

# Sex Differences in Task-based Functional Connectivity in Balanced Bilinguals

## Abstract

The present applied-fundamental research study aimed to investigate sex-related changes in task-state functional connectivity (FC) within and between brain networks in balanced bilinguals. The current statistical population comprised Turkish-Persian bilingual PhD students of top public universities in Tehran, in 2020. Thirty bilinguals (15 males and 15 females) were selected based on the purposive sampling technique in this study. All participants were native speakers of Turkish who had learnt Persian at the age of seven when entering school. At first, the sampling was performed in the department of Linguistics of Tarbiat Modares University in 2020, based on self- evaluation of L1 and L2, L1-L2 assessment Interview and working memory test. Then, the data was collected using functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) during a auditory bilingual task. The task required grammaticality judgements to alternating L1-L2 sentences. The left Pars Opercularis (PO) and the left posterior Superior Temporal Gyrus (pSTG) were selected as target regions of the language network. The areas of bilateral Planum Temporale (PT), bilateral Supplementary Motor Area (SMA), and bilateral Precentral Gyrus (PreCG) were also selected as target regions in language control network. FC and statistical analyses were performed using CONN-fMRI functional Connectivity toolbox v20.b and the SPSS-26 software respectively. Results revealed greater connectivity within the language network from the left PO to the left pSTG ( $P = 0.001$ ) in females as compared to males. Correspondingly, females performed better on intra-network connectivities. Taken together, these findings implied that the strength of task-state inter-network and intra-network FCs reliably correlated with sex differences, supporting the idea of a female advantage in the language use.

Keywords: Balanced bilinguals, functional connectivity, sex, grammaticality task, language network.

## Extended Abstract

### Introduction & Aim

Sex differences in cognitive performance have been extensively studied, however, it still remains a controversial issue. Despite the broad similarities between the brains of men and women, some researchers discern overwhelming differences. Using structural connectome modelling and diffusion tensor imaging in a sample of 949 youths (aged 8-22 year; 428 males and 521 females), Ingalhalikar and his colleagues (2014) found remarkable sex-related differences in anatomical connectivity during the course of development. In all supratentorial regions, males had greater inter-hemispheric connectivity, along with intensive modularity and transitivity, whereas intra-hemispheric connectivity and cross-module participation were predominant in females. Furthermore, several studies have also found sex differences in rest-state functional connections for brain networks involved in cognitive processes such as self-referential processing (Biswal et al., 2010), executive functions (Hjelmervik et al., 2014), attention (Filippi et al., 2013), sensory-motor functions (Allen et al., 2011), as well as neurodevelopmental disorders such as autism (Tavares, Fernandez, Antunes, Ferreira, & Prata,

2022) and hyperactivity (Scofield, Johnson, Wood, & Geary, 2019). However, little is known about the impact of gender on language-specific functional connectivities (FCs), while performing a task. Hence, the present reanalysis aimed to identify the sex differences in task-state functional connectivity (FC) inter- and intra-brain networks in balanced Turkish (L1) - Persian (L2) bilinguals.

### **Methodology**

To allow for reliable FC analysis, thirty bilinguals (15 males and 15 females) were selected based on the purposive sampling technique from the statistical population of Turkish-Persian bilingual PhD students of top public universities in Tehran, in 2020. All participants were native speakers of Turkish who had learnt Persian at the age of seven when entering school. The data was collected using fMRI during an auditory bilingual task. The task required grammaticality judgements to alternating L1-L2 sentences and included four alternating rest and auditory sentence blocks. Each block consisted of 32 runs and was preceded and followed by 30-s resting periods during which no stimuli were presented. The default preprocessing pipeline and the gPPI approach were used to perform an ROI-to-ROI FC analyse in the CONN toolbox. In ROI analyses, the ROI-to-ROI connectivity values were extracted for each participant between the selected source ROIs and the selected target ROIs. The left PO and pSTG were used as seeds for the language network and the PT, SMA and PreCG were used as the control network. Finally, statistical analyses were conducted using SPSS-26 software.

### **Findings**

The results have shown statistically different functional connectivity in the language network from the left PO to the left pSTG ( $P = 0.001$ ) in females as compared to males. Furthermore, females tended to exhibit more intra-network connectivity than males, indicating the female advantage over their male counterparts in language processing.

### **Conclusion**

Based on the present research finding, it can be concluded that bilingual males and bilingual females have differences in the strength of the FC from the left PO to the left pSTG as well as in the intra-network connectivities, denoting the female advantage in the language use. Given that the dataset acquired in the current study was relatively small, a larger sample is necessary to further assess sex differences in bilinguals and to clarify the relationships among sexes during task-state FCs.

**Keywords:** Balanced bilinguals, functional connectivity, sex, grammaticality task, language network.

### **Ethical Considerations**

The current research was approved by the Research Ethical Committee of Iran University of Medical Sciences (IR.IUMS.REC.1398.465). All ethical guidelines, including written consent, freedom to retract consent, privacy, confidentiality, project and payment of research participants were implemented.

### **Acknowledgments**

This work was supported by the Cognitive Sciences and Technologies Council under Grant [number 7401] awarded to the author. This research was also made possible by Doctoral Dissertation Grant from the Department of Linguistics, Tarbiat Modares University and a Scholarship Fund (Ph.D. Visiting Scholar Program) from the Iranian Ministry of Science, Research and Technology.

### **Conflict of Interest**

There is no conflict of interest in this artic

# تفاوت‌های جنسیتی در اتصالات کارکردی تکلیف-محور در دوزبانه‌های متوازن<sup>۱</sup>

## چکیده

هدف پژوهش کاربردی-بنیادی حاضر بررسی تغییرات مبتنی بر جنسیت در اتصالات کارکردی تکلیف-محور درون-شبکه‌ای و بینا شبکه‌ای در دوزبانه‌های متوازن بود. جامعه آماری پژوهش شامل دانشجویان دوزبانه ترکی-فارسی مقطع دکتری دانشگاه‌های دولتی برتر شهر تهران در سال ۱۳۹۸ بود. در مطالعه حاضر، ۳۰ فرد دوزبانه (۱۵ زن و ۱۵ مرد) به روش هدفمند انتخاب شدند. همه شرکت‌کنندگان، سخنگویان بومی ترکی-زبان بودند که در سن ۷ سالگی و در بدو ورود به مدرسه زبان فارسی را به طور رسمی آموخته بودند. نخست، نمونه‌گیری بر مبنای خودارزیابی، ارزیابی‌های رفتاری مصاحبه‌گر از زبان اول و دوم افراد و نیز سنجش ظرفیت حافظه فعال، در گروه زبانشناسی دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام شد. سپس داده‌ها با روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی (fMRI) در حین اجرای یک تکلیف شنیداری دوزبانه در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز اخذ شد. تکلیف شامل قضاوت‌های دستوری بودگی به جملات متناوب زبان اول و دوم بود. نواحی پارس آپرکولاریس و شکنج خلفی فوقانی گیجگاهی در نیمکره چپ به عنوان نواحی هدف در شبکه زبان و نواحی پلنیوم گیجگاهی، ناحیه حرکتی تکمیلی و شکنج پیش مرکزی در نیمکره چپ و راست به عنوان نواحی هدف در شبکه کنترل زبان انتخاب شدند. تحلیل اتصالات کارکردی و آماری به ترتیب با استفاده از جعبه ابزار اتصالات کارکردی CONN-fMRI-20.b و نرم‌افزار SPSS-26 انجام شد. نتایج نشان داد که قدرت اتصالات کارکردی در شبکه زبان از پارس آپرکولاریس چپ به شکنج خلفی فوقانی گیجگاهی چپ در زنان در مقایسه با مردان بیشتر بود ( $P = 0.001$ ). به همین قیاس، زنان در اتصالات بینا شبکه‌ای نیز بهتر از مردان عمل کردند. به‌طور کلی، یافته‌های حاضر حاکی از همبستگی قدرت اتصالات کارکردی تکلیف-محور درون شبکه‌ای نحو-ویژه و بینا شبکه‌ای با تفاوت‌های جنسیتی است که ممکن است دال بر برتری زنان در کاربرد زبان باشد.

کلیدواژه‌ها: اتصالات کارکردی، تکلیف دستوری بودگی، جنسیت، دوزبانه‌های متوازن، شبکه زبان.

## ۱. مقدمه

تفاوت‌های جنسیتی در عملکردهای شناختی همواره به طور فعال یک موضوع بحث‌برانگیز بوده است. علیرغم وجود شباهت‌های بسیاری در مغز زنان و مردان، امروزه بر اساس مطالعات فراوانی مشخص شده است که جنسیت نقش مهمی در آناتومی و عملکرد مغز انسان دارد. اینگال‌هالیکار و همکارانش<sup>۳</sup> (۲۰۱۴) با بررسی مغز ۹۴۹ فرد سالم (۴۲۸ مرد و ۵۲۱ زن) در حالت استراحت<sup>۴</sup> نشان دادند که اتصالات<sup>۵</sup> درون نیمکره‌ای<sup>۶</sup> در مردان و اتصالات بینانیمکره‌ای<sup>۷</sup> در زنان قوی‌تر است. پژوهش‌های متعددی نیز تفاوت در اتصالات کارکردی<sup>۸</sup> حالت استراحت برای شبکه‌های مغزی<sup>۹</sup> دخیل در

<sup>۱</sup> این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده (۱۴۰۰) است و با حمایت مالی ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی (با کد ۷۴۰۱) و وزارت علوم، تحقیقات و فناوری اجرا شد.

2. Gender
3. Ingallhalikar et al.
4. resting-state
5. Connections
6. Interhemispheric
7. Intrahemispheric
8. Functional connectivity
9. Brain network

فرایندهای شناختی از جمله پردازش خودارجاعی<sup>۱</sup> (بیسوال و همکاران،<sup>۲</sup> ۲۰۱۰)، کارکردهای اجرایی<sup>۳</sup> (هلمویک و همکاران،<sup>۴</sup> ۲۰۱۴)، توجه<sup>۵</sup> (فیلیپی و همکاران،<sup>۶</sup> ۲۰۱۳)، کارکردهای حسی-حرکتی<sup>۷</sup> (آلن و همکاران،<sup>۸</sup> ۲۰۱۱)، و همچنین اختلالات عصبی-رشدی<sup>۹</sup> مانند اتیسم<sup>۱۰</sup> (تاواریس و همکاران،<sup>۱۱</sup> ۲۰۲۲) و بیش‌فعالی<sup>۱۲</sup> (اسکوفیلد و همکاران،<sup>۱۳</sup> ۲۰۱۹) را در زنان در مقایسه با مردان گزارش کرده‌اند. با این وجود، اطلاعات کمی در مورد تأثیر جنسیت بر اتصالات کارکردی زبان-ویژه وجود دارد. مطالعه حاضر بر روی این موضوع متمرکز است.

اتصالات کارکردی، وابستگی‌های آماری بین فعالیت نواحی مجزای مغز را منعکس می‌کند (لانگ و همکاران،<sup>۱۴</sup> ۲۰۱۲). مطالعات اتصالات کارکردی با اندازه‌گیری نوسانات سیگنال<sup>۱۵</sup> مغزی حاصل از روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی<sup>۱۶</sup> بر روابط کارکردی بین نواحی نورونی چه در حالت استراحت و چه در حالت تکلیف<sup>۱۷</sup> دلالت دارند (فاکس و ریچل،<sup>۱۸</sup> ۲۰۰۷). در افراد دوزبانه، اتصالات کارکردی حالت استراحت بینش قابل توجهی را در مورد سازماندهی شبکه‌های مغزی فراهم کرده است (ژو و همکاران،<sup>۱۹</sup> ۲۰۱۲؛ لی و همکاران،<sup>۲۰</sup> ۲۰۱۵؛ برکن و همکاران،<sup>۲۱</sup> ۲۰۱۶؛ لیو و همکاران،<sup>۲۲</sup> ۲۰۱۷؛ گالیفر و همکاران،<sup>۲۳</sup> ۲۰۱۸؛ دلوکا و همکاران،<sup>۲۴</sup> ۲۰۱۹؛ سولپیزو و همکاران،<sup>۲۵</sup> ۲۰۲۰).

با این وجود، مطالعات حالت استراحت قادر نیستند به تنهایی تمام ابعاد اتصالات کارکردی را به تصویر بکشند، زیرا پردازش یک تکلیف ممکن است به طور پویا تشکیلات شبکه مغز را تغییر دهد و فعالیت عصبی را از حالت استراحت خارج کند (کول و همکاران،<sup>۲۶</sup> ۲۰۲۱). در حالیکه برخی مطالعات نشان داده‌اند که سیگنال‌های اتصالات کارکردی حالت استراحت و حالت تکلیف تحت کنترل یک سازوکار فیزیولوژیکی مشترک است و پاسخ‌های حالت استراحت و حالت تکلیف به صورت خطی با یکدیگر مرتبطاند (کنریتی، ریپما و بیسوال،<sup>۲۷</sup> ۲۰۱۲؛ ایوت و همکاران،<sup>۲۸</sup> ۲۰۱۹)، در مقابل، پژوهش‌های دیگری (مانند ژانگ و همکاران،<sup>۲۹</sup> ۲۰۱۶) پیشنهاد کرده‌اند که تفاوت‌های اساسی در الگوهای فعال‌سازی

- 
1. self-referential processing
  2. Biswal et al.
  3. Executive function
  4. Hjelmervik et al.
  5. Attention
  6. Filippi et al.
  7. Sensory-motor functioning
  8. Allen et al.
  9. Neurodevelopmental disorders
  10. Autism
  11. Tavares et al.
  12. Hyperactivity
  13. Scofield et al.
  14. Lang et al.
  15. Signal
  16. functional magnetic resonance imaging (fMRI)
  17. Task state
  18. Fox & Raichle
  19. Zou et al.
  20. Li et al.
  21. Berken et al.
  22. Liu et al.
  23. Gullifer et al.
  24. DeLuca et al.
  25. Sulpizio et al.
  26. Cole et al.
  27. Kannurpatti, Rypma, & Biswal
  28. Elliott et al.
  29. Zhang et al.

مغز وجود دارد که توسط پارادایم‌های استراحت و تکلیف ایجاد می‌شوند مانند تنوع شلیک عصبی<sup>۱</sup> (چرچلند و همکاران،<sup>۲</sup> ۲۰۱۰) و تغییرات سیگنال بولد<sup>۳</sup> (هی،<sup>۴</sup> ۲۰۱۳). در همین راستا، پاییل و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۲۱) پیشنهاد کردند که این نوع تفاوت‌ها ممکن است به ویژگی‌های فعالیت نورونی و نه تغییراتی در معماری زیربنایی نورون<sup>۶</sup> مرتبط باشد. اما، سایر یافته‌ها نشان می‌دهد که معماری اصلی مغز در حالت‌های استراحت و تکلیف متغیر است (دی و همکاران،<sup>۷</sup> ۲۰۱۳؛ موسا و همکاران،<sup>۸</sup> ۲۰۱۱؛ بولت و همکاران،<sup>۹</sup> ۲۰۱۷). به طور کلی، این یافته‌ها تفاوت‌های کیفی در اتصالات کارکردی برای فعالیت مغزی تکلیف-محور در مقایسه با فعالیت مغزی استراحت-محور را نشان می‌دهند. پژوهش حاضر به بررسی نقش جنسیت در اتصالات کارکردی تکلیف-محور در حین پردازش همزمان زبان اول و دوم اختصاص دارد. امروزه نقش یک شبکه گنجگاهی-پیشانی<sup>۱۰</sup>، متشکل از پارس آپرکولاریس<sup>۱۱</sup> و شکنج خلفی فوقانی گنجگاهی<sup>۱۲</sup> در نیمکره چپ برای پردازش نحوی تثبیت شده است. نواحی این شبکه که مشخصاً برای پردازش نحوی تخصصی شده‌اند (فردریچی و همکاران،<sup>۱۳</sup> ۲۰۱۷؛ گوچا و فردریچی،<sup>۱۴</sup> ۲۰۱۵؛ زاکارلا و همکاران،<sup>۱۵</sup> ۲۰۱۷) و زیربنای درک جملات پیچیده هستند (فردریچی و همکاران،<sup>۱۶</sup> ۲۰۱۷؛ فردریچی،<sup>۱۷</sup> ۲۰۱۸؛ ویگنو و همکاران،<sup>۱۸</sup> ۲۰۰۶) توسط یک دسته فیبر به یکدیگر متصل شده‌اند. در یک مطالعه fMRI، شبکه نحو-ویژه فوق در افراد دوزبانه با بسندگی زبانی بالا در حین یک تکلیف نحوی حاوی جملات متناوب زبان اول و دوم نیز شناسایی شد (میکده و همکاران،<sup>۱۹</sup> ۲۰۲۱). افزون بر این، فعالیت نواحی ویژه کنترل زبان از جمله پلنیوم گنجگاهی<sup>۲۰</sup>، ناحیه حرکتی تکمیلی<sup>۲۱</sup>، لوبول آهیانه‌ای فوقانی<sup>۲۲</sup>، شکنج پیشانی-فوقانی<sup>۲۳</sup> و شکنج پیش مرکزی<sup>۲۴</sup> نیز مشاهده شد. اخیراً، میکده و همکاران (۲۰۲۳ب) در پژوهش دیگری به بررسی اتصالات کارکردی نواحی فوق پرداختند. یافته‌های این پژوهش مؤید اتصالات کارکردی بین نواحی نحو-ویژه پارس آپرکولاریس و شکنج خلفی فوقانی گنجگاهی در شبکه زبان بود. در شبکه کنترل زبان نیز، اتصالاتی بین نواحی پلنیوم گنجگاهی چپ و راست از یک طرف و پلنیوم گنجگاهی چپ و ناحیه حرکتی تکمیلی چپ از طرف دیگر مشاهده شد. نگارنده حاضر درصدد است تا در این مجال نقش جنسیت را در اتصالات کارکردی شناسایی شده در مطالعه میکده و همکاران (۲۰۲۳ب) بررسی نماید. بنابراین سوال اصلی بازتحلیل<sup>۲۵</sup> حاضر این است که آیا قدرت اتصالات کارکردی

<sup>1</sup> neuronal firing

<sup>2</sup> Churchland et al.

<sup>3</sup> BOLD

<sup>4</sup> He

<sup>5</sup> Popiel et al.

<sup>6</sup> Neuron

<sup>7</sup> Di et al.

<sup>8</sup> Moussa et al.

<sup>9</sup> Bolt et al.

<sup>10</sup> Fronto-temporal

<sup>11</sup> pars opercularis (PO)

<sup>12</sup> posterior superior temporal gyrus (pSTG)

<sup>13</sup> Friederici et al.

<sup>14</sup> Goucha & Friederici

<sup>15</sup> Zaccarella et al.

<sup>16</sup> Vigneau et al.

<sup>17</sup> Planum temporale (PT)

<sup>18</sup> Supplementary Motor Area (SMA)

<sup>19</sup> Superior Parietal Lobule (SPL)

<sup>20</sup> Superior Frontal Gyrus (SFG)

<sup>21</sup> Precentral Gyrus (PreCG)

<sup>22</sup> Reanalysis

مبتنی بر تکلیف در نواحی نحو-ویژه<sup>۱</sup> و کنترل زبان در مردان و زنان دوزبانه متوازن<sup>۲</sup> که در سن ۷ سالگی زبان دوم را آموخته‌اند یکسان است؟ از این رو، مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات اتصالات کارکردی تکلیف-محور در زنان و مردان دوزبانه اجرا شد. بر اساس دانش نگارنده حاضر، پژوهش حاضر نخستین تلاش برای بررسی اتصالات کارکردی تکلیف-محور در زنان و مردان دوزبانه است که ضرورت انجام آن را توجیح می‌نماید.

## ۲. روش

در مطالعه حاضر، داده‌های گزارش شده توسط میکنده و همکاران (۲۰۲۳ب)، بازتحلیل شد. به منظور بررسی تأثیر عامل جنسیت بر اتصالات کارکردی تکلیف-محور و رعایت تعداد شرکت‌کنندگان زن و مرد، دیتای ۶ نفر از شرکت‌کنندگان از مجموعه دیتای اصلی حذف شد.

### ۲-۱. جامعه، نمونه و روش نمونه‌گیری

پژوهش حاضر در زمره مطالعات کاربردی-بنیادی قرار دارد. جامعه آماری شامل دانشجویان مقطع دکتری دانشگاه‌های برتر شهر تهران در سال ۱۳۹۸ بود که از بین آنها نمونه‌ای متشکل از ۳۰ نفر (۱۵ زن و ۱۵ مرد) به روش هدفمند انتخاب شد. ملاک‌های ورود شامل زبان مادری ترکی، شروع آموزش رسمی زبان فارسی در سن ۷ سالگی، داشتن والدین ترک‌زبان، متولد و ساکن استان‌های ترک‌زبان ایران تا سن ۷ سالگی، حداقل ۵ سال سکونت در شهرهای فارسی‌زبان، راست‌دست‌بودن، همه افراد راست‌دست تشخیص داده شدند. بر خورداری از شنوایی طبیعی و عدم ابتلا به بیماری‌های زبانی-روانی بود. غربالگری اولیه در گروه زبان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس برگزار شد. بر این اساس، همه افراد ملزم به شرکت در جلسه ارزیابی رفتاری بودند. کسب امتیازات لازم در ۵ آیت (۱) خودارزیابی بسندگی زبانی در زبان فارسی و ترکی، (۲) سنجش ظرفیت حافظه فعال، (۳) موقعیت اجتماعی-اقتصادی افراد بر اساس شاخص چهار-عاملی جایگاه اجتماعی-اقتصادی، (۴) میزان تسلط شرکت‌کنندگان به دو زبان اول و دوم و (۵) انجام مصاحبه به هر دو زبان فارسی و ترکی ضروری بود. سپس، افراد منتخب در نوبت اخذ داده fMRI و حضور در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز قرار می‌گرفتند.

### ۲-۲. ابزارهای پژوهش و روش اجرا

#### ۲-۲-۱. پرسشنامه دست‌برتری ادینبورگ<sup>۳</sup> (EHI)

پرسشنامه دست‌برتری ادینبورگ توسط (ولفیلد<sup>۴</sup>، ۱۹۷۱) برای تشخیص دست‌برتری طراحی شد. این پرسشنامه ۱۰ سوالی آیت‌های نوشتن، نقاشی کشیدن، پرتاب کردن (یک شیء مثل توپ)، قیچی کردن، مسواک زدن، بریدن با چاقو (بدون استفاده از چنگال)، غذاخوردن با قاشق، جارو زدن، روشن کردن کبریت (دستی که چوب کبریت را می‌گیرید) و باز کردن درپوش جعبه را شامل می‌شود. اگر آزمودنی از هر دو دست راست یا چپ خود استفاده می‌کند باید در پرسشنامه علامت «+» و در مواردی که فقط از یک دست (و نه دست دیگر) استفاده می‌کند باید علامت «++» را ثبت کند. انتخاب ۶ گزینه برای فقط یک دست، نشانه برتری آن دست بر دست دیگر است. (ولفیلد (۱۹۷۱) پایایی و روایی پرسشنامه را تأیید و ضریب آلفای کرونباخ آن را ۰/۹۶ گزارش کرد. در جمعیت ایران، آلفای کرونباخ پرسشنامه ۱۰ گویه‌ای ادینبورگ ۰/۹۷ بود (علیپور و آگاه‌هریس، ۱۳۸۶).

#### ۲-۲-۲. تکلیف قضاوت دستوری بودگی<sup>۵</sup> (GJT)

1. Syntax-specific

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

3. Edinburgh handedness inventory (EHI)

4. Oldfield

5. Grammaticality Judgement Task (GJT)

مواد آزمون برگرفته از مطالعه میکده و همکاران (۲۰۲۱) است. هدف از این آزمون قضاوت دستوری بودگی شنیداری<sup>۱</sup>، پردازش نحوی سخنگویان دوزبانه است. محرک‌ها متشکل از ۶۴ جمله فارسی و ۶۴ جمله ترکی با ساختار فاعل + مفعول + فعل بود که نیمی از محرک‌ها در هر زبان به لحاظ نحوی درست و سایر محرک‌ها دارای نقض مطابقت فاعل - فاعل بودند. زمان گذشته ساده افعال (بدون هیچ فعل کمکی) استفاده شد. در محرک‌های درست، فاعل اول و سوم شخص مفرد با افعال اول و سوم شخص مفرد و فاعل اول و سوم شخص جمع با افعال اول و سوم شخص جمع همراه بودند. در شرایط نقض مشخصه‌های شخص و شمار، فاعل اول و سوم شخص مفرد با افعال اول و سوم شخص جمع و فاعل اول و سوم شخص جمع با افعال اول و سوم شخص مفرد بودند (جدول ۲) (لیست کامل محرک‌های آزمون در میکده، گلفام، بتولی و زومر، ۲۰۲۳ الف در دسترس است).

جدول ۲. مثال‌هایی از مواد آزمون در زبان‌های ترکی و فارسی با حرف‌نویسی و ترجمه انگلیسی، برگرفته از میکده و همکاران، (۲۰۲۱)

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

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

## ۲-۲-۱. روش طراحی و اجرای تکلیف قضاوت دستوری بودگی

آزمون دستوری بودگی شنیداری با نرم‌افزار سایکوپای<sup>۲</sup> طراحی و از طریق هدفون ارائه شد. شرکت‌کنندگان باید بر مبنای دستوری یا نادرستی بودن محرک‌ها پاسخ خود را ثبت می‌کردند. در آزمون حاضر از الگوی تحریک وابسته-به‌رویداد<sup>۳</sup>، شامل ۴ بلوک<sup>۴</sup> جملات شنیداری و ۴ بازه استراحت<sup>۵</sup> استفاده شد. هر بلوک متشکل از ۳۲ بخش<sup>۶</sup> است که برای ثبت پاسخ همودینامیکی<sup>۷</sup> نیز بازه‌های زمانی استراحت ۳۰ - ثانیه‌ای در قبل و بعد از آن تعبیه شد که طی آن هیچ تحریکی ارائه نشد. مدت زمان هر بلوک ۳۱۸ ثانیه بود. هر بخش شامل یک بوق هشدار ۱ - ثانیه‌ای، یک جمله ۳ - ثانیه‌ای و مرحله پاسخ ۴، ۵ یا ۶ - ثانیه‌ای بود. برای ارائه محرک‌ها پارادایم زبان‌گردانی جایگزین<sup>۸</sup> به‌کار گرفته شد. به

1. Auditory
2. psychoPy
3. event-related design
4. block
5. resting period
6. run
7. hemodynamic baseline
8. alternating language switching paradigm



عبارتی دیگر، در هر بلوک، جملات دو زبان به طور پیوسته تغییر می‌کرد (به‌طور مثال، زبان اول، زبان دوم، زبان اول، زبان دوم و ...) در حالیکه محرک‌های دستوری - نادرستی به‌طور تصادفی توزیع شدند. مدت زمان اجرای آزمون با احتساب مرحله آماده‌سازی در حدود ۳۵ دقیقه بود (برای جزئیات بیشتر [میکده و زومر \(۱۴۰۲\)](#)؛ [میکده، زومر و بتولی \(۱۴۰۲\)](#) و [میکده، زومر و بتولی \(۱۴۰۳\)](#) را ببینید).

## ۳-۲-۲. تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی (fMRI)

### ۱-۳-۲-۲. پروتکل تصویربرداری

همه داده‌های تصویری در میدان مغناطیس ۳ تسلا با کویل سر ۲۰ کاناله<sup>۱</sup> در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز به‌دست آمده‌اند. از هر شرکت‌کننده یک تصویر ساختاری و یک تصویر عملکردی در حالت استراحت در یک جلسه گرفته شد. تصویر ساختاری با قدرت تفکیک بالا با استفاده از توالی سه‌بعدی اکو گرادینت سریع مغناطش آماده‌شده<sup>۲</sup> (به صورت اسلایس‌های ساجیتال، TE = 3.53 ms، TR = 1800 ms، زاویه فلیپ ۷ درجه، ضخامت اسلایس ۱ میلی‌متر، اندازه وکسل ۱×۱×۱ میلی‌متر مکعب، اندازه ماتریس ۲۵۶×۲۵۶، زاویه دید ۲۵۶ میلی‌متر مربع، دیرش ۵ دقیقه) و تصویر عملکردی در حالت استراحت به روش EPI (TE = 30 ms، TR = 3000 ms، زاویه فلیپ ۹۰ درجه، ضخامت اسلایس ۳ میلی‌متر، اندازه وکسل ۳×۳×۳ میلی‌متر مکعب، اندازه ماتریس ۶۴×۶۴، زاویه دید ۱۹۲ میلی‌متر مربع، دیرش ۱۲۹۰ ثانیه، ۴۳۰ والیوم<sup>۳</sup>، هر والیوم ۴۵ اسلایس) اخذ شد.

### ۲-۳-۲-۲. پیش‌پردازش تصاویر<sup>۴</sup>

پیش‌پردازش داده‌های ساختاری<sup>۵</sup> و کارکردی با استفاده از دستورالعمل پیش‌پردازش پیش‌فرض در جعبه ابزار اتصالات کارکردی CONN-fMRI v20.6<sup>۶</sup> انجام شد. نقاط زمانی با تغییرات سیگنال BOLD که انحراف معیار بالاتر از ۵ و جابجایی سر بیشتر از ۱ میلی‌متر داشتند به عنوان نقاط پرت<sup>۷</sup> بالقوه علامت‌گذاری شدند. تصحیح زمان‌بندی برش‌ها<sup>۸</sup>، قطعه‌بندی<sup>۹</sup> و نرمال‌سازی<sup>۱۰</sup> تصاویر کارکردی در فضای MNI انجام شد. تصاویر ساختاری نیز با رویکرد قطعه‌بندی-نرمال‌سازی یکپارچه<sup>۱۱</sup> که مبنای آن جداسازی ماده خاکستری<sup>۱۲</sup>، ماده سفید<sup>۱۳</sup> و مایع مغزی-نخاعی<sup>۱۴</sup> است قطعه‌بندی و نرمالیزه شدند. تصاویر با فیلتر گوسی با پهنای کامل در نیمه<sup>۱۵</sup> بیشینه<sup>۱۵</sup> ۶ میلی‌متر هموار شدند. والیوم‌های پرت از آنالیزهای آماری بعدی حذف شدند. متغیرهای سطح اول شامل پاکسازی<sup>۱۶</sup>، بازتنظیم<sup>۱۷</sup> و تضمین کیفیت<sup>۱۸</sup> به طور خودکار در طول مراحل پیش‌پردازش ایجاد شدند و به عنوان رگرورهای مخدوش‌کننده<sup>۱۹</sup> بالقوه در مرحله نويززدایی

1. 20-channel head coil
2. three-dimension magnetization-prepared rapid gradient-echo (MP-RAGE) sequence
3. Volume
4. Image preprocessing
5. Structural data
6. <https://web.conn-toolbox.org/home>
7. Outliers
8. Slice-timing corrected
9. Segmentation
10. Normalization
11. Unified segmentation-normalization approach
12. Gray matter (GM)
13. White matter (WM)
14. Cerebrospinal fluid (CSF)
15. Full-width at half-maximum (FWHM) Gaussian kernel
16. Scrubbing
17. Realignment
18. Quality assurance
19. Confound regressors



در جعبه ابزار CONN وارد شدند. سیگنال بولد ماده سفید و ماسک‌های مایع مغزی-نخاعی، اسکن‌های پرت، اثرات وضعیت‌های<sup>۱</sup> تکلیف، پارامترهای بازتنظیم و اسکن‌های پرت بالقوه به عنوان متغیرهای نویزی به روش رگرسیون خطی با استفاده از رویکرد اصلاح مؤلفه-محور اناتومیکی<sup>۲</sup> (بهزادی، رستم، لیاو و لیو<sup>۳</sup>، ۲۰۰۷) حذف شدند تا یک سیگنال تمیز را به دست دهند. برای حذف نویز سری‌های زمانی نواحی موردنظر از الگوریتم detrend استفاده شد. نهایتاً سری‌های زمانی در بازه 0.001-Inf هرترز فیلتر شدند.

## ۲-۳-۳. روش آنالیز اتصالات کارکردی

آنالیز اتصالات کارکردی ROI-to-ROI با رویکرد تعامل سایکوفیزیولوژیکی تعمیم‌یافته<sup>۴</sup>، در جعبه ابزار CONN انجام شد. محرک‌های آزمون شامل دو وضعیت دستوری (۶۴ جمله) و نادرستی (۶۴ جمله) برای هر زبان بود. سیگنال اتصالات متشکل از محرک‌های ۳ ثانیه‌ای و زمان پاسخ ۵ ثانیه‌ای (به طور میانگین) بود. ضرایب رگرسیون بین همه جفت‌های ROI به صورت سری‌های زمانی میانگین از والیوم‌های ناهموار در فضای MNI محاسبه شد تا از آلودگی سیگنال‌های موردنظر توسط سیگنال مناطق مجاور اجتناب شود. در آنالیز ROI، مقادیر اتصالات ROI-to-ROI برای هر شرکت‌کننده زن و مرد بین ROI مبدأ و ROI هدف استخراج شد. آنالیز اتصالات کارکردی ROI-to-ROI در مطالعه حاضر بر مبنای یک فرضیه پیشین که دخالت دو شبکه و نواحی زبان-ویژه را در پردازش صرفی-نحوی در افراد دوزبانه نشان داده بود انجام شد (میکده و همکاران، ۲۰۲۱). تا اثرات دوزبانگی و دستوری‌بودگی بر اتصالات کارکردی درون شبکه‌ای و بینا شبکه‌ای را در دو گروه زنان و مردان شناسایی شود. نواحی پارس‌آپرکولاریس چپ و شکنج خلفی فوقانی گیجگاهی چپ به عنوان هسته شبکه زبان در نظر گرفته شدند. بر مبنای فعالیت کل-مغز و در راستای مطالعه قبلی نویسندگان (میکده و همکاران، ۲۰۲۱) مناطق مغزی زیر برای بررسی شبکه کنترل انتخاب شدند: پلنیوم-گیجگاهی دوجانبه<sup>۵</sup>، ناحیه حرکتی تکمیلی دوجانبه، شکنج پیش مرکزی<sup>۶</sup> دوجانبه، شکنج فوقانی پیشانی<sup>۷</sup> دوجانبه، لوبول آهیانه‌ای فوقانی<sup>۸</sup> دوجانبه. همه نواحی موردنظر از ماسک‌های از پیش تعریف‌شده در CONN انتخاب شدند. به علت نبود اتصالات کارکردی معنادار بین SPL/SFG از یک سو و سایر نواحی از سوی دیگر، این دو ناحیه از چرخه آنالیز حذف شدند.

## ۲-۳-۳. روش تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات

تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ اجرا شد. به منظور ارزیابی تفاوت‌های درون-شبکه‌ای<sup>۹</sup> و بینا شبکه‌ای<sup>۱۰</sup> در حین پردازش دستوری‌بودگی زبان اول و دوم در بین زنان و مردان دوزبانه، آزمون استنباطی تحلیل واریانس<sup>۱۱</sup> با اندازه‌گیری‌های مکرر<sup>۱۲</sup> ۲ × ۲ × ۲ انجام شد. قدرت اتصالات به عنوان متغیر وابسته و دستوری‌بودگی (دستوری، نادرستی)، زبان (زبان اول = ترکی، زبان دوم = فارسی) و جنسیت (زن و مرد) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. شبکه‌های مورد نظر شامل شبکه زبان و شبکه کنترل بود که نیازهای ویژه پردازش زبان در افراد

1. Conditions
2. Anatomical CompCor approach
3. Behzadi, Restom, Liau, & Liu
4. Generalized Psychophysiological Interaction (gPPI)
5. Bilateral Planum Temporale (PT)
6. Precentral Gyrus (PreCG)
7. Superior Frontal Gyrus (SFG)
8. Superior Parietal Lobule (SPL)
9. Intranetwork
10. Intranetwork
11. analysis of variance
12. repeated measures

دوزبانه را تأمین می‌کنند. اتصالات درون شبکه‌ای شامل اتصالات درون نیمکره‌ای (L\_PT-to-R\_PT؛ L\_SMA-to-R\_SMA؛ L\_PT-to-L\_PreCG؛ L\_PT-to-L\_SMA) و بینانیمکره‌ای (L\_PreCG-to-R\_PreCG؛ to-R\_SMA؛ L\_SMA-to-L\_PreCG؛ R\_PT-to-L\_PreCG؛ R\_PT-to-R\_SMA؛ R\_SMA-to-L\_PreCG) به بیناشبکه‌ای به ترتیب  $p = 0/025$ ،  $p = 0/055$  و  $p = 0/041$  تعیین شد.

### ۳. یافته‌ها

#### ۳-۱. توصیف جمعیت شناختی

ویژگی‌های جمعیت شناختی نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲. توصیف آماری ویژگی‌های جمعیت شناختی نمونه پژوهش

وضعیت شغلی	سطح تحصیلات (سال)	محدوده سنی (سال)	میانگین سنی (انحراف معیار)	تعداد	جنسیت
محصل در مقطع دکتری*	۱۹	۲۲-۳۴	۲۷/۴۷ (۳/۱۸)	۱۵	زن
محصل در مقطع دکتری	۲۰	۲۴-۳۳	۲۶/۸۷ (۲/۹۷)	۱۵	مرد

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

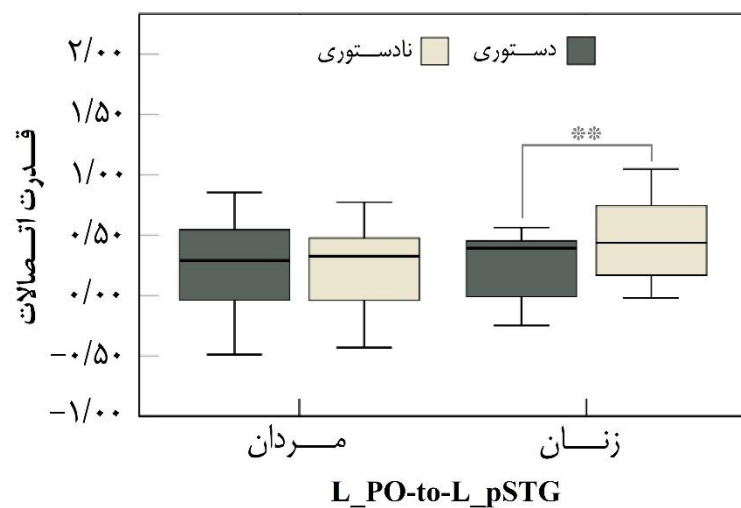
#### ۳-۲. اتصالات کارکردی در شبکه زبان

همانطور که جدول ۳ نشان می‌دهد، برای اتصال L\_PO-to-L\_pSTG، عامل اصلی دستوری بودگی به سطح معناداری رسید. مشخصاً اتصالات محرک‌های غیردستوری ( $0/373$ ) در مقایسه با محرک‌های دستوری ( $0/269$ ) قوی‌تر بود. عامل اصلی زبان نیز، با میزان اتصالات قوی‌تر برای زبان اول ( $0/397$ ) نسبت به زبان دوم ( $0/245$ ) معنادار بود. اثر تعاملی دستوری بودگی  $\times$  جنسیت نیز معنادار بود. با در نظر گرفتن عامل دستوری بودگی، مشاهده شد که در زنان جملات نادرستی ( $0/449$ ) در مقایسه با جملات دستوری ( $0/241$ ) اتصال قوی‌تری را ایجاد کردند ( $p = 0/001$ )، اما در گروه مردان هیچ اختلاف معناداری بین قدرت اتصالات جملات نادرستی ( $0/297$ ) در مقایسه با جملات دستوری ( $0/297$ ) مشاهده نشد ( $t_{(14)} = 4/432$ )، در گروه مردان هیچ اختلاف معناداری بین قدرت اتصالات جملات نادرستی ( $0/297$ ) در مقایسه با جملات دستوری ( $0/297$ ) مشاهده نشد ( $p = 0/990$ )،  $t_{(14)} = -0/13$  (شکل ۱). با در نظر گرفتن عامل جنسیت، مشاهده شد که در اتصالات جملات نادرستی اختلاف معناداری بین زنان ( $0/449$ ) و مردان ( $0/297$ ) مشاهده نشد ( $p = 0/376$ )،  $t_{(14)} = 0/915$ ، به طور مشابه، در اتصالات جملات دستوری هم اختلاف معناداری بین زنان ( $0/241$ ) و مردان ( $0/297$ ) دیده نشد ( $p = 0/733$ )،  $t_{(14)} = -0/348$ .

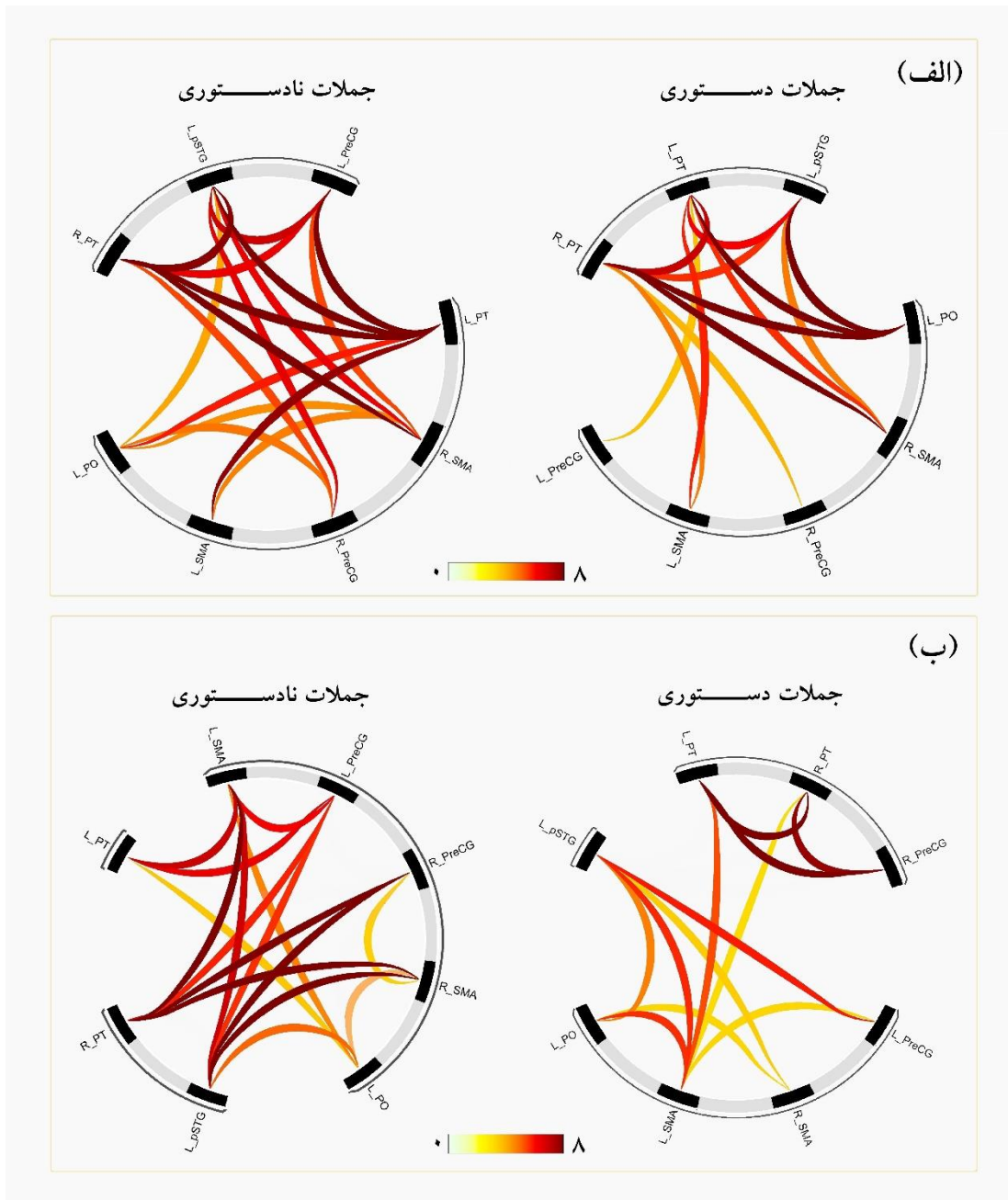
جدول ۳. تحلیل واریانس آمیخته برای اتصال L\_PO-to-L\_pSTG

منبع تغییرات	مقدار F	درجه آزادی	معناداری	مجذور اتا
دستوری بودگی	۱۰/۵۳۳	۱	۰/۰۰۶	۰/۴۲۹
زبان	۹/۴۸۱	۱	۰/۰۰۸	۰/۴۰۴
جنسیت	۰/۰۹۰	۱	۰/۷۶۸	۰/۰۰۶
دستوری بودگی $\times$ زبان	۰/۷۵۴	۱	۰/۴۰۳	۰/۰۵۱
دستوری بودگی $\times$ جنسیت	۸/۰۲۲	۱	۰/۰۱۳	۰/۳۶۴

زبان × جنسیت	۰/۰۵۷	۱	۰/۸۱۴	۰/۰۰۴
دستوری بودگی × زبان × جنسیت	۰/۲۱۷	۱	۰/۶۴۹	۰/۰۱۵



شکل ۱- الف) نمودار جعبه‌ای قدرت اتصال بین نواحی نحو-ویژه پارس آپرکولاریس و شکنج خلفی گیجگاهی فوقانی در نیمکره چپ مغز در زنان و مردان؛ علامت \* نشانه معناداری است.

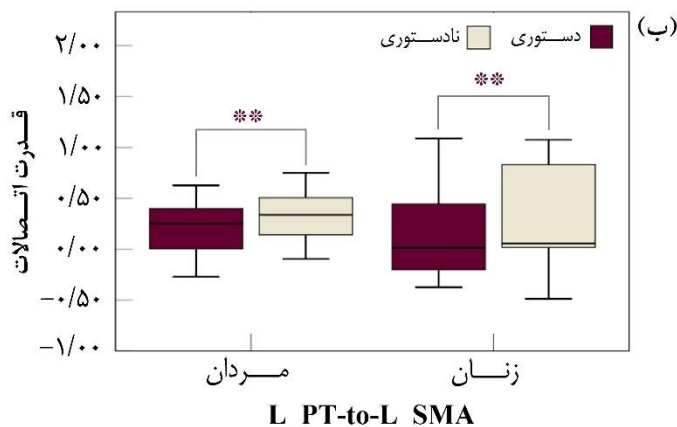
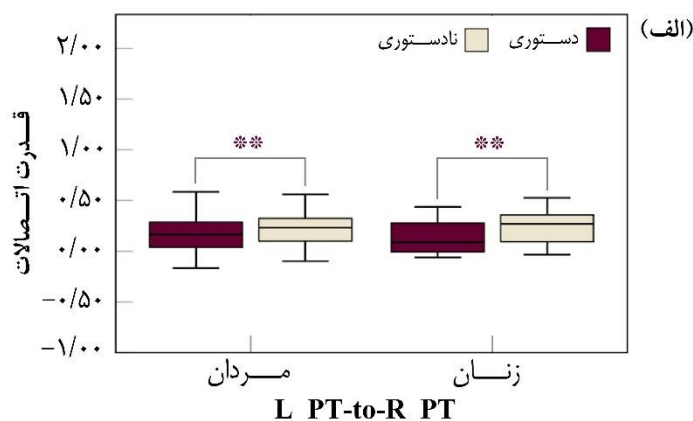


شکل ۲- نمودار کانکتوم رینگ، اتصالات معنادار بین ۵ ناحیه مغزی مورد نظر (ROIs) را در دو گروه (الف) زنان و (ب) مردان نشان می‌دهد ( $p\text{-FDR corrected} < 0.05$ ) (جملات دستوری و نادرستی به ترتیب در سمت راست و چپ تصویر قرار دارند).

### ۳-۲. اتصالات کارکردی در شبکه کنترل زبان

در ارتباط با اتصالات بینایمکره‌ای، برای اتصال  $L\_PT\text{-}t0\text{-}R\_PT$ ، عامل اصلی دستوری بودگی به سطح معناداری رسید ( $\eta_p^2 = 0/589$ ،  $p = 0/001$ ،  $F_{(1,14)} = 20/081$ ). مشخصاً، جملات نادرستی (۰/۲۶۱) اتصالات قوی‌تری را در مقایسه با جملات دستوری (۰/۱۵۹) نشان دادند. عامل اصلی زبان بعد از اصلاح بونفرونی معناداری خود را از دست

داد. عامل اصلی جنسیت و تعامل آن با سایر عامل‌ها معنادار نبود. در ارتباط با اتصالات درون نیمکره‌ای، برای اتصال L\_PT-to-L\_SMA، عامل اصلی دستوری بودگی با اتصالات قوی‌تر جملات نادرستی (۰/۲۶۱) در مقایسه با جملات دستوری (۰/۱۵۹) به سطح معناداری رسید ( $\eta_p^2 = ۰/۵۹۵$ ,  $p < ۰/۰۰۱$ ,  $F_{(۱,۱۴)} = ۲۰/۵۵۶$ ). اما، عامل اصلی دستوری بودگی و جنسیت در تعامل نبودند. عامل اصلی دستوری بودگی برای سایر اتصالات (L\_PreCG-to-L\_PT-to-L\_PreCG, L\_SMA-to-R\_SMA, L\_SMA-to-L\_PreCG, R\_PreCG) نیز به سطح معناداری نرسید. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود عامل دستوری بودگی در هر دو گروه زنان و مردان برای اتصالات L\_PT-to-R\_PT و L\_PT-to-R\_PT معنادار بود، اما تفاوتی بین دو جنسیت دیده نشد.

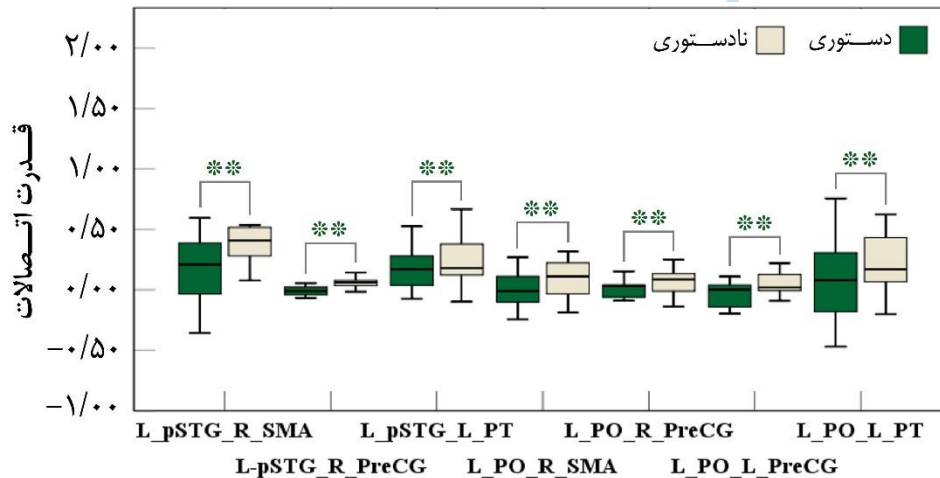


شکل ۳- نمودار جعبه‌ای قدرت اتصالات کارکردی برای اثر دستوری بودگی برای هر دو گروه زنان و مردان در نواحی شبکه کنترل زبان شامل (الف) L\_PT-to-R\_PT و (ب) L\_PT-to-L\_SMA؛ علامت \* نشانه معناداری است.

### ۳-۳. اتصالات کارکردی بین شبکه زبان و شبکه کنترل زبان

در همه اتصالات بین‌شبکه‌ای، جملات نادرستی در مقایسه با جملات دستوری اتصال قوی‌تری را ایجاد کردند (شکل ۳). در اتصال L\_PO-to-L\_PT، عامل اصلی دستوری بودگی با اتصالات قوی‌تر جملات نادرستی (۰/۲۱۶) در مقایسه با جملات دستوری (۰/۰۸۹) به سطح معناداری رسید ( $\eta_p^2 = ۰/۲۵۳$ ,  $p < ۰/۰۰۳$ ,  $F_{(۱,۱۴)} = ۱۰/۰۱۶$ ). در اتصال L\_PO-to-L\_PreCG، عامل اصلی دستوری بودگی با اتصالات قوی‌تر جملات نادرستی

( $F_{(1,14)} = 15/126, p = 0/001, \eta_p^2 = 0/351$ ) معنادار بود ( $-0/037$ ) در مقایسه با جملات دستوری ( $F_{(1,14)} = 36/252, p < 0/001, \eta_p^2 = 0/721$ ) دیده شد ( $0/002$ ) در مقایسه با جملات دستوری عامل اصلی دستوری بودگی با اتصالات قوی تر جملات نادرستی ( $-0/003$ ) در مقایسه با جملات دستوری رسید ( $F_{(1,14)} = 13/988, p = 0/001, \eta_p^2 = 0/333$ ) نیز به سطح معناداری رسید  $L\_PO\text{-to-}R\_SMA$  در اتصال  $L\_pSTG\text{-to-}L\_PT$  نیز عامل اصلی دستوری بودگی با اتصالات قوی تر جملات نادرستی ( $0/248$ ) در مقایسه با جملات دستوری ( $0/177$ ) معنادار بود ( $F_{(1,14)} = 10/834, p = 0/003, \eta_p^2 = 0/279$ ) در اتصال  $L\_pSTG\text{-to-}R\_PreCG$  عامل اصلی دستوری بودگی با اتصالات قوی تر جملات نادرستی ( $0/063$ ) در مقایسه با جملات دستوری ( $-0/008$ ) به سطح معناداری رسید ( $F_{(1,14)} = 74/49, p < 0/001, \eta_p^2 = 0/727$ ) نهایتاً، در اتصال  $L\_pSTG\text{-to-}R\_SMA$  معناداری عامل اصلی دستوری بودگی با اتصالات قوی تر جملات نادرستی ( $0/442$ ) در مقایسه با جملات دستوری ( $0/246$ ) مشاهده شد ( $F_{(1,14)} = 10/096, p = 0/0036, \eta_p^2 = 0/265$ ) سایر عوامل معنادار نبود ( $F_s < 1$ ).



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای قدرت اتصالات بیناشکهای برای اثر دستوری بودگی؛ علامت \* نشانه معناداری است.

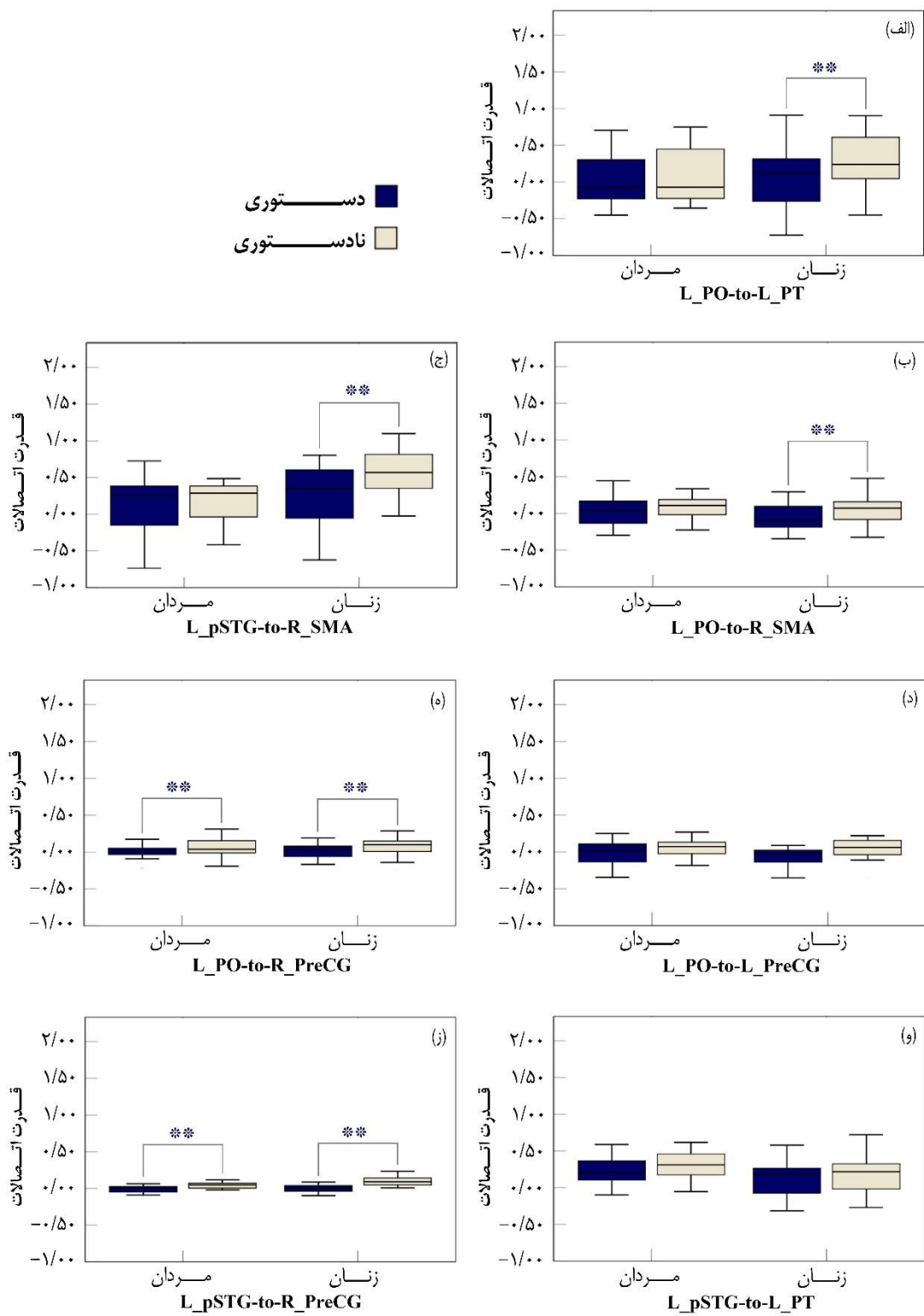
به منظور شناسایی اثر دستوری بودگی در دو گروه زنان و مردان آزمون تعقیبی تی زوجی برای هر یک از اتصالات معنادار فوق‌الذکر اجرا شد. نتایج این آزمون که در جدول ۴ ارائه شد، نشان می‌دهد که معناداری عامل دستوری بودگی برای سه اتصال  $L\_PO\text{-to-}L\_PT$ ,  $L\_PO\text{-to-}R\_SMA$  و  $L\_pSTG\text{-to-}R\_SMA$  محدود به گروه زنان و برای سایر اتصالات ( $L\_PO\text{-to-}L\_PreCG$ ,  $L\_PO\text{-to-}R\_PreCG$ ,  $L\_pSTG\text{-to-}L\_PT$  و  $L\_pSTG\text{-to-}R\_PreCG$ ) متأثر از عامل جنسیت نبود.

جدول ۴- نتایج آزمون‌های تی‌زوجی اتصالات کارکردی برای عامل دستوری بودگی به تفکیک هر جنسیت.

معناداری	مقدار t	میانگین قدرت اتصالات (انحراف معیار)	جنسیت	اتصالات کارکردی
* / . ۰ ۰ ۱ ۷	۳ / ۹ ۳ ۴	( . / ۱ ۶ ) ۰ / ۲ ۲ ۷	زن	L_PO-to-L_PT
	۰ / ۵ ۲ ۷	۰ / ۶ ۴ ۹	مرد	
* / . ۰ ۰ ۱	۴ / ۰ ۲ ۰	( . / ۱ ۱ ) ۰ / ۱ ۱ ۱	زن	L_PO-to-R_SMA
	۰ / ۱ ۰ ۶	۱ / ۷ ۲ ۷	مرد	
* / . ۰ ۰ ۱ ۹	۳ / ۱ ۵ ۶	( . / ۳ ۱ ) ۰ / ۳ ۰ ۰	زن	L_pSTG-to-R_SMA
	۰ / ۳ ۴ ۱	۰ / ۹ ۸ ۵	مرد	
/ . ۰ ۰ ۰ ۹	۳ / ۰ ۳ ۴	( . / ۱ ۱ ) ۰ / ۱ ۰ ۳	زن	L_PO-to-L_PreCG
	۰ / ۰ ۲ ۹	۲ / ۴ ۳ ۷	مرد	
< . / . ۰ ۰ ۱	۴ / ۹ ۴ ۴	( . / ۰ ۶ ) ۰ / ۰ ۶ ۵	زن	L_PO-to-R_PreCG
	۴ / ۰ ۰ ۹	( . / ۰ ۵ ) ۰ / ۰ ۵ ۹	مرد	
/ . ۰ ۰ ۳ ۳	۲ / ۳ ۶ ۴	( . / ۱ ۳ ) ۰ / ۰ ۷ ۷	زن	L_pSTG-to-L_PT
	۰ / ۰ ۳ ۸	( . / ۱ ۱ ) ۰ / ۰ ۶ ۶	مرد	
< . / . ۰ ۰ ۱	۷ / ۴ ۱ ۵	( . / ۰ ۵ ) ۰ / ۰ ۹ ۷	زن	L_pSTG-to-R_PreCG
	۴ / ۵ ۱ ۰	( . / ۰ ۳ ) ۰ / ۰ ۴ ۵	مرد	

\*  $p < 0.0020$  (آزمون تی‌زوجی دو-دنباله با اصلاح بونفرونی)





شکل ۵- نمودار جعبه‌ای قدرت اتصالات بینابشکه‌ای برای اثر دستوری بودگی به تفکیک هر جنسیت؛ علامت \* نشانه معناداری است.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اتصالات کارکردی شبکه‌های دخیل در پردازش نحوی در زنان و مردان دوزبانه‌ای است که از سن ۷ سالگی زبان دوم را به طور رسمی در مدرسه آموخته بودند. تمرکز اصلی بر روی اتصالات کارکردی در شبکه‌ی زبان (پارس‌آپروکولاریس و شکنج خلفی فوقانی گیجگاهی)، شبکه‌ی کنترل زبان (پلنیوم گیجگاهی، ناحیه‌ی حرکتی تکمیلی و شکنج پیش‌مرکزی) و اتصالات کارکردی بیناشبکه‌ای بود. فعالیت این نواحی در مطالعه‌ی میکده و همکاران (۲۰۲۱) و قدرت اتصالات کارکردی آنها در مطالعه‌ی میکده و همکاران (۲۰۲۳ب) شناسایی شده بود. در ذیل این بخش نتایج اتصالات کارکردی در زنان و مردان بحث خواهد شد.

نخستین دستاورد پژوهش حاضر - صرف‌نظر از نوع زبان مورد پردازش - معناداری اثر دستوری‌بودگی برای اتصال L\_PO-to-L\_pSTG در شبکه‌ی زبان در حین پردازش یک تکلیف نحوی در زنان بود. نواحی پارس‌آپروکولاریس و شکنج خلفی فوقانی گیجگاهی که به لحاظ ساختاری و کارکردی توسط فیبرهای خلفی به هم متصل شده‌اند (سور و همکاران، ۲۰۰۸؛ فردریچی و همکاران، ۲۰۱۷)، به عنوان بخشی از مسیر ویژه‌ی زبان در انسان تثبیت شده است (جولی و همکاران، ۲۰۱۲؛ فردریچی و همکاران، ۲۰۱۷). در واقع، این مدار نورونی برای قوه‌ی نحوی انسان در هسته‌ی زبان کاملاً ضروری و بنیادین قلمداد می‌شود (فردریچی، ۲۰۱۸). اگر چه که اتصال کارکردی این دو ناحیه در مطالعات اتصالات کارکردی در حالت استراحت در افراد تک‌زبانه بزرگسال سابقاً مشاهده شد (شیائو، فردریچی، مارگولیس و براور، ۲۰۱۶)، نبود مطالعات کافی در زمینه‌ی اتصالات کارکردی تکلیف-محور و به ویژه در افراد دوزبانه امکان مقایسه و تجزیه و تحلیل این یافته‌ی پژوهش حاضر را تقریباً دشوار می‌کند. در تبیین اثر معنادار دستوری‌بودگی زنان که در راستای مطالعات اتصالات کارکردی حالت استراحت در سایر فرایندهای شناختی است (بیسوال و همکاران، ۲۰۱۰؛ آلن و همکاران، ۲۰۱۱؛ فیلیپی و همکاران، ۲۰۱۳؛ هلمویک و همکاران، ۲۰۱۴؛ اسکوفیلد و همکاران، ۲۰۱۹ و تاوارس و همکاران، ۲۰۲۲)، می‌توان پیشنهاد داد که (دستکم بر مبنای دیتای حاضر) زنان در اتصالات کارکردی زبان-ویژه بهتر از مردان عمل می‌کنند. از سوی دیگر، نتایج فعلی با یافته‌های اینگالهایلیکار و همکاران (۲۰۱۴) که گزارش کردند در حالت استراحت مردان در اتصالات درون‌نیمکره‌ای در مقایسه با زنان قوی‌تر هستند همخوانی ندارند. دلیل این عدم همخوانی این می‌تواند باشد که همانطور که کول و همکارانش (۲۰۲۱) مطرح کردند پردازش یک تکلیف تغییر سازماندهی شبکه‌های مغز را ممکن می‌سازد و قادر است تا فعالیت نورونی را از حالت استراحت خارج کند. پرواضح است که مطالعات اتصالات کارکردی مبتنی بر تکلیف می‌تواند مسیر یافته‌های موجود را تغییر دهد. کما اینکه مطالعاتی وجود دارند که نشان می‌دهند تنوعات شلیک عصبی (چرچلند و همکاران، ۲۰۱۰) و تغییرات سیگنال بولد (هی، ۲۰۱۳) حاصل از پارادایم‌های مبتنی بر تکلیف می‌توانند تمایزات قابل توجهی را در الگوهای فعال‌سازی مغز ایجاد کنند. افزون بر این، اتصال معنادار L\_PO-to-L\_pSTG مؤید یک‌سویه‌شدگی<sup>۴</sup> نیمکره‌ی چپ در پردازش نحوی است. این یافته در راستای نتایج مطالعه‌ی سولپیزیو و همکارانش (۲۰۲۰) است که نشان دادند اتصالات زبان-ویژه در حالت استراحت نیز محدود به نیمکره‌ی چپ بوده است.

<sup>1</sup> Saur et al.

<sup>2</sup> Joly et al.

<sup>3</sup> Xiao, Friederici, Margulies & Brauer

<sup>4</sup> Lateralization

دست‌آورد دیگر پژوهش حاضر مبتنی بر اتصالات نواحی نحو-ویژه و موتورهای محاسباتی مسئول پردازش شنیداری زبان از جمله پلنیوم‌گیجگاهی و ناحیه حرکتی تکمیلی است که بر مبنای نتایج فعلی زنان عملکرد بهتری نسبت به مردان داشتند (جدول ۴ و شکل ۵ را ببینید). مشخصاً، سه اتصال کلیدی L\_PO-to-R\_SMA، L\_PO-to-L\_PT و L\_PO-to-R\_SMA در زنان قوی‌تر بود. در ادامه، این مشاهدات تشریح خواهد شد. اتصال نخست مربوط به دو ناحیه پارس آپرکولاریس (که در پاراگراف اول به ساختار و عملکرد آن پرداخته شد) و پلنیوم‌گیجگاهی در نیمکره چپ مغز است. پلنیوم‌گیجگاهی یک ناحیه مثلثی شکل است که بر روی سطح شکنج خلفی فوقانی گیجگاهی در نیمکره چپ واقع شده است. این ناحیه مغزی به عنوان نیروی محرکه مکانیزم‌های پردازش شنیداری زبان-ویژه عمل می‌کند (گریفیث و وارن، ۲۰۰۲) و رمزگشایی موفق گفتار در نواحی قشر شنیداری موجب تنظیم محاسبات زبان-ویژه در شکنج پیشانی‌تحتانی<sup>۲</sup> (که پارس آپرکولاریس به آن تعلق دارد) می‌شود (آبلسر و کتس، ۲۰۰۹). از نقطه نظر کالبدشناختی نیز، مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که پلنیوم‌گیجگاهی نقش قابل توجهی را در یک‌سویه‌شدگی کارکردی در پردازش زبان ایفا می‌کند (گشویند و لویتسکی، ۱۹۶۸؛ فوندس، لئونارد، گیلومر، فنل و هیلمن، ۱۹۹۴؛ مافیت، همپسون و لی، ۱۹۹۸). بدین ترتیب، به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر نیز پلنیوم‌گیجگاهی به عنوان یک مرکز محاسباتی عمل کرده و در جداسازی الگوهای صوتی ورودی و تبادل اطلاعات با ناحیه پارس آپرکولاریس برای پردازش بیشتر دخالت داشته و این عملکرد در زنان بارزتر بوده است. اتصال دوم و سوم مربوط به اتصالات نواحی پارس آپرکولاریس و شکنج خلفی فوقانی گیجگاهی در نیمکره چپ با ناحیه حرکتی تکمیلی در نیمکره راست است. ناحیه حرکتی تکمیلی، بیشتر به عنوان کانونی برای اجرا و برنامه‌ریزی حرکتی شناخته شده بود (ماکوشی، کروزک و ون‌دنکلاز، ۲۰۱۱). مطالعات بعدی، فعالیت این ناحیه مغزی را در حین ادراک گفتار و زبان گزارش کردند (هتریک، دیتریک و اکرم، ۲۰۲۰). اخیراً نیز مشارکت ناحیه حرکتی تکمیلی در پردازش شنوایی، تصویرسازی شنیداری و در فرآیندهای حسی-حرکتی که ادراک شنوایی را هدایت می‌کند، مشاهده شده است (ولنیارز و همکاران، ۲۰۱۹). افزون بر اینها، کنا و سمنزا<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۲) بر این باورند که ناحیه حرکتی تکمیلی به عنوان یک مرکز عمومی برای ادغام عناصر منفرد (بدون توجه به ماهیت چنین عناصری؛ مانند حرکتی، زمانی، مکانی، عددی، زبانی، عددی) به منظور بازنمایی‌های سطح بالاتر عمل می‌کند که به نظر می‌رسد این پیشنهاد با دخالت این ناحیه در محاسبات دستور زبان در افراد تک‌زبانه و دوزبانه هم مطابقت دارد. هیچ مدرکی دال بر این شواهد در زمینه مطالعات حالت استراحت برای اتصالات فوق‌الذکر یافت نشد. اینک، می‌توان استدلال کرد که یافته‌های مبتنی بر اتصالات بیناشبکه‌ای در پژوهش حاضر بر فعالیت غالب نیمکره راست مغز برای کنترل زبان در زنان دوزبانه صحه می‌گذارد که مؤید یافته‌های میکده و همکاران (۲۰۲۱) است. بر این اساس، می‌توان پیشنهاد داد که در بافت دوزبانگی ناحیه حرکتی تکمیلی در نیمکره راست نقش مهمی در پردازش شنیداری محرک‌های زبانی ایفا می‌کند.

<sup>1</sup> Griffiths & Warren

<sup>2</sup> inferior frontal gyrus (IFG)

<sup>3</sup> Obleser & Kotz

<sup>4</sup> Geschwind & Levitsky

<sup>5</sup> Foundas, Leonard, Gilmore, Fennell, & Heilman

<sup>6</sup> Moffat, Hampson, & Lee

<sup>7</sup> Makoshi, Kroliczak, & van Donkelaar

<sup>8</sup> Hertrich, Dietrich, & Ackermann

<sup>9</sup> Welniarz et al.

<sup>10</sup> Cona & Semenza

در پایان، عملکرد یکسان زنان در پردازش زبان اول و دوم، ما را به این نکته رهنمون می‌کند که این افراد به اندازه کافی در هر دو زبان اول و دوم به بسندگی بالایی دست یافته‌اند. بنابراین، با توجه به بسندگی بالای جامعه آماری حاضر در هر دو زبان اول و دوم و عدم شناسایی تفاوت‌های زبان-ویژه (مشخصاً در گروه زنان)، نتایج فعلی قابلیت تعمیم‌پذیری به جامعه زنان تک‌زبانه را نیز دارد. نظر به اینکه، مطالعه حاضر - دستکم بر اساس دانش نگارنده - نخستین تلاش در زمینه بررسی نقش جنسیت بر اتصالات کارکردی تکلیف-محور در افراد دوزبانه است، بی‌تردید ضرورت اجرای مطالعات آینده را نیز می‌طلبد.

## ۵. ملاحظات اخلاقی

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

## ۶. حمایت مالی

این پژوهش به موجب قرارداد شماره ۷۴۰۱ با حمایت مالی ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی انجام شد. افزون بر این از حمایت مالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ایران جهت تکمیل اهداف پروژه در دانشگاه هومبولت برلین<sup>۱</sup> (آلمان) تحت راهنمایی پروفسور ورنر زومر برخوردار بود.

## ۷. تعارض منافع

در این پژوهش، تعارض منافی وجود ندارد.

## منابع

- پورمحمد، م. (۱۳۹۷). *روان‌شناسی زبان*. تهران: سمت.
- علیپور، احمد. آگاه‌هریس، مژگان، (۱۳۸۶)، بررسی قابلیت اعتماد و اعتبار پرسشنامه دست برتری ادینبورگ در ایران، *فصلنامه علوم روانشناختی*، ۶(۲۲)، ۱. <https://www.magiran.com/volume/90156>
- میکنده، س. (۱۴۰۰). *بررسی اثرات بسندگی زبان و سن یادگیری زبان دوم بر دستگاه عصبی برای پردازش صرفی - نحوی با استفاده از ERP و fMRI*. رساله دکتری رشته زبان‌شناسی. دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس. تهران: ایران.
- میکنده، س.، و زومر، و. (۱۴۰۲). عدم تفاوت‌های جنسیتی در پردازش مشخصه‌های فای در افراد دوزبانه متوازن: مطالعه‌ای بر پایه تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی (fMRI). *پژوهش‌های زبان‌شناسی تطبیقی*. ۳(۱)، ۱۰۹-۱۳۱. [https://rjhll.basu.ac.ir/article\\_5275.html](https://rjhll.basu.ac.ir/article_5275.html)
- میکنده، س.، زومر، و.، و بتولی، س.ا.ح. (۱۴۰۲). مخچه و مطابقت دستوری در دوزبانه‌ها: شواهدی از قضاوت دستوری‌بودگی با استفاده از fMRI. *علم زبان*. ۱۰(۱۸)، ۳۰۹-۳۴۲. [https://ls.atu.ac.ir/article\\_16338.html](https://ls.atu.ac.ir/article_16338.html)
- میکنده، س.، زومر، و.، و بتولی، س.ا.ح. (۱۴۰۳). پوتامن و درک جملات زبان اول و دوم: شواهدی از تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی. *پژوهش‌های زبان‌شناسی*. ۱۶(۱)، ۹۵-۱۱۰. [https://jrl.ui.ac.ir/article\\_28105.html](https://jrl.ui.ac.ir/article_28105.html)

## References

1. Humboldt-Universität zu Berlin

- Alipour, A., & Agahheris, M. (2008). The study of the reliability and validity of the Edinburgh Handedness Questionnaire. *Journal of Psychological Sciences*, 6(22), 1. <https://www.magiran.com/volume/90156>. [In Persian].
- Allen, E. A., Erhardt, E. B., Damaraju, E., Gruner, W., Segall, J. M., Silva, R. F., Havlicek, M., Rachakonda, S., Fries, J., Kalyanam, R., Michael, A. M., Caprihan, A., Turner, J. A., Eichele, T., Adelsheim, S., Bryan, A. D., Bustillo, J., Clark, V. P., Feldstein Ewing, S. W., Filbey, F., ... Calhoun, V. D. (2011). A baseline for the multivariate comparison of resting-state networks. *Frontiers in systems neuroscience*, 5, 2. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2011.00002>
- Behzadi, Y., Restom, K., Liau, J., & Liu, T. T. (2007). A component based noise correction method (CompCor) for BOLD and perfusion based fMRI. *NeuroImage*, 37(1), 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.04.042>
- 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. *Journal of Neuroscience*. 36, 1165–1172. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1960-15.2016>
- Biswal, B. B., Mennes, M., Zuo, X. N., Gohel, S., Kelly, C., Smith, S. M., Beckmann, C. F., Adelstein, J. S., Buckner, R. L., Colcombe, S., Dogonowski, A. M., Ernst, M., Fair, D., Hampson, M., Hoptman, M. J., Hyde, J. S., Kiviniemi, V. J., Kötter, R., Li, S. J., Lin, C. P., ... Milham, M. P. (2010). Toward discovery science of human brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(10), 4734–4739. <https://doi.org/10.1073/pnas.0911855107>
- Bolt, T., Nomi, J. S., Rubinov, M., & Uddin, L. Q. (2017). Correspondence between evoked and intrinsic functional brain network configurations. *Human brain mapping*, 38(4), 1992–2007. <https://doi.org/10.1002/hbm.23500>
- Churchland, M.M., Yu, B.M., Cunningham, J.P., Sugrue, L.P., Cohen, M. R., Corrado, G.S., Newsome, W.T., Clark, A.M., et al. (2010). Stimulus onset quenches neural variability: a widespread cortical phenomenon. *Nature neuroscience*, 13(3), 369–378. <https://doi.org/10.1038/nn.2501>
- Cole, M. W., Ito, T., Cocuzza, C., & Sanchez-Romero, R. (2021). The Functional Relevance of Task-State Functional Connectivity. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 41(12), 2684–2702. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1713-20.2021>
- Cona, G., & Semenza, C. (2017). Supplementary motor area as key structure for domain-general sequence processing: A unified account. *Neuroscience and Biobehavioral reviews*, 72, 28–42. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.10.033>
- DeLuca, V., Rothman, J., Bialystok, E., & Pliatsikas, C. (2019). Redefining bilingualism as a spectrum of experiences that differentially affects brain structure and function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(15), 7565–7574. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811513116>
- Di, X., Gohel, S., Kim, E.H., & Biswal, B.B. (2013). Task vs. rest-different network configurations between the coactivation and the resting-state brain networks. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 493. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00493>
- Elliott, M. L., Knodt, A. R., Cooke, M., Kim, M. J., Melzer, T. R., Keenan, R., Ireland, D., Ramrakha, S., Poulton, R., Caspi, A., Moffitt, T. E., & Hariri, A. R. (2019). General functional connectivity: Shared features of resting-state and task fMRI drive reliable and heritable individual differences in functional brain networks. *NeuroImage*, 189, 516–532. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.068>
- Filippi, M., Valsasina, P., Misci, P., Falini, A., Comi, G., & Rocca, M. A. (2013). The organization of intrinsic brain activity differs between genders: a resting-state fMRI study in a large cohort of young healthy subjects. *Human brain mapping*, 34(6), 1330–1343. <https://doi.org/10.1002/hbm.21514>

- Foundas, A.L., Leonard, C.M., Gilmore, R., Fennell, E., & Heilman, K. M. (1994). Planum temporale asymmetry and language dominance. *Neuropsychologia*, 32(10), 1225–1231. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(94\)90104-x](https://doi.org/10.1016/0028-3932(94)90104-x)
- Fox, M. D., & Raichle, M. E. (2007). Spontaneous fluctuations in brain activity observed with functional magnetic resonance imaging. *Nature reviews. Neuroscience*, 8(9), 700–711. <https://doi.org/10.1038/nrn2201>
- Friederici, A. D. (2018). The neural basis for human syntax: Broca's area and beyond. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 21, 88–92. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2018.03.004>
- 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>
- 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>
- Goucha, T., & Friederici, A. D. (2015). The language skeleton after dissecting meaning: A functional segregation within Broca's Area. *NeuroImage*, 114, 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.04.011>
- 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)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.037>
- He, B.J. (2013). Spontaneous and task-evoked brain activity negatively interact. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 33(11), 4672–4682. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2922-12.2013>
- Hertrich, I., Dietrich, S., & Ackermann, H. (2020). The margins of the language network in the brain. *Frontiers in Communication*, 5, 519955. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2020.519955>
- Hjelmervik, H., Hausmann, M., Osnes, B., Westerhausen, R., & Specht, K. (2014). Resting states are resting traits--an fMRI study of sex differences and menstrual cycle effects in resting state cognitive control networks. *PLoS one*, 9(7), e103492. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103492>
- Joly, O., Pallier, C., Ramus, F., Pressnitzer, D., Vanduffel, W., & Orban, G. A. (2012). Processing of vocalizations in humans and monkeys: A comparative fMRI study. *NeuroImage*, 62(3), 1376–1389. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.070>
- Ingalhalikar, M., Smith, A., Parker, D., Satterthwaite, T. D., Elliott, M. A., Ruparel, K., Hakonarson, H., Gur, R. E., Gur, R. C., & Verma, R. (2014). Sex differences in the structural connectome of the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(2), 823–828. <https://doi.org/10.1073/pnas.1316909110>
- Kannurpatti, S.S., Rypma, B. & Biswal, B.B. (2012). Prediction of task-related BOLD fMRI with amplitude signatures of resting-state fMRI. *Frontiers in systems neuroscience*, 6, 7. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2012.00007>
- Lang, E.W., Tomé, A.M., Keck, I.R., Górriz-Sáez, J.M., & Puntinet, C.G. (2012). Brain connectivity analysis: a short survey. *Computational intelligence and neuroscience*, 2012, 412512. <https://doi.org/10.1155/2012/412512>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.04.007>



- 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. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2017.07.003>
- Makoshi, Z., Kroliczak, G., & van Donkelaar, P. (2011). Human supplementary motor area contribution to predictive motor planning. *Journal of motor behavior*, 43(4), 303–309. <https://doi.org/10.1080/00222895.2011.584085>
- 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 in Linguistics. Tarbiat Modares University, Tehran: Iran. (In Persian).
- Meykadeh, A., Golfam, A., Batouli, S. A. H., & 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*, 15, 728549. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.728549>
- Meykadeh, S., Golfam, A., Batouli, S. A. H., & Sommer, W. (2023a). The neural basis of Number and Person phi-features processing: An fMRI study in highly proficient bilinguals. *Bilingualism: Language and Cognition*, 1–16. <https://doi.org/10.1017/S1366728923000615>
- Meykadeh, 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. (2023). No Sex Differences in Phi-Features Processing in Bilinguals: A Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) Study. *Iranian Journal of Comparative Linguistics Research*. 13(25), 109-131. [https://rjhll.basu.ac.ir/article\\_5275.html?lang=en](https://rjhll.basu.ac.ir/article_5275.html?lang=en) (In Persian).
- Meykadeh, S., Sommer, W., & Batouli, S. A. H. (2024). The Cerebellum and Grammatical Agreement in Bilinguals: Evidence from Grammaticality Judgments Using fMRI. *Language Science*, 10(18), 309-342. [https://ls.atu.ac.ir/article\\_16338.html?lang=en](https://ls.atu.ac.ir/article_16338.html?lang=en) (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://jrl.ui.ac.ir/article\\_28105.html?lang=en](https://jrl.ui.ac.ir/article_28105.html?lang=en) (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: a journal of neurology*, 121 (Pt 12), 2369–2379. <https://doi.org/10.1093/brain/121.12.2369>
- Moussa, M. N., Vechlekar, C. D., Burdette, J. H., Steen, M. R., Hugenschmidt, C. E., & Laurienti, P. J. (2011). Changes in cognitive state alter human functional brain networks. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 83. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00083>
- Obleser, J., & Kotz, S. A. (2009). Expectancy constraints in degraded speech modulate the language comprehension network. *Cerebral cortex*. 20(3): 633–640. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp128>.
- Oldfield R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)



- Popiel, N. J. M., Metrow, C., Laforge, G., Owen, A. M., Stojanoski, B., & Soddu, A. (2021). Exploring electroencephalography with a model inspired by quantum mechanics. *Scientific reports*, *11*(1), 19771. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97960-7>
- Pourmohammad, M. (2019). *Psycholinguistics*. Tehran: samt. (In Persian).
- Saur, D., Kreher, B. W., Schnell, S., Kümmerer, D., Kellmeyer, P., Vry, M. S., Umarova, R., Musso, M., et al. (2008). Ventral and dorsal pathways for language. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*(46), 18035–18040. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805234105>
- Scotfield, J. E., Johnson, J. D., Wood, P. K., & Geary, D. C. (2019). Latent resting-state network dynamics in boys and girls with attention-deficit/hyperactivity disorder. *PLoS one*, *14*(6), e0218891. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218891>
- Sulpizio, S., Del Maschio, N., Del Mauro, G., Fedeli, D., & Abutalebi, J. (2020). Bilingualism as a gradient measure modulates functional connectivity of language and control networks. *NeuroImage*, *205*, 116306. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116306>
- Tavares, V., Fernandes, L. A., Antunes, M., Ferreira, H., & Prata, D. (2022). Sex Differences in Functional Connectivity Between Resting State Brain Networks in Autism Spectrum Disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, *52*(7), 3088–3101. <https://doi.org/10.1007/s10803-021-05191-6>
- Vigneau, M., Beaucousin, V., Herve, P. Y., Duffau, H., Crivello, F., Houde, O., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2006). Meta-analyzing left hemisphere language areas: phonology, semantics, and sentence processing. *NeuroImage*, *30*(4), 1414–1432. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.11.002>
- Welniarz, Q., Gallea, C., Lamy, J. C., Méneret, A., Popa, T., Valabregue, R., Béranger, B., Brochard, V., Flamand-Roze, C., Trouillard, O., Bonnet, C., Brüggemann, N., Bitoun, P., Degos, B., Hubsch, C., Hainque, E., Golmard, J. L., Vidailhet, M., Lehéricy, S., Dusart, I., ... Roze, E. (2019). The supplementary motor area modulates interhemispheric interactions during movement preparation. *Human brain mapping*, *40*(7), 2125–2142. <https://doi.org/10.1002/hbm.24512>
- Xiao, Y., Friederici, A. D., Margulies, D. S., & Brauer, J. (2016). Development of a selective left-hemispheric fronto-temporal network for processing syntactic complexity in language comprehension. *Neuropsychologia*, *83*, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.09.003>
- Zaccarella, E., Meyer, L., Makuuchi, M., & Friederici, A. D. (2017). Building by Syntax: The Neural Basis of Minimal Linguistic Structures. *Cerebral cortex*, *27*(1), 411–421. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhv234>
- Zhang, S., Li, X., Lv, J., Jiang, X., Guo, L., & Liu, T. (2016). Characterizing and differentiating task-based and resting state fMRI signals via two-stage sparse representations. *Brain imaging and behavior*, *10*(1), 21–32. <https://doi.org/10.1007/s11682-015-9359-7>
- Zou, L., Abutalebi, J., Zinszer, B., Yan, X., Shu, H., Peng, D., & Ding, G. (2012). Second language experience modulates functional brain network for the native language production in bimodal bilinguals. *NeuroImage*, *62*(3), 1367–1375. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.062>