



فصلنامه علمی زبان پژوهی دانشگاه الزهراء (س)

سال شانزدهم، شماره ۵۱، تابستان ۱۴۰۳

نوع مقاله: پژوهشی

صفحات ۳۱۵-۲۸۵

نقش پلنیوم گیجگاهی در پردازش مشخصه‌های شخص و شمار در افراد دوزبانه: شواهدی از fMRI^۱

سیمین میکده^۲، ورنر زومر^۳، سیدامیر حسین بتولی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱

چکیده

پلنیوم گیجگاهی یک ناحیه مغزی است که درون شیار سیلویین و بخش خلفی قشر شنوایی (شکنج هشل) قرار گرفته و به سبب همپوشانی‌اش با ناحیه ورنیکه، به عنوان کانون کارکردی شبکه زبان قلمداد می‌شود. پژوهش‌های بسیاری اهمیت ویژه پلنیوم گیجگاهی چپ را در انواع فرایندهای شنیداری و زبان-ویژه نشان داده‌اند. شواهد دیگری نیز بر دخالت پلنیوم گیجگاهی راست در توجه شنیداری و تکالیف محرک محور دلالت دارد. با وجود حجم گسترده بررسی‌های انجام شده درباره نقش پلنیوم گیجگاهی، هنوز میزان دخالت این ناحیه مغزی در دوزبانگی در حاله‌ای از ابهام قرار دارد. افزون‌براین، نگارندگان علاقمندند تا نقش پلنیوم گیجگاهی را در مطابقت شخص-شمار در دوزبانه‌ها پیگیری کنند. به این منظور، تعداد ۳۶ نفر دوزبانه ترکی-فارسی (۲۱ زن) که زبان دوم‌شان

^۱ شناسه دیجیتال (DOI): 10.22051/jlr.2023.44249.2316

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

^۲ دکترای تخصصی زبان‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران؛
a.meykadeh@modares.ac.ir

^۳ دکترای تخصصی روان‌شناسی، استاد گروه روان‌شناسی، دانشگاه هومبولت برلین، برلین، آلمان؛
werner.sommer@cms.hu-berlin.de

^۴ دکترای تخصصی تصویربرداری عصبی، استادیار گروه علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران؛
batouli@sina.tums.ac.ir

را به صورت رسمی در سن ۷ سالگی آموخته بودند، انتخاب شدند. بر مبنای شاخص تسلط دوزبانه، هیچ تفاوتی بین سطوح بالای بسندگی شرکت کنندگان در زبان اول (ترکی) و دوم (فارسی) وجود نداشت. شرکت کنندگان یک آزمون شنیداری قضاوت دستوری بودگی با الگوی زبان گردانی جایگزین را به هنگام گرفتن تصاویر اف.ام.آر.آی اجرا کردند. یافته‌های پژوهش نشان داد که در طول اجرای یک آزمون دوزبانه، دخالت پلنیوم گیجگاهی چپ در مقایسه با پلنیوم گیجگاهی راست در مطابقت شخص-شمار بیشتر بود. همچنین، بدون در نظر گرفتن نوع زبان مورد پردازش، آزمایش فعلی نشان داد که در ناحیه پلنیوم گیجگاهی، جمله‌های دارای مشخصه شمار فعالیت بیشتری را در مقایسه با جمله‌های دارای مشخصه شخص ایجاد کردند که دال بر پردازش متمایز زیرساختی عبارات ارجاعی و ضمیرها در این ناحیه مغزی است.

واژه‌های کلیدی: دوزبانگی، مشخصه‌های شخص-شمار، پلنیوم گیجگاهی، اف.ام.آر.آی

۱. مقدمه

پلنیوم گیجگاهی^۱ یک ناحیه مثلثی شکل از قشر^۲ مغز است که در خلف شکنج هشل^۳ (مرکز شنوایی) و شکنج گیجگاهی فوقانی^۴ قرار گرفته است (Altarelli, et al., 2014). ۵۰ سال قبل، گشویند و لویتسکی (Geschwind & Levitsky, 1968) برای نخستین بار ۱۰۰ عدد مغز را بعد از مرگ بررسی و یکسویه‌شدگی^۵ چپ > راست پلنیوم گیجگاهی را گزارش کردند. شواهد دیگری هم وجود دارد که نشان می‌دهد پلنیوم گیجگاهی چپ تا ۵۰ درصد بزرگتر از سمت راست آن است (Tzourio-Mazoyer & Mazoyer, 2017; Tzourio-Mazoyer, et al., 2018). در پژوهش‌های دیگری نیز بارها نقش بنیادین این ناحیه در یکسویه‌شدگی کارکردی پردازش زبان شناسایی شده است (Galaburda, et al., 1978; Steinmetz, 1996; Moffat, 1998; Hickok & Poeppel, 2000; Hickok & Poeppel, 2007; Price, 2010; Tzourio-Mazoyer et al., 2018; Albouy, et al., 2020). به ویژه، نامتقارنی^۶ نیمکره‌ای پلنیوم گیجگاهی در فعالیت‌های کارکردی در حین تکالیف شنیداری^۷ یا زبان-ویژه به خوبی اثبات شده است (Zatorre et al., 2002; Hunter et al., 2003; Pahs, et al., 2013; Albouy, et al., 2020).

¹ planum temporale

² cortex

³ heschl's gyrus

⁴ superior temporal gyrus

⁵ lateralization

⁶ asymmetry

⁷ auditory task

(et al., 2020). افزون بر این، نامتقارنی چپ‌سوی^۱ پلنیوم گیجگاهی در برخی ویژگی‌های ساختاری از جمله طول، غلظت/حجم ماده خاکستری^۲، نواحی سطح^۳، ضخامت قشری^۴ و واحدهای عصبی ستونی شکل دیده شده‌است (Chance, et al., 2008; Greve, et al., 2013; Bloom, et al., 2013; Fukutomi et al., 2018; Ocklenburg et al., 2018; Schmitz, et al., 2019; Tzourio-Mazoyer, et al., 2019). در پژوهش‌های مرتبط با ضایعات مغزی هم مداخله ناحیه پلنیوم گیجگاهی در شماری از فرایندهای زبانی گزارش شده‌است (Dronkers, et al., 2004). پژوهش‌های روهاس و همکارانش (Rojas, et al., 2005) نشان داد که به نظر می‌رسد کاهش حجم ماده خاکستری پلنیوم گیجگاهی چپ در بیماران اُتیسْم^۵ با تأخیرهایی در یادگیری زبان ارتباط دارد (Knaus, et al., 2018). در همین راستا، جکب و همکاران (Jakab et al., 2019) با بررسی میزان رشد ناحیه‌ای مغز در نوزادانی با بیماری‌های مادرزادی قلبی دریافتند که بین نرخ رشد پلنیوم گیجگاهی و امتیازات زبان در سن ۱۲ ماهگی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. افزون‌براین، در پژوهش‌های دیگری هم (Sommer, et al., 2013; Ratnanather, et al., 2001) کاهش حجم ناحیه پلنیوم گیجگاهی چپ در بیماران اسکیزوفرنی شناسایی شده‌است. به‌طور کلی، به نظر می‌رسد که یکسویه‌شدگی پلنیوم گیجگاهی یک شاخص کالبدشناختی^۶ برای تسلط نیمکره چپ در پردازش زبان باشد. هرچند شواهد مبتنی بر دخالت ناحیه پلنیوم گیجگاهی راست در انتخاب محرک‌ها و توجه شنیداری هم دیده شده‌است (Hirnstain, et al., 2013; Pollmann, 2010). در پژوهش حاضر، با توجه به اهمیت و تثبیت نقش پلنیوم گیجگاهی در پردازش شنیداری زبان (Griffiths & Warren, 2002)، تلاش شد تا الگوی فعالیت این ناحیه مغزی در دوزبانه‌های متوازن^۸ با بهره‌گیری از تکنیک تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی^۹ بررسی گردد. روش تصویربرداری اف.ام.آر.آی^{۱۰}، غیرتهاجمی^{۱۱} است و برای اندازه‌گیری و مکان‌یابی^{۱۲} کارکردهای خاص مغز انسان بدون استفاده از اشعه عمل

¹ left-ward

² gray matter concentration/volume

³ surface area

⁴ cortical thickness

⁵ lesion

⁶ autism spectrum disorder (ASD)

⁷ anatomical

⁸ balanced bilingual

دوزبانه متوازن به کسی گفته می‌شود که تسلطش به هر دو زبان یکسان است (Pourmohammad, 2019).

⁹ functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

¹⁰ fMRI

¹¹ non-invasive

¹² localization

می‌کند. دقت مکانی ۲-۳ میلی‌متری (Purves, et al., 2018) اف.ام.آر.آی، آن را به ابزاری قدرتمند برای تصویربرداری از مغز مبدل کرده‌است.

شالوده نظریه مشخصه‌های فای^۱ بر مبنای مطالعات زاشفسکی و همکاران (Zawiszewski et al., 2016) و مانسینی و همکارانش (Mancini et al., 2017) بنا شده‌است. این نظریه بر دو فرض استوار است (Ackema & Neeleman, 2018, 2019). نخست اینکه، برخلاف ضمیرها، عبارت‌های ارجاعی^۲ فاقد شخص هستند. دوماً، همه اشخاص دارای مشخصه شخص هستند؛ ولی، حالت مفرد فاقد مشخصه شمار است. در پژوهش‌های اف.ام.آر.آی، آکیما و نیومن (Ackema & Neeleman, 2019, p. 8) دو تعمیم را در وضعیت ناستوری بودن^۳ فعل پیشنهاد کردند. (الف) در جمله‌هایی که فاعل یک عبارت ارجاعی است، مشخصه شخص از جنبه کیفی متفاوت از مشخصه شمار عمل می‌کند و از جنبه کمی نیز اثر بزرگتری ایجاد می‌کند. (ب) در جمله‌هایی که فاعل یک ضمیر است، هیچ تفاوت کیفی بین مشخصه شخص و مشخصه شمار وجود ندارد، ولی مشخصه شخص از جنبه کمی اثر بزرگتری ایجاد می‌کند. بر مبنای پیش‌بینی‌های آکیما و نیومن (Ackema & Neeleman, 2019) اثر بزرگتر برای خطاهای مشخصه شخص به نسبت مشخصه شمار مستقل از ماهیت فاعل است. ولی، در این نظریه شرایطی که کنترل‌کننده‌های جداگانه به عنوان فاعل برای نقض‌های^۴ شخص و شمار استفاده شوند، نادیده گرفته شده‌است. به بیان دیگر، شرایطی که در آن از عبارات ارجاعی برای نقض مشخصه شمار و از ضمیر برای نقض مشخصه شخص استفاده شده باشد. مهم‌ترین خاصیت این شرایط این است که ماهیت فاعل (عبارت ارجاعی یا ضمیر) را آشکار می‌سازد، چون هر نوع نقض (چه نقض مشخصه شمار و چه نقض مشخصه شخص) دارای یک تضاد^۵ در مشخصات مشخصه^۶ است. به بیان دیگر، از یک سو، بین مشخصه‌های شمار فاعل و مشخصات شمار فعل تضاد برقرار است. و از سوی دیگر، بین مشخصه‌های شخص فاعل و مشخصه‌های شخص فعل تضاد وجود دارد. به تازگی، میکده و همکاران (Meykadeh et al., 2023a) در یک مطالعه اف.ام.آر.آی به این موضوع پرداختند و نشان دادند که هم‌راستا با پژوهش‌های پیشین در مرحله تشخیص خطا اختلاف کیفی بین مشخصه‌های شخص و شمار وجود دارد ولی برخلاف مطالعات

¹ theory of phi-features

^۲ (referential-expressions = R-expressions)؛ در نظریه مرجع‌گزینی چامسکی، عبارات ارجاعی شامل

اسم‌های تمام عیار و رد پرسش‌واژه است.

³ ungrammatical condition

⁴ violations

⁵ clash

⁶ feature specification

پیشین (Zawiszewski et al., 2016; Mancini et al., 2017)، نقض مشخصه شمار اثرات بیشتری را در مقایسه با مشخصه شخص ایجاد می‌کند. یافته‌های میکده و همکاران (2023a) نشان داد که مغز کنترل‌کننده‌های ضمیری و عبارات ارجاعی را به صورت متفاوت پردازش می‌کند. هم‌راستا با نظریه آکیما و نیومن (Ackema & Neeleman, 2019)، دو سازوکار نوروآناتومی^۱ متمایز مرتبط با مشخصه‌های شخص و شمار معرفی شده است: (الف) سازوکار بازبینی مشخصه^۲ که پیوستگی مشخصه‌های شخص و شمار بین آغازگر^۳ (فاعل) و هدف^۴ (فعل) را کنترل می‌کند (den Dikken, 2019). (ب) سازوکار نگاشت مشخصه^۵ که اطلاعات صرفی- نحوی^۶ را با اطلاعات معنایی-گفتمانی^۷ تطبیق می‌دهد (Mancini et al., 2017). در بافت تک‌زبانگی^۸، در یک مطالعه ای.آر.پی^۹ در زبان باسک^{۱۰} که از ضمائر به‌عنوان فاعل جمله‌های دارای مشخصه‌های شخص/شمار نقض شده^{۱۱} بهره گرفته شده بود (Zawiszewski et al., 2016)، الگوی N400-P600 ایجاد شد، ولی در مشخصه شخص نقض شده (در مقایسه با مشخصه شمار نقض شده) مؤلفه^{۱۲} P600 بزرگتر و خلفی تر^{۱۳} و مؤلفه^{۱۴} N400 بزرگتر و مرکزی-پیشانی تر^{۱۵} بود. در پژوهش دیگری در زبان اسپانیولی که فقط از عبارات ارجاعی به عنوان فاعل استفاده شده بود (Mancini et al., 2017)، بخش پیشین^{۱۶} شکنج گیجگاهی میانی چپ^{۱۷} برای مشخصه شخص نقض شده و بخش پسین آن برای مشخصه شخص و شمار نقض شده فعال شد و مشخصه شخص در مقایسه با مشخصه شمار اثر بزرگتری را ایجاد کرد. براین اساس، مانسینی و همکارانش (Mancini et al., 2017) پیشنهاد کردند که دو سازوکار مختلف در پدیده مطابقت^{۱۸} دخالت دارد. مطابقت شخص و شمار شامل یک سازوکار بازبینی مشترک ولی سازوکار نگاشت متفاوت است. هدف بعدی پژوهش حاضر بررسی پلنیوم گیجگاهی و سازوکارهای

¹ neuroanatomical mechanism

² feature-checking mechanism

³ trigger

⁴ target

⁵ feature-mapping mechanism

⁶ morphosyntactic information

⁷ discourse-semantic information

⁸ monolingualism context

⁹ ERP

¹⁰ basque language

¹¹ violated Number/Person features

¹² component

¹³ posterior

¹⁴ centro-frontal

¹⁵ anterior

¹⁶ left middle temporal gyrus (LMTG)

¹⁷ agreement

احتمالی آن در پردازش مشخصه‌های شخص/شمار است.

تا آن‌جا که نگارندگان می‌دانند - پژوهش رودریگز-فورنلز و همکاران (Rodriguez-Fornells et al., 2002) تنها اثری است که با به‌کارگیری داده‌های اف.ام.آر.آی به نقش پلنیوم گیجگاهی در دوزبانه‌ها پرداخته است. در این پژوهش، فعالیت بیشتر پلنیوم گیجگاهی در دوزبانه‌های اسپانیایی-کاتالان^۱ در مقایسه با تک‌زبان‌های اسپانیایی‌زبان در هنگام پردازش واجی شناسایی شد. پژوهش حاضر در چندین بُعد از پژوهش رودریگز-فورنلز و همکارانش (Rodriguez-Fornells et al., 2002) متفاوت است. برخلاف رودریگز-فورنلز و همکارانش (Rodriguez-Fornells et al., 2002)، نویسندگان حاضر بر آن اند تا پردازش شنیداری مشخصه‌های شخص و شمار زبان اول و دوم را در یک مغز بررسی کنند. به‌بیان دقیق‌تر، در پژوهش فعلی فقط یک گروه از افراد دوزبانه به‌کار گرفته شد. همه افراد زبان ترکی را به‌عنوان زبان مادری در آغاز تولد فراگرفته بودند و زبان فارسی را (به‌عنوان زبان دوم) در آغاز ورود به مدرسه (در سن ۷ سالگی) به‌طور رسمی آموخته بودند و تسلط یکسانی به هر دو زبان داشتند. بنابراین هدف دیگر پژوهش حاضر بررسی فعالیت هم‌زمان زبان اول و دوم دوزبانه‌ها در هنگام پردازش مشخصه‌های شخص و شمار است. نکته قابل توجه این است که دو زبان ترکی و فارسی ویژگی‌های دستوری مشترکی دارند که عامل مهمی در کنترل پردازش زبان دوم به‌شمار می‌آید. هر دو زبان به‌ترتیب به زیرشاخه‌های آلتایی^۲ و هندوایرانی از خانواده زبان‌های هندواروپایی تعلق دارند، ولی در حالت بی‌نشان ترتیب واژه^۳ در هر دو زبان فاعل-مفعول-فعل^۴ است و از ویژگی‌های نحوی ویژه‌ای مانند مطابقت فعلی^۵ پیروی می‌کنند. بر مبنای توصیف نحو مشترک^۶ (Hartsuiker et al. 2004)، دوزبانه‌ها بازنمایی‌های نحوی را بین زبان‌ها به اشتراک می‌گذارند اگر این بازنمایی‌ها به اندازه کافی بین زبان‌ها مشترک باشد. 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 بهره می‌گرفتند. به‌ویژه، مطالعه این جمعیت به این سبب می‌تواند دارای اهمیت باشد که اگرچه آن‌ها یادگیری زبان دوم را تا اندازه‌ای دیر شروع کردند، ولی در ادامه به سطح بسیار بالایی از بسندگی^۷ رسیدند. در پژوهش حاضر، نویسندگان در تلاش‌اند تا عملکرد ناحیه

¹ español-catalan

² altaic

³ unmarked^w word-order

⁴ subject-object-verb (SOV)

⁵ verbal agreement

⁶ shared syntax account

⁷ proficiency

مغزی پلنیوم گیجگاهی را که در دوزبانه‌های ترکی-فارسی مطالعه می‌کند و همکاران (Meykadeh et al., 2021a) شناسایی شده بود، بررسی نماید. بدین ترتیب، با هدف بررسی نقش پلنیوم گیجگاهی در پردازش مشخصه‌های شخص/شمار با روش اف.ام.آر.آی در دوزبانه‌های ترکی-فارسی که در سن ۷ سالگی زبان دوم را رسماً آموخته بودند، در بازتحلیل^۱ حاضر به این پرسش‌ها پاسخ خواهیم داد: (۱) تا چه میزانی ناحیه پلنیوم گیجگاهی چپ و راست در افراد دوزبانه متوازن دخیل است؟ (۲) ناحیه پلنیوم گیجگاهی تا چه میزان در پردازش مشخصه‌های شخص/شمار زبان اول/دوم سهم است؟ (۳) آیا ناحیه پلنیوم گیجگاهی برای شناسایی مشخصه‌های شخص و شمار مجهز به سازوکار نگاشت مشخصه است؟

۲. روش پژوهش

۲-۱. شرکت کنندگان

براساس فراخوان، در پژوهش کاربردی-بنیادی حاضر، دانشجویان دارای شرایط دوره‌های دکتری دعوت به همکاری شدند. از بین داوطلبان، ۳۶ دانشجوی ترک‌زبان (۲۱ زن و ۱۵ مرد به ترتیب با میانگین سنی و انحراف معیار $27/71 \pm 3/5$ و $26/2 \pm 87/97$ ، در محدوده سنی ۲۲-۳۴ سال) انتخاب شدند.^۲ همه افراد سالم و طبق گزارش فردی شنوایی طبیعی داشتند. ملاک ورود به پژوهش، داشتن والدین ترک‌زبان، متولد و ساکن استان‌های ترک‌زبان ایران (از جمله تبریز، ارومیه، اردبیل و زنجان) تا سن ۷ سالگی، راست‌دستی، نداشتن بیماری‌های زبانی-روانی، حداقل ۵ سال سکونت در شهرهای فارسی‌زبان و شروع آموزش رسمی زبان فارسی در سن ۷ سالگی بود. بنا بر بیانات شخصی، همه شرکت کنندگان 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. براساس آزمون دست‌برتری ادینبورگ^۳ همه افراد راست‌دست بودند. برای سنجش ظرفیت حافظه فعال، تکلیف فراخوانی خواندن^۴ (Khodadadi et al., 2014) برای همه افراد اجرا شد. به دست آوردن امتیاز ۵۰ (از ۱۰۰) الزام‌آور بود و همه افراد توانستند امتیاز لازم را به دست آورند. 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،

¹ Reanalysis

^۲ در مطالعات fMRI، حداقل حجم نمونه برای هر گروه ۱۵ نفر پیشنهاد شده است (Friston, 2012).

³ Edinburgh handedness inventory (EHI)

⁴ reading span test

یک آزمون قضاوت دستوری بودگی شبیه‌سازی شده از شرکت کنندگان گرفته شد. با توجه به ماهیت آزمایش اصلی، این خرده آزمون (شامل ۳۰ مقوله) 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. همچنین، موقعیت اجتماعی-اقتصادی افراد بر مبنای شاخص چهار-عاملی جایگاه اجتماعی-اقتصادی^۱ (Hollingshead, 1975) بررسی و اختلافی بین شرکت کنندگان پژوهش حاضر و گروه کنترل (افراد تک‌زبان فارسی زبان با میزان بسندگی زبانی بالا) مشاهده نشد (برای جزئیات بیشتر به نگاه کنید به Meykadeh et al., 2021b). افزون‌براین، میزان تسلط دوزبانه‌ها به زبان اول و دوم بر اساس معیار تسلط دوزبانه^۲ (Dunn & Fox Tree, 2009) ارزیابی و اختلاف معناداری^۳ دیده نشد. افراد با رضایت کتبی در این آزمایش شرکت و دستمزد حضور دریافت کردند. پژوهش حاضر مورد تصویب کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران (مطابق با اعلامیه هلسینکی) و دارای شناسه «R.IUMS.REC.1398.465» است.

۲-۲. مواد آزمون

مواد آزمون برگرفته از مطالعه میکده و همکاران (Meykadeh et al., 2023a) است. برای واکاوی پردازش مشخصه‌های فای شخص و شمار در سخنگویان دوزبانه یک تکلیف قضاوت دستوری بودگی^۴ طراحی شد. روی هم رفته، ۱۲۸ جمله شنیداری (۵۰ درصد جمله‌ها به زبان ترکی - به عنوان زبان اول- و ۵۰ درصد به زبان فارسی - به عنوان زبان دوم) بهره گرفته شد. محرک‌ها دارای ساختار فاعل + مفعول + فعل بود که نیمی از محرک‌ها در هر زبان از جنبه نحوی درست و دیگر محرک‌ها دارای نقض مطابقت فعل-فاعل بودند. همه محرک‌ها از جنبه معنایی درست بودند و محرک‌های از جنبه نحوی درست و نادرست، از یک‌دیگر گرفته نشدند. از زمان گذشته ساده افعال استفاده شد. بنابراین، ۶۴ جمله هر زبان شامل جمله‌های دستوری با مشخصه شمار (۱۶ جمله)، جمله‌های دستوری با مشخصه شخص (۱۶ جمله)، جمله‌های نادرستی با مشخصه شمار (۱۶ جمله) و جمله‌های نادرستی با مشخصه شخص (۱۶ جمله) هستند. در هر جمله نادرستی فقط از یک نوع نقض دستوری (نقض مشخصه شمار یا نقض مشخصه شخص) و نه ترکیبی از هر دو بهره گرفته شد. در وضعیت دستوری، جمله‌های دارای مشخصه شخص و شمار در دو ویژگی (الف) نوع فاعل (در جمله‌های حاوی مشخصه شمار، از عبارت ارجاعی و در جمله‌های دارای

¹ four factor index of socio-economic status

² bilingual dominance scale (BDS)

³ significant

⁴ auditory grammaticality judgment task

مشخصه شخص از ضمائر ارجاعی به‌عنوان فاعل بهره گرفته شد) و (ب) نوع شخص (در جمله‌های دارای مشخصه شمار، از سوم شخص و در جمله‌های دارای مشخصه شخص، از اول شخص بهره گرفته شد) متفاوت‌اند؛ ولی جمله‌ها هیچ تفاوتی در جمع/مفرد بودن نداشتند (۵۰ درصد فاعل‌ها مفرد و ۵۰ درصد دیگر جمع بودند). در مقابل، در وضعیت نادرستی، در جمله‌های دارای نقض مشخصه شمار، فاعل سوم شخص مفرد با فعل سوم شخص جمع (و برعکس) همراه بود. با توجه به اینکه عبارت‌های ارجاعی بدون شخص هستند (Ackema & Neeleman, 2019)، در جمله‌های دستوری و نادرستی دارای مشخصه شمار، فقط از عبارت ارجاعی به‌عنوان فاعل بهره گرفته شد. در جمله‌های دارای نقض مشخصه شخص نیز فاعل اول شخص مفرد با فعل سوم شخص مفرد (و برعکس) همراه بود. با توجه به اینکه ضمائر ارجاعی دارای شخص هستند (Ackema & Neeleman, 2019)، در جمله‌های دستوری و نادرستی دارای مشخصه شخص، فقط از ضمائر ارجاعی به‌عنوان فاعل بهره گرفته شد (جدول ۱).

۲-۳. چگونگی اجرای آزمون

پس از دریافت آموزش‌های لازم در زمینه چگونگی اجرای تکلیف، شرکت‌کنندگان بر اساس دستوری/نادرستی‌بودگی^۱ جمله‌ها پاسخ خود را ثبت کردند. محرک‌های^۲ شنیداری طراحی شده به‌وسیله نرم‌افزار سایکوپای^۳، با استفاده از هدفون ارائه شد. الگوی تحریک وابسته به‌رویداد^۴، شامل ۴ بلوک^۵ جمله‌های شنیداری، ۴ بازه استراحت^۶ و نیز الگو^۷ زبان‌گردانی جایگزین^۸ به کار گرفته شد. هر بلوک متشکل از ۳۲ بخش^۹ است که برای ثبت پاسخ همودینامیکی^{۱۰} نیز بازه‌های زمانی استراحت ۳۰-ثانیه‌ای در قبل و بعد از آن گنجانده شد که در این دوره زمانی 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 سبب ماهیت شنیداری تکلیف شناختی، یک علامت به‌علاوه (+) در وسط صفحه نمایش در کل زمان اجرای تکلیف^{۱۱} نمایش داده شد. در هر بلوک، جمله‌های دو زبان به‌طور پیوسته تغییر می‌کردند (برای نمونه، زبان اول، زبان دوم، زبان

¹ ungrammaticality

² stimuli

³ psychoPy

⁴ event-related design

⁵ block

⁶ resting period

⁷ paradigm

⁸ alternating language switching paradigm

⁹ run

¹⁰ hemodynamic baseline

¹¹ task

اول، زبان دوم و مانند آن). محرک‌های دستوری/نادستوری هر زبان، در هر بلوک به‌طور تصادفی توزیع و به‌طور یکسان برای همه شرکت‌کننده‌ها اجرا شد. برتری الگوی زبان‌گردانی جایگزین بر دیگر الگوها از جمله الگوی زبان‌گردانی توالی-محور^۱ این است که شرایط برنامه‌ریزی زبانی^۲ را برای زبان بعدی فراهم می‌کند به گونه‌ای که وضعیت پیش‌برنامه‌ریزی^۳ را در طول پردازش زبان طبیعی تداعی می‌کند (Declerck & Philipp, 2015). بنابراین، بر مبنای توالی قابل‌پیش‌بینی، شرکت‌کننده می‌تواند برای زبان بعدی خود را آماده کند. در دنیای واقعی، سخنگویان دوزبانه مستعدند تا هر یک از زبان‌هایشان را به‌طور مناسب استفاده کنند و به‌سرعت از زبانی به زبان دیگر تغییر حالت دهند. اجرای آزمون اف.ام.آر.آی به همراه مرحله آماده‌سازی تقریباً ۳۵ دقیقه به ازای هر فرد زمان برد.

جدول ۱: نمونه‌هایی از مواد آزمون در زبان ترکی و فارسی با حرف‌نویسی و ترجمه انگلیسی. برگرفته از (Meykadeh, et al., 2023a)

زبان اول	زبان دوم
<p>مطابقت دستوری شمار</p> <p>قارداشلاریم 1.pl پالتارلارین یودولار 1.pl.</p> <p>My brothers their cloth.PL.OBJ-CLT.Def wash.PAST-3PL (My brothers washed their clothes.)</p>	<p>ورزشکاران 1.p مسابقه را باختند 1.pl.</p> <p>The athletes race.OBJ-CLT.Def lose.PAST-3PL (The athletes lost the race.)</p>
<p>مطابقت دستوری شخص</p> <p>من 1.sg پالتارمی یودوم 1.sg.</p> <p>I cloth.HI.OBJ-CLT.Def wash.PAST-1SG (I washed my cloth.)</p>	<p>من 1.sg نظرش را پذیرفتم 1.sg.</p> <p>I offer.OBJ-CLT.Def accept.PAST-1SG (I accepted her/his offer.)</p>
<p>نقض مطابقت دستوری شمار</p> <p>*اوشاخلار 3.pl آغاچلاری سیندیردی 3.sg.</p> <p>Children tree.PL.OBJ-CLT.Def break.PAST-3SG (Children broke trees)</p>	<p>*دانشجویان 3.p مقاله‌ها را نوشت 3.sg.</p> <p>Students article.PL.OBJ-CLT.Def write.PAST-3SG (Students wrote articles)</p>
<p>نقض مطابقت دستوری شخص</p> <p>*بیز 1.pl اولریمیزی سیلدولر 3.pl.</p> <p>We house.PL.HI.OBJ-CLT.Def clean-PAST-3PL (We cleaned our houses)</p>	<p>*ما 1.p نامه‌هایتان را فرستادند 3.p.</p> <p>We letter.PL.HI.OBJ-CLT.Def send.PAST-3PL (We sent your letters.)</p>

* جمله‌های نادستوری.

¹ sequence-based language switching paradigm

² language planning

³ pre-planning

۲. ۴. پروتکل تصویربرداری

تصویرهای اف.ام.آر.آی توسط اسکنر ام.آر.آی^۱ سه تسلا^۲ی زیمنس مدل پریزما^۲ با کویل سر ۲۰ کاناله^۳ 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^۴ و پارامترهای مورد استفاده در جدول (۲) ارائه شد. تصاویر ساختاری با استفاده از توالی سه‌بعدی اکو گرادینت سریع مغناطش آماده شده^۵ و تصاویر عملکردی به صورت تصویربرداری اکو صفحه‌ای^۶ گرفته شد. زمان تصویربرداری عملکردی ۱۲۹۰ ثانیه به طول انجامید. تعداد کل والیوم‌ها^۷ ۴۳۰ عدد و هر والیوم نیز دارای ۴۵ اسلایس^۸ بود.

جدول ۲: پروتکل‌های تصویربرداری ساختاری و عملکردی

T2-weighted EPI-BOLD (عملکردی)	T1-weighted MP-RAGE (ساختاری)	نام پروتکل
۳ × ۳ × ۳	۱ × ۱ × ۱	اندازه و کسل ^۹ (mm ^۳)
۶۴	۲۵۶	اندازه ماتریس ^{۱۰} (mm ^۲)
۳۰	۳/۵۳	زمان اکو ^{۱۱} (TE) (ms)
۳۰۰۰	۱۸۰۰	زمان تکرار ^{۱۲} (TR) (ms)
۳	۱	ضخامت اسلایس (mm)
۱۹۲	۲۵۶	میدان دید ^{۱۳} (FOV) (mm ^۲)
۹۰°	۹۷°	زاویه چرخش ^{۱۴} α (deg)

۲. ۵. پیش پردازش تصاویر

پیش پردازش تصاویر با استفاده از ابزارهای موجود در نرم افزار FSL مدل ۶/۰۰ مجموعه^{۱۵} FMRIB به شرح زیر انجام شد:

^۱ MRI

^۲ 3.0 Tesla Siemens Prisma MRI Scanner

^۳ 20 channel head coil

^۴ protocol

^۵ three-dimension magnetization-prepared rapid gradient-echo (MP-RAGE) sequence

^۶ echo planner imaging (EPI)

^۷ volume

^۸ slice

^۹ voxel size

^{۱۰} matrix size

^{۱۱} echo time

^{۱۲} repetition time

^{۱۳} field of view

^{۱۴} flip angle

^{۱۵} www.fmrib.ox.ac.uk/fsl

- ۱- حذف مجموعه و استخراج قشر مغز
 - ۲- انطباق^۱ داده ساختاری T1-MPRAGE بر روی اطلس MNI و سپس انطباق داده‌های عملکردی بر آن
 - ۳- تصحیح حرکت سر^۲
 - ۴- تصحیح زمان‌بندی برش‌ها^۳ با استفاده از درون‌یابی فوریه^۴
 - ۵- نرم کردن مکانی^۵ به وسیله فیلتر کرنل گوسی^۶ با FWHM برابر با ۶ میلی‌متر
 - ۶- نرمال کردن^۷ دامنه همه حجم‌ها در هر نقطه زمانی بر پایه شدت میانگین
 - ۷- فیلتر کردن زمانی^۸ توسط فیلتر بالاگذر گوسی^۹ با سیگمای^{۱۰} ۵۰ ثانیه
 - ۸- حذف مؤلفه‌های نویز^{۱۱} از تصاویر پیش‌پردازش شده با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های مستقل^{۱۲}
- در پایان، از مدل خطی عمومی^{۱۳}، برای واکاوی سطح اول (اجرای فردی) و دوم (اجرای گروهی) به کار گرفته شد. با بهره‌گیری از مدل تأثیر^{۱۴} مختلط، آنالیزهای بین‌گروهی^{۱۵} 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 جمله‌هایی که به آن‌ها پاسخ درست داده شده بود، در چرخه تحلیل قرار گرفتند.

۲-۶. روش تحلیل آماری

بر مبنای پژوهش‌های پیشین (Meykadeh et al., 2023a; Meykadeh et al., 2023b; Meykadeh et al., 2024)، برای تعیین نقش پلنیوم گیجگاهی در پردازش مشخصه‌های شخص/شمار در دو زبان اول/دوم آنالیزی با رویکرد کل-مغز اجرا شد. سپس، درصد تغییر

¹ mapping

² head motion correction

³ slice timing correction

⁴ fourier interpolation

⁵ spatial smoothing

⁶ gaussian kernel

⁷ normalization

⁸ temporal filtering

⁹ gaussian high pass filter

¹⁰ sigma

¹¹ noise

¹² independent component analysis (ICA)

¹³ generalized linear model (GLM)

¹⁴ mixed effects

¹⁵ between-subjects

سیگنال^۱ به‌عنوان معیار «شدت»^۲ برای هر شرکت‌کننده در این ناحیه مغزی مطابق با اطلس هاروارد-آکسفورد^۳ در اف.اس.ال^۴ اندازه‌گیری شد. شدت سیگنال به‌عنوان متغیر وابسته و دستوری بودگی، زبان، نیمکره و جنسیت به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس^۵ نسخه ۲۶ انجام شد. تغییرات شدت سیگنال از طریق آزمون استنباطی تحلیل واریانس^۶ با اندازه‌گیری‌های مکرر^۷ $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ دستوری بودگی (دستوری، نادرستی) \times زبان (زبان اول = ترکی، زبان دوم = فارسی) نیمکره (چپ، راست) \times (جنسیت (زن، مرد)) بررسی شد.

۳. یافته‌ها

۳-۱. یافته‌های فعالیت کل-مغز

برای شناسایی نقش پلنیوم گیجگاهی در پردازش مشخصه‌های فای شخص و شمار آنالیز کل-مغز^۸ اجرا شد. در این تحلیل، حساسیت ناحیه پلنیوم گیجگاهی به محرک‌های دستوری و نادرستی دارای مشخصه شخص و شمار در زبان اول و دوم دیده شد (شکل ۱). با یک مقایسه چشمی فعالیت بیشتر نیمکره چپ در مقایسه با نیمکره راست کاملاً آشکار است. براین اساس، در ادامه تحلیلی مبتنی بر ناحیه مطلوب^۹ با محوریت پلنیوم گیجگاهی اجرا شد تا الگوی فعالیت ۸ محرک در این ناحیه مغزی آشکار گردد (Poldrack, 2007).

¹ percent signal change (PSC)

² intensity

³ harvard-oxford atlas

⁴ FSL

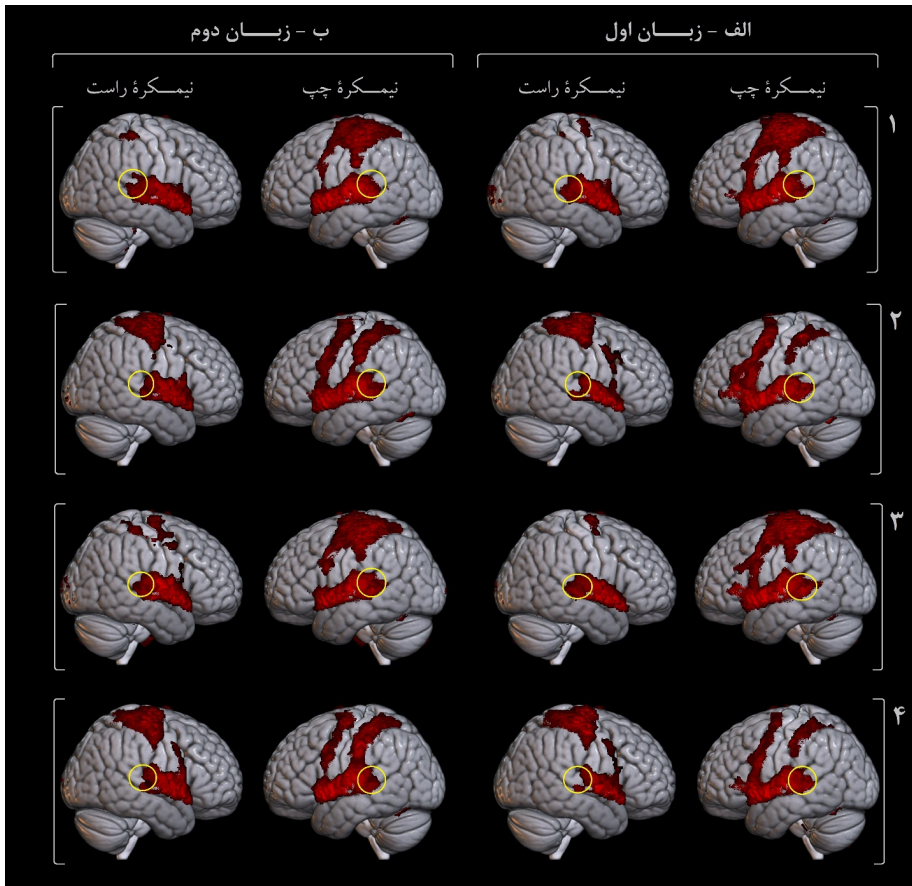
⁵ SPSS

⁶ analysis of variance

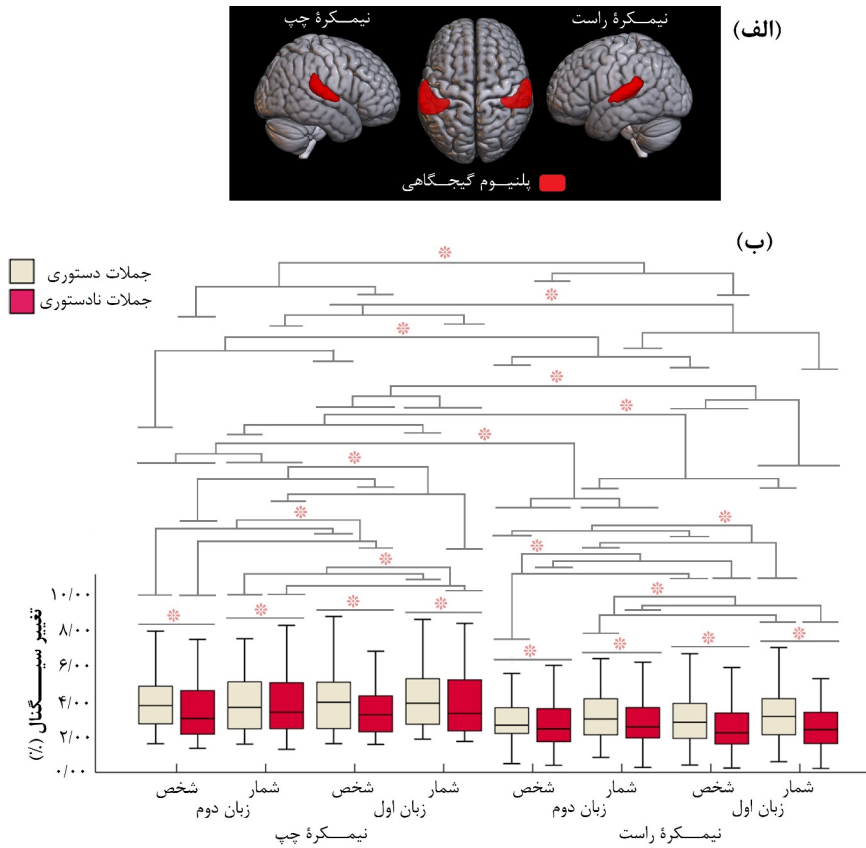
⁷ repeated measurs

⁸ whole-brain

⁹ region of interet (ROI)



شکل ۱: فعالیت مغز-کل (قرمز) در جملات زبان اول (الف) و دوم (ب) برای ۴ وضعیت شامل (۱) دستوری حاوی مشخصه شمار، (۲) نادرستی حاوی مشخصه شمار، (۳) دستوری حاوی مشخصه شخص (۴) نادرستی حاوی مشخصه شخص نسبت به خط مبدأ. دایره زرد رنگ مکان فعالیت هر محرک را نشان می‌دهد.



شکل ۲: (الف) موقعیت پلنیوم گیجگاهی؛ نمای ساجیتال^۱ راست، آکسیال^۲ و ساجیتال چپ. (ب) نمودارهای جعبه‌ای درصد تغییر سیگنال برای اثر دستوری بودگی. * = معناداری عامل‌های اصلی و تعامل‌های معنادار.

۳-۱. یافته‌های نواحیه پلنیوم گیجگاهی

موقعیت پلنیوم گیجگاهی^۳ به همراه نمودارهای جعبه‌ای^۴ شدت سیگنال^۵ نسبت به خط مبدأ^۶ برای اثر دستوری بودگی ناحیه نام برده در شکل (۲) نمایش داده شد.

یافته‌های برآمده از تحلیل واریانس آمیخته^{۲ × ۲ × ۲ × ۲ × ۲} (که در جدول (۳) به تفصیل

^۱ sagittal

^۲ axial

^۳ bilateral

^۴ box plots

^۵ signal

^۶ baseline

آمده‌است) نشان از معناداری عامل اصلی دستوری‌بودگی دارد. به‌ویژه، شدت درصد تغییر سیگنال در جمله‌های دستوری (۳/۶۹) به نسبت جمله‌های نادرستی (۳/۲۵۶) بیشتر بود. همچنین، عامل اصلی مشخصه با شدت درصد تغییر سیگنال بیشتر در جمله‌های دارای مشخصه شمار (۳/۵۶۲) به نسبت جمله‌های دارای مشخصه شخص (۳/۳۸۸) به سطح معناداری رسید. عامل اصلی نیمکره هم معنادار بود. به‌ویژه، شدت درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۳/۹۶۹) به نسبت نیمکره راست (۲/۹۸) بیشتر بود.

همچنین، اثر تعاملی زبان × نیمکره معنادار بود. با در نظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که در نیمکره راست درصد تغییر سیگنال جمله‌های زبان دوم (۳/۰۴۵) در مقایسه با زبان اول (۲/۹۱۷) بیشتر بود ($t_{(35)} = 2/597, p = 0/014$)، ولی در نیمکره چپ اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جمله‌های زبان اول (۴/۰۱۵) و دوم (۳/۹۲۲) دیده نشد ($t_{(35)} = -1/706, p = 0/097$). با در نظر گرفتن عامل نیمکره، دیده شد که در زبان اول درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۴/۰۱۵) در مقایسه با نیمکره راست (۲/۹۱۷) بیشتر بود ($t_{(35)} = 5/219, p < 0/001$)، به‌طور مشابه، در زبان دوم هم درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۳/۹۲۳) در مقایسه با نیمکره راست (۳/۰۴۵) بیشتر بود ($t_{(34)} = 4/489, p = 0/001$).

همچنین، تعامل^۱ سه عامل دستوری‌بودگی × مشخصه × نیمکره معنادار بود. با در نظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی، دیده شد که در نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال جمله‌های دستوری دارای مشخصه شمار (۴/۲۴۴) در مقایسه با جمله‌های نادرستی دارای مشخصه شمار (۳/۸۶۶) بیشتر بود ($t_{(35)} = 3/726, p = 0/001$)، به‌طور مشابه، درصد تغییر سیگنال جمله‌های دستوری دارای مشخصه شخص (۴/۱۳۳) در مقایسه با جمله‌های نادرستی دارای مشخصه شخص (۳/۶۳۴) بیشتر بود ($t_{(35)} = 5/842, p < 0/001$). در نیمکره راست نیز درصد تغییر سیگنال جمله‌های دستوری دارای مشخصه شمار (۳/۳۳۲) در مقایسه با جمله‌های نادرستی دارای مشخصه شمار (۲/۸۰۷) بیشتر بود ($t_{(35)} = 6/391, p < 0/001$)، به‌طور مشابه، درصد تغییر سیگنال جمله‌های دستوری دارای مشخصه شخص (۳/۰۷۱) در مقایسه با جمله‌های نادرستی دارای مشخصه شخص (۲/۷۱۶) بیشتر بود ($t_{(34)} = 6/016, p < 0/001$). با در نظر گرفتن عامل مشخصه، مشاهده شد که در جمله‌های دستوری نیمکره چپ هیچ اختلافی در درصد تغییر سیگنال مشخصه شمار (۴/۲۴۴) در مقایسه با مشخصه شخص (۴/۱۳۳) دیده نشد ($t_{(34)} = 1/443, p = 0/158$)، ولی در جمله‌های دستوری نیمکره راست درصد تغییر سیگنال مشخصه شمار (۳/۳۳۲) در مقایسه با مشخصه شخص (۳/۰۷۰)

^۱ interaction

بیشتر بود ($p < ۰/۰۰۱$)، $t(۳۴) = ۴/۶۵۴$ ، از سوی دیگر، در جمله‌های نادرستی نیمکره چپ درصد تغییر سیگنال مشخصه شمار (۳/۸۶۶) در مقایسه با مشخصه شخص (۳/۶۳۴) بیشتر بود ($p = ۰/۰۰۹$)، $p(۳۴) = ۲/۷۵۲$ ، ولی در جمله‌های نادرستی نیمکره راست هیچ اختلافی در درصد تغییر سیگنال مشخصه شمار (۲/۸۰۷) در مقایسه با مشخصه شخص (۲/۷۱۶) دیده نشد ($p = ۰/۱۱۳$)، $t(۳۴) = ۱/۶۲۹$ ، با در نظر گرفتن عامل نیمکره دیده شد که در جمله‌های دستوری دارای مشخصه شمار درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۴/۲۴۴) در مقایسه با نیمکره راست (۳/۳۳۲) بیشتر بود ($p < ۰/۰۰۱$)، به طور مشابه در جمله‌های دستوری دارای مشخصه شخص درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۴/۱۳۳) در مقایسه با نیمکره راست (۳/۰۷۱) بیشتر بود ($p < ۰/۰۰۱$)، $t(۳۴) = ۴/۹۴۸$ ، از سوی دیگر، در جمله‌های نادرستی دارای مشخصه شمار درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۳/۸۶۶) در مقایسه با نیمکره راست (۲/۸۰۷) بیشتر بود ($p < ۰/۰۰۱$)، $p(۳۴) = ۵/۱۷۶$ ، به طور مشابه، در جمله‌های نادرستی دارای مشخصه شخص درصد تغییر سیگنال در نیمکره چپ (۳/۶۳۴) در مقایسه با نیمکره راست (۲/۷۱۶) بیشتر بود ($p < ۰/۰۰۱$)، $t(۳۴) = ۴/۸۷۵$ ، همان گونه که در جدول (۳) دی ده می شود، یافته‌های حاضر متأثر از عامل جنسیت نیست^۱.

جدول ۳: یافته‌های آزمون تحلیل واریانس ۵-راهه در پلنیوم گیجگاهی^۲

منبع تغییرات	آماره F	درجه آزادی	معناداری	مجدور اتا
دستوری بودگی	۵۶/۸۹۴	۱	< ۰/۰۰۱	۰/۶۳۳
دستوری بودگی × جنسیت	۰/۰۵۳	۱	۰/۸۱۹	۰/۰۰۲
زبان	۰/۲۳۱	۱	۰/۶۳۴	۰/۰۰۷
زبان × جنسیت	۰/۳۳۵	۱	۰/۵۶۷	۰/۰۱۰
مشخصه	۱۱/۲۸۷	۱	۰/۰۰۲	۰/۲۵۵
مشخصه × جنسیت	۱/۳۸۱	۱	۰/۲۴۸	۰/۰۴۰
نیمکره	۲۶/۱۰۴	۱	< ۰/۰۰۱	۰/۴۴۲
نیمکره × جنسیت	۱/۷۴۲	۱	۰/۱۹۶	۰/۰۵۰

^۱ مسئله جنسیت از جمله موضوع‌های کلیدی مقاله حاضر نیست. ولی، با توجه به ناترازی تعداد شرکت کنندگان مرد و زن، نگارندگان علاقمند بودند تا با داده‌های آماری به خواننده کنجکاو القا کنند که یافته‌های کنونی متأثر از عامل جنسیت نبوده‌است.

^۲ معناداری به صورت قلم کامپیوتری ضخیم و غیرمعناداری عامل جنسیت با قلم کامپیوتری قرمز مشخص شد.

۳۰۲ / نقش پلنیوم گیجگاهی در پردازش مشخصه‌های شخص و شمار در افراد دوزبانه: ... / میکده و ...

مجدور اتا	معناداری	درجه آزادی	آماره F	منبع تغییرات
۰/۰۰۸	۰/۶۰۵	۱	۰/۲۷۳	دستوری بودگی × زبان
۰/۰۲۰	۰/۴۱۸	۱	۰/۶۷۳	دستوری بودگی × زبان × جنسیت
۰/۰۰۴	۰/۷۱۵	۱	۰/۱۳۶	دستوری بودگی × مشخصه
۰/۰۰۱	۰/۸۲۶	۱	۰/۰۴۹	دستوری بودگی × مشخصه × جنسیت
۰/۰۲۲	۰/۳۹۶	۱	۰/۷۴۰	زبان × مشخصه
۰/۰۳۷	۰/۲۶۹	۱	۱/۲۶۶	زبان × مشخصه × جنسیت
۰/۰۰۰	۰/۹۵۱	۱	۰/۰۰۴	دستوری بودگی × زبان × مشخصه
۰/۰۳۵	۰/۲۸۲	۱	۱/۱۹۵	دستوری بودگی × زبان × مشخصه × جنسیت
۰/۰۰۰	۰/۹۹۹	۱	۰/۰۰۰	دستوری بودگی × نیمکره
۰/۰۰۰	۰/۹۱۱	۱	۰/۰۱۳	دستوری بودگی × نیمکره × جنسیت
۰/۲۸۰	۰/۰۰۱	۱	۱۲/۸۴۸	زبان × نیمکره
۰/۰۰۰	۰/۹۵۴	۱	۰/۰۰۳	زبان × نیمکره × جنسیت
۰/۰۹۱	۰/۰۷۷	۱	۳/۳۲۳	دستوری بودگی × زبان × نیمکره
۰/۰۰۱	۰/۸۳۶	۱	۰/۰۴۴	دستوری بودگی × زبان × نیمکره × جنسیت
۰/۰۰۱	۰/۸۸۰	۱	۰/۰۲۳	مشخصه × نیمکره
۰/۰۰۲	۰/۷۹۱	۱	۰/۰۷۱	مشخصه × نیمکره × جنسیت
۰/۲۱۶	۰/۰۰۵	۱	۹/۱۰۷	دستوری بودگی × مشخصه × نیمکره
۰/۰۲۹	۰/۳۲۷	۱	۰/۹۹۰	دستوری بودگی × مشخصه × نیمکره × جنسیت
۰/۰۰۴	۰/۷۲۲	۱	۰/۱۲۹	زبان × مشخصه × نیمکره
۰/۰۰۴	۰/۷۱۷	۱	۰/۱۳۴	زبان × مشخصه × نیمکره × جنسیت
۰/۰۰۴	۰/۷۲۴	۱	۰/۱۲۷	دستوری بودگی × زبان × مشخصه × نیمکره
۰/۰۰۱	۰/۸۵۲	۱	۰/۰۳۶	دستوری بودگی × زبان × مشخصه × نیمکره × جنسیت

یافته‌های آزمون‌های تی زوجی برای عامل دستوری بودگی به‌ازای هر نیمکره و زبان در جدول

(۴) آمده‌است.

جدول ۴: یافته‌های آزمون نمونه‌تی زوجی برای عامل دستوری بودگی به تفکیک هر زبان، مشخصه و نیمکره

زبان	مشخصه	نیمکره راست		نیمکره چپ	
		میانگین شدت تغییر سیگنال (%)(انحراف معیار)	آماره t	میانگین شدت تغییر سیگنال (%)(انحراف معیار)	آماره t
زبان اول	شمار	۰/۶۰۱- (۰/۶۴)	-۵/۵۴۵***	۰/۳۵۴- (۰/۸۰)	-۲/۶۰۲*
زبان اول	شخص	۰/۳۹۴- (۰/۵۵)	-۴/۲۶۴***	۰/۴۷۶- (۰/۶۷)	-۴/۲۱۶***
زبان دوم	شمار	۰/۴۴۸- (۰/۵۱)	-۵/۲۰۵***	۰/۴۰۲- (۰/۷۳)	-۳/۲۷۰*
زبان دوم	شخص	۰/۳۱۷- (۰/۴۵)	-۴/۱۶۱***	۰/۵۲۲- (۰/۷۰)	-۴/۴۳۳***

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، عملکرد سازوکار نگاشت مشخصه در پردازش مشخصه‌های شخص/شمار در زبان اول/دوم در دوزبانه‌های متوازن ترکی (زبان اول)-فارسی (زبان دوم با سن یادگیری ۷ سالگی در آغاز ورود به مدرسه) در ناحیه پلنیوم گیجگاهی بررسی شد. محرک‌های دستوری/نادستوری به صورت تصادفی و محرک‌های زبان اول/دوم به صورت متوالی توزیع شدند که نیازمند مشارکت/عدم مشارکت^۱ متناوب بین زبان‌هاست. الگوی فعالیت در ناحیه پلنیوم گیجگاهی نمایانگر تفاوت کمی در پردازش مشخصه‌های شخص و شمار بود. یافته‌ها با جزئیات بیشتری در زیر بحث خواهد شد.

در سطح کل-مغز، حساسیت ناحیه پلنیوم گیجگاهی چپ و راست به محرک‌های دستوری و نادستوری حاوی مشخصه شخص و شمار در زبان اول و دوم در دوزبانه‌های ترکی-فارسی دیده شد که در راستای پژوهش‌های پیشین برای فعالیت نیمکره چپ (Tzourio-Mazoyer et al., 2020; Albouy, et al., 2018) و راست (Hirnstain, et al., 2013; Pollmann, 2010) مغز است. پلنیوم گیجگاهی به‌عنوان یک مرکز محاسباتی^۲ عمل می‌کند که وظیفه تفکیک الگوهای شنیداری ورودی و انتقال اطلاعات به دیگر نواحی برای پردازش بیشتر را بر عهده دارد (Griffiths & Warren, 2002). به‌تازگی، می‌کده و همکاران (Meykadeh et al., 2023b) با بررسی اتصالات عملکردی^۳ نواحی زبان-ویژه در افراد دوزبانه دریافتند که اتصالات قوی بین

¹ engagement/nonengagement

² computational

³ functional connectivity

پلنیوم گیجگاهی چپ و ناحیه پارس آپرکولاریس^۱ چپ از یک سو، و بین پلنیوم گیجگاهی چپ و شکنج فوقانی گیجگاهی خلفی^۲ از سوی دیگر وجود دارد. پارس آپرکولاریس و شکنج فوقانی گیجگاهی خلفی در نیمکره چپ هر دو به‌عنوان نواحی نحو-ویژه شناخته شده‌اند (Friederici et al., 2017; Meykadeh, et al., 2021a). بنابراین، پلنیوم گیجگاهی به‌عنوان نیروی محرکه برای سازوکارهای پردازش شنیداری زیرساختی زبان و گفتار (Griffiths & Warren, 2002) و کدگذاری گفتار در قشر شنیداری برای محاسبات زبان-ویژه در شکنج پیشانی تحتانی^۳ چپ عمل می‌کند (Obleser & Kotz, 2010).

در رابطه با پردازش مشخصه‌های فای شخص و شمار در پلنیوم گیجگاهی چپ و راست، یافته‌های حاضر نشان داد که پلنیوم گیجگاهی - صرف نظر از نوع زبان مورد پردازش - در هنگام پردازش مشخصه‌های شخص و شمار فعال شده‌است. بنابراین، بر مبنای پیشنهاد مانسینی و همکاران (2017)، مقایسه مستقیمی بین جمله‌های نادستوری دارای مشخصه شخص و شمار در نیمکره‌های چپ و راست انجام شد و شواهدی در پشتیبانی از اثر بزرگتر مشخصه شمار در مقایسه با مشخصه شخص فقط در پلنیوم گیجگاهی چپ به‌دست آمد که نمایانگر تفاوت‌های کمی بین مشخصه شخص و شمار در نیمکره چپ مغز است. به نظر می‌رسد که تفاوت در پردازش مشخصه‌های شخص و شمار برگرفته از به‌کارگیری فاعل‌های جدا برای هر نقض است؛ یعنی از عبارات ارجاعی برای نقض مشخصه شمار و ضمائر برای نقض مشخصه شخص. با توجه به اینکه فاعل‌ها برای عامل مفرد/جمع بودن کنترل شده بودند، اثرات مشاهده‌شده برای مشخصه شخص و شمار در پلنیوم گیجگاهی می‌تواند ریشه در پردازش متفاوت زیرساختی ضمائر و عبارات ارجاعی داشته باشد. بنابراین در راستای مطالعه میکده و همکاران (Meykadeh et al., 2023a)، یافته‌های پژوهش حاضر نیز تأییدکننده این مطلب است که در پلنیوم گیجگاهی چپ نیز اثرات مشخصه‌های شخص و شمار فاعل-ویژه هستند به‌گونه‌ای که عبارات ارجاعی در مقایسه با ضمیرها اثر قوی‌تری را ایجاد می‌کنند.

همان‌گونه که جدول (۴) نشان می‌دهد، یافته‌های فعلی اثر دستوری بودگی را برای مشخصه‌های شخص و شمار در هر دو زبان اول و دوم و در هر دو نیمکره چپ و راست نشان داد. اگر چه این اثر برای مشخصه‌های شمار، زبان اول و نیمکره چپ بیشتر بود، ولی اثری معکوس بود. به بیان دقیق‌تر، اثر جمله‌های دستوری در مقایسه با جمله‌های نادستوری قوی‌تر بود که نشان می‌دهد

¹ pars opercularis

² posterior Superior Temporal Gyrus (pSTG)

³ inferior frontal gyrus (IFG)

ناحیه پلنیوم گیجگاهی در کدگذاری پیوستگی دستوری دخالت دارد (Indefrey & Cutler, 2006; Hickok & Poeppel, 2007; Lau et al., 2006) و ممکن است برای بازیابی قالب‌های نحوی^۱ ذخیره‌شده در واژگان پراهمیت باشد (Hagoort, 2013). بنابراین، می‌توان استدلال کرد که دخالت پلنیوم گیجگاهی مختص نقض‌های به کاررفته در پژوهش حاضر نیست؛ بلکه ممکن است فرایندهای عمومی‌تر درگیر در پردازش جمله‌های نادستوری را بازنمایی کند. کمااینکه، افزایش فعالیت در برخی نواحی (مانند ناحیه پارس آپرکولاریس/ پارس تری‌انگولاریس^۲) برای خطاهای دستوری در مقایسه با خطاهای املائی پیش‌تر گزارش شده است (Embick et al., 2000).

با توجه به کمبود پژوهش‌های مشابه، مقایسه اثرات دستوری بودگی معکوس در پلنیوم گیجگاهی با مطالعات پیشین تقریباً ناممکن است و شفاف‌سازی بیشتر این مسائل به بررسی‌های آینده واگذار می‌شود. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که پلنیوم گیجگاهی در ساخت و تفسیر روابط درون‌جمله‌ای به کار گرفته می‌شود و به روش مشخصه-ویژه^۳ عمل می‌کند (Mancini et al. 2017; Meykadeh et al., 2023a). با توجه به گزینه‌های نگاهت (یعنی تعداد^۴ و گفتمان^۵) که در ورای اثرات نقض‌های شخص و شمار به‌دست می‌آید (Mancini et al., 2017)، پیشنهاد می‌شود که اثر بزرگتر برای نقض‌های شمار در مقایسه با نقض‌های شخص مؤید ادعای مانسینی و همکارانش (2017) است که بر این باورند یک سازوکار نگاهت مشخصه در هنگام پردازش مشخصه‌های شخص و شمار با نگاهت شمار به «تعداد» و نگاهت شخص به «گفتمان» دخالت دارد. با توجه به اینکه، اطلاعات شمار در لایه صرفی-نحوی ساختار جمله قرار دارد و اطلاعات شخص در بازنمایی کنش‌گفتار، می‌توان نتیجه گرفت که محاسبه روابط مطابقه در طول ساخت نحوی جمله و مستقل از اطلاعات موضوعی و کاربردشناختی موضوع‌های^۶ فعل رخ می‌دهد (Mancini et al., 2013).

آخرین دستاورد کلیدی پژوهش حاضر، نبود اختلاف در پردازش زبان اول و دوم در پلنیوم گیجگاهی بود. در پلنیوم گیجگاهی الگوی فعالیت برای پردازش مشخصه‌های فای شخص و شمار در زبان اول و دوم کاملاً مشابه بود و هم‌راستا با پژوهش‌های پیشین (Ullman, 2001;

¹ syntactic frames

² pars triangularis

³ feature-specific

⁴ cardinality

⁵ discourse

⁶ arguments

(Perani & Abutalebi, 2005) و فرضیه همگرایی^۱ (Green, 2003)، تأکید کننده این مهم است که شالوده زبان دوم بر پایه نظام زبان اول بنا شده و با افزایش میزان بسندگی زبان دوم، پردازش نحوی بومی مانند می‌شود. تعبیر مهم دیگر این می‌تواند باشد که پلنیوم گیجگاهی ممکن است دارای ویژگی‌های مشخصه-ویژه باشد و نه زبان-ویژه (Meykadeh, et al., 2023a). روی هم رفته، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که دوزبانه‌های متوازن ترکی-فارسی از سازوکارهای مشترکی برای پردازش مشخصه‌های فای زبان اول و دوم بهره می‌برد. در پایان، بر مبنای یافته‌های این پژوهش می‌توان ادعا کرد که پلنیوم گیجگاهی دوجانبه در دوزبانه‌های ترکی-فارسی در پردازش مشخصه‌های شخص و شمار مشارکت دارد. ولی، این پلنیوم گیجگاهی چپ است که مجهز به سازوکار نگاشت مشخصه برای انتقال داده به نواحی نحو-ویژه است. با وجود نو و بدیع بودن پژوهش حاضر در زبان فارسی و ترکی، این پژوهش از یک محدودیت در مواد آزمون برخوردار است. همان‌گونه که در بخش روش پژوهش هم به تفصیل اشاره شد، در هر دو وضعیت دستوری و نادستوری، از افعال سوم شخص مفرد در زبان فارسی و ترکی بهره گرفته شد. برخلاف زبان ترکی، در زبان فارسی شناسه فعلی سوم شخص مفرد تهی است که در زبان‌شناسی «تکواژ تهی»^۲ نامیده شده است. عباسی (Abbasi, 2014) بر این باور است که تکواژ تهی یک خلأ بافتی در محور همنشینی به شمار می‌آید که گویشور با توجه به بافت زبانی که در دسترس دارد، آن را پر می‌کند. اگر چه در مطالعه حاضر کل بافت زبانی (جمله) در دسترس بود و هر شرکت کننده می‌بایست در مورد مطابقت/عدم مطابقت فعل و فاعل در هر زبان تصمیم می‌گرفت، ولی این تصور هم وجود دارد که این تفاوت بین‌زبانی ممکن است منجر به پردازش متفاوتی شود. با توجه به اینکه هیچ شواهد رفتاری و آزمایشگاهی در مورد پردازش تکواژ تهی در پژوهش‌های پیشین دیده نشد، بنابراین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده به این موضوع پرداخته شود.

فهرست منابع

پورمحمد، مهدی (۱۳۹۳). روان‌شناسی زبان. تهران: سمت.

Retrieved from <<https://samta.samt.ac.ir/product/18809>>

خدادادی، مجتبی، حسن اسدزاده، منیر کلاتر قریشی و حسین امانی (۱۳۹۳). نرم‌افزار حافظه کاری دانیمن

و کارپنتر. تهران: موسسه تحقیقات علوم رفتاری-شناختی سینا.

Retrieved from <<https://www.sinapsycho.com/Shop/Product/1342>>

¹ convergence hypothesis

² Null morpheme

عباسی، آریتا (۱۳۹۳). «تکواژ صفر». *علم زبان*. دوره ۲. شماره ۲. صص ۱۳-۳۶.

<https://doi.org/10.22054/ls.2014.1078>

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.

Retrieved from <https://parseh.modares.ac.ir/thesis.php?id=10004542&sid=1&slc_lang=en>

میکده، سیمین، ورنر زومر و سید امیر حسین بتولی (۱۴۰۲الف). «تالاموس و دوزبانگی: شواهدی از fMRI». *زبان‌شناسی و گویش‌های خراسان*. دوره ۱۵. شماره ۳. صص ۲۹-۵۱.

<https://doi.org/10.22067/jlkd.2023.83396.1179>

میکده، سیمین، ورنر زومر و سید امیر حسین بتولی (۱۴۰۲ب). «مخچه و مطابقت دستوری در دوزبان‌ها: شواهدی از قضاوت دستوری‌بودگی با استفاده از fMRI». *علم زبان*. دوره ۱۰. شماره ۱۸. صص

<https://doi.org/10.22054/ls.2023.74871.1591>. ۳۴۲-۳۰۹

میکده، سیمین، ورنر زومر و سید امیر حسین بتولی (۱۴۰۳). «پوتامن و درک جملات زبان اول و دوم: شواهدی از تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی». *نشریه پژوهش‌های زبان‌شناسی*. دوره ۱۶.

<https://doi.org/10.22108/jrl.2024.138007.1777>. شماره ۱. صص ۹۵-۱۱۰.

References

- Abbasi, A. (2014). Zero morpheme. *Language Science*, 2(2), 13-36.
<https://doi.org/10.22054/ls.2014.1078> [In Persian]
- Ackema, P., & Neeleman, A. (2018). *Features of person: From the inventory of persons to their morphological realization*. MIT Press.
<https://mitpress.mit.edu/9780262535618/features-of-person/>
- Ackema, P., & Neeleman, A. (2019). Processing differences between person and number: A theoretical interpretation. *Frontiers in psychology*, 10(211), 1-10.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00211>
- Albouy, P., Benjamin, L., Morillon, B., & Zatorre, R. J. (2020). Distinct sensitivity to spectrotemporal modulation supports brain asymmetry for speech and melody. *Science*, 367(6481), 1043-1047.
<https://doi.org/10.1126/science.aaz3468>
- Altarelli, I., Leroy, F., Monzalvo, K., Fluss, J., Billard, C., Dehaene-Lambertz, G., Galaburda, A. M., & Ramus, F. (2014). Planum temporale asymmetry in developmental dyslexia: Revisiting an old question. *Human brain mapping*, 35(12), 5717-5735. <https://doi.org/10.1002/hbm.22579>
- Bloom, J. S., Garcia-Barrera, M. A., Miller, C. J., Miller, S. R., & Hynd, G. W. (2013). Planum temporale morphology in children with developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 51(9), 1684-1692.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.05.012>
- Chance, S. A., Casanova, M. F., Switala, A. E., & Crow, T. J. (2008). Auditory cortex asymmetry, altered minicolumn spacing and absence of ageing effects in schizophrenia. *Brain*, 131(12), 3178-3192.
<https://doi.org/10.1093/brain/awn211>

- 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>
- Den Dikken M. (2019). The attractions of agreement: Why person is different. *Frontiers in psychology*, 10(978), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00978>
- Dronkers, N. F., Wilkins, D. P., Van Valin, R. D., Jr, Redfern, B. B., & Jaeger, J. J. (2004). Lesion analysis of the brain areas involved in language comprehension. *Cognition*, 92(1-2), 145-177. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2003.11.002>
- 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>
- Embick, D., Marantz, A., Miyashita, Y., O'Neil, W., & Sakai, K. L. (2000). A syntactic specialization for Broca's area. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(11), 6150-6154. <https://doi.org/10.1073/pnas.100098897>
- Friederici, A. D., Chomsky, N., Berwick, R. C., Moro, A., & Bolhuis, J. J. (2017). Language, mind, and brain. *Nature human behaviour*, 1(10), 713-722. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0184-4>
- 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>
- Fukutomi, H., Glasser, M. F., Zhang, H., Autio, J. A., Coalson, T. S., Okada, T., Togashi, K., Van Essen, D. C., & Hayashi, T. (2018). Neurite imaging reveals microstructural variations in human cerebral cortical gray matter. *NeuroImage*, 182, 488-499. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.02.017>
- Galaburda, A. M., LeMay, M., Kemper, T. L., & Geschwind, N. (1978). Right-left asymmetries in the brain. *Science*, 199(4331), 852-856. <https://doi.org/10.1126/science.341314>
- Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161(3837), 186-187. <https://doi.org/10.1126/science.161.3837.186>
- Green, D. W. (2003). The neural basis of the lexicon and the grammar in L2 acquisition: The convergence hypothesis. In R. van Hout, A. Hulk, F. Kuiken & R. Towell (Eds.), *The interface between syntax and the lexicon in second language acquisition* (pp. 197-218). John Benjamins. <https://doi.org/10.1075/lald.30.10gre>
- Greve, D. N., Van der Haegen, L., Cai, Q., Stufflebeam, S., Sabuncu, M. R., Fischl, B., & Brysbaert, M. (2013). A surface-based analysis of language lateralization and cortical asymmetry. *Journal of cognitive neuroscience*, 25(9), 1477-1492. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00405
- Griffiths, T. D., & Warren, J. D. (2002). The planum temporale as a computational hub. *Trends in neurosciences*, 25(7), 348-353. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(02\)02191-4](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(02)02191-4)
- Hagoort, P. (2013). MUC (memory, unification, control) and beyond. *Frontiers in Psychology*, 4(416), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00416>

- 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>
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2000). Towards a functional neuroanatomy of speech perception. *Trends in cognitive sciences*, 4(4), 131-138.
[https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01463-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01463-7)
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature reviews neuroscience*, 8(5), 393-402.
<https://doi.org/10.1038/nrn2113>
- Hirnstain, M., Westerhausen, R., & Hugdahl, K. (2013). The right planum temporale is involved in stimulus-driven, auditory attention--evidence from transcranial magnetic stimulation. *PloS one*, 8(2), e57316.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057316>
- Hollingshead, A. (1975). *Four Factor Index of Social Status* [Unpublished Manuscript]. New Haven, CT: Yale University Department of Sociology.
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=557417>
- Hunter, M. D., Griffiths, T. D., Farrow, T. F., Zheng, Y., Wilkinson, I. D., Hegde, N., Woods, W., Spence, S. A., & Woodruff, P. W. (2003). A neural basis for the perception of voices in external auditory space. *Brain*, 126(1), 161-169.
<https://doi.org/10.1093/brain/awg015>
- Indefrey, P., and Cutler, A. (2004). *Prelexical and lexical processing in listening*. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences III*, (3rd ed., pp. 756-774). MIT Press.
https://pure.mpg.de/rest/items/item_58547_3/component/file_58548/content
- Jakab, A., Meuwly, E., Feldmann, M., Rhein, M. V., Kottke, R., O'Gorman Tuura, R., Latal, B., Knirsch, W., & Research Group Heart and Brain (2019). Left temporal plane growth predicts language development in newborns with congenital heart disease. *Brain*, 142(5), 1270-1281.
<https://doi.org/10.1093/brain/awz067>
- Khodadadi, M., Asadzadeh, H., Kalantar Ghoreishi, M., and Amani, H. (2014). Working memory test. Daneman M. & Carpenter P. A., Software. Tehran: Institute for Behavioral & Cognitive Sciences.
<https://www.sinapsycho.com/Shop/Product/1342> [In Persian]
- Knaus, T. A., Kamps, J., Foundas, A. L., & Tager-Flusberg, H. (2018). Atypical PT anatomy in children with autism spectrum disorder with expressive language deficits. *Brain imaging and behavior*, 12(5), 1419-1430.
<https://doi.org/10.1007/s11682-017-9795-7>
- Lau, E., Stroud, C., Plesch, S., & Phillips, C. (2006). The role of structural prediction in rapid syntactic analysis. *Brain Lang.*, 98, 74-88.
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2006.02.003>
- Mancini, S. Molinaro, N & Carreiras, M. (2013). Anchoring agreement in comprehension. *Language and Linguistics Compass*, 7(1), 1-21.
<https://doi.org/10.1111/lnc3.12008>
- Mancini, S., Quiñones, I., Molinaro, N., Hernandez-Cabrera, J. A., & Carreiras, M. (2017). Disentangling meaning in the brain: Left temporal involvement in agreement processing. *Cortex*, 86, 140-155.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.11.008>

- 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], Tehran, Iran.
https://parseh.modares.ac.ir/thesis.php?id=10004542&sid=1&slc_lang=en
[In Persian]
- Meykadeh, A., Golfam, A., Batouli, SAH. & Sommer, W. (2021). 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, A., Golfam, A., Nasrabadi, AM., Ameri, H. & Sommer, W. (2021). 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., 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, 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>
- Meykadeh, S. & Sommer, W., Batouli, SAH. (2023a). Thalamus and bilingualism: Evidence from fMRI. *Linguistics and Khorasan Dialects*. 15(3), 29-51.
<https://doi.org/10.22067/jlkd.2023.83396.1179> [In Persian]
- Meykadeh, S. & Sommer, W., Batouli, SAH. (2023b). the cerebellum and grammatical agreement in bilinguals: Evidence from grammaticality judgments using fMRI. *Language Science*, 10(180), 309-342.
<https://doi.org/10.22054/ls.2023.74871.1591> [In Persian]
- Meykadeh, S., Sommer, W., & Batouli, S. (2024). Putamen and L1-L2 sentence comprehension: Evidence from functional magnetic resonance mapping. *Journal of Researches in Linguistics*, 16(1), 95-110.
<https://doi.org/10.22108/jrl.2024.138007.1777> [In Persian]
- Moffat, S. D., Hampson, E., & Lee, D. H. (1998). Morphology of the planum temporale and corpus callosum in left handers with evidence of left and right hemisphere speech representation. *Brain*, 121(12), 2369-2379.
<https://doi.org/10.1093/brain/121.12.2369>
- Obleser, J., & Kotz, S. A. (2010). Expectancy constraints in degraded speech modulate the language comprehension network. *Cerebral cortex*, 20(3), 633-640. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp128>
- Ocklenburg, S., Friedrich, P., Fraenz, C., Schlüter, C., Beste, C., Güntürkün, O., & Genç, E. (2018). Neurite architecture of the planum temporale predicts neurophysiological processing of auditory speech. *Science advances*, 4(7), 1-8. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aar6830>
- Pahs, G., Rankin, P., Helen Cross, J., Croft, L., Northam, G. B., Liegeois, F., Greenway, S., Harrison, S., Vargha-Khadem, F., & Baldeweg, T. (2013). Asymmetry of planum temporale constrains interhemispheric language

- plasticity in children with focal epilepsy. *Brain*, 136(10), 3163–3175. <https://doi.org/10.1093/brain/awt225>
- Perani, D., & Abutalebi, J. (2005). The neural basis of first and second language processing. *Current opinion in neurobiology*, 15(2), 202–206. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.007>
- 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>
- Pollmann, S. (2010). A Unified Structural-Attentional Framework for Dichotic Listening. In Kenneth Hugdahl, and Rene Westerhausen (Eds.), *The Two Halves of the Brain: Information Processing in the Cerebral Hemispheres* (pp. 441-468). MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262014137.003.0326>
- Pourmohammad, M. (2019). *Psycholinguistics*. SAMT. <https://samta.samt.ac.ir/product/18809> [In Persian]
- Price, C. J. (2010). The anatomy of language: A review of 100 fMRI studies published in 2009. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1191, 62-88. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05444.x>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A., Mooney, R. D., Platt, M. L., & White, L. E. (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Ratnanather, J. T., Poynton, C. B., Pisano, D. V., Crocker, B., Postell, E., Cebron, S., Ceyhan, E., Honeycutt, N. A., Mahon, P. B., & Barta, P. E. (2013). Morphometry of superior temporal gyrus and planum temporale in schizophrenia and psychotic bipolar disorder. *Schizophrenia research*, 150(2-3), 476–483. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2013.08.014>
- Rodriguez-Fornells, A., Rotte, M., Heinze, H. J., Nössl, T., & Münte, T. F. (2002). Brain potential and functional MRI evidence for how to handle two languages with one brain. *Nature*, 415(6875), 1026-1029. <https://doi.org/10.1038/4151026a>
- Rojas, D. C., Camou, S. L., Reite, M. L., & Rogers, S. J. (2005). Planum temporale volume in children and adolescents with autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 35(4), 479-486. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-5038-7>
- Schmitz, J., Fraenz, C., Schlüter, C., Friedrich, P., Jung, R. E., Güntürkün, O., Genç, E., & Ocklenburg, S. (2019). Hemispheric asymmetries in cortical gray matter microstructure identified by neurite orientation dispersion and density imaging. *NeuroImage*, 189, 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.079>
- Sommer, I., Ramsey, N., Kahn, R., Aleman, A., & Bouma, A. (2001). Handedness, language lateralisation and anatomical asymmetry in schizophrenia: Meta-analysis. *The British journal of psychiatry*, 178, 344-351. <https://doi.org/10.1192/bjp.178.4.344>
- Steinmetz H. (1996). Structure, functional and cerebral asymmetry: In vivo morphometry of the planum temporale. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 20(4), 587-591. [https://doi.org/10.1016/0149-7634\(95\)00071-2](https://doi.org/10.1016/0149-7634(95)00071-2)
- Tzourio-Mazoyer, N., & Mazoyer, B. (2017). Variations of planum temporale asymmetries with Heschl's Gyri duplications and association with cognitive abilities: MRI investigation of 428 healthy volunteers. *Brain structure & function*, 222(6), 2711–2726. <https://doi.org/10.1007/s00429-017-1367-5>

- Tzourio-Mazoyer, N., Crivello, F., & Mazoyer, B. (2018). Is the planum temporale surface area a marker of hemispheric or regional language lateralization? *Brain structure & function*, 223(3), 1217-1228. <https://doi.org/10.1007/s00429-017-1551-7>
- Tzourio-Mazoyer, N., Maingault, S., Panzieri, J., Pepe, A., Crivello, F., & Mazoyer, B. (2019). Intracortical myelination of heschl's gyrus and the planum temporale varies with heschl's duplication pattern and rhyming performance: An investigation of 440 healthy volunteers. *Cerebral cortex*, 29(5), 2072-2083. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhy088>
- Ullman, M. T. (2001). The neural basis of lexicon and grammar in first and second language: The declarative/procedural model. *Bilingualism: language and cognition*, 4(2), 105-122. <https://doi.org/10.1017/S1366728901000220>
- Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in cognitive sciences*, 6(1), 37-46. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01816-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01816-7)
- Zawiszewski, A., Santesteban, M., & Laka, I. (2016). Phi-features reloaded: an even-related potential study on Person and Number agreement processing. *Applied Psycholinguistics*, 37(3), 601-626. <https://doi.org/10.1017/S014271641500017X>

