Language Related Research
E-ISSN: 2383-0816
https://lrr.modares.ac.ir
https://doi.org/10.48311/lrr.2025.7142

Tarbiat Modares University

Vol. 17, No. 4, Tome 94
pp. 167- 202
Winter 2027

The effect of gender on L1-L2 syntactic processing in Turkish-Persian balanced Bilinguals using fMRI

Simin Meykadeh [1], *Werner Sommer* [2], *Arsalan Golfam* [3], & *Seyed Amir Hossein Batouli* [4]

Received: 6 March 2023
Received in revised form: 13 May 2023
Accepted: 23 May 2023

Abstract

The present study aimed to investigate the effect of gender on the L1-L2 simultaneously morphosyntactic processing in balanced bilinguals who learned their L2 at the age of seven. Using event-related functional magnetic resonance imaging (ER-fMRI), Turkish-Persian balanced bilinguals (15 women and 15 men) performed an auditory grammaticality judgment task with an alternating language switching paradigm. Based on the Bilingual Dominance Scale (Dunn and Fox Tree, 2009), no significant difference was observed between the participants' proficiency in their L1 (Turkish) and L2 (Persian). Imaging results demonstrated strong neural similarity between men and women in two left-lateralized syntax-specific ROIs (Pars opercularis and posterior superior temporal gyrus), supporting the indistinguishable gender performance during L1-L2 simultaneously morphosyntactic processing. In addition, in EF-specific areas in right-hemisphere (planum temporale, supplementary motor area, superior parietal lobule and superior frontal gyrus), we did not observe differences in hemispheric recruitment by men and women, evidencing empirically for gender sameness in lateralization. Therefore, the present task and sample are not consistent with the previous claims that women show (a) superior language performance and (b) less lateralization. In general, our findings suggest that L1 and L2 simultaneously morphosyntactic processing in balanced bilinguals is not affected by the gender parameter.

Keywords: balanced bilinguals, morphosyntactic processing, gender, fMRI

[1] Corresponding author, PhD in Linguistics, Department of Linguistics, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8155-2891; *Email: a.meykadeh@modares.ac.ir*
[2] Professor, Department of Psychology, Faculty of Life Sciences, Humboldt Universität zu Berlin, Berlin, Germany; ORCID ID; http://orcid.org/0000-0001-5266-3445
[3] Associate Professor, Department of Linguistics, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9402-9079
[4] Assistant Professor, Department of Neuroscience and Addiction Studies, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9157-4522

1. Introduction

Language and the unique human ability to learn and use it effortlessly is based on a finite set of rules that can generate infinite sentences. This generative nature is governed by syntax. While knowledge of the brain's neural networks for syntax processing previously relied on brain-damaged patients, modern fMRI technology now allows its study in healthy individuals. fMRI is a non-invasive method with high spatial resolution, tracking neural activity via blood oxygenation levels. This reanalysis aims to investigate the effect of the gender variable on the neural system for syntactic processing, particularly in Turkish-Persian bilinguals. Despite Iran's linguistic diversity, there is a lack of studies on gender's role in bilingual syntactic processing using neuroimaging.

Research Question(s)

The research seeks to answer these questions:

1. What is the difference in brain activity between male and female Turkish-Persian bilinguals in syntax-specific brain regions when processing their first (L1) and second (L2) languages?

2. To what extent does brain activity differ between male and female bilinguals in domain-general control networks when processing L1 and L2?

3. What is the difference in the performance of male and female bilinguals regarding the activity of language areas in the left and right hemispheres when processing L1 and L2?

To address these questions, fMRI data was collected from proficient, early-balanced bilinguals using a syntactic auditory processing task.

2. Literature Review

More than a century of psychological and linguistic research has not resolved the debate on the extent of gender differences in language. While some studies suggest women outperform men in language comprehension and production, a

large-scale meta-analysis by Zell et al. (2015), supporting the gender similarities hypothesis, found these differences to be small or negligible (effect size $d < 0.2$). However, even small behavioral differences may be significant.

At the neural level, findings are also inconsistent. Some neuroimaging studies report gender differences, such as more bilateral brain activation in women during language tasks compared to left-lateralized activation in men. Other studies with larger samples or meta-analyses have found no significant gender differences in the functional organization of the brain for language processing. Since, to our knowledge, the role of gender in syntactic processing specifically remains uninvestigated, this study aims to contribute to filling this gap in the research literature.

3. Methodology

We recruited thirty healthy, right-handed, young adult Turkish-Persian bilinguals (15 female, 15 male) through advertisements at Tehran universities. All were native Turkish speakers who acquired Persian as a second language upon starting school at age seven.

Participants completed an auditory grammaticality judgment task during fMRI scanning. The task comprised four alternating blocks of sentences and rest, lasting 21.5 minutes. Each sentence block contained 32 randomly intermixed grammatical and syntactically violated sentences. In total, 128 sentences (50% in each language, with 50% violations per language) were presented. Participants judged each sentence's correctness via button press while minimizing head movement.

Imaging was conducted on a Siemens Prisma 3T scanner at the National Brain Mapping Laboratory (NBML). Functional images were acquired using a T2*-weighted echo-planar imaging (EPI) sequence (TR=3000 ms, TE=30 ms, flip angle = 90◦, matrix size: 64×64, slice thickness = 3 mm, FOV = 192 mm2, voxel size = 3×3×3 mm3). High-resolution anatomical T1-weighted images

were obtained using an 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).

Data preprocessing and analysis were performed using FSL. Steps included motion correction, slice-timing correction, brain extraction, normalization to MNI space, and spatial smoothing (6mm FWHM). A General Linear Model (GLM) was constructed for first-level analysis. Statistical maps were thresholded at $Z > 3.1$ with a cluster-corrected significance of $p < 0.05$.

A whole-brain analysis was conducted to identify regions involved in syntactic processing. Following this, percent signal change (PSC) was extracted from the bilateral planum temporale (PT) using the Harvard-Oxford Atlas. All subsequent statistical tests on the extracted data were performed using IBM SPSS Statistics, Version 26.

4. Results

2.1. Behavioral Results

An analysis of reaction times revealed significant effects of grammaticality and language. Participants responded faster to grammatical sentences (800ms) than ungrammatical ones (868ms), and faster in their second language (L2) (784ms) than their first language (L1) (885ms). A significant interaction showed the grammaticality effect (faster for grammatical) was strong in L1 but absent in L2. Crucially, no significant gender differences were found in reaction times for any condition.

2.2. Whole-Brain Results of Activation Brain

Significant brain activation was found in language regions for all sentence types in both languages, with women showing more widespread activity than men. Core syntax areas were left-lateralized in both groups. Widespread bilateral activation was also observed in frontal, parietal, and cerebellar control

regions. A subsequent analysis categorized the core syntax areas as syntax-specific and the other active regions as control-specific to examine their distinct activation patterns.

2.3. ROI-based Results

Left Pars Opercularis: Analysis revealed a significant main effect of language (L1 > L2) and a significant grammaticality × language interaction. Ungrammatical sentences elicited higher activation than grammatical ones, but only in L1, not in L2. No gender differences were found. Left Posterior STG: Significant main effects were found for both language (L1 > L2) and grammaticality (grammatical > ungrammatical). No significant interaction and no gender differences were observed.

2.4. Domain-gerenal control network

Planum Temporale: Showed a main grammaticality effect (grammatical > ungrammatical) and left-hemisphere dominance. No gender differences. Other Control Regions (SFG, SMA, SPL): A consistent pattern emerged. A significant grammaticality × hemisphere interaction was found in each, with the grammaticality effect (ungrammatical > grammatical) being exclusively right-lateralized. No gender differences were observed in any region. In summary, while the planum temporale showed a bilateral grammaticality effect, three key frontal/parietal control regions demonstrated a specific, right-hemisphere specialization for processing syntactic violations. No gender differences in brain function were found.

Taken together, Both genders used the same brain networks for L1 and L2 processing, with no gender differences found, supporting the Gender Similarities Hypothesis. A key finding was an asymmetric grammaticality effect: the left pars opercularis responded more to violations in the first language (L1), while the left posterior superior temporal gyrus responded

more to violations in the second language (L2). This indicates these core syntax areas have specialized, complementary roles.

دوماهنامهٔ بین‌المللی
د۱۷، ش٤ (پیاپی ۹٤)، زمستان ۱٤۰۵، صص ۱٦۷-۲۰۳
مقاله پژوهشی
https://lrr.modares.ac.ir/article_7142.html

نقش جنسیت در پردازش نحوی زبان اول و دوم در دوزبانه‌های متوازن ترکی – فارسی با استفاده از fMRI

سیمین میکده[۱*] ، ورنر زومر[۲] ، ارسلان گلفام[۳] ، امیرحسین بتولی [۴]

۱. دکتری تخصصی زبان‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲. استاد گروه روان‌شناسی شناختی، دانشگاه هومبولت برلین، برلین، آلمان
۳. دانشیار گروه زبان‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
٤.استادیار گروه علوم اعصاب، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰۳/۰۲

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر جنسیت بر پردازش نحوی زبان اول و دوم در دوزبانه‌های متوازنی است که در سن هفت‌سالگی زبان دوم را آموخته‌اند. با استفاده از روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی و الگوی تحریک وابسته‌به‌رویداد، تعداد ۳۰ نفر دوزبانهٔ ترکی ـ فارسی (۱۵ زن و ۱۵ مرد) یک تکلیف شنیداری قضاوت دستوری‌بودگی با پارادایم زبان‌گردانی جایگزین را اجرا کردند. بر مبنای معیار تسلط دوزبانه، هیچ تفاوت معناداری بین میزان تسلط شرکت‌کنندگان به زبان اول (ترکی) و زبان دوم (فارسی) آن‌ها مشاهده نشد. نتایج تصویربرداری، شباهت نورونی بسیار نزدیکی را بین زنان و مردان در دو ناحیهٔ نحو–ویژه در نیمکرهٔ چپ (پارس‌آپرکولاریس و شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی) نشان داد که مؤید عملکرد جنسیتی یکسان در حین پردازش نحوی زبان اول و دوم است. افزون بر این، در نواحی کنترل ـ ویژه در نیمکرهٔ راست (پلنیوم گیجگاهی، ناحیهٔ حرکتی تکمیلی، لوبول آهیانه‌ای فوقانی و شکنج پیشانی فوقانی)، هیچ‌گونه اختلافی در فعالیت نیمکره‌ای در زنان و مردان مشاهده نشد که موضوع همسانی جنسیتی در سوبرتری مغز را به‌طور تجربی ثابت می‌کند. بنابراین، نتایج تکلیف و نمونهٔ حاضر با ادعاهای قبلی که زنان (الف) عملکرد زبانی برتر و (ب) سوبرتری کمتری از خود نشان می‌دهند، سازگار نیست. به‌طور کلی، یافته‌های پژوهش حاضر پیشنهاد می‌کند که پردازش نحوی زبان اول و دوم در دوزبانه‌های متوازن متأثر از پارامتر جنسیت نیست.

واژه‌های کلیدی: دوزبانه‌های متوازن، پردازش نحوی، جنسیت، فارسی، ترکی، شبکه‌های مغزی، fMRI.

---

* نویسندهٔ مسئول مقاله: E-mail: a.meykadeh@modares.ac.ir

۱. مقدمه

زبان و توانایی آموختن و به‌کارگیری آن با صرف کمترین تلاش، یکی از منحصربه‌فردترین ویژگی انسان‌هاست. مهم‌ترین ویژگی این توانایی منحصربه‌فرد، قواعد محدودی است که بر مبنای آن می‌توان تعداد بی‌شماری جمله تولید کرد. خاصیت تکرارپذیری این قواعد، ماهیت زایشی زبان را رقم می‌زند. این جنبه از زبان که مشتمل بر قواعدی است که بر روابط ساختاری زبان حاکمیت دارد نحو[۱] نامیده می‌شود. به‌عنوان هستهٔ ماهیت زایشی زبان، نحو همواره یکی از موضوعات کلیدی در زبان‌شناسی محسوب می‌شده است. در حالی که دانش کلی بشر در ارتباط با شبکه‌های نورونی[۲] مغز برای پردازش نحو اصولاً به مشاهدات بیماران آسیب‌دیدهٔ مغزی محدود بود، امروزه با توسعهٔ تکنولوژی امکان پاسخ به پرسش‌هایی در ارتباط با نحوهٔ عملکرد سیستم نورونی برای پردازش زبان و بالأخص نحو در افراد سالم فراهم شده است. تشخیص کامل سیستم نورونی، مطالعهٔ نظام‌مند متغیرهایی را می‌طلبد که ممکن است این سیستم را تحت‌الشعاع قرار دهد. تأثیر متغیر جنسیت[۳] بر سیستم نورونی برای پردازش نحوی[۴] با استفاده از روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی[۵] هدف اصلی اجرای آزمایش حاضر است. fMRI، دریچه‌ای تجربی را به سوی مشاهدهٔ مغزِ در حالت فعالیتِ انسان گشوده است. برخلاف سایر روش‌های تصویربرداری مغز، fMRI کاملاً غیرتهاجمی است و نیازی به تزریق مواد حاجب[۶] (کنتراست) یا ایزوتوپ‌های رادیواکتیوی[۷] ندارد. آنچه بسیار در خور توجه می‌نماید این است که رهگیری تغییرات کارکردی در یک مغز سالم صرفاً به موجب اصول فیزیکی تشدید مغناطیسی هسته‌ای (NMR)[۸] و اثرات بالقوهٔ اکسیژن‌رسانی[۹] خون بر سیگنال MR به‌علت ویژگی‌های مغناطیسی دِاُکسی‌هموگلوبین[۱۰] است (Buxton, 2013). دقت مکانی ۲-۳ میلی‌متری (Purves et al., 2013) fMRI، آن را به ابزاری قدرتمند برای تصویربرداری مغز تبدیل کرده است.

هدف دیگری که پژوهش حاضر دنبال می‌کند ارزیابی افراد دوزبانه است. به عبارتی دقیق‌تر، ما در صدد هستیم تا اثر متغیر جنسیت بر پردازش نحوی را در افراد دوزبانه بررسی کنیم. گسترش روزافزون دوزبانگی در عرصهٔ جهانی و ملی، اهمیت انجام پژوهش‌های نظام‌مند در حوزهٔ دوزبانگی را می‌طلبد. فارسی، زبان رسمی ایران است، درحالی که به‌عنوان زبان مادریِ تقریباً ٦٠ درصد جمعیت ایران محسوب می‌شود و زبان ترکی با اختصاص تقریباً ۲۰ درصد کل جمعیت در ردهٔ دوم قرار دارد (Comrie, 2009, p. 446). بنابراین، زبان فارسی به‌عنوان زبان دومِ تقریباً ٤٠ درصد کل جمعیت

قلمداد می‌شود و تعداد قابل‌ملاحظه‌ای از این سخنگویان در سن هفت‌سالگی (در بدو ورود به مدرسه) جهت شروع آموزش رسمی با زبان فارسی مواجه می‌شوند. اگرچه که تنوع زبانی مطلوب در ایران زمینه مساعدی را برای تحقیقات دوزبانگی فراهم نموده است، اما نبود مطالعات کافی در زمینهٔ نقش جنسیت بر پردازش نحوی در افراد دوزبانهٔ متوازن با روش‌های نوین تصویربرداری ما را ترغیب کرد تا پژوهش حاضر را طراحی کنیم. در این راستا، نگارندگان کوشیده‌اند تا به سؤالات زیر پاسخ دهند:

۱- چه میزان اختلافی بین فعالیت مغزی زنان و مردان دوزبانهٔ ترکی-فارسی در نواحی نحو-ویژه[۱۱] برای پردازش زبان اول و دوم وجود دارد؟

۲- تا چه میزانی فعالیت مغزی زنان و مردان دوزبانهٔ ترکی-فارسی در نواحی کنترل-ویژه[۱۲] برای پردازش زبان اول و دوم متفاوت است؟

۳- چه تفاوتی بین عملکرد زنان و مردان دوزبانه ترکی-فارسی در فعالیت نواحی زبانی دو نیمکرهٔ چپ و راست برای پردازش زبان اول و دوم وجود دارد؟

به‌منظور پاسخ‌دهی به پرسش‌های فوق، زنان و مردان دوزبانه‌ای که زبان ترکی را به‌عنوان زبان مادری در بدو تولد فراگرفته و زبان فارسی را (به‌عنوان زبان دوم) در بدو ورود به مدرسه (در سن هفت‌سالگی) آموخته بودند و تسلط یکسانی به هر دو زبان داشتند، به صورت هدفمند گزینش شدند. لازم به ذکر است که نواحی مورد بررسی در مطالعهٔ میکده و همکاران (۲۰۲۱) شناسایی شده بودند. بازتحلیل حاضر به بررسی تفاوت‌های زنان و مردان می‌پردازد. داده‌های fMRI با استفاده از آزمون شنیداری پردازش نحوی از همهٔ افراد در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز اخذ شد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

پس از گذشت بیش از یک قرن از مطالعات روان‌شناختی و زبان‌شناختی، این موضوع که تفاوت‌های جنسیتی تا چه میزانی می‌تواند در زبان افراد مشهود باشد، هنوز بحث‌برانگیز است. در حالی که برخی مطالعات نشان داده‌اند که زنان در درک (Chiu & McBride-Chang, 2006; Logan & Johnston, 2010; Stoet & Geary, 2013) و تولید زبان (Leaper & Smith, 2004) عملکرد بهتری در مقایسه با مردان دارند، زِل و همکارانش[۱۳] (2015) با ارزیابی تفاوت‌های روان‌شناختی زنان و مردان از طریق نتایج ۱۰۶ فراتحلیل[۱۴] شامل دادهٔ بیش از ۱۲ میلیون شرکت‌کننده، ضمن تأیید فرضیهٔ شباهت‌های جنسیتی[۱۵] (Hyde, 2005) دریافتند که تفاوت‌های جنسیتی در متغیرهای زبانی کوچک یا بی‌اهمیت

هستند (اندازهٔ اثر[16] $d < 0.2$). با وجود این، این نویسندگان بر این باورند که حتی تفاوت‌های رفتاری کوچک هم نباید نادیده گرفته شوند (Zell et al., 2015) زیرا یک اندازهٔ اثر «کوچک» تأثیر بی‌اهمیتی ندارد (Sanchis-Segura et al., 2019). در سطح عصبی نیز، نحوهٔ عملکرد مغز در حمایت یا نفی تفاوت‌های جنسیتی در زبان به‌خوبی شناخته نشده است. در عین حال که برخی تحقیقات تأثیر جنسیت را بر فعالیت مغز برای پردازش زبان گزارش کرده‌اند (Shaywitz et al.,1995; Baxter et al., 2003)، برخی دیگر هیچ اختلافی بین زنان و مردان در سطح کارکردی مشاهده نکردند (Sommer et al., 2004; Hirnstein et al., 2013). به‌عنوان مثال، مطالعات قبلی تصویربرداری عصبی نشان داده است که در حین انجام تکالیف زبانی (ازجمله تکالیف معنایی، واج‌شناختی و ...)، زنان در مناطق مرتبط با زبان شامل شکنج پیشانی‌تحتانی[17]، شکنج گیجگاهی‌فوقانی‌خلفی[18] و شکنج دوکی‌شکل[19] فعالیت هر دو نیمکرهٔ مغز را نشان داده‌اند، اما در مردان این فعالیت محدود به نیمکرهٔ چپ بوده است (Baxter et al., 2003; Burman et al., 2013; Shaywitz et al., 1995). در یک مطالعهٔ اخیر نیز، با استفاده از تجزیه و تحلیل شبکهٔ داده‌های fMRI، تفاوت‌های جنسیتی قابل‌توجهی بین مناطق مغزی مرتبط با پردازش معنایی گزارش شد (Xu et al., 2019). با وجود این، مطالعات با حجم نمونه نسبتاً بزرگ (Hirnstein et al., 2013) و فراتحلیل‌هایی که اندازهٔ اثر را در چندین مطالعه ارزیابی کردند (Sommer et al., 2004; Sommer et al., 2008)، هیچ اختلاف جنسیتی را مشاهده نکردند که مؤید شباهت بین ساختار مغز زنان و مردان برای پردازش زبان است. نظر به اینکه، تا آنجا که ما می‌دانیم، تاکنون به نقش جنسیت بر پردازش نحوی پرداخته نشده است، امید است که پژوهش حاضر بتواند در غنی‌سازی پیشینهٔ پژوهش سهیم باشد.

مطابق با مدل مسیر نوروآناتومیکی[20] فریدریچی و همکارانش[21] (2017)، نواحی بروکا در شکنج پیشانی‌تحتانی نیمکرهٔ چپ و شکنج گیجگاهی فوقانی[22] به‌عنوان کانون اصلی پردازش ساختارهای نحوی محسوب می‌شوند. به‌نظر می‌رسد که بخش خلفی ناحیهٔ بروکا (پارس‌آپرکولاریس[23]، برادمن ٤٤) صرفاً زیربنای پردازش نحوی است، در حالی که بخش قدامی آن (پارس‌تری‌انگولاریس، برادمن ٤٥) عمدتاً پردازش واژگانی-معنایی را پشتیبانی می‌کند. این دو زیرناحیهٔ بروکا، یعنی برادمن ٤٤ و ٤٥، به ترتیب توسط مجاری فیبری پشتی و شکمی مجزا به قشر گیجگاهی متصل هستند. با توجه به نواحی هدف آن‌ها در قشر گیجگاهی، به‌نظر می‌رسد مسیرهای پشتی و شکمی از فرایندهای نحوی و معنایی پشتیبانی می‌کنند. درک جمله به‌عنوان یک کل، شبکهٔ پیشانی گیجگاهی را درگیر می‌کند که شامل هر

دو ناحیهٔ بروکا و شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی است. اساساً، در انسان بالغ، شبکهٔ ویژه‌ای شامل برادمن ٤٤ وجود دارد که از نظر ساختاری و کارکردی به شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی متصل است. بنابراین، این مدار عصبی ممکن است برای ظرفیت نحوی انسان به‌عنوان هستهٔ زبان ضروری باشد (Friederici et al., 2017).

در بافت دوزبانگی، یک عامل اساسی در توانش زبان، کنترل شناختی[۲٤] یا کارکردهای اجرائی[۲۵] است (Lerman & Obler, 2017). حداقل سه کارکرد اجرایی شامل حافظهٔ فعال[۲٦]، بازداری[۲۷] و انعطاف‌پذیری شناختی[۲۸] تشخیص داده شده است. استدلال شده است که دوزبانگی منابع حافظهٔ فعال را برای مدیریت زبان‌هایی که به‌طور پیوسته برای گزینش رقابت می‌کنند، به خدمت می‌گیرد (Antón et al., 2019). براساس مدل کنترل بازداری (Green, 1998)، یک مکانیسم بازدارنده در حل تعارض بین دو زبانی که به‌طور هم‌زمان فعال هستند درگیر است تا با مهار زبان غیرهدف[۲۹]، تولید زبان هدف[۳۰] را تسهیل کند. اخیراً، رومان و گومز-گومز[۳۱] (2022) در قالب یک مطالعهٔ مروری استدلال کردند که در دوزبانه‌های متأخر زبان مادری به‌عنوان زبان غالب عمل می‌کند و انتظار است که کاربرد زبان دوم فرایندهای بازدارنده را برای تسهیل بازیابی بازنمایی‌های ضعیف‌تر زبان دوم ایجاد کند. هنگامی که دوزبانه‌ها تلاش می‌کنند تا زبان اولشان را بعداً بازیابی کنند، دسترسی به بازنمایی‌های مهارشده در زبان اول زمان‌بر خواهد بود. در پژوهش حاضر، نگارندگان در صدد هستند تا با شناسایی هم‌بسته‌های[۳۲] نحو ـ ویژه و کنترل شناختی با استفاده از رویکرد مغز-کل در هر دو گروه زنان و مردان دوزبانهٔ ترکی-فارسی، نقش جنسیت را در پردازش نحوی بررسی کنند.

نکتهٔ قابل توجه این است که دو زبان ترکی و فارسی ویژگی‌های دستوری مشترکی دارند که عامل مهمی در کنترل پردازش زبان دوم محسوب می‌شود. زبان‌های ترکی و فارسی به ترتیب به زیرشاخه‌های آلتایی و هندوایرانی از خانوادهٔ زبان‌های هندواروپایی تعلق دارند، اما در حالت بی‌نشان ترتیبِ واژه در هر دو زبان فاعل-مفعول-فعل[۳۳] است و از ویژگی‌های نحوی خاصی مانند مطابقهٔ فعلی[۳٤] پیروی می‌کنند. مطابقهٔ فاعل-فعل در زبان فارسی و ترکی مستلزم تطابق مشخصه‌های شخص و شمار است. بنابراین، در هر دو زبان، فعل به صورت اجباری با فاعل جاندار در مشخصه‌های شخص و شمار مطابقه برقرار می‌کند و برای سه شخص مفرد و جمع صرف می‌شود. براساس توصیف نحو مشترک[۳۵] (Hartsuiker et al., 2004)، دوزبانه‌ها بازنمایی‌های نحوی را بین زبان‌ها به اشتراک می

گذارند مادامی که این بازنمایی‌ها به اندازهٔ کافی بین زبان‌ها مشابه باشند. اخیراً زاویزوسکی و لاکا (Zawiszewski & Laka, 2020) تأثیر شباهت‌ها و تفاوت‌های دستوری را بر پردازش زبان دوم بین زبان‌های بومی[۳۶] و غیربومی[۳۷] بررسی کردند. این نویسندگان فرضیه فاصلهٔ زبانی[۳۸] را طرح‌ریزی کردند و با نشان دادن این‌که حتی در شرایط مواجههٔ زودهنگام با زبان دوم و بسندگی بالا در این زبان، تفاوت‌های بومی و غیربومی در پردازش ویژگی‌های دستوری زبان دوم که در زبان اول وجود ندارد ظاهر می‌شوند، این فرضیه را مورد تأیید قرار دادند، درحالی‌که هنگام پردازش ویژگی‌های زبان دوم که در زبان اول وجود داشتند، چنین اختلافی مشاهده نشد. در پژوهش حاضر، سخنگویان دوزبانه از تسلط بالایی در هر دو زبان ترکی (زبان اول) و فارسی (زبان دوم) برخوردار بودند و به‌طور منظم از هر دو زبان استفاده می‌کردند. آن‌ها غالباً در خانه با زبان ترکی مواجه شده بودند و از حدود ۷ سالگی که وارد دبستان شدند شروع به یادگیری زبان فارسی کردند. به‌طور خاص، مطالعهٔ این جمعیت به این دلیل جالب است که اگرچه آن‌ها یادگیری زبان دوم را نسبتاً دیر شروع کردند، اما در ادامه به سطح بسیار بالایی از بسندگی رسیدند. بنابراین، مطالعهٔ این جمعیت ممکن است به درک این موضوع کمک کند که آیا، درمورد دوزبانگی، نیروی محرکهٔ پلاستیسیتهٔ[۳۹] مغز عمدتاً بسندگیِ زبان دوم است (مثلاً Li et al., 2015; & Gullifer et al., 2018) یا سن یادگیری زبان[۴۰] دوم (مثلاً Berken et al., 2016; & Liu et al., 2017).

۳. روش پژوهش

۳ـ۱. شرکت‌کنندگان

در پژوهش کاربردی و تجربی حاضر براساس فراخوان، دانشجویان واجد شرایط مقاطع دکتری دانشگاه‌های برتر تهران به همکاری دعوت شدند. از بین داوطلبان، ۳۰ دانشجوی ترک‌زبان (۱۵ زن و ۱۵ مرد به ترتیب با میانگین سنی و انحراف معیار ۳/۱۸±۲۷/۴۷ و ۲/۹۷±۲۶/۸۷، در محدودهٔ سنی ۲۲-۳۴ سال و میانگین سال‌های تحصیل ۱۹/۵سال) به روش هدفمند گزینش شدند. در مطالعات fMRI، حداقل حجم نمونه برای هر گروه ۱۵ نفر پیشنهاد شده است (Friston, 2012). همهٔ افراد سالم بودند و طبق گزارش فردی از شنوایی طبیعی نیز برخوردار بودند. ملاک‌های ورود برای سخنگویان ترک‌زبان شامل داشتن والدین ترک‌زبان، متولد و ساکن استان‌های ترک‌زبان ایران (ازجمله تبریز، ارومیه، اردبیل و زنجان) تا سن ۷ سالگی، راست‌دستی، عدم ابتلا به بیماری‌های زبانی و روانی (ازجمله لکنت زبان و ...)، حداقل ۵ سال

سکونت در شهرهای فارسی‌زبان و شروع آموزش رسمی زبان فارسی در سن ۷ سالگی بود. بنا بر اظهارات شخصی، همهٔ شرکت‌کنندگان ترک‌زبان در زندگی روزمرهٔ خود با زبان ترکی ارتباط برقرار می‌کردند. پس از غربالگری اولیه، همهٔ افراد در جلسهٔ ارزیابی رفتاری که در گروه زبان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس برگزار شد شرکت کردند. براساس آزمون دست‌برتری ادینبورگ همهٔ افراد راست‌دست تشخیص داده شدند. به‌منظور سنجش ظرفیت حافظهٔ فعال، تکلیف فراخنای خواندن (خدادادی و همکاران، ۱۳۹۳) برای همهٔ افراد اجرا شد. کسب امتیاز ۵۰ (از ۱۰۰) الزامی بود که همهٔ افراد موفق به کسب امتیاز لازم شدند. خودارزیابی بسندگی در زبان فارسی و ترکی با اختلاف اندک بین درک و تولید زبان (٦ در برابر ۵) عالی بود. توسط یک مصاحبه‌گر زبان‌شناس مصاحبه‌ای به زبان فارسی انجام شد که همهٔ شرکت‌کنندگان نسبتاً خوب ارزیابی شدند. مصاحبه‌ای نیز به زبان ترکی توسط یک دانشجوی دکتری ترک‌زبان انجام شد و توانمندی زبان ترکی افراد «عالی» تشخیص داده شد. افزون بر این، میزان تسلط بین دو زبان در دوزبانه‌های ترکی–فارسی براساس معیار تسلط دوزبانه[٤١] (Dunn & Fox Tree, 2009) ارزیابی شد. هیچ اختلافی معناداری بین میزان تسلط افراد به زبان ترکی و فارسی مشاهده نشد. در ارتباط با متغیرهای سن و میزان تحصیلات نیز هیچ اختلاف معناداری بین دو جنسیت مشاهده نشد ($p > ۰/۰۵$). همهٔ افراد با رضایت کتبی در این آزمایش شرکت کردند و به آن‌ها حق‌الزحمهٔ حضور در آزمایش نیز پرداخت شد. پژوهش حاضر مورد تصویب کمیتهٔ اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران (مطابق با اعلامیهٔ هلسینکی) و دارای کد IR.IUMS.REC.1398.465 است.

۳ـ۲. مواد آزمون

به‌منظور ارزیابی پردازش نحوی سخنگویان دوزبانه یک تکلیف قضاوت دستوری‌بودگی[٤٢] طراحی شد. محرک‌های این تکلیف متشکل از ٦٤ جملهٔ فارسی و ٦٤ جملهٔ ترکی با ساختار فاعل + مفعول + فعل بود که نیمی از محرک‌ها در هر زبان به لحاظ نحوی درست و سایر محرک‌ها دارای نقض مطابقهٔ فعل–فاعل بودند. همهٔ محرک‌ها به‌لحاظ معنایی درست بودند و محرک‌هایِ به‌لحاظ نحوی درست و نادرست، از یکدیگر مشتق نشدند. بنابراین، هر محرک چه درست و چه نادرست فقط یکبار ارائه شد. پرکاربردترین افعال متعدی فارسی (مطابق انوری و گیوی، ۱۳۹۸) و ترکی (مطابق کِترز[٤٣]، ۲۰۱۲) انتخاب و در زمان گذشتهٔ ساده استفاده شدند و هیچ فعل کمکی به‌کار گرفته نشد.

جدول ۱: مثال‌هایی از مواد آزمون در زبان ترکی و فارسی با حرف‌نویسی و ترجمهٔ انگلیسی

Table 1: Examples for sentence materials in Turkish and Persian with Transliterations and Literal Translations

زبان اول	زبان دوم
نقض مطابقهٔ دستوری *بیز1.pl کیتابلاریمیزی گتیردیم1.sg. *Biz kitâb-lar-i-mizi gatirdim. We book-PL-HI-OBJ-CLT.Def bring-PAST-1SG (We brought our books)	*ما1.pl بدهکاریمان را پرداختم1.sg. *Ma1.pl bedehkari-ye-mân râ pardâxtam1.sg. We debt-HI-OBJ-CLT.Def pay.PAST-1SG (We paid our debts.)
مطابقهٔ دستوری من1.sg پالتارمی یودوم1.sg. Man1.sg pâltâr-e-mi yudum1.sg. I cloth-HI-OBJ-CLT.Def wash.PAST-1SG (I washed my cloth.)	من1.sg نظرش را پذیرفتم1.sg. Man1.sg nazar-aš râ paziroftam1.sg. I offer-OBJ-CLT.Def accept.PAST-1SG (I accepted her/his offer.)

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

در محرک‌های درست، فاعل اول و سوم شخص مفرد با افعال اول و سوم شخص مفرد و فاعل اول و سوم شخص جمع با افعال اول و سوم شخص جمع همراه بودند. در مقابل، در شرایط نقض مشخصه‌های شخص و شمار، فاعل اول و سوم شخص مفرد با افعال اول و سوم شخص جمع و فاعل اول و سوم شخص جمع با افعال اول و سوم شخص مفرد همراه بودند همانگونه که در جدول ۱ نشان داده شد. جملات توسط یک خانم با ریتم طبیعی خوانده شد در استودیوی صدابرداری با فرمت WAV ذخیره شد (نرخ نمونه‌برداری ۱۶ بیت، ٤٤ کیلوهرتز).

۳-۳. نحوهٔ اجرای آزمون

نخست، شرکت‌کنندگان آموزش‌های لازم را در زمینهٔ نحوهٔ اجرای تکلیف دریافت کردند. از آن‌ها درخواست شد تا فقط براساس دستوری/نادستوری‌بودگی و نه معنامندی جملات پاسخ خود را ثبت کنند. محرک‌های شنیداری طراحی‌شده توسط نرم‌افزار سایکوپای[٤٤]، از طریق هدفون ارائه شد. الگوی تحریک وابسته‌به‌رویداد[٤٥]، شامل ٤ بلوک جملات شنیداری، ٤ بازهٔ استراحت و نیز پارادایم زبان‌گردانی جایگزین[٤٦] به‌کار گرفته شد. هر بلوک متشکل از ۳۲ بخش[٤٧] است که برای ثبت پاسخ همودینامیکی[٤٨]

نیز بازه‌های زمانی استراحت ۳۰-ثانیه‌ای در قبل و بعد از آن تعبیه شد که طی آن هیچ تحریکی ارائه نشد. مدت زمان هر بلوک ۳۱۸ ثانیه بود. هر بخش شامل یک بوق هشدار ۱-ثانیه‌ای، یک جملهٔ ۳-ثانیه‌ای و مرحلهٔ پاسخ ٤، ٥ یا ٦-ثانیه‌ای (به‌طور میانگین ٥ ثانیه) بود.

به‌علت ماهیت شنیداری تکلیف شناختی، یک علامت به‌علاوه (+) در وسط صفحهٔ نمایش در کل زمان اجرای تکلیف[٤٩] نمایش داده شد. در هر بلوک، جملات دو زبان به‌طور پیوسته تغییر می‌کردند (به‌طور مثال، زبان اول، زبان دوم، زبان اول، زبان دوم و ...). افزون بر این، محرک‌های دستوری و نادستوری هر زبان، در هر بلوک به‌طور تصادفی توزیع و به‌طور یکسان برای همهٔ شرکت‌کننده‌ها اجرا شدند. مزیت پارادایم زبان‌گردانی جایگزین بر دیگر پارادایم‌ها ازجمله پارادایم زبان‌گردانی توالی-محور[٥٠] این است که شرایط برنامه‌ریزی زبانی را برای زبان بعدی فراهم می‌کند به‌گونه‌ای که وضعیت پیش‌برنامه‌ریزی 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 استفادهٔ کنند و به سرعت از زبانی به زبان دیگر تغییر حالت دهند. در پژوهش حاضر، میزان تغییرات از زبان اول به زبان دوم و بالعکس براساس زمان واکنش (RT)[٥١] و فعالیت BOLD به تفکیک جنسیت محاسبه شد. اجرای آزمون fMRI به انضمام مرحلهٔ آماده‌سازی تقریباً ۳٥ دقیقه به ازای هر فرد به طول انجامید.

۳-۴. پروتکل تصویربرداری

تصاویر fMRI توسط اسکنر MRI سه تسلای زیمنس مدل پریزما[٥٢] با کویل سر ۲۰ کاناله[٥٣] در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز ثبت شد. تصویربرداری ساختاری رزولوشن بالا و عملکردی حالت استراحت از مغز هر فرد در یک جلسه انجام شد. پروتکل‌ها و پارامترهای مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است. تصاویر ساختاری با قدرت تفکیک بالا با استفاده از روش MPRAGE و تصاویر عملکردی در حالت استراحت به صورت EPI به نحوی که شرکت‌کننده چشم خود را بسته بود، گرفته شد. زمان تصویربرداری عملکردی ۱۲۹۰ ثانیه و ٤۳۰ حجم بود. هر حجم متشکل از ٤٥ اسلایس است.

جدول ۲: پروتکل‌های تصویربرداری ساختاری و عملکردی

Table 2: Structural and functional imaging protocols

نام پروتکل	اندازهٔ وکسل[۵۴] (mm^3)	اندازهٔ ماتریس[۵۵] (mm^2)	زمان اکو[۵۶] (TE) (ms)	زمان تکرار[۵۷] (TR) (ms)	ضخامت اسلایس[۵۸] (mm)	میدان دید[۵۹] (FOV) (mm^2)	زاویهٔ چرخش[۶۰] (deg) α
T1-weighted MP-RAGE (ساختاری)	۱ × ۱ × ۱	۲۵۶	۳/۵۳	۱۸۰۰	۱	۲۵۶	۷°
T2-weighted EPI-BOLD (عملکردی)	۳ × ۳ × ۳	٦٤	۳۰	۳۰۰۰	۳	۱۹۲	۹۰°

۳ـ۵. پیش‌پردازش تصاویر

پیش‌پردازش تصاویر با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزار FSL مدل ٦/٠٠ مجموعهٔ FMRIB[٦١] انجام شد. پس از حذف جمجمه و استخراج قشر مغز (Smith, 2002)، با استفاده از ابزار FLIRT (Jenkinson & Smith, 2001; Jenkinson et al., 2002) دادهٔ ساختاری T1-MPRAGE در ابتدا روی اطلس استاندارد (MNI) منطبق شده و سپس داده‌های عملکردی بر آن انطباق[٦٢] داده شد (Jenkinson et al., 2002). مراحل پیش‌پردازش داده‌های عملکردی شامل (۱) تصحیح حرکت سر[٦٣] با ابزار MCFLIRT (Jenkinson et al., 2002) (۲) تصحیح زمان‌بندی برش‌ها[٦٤] با استفاده از درون‌یابی فوریه (۳) نرم کردن مکانی[٦٥] توسط فیلتر کرنل گوسی با FWHM برابر با ٦ میلی‌متر (٤) نرمال کردن[٦٦] دامنهٔ همهٔ حجم‌ها در هر نقطهٔ زمانی بر پایهٔ شدت میانگین (۵) فیلتر کردن زمانی[٦٧] توسط فیلتر بالاگذر گوسی با سیگمای ۵۰ ثانیه و (٦) حذف مؤلفه‌های نویز از تصاویر پیش‌پردازش‌شده با استفاده از روش ICA بود (Beckmann & Smith, 2004). آنالیز سری‌های زمانی با ابزار FILM و اصلاح موضعی هم‌بستگی خودکار انجام شد (Woolrich et al., 2001). سپس از مدل خطی عمومی (GLM)[٦٨]، برای آنالیز اجرای فردی (سطح اول) و گروهی (سطح دوم) استفاده شد. آنالیزهای بین‌گروهی با استفاده از مدل تأثیر آمیخته[٦٩] انجام شد و وکسل‌هایی با z-stat بالای ۲/۳ و سطح معناداری کمتر از $p < ۰/۰۵$ به صورت وکسل فعال تشخیص داده شدند. فقط جملاتی

که به آن‌ها پاسخ درست داده شده بود، در چرخهٔ آنالیز قرار گرفتند.

۳ـ۶. روش تحلیل آماری

به‌منظور تعیین نقش جنسیت بر پردازش نحوی زبان اول و دوم در افراد دوزبانه و نیز در راستای مدل نوروآناتومیکال فریدریچی و همکارانش (2017)، آنالیز دو ناحیهٔ نحو-ویژه شامل پارس‌آپرکولاریس و شکنج گیجگاهی‌فوقانی خلفی در نیمکرهٔ چپ مغز انجام شد. افزون بر این، به‌منظور بررسی شبکهٔ ویژهٔ کارکردهای شناختی در شرکت‌کنندگان، آنالیز نواحی فعال شده با رویکرد کل مغز اجرا شد. درصد تغییر سیگنال[۷۰] به‌عنوان معیار «شدت»[۷۱] برای هر شرکت‌کننده و هر ناحیهٔ مغزی مطابق با اطلس هاروارد-آکسفورد[۷۲] در FSL محاسبه شد. شدت سیگنال به‌عنوان متغیر وابسته و جنسیت، دستوری‌بودگی، زبان و نیمکره به‌عنوان متغیرهای مستقل درنظر گرفته شدند. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS مدل ۲٦ انجام شد. تغییرات شدت سیگنال از طریق آزمون استنباطی تحلیل واریـــانس آمیخته با اندازه‌گیری‌های مکرر ۲ × ۲ × ۲ × ۲ (جنسیت (زن ، مرد) × زبان (زبان اول = ترکی، زبان دوم = فارسی) × دستوری‌بودگی (دستوری، نادستوری) × نیمکره (چپ، راست)) بررسی شد. همچنین، به‌منظور کنترل مقایسه‌های چندگانه، آزمون بونفرونی[۷۳] اجرا و صرفاً نتایج معنادار گزارش شد. سطح معناداری برای نواحی نحو-ویژه $p = ۰/۰۲۵$ (آزمون تحلیل واریانس آمیخته) و $p = ۰/۰۰٦$ (آزمون تعقیبی) و برای نواحی کنترل-ویژه $p = ۰/۰۰۳۸$ (آزمون تحلیل واریانس آمیخته) و $p = ۰/۰۰۱۹$ (آزمون تعقیبی) در نظر گرفته شد.

۴. نتایج

۴ـ۱. نتایج رفتاری

زمان واکنش به ازای جملات دستوری/غیردستوری، زبان اول/دوم، و جنسیت مقایسه شد (جدول ۳). نتایج تحلیل واریانس آمیخته نشان داد که زمان واکنش برای عامل اصلی دستوری‌بودگی و زبان بود. شرکت‌کنندگان به جملات دستوری (۸۰۰ میلی‌ثانیه) در مقایسه با جملات غیردستوری (۸٦۸ میلی‌ثانیه) واکنش سریع‌تری نشان دادند. نیز، آن‌ها به جملات زبان دوم (۷۸٤ میلی‌ثانیه) در مقایسه با جملات زبان اول (۸۸۵ میلی‌ثانیه) سریع‌تر پاسخ دادند. تعامل دو عامل دستوری‌بودگی × زبان نیز معنادار بود. با

درنظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی، مشاهده شد که در جملات دستوری اختلافی بین زبان اول (۸۲۳ میلی‌ثانیه) و دوم (۷۷۸ میلی‌ثانیه) مشاهد نشد ($t_{(۲۹)} = ۱/۳۸$ ،$p = ۰/۱۷۷$)، اما در جملات غیردستوری شرکت‌کنندگان در پاسخ به جملات زبان دوم (۷۹۰ میلی‌ثانیه) در مقایسه با جملات زبان اول (۹٤٦ میلی‌ثانیه) سریع‌تر عمل کردند ($t_{(۲۹)} = ٤/۷۱$ ،$p = ۰</۰۰۱$). با درنظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که در زبان اول بین جملات دستوری (۸۲۳ میلی‌ثانیه) و غیردستوری (۹٤٦ میلی‌ثانیه) اختلاف معناداری بود ($t_{(۲۹)} = ٤/٦۰$ ،$p = ۰</۰۰۱$)، در حالی که بین جملات دستوری (۷۷۷ میلی‌ثانیه) و غیردستوری (۷۹۰ میلی‌ثانیه) زبان دوم این اختلاف مشاهده نشد ($t_{(۲۹)} = ۰/٤۲۳$ ،$p = ۰/٦۷٦$). امّا، هیچ اختلاف معناداری بین زمان واکنش زنان و مردان به جملات دستوری–غیردستوری و جملات زبان اول–دوم مشاهده نشد.

جدول ۳: نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته برای زمان واکنش در جملات دستوری–غیردستوری

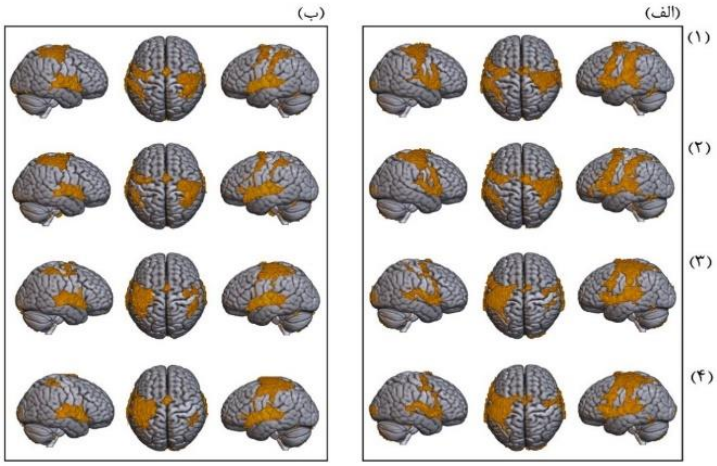
Table 3: ANOVAs results for RTs in Grammatical and Ungrammatical sentences

منبع تغییرات	آمارهٔ F	درجهٔ آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری‌بودگی	۱۳/۸۱٤	۱	۰/۰۰۱*	۰/۳۳۰
دستوری‌بودگی × جنسیت	۰/۸۱۹	۱	۰/۳۷۳	۰/۰۲۸
زبان	۱٦/۲۱۸	۱	<۰/۰۰۱*	۰/۳٦۷
زبان × جنسیت	۱/۷۷۷	۱	۰/۱۹۳	۰/۰٦۰
دستوری‌بودگی × زبان	٦/٦۹۳	۱	۰/۰۱۵*	۰/۱۹۳
دستوری‌بودگی × زبان × جنسیت	۰/۱۰٦	۱	۰/۷٤۷	۰/۰۰٤

۴ـ۲. نتایج فعالیت کل مغز

فعالیت گستردهٔ معنادار BOLD در حین ارائهٔ محرک‌های دستوری و نادستوری زبان اول و محرک‌های دستوری و نادستوری زبان دوم در نواحی مرتبط با زبان در بین زنان و مردان مشاهده شد (شکل ۱). با مقایسهٔ بخش الف و ب شکل ۱، فعالیت بیشتر مغز زنان به نسبت مردان مشهود است. فعالیت غالب نیمکرهٔ چپ (به نسبت خط مبدأ) برای نواحی پارس‌آپرکولاریس و شکنج‌گیجگاهی‌فوقانی‌خلفی که مسئول پردازش اطلاعات نحوی هستند (Friederici et al., 2017)، برای هر دو گروه زنان و مردان دیده شد. افزون بر این، نواحی شکنج پیشانی فوقانی[۷٤]، پوتامن[۷۵]، شکنج سینگولیت قدامی[۷٦]، لوبول آهیانه‌ای فوقانی[۷۷]، ناحیهٔ حرکتی تکمیلی[۷۸]، قطب گیجگاهی[۷۹]، شکنج پیش‌مرکزی[۸۰]، شکنج پس‌مرکزی[۸۱]، ناحیهٔ

پاراسینگولیت[۸۲]، پلنیوم گیجگاهی[۸۳] و مخچه[۸٤] در هر دو نیمکره برای هر دو زبان اول و دوم در هر دو گروه زنان و مردان فعال شد. بر این اساس، با درنظر گرفتن دو ناحیهٔ پارس‌آپرکولاریس و شکنج گیجگاهی فوقانی‌خلفی به‌عنوان نواحی نحو-ویژه و سایر نواحی (فوق‌الذکر) به‌عنوان نواحی کنترل-ویژه، متعاقباً آنالیزی بر مبنای نواحی مطلوب[۸۵] اجرا شد تا الگوی فعالیت محرک‌ها در هر ناحیهٔ مغزی مشخص شود (Poldrack, 2007).



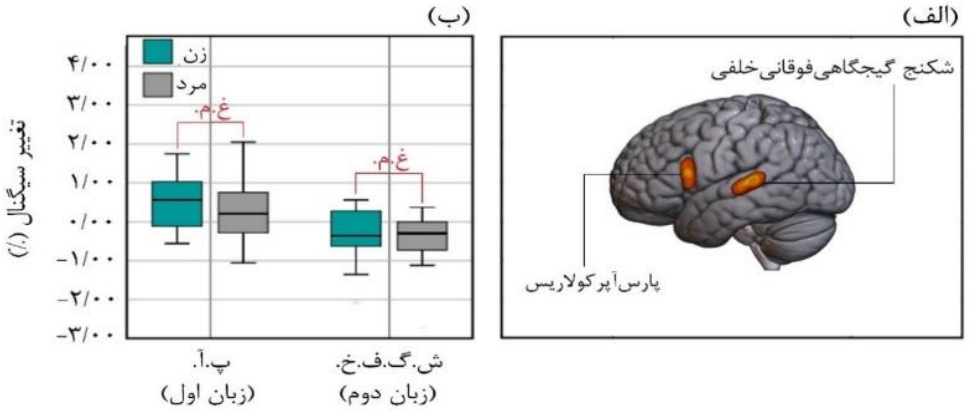
شکل ۱: فعالیت کل‌مغز در دو گروه (الف) زنان و (ب) مردان برای چهار وضعیت آزمایشی (۱) دستوری زبان اول و (۲) نادستوری زبان اول، (۳) دستوری زبان دوم و (٤) نادستوری زبان دوم. تصاویر (به ترتیب از سمت راست) شامل سه نمای ساجیتال[۸٦] چپ، آگزیال[۸۷] و ساجیتال راست هستند.

Figure 1: Whole-brain activation for (**A**) women and (**B**) men in four experimental conditions including (1) Grammatical L1, (2) Ungrammatical L1, (3) Grammatical L2, (4) Ungrammatical L2. From right to left, the images show left sagittal, axial, and right sagittal views.

۴-۳. نتایج نواحی نحو-ویژه

موقعیت دو ناحیهٔ پارس‌آپرکولاریس و شکنج گیجگاهی‌فوقانی‌خلفی در نیمکرهٔ چپ به همراه نمودارهای جعبه‌ای شدت سیگنال نسبت به خط مبدأ برای دو گروه زنان و مردان در نواحی نامبرده در شکل ۲ نمایش داده شده است. برای ناحیهٔ پارس‌آپرکولاریس چپ، نتایج حاصل از تحلیل واریانس آمیختهٔ ۲ × ۲ × ۲ نشان از معناداری عامل اصلی زبان دارد (جدول ٤). مشخصاً، شدت درصد تغییر

سیگنال در زبان اول (۳/۲۹) به نسبت زبان دوم (۲/۸۲) بیشتر بود. نیز، اثر تعاملی دستوری‌بودگی × زبان معنادار بود (جدول ٤). با درنظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی ، مشاهده شد که در زبان اول درصد تغییر سیگنال جملات غیردستوری (۳/۵۰) در مقایسه با جملات دستوری (۳/۰۸) بیشتر بود ($p = ۰/۰۰٦$، $t_{(۲۹)} = ۳/۰۰$)، اما در زبان دوم اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات غیردستوری (۲/۷۸) و دستوری (۲/۸۵) مشاهده نشد ($p = ۰/۳۷۲$، $t_{(۲۹)} = -۰/۹۰٦$) (جدول ۵). با درنظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که در جملات غیردستوری درصد تغییر سیگنال در زبان اول (۳/۵۰) در مقایسه با زبان دوم (۲/۷۸) بیشتر بود ($p < ۰/۰۰٦$، $t_{(۲۹)} = ٦/۱۲$)، اما در جملات دستوری هیچ تفاوتی بین درصد تغییر سیگنال زبان اول (۳/۰۸) و دوم (۲/۸۵) مشاهده نشد ($p = ۰/۱۰۸$، $t_{(۲۹)} = ۱/٦٦$). در ادامه، آزمون تعقیبی تی‌زوجی ثانوی نشان داد که هیچ اختلافی بین زنان و مردان در ارتباط با معناداری عامل دستوری‌بودگی برای زبان اول مشاهده نشد (شکل ۲ ب).



شکل ۲: (الف) موقعیت نواحی پارس‌آپرکولاریس و شکنج گیجگاهی‌فوقانی‌خلفی در نیمکرهٔ چپ. (ب) نمودارهای جعبه‌ای درصد تغییر سیگنال که نشان‌دهندهٔ اختلاف غیردستوری‌بودگی منهای دستوری‌بودگی برای هر جنسیت (زن و مرد) در نیمکرهٔ چپ به ازای هر زبان (پارس‌آپرکولاریس برای زبان اول و شکنج گیجگاهی‌فوقانی‌خلفی برای زبان دوم). غ.م. = غیرمعنادار.

Figure 2: (**A**) Location of pars opercularis and posterior superior temporal gyrus in the left hemisphere. (**B**) Box plots of percent signal change (%SC) representing the ungrammaticality minus grammaticality effects per gender (women and men) in the left hemisphere per language (PO for L1 and pSTG for L2). n.s. = non-significant.

جدول ۴: نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته در نواحی نحو-ویژه

Table 4: ANOVAs results in Syntax-Specific ROIs

نواحی مغزی	منبع تغییرات	آمارهٔ F	درجهٔ آزادی	معناداری	مجذور اتا
پ.آ.	دستوری‌بودگی	٤/۱۸۸	۱	۰/۰۵۰	۰/۱۳۰
	دستوری‌بودگی × جنسیت	۰/۱۱۹	۱	۰/۷۳۳	۰/۰۰٤
	زبان	۲۱/۳۳۲	۱	۰/۰۰۱**	۰/٤۳۲
	زبان × جنسیت	۰/۵۰۲	۱	۰/٤۸٤	۰/۰۱۸
	دستوری‌بودگی × زبان	۱۰/۲۷۹	۱	۰/۰۰۳**	۰/۲٦۹
	دستوری‌بودگی × زبان × جنسیت	۰/۳۷۹	۱	۰/۵٤۳	۰/۰۱۳
ش.گ.ف.خ.	دستوری‌بودگی	۱۲/۷۱۲	۱	۰/۰۰۱**	۰/۳۱۲
	دستوری‌بودگی × جنسیت	۰/۰۱۱	۱	۰/۹۱۷	۰/۰۰۰
	زبان	۸/۲۱۳	۱	۰/۰۰۸**	۰/۲۲۷
	زبان × جنسیت	۰/۰۰۰	۱	۰/۹۸٦	۰/۰۰۰
	دستوری‌بودگی × زبان	۱/۱۵۰	۱	۰/۲۹۳	۰/۰۳۹
	دستوری‌بودگی × زبان × جنسیت	۰/۳۲۸	۱	۰/۵۷۱	۰/۰۱۲

** $p < ۰/۰۲۵$ (آزمون واریانس آمیخته با اصلاح بونفرونی). پ.آ = پارس‌آپرکولاریس؛ ش.گ.ف.خ. = شکنج گیجگاهی‌فوقانی‌خلفی.

جدول ۵: نتایج آزمون تی‌زوجی در ارتباط با عامل دستوری‌بودگی برای نواحی نحو-ویژه نیمکرهٔ چپ در هر زبان.

Table 5: Paired samples *t*-tests for Grammaticality effect in left-lateralized Syntax-Specific ROIs per language

ناحیهٔ مغزی	زبان	میانگین شدت تغییر سیگنال (٪) (انحراف معیار)	آمارهٔ t
پ.آ.	زبان اول	۰/٤۲۳ (۰/۷۷)	۲/۹۹۸**
	زبان دوم	-۰/۰۷۱ (۰/٤۳)	-۰/۹۰٦
ش.گ..ف.خ.	زبان اول	-۰/۲۱۸ (۰/۸۲)	-۱/٤۵۸
	زبان دوم	-۰/٤۱۷ (۰/۷۳)	-۳/۱۰۲**

** $p < ۰/۰۰٦$ (آزمون تی‌زوجی دو-دنباله با اصلاح بونفرونی)

برای ناحیهٔ شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی چپ، نتایج حاصل از تحلیل واریانس آمیـــخته ۲ × ۲ × ۲

نشان داد که عامل اصلی زبان به سطح معناداری رسید (جدول ٤). مشخصاً، درصد تغییر سیگنال زبان اول (٤/٩٦) به نسبت زبان دوم (٤/٦٣) بیشتر بود. نیز، عامل اصلی دستوری‌بودگی به سطح معناداری رسید (جدول ٤) که درصد تغییر سیگنال جملات دستوری (٤/٩٥) در مقایسه با جملات غیردستوری (٤/٦٤) بیستر بود. اما، اثر تعاملی زبان و دستوری‌بودگی به سطح معناداری نرسید (جدول ٤). آزمون تعقیبی تی‌زوجی نیز هیچ اختلافی را بین زنان و مردان در ارتباط با معناداری عامل دستوری‌بودگی برای زبان دوم در ناحیهٔ شکنج گیجگاهی‌فوقانی‌خلفی چپ نشان نداد (شکل ۲ ب).

۴-۴. نتایج نواحی کنترل-ویژه

در ناحیهٔ پلنیوم گیجگاهی، نتایج تحلیل واریانس آمیخته ۲ × ۲ × ۲ × ۲ نشان داد که عامل اصلی دستوری‌بودگی به سطح معناداری رسید (جدول ٦). مشخصاً، درصد تغییر سیگنال جملات دستوری (۳/۸۷) در مقایسه با جملات غیردستوری (۳/٤۱) بیشتر بود. عامل اصلی نیمکره هم با درصد تغییر سیگنال بیشتر برای نیمکرهٔ چپ (٤/۱۰) نسبت به نیمکرهٔ راست (۳/۱۸) به سطح معناداری رسید (جدول ٦). اما، همانگونه که جدول ٦ نشان می‌دهد در ناحیهٔ پلنیوم گیجگاهی هیچ‌گونه اختلافی بین فعالیت مغزی زنان و مردان مشاهده نشد (شکل ۳).

جدول ۶: نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته در ناحیهٔ پلنیوم گیجگاهی

Table 6: ANOVAs results in Planum Temporale

منبع تغییرات	آمارهٔ F	درجهٔ آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری‌بودگی	٥۲/۸۳	۱	۰/۰۰۱***	۰/٦٥٤
دستوری‌بودگی × جنسیت	۰/۹۱۸	۱	۰/٥٤٤	۰/۰۰٦
زبان	۰/٤۲۳	۱	۰/٥۲۱	۰/۰۱٥
زبان × جنسیت	۰/۲٥۷	۱	۰/٦۱٦	۰/۰۰۹
نیمکره	۱۷/۹۳۳	۱	۰/۰۰۱***	۰/۳۹۰
نیمکره × جنسیت	۲/۷٤۰	۱	۰/۱۰۹	۰/۰۸۹
دستوری‌بودگی × نیمکره	۰/۰٤۰	۱	۰/۸٤۳	۰/۰۰۱
دستوری‌بودگی × نیمکره × جنسیت	۰/۰۹۰	۱	۰/۷٦٦	۰/۰۰۳
زبان × نیمکره	۷/۸۸۸	۱	۰/۰۰۹	۰/۲۲۰
زبان × نیمکره × جنسیت	۰/۰۱٦	۱	۰/۹۰۱	۰/۰۰۱

منبع تغییرات	آمارهٔ F	درجهٔ آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره	۳/۹۵۸	۱	۰/۰۵٦	۰/۱۲٤
دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره × جنسیت	۰/۰۱۳	۱	۰/۹۰۹	۰/۰۰۱

*** $p < ۰/۰۰۳۸$ (آزمون واریانس آمیخته با اصلاح بونفرونی)

در ناحیهٔ شکنج پیشانی‌فوقانی، نتایج تحلیل واریانس آمیخته ۲ × ۲ × ۲ × ۲ نشان داد که تعامل دو عامل دستوری‌بودگی × نیمکره معنادار بود (جدول ۷). با در نظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی ، مشاهده شد که در نیمکرهٔ راست درصد تغییر سیگنال جملات غیردستوری (۳/۳۸) در مقایسه با جملات دستوری (۲/٦۷) بیشتر بود ($t_{(۲۹)} = ۵/۱۹$ ،$p = ۰/۰۰۱$)، اما در نیمکرهٔ چپ اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات غیردستوری (۳/۲۹) و دستوری (۳/۳۷) مشاهده نشد ($t_{(۲۹)} = -۰/٤۷٦$ ،$p = ۰/٦۳۷$) (جدول ۷). با درنظر گرفتن عامل نیمکره، مشاهده شد که در جملات دستوری درصد تغییر سیگنال در نیمکرهٔ چپ (۳/۳۷) در مقایسه با نیمکرهٔ راست (۲/٦۷) بیشتر بود ($t_{(۲۹)} = ۲/۸۸$ ،$p = ۰/۰۰۷$)، اما در جملات غیردستوری هیچ تفاوتی بین درصد تغییر سیگنال نیمکرهٔ چپ (۳/۲۷) و راست (۳/۳۸) مشاهده نشد ($t_{(۲۹)} = -۰/۳۷۳$ ،$p = ۰/۷۱۲$). نکتهٔ قابل توجه این است که، همانگونه که جدول ۷ نشان می‌دهد در ناحیهٔ شکنج پیشانی‌فوقانی هیچ‌گونه اختلافی بین کارکرد مغزی زنان و مردان مشاهده نشد (شکل ۳).

جدول ۷: نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته در ناحیهٔ شکنج پیشانی‌فوقانی

Table 7: ANOVAs results in Superior frontal gyrus

منبع تغییرات	آمارهٔ F	درجهٔ آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری‌بودگی	٦/۳٤٦	۱	۰/۰۱۸	۰/۱۸۵
دستوری‌بودگی × جنسیت	۰/۰۰٦	۱	۰/۹۳۷	۰/۰۰۱
زبان	۰/۹۵۰	۱	۰/۳۳۸	۰/۰۳۳
زبان × جنسیت	۰/٦۵۲	۱	۰/٤۲٦	۰/۰۲۳
نیمکره	۱/۷۸۵	۱	۰/۱۹۲	۰/۰٦۰
نیمکره × جنسیت	۰/۱۳۲	۱	۰/۷۱۹	۰/۰۰۵
دستوری‌بودگی × نیمکره	۱۷/۱۳۰	۱	۰/۰۰۱***	۰/۳۸۰
دستوری‌بودگی × نیمکره × جنسیت	۱/۰٤۲	۱	۰/۳۱٦	۰/۰۳٦
زبان × نیمکره	۱/٤٤۵	۱	۰/۲۳۹	۰/۰٤۹
زبان × نیمکره × جنسیت	۰/٤۹۱	۱	۰/٤۸۹	۰/۰۱۷

دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره	۱/۹۵۱	۱	۰/۱۷۳	۰/۰۶۵
دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره × جنسیت	۰/۵۳	۱	۰/۸۱۹	۰/۰۰۲

*** $p < ۰/۰۰۳۸$ (آزمون واریانس آمیخته با اصلاح بونفرونی)

در ناحیهٔ حرکتی تکمیلی، نتایج تحلیل واریانس آمیخته ۲ × ۲ × ۲ × ۲ نشان داد که عامل اصلی زبان به سطح معناداری رسید (جدول ۸). مشخصاً، درصد تغییر سیگنال جملات زبان اول (۲/۲۳) در مقایسه با زبان دوم (۲/۰۱) بیشتر بود. افزون بر این، تعامل دو عامل دستوری‌بودگی × نیمکره نیز به سطح معناداری رسید (جدول ۸). با درنظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی، مشاهده شد که در نیمکرهٔ راست درصد تغییر سیگنال جملات غیردستوری (۲/۴۳) در مقایسه با جملات دستوری (۱/۹۶) بیشتر بود ($t_{(۲۹)} = ۴/۳۰$ ،$p < ۰/۰۰۱$)، اما در نیمکرهٔ چپ اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات غیردستوری (۲/۱۰) و دستوری (۱/۹۹) مشاهده نشد ($t_{(۲۹)} = ۰/۹۶۴$ ،$p = ۰/۳۴۳$) (جدول ۸). با درنظر گرفتن عامل نیمکره، مشاهده شد که نه‌تنها در جملات دستوری هیچ تفاوتی بین درصد تغییر سیگنال نیمکرهٔ چپ (۱/۹۹) و راست (۱/۹۶) وجود ندارد ($t_{(۲۹)} = ۰/۱۹۲$ ،$p = ۰/۸۴۹$)، بلکه در جملات غیردستوری هم هیچ تفاوتی بین درصد تغییر سیگنال نیمکرهٔ چپ (۲/۱۰) و راست (۲/۴۳) مشاهده نشد ($t_{(۲۹)} = -۲/۴۱$ ،$p = ۰/۰۲۲$). جالب این است که، همانگونه که جدول ۸ نشان می‌دهد، در ناحیهٔ حرکتی تکمیلی نیز هیچ‌گونه اختلافی بین کارکرد مغزی زنان و مردان مشاهده نشد (شکل ۳).

جدول ۸: نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته در ناحیهٔ حرکتی تکمیلی

Table 8: ANOVAs results in Supplementary motor area

منبع تغییرات	آمارهٔ F	درجهٔ آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری‌بودگی	۸/۲۲۹	۱	۰/۰۰۸	۰/۲۲۷
دستوری‌بودگی × جنسیت	۰/۰۶۶	۱	۰/۷۹۹	۰/۰۰۲
زبان	۱۶/۷۱۲	۱	۰/۰۰۱***	۰/۳۷۴
زبان × جنسیت	۲/۷۴۱	۱	۰/۰۰۳	۰/۰۹۵
نیمکره	۱/۳۳۳	۱	۰/۲۵۸	۰/۰۴۵
نیمکره × جنسیت	۰/۴۵۷	۱	۰/۵۰۵	۰/۰۱۶
دستوری‌بودگی × نیمکره	۱۰/۶۱۷	۱	۰/۰۰۲۹***	۰/۲۷۵
دستوری‌بودگی × نیمکره × جنسیت	۱/۲۷۵	۱	۰/۲۶۸	۰/۰۴۴

زبان × نیمکره	۹/۲٦۸	۱	۰/۰۰۵	۰/۲٤۹
زبان × نیمکره × جنسیت	۰/۸٥٤	۱	۰/۳٦۳	۰/۰۳۰
دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره	۱/٤۲٦	۱	۰/۲٤۲	۰/۰٤۸
دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره × جنسیت	۰/۳۳۹	۱	۰/٥٦٥	۰/۰۱۲

$p < ۰/۰۰۳۸$ *** (آزمون واریانس آمیخته با اصلاح بونفرونی)

در ناحیهٔ لوبول آهیانه‌ای فوقانی ، نتایج تحلیل واریانس آمیخته ۲ × ۲ × ۲ × ۲ نشان داد که تعامل دو عامل دستوری‌بودگی × نیمکره معنادار بود (جدول ۹). با در نظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی ، مشاهده شد که در نیمکرهٔ راست درصد تغییر سیگنال جملات غیردستوری (۲/۷٥) در مقایسه با جملات دستوری (۱/۷۰) بیشتر بود ($t_{(۲۹)} = ٤/٦۹$ ،$p < ۰/۰۰۱$)، اما در نیمکرهٔ چپ اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات غیردستوری (۲/۳۷) و دستوری (۲/٤۹) مشاهده نشد ($t_{(۲۹)} = -۰/۸٤۱$ ،$p = ۰/٤۰۷$) (جدول ۷). با درنظر گرفتن عامل نیمکره، مشاهده شد که در جملات دستوری درصد تغییر سیگنال در نیمکرهٔ چپ (۲/٤۹) در مقایسه با نیمکرهٔ راست (۱/۷۰) بیشتر بود ($t_{(۲۹)} = ۳/٤۳$ ،$p = ۰/۰۰۲$)، اما در جملات غیردستوری هیچ تفاوتی بین درصد تغییر سیگنال نیمکرهٔ چپ (۲/۳۷) و راست (۲/۷٥) مشاهده نشد ($t_{(۲۹)} = ۱/۳۸۲$ ،$p = ۰/۱۷۸$). نکتهٔ قابل توجه این است که، همانگونه که جدول ۹ نشان می‌دهد در ناحیهٔ لوبول آهیانه‌ای فوقانی هیچ‌گونه اختلافی بین کارکرد مغزی زنان و مردان مشاهده نشد (شکل ۳).

جدول ۹: نتایج آزمون تحلیل واریانس آمیخته در ناحیهٔ لوبول آهیانه‌ای فوقانی

Table 9: ANOVAs results in Superior parietal lobule

منبع تغییرات	آمارهٔ F	درجهٔ آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری‌بودگی	۷/۷۷۰	۱	۰/۰۰۹	۰/۲۱۷
دستوری‌بودگی × جنسیت	۰/۲٤۳	۱	۰/٦۲۸	۰/۰۰۹
زبان	۰/۰۹٦	۱	۰/۷٥۹	۰/۰۰۳
زبان × جنسیت	۰/۷۷۰	۱	۰/۳۸۸	۰/۰۲۷
نیمکره	۰/۷٤٤	۱	۰/۳۹٦	۰/۰۲٦
نیمکره × جنسیت	۰/۰۲٥	۱	۰/۸۷٥	۰/۰۰۱
دستوری‌بودگی × نیمکره	۳۸/۲٥۸	۱	۰/۰۰۱***	۰/٥۷۸
دستوری‌بودگی × نیمکره × جنسیت	۰/۰۳۲	۱	۰/۸٥۸	۰/۰۰۱
زبان × نیمکره	۰/۱۲٥	۱	۰/۷۲۷	۰/۰۰٤
زبان × نیمکره × جنسیت	۰/۰٥۱	۱	۰/۸۲۳	۰/۰۰۲

دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره	۰/٤۳٤	۱	۰/٥۱٥	۰/۰۱٥
دستوری‌بودگی × زبان × نیمکره × جنسیت	۰/۳۳٥	۱	۰/٥٦۸	۰/۰۱۲

*** $p < ۰/۰۰۳۸$ (آزمون واریانس آمیخته با اصلاح بونفرونی)

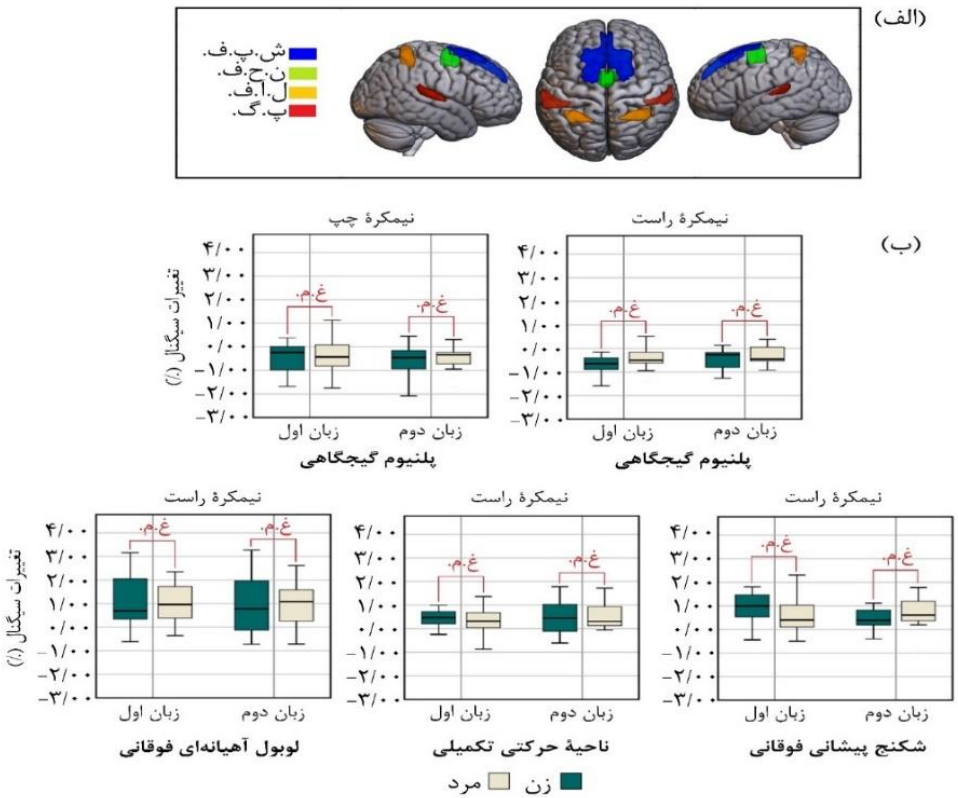
به‌طور کلی، آزمون‌های تعقیبی برای هر نیمکره نشان داد که معناداری دستوری‌بودگی در ۳ ناحیهٔ شکنج پیشانی فوقانی، لوبول آهیانه‌ای فوقانی و ناحیهٔ حرکتی تکمیلی برای هر دو زبان اول و دوم محدود به نیمکرهٔ راست بوده و در نیمکرهٔ چپ اثر معناداری مشاهده نشد (جدول ۱۰). از سوی دیگر، در ناحیهٔ پلنیوم گیجگاهی عامل دستوری‌بودگی در هر دو نیمکرهٔ راست و چپ معنادار بود (جدول ۱۰). اما، در هیچ موقعیتی اختلاف معناداری بین کارکرد مغزی زنان و مردان در میزان فعالیت نیمکره‌های چپ و راست مغز مشاهده نشد (شکل ۳). موقعیت ٤ ناحیهٔ معنادار (نسبت به خط مبدأ) برای عامل دستوری‌بودگی به همراه نمودارهای جعبه‌ای شدت سیگنال زنان و مردان در شکل ۳ برای نواحی فعال در هر دو نمیکره نشان داده شده است.

جدول ۱۰: نتایج آزمون‌های تی‌زوجی برای عامل دستوری‌بودگی در نواحی کنترل-ویژه به تفکیک هر زبان و نیمکره.

Table 10: Paired samples *t*-tests for Grammaticality effect in Control-Specific ROIs per language and hemisphere

ناحیهٔ مغزی	زبان	نیمکرهٔ راست		نیمکرهٔ چپ	
		میانگین شدت تغییر سیگنال (٪) (انحراف معیار)	آمارهٔ t	میانگین شدت تغییر سیگنال (٪) (انحراف معیار)	آمارهٔ t
پ.گ.	زبان اول	-۰/۰۵۲۱ (۰/۰۵۲)	-٥/٤٦۳***	-۰/٤٤ (۰/٦۹)	-۳/٤۹٥***
	زبان دوم	-۰/۳۸۲ (۰/٤۱)	-٥/۱۳٤***	-۰/٥۰۳ (۰/٥٦)	-٤/۹۱۰***
ن.ح.ت.	زبان اول	۰/٤۳۲ (۰/٦۱)	۳/۸٤۲***	۰/۱٥۱ (۰/٦۷)	۱/۲۳٤
	زبان دوم	۰/٤۹۹ (۰/۷۹)	۳/٤۸۰***	۰/۰۷٦ (۰/۸۰)	۰/٥۲۹
ل.آ.ف.	زبان اول	۱/۰۷۰ (۱/۰٤)	٥/٦۲۳***	-۰/۱٥۷ (۰/۸٦)	-۰/۹۹۹
	زبان دوم	۱/۰۱۸ (۱/٥٦)	۳/٥۷٥***	-۰/۰۸٦ (۰/۹٥)	-۰/٤۹٦
ش.پ.ف.	زبان اول	۰/۷۳۳ (۱/۱٤)	۳/٥۱۰***	-۰/۱۹۱ (۱/۱۷)	-۰/۸۹۳
	زبان دوم	۰/٦۸۱ (۰/۸٥)	٤/۳۷۳***	-۰/۰۲۷ (۰/۹۷)	۰/۱٥٦

*** $p < ۰/۰۰۱۹$ (آزمون تی‌زوجی با اصلاح بونفرونی). پ.گ. = پلنیوم گیجگاهی؛ ن.ح.ت. = ناحیهٔ حرکتی تکمیلی؛ ل.آ.ف. = لوبول آهیانه‌ای فوقانی؛ ش.پ.ف. = شکنج پیشانی فوقانی.



شکل ۳: (الف) موقعیت نواحی مغزی شکنج پیشانی فوقانی، ناحیهٔ حرکتی تکمیلی، لوبول آهیانه‌ای فوقانی و پلنیوم گیجگاهی (ب) نمودارهای جعبه‌ای تغییر شدت سیگنال برای دو نیمکرهٔ چپ و راست و محرک‌های دستوری و نادستوری هر دو گروه زنان و مردان. غ.م. = غیرمعنادار.

Figure 3: (A) Locations of Superior Frontal Gyrus (SFG), Supplementary Motor Area (SMA), Superior Parietal Lobule (SPL), and Planum Temporale (PT). (**B**) Box plots of percent signal change (%SC) in left and right hemispheres and Grammatical/Ungrammatical stimuli for women and men (women vs. men). n.s. = not significant.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، مکانیزم‌های عصبی زیرساختی پردازش نحوی زبان اول و دوم در دوزبانه‌های

متوازن ترکی (زبان اول)-فارسی (زبان دوم با سن یادگیری ۷ سالگی در بدو ورود به مدرسه) در دو گروه زنان و مردان مقایسه شد. محرک‌های دستوری و نادستوری به صورت تصادفی و محرک‌های زبان اول و دوم به صورت متوالی توزیع شدند که مستلزم مشارکت و عدم مشارکت متناوب بین زبان‌هاست (Green & Abutalebi, 2013). نهایتاً، عملکرد زنان و مردان دوزبانه در دو شبکهٔ نحو-ویژه و کنترل-ویژه بررسی شد. بر مبنای نتایج رفتاری، هیچ اختلاف معناداری بین زمان واکنش زنان و مردان به جملات زبان اول و دوم مشاهده نشد.

مقایسهٔ عملکرد زنان و مردان نشان داد که همهٔ نواحی برای هر دو زبان اول و دوم در هر دو گروه زنان و مردان (نمودارهای جعبه‌ای را در شکل ۲ و ۳ ببینید) فعال شدند که مؤید شبکه‌های نوروآناتومیکال همگرا است و به مزایای روساخت‌های زبانی مشترک اشاره می‌کند. این یافته در راستای الگوی رقابت واحد مکویتنی[۸۸] (۲۰۰۵) است که مکانیزم‌های یادگیری زبان اول را به‌عنوان زیرمجموعهٔ مکانیزم‌های یادگیری زبان دوم قلمداد می‌کند. به‌نظر می‌رسد که فعالیت گسترده‌تر مغزی در زبان اول به نسبت زبان دوم که در همهٔ نواحی مشاهده شد نتیجهٔ تغییر متوالی و پیوستهٔ زبان‌ها در پژوهش حاضر است. همان‌گونه که فرضیهٔ آستانهٔ فعالیت (Paradis, 1993, 2001) استدلال می‌کند دوزبانه‌ها در حین زبان‌گردانی یک زبان را به‌عنوان زبان پایه یا زبان قالب[۸۹] و زبان دیگر را به‌عنوان زبان مهمان[۹۰] انتخاب می‌کنند. در نتیجه، هر دو زبان اول و دوم فعال هستند، اما زبان پایه، فعالیت قوی‌تری دارد (Green, 1998; Román & Gómez-Gómez, 2022). با فعالیت بیشتر محرک‌های نادستوری به نسبت دستوری، حساسیت تکلیف شناختی حاضر به پردازش نحوی در نواحی نحو-ویژه محرز شد که مؤید توازن فعالیت در نواحی شکنج‌گیجگاهی‌فوقانی‌خلفی و ناحیهٔ بروکا در نیمکرهٔ چپ از طریق مسیر پشتی (Friederici et al., 2017) است و بر نقش بنیادین پارس‌آپرکولاریس و شکنج گیجگاهی‌فوقانی‌خلفی در ارائهٔ قوای ذهنی محاسباتی زبان بشر صحه می‌گذارد. نیز، یک الگوی عدم تقارن در اثر دستوری‌بودگی (جدول ٤) در زبان اول و دوم یافت شد. ناحیهٔ پارس‌آپرکولاریس چپ، فعالیت قوی‌تری را برای محرک‌های نادستوری در زبان اول نشان داد؛ در مقابل شکنج گیجگاهی فوقانی خلفی در نیمکرهٔ چپ فعالیت قوی‌تری را برای محرک‌های نادستوری در زبان دوم نشان داد که در راستای یافته‌های پژوهش چو و همکارانش[۹۱] (2017) است. نکتهٔ جالب این است که مقایسهٔ عملکرد مغزی زنان و مردان در نواحی نحو-ویژه نشان داد که دوزبانه‌های ترکی-فارسی در پردازش نحوی زبان اول و دوم بر یکدیگر برتری ندارند (جدول ٤ و شکل ۲ را ببینید) که مؤید فرضیهٔ

شباهت‌های جنسیتی (Hyde, 2005) است.

در ارتباط با نواحی کنترل–ویژه خاطرنشان می‌شود که شبکه‌ای از نواحی قشری با محوریت نیمکرهٔ راست شامل لوبول‌آهیانه‌ای‌فوقانی، ناحیهٔ حرکتی‌تکمیلی و شکنج پیشانی فوقانی علاوه بر پلنیوم گیجگاهی در هر دو نیمکرهٔ چپ و راست اثرات دستوری‌بودگی را نشان داد که قویاً پیشنهاد می‌کند که این نواحی مغزی به‌طور فزاینده‌ای در فرایند زبان‌گردانی[۹۲] دخیل هستند که در راستای الگوی عصبی کنترل دوزبانگی (Luk et al., 2011; Green & Abutalebi, 2013) و یافته‌های مطالعات تصویربرداری است و حاکی از دخالت این نواحی مغزی در کنترل زبان در افراد دوزبانه است (Rodriguez-Fornells et al., 2002; Wang et al., 2007, 2009; Abutalebi et al., 2008; Hernandez, 2009; Hervais-Adelman et al., 2011). اگرچه که در پردازش‌هایی زبانی و شنیداری سابقاً یک گرایش چپ‌سوی در پلنیوم گیجگاهی گزارش شده بود، هِرنستاین و همکارانش[۹۳] (2013) پیشنهاد کردند که پلنیوم گیجگاهی راست نه تنها برای انتخاب محرک در شنود دوگوشی مهم است بلکه فراتر از این نقش، در توجه شنیداری هم دخیل است. طبق نتایج فعلی پیشنهاد می‌شود که شبکهٔ آهیانه‌ای‌پیشانی (توصیف شده در بالا) اساساً مسئول پردازش‌های عمومی کنترل است که به موجب پردازش شنیداری و تغییر زبان ایجاد می‌شود. نتایج بین گروهی در نواحی کنترل–ویژه نیز نشان داد که هیچ تفاوت معناداری بین عملکرد مغز زنان و مردان دوزبانه ترکی–فارسی در کنترل زبان اول و دوم وجود ندارد (جداول ٦–۱۰ و شکل ۳ را ببینید). نکتهٔ پایانی و در خور توجه این است که در به‌کارگیری نیمکره‌های مغزی چپ (برای پردازش نحوی) و راست (برای کنترل دو زبان) هیچ یک از زنان و مردان دوزبانهٔ ترکی–فارسی بر دیگری مقدم نبودند که در راستای مطالعات زومر و همکاران[۹٤] (2004) و زومر و همکاران (2008) در دیگر حوزه‌های زبانی (ازجمله حوزهٔ معنا) است. بنابراین، نتایج پژوهش حاضر (در هر دو بُعد رفتاری و آزمایشگاهی) مؤید این مطلب است که در افراد دوزبانه‌ای که در سن ۷ سالگی زبان دوم را آموخته‌اند، اما از بسندگی بالایی در هر دو زبان اول و دوم برخوردارند، نقش جنسیت معنادار نیست. به‌طور کلی، با توجه به اینکه مطالعهٔ حاضر اولین پژوهش نظام‌مند در ارتباط با نقش جنسیت در پردازش نحوی در افراد دوزبانه با روش‌های نوین آزمایشگاهی است، نگارندگان حاضر بررسی‌های بیشتر در آینده را توصیه می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش برگرفته از رسالهٔ دکتری نویسندهٔ اول این مقاله بوده که با حمایت مالی ستاد توسعهٔ علوم و فناوری‌های شناختی به شمارهٔ ۷٤۰۱ انجام شده است. ضمناً، این پروژه از حمایت مالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ایران جهت تکمیل اهداف پروژه در دانشگاه هومبولت (Humboldt-Universität zu Berlin) آلمان تحت راهنمایی نویسندهٔ دوم این مقاله برخوردار بوده است؛ بدین وسیله از همکاری آن سازمان متبوع قدردانی می‌شود.

۶. پی‌نوشت‌ها

1. Syntax
2. Neural networks
3. Gender
4. Syntactic processing
5. Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)
6. Contrast agents
7. Radioactive isotopes
8. Nuclear magnetic resonance
9. Oxygenation
10. Deoxyhemoglobin
11. Syntax-specific ROIs
12. EFs-specific ROIs
13. Zell et al.
14. Meta-analysis
15. Gender Similarities Hypothesis
16. Effect size
17. Inferior frontal gyrus (IFG)
18. Posterior superior temporal gyrus (pSTG)
19. Fusiform gyrus
20. Neuroanatomical pathway model
21. Friederici et al.
22. Superior temporal gyrus (STG)
23. Pars opercularis
24. Cognitive control
25. Executive functions (EFs)
26. Working memory
27. Inhibition
28. Cognitive flexibility
29. Non-target language
30. Target language
31. Román and Gómez-Gómez
32. Correlates
33. Subject-object-verb (SOV)
34. Verbal agreement
35. Shared syntax account
36. Native
37. Non-native
38. Language Distance Hypothesis (LDH)
39. Plasticity
40. Age of acquisition (AoA)
41. Bilingual Dominance Scale (BDS)
42. Auditory grammaticality judgment task
43. Ketrez
44. PsychoPy
45. Event-related design
46. alternating language switching paradigm
47. run
48. Hemodynamic baseline
49. Task
50. Sequence-based language switching paradigm
51. Reaction Time
52. 3.0 Tesla Siemens Prisma MRI

Scanner
53. 20 channel head coil
54. Voxel size
55. Matrix size
56. Echo time
57. Repetition time
58. Slice thickness
59. Field of view
60. Flip Angle
61. www.fmrib.ox.ac.uk/fsl
62. Registration
63. Head Motion Correction
64. Slice Timing Correction
65. Spatial Smoothing
66. Normalization
67. Temporal Filtering
68. Generalized Linear Model
69. Mixed effects
70. Percent Signal Change (PSC)
71. Intensity
72. Harvard-Oxford Atlas
73. Bonferroni test
74. Superior frontal gyrus (SFG)
75. Putamen
76. Anterior cingulate gyrus (ACG)
77. Superior parietal lobule (SPL)
78. Supplementary motor area (SMA)
79. Temporal pole (TP)
80. Precentral gyrus
81. Postcentral gyrus
82. Paracingulate gyrus
83. Planum temporale (PT)
84. Cerebellum
85. ROI-based
86. Sagittal
87. Axial
88. MacWhinney
89. Matrix language
90. Guest language
91. Xu et al.
92. Language-switching
93. Hirnstein et al.
94. Sommer et al.

۷. منابع

- انوری، ح.، و گیوی، ح. ا. (۱۳۸٦). *دستور زبان فارسی ۲*. تهران: انتشارات فاطمی.
- خدادادی، م.، اسدزاده، ح.، کلانتر قریشی، م.، و امانی، ح. (۱۳۹۳). *نرم‌افزار حافظهٔ کاری دانیمن و کارپنتر*. تهران: مؤسسهٔ تحقیقات علوم رفتاری- شناختی سینا.
- میکده، س. (۱٤۰۰). بررسی اثرات بسندگی زبان و سن یادگیری زبان دوم بر دستگاه عصبی برای پردازش صرفی-نحوی با استفاده از ERPs و fMRI. رسالهٔ دکتری. دانشگاه تربیت‌مدرس.

References

- Abutalebi, J., Annoni, J. M., Zimine, I., Pegna, A. J., Seghier, M. L., LeeJahnke, H., et al., (2008). Language control and lexical competition in bilinguals: an eventrelated fMRI study. *Cereb. Cortex* 18, 1496–1505.

- Antón, E., Carreiras, M., & Duñabeitia, J. A. (2019). The impact of bilingualism on executive functions and working memory in young adults. *PLoS One* 14: e0206770
- Anvari, H., & Givi, H. A. (2006). *Persian Grammar 2.* Tehran: Fatemi Press. [In Persian]
- Baxter, L. C., Saykin, A. J., Flashman, L. A., Johnson, S. C., Guerin, S. J., Babcock, D., & Wishart, H. A. (2003). Sex differences in semantic language processing: A functional MRI study. *Brain and Language*, 84(2), 264–272.
- Berken, J.A., Chai, X., Chen, J.K., Gracco, V.L., & Klein, D., (2016). Effects of early and late bilingualism on resting-state functional connectivity. *J. Neurosci.* 36, 1165–1172.
- Burman, D. D., Minas, T., Bolger, D. J., & Booth, J. R. (2013). Age, sex, and verbal abilities affect location of linguistic connectivity in ventral visual pathway. *Brain and Language,* 124(2), 184-193.
- Buxton, R. B. (2013). The physics of functional magnetic resonance imaging (fMRI). *Reports on progress in physics. Physical Society (Great Britain)*, 76(9), 096601.
- Chiu, M. M., & McBride-Chang, C. (2006). Gender, context, and reading: A comparison of students in 43 countries. *Scientific Studies of Reading*, 10(4), 331–362.
- Comrie, B. (2009). *The world's major languages*. Second Edition. Routledge. London.
- Friston, K. (2012). Ten ironic rules for non-statistical reviewers. *NeuroImage*. 61(4), 1300-1310.
- Green, D. W. (1998). Mental control of the bilingual lexico-semantic system. *Bilingualism Lang. Cogn.* 1, 67–81.
- Green, D. W., & Abutalebi, J. (2013). Language control in bilinguals: the adaptive control hypothesis. *J. Cogn. Psychol. (Hove)* 25, 515–530.
- Gullifer, J.W., Chai, X.J., Whitford, V., Pivneva, I., Baum, S., Klein, D., & Titone, D. (2018). Bilingual experience and resting-state brain connectivity: impacts of L2 age of acquisition and social diversity of language use on control networks. *Neuropsychologia* 117, 123-134.

- Hartsuiker, R. J., Pickering, M. J., & Veltkamp, E. (2004). Is syntax separate or shared between languages? *Psychological Science*, 15(6), 409–414.
- Hernandez, A. E. (2009). Language switching in the bilingual brain: what is next? *Brain Lang.* 109, 133–140.
- Hervais-Adelman, A. G., Moser-Mercer, B., & Golestani, N. (2011). Executive control of language in the bilingual brain: integrating the evidence from neuroimaging to neuropsychology. *Front. Psychol.* 2,234.
- Hirnstein, 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: e57316.
- Hirnstein, M., Westerhausen, R., Korsnes, M. S., & Hugdahl, K. (2013). Sex differences in language asymmetry are age-dependent and small: A large-scale, consonant–vowel dichotic listening study with behavioral and fMRI data. *Cortex*, 49(7), 1910–1921.
- Hyde, J. S. (2005). The gender similarities hypothesis. *American Psychologist*, 60(6), 581–592.
- Jenkinson, M., Bannister, P., Brady, M., & Smith, S. (2002). Improved optimization for the robust and accurate linear registration and motion correction of brain images. *Neuroimage* 17, 825–841.
- Jenkinson, M., & Smith, S. M. (2001). A global optimization method for robust affine registration of brain images. *Med. Image Anal.* 5, 143–156.
- Ketrez, F. N. (2012). *A Student Grammar of Turkish.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Khodadadi, M., Asadzadeh, H., Kalantar Ghoreishi, M., & Amani, H. (2014). Working Memory Test. Daneman, M., & Carpenter, P. A. Software. Tehran, Iran: Institute for Behavioral & Cognitive Sciences. [In Persian]
- Lerman, A., & Obler, L. K. (2017). ‘‘Aging in bilinguals: normal and abnormal,’’ in *Handbook of Psychology of Bilingualism: The Cognitive and Emotional World of Bilinguals. The Bilingual Mind and Brain Book Series*, eds A. Ardila, A. Cie´slicka, R.

Heredia and M. Rosselli (Cham: Springer).

- Li, L., Abutalebi, J., Zou, L., Yan, X., Liu, L., Feng, X., Wang, R., Guo, T., & Ding, G. (2015). Bilingualism alters brain functional connectivity between "control" regions and "language" regions: Evidence from bimodal bilinguals. *Neuropsychologia*, *71*, 236–247.
- Liu, X., Tu, L., Wang, J., Jiang, B., Gao, W., Pan, X., Li, M., Zhong, M., Zhu, Z., Niu, M., Li, Y., Zhao, L., Chen, X., Liu, C., Lu, Z., & Huang, R. (2017). Onset age of L2 acquisition influences language network in early and late Cantonese-Mandarin bilinguals. *Brain and language*, *174*, 16–28.
- Logan, S., & Johnston, R. (2010). Investigating gender differences in reading. *Educational Review*, 62(2), 175–187.
- Luk, G., Green, D. W., Abutalebi, J., & Grady, C. (2011). Cognitive control for language switching in bilinguals: a quantitative meta-analysis of functional neuroimaging studies. *Lang. Cogn. Process.* 27, 1479–1488.
- 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* [Unpublished doctoral dissertation]. Tarbiat Modares University. [In Persian]
- Meykadeh, S., 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; 15:728549.
- Paradis, M. (1993). Linguistic, psycholinguistic and neurolinguistics aspects of ‘‘interference’’ in bilingual speakers: the activation threshold hypothesis. *Int. J. Psycholinguist.* 9, 133–145.
- Paradis, M. (2001). An integrated neurolinguistic theory of bilingualism (1976–2000). Paper Presented at the LACUS Forum 27 Houston, TX.
- Poldrack, R. A. (2007). Region of interest analysis for fMRI. *Social Cognitive and Affective Neuroscience,* 2 (1), 67-70.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A., Mooney, R. D.,

Platt, M. L., & White, L. E. (2018) *Neuroscience*. 6th Edition. New York, NY: Sinauer Associates.

- Rodriguez-Fornells, A., Rotte, M., Heinze, H. J., Nösselt, T., & Münte, T. F. (2002). Brain potential and functional MRI evidence for how to handle two languages with one brain. *Nature* 415, 1026–1029.
- Román, P., & Gómez-Gómez, I. (2022). Changes in Native Sentence Processing Related to Bilingualism: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in psychology*, *13*, 757023.
- Shaywitz, B. A., Shaywltz, S. E., Pugh, K. R., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., … Katz, L. (1995). Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature*, 373(6515), 607–609.
- Sanchis-Segura, C., Ibañez-Gual, M., Adrián-Ventura, J., Aguirre, N., Gómez-Cruz, Á., Avila, C., & Forn, C. (2019). Sex differences in gray matter volume: how many and how large are they really? *Biology of sex Differences*, *10*(1), 1-19.
- Smith, S. M. (2002). Fast robust automated brain extraction. *Hum. Brain Mapp.* 17, 143–155.
- Sommer, I. E., Aleman, A., Bouma, A., & Kahn, R. S. (2004). Do women really have more bilateral language representation than men? A meta-analysis of functional imaging studies. *Brain*, 127(8), 1845–1852.
- Sommer, I. E., Aleman, A., Somers, M., Boks, M.P., & Kahn, RS. (2008). Sex differences in handedness, asymmetry of the planum temporale and functional language lateralization. *Brain Res.* 1206, 76–88.
- Stoet, G., & Geary, D. C. (2013). Sex differences in mathematics and reading achievement are inversely related: Within-and across-nation assessment of 10 years of PISA data. *PLoS One*, 8(3), e57988.
- Wang, Y., Kuhl, P. K., Chen, C., & Dong, Q. (2009). Sustained and transient language control in the bilingual brain. *NeuroImage* 47, 414–422.
- Wang, Y., Xue, G., Chen, C., Xue, F., & Dong, Q. (2007). Neural bases of asymmetric

language switching in second-language learners: an ER-fMRI study. *NeuroImage* 35, 862–870.

- Woolrich, M. W., Ripley, B. D., Brady, J. M., & Smith, S. M. (2001). Temporal autocorrelation in univariate linear modelling of fMRI data. *NeuroImage* 14, 1370–1386.
- Xu, M., Baldauf, D., Chang, C. Q., Desimone, R., & Tan, L. H. (2017). Distinct distributed patterns of neural activity are associated with two languages in the bilingual brain. *Sci. Adv.* 3: e1603309.
- Xu, M., Liang, X., Ou, J., Li, H., Luo, Y.-J., & Tan, L. H. (2019). Sex differences in functional brain networks for language. *Cerebral Cortex*. 30 (3), 1528-1537.
- Zawiszewski, A., & Laka, I. (2020). Bilinguals processing noun morphology: Evidence for the Language Distance Hypothesis from event-related potentials. *Journal of Neurolinguistics.* 55, 100908.
- Zell, E., Krizan, Z., & Teeter, S. R. (2015). Evaluating gender similarities and differences using metasynthesis. *American Psychologist*, 70(1), 10–20.