



<https://jrl.ui.ac.ir/?lang=en>

**Journal of Researches in Linguistics**

E-ISSN: 2322-3413

16(1), 95-110

Received: 08.07.2023 Accepted: 14.01.2024

**Research Paper**

**Putamen and L1-L2 sentence comprehension:  
Evidence from functional magnetic resonance mapping**

**Simin Meykadeh\***

PhD in Linguistics, Department of Linguistics, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran  
a.meykadeh@modares.ac.ir

**Werner Sommer**

Professor, Department of Psychology, Faculty of Life Sciences, - Humboldt Universität zu Berlin, Berlin, Germany  
werner.sommer@cms.hu-berlin.de

**SeyedAmirHossein Batouli**

Assistant Professor, Department of Neuroscience, School of Advanced Technologies in Medicine, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran  
batouli@sina.tums.ac.ir

**Abstract**

The putamen is a subcortical structure. However, neuroimaging studies have demonstrated the involvement of the left putamen in other language functions such as bilingual language processing. Some studies have also shown the role of the right putamen in higher-order language functions. The present reanalysis aims to investigate the role of the bilateral putamen during the L1-L2 sentence comprehension in bilinguals using functional magnetic resonance imaging (fMRI). Hence, 36 Turkish-Persian bilinguals (21 females and 15 males), who had acquired their second language at the age of seven after entering school, were selected in a purposive sampling method to perform an auditory grammaticality judgment task within an alternative language switching paradigm. After detecting the activity of the bilateral putamen at the whole-brain level, in FSL, percent signal change was extracted per participant as an intensity measure and analyzed statistically in SPSS. At the whole-brain level, the findings demonstrated that the bilateral putamen was involved in the comprehension of syntactic structures during the alternating presentation of L1 and L2 stimuli. In addition, regardless of the hemisphere involved, the significant grammaticality effect for L1 as well as the increased sensitivity for L1-violation stimuli compared to L2-violation stimuli may imply the standard language dominance effect also in the putamen.

**Keywords:** Bilingualism, Sentence comprehension, Putamen, L1, fMRI

**Introduction**

Subcortical structures are considered a key component in language processing in bilinguals. Basal ganglia are a group of subcortical structures found deep within the White Matter of the brain and have extensive connections with the cerebral cortex, especially Broca's area and speech motor cortex. These nuclei include Putamen, Caudate, Pallidum, substantia nigra and subthalamic. Nowadays, the involvement of Putamen in production processes is evidenced, nevertheless, very little is known about the contribution of this region in understanding syntax in bilinguals. To our knowledge, no studies have examined the role of Putamen in syntactic processing in bilinguals. Here, we aimed to explore it within an alternative language switching paradigm.

To address this gap, the current reanalysis focuses on the following research question.

1. How is the performance of bilateral Putamen during L1-L2 syntactic processing?

\*Corresponding author



To answer this research question guiding this study, a bilingual task with alternating language switching paradigm were developed. In this task, brain imaging was performed using event-related fMRI while the participants listened to a total of 128 sentences in two Turkish and Persian languages.

### Materials and methods


To allow for reliable ROI-based analysis, 36 right-handed and balanced Turkish-Persian bilingual students were recruited to participate in this study. All participants were native speakers of Turkish and learned Persian at school from the age of seven. Participants' language proficiency levels were assessed by the Bilingual Dominance Scale (BDS) and no significant difference was observed between Turkish and Persian (i.e., between L1 and L2) in language dominance. During a bilingual grammaticality judgement task, participants heard 128 test sentences (64 in L1 and 64 in L2, with 50% violation per language) and made their judgment by pressing a button. Stimuli were presented using the Psychtoolbox in MATLAB via headphones. Stimuli were randomized for each condition, but alternated in a fixed sequence for language. MRI data were collected in NBML, Tehran, Iran, using a Siemens Prisma 3T scanner with a 20-channel head coil. For each participant, a high-resolution T1-weighted anatomical scan was acquired (TR = 1800msec, TE = 3053 msec, flip angle: 7°, 192 axial slices, slice thickness = 1 mm, field of view (FOV) = 256 mm<sup>2</sup>, 256 × 256 acquisition matrix, voxel size: 1×1×1 mm). After the anatomical scan, participants underwent a 21.5-min fMRI scan that used a whole brain echo planar imaging (EPI) sequence (TE: 30 ms, TR: 3000 ms, flip angle: 90°, slice thickness: 3 mm, voxel size: 3×3×3 mm, matrix size: 64×64, FOV: 192 mm<sup>2</sup>, 430 volumes and 45 axial slices per volume). Processing of the fMRI data was carried out using FEAT in FSL. Preprocessing steps included motion correction, slice-timing correction, non-brain removal using BET, spatial smoothing (6 mm FWHM), normalization, temporal filtering (with sigma = 50.0 s), and exploratory ICA-based data analysis. Statistical analyses of fMRI data were conducted using general linear modeling (GLM), as implemented in FSL. Z statistic images were thresholded using clusters determined by  $Z > 2.6$  and a (corrected) cluster significance threshold of  $P < 0.05$ . After detecting the Cerebellum activation in the whole-brain analysis, percent signal changes were extracted as an intensity measure in this brain region. All statistical analyses were conducted in IBM SPSS Statistics 26.


### Discussion of results and conclusions

The present reanalysis investigate the contribution of Putamen in Turkish-Persian participants during processing syntax. Our research question concerns whether there are differences in syntactic processing between L1 and L2 in bilateral Putamen in non-native participants. At the whole-brain level, the findings indicated that the bilateral Putamen is involved in modulating the syntactic aspects of language, supporting the previous pathological studies on Putamen as well as its association with cortical areas in the realm of bilingualism. Another crucial point is regarding the significant effect of grammaticality in L1 and significant differences between L1-ungrammatical and L2-ungrammatical sentences, irrespective of the involved hemisphere. This is in line with the behavioral performance of present sample in which bilinguals had longer reaction time and more errors for L1 which was leading to more brain activations. This could be arguably because of the standard language dominance effect placed on L1, as mentioned by Declerck & Koch (2023), demonstrating that the present population may have relied more on their L1 than L2. Accordingly, using Chinese-English bilingual speakers, Wang and his colleagues (2009) found that sustained and transient language control induced differential activation patterns, and that sustained and transient activities in the human brain modulate the behavioral costs during switching-related language control. Thus, it is reasonable to say that in mixed-language blocks, balanced bilinguals performed better in L1 than in L2. In sum, based on current sample and task, we propose that bilinguals who had learnt L2 at the age of seven when entering school have employed the bilateral Putamen during processing syntax with standard language dominance effect (i.e., better performance in L1 than in L2).

مقاله پژوهشی

## پوتامن و درک جملات زبان اول و دوم: شواهدی از تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی<sup>۱</sup>

\* سیمین میکده 

\*\* ورنر زومر 

\*\*سید امیر حسین بتولی 

### چکیده

اگرچه پوتامن یک ساختار زیرقشری محسوب می‌شود، مطالعات تصویربرداری دخالت ناحیه پوتامن چپ را در کارکردهای زبانی مانند پردازش زبان دوزبانه‌ها نشان داده‌اند. برخی مطالعات نیز به نقش پوتامن راست در عملکردهای زبانی مرتبه بالاتر اشاره کرده‌اند. هدف از بازتحلیل حاضر، بررسی نقش پوتامن چپ و راست در درک جملات زبان اول و دوم در افراد دوزبانه با استفاده از روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی (fMRI) است. بدین ترتیب، تعداد ۳۶ نفر دوزبانه ترکی-فارسی (۲۱ زن و ۱۵ مرد) که زبان دوم‌شان را در سن ۷ سالگی و به هنگام ورود به مدرسه به‌طور رسمی آموخته بودند، به روش هدفمند در سال ۱۳۹۸ انتخاب شدند. شرکت‌کنندگان یک آزمون شنیداری قضاوت دستوری بودگی با پارادایم زبان‌گردانی جایگزین را اجرا کردند. به دنبال شناسایی فعالیت دوجانبه پوتامن در سطح کل-مغز در FSL، درصد تغییر سیگنال به‌عنوان معیار «شدت» برای هر شرکت‌کننده استخراج و در نرم‌افزار SPSS-26 تجزیه و تحلیل آماری شد. در سطح کل-مغز، نتایج نشان داد که ناحیه پوتامن در نیمکره‌های چپ و راست در درک نحوی جملات در حین ارائه همزمان محرک‌های زبان اول و دوم دخالت دارد. علاوه‌براین، صرف‌نظر از نوع نیمکره فعال، معناداری اثر دستوری بودگی برای زبان اول و حساسیت بیشتر به محرک‌های نادستوری زبان اول در مقایسه با محرک‌های نادستوری زبان دوم مشاهده شد که می‌تواند دال بر اثر استاندارد تسلط زبان باشد.

**کلیدواژه‌ها:** دوزبانگی، درک جمله، پوتامن، زبان اول، fMRI

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

a.meykadeh@modares.ac.ir

\* دکترای زبان‌شناسی، گروه زبان‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

werner.sommer@cms.hu-berlin.de

\*\* استاد گروه روان‌شناسی، دانشکده علوم زندگی، دانشگاه هومبولت برلین، برلین، آلمان

batouli@sina.tums.ac.ir

\*\*\* استادیار گروه علوم اعصاب، دانشکده فناوری‌های نوین در پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران



## ۱. مقدمه

ساختارهای زیرقشری،<sup>۱</sup> یک مؤلفه کلیدی در پردازش زبان در افراد دوزبانه محسوب می‌شوند. هسته‌های قاعده‌ای،<sup>۲</sup> گروهی از ساختارهای زیرقشری هستند که در عمق قشر مخ قرار دارند و دارای ارتباطات گسترده‌ای با قشر مغز به‌ویژه ناحیه بروکا و قشر حرکتی گفتار هستند (سعیدی بروجنی و والیانی، ۱۳۹۴). این هسته‌ها شامل پوتامن،<sup>۳</sup> کودیت،<sup>۴</sup> پالیدوم،<sup>۵</sup> جسم سیاه<sup>۶</sup> و ساب‌تالامیک<sup>۷</sup> هستند. امروزه شواهدی دال بر دخالت ناحیه پوتامن<sup>۸</sup> در فرایندهای تولیدی وجود دارد؛ اما اطلاعات کمی درباره فعالیت این ناحیه مغزی در درک نحوی جملات در افراد دوزبانه موجود است.

در بافت دوزبانگی<sup>۹</sup> نخستین نشانه‌های تفاوت نورونی بین زبان‌ها در ناحیه پوتامن چپ به مطالعه کلاین<sup>۱۰</sup> و همکارانش (1994) برمی‌گردد. آن‌ها دوزبان‌های انگلیسی-فرانسوی را که زبان دوم را (به‌طور میانگین) در سن ۷ سالگی آموخته بودند با روش پرتونگاری از طریق انتشار پوزیترون<sup>۱۱</sup> بررسی کردند تا دریابند آیا در تولید زبان، همبسته‌های نورونی<sup>۱۲</sup> زبان دوم معادل همتای آن در زبان اول است یا خیر. مقایسه سیگنال مغزی دوزبان‌های انگلیسی-فرانسوی هنگام تکرار کلمات در زبان اول و دوم حاکی از افزایش فعالیت ناحیه پوتامن چپ بود. طی سالیان بعد، مطالعات مبتنی بر تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی<sup>۱۳</sup> و PET، دخالت ناحیه پوتامن را در پردازش زبان در افراد دوزبانه در حین اجرای تکالیف مختلف از جمله تکلیف تکرار ناواژه<sup>۱۴</sup> (Klein et al., 2006)، آموزش واج<sup>۱۵</sup> (Callan et al., 2003)، قضاوت واجی-معنایی<sup>۱۶</sup> (Pillai et al., 2003)، تشخیص واج (Callan et al., 2004)، تولید جمله (Dodel et al., 2005; Frenck Mestre et al., 2005)، خواندن واژه (Meschyan & Hernandez, 2006)، تولید واژه (Klein et al., 1995)، انتخاب واژگانی<sup>۱۷</sup> (Chan et al., 2008)، قضاوت دستوری‌بودگی<sup>۱۸</sup> (Wartenburger et al., 2003) و نامگذاری تصاویر<sup>۱۹</sup> (Liu et al., 2010; Abutalebi et al., 2013) نشان دادند. در بین این مطالعات، فعالیت پوتامن راست برای هر دو زبان اول و دوم در دوزبان‌های تأخیری<sup>۲۰</sup> با بسندگی<sup>۲۱</sup> پایین (Pillai et al., 2003) و فعالیت نیمکره چپ برای هر دو زبان اول و دوم در دوزبان‌های زود هنگام<sup>۲۲</sup> با بسندگی بالا (Frenck Mestre et al., 2005) مشاهده شده است. در ۶ مطالعه، فعالیت پوتامن چپ برای زبان دوم (Klein et al., 2006; Klein et al., 1995; Dodel et al., 2005; Meschyan & Hernandez, 2006) و در یک مطالعه نیز فعالیت پوتامن چپ برای زبان سوم (Abutalebi et al., 2013) شناسایی شد. در ۳ مطالعه هم فعالیت دوجانبه پوتامن برای زبان دوم (Callan et al., 2004; Liu et al., 2010; Callan et al., 2003) تشخیص داده شد که وجه مشترک دو مطالعه اول استفاده از وجه شنیداری برای ارائه محرک‌ها است.

شواهد آسیب‌شناختی<sup>۲۳</sup> نیز نشان از تأثیر ضایعات پوتامن در اختلالات زبانی دارد. کلر<sup>۲۴</sup> و همکارانش (2021) با اجرای تصویربرداری

<sup>1</sup> Subcortical

<sup>2</sup> Basal ganglia

<sup>3</sup> Putamen

<sup>4</sup> Caudate Nucleus

<sup>5</sup> Pallidum

<sup>6</sup> Substantia nigra

<sup>7</sup> Subthalamic

<sup>8</sup> Putamen

<sup>9</sup> bilingualism

<sup>10</sup> D. Klein

<sup>11</sup> Positron Emission Tomography (PET)

<sup>12</sup> Neuronal correlates

<sup>13</sup> Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)

<sup>14</sup> Nonword Repetition Tasks (NVRT)

<sup>15</sup> Phoneme

<sup>16</sup> semantic and phonological judgments

<sup>17</sup> Lexical selection

<sup>18</sup> Grammaticality judgement

<sup>19</sup> Picture naming

<sup>20</sup> Late bilinguals

<sup>21</sup> Proficiency

<sup>22</sup> Early bilinguals

<sup>23</sup> Pathology

<sup>24</sup> G J. Cler

کمی<sup>۱</sup> از بافت<sup>۲</sup> مغز، ۴۱ زن و مرد دچار لکنت رشدی<sup>۳</sup> را بررسی و نتایج آن را با افراد سالم مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که محتوای آهن<sup>۴</sup> در پوتامن چپ و نواحی قشری نیمکره چپ در بیماران مبتلا به لکنت بیشتر بود. از سوی دیگر، در مطالعه‌ای که **مونتاک<sup>۵</sup> و همکارانش** (2019) روی ۳۶ فرد سالم و ۳۴ فرد مبتلا به لکنت انجام دادند و با استفاده از الگوریتم<sup>۶</sup> DARTEL داده‌های مغزی را تجزیه و تحلیل کردند، مشاهده شد که لکنت زبان با حجم بیشتر ماده خاکستری<sup>۷</sup> ناحیه پوتامن راست در بیماران همراه بود. **سعیدی بروجنی و الویانی** (۱۳۹۴) نیز در مقاله مروری خود به وجود ارتباطات احتمالی بین هسته‌های قاعده‌ای - و مشخصاً هسته پوتامن - و لکنت زبانی اشاره کردند. سندرم لهجه خارجی<sup>۸</sup>، اختلال دیگری است که با صدمات پوتامن پیوند خورده است. سندرم لهجه خارجی یک اختلال زبانی نادر است که بر الگوهای گفتار تأثیر می‌گذارد به گونه‌ای که به نظر می‌رسد فرد با لهجه خارجی به زبان مادری خود (یا هر زبان دیگری) صحبت می‌کند (Higashiyama et al., 2021). در بافت تک‌زبانگی نیز مطالعات مختصری انجام (Xue et al., 2006 ; Xue & Poldrack, 2007) و فعالیت پوتامن چپ برای زبان اول گزارش شده است. بنابراین، اگرچه بر مبنای مطالعات فوق‌الذکر می‌توان استنباط کرد که ناحیه پوتامن نقشی در پردازش زبان ایفا می‌کند؛ اما تفاوت‌های روش شناختی از جمله نوع تکلیف، میزان بسندگی زبان، سن یادگیری زبان دوم،<sup>۹</sup> بافت زبانی، وجه محرک‌ها و تعداد نمونه‌ها امکان نتیجه‌گیری دقیق را دشوار می‌کند. در پژوهش حاضر، نگارندگان درصدد هستند تا با شناسایی الگوی فعالیت ناحیه پوتامن چپ و راست، چگونگی درک نحوی جملات زبان اول و دوم را در دوزبان‌های متوازن<sup>۱۱</sup> ترکی-فارسی<sup>۱۱</sup> با استفاده از روش fMRI بیازمایند. تکنیک fMRI، روشی کارآمد در تصویربرداری از مغز با توانایی ثبت فعالیت عصبی با رزولوشن مکانی<sup>۱۲</sup> بالا و مزیت غیرتهاجمی بودن<sup>۱۳</sup> است (Ogawa et al., 1993).

کارکردهای اجرائی<sup>۱۴</sup> نقش بسزایی در توانش زبان در افراد دوزبان‌ها ایفا می‌کنند (Lerman & Obler, 2017). یکی از شناخته‌شده‌ترین تقسیم‌بندی‌ها درباره کارکردهای اجرائی، مربوط به مطالعات **میاکه<sup>۱۵</sup> و همکاران** (2000) و **دایموند** (2013) است. بر اساس این تحقیقات، حداقل سه عملکرد اصلی کارکردهای اجرائی شناسایی شده که احتمالاً نشان‌دهنده زیرسیستم‌های شناختی متمایز است اما تا حدودی همپوشانی<sup>۱۶</sup> عملکردی نیز دارند: نظارت بر بازنمایی‌های حافظه کاری،<sup>۱۷</sup> مهار<sup>۱۸</sup> و کنترل تداخل،<sup>۱۹</sup> و همچنین انعطاف‌پذیری شناختی<sup>۲۰</sup>. حافظه کاری یک سیستم شناختی است که امکان نگهداری بخش محدودی از اطلاعات ذخیره شده در حافظه کوتاه‌مدت را فراهم می‌کند (Diamond, 2013). به باور **آنتون<sup>۲۱</sup> و همکارانش** (2019)، دوزبانگی منابع حافظه فعال را برای کنترل زبان‌هایی که به صورت پیوسته برای گزینش رقابت می‌کنند، به کار می‌گیرد. **دکلرک و کخ<sup>۲۲</sup>** (2023) هم اذعان داشتند که کنترل بازداری<sup>۲۳</sup> در افراد دوزبان‌ها مستلزم فعالیت زبان غیرهدف<sup>۲۴</sup> است که بیشتر مهار شده بود. آن‌ها در یک مقاله مروری نظام‌مند (2023)، که فراتر از مقالات مروری پیشین (از جمله

<sup>1</sup> quantitative mapping

<sup>2</sup> tissue

<sup>3</sup> developmental stuttering

<sup>4</sup> iron content

<sup>5</sup> C. Montag

<sup>6</sup> Diffomorphic Anatomical Registration Through Exponentiated Lie algebra

<sup>7</sup> gray matter volume

<sup>8</sup> Foreign Accent Syndrome (FAS)

<sup>9</sup> Age of Acquisition (AoA)

<sup>۱۱</sup> دوزبان‌ها متوازن به کسی اطلاق می‌گردد که تسلطش به هر دو زبان یکسان باشد (پورمحمد، ۱۳۹۷).

<sup>11</sup> Turkish-Persian

<sup>12</sup> Spatial resolution

<sup>13</sup> Noninvasive

<sup>14</sup> Executive functions (EFs)

<sup>15</sup> A. Miyake

<sup>16</sup> Overlapping

<sup>17</sup> Working memory (WM)

<sup>18</sup> Inhibition

<sup>19</sup> Interference control

<sup>20</sup> Cognitive flexibility

<sup>21</sup> E. Antón

<sup>22</sup> M. Declerck & I. Koch

<sup>23</sup> Inhibitory

<sup>24</sup> Non-target language

کنترل زبان بود، چهار اثر اصلی برای بازداری در افراد دوزبانه را فهرست کردند که شامل (۱) بار نامتقارن زبان‌گردانی،<sup>۱</sup> (۲) بار تکرار زبان ان-۲،<sup>۲</sup> (۳) اثر معکوس تسلط زبان<sup>۳</sup> و اثر ترتیب زبان مسدود<sup>۴</sup> بود. **دکلرک و کخ** (2023) معتقدند شواهد تجربی سازگار با اثر بار نامتقارن زبان‌گردانی بسیار ناکافی هستند (استدلالات بیشتر از حوصله مقاله حاضر خارج است اما خوانندگان کنجکاو می‌توانند برای توضیحات بیشتر به منبع اصلی رجوع کنند). دومین اثر، مربوط به شرایطی است که مستلزم زبان‌گردانی بین سه زبان در یک بلوک زبان مختلط<sup>۵</sup> است. سومین اثر، بین دو زبان در بلوک زبان مختلط رخ می‌دهد (مثلاً عملکرد ضعیف‌تر زبان اول در مقایسه با زبان دوم در شرایط زبان مختلط) و موجب فعالیت بیشتر زبان دوم نسبت به زبان اول می‌شود. چهارمین اثر نیز مستلزم عملکرد بهتر/ضعیف‌تر دو زبان مختلف در بلوک‌های تک‌زبانۀ جداگانه است. در همین راستا، **رومن و گومز-گومز**<sup>۶</sup> (2022) استدلال کردند که در دوزبانه‌های متأخر زبان مادری به عنوان زبان غالب عمل می‌کند و به کارگیری زبان دوم فرآیندهای بازداری را برای تسهیل بازیابی بازنمایی‌های 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.

پژوهش حاضر با محوریت زبان‌های ترکی و فارسی اجرا شد. این دو زبان از مشخصه‌های دستوری مشترکی برخوردارند که عامل مهمی در کنترل پردازش زبان دوم محسوب می‌شود. هر دو زبان در حالت بی‌نشان دارای ترتیب فاعل-مفعول-فعل<sup>۷</sup> هستند و از ویژگی‌های نحوی خاصی مانند مطابقت فعلی<sup>۸</sup> پیروی می‌کنند. مطابقت فاعل-فعل در زبان‌های فارسی و ترکی مستلزم تطابق مشخصه‌های شخص و شمار است و افعال به صورت اجباری با فاعل جاندار در مشخصه‌های شخص و شمار مطابقت برقرار می‌کنند. مطالعات مروری پیشین نیز بر این موضوع صحه گذاشته‌اند که در زبان‌هایی با ویژگی‌های رده‌شناختی مشابه، احتمال بروز بازنمایی‌های عصب کالبدشناختی همگرا بیشتر است (Polczyńska & Bookheimer, 2021; Roncaglia-Denissen & Kotz, 2016). به عنوان مثال، دوزبانه‌های یونانی-انگلیسی (Pliatsikas et al., 2014) و آلمانی-ایتالیایی (Wartenburger et al., 2003) نیز که از تشابهات رده‌شناختی برخوردار هستند، هم‌پوشانی‌های عصب کالبدشناختی را نشان می‌دهند. این مشاهدات در راستای فرضیه‌ی نحو مشترک<sup>۹</sup> (Hartsuiker et al., 2004) است که استدلال می‌کند دوزبانه‌ها بازنمایی‌ها را بین زبان‌ها به اشتراک می‌گذارند، مادامیکه بازنمایی‌های نحوی بین زبان‌ها مشابه باشند. اینک، نگارندگان حاضر درصدد هستند تا عملکرد ناحیه مغزی پوتامن را که در دوزبانه‌های ترکی-فارسی مطالعه می‌کند و همکاران (2021) شناسایی شده بود، بررسی نماید. مشخصاً، پرسش اصلی بازتحلیل<sup>۱۰</sup> حاضر این است که نحوه عملکرد ناحیه پوتامن در نیمکره‌های چپ و راست در حین پردازش همزمان زبان اول و دوم چگونه است؟ بدین ترتیب، مطالعه حاضر با هدف بررسی فعالیت ناحیه پوتامن در درک جملات زبان اول و دوم با روش fMRI در افراد دوزبانه ترکی-فارسی که در سن ۷ سالگی زبان دوم را به طور رسمی آموخته بودند اجرا خواهد شد. بر مبنای آگاهی نویسندگان حاضر، سابقاً مطالعه‌ای با این هدف در زبان‌های ایرانی انجام نشده است که اجرای آن را ناگزیر می‌نماید.

### ۳. روش پژوهش

در مطالعه حاضر، داده‌های fMRI که توسط **میکده و همکارانش** (2021) گزارش شده بود، بازتحلیل شد. در پژوهش اصلی فعالیت ناحیه پوتامن در افراد دوزبانه شناسایی شد. در مطالعه فعلی، نگارندگان درصددند تا الگوی فعالیت این ناحیه مغزی را برای هر دو زبان اول و دوم بررسی کنند.

<sup>1</sup> Asymmetrical switch costs

<sup>2</sup> n-2 language repetition costs

<sup>3</sup> reversed language dominance

<sup>4</sup> blocked language order effect

<sup>5</sup> mixed-language block

<sup>6</sup> P. Román & I. Gómez-Gómez

<sup>7</sup> Subject-object-verb (SOV)

<sup>8</sup> Verbal agreement

<sup>9</sup> Shared syntax account

<sup>10</sup> Reanalysis

### ۳-۱. شرکت کنندگان

پژوهش حاضر در زمره تحقیقات بنیادی-کاربردی قرار دارد. در یک فراخوان در سال ۱۳۹۸، دانشجویان دوزبانه ترکی-فارسی مقطع دکتری دانشگاه‌های دولتی در شهر تهران دعوت به همکاری شدند. از بین داوطلبان، تعداد ۳۶ نفر (۲۱ زن و ۱۵ مرد به ترتیب با میانگین سنی و انحراف معیار  $27/71 \pm 3/5$  و  $26/87 \pm 2/97$ ، در محدوده سنی ۲۲-۳۴ سال) با روش نمونه‌برداری هدفمند انتخاب شدند. همه افراد سالم، راست‌دست و فاقد اختلالات شنوایی، زبانی و روانی بودند. داشتن والدین ترک‌زبان، متولد و ساکن استان‌های ترک‌زبان ایران (از جمله تبریز، ارومیه، اردبیل و زنجان) تا سن ۷ سالگی، حداقل ۵ سال سکونت در شهرهای فارسی‌زبان و شروع آموزش رسمی زبان فارسی در سن ۷ سالگی ملاک‌های ورود به مطالعه بودند. پس از غربالگری اولیه، افراد ملزم به شرکت در جلسه ارزیابی رفتاری شدند که در گروه زبان‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس برگزار شد. در این جلسه که به‌طور میانگین ۲ ساعت برای هر شرکت‌کننده به درازا کشید، آیت‌های (۱) سنجش ظرفیت حافظه فعال، (۲) خودارزیابی بسندگی در زبان فارسی و ترکی، (۳) شبه‌آزمون قضاوت دستوری‌بودگی، (۴) ارزیابی موقعیت اجتماعی-اقتصادی هر فرد (۵) میزان تسلط به دو زبان و (۶) مصاحبه به زبان ترکی و فارسی توسط مصاحبه‌گران فارسی-زبان و ترکی-زبان اجرا شد. افراد منتخب در این مرحله برای انجام آزمایش fMRI به آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز ارجاع داده شدند (برای جزئیات بیشتر میکده و زومر، ۱۴۰۲؛ میکده، زومر، بتولی، ۱۴۰۲؛ میکده، زومر و بتولی، ۱۴۰۲ الف؛ b Meykadeh, et al. 2023 را ببینید). حضور همه افراد با رضایت کتبی و دریافت حق‌الزحمه بود. پژوهش حاضر مورد تصویب کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران (مطابق با اعلامیه هلسینکی) و دارای کد IR.IUMS.REC.1398.465 است.

### ۳-۲. مواد آزمون

مواد آزمون برگرفته از مطالعه میکده و همکاران (2021) است. هدف از این آزمون قضاوت دستوری‌بودگی شنیداری، 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 فعل-فاعل بودند. زمان گذشته ساده افعال (بدون هیچ فعل کمکی) استفاده شد. در محرک‌های درست، فاعل اول و سوم شخص مفرد با افعال اول و سوم شخص مفرد و فاعل اول و سوم شخص جمع با افعال اول و سوم شخص جمع همراه بودند. در مقابل، در 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 (جدول ۲) (لیست کامل محرک‌های آزمون در میکده، گلفام، بتولی و زومر، 2023 a) در دسترس است.

جدول ۱- مثال‌هایی از مواد آزمون در زبان ترکی و فارسی با حرف‌نویسی و ترجمه انگلیسی برگرفته از میکده و همکاران،

۲۰۲۱

**Table 1- Examples for sentence materials in Turkish and Persian with Transliterations and Literal Translations** (adapted from Meykadeh et al., 2021)

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

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

### ۳-۳. نحوه اجرای آزمون

در بستر نرم‌افزار سایکوپای<sup>۱</sup>، محرک‌های آزمون دستوری بودگی شنیداری طراحی و از طریق هدفون پخش شد. شرکت‌کنندگان ملزم بودند تا براساس دستوری/نادستوری بودن محرک‌ها واکنش خود را ثبت کنند. با به‌کارگیری الگوی تحریک وابسته به رویداد<sup>۲</sup> که شامل ۴ بلوک<sup>۳</sup> جملات شنیداری و ۴ بازه استراحت<sup>۴</sup> بود، آزمون اجرا شد. هر بلوک متشکل از ۳۲ بخش<sup>۵</sup> بود. برای ثبت پاسخ همودینامیکی<sup>۶</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<sup>۳</sup> - ثانیه‌ای و مرحله پاسخ ۴، ۵ یا ۶ - ثانیه‌ای بود. برای ارائه محرک‌ها پارادایم زبان-گردانی جایگزین<sup>۷</sup> به‌کار گرفته شد، به گونه‌ای که جملات دو زبان در هر بلوک به‌طور پیوسته تغییر می‌کرد (به‌طور مثال، زبان اول، زبان دوم، زبان اول، زبان دوم و ...) در حالیکه محرک‌های دستوری - نادستوری به‌طور تصادفی توزیع شدند. مدت زمان اجرای آزمون با احتساب مرحله آماده‌سازی حدود ۳۵ دقیقه بود (برای جزئیات بیشتر به میکده و زومر، (۱۴۰۲)؛ میکده، زومر، بتولی، (۱۴۰۲)ب) و میکده، زومر، بتولی، (۱۴۰۲) الف) مراجعه شود).

### ۳-۴. پروتکل تصویربرداری

داده‌های تصویری در میدان مغناطیس ۳ تسلا با کویل سر ۲۰ کاناله<sup>۸</sup> در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز اخذ شد. از هر شرکت‌کننده یک تصویر ساختاری و یک تصویر عملکردی در یک جلسه گرفته شد. تصویر ساختاری با قدرت تفکیک بالا با استفاده از توالی سه‌بعدی اکو گرایانت سریع مغناطیس آماده‌شده<sup>۹</sup> (به صورت اسلایس‌های ساجیتال،  $TE = 3.53 \text{ ms}$ ،  $TR = 1800 \text{ ms}$ ، زاویه فلیپ ۷ درجه، ضخامت اسلایس ۱ میلی‌متر، اندازه و کسل  $1 \times 1 \times 1$  میلی‌متر مکعب، اندازه ماتریس  $256 \times 256$ ، زاویه دید ۲۵۶ میلی‌متر مربع، دیرش ۵ دقیقه) و تصویر عملکردی به روش EPI<sup>۱۰</sup> ( $TE = 30 \text{ ms}$ ،  $TR = 3000 \text{ ms}$ ، زاویه فلیپ ۹۰ درجه، ضخامت اسلایس ۳ میلی‌متر، اندازه و کسل  $3 \times 3 \times 3$  میلی‌متر مکعب، اندازه ماتریس  $64 \times 64$ ، زاویه دید ۱۹۲ میلی‌متر مربع، دیرش ۱۲۹۰ ثانیه،  $430$  والیوم<sup>۱۱</sup>، هر والیوم ۴۵ اسلایس) اخذ شد.

### ۳-۵. پیش‌پردازش تصاویر

در راستای مطالعه میکده و همکاران (2021)، پیش‌پردازش تصاویر به شرح زیر و با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزار FSL مدل ۶/۰۰ مجموعه<sup>۱۱</sup> FMRI انجام شد: (۱) حذف مجسمه و استخراج قشر مغز؛ (۲) انطباق داده ساختاری T1-MPRAGE بر روی اطلس MNI و سپس انطباق داده‌های عملکردی بر آن؛ (۳) تصحیح حرکت سر؛<sup>۱۲</sup> (۴) تصحیح زمان‌بندی برش‌ها<sup>۱۳</sup> با استفاده از درون‌یابی فوریه (۵) نرم کردن مکانی<sup>۱۴</sup> توسط فیلتر کرنل گوسی با FWHM برابر با ۶ میلی‌متر (۶) نرمال کردن<sup>۱۵</sup> دامنه همه حجم‌ها در هر نقطه زمانی بر پایه شدت میانگین؛ (۷) فیلتر کردن زمانی<sup>۱۶</sup> توسط فیلتر بالاگذر گوسی با سیگمای ۵۰ ثانیه و (۸) حذف مؤلفه‌های نویز از تصاویر پیش‌پردازش شده با استفاده از روش ICA. نهایتاً، از مدل خطی عمومی<sup>۱۷</sup> جهت تجزیه و تحلیل سطح اول (اجرای فردی) و دوم (اجرای گروهی) استفاده

<sup>1</sup> psychoPy

<sup>2</sup> event-related design

<sup>3</sup> block

<sup>4</sup> resting period

<sup>5</sup> run

<sup>6</sup> hemodynamic baseline

<sup>7</sup> alternating language switching paradigm

<sup>8</sup> 20-channel head coil

<sup>9</sup> three-dimension magnetization-prepared rapid gradient-echo (MP-RAGE) sequence

<sup>10</sup> Volume

<sup>11</sup> www.fmrib.ox.ac.uk/fsl

<sup>12</sup> Head Motion Correction

<sup>13</sup> Slice Timing Correction

<sup>14</sup> Spatial Smoothing

<sup>15</sup> Normalization

<sup>16</sup> Temporal Filtering

<sup>17</sup> Generalized Linear Model (GLM)



شد. با استفاده از مدل تأثیر مخلوط،<sup>۱</sup> آنالیزهای بین گروهی انجام و وکسل‌هایی با z-stat بالای ۲/۳ و سطح معناداری کمتر از  $p < ۰/۰۵$  به صورت وکسل فعال تشخیص داده شد. فقط جملاتی که به آن‌ها پاسخ درست داده شده بود، در چرخه تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

### ۳-۶. روش تحلیل آماری

هم‌راستا با مطالعه میکده و همکاران (2021) و به منظور تعیین نقش ناحیه پوتامن در درک زبان اول و دوم در افراد دوزبانه نخست آنالیزی با رویکرد کل-مغز انجام شد. در ادامه، درصد تغییرات سیگنال<sup>۲</sup> به عنوان معیار «شدت»<sup>۳</sup> برای هر شرکت کننده در ناحیه پوتامن مطابق با اطلس هاروارد-آکسفورد<sup>۴</sup> در FSL محاسبه شد. درصد تغییرات سیگنال به عنوان متغیر وابسته و دستوری بودگی (دستوری، نادستوری) و زبان (زبان اول = ترکی، زبان دوم = فارسی)، نیمکره (چپ، راست) به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. بررسی تغییرات شدت سیگنال در زبان اول و دوم با آزمون تحلیل واریانس<sup>۵</sup> با اندازه‌گیری‌های مکرر<sup>۶</sup>  $۲ \times ۲ \times ۲$  و آزمون تعقیبی<sup>۷</sup> T نمونه‌های زوجی<sup>۸</sup> صورت گرفت.

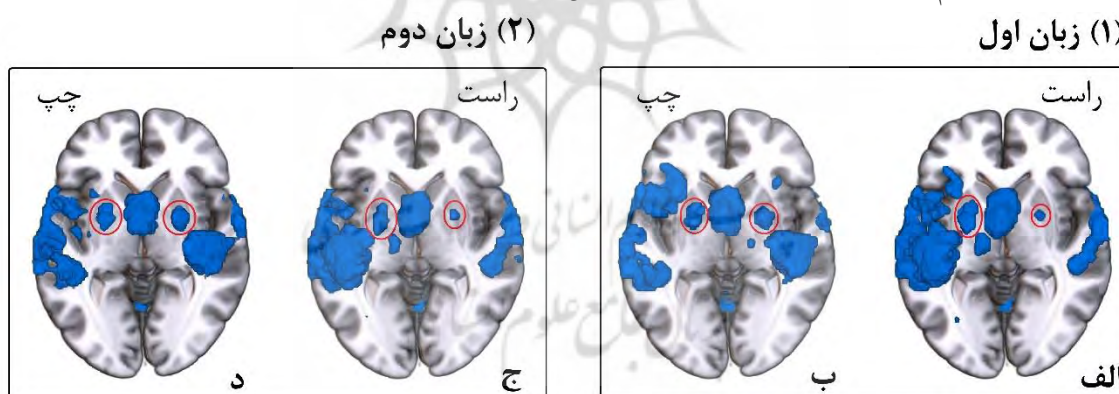
### ۴. نتایج

#### ۴-۱. نتایج رفتاری

نتایج رفتاری شرکت کنندگان شامل زمان واکنش به محرک‌ها و نرخ پاسخ صحیح در مطالعه اصلی (Meykadeh et al., 2021) در دسترس است.

#### ۴-۲. نتایج فعالیت کل-مغز

فعالیت گسترده معنادار سیگنال BOLD در حین ارائه محرک‌های دستوری (الف) و نادستوری (ب) زبان اول (۱) و محرک‌های دستوری (ج) و نادستوری (د) زبان دوم (۲) در ناحیه پوتامن مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین فعالیت مغزی هنگام ارائه محرک‌های شنیداری (الف) دستوری و (ب) نادستوری زبان اول (۱) و محرک‌های شنیداری (ج) دستوری و (د) نادستوری زبان دوم (۲). دایره‌های قرمز رنگ، ناحیه پوتامن در نیمکره چپ و راست را نشان می‌دهد.

**Fig 1-** whole-brain activation during presentation of auditory stimuli for (1) L1 and (L2) in two conditions: (A and C) Grammatical (B and D) Ungrammatical. Red circles indicated the left and right putamen.

<sup>1</sup> Mixed effects

<sup>2</sup> Percent Signal Changes (PSC)

<sup>3</sup> Intensity

<sup>4</sup> Harvard-Oxford Atlas

<sup>5</sup> Analysis of Variance

<sup>6</sup> Repeated-measures design

<sup>7</sup> Post-Hoc test

<sup>8</sup> Paired-samples T Test

همبسته‌های عصبی هر وضعیت در زبان اول و دوم برای ناحیه پوتامن در جدول ۲ ارائه شد.

### جدول ۲- فعالیت ناحیه پوتامن در سطح کل-مغز به تفکیک هر محرک، نیمکره و زبان نسبت به خط مبدا

**Table 2-** The activity of Putamen at the Whole-Brain level per stimuli, hemisphere and language relative to the baseline

z-max	همبسته‌ها <sup>۱</sup>			وضعیت دستوری	نیمکره	زبان
	z	y	x			
۵/۱۴	۲	-۱۰	-۳۲	دستوری	چپ	اول
۶/۵۵	۴	۲	-۲۴	نادستوری		
۳/۷۷	۶	۲	۲۴	دستوری	راست	اول
۴/۸	۶	-۴	۲۴	نادستوری		
۳/۵۹	۶	۰	-۲۶	دستوری	چپ	دوم
۴/۷۲	-۴	-۸	-۳۰	نادستوری		
۳/۱۶	۶	۰	۲۶	دستوری	راست	دوم
۳/۹	۱۰	-۲	۲۲	نادستوری		

بدین ترتیب، در ادامه آنالیزی بر مبنای ناحیه مطلوب<sup>۲</sup> (پوتامن) اجرا خواهد شد تا الگوی فعالیت محرک‌ها و اثر دستوری‌بودگی در هر زبان در این ناحیه مغزی مشخص گردد (Poldrack, 2007).

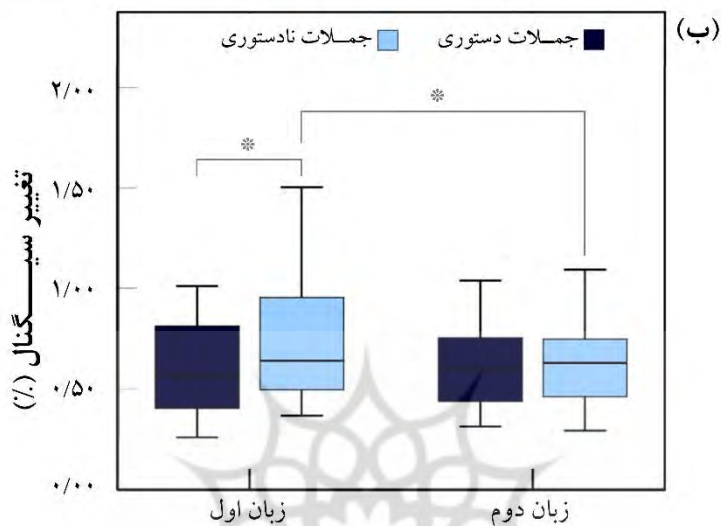
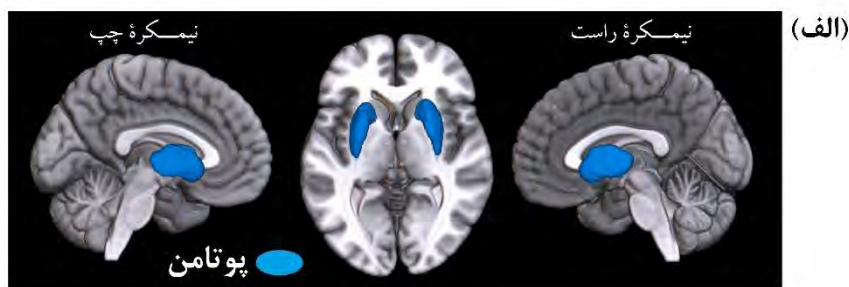
### ۳-۴. نتایج نواحی پوتامن

موقعیت ناحیه پوتامن در نیمکره چپ و راست در شکل ۲ الف نشان داده شد. نتایج تحلیل واریانس کلی نگر<sup>۳</sup> حاکی از معناداری عامل اصلی دستوری‌بودگی بود ( $F_{(1,34)} = 7/421$ ,  $p = 0/010$ ,  $\eta_p^2 = 0/184$ ). مشخصاً، درصد تغییر سیگنال جملات نادستوری ( $0/689$ ) در مقایسه با جملات دستوری ( $0/618$ ) بیشتر بود. عامل اصلی زبان هم با درصد تغییر سیگنال بیشتر برای زبان اول ( $0/680$ ) در مقایسه با زبان دوم ( $0/628$ ) به سطح معناداری رسید ( $F_{(1,34)} = 9/070$ ,  $p = 0/005$ ,  $\eta_p^2 = 0/216$ ). تعامل دو عامل دستوری‌بودگی  $\times$  زبان معنادار بود ( $F_{(1,34)} = 4/798$ ,  $p = 0/036$ ,  $\eta_p^2 = 0/127$ ). با در نظر گرفتن عامل دستوری‌بودگی، مشاهده شد که در زبان اول درصد تغییر سیگنال جملات نادستوری ( $0/752$ ) در مقایسه با جملات دستوری ( $0/628$ ) بیشتر بود ( $t_{(35)} = 3/270$ ,  $p = 0/002$ ), اما در زبان دوم اختلاف معناداری بین درصد تغییر سیگنال جملات نادستوری ( $0/639$ ) و دستوری ( $0/624$ ) مشاهده نشد ( $t_{(35)} = 0/486$ ,  $p = 0/630$ ) (جدول ۷). با در نظر گرفتن عامل زبان، مشاهده شد که در جملات نادستوری درصد تغییر سیگنال در زبان اول ( $0/752$ ) در مقایسه با زبان دوم ( $0/639$ ) بیشتر بود ( $t_{(35)} = 3/390$ ,  $p = 0/002$ ), اما در جملات دستوری هیچ تفاوتی بین درصد تغییر سیگنال زبان اول ( $0/628$ ) و راست ( $0/624$ ) مشاهده نشد ( $t_{(35)} = 0/153$ ,  $p = 0/879$ ). عامل نیمکره و سایر تعامل‌ها نیز به سطح معناداری نرسیدند ( $F_s < 1$ ). عامل و تعامل‌های معنادار در قالب نمودار جعبه‌ای در شکل ۲ب به تصویر کشیده شد.

<sup>1</sup> Coordinates

<sup>2</sup> ROI-based

<sup>3</sup> Omnibus ANOVA



شکل ۲- (الف) موقعیت ناحیه پوتامن. (ب) نمودارهای جعبه‌ای (جعبه و خط) درصد تغییر سیگنال به تفکیک هر زبان (زبان اول = زبان ترکی؛ زبان دوم = زبان فارسی). نمودارهای جعبه و خط، میانه<sup>۲</sup> (خطوطی که جعبه را به دو نیم تقسیم می‌کند)، چارک‌های<sup>۳</sup> اول (صدک ۲۵) و سوم (صدک ۷۵) (جعبه‌ها)، و صدک‌های<sup>۴</sup> ۵<sup>ام</sup> و ۹۵<sup>ام</sup> (خطوط) درصد تغییرات سیگنال را در حین تکلیف نحوی نشان می‌دهد. علامت ستاره نشانه معناداری است.

**Fig 2-** (A) Locations of Putamen (blue), (B) Box plots of percent signal change (%SC) values, per language (L1 = Turkish; L2 = Persian). Significant effects are indicated by asterisks. Box-and-whisker plots depict the median (the line that divides the box into two parts and marks the mid-point of the data) and the 25th and 75th quartiles (boxes) and the 5th and 95th percentiles (whiskers) of PSC during the morphosyntactic task.

با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون<sup>۵</sup>، رابطه بین متغیرهای نمرات حافظه فعال و درصد تغییرات سیگنال در جملات دستوری و نادرستی زبان اول و دوم در ناحیه پوتامن چپ و راست بررسی و نتایج آن در جدول ۳ و شکل ۳ نشان داده شد. هیچ ارتباط معناداری بین نمرات حافظه فعال و درصد تغییرات سیگنال در دوزبانه‌های ترکی-فارسی مشاهده نشد.

<sup>1</sup> Box-and-Whisker plot

<sup>2</sup> Median

<sup>3</sup> Quartile

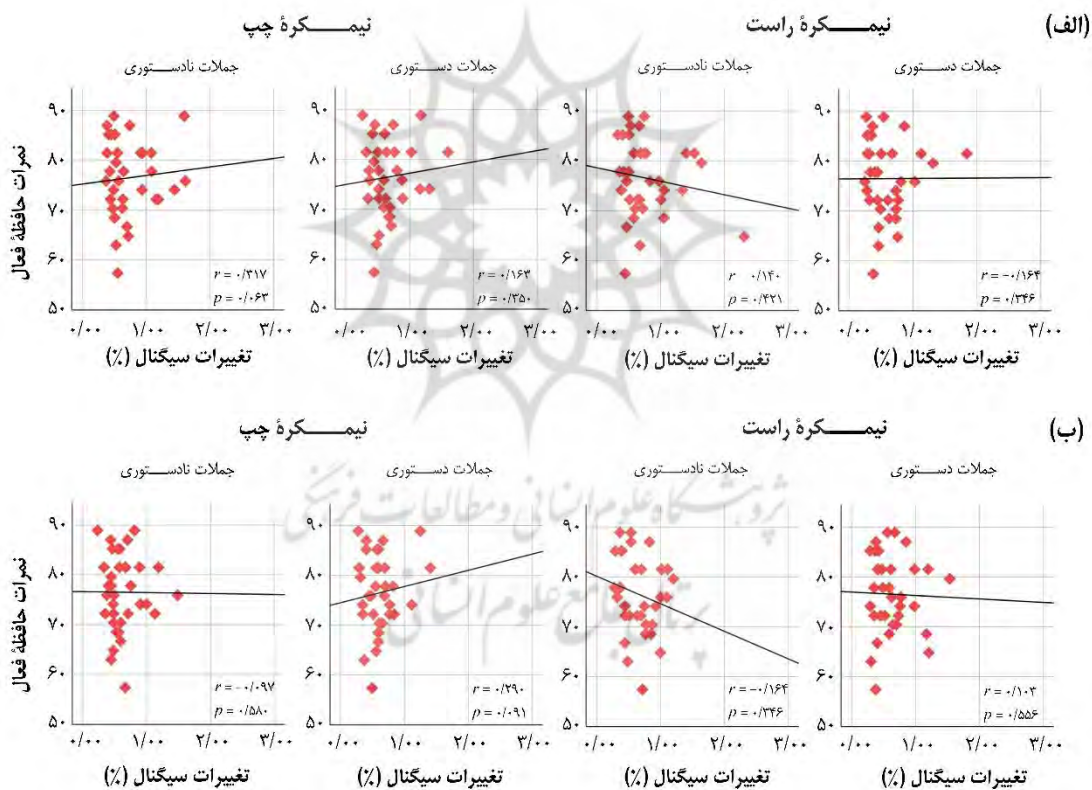
<sup>4</sup> Percentiles

<sup>5</sup> Pearson correlation coefficient

**جدول ۳- ضریب همبستگی بین نمرات آزمون حافظه فعال و درصد تغییرات سیگنال هر وضعیت در دو زبان.**

**Table 3- Correlation coefficient between WM scores and Percent Signal Changes per condition and language**

درصد تغییر سیگنال								آماره‌ها	متغیر
زبان دوم				زبان اول					
نیمکره چپ		نیمکره راست		نیمکره چپ		نیمکره راست			
وضعیت نادستوری	وضعیت دستوری	وضعیت نادستوری	وضعیت دستوری	وضعیت نادستوری	وضعیت دستوری	وضعیت نادستوری	وضعیت دستوری		
-۰/۰۹۷	۰/۲۹۰	-۰/۱۶۴	۰/۱۰۳	۰/۳۱۷	۰/۱۶۳	۰/۱۴۰	-۰/۱۶۴	ضریب همبستگی (r)	نمرات حافظه فعال
۰/۵۸۰	۰/۰۹۱	۰/۳۴۶	۰/۵۵۶	۰/۰۶۳	۰/۳۵۰	۰/۴۲۱	۰/۳۴۶	سطح معناداری (sig)	
۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	۳۶	تعداد افراد (N)	



**شکل ۳- نمودار پراکنش بین متغیرهای نمرات حافظه فعال و درصد تغییرات سیگنال در ناحیه پوتامن چپ و راست برای (الف) زبان اول و (ب) دوم به ازای هر وضعیت دستوری/نادستوری.**

**Fig 3- Scatter plots showing the relationship between WM scores and Percent Signal Changes at left and right Putamen for (a) L1 and (b) L2 per condition.**

## ۵. بحث و نتیجه گیری

هدف از مطالعه حاضر بررسی عملکرد ناحیه پوتامن چپ و راست برای درک نحوی جملات زبان اول و دوم در دوزبان‌های متوازن ترکی-فارسی بود.

یافته‌های سطح کل-مغز، فعالیت ناحیه پوتامن را در حین درک نحوی جملات در افراد دوزبان‌ه متوازن نشان داد (شکل ۱ و جدول ۲ را ببینید) که مؤید تحقیقات پیشین در حوزه دوزبانگی، تک‌زبانگی و آسیب‌شناختی است (به بخش مقدمه مراجعه گردد). این یافته به طور بالقوه بر ارتباط هسته پوتامن - به‌عنوان یک ساختار زیرقشری - با نواحی قشری مغز نیز صحنه می‌گذارد (سعیدی بروجنی و والیانی، ۱۳۹۴)؛ زیرا به‌طور همزمان فعالیت نواحی نحو-ویژه پارس آپرکولایس و شکنج فوقانی گیجگاهی خلفی در نیمکره چپ مغز نیز در دوزبان‌های حاضر شناسایی شد (Meykadeh et al., 2021). شواهد متقنی نیز از مطالعات بالینی وجود دارد که نشان می‌دهد در بیماران مبتلا به لکت رشدی، غلظت آهن در پوتامن چپ و نواحی مرتبط در قشر پیشانی<sup>۱</sup> به طور فزاینده‌ای افزایش داشته است (Cler et al., 2021). برخلاف کلر و همکارانش (2021) شواهد دیگری وجود دارد که نشان می‌دهد لکت زبان با حجم بیشتر پوتامن راست مرتبط است (Montag et al., 2019). بنابراین، فارغ از تنوعات و تفاوت‌های روش‌شناختی حاکم بر این مطالعات، می‌توان نتیجه گرفت که به احتمال زیاد پوتامن چپ و راست در پردازش زبان ایفای نقش می‌کنند. هم راستا با پژوهش حاضر و در بافت دوزبانگی نیز، سابقاً فعالیت پوتامن چپ و راست و شکنج پیشانی تحتانی<sup>۲</sup> (که پارس آپرکولاریس به آن تعلق دارد) در حین پردازش نحوی در دوزبان‌های تأخیری آلمانی-ایتالیایی گزارش شده بود (Wartenburger et al., 2003). در حالی که در دوزبان‌های زود هنگام فرانسوی-انگلیسی که به بسندگی بالایی در هر دو زبان دست یافته بودند، صرفاً حساسیت پوتامن چپ به جملات زبان اول و دوم مشاهده شد (Frenck-Mestre et al., 2005). در هر دو مطالعه<sup>۳</sup> و همکاران (2003) و فرنک-مستره<sup>۴</sup> و همکاران (2005) محرک‌ها به صورت دیداری ارائه شدند و وجه تمایز این دو تحقیق سن یادگیری زبان دوم و بالتبع آن میزان بسندگی شرکت‌کنندگان است. لذا، می‌توان استدلال کرد که فعالیت محدودتر پوتامن می‌تواند انعکاس بسندگی بالای دوزبان‌ها باشد. به عبارتی دیگر، در شرایطی که فرد دوزبان از بسندگی کمتری برخوردار است، فعالیت نواحی مغزی گسترده‌تر خواهد بود که در مورد دوزبان‌های ترکی-فارسی حاضر نیز می‌تواند صدق می‌کند. افزون بر این، نمرات حافظه فعال با درصد تغییرات سیگنال در ناحیه پوتامن همبستگی مثبت و معناداری را نشان نداد. این یافته‌ها می‌تواند نشان‌دهنده عدم دخالت منابع حافظه فعال در جهت برقراری وابستگی بین فعل و موضوعات آن در این ناحیه مغزی باشد. هر چند مطالعات آینده می‌توانند در درک بهتر این یافته نقش-آفرینی کنند.

دیگر دستاورد پژوهش حاضر مربوط به معناداری اثر دستوری بودگی (اختلاف محرک‌های نادرستی و دستوری) در زبان اول (شکل ۲) و اختلاف معنادار جملات نادرستی زبان اول و جملات نادرستی زبان دوم (به پیشنهاد Mancini et al., 2017) است که صرف نظر از نوع نیمکره فعال مشاهده شد. این یافته در راستای نتایج رفتاری دوزبان‌های حاضر است که نشان داد دوزبان‌های ترکی-فارسی نه تنها زمان بیشتری را برای پردازش جملات زبان اول در مقایسه با زبان دوم صرف کردند، بلکه با نرخ خطای بیشتری زبان اول را پردازش کردند که منجر به فعالیت مغزی گسترده‌تر برای زبان اول شد (Meykadeh et al., 2021). در همین راستا، وانگ<sup>۵</sup> و همکارانش (2009) در یک مطالعه fMRI، عملکرد دوزبان‌های چینی (زبان اول)-انگلیسی (زبان دوم) را در حین تکلیف نام‌بردن اعداد از ۱ تا ۹ به صورت بی‌صدا<sup>۶</sup> به زبانهای چینی/انگلیسی در بلوک‌های (۱) منفرد<sup>۷</sup> چینی، (۲) منفرد انگلیسی و (۳) آمیخته<sup>۸</sup> چینی و انگلیسی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که نه تنها برخلاف بلوک‌های منفرد، بلوک آمیخته موجب فعالیت شکنج پیشانی، پیش‌پیشانی میانی<sup>۹</sup> و پیشانی تحتانی دوجانبه<sup>۱۰</sup> شد، بلکه زبان اول در

<sup>1</sup> Frontal cortex

<sup>2</sup> Inferior frontal gyrus

<sup>3</sup> I. Wartenburger

<sup>4</sup> C. Frenck-Mestre

<sup>5</sup> Y. Wang

<sup>6</sup> Silent

<sup>7</sup> Single

<sup>8</sup> Mixed

<sup>9</sup> Middle prefrontal

<sup>10</sup> Bilateral

مقایسه با زبان دوم در بلوک آمیخته عملکرد بهتری داشت. نتایج پژوهش وانگ و همکارانش نشان داد که کنترل زبان در بلوک‌های منفرد و آمیخته الگوهای متفاوت فعالیت مغزی را ایجاد می‌کند. **دکترک و کنج** (2023) این اثر را به عنوان «اثر استاندارد تسلط زبان»<sup>۱</sup> معرفی کردند که برخلاف «اثر معکوس تسلط زبان» است که در نتیجه عملکرد بهتر زبان دوم در مقایسه با زبان اول در بلوک زبان مختلط پدیدار می‌شود.

نهایتاً بر مبنای یافته‌های حاضر نگارندگان این مقاله ادعان می‌کنند که دوزبانه‌های ترکی-فارسی که در سن ۷ سالگی زبان فارسی را به‌عنوان زبان دوم آموخته بودند، فعالیت ناحیه پوتامن چپ و راست را در درک شنیداری جملات زبان اول و دوم برانگیختند. افزون بر این، حساسیت بیشتر ناحیه پوتامن برای زبان اول در مقایسه با زبان دوم مشاهده شد که می‌تواند دال بر تسلط بیشتر دوزبانه‌های ترکی-فارسی به زبان اولشان باشد. لازم به ذکر است که مطالعه حاضر با محدودیت‌هایی نیز مواجه بود. اول، عدم دسترسی به آزمون‌های استاندارد بسندگی<sup>۲</sup> در زبان فارسی و ترکی. هر چند در مطالعه حاضر تلاش شد تا با کمک آزمون‌های رفتاری، جامعه آماری نزدیک به ایده‌آل برگزیده شود؛ اما سهم آزمون‌های استاندارد علاوه بر آزمون‌های رفتاری قابل انکار نیست. دوم، تعداد تقریباً ناکافی نمونه حاضر. نمونه آماری بزرگتر در مطالعات آینده می‌تواند بینش ما را درباره موضوع حاضر ارتقا دهد. سومین محدودیت مربوط به تکنیک تصویربرداری در مطالعه حاضر است. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که نویز دستگاه fMRI می‌تواند بر فعالیت مغز تأثیر بگذارد. لذا، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی با به‌کارگیری آزمون‌های معادل دیداری، فعالیت ناحیه پوتامن در افراد دوزبانه بررسی گردد.

## تشکر و قدردانی

این پژوهش برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول این مقاله بوده که با حمایت مالی ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی به شماره ۷۴۰۱ انجام شده است. ضمناً، این پروژه از حمایت مالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ایران برای تکمیل اهداف پروژه در دانشگاه هومبولت آلمان<sup>۳</sup> تحت راهنمایی نویسنده دوم این مقاله برخوردار بوده است؛ بدین وسیله از همکاری آن سازمان متبوع قدردانی می‌شود.

## منابع فارسی

- پورمحمد، محمد. (۱۳۹۷). روان‌شناسی زبان. تهران: سمت.
- سعیدی بروجنی، محمد جواد و والیانی، علی. (۱۳۹۴). مروری بر تأثیرات نوروپاتولوژیک هسته‌های قاعده‌ای در بروز اختلال لکنت. پژوهش در علوم توانبخشی (۱۱(۴)، ۳۰۱-۳۰۷.
- میکده، سیمین. (۱۴۰۰). بررسی اثرات بسندگی زبان و سن یادگیری زبان دوم بر دستگاه عصبی برای پردازش صرفی-نحوی با استفاده از ERPs و fMRI، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- میکده، سیمین و زومر، ورنر. (۱۴۰۲). عدم تفاوت‌های جنسیتی در پردازش مشخصه‌های فای در افراد دوزبانه متوازن: مطالعه‌ای بر پایه تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی (fMRI). پژوهش‌های زبان‌شناسی تطبیقی (۱۳(۱)، ۱۰۹-۱۳۱.
- میکده، سیمین؛ زومر، ورنر و بتولی، سید امیر حسین. (۱۴۰۲ الف). تالاموس و دوزبانگی: شواهدی از fMRI. زبان‌شناسی و گویش‌های خراسان (۳) ۱۵.
- میکده، سیمین؛ زومر، ورنر و بتولی، سید امیر حسین. (۱۴۰۲ ب). مخچه و مطابقت دستوری در دوزبانه‌ها: شواهدی از قضاوت دستوری-بودگی با استفاده از fMRI. علم زبان، ۱۰(۱۸)، ۳۰۹-۳۴۲.

## References

- Abutalebi, J., Della Rosa, P. A., Gonzaga, A. K., Keim, R., Costa, A., & Perani, D. (2013). The role of the left putamen in multilingual language production. *Brain and language* 125(3), 307–315. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.03.009>
- Abutalebi, J., & Green, D. (2007). Bilingual language production: The neurocognition of language representation and

<sup>1</sup> Standard language dominance effect

<sup>2</sup> Standardized proficiency tests

<sup>3</sup> Humboldt-Universität zu Berlin

- control. *Journal of Neurolinguistics* 20, 242-275. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2006.10.003>
- Antón, E., Carreiras, M., & Duñabeitia, J. A. (2019). The impact of bilingualism on executive functions and working memory in young adults. *PLoS one* 14(2), e0206770. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206770>
- Bobb, S. C., & Wodniecka, Z. (2013). Language switching in picture naming: What asymmetric switch costs (do not) tell us about inhibition in bilingual speech planning. *Journal of Cognitive Psychology* 25(5), 568–585. <https://doi.org/10.1080/20445911.2013.792822>
- Calabria, M., Costa, A., Green, D. W., & Abutalebi, J. (2018). Neural basis of bilingual language control. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 10.1111/nyas.13879. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/nyas.13879>
- Callan, D. E., Jones, J. A., Callan, A. M., & Akahane-Yamada, R. (2004). Phonetic perceptual identification by native- and second-language speakers differentially activates brain regions involved with acoustic phonetic processing and those involved with articulatory-auditory/orosensory internal models. *NeuroImage* 22(3), 1182–1194. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.03.006>
- Callan, D. E., Tajima, K., Callan, A. M., Kubo, R., Masaki, S., & Akahane-Yamada, R. (2003). Learning-induced neural plasticity associated with improved identification performance after training of a difficult second-language phonetic contrast. *NeuroImage* 19(1), 113–124. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00020-x](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00020-x)
- Chan, A. H., Luke, K. K., Li, P., Yip, V., Li, G., Weekes, B., & Tan, L. H. (2008). Neural correlates of nouns and verbs in early bilinguals. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1145, 30–40. <https://doi.org/10.1196/annals.1416.000>
- Cler, G. J., Krishnan, S., Papp, D., Wiltshire, C. E. E., Chesters, J., & Watkins, K. E. (2021). Elevated iron concentration in putamen and cortical speech motor network in developmental stuttering. *Brain* 144(10), 2979–2984. <https://doi.org/10.1093/brain/awab283>
- Declerck, M., & Koch, I. (2023). The concept of inhibition in bilingual control. *Psychological Review* 130(4), 953–976. <https://doi.org/10.1037/rev0000367>
- Declerck, M., & Philipp, A. M. (2015). A review of control processes and their locus in language switching. *Psychonomic bulletin & review* 22(6), 1630–1645. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0836-1>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology* 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Dodel, S., Golestani, N., Pallier, C., Elkouby, V., Le Bihan, D., & Poline, J. B. (2005). Condition-dependent functional connectivity: syntax networks in bilinguals. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 360(1457), 921–935. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1653>
- Frenck-Mestre, C., Anton, J. L., Roth, M., Vaid, J., & Viallet, F. (2005). Articulation in early and late bilinguals' two languages: evidence from functional magnetic resonance imaging. *Neuroreport* 16(7), 761–765. <https://doi.org/10.1097/00001756-200505120-00021>
- Hartsuiker, R. J., Pickering, M. J., & Veltkamp, E. (2004). Is syntax separate or shared between languages? Cross-linguistic syntactic priming in Spanish-English bilinguals. *Psychological science* 15(6), 409–414. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00693.x>
- Higashiyama, Y., Hamada, T., Saito, A., Morihara, K., Okamoto, M., Kimura, K., Joki, H., Kishida, H., Doi, H., Ueda, N., Takeuchi, H., & Tanaka, F. (2021). Neural mechanisms of foreign accent syndrome: Lesion and network analysis. *NeuroImage. Clinical* 31, 102760. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2021.102760>
- Klein, D., Milner, B., Zatorre, R. J., Meyer, E., & Evans, A. C. (1995). The neural substrates underlying word generation: a bilingual functional-imaging study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 92(7), 2899–2903. <https://doi.org/10.1073/pnas.92.7.2899>
- Klein, D., Watkins, K. E., Zatorre, R. J., & Milner, B. (2006). Word and nonword repetition in bilingual subjects: a PET study. *Human brain mapping* 27(2), 153–161. <https://doi.org/10.1002/hbm.20174>
- Klein, D., Zatorre, R. J., Milner, B., Meyer, E., & Evans, A. C. (1994). Left putamen activation when speaking a second language: evidence from PET. *Neuroreport* 5(17), 2295–2297. <https://doi.org/10.1097/00001756-199411000-00022>
- Kroll, J. F., Bobb, S. C., Misra, M., & Guo, T. (2008). Language selection in bilingual speech: evidence for inhibitory processes. *Acta psychologica* 128(3), 416–430. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2008.02.001>
- Lerman, A., & Obler, L. K. (2017). Aging in bilinguals: Normal and abnormal. In A. Ardila, A. B. Cieślicka, R. R. Heredia & M. Rosselli (Eds.), *Handbook of Psychology of Bilingualism: The Cognitive and Emotional World of Bilinguals*. (Vol. 5) (pp. 189-210). Switzerland: Springer International Publishing, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-64099-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64099-0_8)
- Liu, H., Hu, Z., Guo, T., & Peng, D. (2010). Speaking words in two languages with one brain: neural overlap and dissociation. *Brain research* 1316, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.12.030>
- Mancini, S., Quiñones, I., Molinaro, N., Hernandez-Cabrera, J. A., and Carreiras, M. (2017). Disentangling meaning in the brain: Left temporal involvement in agreement processing. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior* 86, 140–155. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.11.008>
- Meschyan, G., & Hernandez, A. E. (2006). Impact of language proficiency and orthographic transparency on bilingual word reading: an fMRI investigation. *NeuroImage*, 29(4), 1135–1140. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.08.055>
- 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, 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, 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., & Sommer, W. (2023). No Sex Differences in Phi-Features Processing in Bilinguals: A Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) Study. *Journal of Comparative Linguistic Research* 13(25), 109-131. [In Persian].
- Meykadeh, S., Sommer, W., & Batouli, S. A. H. (2023a). Thalamus and bilingualism: Evidence from fMRI. *Journal of Linguistics & Khorasan Dialects* 15(3). [In Persian].
- Meykadeh, S., Sommer, W., & Batouli, S. A. H. (2023b). The cerebellum and grammatical agreement in bilinguals: Evidence from grammaticality judgments using fMRI. *Language Science* 10(18), 309-342. [In Persian].
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive psychology* 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Montag, C., Bleek, B., Reuter, M., Müller, T., Weber, B., Faber, J., & Markett, S. (2019). Ventral striatum and stuttering: Robust evidence from a case-control study applying DARTEL. *NeuroImage. Clinical* 23, 101890. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101890>
- Ogawa, S., Menon, R. S., Tank, D. W., Kim, S. G., Merkle, H., Ellermann, J. M., & Ugurbil, K. (1993). Functional brain mapping by blood oxygenation level-dependent contrast magnetic resonance imaging: A comparison of signal characteristics with a biophysical model. *Biophysical Journal* 64(3), 803-812. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(93\)81441-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(93)81441-3)
- Pillai, J. J., Araque, J. M., Allison, J. D., Sethuraman, S., Loring, D. W., Thiruvaiyaru, D., Ison, C. B., Balan, A., & Lavin, T. (2003). Functional MRI study of semantic and phonological language processing in bilingual subjects: Preliminary findings. *NeuroImage* 19(3), 565–576. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00151-4](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00151-4)
- Pliatsikas, C., Johnstone, T., & Marinis, T. (2014). fMRI evidence for the involvement of the procedural memory system in morphological processing of a second language. *PloS one* 9(5), e97298. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097298>
- Połczyńska, M. M., & Bookheimer, S. Y. (2021). General principles governing the amount of neuroanatomical overlap between languages in bilinguals. *Neuroscience and biobehavioral reviews* 130, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.08.005>
- Poldrack, R. A. (2007). Region of interest analysis for fMRI. *Social Cognitive and Affective Neuroscience* 2(1), 67-70. <https://doi.org/10.1093/scan/nsm006>
- Pourmohammad, M. (2019). *Psycholinguistics*. Tehran: samt. [In Persian].
- 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. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.757023>
- Roncaglia-Denissen M. P., & Kotz, S. A. (2016). What does neuroimaging tell us about morphosyntactic processing in the brain of second language learners? *Bilingualism: Language and Cognition* 19(4), 665-673. <https://doi.org/10.1017/S1366728915000413>
- Saeedi-Borujeni, M. J., & Valiani, A. (2015). A Review on the Neuropathological Effects of Basal Nuclei in the Pathogenesis of Stuttering. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences* 11(4), 301-307. [In Persian].
- Wang, Y., Kuhl, P. K., Chen, C., & Dong, Q. (2009). Sustained and transient language control in the bilingual brain. *NeuroImage* 47(1), 414–422. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.12.055>
- Wartenburger, I., Heekeren, H. R., Abutalebi, J., Cappa, S. F., Villringer, A., & Perani, D. (2003). Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron* 37(1), 159–170. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(02\)01150-9](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(02)01150-9)
- Xue, G., Chen, C., Jin, Z., & Dong, Q. (2006). Language experience shapes fusiform activation when processing a logographic artificial language: an fMRI training study. *NeuroImage* 31(3), 1315-1326. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.11.055>
- Xue, G., & Poldrack, R. A. (2007). The neural substrates of visual perceptual learning of words: Implications for the visual word form area hypothesis. *Journal of Cognitive Neuroscience* 19, 1643–1655. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.10.1643>