

# سناریو ۶: طرح‌های درونآزمودنی پیچیده (چندین شرایط)

محمد Mehdi شریف بیگی

۱۴۰۴

## ۱ مثال: مولفه N ۴۰۰ در پردازش معنایی جمله

### ۱.۱ زمینه پژوهشی

مطالعه بررسی مولفه N ۴۰۰ 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 N ۴۰۰ در سه شرایط مختلف جمله (منطبق، ناسازگار، بی‌معنا) تفاوت معناداری دارد؟

### ۳.۱ فرضیه‌ها

فرضیه صفر (H<sub>0</sub>): میانگین دامنه N ۴۰۰ در همه شرایط برابر است.

فرضیه جایگزین (H<sub>1</sub>): میانگین دامنه N ۴۰۰ 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 N ۴۰۰ (میکروولت) در پنجره زمانی ۳۰۰-۵۰۰ میلی‌ثانیه.

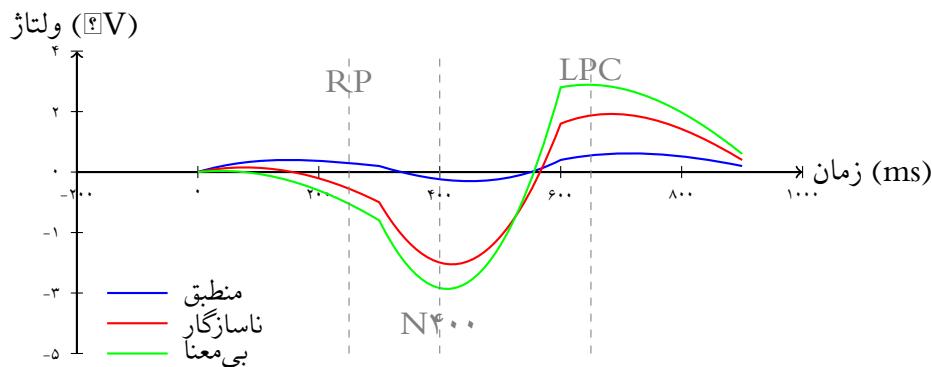
جدول ۱: مشخصات شرایط آزمایشی

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 $400\text{N}$

$400\text{N}$  چیست؟

- پتانسیل برانگیخته منفی با اوج حدود  $400$  میلیثانیه
  - شاخص پردازش معنایی و یکپارچگی معنایی
  - حداکثر در نواحی مرکزی-آهیانهای ( $\text{Cz}, \text{Pz}$ )
  - حساس به انتظارات معنایی و احتمال بسته شدن (Cloze Probability)
- مولفه های همراه:
- پتانسیل تشخیص (RP): حدود  $250$  میلیثانیه، مربوط به تشخیص کلمه
  - مولفه مثبت دیرهنگام (LPC/P600): حدود  $600$  میلیثانیه، مرتبط با باز تحلیل معنایی
  - توزیع فضایی:  $400\text{N}$  عمدتاً در نیمکره چپ و نواحی گیجگاهی



شکل ۱: نمونه امواج ERP برای سه شرایط جمله

## ۱.۵ آزمون آماری توصیه شده

تحلیل واریانس اندازه گیری های مکرر (Repeated Measures ANOVA) در صورت معنادار بودن، آزمون های تعقیبی (مثل Bonferroni) انجام می شود.

### ۱.۵.۱ انتخاب آزمون آماری

در این مطالعه:

- داده ها تقریباً نرمال بودند
- از Repeated Measures ANOVA استفاده شد
- آزمون های تعقیبی: Bonferroni correction

جدول ۲: معیارهای انتخاب آزمون

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

## 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 تک‌زبانه، ۸ دو زبانه یا چند زبانه

### ۲.۶.۱ ابزارها و روش‌ها

ثبت EEG:

- سیستم Bio Semi 128 کانااله

- نرخ نمونه‌برداری: ۵۱۲ هرتز

- فیلتر: ۰.۱-۴۵ هرتز

- مرجع: میانگین مشترک (Common Average)

- الکترود زمین: بین Fz و Fpz

محرك‌ها:

- ۴۴۲ جمله (۲۲۱ جفت منطبق-ناسازگار)

- طول جملات: ۴ تا ۸ کلمه

- کلمات ساده برای سن ۵ سال به بالا

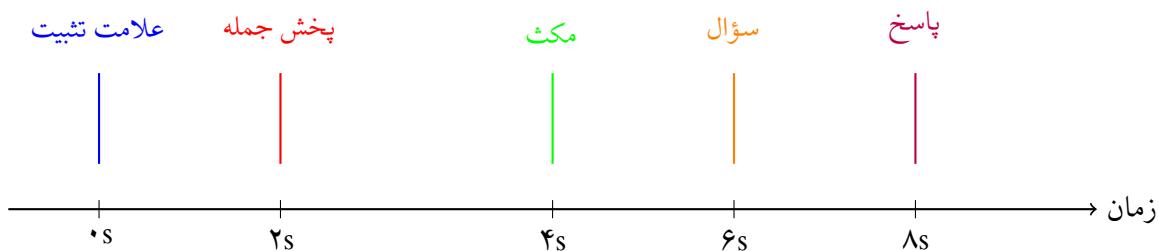
- بدون آهنگ کلامی (Non-prosodic)

- ارائه شنیداری از طریق هدفون

پروتکل آزمایش:

- نمایش علامت تثیت 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»  
 بی معنا: «آبی نظریه خوشحال مدار»

شکل ۲: ساختار یک کوشنش آزمایشی

## ۷.۱ تجزیه و تحلیل داده‌ها

### ۱.۷.۱ EEG پیش‌پردازش

: **EEGLAB** مراحل پردازش در

- فیلتر Chebyshev II با پهنه‌ای باند ۰.۱-۴۵ هرتز
- رد کانال‌های بد (بیش از ۳ انحراف معیار)
- جایگذاری کانال‌ها با روش کروی EEGLAB
- مرجع‌گیری به میانگین مشترک
- تنظیم زمان بر اساس شروع آخرین کلمه
- Epoching: ۰-۲۰۰ تا +۱۰۰۰ میلی‌ثانیه
- Baseline correction: ۰-۲۰۰ میلی‌ثانیه

## ۲.۷.۱ استخراج مولفه‌های ERP

پنجره‌های زمانی تحلیل:

245-255 ms : (Recognition Potential) RP •

395-405 ms : ۴۰۰ N •

595-605 ms : (P600) LPC •

الکترودهای مورد تحلیل:

• خط میانی: Fz, Cz, Pz

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

• ناحیه اصلی: Cz, Pz : ۴۰۰ N

## ۸.۱ تحلیل آماری

### ۱.۸.۱ تحلیل اصلی

آزمون t تکنمونه‌ای: در الکترود 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: ۱،  $df_{between} = k - 1$ ،  $df_{error} = (n - 1)(k - 1)$  که  $k$  تعداد شرایط و  $n$  تعداد آزمودنی‌ها است.

## ۲.۸.۱ تحلیل‌های تکمیلی

عوامل مورد بررسی:

• احتمال بسته‌شدن (Close Probability)

• ترتیب ارائه (منطقی یا ناسازگار اول)

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

• ربع آزمایش (اثر خستگی)

تصحیح چندگانه:

• Bonferroni برای آزمون‌های t چندگانه

• تصحیح کرویت با Greenhouse-Geisser در صورت نیاز

## ۲ نتایج مطالعه

### ۱.۲ دقیق رفتاری

جدول ۳: عملکرد رفتاری شرکت‌کنندگان

شرایط	دقیق (%)	انحراف معیار
منطبق (تشخیص صحیح)	98.5	
ناسازگار (تشخیص صحیح)	97.8	
میانگین کلی	98.1	

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

### ۲.۲ تحلیل مولفه N۴۰۰

فرضیه‌ها:

•  $H_0$ : میانگین دامنه N۴۰۰ در شرایط منطبق و ناسازگار برابر است

•  $H_1$ : میانگین دامنه N۴۰۰ در این شرایط متفاوت است

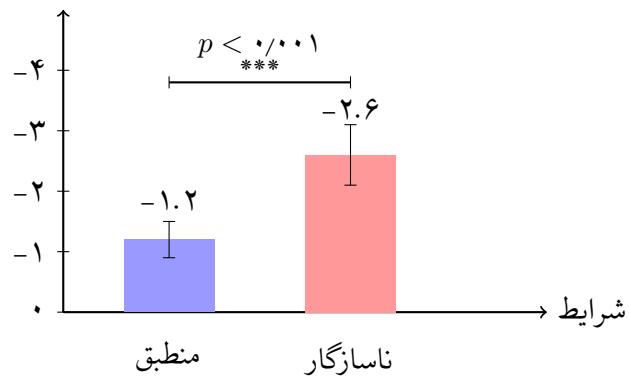
آزمون آماری: آزمون  $t$  تک‌نمونه‌ای در Cz  
نتایج:

$$p = 7/687 \times 10^{-5}, t(19) = 4/432 \bullet$$

• تفاوت دامنه: Cz  $\mu V$  ۱.۴۶، Pz  $\mu V$  ۱.۴۳ در

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

دامنه N400 ( $\mu V$ )



شکل ۳: مقایسه دامنه N۴۰۰ بین شرایط منطبق و ناسازگار

## ۳.۲ تحلیل مولفه‌های همراه

پتانسیل تشخیص (RP) در ms : ۲۵۰

- اثر معنادار در Pz :  $p = ۱/۶۲۷ \times ۱۰^{-۴}$ ,  $t(۱۹) = ۴/۸۵۷$

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

مولفه مثبت دیرهنگام (LPC) در ms : ۶۰۰

- اثر معنادار در Cz :  $p = ۰/۰۱۱$ ,  $t(۱۹) = ۳/۵۸۵$

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

## ۵.۲ تحلیل نواحی جانبی

الکترودهای نیمکره چپ:

- اثر معنادار در F7 ( $p = ۰/۰۰۳$ ,  $t = -۳/۱۹۱$ ) ۲۵۰ ms

- اثر معنادار در T7 ( $p = ۰/۰۱۰$ ,  $t = -۲/۷۱۲$ ) ۶۰۰ ms

- اثر معنادار در P7 ( $p = ۰/۰۰۱$ ,  $t = -۳/۴۷۲$ ) ۶۰۰ ms

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

## ۳ تفسیر نتایج

### ۱.۳ یافته‌های اصلی

رد فرضیه صفر: فرضیه صفر در سطح  $0.001 < p$  رد شد. جملات ناسازگار  $N = 400$  بزرگ‌تر و معناداری نسبت به جملات منطبق ایجاد کردن.

الگوی نتایج:

- سلسله‌مراتب  $N = 400$ : بی‌معنا > ناسازگار > منطبق
- توزیع فضایی: مرکزی-آهيانه‌ای با گسترش به نواحی گیجگاهی چپ
- مولفه‌های همراه: RP در شرایط منطبق، LPC در شرایط ناسازگار

### ۲.۳ تفسیر علمی

$N = 400$  به عنوان شاخص یکپارچگی معنایی:

- دامنه بزرگ‌تر  $N = 400$  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 مجرزا

## ۴ آزمون‌های تعقیبی

### ۱.۴ مقایسات چندگانه

پس از یافتن تفاوت معنادار در آزمون‌های تعقیبی ANOVA، مقایسه‌های جفتی در  $N = 400$  ms (400 ms) انجام شد:

- ناسازگار vs منطبق:  $d = 0.99, p < 0.001$
- بی‌معنا vs منطبق:  $d = 1.24, p < 0.001$
- بی‌معنا vs ناسازگار:  $d = 0.68, p = 0.003$

## ۵ تحلیل توپوگرافی

### ۱.۵ توزیع فضایی N۴۰۰

تحلیل خوشهای فضایی-زمانی:

- خوشهای منفی معنادار در نواحی مرکزی-آهیانهای (250-600 ms)

● خوشهای مثبت در نواحی پیشانی-گیجگاهی چپ

● گسترش به نواحی آهیانهای-پس سری در زمانهای دیرتر

الگوی زمان-فضا:

● فعالیت پیشانی چپ (RP) 150-300 ms

● فعالیت مرکزی-آهیانهای (N400) 250-600 ms

● فعالیت گیجگاهی-آهیانهای (LPC) 600-850 ms

## ۶ محدودیت‌ها و ملاحظات

### ۱.۶ محدودیت‌های روش شناختی

● ترتیب ثابت: محرک‌ها به ترتیب یکسان ارائه شدند

● اثر تکرار: هر جمله دو بار (منظبق و ناسازگار) ارائه شد

● فقدان آهنگ کلامی: ممکن است طبیعی نباشد

● حجم نمونه: ۲۰ نفر برای تعیین پذیری محدود

## ۲.۶ فرضیات Repeated Measures ANOVA

فرضیات برقرار شده:

● متغیر وابسته پیوسته: دامنه N۴۰۰

● 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 مانندند

## 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 آغازی

## 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:

- N ۴۰۰ 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 روش شناختی:

- 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 N ۴۰۰ 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

$$F = \frac{MS_{between}}{MS_{error}} \quad (1)$$

که در آن:

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

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

$$(تعداد شرایط) df_{between} = k - 1 \bullet$$

$$(تعداد آزمودنی‌ها) df_{error} = (n - 1)(k - 1) \bullet$$

### ۲.۹ تصحیح کرویت

در صورت نقض فرضیه کرویت:

$$F_{corrected} = \frac{MS_{between}}{MS_{error}} \times \varepsilon \quad (2)$$

که  $\varepsilon$  ضریب تصحیح Greenhouse-Geisser است.

### ۳.۹ اندازه اثر

$$\eta^2_{partial} = \frac{SS_{effect}}{SS_{effect} + SS_{error}} \quad (3)$$

راهنمای تفسیر:

کوچک:  $\eta^2 = 0.01$  •

متوسط:  $\eta^2 = 0.06$  •

بزرگ:  $\eta^2 = 0.14$  •

### ۴.۹ تصحیح Bonferroni

برای  $k$  مقایسه:

$$\alpha_{corrected} = \frac{\alpha}{k} \quad (4)$$

یا محاسبه p-value تصحیح شده:

$$p_{corrected} = p_{observed} \times k \quad (5)$$

## ١٠ مراجع

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.