

## Review Article

# **Auditory attention: foundations, theories, and mechanisms**

**Hossein Talebi, Saeideh Mehrkian**

Department of Audiology, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran

Received: 25 November 2012, accepted: 3 February 2013

### **Abstract**

**Background and Aim:** There are four fundamental processes of attention: working memory, top-down sensitivity control, competitive selection, and automatic bottom-up filtering for salient stimuli. Each process makes an essential contribution to attention. Voluntary control operates on the first three processes in a recurrent loop. We reviewed comprehensive researches, theories, mechanisms, and central nervous system functions of auditory attention.

**Methods:** In this study, publications on auditory attention from 1953 to 2012 in PubMed, Scopus, ProQuest, Iran Medex, and Goole scholar were reviewed. Keywords were auditory attention and related words.

**Conclusion:** In general, auditory attention plays an important role in auditory processing and modulates this process from cochlea to auditory cortex through its four primary components.

**Keywords:** Auditory attention, working memory, top-down process, competitive selection, automatic bottom-up filtering

## توجه شنوایی: مبانی، نظریه‌ها و سازوکارها

حسین طالبی، سعیده مهرکیان

گروه شنوایی‌شناسی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** در ارتباط با توجه، چهار مرحله‌ی اساسی تشریح خواهد شد که عبارتند از حافظه‌ی فعال، مسیر بالا به پایین، انتخاب رقابتی، و فیلترینگ خودکار پایین به بالا برای تحریکات برجسته. هریک از این مراحل، نقشی اساسی در فرآیند توجه ایفا می‌کنند. سه مرحله‌ی ابتدایی در کنترل ارادی انسان هستند و در کنار یکدیگر، چرخه‌ای برگشتی را ایجاد می‌کنند. در این مقاله مروری، سعی شده‌است تا با تکیه بر آخرین و پیشرفته‌ترین تحقیقات مرتبط با توجه به‌ویژه توجه شنوایی، نظریه‌ها، سازوکارها، و مراکز دخیل در دستگاه عصبی، به تفصیل مطرح شود.

**روش بررسی:** در این مطالعه، به بررسی متون و مقالات مختلفی که از سال ۱۹۵۳ تا ۲۰۱۲ پیرامون توجه شنوایی چاپ شده‌است، پرداخته شد. برای این منظور، از بانک‌های اطلاعاتی PubMed، Scopus، ProQuest، Iran Medex، و Google scholar استفاده شد. برای جستجو در این بانک‌ها، از واژه auditory attention و واژگان کلیدی مرتبط با آن استفاده شد.

**نتیجه‌گیری:** می‌توان گفت که توجه شنوایی به‌واسطه‌ی چهار مؤلفه‌ی اصلی خود نقش بسیار مهمی در روند پردازش شنوایی داشته و می‌تواند تغییردهنده‌ی روند مذکور در سطوح متعددی از تجزیه و تحلیل حسی نظیر حلزون، ساقه‌ی مغز، و قشر شنوایی باشد.

**واژگان کلیدی:** توجه شنوایی، حافظه‌ی فعال، مسیر بالا به پایین، انتخاب رقابتی، فیلترینگ خودکار پایین به بالا

(دریافت مقاله: ۹۱/۹/۵؛ پذیرش: ۹۱/۱۱/۱۵)

### مقدمه

انتخابی شنوایی پرداختند. تلاش آنان بر این بود که دریابند چرا گاهی اوقات خلبانان هواپیماهای جنگنده، پیام‌های قابل شنیدن از طریق هدفون را دریافت نمی‌کردند. روانشناسان علوم شناختی از جمله Broadbent (۱۹۵۸) آزمایش‌های شنوایی انتخابی مختلفی را برای درک و توضیح این موضوع مطرح کردند (۱). با وجود آن که در سال‌های گذشته بیشتر تحقیقات برای درک سازوکارهای توجه انتخابی بر حوزه‌ی بینایی متمرکز بوده‌اند، در چند دهه‌ی اخیر پژوهشگران گرایش چشمگیری به سمت سازوکارهای توجه شنوایی نشان داده‌اند. آنان بر این باورند که اصول یکسانی (و شاید سازوکارهای نورونی مشابهی) در توجه انتخابی هر دو حس وجود دارند (۲-۴).

یکی از اساسی‌ترین پرسش‌هایی که همواره مورد توجه بشر بوده این است که ما چگونه می‌توانیم به‌طور انتخابی توجه‌مان را به موضوع خاصی در محیط اطراف معطوف کنیم و هم‌زمان با آن از محرک‌های دیگر، که اغلب مورد توجه ما نیستند، چشم‌پوشی کنیم، و به‌عبارتی پردازش آنها را مهار کنیم. آن‌چه که ما می‌بینیم، می‌شنویم، احساس می‌کنیم و به‌خاطر می‌سپاریم نه‌تنها به اطلاعات واردشده به حواس ما وابسته است، بلکه به ویژگی‌های اطلاعاتی که به آن‌ها توجه می‌کنیم نیز بستگی دارد. توجه انتخابی شنوایی عبارت است از روندی که شنونده به‌طور هوشمندانه تحریک‌های مورد توجه را گزینش و پردازش می‌کند. در ابتدا محققان بعد از جنگ جهانی دوم به بررسی موضوع توجه

## روش بررسی

در این مقاله مطالعات، مدل‌ها، و نظریات بیش از ۵۰ سال گذشته (از سال ۱۹۵۳ تا سال ۲۰۱۲) در حیطه توجه انتخابی شنوایی مرور شده است. به علاوه، به‌طور خاص شواهد اخیر درباره ارتباط تنگاتنگ بین توجه انتخابی و حافظه فعال (working memory) مورد تأکید قرار می‌گیرد. برای این منظور، از بانک‌های اطلاعاتی ProQuest، Scopus، PubMed، Medex، و Google scholar استفاده شد. برای جستجو در این بانک‌ها از واژه‌های auditory attention، working memory، auditory attention impairments، attention Theories، bottom-up، top-down، و attention impairments استفاده شد. اطلاعات به‌دست آمده از مطالعات مربوط مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و تنها مقالاتی که به نظریه‌ها و مبانی توجه، به‌ویژه توجه شنوایی اشاره داشتند، استخراج شد. به‌عبارت دیگر، تمرکز نویسندگان بر مقالاتی قرار گرفت که در آنها به اصول و نظریه‌های اساسی، با تکیه بر آزمایش‌های رفتاری، روانشناختی، علوم اعصاب شناختی، و شنوایی‌شناسی اشاره شده بود. در نهایت، با محدود ساختن هدفمند مقالات و مطالعات مربوط، منابع مقاله حاضر استخراج شد.

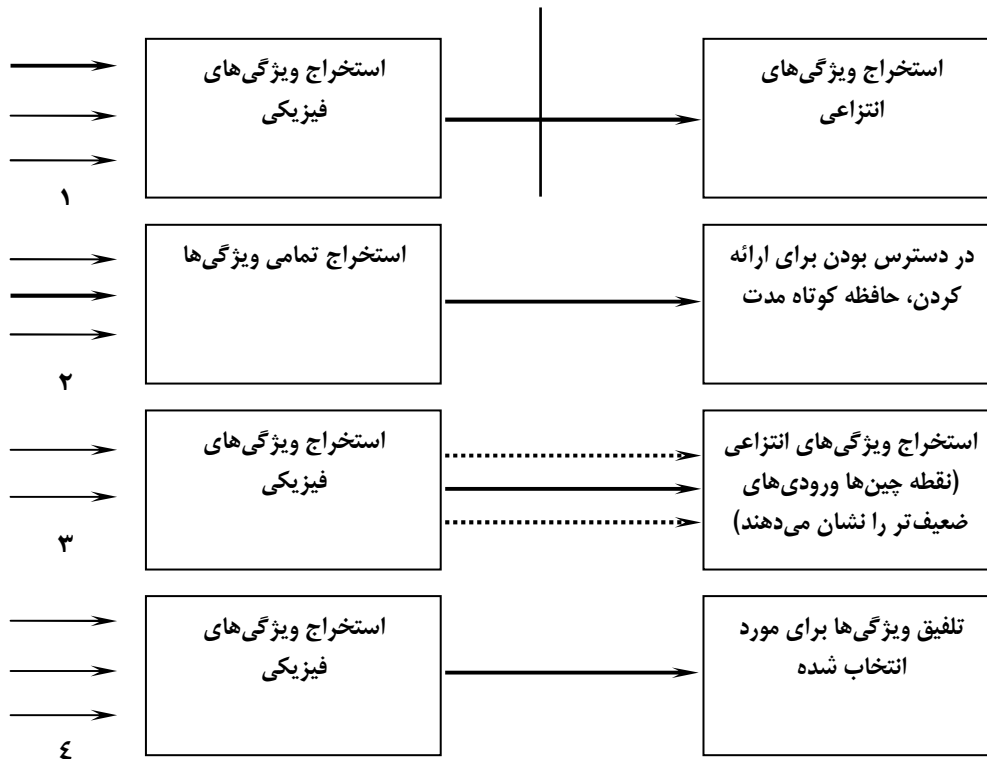
## نظریه‌ها و مدل‌ها

Cherry (۱۹۵۳ و ۱۹۵۴) برای اولین بار حدود ۶۰ سال پیش در یک آزمایش شنوایی دایکوتیک نشان داد که افراد قادرند در شرایطی که به‌طور هم‌زمان پیام‌های متفاوتی به دو گوش آنها ارائه شود، پیام‌های هدف در یک گوش را دریافت کنند، و در عین حال محتوای پیام‌های غیرهدف در گوش دیگر را مهار کنند. بعضی از این افراد تنها قادر بودند که جنس صدای گوینده در گوش غیر هدف را به‌یاد آورند (Moray، ۱۹۵۹). در تحقیق خود نشان داد که افراد حتی کلمه‌ای را که ۳۵ بار در گوش غیر هدف ارائه شده بود به‌یاد نمی‌آوردند (۷). نتایج این دسته مطالعات Broadbent (۱۹۵۸) را بر آن داشت تا مدل انتخاب اولیه (early selection model) را در توجه مطرح کند. طبق نظر وی اگر اطلاعات موجود در محیط با هدف فرد مرتبط نباشد، فیلتر خواهد

شد و به سطح آگاهی (awareness) نخواهد رسید. بنابراین، فیلتر شدن براساس خصوصیات فیزیکی ظاهری از قبیل زیر و بمی، شدت و منبع صوت، در جریان گفتاری غیرتوجهی روی می‌دهد. از دیدگاه وی توجه انتخابی فیلتری است که مانع از پردازش اطلاعات نامربوط، فراتر از خصوصیات فیزیکی پایه‌ای اصوات می‌شود. به‌نظر می‌رسید که وجود چنین فیلتری برای حمایت از ظرفیت محدود منابع پردازش مرکزی ضروری است تا از افزایش بیش از اندازه اطلاعات حسی ورودی جلوگیری شود. شکل ۱ توصیف این مراحل را نشان می‌دهد. ولی این فرضیه که توجه انتخابی شنوایی تنها براساس خصوصیات فیزیکی محرک شنوایی باشد، مورد تردید سایر محققان قرار گرفت. در تحقیقات دیگر، شواهدی مبنی بر پردازش معنایی محرک‌های ارائه شده در گوش غیر هدف مشاهده شد (۹و۸). پدیده Cocktail Party Effect نیز شاهد دیگری بر این موضوع بود. این پدیده نشان می‌دهد که چطور اطلاعات غیرتوجهی می‌توانند سبب برانگیختن توجه فرد شوند. تصور کنید که درحال صحبت کردن با دوستان هستید و ناگهان نام خود را در یک مکالمه دیگر می‌شنوید. این موضوع نشان می‌دهد که چطور توجه شما به یک جریان غیرتوجهی فراتر از خصوصیات فیزیکی محرک برانگیخته شده است. این نتایج باعث شد تا Deutsch و Deutsch (۱۹۶۳) استدلال کنند که انتخاب عملاً در مراحل بالاتر پردازش اطلاعات روی می‌دهد. طبق مدل الهام یافته نوروفیزیولوژی (neurophysiological inspired) تمام محرک‌های حسی از لحاظ معنایی مورد پردازش قرار می‌گیرند و انتخاب (یعنی فیلتر شدن) درست قبل از آگاه‌شدن فرد از اطلاعات روی می‌دهد (۱۰).

یکی از دلایل پایدار ماندن تناقضات درباره اینکه آیا انتخاب توجهی در مراحل اولیه پردازش اطلاعات (جداسازی خصوصیات ابتدایی محرک‌ها) رخ می‌دهد یا در مراحل بالاتر (رسیدن به سطح معنایی) ناشی از این واقعیت است که محققان مختلف از ابزارهای متفاوتی برای بررسی آگاهی افراد استفاده می‌کردند.

بعضی از محققان چند مدل شناختی و نظریه‌های



شکل ۱- نمایش شماتیک چهار مدل مرسوم توجه انتخابی (۱) نظریه فیلتری توجه اولیه، (۲) نظریه توجه همراه با تأخیر، (۳) نظریه کاهش Triesman (۱۱)

مهارت فرد در تمایز بین محرک هدف و غیرهدف، تغییر می‌کند. طبق نظریه آنها، انتخاب می‌تواند در هر نقطه‌ای از پیوستار پردازش اطلاعات شنوایی، از مراحل اولیه تا مراحل بالاتر، رخ دهد (۱۲). اخیراً Lavi (۲۰۰۵) فرضیه مشابهی را دربارهٔ انعطاف‌پذیری توجه انتخابی مطرح کرده است، اگرچه سازوکار مورد نظر وی کاملاً متفاوت است (۱۳).

طبق نظریه بار ادراکی (perceptual load) در توجه انتخابی که توسط Lavi و Tsal (۲۰۰۵) مطرح شده است، منابع توجهی یک فرد همواره و به‌طور کامل در پردازش اطلاعات حسی ورودی به‌کارگرفته می‌شوند. بنابراین در شرایطی که تکلیف داده شده به فرد دشوار نباشد، منابع توجهی موجود برای پردازش سایر محرک‌ها (مانند جریان شنوایی نامرتب در مطالعات دایکوتیک) باقی خواهند ماند. Lavi بیان می‌کند که در شرایط بار کم (low-

waspeh-ay برای شکل دادن به بدنهٔ شواهد موجود در انتخاب اولیه (early) و انتخاب در مراحل بالاتر یا با تأخیر را مطرح کردند. برای مثال Triseman و همکاران (۱۹۸۳) عنوان کردند فیلترهای توجهی به‌جای مسدودکردن، صرفاً پردازش اطلاعات در گوش غیرتوجهی را کاهش می‌دهند (شکل ۱). وی همچنین نظریهٔ بازشناسی فرهنگ لغات (dictionary recognition units: DRUs) با آستانه‌های برانگیختگی متفاوت را مطرح کرد؛ به‌این معنا که محرک‌هایی مانند نام فرد یا کلمات هشداردهنده می‌توانند نسبت به سایر کلمات دیگر به‌راحتی از مجرای گوش غیرتوجهی عبور کنند (۱۱). با این‌حال شواهد و بسترهای عصبی کافی برای توجیه بخش‌های متفاوت مدل وی ارائه نشده است. در مقابل، Johnstone و Heinz (۱۹۷۹) عنوان کردند عمق پردازش اطلاعات در گوش غیرتوجهی ثابت نیست، بلکه با توجه به میزان

الگو توسط Triesman و همکاران (۱۹۸۳) به این شرح مطرح شده است: الگوی فیلترینگ در مورد مدالیتۀ شنوایی که معمولاً شامل وضعیت شنوایی دایکوتیک است و در آن افراد به ورودی رسیده به گوش مورد هدف توجه می‌کنند و از ورودی ارائه شده به گوش دیگر چشم‌پوشی می‌کنند. دستۀ دیگر مدل‌های توجه، شامل نظریه‌های مخزن یا ظرفیت توجه بوده و در ارتباط با توجه تقسیم شده مطرح می‌شوند (۱۱).

۳) نظریۀ بهره‌توجه (attentional gain): براساس این نظریه، توجه انتخابی به صورت یک سازوکار فیلترینگ یا بهره عمل می‌کند و می‌تواند تحریک‌هایی را که در مرحله اول تجزیه و تحلیل حسی مورد توجه قرار نگرفته‌اند مهار یا دریافت کند.

۴) مدل ردیابی توجه (attentional trace): در این مدل اعتقاد بر آن است که پردازش اولیه در قشر ارتباطی شنوایی انجام گرفته و پردازش همراه با تأخیر در مناطق پیشانی مغز انجام می‌گیرد.

در مجموع می‌توان گفت که در مورد سازوکارهای نوروفیزیولوژیک توجه انتخابی شنوایی در انسان تصور کلی بر آن است که یک سازوکار فیلترکننده تطبیقی برای توجه انتخابی شنوایی وجود دارد که می‌تواند به طور انعطاف‌پذیر و پویا، بسته به میزان نیاز توجه، تنظیم شود. توجه انتخابی شنوایی به توانایی ذهنی فرد در حذف تحریک‌های مداخله‌کننده و انتخاب اطلاعات مرتبط صوتی بستگی دارد (Cocktail Party Effect).

### مراکز دخیل در توجه شنوایی دستگاه عصبی مرکزی

برای کنترل و حفظ ردیابی توجه، این پردازش همراه با تأخیر در لوب پیشانی انجام می‌گیرد. گفته می‌شود که اطلاعات مرتبط با بخش‌های تأخیری توجه، در ساختارهای عمقی قشر پیشانی شکل می‌گیرند. باید این نکته را در نظر داشت که در فرایند توجه، سازوکار فیلتری دستگاه محیطی شنوایی نیز دخیل است. براساس سازوکار فیلترینگ توجه، پردازش شنوایی در مکان‌های مختلف از جمله در سطح دستگاه شنوایی محیطی صورت می‌گیرد. بسیاری از تحقیقات نشان‌دهنده اثر محیطی توجه

(load) انتخاب با تأخیر مشاهده می‌شود، ولی اگر بار تکلیف خواسته شده از فرد افزایش یابد (تکالیف دشوار و پیچیده)، شرکت‌کنندگان منابع توجهی بیشتری را به آن اختصاص خواهند داد و منابع توجهی اندکی برای پردازش محرک‌های بعدی در اختیار خواهد بود. در شرایط بار زیاد (high-load) انتخاب در مراحل ابتدایی پردازش اطلاعات رخ خواهد داد (۱۴).

آنچه حائز اهمیت است، نقش ظرفیت حافظه فعال در نظریۀ فوق و توانایی متفاوت افراد در متمرکز کردن توجه انتخابی خود بر جریان شنوایی هدف است. Conway و همکاران (۲۰۰۱) نشان داده‌اند که ارتباط نزدیکی بین حافظه فعال و تسخیر توجه در تکالیف شنیداری وجود دارد. افرادی که ظرفیت حافظه فعال کمتری دارند، به سختی می‌توانند محرک‌های غیرمرتبط را فیلتر کرده و توجه خود را بر جریان هدف متمرکز کنند (۱۵).

مثال قابل توجه دیگر، که نشان دهنده محدودیت‌های چشمگیر در پردازش اطلاعات شنوایی است، از مطالعات ناشنوایی در تغییرات شنوایی (auditory change deafness) حاصل شده است. این اصطلاح در قیاس با پدیده نابینایی در تغییرات (change blindness) به کار گرفته شده است (۱۶). نتایج مطالعات مذکور نشان می‌دهد افراد نسبت به غالب اطلاعات موجود در موقعیت‌های شنوایی پیچیده ناآگاه‌اند، بنابراین از تغییرات موجود در آن نیز ناآگاه نخواهند بود. افراد تنها از تغییر درباره اطلاعاتی آگاهی می‌یابند که به آن توجه داشته باشند (۱۷).

در حال حاضر چهار نظریۀ مشخص در ارتباط با توجه انتخابی شنوایی مطرح است که عبارتند از:

۱) نظریۀ انتخاب اولیه (early selection): پردازش تحریک‌هایی که مورد توجه نیستند ممکن است قبل از تجزیه و تحلیل کامل حسی دست‌خوش تغییر و تعدیل قرار گیرد.

۲) نظریۀ انتخاب همراه با تأخیر (late selection): تمامی تحریک‌ها (حتی در سطح معنایی آن‌ها) کاملاً پردازش می‌شوند، قبل از این که انتخاب یا گزینشی صورت گیرد. براساس این نظریه، نقش توجه به تنهایی کنترل دسترسی به هوشیاری، حافظه و پاسخ است. در ارتباط با هر یک از این نظریه‌ها، دو نوع

در پتانسیل‌های برانگیخته شنوایی ساقه مغز هستند. براساس این تحقیقات، حلزون مرکز پردازش‌های فعال حسی بوده و این پردازش‌ها مستقیماً با دستگاه شنوایی و ابران مرتبط هستند. یافته‌های به‌دست آمده از نتایج گسیل‌های برانگیخته صوتی گوش نشان داده‌اند که پاسخ‌های واضح‌تر در فرکانس‌هایی به‌دست می‌آیند که توجه به آن معطوف می‌شود و پاسخ‌ها با دور شدن از فرکانس مورد توجه کم‌رنگ‌تر می‌شوند. در کل، مشخص شده است که ورودی‌های و ابران قادر به کنترل و تعدیل سازوکار حلزونی در قالب یک روش ویژه فرکانسی هستند.

در باره ساختارهای فعال مغز طی توجه شنوایی تحقیقاتی انجام شده است. شواهد موجود برای اثرات توجه در قشر شنوایی با استفاده از fMRI و PET به‌دست آمده است. بررسی‌های دیگر که در شرایط شنوایی انتخابی دایکوتیک کلاسیک انجام گرفته است، نشان‌دهنده افزایش فعالیت در شکنج گیجگاهی فوقانی قشر شنوایی است. این اثر در مجموع در قشر مقابل به‌جهت توجه، بیشتر بوده و به‌عنوان کوک انتخابی قشرهای شنوایی چپ یا راست، منطبق با جهت توجه، تفسیر می‌شود (۱۸).

در بررسی دیگر، نتایج متفاوتی به‌دست آمده است. Frith و Friston (۱۹۹۶) هیچ‌گونه اثر توجه شنوایی در قشر شنوایی نیافتند، بلکه اثرات توجه به‌طور آشکار در قسمت میانی تالاموس راست مشاهده شد. ساختارهای مغزی دیگر که طی وظایف توجه شنوایی فعالیت داشتند عبارت بودند از نواحی متعدد قشر پیشانی، قشرهای پیش مرکزی دوطرفه و پس مرکزی چپ، و منطقه حرکتی مکمل (۱۹). تمامی پژوهش‌هایی که اشاره شد در ارتباط با توجه انتخابی شنوایی مطرح شده‌اند. در کنار این جنبه از توجه شنوایی، جنبه دیگری با عنوان توجه تقسیم شده شنوایی مطرح است که در تمامی مطالعات شنوایی دایکوتیک باید به آن توجه کرد. در این قسمت سعی شده است تا به برخی از مطالعات انجام شده در شرایط شنوایی دایکوتیک اشاره شود. در مطالعه‌ای، Hugdahl و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از PET به بررسی اثرات توجه بر وضعیت شنوایی دایکوتیک پرداختند. هدف از انجام این مطالعه نمایان ساختن تأثیر توجه بر فعالیت مغزی در شرایط

شنوایی دایکوتیک بود. برای این منظور، از دو نوع محرک متفاوت استفاده شد که به‌طور هم‌زمان ارائه می‌شدند (هر کدام از تحریک‌ها به یکی از گوش‌ها ارائه می‌شد). محرک‌های مورد نظر مشتمل بر فهرستی از هجاهای هم‌خوان‌واکه و تحریک‌های موسیقی کوتاه بودند. تحریک‌های گفتاری سبب فعالیت مناطق زبانی Broca و Vernike شده و تحریکات موسیقی منجر به فعال شدن قشر ارتباطی بینایی، مخچه، و هیپوکامپ شدند. یافته‌های به‌دست آمده بیانگر تأثیر تسهیلی توجه بر پردازش شنوایی و فعال شدن لوب آهیانه‌ای در قالب شبکه توجهی بودند (۲۰). در یکی دیگر از مطالعات، Juncke و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از fMRI به بررسی توجه شنوایی افراد هنجار در آزمایش شنوایی دایکوتیک پرداختند. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده فعالیت شبکه عصبی توزیع یافته متشکل از پردازش اطلاعات شنوایی مسیرهای پشتی و شکمی بود. به‌علاوه، یافته‌ها بر تعدیل فعالیت planum temporal تأکید داشت (۲۱). در پژوهش Talebi و همکاران (۲۰۰۷) روی بیماران مبتلا به سکتة مغزی مشخص شد که توجه تقسیم شده شنوایی بیشتر از نوع انتخابی متأثر می‌شود و سازوکارهای کنترل‌کننده آن‌ها متفاوت از هم هستند (۲۲). در توجه تقسیم شده شنوایی هر دو نیمکره راست و چپ فعال بوده و مناطق قشری، همچون لوب‌های آهیانه‌ای و پیشانی، و مناطق ارتباطی قشری مانند منطقه پیش مرکزی دوطرفه و منطقه حرکتی مکمل (supplementary motor area) در شکل‌گیری آن سهمیند (۲۲). هم‌چنین، در یکی از جدیدترین تحقیقات بالینی انجام شده روی سالمندان ناراضی از سمک (علی‌رغم تنظیمات سمک آنان)، مشخص شد که در جمعیت مورد نظر، اختلالات پردازشی قابل ملاحظه‌ای از نظر بالینی در حافظه و توجه شنوایی (توجه تقسیم‌شده شنوایی) مشاهده می‌شود. نتایج این تحقیق نشانگر آن است که اختلالات مذکور احتمالاً یکی از دلایل اصلی ناراضیتی سالمندان از سمک است (۲۳).

در فرضیات جدید مرتبط با سازوکارهای توجه انتخابی شنوایی و توجه تقسیم شده شنوایی، به‌وجود مسیرهای کولینرژیک اشاره می‌شود که از ساقه مغز منشأ می‌گیرند و به تمامی مناطق و

می‌گیرد تعیین می‌کند (۲۶). مسیر بالا به پایین روندی است که قدرت نسبی سیگنال حاصل از کانال‌های متفاوت اطلاعاتی را تنظیم می‌کند. این کانال‌ها برای دستیابی به حافظه فعال رقابت می‌کنند (۲۷). فیلترهای برجسته به‌طور خودکار تقویت‌کننده پاسخ به محرک‌هایی هستند که از نظر زمانی و فضایی یکسان‌اند و یا از اهمیت زیستی برخوردارند. نورون‌ها و روابط تحریکی و مهاری میان آنها تشکیل‌دهنده فیلترهای مذکور هستند (۲۸). نتیجه عملکرد این چهار مرحله، افزایش حساسیت رفتاری و کاهش نهفتگی پاسخ و در نهایت، افزایش پردازش همراه با شناخت است (۲۵). چارچوب فرض شده برای توجه در شکل ۲ نشان داده شده است. این مدل براساس تحقیقات Desimone و Duncan (۱۹۹۵) و Cohen و Miller (۲۰۰۱) طراحی شده است (۲۶ و ۲۹). دستگاه عصبی مرکزی شامل اطلاعاتی در مورد جهان پیرامون و حالت درونی انسان است. در هر لحظه از زمان، اطلاعاتی که قرار است به حافظه فعال برسند براساس رویکرد رقابتی و بر مبنای قدرت نسبی سیگنال انتخاب می‌شوند. قدرت سیگنال نشان‌دهنده اثرات ترکیب یافته کیفیت اطلاعات رمزگذاری شده، سیگنال‌های بالا به پایین، و فیلترهای برجسته پایین به بالا هستند. اطلاعاتی که از بیشترین قدرت برخوردار هستند، وارد مدار حافظه فعال می‌شوند و برای کنترل این حافظه با اطلاعات موجود رقابت می‌کنند. اطلاعات موجود در حافظه فعال از طریق مسیر بالا به پایین به تعدیل قدرت سیگنال در نمودهای صعودی مرتبط می‌پردازند. این وضعیت، تشکیل‌دهنده یک چرخه برگشتی مرتبط با توجه ارادی است.

### حافظه فعال

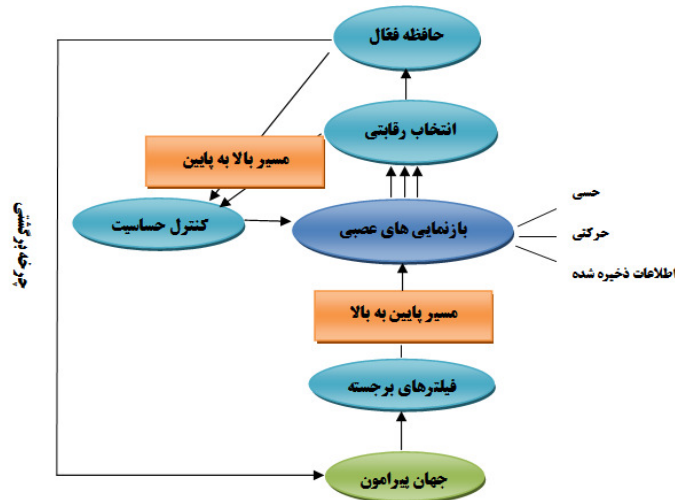
حافظه فعال عبارت است از توانایی نگهداری «فعالانه» اطلاعات در ذهن برای انجام فعالیت‌های پیچیده از قبیل استدلال، درک مطلب و یادگیری. این حافظه از اطلاعات محدودی طی چندین ثانیه برخوردار است (۳۰). این اطلاعات به شیوه‌ای کاملاً انعطاف‌پذیر و بر مبنای وضعیت درونی فرد ارزیابی شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حافظه فعال، روند رقابتی مختلفی وجود

لایه‌های قشری منتهی شده و عمدتاً تعدیل‌کننده اجرای وظایف مورد نیاز برای پردازش در شرایط رقابتی هستند (۲۴). بررسی‌های آزمایشگاهی در حیوانات از این فرضیه حمایت می‌کنند که آسیب‌دیدگی مسیرهای مذکور منجر به کاهش یکپارچگی ورودی‌های کولینرژیک به قشر مغز و در نتیجه اختلال در توجه تقسیم‌شده و نهایتاً عملکردهای شناختی می‌شود (۲۴).

### چهار مرحله اصلی در ارتباط با توجه

درک سازوکارهای توجه برای شناسایی مبنای عصبی-زیست‌شناختی یک تجربه همراه با هوشیاری ضروری به نظر می‌رسد. براساس تحقیقات انجام گرفته، مشخص شده است که چهار مرحله برای توجه ضروری است: حافظه فعال، کنترل حساسیت بالا به پایین یا به اصطلاح مسیر بالا به پایین (top-down sensitivity control)، انتخاب رقابتی (competitive selection)، و فیلترینگ خودکار پایین به بالا (automatic bottom-up filtering) برای تحریک‌های برجسته (salient stimuli) (۲۵). هر مرحله نقشی بسیار حیاتی در توجه بازی می‌کند. کنترل ارادی توجه، سه مرحله اولیه را شامل می‌شود. این سه مرحله (حافظه فعال، مسیر بالا به پایین، و انتخاب رقابتی) چرخه‌ای برگشتی (recurrent loop) تشکیل می‌دهند و در شرایط مختلف، ارتباطات رفت و برگشتی قابل توجهی با هم نشان می‌دهند.

برای برقراری رفتاری مطابق با جهان پیرامون، انسان باید اطلاعات مورد نظر و موجود در محیط را در هر لحظه دریافت و پردازش کند. این اطلاعات در حافظه فعال ارزیابی می‌شوند؛ یعنی اطلاعات واردشده به آن، با جزئیات خود تجزیه و تحلیل می‌شوند و تصمیمات لازم براساس آن گرفته می‌شود. برای انتخاب اطلاعاتی که به حافظه فعال می‌رسند، سازوکارهای توجهی نقش بارزی دارند. حافظه فعال شکل بسیار پویایی از حافظه است که طی چندین ثانیه عمل می‌کند و به‌طور موقتی اطلاعات انتخاب شده را برای تجزیه و تحلیل جزئی‌تر ذخیره می‌کند. انتخاب رقابتی روندی است که نوع اطلاعاتی را که در دسترس حافظه فعال قرار



شکل ۲- مؤلفه‌های اساسی توجه. در این شکل رویکردهای فعال نشان داده شده‌اند. اطلاعات مربوط به جهان پیرامون در دستگاه عصبی بازنمایی شده و توسط فیلترهای برجسته به‌طور خودکار پردازش می‌شوند (مسیر پایین به بالا). اطلاعات ارسالی به سمت بالا، براساس قدرت نسبی خود با یکدیگر به رقابت پرداخته و در نهایت سیگنال قوی‌تر، وارد حافظه فعال می‌شود. حافظه فعال از طریق مسیر بالا به پایین، به تعدیل بازنمایی‌های عصبی سیگنال‌ها می‌پردازد. در توجه ارادی، سه رویکرد انتخاب رقابتی، حافظه فعال و مسیر بالا به پایین دخیلند و با یکدیگر چرخه برگشتی را تشکیل می‌دهند (۲۵).

دخیل‌اند، به اطلاعات پردازش‌شده در این حافظه وابسته هستند. برای مثال، مطالعات تصویربرداری عملکردی در انسان‌ها نشان‌دهنده فعالیت قشر شکمی جانبی پیش‌پیشانی (Ventrolateral prefrontal cortex: VPFC) و مناطق مربوط به زبان در قشرهای گیجگاهی و آهیانه‌ای سمت چپ در شرایط وجود وظایف حافظه فعال کلامی هستند (۲۵). قشر پیش‌پیشانی منطقه‌ای از مغز است که به‌طور پیوسته در هنگام انجام وظایف حافظه فعال، فعالیت قابل ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهد. گزارش‌های بالینی حاکی از نقش مرکزی این ناحیه در حافظه فعال هستند (۳۴ و ۳۵). تحقیقات نشان می‌دهند حافظه فعال فرایندی است که توزیع گسترده‌ای در مغز دارد. قشر پیش‌پیشانی به‌عنوان کنترل‌کننده اجرایی عمل می‌کند. طی انجام وظایف مربوط به حافظه فعال، این منطقه با عملکرد نواحی قشری و زیرقشری پردازش‌کننده اطلاعات حسی، حرکتی، اطلاعات مربوط به وضعیت درونی یا حافظه‌های اندوخته شده تقویت می‌شود (۳۶). این وضعیت را می‌توان با نشان دادن ارتباطات دوطرفه میان این

دارد و برای کنترل کامل این روند، در هر لحظه اطلاعات متنوعی با هم رقابت می‌کنند. بر این اساس، اطلاعاتی که از قدرت بیشتری برخوردارند، در حافظه فعال بازنمایی می‌شوند. اطلاعاتی که در این حافظه نگهداری می‌شوند، نقشی اساسی در تصمیم‌گیری و طراحی رفتارهای پیچیده دارند (۳۱ و ۳۲) و کنترل‌کننده سیگنال‌های بالا به پایینی هستند که تعدیل‌کننده حساسیت بازنمودهای عصبی مرتبط با آن اطلاعات هستند (۳۱). حافظه فعال و توجه دو فرایند کاملاً مرتبط به هم هستند. هنگامی که یک حیوان به محرکی توجه می‌کند، اطلاعات مرتبط با آن وارد حافظه فعال می‌شود. به علاوه، اطلاعات موجود در این حافظه، اطلاعات درباره محرک‌هایی هستند که حیوان در گذشته به آن‌ها (تجربه شنوایی) توجه کرده است (۳۳). از این‌رو، حافظه فعال نمایش‌دهنده محرک‌هایی است که فرایند توجه در مورد آن‌ها فعال بوده است. ظرفیت حافظه فعال برای به‌کار بردن اطلاعات در هر لحظه، به یک حیطة منفرد محدود می‌شود (برای مثال، کلامی، بینایی). بخش‌هایی از مغز که در حافظه فعال



برای بهبود کیفیت اطلاعات، تعدیل حساسیت مدارهای عصبی بازنمایی‌کننده اطلاعات است. این سازوکار بالا به پایین می‌تواند نسبت سیگنال به نویز را در تمامی حیطه‌های پردازش اطلاعات (حسی، حرکتی، وضعیت درونی، و حافظه) افزایش دهد (۵۱-۴۹). در کنار فعالیت مستمر قشر پیش‌پیشانی (Prefrontal Cortex: PFC) توجه سبب افزایش فعالیت در بسیاری از نواحی نئوکورتکس، دستگاه لیمبیک، عقده‌های قاعده‌ای، هسته پالوینار (pulvinar) مخچه می‌شود (۵۲-۵۰). تعدیل پاسخ‌دهی عصبی در مسیرهای بالا به پایین، برای ویژگی‌هایی که براساس آن‌ها تصمیم‌گیری صورت می‌گیرد، بسیار دقیق است (۲۶ و ۵۳). این مشخصه، تفکیک‌کننده تعدیل‌های حاصل از توجه (روندی اختصاصی) از تعدیل‌های حاصل از برانگیختگی عمومی (پدیده‌ای کلی‌تر) است. در مجموع، این تعدیل‌های بالا به پایین بهبوددهنده نسبت سیگنال به نویز برای اطلاعات رمزگذاری شده هستند. تنها نورون‌های دارای میدان‌های دریافتی که حاوی محرک بوده و آن‌هایی که برای پارامترهایی از محرک مورد توجه کوک می‌شوند، حساسیت خود را افزایش می‌دهند. در مقابل، نورون‌های کوک شده برای دیگر پارامترهای محرک اغلب حساسیت خود را کاهش می‌دهند (۵۶-۵۴). مهار نورون‌هایی که برای محرک مورد نظر کوک نشده‌اند، نشان‌دهنده آن است که سیگنال‌های بالا به پایین فعال‌کننده مدار مهاری موضعی در کنار مدار تحریکی هستند. وجود تعادل میان این دو مدار، حفظ‌کننده کوک دقیق دستگاه خواهد بود (۵۷). در مجموع می‌توان بیان کرد که حساسیت افزایش‌یافته دستگاه عصبی در بسیاری از سطوح پردازشی، از تالاموس تا قشر حسی اولیه و قشر پیش‌پیشانی، مشاهده شده است (۴۶، ۵۸ و ۵۹).

### فیلترهای برجسته پایین به بالا

تعدیل اطلاعات ورودی از طریق مسیرهای بالا به پایین، تنها راه دست‌یابی حافظه فعال به اطلاعات نیست (۲۷). ویژگی‌های مشخصی از جهان، برانگیزاننده پاسخ‌های عصبی قوی هستند که ممکن است به حافظه فعال وارد شوند (۶۰ و ۶۱).

قشر و نواحی قشری و زیرقشری تأیید کرد. مطالعات نوروفیزیولوژیک در قشر پیش‌پیشانی میمون نشان‌دهنده وجود یک همبستگی عصبی حافظه فعال به نام دوره تأخیر (delay period) یا فعالیت مداوم (persistent activity) است (۳۷ و ۳۸). در میمون‌های آموزش‌دیده برای به‌خاطر سپردن یک محرک هدف برای مدتی از زمان، نورون‌های قشر پیش‌پیشانی نه تنها به هدف ارائه شده واکنش نشان می‌دهند، بلکه تخلیه آن‌ها مدتی بعد از محوشدن محرک همچنان ادامه می‌یابد. این فعالیت مداوم آشکارکننده بسیاری از ویژگی‌های حافظه فعال است. به عبارتی در حافظه فعال، مناطق مختلف حسی، حرکتی، لیمبیک یا حافظه نقش دارند (۳۹ و ۴۰). همان‌طوری که ذکر شد، ویژگی‌های قشر پیش‌پیشانی آشکارکننده نقش حیاتی آن در حافظه فعال است. در کنار آن، منطقه قشری آهیانه‌ای خلفی، بیشتر در رویکردهای انتخاب رقابتی و مسیر بالا به پایین دخیل‌اند (۴۱). مطالعات نشان داده‌اند که در این ناحیه فعالیت مداوم چندانی وجود ندارد و بیشتر در شرایط وجود تحریک‌های مزاحم، فعالیت‌هایی دیده می‌شود (۴۲ و ۴۳). در عین حال، در یک سری از تحقیقات به نقش هیپوکمپ در حافظه فعال اشاره شده است. برای مثال، Saxe و همکاران (۲۰۰۷) با انجام تحقیقی به این نکته پی بردند که در بعضی از شرایط، حافظه فعال به هیپوکمپ وابسته بوده و در شرایط دیگر مستقل از آن عمل می‌کند (۴۴). در تحقیقی دیگر، Fadda و همکاران (۱۹۹۶) به فعال شدن مسیرهای کولینرژیک هیپوکمپ در فرایند یادگیری و حافظه فعال اشاره کرده‌اند (۴۵).

### مسیر بالا به پایین

در فرایند توجه، حافظه فعال نه تنها دریافت، ذخیره، و کاربرد اطلاعات را برعهده دارد، بلکه سیگنال‌هایی را تولید می‌کند که کیفیت اطلاعات پردازش‌شده را بهبود می‌بخشد (۴۶). یکی از سازوکارهای لازم برای بهبود کیفیت اطلاعات، هدایت کردن حرکات به سمت اهداف است. برای مثال، با هدایت کردن حرکات چشم‌ها به سمت یک هدف، حافظه فعال دقت اطلاعات بینایی در مورد هدف مورد نظر را افزایش می‌دهد (۴۷ و ۴۸). راهبرد دیگر

اثر سیگنال‌های ویژه فضایی در شرایطی که محرک هدف و محرک‌های دیگر در میدان دریافتی نورون رده بالاتر قرار گیرند، قابل ملاحظه خواهد بود (۵۳). در این حالت، توجه می‌تواند کوک فضایی نورون را تیزتر کرده، اثرات مهاری تحریک‌های دیگر را حذف کند، به گونه‌ای که تنها محرک هدف بازنمایی شود. در وضعیت مشابه، نورون‌های دارای میدان‌های دریافتی که از نظر فضایی با مکان مشخص هم‌پوشانی دارند، اما برای تحریک‌هایی غیر از محرک هدف کوک می‌شوند، کاهشی در حساسیت خود نشان می‌دهند (۶۶-۶۳). این وضعیت push-pull سیگنال‌های بالا به پایین (بازنمایی دقیق‌تر محرک هدف و مهار تحریک‌های دیگر)، نسبت سیگنال به نویز بازنمایی عصبی را افزایش می‌دهد. می‌توان گفت که سیگنال‌های بالا به پایین، فعال‌کننده نورون‌های تحریکی و مهاری موضعی در شبکه هستند. ترجمه اطلاعات فضایی برای تولید سیگنال‌های ویژه فضایی ممکن است یکی از نقش‌های قشر آهیانه‌ای خلفی باشد.

### انتخاب رقابتی

انتخاب اطلاعات برای ورود به حافظه فعال، یک رویکرد رقابتی بسیار پیشرفته است (۲۶). اطلاعات مرتبط با جهان خارج با استفاده از اندوخته‌های حافظه (تجربیات) و مرتبط با وضعیت درونی حیوان، به‌طور گسترده و خودکار در ساختارهای موازی شبکه‌ها در CNS پردازش می‌شوند. رقابت برای بازنمایی‌های عصبی در بسیاری از سطوح این ساختارهای موازی انجام می‌گیرد. این رقابت به مقایسه قدرت سیگنال‌های حاصل از تعدیل سیگنال‌های بالا به پایین و تأثیر فیلترهای برجسته پایین به بالا می‌پردازد. رقابت در هر سطح به حذف اثرات تحریک‌های مزاحم و انتخاب برجسته‌ترین محرک در یک محیط خاص کمک می‌کند. در سطوح پایین، رقابت در محدوده نمایش ویژگی‌های پایه‌ای محرک رخ می‌دهد (برای مثال مکان محرک یا فرکانس صدا). در سطوح بالاتر، این رقابت می‌تواند در میان نورون‌های کوک‌شده برای ویژگی‌های رده بالاتر صورت گیرد. رقابت پایانی در حد فاصل حافظه فعال اتفاق می‌افتد که در آن حوزه‌های متفاوتی از

وابستگی حافظه فعال به تحریک‌ها، که معمولاً توجه پایین به بالا نامیده می‌شود، انعکاس‌دهنده اثرات فیلترهای برجسته در بسیاری از سطوح CNS هستند که به انتخاب مشخصه‌های تحریک‌های مهم می‌پردازد. دستگاه عصبی به‌طور خودکار به تحریک‌های برجسته واکنش نشان می‌دهد. گستره‌ای از سازوکارهای عصبی سبب شکل‌گیری فیلترهای برجسته می‌شوند. سازوکارهای تطابقی در مواجهه با تحریکاتی که به تکرار روی نمی‌دهند، فیلترهایی را ایجاد می‌کنند. به واسطه این فیلترها پاسخ‌دهی نورون‌ها به تحریک‌های مداوم و تکراری کاهش یافته و یا در نهایت متوقف می‌شود. در مقابل، از طریق ارتباطات شبکه‌ای میان نورون‌ها، برای تحریک‌هایی که به‌ندرت روی می‌دهند نیز فیلترهایی ساخته می‌شود. از طریق این فیلترها، سیگنال‌های عصبی نمایان‌گر تحریک‌های برجسته، بر حافظه فعال اثر می‌گذارند (۶۲). هنگامی که اطلاعات به حافظه فعال وارد می‌شوند، اهمیت آنها ارزیابی شده و با اهمیت سایر اطلاعات در حال پردازش در حافظه فعال مقایسه می‌شود. اطلاعاتی که از بیشترین اهمیت برخوردارند، در کنترل حافظه فعال قرار گرفته و به‌عنوان مبنایی برای مسیر بالا به پایین عمل می‌کنند. تحریک‌های برجسته و غیرقابل انتظار می‌توانند راه‌انداز تعدیل بالا به پایین حساسیت و جهت‌دهی رفتار (حتی قبل از آن که فعالیت عصبی، بازنمایی تحریک‌های وارد شده به حافظه فعال را نشان دهد) شوند.

### کنترل حساسیت فضایی

در میان تمامی مشخصه‌های یک محرک، مکان محرک از بیشترین اهمیت برخوردار است. مکان محرک به‌عنوان فیلتری قوی برای انتخاب اطلاعات و تجزیه و تحلیل جامع در حافظه فعال عمل می‌کند (۴۷، ۴۸ و ۵۳). بر این اساس، حافظه مذکور از سیگنال‌های بالا به پایین برای بهبود کیفیت اطلاعات استفاده می‌کند و در کنار آنها از سیگنال‌های ویژه فضایی برای بهبود تعیین محل و بازنمایی تحریک‌ها بهره می‌برد (توجه فضایی). در شرایطی که تحریک‌ها در مکان‌های مشخصی ارائه شوند، حساسیت به آنها افزایش یافته و نهفتگی پاسخ کاهش می‌یابد.

در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که به دنبال توجه، افزایشی در دامنه و گزینش اجزای پتانسیل‌های مرتبط با واقعه (Event Related Potentials: ERPs) در قشر شنوایی دیده می‌شود. به طور کلی، تأثیرات توجه شامل تغییرات در اجزای مرسوم پتانسیل‌های برانگیخته شنوایی (Auditory Evoked Potentials: AEPs) و ایجاد امواج جدید Nd و N2 با زمان نهفتگی طولانی می‌شود (۷۰). این یافته‌ها نشان‌دهنده نقش پردازش‌های بالاتر در انتخاب جریان‌های شنوایی است.

Hillyard و همکاران در سال ۱۹۷۳ وجود یک اثر توجهی در محدوده زمانی موج N1 را نشان دادند (جابجایی منفی ERP در پاسخ به صداهای مورد توجه نسبت به صداهای بدون توجه). در پاسخ به تحریک‌های مورد توجه، موج N1 بزرگتر ثبت شد (اثر N1). این محققان معتقدند که توجه انتخابی مثل یک فیلتر عمل می‌کند و از توانایی مهار یا کنترل ورود (gating) تحریک‌های غیرتوجهی در مراحل ابتدایی تجزیه و تحلیل حسی (حدود ۱۰۰ میلی‌ثانیه) برخوردار است (۷۰).

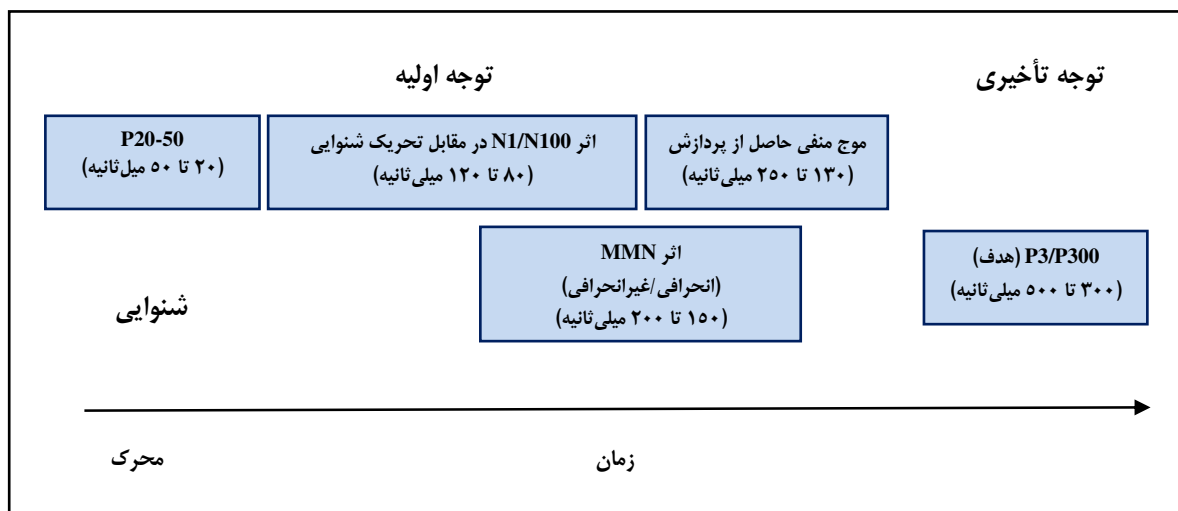
Naatanen و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که موج منفی مرتبط با توجه می‌تواند در محدوده زمانی ۱۵۰ میلی‌ثانیه آشکار شود و تا ۵۰۰ میلی‌ثانیه ادامه یابد. موج Nd (که موج منفی حاصل از پردازش (Processing Negativity: PN) نامیده می‌شود: PN) یک مولفه درون‌زا بوده و بازنمایی کننده فعالیت در دستگاه‌های عصبی ویژه توجه است که متفاوت از تجزیه و تحلیل الزامی حسی است. موج PN مشتمل بر دو مؤلفه است شامل PN اولیه، که احتمالاً در قشر ارتباطی شنوایی تولید می‌شود و منعکس‌کننده مقایسه (لحظه به لحظه) آنلاین است، و PN تأخیری، که از دامنه بزرگتر و دیرش طولانی‌تری در مناطق پیشانی برخوردار است و برای کنترل و حفظ رد توجهی شرکت می‌کند (۷۱). در شکل ۳ تأثیرات توجه اولیه و تأخیری بر قسمت‌های مختلف ERP نشان داده شده است.

### نتیجه‌گیری

اطلاعات همچون بینایی، شنوایی و غیره برای ورود به شبکه‌های این حافظه رقابت می‌کنند (۳۰). در رقابت‌های صورت گرفته، باید توانایی پاسخ به تحریک‌های متعدد و هم‌زمان مقایسه شود و قوی‌ترین پاسخ انتخاب شود، در حالی که اطلاعات بازنمایی شده توسط هر ناحیه‌ای از فعالیت عصبی در شبکه حفظ شود (به عبارتی دیگر، برای دستیابی به یک فعالیت منفرد نباید فعالیت عصبی حاصل از تحریک‌های مختلف با هم میانگین‌گیری شوند). شبکه عصبی کنترل‌کننده چنین رقابت‌هایی، مشتمل بر نوع خاصی از نورون مهاری است که ورودی‌اش را از محدوده یک شبکه دریافت می‌کند و ارتباطات مهاری‌اش را در کل شبکه می‌گستراند. بر خلاف نورون‌های مهاری معمول که به طور موضعی عمل می‌کنند، این نورون‌ها به رقابت در میان تمامی کانال‌های مرتبط با یک تظاهر عصبی می‌پردازند. شبکه‌ای با چنین مشخصات می‌تواند به تعدیل گزینش نهایی اطلاعات برای ورود به حافظه فعال کمک کند (۵۷، ۶۸، ۶۷).

اگرچه انتخاب محرک مورد نظر معمولاً در شبکه‌های قشری انجام می‌شود، با این حال ساختارهای زیرقشری (موجود در ساقه مغز و تالاموس) از تأثیر قابل ملاحظه‌ای در روند انتخاب برخوردارند (۱). این وضعیت را می‌توان برای نمونه در دستگاه شنوایی مشاهده کرد. هنگام مواجهه انسان با یک واقعه شنوایی در محیط شنوایی (صحنه شنوایی)، تمام تلاش وی بر متمرکز کردن شنوایی خود برای استخراج جریان صوتی مورد نظر از میان اصوات رقابتی است. برای این منظور، به طور متوالی از سطح دستگاه شنوایی محیطی به بالا، از طریق شبکه‌های نورونی مهاری موضعی و گسترانده از سطوح بالای دستگاه شنوایی مرکزی تا سطوح پایین‌تر، جریان صوتی مورد نظر جداسازی شده و برای پردازش بیشتر در اختیار قشر شنوایی قرار می‌گیرد. تمامی این روند در فرایند انتخاب رقابتی انجام می‌شود (۴۶).

### تأثیرات بارز توجه شنوایی بر بخش‌های گوناگون پتانسیل‌های مرتبط با واقعه



شکل ۳- اثرات توجه اولیه و توجه تأخیری بر بخش‌های مختلف ERP نمایان است (۷۱).

فیلترینگ خودکار پایین به بالا) نقش بسیار مهمی در روند پردازش شنوایی دارد و می‌تواند تغییردهنده روند گفته شده در بالا در سطوح گوناگونی از تجزیه و تحلیل حسی همچون حلزون، ساقه مغز، و قشر شنوایی باشد. می‌توان اظهار داشت که توجه به تحریک‌های شنوایی برخوردار از گزینش فرکانسی (نظیر توجه به تحریک‌های هدف در میان تحریک‌های رقابتی و مزاحم) برانگیزاننده تغییرات ویژه در پردازش درکی در سطوح رفتاری، قشر مغزی، و محیطی است. این یافته‌ها با فرضیه وجود یک سازوکار فیلتری انعطاف‌پذیر و سازگار برای توجه انتخابی شنوایی منطبق است. به دلیل وجود شواهد و مطالعات بیشتر درباره توجه انتخابی شنوایی و نبود مطالعات کافی درباره توجه تقسیم‌شده شنوایی، این نتایج تنها درباره توجه انتخابی شنوایی مطرح است و برای بررسی و تعمیم نتایج مذکور به توجه تقسیم‌شده شنوایی، به مطالعات و پژوهش‌های بیشتری نیاز است.

بیش از نیم‌قرن است که در مطالعات تجربی بر نقش حیاتی توجه انتخابی در تعدیل آگاهی انسان‌ها از محرک‌های شنوایی محیط اطراف تأکید می‌شود. بسیاری از مطالعات امروزه نشان می‌دهند که مردم در هر لحظه، تنها از یک موضوع شنوایی آگاهی دارند (جریانی که به آن توجه دارند). پژوهش‌های اخیر نشان داده است در غیاب توجه، انسان‌ها هیچ‌گونه آگاهی هوشیارانه‌ای از اغلب محرک‌های شنوایی پیرامون خویش ندارند. با توجه به ظرفیت محدود منابع توجهی به نظر می‌رسد که بشر باید توجه خود را به گروهی از اطلاعات حسی در دسترس معطوف کند (معمولاً یک شی یا یک جریان) تا بتواند دریافت مناسبی از جهان اطراف داشته باشد. از بیش از ۵۰ سال پیش تاکنون این پرسش مطرح است که آیا انتخاب در فرایند پردازشی اولیه روی می‌دهد یا در مراحل بالاتر (تأخیری)؟ می‌توان گفت که توجه شنوایی به واسطه چهار مؤلفه اصلی خود (حافظه فعال، مسیر بالا به پایین، انتخاب رقابتی، و

## REFERENCES

1. Broadbent DE. Perception and communication. London: Pergamon Press; 1958.
2. Dalton P, Spence C. Selective attention in vision, audition, and touch. In: Learning and memory: a comprehensive reference. Byrne J,

- editor. Oxford: Elsevier; 2008. p. 243-57.
3. Mayer AR, Harrington D, Adair JC, Lee R. The neural networks underlying endogenous auditory covert orienting and reorienting. *Neuroimage*. 2006;30(3):938-49.
  4. Wu CT, Weissman DH, Roberts KC, Woldorff MG. The neural circuitry underlying the executive control of auditory spatial attention. *Brain Res*. 2007;1134(1):187-98.
  5. Cherry EC. Some experiments on the recognition of speech, with one and two ears. *J Acoust Soc Am*. 1953;25(5):975-9.
  6. Cherry EC, Taylor WK. Some further experiments upon the recognition of speech, with one and with two ears. *J Acoust Soc Am*. 1954;26(4):554-9.
  7. Moray N. Attention in dichotic listening: affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1959;11:56-60.
  8. Corteen RS, Dunn D. Shock-associated words in a nonattended message: a test for momentary awareness. *J Exp Psychol Gen*. 1974;102(6):1143-4.
  9. Driver J. A selective review for selective attention research from the past century. *Br J Psychol*. 2001;92 Part 1:53-78.
  10. Deutsch JA, Deutsch D. Attention: some theoretical considerations. *Psychology Review*. 1963;70:80-90.
  11. Treisman A, Kahneman D, Burkell J. Perceptual objects and the cost of filtering. *Percept Psychophys*. 1983;33(6):527-32.
  12. Johnston WA, Heinz SP. Depth of nontarget processing in an attention task. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 1979;5(1):168-75.
  13. Lavie N. Distracted and confused?: selective attention under load. *Trends Cogn Sci*. 2005;9(2):75-82.
  14. Lavie N, De Fockert J. The role of working memory in attentional capture. *Psychon Bull Rev*. 2005;12(4):669-74.
  15. Conway AR, Cowan N, Bunting MF. The cocktail party phenomenon revisited: the importance of working memory capacity. *Psychon Bull Rev*. 2001;8(2):331-5.
  16. Eramudugolla R, Irvine DR, McAnally KI, Martin RL, Mattingley JB. Directed attention eliminates 'change deafness' in complex auditory scenes. *Curr Biol*. 2005;15(12):1108-13.
  17. Shinn-Cunningham BG. Object-based auditory and visual attention. *Trends Cogn Sci*. 2008;12(5):182-6.
  18. Pugh KR, offwitz BA, Shaywitz SE, Fulbright RK, Byrd D, Skudlarski P, et al. Auditory selective attention: an fMRI investigation. *Neuroimage*. 1996;4(3 Pt 1):159-73.
  19. Frith CD, Friston KJ. The role of the thalamus in "top down" modulation of attention to sound. *Neuroimage*. 1996;4(3 Pt 1):210-5.
  20. Hugdahl K, Law I, Kyllingsbæk S, Brønneck K, Gade A, Paulson OB. Effects of attention on dichotic listening: an O-PET study. *Hum Brain Mapp*. 2000;10(2):87-97.
  21. Jäncke L, Specht K, Shah JN, Hugdahl K. Focused attention in a simple dichotic listening task: an fMRI experiment. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2003;16(2):257-66.
  22. Talebi H, Tahaei A, Akbari M, Kamali M. The comparison of auditory selective attention and auditory divided attention between patients with cerebrovascular accident and normal cases. *Journal of Rehabilitation*. 2007;8:17-24. Persian.
  23. Lotfi Y, Talebi H, Mehrkian S, Khodaei MR, Faghihzadeh S. Effect of cognitive and central auditory impairments on satisfaction of amplification in hearing impaired older adults. *Iranian Journal of Aging*. 2012;7(25):53-46. Persian.
  24. Sarter M, Turchi J. Age- and dementia-associated impairments in divided attention: psychological constructs, animal models, and underlying neuronal mechanisms. *Dement*

- Geriatr Cogn Disord. 2002;13(1):46-58.
25. Knudsen EI. Fundamental components of attention. *Annu Rev Neurosci.* 2007;30:57-78.
  26. Desimone R, Duncan J. Neural mechanisms of selective visual attention. *Annu Rev Neurosci.* 1995;18:193-222.
  27. Egeth HE, Yantis S. Visual attention: control, representation, and time course. *Annu Rev Psychol.* 1997;48:269-97.
  28. Koch C, Ullman S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry. *Hum Neurobiol.* 1985;4(4):219-27.
  29. Miller EK, Cohen JD. An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci.* 2001;24:167-202.
  30. Baddeley A. Working memory: looking back and looking forward. *Nat Rev Neurosci.* 2003;4(10):829-39.
  31. Genovesio A, Brasted PJ, Wise SP. Representation of future and previous spatial goals by separate neural populations in prefrontal cortex. *J Neurosci.* 2006;26(27):7305-16.
  32. Yoshida W, Ishii S. Resolution of uncertainty in prefrontal cortex. *Neuron.* 2006;50(5):781-9.
  33. LaBar KS, Gitelman DR, Parrish TB, Mesulam M. Neuroanatomic overlap of working memory and spatial attention networks: a functional MRI comparison within subjects. *Neuroimage.* 1999;10(6):695-704.
  34. Schumacher EH, Lauber E, Awh E, Jonides J, Smith EE, Koeppe RA. PET evidence for an amodal verbal working memory system. *Neuroimage.* 1996;3(2):79-88.
  35. Smith EE, Jonides J, Koeppe RA. Dissociating verbal and spatial working memory using PET. *Cereb Cortex.* 1996;6(1):11-20.
  36. Constantinidis C, Wang XJ. A neural circuit basis for spatial working memory. *Neuroscientist.* 2004;10(6):553-65.
  37. Funahashi S, Bruce CJ, Goldman-Rakic PS. Mnemonic coding of visual space in the monkey's dorsolateral prefrontal cortex. *J Neurophysiol.* 1989;61(2):331-49.
  38. Fuster JM, Alexander GE. Neuron activity related to short-term memory. *Science.* 1971;173(3997):652-4.
  39. Miller EK, Erickson CA, Desimone R. Neural mechanisms of visual working memory in prefrontal cortex of the macaque. *J Neurosci.* 1996;16(16):5154-67.
  40. Suzuki WA, Miller EK, Desimone R. Object and place memory in the macaque entorhinal cortex. *J Neurophysiol.* 1997;78(2):1062-81.
  41. Curtis CE. Prefrontal and parietal contributions to spatial working memory. *Neuroscience.* 2006;139(1):173-80.
  42. Fuster JM. *Memory in the cerebral cortex: an empirical approach to neural networks in the human and nonhuman primate.* 1<sup>st</sup> ed. Cambridge, MA: MIT Press; 1999.
  43. Powell KD, Goldberg ME. Response of neurons in the lateral intraparietal area to a distractor flashed during the delay period of a memory-guided saccade. *J Neurophysiol.* 2000;84(1):301-10.
  44. Saxe D, Malleret G, Vronskaya S, Mendez I, Garcia AD, Sofroniew MV, et al. Paradoxical influence of hippocampal neurogenesis on working memory. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2007;104(11):4642-6.
  45. Fadda F, Melis F, Stancampiano R. Increased hippocampal acetylcholine release during a working memory task. *Eur J Pharmacol.* 1996;307(2):R1-2.
  46. Miller BT, D'Esposito M. Searching for "the top" in top-down control. *Neuron.* 2005;48(4):535-8.
  47. Andersen R, Meeker D, Pesaran B, Breznen B, Buneo C, Scherberger H. Sensory-motor transformations in the posterior parietal cortex. In Gazzaniga MS, editor. *The cognitive neurosciences III.* Cambridge, MA:

- MIT Press; 2004. p. 463-74.
48. Colby CL, Goldberg ME. Space and attention in parietal cortex. *Annu Rev Neurosci.* 1999;22:319-49.
  49. Müller JR, Philiastides MG, Newsome WT. Microstimulation of the superior colliculus focuses attention without moving the eyes. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2005;102(3):524-9.
  50. Shomstein S, Behrmann M. Cortical systems mediating visual attention to both objects and spatial locations. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2006;103(30):11387-92.
  51. Shomstein S, Yantis S. Control of attention shifts between vision and audition in human cortex. *J Neurosci.* 2004;24(47):10702-6.
  52. Mesulam MM. Spatial attention and neglect: parietal, frontal and cingulate contributions to the mental representation and attentional targeting of salient extrapersonal events. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 1999;354(1387):1325-46.
  53. Maunsell JH, Treue S. Feature-based attention in visual cortex. *Trends Neurosci.* 2006;29(6):317-22.
  54. Chelazzi L, Miller EK, Duncan J, Desimone R. A neural basis for visual search in inferior temporal cortex. *Nature.* 1993;363(6427):345-7.
  55. Reynolds JH, Desimone R. Interacting roles of attention and visual salience in V4. *Neuron.* 2003;37(5):853-63.
  56. Treue S, Martínez Trujillo JC. Feature-based attention influences motion processing gain in macaque visual cortex. *Nature* 1999;399(6736):575-9.
  57. Shu Y, Hasenstaub A, McCormick DA. Turning on and off recurrent balanced cortical activity. *Nature* 2003;423(6937):288-93.
  58. Khayat PS, Spekreijse H, Roelfsema PR. Attention lights up new object representations before the old ones fade away. *J Neurosci.* 2006;26(1):138-42.
  59. McAlonan K, Cavanaugh J, Wurtz RH. Attentional modulation of thalamic reticular neurons. *J Neurosci.* 2006;26(16):4444-50.
  60. Itti L, Koch C. Computational modelling of visual attention. *Nat Rev Neurosci.* 2001;2(3):194-203.
  61. Remington RW, Johnston JC, Yantis S. Involuntary attentional capture by abrupt onsets. *Percept Psychophys.* 1992;51(3):279-90.
  62. Bisley JW, Goldberg ME. Neuronal activity in the lateral intraparietal area and spatial attention. *Science.* 2003;299(5603):81-6.
  63. Everling S, Tinsley CJ, Gaffan D, Duncan J. Filtering of neural signals by focused attention in the monkey prefrontal cortex. *Nat Neurosci.* 2002;5(7):671-6.
  64. Luck SJ, Chelazzi L, Hillyard SA, Desimone R. Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex. *J Neurophysiol.* 1997;77(1):24-42.
  65. Treue S, Maunsell JH. Effects of attention on the processing of motion in macaque middle temporal and medial superior temporal visual cortical areas. *J Neurosci.* 1999;19(17):7591-602.
  66. Womelsdorf T, Anton-Erxleben K, Pieper F, Treue S. Dynamic shifts of visual receptive fields in cortical area MT by spatial attention. *Nat Neurosci.* 2006;9(9):1156-60.
  67. Lee D. Coherent oscillations in neuronal activity of the supplementary motor area during a visuomotor task. *J Neurosci.* 2003;23(17):6798-809.
  68. Major G, Tank D. Persistent neural activity: prevalence and mechanisms. *Curr Opin Neurobiol.* 2004;14(6):675-84.
  69. Näätänen R. The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behav Brain Sci.* 1990;13(02):201-33.

70. Hillyard SA, Hink RF, Schwent VL, Picton TW. Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*. 1973;182(4108):177-80.
71. Näätänen R, Paavilainen P, Rinne T, Alho K. The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clin Neurophysiol*. 2007;118(12):2544-90.