

Research Paper



Neuronal Activity of Left Hemispheric Caudate Nucleus During Language-Switching: fMRI Evidence from Turkish-Persian Bilinguals



Simin Meykadeh^{1*}, Werner Sommer², Seyed AmirHossein Batouli³

1. PhD in Linguistics, Department of Linguistics, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Professor, Department of Psychology, Humboldt University of Berlin, Berlin, Germany.
3. Assistant Professor, Department of Neuroscience, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.



DOI: [10.22034/JMPR.2023.57614.5732](https://doi.org/10.22034/JMPR.2023.57614.5732)

URL: https://psychologyj.tabrizu.ac.ir/article_18162.html



ARTICLE INFO

Keywords:
Left Caudate Nucleus,
Bilingualism, L1,
Switching Cost, fMRI

Received: 2023/07/24
Accepted: 2023/08/17
Available: 2024/07/04

ABSTRACT

During switching from the dominant language into the non-dominant language, cognitive-related areas (i.e. caudate nucleus) are engaged in comprehending intra-sentential switches. The caudate nucleus is a component of the basal ganglia in the human brain which seems to be most implicated in the control of language (selection/inhibition). In a recent fMRI study, present authors detected the activation of the caudate nucleus specifically by the first language (L1) stimuli of bilinguals during a bilingual task at whole-brain level. Here, we explore the activation patterns of bilateral caudate nucleus in both L1 and L2 using a ROI-based approach. Therefore, 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 caudate nucleus. We suggest that co-activation is modulated by linguistic constraints such as predictability and sentence context of the task, and that the caudate nucleus mainly contributed in language selection.



* Corresponding Author: Simin Meykadeh

E-mail: a.meykadeh@modares.ac.ir



فعالیت نورونی هسته کودیت چپ در حین زبان‌گردانی: شواهد fMRI از دوزبان‌های ترکی-فارسی



سیمین میکه^{۱*}، ورنر زومر^۲، سید امیرحسین بتولی^۳

۱. دکتری زبان‌شناسی، گروه زبان‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲. استاد، گروه روان‌شناسی، دانشگاه هومبولت برلین، برلین، آلمان.

۳. استادیار، گروه علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.



DOI: [10.22034/JMPR.2023.57614.5732](https://doi.org/10.22034/JMPR.2023.57614.5732)

URL: https://psychologyj.tabrizu.ac.ir/article_18162.html



چکیده

مشخصات مقاله

کلیدواژه‌ها:

هسته کودیت چپ، دوزبانگی، زبان اول، بار زبان‌گردانی، fMRI

درک تغییرات بیناجمله‌ای به هنگام تغییر از زبان غالب به زبان غیرغالب، منجر به فعالیت نواحی مرتبط با شناخت می‌شود. هسته کودیت بخشی از عقده‌های قاعده‌ای در مغز انسان است که به نظر می‌رسد بیشتر در کنترل زبان (انتخاب/بازداری) نقش دارد. اخیراً، نویسندگان حاضر در یک مطالعه تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی (fMRI)، حساسیت هسته کودیت به محرک‌های زبان اول در دوزبان‌های ترکی-فارسی در حین یک تکلیف دوزبان در سطح کل-مغز (Whole-Brain) را شناسایی کردند. مطالعه حاضر درصدد است تا با اتخاذ رویکرد ناحیه موردنظر (ROI) الگوی فعالیت هسته کودیت دوجانبه را برای هر دو زبان اول و دوم بررسی کند. بدین‌منظور، درصد تغییر سیگنال محرک‌های دستوری و نادرستی در زبان اول و دوم به‌عنوان معیار «شدت» برای هر شرکت‌کننده استخراج شد. سی‌وشش فرد دوزبان ترکی-فارسی (۲۱ زن) که زبان فارسی را به‌طور رسمی از سن ۷ سالگی آموخته بودند، انتخاب شدند. بر مبنای شاخص تسلط دوزبان، هیچ تفاوت معناداری بین سطوح بالای بسندگی شرکت‌کنندگان در زبان اول (ترکی) و دوم (فارسی) وجود نداشت. شرکت‌کنندگان یک آزمون شنیداری قضاوت دستوری‌بودگی با پارادایم زبان‌گردانی جایگزین را در حین اخذ تصاویر fMRI اجرا کردند. نتایج مبتنی بر ROI، اثر دستوری‌بودگی را در زبان اول و کودیت چپ تأیید کرد. بر اساس یافته‌های حاضر، پیشنهاد می‌شود که (الف) فعالیت همزمان زبان‌ها با محدودیت‌های زبانی از جمله پیش‌بینی‌پذیری و بافت جملات یک تکلیف کنترل می‌شود و (ب) هسته کودیت چپ اساساً در انتخاب و بازداری یک زبان نقش ایفا می‌کند.

دریافت شده: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲

پذیرفته شده: ۱۴۰۲/۰۵/۲۶

منتشر شده: ۱۴۰۳/۰۴/۱۴

* نویسنده مسئول: سیمین میکه

رایانامه: a.meykadeh@modares.ac.ir

مقدمه

دوزبانه‌بودن، ویژگی بارز یک کاربر زبان محسوب می‌شود. برای کاربران زبان دوم، یادگیری ده‌ها هزار واژه، یک دستاورد استثنایی برای سیستم‌های نورواناتومیکال آنها به شمار می‌رود (تان و همکاران، ۲۰۱۱). افرادی که به بیش از یک زبان صحبت می‌کنند، می‌توانند به‌طور ارادی انتخاب کنند که کدام زبان را و در چه زمان خاصی استفاده کنند. در واقع، یک مغز دوزبانه نوع زبان نوشتاری و گفتاری را تعیین می‌کند، کلمات را در زبان انتخاب‌شده تولید می‌کند و مانع تولید کلمات در زبان انتخاب‌نشده می‌شود. در بافت چندزبانگی، زبان‌گردانی^۱ مکانیزی است که به‌طور خودکار در حین تغییر از زبانی به زبان دیگر عمل می‌کند (ابوطالبی، میازو و کاپا، ۲۰۰۰). مطالعات اخیر نقش ساختارهای زیرقشری را به عنوان پایه‌های عصبی زبان‌گردانی پیشنهاد داده‌اند.

عقدده‌های قاعده‌ای^۲، گروهی از ساختارهای زیرقشری^۴ محسوب می‌شود که متشکل از ۵ هسته پوتامن^۵، کودیت^۶، پالیدوم^۷، جسم سیاه^۸ و ساب‌تالامیک^۹ است. این هسته‌ها بخش مهمی از سیستم حافظه‌ضمنی هستند که زیربنای استخراج و محاسبه قواعد و قاعده‌مندی‌های زبان را تشکیل می‌دهند (اولمان^{۱۰}، ۲۰۰۴). فرضیه کنترل تطبیقی^{۱۱} (گرین و ابوطالبی، ۲۰۱۳؛ ابوطالبی و گرین، ۲۰۱۶) استدلال می‌کند که زبان‌گردانی^{۱۲} فرآیند پیچیده‌ایست که شامل حفظ هدف^{۱۳}، کنترل تداخل^{۱۴}، تشخیص نشانه برجسته^{۱۵}، بازداری پاسخ‌گزینشی^{۱۶}، و مشارکت/عدم‌مشارکت تکلیف^{۱۷} است. این فرایندها، شبکه‌ای از نواحی مغزی قشری و زیرقشری از جمله شکنج‌پیشانی‌تحتانی دوجانبه^{۱۸}، قشر سینگولیت قدامی^{۱۹}، لوبول‌آهیانه‌ای‌تحتانی^{۲۰}، کودیت، پوتامن، تالاموس^{۲۱} و مخچه^{۲۲} را درگیر می‌کند. نواحی زیرقشری از طریق کودیت و تالاموس چپ اطلاعات را از لوب پیشانی دریافت می‌کنند (لیو و همکاران، ۲۰۲۳). کودیت چپ نیز از طریق تالاموس راست، با تالاموس چپ مرتبط می‌شود و اطلاعات را به نواحی قشری انتقال می‌دهد (وو^{۲۳} و همکاران، ۲۰۱۹). برخی مطالعات تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی^{۲۴} (fMRI) با تمرکز بر دوزبانگی ارتباط ساختارهای زیرقشری را با کنترل دو یا چند زبان بررسی کرده‌اند و فعالیت مضاعف هسته کودیت را در حین زبان‌گردانی گزارش داده‌اند. به عنوان مثال، کرینیون^{۲۵} و همکاران (۲۰۰۶) با به‌کارگیری دوزبانه‌های ژاپنی-انگلیسی و آلمانی-

انگلیسی دریافتند که کودیت چپ در به‌کارگیری زبان‌ها توسط افراد دوزبانه نقش کنترلی و نظارتی دارد. ابوطالبی و همکارانش (۲۰۰۷) نیز در یک تکلیف قضاوت دستوری‌بودگی^{۲۶} و قضاوت معنامندی در دوزبانه‌های فرانسوی-ایتالیایی فعالیت هسته کودیت چپ را هنگام تغییر به زبان ضعیف‌تر (زبانی که کمتر در معرض آن بودند) مشاهده کردند. آنها پیشنهاد دادند که حساسیت هسته کودیت می‌تواند با مکانیزم‌های کنترل شناختی مرتبط باشد و بار زبان‌گردانی را منعکس کند. ابوطالبی و همکارانش (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای که روی دوزبانه‌های آلمانی-فرانسوی در بافت‌های تک‌زبانه و دوزبانه برای نامگذاری تصاویر^{۲۷} انجام دادند نیز مشاهده کردند که نامگذاری در زبان اول و بافت دوزبانه (در مقایسه با بافت تک‌زبانه) فعالیت بیشتری را در کودیت چپ ایجاد کرده است. در دوزبانه‌های اسپانیایی-کاتالان با بسندگی بالا و یادگیری زود هنگام زبان دوم در حین اجرای یک تکلیف نامگذاری تصاویر، فعالیت هسته کودیت چپ برای آزمایش‌های^{۲۸} زبان‌گردانی دیده شد (گاربین^{۲۹} و همکاران، ۲۰۱۱). البته، فعالیت ویژه زبان‌گردانی به کودیت چپ محدود نبوده و گزارشاتی از فعالیت کودیت راست در حین زبان‌گردانی نیز وجود دارد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ما^{۳۰} و همکاران، ۲۰۱۴؛ هروی-ادلمن^{۳۱} و همکاران، ۲۰۱۴؛ برگلیتا^{۳۲} و همکاران، ۲۰۱۶). صرف‌نظر از نوع نیمکره فعال، شواهد فوق‌الذکر بر اهمیت و نقش هسته کودیت در کنترل زبان در افراد دوزبانه صحه می‌گذارد.

مطالعات بیماران زبان‌پریش دوزبانه (و بیشتر) نیز فرضیه فوق را تأیید می‌کند. ابوطالبی، میازو و کاپا (۲۰۰۰)، یک فرد سه‌زبانه ارمنی-انگلیسی-ایتالیایی را گزارش کردند که به دنبال صدمه به کودیت چپ دچار اختلال زبان‌گردانی شده بود. در مطالعه دیگری یک فرد دوزبانه انگلیسی-هلندی نیز به زبان‌گردانی پاتالوژیک مبتلا شده بود که بررسی‌ها نشان داد ناشی از ضایعات مربوط به مدار کودیت چپ-لوب فرونتال وی بوده است (ماریان و همکاران، ۲۰۰۵). مواردی از این دست تأیید می‌کنند که آسیب به ساختارهای زیرقشری از جمله هسته کودیت می‌تواند منجر به انواع مختلف اختلالات در مکانیزم‌های دخیل در انتخاب زبان شود (ابوطالبی، میازو و کاپا، ۲۰۰۰).

17. Task engagement/disengagement
18. Bilateral inferior frontal gyrus (IFG)
19. Anterior cingulate cortex (ACC)
20. Inferior parietal lobule (IPL)
21. Thalamus
22. Cerebellum
23. Wu
24. Functional Magnetic Resonance Imaging
25. Crinion
26. Grammaticality judgement task
27. Picture naming
28. Trials
29. Garbin
30. Ma
31. Hervais-Adelman
32. Burgaleta

1. Language-switching
2. Abutalebi I, Miozzo & Cappa
3. Basal ganglia
4. subcortical
5. Putamen
6. Caudate Nucleus
7. Pallidum
8. Substantia nigra
9. Subthalamic
10. Ullman
11. The Adaptive Control Hypothesis (ACH)
12. Language switching
13. Goal maintenance
14. Interference control
15. Salient cue detection
16. Selective response inhibition

فراپند زبان‌گردانی در حین اجرای یک تکلیف دوزبانه در دوزبانه‌های متوازن^{۱۵} است. بر این اساس، نویسندگان حاضر درصدد هستند تا به این سوالات پاسخ دهند که (۱) آیا هسته کودیت بار زبان‌گردانی را در پردازش همزمان زبان اول و دوم منعکس می‌کند؟ (۲) چه تفاوتی در عملکرد کودیت چپ و راست برای پردازش زبان اول و دوم وجود دارد؟

روش

شرکت‌کنندگان

بر اساس فراخوان، در پژوهش تجربی حاضر، دانشجویان واجد شرایط (صرف‌نظر از نوع رشته) در مقطع دکتری دانشگاه‌های برتر تهران (از جمله تربیت مدرس، شهید بهشتی، صنعتی شریف، امیرکبیر، علامه طباطبائی و دانشگاه تهران) دعوت به همکاری شدند. از بین داوطلبان، ۳۶ دانشجوی ترک‌زبان (۲۱ زن و ۱۵ مرد به ترتیب با میانگین سنی و انحراف معیار $27/3 \pm 7/15$ و $26/87 \pm 2/97$ ، در محدوده سنی ۲۲-۳۴ سال) به صورت هدفمند انتخاب شدند. در مطالعات fMRI، حداقل حجم نمونه برای هر گروه ۱۵ نفر پیشنهاد شده است (فریستن، ۲۰۱۲). 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. ملاک‌های خروج از مطالعه هم شامل چپ‌دستی، ترس از محیط بسته^{۱۶} و اعتیاد به دخانیات بود. بنا بر اظهارات شخصی، همه شرکت‌کنندگان در زندگی روزمره خود با زبان ترکی ارتباط برقرار می‌کردند. پس از غربالگری اولیه، افراد ملزم به شرکت در جلسه ارزیابی رفتاری در گروه زبان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس بودند. بر اساس آزمون دست‌برتری ادینبورگ همه افراد راست‌دست بودند. جهت سنجش ظرفیت حافظه فعال، تکلیف فراخانی خواندن (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 دستوری‌بودگی شبیه‌سازی‌شده از شرکت‌کنندگان اخذ شد. با توجه به ماهیت آزمایش اصلی، این خرده آزمون (شامل ۳۰ آیتم) به‌صورت شنیداری

در حوزه دوزبانگی، کنترل شناختی^۱ یک عامل اساسی در توانش زبان به شمار می‌رود (لرمان و ابلر، ۲۰۱۷). دوزبانگی منابع حافظه فعال را برای مدیریت زبان‌هایی که به‌طور پیوسته برای گزینش رقابت می‌کنند، به‌کار می‌گیرد (آنتون^۳ و دیگران، ۲۰۱۹). بر اساس فرضیه آستانه فعالیت (پردیس^۴، ۲۰۰۱) در حین زبان‌گردانی، دوزبانه‌ها یک زبان را به‌عنوان زبان پایه انتخاب می‌کنند (غالباً زبان مادری) و زبان دیگر را به‌عنوان زبان مهمان در نظر می‌گیرند. بنابراین هر دو زبان فعال هستند ولی زبان پایه فعالیت بیشتری دارد (گرین^۵، ۱۹۹۸). فعالیت بیشتر زبان پایه منجر به یک اثر نامتقارن می‌شود که در حین پردازش جملات زبان دوم باید مهار شود. بنابراین، هنگامی که دوزبانه‌ها در تلاش‌اند تا زبان اولشان را بعداً بازیابی کنند، دسترسی به بازنمایی‌های مهارشده در زبان اول زمان‌بر خواهد بود (چو^۶ و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعه دوزبانه‌های چینی-انگلیسی تأیید کرد که کنترل زبانی مرتبط با زبان‌گردانی، الگوهای فعالیت متفاوتی را در افراد دوزبانه ایجاد می‌کند (وانگ^۷ و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعه دیگری که با هدف بررسی کنترل زبان با روش پتانسیل‌های وابسته به رویداد^۸ اجرا شد، کریستافلز، فرک و شیلر^۹ (۲۰۰۷) مؤلفه منفی فرونتال^{۱۰} را برای کنترل زبان فقط در زبان اول، و نه زبان دوم، مشاهده کردند. این پژوهشگران پیشنهاد کردند که افراد دوزبانه زبان‌هایشان را به صورت گزینشی با دسترسی فقط زبان اول - به جای فعالیت نسبی هر دو زبان اول و دوم - کنترل می‌کنند.

در پژوهش حاضر - برای نخستین بار - دوزبانه‌های ترکی-فارسی مورد آزمایش قرار گرفتند. زبان‌های ترکی و فارسی مشخصه‌های دستوری مشترکی دارند که عامل مهمی در کنترل پردازش زبان دوم محسوب می‌شود. این دو زبان به ترتیب به زیرشاخه‌های آلتایی و هندوایرانی از خانواده زبان‌های هندواروپایی تعلق دارند. در حالت بی‌نشان هر دو دارای ترتیب واژه زبان فاعل-مفعول-فعل^{۱۱} هستند و از ویژگی‌های نحوی خاصی مانند مطابقت فعلی^{۱۲} پیروی می‌کنند. مطابقت فاعل-فعل در زبان فارسی و ترکی مستلزم تطابق مشخصه‌های شخص و شمار است. بنابراین، در هر دو زبان، فعل به صورت اجباری با فاعل جاندار در مشخصه‌های شخص و شمار مطابقت برقرار می‌کند و برای سه شخص مفرد و جمع صرف می‌شود. بر اساس توصیف نحو مشترک^{۱۳} (هارتسوک^{۱۴} و دیگران، ۲۰۰۴)، مادامیکه بازنمایی‌های نحوی بین زبان‌ها مشابه باشند، دوزبانه‌ها بازنمایی‌ها را بین زبان‌ها به اشتراک می‌گذارند. لذا، با توجه به کنترل نوع زبان در پژوهش حاضر، هر گونه فعالیت مشاهده شده برای زبان اول و دوم به مکانیزم‌های زبان‌گردانی قابل انتساب است.

حال با توجه به مطالب عنوان شده در ارتباط با عملکرد هسته کودیت در کنترل زبان، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی نقش این ناحیه مغزی در

11. Subject-object-verb (SOV)
12. Verbal agreement
13. Shared syntax account
14. Hartsuiker
15. Balanced bilingual

دوزبانه متوازن به کسی اطلاق می‌گردد که تسلطش به هر دو زبان یکسان است (پورمحمد، ۱۳۹۷).

16. Claustrophobia

1. Cognitive control
2. Lerman & Obler
3. Antón
4. Paradis
5. Green
6. Zhu
7. Wang
8. Event-related potential (ERP)
9. Christoffels, Firk & Schiller
10. Frontal Negativity

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. 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 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 بودند (جدول ۱) (برای جزئیات بیشتر میکده و دیگران ۲۰۲۱ الف را ببینید).

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^۴، از طریق هدفون ارائه شد. الگوی تحریک وابسته به رویداد^۵، شامل ۴ بلوک جملات شنیداری، ۴ بازه استراحت و نیز پارادایم زبان‌گردانی جایگزین^۶ به کارگرفته شد. هر بلوک متشکل از ۳۲ بخش^۷ است که برای ثبت پاسخ همودینامیکی^۸ 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 (میانگین ۵ ثانیه) بود. در هر بلوک، جملات 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^۹ 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^{۱۰}، ۲۰۱۵). اجرای آزمون fMRI به انضمام مرحله آماده‌سازی تقریباً ۳۵ دقیقه به ازای هر فرد به طول انجامید (برای جزئیات بیشتر میکده، گلفام، زومر و بتولی (در دست چاپ) و میکده، خادم، سالیپتزیو و زومر (۲۰۲۳) را ببینید).

پروتکل تصویربرداری

تصاویر fMRI توسط اسکنر MRI سه تسلا یمنس مدل پریزما^{۱۱} با کویل سر ۲۰ کاناله^{۱۲} 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. زمان تصویربرداری عملکردی ۱۲۹۰ ثانیه و ۴۳۰ حجم بود. هر حجم متشکل از ۴۵ اسلایس است.

7. run
8. Hemodynamic baseline
9. Sequence-based language switching paradigm
10. Declerck & Philipp
11. 3.0 Tesla Siemens Prisma MRI Scanner
12. 20 channel head coil

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 (هالینگزهد^۱، 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 دیگران، ۲۰۲۱ ب مراجعه شود). ضمناً، میزان تسلط دوزبان‌ها به زبان اول و دوم بر اساس معیار تسلط دوزبان^۲ (دان و فاکس‌تری^۳، ۲۰۰۹) ارزیابی و اختلاف معناداری مشاهده نشد. افراد با رضایت کتبی در این آزمایش شرکت و حق‌الزحمه 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.

جدول ۱: نمونه‌ای از مواد آزمون در زبان ترکی و فارسی با حرف‌نویسی و ترجمه انگلیسی (اقتباس از میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف)

زبان اول (ترکی)
<p>مطابقت دستوری</p> <p>Man_{1.sg} pältâr-e-mi yudum_{1.sg}. I cloth-HI-OBJ-CLT.Def wash.PAST-1SG (I washed my cloth.)</p>
<p>نقض مطابقت دستوری</p> <p>*Biz kitâb-lar-i-mizi gatirdim. We book-PL-HI-OBJ-CLT.Def bring-PAST-1SG (We brought our books)</p>
زبان دوم (فارسی)
<p>مطابقت دستوری</p> <p>Man_{1.sg} nazar-aş râ paziroftam_{1.sg}. I offer-OBJ-CLT.Def accept.PAST-1SG (I accepted her/his offer.)</p>
<p>نقض مطابقت دستوری</p> <p>*Ma_{1.pt} bedehkari-ye-mân râ pardâxtam_{1.sg}. We debt-HI-OBJ-CLT.Def pay.PAST-1SG (We paid our debts.)</p>

* جملات غیردستوری. زیر هجای هدف خط کشیده شده است.

مواد آزمون

مواد آزمون برگرفته از مطالعه میکده و دیگران (۲۰۲۱ الف) است. یک تکلیف قضاوت دستوری بودگی طراحی شد که شامل ۶۴ جمله فارسی و ۶۴ جمله

1. Hollingshead
2. Bilingual Dominance Scale (BDS)
3. Dunn & Fox Tree
4. PsychoPy
5. Event-related design
6. alternating language switching paradigm

جدول ۲: پروتکل‌های تصویربرداری ساختاری و عملکردی

نام پروتکل	T1-weighted MP-RAGE (ساختاری)	T2-weighted EPI-BOLD (عملکردی)
اندازه وکسل ۱ (mm ³)	۱ × ۱ × ۱	۳ × ۳ × ۳
اندازه ماتریس (mm ²)	۲۵۶	۶۴
زمان اکو (ms) (TE)	۳/۵۳	۳۰
زمان تکرار (ms) (TR)	۱۸۰۰	۳۰۰۰
ضخامت اسلایس (mm)	۱	۳
میدان دید (mm ²) (FOV)	۲۵۶	۱۹۲
زاویه چرخش (deg) α	۷°	۹۰°

پیش‌پردازش تصاویر

پیش‌پردازش تصاویر با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزار FSL مدل ۶/۰۰ مجموعه^۱ FMRIB به شرح زیر انجام شد: (۱) حذف حجمه و استخراج قشر مغز (۲) انطباق داده ساختاری T1-MPRAGE بر روی اطلس MNI و سپس انطباق داده‌های عملکردی بر آن (۳) تصحیح حرکت سر^۲ (۴) تصحیح زمان‌بندی برش‌ها^۴ با استفاده از درون‌یابی فوریه (۵) نرم کردن مکانی^۵ توسط فیلتر کرنل گوسی با FWHM برابر با ۶ میلی‌متر (۶) نرمال کردن^۶ دامنه^۷ حجم‌ها در هر نقطه زمانی بر پایه شدت میانگین (۷) فیلتر کردن زمانی^۷ توسط فیلتر بالاگذر گوسی با سیگمای ۵۰ ثانیه (۸) حذف مؤلفه‌های نویز از تصاویر پیش‌پردازش شده با استفاده از روش ICA (۹) نهایتاً، از مدل خطی عمومی (GLM)^۸ جهت آنالیز سطح اول (اجرای فردی) و دوم (اجرای گروهی) استفاده شد. با استفاده از مدل تأثیر^۹ مخلوط، آنالیزهای بین‌گروهی انجام و وکسل‌هایی با z-stat بالای ۳/۱ و سطح معناداری کمتر از $p < 0.05$ به صورت وکسل فعال تشخیص داده شد. فقط جملاتی که به آن‌ها پاسخ درست داده شده بود، در چرخه آنالیز قرار گرفتند.

روش تحلیل آماری

طبق مطالعات قبلی (میکده، ۱۴۰۰؛ میکده و زومر، ۱۴۰۲؛ میکده، زومر و بتولی، در دست چاپ) درصد تغییر سیگنال^{۱۰} به عنوان معیار «شدت»^{۱۱} برای هر شرکت‌کننده در این ناحیه مغزی مطابق با اطلس هاروارد-آکسفورد^{۱۲} 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 مدل ۲۶ انجام شد.

تغییرات شدت سیگنال از طریق آزمون استنباطی تحلیل واریانس آمیخته با اندازه‌گیری‌های مکرر $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ دستوری بودگی (دستوری، نادرستی) \times زبان (زبان اول = ترکی، زبان دوم = فارسی) نیمکره (چپ، راست) \times (جنسیت (زن، مرد)) بررسی شد.

یافته‌ها

یافته‌های رفتاری

شرکت‌کننده‌ها، به‌طور میانگین، به بیش از ۹۹٪ محرک‌ها پاسخ درست دادند. درصد پاسخ درست (و انحراف معیار) برای زبان اول ۹۸/۹۶٪ (±۱/۱۸) و برای زبان دوم ۹۹/۶۱٪ (±۰/۷۹) بود. میانگین زمان واکنش (و انحراف معیار) به محرک‌های زبان اول و زبان دوم به ترتیب ۰/۸۸ (±۰/۳۷) و ۰/۷۸ (±۰/۳۶) میلی‌ثانیه بود.

1. Voxel size
2. www.fmrib.ox.ac.uk/fsl
3. Head Motion Correction
4. Slice Timing Correction
5. Spatial Smoothing
6. Normalization
7. Temporal Filtering
8. Generalized Linear Model
9. Mixed effects
10. Percent Signal Change (PSC)
11. Intensity
12. Harvard-Oxford Atlas

جدول ۳: نتایج آزمون‌های رفتاری صحت پاسخ و زمان واکنش

مجدور اتا	معناداری	درجه آزادی	آماره F	منبع تغییرات	آزمون رفتاری
۰/۲۷۳	۰/۰۰۱	۱	۱۲/۷۵۰	دستوری بودگی	صحت پاسخ
۰/۳۵۳	<۰/۰۰۱	۱	۱۸/۵۵۶	زبان	
۰/۱۷۹	<۰/۰۱۰	۱	۷/۳۸۹	دستوری بودگی × زبان	
۰/۱۲۲	۰/۰۳۷	۱	۴/۷۳۹	دستوری بودگی	زمان واکنش
۰/۲۰۹	۰/۰۰۵	۱	۸/۹۸۱	زبان	
۰/۱۰۴	۰/۰۵۵	۱	۳/۹۵۴	دستوری بودگی × زبان	

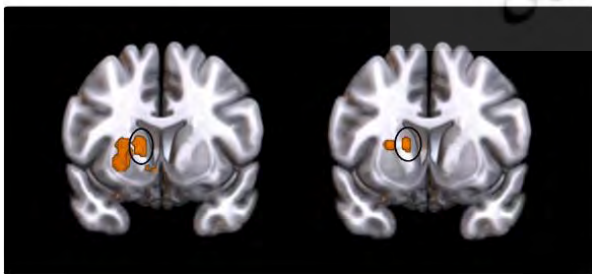
یافته‌های فعالیت کل-مغز

فعالیت ناحیه هسته‌های کودیت در حین ارائه محرک‌های دستوری و نادرستی زبان اول در سطح کل-مغز^۱ مشاهده شد (میکده و دیگران، ۲۰۲۱؛ شکل ۲ را ببینید). با یک مقایسه چشمی فعالیت بیشتر محرک‌های نادرستی در مقایسه با محرک‌های دستوری کاملاً روشن است. در ادامه آنالیزی بر مبنای ناحیه هسته‌های کودیت به‌عنوان ناحیه مطلوب^۲ اجرا شد تا الگوی فعالیت همه محرک‌ها در این ناحیه مغزی آشکار گردد (پلدرک^۳، ۲۰۰۷). موقعیت هسته کودیت در شکل ۲ الف نشان داده شد.

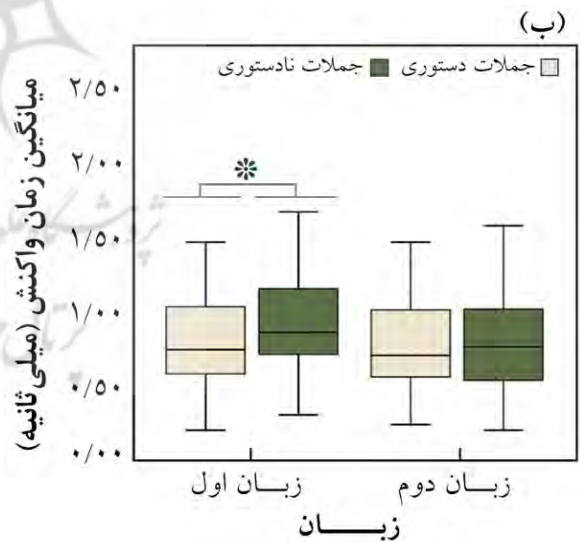
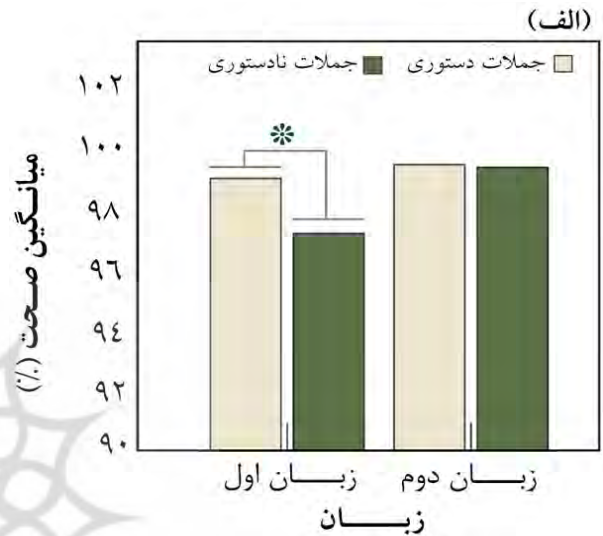
(الف)



(ب)



شکل ۲: (الف) موقعیت هسته کودیت؛ (ب) فعالیت کل-مغز (نارنجی) در جملات دستوری (تصویر سمت راست) و نادرستی (تصویر سمت چپ) زبان اول برای هسته کودیت نسبت به خط مبدأ. دایره مشکی رنگ مکان فعالیت هر محرک را نشان می‌دهد.



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

3. Poldrack

1. Whole-brain
2. Region of Interest (ROI)

یافته‌های هسته‌های کودیت

نتایج حاصل از تحلیل واریانس آمیخته $2 \times 2 \times 2 \times 2$ برای هسته کودیت، معناداری عامل اصلی دستوری‌بودگی (با شدت درصد تغییر سیگنال بیشتر در جملات نادرستی (۰/۶۷۴) به نسبت جملات دستوری (۰/۶۰۷) و زبان (زبان با شدت درصد تغییر سیگنال بیشتر در زبان اول (۰/۷۰۳) به نسبت زبان دوم (۰/۵۷۸)) را نشان داد (نتایج در جدول ۳ خلاصه شد).
اثر تعاملی دستوری‌بودگی \times زبان به سطح معناداری رسید. با در نظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی، در زبان اول درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی (۰/۷۷۳) در مقایسه با جملات دستوری (۰/۶۳۲) بیشتر بود

($p = 0.001$, $F = 3.472$, $t(35) = 3.5$)، اما در زبان دوم اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی (۰/۵۷۵) و دستوری (۰/۵۸۲) مشاهده نشد ($p = 0.840$, $t(35) = 0.204$). با در نظر گرفتن عامل زبان، در جملات نادرستی درصد تغییر سیگنال در زبان اول (۰/۷۷۳) در مقایسه با زبان دوم (۰/۵۷۵) بیشتر بود ($p < 0.001$, $t(35) = 5.091$)، اما در جملات دستوری هیچ تفاوتی بین درصد تغییر سیگنال زبان اول (۰/۶۳۲) و دوم (۰/۵۸۲) مشاهده نشد ($p = 0.177$, $t(35) = 1.377$).

جدول ۳: نتایج آزمون تحلیل واریانس ۴-راهه در هسته‌های کودیت

منبع تغییرات	آماره F	درجه آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری‌بودگی	۴/۹۵۹	۱	۰/۰۳۳	۰/۱۲۷
دستوری‌بودگی \times جنسیت	۰/۳۴۳	۱	۰/۵۶۲	۰/۰۱۰
زبان	۲۲/۵۰۶	۱	<۰/۰۰۱	۰/۳۹۸
زبان \times جنسیت	۰/۳۶۴	۱	۰/۵۵۰	۰/۰۱۱
نیمکره	۰/۳۵۵	۱	۰/۵۵۵	۰/۰۱۰
نیمکره \times جنسیت	۱/۰۹۷	۱	۰/۳۰۲	۰/۰۳۱
دستوری‌بودگی \times زبان	۶/۷۲۱	۱	۰/۰۱۴	۰/۱۶۵
دستوری‌بودگی \times زبان \times جنسیت	۰/۲۰۳	۱	۰/۶۵۵	۰/۰۰۶
دستوری‌بودگی \times نیمکره	۴/۵۵۴	۱	۰/۰۴۰	۰/۱۱۸
دستوری‌بودگی \times نیمکره \times جنسیت	۲/۴۸۱	۱	۰/۱۲۴	۰/۰۶۸
زبان \times نیمکره	۴/۴۰۲	۱	۰/۰۴۳	۰/۱۱۵
زبان \times نیمکره \times جنسیت	۱/۹۸۲	۱	۰/۱۶۸	۰/۰۵۵
دستوری‌بودگی \times زبان \times نیمکره	۶/۷۹۶	۱	۰/۰۱۳	۰/۱۶۷
دستوری‌بودگی \times زبان \times نیمکره \times جنسیت	۰/۵۵۵	۱	۰/۴۶۱	۰/۰۱۶

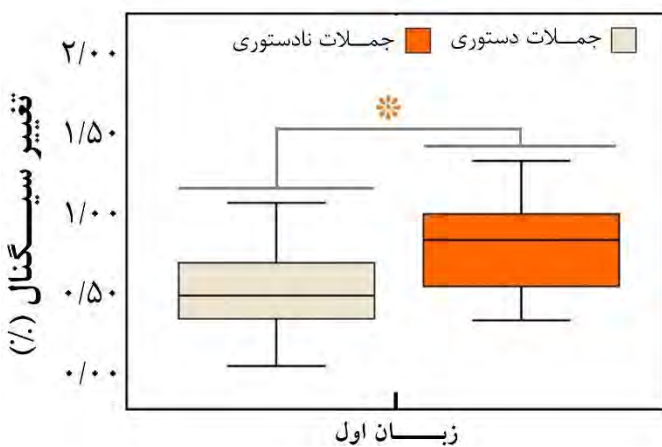
(۰/۷۱۲) در مقایسه با نیمکره راست (۰/۶۹۳) معنادار نبود ($p = 0.765$ ، $t(35) = 0.301$)، بلکه در زبان دوم هم اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۰/۵۴۶) در مقایسه با نیمکره راست (۰/۶۱۱) دیده نشد ($p = 0.232$, $t(35) = 1.216$).

نهایتاً، تعامل سه عامل دستوری‌بودگی \times زبان \times نیمکره به سطح معناداری رسید. با در نظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی، در نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی زبان اول (۰/۸۲۸) در مقایسه با جملات دستوری زبان اول (۰/۵۹۵) بیشتر بود ($p < 0.001$, $t(35) = 4.245$) (شکل ۳)، اما، هیچ اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی زبان دوم (۰/۵۴۵) در مقایسه با جملات دستوری زبان دوم (۰/۵۴۷) مشاهده نشد ($p = 0.965$, $t(35) = -0.045$). در نیمکره راست نه تنها درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی زبان اول (۰/۷۱۸) در مقایسه با جملات دستوری زبان اول (۰/۶۶۹) متفاوت نبود ($p = 0.220$, $t(35) = 1.249$)، بلکه، درصد تغییر سیگنال جملات نادرستی زبان دوم (۰/۶۰۴) در مقایسه با جملات دستوری زبان دوم (۰/۷۳۸) متمایز نبود ($p = 0.738$, $t(35) = -0.337$). با در نظر گرفتن عامل زبان، در جملات دستوری نیمکره چپ اختلافی در درصد

اثر تعاملی دستوری‌بودگی \times نیمکره نیز معنادار بود. با در نظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی، در نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال در جملات نادرستی (۰/۶۸۶) در مقایسه با جملات دستوری (۰/۵۷۱) بیشتر بود ($p = 0.006$ ، $t(35) = 0.935$)، اما در نیمکره راست درصد تغییر سیگنال در جملات نادرستی (۰/۶۶۱) در مقایسه با جملات دستوری (۰/۶۴۳) متمایز نبود ($p = 0.535$, $t(35) = 0.627$). با در نظر گرفتن عامل نیمکره، نه تنها در جملات نادرستی درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۰/۶۸۶) در مقایسه با نیمکره راست (۰/۶۶۱) متمایز نبود ($p = 0.647$, $t(35) = 0.462$)، بلکه در جملات دستوری هم هیچ تفاوتی در درصد تغییر سیگنال نیمکره چپ (۰/۵۷۱) و نیمکره راست (۰/۶۴۳) مشاهده نشد ($p = 0.247$, $t(35) = -1.177$). همچنین، اثر تعاملی زبان \times نیمکره معنادار بود. با در نظر گرفتن عامل زبان، در نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال جملات زبان اول (۰/۷۱۲) در مقایسه با زبان دوم (۰/۵۴۶) بیشتر بود ($p < 0.001$, $t(35) = 4.712$)، در نیمکره راست هم درصد تغییر سیگنال جملات زبان اول (۰/۶۹۴) از زبان دوم (۰/۶۱۱) متمایز بود ($p = 0.005$, $t(35) = 3.012$). با در نظر گرفتن عامل نیمکره، نه تنها در زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ

(۰/۶۰۴) دیده نشد ($t_{(35)} = -0/972, p = 0/337$). همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، عامل جنسیت با سایر عوامل در تعامل نبود.

تغییر سیگنال زبان اول (۰/۵۹۵) در مقایسه با زبان دوم (۰/۵۴۷) مشاهده نشد ($t_{(35)} = 1/294, p = 0/204$). در جملات دستوری نیمکره راست هم هیچ تفاوتی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۰/۶۶۹) در مقایسه با زبان دوم (۰/۶۱۷) دیده نشد ($t_{(35)} = 1/225, p = 0/229$). اما، در جملات نادرستی نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال در زبان اول (۰/۸۲۸) در مقایسه با زبان دوم (۰/۵۴۵) بیشتر بود ($t_{(35)} = 4/541, p < 0/001$). در جملات نادرستی نیمکره راست هم درصد تغییر سیگنال زبان اول (۰/۷۱۸) در مقایسه با زبان دوم (۰/۶۰۴) بیشتر بود ($t_{(35)} = 3/556, p = 0/001$). 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 (۰/۵۹۵) در مقایسه با نیمکره راست (۰/۶۶۸) دیده نشد ($t_{(35)} = -1/096, p = 0/281$), بلکه در زبان دوم هم اختلافی در درصد تغییر سیگنال نیمکره چپ (۰/۵۴۷) در مقایسه با نیمکره راست (۰/۶۱۷) یافت نشد ($t_{(35)} = -1/187, p = 0/243$). از سوی دیگر، در جملات نادرستی زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۰/۸۲۸) در مقایسه با نیمکره راست (۰/۷۱۸) متمایز نبود ($t_{(35)} = 1/703, p = 0/098$). در جملات نادرستی زبان دوم هم اختلافی در درصد تغییر سیگنال نیمکره چپ (۰/۵۴۵) در مقایسه با نیمکره راست



شکل ۳: نمودار جعبه‌ای درصد تغییر سیگنال برای اثر دستوری‌بودگی در هسته کودیت چپ برای زبان اول؛ علامت ستاره نشانه معناداری است.

نتایج آزمون‌های تی‌زوجی برای عامل دستوری‌بودگی به ازای هر نیمکره و زبان در جدول ۴ ذکر شد.

جدول ۴: نتایج آزمون تی‌زوجی برای اثر دستوری‌بودگی در هسته کودیت

نیمکره	زبان	میانگین شدت تغییر سیگنال (%) (انحراف معیار)	آماره t
چپ	زبان اول	۰/۲۳۲ (۰/۳۱)	۴/۲۴۵***
	زبان دوم	-۰/۰۰۲ (۰/۳۲)	-۰/۰۴۵
راست	زبان اول	۰/۰۴۹ (۰/۲۴)	۱/۲۴۹
	زبان دوم	-۰/۰۱۳ (۰/۲۱)	-۰/۳۳۷

میازو و کاپا، ۲۰۰۰؛ ماریان و همکاران، ۲۰۰۵) گزارش کرده‌اند. افزون بر این، یافته فعلی مؤید مطالعاتی است که نقش هسته کودیت چپ را در جنبه‌های مختلف کنترل زبان از جمله انتخاب زبان (برنزی^۱ و همکاران، ۲۰۱۶) و تغییر زبان (ابوطالبی و همکاران، ۲۰۱۳) شناسایی کرده‌اند. شواهدی هم وجود دارد که نقش این ناحیه را در مکانیزم‌های مهارکننده تداخل واژه (عالی^۲ و همکاران، ۲۰۱۰) و تکالیف مختلفی از جمله نامگذاری تصاویر، ترجمه، قضاوت معنایی و درک روایی (پرایس^۳ و همکاران، ۱۹۹۹؛ گیل‌روبلز^۴ و همکاران، ۲۰۰۵؛ کرینیون و همکاران، ۲۰۰۶؛ ابوطالبی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ابوطالبی و همکاران، ۲۰۰۷) در حین زبان‌گردانی نشان می‌دهد. در مجموع، بر پایه این یافته‌ها می‌توان استدلال کرد که هسته کودیت، در بین دیگر کارکردهای شناختی، نقش مهمی در عملکردهای اجرایی دارد (گالو^۵ و همکاران، ۲۰۲۳). مشخصاً، هسته کودیت در تکالیف مرتبط با حافظه فعال درگیر است (کول و دسپزیتو^۶، ۲۰۱۱).

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین نقش ساختارهای زیرقشری و مشخصاً هسته کودیت در حین زبان‌گردانی (پردازش همزمان زبان اول و دوم) در دوزبان‌های متوازن ترکی (زبان اول-فارسی (زبان دوم) انجام شد. محرک‌های زبان اول و دوم به صورت متوالی توزیع شدند که مستلزم مشارکت و عدم مشارکت متناوب بین زبان‌هاست. نتایج مبتنی بر آنالیز کل-مغز نشان از دخالت هسته کودیت در فرایند زبان‌گردانی دارد که مؤید فرضیه کنترل تطبیقی است (گرین و ابوطالبی، ۲۰۱۳؛ ابوطالبی و گرین، ۲۰۱۶). مشخصاً، فعالیت هسته کودیت چپ در جملات دستوری و نادرستی مشاهده شد که در راستای مطالعات پیشین است که فعالیت کودیت چپ را در حین زبان‌گردانی در افراد دوزبان سالم (کرینیون و همکاران، ۲۰۰۶؛ ابوطالبی و همکاران، ۲۰۰۷؛ ابوطالبی و همکاران، ۲۰۰۸؛ و گاربین و همکاران، ۲۰۱۱) و بیمار (ابوطالبی،

4. Gil Robles
5. Gallo
6. Cools and D'Esposito

1. Branzi
2. Ali
3. Price

تشکر و قدردانی

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 (Humboldt-Universität zu Berlin) آلمان تحت راهنمایی نویسنده دوم این مقاله برخوردار بوده است؛ بدین وسیله از همکاری آن سازمان متبوع قدردانی می‌گردد.

منابع

- پورمحمد، مهدی. (۱۳۹۷). 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 fMRI و ERPs. رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- میکده، سیمین و زومر، ورنر. (۱۴۰۲). عدم تفاوت‌های جنسیتی در پردازش مشخصه‌های فای در افراد دوزبانه متوازن: مطالعه‌ای بر پایه تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی (fMRI). پژوهش‌های زبان‌شناسی تطبیقی، ۱۳(۲۵).
- میکده، سیمین؛ زومر، ورنر و بتولی، سید امیر حسین. (در دست چاپ). مخچه و پردازش نحوی در افراد دوزبانه: شواهدی از قضاوت دستوری‌بودگی با استفاده از fMRI. علم زبان.
- Ali, N., Green, D. W., Kherif, F., Devlin, J. T., & Price, C. J. (2010). The role of the left head of caudate in suppressing irrelevant words. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(10), 2369-2386.
- Antón, E., Carreiras, M., & Duñabeitia, J. A. (2019). The impact of bilingualism on executive functions and working memory in young adults. *PLoS One* 14: e0206770
- Abutalebi, J., Annoni, J. M., Zimine, I., Pegna, A. J., Seghier, M. L., Lee-Jahnke, H., Lazeyras, F., Cappa, S. F., & Khateb, A. (2008). Language control and lexical competition in bilinguals: an event-related FMRI study. *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 18(7), 1496-1505.
- Abutalebi, J., Brambati, S. M., Annoni, J. M., Moro, A., Cappa, S. F., & Perani, D. (2007). The neural cost of the auditory perception of language switches: an event-related functional magnetic resonance imaging study in bilinguals. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 27(50), 13762-13769.
- Abutalebi, J., Della Rosa, P. A., Ding, G., Weekes, B., Costa, A., & Green, D. W. (2013). Language proficiency

نتایج مبتنی بر ROI در پژوهش حاضر نیز نشان داد که اثر دستوری‌بودگی در هسته کودیت چپ در حین تکلیف زبان‌گردانی در دوزبانه‌های ترکی-فارسی فقط در زبان اول به سطح معناداری رسید. این یافته که بیانگر اثر زبان‌گردانی و مهار زبان‌هاست، در راستای فرضیه آستانه فعالیت است (پردیس^۱، ۲۰۰۱) که مدعی است دوزبانه‌ها در حین زبان‌گردانی^۲ یک زبان را به عنوان زبان غالب^۳ و زبان دیگر را به عنوان زبان مهمان^۴ انتخاب می‌کنند. بنابراین، در مطالعه حاضر پیشنهاد می‌شود که دوزبانه‌های ترکی-فارسی به زبان اولشان متکی بودند و زبان ترکی به عنوان زبان غالب در این افراد عمل کرده است. به عبارتی دیگر، فعالیت بیشتر زبان ترکی منجر به اثرات تغییر نامتقارن^۵ شده است (چو و همکاران، ۲۰۲۰)، زیرا در بافت زبان‌گردانی، هنگامیکه (از بین دو زبان) تغییر به سمت محرک‌های زبان اول انجام می‌شود، مهار زبان اول (که فعالیت بیشتری داشت) در طول پردازش جملات زبان دوم باید غلبه شود که خود منجر به فعالیت بیشتر نواحی درگیر فرایند مهار می‌شود (میکده و همکاران، ۲۰۲۱ الف). در همین راستا، در مطالعه ابوطالبی و همکارانش (۲۰۰۸) که روی دوزبانه‌های آلمانی-فرانسوی و در بافت‌های تک‌زبانه و دوزبانه در حین تکلیف نامگذاری تصاویر^۶ اجرا شده بود نیز فعالیت بیشتری در کودیت چپ برای زبان اول و بافت دوزبانه (در مقایسه با بافت تک‌زبانه) گزارش شد.

از سوی دیگر، نتایج رفتاری مطالعه حاضر نشان از واکنش کمتر برای زبان دوم به نسبت زبان اول دارد. در مقابل، تغییر به زبان غالب (زبان اول)، مستلزم زمان بیشتری است تا به مهار قبلی که به این زبان اعمال شده است، غلبه گردد. به عبارت دیگر، به این دلیل که زبان دوم زبان ضعیف‌تری محسوب می‌شود کنترل شناختی مضاعفی لازم است تا زبان دوم را پس از تولید زبان اول بازفعال کند (ژیو و همکاران، ۲۰۲۰)، که این دستاورد نیز در راستای نتایج تصویربرداری مطالعه حاضر است. بنابراین، حساسیت هسته کودیت برای زبان اول بر نقش کلیدی این ناحیه مغزی در کنترل رفتاری و شناختی تأکید دارد که سابقاً نیز گزارش شده است (ابوطالبی و همکاران، ۲۰۰۷؛ پرز و دونابایتیا^۷، ۲۰۱۹). روی‌هم‌رفته، نتایج فعلی نشان از دخالت هسته کودیت چپ در پردازش همزمان دو زبان در افراد دوزبانه دارد که حاکی از نقش ویژه این ناحیه در بین سایر نواحی شبکه کنترل زبان در مدیریت زبان در دوزبانه‌ها دارد.

مهم‌ترین محدودیت پژوهش حاضر نبود آزمون استاندارد بسندگی در زبان فارسی و ترکی بود. اگرچه تلاش شد تا از طریق آزمون‌های رفتاری (که در بخش روش پژوهش به تفصیل تشریح شد)، افراد دوزبانه واجد شرایط مطالعه حاضر به کار گرفته شوند، اما وجود چنین آزمون‌هایی می‌تواند کمک قابل شایانی به کیفیت مطالعات زبانی بکند و اجرای این نوع مطالعات را تسریع کند. بنابراین طراحی آزمون‌های بسندگی نه تنها در زبان فارسی، که در سایر زبان‌های ایرانی از جمله ترکی، کردی، بلوچی و ... بیش از پیش ضروری می‌نماید.

1. Paradis
2. language-switching
3. Matrix language
4. Guest language

5. Asymmetrical switch effects
6. Picture naming
7. Pérez and Duñabeitia

- Hervais-Adelman, A., Moser-Mercer, B., Michel, C. M., & Golestani, N. (2015). fMRI of Simultaneous Interpretation Reveals the Neural Basis of Extreme Language Control. *Cerebral cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 25(12), 4727–4739.
- Hollingshead, A. (1975). *Four Factor Index of Social Status*. Unpublished Manuscript. New Haven, CT: Yale University Department of Sociology.
- Lerman, A., & Obler, L. (2017b) "Aging in bilinguals: normal and abnormal," in *Handbook of Psychology of Bilingualism: The Cognitive and Emotional World of Bilinguals. The Bilingual Mind and Brain Book Series*, Eds A. Ardila, A. Cie'slicka, R. Heredia and M. Rosselli (Cham: Springer).
- Liu, H., Guo, Z., J, Y., Schwieter, J. W., & Wang, F. (2023), Neural circuits underlying language control and modality control in bilinguals: An fMRI study. *Neuropsychologia*, 178, 102430.
- Ma, H., Hu, J., Xi, J., Shen, W., Ge, J., Geng, F., Wu, Y., Guo, J., & Yao, D. (2014). Bilingual cognitive control in language switching: an fMRI study of English-Chinese late bilinguals. *PLoS one*, 9(9), e106468.
- Mariën, P., Abutalebi, J., Engelborghs, S., & De Deyn, P. P. (2005). Pathophysiology of language switching and mixing in an early bilingual child with subcortical aphasia. *Neurocase*, 11(6), 385–398.
- 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; 15:728549.
- Meykadeh, S., Golfam, A., Batouli, SAH., & Sommer, W. (In Press). The neural basis of Number and Person phi-features processing: An fMRI study in highly proficient bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*.
- 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; 12:698165.
- Meykadeh, S., Khadem, A., Sulpizio, S., & Sommer, W. (2023). Functional Connectivity during Morphosyntactic Processing: An fMRI Study in Balanced Turkish-Persian Bilinguals. *Journal of Neurolinguistics*. 68: 101162.
- Paradis, M. (2001). An integrated neurolinguistic theory of bilingualism (1976–2000). Paper Presented at the LACUS Forum 27 Houston, TX.
- Pérez, A., and Duñabeitia, J. A. (2019). Speech perception in bilingual contexts: Neuropsychological impact of mixing languages at the inter-sentential level. *Journal of Neurolinguistics*, 51: 258-267.
- Poldrack, R. A. (2007). Region of interest analysis for fMRI. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2(1), 67-70.
- Price, C. J., Green, D. W., & von Studnitz, R. (1999). A functional imaging study of translation and language switching. *Brain: a journal of neurology*, 122(12), 2221–2235.
- modulates the engagement of cognitive control areas in multilinguals. *Cortex*, 49(3), 905–911.
- Abutalebi, J., Green, D. (2016). Neuroimaging of language control in bilinguals: neural adaptation and reserve. *Biling. Lang. Cognit.* 19(4), 689–698.
- Abutalebi, J., Miozzo, A., and Cappa, S. F. (2000). Do subcortical structures control 'language selection' in polyglots? Evidence from pathological language mixing. *Neurocase*, 6(1), 51–56.
- Branzi, F. M., Della Rosa, P. A., Canini, M., Costa, A., & Abutalebi, J. (2016). Language Control in Bilinguals: Monitoring and Response Selection. *Cerebral Cortex*. 26(6), 2367–2380.
- Burgaleta, M., Sanjuan, A., Ventura-Campos, N., Sebastian-Galles, N., Avila, C. (2016) Bilingualism at the core of the brain. Structural differences between bilinguals and monolinguals revealed by subcortical shape analysis. *Neuroimage*. 125, 437–445.
- Christoffels, I.K., Firk, C., Schiller, N.O. (2007). Bilingual language control: an event-related brain potential study. *Brain Res*. 1147, 192–208.
- Cools, R., & D'Esposito, M. (2011). Inverted-U-Shaped Dopamine Actions on Human Working Memory and Cognitive Control. *Biological Psychiatry*, 69(12), 113–125.
- Crinion, J., Turner, R., Grogan, A., Hanakawa, T., Noppeney, U., Devlin, J.T., Aso, T., Urayama, S., Fukuyama, H., Stockton, K., Usui, K., Green, D.W., & Price, C.J. (2006). Language control in the bilingual brain. *Science*, 312, 1537–1540.
- Declerck, M., & Philipp, A. M. (2015). A review of control processes and their locus in language switching. *Psychonomic Bulletin and Review*, 22, 1630-1645.
- Dunn, A. L., & Fox Tree, J. E. (2009). A quick, gradient Bilingual Dominance Scale. *Bilingualism: Language and Cognition*, 12(3), 273–289.
- Friston, K. (2012). Ten ironic rules for non-statistical reviewers. *NeuroImage*. 61(4), 1300-1310.
- Gallo, F., Terekhina, L., Shtyrov, Y., & Myachykov, A. (2023). Neuroplasticity and cognitive reserve effects in the Caudate Nucleus of young bilingual adults. *Bilingualism: Language and Cognition*, 1-10.
- Garbin, G., Costa, A., Sanjuan, A., Forn, C., Rodriguez-Pujadas, A., Ventura, N., Belloch, V., Hernandez, M., & Avila, C. (2011). Neural bases of language switching in high and early proficient bilinguals. *Brain and language*, 119(3), 129–135.
- Gil Robles, S., Gatignol, P., Capelle, L., Mitchell, M. C., & Duffau, H. (2005). The role of dominant striatum in language: a study using intraoperative electrical stimulations. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 76(7), 940–946.
- Green, D. W. (1998). Mental control of the bilingual lexico-semantic system. *Bilingualism Lang. Cogn.* 1, 67–81.
- Green, D., Abutalebi, J. (2013). Language control in bilinguals: the adaptive control hypothesis. *J. Cognit. Psychol.* 25(5), 515–530.
- Hartsuiker, R. J., Pickering, M. J., & Veltkamp, E. (2004). Is syntax separate or shared between languages? *Psychological Science*, 15(6), 409–414.

- Tan, L. H., Chen, L., Yip, V., Chan, A. H., Yang, J., Gao, J. H., & Siok, W. T. (2011). Activity levels in the left hemisphere caudate-fusiform circuit predict how well a second language will be learned. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(6), 2540–2544.
- Ullman M. T. (2004). Contributions of memory circuits to language: the declarative/procedural model. *Cognition*, 92(1-2), 231–270.
- Wang, Y., Kuhl, P. K., Chen, C., & Dong, Q. (2009). Sustained and transient language control in the bilingual brain. *NeuroImage*, 47(1), 414–422.
- Wang, Y., Xue, G., Chen, C., Xue, F., & Dong, Q. (2007). Neural bases of asymmetric language switching in second-language learners: an ER-fMRI study. *NeuroImage* 35:862–870.
- Wu, J., Yang, J., Chen, M., Li, S., Zhang, Z., Kang, C., Ding, G., & Guo, T. (2019). Brain network reconfiguration for language and domain-general cognitive control in bilinguals. *NeuroImage*, 199, 454–465.
- Zhu, J. D., Seymoura, R. A., Szakaya, A., and Sowman, P. F. (2020). Neurodynamics of executive control in bilingual language switching: an MEG study. *Cognition* 199:104247.

