

EEG Spectral Markers for Differentiating Positive, Neutral, and Negative Emotions in REM Sleep Dreams

Rezaei, Mohammad ¹ / Talesh Jafadideh, Alireza ^{2*}

¹ - M.S. Student, School of Engineering Science, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

² - Assistant Professor, School of Engineering Science, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

DOI: 10.22041/ijbme.2026.2088838.2032

Received: 17-5-2026

Revised: 1-7-2026

Accepted: 19-7-2026

KEYWORDS

REM sleep
Dream emotion
Electroencephalography
spectral power
Alpha activity

ABSTRACT

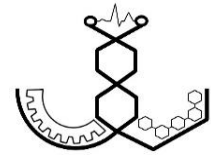
Rapid eye movement (REM) sleep is associated with dreaming and emotional processing, yet how dream emotional content is reflected in EEG spectral patterns remains unclear. In this study, EEG spectral features during REM sleep were analyzed to examine whether negative, neutral, and positive dream emotions can be differentiated based on electrophysiological activity. To align EEG recordings with dream reports, the final three minutes of each REM segment before awakening were extracted from DEED. Spectral features were computed from six electrodes: F3, F4, FT7, FT8, T7, and T8. For each electrode, absolute power, relative power, and inter-band power ratios were calculated across delta, theta, alpha, beta, and gamma frequency bands, resulting in 120 EEG features per sample. Differences among the three dream-emotion groups were assessed using one-way analysis of covariance, with REM cycle number as a covariate. Bonferroni and false discovery rate corrections were applied for multiple comparisons, and pairwise comparisons were performed using Welch's t-test on REM-adjusted values. After Bonferroni correction, 11 EEG spectral features remained significant. These features were located over temporal, fronto-temporal, and frontal electrodes and related to alpha-band indices and delta/alpha ratios. Post-hoc analyses identified 15 significant pairwise differences after FDR correction, with most prominent differences between positive and neutral dreams. Compared with neutral dreams, positive dreams showed lower alpha-related indices and alpha-centered ratios over temporal regions, together with higher frontal delta/alpha ratios. In contrast, negative dreams differed from neutral dreams only in relative delta power at FT7. These findings suggest that REM dream emotion is associated with measurable but subtle EEG spectral changes. The dominant pattern involved reduced temporal alpha-related activity and increased frontal delta/alpha ratios in positive dreams relative to neutral dreams.

*Corresponding Author

Address: School of Engineering Science, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

E-Mail: alireza.talesh@ut.ac.ir





نشانه‌های طیفی الکتروانسفالوگرافی برای تمایز احساسات مثبت، خنثی و منفی در رویاهای خواب REM

رضائی، محمد^۱ / طالش جفادیده، علیرضا^{۲*}

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم مهندسی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ - استادیار، دانشکده علوم مهندسی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/ijbme.2026.2088838.2032

پذیرش: ۱۴۰۵/۴/۲۸

بازنگری: ۱۴۰۵/۴/۱۰

ثبت در سامانه: ۱۴۰۵/۲/۲۷

واژه‌های کلیدی	چکیده
خواب REM هیجان رويا الکتروانسفالوگرافی توان طیفی فعالیت آلفا	خواب REM با تجربه رويا و پردازش هیجانی ارتباط دارد، اما هنوز به‌طور کامل مشخص نیست که محتوای احساسی رويا چگونه در الگوهای طیفی EEG بازتاب می‌یابد. در این پژوهش، ویژگی‌های طیفی EEG در خواب REM برای بررسی تمایز میان رویاهای منفی، خنثی و مثبت تحلیل شدند. سه دقیقه پایانی هر بخش REM پیش از بیداری از پایگاه داده DEED برای هم‌ترازسازی با گزارش رويا استخراج شد. سپس از شش الکتروود F3، F4، FT7، FT8، T7 و T8 ویژگی‌های طیفی شامل توان مطلق، توان نسبی و نسبت بین باندهای فرکانسی دلتا، تتا، آلفا، بتا و گاما محاسبه گردید. در مجموع، برای هر نمونه ۱۲۰ ویژگی EEG استخراج شد. تفاوت گروه‌های احساسی با تحلیل کوواریانس یک‌طرفه و کنترل چرخه REM و تصحیح‌های Bonferroni و FDR بررسی شد. مقایسه‌های جفتی پس‌آزمون نیز با آزمون t ولج و بر اساس مقادیر تعدیل‌شده نسبت به اثر REM انجام شدند. نتایج نشان دادند که پس از تصحیح Bonferroni، ۱۱ ویژگی از ۱۲۰ ویژگی استخراج‌شده معنادار باقی ماندند. این ویژگی‌ها عمدتاً در الکتروودهای تمپورال، فرونتو-تمپورال و فرونتال قرار داشتند و بیشتر به شاخص‌های مرتبط با باند آلفا و نسبت دلتا/آلفا مربوط بودند. همچنین، پس از تصحیح FDR، ۱۵ مقایسه جفتی معنادار مشاهده شد که بیشترین آن‌ها مربوط به تفاوت بین گروه مثبت و خنثی بود. رویاهای مثبت در مقایسه با رویاهای خنثی با کاهش شاخص‌های آلفا و نسبت‌های آلفا-محور در نواحی تمپورال و افزایش نسبت دلتا/آلفا در الکتروودهای فرونتال همراه بودند. در مقابل، رویاهای منفی نسبت به رویاهای خنثی تنها در توان نسبی دلتا در الکتروود FT7 تفاوت معنادار نشان دادند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که محتوای احساسی رويا در خواب REM می‌تواند با تغییرات قابل اندازه‌گیری اما ظریف در ویژگی‌های طیفی EEG همراه باشد.

*نویسنده‌ی مسئول

نشانی: دانشکده علوم مهندسی، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پست الکترونیک: alireza.talesh@ut.ac.ir



۱- مقدمه

رویابا، به‌ویژه در خواب REM، یکی از محدود پنجره‌هایی هستند که در آن‌ها می‌توان تجربه‌ی ذهنی گزارش‌شده را با فیزیولوژی لحظه‌به‌لحظه‌ی مغز کنار هم قرار داد. از آنجا که خواب REM به‌طور کلاسیک با رویاهای زنده‌تر و هیجانی‌تر و نیز با بازتنظیم پاسخ‌های هیجانی پس از تجربه‌های بیداری پیوند خورده است، بررسی این‌که کدام الگوهای EEG با محتوای هیجانی مثبت، منفی یا خنثی رویا همراه می‌شوند، می‌تواند از توصیف صرف پدیدارشناسی رویا فراتر رود و به روشن شدن سازوکارهای شبانه‌ی پردازش هیجان، حافظه هیجانی و حتی آسیب‌پذیری نسبت به اختلالات خلقی و کابوس‌ها کمک کند (۱-۴). در این میان، EEG به‌دلیل تفکیک زمانی بالا، غیرتهاجمی بودن و قابلیت استفاده در پارادایم‌های بیدارسازی از REM، ابزار مناسبی برای پیوند دادن هیجان رویا با دینامیک نوسانی مغز درست پیش از بیداری فراهم می‌کند (۴، ۵). یافته‌های پیشین نشان می‌دهند که رابطه‌ی REM، نوسان‌های EEG و هیجان چندوجهی است. در سطح حافظه هیجانی، theta پیش‌پیشانی در REM با بهبود تثبیت خاطرات هیجانی مرتبط شده و در مقابل، کاهش واکنش‌پذیری هیجانی روز بعد با فیزیولوژی REM و افت فعالیت گاما پیش‌پیشانی پیوند یافته است (۶، ۷). در ادبیات اختصاصی رویا نیز، نتایج فرونتال پیش از بیداری با یادآوری رویا ارتباط داشته، آلفا در برخی الگوهای ناحیه‌ای، به‌ویژه در قالب عدم‌تقارن آلفای فرونتال، با مؤلفه‌های هیجانی رویا مانند خشم همراه بوده، و مطالعات EEG نشان داده‌اند که تجربه رویا به‌طور کلی با کاهش توان کم‌فرکانس و یا افزایش فعالیت پرفرکانس همراه است (۸-۱۱). افزون بر این، رویاهای حاوی ترس در REM با کاهش دلتا و افزایش گاما در اینسولا^۱ و قشر میان‌کمربندی^۲ گزارش شده‌اند (۱۲). در سطح مفهومی نیز، مرورهای نوسانی نشان می‌دهند که دلتا بیشتر با فرایندهای انگیزی و تنظیم‌های بنیادی‌تر، آلفا با مهار کارکردی و تنظیم توجه، و باندهای سریع‌تر مانند بتا و گاما با پردازش فعال‌تر اطلاعات هیجانی پیوند دارند؛ بنابراین، نسبت‌های باندی می‌توانند دست‌کم به‌صورت اکتشافی، نمایی فشرده از توازن نسبی بین ریتم‌های کم و پرفرکانس فراهم کنند (۱۳-۱۵).

با وجود این پیشرفت‌ها، ادبیات موجود هنوز چند محدودیت مهم دارد. بسیاری از مطالعات یا بر یادآوری رویا متمرکز بوده‌اند، یا یک هیجان خاص مانند ترس یا خشم را هدف قرار

داده‌اند، یا فقط تعداد اندکی شاخص طیفی را آزموده‌اند؛ در نتیجه هنوز مشخص نیست که یک دیدگاه نسبتاً جامع از توان‌های مطلق، نسبی و نسبت‌های باندی تا چه حد می‌تواند تفاوت‌های هیجانی رویا را توضیح دهد (۸، ۱۱، ۱۲). افزون بر این، مرورهای جدید خواب و حافظه هیجانی بر ناهمگنی طراحی، هم‌پوشانی مراحل رمزگذاری، تثبیت و بازیابی، و اندازه‌اثرهای نه‌چندان بزرگ تأکید کرده‌اند (۳). در خود پژوهش رویا نیز محدود بودن تعداد بیدارسازی‌های REM، ناهمگنی پوشش الکترودی و تفاوت‌های وابسته به زمان شب و چرخه REM، مقایسه‌پذیری نتایج را دشوار می‌کند (۵، ۱۰). این مسئله مهم است، زیرا ساختار و فیزیولوژی REM در طول شب به‌صورت نظام‌مند تغییر می‌کند و حتی همبسته‌های EEG رویا نیز نسبت به زمان شب حساس گزارش شده‌اند (۵، ۱۰). بنابراین، طراحی‌ای که چرخه REM را به‌عنوان مخدوش کننده^۳ کنترل کند و در عین حال از کنترل سخت‌گیرانه‌ی چندمقیاسه‌ای استفاده کند، از نظر روش‌شناختی موجه است. بر این اساس، مطالعه حاضر با استفاده از مجموعه‌داده DEED می‌کوشد مشخص کند آیا ویژگی‌های طیفی EEG در خواب REM می‌توانند سه گروه هیجانی رویا، یعنی مثبت، خنثی و منفی، را از یکدیگر متمایز کنند. در این چارچوب، از شش الکتروود F3، F4، FT7، FT8، T7 و T8 برای استخراج ۱۲۰ ویژگی طیفی شامل توان‌های مطلق، توان‌های نسبی و نسبت‌های باندی استفاده می‌شود و سپس برای هر ویژگی، تحلیل ANCOVA یک‌طرفه با کنترل شماره چرخه REM اجرا می‌گردد. برای کنترل تورم خطای نوع اول، هر دو رویکرد Bonferroni و FDR^۴ به‌کار گرفته می‌شوند و در مرحله پس‌آزمون، مقایسه‌های جفتی به روش ولچ^۵ روی داده‌های تعدیل‌شده نسبت به اثر چرخه REM انجام می‌شود تا الگوهای طیفی متمایزکننده‌ی محتوای هیجانی رویا با رویکردی محافظه‌کارانه و تفسیرپذیر شناسایی شوند

۲- مواد و روش‌ها

روندنامی اجرای مطالعه در شکل ۱ قابل مشاهده است.

۲-۱- مجموعه داده

در این پژوهش از داده‌های EEG ثبت‌شده در مرحله خواب REM از مجموعه داده DEED استفاده شد (۱۶). داده‌ها در قالب فایل‌های MAT ذخیره شده و هر فایل شامل ماتریس

^۴ False discovery rate

^۵ Welch

^۱ Insula

^۲ midcingulate

^۳ covariate

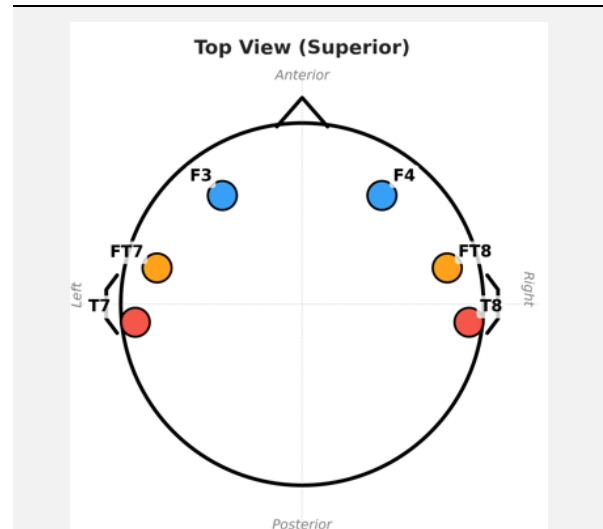
تحلیل آماری، برچسب‌های E1 و E2 به عنوان گروه منفی، E3 به عنوان گروه خنثی، و E4 و E5 به عنوان گروه مثبت در نظر گرفته شدند. در شکل ۲، موقعیت الکترودهای EEG به کاررفته در این مطالعه نشان داده شده است.

سیگنال EEG با ساختار کانال $\times$ زمان بود. برچسب‌های احساسی در نام فایل‌ها به صورت E0 تا E5 مشخص شده بودند. فایل‌های مربوط به E0 از تحلیل حذف شدند و تحلیل نهایی بر روی فایل‌های دارای برچسب‌های E1 تا E5 انجام گرفت. برای

۱. آماده‌سازی داده‌ها	۲. استخراج ویژگی‌ها	۳. تحلیل آماری اصلی	۴. تحلیل‌های پس از آزمون	۵. یافته‌های کلیدی
پایگاه داده DEED (۵۳۳ سگمنت ثبت شده) - انتخاب سگمنت‌های ≤ 3 دقیقه - استخراج ۳ دقیقه انتهایی هر سگمنت (قبل از بیداری از خواب REM)	۶ الکتروود هدف: $(F3, F4, FT7, FT8, T7, T8)$ - محاسبه ۲۰ ویژگی توان طیفی (مطلق، نسبی و نسبت‌ها) - مجموعه ۱۲۰ ویژگی EEG	۳ گروه احساسی مثبت، خنثی و منفی - آزمون Ancova یکطرفه (با کنترل متغیر شماره REM) - تصحیح چندگانه بنفرونی - نتیجه ۱۱ ویژگی متمایز کننده	آزمون Welch بر روی باقیمانده‌ها (حذف اثر REM) - مقایسه جفتی بین گروه‌ها - اعمال تصحیح FDR - نتیجه: ۱۵ تفاوت جفتی معنادار	- تسلط ویژگی‌های باند آلفا - تمرکز در نواحی گیجگاهی و پیشانی-گیجگاهی $(T7, T8, FT7)$ - کاهش معنادار توان آلفا در رویاهای مثبت نسبت به سایرین

شکل (۱) - روندنمای مراحل اجرای مطالعه، پردازش داده‌ها و یافته‌های کلیدی.

از جمله مطالعات Siclari و همکاران (۲۰۱۷) و Marzano و همکاران (۲۰۱۱)، که نشان داده‌اند گزارش‌های ذهنی رویا عمدتاً با محتوای ذهنی نزدیک به لحظه بیداری مرتبط هستند، سازگاری مفهومی دارد. بنابراین، انتخاب پنجره سه دقیقه‌ای پایانی نه تنها بر اساس محدودیت طول سگمنت‌ها در مجموعه داده، بلکه بر اساس یک توجیه نظری مستقل نیز صورت گرفته است. ابتدا تمام فایل‌های دارای برچسب احساسی شناسایی شدند. فایل‌های مربوط به E0 از تحلیل حذف شدند. سپس برای هر فایل، تعداد نمونه‌های موجود در ماتریس Data بررسی شد. با توجه به نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰ هرتز، سه دقیقه سیگنال معادل ۳۶۰۰۰ نمونه بود. فایل‌هایی که کمتر از ۳۶۰۰۰ نمونه داشتند از تحلیل کنار گذاشته شدند. برای سایر فایل‌ها، ۳۶۰۰۰ نمونه پایانی سیگنال انتخاب و ذخیره شد. لازم به ذکر است که داده‌های EEG مورد استفاده در این مطالعه، پیش از انتشار در مجموعه داده DEED توسط ارائه‌دهندگان پایگاه داده پیش‌پردازش شده بودند. بر اساس توضیحات مجموعه داده اصلی، سیگنال‌ها از نرخ نمونه‌برداری اولیه به ۲۰۰ هرتز کاهش نمونه‌برداری شده، فیلتر notch در ۵۰ هرتز برای کاهش نویز برق شهر اعمال شده، و سپس فیلتر میان‌گذر ۱ تا ۴۵ هرتز برای حفظ باندهای اصلی EEG و حذف مؤلفه‌های فرکانسی خارج از محدوده تحلیلی استفاده شده بود. بنابراین، در مطالعه حاضر پیش‌پردازش خام مجدد بر روی سیگنال‌ها انجام نشد و مراحل ما بر انتخاب بازه سه دقیقه پایانی پیش از بیداری، کنترل طول سیگنال، استخراج ویژگی‌های طیفی و تحلیل آماری متمرکز بود.



شکل (۲) - موقعیت الکترودهای $F3, F4, FT7, FT8, T7$ و $T8$ براساس سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰. این نواحی با پردازش احساسات، حافظه عاطفی و تجربه رویا در خواب REM مرتبط هستند.

۲-۲- پیش‌پردازش داده‌ها

با توجه به متغیر بودن طول سیگنال‌ها در فایل‌های مختلف، به منظور یکنواخت‌سازی داده‌ها و فراهم کردن امکان مقایسه بین نمونه‌ها، تنها سه دقیقه پایانی هر ثبت EEG انتخاب شد. انتخاب این بازه زمانی بر این فرض استوار بود که بخش پایانی خواب REM پیش از بیداری، بیشترین ارتباط زمانی را با گزارش ذهنی رویا دارد. بنابراین، هم‌ترازسازی سیگنال‌ها نسبت به زمان بیداری می‌تواند ناهمگنی زمانی بین نمونه‌ها را کاهش دهد. این فرض با ادبیات همبسته‌های الکتروفیزیولوژیک رویا،

باند‌های فرکانسی هستند. برای مثال، $T7_Ratio_Beta_Gamma$ نشان‌دهنده نسبت توان بتا به گاما در الکتروود T7 است. تمام مراحل استخراج ویژگی در محیط متلب^۱ انجام شد.

۲-۴- انتخاب ویژگی و تحلیل آماری

برای بررسی تفاوت ویژگی‌های طیفی EEG بین گروه‌های احساسی رویا، از تحلیل کوواریانس یک‌طرفه استفاده شد. در این تحلیل، گروه احساسی رویا شامل سه سطح منفی، خنثی و مثبت به عنوان عامل بین‌گروهی و شماره چرخه REM به عنوان متغیر کمکی وارد مدل شد. شماره چرخه REM به این دلیل در مدل لحاظ شد که ویژگی‌های فیزیولوژیک خواب و الگوهای EEG ممکن است در طول چرخه‌های مختلف REM در طول شب تغییر کنند. انتخاب ANCOVA به‌طور خاص از این جهت صورت گرفت که این روش امکان کنترل مستقیم متغیر کمکی پیوسته (شماره چرخه REM) را در کنار مقایسه گروه‌های هیجانی فراهم می‌کند. گزینه‌های جایگزین مانند ANOVA ساده، MANOVA یا آزمون‌های ناپارامتریک یا توان کنترل این کوواریت را ندارند یا تفسیر هم‌سو با سؤال پژوهشی به‌دست نمی‌دهند. افزون بر این، استفاده از آزمون t ولج در مرحله پس‌آزمون به دلیل مقاومت در برابر نقض فرض همگنی واریانس، و اعمال هم‌زمان دو نوع تصحیح چندمقایسه‌ای (FDR و Bonferroni)، مقاوم‌سازی نسبی نتایج را در برابر نقض فرض‌های آماری معمول فراهم می‌آورد. برای هر یک از ۱۲۰ ویژگی استخراج‌شده از EEG، شامل ۶ الکتروود و ۲۰ ویژگی طیفی برای هر الکتروود، یک مدل ANCOVA جداگانه برازش داده شد. در هر مدل، مقدار ویژگی طیفی به عنوان متغیر وابسته، گروه احساسی به عنوان متغیر مستقل اصلی، و شماره چرخه REM به عنوان متغیر کمکی در نظر گرفته شد.

با توجه به انجام آزمون‌های متعدد، برای کنترل خطای مقایسه‌های چندگانه از دو رویکرد استفاده شد. ابتدا نرخ کشف نادرست با روش Benjamini-Hochberg کنترل شد. سپس، برای گزارش نتایج نهایی، تصحیح محافظه‌کارانه Bonferroni نیز اعمال گردید. ویژگی‌هایی که پس از تصحیح Bonferroni در سطح $p < 0.05$ معنادار باقی ماندند، به عنوان ویژگی‌های اصلی وارد تحلیل‌های پس‌آزمون شدند.

برای مقایسه‌های جفتی بین گروه‌های احساسی، ابتدا اثر شماره چرخه REM از متغیر وابسته با استفاده از رگرسیون خطی حذف شد و باقی‌مانده‌های تعدیل‌شده محاسبه گردید. سپس

۲-۳- استخراج ویژگی‌های طیفی سیگنال EEG

پس از پیش‌پردازش و یکنواخت‌سازی طول سیگنال‌ها، ویژگی‌های طیفی EEG برای هر کانال استخراج شد. ابتدا چگالی طیفی توان با استفاده از روش ولج محاسبه گردید. این روش با تقسیم سیگنال به قطعات کوچک‌تر و میانگین‌گیری از طیف توان آن‌ها، تخمین پایداری از توزیع توان در حوزه فرکانس فراهم می‌کند. نرخ نمونه‌برداری سیگنال‌ها برابر با ۲۰۰ هرتز در نظر گرفته شد.

توان سیگنال در پنج باند فرکانسی استاندارد EEG محاسبه شد: دلتا، ۱ تا ۴ هرتز؛ تتا، ۴ تا ۸ هرتز؛ آلفا، ۸ تا ۱۲ هرتز؛ بتا، ۱۲ تا ۳۰ هرتز؛ و گاما، ۳۰ تا ۴۵ هرتز. توان مطلق هر باند با انتگرال‌گیری از چگالی طیفی توان در محدوده فرکانسی مربوطه محاسبه شد:

$$P_{abs}(f_1, f_2) = \int_{f_1}^{f_2} PSD(f) df \quad (1)$$

برای کاهش اثر تفاوت‌های کلی در دامنه سیگنال بین نمونه‌ها، توان نسبی هر باند نیز محاسبه شد. توان نسبی به صورت نسبت توان مطلق هر باند به توان کل سیگنال در بازه ۱ تا ۴۵ هرتز تعریف شد:

$$P_{rel}(f_1, f_2) = \frac{P_{abs}(f_1, f_2)}{P_{total}} \quad (2)$$

که در آن:

$$P_{total} = \int_1^{45} PSD(f) df \quad (3)$$

علاوه بر توان مطلق و نسبی، نسبت توان بین باندهای فرکانسی نیز محاسبه شد:

$$R_{i/j} = \frac{P_{abs,i}}{P_{abs,j}} \quad (4)$$

در این رابطه، $P_{abs,i}$ و $P_{abs,j}$ به ترتیب توان مطلق دو باند فرکانسی مختلف هستند. نسبت‌های محاسبه‌شده شامل دلتا/تتا، دلتا/آلفا، دلتا/بتا، دلتا/گاما، تتا/آلفا، تتا/بتا، تتا/گاما، آلفا/بتا، آلفا/گاما و بتا/گاما بودند.

برای هر کانال EEG، ۲۰ ویژگی شامل ۵ توان مطلق، ۵ توان نسبی و ۱۰ نسبت بین باندهای فرکانسی استخراج شد. از آنجا که در این مطالعه ۶ کانال EEG تحلیل شدند، برای هر نمونه در مجموع ۱۲۰ ویژگی طیفی به دست آمد. در گزارش نتایج، از یک قرارداد نام‌گذاری ثابت برای ویژگی‌ها استفاده شد؛ به‌طوری‌که بخش اول نام ویژگی نشان‌دهنده الکتروود، بخش دوم نوع ویژگی، و بخش‌های بعدی نشان‌دهنده باند یا نسبت

^۱ MATLAB

همبستگی بین شماره چرخه REM و ویژگی‌های معنادار ضعیف بود و در محدوده‌ی تقریباً ۰/۱۱۹- تا ۰/۱۱۷ قرار داشت. این موضوع نشان می‌دهد که اثر REM cycle در داده‌ها وجود داشت اما شدت آن کوچک بود. با این حال، به منظور کنترل اثر احتمالی تغییرات وابسته به چرخه خواب، شماره REM به عنوان متغیر کمکی در مدل ANCOVA وارد شد. با توجه به مشاهده‌ی انحراف از برخی پیش‌فرض‌ها، نتایج باید با احتیاط تفسیر شوند. با این حال، استفاده از ANCOVA همراه با کنترل چندمقایسه‌ای Bonferroni و استفاده از آزمون t ولج در مقایسه‌های جفتی، تا حدی از پایداری نتایج پشتیبانی می‌کند.

۳-۲-۲- نتایج تحلیل کوواریانس (ANCOVA)

پس از اعمال تصحیح Bonferroni، ۱۱ ویژگی از ۱۲۰ ویژگی اولیه در سطح معناداری ۰/۰۵ معنادار باقی ماندند. این ویژگی‌ها عمدتاً در الکترودهای تمپورال و فرونتو-تمپورال، به‌ویژه T7، T8 و FT7، و همچنین در الکترودهای فرونتال F3 و F4 مشاهده شدند. ویژگی‌های معنادار شامل توان مطلق آلفا، توان نسبی آلفا و دلتا، و نسبت‌های طیفی آلفا/بتا، آلفا/گاما، بتا/گاما و دلتا/آلفا بودند. خلاصه نتایج ANCOVA در جدول ۱ ارائه شده است.

۳-۲-۱- توان مطلق باند آلفا

در خانواده توان مطلق باند آلفا، تنها ویژگی T8_Abs_Alpha در الکتروود تمپورال راست پس از تصحیح Bonferroni معنادار باقی ماند. نتایج ANCOVA نشان داد که تفاوت معناداری بین سه گروه احساسی برای این ویژگی وجود دارد: $(F(2,315) = 4.88, p = 0.008, p_{Bonferroni} = 0.049)$ مقدار مجذور اتای جزئی برابر با ۰/۰۳۰ بود که نشان‌دهنده اندازه اثر کوچک است. این یافته نشان می‌دهد که توان مطلق آلفا در الکتروود T8 به طور ظریف اما معنادار بین گروه‌های احساسی رویا تفاوت دارد.

۳-۲-۲- نسبت آلفا به بتا

دو ویژگی از خانواده نسبت آلفا به بتا پس از تصحیح Bonferroni معنادار شدند. ویژگی T8_Ratio_Alpha_Beta در الکتروود تمپورال راست تفاوت معناداری بین گروه‌های احساسی نشان داد: $(F(2,325) = 5.56, p = 0.004, p_{Bonferroni} = 0.025)$ مقدار مجذور اتای جزئی برای این ویژگی برابر با ۰/۰۳۳ بود.

مقایسه‌های جفتی بین سه گروه منفی، خنثی و مثبت بر اساس این مقادیر تعدیل‌شده و با استفاده از آزمون t ولج انجام شد. آزمون ولج به دلیل عدم نیاز به فرض برابری واریانس‌ها و مناسب بودن برای داده‌های نامتوازن انتخاب گردید. برای مقایسه‌های جفتی نیز تصحیح Benjamini-Hochberg FDR اعمال شد. برای ارزیابی اندازه اثر، مقدار مجذور اتای جزئی^۱ برای نتایج ANCOVA و Cohen's d برای مقایسه‌های جفتی گزارش شد. سطح معناداری در تمام تحلیل‌ها برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. تحلیل‌های آماری در محیط پایتون^۲ و با استفاده از بسته‌های Pandas، Statsmodels و Pingouin انجام شد.

۳- نتایج در این مطالعه، ۱۲۰ ویژگی طیفی EEG شامل ۶ الکتروود و ۲۰ ویژگی برای هر الکتروود با استفاده از تحلیل کوواریانس یک‌طرفه بررسی شدند. گروه احساسی رویا شامل سه سطح منفی، خنثی و مثبت به عنوان عامل بین‌گروهی و شماره چرخه REM به عنوان متغیر کمکی در مدل وارد شد. برای کنترل خطای ناشی از آزمون‌های متعدد، تصحیح Benjamini-Hochberg FDR و تصحیح محافظه‌کارانه Bonferroni اعمال گردید (۱۷). مقایسه‌های جفتی پس‌آزمون بر اساس مقادیر تعدیل‌شده نسبت به اثر REM و با استفاده از آزمون t ولج انجام شدند.

۳-۱- ارزیابی پیش‌فرض‌های آماری

پیش از تفسیر نتایج اصلی، پیش‌فرض‌های آماری برای ویژگی‌های معنادار بررسی شدند. آزمون شاپیرو-ویلک^۳ نشان داد که بسیاری از ویژگی‌های طیفی در یک یا چند گروه احساسی از توزیع نرمال انحراف داشتند. برای مثال، ویژگی‌های T8_Abs_Alpha، T7_Ratio_Alpha_Gamma، T8_Ratio_Alpha_Gamma، F4_Ratio_Delta_Alpha، T8_Ratio_Alpha_Gamma، FT7_Rel_Delta و F3_Ratio_Delta_Alpha در هر سه گروه احساسی از نرمال بودن فاصله داشتند. همگنی واریانس‌ها با آزمون Levene بررسی شد. نتایج نشان داد که برخی ویژگی‌ها، از جمله T7_Ratio_Alpha_Beta، T8_Ratio_Alpha_Beta، T7_Ratio_Alpha_Gamma، T8_Ratio_Alpha_Gamma، T8_Rel_Alpha، FT7_Rel_Alpha و FT7_Rel_Delta، همگنی واریانس کامل نداشتند. در مقابل، ویژگی‌هایی مانند T8_Abs_Alpha، T7_Ratio_Beta_Gamma، F4_Ratio_Delta_Alpha و F3_Ratio_Delta_Alpha فرض همگنی واریانس را برآورده کردند.

³ Shapiro-Wilk

¹ partial eta-squared

² Python

با مقدار مجذور اتای جزئی برابر با 0.030 . این یافته‌ها نشان می‌دهند که نسبت دلتا به آلفا در نواحی فرونتال با تفاوت‌های احساسی رویا مرتبط است. با توجه به اندازه اثر کوچک، این نتیجه باید به عنوان یک شاخص طیفی ظریف تفسیر شود.

۳-۲-۶- توان نسبی باند آلفا

دو ویژگی مربوط به توان نسبی آلفا پس از تصحیح Bonferroni معنادار شدند. ویژگی $T8_Rel_Alpha$ در الکتروود تمپورال راست تفاوت معناداری بین گروه‌های احساسی نشان داد ($F(2,325) = 5.53, p = 0.004, p_{Bonferroni} = 0.026$). مقدار مجذور اتای جزئی برای این ویژگی برابر با 0.033 بود. همچنین ویژگی $FT7_Rel_Alpha$ در الکتروود فرونتو-تمپورال چپ معنادار بود:

($F(2,324) = 5.04, p = 0.007, p_{Bonferroni} = 0.042$)
با مقدار مجذور اتای جزئی برابر با 0.030 . این نتایج نشان می‌دهند که توان نسبی آلفا در نواحی تمپورال و فرونتو-تمپورال با محتوای احساسی رویا تفاوت دارد.

۳-۲-۷- توان نسبی باند دلتا

در خانواده توان نسبی دلتا، تنها ویژگی $FT7_Rel_Delta$ در الکتروود فرونتو-تمپورال چپ پس از تصحیح Bonferroni معنادار باقی ماند:

($F(2,324) = 5.16, p = 0.006, p_{Bonferroni} = 0.037$)
مقدار مجذور اتای جزئی برابر با 0.031 بود. این نتیجه نشان می‌دهد که توان نسبی دلتا در ناحیه فرونتو-تمپورال چپ نیز با تفاوت‌های احساسی رویا مرتبط است.

۳-۳- نتایج مقایسه‌های جفتی پس از آزمون^۱

برای تعیین منشأ تفاوت‌های مشاهده‌شده در ANCOVA، مقایسه‌های جفتی بین گروه‌های احساسی انجام شد. این مقایسه‌ها بر اساس مقادیر تعدیل‌شده نسبت به اثر شماره چرخه REM و با استفاده از آزمون t ولج انجام شدند. پس از اعمال تصحیح FDR، در مجموع ۱۵ مقایسه جفتی معنادار مشاهده شد. بیشترین تعداد تفاوت‌ها مربوط به مقایسه گروه مثبت و خنثی بود. خلاصه نتایج مقایسه‌های جفتی در جدول ۲ ارائه شده است.

۳-۳-۱- مقایسه گروه مثبت در مقابل گروه خنثی

مقایسه گروه مثبت و خنثی بیشترین تعداد تفاوت‌های معنادار را نشان داد. پس از تصحیح FDR، ۱۰ ویژگی بین این دو گروه

همچنین ویژگی $T7_Ratio_Alpha_Beta$ در الکتروود تمپورال چپ نیز معنادار بود:

($F(2,325) = 4.89, p = 0.008, p_{Bonferroni} = 0.048$)
با مقدار مجذور اتای جزئی برابر با 0.029 . این نتایج نشان می‌دهند که نسبت آلفا به بتا در هر دو ناحیه تمپورال راست و چپ با محتوای احساسی رویا مرتبط است، هرچند اندازه اثرها کوچک بودند.

۳-۲-۳- نسبت آلفا به گاما

دو ویژگی از خانواده نسبت آلفا به گاما در الکتروودهای تمپورال معنادار شدند. ویژگی $T7_Ratio_Alpha_Gamma$ در الکتروود تمپورال چپ تفاوت معناداری بین سه گروه احساسی نشان داد ($F(2,323) = 5.36, p = 0.005, p_{Bonferroni} = 0.031$). مقدار مجذور اتای جزئی برای این ویژگی برابر با 0.032 بود. ویژگی $T8_Ratio_Alpha_Gamma$ در الکتروود تمپورال راست نیز معنادار بود:

($F(2,324) = 4.93, p = 0.008, p_{Bonferroni} = 0.046$)
با مقدار مجذور اتای جزئی برابر با 0.030 . این یافته‌ها نشان می‌دهند که تعادل بین فعالیت آلفا و گاما در نواحی تمپورال نسبت به محتوای احساسی رویا حساس است.

۳-۲-۴- نسبت بتا به گاما

در خانواده نسبت بتا به گاما، تنها ویژگی $T7_Ratio_Beta_Gamma$ در الکتروود تمپورال چپ پس از تصحیح Bonferroni معنادار باقی ماند:

($F(2,324) = 5.40, p = 0.005, p_{Bonferroni} = 0.029$)
مقدار مجذور اتای جزئی برابر با 0.032 بود. این نتیجه نشان می‌دهد که نسبت بتا به گاما در ناحیه تمپورال چپ نیز می‌تواند در تمایز بین گروه‌های احساسی رویا نقش داشته باشد.

۳-۲-۵- نسبت دلتا به آلفا

دو ویژگی از خانواده نسبت دلتا به آلفا در الکتروودهای فرونتال معنادار شدند. ویژگی $F4_Ratio_Delta_Alpha$ در الکتروود فرونتال راست تفاوت معناداری بین گروه‌های احساسی نشان داد

($F(2,324) = 5.17, p = 0.006, p_{Bonferroni} = 0.037$)
مقدار مجذور اتای جزئی برای این ویژگی برابر با 0.031 بود. ویژگی $F3_Ratio_Delta_Alpha$ در الکتروود فرونتال چپ نیز معنادار بود

($F(2,323) = 5.01, p = 0.007, p_{Bonferroni} = 0.043$)

$$(M_{negative} = 2.84, SD = 1.39; M_{positive} = 2.31, SD = 1.21; t = 2.46, p_{FDR} = 0.023, d = 0.42)$$

نسبت T7_Ratio_Alpha_Beta نیز در گروه منفی بالاتر از گروه مثبت بود:

$$(M_{negative} = 0.739, SD = 0.258; M_{positive} = 0.652, SD = 0.231; t = 2.20, p_{FDR} = 0.045, d = 0.36)$$

مقابل، نسبت دلتا به آلفا در الکتروادهای فرونتال در گروه مثبت بالاتر از گروه منفی بود. ویژگی F4_Ratio_Delta_Alpha در گروه مثبت بیشتر از گروه منفی بود

$$(M_{negative} = 8.14, SD = 2.70; M_{positive} = 9.32, SD = 3.25; t = -2.53, p_{FDR} = 0.019, d = -0.39)$$

همچنین ویژگی F3_Ratio_Delta_Alpha نیز در گروه مثبت بالاتر از گروه منفی بود

$$(M_{negative} = 7.98, SD = 2.63; M_{positive} = 9.21, SD = 3.29; t = -2.64, p_{FDR} = 0.014, d = -0.40)$$

نتایج نشان می‌دهند که تفاوت بین رویاهای منفی و مثبت عمدتاً در شاخص‌های آلفا در نواحی تمپورال و نسبت دلتا/آلفا در نواحی فرونتال مشاهده می‌شود.

۳-۳-۳- مقایسه گروه منفی در مقابل گروه خنثی

در مقایسه گروه منفی و خنثی، تنها یک ویژگی پس از تصحیح FDR تفاوت معنادار نشان داد. این ویژگی FT7_Rel_Delta بود که در گروه منفی بالاتر از گروه خنثی مشاهده شد ($M_{negative} = 0.603, SD = 0.074; M_{neutral} = 0.561, SD = 0.103; t = 3.35, p_{FDR} = 0.003, d = 0.43$) ای ن یافته نشان می‌دهد که رویاهای منفی در مقایسه با رویاهای خنثی با افزایش توان نسبی دلتا در ناحیه فرونتو-تمپورال چپ همراه بودند. با این حال، محدود بودن این تفاوت به یک ویژگی نشان می‌دهد که تمایز طیفی بین گروه منفی و خنثی در این داده‌ها ضعیف‌تر از تمایز بین گروه مثبت و خنثی بود.

۳-۴- الگوی کلی نتایج

نتایج ANCOVA و مقایسه‌های جفتی پس‌آزمون نشان دادند که تفاوت‌های طیفی EEG بین گروه‌های احساسی رویا عمدتاً در الکتروادهای تمپورال، فرونتو-تمپورال و فرونتال مشاهده می‌شوند. از میان ۱۲۰ ویژگی اولیه، ۱۱ ویژگی پس از تصحیح Bonferroni معنادار باقی ماندند. اندازه اثرهای ANCOVA برای این ویژگی‌ها کوچک بودند و مقادیر مجذور اتای جزئی عمدتاً در محدوده ۰/۲۹ تا ۰/۳۳ قرار داشتند. بنابراین، تفاوت‌های مشاهده‌شده از نظر آماری معنادار اما از نظر اندازه اثر نسبتاً کوچک بودند. از نظر نوع ویژگی، شاخص‌های مرتبط با باند آلفا بیشترین نقش را در تمایز بین گروه‌های احساسی داشتند. این شاخص‌ها شامل توان مطلق آلفا، توان نسبی آلفا، نسبت آلفا به بتا و نسبت آلفا به گاما بودند. بیشتر این تفاوت‌ها

تفاوت معنادار داشتند. در خانواده شاخص‌های آلفا، ویژگی

T8_Abs_Alpha در گروه مثبت کمتر از گروه خنثی بود:

$$(M_{positive} = 2.31, SD = 1.21; M_{neutral} = 2.79, SD = 1.43; t = -3.01, p_{FDR} = 0.009, d = -0.37)$$

توان نسبی آلفا در T8 نیز در گروه مثبت کمتر از خنثی بود:

$$(M_{positive} = 0.082, SD = 0.026; M_{neutral} = 0.095, SD = 0.034; t = -3.33, p_{FDR} = 0.003, d = -0.40)$$

ویژگی FT7_Rel_Alpha نیز الگوی مشابهی نشان داد و در

گروه مثبت کمتر از گروه خنثی بود:

$$(M_{positive} = 0.074, SD = 0.026; M_{neutral} = 0.086, SD = 0.031; t = -3.16, p_{FDR} = 0.005, d = -0.38)$$

نسبت‌های آلفا به بتا نیز در گروه مثبت کمتر از گروه خنثی بودند. این تفاوت برای T8_Ratio_Alpha_Beta:

$$(M_{positive} = 0.639, SD = 0.229; M_{neutral} = 0.753, SD = 0.313; t = -3.42, p_{FDR} = 0.002, d = -0.40)$$

و T7_Ratio_Alpha_Beta:

$$(M_{positive} = 0.652, SD = 0.231; M_{neutral} = 0.758, SD = 0.312; t = -3.19, p_{FDR} = 0.005, d = -0.38)$$

معنادار بود. در خانواده نسبت آلفا به گاما، هر دو ویژگی

T8_Ratio_Alpha_Gamma و T7_Ratio_Alpha_Gamma

در گروه مثبت کمتر از گروه خنثی بودند. برای

T7_Ratio_Alpha_Gamma، میانگین گروه مثبت ۲/۰۵ و

میانگین گروه خنثی ۲/۵۹ بود:

$$(t = -3.41, p_{FDR} = 0.002, d = -0.41)$$

برای T8_Ratio_Alpha_Gamma نیز میانگین گروه مثبت

۲/۱۱ و میانگین گروه خنثی ۲/۶۴ بود:

$$(t = -3.30, p_{FDR} = 0.003, d = -0.39)$$

نسبت T7_Ratio_Beta_Gamma نیز در گروه مثبت کمتر از

گروه خنثی بود:

$$(M_{positive} = 3.01, SD = 0.70; M_{neutral} = 3.32, SD = 0.73; t = -3.12, p_{FDR} = 0.006, d = -0.39)$$

در مقابل، نسبت دلتا به آلفا در الکتروادهای فرونتال در گروه

مثبت بالاتر از خنثی بود. ویژگی F4_Ratio_Delta_Alpha در

گروه مثبت بیشتر از گروه خنثی بود:

$$(M_{positive} = 9.32, SD = 3.25; M_{neutral} = 8.01, SD = 3.25; t = 2.95, p_{FDR} = 0.011, d = 0.37)$$

ویژگی F3_Ratio_Delta_Alpha نیز الگوی مشابهی نشان داد:

$$(M_{positive} = 9.21, SD = 3.29; M_{neutral} = 7.93, SD = 3.34; t = 2.85, p_{FDR} = 0.014, d = 0.36)$$

این مقایسه نشان داد رویاهای مثبت نسبت به خنثی با کاهش

شاخص‌های آلفا و نسبت‌های آلفا-محور در نواحی تمپورال و

افزایش نسبت دلتا/آلفا در نواحی فرونتال همراه بودند.

۳-۳-۲- مقایسه گروه منفی در مقابل گروه مثبت

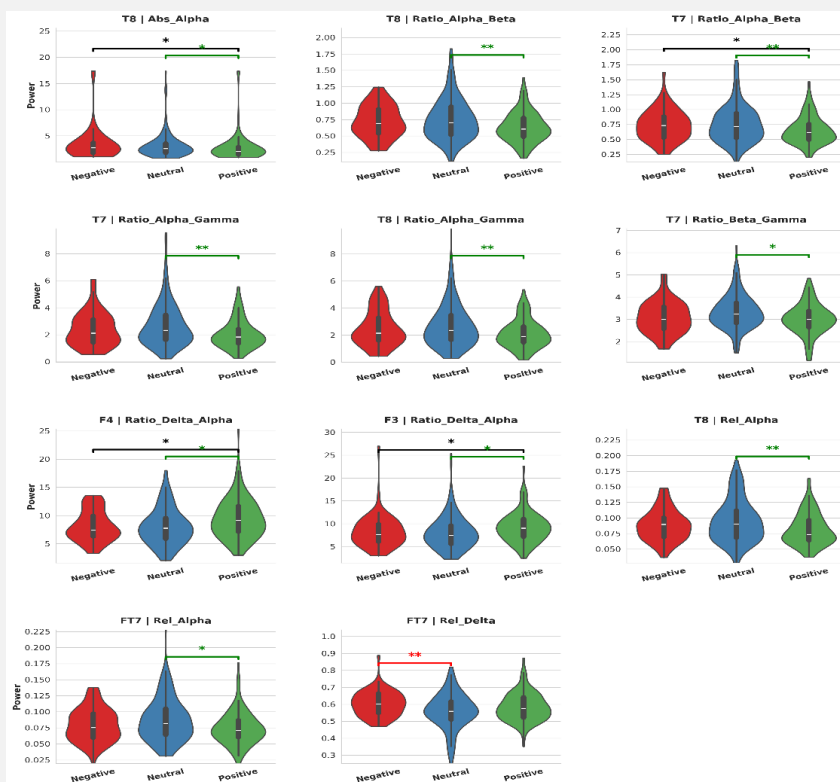
در مقایسه گروه منفی و مثبت، چهار ویژگی پس از تصحیح

FDR تفاوت معنادار نشان دادند. توان مطلق آلفا در الکترو

T8 در گروه منفی بالاتر از گروه مثبت بود:

خنثی مقادیر پایین‌تری در شاخص‌های آلفا و نسبت‌های آلفا-محور در نواحی تمپورال نشان داد. در مقابل، نسبت دلتا به آلفا در الکترودهای فرونتال F3 و F4 در گروه مثبت بالاتر از خنثی بود. بنابراین، رویاهای مثبت در این داده‌ها با کاهش نسبی

در الکترودهای T7 و T8 مشاهده شدند، که نشان‌دهنده حساسیت نواحی تمپورال به تغییرات طیفی مرتبط با محتوای احساسی رویا است. الگوی اصلی نتایج مربوط به مقایسه گروه مثبت و خنثی بود. در این مقایسه، گروه مثبت نسبت به گروه



شکل (۳) تفاوت‌های قدرت طیفی EEG بین سه گروه احساسی رویا در خواب REM. هر پل یکی از ۱۱ ویژگی طیفی EEG را نشان می‌دهد که پس از تصحیح بنفرونی ($p < 0.05$) در تحلیل کوواریانس یک‌طرفه (با شماره چرخه REM به‌عنوان کواریت) معنادار شدند. نمودارهای ویولون توزیع کامل داده‌ها را به‌همراه نمودار جعبه‌ای داخلی (میان و دامنه میان‌چارگی) برای سه گروه احساسی نمایش می‌دهند: منفی (قرمز)، خنثی (آبی) و مثبت (سبز). کروش‌های رنگی نشان‌دهنده اختلافات معنادار جفتی حاصل از آزمون‌های پس‌آزمون Welch با تصحیح FDR هستند: قرمز (منفی در برابر خنثی)، سبز (مثبت در برابر خنثی) و سیاه (منفی در برابر مثبت). سطوح معناداری به‌صورت * ($0.005 < p < 0.05$) و ** ($p < 0.05$) نمایش داده شده‌اند. الگوی غالب کاهش قدرت باند آلفا در گروه مثبت نسبت به دو گروه دیگر است که به‌ویژه در کانال‌های تمپورال (T7، T8، FT7) مشهود می‌باشد.

جدول (۱) - نتایج معنادار تحلیل کوواریانس برای ویژگی‌های طیفی EEG پس از تصحیح Bonferroni

در این جدول، گروه احساسی رویا به عنوان عامل بین‌گروهی و شماره چرخه REM به عنوان متغیر کمکی وارد مدل شده است. مقدار مجذور اتای جزئی به عنوان اندازه اثر گزارش شده است.

ویژگی	الکترو	نوع ویژگی	F(df1, df2)	p-value	p-Bonferroni	Partial η^2
T8_Abs_Alpha	T8	توان مطلق آلفا	F(2,315)=4.88	0.008	0.049	0.030
T8_Ratio_Alpha_Beta	T8	نسبت آلفا/بتا	F(2,325)=5.56	0.004	0.025	0.033
T7_Ratio_Alpha_Beta	T7	نسبت آلفا/بتا	F(2,325)=4.89	0.008	0.048	0.029
T7_Ratio_Alpha_Gamma	T7	نسبت آلفا/گاما	F(2,323)=5.36	0.005	0.031	0.032
T8_Ratio_Alpha_Gamma	T8	نسبت آلفا/گاما	F(2,324)=4.93	0.008	0.046	0.030
T7_Ratio_Beta_Gamma	T7	نسبت بتا/گاما	F(2,324)=5.40	0.005	0.029	0.032
F4_Ratio_Delta_Alpha	F4	نسبت دلتا/آلفا	F(2,324)=5.17	0.006	0.037	0.031
F3_Ratio_Delta_Alpha	F3	نسبت دلتا/آلفا	F(2,323)=5.01	0.007	0.043	0.030
T8_Rel_Alpha	T8	توان نسبی آلفا	F(2,325)=5.53	0.004	0.026	0.033
FT7_Rel_Alpha	FT7	توان نسبی آلفا	F(2,324)=5.04	0.007	0.042	0.030
FT7_Rel_Delta	FT7	توان نسبی دلتا	F(2,324)=5.16	0.006	0.037	0.031

df: درجه آزادی؛ Partial η^2 : اندازه اثر جزئی. فقط ویژگی‌هایی که پس از تصحیح Bonferroni معنادار باقی ماندند در جدول گزارش شده‌اند.



جدول (۲) - مقایسه‌های جفتی معنادار بین گروه‌های احساسی بر اساس آزمون t ولج

مقایسه‌ها بر اساس مقادیر تعدیل‌شده نسبت به اثر شماره چرخه REM انجام شده‌اند. مقادیر p با روش Benjamini-Hochberg FDR تصحیح شده‌اند و Cohen's d به عنوان اندازه اثر گزارش شده است.

ویژگی	الکتروود	مقایسه	میانگین $\pm$ انحراف معیار گروه A	میانگین $\pm$ انحراف معیار گروه B	t(df)	p-FDR	Cohen's d
T8_Abs_Alpha	T8	منفی در مقابل مثبت	2.84 $\pm$ 1.39	2.31 $\pm$ 1.21	t(113.3)=2.46	0.023	0.42
T8_Abs_Alpha	T8	مثبت در مقابل خنثی	2.31 $\pm$ 1.21	2.79 $\pm$ 1.43	t(237.8)=-3.01	0.009	-0.37
T8_Ratio_Alpha_Beta	T8	مثبت در مقابل خنثی	0.64 $\pm$ 0.23	0.75 $\pm$ 0.31	t(259.2)=-3.42	0.002	-0.40
T7_Ratio_Alpha_Beta	T7	منفی در مقابل مثبت	0.74 $\pm$ 0.26	0.65 $\pm$ 0.23	t(122.6)=2.20	0.045	0.36
T7_Ratio_Alpha_Beta	T7	مثبت در مقابل خنثی	0.65 $\pm$ 0.23	0.76 $\pm$ 0.31	t(258.3)=-3.19	0.005	-0.38
T7_Ratio_Alpha_Gamma	T7	مثبت در مقابل خنثی	2.05 $\pm$ 1.05	2.59 $\pm$ 1.39	t(255.9)=-3.41	0.002	-0.41
T8_Ratio_Alpha_Gamma	T8	مثبت در مقابل خنثی	2.11 $\pm$ 1.06	2.64 $\pm$ 1.47	t(259.4)=-3.30	0.003	-0.39
T7_Ratio_Beta_Gamma	T7	مثبت در مقابل خنثی	3.01 $\pm$ 0.70	3.32 $\pm$ 0.73	t(229.6)=-3.12	0.006	-0.39
F4_Ratio_Delta_Alpha	F4	منفی در مقابل مثبت	8.14 $\pm$ 2.70	9.32 $\pm$ 3.25	t(151.3)=-2.53	0.019	-0.39
F4_Ratio_Delta_Alpha	F4	مثبت در مقابل خنثی	9.32 $\pm$ 3.25	8.01 $\pm$ 3.25	t(219.7)=2.95	0.011	0.37
F3_Ratio_Delta_Alpha	F3	منفی در مقابل مثبت	7.98 $\pm$ 2.63	9.21 $\pm$ 3.29	t(152.4)=-2.64	0.014	-0.40
F3_Ratio_Delta_Alpha	F3	مثبت در مقابل خنثی	9.21 $\pm$ 3.29	7.93 $\pm$ 3.34	t(224.5)=2.85	0.014	0.36
T8_Rel_Alpha	T8	مثبت در مقابل خنثی	0.082 $\pm$ 0.026	0.095 $\pm$ 0.034	t(257.1)=-3.33	0.003	-0.40
FT7_Rel_Alpha	FT7	مثبت در مقابل خنثی	0.074 $\pm$ 0.026	0.086 $\pm$ 0.031	t(250.2)=-3.16	0.005	-0.38
FT7_Rel_Delta	FT7	منفی در مقابل خنثی	0.603 $\pm$ 0.074	0.561 $\pm$ 0.103	t(160.7)=3.35	0.003	0.43

در ستون مقایسه، ترتیب گروه‌ها مطابق گروه A و گروه B در ستون‌های میانگین گزارش شده است. مقدار مثبت Cohen's d نشان‌دهنده بیشتر بودن مقدار ویژگی در گروه A و مقدار منفی نشان‌دهنده کمتر بودن مقدار ویژگی در گروه A نسبت به گروه B است. تمام اندازه اثرها در محدوده کوچک قرار داشتند.

پس از تحلیل‌های پس‌آزمون معنادار باقی ماندند و کانون اصلی این تفاوت‌ها در مقایسه‌ی رویاهای مثبت و خنثی بود. این الگو دو نکته مهم را برجسته می‌کند: نخست، تمایز هیجانی رویا در داده‌های حاضر بیشتر در قالب یک «پروفایل طیفی چندویژگی» آشکار شده است تا در یک شاخص منفرد؛ و دوم، این پروفایل عمده‌ها بر محور آلفا در نواحی تمپورال و بر محور دلتا/آلفا در نواحی فرونتال سازمان یافته است. از منظر نظری، این یافته با دیدگاهی هم‌خوان است که خواب REM را نه یک حالت یکنواخت، بلکه بستری پویا برای پردازش هیجان می‌داند که در آن شبکه‌های مربوط به حافظه، سالیانس و کنترل هیجان به شکلی متفاوت از بیداری بازپیکربندی می‌شوند (۴، ۱۸، ۱۹). یافته‌های مطالعه حاضر را می‌توان در چارچوب مفهومی مشترکی با مطالعات پیشین قرار داد. کاهش توان آلفا در نواحی تمپورال در رویاهای مثبت در داده‌های ما با مطالعه Marzano و همکاران (۲۰۱۱) (۸) که نقش آلفای پیش از بیداری در همبسته‌های الکتروفیزیولوژیک تجربه رویا را گزارش کرده‌اند، در یک خط مفهومی واحد قرار می‌گیرد. الگوی نسبت

شاخص‌های آلفا در نواحی تمپورال و افزایش نسبت دلتا/آلفا در نواحی فرونتال همراه بودند.

مقایسه گروه منفی و مثبت نیز نشان داد که گروه منفی توان مطلق آلفا در T8 و نسبت آلفا/بتا در T7 بالاتری نسبت به گروه مثبت داشت، در حالی که گروه مثبت نسبت دلتا/آلفای بالاتری در F3 و F4 نشان داد. در مقایسه گروه منفی و خنثی، تنها ویژگی FT7_Rel_Delta معنادار بود و مقدار آن در گروه منفی بالاتر از گروه خنثی مشاهده شد.

در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهند که محتوای احساسی رویا در خواب REM با تغییرات قابل اندازه‌گیری اما کوچک در ویژگی‌های طیفی EEG همراه است. این تغییرات بیشتر در شاخص‌های مرتبط با آلفا در نواحی تمپورال و نسبت دلتا/آلفا در نواحی فرونتال دیده شدند.

۴- یافته‌ها و بحث

یافته‌های این مطالعه نشان دادند که از میان ۱۲۰ ویژگی طیفی بررسی‌شده، ۱۱ ویژگی پس از ANCOVA و ۱۵ مقایسه جفتی

دلتا/آلفای فرونتال بالاتر در گروه مثبت در داده‌های ما با گزارش Sikka و همکاران (۲۰۱۹) (۱۱) درباره نقش عدم تقارن آلفای فرونتال در مؤلفه‌های هیجانی رویا قابل قیاس است، گرچه در آن مطالعه محور تمایز بر آلفای فرونتال و در داده‌های ما بر نسبت دلتا/آلفا قرار دارد. اختصاص تنها یک ویژگی معنادار (FT7_Rel_Delta) به تمایز رویاهای منفی از خنثی نیز با ادبیاتی که هیجان‌های منفی در رویا را با تغییرات محدود اما اختصاصی در باند دلتا گزارش کرده است، از جمله Sterpenich و همکاران (۲۰۲۰) (۱۲)، سازگاری مفهومی دارد. افزون بر این، اندازه‌های اثر کوچک به دست آمده در مطالعه ما (مقادیر η^2 در محدوده ۰.۲۹/۰ تا ۰.۳۳/۰) با اندازه‌های اثر گزارش شده در سایر مطالعات همبسته‌های EEG و هیجان رویا که عموماً کوچک تا متوسط‌اند منطبق است و این هم‌خوانی، اعتبار درونی یافته‌ها را تقویت می‌نماید. در عین حال، نوآوری مطالعه حاضر نسبت به این مطالعات در سه محور است: تمایز سه‌گانه هم‌زمان مثبت/خنثی/منفی، استفاده ترکیبی از سه خانواده ویژگی طیفی، و کنترل صریح ناهمگنی چرخه‌ی REM.

بخش غالب نتایج حاضر، کاهش توان آلفا و نسبت‌های آلفامحور در الکترودهای تمپورال و فرونتو-تمپورال در گروه مثبت نسبت به خنثی بود. این الگو از نظر تفسیری جالب است، زیرا ادبیات آلفا نشان می‌دهد که آلفا الزاماً یک «ریتم آرامش» ساده نیست و بسته به زمینه و ناحیه، می‌تواند شاخصی از مهار عملکردی، جداسازی اطلاعات نامربوط، یا تنظیم درگیری شبکه‌ای باشد. مرورهای جدیدتر درباره‌ی آلفا و هیجان نیز نشان داده‌اند که در مواجهه با محتوای هیجانی، به‌ویژه هنگامی که محرک از نظر انگیزشی/عاطفی برجسته است، کاهش آلفا یا desynchronization اغلب دیده می‌شود. بنابراین، کاهش FT7_Rel_Alpha، T8_Rel_Alpha، T8_Abs_Alpha و نیز کاهش نسبت‌های آلفا/بتا و آلفا/گاما در T7 و T8 را می‌توان به‌طور محتاطانه به این صورت تعبیر کرد که رویاهای مثبت در داده‌های حاضر با درگیری بیشتر یا مهار کمتر شبکه‌های تمپورال مرتبط با بازنمایی‌های هیجانی-ادراکی همراه بوده‌اند. با این حال، این تفسیر باید غیرعَلّی باقی بماند، زیرا آلفا یک نشانگر چندمعنایی و وابسته به توپولوژی، وظیفه و حالت است و نمی‌توان از کاهش آن به‌تنهایی نتیجه گرفت که «مثبت» لزوماً برابر با «فعال‌تر» یا «برانگیخته‌تر» است (۲۰-۲۲).

در سوی دیگر، افزایش نسبت دلتا/آلفا در F3 و F4 در گروه مثبت نسبت به خنثی و نیز نسبت به منفی، یک محور تفسیری متفاوت را پیش می‌کشد. نسبت دلتا/آلفا را می‌توان به‌صورت کلی یک شاخص تعادلی بین ریتم‌های کند و ریتم آلفا دانست،

اما این شاخص نیز نباید به‌صورت تک‌معنا تفسیر شود. در ادبیات نظری، رابطه‌ای نسبتاً متقابل میان افزایش امواج کند و کاهش آلفا با سازوکارهای مهاری و کنترل هیجان پیشنهاد شده است. هم‌زمان، پژوهش‌های REM نشان می‌دهند که این مرحله خود ناهمگون است: برای نمونه، در اختلال کابوس افزایش آلفای نسبی و دلتا در REM گزارش شده و در تمایز REM فازیک و تونیک نیز الگوهای متفاوتی از دلتا/تتا در برابر آلفای بالا دیده شده است. در این چارچوب، افزایش دلتا/آلفا در فرونتال برای رویاهای مثبت می‌تواند بازتاب یک «حالت تنظیمی متفاوت» در قشر پیش‌پیشانی طی REM باشد؛ حالتی که شاید به بازسازمان‌دهی عاطفی، فرونشانی نسبی کنترل اجرایی بیداری، یا تغییر در تعادل مهار-آزادسازی بازنمایی‌های رویا مربوط است. اما این یافته نباید به‌صورت یک بیومارکر ساده‌ی «مثبت بودن رویا» تفسیر شود؛ بلکه بهتر است به‌عنوان یک الگوی همبسته با محتوای مثبت، و نه علت یا نشانگر اختصاصی آن، گزارش شود (۲۳-۲۵). کم‌تعداد بودن تفاوت‌های منفی در برابر مثبت و به‌ویژه منفی در برابر خنثی نیز به همان اندازه معنادار است. در داده‌های حاضر، تنها FT7_Rel_Delta به‌طور مشخص منفی را از خنثی جدا کرده است، در حالی که مقایسه مثبت-خنثی بار اصلی تفاوت‌ها را بر دوش می‌کشد. یک تفسیر محتاطانه این است که در این مجموعه داده، «مثبت بودن» از نظر طیفی برش تمایزدهنده‌تری نسبت به «منفی بودن» ایجاد کرده است. اما تبیین‌های جایگزین نیز باید جدی گرفته شوند: دسته‌ی منفی ممکن است از نظر پدیدارشناختی ناهمگون‌تر بوده باشد، شدت برانگیختگی یا زیرمؤلفه‌هایی مانند خشم، ترس، تنش یا غم در آن مخلوط شده باشد، یا گروه‌بندی سه‌سطحی هیجان، ابعاد ظریف‌تر affect را هموار کرده باشد. از سوی دیگر، مطالعه‌ی Sikka و همکاران نشان داده است که همه‌ی هیجان‌ها به یک شکل در REM EEG بازتاب نمی‌یابند؛ در آن مطالعه، عدم تقارن آلفای فرونتال بیشتر با خشم رویا مرتبط بود، نه با همه‌ی ابعاد affect. بنابراین، محتمل است که برخی تمایزهای مهم منفی-خنثی در داده‌های حاضر به دلیل تجمع هیجان‌های ناهمگون یا محدودیت دقت برچسب‌گذاری پنهان مانده باشند (۴، ۱۱).

از منظر روش‌شناختی، تصمیم به وارد کردن شماره چرخه REM به‌عنوان متغیر کمکی قابل دفاع است، زیرا REM در طول شب از نظر سهم زمانی و احتمالاً از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیک و محتوای ذهنی یکسان نمی‌ماند. با این حال، در گزارش نهایی لازم است روشن شود که ANCOVA فقط زمانی به‌طور کامل قابل اتکا است که فرض همگنی شیب‌های



۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، ویژگی‌های طیفی سیگنال EEG در مرحله خواب REM به منظور بررسی تمایز بین محتوای احساسی منفی، خنثی و مثبت رویا تحلیل شدند. برای این منظور، از سه دقیقه پایانی هر سگمنت REM پیش از بیداری استفاده شد و برای شش الکتروود فرونتال، فرونتو-تمپورال و تمپورال، مجموعه‌ای از ویژگی‌های طیفی شامل توان مطلق، توان نسبی و نسبت بین باندهای فرکانسی استخراج گردید. سپس تفاوت این ویژگی‌ها بین سه گروه احساسی با استفاده از تحلیل کوواریانس و با کنترل شماره چرخه REM بررسی شد.

نتایج نشان دادند که از میان ۱۲۰ ویژگی استخراج شده، ۱۱ ویژگی پس از تصحیح چندمقایسه‌ای Bonferroni معنادار باقی ماندند. این ویژگی‌ها عمدتاً در الکتروودهای T7، T8، FT7، F3 و F4 مشاهده شدند و بیشتر شامل شاخص‌های مرتبط با باند آلفا و نسبت دلتا به آلفا بودند. مقایسه‌های جفتی نیز نشان دادند که بیشترین تفاوت‌ها بین گروه مثبت و گروه خنثی وجود دارد؛ به طوری که رویاهای مثبت نسبت به رویاهای خنثی با کاهش شاخص‌های آلفا و نسبت‌های آلفا-محور در نواحی تمپورال و افزایش نسبت دلتا/آلفا در نواحی فرونتال همراه بودند. در مقابل، تمایز بین رویاهای منفی و خنثی محدودتر بود و عمدتاً در افزایش توان نسبی دلتا در ناحیه فرونتو-تمپورال چپ مشاهده شد. دستاورد اصلی این مطالعه نشان دادن این موضوع است که محتوای احساسی رویا در خواب REM می‌تواند با الگوهای طیفی قابل اندازه‌گیری در EEG همراه باشد. نوآوری این کار در تمرکز مستقیم بر تمایز سه‌گانه احساسات رویا، یعنی منفی، خنثی و مثبت، و استفاده هم‌زمان از توان مطلق، توان نسبی و نسبت‌های بین‌باندی در چند الکتروود مرتبط با پردازش هیجانی است. همچنین کنترل شماره چرخه REM به عنوان متغیر کمکی، امکان تفسیر دقیق‌تر تفاوت‌های احساسی را در چارچوب تغییرات فیزیولوژیک خواب فراهم کرد.

با وجود این، مطالعه حاضر دارای محدودیت‌هایی است. نخست، اندازه اثرهای مشاهده شده کوچک بودند؛ بنابراین نتایج باید به عنوان شواهد اولیه و اکتشافی تفسیر شوند، نه نشانگرهای قطعی برای طبقه‌بندی احساسات رویا. دوم، تحلیل حاضر بر اساس تعداد محدودی از الکتروودها انجام شد و بنابراین امکان نتیجه‌گیری دقیق درباره منابع عصبی عمقی یا شبکه‌های گسترده مغزی وجود ندارد. سوم، برخی پیش‌فرض‌های آماری مانند نرمال بودن و همگنی واریانس‌ها برای همه ویژگی‌ها به طور کامل برقرار نبودند. همچنین، برچسب‌های احساسی رویا

رگرسیون برقرار باشد؛ یعنی رابطه‌ی بین REM-cycle و ویژگی EEG در سه گروه احساسی عملاً موازی باشد. اگر برهم‌کنش $\text{Emotion} \times \text{REM}$ معنادار شود، مدل شیب مشترک کلاسیک می‌تواند همراه‌کننده باشد و در آن صورت باید خود برهم‌کنش گزارش و از تفسیر ANCOVA ساده پرهیز شود. افزون بر این، نرمال نبودن برخی ویژگی‌ها و ناهمگنی واریانس‌ها در EEG خواب امری نامعمول نیست؛ استفاده از Welch در post-hoc و کنترل چندمقایسه‌ای کمک‌کننده است، اما اندازه اثرهای کوچک در این مطالعه نشان می‌دهد که یافته‌ها باید به عنوان تفاوت‌های ظریف و نه بزرگ و پایدار تلقی شوند. بنابراین، مناسب‌ترین لحن تفسیری آن است که این الگوها «نشان‌های الکتروفیزیولوژیک امیدوارکننده اما مقدماتی» خوانده شوند، نه نشانگرهای قطعی (۱۸، ۲۴، ۲۶، ۲۷). افزون بر این، تمرکز مطالعه حاضر بر حوزه فرکانس و عدم بررسی حوزه‌های زمان و زمان-فرکانس و نیز شاخص‌های غیرخطی، یک محدودیت روش‌شناختی محسوب می‌گردد که در پژوهش‌های آتی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. همچنین، انتخاب آگاهانه روش‌های آماری استاندارد (ANCOVA و t ولج) به جای روش‌های یادگیری ماشین یا یادگیری عمیق، با هدف بیشینه‌سازی قابلیت تفسیر و امکان مقایسه با ادبیات صورت گرفته است؛ روش‌های یادگیری ماشین به عنوان مرحله بعدی و بر اساس ویژگی‌های شناسایی شده در این پژوهش، می‌توانند در مطالعات آتی به کار گرفته شوند.

اهمیت اصلی این نتایج برای عصب‌شناسی رویا و هیجان در آن است که نشان می‌دهند تمایز محتوای احساسی رویا در REM احتمالاً در سطح تعادل طیفی و توپولوژی موضعی مغز رمزگذاری می‌شود، نه فقط در حضور یا فقدان یک باند منفرد. این مشاهده با رویکردهای جدید به رویا هم‌راستا است که آن را ادامه‌ی بازسازی هیجانی تجربه‌های بیداری در بستری خواب‌وابسته می‌دانند. مسیر بعدی پژوهش باید بر سه محور استوار باشد: نخست، بازتولید مستقل در نمونه‌های دیگر و با مدل‌های مقاوم‌تر؛ دوم، گذار از توان طیفی سطح-الکتروود به تحلیل منبع، اتصال‌پذیری و شاید تفکیک REM فازیک/تونیک؛ و سوم، پیوند دادن EEG نه فقط به برچسب سه‌گانه‌ی مثبت/خنثی/منفی، بلکه به شدت هیجان، برانگیختگی، خشم، ترس، لذت، و نیز شاخص‌های رفتاری و بالینی. تا آن زمان، بهتر است از هرگونه تعبیر بالینی شتاب‌زده پرهیز شود: این یافته‌ها برای ساخت نظریه و طراحی مطالعات بعدی ارزشمندند، اما هنوز برای کاربرد تشخیصی، غربالگری بالینی، یا پیش‌بینی فرد به فرد محتوای رویا آماده نیستند (۴، ۱۸، ۲۱، ۲۲).

- [8] Marzano C, Ferrara M, Mauro F, Moroni F, Gorgoni M, Tempesta D, et al. Recalling and forgetting dreams: theta and alpha oscillations during sleep predict subsequent dream recall. *J Neurosci*. 2011;31(18):6674-83.
- [9] Siclari F, Baird B, Perogamvros L, Bernardi G, LaRocque JJ, Riedner B, et al. The neural correlates of dreaming. *Nat Neurosci*. 2017;20(6):872-8.
- [10] Scarpelli S, Bartolacci C, D'Atri A, Camaioni M, Annarumma L, Gorgoni M, et al. Electrophysiological Correlates of Dream Recall During REM Sleep: Evidence from Multiple Awakenings and Within-Subjects Design. *Nat Sci Sleep*. 2020;12:1043-52.
- [11] Sikka P, Revonsuo A, Noreika V, Valli K. EEG Frontal Alpha Asymmetry and Dream Affect: Alpha Oscillations over the Right Frontal Cortex during REM Sleep and Presleep Wakefulness Predict Anger in REM Sleep Dreams. *J Neurosci*. 2019;39(24):4775-84.
- [12] Sterpenich V, Perogamvros L, Tononi G, Schwartz S. Fear in dreams and in wakefulness: Evidence for day/night affective homeostasis. *Hum Brain Mapp*. 2020;41(3):840-50.
- [13] Knyazev GG. EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012;36(1):677-95.
- [14] Guntekin B, Basar E. A review of brain oscillations in perception of faces and emotional pictures. *Neuropsychologia*. 2014;58:33-51.
- [15] Schutter DJ, Knyazev GG. Cross-frequency coupling of brain oscillations in studying motivation and emotion. *Motiv Emot*. 2012;36(1):46-54.
- [16] Liu W, Zhang Y, Ma P, Zheng L, Zhou D, Chen Z, et al. DEED: A Dataset for Dream-related Emotion Research. *bioRxiv*. 2022:2022.09.19.508475.
- [17] Benjamini Y, Hochberg Y. Controlling the False Discovery Rate: A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*. 1995;57(1):289-300.
- [18] Walker MP. The role of sleep in cognition and emotion. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1156:168-97.
- [19] Goldstein AN, Walker MP. The role of sleep in emotional brain function. *Annu Rev Clin Psychol*. 2014;10:679-708.
- [20] Chellappa SL, Frey S, Knoblauch V, Cajochen C. Cortical activation patterns herald successful dream recall after NREM and REM sleep. *Biol Psychol*. 2011;87(2):251-6.
- [21] Bazanova, O. M., & Vernon, D. (2014). Interpreting EEG alpha activity. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 44, 94-110.
- [22] Codispoti M, De Cesarei A, Ferrari V. Alpha-band oscillations and emotion: A review of studies on picture perception. *Psychophysiology*. 2023;60(12):e14438.
- [23] Simor P, Horvath K, Ujma PP, Gombos F, Bodizs R. Fluctuations between sleep and wakefulness: wake-like features indicated by increased EEG alpha power

مبتنی بر گزارش ذهنی هستند و می‌توانند تحت تأثیر تفاوت‌های فردی در یادآوری و توصیف رویا قرار گیرند. در مطالعات آینده، چند مسیر پژوهشی مکمل می‌تواند به درک دقیق‌تر رابطه میان فعالیت مغزی و محتوای احساسی رویا کمک کند. نخست، استفاده از داده‌های EEG با تراکم الکترودی بالاتر، تحلیل‌های منبع و اتصال‌پذیری، و بررسی جداگانه زیرحالت‌های REM فازیک و تونیک. دوم، گذار از تحلیل صرف حوزه فرکانس به تحلیل‌های حوزه زمان-فرکانس و نیز شاخص‌های غیرخطی (مانند روش‌های نظریه اطلاعات، آنتروپی نمونه‌ای و تجزیه‌ی حالت ذاتی)، که می‌توانند جنبه‌های تکمیلی الگوهای الکتروفیزیولوژیک را آشکار سازند. سوم، با تأمین تعداد نمونه کافی، به‌کارگیری روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق برای بررسی توان طبقه‌بندی هیجان رویا بر اساس ویژگی‌های شناسایی‌شده در این مطالعه. چهارم، فراتر رفتن از دسته‌بندی سه‌گانه و بررسی شدت هیجان، نوع‌های خاص هیجان (ترس، خشم، شادی) و شاخص‌های بالینی مرتبط با خواب و خلق. در مجموع، یافته‌های این پژوهش می‌تواند گامی مقدماتی در جهت شناسایی نشانگرهای الکتروفیزیولوژیک مرتبط با تجربه احساسی رویا در خواب REM باشند و چارچوب لازم برای پژوهش‌های پیشرفته‌تر در آینده را فراهم می‌کنند.

۶- مراجع

- [1] Walker MP, van der Helm E. Overnight therapy? The role of sleep in emotional brain processing. *Psychol Bull*. 2009;135(5):731-48.
- [2] Tempesta D, Soccia V, De Gennaro L, Ferrara M. Sleep and emotional processing. *Sleep Med Rev*. 2018;40:183-95.
- [3] Cunningham TJ, Stickgold R, Kensinger EA. Investigating the effects of sleep and sleep loss on the different stages of episodic emotional memory: A narrative review and guide to the future. *Front Behav Neurosci*. 2022;16:910317.
- [4] Scarpelli S, Bartolacci C, D'Atri A, Gorgoni M, De Gennaro L. The Functional Role of Dreaming in Emotional Processes. *Front Psychol*. 2019;10:459.
- [5] McCarley RW. Neurobiology of REM and NREM sleep. *Sleep Med*. 2007;8(4):302-30.
- [6] Nishida M, Pearsall J, Buckner RL, Walker MP. REM sleep, prefrontal theta, and the consolidation of human emotional memory. *Cereb Cortex*. 2009;19(5):1158-66.
- [7] Van Der Helm E., Yao, J., Dutt, S., Rao, V., Saletin, J. M., & Walker, M. P. (2011). REM sleep depotentiates amygdala activity to previous emotional experiences. *Current biology*, 21(23), 2029-2032.

- during different sleep stages in nightmare disorder. *Biol Psychol.* 2013;94(3):592-600.
- [24] Simor P, Gombos F, Szakadat S, Sandor P, Bodizs R. EEG spectral power in phasic and tonic REM sleep: different patterns in young adults and children. *J Sleep Res.* 2016;25(3):269-77.
- [25] Knyazev GG. Motivation, emotion, and their inhibitory control mirrored in brain oscillations. *Neurosci Biobehav Rev.* 2007;31(3):377-95.
- [26] D'Alonzo KT. The Johnson-Neyman procedure as an alternative to ANCOVA. *West J Nurs Res.* 2004;26(7):804-12.
- [27] Johnson TR. Violation of the homogeneity of regression slopes assumption in ANCOVA for two-group pre-post designs: Tutorial on a modified Johnson-Neyman procedure. *The Quantitative Methods for Psychology.* 2016;12(3):253-63.