



Comparison of Quantitative Brain Signal Analysis in Temporal and Spatial Domains Based on NeuroGuide Software in Attention Deficit Hyperactivity Disorder and Epilepsy”

Monir Kamali*

Department of Electrical Engineering, Najafabad
Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Abstract

This study provides a quantitative analysis of brain signals (QEEG) using the NeuroGuide software, with a specific focus on Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) and epilepsy. The paper begins by detailing brain anatomy and wave patterns, followed by an exploration of ADHD’s pathophysiology and diagnostic methods. A core section is dedicated to NeuroGuide, explaining its capabilities in temporal and spatial QEEG analysis relevant to these neurological conditions. Previous research in the field is reviewed, and the discussion critically compares NeuroGuide with alternative analytical approaches and AI methodologies. Future research should focus on integrating Artificial Intelligence diagnostic capabilities with the interpretive framework of NeuroGuide to maximize the accuracy and interpretability of QEEG results.

Keywords: quantitative EEG (QEEG), NeuroGuide, ADHD, epilepsy, brain signals, neuroanatomy, brainwaves, pathophysiology, temporal analysis, spatial analysis, artificial intelligence, medical software

Received: 23/December/2026

Accepted: 19/February/2026

eISSN: 3115-7610

ISSN: 3115-7572

مقایسه تحلیل کمی سیگنال‌های مغزی در دو حوزه زمان و مکان مبتنی بر نرم‌افزار نوروگاید در اختلال بیش‌فعالی و صرع

منیر کمالی* | گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

چکیده

این مقاله به تحلیل کمی سیگنال‌های مغزی در دو اختلال شایع، یعنی اختلال بیش‌فعالی همراه با نقص توجه و صرع، با استفاده از نرم‌افزار تخصصی نوروگاید می‌پردازد و مقایسه‌ای بین دقت این روش با رویکردهای نوین هوش مصنوعی ارائه می‌دهد. هدف اصلی، بررسی الگوهای مشخص فعالیت الکتریکی مغز در این دو وضعیت و ارزیابی توانایی نوروگاید در تفکیک آن‌ها براساس معیارهای کمی در حوزه‌های زمان و مکان است. یافته‌ها نشان می‌دهند که تحلیل کمی سیگنال‌های مغز قادر به شناسایی بایومارکرهای قابل اعتماد در هر دو اختلال است، اما در مقایسه با روش‌های هوش مصنوعی نشان می‌دهد که ابزارهای مبتنی بر یادگیری عمیق ممکن است در شناسایی الگوهای پیچیده برتری داشته باشند، درحالی‌که نوروگاید چارچوب تفسیری فیزیولوژیک قوی‌تری ارائه می‌دهد. تحقیقات آینده باید بر ادغام قابلیت‌های تشخیصی هوش مصنوعی با چارچوب تفسیری نوروگاید متمرکز شوند تا دقت و قابلیت تفسیر نتایج تحلیل کمی امواج مغزی به حداکثر برسد.

کلیدواژه‌ها: الکتروانسفالوگرافی کمی (QEEG)، نورولایتیک «NeuroGuide»، اختلال نقص توجه/بیش‌فعالی (ADHD)، صرع، سیگنال‌های مغزی، نوروآناتومی، امواج مغزی، پاتوفیزیولوژی، تحلیل زمانی، تحلیل مکانی، هوش مصنوعی، نرم‌افزار پزشکی

۱- مقدمه

فعالیت الکتریکی مغز، که توسط الکتروانسفالوگرافی (EEG)^۱ ثبت می‌شود، پنجره‌ای غیرتهاجمی به عملکرد مغز ارائه می‌دهد. تحلیل کمی (QEEG) EEG^۲ با استفاده از روش‌های آماری و ریاضی، امکان اندازه‌گیری و مقایسه عینی پارامترهای فعالیت الکتریکی را فراهم می‌آورد. این رویکرد در علوم اعصاب بالینی و روان‌پزشکی، به‌ویژه در تشخیص و مدیریت اختلالاتی که ریشه در ناهنجاری‌های الکتروفیزیولوژیک دارند، اهمیت فزاینده‌ای یافته است [۱]. اختلال بیش‌فعالی همراه با نقص توجه (ADHD)^۳ و صرع، دو اختلال عصبی-روان‌پزشکی شایع هستند که با ناهنجاری‌های قابل اندازه‌گیری در فعالیت الکتریکی مغز مشخص می‌شوند. در ADHD، ناهنجاری‌ها اغلب با نقص در تنظیم توجه و کنترل اجرایی مرتبط هستند، درحالی‌که صرع با تخلیه‌های الکتریکی غیرطبیعی و بیش از حد نوروها مشخص می‌شود [۲]. هدف این مقاله، تحلیل کمی سیگنال‌های مغزی با استفاده از نرم‌افزار تخصصی نوروگاید^۴ به منظور مقایسه الگوهای QEEG در ADHD و صرع است. این نرم‌افزار با استفاده از داده‌های نرم‌تیبو (استانداردهای جمعیتی)، امکان مقایسه داده‌های بیمار را با یک پایه نرمال فراهم می‌کند. در نهایت، جایگاه این روش سنتی‌تر در کنار رویکردهای مدرن هوش مصنوعی مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱-۱- آناتومی و امواج مغز

فعالیت الکتریکی مغز از تعاملات پیچیده بین نوروها ناشی می‌شود. درک آناتومی عملکردی و امواج مغزی پایه برای تفسیر صحیح QEEG ضروری است. نواحی کلیدی مغز که در این اختلالات نقش دارند عبارت‌اند از: قشر پیش‌پیشانی (PFC)^۵؛ مسئول عملکردهای اجرایی، توجه و کنترل بازداری؛ نقشی محوری در ADHD دارد. تالاموس و هیپوکامپ؛ این ساختارهای لیمبیک در تنظیم ریتم‌های مغزی و تولید تشنج نقش دارند، به‌ویژه در صرع‌های تمپورال [۳]. قشر حسی-حرکتی؛ فعالیت غیرطبیعی در این نواحی می‌تواند به‌عنوان کانون تشنج عمل کند.

۱-۲- امواج مغزی نرمال (نوروفیزیولوژی پایه)

QEEG براساس تحلیل طیف توان^۶ امواج مغزی در حوزه‌های فرکانسی مختلف استوار است. پارامترهای اصلی شامل: دلتا^۷: ۰/۵ تا ۴ هرتز؛ مرتبط با خواب عمیق و بی‌هوشی. تتا^۸: ۴ تا ۸ هرتز؛ مرتبط با خواب سبک، پردازش حافظه و در حالت بیداری، با بی‌توجهی یا خواب‌آلودگی. آلفا^۹: ۸ تا ۱۳ هرتز؛ فعالیت غالب در حالت استراحت با چشم بسته، مرتبط با آرامش و یکپارچگی ادراکی. بتا^{۱۰}: ۱۳ تا ۳۰ هرتز؛ مرتبط با فعالیت‌های شناختی فعال، تمرکز و اضطراب. گاما^{۱۱}: بالای ۳۰ هرتز؛ مرتبط با ادغام اطلاعات حسی و پردازش‌های سطح بالا [۴]. در تحلیل کمی، نسبت‌های خاصی مانند (theta/beta) یا (alpha/beta) به‌عنوان شاخص‌های بالینی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

1. Electroencephalography
2. quantitative analysis of electroencephalography
3. attention deficit hyperactivity disorder
4. NeuroGuide
5. prefrontal cortex
6. power spectral density
7. delta
8. theta
9. alpha
10. beta
11. gamma

۳-۱- پاتوفیزیولوژی و نواحی درگیر در اختلالات

اختلال بیش‌فعالی (ADHD) عمدتاً با اختلال در مدارهای پیشانی-استریاتال مرتبط است که بر کنترل توجه و بازداری اثر می‌گذارد [۵]. الگوی کلاسیک QEEG در ADHD، که به‌عنوان "Hypoarousal Model" شناخته می‌شود، شامل: افزایش فعالیت تتا (به‌ویژه در نواحی جلویی و مرکزی)، کاهش فعالیت بتا، بالا بودن نسبت تتا/بتا (TBR)^۱ در مقایسه با جمعیت نرمال [۶].

صرع نیز با تخلیه ناگهانی و هم‌زمان تعداد زیادی از نورون‌ها مشخص می‌شود. الگوهای EEG در صرع بسیار متغیر بوده و به نوع تشنج و کانون آن بستگی دارد. در حالت بین تشنجی^۲، ممکن است ناهنجاری‌های پایدار مانند افزایش فعالیت کند (دلتا یا تتا) یا الگوی غیرعادی در فرکانس‌های بالا در کانون تشنج مشاهده شود. صرع‌های لوب تمپورال (TLE) و لوب فرونتال (FLE) شایع‌ترین انواع هستند که هر کدام دارای مشخصات فرکانسی و مکانی منحصر به فردی در QEEG می‌باشند [۷].

۴-۱- روش‌های تشخیص و تحلیل کمی سیگنال

۴-۱-۱- روش‌های سنتی تشخیص

تشخیص بالینی ADHD و صرع عمدتاً براساس مشاهده رفتاری و شرح حال صورت می‌گیرد. در صرع، نوار مغزی (EEG) استاندارد نقش حیاتی دارد، اما تفسیر آن ذهنی و وابسته به تجربه بالینی است.

۴-۱-۲- معرفی نرم‌افزار NeuroGuide

NeuroGuide یک نرم‌افزار تخصصی QEEG است که از پایگاه داده‌های نرم‌اتیو^۳ به‌منظور مقایسه داده‌های بیمار با جمعیت سالم هم‌سن استفاده می‌کند. این نرم‌افزار با استفاده از معیارهایی مانند Z-score و درصد انحراف از نرمال، تحلیل‌های کمی را ارائه می‌دهد [۸].

تحلیل کمی در دو حوزه زمان و مکان

NeuroGuide امکان تحلیل‌های چندبعدی را فراهم می‌کند:

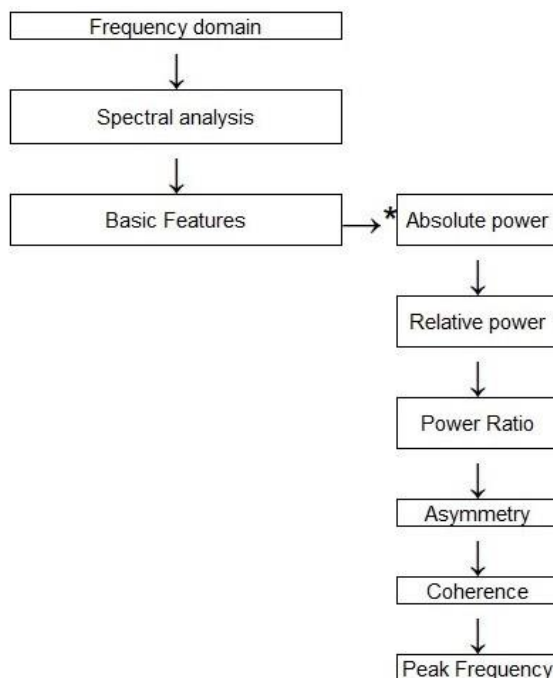
حوزه زمان (تحلیل فرکانسی): این تحلیل براساس طیف توان (PSD)^۴ هر کانال، قدرت یک فرکانس خاص در یک نقطه زمانی را محاسبه می‌کند. برای مثال، محاسبه میانگین قدرت تتا در ناحیه جلویی و مقایسه آن با نرمال در ADHD، انتظار می‌رود Z-score برای تتا بالا و برای بتا پایین باشد.

حوزه مکان (نقشه‌برداری مغزی)^۵: این تحلیل روابط مکانی بین نواحی مختلف مغز را ارزیابی می‌کند. معیارهای کلیدی عبارت‌اند از: همبستگی^۶؛ اندازه‌گیری ارتباط فاز و دامنه بین دو ناحیه در فرکانسی خاص. در ADHD، کاهش همبستگی در فرکانس‌های بالا (بتا و گاما) بین نواحی پیشانی و خلفی مشاهده می‌شود [۹].

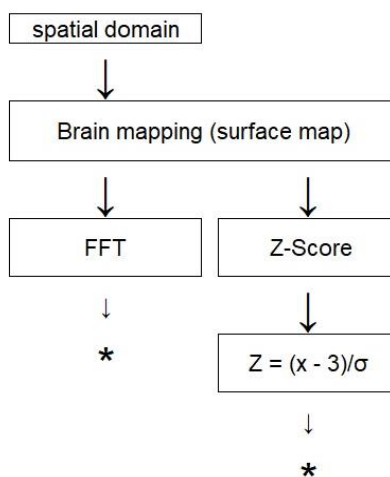
قدرت موضعی^۷ و نسبت‌های نرمال‌شده^۸: نمایش توزیع قدرت در نواحی خاص که فلوچارت‌های ۱ و ۲ به ترتیب بیانگر مراحل تحلیل کمی حوزه فرکانس و مکان می‌باشند. در صرع، این نقشه‌ها می‌توانند کانون‌های افزایش غیرطبیعی

1. theta/beta ratio
2. interictal
3. normative databases
4. power spectral density
5. brain mapping
6. coherence
7. absolute power
8. normalized power

فعالیت کند در نواحی تمپورال یا فرونتال را مشخص کنند.



فلوچارت ۱. تحلیل کمی حوزه فرکانس (نرم‌افزار نوروگاید)



فلوچارت ۲. تحلیل کمی حوزه مکان (نرم‌افزار نوروگاید)

۲- پیشینه تحقیق

تحقیقات اخیر بر استفاده از QEEG به منظور تمایز بین اختلالات و پاسخ به درمان تأکید دارند. محققین طی مطالعه‌ای با استفاده از NeuroGuide نشان دادند که بیماران ADHD با علائم شدیدتر اختلال، دارای نمره‌ی Z یا Z-score (برای اندازه‌گیری موقعیت نسبی یک مقدار در مقایسه با میانگین توزیع) بالاتری در نسبت تتا/بتا در نواحی جلویی مغز بودند. این یافته قویاً براساس مدل‌های نورماتیو NeuroGuide به‌دست آمده است [۱۰]. در مقایسه QEEG در بیماران TLE، افزایش قدرت در باند تتا و آلفا در نواحی تمپورال و در بیماران FLE^۲ الگوی پراکنده‌تر با تغییرات در بتا؛ در مقایسه با گروه کنترل برای هر گروه مورد مطالعه مشاهده شده است و همبستگی بین همدیسی در TLE به‌طور معناداری

1. temporal lobe epilepsy
2. frontal lobe epilepsy

کاهش یافته بود [۱۱]. در پژوهشی دیگر بر روی پاسخ به درمان دارویی در ADHD نشان داده شده است که بهبود رفتاری با نرمال شدن تدریجی نسبت تنا/بتا در قشر پیش‌پیشانی همبستگی داشته است، که این امر دقت NeuroGuide را در ارزیابی اثرات مداخله تأیید می‌کند [۱۲]. نتایج مطالعه‌ای که از QEEG برای شناسایی بیماران صرع مقاوم به درمان استفاده کرده بود، نشان داده است که الگوهای پیچیده همبستگی غیرخطی^۱ در NeuroGuide، شاخص بهتری نسبت به تحلیل قدرت ساده بوده است [۱۳]. مقایسه‌ای بین QEEG مبتنی بر NeuroGuide و PET^۲ اسکن در ارزیابی میزان متابولیسم در بیماران ADHD مزم، نشان داد که داده‌های QEEG می‌توانند به‌عنوان یک بیومارکر جایگزین و کم‌هزینه‌تر عمل کنند، اگرچه رزولوشن مکانی پایین‌تری دارند [۱۴].

۳- نتایج خروجی در نرم‌افزار

۳-۱- انتخاب فایل EEG

به‌منظور بررسی تحلیل کمی نرم‌افزار دو نمونه در نظر گرفته شده است.

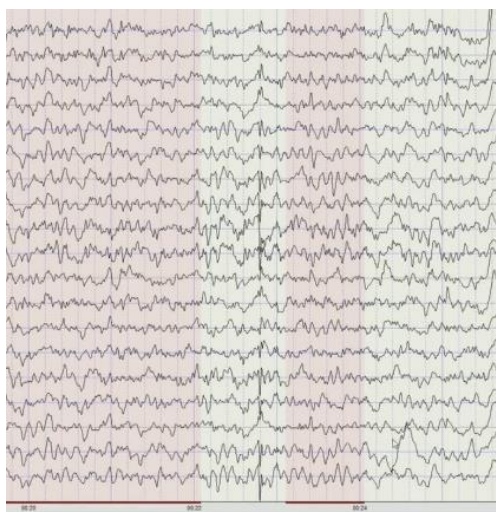
- نمونه اول: کودک ۶ ساله در شرایط چشم باز و تنظیم شدت سیگنال ۷۰ میکروولت
- نمونه دوم: جوان ۲۴ ساله در شرایط چشم باز و تنظیم شدت سیگنال ۱۲۰ میکروولت

۳-۲- پیش‌پردازش: حذف آرتیفکت‌ها

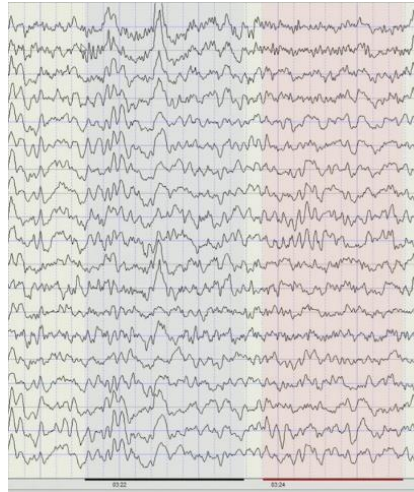
در نرم‌افزار سه روش حذف آرتیفکت‌ها قابل دسترسی است.

- روش دستی-چشمی
- روش نیمه اتوماتیک
- روش اتوماتیک

که در این مقاله برای نمونه اول از روش دستی-چشمی مبتنی بر تجزیه شکل ۱ و روش نیمه اتوماتیک برای نمونه دوم شکل ۲، جهت حذف آرتیفکت‌ها استفاده شد. با توجه به شکل‌ها نواحی قرمز رنگ مورد تأیید می‌باشند.

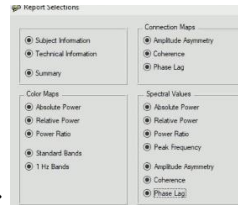


شکل ۱. حذف آرتیفکت نمونه اول



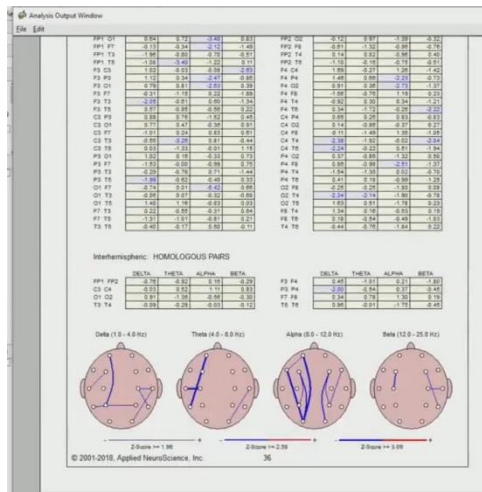
شکل ۲. حذف آرتیفکت نمونه دوم

۳-۳- تنظیمات نرم‌افزار جهت خروجی



Report → Report selection → → Generate Analysis → Output Window

در شکل ۳ پنجره خروجی آنالیز نمونه اول نشان داده شده است. لازم به ذکر است فرکانس تنظیمات ۲۵۰ هرتز معادل همان فرکانس آمپلی فایر در نظر گرفته شده است.



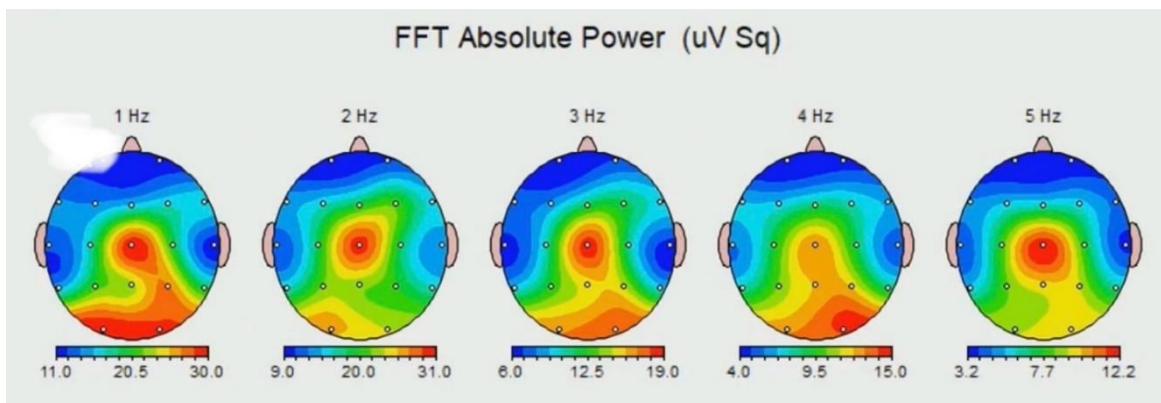
شکل ۳. پردازش تحلیل کمی نمونه اول

۳-۴- گزارش خروجی

با توجه به گستردگی گزارش نرم‌افزار، بخشی از خروجی‌های مهم در این مقاله بیان شده است.

نتایج خروجی برای نمونه اول: توان مطلق و نسبت توان

در شکل ۴ و جداول ۱ و ۲ به ترتیب فوریه توان مطلق و نسبت توان‌ها (FFT Absolute Power – FFT Ratio Power) نشان داده شده است.



شکل ۴. نقشه مغزی تبدیل فوریه توان مطلق نمونه اول

جدول ۱. تبدیل فوریه توان مطلق نمونه اول

FFT Absolute Power (uV Sq)

Intrahemispheric: LEFT

Electrode Position	Delta	Theta	Alpha	Beta	High Beta	Beta 1	Beta 2	Beta 3
FP1 - LE	27.36	14.55	9.12	13.16	2.64	3.58	2.82	6.76
F3 - LE	39.07	24.99	17.38	13.24	1.76	5.02	3.23	4.98
C3 - LE	47.9	31.36	24.39	8.94	0.8	4.14	2.24	2.57
P3 - LE	56.47	33.61	23.26	8.87	0.9	4.23	2.16	2.48
O1 - LE	72.41	38.77	31.2	16.74	1.91	7.83	4.24	4.66
F7 - LE	35.94	20.19	12.1	9.62	1.3	3.74	2.42	3.47
T3 - LE	31.09	16.47	10.05	8.45	1.51	3.03	1.85	3.57
T5 - LE	42.49	22.98	15.42	10.22	1.4	4.07	2.41	3.73

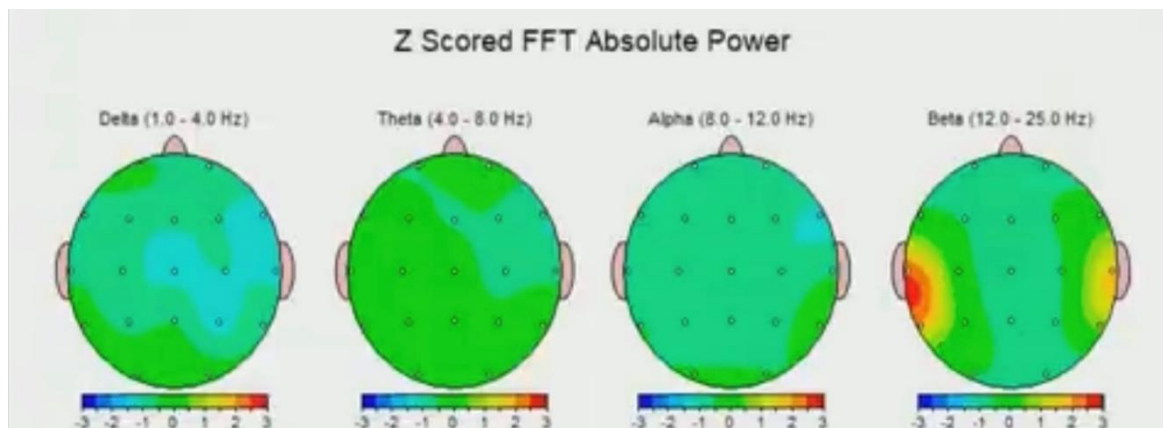
جدول ۲. تبدیل فوریه نسبت توان‌ها نمونه اول

FFT Power Ratio

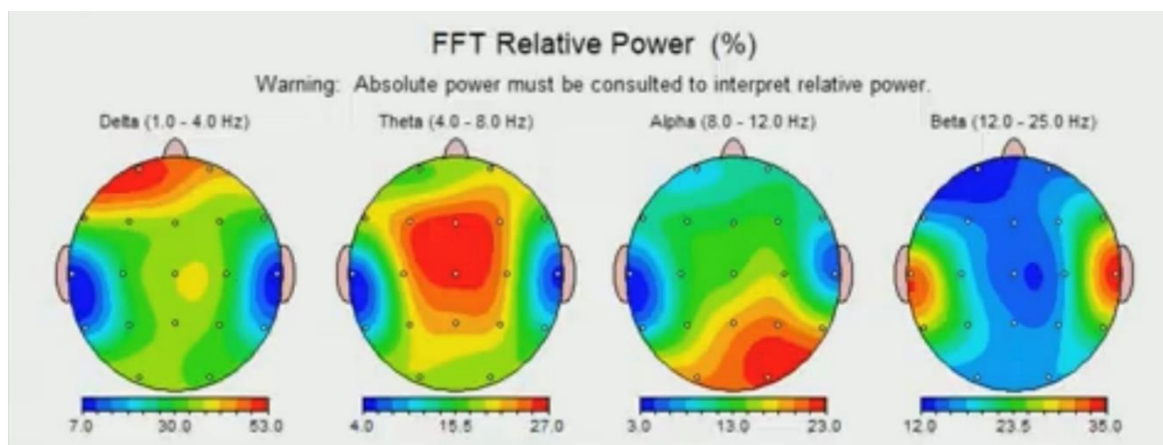
Intrahemispheric: LEFT

	D/T	D/A	D/B	D/G	T/A	T/B	T/G	A/B	A/G	B/G
FP1-LE	1.88	3	2.08	10.37	1.6	1.11	5.51	0.69	3.46	4.99
F3-LE	1.56	2.25	2.95	22.26	1.44	1.89	14.24	1.31	9.9	7.54
C3-LE	1.53	1.96	5.36	59.78	1.29	3.51	39.14	2.73	30.44	11.16
P3-LE	1.68	2.43	6.37	62.65	1.44	3.79	37.29	2.62	25.81	9.84
O1-LE	1.87	2.32	4.33	37.9	1.24	2.32	20.29	1.86	16.33	8.76
F7-LE	1.78	2.97	3.74	27.68	1.67	2.1	15.55	1.26	9.32	7.41
T3-LE	1.89	3.09	3.68	20.65	1.64	1.95	10.94	1.19	6.68	5.61
T5-LE	1.85	2.75	4.16	30.42	1.49	2.25	16.46	1.51	11.04	7.32

– نتایج خروجی برای نمونه دوم: Z-Scored توان مطلق و توان نسبی در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب نقشه مغزی Z-Scored تبدیل فوریه توان مطلق و تبدیل فوریه نسبی نشان داده شده است.



شکل ۵. نقشه مغزی Z-Scored تبدیل فوریه توان مطلق نمونه دوم



شکل ۶. نقشه مغزی تبدیل فوریه توان نسبی نمونه دوم

۴- بحث و مقایسه تحلیلی

۴-۱- اهمیت و دقت NeuroGuide

NeuroGuide با فراهم کردن مقایسه عینی با جمعیت نرمال، ابزاری قدرتمند برای عینی‌سازی تشخیص‌های روان‌پزشکی فراهم می‌کند. در حالی که ADHD و صرع هر دو با ناهنجاری‌های EEG همراهند، NeuroGuide قادر است الگوهای متمایزی را در حوزه‌های فرکانسی (مانند TBR در ADHD) و فضایی (مانند کانون‌های تشنج در صرع) شناسایی کند. دقت این روش به شدت وابسته به کیفیت جمع‌آوری داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده است [۸].

۴-۲- مقایسه نوروگاید با هوش مصنوعی

رویکردهای نوین هوش مصنوعی، به‌ویژه یادگیری عمیق^۱ مانند شبکه‌های عصبی پیچشی (CNN) و شبکه‌های بازگشتی (RNN)، در تحلیل داده‌های EEG پیشرفت چشمگیری داشته‌اند [۱۵]. نسبت امواج تتا (θ) به بتا (β) در نرم‌افزار NeuroGuide یکی از شاخص‌های مهم در تحلیل نقشه مغزی (QEEG) به‌ویژه به منظور بررسی اختلال

1. deep learning

نقص توجه/بیش‌فعالی^۱ و صرع^۲ است. نسبت تتا به بتا در چند ناحیه مغزی، خصوصاً در لوب پیشانی (Fp₂، Fz، Cz^۳)، اندازه‌گیری می‌شود و شاخصی از نسبت بین فعالیت آرام (تتا) و فعالیت شناختی (بتا) است. در افراد نرمال نسبت تتا/بتا معمولاً بین ۲ تا ۳ است (یعنی انرژی تتا حدود دو تا سه برابر بتا). در افراد بیش‌فعال یا دارای ADHD؛ نسبت تتا/بتا به‌طور غیرطبیعی بالا است - گاهی به بالای ۴ یا ۵ می‌رسد، زیرا امواج بتا (تمرکز) کم‌ترند، امواج تتا (خیال‌پردازی یا بی‌توجهی) بیشترند. این افزایش نشانه کاهش توجه پایدار^۵ و کنترل اجرایی ضعیف است. در واقع نرم‌افزار NeuroGuide در نواحی پیشانی چنین الگویی را با Z-Score بالا (مثلاً ۲+ یا ۳+) در نسبت تتا/بتا نشان می‌دهد که معمولاً با بیش‌فعالی، بی‌قراری ذهنی و ضعف تمرکز ارتباط دارد. در مورد صرع نسبت تتا به بتا نیز ممکن است تغییر کند ولی افزایش تتا می‌تواند منعکس‌کننده اختلال در فعالیت نوروئی یا خاموشی نسبی قشر مغز اطراف صرع موضعی باشد. در فاز بین حملات، ممکن است تتا زیاد باشد ولی بتا نیز افزایش یابد (به‌ویژه در درمان دارویی یا تحریک‌پذیری بیش از حد). در نتیجه نسبت تتا/بتا در صرع به‌تنهایی تشخیص‌دهنده نیست، بلکه باید همراه با امواج اسپایک یا شارپ‌ویو^۶، سینکرونیزه شدن نواحی پری‌سنسوری و تمپورال و Z-Score غیرنرمال در توان مطلق یا نسبی تفسیر شود. مفهوم Z-Score در NeuroGuide یعنی انحراف از میانگین نرمال جامعه هم‌سن:

$$Z = (X - \text{Mean}) / SD \quad 13$$

اگر $Z < +2$ باشد محدودده طبیعی است. اگر $-1.5 < Z < +1.5$ باشد محدودده طبیعی است.

فعالیت بیشتر از حد نرمال^۷. اگر $Z < -2$ فعالیت کمتر از حد نرمال^۸ بنابراین در ADHD: معمولاً $Z > +2$ برای نسبت تتا/بتا (یعنی فعالیت تتا خیلی بالاتر از حد طبیعی). در صرع: ممکن است Z-score بالا یا پایین بسته به تشنج موضعی متفاوت باشد، ولی تداخل با سایر باندها و شواهد اسپایک تعیین‌کننده است. در نرم‌افزار NeuroGuide، نسبت تتا به بتا^۹ شاخصی از تعادل بین تمرکز و خواب‌آلودگی ذهنی است. افزایش این نسبت (به‌ویژه همراه Z-Score بالاتر از ۲+) نشانه‌ی بی‌توجهی یا بیش‌فعالی (ADHD) تغییرات موضعی یا نوسانی همراه با الگوهای اسپایک ممکن است با صرع یا آسیب نوروئی موضعی مرتبط باشد [۱۶]. برتری‌های هوش مصنوعی شامل: شناسایی الگوهای غیرخطی می‌باشد، در واقع هوش مصنوعی می‌تواند الگوهای بسیار پیچیده و غیرخطی در داده‌های خام EEG را که ممکن است توسط روش‌های سنتی (مانند تحلیل طیف توان) نادیده گرفته شوند، استخراج کند. به‌علاوه دقت طبقه‌بندی بالا نیز در وظایف طبقه‌بندی (مانند تشخیص بین صرع و غیرصرع)، الگوریتم‌های یادگیری عمیق اغلب دقت بالاتری را گزارش می‌کنند [۱۷]. مزیت‌های NeuroGuide در تحلیل کمی امواج مغزی شامل تفسیرپذیری فیزیولوژیک NeuroGuide که چارچوب تفسیر مبتنی بر فیزیولوژی مغز (مانند آلفا، تتا، بتا) را فراهم می‌کند. نتایج آن مستقیماً با مدل‌های شناخته شده عملکرد مغز مانند Hypoarousal در ADHD مرتبط هستند.

استانداردسازی: استفاده از پایگاه‌های نرم‌اتیو، یک استانداردسازی بالینی قابل فهم فراهم می‌کند. درحالی‌که هوش مصنوعی ممکن است در طبقه‌بندی و پیش‌بینی برتری داشته باشد، NeuroGuide اطلاعاتی را ارائه می‌دهد که برای تصمیم‌گیری بالینی مستقیم و برنامه‌ریزی درمان‌های تعدیل‌کننده فعالیت مغزی (مانند نوروفیدبک) ضروری است. ترکیب این دو رویکرد استفاده از AI برای استخراج ویژگی‌های پیچیده و استفاده از نوروگاید به‌منظور تفسیر فیزیولوژیک در آینده تحقیقات مرتبط با این حوزه مفید می‌باشد [۱۸]. مقایسه QEEG با fMRI یا SPECT نشان

1. ADHD
2. epilepsy
3. central
4. frontopolar
5. sustained attention
6. spike or sharp waves
7. hyperactivity / over-arousal
8. under-arousal / inhibition
9. θ/β ratio

می‌دهد که QEEG رزولوشن زمانی بسیار بالاتری دارد (میلی ثانیه در مقابل ثانیه)، اما رزولوشن مکانی بسیار پایین تری دارد. از منظر هزینه و دسترسی، QEEG به‌طور قابل توجهی مقرون‌به‌صرفه‌تر و در دسترس‌تر است [۱۴].

۵- نتیجه‌گیری نهایی

تحلیل کمی سیگنال‌های مغزی با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند NeuroGuide، ابزاری معتبر به‌منظور ارزیابی اختلالات الکتروفیزیولوژیک مغز مانند ADHD و صرع است. این روش قادر است الگوهای مشخصی از ناهنجاری‌های فرکانسی و فضایی را در این دو اختلال شناسایی کند که برای تشخیص افتراقی و مدیریت بالینی مفید هستند. ADHD عمدتاً با افزایش نسبت تتا/بتا در نواحی پیشانی و کاهش همبستگی‌های فرکانس بالا مشخص می‌شود. صرع با ناهنجاری‌های موضعی قدرت و کاهش همبستگی‌ها در نواحی کانون تشنج نشان داده می‌شود. نوروگاید به‌عنوان پلی بین داده‌های خام EEG و تفسیر بالینی عمل می‌کند. نتایج حاصل از سیگنال سطح مجمله دامنه ۰ تا ۱۰۰ میکروولت و فرکانس ۰/۵ تا ۱۰۰ هرتز و سیگنال ساقه مغز دامنه ۰/۲۵ میکروولت و فرکانس ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ هرتز بررسی گردید، که اگر سیگنال از این محدوده خارج شود، بیانگر نویز می‌باشد. در بررسی نتایج در حالت خواب کد گذاری حافظه، استراحت، فعالیت فکری محدود و چالش فکر دسته‌بندی محدوده باندها باند دلتا ۰/۵ تا ۳، باند تتا ۴ تا ۷، باند آلفا ۸ تا ۱۳، باند بتا ۱۴ تا ۳۰ و باند گاما ۳۱ تا ۶۰ هرتز بیانگر افزایش فرکانس و کاهش دامنه می‌باشد. اگرچه روش‌های نوین هوش مصنوعی پتانسیل استخراج ویژگی‌های پیچیده‌تر را دارند اما NeuroGuide چارچوب تفسیر فیزیولوژیک و نورماتیو قوی‌تری ارائه می‌دهد. تحقیقات آتی باید بر ادغام قابلیت‌های تشخیصی هوش مصنوعی با چارچوب تفسیری NeuroGuide متمرکز شوند تا دقت و قابلیت تفسیر نتایج QEEG به حداکثر برسد.

منابع

1. Thatcher RW. Quantitative EEG: Principles and clinical applications. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. 1999;110(1):12-23.
2. Loo SK, Barkley RA. Clinical utility of EEG in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. 2000;41(7):799-811.
3. Braz MO. Role of the thalamus in the pathophysiology of epilepsy. *Epilepsy Research*. 2021;170:106576.
4. Hughes JR. EEG and human psychopathology. *Psychiatric Clinics of North America*. 1995;18(4):797-814.
5. Mak PP. Neurophysiology of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Current Opinion in Psychiatry*. 2019;32(5):437-443.
6. Arns M. A quantitative EEG analysis of ADHD: A meta-analysis. *Journal of Attention Disorders*. 2020;24(11):1559-1570.
7. Uhlhaas PJ. Cortical excitability in epilepsy: A review of electrophysiological and imaging findings. *Epilepsia*. 2018;59(3):533-545.
8. Gevins AS. NeuroGuide: A quantitative EEG analysis system. *Brain Topography*. 1998;11(1):1-15.
9. Wang L. Brain functional connectivity in children with ADHD: A systematic review of EEG studies. *Journal of Affective Disorders*. 2022;301:254-262.
10. Smith DJ. Quantitative EEG biomarkers for ADHD subtypes: A NeuroGuide analysis. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*. 2019;11:15.
11. Johnson MC. Distinguishing Temporal lobe epilepsy from frontal lobe epilepsy using NeuroGuide coherence analysis. *Clinical Neurophysiology*. 2020;131(4):980-987.
12. Chen Y. QEEG predictors for methylphenidate response in children with ADHD: A longitudinal study. *Frontiers in Psychiatry*. 2021;12:654321.
13. Lee SH. Advanced QEEG analysis for identifying drug-resistant epilepsy: Nonlinear coherence versus power spectral analysis. *Epilepsia Open*. 2023;8(2):301-312.
14. Miller TR. Comparing QEEG-derived NeuroGuide metrics with FDG-PET findings in chronic ADHD. *Psychiatry Research: Neuroimaging*. 2024;346:111457.

15. Lotte F. A review of EEG analysis techniques for brain-computer interfaces: From signal acquisition to feature extraction. *Clinical Neurophysiology*. 2007;118(3):466-487.
16. Champlimol A. EEG-biomarker theta/beta ratio and attentional quotients in adults who stutter [Internet]. 2022 [cited 2022 Dec 21]. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9847594/>
17. Li Y. Deep learning for EEG signal analysis: A survey. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2021;65:102341.
18. Alipour M. Integrating QEEG and deep learning for enhanced neurophysiological assessment. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2022;26(8):4120-4129.

