

تالاموس و دوزبانگی: شواهدی از fMRI

سیمین میکده، دکتری زبان‌شناسی، گروه زبان‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

ورنر زومر، استاد، گروه روان‌شناسی، دانشگاه هومبولت برلین، برلین، آلمان

سیدامیرحسین بتولی، استادیار، گروه علوم اعصاب، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

صص: ۲۹-۵۱

چکیده

دوزبانگی با انطباقات ساختاری نواحی زیرقشری دخیل در کنترل چندین زبان مرتبط است (کرنا، ترفرز-دالر و پلیاستیکاس، ۲۰۲۳). تالاموس یک ساختار زوجی ماده خاکستری است که در نزدیکی مرکز مغز قرار دارد و انتقال اطلاعات به نواحی قشری را تنظیم می‌کند. اخیراً در یک مطالعه fMRI، حساسیت تالاموس به محرک‌های دستوری و نادرستی زبان اول در سطح کل-مغز در افراد دوزبانه شناسایی شد (میکده و همکاران، ۲۰۲۱الف). مطالعه حاضر درصدد است تا با اتخاذ رویکرد ناحیه موردنظر، الگوهای فعالیت تالاموس دوجانبه را برای هر دو زبان اول و دوم بررسی کند. بدین منظور، درصد تغییر سیگنال محرک‌های دستوری و نادرستی در زبان اول و دوم به‌عنوان معیار «شدت» برای هر شرکت‌کننده استخراج شد. تعداد ۳۶ نفر دوزبانه ترکی-فارسی (۲۱ زن) که زبان دوم‌شان را به طور رسمی در سن ۷ سالگی آموخته بودند، انتخاب شدند. بر مبنای شاخص تسلط دوزبانه، هیچ تفاوت معناداری بین سطوح بالای بسندگی شرکت‌کنندگان در زبان اول (ترکی) و دوم (فارسی) وجود نداشت. شرکت‌کنندگان یک آزمون شنیداری قضاوت دستوری بودگی با پارادایم زبان‌گردانی جایگزین را در حین اخذ تصاویر fMRI اجرا کردند. نتایج مبتنی بر ناحیه موردنظر، اثر دستوری بودگی را در زبان اول و تالاموس چپ تأیید کرد. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر زبان اول به عنوان زبان غالب عمل کرد و اثرات معکوس بزرگتری را ایجاد نمود، به نظر می‌رسد که دخالت تالاموس در زبان اول به پردازش نحوی مربوط نمی‌شود، بلکه ممکن است تالاموس نقش کنترلی و نظارتی را برای فعالیت‌های زبان-ویژه قشر مغز ایفا می‌کند.

کلیدواژه‌ها: تالاموس، دوزبانگی، زبان اول، بار زبان‌گردانی، fMRI

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۱۲

پست الکترونیکی:

1. a.meykadeh@modares.ac.ir 2. werner.sommer@cms.hu-berlin.de 3. batouli@sina.tums.ac.ir

۱. مقدمه

تالاموس ساختاری متقارن است که در عمق قشر مغز و هسته دیانسفالون^۱ قرار دارد و به‌طور کلی نقش باز پخش اطلاعات بین نواحی مختلف قشری و زیرقشری مغز را به عهده دارد. تقریباً پنجاه سال پیش بود که سانیدس^۲ (۱۹۷۰) ادعا کرد مسیر عملیاتی تالاموکورتیکال^۳، پیش شرط ساختاری برای کارکردهای رفتاری پیچیده است. سالها بعد، این دیدگاه با مشاهدات بالینی در بیماران با ضایعات تلامیک^۴ که منجر به اختلالات شناختی شده بودند، تأیید شد. علاوه بر این، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد ضایعات تلامیک می‌تواند بر طیف گسترده‌ای از رفتارها از جمله رفتارهای ادراکی، توجهی، حافظه‌ای، اجرایی و به‌ویژه ظرفیت‌های زبانی تأثیر بگذارد (بوگوسلاوسکی^۵ و همکاران، ۱۹۸۸؛ ون‌در‌ورف^۶ و همکاران، ۲۰۰۰؛ فیم^۷ و همکاران، ۲۰۰۱؛ لیبرمن^۸ و همکاران، ۲۰۱۳؛ کلوسترمان، کوگل و ایلن^۹، ۲۰۱۳). در بافت دوزبانگی نیز شواهد قابل توجهی وجود دارد که نشان می‌دهد تجارب دوزبانگی موجب انطباق ساختاری نواحی مغزی زیربنای زبان‌گردانی^{۱۰}، کنترل شناختی و گفتاری و انتخاب زبان می‌شود (مشلی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۴؛ برگالتا^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۶؛ فدلی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۲۱). مشخصاً، این تغییرات نواحی زیرقشری مانند هسته کودیت^{۱۴}، گلوبوس پالیدوس^{۱۵}، هسته اکومبنس^{۱۶}، پوتامن^{۱۷} و تالاموس را متأثر می‌کند که نواحی کلیدی برای کنترل زبان در دوزبانه‌های باتجربه

1Diencephalon

2Sanides

3Thalamo-cortical

4 thalamic

5Bogousslavsky

6Van Der Werf

7Fimm

8Liebermann

9Klostermann, Krugel and Ehlen

10 Language-switching

11Mechelli

12Burgaleta

13Fedeli

14caudate nucleus

15globus pallidus

16nucleus accumbens

17putamen

محسوب می‌شوند (هوسودا^۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ برکن، گرادو و کلاین^۲، ۲۰۱۷؛ پلیاستیکاس^۳ و همکاران، ۲۰۱۷؛ دلوکا^۴ و همکاران، ۲۰۱۹؛ گلو^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). اخیراً، کرنار، ترفرز-دالر و پلیاستیکاس^۶ (۲۰۲۳) نشان دادند که حجم نواحی تالاموس و پوتامن با میزان تجربه دوزبانها رابطه مثبت دارد. به عبارتی دقیق‌تر، هر چه تجربه فرد دوزبان بیشتر باشد، حجم نواحی تالاموس و پوتامن بزرگتر خواهد بود. با توجه به اهمیت نقش ناحیه تالاموس در کنترل زبان در افراد دوزبان، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی^۷ (fMRI) بر روی این ناحیه زیرقشری متمرکز خواهد بود. روش تصویربرداری fMRI، غیرتهاجمی^۸ است و برای اندازه‌گیری و مکان‌یابی^۹ کارکردهای خاص مغز انسان بدون استفاده از اشعه عمل می‌کند. دقت مکانی ۲-۳ میلی‌متری fMRI (پروس و همکاران، ۲۰۱۸)، آن را به ابزاری قدرتمند برای تصویربرداری از مغز مبدل کرده است.

بر اساس دانش ما، مطالعه وارتنبرگر^{۱۰} و همکارانش (۲۰۰۳) تنها اثری است که تا کنون به موضوع پردازش دستوری در افراد دوزبان پرداخته است. آنها با به‌کارگیری سه گروه از دوزبان-های ایتالیایی-آلمانی با (۱) بسندگی بالا در زبان دوم و سن یادگیری خیلی زود هنگام^{۱۱} (۲) بسندگی بالا در زبان دوم و سن یادگیری دیر هنگام^{۱۲} و (۳) بسندگی پایین در زبان دوم و سن یادگیری دیر هنگام^{۱۳} به بررسی تأثیر سن یادگیری و بسندگی زبانی با استفاده از یک تکلیف قضاوت دستوری بودگی دیداری^{۱۴} که شامل دستکاری نشانگرهای صرفی بود، پرداختند. دوزبان-های زود هنگام از بدو تولد در معرض زبان دوم بودند، درحالی‌که میانگین سنی دوزبان-های دیر هنگام با بسندگی بالا و پایین به ترتیب ۱۸/۹ و ۲۰/۴ بود. در گروه دوزبان-های زود هنگام با

1Hosoda

2Berken, Gracco, Klein

3Pliatsikas

4DeLuca

5Gallo

6Korenar, Trefers-Daller & Pliatsikas

7Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

8 non-invasive

9 localization

10 Wartenburger

11 early acquisition of L2 and high proficiency in L2

12 late acquisition of L2 and high proficiency in L2

13 late acquisition of L2 and low proficiency in L2

14 Vitual grammaticality judgment task

بسندهی بالا در زبان دوم، هیچ تفاوتی در سطح فعالیت مغزی بین دو زبان اول و دوم مشاهده نشد. در حالیکه در هر دو گروه دوزبانه‌های دیرهنگام، فعالیت گسترده‌تر ناحیه بروکا و ساختارهای زیرقشری (از جمله ناحیه تالاموس) در زبان دوم مشاهده شد. این نتایج مبین این است که بنیان نرونی پردازش صرفی-نحوی حتی در دوزبانه‌های دیرهنگام با بسندهی زبانی بالا در زبان دوم (در حد سخنگویان بومی)، به سن یادگیری زبان دوم حساس است. فعالیت مغزی گسترده‌تر در دوزبانه‌های دیرهنگام حاکی از دشواری بیشتر پردازش زبان دوم در این افراد است که متأثر از یادگیری زبان دوم بعد از سن بلوغ^۱ است. نظر به اینکه تا کنون هیچ مطالعه‌ای پردازش همزمان نحوی زبان اول و دوم را در یک گروه واحد از افراد دوزبانه مورد بررسی قرار نداده است، پژوهش حاضر درصدد است تا الگوی فعالیت ناحیه تالاموس را در دوزبانه‌های متوازن^۲ بیازماید.

در بافت دوزبانگی، کنترل شناختی^۳ یا کارکردهای اجرایی^۴، یک عامل اساسی در توانش زبان به شمار می‌رود (لرمان و ابلر^۵، ۲۰۱۷). دوزبانگی، منابع حافظه فعال را برای مدیریت زبان‌هایی که به‌طور پیوسته برای گزینش رقابت می‌کنند، به‌کار می‌گیرد (آنتون^۶ و همکاران، ۲۰۱۹). بر اساس مدل کنترل بازداری گرین^۷ (۱۹۹۸) یک سازوکار بازدارنده در رفع تعارض بین دو زبانی که به‌طور همزمان فعال‌اند دخالت دارد تا با مهار زبان غیرهدف^۸، تولید زبان هدف^۹ را تسهیل کند. استدلال شده است که در دوزبانه‌های متأخر، زبان مادری به‌عنوان زبان غالب^{۱۰} عمل می‌کند و هنگامی که دوزبانه‌ها در تلاش‌اند تا زبان اولشان را بعد از فعالیت زبان دوم مجدداً بازیابی کنند، دسترسی به بازنمایی‌های مهارشده در زبان اول زمان‌بر خواهد بود (رومان و گومز-گومز^{۱۱}، ۲۰۲۲). در همین راستا، دکلرک، کلاین‌مان و گلن^{۱۲} (۲۰۱۶)، مطرح کردند که دوزبانه‌ها گاهی

1 Puberty

2 balanced bilingual

3 Cognitive control

4 Executive functions (EFs)

5 Lerman & Obler

6 Antón

7 Green

8 Non-target language

9 Target language

10 Matrix language

11 Román and Gómez-Gómez

12 Declerck, Kleinman & Gollan

اوقات اثرات تسلط زبان معکوس را بروز می‌دهند. این پژوهشگران با بررسی بیش از ۴۰۰ فرد دوزبانه دریافتند که دوزبانه‌های متوازن‌تر (در مقایسه با دوزبانه‌های کمتر متوازن) اثرات تسلط زبان معکوس بزرگتری را در بلوک‌های زبان مختلط^۱ ایجاد می‌کنند. دلیل این امر این می‌تواند باشد که وقتی دوزبانه‌های متوازن تلاش می‌کنند تا به یک اندازه به هر دو زبان دسترسی داشته باشند، ممکن است دچار خطای بیشتری شوند. در پژوهش حاضر، سخنگویان دوزبانه از تسلط بالایی در هر دو زبان ترکی (زبان اول) و فارسی (زبان دوم) برخوردار بودند و به‌طور منظم از هر دو زبان استفاده می‌کردند. آنها غالباً در خانه با زبان ترکی مواجه شده بودند و از حدود ۷ سالگی که وارد دبستان شدند شروع به یادگیری زبان فارسی کردند. به‌طور خاص، مطالعه این جمعیت بدین دلیل حائز اهمیت است که اگرچه که آنها یادگیری زبان دوم را نسبتاً دیر شروع کردند، اما در ادامه به سطح بسیار بالایی از بسندگی رسیدند. زبان‌های ترکی و فارسی مشخصه‌های دستوری مشترکی دارند که عامل مهمی در کنترل پردازش زبان دوم محسوب می‌شود. در حالت بی‌نشان هر دو دارای ترتیب واژه زبان فاعل-مفعول-فعل^۲ هستند و از ویژگی‌های نحوی خاصی مانند مطابقت فعلی^۳ پیروی می‌کنند. بر اساس توصیف نحو مشترک^۴ (هارتسوکر^۵ و همکاران، ۲۰۰۴)، مادامیکه بازنمایی‌های نحوی بین زبان‌ها مشابه باشند، دوزبانه‌ها بازنمایی‌ها را بین زبان‌ها به اشتراک می‌گذارند. بنابراین، با هدف بررسی نقش ناحیه تالاموس در پردازش زبان اول و دوم با روش fMRI در افراد دوزبانه متوازن ترکی-فارسی که در سن ۷ سالگی زبان دوم را به‌طور رسمی آموخته بودند، پژوهشگران حاضر در صدد هستند تا به دو پرسش زیر پاسخ دهند:

- (۱) تا چه میزانی ناحیه تالاموس در پردازش جملات دوزبانه‌ها دخالت دارد؟
- (۲) چه تفاوتی در کارکرد تالاموس چپ و راست برای پردازش همزمان زبان اول و دوم وجود دارد؟

۲. روش پژوهش

۲-۱. شرکت‌کنندگان

¹mixed-language blocks

² Subject-object-verb (SOV)

³ Verbal agreement

⁴ Shared syntax account

⁵Hartsuiker

بر اساس یک فراخوان، دانشجویان واجد شرایط مقطع دکتری دعوت به همکاری در پژوهش کاربردی-بنیادی حاضر شدند. از بین داوطلبان، ۳۶ دانشجوی ترک‌زبان (۲۱ زن و ۱۵ مرد به ترتیب با میانگین سنی و انحراف معیار $27/3 \pm 71/5$ و $26/87 \pm 2/97$ ، در محدوده سنی ۲۲-۳۴ سال) انتخاب شدند^۱. همه افراد سالم و طبق گزارش فردی شنوایی طبیعی داشتند. ملاک ورود به مطالعه شامل داشتن والدین ترک‌زبان، متولد و ساکن استان‌های ترک‌زبان ایران تا سن ۷ سالگی، راست‌دستی، عدم ابتلا به بیماری‌های زبانی-روانی، حداقل ۵ سال سکونت در شهرهای فارسی‌زبان و شروع آموزش رسمی زبان فارسی در سن ۷ سالگی بود. بنا بر اظهارات شخصی، همه شرکت‌کنندگان در زندگی روزمره با زبان ترکی ارتباط برقرار می‌کردند. پس از غربالگری اولیه، افراد ملزم به شرکت در جلسه ارزیابی رفتاری که در گروه زبان‌شناسی دانشگاه تربیت-مدرس برگزار شد، بودند. بر اساس آزمون دست‌برتری ادینبورگ^۲ همه افراد راست‌دست بودند. جهت سنجش ظرفیت حافظه فعال، تکلیف فراخنای خواندن^۳ (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۳) برای همه افراد اجرا شد. کسب امتیاز ۵۰ (از ۱۰۰) الزام‌آور بود و همه افراد موفق به کسب امتیاز لازم شدند. خودارزیابی بسندگی در زبان فارسی و ترکی با اختلاف اندک بین درک و تولید زبان (۶ در برابر ۵) عالی بود. مصاحبه‌هایی به زبان فارسی و ترکی توسط یک مصاحبه‌گر زبان‌شناس فارسی‌زبان و یک دانشجوی دکتری ترک‌زبان انجام شد. در بخشی از این مصاحبه، یک آزمون قضاوت دستوری بودگی شبیه‌سازی شده از شرکت‌کنندگان اخذ شد. با توجه به ماهیت آزمایش اصلی، این خرده آزمون (شامل ۳۰ آیتم) به صورت شنیداری به زبان ترکی و فارسی ارائه و بر این اساس توانمندی شنیداری و دستوری افراد در هر دو زبان «عالی» تشخیص داده شد. ضمناً، موقعیت اجتماعی-اقتصادی افراد بر اساس شاخص چهار-عاملی جایگاه اجتماعی-اقتصادی^۴ (هالینگزهد^۵، ۱۹۷۵) بررسی و اختلافی بین شرکت‌کنندگان پژوهش حاضر و گروه کنترل (افراد تک‌زبان فارسی‌زبان با میزان بسندگی زبانی بالا) مشاهده نشد (برای جزئیات بیشتر به میکده و همکاران (۲۰۲۱)ب) و میکده و همکاران (۲۰۲۳)ب) مراجعه شود). ضمناً، میزان تسلط دوزبانه‌ها

^۱ در مطالعات fMRI، حداقل حجم نمونه برای هر گروه ۱۵ نفر پیشنهاد شده است (فریستن، ۲۰۱۲).

2 *Edinburgh handedness inventory* (EHI)
 3 reading span test
 4 four factor index of socio-economic status
 5 Hollingshead

به زبان اول و دوم بر اساس معیار تسلط دوزبانه^۱ (دان و فاکس تری^۲، ۲۰۰۹) ارزیابی و اختلاف معناداری مشاهده نشد. افراد با رضایت کتبی در این آزمایش شرکت و حق الزحمه حضور دریافت کردند. پژوهش حاضر مورد تصویب کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران (مطابق با اعلامیه هلسینکی) و دارای کد IR.IUMS.REC.1398.465 است.

۲-۲. مواد آزمون

به منظور بررسی پردازش نحوی سخنگویان دوزبانه یک تکلیف قضاوت دستوری بودگی شنیداری^۳ طراحی شد (میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف). محرک‌ها شامل ۶۴ جمله فارسی و ۶۴ جمله ترکی با ساختار فاعل + مفعول + فعل بود که نیمی از محرک‌ها در هر زبان به لحاظ نحوی درست و سایر محرک‌ها دارای نقض مطابقت فعل-فاعل بودند. همه محرک‌ها به لحاظ معنایی درست بودند و محرک‌های به لحاظ نحوی درست و نادرست، از یکدیگر مشتق نشدند. بنابراین، هر محرک چه درست و چه نادرست فقط یکبار ارائه شد. زمان گذشته ساده افعال (بدون هیچ فعل کمکی) استفاده شد. در محرک‌های درست، فاعل اول و سوم شخص مفرد با افعال اول و سوم شخص مفرد و فاعل اول و سوم شخص جمع با افعال اول و سوم شخص جمع همراه بودند. در مقابل، در شرایط نقض مشخصه‌های شخص و شمار، فاعل اول و سوم شخص مفرد با افعال اول و سوم شخص جمع و فاعل اول و سوم شخص جمع با افعال اول و سوم شخص مفرد همراه بودند^۴. جملات توسط یک خانم با ریتم طبیعی قرائت و در استودیوی صدا برداری با فرمت WAV ذخیره شد (نرخ نمونه برداری ۱۶ بیت، ۴۴ کیلوهرتز). روایی محتوایی تکلیف قضاوت دستوری بودگی به تأیید متخصصین حوزه نحوه رسید و میزان اعتبار آن با استفاده از آزمون آلفای کرونباخ^۵ ۰/۹۳ به دست آمد.

جدول ۱- مثال‌هایی از مواد آزمون در زبان ترکی و فارسی با حرف‌نویسی و ترجمه انگلیسی

(اقتباس از میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف)

زبان اول	زبان دوم
----------	----------

1 Bilingual Dominance Scale (BDS)

2 Dunn & Fox Tree

3 Auditory grammaticality judgment task

۴ لیست کامل محرک‌ها در مقاله میکده و همکاران (۲۰۲۳ الف) ارائه شده است.

5 cronbach's alpha

<p>*ما ۱.pl بدهکاری مان را پرداختم ۱.sg. *Ma_{1.pl} bedehkari-ye-mân râ pardâxtam_{1.sg.} We debt-HI-OBJ-CLT.Def pay.PAST-1SG (We paid our debts.)</p>	<p>نقض مطابقت دستوری *بیز ۱.pl کیتاب‌لاری می‌زی گتیردیم ۱.sg. *Biz kitâb-lar-i-mizi gatirdim. We book-PL-HI-OBJ-CLT.Def bring-PAST-1SG (We brought our books)</p>
<p>من ۱.sg نظرش را پذیرفتم ۱.sg. Man_{1.sg} nazar-aš râ paziroftam_{1.sg.} I offer-OBJ-CLT.Def accept.PAST-1SG (I accepted her/his offer.)</p>	<p>مطابقت دستوری من ۱.sg پالتار می یودوم ۱.sg. Man_{1.sg} pâltâr-e-mi yudum_{1.sg.} I cloth-HI-OBJ-CLT.Def wash.PAST-1SG (I washed my cloth.)</p>

* جملات غیر دستوری. زیر هجای هدف خط کشیده شده است.

۳-۲. نحوه اجرای آزمون

پس از دریافت آموزش‌های لازم در زمینه نحوه اجرای تکلیف، شرکت‌کنندگان بر اساس دستوری/نادستوری بودگی جملات پاسخ خود را ثبت کردند. محرک‌های شنیداری طراحی شده توسط نرم‌افزار سایکوپای^۱، از طریق هدفون ارائه شد. الگوی تحریک وابسته به رویداد^۲، شامل ۴ بلوک^۳ جملات شنیداری، ۴ بازه استراحت^۴ بود و پارادایم زبان‌گردانی جایگزین^۵ نیز به کار گرفته شد. هر بلوک متشکل از ۳۲ بخش^۶ است که برای ثبت پاسخ همودینامیکی^۷ نیز بازه‌های زمانی استراحت ۳۰ ثانیه‌ای در قبل و بعد از آن تعبیه شد که طی آن هیچ تحریکی ارائه نشد. مدت زمان هر بلوک ۳۱۸ ثانیه بود. هر بخش شامل یک بوق هشدار ۱ ثانیه‌ای، یک جمله ۳ ثانیه‌ای و مرحله پاسخ ۴، ۵ یا ۶ ثانیه‌ای بود. به علت ماهیت شنیداری تکلیف شناختی، یک علامت به علاوه (+) در وسط صفحه نمایش در کل زمان اجرای تکلیف^۸ نمایش داده شد. در هر بلوک، جملات

- 1 PsychoPy
- 2 Event-related design
- 3 block
- 4 Resting period
- 5 alternating language switching paradigm
- 6 run
- 7 Hemodynamic baseline
- 8 Task

دو زبان به طور پیوسته تغییر می‌کردند (به‌طور مثال، زبان اول، زبان دوم، زبان اول، زبان دوم و ...). محرک‌های دستوری/نادستوری هر زبان، در هر بلوک به‌طور تصادفی توزیع و به‌طور یکسان برای همه شرکت‌کننده‌ها اجرا شد. مزیت پارادایم زبان‌گردانی جایگزین بر دیگر پارادایم‌ها از جمله پارادایم زبان‌گردانی توالی-محور^۱ این است که شرایط برنامه‌ریزی زبانی را برای زبان بعدی فراهم می‌کند به‌گونه‌ای که وضعیت پیش‌برنامه‌ریزی را در طول پردازش زبان طبیعی تداعی می‌کند (دکلرک و فیلیپ^۲، ۲۰۱۵). لذا، بر مبنای توالی قابل‌پیش‌بینی، شرکت‌کننده می‌تواند برای زبان بعدی خود را آماده کند. در دنیای واقعی، سخنگویان دوزبانه قادرند تا هر یک از زبان‌هایشان را به طور مناسب استفاده کنند و به سرعت زبان‌گردانی بین دو زبان را انجام دهند. برای هر شرکت‌کننده، مدت زمان اجرای آزمون fMRI به انضمام مرحله آماده‌سازی تقریباً ۳۵ دقیقه به طول انجامید.

۴-۲. پروتکل تصویربرداری

تصاویر fMRI توسط اسکنر MRI سه‌تسلای زیمنس مدل پریماس^۳ با کویل سر ۲۰ کاناله^۴ در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز ثبت شد. تصویربرداری ساختاری رزولوشن بالا و عملکردی حالت استراحت از مغز هر فرد در یک جلسه انجام شد. پروتکل‌ها و پارامترهای مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شد. تصاویر ساختاری با استفاده از توالی سه‌بعدی اکو گرادینت سریع مغناطش آماده‌شده^۵ و تصاویر عملکردی به‌صورت تصویربرداری اکو صفحه‌ای^۶ گرفته شد. زمان تصویربرداری عملکردی ۱۲۹۰ ثانیه به طول انجامید. تعداد کل والیوم‌ها^۷ ۴۳۰ عدد و هر والیوم نیز حاوی ۴۵ اسلایس بود.

جدول ۲- پروتکل‌های تصویربرداری ساختاری و عملکردی

T2-weighted EPI-BOLD	T1-weighted MP-RAGE	نام پروتکل
----------------------	---------------------	------------

1 Sequence-based language switching paradigm

2 Declerck & Philipp

3 3.0 Tesla Siemens Prisma MRI Scanner

4 20-channel head coil

5 three-dimension magnetization-prepared rapid gradient-echo (MP-RAGE) sequence

6 echo planner imaging (EPI)

7 volume

(عملکردی)	(ساختاری)	
$3 \times 3 \times 3$	$1 \times 1 \times 1$	اندازه وکسل ^۱ (mm^3)
۶۴	۲۵۶	اندازه ماتریس ^۲ (mm^2)
۳۰	۳/۵۳	زمان اکو ^۳ (TE) (ms)
۳۰۰۰	۱۸۰۰	زمان تکرار ^۴ (TR) (ms)
۳	۱	ضخامت اسلایس ^۵ (mm)
۱۹۲	۲۵۶	میدان دید ^۶ (FOV) (mm^2)
۹۰°	۷°	زاویه چرخش ^۷ α (deg)

۲-۵. پیش‌پردازش تصاویر

پیش‌پردازش تصاویر با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزار FSL مدل ۶/۰۰ مجموعه^۸ FMRIB^۸ به شرح زیر انجام شد: (۱) حذف جمجمه و استخراج قشر مغز، (۲) انطباق^۹ داده ساختاری T1-MPRAGE بر روی اطلس MNI و سپس انطباق داده‌های عملکردی بر آن، (۳) تصحیح حرکت سر^{۱۰}، (۴) تصحیح زمان‌بندی برش‌ها^{۱۱} با استفاده از درون‌یابی فوریه^{۱۲}، (۵) نرم کردن مکانی^{۱۳} توسط فیلتر کرنل گوسی^{۱۴} با FWHM برابر با ۶ میلی‌متر، (۶) نرمال کردن^{۱۵} دامنه همه‌الیوم‌ها در هر نقطه زمانی بر پایه شدت میانگین، (۷) فیلتر کردن زمانی^{۱۶} توسط فیلتر

-
- 1 voxel size
 - 2 matrix size
 - 3 echo time
 - 4 repetition time
 - 5 slice thickness
 - 6 field of view
 - 7 flip angle
 - 8 www.fmrib.ox.ac.uk/fsl
 - 9 mapping
 - 10 Head Motion Correction
 - 11 Slice Timing Correction
 - 12 fourier interpolation
 - 13 Spatial Smoothing
 - 14 gaussian kernel
 - 15 Normalization
 - 16 Temporal Filtering

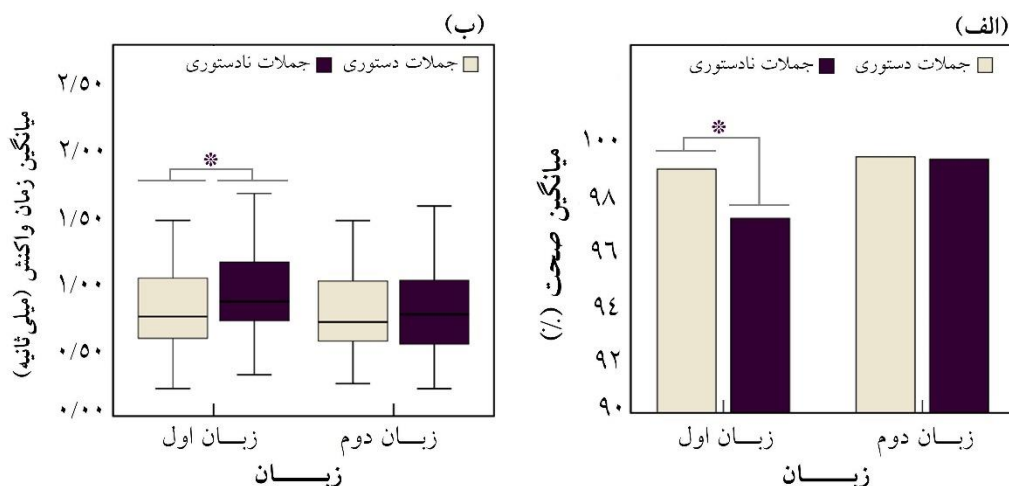
بالاگذر گوسی^۱ با سیگمای^۲ ۵۰ (۸) حذف مؤلفه‌های نویز^۳ از تصاویر پیش‌پردازش شده با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های مستقل^۴. نهایتاً، از مدل خطی عمومی^۵، جهت آنالیز سطح اول (اجرای فردی) و دوم (اجرای گروهی) استفاده شد. با استفاده از مدل تأثیر آمیخته^۶، آنالیزهای بین‌گروهی^۷ انجام و وکسل‌هایی با z-stat بالای ۳/۱ و سطح معناداری کمتر از $p < ۰/۰۵$ به صورت وکسل فعال تشخیص داده شد. فقط جملاتی که به آنها پاسخ درست داده شده بود، در چرخه آنالیز قرار گرفتند.

۳-۶. روش تحلیل آماری

پیرو شناسایی فعالیت ناحیه تالاموس در رویکرد کل-مغز^۸ (میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف)، به منظور تعیین نقش ناحیه تالاموس در پردازش همزمان زبان‌های اول و دوم در افراد دوزبان، تحلیلی با رویکرد ناحیه موردنظر^۹ بر اساس مطالعات پیشین (میکده و ورنر، در دست انتشار/الف؛ میکده، زومر و بتولی، در دست انتشار/ب؛ میکده، زومر و بتولی، در دست انتشار/ج) اجرا شد تا الگوی فعالیت محرک‌ها در این ناحیه مغزی آشکار گردد (پلدراک^{۱۰}، ۲۰۰۷). بدین ترتیب، درصد تغییر سیگنال^{۱۱} به عنوان معیار «شدت»^{۱۲} برای هر شرکت‌کننده در ناحیه تالاموس مطابق با اطلس هاروارد-آکسفورد^{۱۳} در FSL محاسبه شد. شدت سیگنال به عنوان متغیر وابسته و دستوری بودگی، زبان، نیمکره و جنسیت به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. تغییرات شدت سیگنال از طریق آزمون استنباطی تحلیل واریانس^{۱۴} با

-
- 1 gaussian high pass filter
 - 2 sigma
 - 3 noise
 - 4 independent component analysis (ICA)
 - 5 Generalized Linear Model (GLM)
 - 6 Mixed effects
 - 7 between-subjects
 - 8 whole-brain
 - 9 region-of-interest analysis (ROI)
 - 10 Poldrack
 - 11 Percent Signal Change (PSC)
 - 12 Intensity
 - 13 Harvard-Oxford Atlas
 - 14 analysis of variance

اندازه‌گیری‌های مکرر $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ دستوری بودگی (دستوری، نادستوری) \times زبان (زبان اول = ترکی، زبان دوم = فارسی) نیمکره (چپ، راست) \times جنسیت (زن، مرد) بررسی شد.



شکل ۱- آنالیز رفتاری زبان اول (ترکی) و دوم (فارسی). (الف) نمودارهای میله‌ای میانگین درصد پاسخ‌های درست به محرک‌های دستوری/نادستوری در هر زبان. (ب) نمودارهای جعبه‌ای میانگین زمان واکنش به محرک‌های دستوری/نادستوری در هر زبان به میلی ثانیه. علامت ستاره نشانه معناداری است. سطح معناداری = $p < 0.05$.

۴. نتایج

۴-۱. نتایج رفتاری

شکل ۱ نتایج رفتاری را نشان می‌دهد. شرکت‌کننده‌ها، به‌طور میانگین، به بیش از ۹۹٪ محرک‌ها پاسخ درست دادند. درصد پاسخ درست و انحراف معیار برای زبان اول ۹۸/۹۶٪ ($\pm 1/18$) و برای زبان دوم ۹۹/۶۱٪ ($\pm 0/79$) بود. میانگین زمان واکنش (و انحراف معیار) به محرک‌های زبان اول و دوم به ترتیب ۰/۸۸ ($\pm 0/37$) و ۰/۷۸ ($\pm 0/36$) میلی‌ثانیه بود. در ارتباط با صحت پاسخ‌ها، نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد که عامل اصلی دستوری‌بودگی ($\eta_p^2 = 0/122$)، $F(1,35) = 4/73$ ، $p = 0/037$ و زبان ($\eta_p^2 = 0/209$)، $F(1,35) = 8/98$ ، $p = 0/005$ معنادار است. نتایج آزمون تعقیبی تی‌زوجی، اختلاف معنادار بین پاسخ‌های درست به محرک‌های دستوری و نادرستی را فقط در زبان اول ($t(35) = 2/66$ ، $p = 0/012$) و نه در زبان دوم ($t(35) = 1/67$ ، $p = 0/869$)

$(t_{(35)}) =$ تأیید کرد. در ارتباط با زمان واکنش، نتایج نشان داد که عامل اصلی دستوری بودگی $(F_{(1,35)} = 12/75, p = 0/001, \eta_p^2 = 0/273)$ و زبان $(F_{(1,35)} = 18/55, p = 0/000, \eta_p^2 = 0/353)$ معنادار بود. معناداری اثر تعاملی دستوری-بودگی \times زبان نیز $(F_{(1,35)} = 7/38, p = 0/010, \eta_p^2 = 0/179)$ دیده شد. نتایج آزمون تعقیبی تی زوجی نشان داد که اختلاف معنادار بین زبان‌ها محدود به زبان اول $(t_{(35)} = 6/51, p = 0/000)$ و نه زبان دوم $(t_{(35)} = 2/61, p = 0/546)$ است.

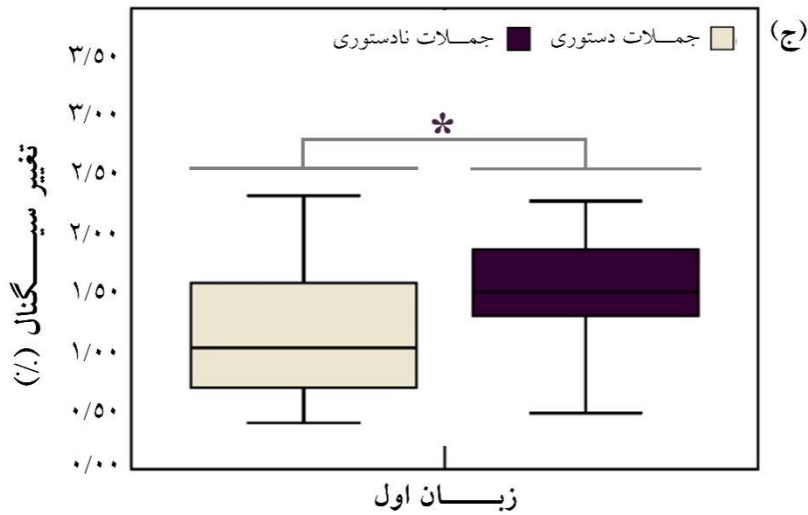
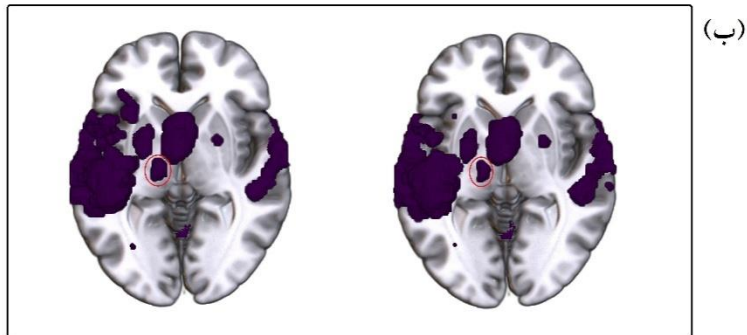
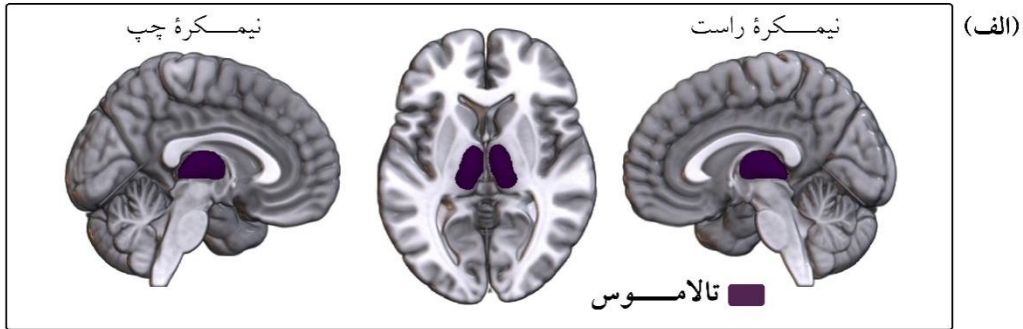
۲-۴. نتایج ناحیه تالاموس

موقعیت ناحیه تالاموس در شکل ۲ الف نمایش داده شد. در ناحیه تالاموس، نتایج تحلیل واریانس (جدول ۳) نشان از معناداری عامل اصلی دستوری بودگی دارد. مشخصاً، شدت درصد تغییر سیگنال در جملات نادرستی $(1/253)$ به نسبت جملات دستوری $(1/136)$ بیشتر بود. همچنین، عامل اصلی زبان با شدت درصد تغییر سیگنال بیشتر در زبان اول $(1/256)$ به نسبت زبان دوم $(1/132)$ به سطح معناداری رسید.

اثر تعاملی دستوری بودگی \times زبان نیز معنادار بود. با در نظر گرفتن عامل دستوری بودگی، مشاهده شد که در زبان اول درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی $(1/363)$ در مقایسه با جملات دستوری $(1/150)$ بیشتر بود $(t_{(35)} = 3/338, p = 0/002)$ ، اما در زبان دوم اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی $(1/143)$ و دستوری $(1/122)$ مشاهده نشد $(t_{(35)} = 0/396, p = 0/694)$. با در نظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که در جملات نادرستی درصد تغییر سیگنال در زبان اول $(1/363)$ در مقایسه با زبان دوم $(1/143)$ بیشتر بود $(t_{(35)} = 3/274, p = 0/002)$ ، اما در جملات دستوری هیچ تفاوتی بین درصد تغییر سیگنال زبان اول $(1/150)$ و دوم $(1/122)$ مشاهده نشد $(t_{(35)} = 0/490, p = 0/627)$.

اثر تعاملی زبان \times نیمکره هم به سطح معناداری رسید. با در نظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که در نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال جملات زبان اول $(1/341)$ در مقایسه با زبان دوم $(1/112)$ بیشتر بود $(t_{(35)} = 3/779, p = 0/001)$ ، اما در نیمکره راست اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات زبان اول $(1/171)$ و دوم $(1/153)$ مشاهده نشد $(p = 0/735)$ ، با در نظر گرفتن عامل نیمکره، مشاهده شد که در زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ $(1/341)$ در مقایسه با نیمکره راست $(1/171)$ بیشتر بود $(t_{(35)} = 2/115, p = 0/042)$.

$t_{(35)} =$ اما، در زبان دوم اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۱/۱۱۲) در مقایسه با نیمکره راست (۱/۱۵۳) دیده نشد ($t_{(35)} = -۰/۶۰۳, p = ۰/۵۵۰$).



شکل ۲- (الف) موقعیت ناحیه تالاموس؛ (به ترتیب از راست) نمای ساجیتال^۱ راست، آکسیال^۲ و ساجیتال چپ. (ب) فعالیت مغز-کل (بنفش) در جملات دستوری (تصویر سمت راست) و نادرستی (تصویر سمت چپ) زبان اول برای ناحیه تالاموس چپ نسبت به خط مبدأ. دایره قرمز رنگ مکان فعالیت هر محرک را نشان می‌دهد. (ج) نمودارهای جعبه‌ای درصد تغییر سیگنال برای اثر دستوری-بودگی در تالاموس چپ برای زبان اول؛ علامت ستاره نشانه معناداری است.

جدول ۳- نتایج آزمون تحلیل واریانس ۴-راهه در ناحیه تالاموس

منبع تغییرات	آماره F	درجه آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری بودگی	۶/۱۲۷	۱	۰/۰۱۸	۰/۱۵۳
دستوری بودگی × جنسیت	۰/۵۵۹	۱	۰/۴۶۰	۰/۰۱۶
زبان	۶/۴۵۵	۱	۰/۰۱۶	۰/۱۶۰
زبان × جنسیت	۰/۰۵۲	۱	۰/۸۲۰	۰/۰۰۲
نیمکره	۰/۶۳۶	۱	۰/۴۳۱	۰/۰۱۸
نیمکره × جنسیت	۰/۵۶۹	۱	۰/۴۵۶	۰/۰۱۶
دستوری بودگی × زبان	۴/۹۹۷	۱	۰/۰۳۲	۰/۱۲۸
دستوری بودگی × زبان × جنسیت	۲/۳۷۶	۱	۰/۱۳۲	۰/۰۶۵
دستوری بودگی × نیمکره	۲/۱۹۴	۱	۰/۱۴۸	۰/۰۶۱
دستوری بودگی × نیمکره × جنسیت	۱/۰۷۳	۱	۰/۳۰۸	۰/۰۳۱
زبان × نیمکره	۱۳/۲۰۸	۱	۰/۰۰۱	۰/۲۸۰
زبان × نیمکره × جنسیت	۱/۴۵۱	۱	۰/۲۳۷	۰/۰۴۱

۰/۲۶۸	۰/۰۰۱	۱	۱۲/۴۷۷	دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره
۰/۰۰۷	۰/۶۳۷	۱	۰/۲۲۶	دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره × جنسیت

افزون بر این، تعامل سه عامل دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره معنادار بود. با در نظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی، در نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی زبان اول (۱/۵۱۰) در مقایسه با جملات دستوری زبان اول (۱/۱۷۲) بیشتر بود ($p = ۰/۰۰۱$ ، $t_{(۳۵)} = ۳/۷۰۵$)، اما، هیچ اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی زبان دوم (۱/۱۰۳) در مقایسه با جملات دستوری زبان دوم (۱/۱۲۱) بیشتر بود ($p = ۰/۷۶۹$ ، $t_{(۳۵)} = -۰/۲۹۷$). در نیمکره راست نه تنها درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی زبان اول (۱/۲۱۶) در مقایسه با جملات دستوری زبان اول (۱/۱۲۷) متفاوت نبود ($p = ۰/۱۲۹$ ، $t_{(۳۵)} = ۱/۵۵۶$)، بلکه، تفاوت معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی زبان دوم (۱/۱۸۳) در مقایسه با جملات دستوری زبان دوم (۱/۱۲۳) مشاهده نشد ($p = ۰/۲۸۸$ ، $t_{(۳۵)} = ۱/۰۸۰$). با در نظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که نه تنها در جملات دستوری نیمکره چپ اختلافی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۱/۱۷۲) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۲۱) مشاهده نشد ($p = ۰/۳۶۸$ ، $t_{(۳۵)} = ۰/۹۱۲$)، بلکه، در جملات دستوری نیمکره راست هم هیچ تفاوتی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۱/۱۲۷) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۲۳) دیده نشد ($p = ۰/۰۶۱$ ، $t_{(۳۵)} = ۰/۹۵۲$). از سوی دیگر، در جملات نادرستی نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال در زبان اول (۱/۵۱۰) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۰۳) بیشتر بود ($p < ۰/۰۰۱$ ، $t_{(۳۵)} = ۴/۳۳۰$). اما در جملات نادرستی نیمکره راست هیچ اختلافی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۱/۲۱۶) در مقایسه با زبان دوم (۱/۱۸۳) دیده نشد ($p = ۰/۶۵۳$). با در نظر گرفتن عامل نیمکره مشاهده شد که نه تنها در جملات دستوری زبان اول هیچ اختلافی بین درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۱/۱۷۲) در مقایسه با نیمکره راست (۱/۱۲۷) دیده نشد ($p = ۰/۵۵۶$ ، $t_{(۳۵)} = ۰/۵۹۵$)، بلکه در زبان دوم هم اختلافی در درصد تغییر سیگنال نیمکره چپ (۱/۱۲۱) در مقایسه با نیمکره راست (۱/۱۲۳) یافت نشد ($p = ۰/۹۷۸$). از سوی دیگر، در جملات نادرستی زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۱/۵۱۰) در مقایسه با نیمکره راست (۱/۲۱۶) بیشتر بود ($p = ۰/۰۰۷$ ، $t_{(۳۵)} = ۲/۸۶۵$).

($t_{(35)} = 1/163$). اما، در جملات نادستوری زبان دوم اختلافی در درصد تغییر سیگنال نیمکره چپ ($1/163$) در مقایسه با نیمکره راست ($1/183$) دیده نشد ($p = 0/225$ ، $t_{(35)} = -1/234$). تنها اثر معنادار دستوری بودگی در قالب نمودار جعبه‌ای در شکل ۲ ج به تصویر کشیده شد. همانگونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، تعامل جنسیت با سایر عوامل معنادار نبود^۱.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، عملکرد ناحیه تالاموس دوجانبه در پردازش همزمان زبان اول و دوم در دوزبان‌های متوازن ترکی (زبان اول)-فارسی (زبان دوم با سن یادگیری ۷ سالگی در بدو ورود به مدرسه) بررسی شد. محرک‌های دستوری/نادستوری به صورت تصادفی و محرک‌های زبان اول/دوم به صورت متوالی توزیع شدند که مستلزم مشارکت/عدم مشارکت متناوب بین زبان-هاست. به دنبال شناسایی حساسیت ناحیه تالاموس چپ به محرک‌های دستوری و نادستوری زبان اول در دوزبان‌های ترکی-فارسی در سطح کل-مغز (میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف)، یک آنالیز مبتنی بر ROI در پژوهش حاضر اجرا و اثر دستوری بودگی در تالاموس چپ برای زبان اول تأیید شد.

نتایج حاصل از آنالیز مبتنی بر ROI حاکی از این است که در پژوهش حاضر دوزبان‌ها در حین زبان‌گردانی زبان ترکی را به عنوان زبان پایه و زبان فارسی را به عنوان زبان مهمان^۲ انتخاب کرده‌اند که در راستای فرضیه آستانه فعالیت (پردیس، ۱۹۹۳ و ۲۰۰۱) است. بر این اساس، هر دو زبان اول و دوم فعال هستند اما زبان پایه، فعالیت قوی‌تری دارد (گرین، ۱۹۹۸) که منجر به اثرات تغییر نامتقارن^۳ می‌شود (ژیو و همکاران، ۲۰۲۰)؛ زیرا وقتی زبان‌گردانی به سمت محرک-های زبان اول انجام می‌شود، مهار زبان اول که در طول پردازش جملات زبان دوم اتفاق افتاده بود باید غلبه شود که خود منجر به فعالیت بیشتر نواحی درگیر فرایند مهار می‌شود.

۱ مسئله جنسیت جزء موضوعات کلیدی مقاله حاضر نیست. اما، با توجه به ناترازی تعداد شرکت‌کنندگان مرد و زن، نویسندگان مقاله علاقمند بودند تا با داده‌های آماری به خواننده کنجکاو القا کنند که نتایج فعلی متأثر از پارامتر جنسیت نبوده است.

2 Guest language

3 Asymmetrical switch effects

نتایج فوق در راستای یافته‌های رفتاری شرکت‌کنندگان است که زمان واکنش کمتری را برای زبان دوم نسبت به زبان اول نشان می‌دهد. در مقابل، تغییر در جهت زبان غالب (زبان اول)، مستلزم زمان بیشتری است تا به مهار قبلی که به این زبان اعمال شده است، غلبه گردد. به عبارتی دیگر، به این دلیل که زبان دوم زبان ضعیف‌تری محسوب می‌شود کنترل شناختی مضاعفی لازم است تا زبان اول را پس از تولید زبان دوم بازفعال کند (ژیو و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین، فعالیت تالاموس برای زبان اول بر نقش حیاتی این ناحیه مغزی در کنترل رفتاری و شناختی صحنه می‌گذارد که در راستای مطالعات پیشین است (هوسودا^۱ و همکاران، ۲۰۱۳؛ برکن، گرادو و کلاین^۲، ۲۰۱۷؛ پلیاستیکاس^۳ و همکاران، ۲۰۱۷؛ دلوکا^۴ و همکاران، ۲۰۱۹؛ گلو^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). با توجه به اینکه در مطالعه پیشین نویسندگان حاضر (میکده، زومر و بتولی، در دست انتشار/ج)، حساسیت هسته کودیت نیز به زبان اول مشاهده شد، به نظر می‌رسد که این دو ناحیه مغزی (تالاموس و هسته کودیت) نقش ویژه‌ای در فرایندهای زبان‌گردانی، کنترل شناختی و انتخاب زبان ایفا می‌کنند. همانطور که در بخش مقدمه مطرح شد، اختلافات روش‌شناختی قابل توجهی که مطالعه حاضر را از اثر وارتنبرگر و همکارانش (۲۰۰۳) - به عنوان تنها اثر موجود در زمینه پردازش دستوری در افراد دوزبانه - متمایز می‌کند، امکان مقایسه بین این دو اثر را بسیار کم‌رنگ می‌کند و گویای این است که پردازش زبان در یک مغز واحد دوزبانه مستلزم انجام مطالعات عمیق‌تری است.

لازم به ذکر است که فعالیت تالاموس در مطالعه حاضر محدود به نیمکره چپ مغز بود. بنابراین با توجه به فعالیت غالب نیمکره چپ در پردازش نحوی دوزبانه‌های ترکی-فارسی (میکده و همکاران، ۲۰۲۱الف)، می‌توان استنباط کرد که این تالاموس چپ است که نقش انتقال‌دهنده اطلاعات از مسیر تالاموکورتیکال به نواحی قشری را انجام می‌دهد.

تشکر و قدردانی

1Hosoda
2Berken, Gracco, Klein
3Pliatsikas
4DeLuca
5Gallo

این پژوهش برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول این مقاله بوده که با حمایت مالی ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی به شماره ۷۴۰۱ انجام شده است. ضمناً، این پروژه از حمایت مالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ایران جهت تکمیل اهداف پروژه در دانشگاه هومبولت برلین^۱ (آلمان) تحت راهنمایی نویسنده دوم این مقاله برخوردار بوده است؛ بدین وسیله از همکاری آن سازمان متبوع قدردانی می‌گردد.

منابع

- پورمحمد، مهدی. (۱۳۹۳). روان‌شناسی زبان. تهران: سمت.
- خدادادی، مجتبی؛ اسدزاده، حسن؛ کلانتر قریشی، منیر و امانی، حسین. (۱۳۹۳). نرم‌افزار حافظه کاری دانیمن و کارپنتر. تهران: موسسه تحقیقات علوم رفتاری-شناختی سینا.
- میکده، سیمین. (۱۴۰۰). بررسی اثرات بسندگی زبان و سن یادگیری زبان دوم بر دستگاه عصبی برای پردازش صرفی-نحوی با استفاده از ERPs و fMRI، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- میکده، سیمین و زومر، ورنر. (در دست انتشار/الف). عدم تفاوت‌های جنسیتی در پردازش مشخصه-های فای در افراد دوزبانۀ متوازن: مطالعه‌ای بر پایه تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی (fMRI). پژوهش‌های زبان‌شناسی تطبیقی.
- میکده، سیمین؛ زومر، ورنر و بتولی، سیدامیرحسین. (در دست انتشار/ب). مخچه و مطابقت دستوری در دوزبانانها: شواهدی از قضاوت دستوری بودگی با استفاده از fMRI. علم زبان.
- میکده، سیمین؛ زومر، ورنر و بتولی، سیدامیرحسین. (در دست انتشار/ج). فعالیت نوروئی هسته کودیت چپ در حین زبان‌گردانی: شواهد fMRI از دوزبانانهای ترکی-فارسی. پژوهش‌های نوین روانشناسی.

References:

- Antón, E., Carreiras, M., & Duñabeitia, J. A. (2019). The impact of bilingualism on executive functions and working memory in young adults. *PloS one*, 14(2), 1-30. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206770>
- Berken, J. A., Gracco, V. L., & Klein, D. (2017). Early bilingualism, language attainment, and brain development. *Neuropsychologia*, 98, 220-227. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.08.031>

¹ Humboldt-Universität zu Berlin

- Bogousslavsky, J., Regli, F., & Uske, A. (1988). Thalamic infarcts: clinical syndromes, etiology, and prognosis. *Neurology*, 38(6), 837–848. <https://doi.org/10.1212/wnl.38.6.837>
- Burgaleta, M., Sanjuán, A., Ventura-Campos, N., Sebastian-Galles, N., & Ávila, C. (2016). Bilingualism at the core of the brain. Structural differences between bilinguals and monolinguals revealed by subcortical shape analysis. *NeuroImage*, 125, 437–445. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.09.073>
- Declerck, M., & Philipp, A. M. (2015). A review of control processes and their locus in language switching. *Psychonomic bulletin & review*, 22(6), 1630–1645. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0836-1>
- DeLuca, V., Rothman, J., Bialystok, E., & Pliatsikas, C. (2019). Redefining bilingualism as a spectrum of experiences that differentially affects brain structure and function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(15), 7565–7574. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811513116>
- Dunn, A. L., & Fox Tree, J. E. (2009). A quick, gradient Bilingual Dominance Scale. *Bilingualism: Language and Cognition*, 12(3), 273–289. <https://doi.org/10.1017/S1366728909990113>
- Fedeli, D., Del Maschio, N., Sulpizio, S., Rothman, J., & Abutalebi, J. (2021). The bilingual structural connectome: Dual-language experiential factors modulate distinct cerebral networks. *Brain and language*, 220, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2021.104978>
- Fimm, B., Zahn, R., Mull, M., Kemeny, S., Buchwald, F., Block, F., & Schwarz, M. (2001). Asymmetries of visual attention after circumscribed subcortical vascular lesions. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 71(5), 652–657. <https://doi.org/10.1136/jnnp.71.5.652>
- Friston, K. (2012). Ten ironic rules for non-statistical reviewers. *NeuroImage*, 61(4), 1300–1310. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.018>
- Gallo, F., Novitskiy, N., Myachykov, A. & Shtyrov, Y. (2021). Individual differences in bilingual experience modulate executive control network and performance: Behavioral and structural neuroimaging evidence. *Bilingualism: Language and Cognition*, 24(2), 293–304. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1366728920000486>
- Hartsuiker, R. J., Pickering, M. J., & Veltkamp, E. (2004). Is syntax separate or shared between languages? Cross-linguistic syntactic priming in Spanish-English bilinguals. *Psychological science*, 15(6), 409–414. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00693.x>
- Hollingshead, A. (1975). *Four Factor Index of Social Status*. Unpublished Manuscript. New Haven, CT: Yale University Department of Sociology.
- Hosoda, C., Tanaka, K., Nariai, T., Honda, M., & Hanakawa, T. (2013). Dynamic neural network reorganization associated with second language

- vocabulary acquisition: a multimodal imaging study. *The Journal of neuroscience*, 33(34), 13663-13672.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0410-13.2013>
- Korenar, M., Treffers-Daller, J., & Pliatsikas, C. (2023). Dynamic effects of bilingualism on brain structure map onto general principles of experience-based neuroplasticity. *Scientific reports*, 13(1), 3428.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-30326-3>
- Lerman, A., & Obler, L. K. (2017). Aging in bilinguals: Normal and abnormal. In A. Ardila, A. B. Cieślicka, R. R. Heredia & M. Rosselli (Eds.), *Handbook of Psychology of Bilingualism: The Cognitive and Emotional World of Bilinguals*. (Vol. 5) (pp. 189-210). Switzerland. Springer International Publishing, https://doi.org/10.1007/978-3-319-64099-0_8
- Liebermann, D., Ploner, C. J., Kraft, A., Kopp, U. A., & Ostendorf, F. (2013). A dysexecutive syndrome of the medial thalamus. *Cortex*, 49(1), 40-49.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.11.005>
- Mechelli, A., Crinion, J. T., Noppeney, U., O'Doherty, J., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., & Price, C. J. (2004). Neurolinguistics: structural plasticity in the bilingual brain. *Nature*, 431, 757.
<https://doi.org/10.1038/431757a>
- Meykadeh, S. (2021). An investigation of the effects of language proficiency and age of acquisition on neural organization for morphosyntactic processing using ERPs and fMRI [Doctoral dissertation, Tarbiat Modares University [In Persian]].
- Meykadeh, A., Golfam, A., Batouli, SAH. & Sommer, W. (2021a). Overlapping but language-specific mechanisms in morphosyntactic processing in highly competent L2 acquired at school entry: fMRI evidence from an alternating language switching task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 26(15), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.728549>
- Meykadeh, S., Golfam, A., Batouli, S. A. H., & Sommer, W. (2023a). The neural basis of Number and Person phi-features processing: An fMRI study in highly proficient bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*, 1-16. <https://doi.org/10.1017/S1366728923000615>
- Meykadeh, A., Golfam, A., Nasrabadi, AM., Ameri, H. & Sommer, W. (2021b). First Event-Related Potentials evidence of auditory morphosyntactic processing in a subject-object-verb nominative-accusative language (Farsi). *Frontiers in psychology*, 16(12), 1-9.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.698165>
- Meykadeh, S., Khadem, A., Sulpizio, S. & Sommer, W. (2023b). Functional connectivity during morphosyntactic processing: An fMRI study in balanced Turkish-Persian bilinguals. *Journal of Neurolinguistics*. 68 (101162), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2023.101162>

- Paradis, M. (1993). Linguistic, psycholinguistic and neurolinguistics aspects of “interference” in bilingual speakers: the activation threshold hypothesis. *Int. J. Psycholinguist.* 9, 133–145.
- Paradis, M. (2001). An integrated neurolinguistic theory of bilingualism (1976–2000). Paper Presented at the LACUS Forum 27 Houston, TX.
- Pliatsikas, C., DeLuca, V., Moschopoulou, E., & Saddy, J. D. (2017). Immersive bilingualism reshapes the core of the brain. *Brain structure & function*, 222(4), 1785–1795. <https://doi.org/10.1007/s00429-016-1307-9>
- Poldrack, R. A. (2007). Region of interest analysis for fMRI. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(1), 67-70. <https://doi.org/10.1093/scan/nsm006>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A., Mooney, R. D., Platt, M. L., & White, L. E. (2018) *Neuroscience*. 6th Edition. New York, NY: Sinauer Associates.
- Román, P., & Gómez-Gómez, I. (2022). Changes in Native Sentence Processing Related to Bilingualism: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in psychology*, 13, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.757023>
- Sanides, F. (1970). Functional architecture of motor and sensory cortices in primates in the light of a new concept of neocortex evolution, in C. Noback, & W. Montagna (Eds.), *Advances in Primatology: The Primate Brain*. (pp. 137-208). New York, Appleton-Century-Crofts.
- Van der Werf, Y. D., Witter, M. P., Uylings, H. B., & Jolles, J. (2000). Neuropsychology of infarctions in the thalamus: a review. *Neuropsychologia*, 38(5), 613–627. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(99\)00104-9](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(99)00104-9)
- Zhu, J. D., Seymour, R. A., Szakay, A., & Sowman, P. F. (2020). Neurodynamics of executive control in bilingual language switching: An MEG study. *Cognition*, 199, 104247. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2020.104247>

Thalamus and Bilingualism: Evidence from fMRI

Simin Meykadeh¹ (Corresponding Author)

PhD in Linguistics, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Werner Sommer²

Professor of Psychology, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, Germany

Seyed Amir Hossein Batouli³

Department of Neuroscience and Addiction Studies, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: July 13, 2023

Accepted: Nov 3, 2023

Abstract

Bilingualism are associated with structural adaptations of subcortical regions taking part in controlling multiple languages (Korenar, Treffers-Daller and Pliatsikas, 2023). The thalamus is a paired gray matter structure located near the center of the brain, regulating the information transmission to cortical regions. In a recent fMRI study, the sensitivity of the thalamus to grammatical and ungrammatical stimuli has been shown at whole-brain level in the first language (L1) of bilinguals (Meykadeh et al., 2021). Here, we explore the activation patterns of bilateral thalamus in both L1 and L2 using a ROI-based approach. To do so, the percentage of signal change for grammatical and ungrammatical stimuli in L1 and L2 was extracted as the intensity measure per participant. Thirty-six Turkish-Persian bilinguals (21 women) who had acquired their L2 at the age of 7 were selected. Based on the Bilingual Dominance Scale, there was no significant difference between the proficiency level of participants in L1 (Turkish) and L2 (Persian). Participants carried out an auditory grammaticality judgment task in an alternating language switching paradigm while fMRI images were acquired. ROI-based results confirmed the grammaticality effect only in L1 and the left thalamus. Considering that L1 was the dominant language in our study and gave rise to larger reversed language dominance effects, we suggest that the engagement of the thalamus in L1 is not associated with syntactic processing but instead may exert an overall *monitoring* and control function for language-specific cortical activities.

Keywords: Thalamus, bilingualism, L1, switching costs, left hemisphere, fMRI

1 a.meykadeh@modares.ac.ir

2 werner.sommer@cms.hu-berlin.de

3 batouli@sina.tums.ac.ir