارکردی متمایز بر عهده دارند.

برای مثال شبکه پیش‌فرض (DMN) در پردازش‌های درونی و خودآگاهی فعال می‌شود، در حالی که شبکه سالپنس (SN) اهمیت محرک‌ها را تشخیص داده و گذار میان حالت‌های شناختی را تنظیم می‌کند. (در ادامه بیشتر این دو شبکه توضیح داده می‌شوند).

همچنین شبکه کنترل پیش‌پیشانی-جداری (FPN) مسئول کنترل شناختی، تصمیم‌گیری هدفمند و مدیریت چندوظیفگی است. بنابراین این سازمان‌یافتگی شبکه‌ای نشان می‌دهد که هیچ فرایند ذهنی به صورت مستقل عمل نمی‌کند و ذهن نتیجه تعامل لحظه‌به‌لحظه چندین شبکه است.

بر اساس این دیدگاه، ذهن را می‌توان پدیده‌ای ناشی از دینامیک هماهنگ شبکه‌ها دانست؛ زیرا کارکردهای سطح بالا هنگامی شکل می‌گیرند که شبکه‌های DMN، SN و FPN به صورت منسجم با یکدیگر تعامل کنند. [۲۳] افزون بر این مطالعات fMRI نشان داده‌اند که نقش شبکه سالپنس به عنوان «سوئیچ» میان شبکه‌های درونی و بیرونی، و انعطاف‌پذیری شبکه کنترل پیش‌پیشانی-جداری در تنظیم توجه و تصمیم‌گیری، برای حفظ انسجام ذهنی ضروری است. در نتیجه ذهن نه یک ویژگی محلی، بلکه حاصل معماری شبکه‌ای مغز و تعامل ساختاری-کارکردی آن است. در نهایت چنین چارچوبی امکان تبیین جامع‌تری از آگاهی، رفتار و تفاوت‌های فردی فراهم می‌کند.

میزان  $\Phi$  کاهش یافته و هم‌زمان سطح آگاهی نیز افت می‌کند، در حالی که در بیداری و خواب REM، الگوهای عصبی دارای یکپارچگی بیشتری هستند.

IIT با رویکردهای شبکه‌محور در علوم اعصاب سازگار است و بر این فرض استوار است که آگاهی یک پدیده ظهوریافته<sup>۱</sup> [۱۶] از هماهنگی گسترده شبکه‌های مغزی است، نه محصول فعالیت یک ناحیه منفرد. از این رو، درک پدیده‌های ذهنی مستلزم تحلیل شبکه‌ای از ساختار و کارکرد مغز است؛ تحلیلی که هم یکپارچگی ساختاری و هم هم‌زمانی کارکردی را به عنوان پایه‌ی شکل‌گیری ذهن یاد می‌کند و با تمرکز بر سطح کل مغز، چارچوب نظری خوبی برای مدل مفهومی ذهن به مثابه محصول شبکه‌ای فراهم می‌آورد.

۳-۴. نظریه فضای کاری جهانی (GWT) [۴] این نظریه تأکید دارد که آگاهی زمانی رخ می‌دهد که شبکه‌های پیش‌پیشانی و نواحی ارتباطی، اطلاعات را به صورت جهانی منتشر کنند؛ فرایندی که نیازمند هماهنگی و هم‌زمانی نوسانی است. GWT یک چارچوب مهم دیگر در علوم اعصاب شناختی است که آگاهی را محصول انتشار اطلاعات در شبکه‌های گسترده مغزی می‌داند. ویژگی‌های مهم آن عبارتند از:

۳-۴-۱. فضای کاری جهانی: مجموعه‌ای از نواحی پیش‌پیشانی و ارتباطات طولانی‌برد که اطلاعات را دریافت و منتشر کردن می‌کنند.

۳-۴-۲. انتشار جهانی اطلاعات: تنها اطلاعاتی که به این فضا وارد می‌شوند، آگاهانه پردازش می‌شوند؛ دیگر اطلاعات غیرآگاهانه باقی می‌مانند.

۳-۴-۳. هماهنگی نوسانی: نوسان‌های بتا و گاما امکان هم‌زمانی فعالیت شبکه‌ها را فراهم می‌کنند و باعث منتشر کردن مؤثر اطلاعات می‌شوند.

۳-۴-۴. پشتیبانی شبکه‌ای از تصمیم‌گیری و توجه: این

<sup>۱</sup>emergent

<sup>۲</sup>structural connectivity

<sup>۳</sup>functional synchrony

### ۳-۵. شبکه پیش فرض (DMN) [۵]

DMN یکی از شبکه های کلیدی مغزی است که در فعالیت های درونی ذهن مانند خودآگاهی، تفکر درونی و حافظه اپیزودیک فعال می شود. ویژگی های آن:

شامل نواحی پیش پیشانی میانی،<sup>۱</sup> پیش گوه<sup>۲</sup> پیش گوه یک قشر ارتباطی بسیار توسعه یافته از قشر آهیانه ای میانی است که تغییر توجه ارادی را در رفتارهای هدایت شده فضایی و وظایف بازایی مرتبط با اپیزودیک (تجربه شخصی) کنترل می کند، و بخش هایی از لوب تمپورال است.

فعال بودن DMN با تفکر خودمحور، خاطره سازی و برنامه ریزی آینده ارتباط دارد.

اختلال در هماهنگی DMN با شبکه های دیگر می تواند منجر به اختلالات شناختی و روان پریشی شود.

شواهد تجربی:

fMRI نشان می دهد که فعالیت DMN در حالت استراحت مغز بیشترین هماهنگی را دارد و فعالیت آن در زمان پردازش آگاهانه کاهش می یابد.

مطالعات شبکه های نشان می دهند که یکپارچگی و هم زمانی DMN با شبکه های سالیانس و اجرایی برای ایجاد آگاهی و رفتار هدفمند حیاتی است.

### ۳-۴. شبکه سالیانس و اجرایی [۳]

این شبکه ها نقش انتخاب محرک های مهم و هدایت کنترل شناختی را دارند:

۱. شبکه سالیانس [۱۸]: تشخیص محرک های مهم و جلب توجه به آنها

۲. شبکه اجرایی مرکزی: برنامه ریزی، تصمیم گیری و کنترل توجه

تعامل بین این شبکه ها:

شبکه سالیانس فعالیت DMN یا شبکه اجرایی را در لحظات

نیاز به تصمیم گیری یا پردازش هدفمند هدایت می کند.

هماهنگی میان این شبکه ها به شکل گیری تجربه ذهنی یکپارچه کمک می کند و اختلال در آن با ADHD، اسکیزوفرنی و اختلالات توجه مرتبط است.

این شبکه ها وظیفه انتخاب محرک های مهم و هدایت کنترل شناختی را برعهده دارند. تعامل بین این شبکه ها برای توجه، تصمیم گیری و تجربه ذهنی حیاتی است.

### ۳-۵. علوم اعصاب شبکه ای [۱]، [۵]

با استفاده از نظریه گراف<sup>۴</sup> مغز را به عنوان یک سیستم پیچیده چندمقیاسی بررسی می کند:

مغز شامل گره ها<sup>۵</sup> و اتصالات<sup>۶</sup> است که شبکه های کارکردی و ساختاری را تشکیل می دهند.

هسته های مرکزی<sup>۷</sup> و اتصالات بلندبرد نقش حیاتی در یکپارچگی شبکه و انتقال اطلاعات دارند.

تحلیل شبکه ای نشان می دهد که ذهن و آگاهی نتیجه تعاملات شبکه ای چندلایه هستند، نه عملکرد یک ناحیه منفرد. شواهد تجربی:

مطالعات fMRI، DTI و EEG نشان می دهند که هماهنگی

بین شبکه ها و ساختار ارتباطات بلندبرد تعیین کننده عملکردهای شناختی و پدیداری آگاهی است. این رویکرد با بهره گیری از نظریه گراف نشان می دهد که مغز یک سیستم پیچیده چندمقیاسی است و ذهن نتیجه تعاملات شبکه ای چندلایه است.

پژوهش های اخیر در علوم اعصاب شبکه ای نشان می دهند که ذهن و کارکردهای شناختی حاصل فعالیت یک ناحیه منفرد مغزی نیستند؛ بلکه از هماهنگی پویا میان شبکه های

بزرگ مقیاس شکل می گیرند. در همین راستا، مدل ۷ شبکه ای مغز که توسط Yeو همکاران معرفی شده است، [۹] قشر مغز را به هفت شبکه اصلی طبقه بندی می کند که هر کدام وظیفه ای

<sup>۴</sup>Graph Theory

<sup>۵</sup>Nodes

<sup>۶</sup>Edges

<sup>۷</sup>Hubs

<sup>۱</sup>Medial Prefrontal Cortex

<sup>۲</sup>Precuneus



تحلیل ساختاری-کارکردی شبکه های مغزی [۱]، [۵]

مدل های هماهنگی نوسانی (EEG/MEG) [۵]

#### ۵ - نتایج و یافته ها

۱-۵. نقش یکپارچگی ساختاری [۱۳]

شبکه های مغزی با درجه بالا، هسته های مرکزی و اتصالات بلندبرد بیشترین نقش را در ایجاد انسجام ذهنی دارند [۱]، [۵].

۲-۵. نقش هم زمانی کارکردی [۱۵]

نوسان های تتا، آلفا و گاما هماهنگی شبکه ها را امکان پذیر می کنند و برای آگاهی دیداری، حافظه کاری و کنترل شناختی حیاتی هستند [۵]، [۱].

۳-۵. مدل هماهنگی کل مغزی ذهن زمانی پدید می آید که:

۱. ساختار ارتباطی مناسب فراهم باشد [۱]

۲. شبکه ها وارد هم زمانی نوسانی شوند [۵]

۳. تعامل بین DMN، سالیانس و شبکه اجرایی برقرار شود [۳]. [۵]

این سه شرط منجر به ایجاد وحدت تجربه می شوند.

#### ۶. بحث و نتیجه گیری

مدل شبکه ای توضیح جامع تری از پدیده های ذهنی ارائه می دهد و نظریه های IIT و GWT اهمیت یکپارچگی و broadcast شبکه ای را تأیید می کنند.

محدودیت مطالعه: نظری بودن پژوهش.

پیشنهادهای برای تحقیقات آینده: اندازه گیری کمی درجه هماهنگی شبکه ای، بررسی اختلالات شناختی، توسعه مدل های محاسباتی شبیه سازی ذهن.

#### مراجع

[۱] D. S. Bassett and O. Sporns, "Network neuroscience," Nature Neuroscience, vol. 20, no. 3, pp. 353-364, Mar. 2017.

کارکردی متمایز بر عهده دارند. برای مثال شبکه پیش فرض (DMN) در پردازش های درونی و خودآگاهی فعال می شود، در حالی که شبکه سالیانس (SN) اهمیت محرک ها را تشخیص داده و گذار میان حالت های شناختی را تنظیم می کند. [۱۰] همچنین شبکه کنترل پیش پیشانی-جداری (FPN) مسئول کنترل شناختی، تصمیم گیری هدفمند و مدیریت چندوظیفگی است. بنابراین این سازمان یافتگی شبکه ای نشان می دهد که هیچ فرایند ذهنی به صورت مستقل عمل نمی کند و ذهن نتیجه تعامل لحظه به لحظه چندین شبکه است.

بر اساس این دیدگاه، ذهن را می توان پدیده ای ناشی از دینامیک هماهنگ شبکه ها دانست؛ زیرا کارکردهای سطح بالا هنگامی شکل می گیرند که شبکه های DMN، SN و FPN به صورت منسجم با یکدیگر تعامل کنند. [۲۰] افزون بر این مطالعات fMRI نشان داده اند که نقش شبکه سالیانس به عنوان «سوئیچ» میان شبکه های درونی و بیرونی، و انعطاف پذیری شبکه کنترل پیش پیشانی-جداری در تنظیم توجه و تصمیم گیری، برای حفظ انسجام ذهنی ضروری است. در نتیجه ذهن نه یک ویژگی محلی، بلکه حاصل معماری شبکه ای مغز و تعامل ساختاری-کارکردی آن است. در نهایت چنین چارچوبی امکان تبیین جامع تری از آگاهی، رفتار و تفاوت های فردی فراهم می کند.

از این منظر، ذهن نه یک ویژگی محلی، بلکه حاصل معماری شبکه ای مغز و تعامل ساختاری-کارکردی آن است. چنین چارچوبی امکان تبیین دقیق تری از آگاهی، رفتار و تفاوت های فردی فراهم می کند.

جمع بندی مطالعات نشان می دهد که مدل های منطقه محور قادر به توضیح کامل ذهن نیستند و رویکرد کل نگر شبکه ای، توصیف جامع تری ارائه می دهد.

#### ۴ - مواد و روش ها

۱-۴. روش شناسی تحقیق

طراحی پژوهش: مرور نظام مند و تحلیل مفهومی

ابزارها: PubMed, Scopus, Web of Science

معیار انتخاب منابع: انتشار بین ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۴، ارتباط

مستقیم با شبکه های مغزی و آگاهی، ژورنال های Q1

۲-۴. روش تحلیل

نظریه اطلاعات یکپارچه [۲]، [۷]

نظریه فضای کاری جهانی [۴]

MRI,” Nature Reviews Neuroscience, vol. 8, no. 9, pp. 700–711, 2007

[۱۸] W. W. Seeley et al., “Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control,” Journal of Neuroscience, vol. 27, no. 9, pp. 2349–2356, 2007

[۱۹] R. L. Buckner, J. R. Andrews-Hanna, and D. L. Schacter, “The brain’s default network: Anatomy, function, and relevance to disease,” Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 1124, pp. 1–38, 2008.

[۲۰] V. Menon, “Large-scale brain networks and psychopathology: A unifying triple network model,” Trends in Cognitive Sciences, vol. 15, no. 10, pp. 483–506, 2011.

[۲۱] O. Sporns, G. Tononi, and R. Kötter, “The human connectome: A structural description of the human brain,” PLoS Computational Biology, vol. 1, no. 4, e42, 2005

[۲۲] P. Hagmann et al., “Mapping the structural core of human cerebral cortex,” PLoS Biology, vol. 6, no. 7, e159, 2008.

[۲۳] V. Menon, “Large-scale brain networks and psychopathology: A unifying triple network model,” Trends in Cognitive Sciences, vol. 15, no. 10, pp. 483–506, 2011

[۲] G. Tononi, “Integrated information theory of consciousness: an updated account,” Archives Italiennes de Biologie, vol. 150, no. 4, pp. 293–329, 2012.

[۳] V. Menon, “Salience network,” in Brain Mapping: An Encyclopedic Reference, vol. 2, A. W. Toga, Ed. Elsevier, 2015, pp. 597–611.

[۴] S. Dehaene and J.-P. Changeux, “Experimental and theoretical approaches to conscious processing,” Neuron, vol. 70, no. 2, pp. 200–227, 2011.

[۵] M. E. Raichle, “The brain’s default mode network,” Annual Review of Neuroscience, vol. 38, pp. 433–447, 2015.

[۶] O. Sporns, Networks of the Brain. MIT Press, 2011.

[۷] G. Tononi, Phi: A Voyage from the Brain to the Soul. Pantheon Books, 2020.

[۸] Honey, C. J., Sporns, O., Cammoun, L., Gigandet, X., Thiran, J. P., Hagmann, P., & Corbetta, M. (2009). Predicting human brain dynamics from structural connectivity.

[۹] B. T. T. Yeo, F. M. Krienen, J. Sepulcre, M. R. Sabuncu, D. Lashkari, M. Hollinshead, et al., “The organization of the human cerebral cortex estimated by intrinsic functional connectivity,” Journal of Neurophysiology, vol. 106, no. 3, pp. 1125–1165, 2011.

[۱۰] V. Menon, “Salience network,” in Brain Mapping: An Encyclopedic Reference, A. W. Toga, Ed. Academic Press, 2015, vol. 2, pp. 597–611.

[۱۱] M. E. Raichle, “The brain’s default mode network,” Annual Review of Neuroscience, vol. 38, pp. 433–447, 2015.

[۱۲] M. W. Cole, J. R. Reynolds, J. D. Power, G. Repovs, A. Anticevic, and T. S. Braver, “Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control,” Nature Neuroscience, vol. 16, no. 9, pp. 1348–1355, 2013.

[۱۳] M. P. van den Heuvel and O. Sporns, “Rich-club organization of the human connectome,” Journal of Neuroscience, vol. 31, no. 44, pp. 15775–15786, 2011

[۱۴] O. Sporns, “Structure and function of complex brain networks,” Dialogues in Clinical Neuroscience, vol. 15, no. 3, pp. 247–262, 2013

[۱۵] K. J. Friston, “Functional and effective connectivity: A review,” Brain Connectivity, vol. no. 1, pp. 13–36, 2011.

[۱۶] F. Varela, J.-P. Lachaux, E. Rodriguez, and J. Martinerie, “The brainweb: Phase synchronization and large-scale integration,” Nature Reviews Neuroscience, vol. 2, no. 4, pp. 229–239, 2001

[۱۷] [10] M. D. Fox and M. E. Raichle, “Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional