

بررسی میزان خودکارشدگی در پردازش نحوی در زبان فارسی: شواهدی از داده‌های الکتروانسفالگرافی

اسما نامداری^{۱*} (دانشجوی دکتری زبان‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس)
ارسلان گلفام^۲ (استاد گروه زبان‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس)
علی مطیع نصرآبادی^۳ (استاد گروه مهندسی پزشکی، دانشگاه شاهد)
علی خادم^۴ (استادیار گروه مهندسی برق، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۳، تاریخ انتشار: تابستان ۱۴۰۱

چکیده: زبان یک توانایی شناختی است که از نظامی خلاق و زایا به نام نحو برخوردار است. نحو به‌موجب تولید بی‌نهایت جمله حائز اهمیت ویژه‌ای در زبان است و تصور می‌شود انسان به‌صورت خودکار و بدون هوشیاری به تولید و درک جملات می‌پردازد. با توجه به اهمیت این مسئله، پژوهش حاضر میزان خودکارشدگی پردازش نحوی در زبان فارسی را بررسی می‌کند. برای این منظور، از ثبت پتانسیل‌های مرتبط با رخداد (ERP) توسط الکتروانسفالوگرافی که تفکیک‌پذیری زمانی برحسب هزارم ثانیه دارد، استفاده شده است. این پژوهش با اجرای یک آزمایش در محل آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز ایران و با حمایت مالی ستاد توسعه علوم و فناوری‌های شناختی بر روی سخنگویان فارسی‌زبان انجام شده است. در این آزمون با به‌کارگیری پارادایم چشمک‌زدن توجهی در یک تکلیف پردازش زبانی در قالب بافت‌های نحوی کوتاه و محدود، به بررسی میزان خودکارشدگی پردازش این بافت‌ها به‌کمک ثبت ERP با تعداد ۲۲ داوطلب (۱۰ نفر خانم و ۱۲ نفر آقا؛ با میانگین سنی ۲۳/۸ سال) پرداختیم. تجزیه و تحلیل سیگنال‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار EEGLab

1. namdariasma@modares.ac.ir

* نویسنده مسئول

2. golfamarsalan@gmail.com

3. nasrabadi@shahed.ac.ir

4 ali.khadem961@gmail.com

در برنامه متلب انجام شد. نتایج آزمون نشان داد که پردازش نحوی فرایندی خودکار نیست بلکه یک فرایند کنترل‌شده ذهنی است و به‌صورت هوشیارانه انجام می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: پردازش نحوی، خودکارشدگی، الکتروانسفالوگرافی، زبان فارسی.

۱ مقدمه

تفسیر یک جمله شامل شناسایی روابط ساختاری بین کلمات و عبارات آن است. ساختار نحوی یک جمله از طریق تعیین نقش‌های دستوری و نقش‌های معنایی موضوعات مختلف فعل است که نشان می‌دهد که چه کسی چه کاری را انجام می‌دهد. پردازش نحوی، ساختار جمله را به‌طور پیوسته به‌وسیله اختصاص سریع واژه درک‌شده به عبارات و با تعیین روابط سلسله‌مراتبی میان عبارات مختلف بازسازی می‌کند. از آنجاکه پیشینه پژوهش‌هایی که بر روی زبان فارسی صورت گرفته‌اند، بیشتر بر روی پردازش معنایی تأکید داشته‌اند، به‌نظر می‌رسد که بررسی پردازش نحوی از جمله مسائلی است که در زبان فارسی مورد غفلت واقع شده و باید مورد توجه بیشتری قرار گیرد. این پژوهش نیز، در راستای کمک به گسترش علم در حوزه پردازش نحو در زبان فارسی، تلاش می‌کند که به شناخت این زبان و عصب‌شناسی آن تعمیق ببخشد.

به‌نظر می‌رسد پیش از پیش، پردازش زبان نامزدی عالی برای نظامی از فرایندهای خودکار باشد. صحبت کردن و گوش دادن فعالیت‌هایی هستند که ما به‌طور معمول در آن شرکت می‌کنیم و به‌خوبی انجام می‌شوند. مقابله با پردازش زبان دشوار است: سخت است که به صحبت‌های کسی گوش دهید و عمداً متوجه نشوید که او چه می‌گوید. بسیاری از پردازش زبان ناخودآگاه است. وقتی واژه‌ای را می‌گوییم، واح‌های آن را بازیابی و مرتب می‌کنیم، اما معمولاً از جزئیات رمزگذاری واجی آگاه نیستیم. علاوه بر این، پردازش زبان به‌سرعت و بادقت پیش می‌رود: ما می‌توانیم حدود چهار واژه در ثانیه بخوانیم و با نیمی از این سرعت صحبت کنیم و واژگانی را از فرهنگ لغت حاوی حداقل ۳۰۰۰۰ کلمه بیابیم، درحالی‌که خطاهای گفتاری با نرخ کمتر از یک در ۱۰۰۰ کلمه ایجاد کنیم (به‌عنوان مثال، لولت^۱، ۱۹۸۹). همه این ویژگی‌ها (عادی‌سازی، تخصصی شدن، پردازش اجباری، پردازش ناخودآگاه و سرعت) به درجه بالایی از خودکارشدگی اشاره دارند (هارتسوایکر^۲ و مورس^۳، ۲۰۱۷: ۲۰۱).

دو نوع بافت به‌طور بالقوه می‌توانند بر پردازش واژه تأثیر داشته باشند: بافت هم‌آیندی^۱ و بافت نحوی. بافت هم‌آیندی یک واژه شامل اقلام واژگانی خاص (آبی، سگ) است که بدون توجه به ساختار نحوی جمله، تمایل دارند با واژه آشنا هم‌خوانی داشته باشند. به این نوع پردازش، پردازش معنایی گفته می‌شود. در مقابل، بافت نحوی قرار دارد که در آن واژه از اقلام واژگانی خاصی انتزاع می‌شود و در عوض بر بازنمایی نحوی عباراتی که واژه در آن‌ها ظاهر می‌شود تمرکز می‌کند. در این پژوهش ما به بررسی پردازش واژه در بافت نحوی پرداخته‌ایم. برای این منظور از بافت نحوی محدود شده (یعنی جفت واژه‌هایی که یک گروه اسمی یا فعلی تشکیل داده‌اند) استفاده کرده‌ایم. گروه اسمی شامل واژه‌هایی بودند که پیش از آنان یک وابسته پیشین (ضمیر اشاره) قرار می‌گرفت و گروه فعلی شامل فعل‌هایی بودند که یک ضمیر فاعلی (من شنیدم) پیش از آنان قرار می‌گرفت. خودکارشدگی یک ساختار پیچیده با تعاریف مختلف مفهومی و عملیاتی است. کاهنمن^۲ (۱۹۷۳) استدلال می‌کند که خودکاربودن به کنترل توجه یا آگاهی بسیار کمی در پردازش شناختی نیاز دارد و همچنین به پردازش خودکار در مقابل پردازش کنترل‌شده اشاره دارد. رویکردهای نظری واسط و غیرواسط برای درک خودکارشدگی فراگیری زبان پیشنهاد شده است (اندرسون^۳، ۱۹۸۳؛ لوگان^۴، ۱۹۸۸؛ پارادیس^۵، ۲۰۰۹). رویکرد رابط بیان می‌کند که پردازش کنترل‌شده می‌تواند از طریق استفاده مکرر و تمرین به پردازش خودکار منتقل شود (اشمیت^۶، ۱۹۹۴) درحالی‌که رویکرد غیرواسط استدلال می‌کند که پردازش کنترل‌شده سریع‌تری برای پردازش خودکار وجود ندارد، اما فقط یک پیوستار از اتکا بر پردازش کنترل‌شده تا اتکای غالب به پردازش خودکار وجود دارد (پارادیس، ۲۰۰۹).

صرف‌نظر از ارتباط یا قطع ارتباط بین پردازش کنترل‌شده و خودکار، خودکارشدگی، به‌طورکلی، یک وضعیت ناخودآگاه است و اغلب با سرعت سریع و کارایی بالا در هنگام انجام چندین کار پیچیده گره خورده است (دکیسر^۷، ۲۰۰۱). در قلمرو زبان، خودکارشدگی به‌عنوان

1. collocational
3. J. Anderson
5. M. Paradis
7. R. DeKeyser

2. D. Kahneman
4. G. Logan
6. R. Schmidt

عملکرد کارآمدتر، دقیق‌تر و پایدارتر پردازش زبان مشخص شد (سگالوویتز^۱، ۲۰۰۳). سگالوویتز (۲۰۱۰) این مفهوم‌سازی از خودکارشدگی را به‌عنوان سرعت پردازش، ثبات پردازش و انعطاف‌پذیری پردازش اصلاح کرده است.

تفاوت در پردازش‌های کنترل‌شده و خودکار موضوعی مهم و پایا در تحقیقات شناختی و علوم اعصاب است. خودکارشدگی به‌معنای انجام کارها و پردازش آن‌ها بدون درگیرشدن ذهن به‌وسیله اطلاعات سطح پایین موردنیاز است. یکی از پذیرفته‌ترین مدل‌های پردازش اطلاعات در انسان نظریه دوپردازشی^۲ است. برطبق این نظریه، پردازش‌های خودکار به‌طورکلی سریع‌تر هستند، از منابع ظرفیت محدود استفاده نمی‌کنند و بدون توجه یا کنترل فرد رخ می‌دهند. درمقابل، پردازش‌های کنترل‌شده کندتر هستند، از منابع ظرفیت محدود استفاده می‌کنند و به توجه آگاهانه فرد نیاز دارند. این نظریه را می‌توان برای مطالعه پردازش‌های زبانی که تصور می‌شود در میان سازوکارهای خودکار و کنترل‌شده قرار دارند، نیز به کار برد؛ بنابراین این پرسش به ذهن متبادر می‌شود که پردازش‌های خودکار یا کنترل‌شده چه تأثیری بر پردازش نحوی در مغز می‌گذارند؟ تعداد زیادی از مطالعات در حوزه آماده‌سازی، اهمیت پردازش‌های خودکار یا کنترل‌شده را در زمان نشان داده‌اند.

هدف این پژوهش نیز بررسی میزان تأثیر و فعالیت فرایندهای کنترل‌شده و خودکار در پردازش نحوی با استفاده از پارادایم چشمک‌زدن توجهی (AB)^۳ است. تکنیک چشمک‌زدن توجهی، یک دست‌کاری آزمایشی است که به‌خوبی برای این هدف مناسب است. با مقایسه مؤلفه‌های ERP نسبت به اهداف نحوی که در طول دوره AB یا خارج از آن رخ می‌دهند، ممکن خواهد شد که تفاوت تأثیرات پردازش‌های خودکار و کنترل‌شده و، به همان نسبت، هوشیاری در پردازش واژه هدف مشخص شود.

پیشرفت‌های فناورانه اخیر به ما این امکان را می‌دهد تا از فعالیت مغز در کودکان و بزرگسالان، چه با وجود نواقص مغزی و رفتاری و چه بدون آن‌ها، تصویربرداری کنیم. روش کلی آزمایش این است که از فعالیت مغز حین انجام فعالیت‌های خاصی که فرایندهای شناختی را درگیر می‌کنند، تصویربرداری شود. معمولاً فعالیت مغز بین دو یا چند وضعیت طراحی شده که فقط در

1. N. Segalowitz
3. Attentional Blink (AB)

2. two-process

عملکردهای خاصی تفاوت دارند (مثلاً پردازش اسامی و افعال) مورد مقایسه قرار می‌گیرد. یکی از این روش‌ها ثبت پتانسیل‌های مرتبط با رخداد مغزی (ERP) توسط الکتروانسفالوگرافی^۱ (EEG) است. EP یا پتانسیل برانگیخته^۲، مجموعه‌ای از پتانسیل‌های الکتریکی مغزی قابل ثبت در سطح پوست سر هستند که هم‌زمان با ارائه یک محرک مجزا، بروز می‌کنند. این پتانسیل‌ها، معمولاً در مقایسه با دامنه فعالیت پیوسته EEG (که به ۵۰ میکرو ولت یا بیشتر می‌رسند)، دامنه کمی (در حد چند میکرو ولت) دارند. محرک‌ها شاید صدها بار تکرار می‌شوند و میانگین حسابی EEG پس از اعمال محرک، محاسبه می‌شود. سیگنالی که واکنش به محرک را نشان می‌دهد، در میانگین حفظ می‌شود، درحالی‌که فعالیت EEG پیوسته پس‌زمینه‌ای (که از نظر زمانی با محرک‌ها متناظر نیست) از بین می‌رود. این روال میانگین‌گیری به پتانسیل‌های مرتبط با رخداد (ERP) دارای دامنه محدود اجازه می‌دهد به صورت نمودار کمی ولتاژ برحسب زمان ترسیم شوند. ERPها، پتانسیل‌های الکتریکی بسیار کوچکی هستند که در پاسخ به رویدادها یا محرک‌های خاص در مغز تولید می‌شوند و دارای تفکیک‌پذیری زمانی بالایی (در حد هزارم ثانیه) هستند (بلکوود^۳ و مونیر^۴، ۱۹۹۰). درواقع، ERPها پتانسیل‌های الکتریکی زمان‌مندی هستند که توسط فعالیت شبکه‌های نورونی خاصی از مغز که درگیر فرایندهای شناختی و حسی هستند، به وجود می‌آیند. ERPهای ثبت‌شده روی قشر اولیه حسی که ERPهای اولیه نامیده می‌شوند، نحوه دریافت محرک و ثبت آن را توسط مغز نشان می‌دهند و شاخصی از یکپارچگی ساختار عصبی زمینه‌ای ارائه می‌کنند. محرک، پس از اینکه توسط مغز دریافت شد، تحت پردازش و ارزیابی قرار می‌گیرد و این عمل در امواج بعدی ERP؛ که به نواحی مختلف سر ارسال می‌شوند، منعکس می‌شود (فول استین^۵ و ون پتن^۶، ۲۰۰۸).

مؤلفه‌های مجزای ERP فرایندهای نحوی و معنایی را نشان داده و مدارکی دال بر اینکه این دو خرده‌نظام در میان سامانه‌های عصبی جداگانه‌ای قرار دارند، ارائه می‌دهند. الگوی معیار که از نقض نحوی بیرون کشیده می‌شود، پاسخی دوفازی^۷ است. اولین فاز شامل یک موج منفی است

1. Electroencephalography
3. D. Blackwood
5. J. R. Folstein
7. biphasic response

2. Evoked Potential
4. W. Muir
6. C. van Petten

که معمولاً دارای بیشترین مقدار در ناحیه قدامی سمت چپ سر است و در طول اولین پنجره زمانی رخ می‌دهد (بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ هزارم ثانیه). بعد از این موج، یک موج مثبت دیر هنگام رخ می‌دهد که به طور گسترده‌ای در قسمت‌های عقبی سر توزیع شده است و به آن p600 می‌گویند. اثر منفی قدامی سمت چپ^۱ یا LAN فرایندهای خودکار بیشتری را که مرتبط با پردازش نحوی است (مثل ساختن ساختار نحوی اولیه بر مبنای اطلاعات مقوله‌ای واژه‌ها) نشان می‌دهد. در مقابل، موج p600 سازوکارهای کنترل‌شده بیشتری را منعکس می‌کند که با بازتحلیل و اصلاح ساختار نحوی مرتبط هستند. این سازوکارها زمانی خود را نشان می‌دهند که واژه‌های ورودی به راحتی نتوانند درون ساختار نحوی اولیه قرار بگیرند. پارادایم AB یک روش جایگزین برای دست‌کاری میزان هوشیاری نسبت به اهداف است. پدیده AB هنگامی مشاهده می‌شود که دو هدف در نزدیکی هم در یک نمایش دیداری متوالی سریع^۲ رخ دهند. اگرچه آزمودنی‌ها می‌توانند هدف اول (T_1) را با صحت بالا تشخیص دهند، اما در مورد هدف دوم (T_2)، هنگامی که بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ هزارم ثانیه بعد از هدف اول نشان داده می‌شود، کاهش قابل توجهی در میزان صحت تشخیص مشاهده می‌شود. این فاصله زمانی را دوره AB می‌گویند؛ اما هنگامی که T_2 با فاصله زمانی کافی از T_1 جدا شود (بیشتر از ۵۰۰ هزارم ثانیه) تشخیص T_2 سطح صحت بالاتری را نشان می‌دهد. با مقایسه مؤلفه‌های ERP نسبت به اهداف نحوی که در طول دوره AB؛ یا خارج از آن رخ می‌دهند، تفاوت تأثیرات هوشیاری در پردازش واژه هدف مشخص می‌شود. در ادامه با جداسازی گویه‌های صحیح از گویه‌های خطا در درون یا خارج از دوره AB، می‌توان ERP‌های گرفته‌شده از واژه‌های گزارش‌شده و ازدست‌رفته را با دقت بالاتری مقایسه و میزان خودکارشدگی و هوشیاری را در پردازش نحوی مشخص کرد.

با توجه به موارد مطرح‌شده، در این پژوهش، به دنبال پاسخگویی به این سؤال هستیم که پردازش‌های نحوی در سخنگویان فارسی‌زبان تا چه اندازه کنترل‌شده یا خودکار هستند؟ بنابر این سؤال، این فرضیه مدنظر است که پردازش‌های نحوی در سخنگویان فارسی‌زبان، پردازش‌هایی کنترل‌شده و آگاهانه هستند و با هوشیاری کامل انجام می‌گیرند.

۲ پیشینه پژوهش

آماده‌سازی پنهان^۱ به‌طور گسترده‌ای برای شناسایی طیفی از فرایندهای زبانی خودکار با کنترل ادراک ناخودآگاه اعداد اول استفاده شده است (برکوویچ^۲ و دهاینه^۳، ۲۰۱۹؛ دهاینه و همکاران، ۱۹۹۸؛ ایجیما^۴ و ساکای^۵، ۲۰۱۴؛ کیفر^۶ و همکاران، ۲۰۱۹؛ لهتونن^۷ و همکاران، ۲۰۱۱؛ مارسلن ویلسون^۸ و همکاران، ۲۰۰۸؛ ون دن بوشه^۹ و همکاران، ۲۰۰۹). بااین‌حال بیشتر مطالعات مقدماتی آماده‌سازی پنهان و AB در پردازش زبان در حوزه پردازش معنایی انجام شده است. یکی از اولین مطالعاتی که به بررسی تأثیرات آماده‌سازی نحوی پرداخت، از یک واژه منفرد که شامل یک حرف تعریف یا ضمیر بود استفاده کرد که به‌شدت مقوله‌ واژه (اسم یا فعل) بعدی را پیش‌بینی می‌کرد. نویسندگان گزارش کردند که واژه‌های آماده‌سازی اولی که از نظر نحوی مناسب بودند، زمان واکنش را در تکلیف تصمیم‌گیری واژگانی برای اهداف بعدی به‌میزان ۱۹ هزارم ثانیه کاهش دادند که کاهش اندک اما معنی‌دار است (گودمن^{۱۰} و همکاران، ۱۹۸۱). این یافته از یک اثر رفتاری کوچک اما قابل‌اعتماد از آماده‌سازی نحوی، توسط تعدادی از پژوهش‌های بعدی با استفاده از روش‌های آماده‌سازی مقوله‌بندی واژه‌های مشابه تأیید شده است (سایدنبرگ^{۱۱} و همکاران، ۱۹۸۴؛ رایت^{۱۲} و گرت^{۱۳}، ۱۹۸۴؛ سرنو^{۱۴}، ۱۹۹۱)؛ بنابراین، شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهند که بافت همخوان نحوی که اطلاعات مقوله‌بندی واژه‌های مناسب را ارائه می‌دهد، پردازش اهداف بعدی را تسهیل می‌کند.

فقط یک مطالعه قبلی از یک الگوی آماده‌سازی مقوله‌بندی واژه‌های مشابه برای مقایسه پاسخ ERP به اهدافی که قبل از آن با اعداد آماده‌سازی مناسب از نظر نحوی در مقابل اعداد نامناسب

1. masked priming
3. S. Dehaene
5. K. Sakai
7. M. Lehtonen
9. E. Van den Bussche
11. M. Seidenberg
13. M. Garrett

2. L. Berkovitch
4. K. Iijima
6. M. Kiefer
8. W. Marslen-Wilson
10. G. Goodman
12. B. Wright
14. J. Sereno

قرار گرفته‌اند، استفاده کرده است (مونت^۱ و همکاران، ۱۹۹۳). در آن مطالعه، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا در سریع‌ترین زمان ممکن قضاوت کنند که آیا هر جفت‌واژه، یک عبارت درست از لحاظ نحوی را تشکیل می‌دهند یا خیر. پژوهشگران اثر رفتاری آماده‌سازی نحوی را تکرار کردند و گزارش دادند که جفت‌های معتبر پاسخ سریع‌تری نسبت به جفت‌های نامعتبر ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، آن‌ها گزارش دادند که اهدافی که قبل از آن‌ها اعداد آماده‌سازی از نظر نحوی ناهمخوان قرار دارند، پاسخ ERP منفی دیر هنگام را نسبت به اهداف از نظر نحوی همخوان ایجاد کردند. این موج منفی حداکثر بین ۴۰۰-۶۰۰ هزارم ثانیه پس از شروع تحریک مشاهده شد و حداکثر تأثیر را در پوست سر قدامی چپ داشت. همچنین، این مطالعه شامل یک شرط معنایی بود که در آن آزمودنی‌ها قضاوت می‌کردند که آیا واژه هدف مترادف با واژه اصلی است یا خیر. این تکلیف یک مؤلفه معمولی N400 را با تأخیر زودتر و توزیع خلفی و مرکزی‌تر ایجاد کرد. نویسندگان این نتایج را به‌عنوان شواهدی تفسیر کردند مبنی بر این‌که جنبه‌های نحوی پردازش زبان از فرایندهای معنایی نمایه‌شده توسط مؤلفه N400 قابل تفکیک هستند و این دو فرایند توسط بسترهای عصبی غیریکسان ایجاد می‌شوند. نتایج این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که نقض‌های مقوله‌بندی واژه‌ها در یک بافت نحوی ضعیف (یعنی غیرجمله‌ای) پاسخ دوفازی معمولی مشاهده‌شده در بافت‌های جمله را ایجاد نمی‌کنند، بلکه یک پاسخ منفی دیر هنگام ایجاد می‌کنند. شاید مقایسه‌پذیرترین مطالعه تا به امروز مطالعه‌ای باشد که توسط مونت^۱ و همکاران (۱۹۹۳) انجام شده است که همان‌طور که قبلاً بحث شد، گزارش کردند که واژه‌های هدف قبل از اعداد آماده‌سازی ناهمخوان آشکار، پاسخ منفی دیر هنگامی را به‌همراه دارند. اگر این یافته می‌تواند تحت یک دست‌کاری اثر AB باشد، اثرات مشابه ERP در پارادایم ما ممکن است مورد انتظار باشند. با پیروی از همان خط استدلالی که فرضیه‌ها را در شرایط معنایی هدایت می‌کند، اگر این اثر منفی دیر هنگام یک فرایند خودکار را نمایه کند، باید پاسخ مشابهی به اهداف ارائه‌شده در دوره AB و خارج از آن یافت شود. علاوه بر این، هنگام جداسازی گویه‌های گزارش‌شده درست از گویه‌های گزارش‌شده نادرست، اثرات مشابه ERP باید بدون توجه به اینکه هدف به‌درستی گزارش شده است آشکار شوند. در مقابل، اگر این موج منفی دیر هنگام منعکس‌کننده فرایند کنترل‌شده‌تری باشد، در مقایسه با اهداف ارائه‌شده در دوره AB باید تأثیر بیشتری برای اهدافی که خارج از دوره

AB رخ می‌دهند، وجود داشته باشد.

در این پژوهش ما با استفاده از پارادایم برگرفته از بترینیک^۱ و همکاران (۲۰۱۲) و تکرار آزمایش قبلی در زمینه پردازش نحوی دقیق عمل کرده و آیا آزمایش‌های آن‌ها تکرارپذیر است یا خیر؛ بنابراین، با انجام این آزمایش بر روی فارسی‌زبانان، به این پرسش می‌پردازیم که در زمینه خودکارشدگی در پردازش نحوی، مغز فارسی‌زبانان چگونه عمل می‌کند. در مطالعه بترینیک و همکاران (۲۰۱۲)، سازوکارهای عصبی واسطه پردازش معنایی و نحوی جفت‌های واژه با استفاده از AB برای دست‌کاری هوشیاری از واژه‌های هدف موردبررسی قرار گرفت. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ERPها، به اهدافی که خارج از دوره AB رخ می‌دهند یک اثر ناهمخوان نحوی منفی دیرنگام را نشان می‌دهند، درحالی‌که ERPها، به اهدافی که در دوره AB رخ می‌دهند هیچ تأثیری از ناهمخوانی نشان نمی‌دهند.

۳ شرکت‌کنندگان

بیست و دو داوطلب (۱۰ نفر خانم و ۱۲ نفر آقا؛ با میانگین سنی ۲۳/۸ سال؛ دامنه سنی ۱۹ تا ۳۲ سال) پس از آشنایی با تکنیک EEG، در آزمایش EEG شرکت کردند. همه شرکت‌کنندگان تحصیلات دانشگاهی (دانشجویا فارغ‌التحصیل مقاطع کاردانی و کارشناسی) داشتند و دارای بینایی طبیعی یا اصلاح‌شده و بدون سابقه بیماری‌های اعصاب و روان و هرگونه ضایعه مغزی بودند. علاوه بر این، زبان مادری همه شرکت‌کنندگان زبان فارسی بود و تسلط بر هرگونه زبان دوم دیگری در حد ضعیف ارزیابی شد و درنهایت همگی آن‌ها راست‌دست بودند. برای اطمینان از غلبه دست راست آنان، از آزمون دست برتری اولدفیلد^۲ (۱۹۷۱) به صورت برخط پیش از آزمایش استفاده شد. سلامتی عمومی و سابقه بیماری شرکت‌کنندگان در جلسه آزمایش و پیش از ثبت سیگنال مغزی آن‌ها، توسط پزشک متخصص مغز و اعصاب آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز بررسی شد. پیش از انجام آزمایش نیز کمیته ملی اخلاق در پژوهش‌های زیست‌پزشکی در دانشگاه علوم پزشکی ایران با بررسی مراحل و شرایط انجام پژوهش حاضر برای آن‌ها شناسه اخلاق (به شماره IR.IUMS.REC.1399.523) صادر کرد. شرکت‌کنندگان پیش از آغاز فرایند آزمایش

1. L. Batterink

2. R. Oldfield

فرم اطلاعات شرکت‌کننده و رضایت‌نامه در دو نسخه (نسخه مربوط به آزمایشگاه و نسخه مصوب کمیته اخلاق) را مطالعه و امضا کردند. شرکت‌کنندگان با خواندن این فرم با ماهیت پژوهش و شرایط انجام آن آشنا شدند و اطمینان یافتند که اطلاعات شخصی آن‌ها محرمانه خواهد ماند. در پایان انجام آزمایش، براساس آنچه در کمیته اخلاق به تصویب رسید و به پاس همکاری آزمودنی‌ها به آن‌ها کارت هدیه‌ای تقدیم شد.

۴ روش پژوهش

شرکت‌کنندگان در این آزمون در تکلیف پارادایم AB شرکت کردند تا با اعمال آگاهی آن‌ها در پردازش واژه‌های پایانی به منظور ارزیابی میزان خودکارشدگی در پردازش نحوی، پاسخ‌های ERP اخذ و تجزیه و تحلیل شوند.

در این آزمون از پارادایم ووگل^۱، لاک^۲ و شاپیرو^۳ (۱۹۹۸) استفاده می‌شود: هر گویه با نمایش یک واژه آماده‌سازی طی یک ثانیه آغاز شده و به دنبال آن صفحه‌ای سفید برای یک ثانیه به نمایش درمی‌آید که یک جریان RSVP^۴ بعد از آن به نمایش گذاشته می‌شود که شامل یک رشته ۷ حرفی است که هر کدام به مدت ۸۳ هزارم ثانیه به نمایش درمی‌آیند. هدف‌های اول (T₁) که شامل اعداد تصادفی (بین ۲ تا ۹) هستند و با حروف نوشته شده‌اند و در صورت لزوم در ابتدا و انتهای آن‌ها از * استفاده شده تا یک رشته ۷ حرفی درست شود، به طور تصادفی بین موقعیت‌های ۵ تا ۸ به نمایش درمی‌آیند. هدف‌های دوم (T₂) شامل واژه‌های ۳ تا ۷ حرفی هستند (در صورت لزوم برای ایجاد رشته ۷ حرفی با علامت × مشخص می‌شوند) که در جایگاه ۳ یا ۱۰ بعد از هدف اول رخ می‌دهند. اقلام منحرف‌کننده شامل رشته‌های ۷ حرفی بی‌معنی هستند که به طور تصادفی از بین حروف انتخاب شده و با رنگ آبی به نمایش درمی‌آیند؛ و هدف اول و دوم با رنگ قرمز به نمایش گذاشته می‌شوند. برای جلوگیری از یکنواخت بودن رنگ‌ها و خستگی چشم شرکت‌کننده و همچنین استفاده از اثر رنگ‌ها در افزایش و کاهش دشواری گویه‌ها، همان‌طور که اشاره شد، از طیف رنگ آبی و همچنین رنگ قرمز استفاده شد. بر اساس یک الگوریتم ساده رایانه‌ای که برای افزایش اثر AB طراحی شده است، رنگ آبی عامل منحرف‌کننده، در فاصله‌های منظم در طول

1. E. K. Vogel
3. K. L. Shapiro

2. S. J. Luck
4. rapid serial visual presentation

گویه تحت‌تأثیر عملکرد آزمودنی تغییر می‌کرد. درون هر وضعیت تأخیر^۱ (فاصله‌ای که بین دو هدف وجود دارد)، درصد صحت در طول هر هشت گویه محاسبه می‌شد. اگر آزمودنی‌ها ۶ مورد یا بیشتر از واژه‌های هدف دوم را در تأخیر ۳ (در جایگاه سوم بعد از هدف اول) درست گزارش می‌دادند، ارقام منحرف‌کننده پررنگ‌تر می‌شدند که از این طریق، دشواری کلی افزایش می‌یافت. اگر آزمودنی‌ها ۲ مورد یا بیشتر از هدف دوم را در تأخیر ۱۰ (جایگاه دهم بعد از هدف اول) گزارش می‌دادند، ارقام منحرف‌کننده کم‌رنگ‌تر می‌شدند که نشان‌دهنده آسان‌تر شدن تکلیف است (ارزش RGB^۲ در ابتدا به ترتیب ۰، ۱۰۰، ۲۵۵ است و میانگین نهایی ارزش RGB به ترتیب: ۰، ۷۵، ۲۵۵ است). وقفه خالی یک‌ثانیه‌ای به دنبال RSVP قرار می‌گرفت که بعد از آن دوره پاسخ قرار داشت.

در پایان هر گویه، شرکت‌کننده می‌بایست ۲ پاسخ اجباری برای ۲ هدف ثبت می‌کرد. پاسخ اول این بود که شرکت‌کننده باید تشخیص می‌داد که عدد زوج بوده است یا فرد و در پاسخ دوم باید مشخص می‌کرد که واژه پیش‌بینی‌کننده آیا با هدف دوم همخوان یا سازگار است یا خیر. به این معنی که آیا هر دو واژه داده‌شده در بافت نحوی کوتاه (برای مثال «این کتاب» یا «من گرفتم») از نظر نحوی یک واحد دستوری (همخوان) را تشکیل می‌دهند یا یک واحد غیردستوری (ناهمخوان؛ برای مثال* «من کتاب» یا* «من رفتیم»). شرکت‌کننده زمان کافی برای پاسخ در اختیار داشت، اما به‌طور معمول بعد از دیدن کلیدواژه پاسخ (کلیدواژه برای زوج یا فرد بودن: «عدد» و کلیدواژه برای درست یا غلط بودن: «عبارت» بود) ۱ الی ۲ ثانیه فرصت داشت و بعد از ثبت پاسخ بلافاصله گویه بعدی نمایش داده می‌شد.

واژه آماده‌سازی، به‌خوبی مقوله‌واژه هدف دوم را در نیمی از گویه‌ها پیش‌بینی می‌کرد (مثلاً این - کتاب)، درحالی‌که اطلاعات مقوله‌ای در نیم دیگر گویه‌ها غلط پیش‌بینی می‌شد (مثل ما - کتاب). تمامی واژه‌های هدف بین ۳ تا ۷ حرف داشتند و در کل ۸۰ فعل و ۸۰ اسم انتخاب شدند. این اسامی و فعل‌ها از بین پربسامدترین واژه‌ها و از فرهنگ بسامدی بر اساس پیکره متنی زبان فارسی امروز (بی‌جن‌خان، ۱۳۹۷) انتخاب شدند. واژه‌های آماده‌سازی برای پیش‌بینی کردن فعل شامل سه ضمیر فاعلی «من»، «تو» و «ما» بودند و واژه‌های آماده‌سازی برای پیش‌بینی کردن اسم، ضمائر اشاره «این»، «آن» و «هر» بودند. تمامی واژه‌ها به‌طور مساوی بین گویه‌های درست و غلط

1. lag

2. red, green, and blue

تقسیم شدند و تعداد گویه‌های درست و غلط با هم برابر بود (۱۶۰ گویه درست و ۱۶۰ گویه غلط) در نهایت اینکه شیوه ارائه تمامی گویه‌ها به صورت تصادفی بود.

جدول ۱- نمونه گویه EEG

| ردیف | نوع محرک | زمان (هزارم ثانیه) | گویه همخوان | گویه ناهمخوان |
|------|-------------------|--------------------|-------------|---------------|
| ۱. | واژه آماده‌سازی | ۱۰۰۰ | این | من |
| ۲. | صفحه سفید | ۱۰۰۰ | | |
| ۳. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | عدلنقیس | شمزدتبع |
| ۴. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | خلثمتی | عینسما |
| ۵. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | سبنهدب | ضحدلاغش |
| ۶. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | صهقعقدن | ضخزلستا |
| ۷. | T1 | ۸۳ | چهار XX | XX هفت XX |
| ۸. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | سهشختش | هقدرالس |
| ۹. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | جضاینمق | تهتدزمن |
| ۱۰. | (lag3) T2 | ۸۳ | #کتاب## | #پذیرش# |
| ۱۱. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | شمفتشد | خصنزتیس |
| ۱۲. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | زدتنتیت | جضشططص |
| ۱۳. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | کشختیی | حضجلبی |
| ۱۴. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | ذردنتع | قبرذلفغ |
| ۱۵. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | صخنطلیا | عتونیز |
| ۱۶. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | کشتئات | حکضشظذر |
| ۱۷. | (lag10) T2 | ۸۳ | #کتاب## | #پذیرش# |
| ۱۸. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | کحردیلغ | عبتصمخش |
| ۱۹. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | چصهتسدت | مسهردبا |
| ۲۰. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | درعثاشن | حنتتیت |
| ۲۱. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | جصضنتای | صتدتونم |
| ۲۲. | اقلام منحرف‌کننده | ۸۳ | جصصحتخف | گکالیتن |

۱. تنها یکی از هدف‌های دوم به‌نمایش در خواهد آمد.

| | | | | |
|-----|-------------------|---------|---------------|---------|
| ۲۳. | افلام منحرف‌کننده | ۸۳ | گشکسختخ | فقلبذرد |
| ۲۴. | افلام منحرف‌کننده | ۸۳ | درتنبیم | تسبیلا |
| ۲۵. | افلام منحرف‌کننده | ۸۳ | نسمیکسن | ضصثقشی |
| ۲۶. | صفحه سفید | ۱۰۰۰ | | |
| ۲۷. | پاسخ | تا ۲۰۰۰ | عدد | |
| ۲۸. | پاسخ | تا ۲۰۰۰ | عبارت | |
| | جمع زمان | | حدود ۱۰ ثانیه | |

۵ نحوهٔ اخذ داده

پیش از آغاز پخش محرک‌های دیداری، کلاهی که ۳۲ الکتروود روی آن تعبیه شده بود و امکان ثبت سیگنال‌های مغزی و پتانسیل الکتریکی وابسته به رویداد توسط رایانه را داشت، به‌صورت دقیق روی سر آزمودنی‌ها قرار گرفت تا الکتروودها در جای مشخص‌شدهٔ خود قرار گیرند. به‌منظور ثبت پتانسیل‌های وابسته به رخداد مشابه ثبت معمول EEG الکتروودهای اندازه‌گیری مطابق با سیستم بین‌المللی ۲۰-۱۰ بر روی سر فرد قرار گرفت و فعالیت الکتریکی مغز وی به هنگام ارائه تحریک ثبت و ذخیره شد. در این پژوهش الکتروودی به لالهٔ گوش راست آزمودنی‌ها وصل می‌شد که الکتروود مرجع به‌شمار می‌آمد. الکتروود زمین نیز الکتروود Fpz بود. همچنین از ۴ الکتروود برای دریافت سیگنال‌های الکترواکولوگرام (EOG)^۱ در دو طرف و زیر هر دو چشم استفاده شد. سپس، به پایهٔ همهٔ ۳۲ الکتروود روی کلاه، ژلی مخصوصی تزریق شد تا میزان رسانایی پوست سر افزایش یابد.

در ابتدای آزمایش، برای آشناسدن شرکت‌کنندگان با روند تکلیف، ۲۰ گویه به‌صورت تمرین برای ایشان به نمایش درآمد. به‌دلیل طولانی‌بودن آزمایش و اجتناب از خستگی آزمودنی بعد از ۸۰ گویه یک‌فاصلهٔ استراحت کوتاه به شرکت‌کننده داده می‌شد (درمجموع ۳۲۰ گویه). هر گویه حدود ۱۰ ثانیه طول کشید و زمان کل آزمایش برابر با ۵۳ دقیقه بود که به ۴ بلوک ۱۳ دقیقه‌ای تقسیم شده بود. هر جلسهٔ آزمایش (با احتساب آمادگی شرکت‌کننده و امضای رضایت‌نامه، ویزیت پزشک مقیم آزمایشگاه، آزمون آمادگی، نصب کلاه و الکتروودها) حدود یک ساعت و نیم طول کشید.

محرك در يك صفحه خاكستري رنگ بر روي صفحه‌نمایش مانیتوری بافاصله حدوداً ۱۰۰ سانتی‌متر از شرکت‌کننده و زاویه دید ۳/۵ درجه افقی و ۰/۵ درجه عمودی نمایش داده شد.

۶ پیش‌پردازش دادگان

ثبت سیگنال‌های مغزی وابسته به رویداد این پژوهش در آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز و با همکاری و مشاوره کارشناسان فنی این آزمایشگاه صورت گرفته است. در این پژوهش دستگاه الکتروانسفالوگرافی ۳۲ کاناله جی.تک^۱ و برای ثبت و اندازه‌گیری پتانسیل وابسته به رویداد و تقویت‌کننده بیوسیگنال ۳۲ کاناله به کار برده شد. سیگنال‌های EEG با نرخ نمونه‌برداری ۵۱۲ هرتز ثبت شدند. پیش‌پردازش به کمک جعبه‌ابزار EEGLAB در نرم‌افزار متلب (MATLAB) انجام شد. ابتدا به دلیل حجم بالای دادگان، نرخ نمونه‌برداری از ۵۱۲ هرتز به ۲۵۶ هرتز کاهش یافت. به منظور کاهش اثر نویز برق شهر از افزونه CleanLine استفاده شده است. ابتدا بازبینی دیداری اولیه انجام شد تا آرتیفکت‌های مشخصی نظیر آرتیفکت‌های حرکتی یا اشباع تقویت‌کننده یا اختلالات ناشی از مشکلات الکترودها شناسایی و حذف شوند. در مرحله پیش‌پردازش، فرایند حذف آرتیفکت و حذف نوفه انجام شد. سپس سیگنال‌ها از یک فیلتر بالاگذر با فرکانس قطع ۰/۵ هرتز عبور داده شدند و برای حذف حرکات چشم از روش تحلیل اجزای مستقل (ICA)^۲ و فیلتر میان‌گذر استفاده شد و آرتیفکت‌های چشمی و سایر آرتیفکت‌ها حذف شدند. اپوک‌بندی براساس لحظه اعمال تحریک T2 و از ۱۰۰ هزارم ثانیه قبل از تحریک تا یک ثانیه بعد از آن در نظر گرفته شد.

۷ پردازش دادگان، آزمون آماری

برای به‌حداکثر رساندن هرگونه اثرات احتمالی AB، هر دو تحلیل رفتاری و ERP فقط شامل آن دسته از گویه‌هایی بودند که T1 به‌درستی گزارش شده بود.

برای بررسی اثر همخوانی، میانگین سیگنال‌های EEG یادشده در بازه زمانی ۵۰۰ تا ۷۰۰ هزارم ثانیه در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری ANOVA برای فاکتورهای [تأخیر ۳، تأخیر ۱۰]، همخوانی [همخوان، ناهمخوان]، نیمکره [چپ، راست]، قدامی/خلفی [پیشانی، پیشانی-گیجگاهی، گیجگاهی، مرکزی، پریتال، اکسیپیتال] و جانبی‌بودگی [جانبی، میانی] انجام

1. g.tech

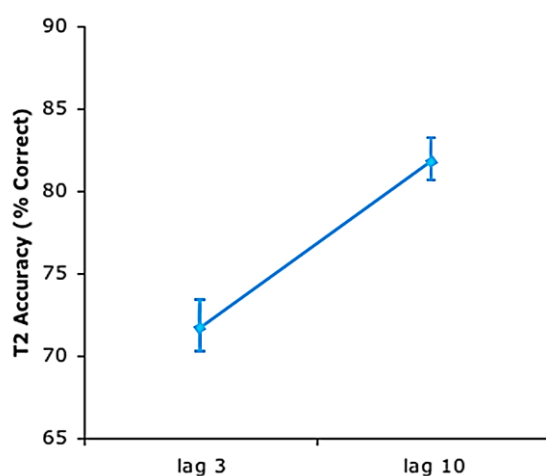
2. Independent Component Analysis

شد. همچنین فاکتور صحت (پاسخ درست یا غلط سوژه‌ها به تحریک T2 همخوان یا ناهمخوان) در تجزیه و تحلیل آماری نیز بررسی شد.

۸ نتایج

۸-۱ تجزیه و تحلیل رفتاری

میانگین صحت تشخیص هدف دوم (T2) به عنوان تابعی از تأخیر آن در شکل ۱ رسم شده است.



شکل ۱- میانگین صحت تشخیص کلمه هدف دوم (T2) به عنوان تابعی از تأخیر

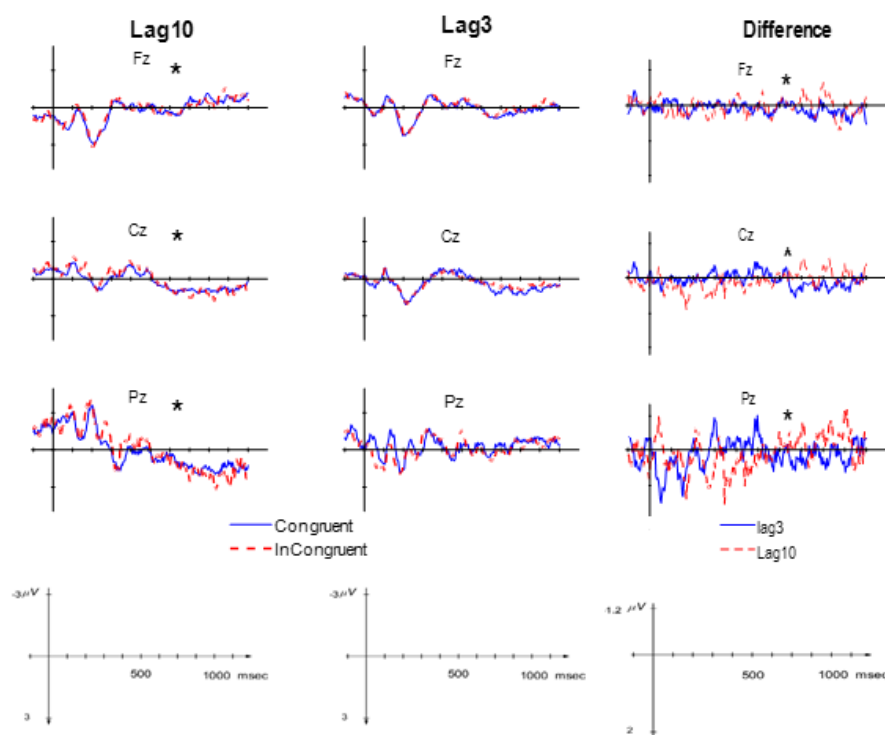
شکل ۱ میانگین صحت تشخیص برای کلمه هدف دوم (T2) به عنوان تابعی از تأخیر را نشان می‌دهد. کاهش قابل توجهی در صحت برای تأخیر ۳ در مقایسه با تأخیر ۱۰ وجود دارد ($F = 30.34, p < 0.001$) که نشان‌دهنده تأثیر AB بر پردازش نحوی است. اثر همخوانی معنی‌دار بود ($p = 0.019, F = 5.27$) به طوری که اهداف همخوان با صحت بیشتری نسبت به اهداف ناهمخوان تشخیص داده شدند. میانگین صحت برای تشخیص T1، ۸۲٪ ($SE = 1.45\%$) بود.

۸-۲ تحلیل ERP

میانگین صحت تصاویر میانگین کلی ERP^۱ مربوط به وضعیت‌های تحریک‌های همخوان و ناهمخوان برای وضعیت تأخیر ۱۰ و وضعیت تأخیر ۳ در شکل ۲ نشان داده شده است. در همه

1. Grand Average ERP

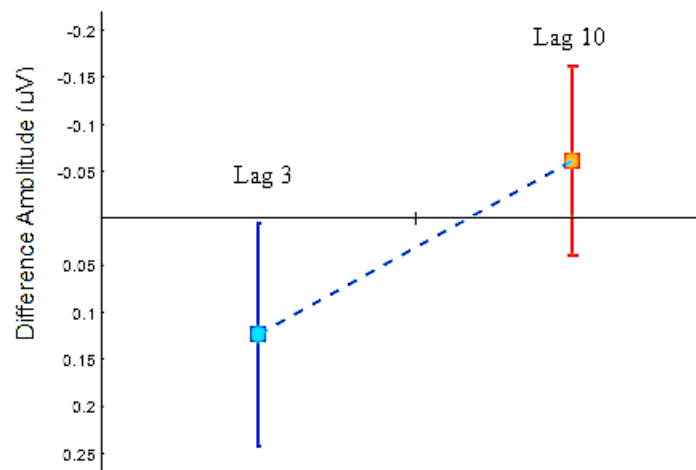
گویه‌ها، بازرسی دیداری میانگین کل ERP نشان داد که یک اثر همخوانی منفی در تأخیر ۱۰ وجود دارد که در آن اهداف ناهمخوان، ERPهای منفی‌تری نسبت به اهداف همخوان ایجاد می‌کنند. در مقابل، در وضعیت تأخیر ۳، اهداف ناهمخوان ERPهای مثبت‌تری نسبت به اهداف همخوان بین تقریباً ۴۰۰ تا ۷۰۰ هزارم ثانیه پس از محرک ایجاد کردند، اگرچه به نظر می‌رسد این تفاوت‌ها بسیار کوچک باشند. این اثرات به همراه امواج اختلاف متناظر آن‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- منحنی‌های میانگین کلی RP در نواحی میانی سر برای تحریک T2. مقادیر برای تأخیر ۱۰ در سمت چپ، برای تأخیر ۳ در قسمت وسط و شکل موج‌های اختلاف (میانگین تحریکات T2 همخوان منهای میانگین تحریک‌های T2 ناهمخوان) در سمت راست نشان داده شده است. منحنی‌های دو ستون اول به ترتیب مربوط به تحریک‌های همخوان (خط ممتد) و غیرهمخوان (خط‌چین) است و منحنی‌های ستون سمت راست مربوط به میانگین اختلافات در تأخیر ۳ (خط ممتد) و تأخیر ۱۰ (خط‌چین) است.

۳-۸ تجزیه و تحلیل آماری

اثر وضعیت تأخیر روی میانگین دامنه سیگنال‌های EEG در بازه زمانی ۵۰۰-۷۰۰ هزارم ثانیه بررسی شد. وضعیت تأخیر و همخوانی به صورت مجزا اثر معنی‌داری روی آن ندارند: [Lag: $F=0.003, p=0.957$] همچنین اثر هم‌زمان همخوانی و تأخیر بررسی شد که در این پژوهش تأثیر معنی‌داری روی میانگین دامنه سیگنال در بازه ۵۰۰-۷۰۰ هزارم ثانیه نداشت: [Lag × Congruency: $F=0.012, p=0.912$]. اما تعامل تقارن دو نیمکره و تأخیر روی آن به طور معنی‌داری تأثیرگذار بود: [Lag × Laterality: $F=23.530, p=0.000$]. تعامل همخوانی و جانبی‌بودگی در این پژوهش تأثیر معنی‌داری نداشت: [Congruency × Laterality: $F=2.888, p=0.089$]. در بررسی عوامل جانبی‌بودگی، همخوانی و وضعیت تأخیر مشخص شد که تعامل این سه عامل تأثیر معنی‌داری روی سیگنال دارد: [Lag × Congruency × Laterality: $F=8.091, p=0.004$].



شکل ۳- میانگین اثر همخوانی به عنوان تابعی از تأخیر که به طور متوسط در نقاط خط میانی سر (Pz، Cz، Fz) بررسی شده است. میانگین دامنه در بازه زمانی ۵۰۰-۷۰۰ هزارم ثانیه محاسبه شده است. منفی به سمت بالا ترسیم شده است. باین حال، همان‌طور که در نمودارهای دامنه میانگین (شکل ۳) و امواج اختلاف (شکل ۴) مشاهده می‌شود، اثر همخوانی در تأخیر ۱۰ به طور قابل توجهی منفی‌تر از تأخیر ۳ بود. این تفاوت در نواحی میانی بزرگ‌تر بود [تأخیر × همخوانی × جانبی‌بودگی: $F=8.091, p=0.004$]. تجزیه و تحلیل تکمیلی نشان داد که در وضعیت تأخیر ۱۰، تحریکات T2 ناهمخوان، دامنه

ERP منفی‌تری نسبت به تحریکات همخوان دارند اما تأثیر معنی‌داری روی میانگین سیگنال EEG نداشتند: [Congruency: $F=0.003$, $p=0.957$]. برای این وضعیت تأخیر، تعامل Congruency × Laterality نیز اثر معنی‌داری نداشت: [Congruency × Laterality: $F=0.690$, $p=0.406$ ؛ اما تعامل فاکتور Hemisphere × Laterality در این تأخیر به‌طور معنی‌داری اثرگذار بود: [Hemisphere × Laterality: $F=13.839$, $p=0.00$]. تعامل سه فاکتور Congruency × Hemisphere × Laterality تأثیری در تحریکات وضعیت تأخیر ۱۰ نداشت: [Congruency × Hemisphere × Laterality: $F=0.144$, $p=0.704$]. برای وضعیت تأخیر ۳، اثر همخوانی معنی‌داری نبود: [Congruency: $F=0.030$, $p=0.863$] اما اثر تعامل Congruency × Laterality معنی‌دار بود: [Congruency × Laterality: $F=9.830$, $p=0.002$]. همچنین اثر تعامل نیمکره و جانبی‌بودگی روی سیگنال معنی‌دار بود: [Hemisphere × Laterality: $F=41.281$, $p=0.000$] و تعامل همخوانی و جانبی‌بودگی روی آن نیز اثر معنی‌دار داشت: [Congruency × Laterality: $F=9.868$, $p=0.002$] اما تعامل همخوانی، نیمکره و جانبی‌بودگی اثر معنی‌داری نداشت: [Congruency × Hemisphere × Laterality: $F=0.071$, $p=0.790$].

در پاسخ‌های صحیح و غلط نیز در بازه زمانی ۵۰۰-۷۰۰ هزارم ثانیه تعامل Correctness × Congruency اثر معنی‌داری روی سیگنال‌ها نداشت: [Correctness × Congruency: $F=0.000$, $p=0.991$] اما تعامل Correctness × Laterality روی آن‌ها اثر معنی‌داری داشت: [Correctness × Laterality: $F=28.301$, $p=0.000$]. تعامل سه فاکتور صحیح‌بودن، همخوانی و جانبی‌بودگی روی ERP‌ها اثر معنی‌داری نداشت: [Correctness × Congruency × Laterality: $F=2.505$, $p=0.113$].

با در نظر گرفتن فاکتور قدامی/خلفی نتایج زیر حاصل شد. تعامل صحیح‌بودن و قدامی/خلفی روی دامنه سیگنال‌های ERP اثر معنی‌داری داشت: [Correctness × (Anterior/Posterior): $F=13.513$, $p=0.000$] ... همچنین تعامل سه فاکتور صحیح‌بودن، همخوانی و قدامی/خلفی روی سیگنال‌ها اثر معنی‌داری داشت: [Correctness × Congruency × (Anterior/Posterior): $F=22.210$, $p=0.000$]؛ اما تعامل سه فاکتور صحیح‌بودن، نیمکره و قدامی/خلفی روی سیگنال‌ها اثر معنی‌داری نداشت [Correctness × Hemisphere × (Anterior/Posterior): $F=1.325$, $p=0.250$]. تعامل چهار فاکتور صحیح‌بودن، همخوانی،

نیمکره و قدامی/ خلفی نیز روی سیگنال‌ها اثر معنی‌داری نداشت:
[Correctness×Congruency× Hemisphere× (Anterior/Posterior): F=0.698,
p=0.625]. همچنین تعامل چهار عامل صحیح‌بودن، همخوانی، وضعیت تأخیر، (قدامی/
خلفی) و جانبی‌بودگی روی سیگنال‌ها اثر معنی‌داری نداشت: [Correctness×Congruency×
...(Anterior/Posterior)×Laterality: F=0.200, p=0.655]

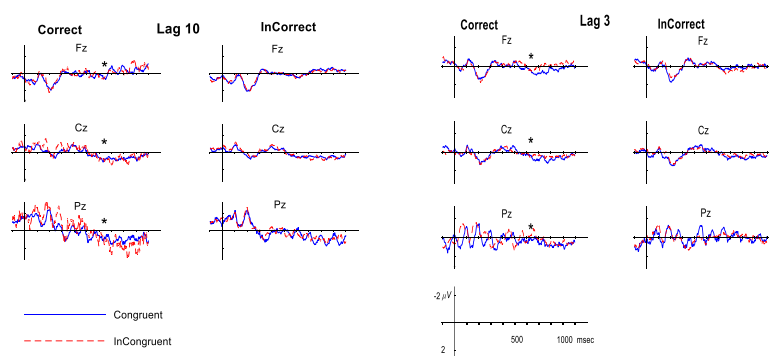
با در نظر گرفتن تمام عوامل صحیح‌بودن، همخوانی، وضعیت تأخیر، نیمکره و (قدامی/ خلفی)،
دیدیم که تمامی این عوامل روی سیگنال‌ها اثر معنی‌داری نداشت [Correctness×
Congruency×Lag×Hemisphere× (Anterior/Posterior)× Laterality:
F=0.449; p=503]

این نتایج نشان داد که تفاوت در اثر صحیح‌بودن بین گویه‌های صحیح و نادرست در مناطق
قدامی و خلفی بیشتر بود. تفاوت در اثر همخوانی بین گویه‌های صحیح و نادرست، الگوی
متفاوتی را در وضعیت تأخیر ۳ و ۱۰ نشان داد که این تفاوت در اثر همخوانی از نواحی قدامی،
خلفی و نیمکره راست بیشتر بود.

تجزیه و تحلیل تکمیلی نشان داد که در نظر گرفتن پاسخ‌های صحیح در وضعیت تأخیر ۱۰ روی
سیگنال‌ها اثر معنی‌داری نمی‌گذارند: [Congruency: F=0.000, p=0.992]. تعامل همخوانی
و جانبی‌بودگی برای این وضعیت نیز اثر معنی‌داری روی سیگنال‌ها نداشت:
[Congruency×Laterality: F=2.307, p=0.129]. برای پاسخ‌های غلط در وضعیت تأخیر
۱۰ نیز اثر معنی‌داری مشاهده نشد: [Congruency: F=0.000, p=0.924]. همچنین تعامل
همخوانی و جانبی‌بودگی برای این وضعیت نیز اثر معنی‌داری روی سیگنال‌ها نداشت:
[Congruency×Laterality: F=0.108, p=0.743]. به‌طور مشابه، برای وضعیت تأخیر ۳،
پاسخ‌های صحیح روی سیگنال‌ها اثر معنی‌داری نداشتند: [Congruency: F=0.001,
p=0.981] تعامل همخوانی و جانبی‌بودگی برای این وضعیت به‌صورت حاشیه‌ای اثرگذاری
معنی‌داری دارد: [Congruency×Laterality: F=3.328, p=0.068]... برای پاسخ‌های غلط
در وضعیت تأخیر ۳ اثر معنی‌داری مشاهده نشد: [Congruency: F=0.000, p=0.993]؛ اما
تعامل همخوانی و جانبی‌بودگی برای این وضعیت اثر معنی‌داری روی سیگنال‌ها نشان داد:
[Congruency×Laterality: F=5.572, p=0.018]

در این پژوهش به‌نظر می‌رسد تحریک‌ها با وضعیت تأخیر ۳ اثر همخوانی قابل‌اعتمادتری

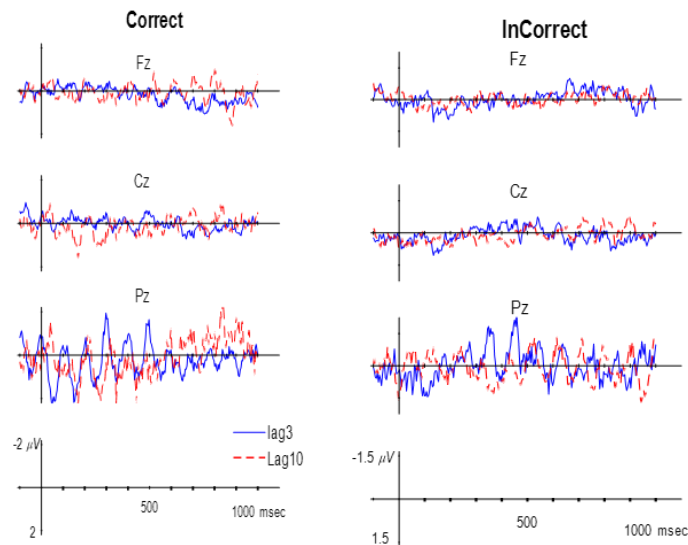
نسبت به وضعیت تأخیر ۱۰ را نشان می‌دهند. این نتایج نشان‌دهنده این هستند که اثر همخوانی در نواحی جانبی راست و چپ در بیشترین حد امکان بوده است. در شکل ۴ مقادیر میانگین کلی. آر. پی. برای وضعیت تأخیر ۱۰ و وضعیت تأخیر ۳ در هرکدام از وضعیت‌های پاسخ صحیح و غلط شکل موج‌ها برای تحریک‌های همخوان و ناهمخوان نشان داده شده است.



شکل ۴- منحنی‌های میانگین کلی. آر. پی. در نواحی میانی سر برای تحریک‌های T2 که به درستی یا به اشتباه پاسخ داده شده‌اند. مقادیر برای وضعیت تأخیر ۱۰ در سمت چپ و برای وضعیت تأخیر ۳ در سمت راست نشان داده شده‌اند.

همان‌طور که در تصویر ۴ مشاهده می‌شود، در وضعیت تأخیر ۱۰، اثرات منفی بیشتری در جفت واژه‌های ناهمخوان که به درستی پاسخ داده شده‌اند، دیده می‌شود.

همچنین در شکل ۵ اختلاف میانگین تحریک‌های همخوان و ناهمخوان برای وضعیت‌های صحیح و غلط، در وضعیت تأخیر ۳ و وضعیت تأخیر ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در وضعیت تأخیر ۳ ERP‌های منفی تری نسبت به وضعیت تأخیر ۱۰ ایجاد کرده است.



شکل ۵- شکل موج‌های اختلاف (میانگین تحریک‌های T2 همخوان منهای میانگین تحریک‌های T2 ناهمخوان) در نواحی میانی سر برای تحریک‌های T2 که به درستی (سمت چپ) یا به اشتباه (سمت راست) پاسخ داده شده‌اند. مقادیر برای تأخیر ۳ به صورت خطوط ممتد و برای تأخیر ۱۰ به صورت خط چین نشان داده شده‌اند.

۹ بحث و نتیجه‌گیری

از نظر رفتاری، متوجه شدیم که شرکت‌کنندگان در گزارش اهدافی که در دوره AB رخ می‌دهند در مقایسه با اهداف خارج از این دوره به طور معنی‌داری صحت کمتری داشتند.

در تأخیر ۱۰، اهدافی که قبل از آن‌ها یک واژه از لحاظ دستوری ناهمخوان قرار داشتند، یک موج منفی دیرنگام را ایجاد کردند که تقریباً در ۵۰۰ هزارم ثانیه شروع شد. این اثر ناسازگاری نحوی، توزیعی را نشان داد که قدامی و جانبی بود. در تأخیر ۳، هیچ اثر قابل‌توجهی از همخوان بودن دستوری یافت نشد.

این اثر همخوانی تأخیر ۱۰ مشابه مطالعات قبلی است (مونته و همکاران، ۱۹۹۳؛ فردریچی^۱ و همکاران، ۱۹۹۳؛ هانه^۲ و فریدریچی، ۱۹۹۹؛ بترنیک و همکاران، ۲۰۱۲). بیشترین شباهت در نتایج را می‌توان در مطالعه بترنیک و همکاران (۲۰۱۲) مشاهده کرد که محرک‌ها و تکلیف آن‌ها شبیه به آنچه در پارادایم ما استفاده می‌شود، بود. در آن مطالعه، از حروف تعریف (the, a, an) یا

1. A. D. Friederici

2. A. Hahne

ضمایر فاعلی (we, you, she,...) استفاده می‌شد که بعد از آن‌ها اسم قرار می‌گرفت که جفت واژه دستوری یا نادستوری را تشکیل می‌دادند. از شرکت‌کنندگان خواسته شده بود تصمیم بگیرند که آیا هر جفت واژه یک عبارت درست از لحاظ نحوی را تشکیل می‌دهد یا خیر. نویسندگان گزارش کردند که ERP‌های استخراج‌شده توسط اهدافی که قبل از آن‌ها اعداد اول، از نظر دستوری نادرست هستند، موج منفی با آغازی بین ۵۰۰ تا ۵۵۰ هزارم ثانیه پس از محرک به همراه داشتند. نسبت به اثری که در یک تکلیف ارتباط معنایی که بخشی از این مطالعه نیز بود، یافت شد، اثر همخوانی نحوی دیرتر بود و مشابه یافته‌های ما، توزیع قدامی‌تری داشت. گزارش شده است که این اثر هماهنگی نحوی دارای توزیع قدامی‌تری در سمت چپ بود، در حالی که توزیع اثر ما نه به طور معنی‌داری سمت چپ و نه قدامی بود؛ بنابراین این دو اثر، در حالی که مشابه هستند، در توزیع یکسان نیستند. با اینکه، پارادایم مورد استفاده در مطالعه بترینیک و همکاران (۲۰۱۲) و پارادایم مورد استفاده در مطالعه ما در پارامترهای مختلفی از جمله وجود یک تکلیف هم‌زمان، وجود موارد حواس‌پرتی، مدت‌زمان محرک و هم‌زمانی شروع محرک کاملاً شبیه به هم بودند، اما نتایج آماری نشان داد که در قسمت اثر همخوانی متفاوت هستند. همان‌طور که گفته شد، در وضعیت تأخیر ۳ در پژوهش حاضر اثر همخوانی قابل‌اعتمادتری مشاهده شد، در حالی که در مطالعه پیشین این مسئله در وضعیت تأخیر ۱۰ مشاهده شد؛ که به نظر می‌رسد این مورد به دلیل کوتاهی فاصله زمانی بین واژه آماده‌سازی و هدف اول که در وضعیت تأخیر ۳ قرار داشته است بوده است. چراکه شخص باید هم واژه آماده‌سازی، هم زوج و فرد بودن عدد و نیز همخوانی واژه آماده‌سازی را با واژه هدف در حافظه فعال خود نگهداری می‌کرد و بنابراین فاصله کوتاه زمانی بین دو هدف باعث کاهش بار شناختی می‌شد. به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر اثر همخوانی در وضعیت تأخیر ۳ به دلیل بار شناختی، اثر AB را خنثی کرده است. همچنین می‌توان متغیرهای دیگری نظیر دشواری کلی تکلیف، خستگی شرکت‌کننده و تعداد گویه‌ها را بر توزیع اثر دخیل دانست.

نه آزمایش حاضر و نه مطالعه مونته و همکاران (۱۹۹۳) و نه در آزمایش بترینیک و همکاران (۲۰۱۲) پاسخ دوفازی مشخصه‌ای را که معمولاً در پاسخ به نقض نحوی ایجاد می‌شود، پیدا نکردند. این یافته نشان می‌دهد که حداقل زمینه ارائه‌شده توسط واژه آماده‌سازی اطلاعات نحوی کافی برای برانگیختن پاسخ دوفازی را ارائه نمی‌دهد. با توجه به آنچه تحقیقات قبلی در مورد LAN و p600 نشان داده‌اند عدم وجود این مؤلفه‌ها در پاسخ به محتوای نحوی ضعیف تعجب‌آور نیست. تصور می‌شود که LAN شاخصی از فرایندهای اولین گذر مرتبط با پردازش

نحوی است که در آن تخصیص ساختار نحوی اولیه بر اساس اطلاعات مقوله‌بندی واژه انجام می‌شود (فردریچی و همکاران، ۱۹۹۵؛ ۲۰۰۲). در مورد جفت واژه‌ها، ممکن است اطلاعات ساختاری کافی برای پیوند واژه اول با واژه مقصد وجود نداشته باشد و حتی زمانی که این دو واژه یک عبارت همخوان نحوی تشکیل نمی‌دهند، این ناهنجاری به‌عنوان نقض مقوله‌بندی واژه شناخته نمی‌شود؛ و بنابراین توسط شبکه محلی نمایه نمی‌شود. بدون ساختار نحوی سلسله‌مراتبی کامل ارائه‌شده توسط یک جمله کامل، ممکن است فرایندهای خودکار بیشتری که توسط LAN منعکس می‌شوند، آغاز نشوند. علاوه بر این، درحالی‌که ارائه جملات کامل، شنیداری یا دیداری، یک اتفاق رایج در زندگی روزمره است و یک مجموعه محرک نسبتاً معتبر از نظر زیست‌محیطی را نشان می‌دهد، ارائه جفت واژه‌های جداشده بسیار مصنوعی به نظر می‌رسد. ممکن است پردازش جفت واژه‌ها تاحدودی متفاوت از پردازش زبان عادی توسط نظام شناختی باشد و بنابراین ممکن است توسط سازوکارهای عصبی کنترل‌شده‌تری تحت تأثیر قرار گیرد. عدم وجود یک پی. ۶۰۰ به جفت کلمه مجزا نیز غیرمنتظره نیست. فرضیه p600 منعکس‌کننده فرایندهای تحلیل مجدد و اصلاح ساختار نحوی است که ممکن است زمانی ضروری شود که یک واژه ورودی به‌راحتی در اطلاعات استدلال معنایی و فعل گنجانده نشود (فردریچی و همکاران، ۱۹۹۵)؛ به‌عبارت‌دیگر، p600 تلاشی برای تحلیل مجدد و اصلاح ساختار نحوی اولیه ساخته شده به‌منظور کشف معنا را نشان می‌دهد. تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که وقتی معنا کاهش می‌یابد، مانند جملات بی‌معنی یا از نظر معنایی ضعیف، p600 ضعیف می‌شود (کانسکو-گونزالس، ۲۰۰۰؛ مونته و همکاران، ۱۹۹۷؛ یامادا^۲ و نیویل^۳، ۲۰۰۷). در مورد جفت واژه‌ها، جایی که ساختار نحوی کوچکی توسط آماده‌سازی ارائه می‌شود، تحلیل مجدد و اصلاح ساختار نحوی برای کشف معنی انجام نمی‌شود و پی. ۶۰۰ استخراج نمی‌شود.

این ایده که پیچیدگی محتوای زبانی می‌تواند تأثیرات مهمی بر پاسخ ERP استخراج‌شده داشته باشد، مستقیماً توسط باربر^۴ و کاریراس^۵ (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت. جفت واژه‌های اسپانیایی که از یک حرف تعریف و یک اسم تشکیل شده بودند، ارائه شدند که در آن‌ها روابط

1. E. Canseco-Gonzalez
3. H. Neville
5. M. Carreiras

2. Y. Yamada
4. H. Barber

مطابقت جنسیت یا شمار نقض شده بود. در شرط دوم، نقض مطابقت با جفت واژه‌های یکسان در جملات درج شد. نقض‌هایی که در یک بافت حداقلی (شرایط جفت واژه) رخ داده بودند، یک اثر منفی با توزیع گسترده بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ هزارم ثانیه پس از محرک، در نواحی پیشانی، مرکزی و پسین را برانگیخت، درحالی‌که نقض‌هایی که در یک بافت زبانی غنی رخ داده‌اند (شرایط جمله کامل) هم یک LAN و هم یک پی. ۶۰۰ را ایجاد کرد؛ بنابراین، این نتایج از این پیشنهاد حمایت می‌کند که غنای بافت نحوی بر پاسخ ERP مشاهده‌شده تأثیر دارد.

برای پرداختن به اینکه آیا مؤلفه نحوی منفی دیر هنگام ما یک فرایند خودکارتر را نمایه می‌کند یا یک فرایند کنترل‌شده و وابسته به آگاهی، گویه‌های درست و از دست‌رفته را در وضعیت تأخیر ۱۰ جدا کردیم. ما متوجه شدیم که این اثر زمانی که افراد قادر به گزارش هدف نبودند حذف شد. این نتیجه ممکن است نشان دهد که این اثر در حال نمایه‌سازی فرایندی است که کنترل‌شده و وابسته به هوشیاری آگاهانه است. تأخیر نسبتاً زیاد این اثر که تقریباً در ۵۰۰ هزارم ثانیه شروع می‌شود، از این تفسیر پشتیبانی می‌کند و نشان می‌دهد که این فرایند به‌خوبی پس از پنجره زمانی اولیه رخ می‌دهد که تصور می‌شود فرایندهای خودکار بیشتری رخ می‌دهند. اگر این پارادایم از زمینه نحوی غنی‌تری استفاده می‌کرد، ممکن بود شواهد بیشتری از فرایندهای نحوی خودکار و مستقل از آگاهی ببینیم.

همان‌طور که توضیح داده شد، نقض نحوی در این پژوهش به‌جای پاسخ دوفازی مشخصه (LAN + P600) که معمولاً در پاسخ به نقض نحوی مشاهده می‌شود، دیده نشد. در عوض یک پاسخ منفی دیر هنگام را برانگیخت. این احتمال وجود دارد که حداقل زمینه ارائه‌شده توسط واژه اول، ساختار نحوی کافی برای برانگیختن اثر دوفازی معمولی را ارائه نکرده باشد و بنابراین نتایج نحوی حاصل از این مطالعه ممکن است به پردازش نحوی که تحت شرایط پردازش زبان طبیعی‌تر اتفاق می‌افتد قابل‌تعمیم نباشد. به‌رحال نتایج ما تأیید بیشتری را برای این یافته فراهم می‌کند که پردازش نقض‌های دستوری در یک زمینه حداقلی با اثر منفی دیر هنگام نمایه می‌شود. به‌نظر می‌رسد این پاسخ منفی دیر هنگام منعکس‌کننده یک فرایند کنترل‌شده باشد که به هوشیاری آگاهانه وابسته است؛ بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که پردازش نحوی در سخنگویان زبان فارسی، امری کنترل‌شده و آگاهانه است که با هوشیاری انجام می‌پذیرد و بافت نحوی محدودشده را می‌توان دلیل این امر دانست.

از آنجاکه این پژوهش به بررسی خودکارشدگی در بافت نحوی محدودشده پرداخته است،

پژوهش‌های آتی می‌توانند به بررسی بافت‌های نحوی گسترده‌تر و پیچیده‌تر مانند جمله پردازد. همچنین می‌توان خودکارشدگی را در افراد دوزبانه بررسی کرد و تأثیر دوزبانگی را بر خودکارشدگی پردازش نحوی موردبررسی قرار داد.

از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به این امر اشاره کرد که این پژوهش در بازه زمانی اوج‌گیری پاندمی کرونا اجرا شد و به دلیل وجود این بیماری یافتن شرکت‌کنندگان امری بسیار طاقت‌فرسا بود زیرا افراد تمایلی به حضور در آزمایشگاه جهت انجام آزمایش نداشتند.

۱۰ سپاس‌گزاری

این پژوهش از نظر مالی در ستاد علوم و فناوری‌های شناختی (به شماره ۷۴۰۱) حمایت شده است. علاوه بر این، حمایت‌های مالی دانشگاه تربیت مدرس، شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی و وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ایران را ارج می‌نهیم. همچنین از آزمایشگاه ملی نقشه‌برداری مغز ایران برای ارائه خدمات جمع‌آوری داده‌ها برای این پژوهش سپاسگزاریم.

منابع

بی‌جن‌خان، محمود (۱۳۹۷). فرهنگ بسامدی: براساس پیکره متنی زبان فارسی امروز. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

- Anderson, J. R. (1983). *The Architecture of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Barber, H. & M. Carreiras (2005). "Grammatical gender and number agreement in spanish: An ERP comparison". *Journal of Cognitive Neuroscience* 17(1), 137–153.
- Batterink, L, C. M. Karns, Y. Yamada, & Neville (2012). "The Role of Awareness in Semantic and Syntactic Processing: An ERP Attentional Blink Study". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29, 2514- 2529.
- Berkovitch, L. & S. Dehaene (2019). "Subliminal syntactic priming". *Cognitive Psychology*. 109, 26–46. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2018.12.001>
- Blackwood, D. H. & W. J. Muir (1990). "Cognitive brain potentials and their application". *The British Journal of Psychiatry*, 157(Suppl 9), 96-101.

- Canseco-Gonzalez, E. (2000). "Using the recording of event-related brain potentials in the study of sentence processing". *Language and the brain: Representation and processing*. Y. Grodzinsky, L. P. Shapiro, & D. Swinney (eds.), New York: Academic Press, 229-260.
- DeKeyser, R. M. (2001). "Automaticity and automatization". *Cognition and Second Language Instruction*. P. Robinson (Ed.), New York: Cambridge University Press, 125-151.
- Dehaene, S. et al. (2003). "three parietal circuits for number processing". *Cognitive Neuropsychology*. 20(3-6), 487-506.
- Folstein, J. R. & C. van Petten (2008). "Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review". *Psychophysiology*. 45, 152-170.
- Friederici, A. D. (1995). "The time course of syntactic activation during language processing: A model based on neuropsychological and neurophysiological data". *Brain and Language*. 50, 259-281
- Friederici, A. D., B. Opitz, & Y. D. von Cramon (2002). "Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: An fMRI investigation of different word types". *Cerebral Cortex*. 10(7), 698-705.
- Friederici, A. D., E. Pfeifer, & A. Hahne (1993). "Event-related brain potentials during natural speech processing: Effects of semantic, morphological and syntactic violations". *Cognitive Brain Research*, 1, 183-192.
- Goodman, G. O., J. L. McClelland, & R. W. Gibbs (1981). "The role of syntactic content in word recognition". *Memory & Cognition*. 9, 580-586.
- Hahne, A. & A. D. Friederici (1999). "Electrophysiological evidence for two steps in syntactic analysis: Early automatic and late controlled processes". *Journal of Cognitive Neuroscience*. 11, 194-205.
- Hartsuiker, R. J. & A. Moors (2017). "On the automaticity of language processing". *Entrenchment and the Psychology of Language Learning: How We Reorganize and Adapt Linguistic Knowledge*. H. J. Schmid (ed.), American Psychological Association; De Gruyter Mouton, 201-225.
- Iijima, K. & K. L. Sakai (2014). "Subliminal enhancement of predictive effects during syntactic processing in the left inferior frontal gyrus: An MEG study". *Frontiers in Systems Neuroscience*. 8, 217.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Kiefer, M., N. M. Trumpp, C. Schaitz, H. Reuss, & W. Kunde (2019). "Attentional modulation of masked semantic priming by visible and masked task cues". *Cognition*, 187, 62–77.
- Lehtonen, M., P. J. Monahan, & D. Poeppel (2011). "Evidence for Early Morphological Decomposition: Combining Masked Priming with Magnetoencephalography". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3366–3379.
- Levelt, W. J. M., A. Roelofs, & A. S. Meyer (1998). "A theory of lexical access in speech production". *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 1–75.
- Logan, G. D. (1988). "Toward an instance theory of automatization". *Psychological Review*, 95, 492–527. doi:10. 1037/0033-295X.95.4.492.
- Marslen-Wilson, W. D., M. Bozic, & B. Randall (2008). "Early decomposition in visual word recognition: Dissociating morphology, form, and meaning". *Language, Cognition and Neuroscience*, 23(3), 394–421.
- Münte, T. J., H. Heinze, & G. Mangun (1993). "Dissociation of brain activity related to syntactic and semantic aspects of language". *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 335–344.
- Paradis, M. (2009). *Declarative and Procedural Determinants of Second Languages* (Vol. 40). Amsterdam: John Benjamins.
- Schmidt, R. (1994). "Deconstructing consciousness in search of useful definitions for applied linguistics". *Consciousness and Second Language Learning: Conceptual, Methodological and Practical Issues in Language Learning and Teaching, Thematic Issue of AILA Review—Revue de l'AILA*. J. H. Hulstijn & R. Schmidt (eds.), 11, 11–26.
- Segalowitz, N. (2003). "Automaticity and second language learning". *The Handbook of Second Language Acquisition*. C. Doughty & M. Long (eds.), Oxford: Blackwell. 10.1002/9780470756492, 382–408
- Segalowitz, N. (2010). *The Cognitive Bases of Second Language Fluency*. New York: Routledge.
- Seidenberg, M. S. (1997). "Language acquisition and use: Learning and applying probabilistic constraints". *Science*, 275 (5306), 1599–1603.
- Seidenberg, M. S., et al. (1984). "Pre- and post-lexical loci of contextual effects on word recognition". *Memory & Cognition*, 12, 315–328.
- Sereno, J. A. (1991). "Graphemic, associative, and syntactic priming effects at a brief stimulus onset asynchrony in lexical decision and naming". *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 459–477.

- Van den Bussche, E., W. Van den Noortgate, & B. Reynvoet (2009). "Mechanisms of masked priming: A meta-analysis". *Psychological Bulletin*, 135(3), 452-477.
- Vogel, E. K., S. J. Luck, & K. L. Shapiro (1998). "Electrophysiological evidence for postperceptual locus of suppression during the attentional blink". *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 24(6), 1656- 1674.
- Wright, B. & M. Garrett (1984). "Lexical decision in sentences: Effects of syntactic structure". *Journal of Memory and Cognition*. 12, 31-45.
- Yamada, Y. & H. Neville (2007). "An ERP study of syntactic processing in English and nonsense sentences". *Brain Research*. 1130, 167-180.