

The auditory sentence processing and the planum temporale: Evidence from functional magnetic resonance mapping in bilinguals

Simin Meykadeh^{1*} , Werner Sommer²

1. PhD, Linguistics Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. Professor, Psychology Department, Humboldt University of Berlin, Berlin, Germany

Abstract

Received: 02 Dec. 2023

Revised: 15 Aug. 2024

Accepted: 18 Aug. 2024

Keywords

Balanced bilinguals
Auditory sentence processing
Planum temporale
Functional magnetic resonance imaging

Corresponding author

Simin Meykadeh, PhD, Linguistics Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Email: A.meykadeh@modares.ac.ir



doi.org/10.30514/icss.26.2.31

Introduction: The present study aimed to investigate the contribution of the planum temporale (PT) region in the auditory processing of L1-L2 sentences in bilinguals.

Methods: The statistical population of the present study was Turkish-Persian bilingual students in Tehran, Iran, in 2018. The data of 36 bilingual individuals who were purposefully selected were collected by functional magnetic resonance imaging (fMRI) while performing a bilingual listening task. In order to identify the activity pattern of L1-L2 Grammatical-Ungrammatical stimuli in the PT, an ROI-based analysis was performed in the FSL software, and the percent signal change (PSC) was extracted as a measure of “intensity” per participant and statistically analyzed in IBM SPSS statistics V26.

Results: Although the grammaticality effect was significant for both L1 and L2 in the bilateral PT ($P < 0.001$), the left PT was more excited. In addition, a more significant brain response to L1-Ungrammatical sentences than L2-Ungrammatical sentences was confirmed in the left PT.

Conclusion: Overlapping the L1-L2 neuronal correlates in the PT, as a computational interface, confirms the L2 high-proficiency of the present participants who had learned their L2 at the age of seven. The left PT plays a more significant role in processing sentences, suggesting that the PT is left-lateralized. The more excellent activity of L1 than L2 in the left PT indicates that during a bilingual mode, L1 acts as the base language, which entails more time and cognitive resources to be suppressed and reactivated.

Citation: Meykadeh S, Sommer W. The auditory sentence processing and the planum temporale: Evidence from functional magnetic resonance mapping in bilinguals. *Advances in Cognitive Sciences*. 2024;26(2):31-46.

Extended Abstract

Introduction

To our knowledge, no study has yet used the auditory paradigm to investigate PT activation during L1-L2 sentence processing. Employing this experimental design is critical to our understanding of target/non-target language

activation. Moreover, research in this area has mainly been limited to the neuroanatomical or pathological studies with little attention to bilinguals. Consequently, the extent to which the bilateral PTs are activated during si-

multaneous L1-L2 processing needs to be clarified. The present study aims to explore these critical issues.

To address this study's goal, the discussion critical revolve around the following questions:

Q1. Do the left and right PT act differently for the auditory sentence processing?

Q2. Are L1 and L2 processed differently in the PL?

Methods

This study recruited healthy and young bilingual adults through social media via advertisements on top universities in Tehran, Iran. In total, forty-one subjects participated in the experiment. Five subjects were excluded due to technical problems. The final sample consisted of thirty-six (21 female, all right-handed). All participants were native speakers of Turkish who had learned Persian as L2 at the age of seven when entering school. Participants underwent an fMRI scan and completed an auditory grammaticality judgment task in the scanner. During the 21.5-min fMRI scan, participants were required to judge each sentence for grammatical correctness by pressing the button of a left (ungrammatical) or right (grammatical) response grip with the thumb while minimizing head movements. The task included four alternating rest and auditory sentence blocks. Each auditory sentence block had 32 runs and was bookended by 30-second rest periods where no stimuli were presented, allowing for hemodynamic baseline data collection. Correct and violated sentences were randomly intermixed within each block, but language blocks alternated in a fixed sequence. In total, 128 spoken sentences (50% in L1 and 50% in L2, with 50% violation per language) were used to assess syntactic processing in bilinguals. Images were acquired with a Siemens Prisma 3-Tesla scanner at NBML. The fMRI images were collected using an echo-planar imaging (EPI) sequence with a 20-channel head coil consisting of 430 volumes and 45 axial slices per volume (re-

petition time (TR)=3000 ms, echo time (TE)=30 ms, flip angle=90°, matrix size=64×64, slice thickness=3 mm, field of view (FOV)=192 mm², voxel size=3×3×3 mm³). Moreover, the high-resolution T1-weighted structural images were collected through a magnetization-prepared rapid gradient-echo (MPRAGE) sequence (TR=1800 ms, TE=3.53 ms, flip angle=7°, matrix size=256×256, slice thickness=1 mm, FOV=256 mm², voxel size=1×1×1 mm³, duration=5-min). The anatomical MPRAGE volumes were pre-processed following the brain extraction and used as anatomical references in the functional image processing co-registration steps using FEAT in FSL. The fMRI analyses were performed according to a standard pipeline comprising the following steps: motion correction and realignment, slice-timing correction, segmentation and normalization to the standard MNI template and spatial smoothing (6 mm full-width at half-maximum isotropic Gaussian), temporal filtering (with sigma=50.0 s), and exploratory ICA-based data analysis. The general linear model (GLM) was used to construct the statistical model on the BOLD response to perform the first-level analysis. Z (Gaussianised T/F) statistic images were thresholded using clusters determined by $Z > 3.1$ and a (corrected) cluster significance threshold of $P < 0.05$. A whole-brain analysis was performed to detect the mechanisms underlying syntactic processing in the bilateral PT. Then, PSC was extracted as an intensity measure in this region per participant according to the Harvard-Oxford Atlas implemented in FSL. All statistical analyses were conducted in IBM SPSS Statistics V26.

Results

Whole-Brain Results of Brain Activation

Figure 1A visualizes the location of the PT. Figure 1B exhibits the patterns of whole-brain activation during the presentation of corrected and violated stimuli in L1 and L2 for each hemisphere. Greater left-hemispheric activa-

tion is detectable for the region of the PT (white circles) when comparing the left and right columns.

ROI-based Results

The results are depicted in Figure 2. The main factor of Grammaticality yielded a significant effect ($F(1, 35)=53.296$, $P<0.001$, $\eta_p^2=0.618$), with a more significant effect for grammatical (3.712 PSC) as compared to ungrammatical stimuli (3.303 PSC). Furthermore, a significant main effect of the Hemisphere ($F(1, 35)=25.451$, $P<0.001$, $\eta_p^2=0.435$), indicating that the left hemisphere (4.014) generated stronger PSC as compared to the right hemisphere (3.000). A significant Grammaticality $\times$ Hemisphere interaction ($F(1, 35)=16.449$, $P=0.001$, $\eta_p^2=0.333$) indicated that the left hemisphere triggered a more significant effect for L1 stimuli (4.113) than for L2 stimuli (3.916) ($t(35)=3.517$, $P=0.001$), whereas in the right hemisphere there were no differences between L1 (2.970) and L2 (3.030) sentences ($t(35)=-1.176$, $P=0.248$).

Finally, the Grammaticality $\times$ Language $\times$ Hemisphere interaction ($F(1, 35)=7.961$, $P=0.008$, $\eta_p^2=0.194$) turned out to be significant. The analysis by the grammaticality factor showed that in the left hemisphere, L1-grammatical stimuli (4.244) engendered a larger effect than L1-ungrammatical stimuli (3.866) ($t(35)=2.980$, $P=0.005$). Similarly, L2-grammatical stimuli (4.161) engendered a larger effect than L2-ungrammatical stimuli (3.672) ($t(35)=5.311$, $P<0.001$). In the right hemisphere, L1-grammatical stimuli (3.204) engendered a larger effect than L1-ungrammatical stimuli (2.737) ($t(35)=5.363$, $P<0.001$). Similarly, L2-grammatical stimuli (3.214) engendered a larger effect than L2-ungrammatical stimuli (2.845) ($t(35)=5.572$, $P<0.001$). The analysis by language factor revealed that in left-hemispheric grammatical stimuli no differences were obtained for L1 (4.271) and L2 (4.161) sentences ($t(35)=1.352$, $P=0.185$), nor in the right-hemispheric grammatical stimuli for L1 (3.204)

and L2 (3.214) sentences ($t(35)=-0.132$, $P=0.896$). In left-hemispheric ungrammatical stimuli, L1 stimuli (3.956) engendered a larger effect than L2 stimuli (3.672) ($t(35)=3.326$, $P=0.002$), whereas in the right-hemispheric ungrammatical stimuli, there were no differences between L1 (2.736) and L2 (2.845) sentences ($t(35)=-1.889$, $P=0.067$). The analysis by the hemisphere factor exhibited that in L1-grammatical stimuli, the left hemisphere (4.271) triggered a more significant effect than the right hemisphere (3.204) ($t(35)=4.505$, $P<0.001$). Similarly, in L2-grammatical stimuli, the left hemisphere (4.161) triggered a more significant effect than the right hemisphere (3.214) ($t(35)=4.435$, $P<0.001$). In L1-ungrammatical stimuli, the left hemisphere (3.956) triggered a more significant effect than the right hemisphere (2.737) ($t(35)=5.573$, $P<0.001$). Similarly, in L2-ungrammatical stimuli, the left hemisphere (3.672) triggered a more significant effect than the right hemisphere (2.845) ($t(35)=4.275$, $P<0.001$).

Conclusion

The current findings are essential in several ways. First, the present findings indicate a substantial overlap of the neuronal correlates for L1 and L2 in the PT, confirming our participants' L2 high-proficiency. Second, our results support the contribution of the left PT as a computational interface in sentence processing. Third, the sensitivity of the right PT to the present auditory stimuli confirms its role in stimulus-driven auditory attention. Fourth, the higher activity of L1-ungrammatical stimuli as compared to L2-ungrammatical stimuli in the left hemisphere indicates that current bilinguals have chosen L1 (Turkish) as their base language, leading to more RT switch cost for L1 than L2, as well as increased cognitive control to reactivate L1 after L2 production. Fifth, L1-L2 similarities at the sentence level can facilitate the L2 processing.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The Ethics Committee of Iran University of Medical Sciences has approved the current research under the code IR.IUMS.REC.1398.465. We strictly adhered to all ethical guidelines, including clearly explaining the research objectives to participants, ensuring their freedom to join or withdraw from the study at any time, obtaining written consent, maintaining the confidentiality of participants' information, and compensating them for their time.

Authors' contributions

This article is part of the first author's PhD dissertation at Tarbiat Modares University of Tehran. The first author conceptualized the study, collected and analyzed the data, designed the task, wrote the manuscript, and provided valuable laboratory resources. The second author contributed to the planning of the work, designed the task, and supervised data analysis. Both authors approved the

submitted version.

Funding

The Cognitive Sciences and Technologies Council supported this study under Grant [number 7401] awarded to the first author. This research was also made possible by a doctoral dissertation grant from the Department of Linguistics, Tarbiat Modares University, a scholarship fund (PhD Visiting Scholar Program) from the Iranian Ministry of Science, Research and Technology, and a research grant from Iran High-tech Laboratory Network.

Acknowledgments

The authors wish to express their appreciation to the participants.

Conflict of interest

Authors have no conflict of interest to declare.

پردازش شنیداری جمله و پلنیوم گیجگاهی: شواهدی از تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی در دوزبانه‌ها

سیمین میکده^{۱*} (ID)، ورنر زومر^۲

۱. دکتری تخصصی زبان‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲. استاد روان‌شناسی، دانشگاه هومبولت برلین، برلین، آلمان

چکیده

مقدمه: پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش ناحیه پلنیوم گیجگاهی چپ و راست در پردازش شنیداری جملات زبان اول و دوم در افراد دوزبانه اجرا شد.

روش کار: جامعه آماری پژوهش حاضر، دانشجویان دوزبانه ترکی-فارسی شهر تهران در سال ۱۳۹۸ بود. داده‌های ۳۶ فرد دوزبانه که به روش هدفمند انتخاب شده بودند، در حین اجرای یک تکلیف شنیداری دوزبانه به روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی (fMRI) اخذ شد. به منظور شناسایی الگوی فعالیت محرک‌های دستوری-نادرستی زبان اول و دوم در ناحیه پلنیوم گیجگاهی، آنالیزی بر مبنای ناحیه مطلوب (ROI-based) در نرم‌افزار FSL اجرا شد و درصد تغییر سیگنال به عنوان معیار «شدت» برای هر شرکت‌کننده استخراج و در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تجزیه و تحلیل آماری شد.

یافته‌ها: اگرچه معناداری اثر دستوری‌بودگی برای هر دو زبان اول و دوم در پلنیوم گیجگاهی چپ و راست مشاهده شد ($P < .001$)، برانگیختگی پلنیوم گیجگاهی چپ بیشتر بود. افزون بر این، پاسخ مغزی بزرگتر به جملات نادرستی زبان اول در مقایسه با جملات نادرستی زبان دوم در پلنیوم گیجگاهی چپ محرز شد.

نتیجه‌گیری: هم‌پوشانی همبسته‌های نورونی دو زبان در پلنیوم گیجگاهی، به عنوان یک واسط محاسباتی، سطح بالای بسندگی دوزبانه‌های حاضر به زبان دومشان را که در سن ۷ سالگی آموخته بودند، تأیید می‌کند. پلنیوم گیجگاهی چپ نقش برجسته‌تری در پردازش شنیداری جملات در افراد دوزبانه دارد که ممکن است دال بر یک‌سویه‌شدگی این ناحیه باشد. فعالیت بیشتر زبان اول نسبت به زبان دوم در پلنیوم گیجگاهی چپ، حاکی از این است که در حالت دوزبانه و در شرایطی که فرد دوزبانه به هر دو زبان اول و دوم خود به یک میزان مسلط است، زبان اول به عنوان زبان پایه عمل می‌کند که مستلزم صرف زمان و منابع شناختی بیشتر برای مهار و فعال‌سازی مجدد این زبان است.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

اصلاح نهایی: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۸

واژه‌های کلیدی

دوزبانه‌های متوازن
پردازش شنیداری جمله
پلنیوم گیجگاهی
تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی

نویسنده مسئول

سیمین میکده، دکتری تخصصی زبان‌شناسی،
دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

ایمیل: A.meykadeh@modares.ac.ir



doi.org/10.30514/ics.26.2.31

مقدمه

قشر تحتانی پیش‌پیشانی و پیش‌حرکتی (Inferior prefrontal and premotor cortex)، و قشر حرکتی اولیه (Primary motor cortex) است (۲). مشخصاً، یکی از نواحی مغزی درگیر در پردازش شنیداری زبان_ویژه، پلنیوم گیجگاهی است که در خلف قشر شنوایی اولیه و درون شکاف سیلویین واقع شده است (۳). پلنیوم گیجگاهی نه یک صفحه بلکه یک ساختار پیچیده سه‌بعدی است که به عنوان بخشی

درک جملات شنیداری مستلزم ادغام سریع اطلاعات واجی، معنایی و نحوی است که عمدتاً توسط شبکه‌ای از نواحی در قشر پریسیلویان (Perisylvian cortex) در نیمکره چپ پشتیبانی می‌شود (۱). بر اساس شواهدی از مطالعات تصویربرداری مغز و عصب‌کالبدشناختی، قشر زبان پریسیلویان متشکل از ۶ ناحیه قشر شنوایی اولیه (Primary auditory cortex)، بلت و پارابلت شنوایی (Auditory belt and parabelt)،

از ناحیه ورنیکه محسوب می‌شود (۴). در یک مطالعه اخیر با روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی (Functional (fMRI) Magnetic Resonance Imaging)، Meykadeh و همکاران حساسیت پلنیوم گیجگاهی به محرک‌های شنیداری نحو_ویژه را شناسایی کردند (۵). بازتحلیل حاضر به بررسی فعالیت پلنیوم گیجگاهی دوجانبه (Bilateral) در حین پردازش جملات شنیداری زبان اول و دوم اختصاص دارد.

وجود یک پلنیوم گیجگاهی بزرگتر در نیمکره چپ برای نخستین بار توسط Pfeifer (۱۹۲۰) (۶) و von Economo و همکاران (۱۹۳۰) (۷) مطرح و چند دهه بعد توسط Geschwind و Levitsky (۱۹۶۸) (۸) تأیید شد. Geschwind و Levitsky (۱۹۶۸) در مطالعه‌ای که بر روی ۱۰۰ مغز پس از مرگ انجام دادند، دریافتند که پلنیوم گیجگاهی چپ در ۶۵ درصد و پلنیوم گیجگاهی راست در ۱۱ درصد از مغزهای اندازه‌گیری شده بزرگتر بود، در حالی که در ۲۴ درصد آنها پلنیوم گیجگاهی متقارن مشاهده شد. نامتقارنی چپ‌سوی (Left-ward asymmetry) پلنیوم گیجگاهی در سال‌های ۱۹۷۳، ۱۹۷۵ و ۱۹۷۷ در مطالعات کالبدشکافی مغز تکرار شد (۹-۱۱). در همین راستا، گزارش‌های مشابهی نیز در مطالعات آسیب‌شناختی زبان و مشخصاً بیماران مبتلا به لکنت زبان مطرح شده است (۱۲). به عنوان مثال، Gough و همکاران در یک مطالعه (fMRI) با بررسی ۶۷ فرد بیمار، نامتقارنی چپ‌سوی پلنیوم گیجگاهی را مشاهده کردند، اما هیچ‌گونه همبستگی‌ای بین شدت لکنت بیماران و میزان یکسویه‌شدگی پلنیوم گیجگاهی دیده نشد (۱۲). از سوی دیگر، شواهدی وجود دارد که دخالت ناحیه پلنیوم گیجگاهی راست را در توجه شنیداری محرک‌محور تأیید می‌کند (۱۳). امروزه، در مطالعات بسیاری نقش پلنیوم گیجگاهی در یکسویه‌شدگی کارکردی پردازش زبان آشکار شده است (۱۴-۱۷). نکته قابل توجه این است که اتصالات کارکردی (Functional Connectivity) قوی‌ای بین پلنیوم گیجگاهی چپ و نواحی نحو_ویژه از جمله پارس آپرکولاریس (Pars opercularis) و شکنج فوقانی گیجگاهی خلفی (Posterior Superior Temporal Gyrus) در نیمکره چپ تأیید شده است (۱۸). طبق مدل مسیر عصب کالبدشناختی (Neuroanatomical pathway) (Friederici model of Friederici)، ناحیه پارس آپرکولاریس (برادمن ۴۴) به لحاظ ساختاری و کارکردی با ناحیه شکنج فوقانی گیجگاهی خلفی ارتباط دارد و برای پردازش نحو، به عنوان هسته زبان، یک مدار نورونی ضروری محسوب می‌شوند (۱۹). بدین ترتیب، هم‌راستا با مدل قطب محاسباتی Warren و Griffiths، می‌توان استدلال کرد که پلنیوم گیجگاهی یک

سازوکار کلیدی برای پردازش شنیداری زیربنای زبان و گفتار به حساب می‌آید (۲۰). نقش این ناحیه در پردازش شنیداری تکیه (Accent) در سخنگویان تک‌زبانۀ هلندی (۲۱) و سوئدی (۲۲) نشان داده شده است. نبود مطالعات لازم در زمینه پردازش شنیداری جمله - بر اساس دانش نویسندگان حاضر - بر اهمیت اجرای مطالعه حاضر می‌افزاید.

در رویکرد نوین زبان‌شناختی، دستور (Grammar) بخشی از نظام شناختی ذهن انسان است و این نظام شناختی در ساختار ذهنی و روان‌شناختی همه انسان‌ها به طور طبیعی وجود دارد (۲۳). در این چارچوب، هر گویشوری «دستور زبان» زبان مادری خود را می‌داند و بر مبنای این دانش قادر به درک و تولید جمله‌هاست. نکته این است که گویشوران هر زبانی به صورت خودآگاه از این دانش اطلاع ندارند بلکه به صورت ناخودآگاه آن را به کار می‌برند. به عبارتی دیگر، اهل زبان در ذهن خود توانش زبانی (Language competence) دارد که خود دانشی است ناخودآگاه که بر مبنای آن جمله‌ها درک و تولید می‌شوند. بدین ترتیب، اگر دستور زبان مدلی از توانش زبانی در نظر گرفته شود، نه تنها باید از عهده تولید و درک جملات خوش‌ساخت برآید، بلکه باید بتواند عدم تولید جملات و عبارات بدساخت را نیز تبیین کند. در همه زبان‌های بشری جملات زبان صرفاً از کنار هم قرار گرفتن واژه‌ها به وجود نمی‌آیند، بلکه بر مبنای الگوهای مشخصی با یکدیگر هم‌نشین می‌شوند و زنجیره‌های نحوی را ایجاد می‌کنند. بنابراین، یکی از وظایف دستور زبان تعیین قواعد حاکم بر ترکیب واژه‌ها با یکدیگر به منظور ایجاد جمله است؛ به عبارتی دقیق‌تر عملکرد نحو (Syntax) زبان. به عنوان مثال، بر مبنای قواعد نحوی زبان فارسی جمله «مریم در را بست». جمله‌ای دستوری محسوب می‌شود؛ چون مطابقت (Agreement) بین فاعل و فعل به درستی صورت نگرفته است. نحو، به عنوان هسته ماهیت زایشی زبان، همیشه یک مسئله اساسی در علم زبان‌شناسی محسوب می‌شود (۲۴). امروزه، پیشرفت فناوری و تکنولوژی بررسی چگونگی کارکرد سیستم نورونی برای پردازش نحو را ممکن ساخته است. روش fMRI روشی غیرتهاجمی (Noninvasive) با رزولوشن بالا برای اندازه‌گیری و مکان‌یابی (Localization) کارکردهای خاص مغز در حال فعالیت انسان است (۲۵). مطالعه حاضر با بهره‌گیری از روش fMRI به بررسی عملکرد پلنیوم گیجگاهی در پردازش شنیداری نحو می‌پردازد.

چارچوب پیوستار حالت زبان (Language-mode continuum) framework)، بر پایه اهمیت نقش بافت زبان (Language context) در فرایندهای کنترل زبان در دوزبان‌ها استوار است (۲۶، ۲۷). در این چارچوب، بافت به عنوان محیطی قلمداد شده است که نشانه‌های

یعنی هرچه شباهت بین‌زبانی بیشتر باشد، پردازش زبان دوم کارآمدتر و خودکارتر خواهد بود. بر این اساس، در پژوهش حاضر دوزبانه‌های متوازن ترکی-فارسی انتخاب شدند. زبان‌های ترکی و فارسی، علی‌رغم تعلق به دو خانواده زبانی متفاوت، از ویژگی‌های ساختاری مشترکی برخوردارند. هر دو در حالت بی‌نشان دارای ترتیب واژه فاعل-مفعول-فعل (Subject-object-verb) هستند و از مطابقت فعلی (Verbal agreement) پیروی می‌کنند. مطابقت فاعل-فعل در زبان فارسی و ترکی مستلزم تطابق مشخصه‌های شخص و شمار است. سخنگویان دوزبانه حاضر از تسلط بالایی در هر دو زبان ترکی (زبان اول) و فارسی (زبان دوم) برخوردار بودند، به طور منظم از هر دو زبان استفاده می‌کردند و همگی از حدود ۷ سالگی با ورود به مدرسه شروع به یادگیری رسمی زبان فارسی کردند. مطالعه این نمونه آماری از این جهت در خور توجه است که هر چند آنها یادگیری زبان دوم را نسبتاً دیر شروع کرده بودند، اما در ادامه به سطح بسیار بالایی از بسندگی (Proficiency) دست یافتند.

بنابراین، با هدف بررسی نقش ناحیه پلنیوم‌گیجگاهی در پردازش شنیداری جمله در زبان اول و دوم با روش fMRI در دوزبانه‌های ترکی-فارسی که در سن ۷ سالگی زبان دوم را آموخته بودند، بازتحلیل حاضر به دو پرسش زیر پاسخ خواهد داد: (۱) چه تفاوتی در عملکرد پلنیوم‌گیجگاهی چپ و راست برای پردازش شنیداری جمله وجود دارد؟ (۲) چه تفاوتی در عملکرد پلنیوم‌گیجگاهی برای پردازش همزمان زبان اول و دوم وجود دارد؟

روش کار

در مطالعه حاضر، داده‌های fMRI که توسط Meykadeh و همکاران گزارش شده بود، بازتحلیل شد (۵). در پژوهش اصلی فعالیت ناحیه پلنیوم‌گیجگاهی در افراد دوزبانه شناسایی گردید. اینک، نویسندگان درصددند تا الگوی فعالیت این ناحیه مغزی را برای هر دو زبان اول و دوم واکاوی کنند.

شرکت‌کنندگان

جامعه آماری پژوهش کاربردی-بنیادی حاضر، دانشجویان ترک‌زبان مقطع دکتری دانشگاه‌های دولتی و برتر شهر تهران در سال ۱۳۹۸ بود که از بین آنها نمونه‌ای متشکل از ۴۱ نفر به روش هدفمند انتخاب شد. داده‌های ۵ نفر به علت وجود آرتیفکت الیزینگ (Aliasing artifact) یا حرکت سر از چرخه آنالیز حذف شد. نمونه نهایی متشکل از ۳۶ فرد بزرگسال (۲۱ زن و ۱۵ مرد به ترتیب با میانگین سنی و انحراف معیار $27/71 \pm 3/5$ و $26/87 \pm 2/97$ ، در محدوده سنی ۲۲-۳۴ سال و میانگین

(Cues) ضمنی و تلویحی لازم پیرامون استفاده از یک زبان و مهار زبان دیگر را برای دوزبانه‌ها فراهم می‌کند (۲۸). Grosjean مفهوم حالت-زبان را توسعه داد تا وضعیت برانگیختگی (Activation) زبان‌های یک فرد دوزبانه را در بافت‌های مختلف نشان دهد (۲۷). بر این اساس، در حالت تک‌زبانه (Monolingual mode)، فرض بر این است که زبان پایه (Base language)، یعنی زبان اصلی‌ای که در زمان خاصی پردازش می‌شود - و نه لزوماً زبان اول برای دوزبانه‌ها - فعال‌ترین زبان است. در این شرایط، برانگیختگی زبان غیرهدف کاهش می‌یابد اما به طور کامل سرکوب نمی‌شود. در مقابل، در حالت دوزبانه (Bilingual mode)، یعنی زمانی که هر یک از دو زبانی که در زمان خاصی ممکن است مورد نیاز باشد، دوزبانه‌ها یکی از زبان‌هایشان را به عنوان زبان پایه انتخاب می‌کنند تا با شریک مکالمه‌ای خود ارتباط برقرار کنند. بعد از انتخاب زبان پایه، ممکن است دوزبانه‌ها در حین مکالمه زبان‌گردانی کنند. در این شرایط، هر دو زبان کاندیدا هستند اما زبان پایه فعال‌تر از زبان غیرهدف است. بنابراین، در هر حالت، زبان پایه بر پردازش زبان حاکمیت دارد (۲۹). در همین راستا، Roman و Gomez-Gomez استدلال کردند که در دوزبانه‌های متأخر زبان مادری به عنوان زبان غالب عمل می‌کند و به کارگیری زبان دوم فرایندهای بازدارنده را برای تسهیل بازیابی بازنمایی‌های زبان دوم ایجاد می‌کند (۳۰). وقتی دوزبانه‌ها در تلاشند تا زبان اولشان را بعد از پردازش زبان دوم مجدداً بازیابی کنند، دسترسی به بازنمایی‌های مهارشده در زبان اول زمان‌بر خواهد بود. اینک، در پژوهش حاضر، میزان برانگیختگی زبان‌های اول و دوم در ناحیه پلنیوم‌گیجگاهی چپ و راست در دوزبانه‌های متأخر و متوازن (Balanced bilingual) (دوزبانه متوازن به کسی اطلاق می‌گردد که تسلطش به هر دو زبان یکسان باشد (۳۱)) مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در حالی که اطلاعات جامعی در مورد نقش پلنیوم‌گیجگاهی در پردازش شنیداری جملات در افراد تک‌زبانه در دست نیست، بررسی عملکرد دوزبانه‌های متوازن ممکن است بینش ما را در این زمینه ارتقا دهد.

پردازش اطلاعات نحوی در زبان دوم نمی‌تواند بدون در نظر گرفتن عوامل دستور-مرتبط (Grammar-related) (یعنی شباهت‌های ساختاری زبان اول و دوم) بررسی شود. بومی‌مانندی (Native-likeness) به توانایی سخنگویان برای پردازش کارآمد و خودکار محرک‌های زبان دوم به مانند پردازش محرک‌های زبان اول اشاره دارد (۳۲). Biondo و همکاران میزان هم‌پوشانی بین همبسته‌های (Correlates) عصب‌کالبدشناختی زبان اول و دوم توسط سخنگویان را به عنوان شاخصی برای میزان بومی‌مانندی قلمداد می‌کنند (۳۲).

سال‌های تحصیل ۱۹/۵ سال) بود. همه شرکت‌کنندگان سالم و از شنوایی طبیعی و سلامت زبانی_روانی برخوردار بودند. ملاک‌های ورود به پژوهش عبارت بودند از: داشتن والدین ترک‌زبان، زبان مادری ترکی، سکونت در استان‌های ترک‌زبان ایران تا سن ۷ سالگی، سکونت حداقل ۵ سال در محیط فارسی‌زبان و یادگیری رسمی زبان فارسی در سن ۷ سالگی.

متغیرهای جمعیت‌شناختی جامعه آماری حاضر در جدول ۱ ذکر شد. به منظور سنجش عملکردهای شناختی و ظرفیت حافظه فعال (Working memory) از نسخه بومی تکلیف فراخوانی خواندن (Reading span task) در ایران استفاده شد (۳۳). جزئیات بیشتر پیرامون نحوه غربال‌گری شرکت‌کنندگان در مطالعه اصلی تشریح شده است (۵).

جدول ۱. توصیف آماری ویژگی‌های جمعیت‌شناختی نمونه پژوهش

جنسیت	تعداد	میانگین سنی (انحراف معیار)	محدوده سنی (سال)	سطح تحصیلات (سال)	وضعیت شغلی
زن	۲۱	۲۷/۷۱ (۳/۵)	۲۲-۳۴	۱۹	محصل در مقطع دکتری*
مرد	۱۵	۲۶/۸۷ (۲/۹۷)	۲۴-۳۳	۲۰	محصل در مقطع دکتری

*فقط یک نفر در مقطع کارشناسی ارشد در حال تحصیل بود.

مواد آزمون

به منظور بررسی پردازش شنیداری جمله، یک آزمون قضاوت دستوری‌بودگی شنیداری طراحی شد. محرک‌ها متشکل از ۶۴ جمله فارسی و ۶۴ جمله ترکی با ساختار فاعل + مفعول + فعل بودند که نیمی از محرک‌ها در هر زبان به لحاظ نحوی درست و سایر محرک‌ها دارای نقض مطابقت فعل_فاعل بودند. 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 محرک‌های نادرست، 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. یک نمونه از محرک‌های فارسی و ترکی در جدول ۲ ارائه شد. لیست کامل محرک‌ها نیز در مقاله Meykadeh و همکاران در دسترس است (۳۴).

جدول ۲. مثال‌هایی از مواد آزمون در زبان ترکی و فارسی با حرف‌نویسی و ترجمه انگلیسی (اقتباس از ۵)

زبان اول	زبان دوم
نقض مطابقت دستوری *بیزلار ۱_{pl} کیتابلاریمیزی گتیردیم ۱_{sg}. *Biz kitâb-lar-i-mizi gatirdim. We book-PL-HI-OBJ-CLT.Def bring-PAST-1SG (We brought our books)	*ما ۱_{pl} بدهکاریمان را پرداختیم ۱_{sg}. *Ma ۱_{pl} bedehkari-ye-mân râ pardâxtam ۱_{sg}. We debt-HI-OBJ-CLT.Def pay.PAST-1SG (We paid our debts.)
مطابقت دستوری من ۱_{sg} پالتارمی یودوم ۱_{sg}. Man ۱_{sg} pâltâr-e-mi yudum ۱_{sg}. I cloth-HI-OBJ-CLT.Def wash.PAST-1SG (I washed my cloth.)	من ۱_{sg} نظرش را پذیرفتم ۱_{sg}. Man ۱_{sg} nazar-aş râ paziroftam ۱_{sg}. I offer-OBJ-CLT.Def accept.PAST-1SG (I accepted her/his offer.)

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

نحوه اجرای آزمون

در بستر نرم‌افزار سایکوپای (PsychoPy)، محرک‌های آزمون دستوری‌بودگی شنیداری طراحی و از طریق هدفون پخش شد.

شرکت‌کنندگان ملزم بودند تا بر اساس دستوری/نادستوری بودن محرک‌ها واکنش خود را ثبت کنند. با به کارگیری الگوی تحریک وابسته به رویداد (Event-related design) که شامل ۴ بلوک

درون‌یابی فوریه (۵) نرم کردن مکانی (Spatial Smoothing) توسط فیلتر کرنل گوسی با FWHM برابر با ۶ میلی‌متر (۶) نرمال کردن (Normalization) دامنه همه حجم‌ها در هر نقطه زمانی بر پایه شدت میانگین؛ (۷) فیلتر کردن زمانی (Temporal Filtering) توسط فیلتر بالاگذر گوسی با سیگمای ۵۰ ثانیه و (۸) حذف مؤلفه‌های نویز از تصاویر پیش‌پردازش‌شده با استفاده از روش ICA. نهایتاً، از مدل خطی عمومی ((Generalized Linear Model (GLM)، جهت آنالیز سطح اول (اجرای فردی) و دوم (اجرای گروهی) استفاده شد. با استفاده از مدل تأثیر مخلوط (Mixed effects)، 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

به منظور شناسایی فعالیت ناحیه پلنیوم‌گیجگاهی در پردازش نحوی زبان اول و دوم، نخست آنالیزی با رویکرد کل_مغز اجرا و در ادامه آنالیز مبتنی بر ناحیه مطلوب (ROI-based) به منظور شناسایی الگوی فعالیت محرک‌ها در ناحیه پلنیوم‌گیجگاهی انجام شد. بدین منظور، درصد تغییر سیگنال ((Percent Signal Change (PSC) به عنوان معیار «شدت» (Intensity) برای هر شرکت‌کننده در این ناحیه مغزی مطابق با اطلس هاروارد_آکسفورد (Harvard-Oxford Atlas) در FSL محاسبه شد. شدت سیگنال به عنوان متغیر وابسته و دستوری‌بودگی، زبان و نیمکره به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS-26 انجام شد. تغییرات شدت سیگنال از طریق آزمون استنباطی تحلیل واریانس آمیخته با اندازه‌گیری‌های مکرر $2 \times 2 \times 2$ دستوری‌بودگی (دستوری، نادرستی) $\times$ زبان (زبان اول = ترکی، زبان دوم = فارسی) $\times$ نیمکره (چپ، راست)) بررسی شد. بررسی همبستگی بین دو متغیر درصد تغییرات سیگنال و نمرات آزمون حافظه فعال از طریق آزمون همبستگی پیرسون انجام شد.

یافته‌ها

یافته‌های آنالیز کل_مغز

در شکل ۱ب، فعالیت سیگنال BOLD در حین ارائه محرک‌های دستوری و نادرستی زبان اول و دوم و در دو نیمکره چپ و راست بر مبنای آنالیز کل_مغز نشان داده شد. با مقایسه ستون اول و دوم این شکل، فعالیت گسترده‌تر نیمکره چپ در مقایسه با نیمکره راست مشهود است.

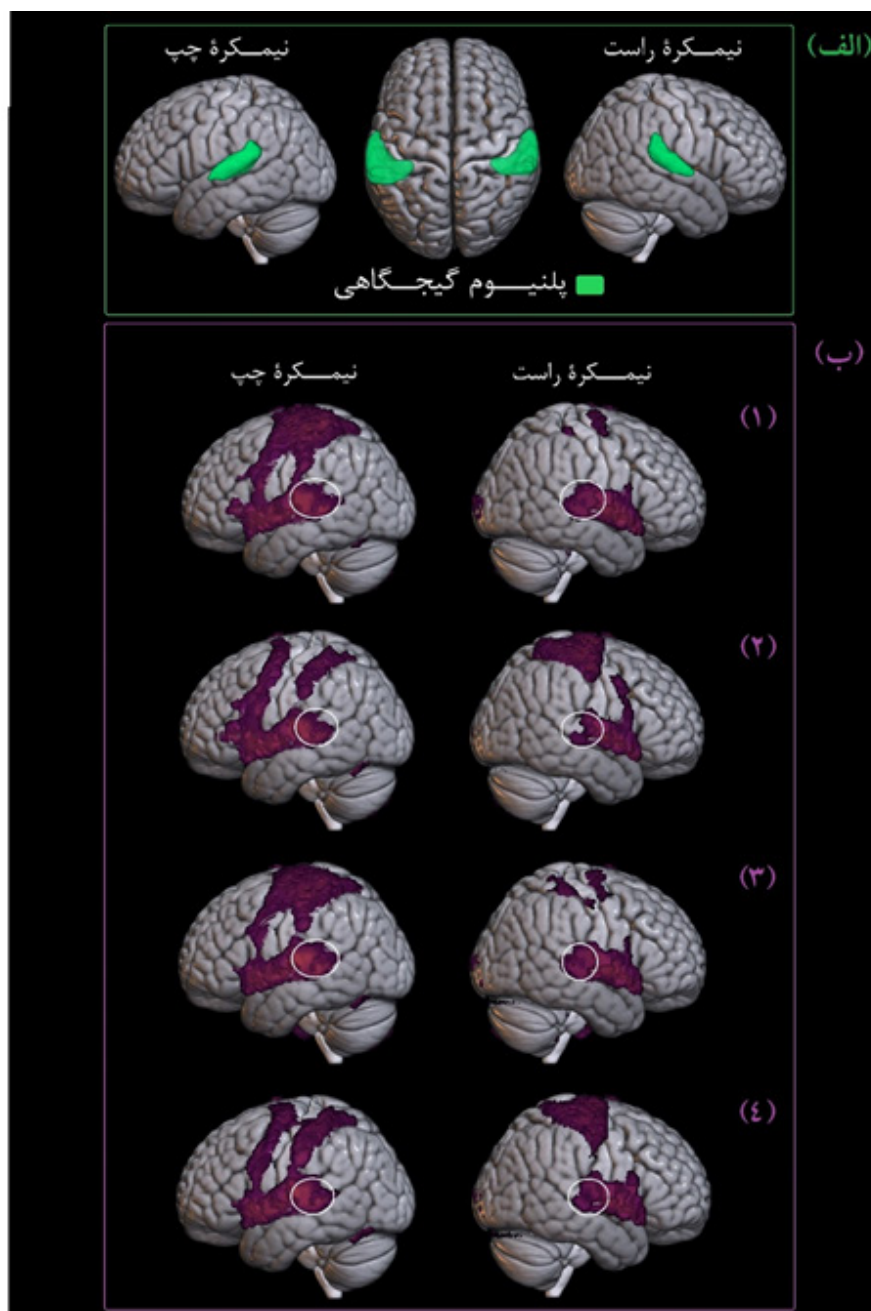
(Block) جملات شنیداری و ۴ بازه استراحت (Resting period) بود، آزمون اجرا شد. هر بلوک متشکل از ۳۲ بخش (Run) بود. برای ثبت پاسخ همودینامیکی (Hemodynamic baseline) نیز بازه‌های زمانی استراحت ۳۰ ثانیه‌ای در قبل و بعد از آن تعبیه شد که طی آن هیچ تحریکی ارائه نشد. مدت زمان هر بلوک ۳۱۸ ثانیه بود. هر بخش شامل یک بوق هشدار یک ثانیه‌ای، یک جمله سه ثانیه‌ای و مرحله پاسخ چهار، پنج و یا شش ثانیه‌ای بود. برای ارائه محرک‌ها پارادایم زبان‌گردانی جایگزین (Alternating language switching paradigm) به کارگرفته شد، به گونه‌ای که جملات دو زبان در هر بلوک به طور پیوسته تغییر می‌کرد (به طور مثال، زبان اول، زبان دوم، زبان اول، زبان دوم و ...) در حالی که محرک‌های دستوری/نادرستی به طور تصادفی توزیع شدند. مدت زمان اجرای آزمون با احتساب مرحله آماده‌سازی حدود ۳۵ دقیقه بود.

پروتکل تصویربرداری

همه داده‌های تصویری در میدان مغناطیس ۳ تسلا با کویل سر ۲۰ کاناله (20-channel head coil) در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز به دست آمده‌اند. از هر شرکت‌کننده یک تصویر ساختاری و یک تصویر عملکردی در حالت استراحت در یک جلسه گرفته شد. تصویر ساختاری با قدرت تفکیک بالا با استفاده از روش MPRAGE (به صورت اسلایس‌های ساجیتال، میلی‌ثانیه $TR=3/53$ ، میلی‌ثانیه $TR=1800$ ، زاویه فلیپ ۷ درجه، ضخامت اسلایس ۱ میلی‌متر، اندازه وکسل $1 \times 1 \times 1$ میلی‌متر مکعب، اندازه ماتریس 256×256 ، زاویه دید 256 میلی‌متر مربع، دیرش ۵ دقیقه) و تصویر عملکردی در حالت استراحت به روش EPI (میلی‌ثانیه $TR=30$ ، میلی‌ثانیه $TR=3000$ ، زاویه فلیپ ۹۰ درجه، ضخامت اسلایس ۳ میلی‌متر، اندازه وکسل $3 \times 3 \times 3$ میلی‌متر مکعب، اندازه ماتریس 64×64 ، زاویه دید ۱۹۲ میلی‌متر مربع، دیرش ۱۲۹۰ ثانیه، ۴۳۰ والیوم (Volume)، هر والیوم ۴۵ اسلایس) اخذ شد.

پیش‌پردازش تصاویر

پیش‌پردازش تصاویر با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزار FSL مدل ۶/۰۰ مجموعه fMRI به شرح زیر انجام شد: (۱) حذف مجموعه 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 (Head Motion Correction)؛ (۴) تصحیح زمان‌بندی برش‌ها (Slice Timing Correction) با استفاده از



شکل ۱. (الف) موقعیت ناحیه پلنیوم گیجگاهی؛ نمای ساجیتال راست، آکسیال و ساجیتال چپ. (ب) میانگین فعالیت مغزی هنگام ارائه محرک‌های شنیداری (۱) دستوری و (۲) نادرستی زبان اول و محرک‌های شنیداری (۳) دستوری و (۴) نادرستی زبان دوم در نیمکره‌های چپ/راست (اقتباس از مطالعه میکده و همکاران، ۵).

یافته‌های آنالیز ROI

نظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که در نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال جملات زبان اول (۴/۱۱۳) در مقایسه با جملات زبان دوم (۳/۹۱۶) بیشتر بود ($t_{(35)}=3/517$, $P=0/001$)، اما در نیمکره راست اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات زبان اول (۲/۹۷۰) و دوم (۳/۰۳۰) مشاهده نشد ($t_{(35)}=1/176$, $P=0/248$). با در نظر گرفتن عامل نیمکره، مشاهده شد که در زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۴/۱۱۳) در مقایسه با نیمکره راست (۲/۹۷۰) بیشتر بود ($t_{(35)}=6/157$, $P<0/001$)، همین‌طور در زبان دوم درصد تغییر

موقعیت ناحیه پلنیوم گیجگاهی در شکل الف ترسیم شد. نتایج حاصل از تحلیل واریانس آمیخته $2 \times 2 \times 2$ (جدول ۳) نشان از معناداری عامل اصلی دستوری‌بودگی دارد. مشخصاً شدت درصد تغییر سیگنال در جملات دستوری (۳/۷۱۲) در مقایسه با جملات نادرستی (۳/۳۰۳) بیشتر بود. همچنین، عامل اصلی نیمکره با شدت درصد تغییر سیگنال بیشتر در نیمکره چپ (۴/۰۱۴) در مقایسه با نیمکره راست (۳/۰۰۰) به سطح معناداری رسید. اثر تعاملی زبان $\times$ نیمکره معنادار بود. با در

سیگنال در نیمکره چپ (۳/۹۱۶) بیشتر از نیمکره راست (۳/۰۳۰) بود ($t_{(35)} = 4/479, P < 0/001$).

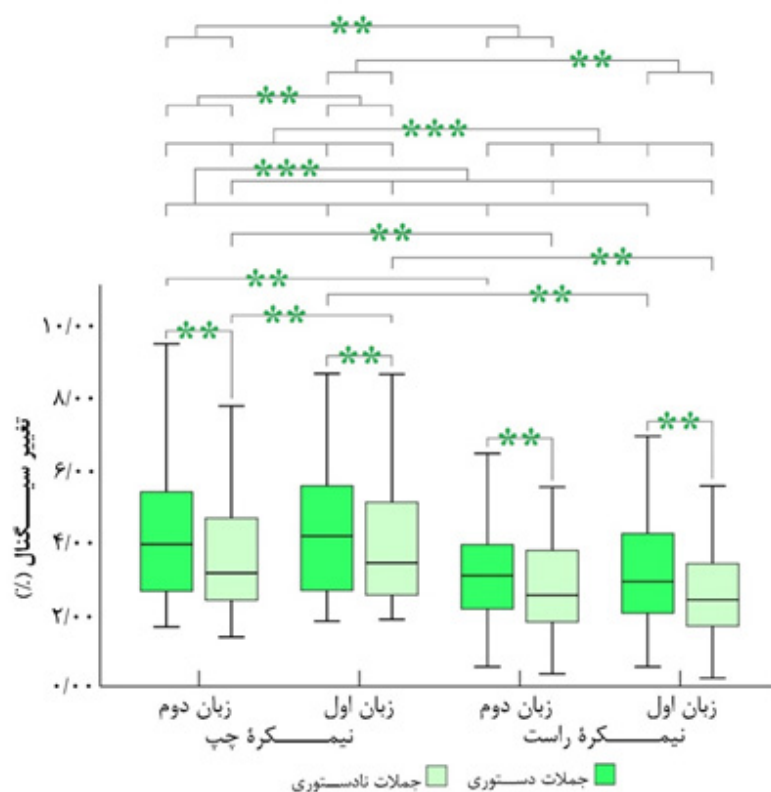
جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته در ناحیه پلنیوم گیجگاهی

منبع تغییرات	F	درجه آزادی	مقدار P	ضرایب اتا
دستوری بودگی	۵۳/۲۹۶	۱	< ۰/۰۰۱	۰/۶۱۸
زبان	۲/۱۸۱	۱	۰/۱۴۹	۰/۰۶۲
نیمکره	۲۵/۴۵۱	۱	< ۰/۰۰۱	۰/۴۳۵
دستوری بودگی × زبان	۰/۱۵۶	۱	۰/۶۹۵	۰/۰۰۵
دستوری بودگی × نیمکره	۰/۰۳۲	۱	۰/۸۶۰	۰/۰۰۱
زبان × نیمکره	۱۶/۴۴۹	۱	۰/۰۰۱	۰/۳۳۳
دستوری بودگی × زبان × نیمکره	۷/۹۶۱	۱	۰/۰۰۸	۰/۱۹۴

مقایسه با زبان دوم (۲/۸۴۵) دیده نشد ($t_{(35)} = -1/889, P = 0/067$). با در نظر گرفتن عامل نیمکره مشاهده شد که در جملات دستوری زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۴/۲۷۱) در مقایسه با نیمکره راست (۳/۲۰۴) بیشتر بود ($t_{(35)} = 4/505, P < 0/001$). به طور مشابه در زبان دوم هم درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۴/۱۶۱) در مقایسه با نیمکره راست (۳/۲۱۴) بیشتر بود ($P < 0/001$). از سوی دیگر، در جملات نادرستی زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۳/۹۵۶) در مقایسه با نیمکره راست (۲/۷۳۷) بیشتر بود ($t_{(35)} = 5/573, P < 0/001$). همین‌طور، در جملات نادرستی زبان دوم درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۳/۶۷۲) بیشتر از نیمکره راست (۲/۸۴۵) بود ($P < 0/001$). نمودارهای جعبه‌ای شدت سیگنال نسبت به خط مبدأ برای محرک‌های دستوری و نادرستی در هر زبان و نیمکره در شکل ۲ مصور شد. آزمون‌های تعقیبی برای هر نیمکره نشان از معناداری دستوری بودگی در پلنیوم گیجگاهی چپ و راست برای زبان‌های اول/دوم دارد (جدول ۴).

میزان همبستگی بین دو متغیر نمرات آزمون حافظه فعال و درصد تغییرات سیگنال در جملات دستوری و نادرستی زبان اول و دوم در ناحیه پوتامن چپ و راست با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شد. همان‌طور که نتایج این آزمون نشان می‌دهد (جدول ۵ و شکل ۳)، هیچ همبستگی بین متغیرها وجود نداشت.

همچنین، تعامل سه عامل دستوری بودگی × زبان × نیمکره معنادار بود. با در نظر گرفتن عامل دستوری بودگی، در نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال جملات دستوری زبان اول (۴/۲۴۴) در مقایسه با جملات نادرستی زبان اول (۳/۸۶۶) بیشتر بود ($t_{(35)} = 2/980, P = 0/005$). به طور مشابه، درصد تغییر سیگنال جملات دستوری زبان دوم (۴/۱۶۱) در مقایسه با جملات نادرستی زبان دوم (۳/۶۷۲) بیشتر بود ($t_{(35)} = 5/311, P < 0/001$). در نیمکره راست نیز درصد تغییر سیگنال جملات دستوری زبان اول (۳/۲۰۴) در مقایسه با جملات نادرستی زبان اول (۲/۷۳۷) بیشتر بود ($t_{(35)} = 5/363, P < 0/001$). همین‌طور، درصد تغییر سیگنال جملات دستوری زبان دوم (۳/۲۱۴) بیشتر از جملات نادرستی زبان دوم (۲/۸۴۵) بود ($P < 0/001$). با در نظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که نه تنها در جملات دستوری نیمکره چپ اختلافی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۴/۲۷۱) در مقایسه با زبان دوم (۴/۱۶۱) مشاهده نشد ($t_{(35)} = 1/352, P = 0/185$), بلکه، در جملات دستوری نیمکره راست هم هیچ تفاوتی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۳/۲۰۴) در مقایسه با زبان دوم (۳/۲۱۴) دیده نشد ($t_{(35)} = -0/132, P < 0/896$). از سوی دیگر، در جملات نادرستی نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال در زبان اول (۳/۹۵۶) در مقایسه با زبان دوم (۳/۶۷۲) بیشتر بود ($t_{(35)} = 3/326, P = 0/002$). اما در جملات نادرستی نیمکره راست هیچ اختلافی در درصد تغییر سیگنال زبان اول (۲/۷۳۶) در



شکل ۲. نمودارهای جعبه‌ای درصد تغییر سیگنال به ازای هر زبان و نیمکره در پلنیوم گیجگاهی (*معناداری عامل‌های اصلی و تعامل‌های معنادار)

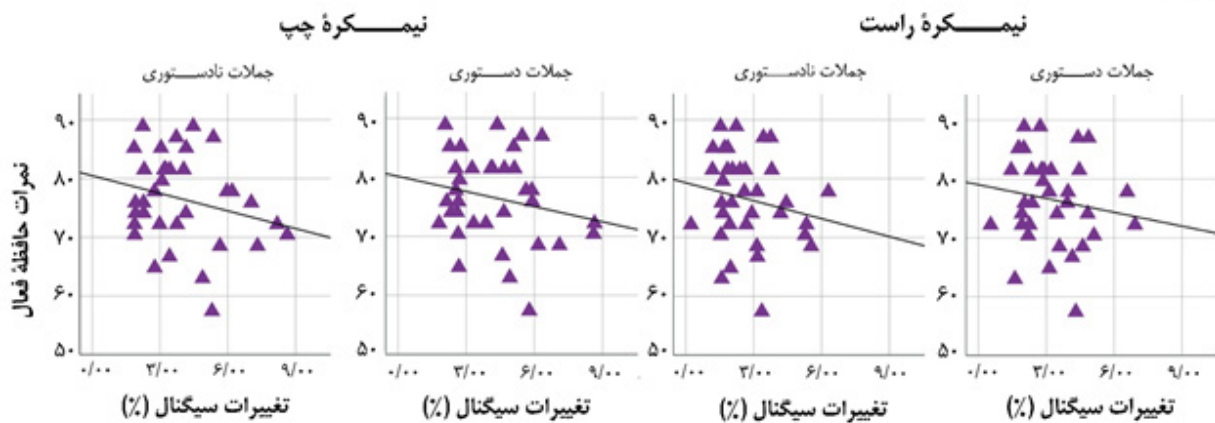
جدول ۴. نتایج آزمون‌های تی‌زوجی برای عامل دستوری‌بودگی به تفکیک هر زبان و نیمکره برای پلنیوم گیجگاهی

زبان	نیمکره راست		نیمکره چپ	
	میانگین شدت تغییر سیگنال (%) (انحراف معیار)	t	میانگین شدت تغییر سیگنال (%) (انحراف معیار)	t
اول	۰/۵۱۵ - ۰/۴۷	-۵/۳۶۳***	۰/۳۱۴ - ۰/۶۲	-۲/۹۸۰**
دوم	۰/۳۶۹ - ۰/۳۹	-۵/۵۷۲***	۰/۴۸۸ - ۰/۴۹	-۵/۳۱۱***

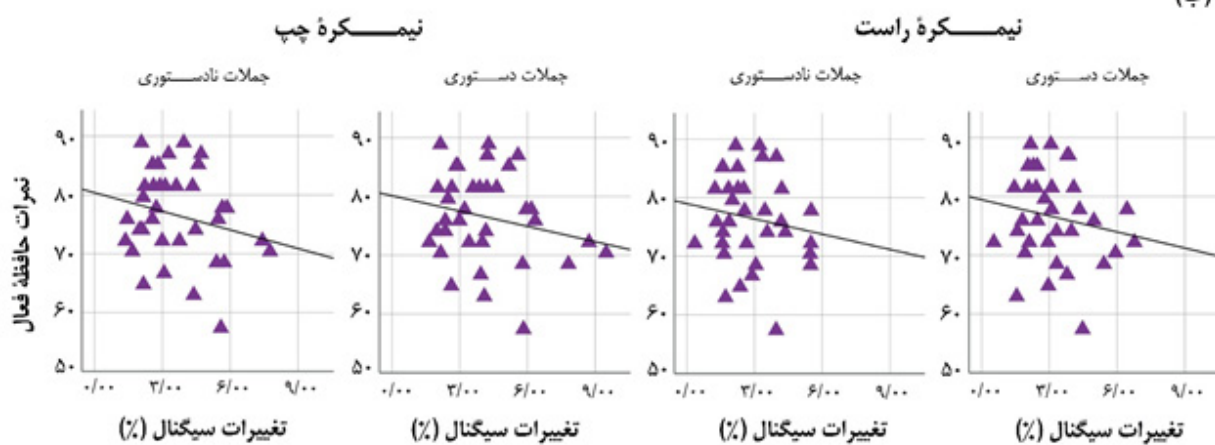
جدول ۵. ضریب همبستگی بین متغیرهای نمرات آزمون حافظه فعال و درصد تغییرات سیگنال در پلنیوم گیجگاهی چپ و راست.

متغیر		درصد تغییر سیگنال							
آماره‌ها		زبان اول				زبان دوم			
		نیمکره راست	نیمکره چپ	نیمکره راست	نیمکره چپ	نیمکره راست	نیمکره چپ	نیمکره راست	نیمکره چپ
نمرات حافظه فعال	ضریب همبستگی (r)	۰/۱۴۷	-۰/۱۸۶	-۰/۲۰۴	-۰/۲۴۳	-۰/۱۷۲	-۰/۱۵۴	-۰/۲۲۰	-۰/۲۲۸
	مقدار P	۰/۳۹۸	۰/۴۲۱	۰/۲۴۰	۰/۱۵۹	۰/۳۲۲	۰/۳۷۸	۰/۲۰۵	۰/۱۸۸
	تعداد افراد (N)	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶

(الف)



(ب)



شکل ۳. نمودار پراکنش همبستگی بین دو متغیر نمرات حافظه فعال و درصد تغییرات سیگنال در ناحیه پلنیوم گیجگاهی چپ و راست برای زبان (الف) اول و (ب) دوم.

بحث

شنیداری تأیید می‌شود. دوماً، با توجه به همپوشانی پلنیوم گیجگاهی با بخشی از ناحیه ورنیکه به عنوان اصلی‌ترین مرکز درک گفتار (۳۵)، یافته‌های حاضر نقش این ناحیه مغزی را به عنوان پردازشگر زبان اثبات می‌کند. سومین، و شاید مهم‌ترین، تعبیر می‌تواند این باشد که این ناحیه نقش یک واسطه محاسباتی (Computational interface) را ایفا می‌کند؛ یعنی دریافت سیگنال ورودی و ارسال آن به سایر نواحی مغز برای پردازش بیشتر. به عبارتی دقیق‌تر، همان‌گونه که Griffiths و Warren اشاره کردند پلنیوم گیجگاهی به گونه‌ای طراحی شده است که الگوهای صوتی ورودی را با الگوهای از قبل تعیین‌شده این ناحیه انطباق می‌دهد و خروجی آن شامل الگوهای زمانی-مکانی متناظر با اهداف شنیداری و ویژگی‌های مکانی آنها است (۲۰). افزون بر این، شواهدی از مطالعات اتصالات عملکردی مبنی بر اتصالات نورونی قوی بین پلنیوم گیجگاهی و نواحی نحو-ویژه (از جمله پارس آپرکولاریس و شکنج فوقانی گیجگاهی خلفی در نیمکره چپ) تعبیر سوم را تقویت می‌کند (۱۸). این سه تعبیر در مدل کارکردی قطب محاسباتی عینیت

هدف از پژوهش حاضر، بررسی عملکرد و نقش ناحیه مغزی پلنیوم گیجگاهی چپ و راست در پردازش شنیداری جملات زبان اول و دوم در افراد دوزبانه ترکی-فارسی بود. به دنبال شناسایی فعالیت پلنیوم گیجگاهی دوجانبه (۵)، آنالیزی مبتنی بر ROI اجرا و الگوی فعالیت محرک‌های دستوری/نادرستی در زبان‌های اول و دوم استخراج شد. محرک‌های زبان‌های اول و دوم به صورت متوالی توزیع شده بودند؛ در حالی که پراکندگی محرک‌های دستوری و نادرستی تصادفی بود. نتایج با جزئیات بیشتری در ذیل این بخش تشریح خواهد شد.

بر اساس آنالیز کل-مغز، اثر دستوری‌بودگی (اختلاف محرک‌های نادرستی و دستوری) در هر دو زبان اول و دوم در ناحیه پلنیوم گیجگاهی چپ و راست در دوزبانه‌های متوازن حاضر مشاهده شد. برای این یافته سه تعبیر همگرا می‌توان متصور شد. اولاً، با توجه به موقعیت مکانی ناحیه پلنیوم گیجگاهی در مغز، یعنی مجاورت با قشر هشل (مرکز شنوایی)، نقش این ناحیه در بازنمایی اطلاعات

پلنیوم گیجگاهی به تمامی محرک‌ها، مؤید هم‌پوشانی کامل بین همبسته‌های عصب‌کالبدشناختی زبان اول و دوم است که خود حاکی از بسندگی بالای دوزبانه‌های حاضر به زبان دوم‌شان می‌باشد (۳۲). علاوه بر این، عدم همبستگی بین نمرات حافظه فعال و درصد تغییرات سیگنال در پلنیوم گیجگاهی (جدول ۵ و شکل ۳ را ببینید)، ممکن است حاکی از عدم دخالت منابع حافظه فعال در برقراری وابستگی بین فعل و موضوعات (Arguments) آن در این ناحیه باشد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر از چند جهت حائز اهمیت هستند. اول، برانگیختگی پلنیوم گیجگاهی برای همه محرک‌ها که مبین هم‌پوشانی کامل بین همبسته‌های نورونی دو زبان است، میزان بسندگی بالای دوزبانه‌های حاضر به زبان دوم‌شان را که در سن ۷ سالگی آموخته بودند، تأیید می‌کند. دوم، از نقش پلنیوم گیجگاهی چپ به عنوان یک واسط محاسباتی پشتیبانی می‌کند. سوم، پاسخ پلنیوم گیجگاهی راست به محرک‌های شنیداری مؤید نقش این ناحیه در پردازش توجهی محرک‌محور است. چهارم، فعالیت بیشتر محرک‌های نادرستی زبان اول در مقایسه با محرک‌های نادرستی زبان دوم در نیمکره چپ نشان می‌دهد که دوزبانه‌های فعلی، زبان اول (زبان ترکی) را به عنوان زبان پایه انتخاب کرده‌اند که مستلزم صرف زمان و منابع شناختی بیشتر برای مهار و فعال‌سازی مجدد این زبان است. پنجم، شباهت‌های ساختاری بین دو زبان می‌تواند پردازش زبان دوم را تسهیل نماید.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق در پژوهش

پژوهش حاضر مورد تصویب کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران و دارای کد IR.IUMS.REC.1398.465 است. کلیه اصول اخلاقی از جمله شفاف‌سازی کامل اهداف پژوهش برای شرکت‌کنندگان، آزادی عمل افراد در شرکت یا ترک پروژه، کسب رضایت کتبی و محرمانه بودن اطلاعات شرکت‌کنندگان و پرداخت حق‌الزحمه حضور رعایت گردید.

مشارکت نویسندگان

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری نویسنده نخست در گروه زبان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس تهران است (۳۶). ایده‌پردازی، طراحی پژوهش، آنالیز داده و تهیه پیش‌نویس مقاله بر عهده نویسنده اول بود. نویسنده دوم عهده‌دار مسئولیت راهنمایی پژوهش بود. نسخه نهایی مقاله نیز مورد تأیید هر دو نویسنده حاضر قرار گرفت.

دارد؛ زیرا طبق این مدل، پلنیوم گیجگاهی به مکانیسم‌های قشری مجزا برای شناسایی و مکان‌یابی صداها مجهز است (۲۰).

بر پایه آنالیز ROI، و در راستای مطالعات کالبدشکافی مغز (۱۱-۶) و آسیب‌شناختی زبان (۱۲)، عملکرد نیمکره چپ برای اثر دستوری‌بودگی در هر دو زبان اول و دوم قوی‌تر از نیمکره راست بود و بر نامتقارنی چپ‌سوی پلنیوم گیجگاهی صحه می‌گذارد. مشخصه بارز یکسویه‌شدگی پلنیوم گیجگاهی علاوه بر اتصالات قوی آن با نواحی نحو و ویژه در نیمکره چپ، خود گواه بر نقش پلنیوم گیجگاهی چپ در پردازش زبان و مشخصاً اطلاعات نحوی است. افزون بر این، حساسیت پلنیوم گیجگاهی راست به محرک‌های پژوهش حاضر قابل توجه است که مؤید مطالعات پیشین است (۱۳) مبنی بر این که پلنیوم گیجگاهی راست نیز در توجه شنیداری محرک‌محور دخالت دارد. در همین راستا Hirnstein و همکاران پیشنهاد دادند که پلنیوم گیجگاهی بخشی از شبکه توجهی نیمکره راست است که بسته به نیازهای یک تکلیف خاص، ظرفیت پردازش توجهی پلنیوم گیجگاهی راست به کار گرفته می‌شود (۱۳). با این وجود، عملکرد ضعیف‌تر پلنیوم گیجگاهی راست در مطالعه حاضر در مقایسه با پلنیوم گیجگاهی چپ حاکی از این است که گوش راست عملکرد بالاتری در مقایسه با گوش چپ داشته است. این ناقرینگی دال بر برتری گوش راست و البته راست‌دستی در شرکت‌کنندگان حاضر است.

از سوی دیگر، مقایسه مستقیم بین جملات نادرستی دو زبان نشان داد که در نیمکره چپ فعالیت زبان اول قوی‌تر از فعالیت زبان دوم بود؛ در حالی که در نیمکره راست اختلافی بین جملات نادرستی زبان اول و دوم مشاهده نشد. این یافته که در راستای نتایج رفتاری شرکت‌کنندگان حاضر مبنی بر زمان واکنش طولانی‌تر به محرک‌های نادرستی زبان اول نسبت به محرک‌های نادرستی زبان اول منابع شناختی بیشتری را برای پردازش به کار گرفته‌اند. هم‌راستا با چارچوب پیوستار حالت زبان (۲۶، ۲۷)، به نظر می‌رسد در تکلیف دوزبانه حاضر که هر دو زبان به صورت همزمان فعال هستند، زبان اول شرکت‌کنندگان (زبان ترکی) به عنوان زبان پایه و زبان دوم‌شان (زبان فارسی) به عنوان زبان غیرهدف عمل کرده که منجر به فعالیت بیشتر زبان اول شده است. فعالیت بیشتر زبان اول که مستلزم سرکوب بیشتر این زبان در حین پردازش جملات زبان دوم بوده است، در مرحله فعال‌سازی مجدد زمان بیشتری را برای بازیابی می‌طلبد (۳۰). این نتایج حاکی از آن است که در ناحیه پلنیوم گیجگاهی و در حین پردازش شنیداری جملات دو زبان، شرکت‌کنندگان حاضر به زبان اول‌شان متکی بودند و شباهت‌های ساختاری بین دو زبان نیز تسهیل‌گر این پردازش بوده است. حساسیت

منابع مالی

این پژوهش به موجب قرارداد شماره ۷۴۰۱ با حمایت مالی ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی انجام شد. افزون بر این از حمایت مالی دانشگاه تربیت مدرس و وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ایران نیز برخوردار بود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان حاضر از حامیان مالی این پروژه قدردانی می‌کنند.

تعارض منافع

مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع است.

References

1. Europa E, Gitelman DR, Kiran S, Thompson CK. Neural connectivity in syntactic movement processing. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2019;13:27.
2. Garagnani M, Wennekers T, Pulvermuller F. Recruitment and consolidation of cell assemblies for words by way of hebbian learning and competition in a multi-layer neural network. *Cognitive Computation*. 2009;1:160-176.
3. Binder JR, Frost JA, Hammeke TA, Rao SM, Cox RW. Function of the left planum temporale in auditory and linguistic processing. *Brain*. 1996;119(4):1239-1247.
4. Zetzsche T, Meisenzahl EM, Preuss UW, Holder JJ, Kathmann N, Leinsinger G, et al. In-vivo analysis of the human planum temporale (PT): Does the definition of PT borders influence the results with regard to cerebral asymmetry and correlation with handedness?. *Psychiatry Research: Neuroimaging*. 2001;107(2):99-115.
5. Meykadeh A, Golfam A, Batouli SAH, Sommer W. 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*. 2021;15:728549.
6. Pfeifer RA. Myelogenetic-anatomical investigations on the cortical end of the auditory pathway. In: Saxon Academy of Sciences in Leipzig, ed: Proceedings of the Mathematical-Physical Class of the Saxon Academy of Sciences. 1920;37:1-54.
7. v. Economo C, Horn L. On the convolutional relief, dimensions and cortical architecture of the supratemporal surface, its individual and lateral differences. *Journal of Neurology and Psychiatry*. 1930;130:678-757.
8. Geschwind N, Levitsky W. Human brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*. 1968;161(3837):186-187.
9. Witelson SF, Pallie W. Left hemisphere specialization for language in the newborn. Neuroanatomical evidence of asymmetry. *Brain*. 1973;96(3):641-646.
10. Wada JA, Clarke R, Hamm A. Cerebral hemispheric asymmetry in humans. Cortical speech zones in 100 adults and 100 infant brains. *Archives of Neurology*. 1975;32(4):239-246.
11. Kopp N, Michel F, Carrier H, Biron A, Duvillard P. Etude de certaines asymetries hemispheriques du cerveau humain. *Journal of the Neurological Sciences*. 1977;34(3):349-363.
12. Gough PM, Connally EL, Howell P, Ward D, Chesters J, Watkins KE. Planum temporale asymmetry in people who stutter. *Journal of Fluency Disorders*. 2018;55:94-105.
13. Hirnstein M, Westerhausen R, Hugdahl K. The right planum temporale is involved in stimulus-driven, auditory attention-evidence from transcranial magnetic stimulation. *PLoS One*. 2013;8(2):e57316.
14. Albouy P, Benjamin L, Morillon B, Zatorre RJ. Distinct sensitivity to spectrotemporal modulation supports brain asymmetry for speech and melody. *Science*. 2020;367(6481):1043-1047.
15. Hickok G, Poeppel D. The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*. 2007;8(5):393-402.
16. Moffat SD, Hampson E, Lee DH. Morphology of the pla-

- num temporale and corpus callosum in left handers with evidence of left and right hemisphere speech representation. *Brain*. 1998;121(12):2369-2379.
17. Tzourio-Mazoyer N, Crivello F, Mazoyer B. Is the planum temporale surface area a marker of hemispheric or regional language lateralization?. *Brain Structure and Function*. 2018;223(3):1217-1228.
 18. Meykadeh S, Khadem A, Sulpizio S, Sommer W. Functional connectivity during morphosyntactic processing: An fMRI study in balanced Turkish-Persian bilinguals. *Journal of Neurolinguistics*. 2023;68:101162.
 19. Friederici AD, Chomsky N, Berwick RC, Moro A, Bolhuis JJ. Language, mind and brain. *Nature Human Behaviour*. 2017;1(10):713-722.
 20. Griffiths TD, Warren JD. The planum temporale as a computational hub. *Trends in Neurosciences*. 2002;25(7):348-353.
 21. Adank P, Noordzij ML, Hagoort P. The role of planum temporale in processing accent variation in spoken language comprehension. *Human Brain Mapping*. 2012;33(2):360-372.
 22. Schremm A, Novén M, Horne M, Soderstrom P, van Westen D, Roll M. Cortical thickness of planum temporale and pars opercularis in native language tone processing. *Brain and language*. 2018;176:42-47.
 23. Golfam A. Principles of grammar. Tehran:Samt Publication;2006. (Persian)
 24. Dabir-Moggadam M. Theoretical linguistics: Emergence and development of generative grammar. 3rd ed. Tehran:Samt Publication;2016. (Persian)
 25. Ogawa S, Menon RS, Tank DW, Kim SG, Merkle H, Ellermann JM, et al. Functional brain mapping by blood oxygenation level-dependent contrast magnetic resonance imaging. A comparison of signal characteristics with a biophysical model. *Biophysical Journal*. 1993;64(3):803-812.
 26. Grosjean F. The bilingual's language modes. In: Nicol JL, editor. One mind, two languages: Bilingual language processing. Oxford:Blackwell Publishing;2001. pp. 1-22.
 27. Grosjean F. Bilingual and monolingual language modes. In: Chapelle CA, editor. The encyclopedia of applied linguistics. Malden, MA, USA:Blackwell Publishing Ltd;2012. pp. 489-493.
 28. Rafeekh R, Mishra R. The sensitivity to context modulates executive control: Evidence from Malayalam-English bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*. 2020;24(2):358-373.
 29. Yu Z, Schwieter JW. Recognizing the effects of language mode on the cognitive advantages of bilingualism. *Frontiers in Psychology*. 2018;9:366.
 30. Roman P, Gomez-Gomez I. Changes in native sentence processing related to bilingualism: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*. 2022;13:757023.
 31. Purmohammad M. Psycholinguistics. Tehran:Samt Publication;2019. (Persian)
 32. Biondo N, Molinaro N, Mancini S. The neurolinguistics of the second language morphological system: The role of grammar-related and speaker-related factors. In: Morgan-Short K, van Hell JG, editors. The Routledge handbook of second language acquisition and neurolinguistics. 1st ed. New York:Routledge;2023. pp. 115-132.
 33. Khodadadi M, Asadzadeh H, Kalantar Ghoreishi M, Amani H. Working memory test. Daneman M, Carpenter PA, Software. Tehran:Institute for Behavioral and Cognitive Sciences;2014. (Persian)
 34. Meykadeh S, Golfam A, Batouli SAH, Sommer W. The neural basis of Number and Person phi-features processing: An fMRI study in highly proficient bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*. 2024;27(3):306-321.
 35. Shapleske J, Rossell SL, Woodruff PW, David AS. The planum temporale: A systematic, quantitative review of its structural, functional and clinical significance. *Brain Research Reviews*. 1999;29(1):26-49.
 36. Meykadeh S. An investigation of the effects of language proficiency and age of acquisition on neural organization for morphosyntactic processing using ERPs and fMRI [PhD dissertation]. Tehran:Tarbiat Modares University;2021. (Persian)