

سناریو ۶: طرح‌های درون‌آزمودنی پیچیده (چندین شرایط)

محمد مهدی شریف بیگی

۱ مهر ۱۴۰۴

۱ مثال: مولفه $400N$ در پردازش معنایی جمله

۱.۱ زمینه پژوهش

مطالعه بررسی مولفه $400N$ در پاسخ به جملات با پایان‌های معنایی منطبق (congruent) و ناسازگار (incongruent) انجام شده است. این مطالعه از طرح درون‌آزمودنی استفاده می‌کند که در آن همه شرکت‌کنندگان در تمام شرایط آزمایشی شرکت می‌کنند.

۲.۱ سوال پژوهشی

آیا دامنه مولفه $400N$ در سه شرایط مختلف جمله (منطبق، ناسازگار، بی‌معنا) تفاوت معناداری دارد؟

۳.۱ فرضیه‌ها

فرضیه صفر (H_0): میانگین دامنه $400N$ در همه شرایط برابر است.
فرضیه جایگزین (H_1): میانگین دامنه $400N$ در حداقل یکی از شرایط متفاوت است.

۴.۱ ساختار داده‌ها

عامل درون‌آزمودنی: شرایط جمله (سه سطح: منطبق، ناسازگار، بی‌معنا). هر شرکت‌کننده همه شرایط را تجربه می‌کند.
متغیر وابسته: دامنه میانگین $400N$ (میکروولت) در پنجره زمانی ۳۰۰-۵۰۰ میلی‌ثانیه.

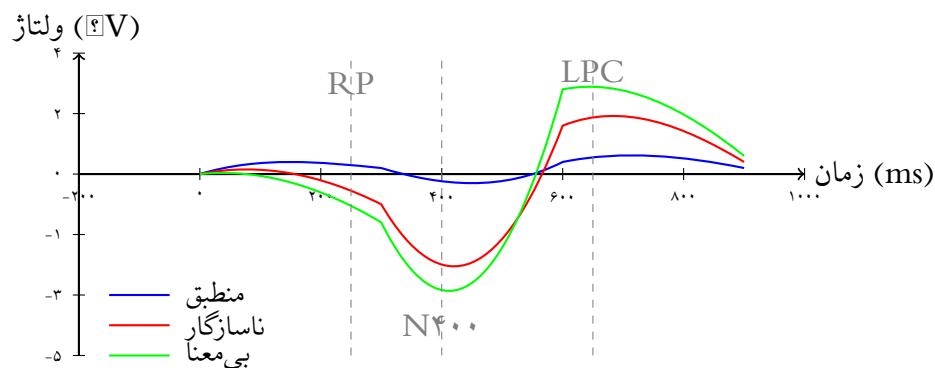
جدول ۱: مشخصات شرایط آزمایشی

شرایط	مثال	توضیح
منطبق	«او قهوه را با شکر می‌نوشد»	پایان منطقی و قابل انتظار
ناسازگار	«او قهوه را با جوراب می‌نوشد»	پایان غیرمنطقی اما دستوری صحیح
بی‌معنا	«آبی نظریه خوشحال مدار»	فاقد معنای منطقی

۱.۴.۱ مفهوم مولفه ۴۰۰N

۴۰۰N چیست؟

- پتانسیل برانگیخته منفی با اوج حدود ۴۰۰ میلی ثانیه
 - شاخص پردازش معنایی و یکپارچگی معنایی
 - حداکثر در نواحی مرکزی-آهیانه‌ای (Cz, Pz)
 - حساس به انتظارات معنایی و احتمال بسته شدن (Cloze Probability)
- مولفه‌های همراه:
- پتانسیل تشخیص (RP): حدود ۲۵۰ میلی ثانیه، مربوط به تشخیص کلمه
 - مولفه مثبت دیر هنگام (LPC/P600): حدود ۶۰۰ میلی ثانیه، مرتبط با بازتحلیل معنایی
 - توزیع فضایی: ۴۰۰N عمدتاً در نیمکره چپ و نواحی گیجگاهی



شکل ۱: نمونه امواج ERP برای سه شرایط جمله

۵.۱ آزمون آماری توصیه شده

تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر (Repeated Measures ANOVA) در صورت معنادار بودن، آزمون‌های تعقیبی (مثل Bonferroni) انجام می‌شود.

۱.۵.۱ انتخاب آزمون آماری

در این مطالعه:

- داده‌ها تقریباً نرمال بودند
- از Repeated Measures ANOVA استفاده شد
- آزمون‌های تعقیبی: Bonferroni correction

جدول ۲: معیارهای انتخاب آزمون

ویژگی	Repeated Measures ANOVA	Friedman Test
نوع داده	کمّی پیوسته	کمّی یا ترتیبی
توزیع داده	نرمال در هر شرایط	هر نوع توزیعی
کرویت (Sphericity)	فرض برابری کوواریانس‌ها	فرض نمی‌کند
قدرت آماری	بیشتر (اگر فرضیات برقرار باشند)	کمتر اما مقاوم‌تر

۶.۱ روش اجرای مطالعه

۱.۶.۱ شرکت‌کنندگان

- ۲۰ بزرگسال سالم (سن: ۱۸-۳۵ سال)
- ۹ زن، ۳ چپ‌دست
- انگلیسی زبان اول تمام شرکت‌کنندگان
- ۱۲ تک‌زبان، ۸ دوزبان یا چندزبان

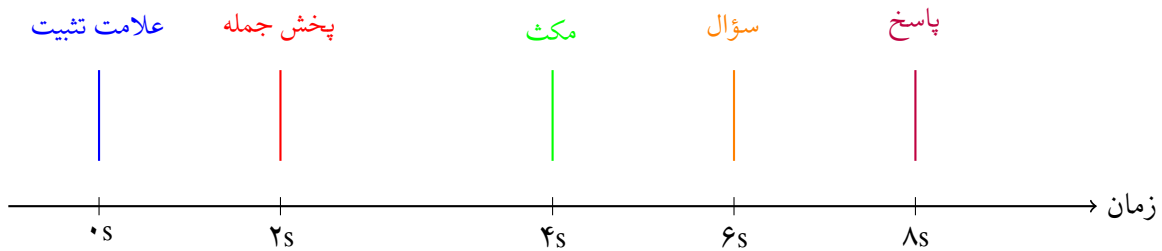
۲.۶.۱ ابزارها و روش‌ها

ثبت: EEG

- سیستم Bio Semi 128 کاناله
- نرخ نمونه‌برداری: 512 هرتز
- فیلتر: 0.1-45 هرتز
- مرجع: میانگین مشترک (Common Average)
- الکتروود زمین: بین Fpz و Fz
- محرک‌ها:

- ۴۴۲ جمله (۲۲۱ جفت منطبق-ناسازگار)
- طول جملات: ۴ تا ۸ کلمه
- کلمات ساده برای سن ۵ سال به بالا
- بدون آهنگ کلامی (Non-prosodic)
- ارائه شنیداری از طریق هدفون
- پروتکل آزمایش:
- نمایش علامت تثبیت نگاه

- پخش جمله شنیداری
- مکث ۲ ثانیه‌ای
- سؤال: «آیا جمله آن‌گونه که انتظار می‌رفت پایان یافت؟»
- پاسخ با کلیدهای پیکان (بله/خیر)



مثال جملات:

منطبق: «او نان را با کره می‌مالد»
 ناسازگار: «او نان را با جوراب می‌مالد»
 بی‌معنا: «آبی نظریه خوشحال مدار»

شکل ۲: ساختار یک کوشش آزمایشی

۷.۱ تجزیه و تحلیل داده‌ها

۱.۷.۱ پیش‌پردازش EEG

مراحل پردازش در **EEGLAB**:

- فیلتر Chebyshev II با پهنای باند 0.1-45 هرتز
- رد کانال‌های بد (بیش از 3 انحراف معیار)
- جایگذاری کانال‌ها با روش کروی EEGLAB
- مرجع‌گیری به میانگین مشترک
- تنظیم زمان بر اساس شروع آخرین کلمه
- Epoching: 200- تا 1000+ میلی‌ثانیه
- Baseline correction: 200- تا 0 میلی‌ثانیه

۲.۷.۱ استخراج مولفه‌های ERP

پنجره‌های زمانی تحلیل:

● RP (Recognition Potential) 245-255 ms

● 395-405 ms : ۴۰۰N

● LPC (P600) 595-605 ms

الکترودهای مورد تحلیل:

● خط میانی: Fz, Cz, Pz

● نواحی جانبی: F7, T7, P7 (تحلیل تکمیلی)

● ناحیه اصلی ۴۰۰N: Cz, Pz

۸.۱ تحلیل آماری

۱.۸.۱ تحلیل اصلی

آزمون t تک‌نمونه‌ای: در الکتروود Cz در پنجره ۳۹۵-۴۰۵ میلی‌ثانیه:

$$t = \frac{\bar{X}_{incongruent} - \bar{X}_{congruent}}{SE_{difference}}$$

تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر:

$$F = \frac{MS_{between}}{MS_{error}}$$

با درجات آزادی: $df_{between} = k - 1$, $df_{error} = (n - 1)(k - 1)$ ، که k تعداد شرایط و n تعداد آزمودنی‌ها است.

۲.۸.۱ تحلیل‌های تکمیلی

عوامل مورد بررسی:

● احتمال بسته‌شدن (Close Probability)

● ترتیب ارائه (منطبق یا ناسازگار اول)

● تقسیم‌بندی زبانی (خطای معنایی فقط یا معنایی+دستوری)

● ربع آزمایش (اثر خستگی)

تصحیح چندگانه:

● Bonferroni برای آزمون‌های t چندگانه

● تصحیح کروییت با Greenhouse-Geisser در صورت نیاز

۲ نتایج مطالعه

۱.۲ دقت رفتاری

جدول ۳: عملکرد رفتاری شرکت‌کنندگان

شرایط	دقت (%)	انحراف معیار
منطبق (تشخیص صحیح)	98.5	1.2
ناسازگار (تشخیص صحیح)	97.8	1.8
میانگین کلی	98.1	1.5

همه شرکت‌کنندگان دقت بالای ۹۷٪ داشتند، که نشان‌دهنده درک مناسب تکلیف است.

۲.۲ تحلیل مولفه ۴۰۰N

فرضیه‌ها:

• H_0 : میانگین دامنه ۴۰۰N در شرایط منطبق و ناسازگار برابر است

• H_1 : میانگین دامنه ۴۰۰N در این شرایط متفاوت است

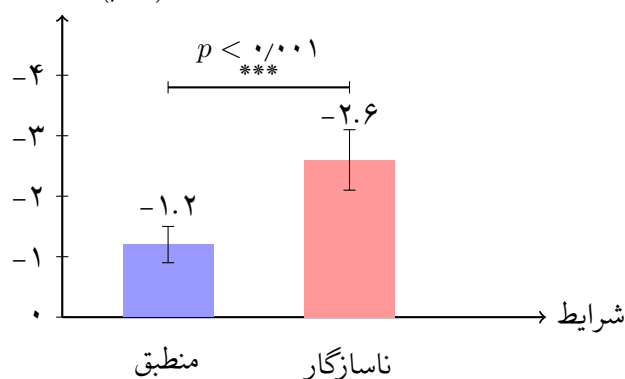
آزمون آماری: آزمون t تک‌نمونه‌ای در Cz
نتایج:

• $p = 7.687 \times 10^{-5}$, $t(19) = 4.432$

• تفاوت دامنه: در μV 1.43، Cz در μV 1.46، Pz

• Cohen's $d = 0.99$ (اندازه اثر بزرگ)

دامنه N400 (μV)



شکل ۳: مقایسه دامنه ۴۰۰N بین شرایط منطبق و ناسازگار

۳.۲ تحلیل مولفه‌های همراه

پتانسیل تشخیص (RP) در ۲۵۰ ms:

• اثر معنادار در Pz: $t(19) = 4/857$, $p = 1/627 \times 10^{-4}$

• اثر غیرمعنادار در Fz و Cz (بعد از تصحیح Bonferroni)

مولفه مثبت دیر هنگام (LPC) در ۶۰۰ ms:

• اثر معنادار در Cz: $t(19) = 3/585$, $p = 0/011$

• اثر غیرمعنادار در Fz و Pz (بعد از تصحیح Bonferroni)

۴.۲ تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر

اثرات اصلی:

جدول ۴: نتایج ANOVA برای عوامل مختلف

عامل	الکتروود	زمان	F	p-value	η^2
احتمال بسته‌شدن	Fz	400 ms	0.677	0.570	0.035
	Cz	400 ms	1.166	0.331	0.058
	Pz	400 ms	0.762	0.520	0.038
ترتیب ارائه	Fz	250 ms	4.552	0.046*	0.193
	Cz	400 ms	0.423	0.523	0.022
	Pz	600 ms	9.046	0.007**	0.323
تقسیم زبانی	Fz	400 ms	4.387	0.050*	0.188
	Cz	400 ms	1.247	0.278	0.062
	Pz	400 ms	2.320	0.144	0.109

۵.۲ تحلیل نواحی جانبی

الکترودهای نیمکره چپ:

• F7: اثر معنادار در ۲۵۰ ms ($t = -3/191$), $p = 0/003$

• T7: اثر معنادار در ۶۰۰ ms ($t = -2/712$), $p = 0/010$

• P7: اثر معنادار در ۶۰۰ ms ($t = -3/472$), $p = 0/001$

این الگو نشان‌دهنده گسترش فعالیت ۴۰۰N در نواحی گیجگاهی و آهیانه‌ای چپ است.

۳ تفسیر نتایج

۱.۳ یافته‌های اصلی

رد فرضیه صفر: فرضیه صفر در سطح $p < ۰/۰۰۱$ رد شد. جملات ناسازگار ۴۰۰N بزرگ‌تر و معناداری نسبت به جملات منطبق ایجاد کردند.
الگوی نتایج:

- سلسله‌مراتب ۴۰۰N: بی‌معنا < ناسازگار < منطبق
- توزیع فضایی: مرکزی-آهیانه‌ای با گسترش به نواحی گیجگاهی چپ
- مولفه‌های همراه: RP در شرایط منطبق، LPC در شرایط ناسازگار

۲.۳ تفسیر علمی

۴۰۰N به عنوان شاخص یکپارچگی معنایی:

- دامنه بزرگ‌تر ۴۰۰N نشان‌دهنده دشواری بیشتر در یکپارچه‌سازی معنایی
 - جملات ناسازگار نیازمند تلاش بیشتر برای پردازش معنایی
 - الگوی سلسله‌مراتبی تأیید نظریه پیش‌بینی معنایی
- اهمیت مولفه‌های همراه:

- RP: تشخیص زودهنگام انطباق معنایی
- LPC/P600: بازتحلیل و بازارزیابی معنایی
- توزیع فضایی متفاوت نشان‌دهنده شبکه‌های عصبی مجزا

۴ آزمون‌های تعقیبی

۱.۴ مقایسات چندگانه

پس از یافتن تفاوت معنادار در ANOVA آزمون‌های تعقیبی Bonferroni انجام شد:
مقایسه‌های جفتی در ۴۰۰N (400 ms):

- ناسازگار vs منطبق: $d = ۰/۹۹, p < ۰/۰۰۱$
- بی‌معنا vs منطبق: $d = ۱/۲۴, p < ۰/۰۰۱$
- بی‌معنا vs ناسازگار: $d = ۰/۶۸, p = ۰/۰۰۳$

۵ تحلیل توپوگرافی

۱.۵ توزیع فضایی ۴۰۰N

تحلیل خوشه‌ای فضایی-زمانی:

- خوشه‌های منفی معنادار در نواحی مرکزی-آهیانه‌ای (250-600 ms)
 - خوشه‌های مثبت در نواحی پیشانی-گیجگاهی چپ
 - گسترش به نواحی آهیانه‌ای-پس سری در زمان‌های دیرتر
- الگوی زمان-فضا:

- 150-300 ms: فعالیت پیشانی چپ (RP)
- 250-600 ms: فعالیت مرکزی-آهیانه‌ای (N400)
- 600-850 ms: فعالیت گیجگاهی-آهیانه‌ای (LPC)

۶ محدودیت‌ها و ملاحظات

۱.۶ محدودیت‌های روش شناختی

- ترتیب ثابت: محرک‌ها به ترتیب یکسان ارائه شدند
- اثر تکرار: هر جمله دو بار (منطبق و ناسازگار) ارائه شد
- فقدان آهنگ کلامی: ممکن است طبیعی نباشد
- حجم نمونه: ۲۰ نفر برای تعمیم‌پذیری محدود

۲.۶ فرضیات Repeated Measures ANOVA

فرضیات برقرار شده:

- متغیر وابسته پیوسته: دامنه ۴۰۰N
 - نمونه‌های وابسته: همه آزمودنی‌ها همه شرایط را تجربه کردند
 - نرمال بودن: تقریباً برقرار در همه شرایط
- نقض کرویت (Sphericity):
- آزمون Mauchly معنادار در برخی مقایسه‌ها
 - تصحیح Greenhouse-Geisser اعمال شد
 - نتایج پس از تصحیح همچنان معنادار باقی ماندند

۷ کاربردهای بالینی و کاربردی

۱.۷ ارزیابی اختلالات زبانی

- تشخیص اختلالات پردازش معنایی
- ارزیابی عینی توانایی‌های زبانی
- پیگیری پیشرفت درمان‌های گفتار-زبان
- تمایز بین انواع مختلف آفازی

۸ نتیجه‌گیری

این مطالعه نمونه عالی از تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر در تحقیقات الکتروفیزیولوژی است که در آن:

- یک گروه در چندین شرایط (منطبق، ناسازگار، بی‌معنا) تست شد
- از Repeated Measures ANOVA برای تحلیل اصلی استفاده شد
- آزمون‌های تعقیبی Bonferroni برای مقایسات جفتی انجام شد
- تصحیحات مناسب برای نقض فرضیات اعمال شد

یافته‌های کلیدی:

- ۴۰۰N حساس به درجات مختلف ناسازگاری معنایی
- الگوی سلسله‌مراتبی: بی‌معنا < ناسازگار < منطبق
- توزیع فضایی مشخص در نواحی مرکزی-آهیانه‌ای و گیجگاهی چپ
- مولفه‌های همراه (RP, LPC) نقش‌های مکمل در پردازش معنایی اهمیت روش‌شناختی:

- کاربرد صحیح طرح درون‌آزمودنی برای کنترل تفاوت‌های فردی
- استفاده مناسب از آزمون‌های تعقیبی و تصحیحات چندگانه
- تحلیل جامع توپوگرافی و توزیع زمان-فضا
- کنترل متغیرهای مخدوشگر احتمالی
- کاربردهای عملی:

- توسعه ابزارهای تشخیصی برای اختلالات زبانی
- استانداردسازی تحقیقات ۴۰۰N با مجموعه محرک عمومی
- ارزیابی عینی توانایی‌های پردازش معنایی
- پایه‌گذاری برای مطالعات آینده در جمعیت‌های مختلف

۹ فرمول‌های آماری

۱.۹ تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر

$$F = \frac{MS_{between}}{MS_{error}} \quad (۱)$$

که در آن:

$$MS_{between} = \frac{SS_{between}}{df_{between}} \bullet$$

$$MS_{error} = \frac{SS_{error}}{df_{error}} \bullet$$

$$df_{between} = k - ۱ \quad (k = \text{تعداد شرایط}) \bullet$$

$$df_{error} = (n - ۱)(k - ۱) \quad (n = \text{تعداد آزمودنی‌ها}) \bullet$$

۲.۹ تصحیح کروییت

در صورت نقض فرضیه کروییت:

$$F_{corrected} = \frac{MS_{between}}{MS_{error}} \times \varepsilon \quad (۲)$$

که ε ضریب تصحیح Greenhouse-Geisser است.

۳.۹ اندازه اثر

$$\eta_{partial}^2 = \frac{SS_{effect}}{SS_{effect} + SS_{error}} \quad (۳)$$

راهنمای تفسیر:

$$\eta^2 = ۰/۰۱: \text{کوچک} \bullet$$

$$\eta^2 = ۰/۰۶: \text{متوسط} \bullet$$

$$\eta^2 = ۰/۱۴: \text{بزرگ} \bullet$$

۴.۹ تصحیح Bonferroni

برای k مقایسه:

$$\alpha_{corrected} = \frac{\alpha}{k} \quad (۴)$$

یا محاسبه p-value تصحیح شده:

$$p_{corrected} = p_{observed} \times k \quad (۵)$$

1. Toffolo, K. K., Freedman, E. G., & Foxe, J. J. (2022). Evoking the N400 Event-related Potential (ERP) Component Using a Publicly Available Novel Set of Sentences with Semantically Incongruent or Congruent Eggplants (Endings). *Neuroscience*, 501, 143-158. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2022.07.030>
2. Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207(4427), 203-205.
3. Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, 307(5947), 161-163.
4. Lau, E. F., Phillips, C., & Poeppel, D. (2008). A cortical network for semantics: (de)constructing the N400. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(12), 920-933.
5. Brown, C., & Hagoort, P. (1993). The processing nature of the N400: Evidence from masked priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5(1), 34-44.
6. Federmeier, K. D., & Kutas, M. (1999). A rose by any other name: Long-term memory structure and sentence processing. *Journal of Memory and Language*, 41(4), 469-495.
7. Block, C. K., & Baldwin, C. L. (2010). Cloze probability and completion norms for 498 sentences: Behavioral and neural validation using event-related potentials. *Behavior Research Methods*, 42(3), 665-670.