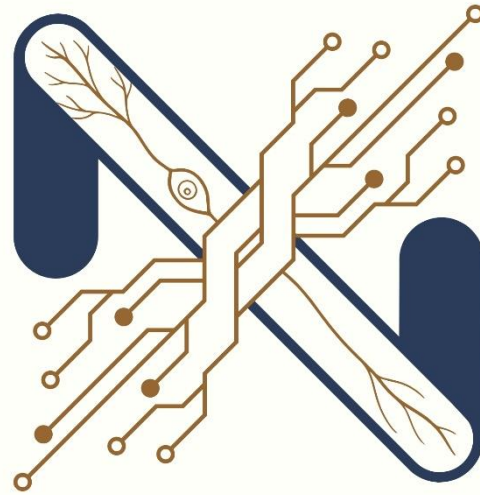




NeurAITex

NeurAI Tech Medical Innovation
Research Group

راهنمای جامع و تفصیلی تدوین

پروپوزال تحقیقاتی



این راهنما به منظور ارائه یک چارچوب کامل و با جزئیات برای نگارش پروپوزال‌های تحقیقاتی در زمینه به‌کارگیری هوش مصنوعی (AI) طراحی شده است. به منظور ارائه بهتر مطالب از عنوان کلی استفاده از هوش مصنوعی جهت تشخیص و طبقه‌بندی انواع تومورها (مانند افتراق خوش خیم/بدخیم، تعیین گرید، یا شناسایی زیرگروه‌های مولکولی) با استفاده از داده‌های پزشکی (مانند تصاویر رادیولوژی، پاتولوژی دیجیتال، یا داده‌های بالینی) استفاده کرده ایم.

۱. عنوان طرح (Project Title):

- **هدف:** شناسایی فوری و دقیق محتوای اصلی پژوهش.
- **محتوا:** باید شامل:
 - **مشکل اصلی:** نوع تومور یا وظیفه طبقه‌بندی (مثلاً "طبقه‌بندی گرید گلیوما"، "افتراق توده‌های خوش خیم و بدخیم پستان"، "پیش‌بینی وضعیت IDH در گلیوما").
 - **روش اصلی:** اشاره به هوش مصنوعی یا یادگیری عمیق (مثلاً "مبتنی بر یادگیری عمیق"، "با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنی").
 - **داده اصلی:** نوع داده مورد استفاده (مثلاً "تصاویر MRI چند پارامتری"، "تصاویر ماموگرافی دیجیتال"، "اسلایدهای کامل پاتولوژی دیجیتال (WSI)").
 - **هدف کلی:** اشاره به هدف (مثلاً "توسعه و اعتبارسنجی"، "یک رویکرد جدید برای...").
- **ویژگی‌ها:** دقیق، مختصر، گویا، حاوی کلمات کلیدی اصلی، جذاب برای مخاطب (داوران، تأمین‌کنندگان بودجه).
- **مثال‌های تفصیلی:**
 - "توسعه و اعتبارسنجی یک مدل یادگیری عمیق سه‌بعدی مبتنی بر MRI چند پارامتری برای طبقه‌بندی غیرتهاجمی گرید تومورهای گلیوما بر اساس معیار WHO 2021"
 - "یک رویکرد هوش مصنوعی مبتنی بر شبکه‌های عصبی کانولوشنی برای افتراق توده‌های خوش خیم و بدخیم پستان در تصاویر ماموگرافی دیجیتال: یک مطالعه اعتبارسنجی"
 - "پیش‌بینی وضعیت جهش IDH در گلیومای Low-Grade با استفاده از یادگیری عمیق و ویژگی‌های رادیومیکس استخراج‌شده از تصاویر FLAIR و T2-weighted MRI"

- “طبقه‌بندی زیرگروه‌های هیستولوژیک کارسینوم ریه با استفاده از تحلیل تصاویر پاتولوژی دیجیتال (WSI) و یادگیری عمیق”

۲. چکیده/خلاصه طرح (Abstract/Summary):

- **هدف:** ارائه یک نمای کلی و مستقل از کل پروپوزال در حدود ۲۵۰-۳۵۰ کلمه.
- **محتوا:** باید شامل: * **زمینه (Background):** اهمیت بالینی تشخیص دقیق و به‌موقع نوع/گرید تومور (مثلاً تأثیر بر درمان و پیش‌آگهی) و محدودیت‌های روش‌های فعلی (مثلاً تهاجمی بودن بیوپسی، تغییرپذیری تفسیر). بیان کوتاه چالش.
 - **هدف اصلی (Objective):** هدف اصلی و قابل اندازه‌گیری طرح (مثلاً “هدف این مطالعه، توسعه و اعتبارسنجی یک مدل یادگیری عمیق (DL) برای طبقه‌بندی غیرتهاجمی گرید گلیوما (II/III در مقابل IV) با استفاده از سکانس‌های استاندارد MRI پیش از جراحی است”).
 - **روش‌شناسی (Methods):** خلاصه کلیدی از روش‌ها: نوع مطالعه (گذشته‌نگر)، منبع داده (بیمارستان X، سال Y تا Z)، جمعیت (بیماران با گلیومای تازه تشخیص داده شده و تأیید پاتولوژی)، داده‌های ورودی (سکانس‌های T1c, T2, FLAIR MRI)، معماری مدل (D CNN)، نحوه تقسیم داده (آموزش/اعتبارسنجی/آزمون)، استاندارد مرجع (پاتولوژی WHO 2021)، معیارهای ارزیابی اصلی (AUC، دقت، حساسیت، ویژگی).
 - **نتایج مورد انتظار (Expected Results):** پیش‌بینی دستاورد اصلی (مثلاً “انتظار می‌رود مدل توسعه‌یافته به دقت تشخیصی بالایی [مثلاً $AUC > 0.85$] در مجموعه آزمون مستقل دست یابد و عملکردی قابل مقایسه یا بهتر از ارزیابی رادیولوژیست‌های باتجربه داشته باشد”).
 - **نتیجه‌گیری و اهمیت (Significance & Conclusion):** تأثیر بالقوه نتایج (مثلاً “این ابزار پتانسیل کمک به تصمیم‌گیری بالینی برای جراحی، کاهش نیاز به بیوپسی‌های پرخطر در برخی موارد و حرکت به سمت پزشکی دقیق در نوروانکولوژی را دارد”).
- **نکته:** با اینکه در ابتدا قرار می‌گیرد، معمولاً پس از تکمیل سایر بخش‌ها نوشته می‌شود تا تمام جنبه‌های کلیدی را منعکس کند.

۳. مقدمه و بیان مسئله (Introduction and Problem Statement):

- **هدف:** ایجاد زمینه، برجسته کردن اهمیت مشکل، توجیه نیاز به تحقیق و معرفی راه حل پیشنهادی (AI).
- **محتوا:**
 - **توصیف بیماری و اهمیت بالینی:** شرح دقیق تومور مورد مطالعه (مثلاً گلیوما: شایع ترین تومور اولیه مغزی، طیف وسیعی از بدخیمی، اهمیت حیاتی گریذبندی WHO برای پیش آگهی و انتخاب درمان – رادیوتراپی، شیمی درمانی). ارائه آمار کلیدی (شیوع، بروز، میزان بقا بر اساس گریذ).
 - **چالش تشخیصی خاص:** توضیح دقیق مشکلات موجود در تشخیص دقیق و به موقع نوع/گریذ تومور با روش های فعلی.
 - **مثال گلیوما:** محدودیت MRI استاندارد در افتراق قطعی گریذهای پایین از بالا قبل از جراحی، به ویژه در موارد مرزی. تهاجمی بودن بیوپسی استریوتاکتیک و خطرات آن (خونریزی، عفونت، خطای نمونه برداری به دلیل ناهمگونی تومور). تغییرپذیری قابل توجه بین رادیولوژیست ها در تفسیر ویژگی های کیفی MRI (میزان enhancement، وضوح مرزها، نکروز).
 - **مثال توده پستان:** همپوشانی ظاهر توده های خوش خیم و بدخیم در ماموگرافی، منجر به نرخ بالای بیوپسی های غیر ضروری (با پیامدهای هزینه، اضطراب بیمار، عوارض نادر). نیاز به ابزارهای دقیق تر برای کاهش موارد مثبت کاذب.
 - **روش های موجود و محدودیت های تفصیلی:** شرح روش استاندارد طلایی (معمولاً بیوپسی و تحلیل هیستوپاتولوژی) و روش های غیرتهاجمی فعلی (تصویربرداری). بیان واضح محدودیت هر کدام:
 - **پاتولوژی:** استاندارد طلایی اما تهاجمی، تأخیر در جواب دهی، خطای نمونه برداری، تغییرپذیری بین پاتولوژیست ها در موارد دشوار.
 - **تصویربرداری متعارف:** غیرتهاجمی اما دقت محدود، وابستگی به تجربه مفسر، عدم توانایی در ارزیابی کامل ناهمگونی تومور یا ویژگی های مولکولی.
 - **معرفی پتانسیل هوش مصنوعی:** توضیح اینکه چگونه AI، به ویژه یادگیری عمیق (DL) با توانایی تحلیل الگوهای پیچیده در داده های بزرگ، می تواند به این چالش ها پاسخ دهد.

▪ مثال: DL می‌تواند الگوهای بافتی (texture)، شکلی (shape) و فضایی (spatial) نامشهود در تصاویر MRI یا پاتولوژی را که با چشم انسان قابل تشخیص نیستند، یاد بگیرد و آن‌ها را به گرید تومور یا نوع آن مرتبط کند. این امر می‌تواند به تشخیص غیرتهاجمی، دقیق‌تر و تکرارپذیرتر کمک کند. * **ضرورت اجرای طرح و شکاف دانشی:** خلاصه کردن اینکه چرا این تحقیق لازم است. "با وجود پیشرفت‌ها، نیاز مبرمی به ابزارهای غیرتهاجمی دقیق‌تر برای [وظیفه خاص، مثلاً گریدبندی گلیوما] وجود دارد. مطالعات قبلی AI محدودیت‌هایی مانند حجم نمونه کوچک، استفاده از مدل‌های دوبعدی ساده، یا عدم اعتبارسنجی کافی داشته‌اند. این طرح با هدف [هدف اصلی شما] به این شکاف دانشی پاسخ می‌دهد."

○ **هم‌راستایی با اولویت‌ها:** (در صورت امکان) "این پژوهش در راستای اولویت‌های ملی/بین‌المللی در زمینه [مثلاً "بهبود تشخیص سرطان"، "توسعه کاربردهای هوش مصنوعی در سلامت"، "پزشکی دقیق"] قرار دارد."

۴. مرور ادبیات و سوابق پژوهشی (Literature Review):

• **هدف:** نشان دادن دانش عمیق پژوهشگر از کارهای قبلی، شناسایی نقاط قوت و ضعف آن‌ها و مشخص کردن جایگاه نوآورانه طرح پیشنهادی.

• **محتوا:**

○ **ساختار منطقی:** سازماندهی مرور بر اساس موضوعات کلیدی (مثلاً: ۱. ویژگی‌های تصویربرداری متعارف مرتبط با نوع/گرید تومور X، ۲. مطالعات رادیومیکس قبلی برای تومور X، ۳. مطالعات یادگیری ماشین/یادگیری عمیق قبلی برای تومور X با استفاده از داده مشابه، ۴. مطالعات مرتبط با تفسیرپذیری مدل‌های AI در این حوزه).

○ **مرور جامع و انتقادی:** فقط خلاصه کردن مقالات کافی نیست. باید نقاط قوت، ضعف، محدودیت‌ها (حجم نمونه، نوع داده، روش‌شناسی AI، نحوه اعتبارسنجی) و نتایج کلیدی هر مطالعه مرتبط به طور انتقادی بررسی شود.

▪ مثال: "مطالعه [نام نویسنده، سال] از یک مدل SVM با ویژگی‌های رادیومیکس دستی برای طبقه‌بندی گلیوما استفاده کرد و به AUC 0.80 رسید، اما فقط شامل ۵۰ بیمار از یک مرکز بود و

از اعتبارسنجی خارجی استفاده نکرد." یا "گروه [نام نویسنده، سال] یک CNN دوبعدی روی

اسلایس‌های منفرد MRI اعمال کردند که اطلاعات سه‌بعدی تومور را نادیده می‌گیرد."

○ شناسایی دقیق شکاف دانشی: پس از مرور مطالعات، به وضوح بیان کنید که چه چیزی هنوز انجام نشده یا نیاز به بهبود دارد.

▪ مثال: "بنابراین، شکاف قابل توجهی در استفاده از مدل‌های DL سه‌بعدی که تمام اطلاعات فضایی

تومور را از MRI چند پارامتری ادغام می‌کنند و روی مجموعه داده‌های بزرگتر و چندمرکزی

اعتبارسنجی شده‌اند، وجود دارد. همچنین، تفسیرپذیری این مدل‌های پیچیده برای کاربرد بالینی نیاز

به بررسی بیشتری دارد."

○ جایگاه طرح پیشنهادی: توضیح دهید که چگونه طرح شما قصد دارد این شکاف‌ها را پر کند. "این مطالعه با

هدف توسعه و اعتبارسنجی یک CNN سه‌بعدی پیشرفته با استفاده از [داده‌های مشخص] و ارزیابی آن روی

یک مجموعه داده [توصیف مجموعه داده] و همچنین به کارگیری روش‌های XAI برای درک تصمیمات مدل،

به این محدودیت‌ها پاسخ خواهد داد."

○ استناد دقیق: استفاده از یک سیستم مدیریت مراجع (EndNote, Zotero) و فرمت استناد یکسان

(Vancouver, APA).

۵. اهداف، سوالات و فرضیه‌های پژوهش (Aims, Objectives, Research Questions, Hypotheses):

• هدف: تعریف دقیق، شفاف و قابل اندازه‌گیری آنچه پژوهش به دنبال دستیابی به آن است.

• محتوا:

○ هدف کلی (Overall Aim): یک جمله کلی که چشم‌انداز نهایی پژوهش را بیان می‌کند.

▪ مثال: "هدف کلی این پژوهش، توسعه و اعتبارسنجی یک ابزار تشخیصی مبتنی بر هوش مصنوعی

برای طبقه‌بندی دقیق و غیرتهاجمی [نوع/گرید تومور X] با استفاده از [نوع داده] به منظور بهبود

تصمیم‌گیری بالینی است."

○ اهداف اختصاصی/ویژه (Specific Objectives): مراحل اصلی و قابل سنجش برای رسیدن به هدف کلی.

باید SMART باشند (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound).

▪ مثال (برای طبقه‌بندی گرید گلیوما با MRI):

۱. ایجاد یک پایگاه داده جامع و بی‌نام‌شده شامل تصاویر MRI پیش از جراحی (T1, T1c, T2, FLAIR) و نتایج پاتولوژی تأیید شده (گرید WHO 2021) برای حداقل N بیمار

میتلا به گلیوما از مراکز X و Y. (Measurable: N و Y. بیماران, Achievable, Relevant, Time-bound: در ۶ ماه اول)

۲. توسعه و پیاده‌سازی یک خط لوله (pipeline) پیش‌پردازش استاندارد برای تصاویر MRI شامل skull stripping, co-registration, نرمال‌سازی شدت و سگمنتاسیون

(نیمه)خودکار تومور. (Specific, Achievable, Relevant, Time-bound: در ۳ ماه)

۳. طراحی، پیاده‌سازی و آموزش یک مدل شبکه عصبی کانولوشنی سه‌بعدی (D CNN) با استفاده از داده‌های MRI چند پارامتری برای طبقه‌بندی گرید گلیوما (مثلاً Low-Grade [II/III] vs. High-Grade [IV]). (Specific, Achievable, Relevant, Time-bound: در ۶ ماه)

۴. ارزیابی عملکرد مدل طبقه‌بندی توسعه‌یافته بر روی یک مجموعه آزمون مستقل (که در فرآیند آموزش دیده نشده) با استفاده از معیارهای استاندارد شامل AUC-ROC, دقت, حساسیت, ویژگی و امتیاز F1. (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound: در ۲ ماه)

۵. مقایسه عملکرد مدل AI با عملکرد مثلاً دو رادیولوژیست باتجربه کور شده نسبت به نتایج پاتولوژی روی همان مجموعه آزمون. (Specific, Measurable, Achievable, Relevant, Time-bound: در ۲ ماه)

۶. به‌کارگیری تکنیک‌های هوش مصنوعی قابل توضیح (XAI) مانند Grad-CAM برای تولید نقشه‌های حرارتی (heatmaps) که نواحی تصویری مؤثر در تصمیم‌گیری مدل را برجسته می‌کنند. (Specific, Achievable, Relevant, Time-bound: در ۱ ماه)

○ **سوالات پژوهش (Research Questions):** تبدیل اهداف به سوالات مستقیم که پژوهش به آن‌ها پاسخ خواهد داد.

▪ مثال:

▪ آیا یک مدل $D CNN^3$ می‌تواند با دقت بالینی قابل قبول (مثلاً $AUC > 0.85$) گرید

گلیوما را بر اساس MRI پیش از جراحی طبقه‌بندی کند؟

▪ عملکرد مدل AI در مقایسه با ارزیابی رادیولوژیست‌ها چگونه است؟

▪ کدام سکانس‌های MRI و کدام نواحی فضایی تومور بیشترین اطلاعات را برای طبقه‌بندی

گرید توسط مدل فراهم می‌کنند؟

○ **فرضیه‌ها (Hypotheses):** (بیشتر در مطالعات مقایسه‌ای یا تحلیلی) گزاره‌های قابل آزمون.

▪ مثال:

▪ H1: مدل $D CNN^3$ توسعه‌یافته، AUC بالاتری در طبقه‌بندی گرید گلیوما نسبت به

مدل مبتنی بر ویژگی‌های رادیومیکس دوبعدی سنتی کسب خواهد کرد ($p > 0.05$).

▪ H2: عملکرد مدل $D CNN^3$ در طبقه‌بندی گرید گلیوما به طور معناداری بهتر از عملکرد

میانگین رادیولوژیست‌ها خواهد بود ($p > 0.05$).

۶. روش‌شناسی (Methodology):

• **هدف:** ارائه جزئیات دقیق و کافی برای اینکه پژوهشگر دیگری بتواند مطالعه را تکرار کند (اصل تکرارپذیری). این بخش

باید بسیار دقیق و کامل باشد.

• **محتوا:**

○ **نوع مطالعه (Study Design):** مطالعه گذشته‌نگر (Retrospective) از نوع اعتبارسنجی ابزار تشخیصی

(Diagnostic Accuracy Study).

○ **محیط و دوره زمانی مطالعه (Setting and Time Period):** نام دقیق بیمارستان(ها) یا مراکز

مشارکت‌کننده. بازه زمانی جمع‌آوری داده‌ها (مثلاً بیماران پذیرش شده بین ژانویه ۲۰۱۵ تا دسامبر ۲۰۲۳).

○ جمعیت هدف و نمونه‌گیری (Study Population and Sampling): تعریف دقیق: “تمام بیماران بزرگسال (ک ۱۸ سال) با تشخیص اولیه گلیومای سوپراتنتوریال که تحت جراحی و تأیید هیستوپاتولوژی بر اساس طبقه‌بندی WHO 2021 در [نام مراکز] طی دوره زمانی مذکور قرار گرفته‌اند و دارای MRI مغزی پیش از جراحی با کیفیت تشخیصی مناسب شامل سکانس‌های T1, T1c, T2, FLAIR بوده‌اند.” روش نمونه‌گیری: “نمونه‌گیری مبتنی بر کل بیماران واجد شرایط (Consecutive sampling) در بازه زمانی مشخص برای کاهش سوگیری انتخاب.”

○ معیارهای ورود و خروج (Inclusion and Exclusion Criteria): لیست بسیار دقیق.

- ورود: ۱. سن ≤ 18 سال. ۲. تشخیص هیستوپاتولوژیک اولیه گلیوما (WHO 2021). ۳. انجام MRI مغزی پیش از جراحی (کمتر از ۳۰ روز قبل از جراحی) شامل سکانس‌های [لیست دقیق]. ۴. کیفیت تصویر مناسب بدون آرتیفکت حرکتی یا فلزی شدید.
- خروج: ۱. سابقه جراحی مغز، رادیوتراپی یا شیمی‌درمانی قبلی برای تومور مغزی. ۲. تومورهای اینفرانتوریال یا غیر گلیومایی. ۳. عدم دسترسی به گزارش پاتولوژی نهایی یا تصاویر MRI. ۴. داده‌های بالینی ناقص.

○ حجم نمونه و روش محاسبه (Sample Size and Calculation): “بر اساس مطالعات مشابه [استناد] و با فرض AUC مورد انتظار ۰.۸۵ در مقابل فرضیه صفر $AUC=0.5$ ، با توان ۸۰٪ و خطای نوع اول ۵٪، و با در نظر گرفتن شیوع تقریبی ۶۰٪ برای گلیومای High-Grade، حداقل حجم نمونه مورد نیاز N بیمار تخمین زده می‌شود [ارائه محاسبه دقیق با استفاده از نرم‌افزار یا فرمول مناسب]. همچنین، بر اساس قاعده سرانگشتی حداقل ۱۰-۲۰ رویداد (بیمار در کلاس کمتر شایع) به ازای هر ویژگی/پارامتر مدل (EPV)، با توجه به پیچیدگی مدل DL، هدف ما جمع‌آوری داده‌های حداقل N بیمار خواهد بود. ما داده‌های موجود در مرکز X (حدود M بیمار) و مرکز Y (حدود P بیمار) را که واجد شرایط هستند، بررسی خواهیم کرد.”

○ متغیرها و نحوه اندازه‌گیری (Variables and Measurement):

- متغیر پیامد (Outcome Variable - Ground Truth): “گرید هیستوپاتولوژیک تومور بر اساس طبقه‌بندی WHO 2021، استخراج شده از گزارش نهایی پاتولوژی. طبقه‌بندی به صورت دودویی (Low-Grade [II/III] در مقابل High-Grade [IV]) یا چندکلاسه (II vs III vs IV)”

IV) انجام خواهد شد. در صورت وجود ابهام در گزارش، توسط دو پاتولوژیست مستقل بازبینی و در صورت عدم توافق، با نفر سوم حل اختلاف خواهد شد. (برای پیش‌بینی وضعیت مولکولی: "وضعیت جهش IDH (Wild-type vs. Mutant) تعیین شده با ایمونوهیستوشیمی یا توالی‌یابی").

▪ متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (Predictor Variables):

▪ داده‌های تصویربرداری: "تصاویر MRI پیش از جراحی شامل سکانس‌های Axial T1-

weighted pre-contrast, T1-weighted post-contrast (T1c), T2-weighted, Fluid-Attenuated Inversion Recovery (FLAIR).

دقیق هر سکانس (TR, TE, TI, slice thickness, matrix size) تا حد امکان ثبت

خواهد شد. (برای داده‌های پاتولوژی دیجیتال: "اسلایدهای کامل (WSI) رنگ‌آمیزی شده

با هماتوکسیلین و ائوزین (E&H) اسکن شده با رزولوشن 40x").

▪ داده‌های بالینی (در صورت استفاده): سن بیمار در زمان تشخیص، جنسیت، محل تومور (بر

اساس لوب درگیر)، وضعیت عملکردی اولیه (مثلاً Karnofsky Performance

Status).

▪ ابزار گردآوری داده: "یک فرم جمع‌آوری داده الکترونیکی (eCRF) در REDCap برای ثبت

داده‌های بالینی و پاتولوژی طراحی خواهد شد. تصاویر MRI از سیستم PACS بیمارستان با فرمت

DICOM استخراج می‌شوند."

○ روش گردآوری داده‌ها (Data Collection Procedure): "پس از تأیید کمیته اخلاق، لیست بیماران

واجد شرایط از سیستم اطلاعات بیمارستانی (HIS) یا بایگانی پاتولوژی استخراج می‌شود. داده‌های بالینی و

پاتولوژی از پرونده الکترونیک بیمار (EHR) و گزارش‌های پاتولوژی در eCRF وارد می‌شوند. تصاویر MRI

مربوطه از PACS با استفاده از یک اسکریپت داخلی بازبینی و به صورت کاملاً بی‌نام‌شده (با حذف تمام اطلاعات

شناسایی بیمار از هدر DICOM و تخصیص کد مطالعه منحصر به فرد) در یک سرور امن ذخیره می‌گردند.

فرآیند توسط دو پژوهشگر مستقل برای اطمینان از دقت انجام می‌شود."

○ پردازش داده‌ها (Data Processing):

- پیش‌پردازش داده‌های بالینی: “داده‌های ناقص (Missing data) برای متغیرهای بالینی با استفاده از روش Imputation چندگانه (Multiple Imputation by Chained Equations - MICE) در نرم‌افزار R مدیریت خواهند شد (در صورتی که درصد داده‌های ناقص کمتر از ۱۰٪ باشد، در غیر این صورت بیماران حذف می‌شوند). متغیرهای پیوسته (سن) استانداردسازی (Z-score) می‌شوند.”
- پیش‌پردازش داده‌های تصویربرداری (بسیار مهم و دقیق):

۱. تبدیل فرمت: DICOM به NIfTI.

۲. هم‌ترازی (Co-registration): تمام سکانس‌های (MRI (T1, T2, FLAIR به فضای تصویر T1c با استفاده از ابزار FLIRT در FSL (FMRIB Software Library) یا ابزار مشابه در ANTs/SPM ثبت می‌شوند.

۳. تصحیح بایاس میدان (Bias Field Correction): با استفاده از الگوریتم N4ITK.

۴. حذف جمجمه (Skull Stripping): با استفاده از ابزارهای دقیق مانند HD-BET یا ROBEX.

۵. نرمال‌سازی شدت (Intensity Normalization): نرمال‌سازی Z-score برای هر بیمار به صورت جداگانه یا WhiteStripe.

۶. سگمنتاسیون تومور (Tumor Segmentation): “ناحیه تومور (شامل بخش solid enhancing، نکروز، و ادم اطراف تومور/non-enhancing tumor) بر روی سکانس‌های مناسب (مثلاً T1c برای enhancing part، FLAIR برای کل ناحیه غیرطبیعی) توسط یک نورورادیولوژیست باتجربه با استفاده از نرم‌افزار ITK-SNAP یا D Slicer^۳ به صورت دستی یا نیمه‌خودکار ترسیم خواهد شد. برای اطمینان از تکرارپذیری، زیرمجموعه‌ای (۱۰٪) از سگمنتاسیون‌ها توسط رادیولوژیست دوم بازبینی و ضریب Dice برای ارزیابی توافق محاسبه می‌شود.” (یا: “از یک مدل سگمنتاسیون خودکار از پیش آموزش‌دیده مانند nnU-Net که بر روی داده‌های مشابه آموزش دیده، استفاده خواهد شد و نتایج آن توسط رادیولوژیست بازبینی و در صورت نیاز اصلاح می‌شود.”)

۷. استخراج ناحیه مورد علاقه (ROI): تعریف دقیق ناحیه ورودی به مدل (مثلاً کل ناحیه

سگمنت شده تومور، یا یک bounding box اطراف آن).

۸. تغییر اندازه/نمونه برداری مجدد (Resizing/Resampling): تصاویر به یک اندازه و

وضوح فضایی یکسان (مثلاً ۱ mm x 1 mm x 1 mm isotropic) نمونه برداری مجدد

می شوند.

۹. افزایش داده (Data Augmentation): "برای جلوگیری از بیش‌برازش و افزایش

تعمیم پذیری مدل، تکنیک‌های افزایش داده در حین آموزش به صورت تصادفی اعمال

خواهند شد، شامل: چرخش (rotation) سه‌بعدی تصادفی (تا $\pm 15^\circ$ درجه)، جابجایی

(translation) تصادفی (تا ± 10 پیکسل)، تغییر مقیاس (scaling) تصادفی ($\pm 10\%$), و

برگردان (flipping) تصادفی در محورهای چپ-راست."

▪ (برای پاتولوژی دیجیتال WSI): "تشخیص ناحیه بافت (Tissue detection)، نرمال سازی

رنگ با روش Macenko، استخراج پچ‌های (patches) با اندازه ۲۵۶x۲۵۶ پیکسل از

نواحی تومورال با همپوشانی ۵۰٪."

○ توسعه مدل هوش مصنوعی (AI Model Development):

▪ معماری مدل: "از یک معماری شبکه عصبی کانولوشنی سه‌بعدی (۳D CNN) استفاده خواهیم کرد.

معماری پایه می‌تواند یکی از مدل‌های شناخته شده مانند ResNet-3D, DenseNet-3D یا VNet

باشد که برای وظیفه طبقه‌بندی تطبیق داده شده است (مثلاً با افزودن لایه‌های Fully Connected

و Softmax در انتها). ورودی مدل شامل [تعداد کانال‌ها، مثلاً ۴ کانال برای T1, T1c, T2,

FLAIR] تصاویر MRI پیش پردازش شده با ابعاد [مثلاً ۱۲۸x128x128] خواهد بود. برای ترکیب

داده‌های بالینی (در صورت استفاده)، ویژگی‌های استخراج شده از CNN با داده‌های بالینی در یک

لایه میانی یا انتهایی ادغام (concatenate) خواهند شد."

▪ تقسیم داده‌ها: "مجموعه داده کل به صورت بیمار-محور (patient-level split) به سه بخش تقسیم

می‌شود: آموزش (Training set: 70% بیماران)، اعتبارسنجی (Validation set: 15% بیماران)

و آزمون (Test set: 15% بیماران). تقسیم به گونه‌ای انجام می‌شود که توزیع گرید تومور در هر سه

مجموعه مشابه باشد (stratified split). مجموعه آزمون کاملاً کنار گذاشته شده و فقط یک بار پس از نهایی شدن مدل برای ارزیابی نهایی استفاده می‌شود.

- فرآیند آموزش: مدل با استفاده از فریمورک PyTorch (نسخه X.Y) یا TensorFlow (نسخه X.Y) بر روی GPUهای NVIDIA (مثلاً A100 یا V100) آموزش داده خواهد شد. از تابع هزینه Cross-Entropy (با وزن‌دهی معکوس به فراوانی کلاس‌ها برای مدیریت عدم توازن داده‌ها - Weighted Cross-Entropy) و بهینه‌ساز AdamW با نرخ یادگیری اولیه [مثلاً $e-4$] و با استفاده از یک زمان‌بند نرخ یادگیری (learning rate scheduler) مانند Cosine Annealing یا ReduceLROnPlateau استفاده خواهد شد. اندازه بچ (Batch size) [مثلاً ۴ یا ۸] و تعداد اپک‌های آموزش (Epochs) [مثلاً ۱۰۰] با استفاده از مکانیزم توقف زودهنگام (Early Stopping) بر اساس عملکرد روی مجموعه اعتبارسنجی (با صبر $\text{patience}=10$) تعیین می‌شود. از تکنیک‌های تنظیم (Regularization) مانند Dropout (با نرخ $p=0.3$) و Weight Decay (با ضریب $L2=1e-5$) برای کاهش بیش‌برازش استفاده خواهد شد.
- تنظیم هایپرپارامترها: "هایپرپارامترهای کلیدی مدل (مانند نرخ یادگیری، ضرایب تنظیم، معماری دقیق لایه‌ها) با استفاده از روش جستجوی بی‌بی (Bayesian Optimization) یا جستجوی تصادفی (Random Search) بر روی مجموعه اعتبارسنجی و با استفاده از کتابخانه Optuna یا Ray Tune بهینه‌سازی خواهند شد."
- اعتبارسنجی متقابل (Cross-Validation): "برای ارزیابی قوی‌تر پایداری مدل در طول توسعه، از اعتبارسنجی متقابل K-fold (با $K=5$ یا ۱۰) بر روی ترکیب مجموعه‌های آموزش و اعتبارسنجی اولیه استفاده خواهیم کرد."

○ ارزیابی عملکرد مدل (Model Performance Evaluation):

- معیارهای ارزیابی: "عملکرد مدل نهایی بر روی مجموعه آزمون مستقل با استفاده از معیارهای زیر ارزیابی خواهد شد:
- منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC Curve) و سطح زیر منحنی (AUC-ROC).

- منحنی دقت-بازیابی (Precision-Recall Curve) و سطح زیر منحنی (AUC-PR) (به‌ویژه در صورت عدم توازن کلاس‌ها).
- دقت کلی (Overall Accuracy).
- دقت متوازن (Balanced Accuracy).
- حساسیت (Sensitivity یا Recall یا True Positive Rate) برای هر کلاس.
- ویژگی (Specificity یا True Negative Rate) برای هر کلاس.
- ارزش اخباری مثبت (PPV یا Precision) برای هر کلاس.
- ارزش اخباری منفی (NPV) برای هر کلاس.
- امتیاز F1 (میانگین هارمونیک دقت و حساسیت) برای هر کلاس.
- برای معیارهای چندکلاسه، میانگین‌های Macro، Micro و Weighted گزارش خواهند شد.

▪ فاصله‌های اطمینان (Confidence Intervals): "فاصله‌های اطمینان ۹۵٪ برای تمام معیارهای اصلی با استفاده از روش بوت‌استرپ (Bootstrap resampling) با ۱۰۰۰ تکرار محاسبه خواهند شد."

▪ ماتریس درهم‌ریختگی (Confusion Matrix): "ماتریس درهم‌ریختگی نرمال‌شده برای نمایش بصری عملکرد طبقه‌بندی در هر کلاس ارائه خواهد شد."

○ تحلیل آماری (Statistical Analysis):

- آمار توصیفی: "مشخصات پایه بیماران (سن، جنس، گرید تومور و...) با استفاده از آمار توصیفی (میانگین $\pm$ انحراف معیار یا میانه [دامنه بین چارکی] برای متغیرهای پیوسته، و تعداد (درصد) برای متغیرهای طبقه‌ای) ارائه خواهد شد. مقایسه مشخصات بین گروه‌های آموزشی، اعتبارسنجی و آزمون با استفاده از آزمون‌های مناسب (ANOVA یا Kruskal-Wallis برای پیوسته، Chi-square یا Fisher's exact test برای طبقه‌ای) انجام می‌شود تا از عدم وجود تفاوت معنادار اطمینان حاصل شود."

▪ مقایسه عملکرد: “برای مقایسه آماری AUC مدل‌های مختلف یا مقایسه AUC مدل با عملکرد رادیولوژیست‌ها، از آزمون DeLong یا بوت‌استرپ استفاده خواهد شد. برای مقایسه سایر معیارها (دقت، حساسیت، ویژگی) از آزمون McNemar (برای داده‌های جفتی) یا آزمون‌های مشابه استفاده می‌شود.”

▪ سطح معناداری: “سطح معناداری آماری $\alpha = 0.05$ در نظر گرفته خواهد شد.”

▪ نرم‌افزار: “تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار R (نسخه X.Y) یا Python (با کتابخانه‌های SciPy, Statsmodels, Scikit-learn) انجام خواهد شد.”

○ تفسیرپذیری مدل (Model Interpretability - XAI): “به منظور درک بهتر نحوه تصمیم‌گیری مدل و افزایش اعتماد بالینی، از روش‌های XAI استفاده خواهیم کرد. به طور مشخص، از روش Gradient-Integrated (Grad-CAM) (weighted Class Activation Mapping) یا روش‌های مشابه (مانند Integrated Gradients) برای تولید نقشه‌های برجستگی (saliency maps) یا نقشه‌های حرارتی (heatmaps) استفاده می‌شود که نواحی از تصویر ورودی MRI را که بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی گرید تومور توسط مدل داشته‌اند، برجسته می‌کنند. این نقشه‌ها به صورت بصری بر روی تصاویر MRI اصلی هم‌پوشانی (overlay) داده شده و توسط رادیولوژیست‌ها برای ارزیابی معقولیت بالینی (clinical plausibility) بررسی خواهند شد.”

۷. ملاحظات اخلاقی (Ethical Considerations):

- هدف: نشان دادن تعهد پژوهشگر به رعایت کامل اصول اخلاقی در تمام مراحل پژوهش.
- محتوا:
- کسب مجوز از کمیته اخلاق: “پروتکل کامل مطالعه قبل از شروع هرگونه فعالیت مرتبط با داده‌ها، برای بررسی و تأیید به کمیته(های) اخلاق در پژوهش [نام دقیق دانشگاه/بیمارستان/موسسه] ارسال خواهد شد. مطالعه تنها پس از دریافت تأییدیه کتبی آغاز می‌شود.”
- رضایت آگاهانه: “با توجه به ماهیت گذشته‌نگر مطالعه و استفاده از داده‌های از پیش موجود، کسب رضایت آگاهانه فردی از تمام بیماران عملاً امکان‌پذیر نیست. بنابراین، درخواست رسمی برای معافیت از کسب رضایت آگاهانه (Waiver of Informed Consent) تحت مقررات [اشاره به کد یا مقررات مربوطه مانند CFR ۴۵]

(f) 46.116 در آمریکا یا معادل آن] به کمیته اخلاق ارائه خواهد شد. توجیهات اصلی برای این درخواست عبارتند از: (۱) پژوهش شامل حداقل خطر (Minimal Risk) برای بیماران است زیرا هیچ مداخله یا تماس مستقیمی با آن‌ها صورت نمی‌گیرد و داده‌ها به صورت کاملاً بی‌نام تحلیل می‌شوند. (۲) عدم امکان عملی اجرای پژوهش بدون این معافیت. (۳) معافیت از رضایت، تأثیر نامطلوبی بر حقوق و رفاه بیماران نخواهد داشت."

○ **محرم‌انگی و حریم خصوصی:** "حفظ محرمانگی اطلاعات بیماران اولویت اصلی است. تمام داده‌های بالینی و

تصویری قبل از هرگونه تحلیل به طور کامل بی‌نام (anonymized) خواهند شد. این فرآیند شامل حذف تمام ۱۸ شناساگر اطلاعات سلامت محافظت‌شده (PHI) طبق تعریف HIPAA (یا مقررات مشابه) از داده‌های بالینی و هدرهای فایل‌های DICOM، و جایگزینی آن‌ها با یک کد مطالعه منحصر به فرد و غیرقابل ردیابی است. لیست ارتباط‌دهنده کد مطالعه به اطلاعات شناسایی بیمار به صورت جداگانه، رمزنگاری شده و با دسترسی بسیار محدود نگهداری خواهد شد (فقط توسط مجری اصلی طرح)."

○ **امنیت داده‌ها:** "داده‌های بی‌نام‌شده بر روی سرورهای امن، رمزنگاری شده و محافظت‌شده با رمز عبور در [محل ذخیره‌سازی، مثلاً مرکز محاسبات دانشگاه] ذخیره خواهند شد. دسترسی به داده‌ها فقط به اعضای اصلی و آموزش‌دیده تیم پژوهش که مستقیماً در تحلیل داده‌ها نقش دارند، محدود خواهد بود. از انتقال داده‌ها بر روی حافظه‌های قابل حمل ناامن (مانند فلش مموری) خودداری خواهد شد. تمام پروتکل‌های امنیت داده مطابق با سیاست‌های [نام موسسه] رعایت خواهد شد."

○ **مدیریت سوگیری بالقوه در AI:** "ما از پتانسیل وجود سوگیری (bias) در مدل‌های AI آگاه هستیم که ممکن است ناشی از سوگیری در داده‌های آموزشی باشد (مثلاً تفاوت در توزیع سن، جنسیت، قومیت یا حتی تفاوت در پروتکل‌های اسکن MRI بین مراکز یا در طول زمان). برای ارزیابی این موضوع، عملکرد مدل در زیرگروه‌های مختلف جمعیتی (مانند گروه‌های سنی، جنسیتی) به صورت جداگانه تحلیل و گزارش خواهد شد (تا جایی که حجم نمونه اجازه دهد). همچنین، محدودیت‌های مربوط به تعمیم‌پذیری مدل به جمعیت‌های دیگر به صراحت در انتشارات ذکر خواهد گردید."

○ **عدم آسیب‌رسانی (Non-maleficence):** "این پژوهش هیچ‌گونه مداخله مستقیمی بر روی بیماران ندارد و از داده‌های موجود استفاده می‌کند، بنابراین خطر مستقیمی برای شرکت‌کنندگان ایجاد نمی‌کند. نتایج صرفاً برای اهداف پژوهشی استفاده شده و در این مرحله مستقیماً بر مراقبت بالینی بیماران تأثیر نخواهد گذاشت."

- مالکیت داده و نتایج: (در صورت وجود همکاری بین مراکز) “یک توافق‌نامه رسمی همکاری (Data Sharing Agreement / Collaboration Agreement) بین مراکز مشارکت‌کننده قبل از شروع تبادل داده‌ها تنظیم خواهد شد که مواردی مانند مالکیت داده‌های خام، حقوق مالکیت معنوی مدل توسعه‌یافته و نتایج حاصل از آن، و سیاست‌های انتشار را به روشنی مشخص می‌کند.”

۸. جدول زمان‌بندی اجرای طرح (Timeline/Work Plan):

- هدف: نشان دادن برنامه‌ریزی واقع‌بینانه و امکان‌سنجی اجرای طرح در یک بازه زمانی مشخص.
- محتوا: ارائه یک جدول گانت (Gantt Chart) دقیق یا لیستی زمان‌بندی شده با ذکر مراحل اصلی و فرعی، مسئول هر مرحله و مدت زمان تخمینی برای هر کدام.
- مثال (مراحل اصلی):
 - ماه ۱-۲: نهایی‌سازی پروتکل، ارسال و پیگیری تأییدیه کمیته اخلاق.
 - ماه ۳-۶: جمع‌آوری داده‌های بالینی و پاتولوژی، استخراج تصاویر MRI، بی‌نام‌سازی داده‌ها.
 - ماه ۷-۹: پیش‌پردازش کامل تصاویر MRI (هم‌ترازی، سگمنتاسیون و...).
 - ماه ۱۰-۱۵: توسعه، آموزش و تنظیم هاپرپارامترهای مدل D CNN^۳.
 - ماه ۱۶-۱۷: ارزیابی نهایی مدل بر روی مجموعه آزمون، مقایسه با رادیولوژیست‌ها.
 - ماه ۱۸: اجرای تحلیل‌های تفسیرپذیری (XAI).
 - ماه ۱۹-۲۱: تحلیل نهایی نتایج، نگارش پیش‌نویس مقاله اصلی.
 - ماه ۲۲-۲۳: ارسال مقاله به مجله، پاسخ به داوران.
 - ماه ۲۴: نگارش گزارش نهایی طرح.
- (فعالیت‌های موازی): ارائه نتایج اولیه در کنفرانس‌ها (مثلاً ماه ۱۵-۱۸). ۹. بودجه و منابع مورد نیاز (Budget)

:(and Resources

- هدف: تعیین و توجیه هزینه‌های لازم برای اجرای موفقیت‌آمیز طرح و نشان دادن منابع موجود.
- محتوا: (بسته به فرمت مورد نیاز سازمان تأمین‌کننده بودجه)

○ هزینه‌های پرسنلی:

- حق الزحمه/بخشی از حقوق مجری طرح (مثلاً ۱۰٪ FTE).
- حقوق دانشجوی دکتری یا پژوهشگر پسادکتری (مثلاً ۱۰۰٪ FTE برای ۲ سال).
- حق الزحمه رادیولوژیست/پاتولوژیست برای سگمنتاسیون/بازبینی (مثلاً X ساعت با نرخ Y).
- حق الزحمه متخصص آمار یا مشاور AI (در صورت نیاز).

○ هزینه‌های تجهیزات و نرم‌افزار:

- هزینه استفاده از سرورهای محاسباتی با توان بالا (HPC) یا خدمات ابری (Cloud Computing) مجهز به GPU (مثلاً هزینه تخمینی برای X ساعت پردازش GPU در AWS/Google Cloud/Azure).
- هزینه خرید یا تمدید لایسنس نرم‌افزارهای تخصصی (در صورت نیاز، مثلاً نرم‌افزار سگمنتاسیون خاص).
- هزینه خرید کامپیوتر یا ایستگاه کاری قدرتمند (در صورت عدم وجود).
- هزینه‌های مواد مصرفی: (معمولاً در این نوع طرح‌ها کمتر است، مگر نیاز به ذخیره‌سازی فیزیکی خاص).
- هزینه‌های جمع‌آوری داده: (معمولاً صفر است اگر داده‌ها در دسترس باشند، مگر نیاز به پرداخت برای دسترسی به پایگاه داده خاص).
- هزینه‌های سفر: هزینه شرکت در یک یا دو کنفرانس ملی/بین‌المللی برای ارائه نتایج.
- هزینه‌های انتشار: هزینه احتمالی برای چاپ مقاله به صورت دسترسی باز (Open Access Publication) (Fee در مجلات معتبر (مثلاً ۲۰۰۰-۵۰۰۰ دلار).
- هزینه‌های بالاسری (Indirect Costs/Overhead): درصدی از کل هزینه‌های مستقیم که توسط دانشگاه یا موسسه برای پوشش هزینه‌های عمومی (آب، برق، فضای اداری و...) دریافت می‌شود (طبق قوانین موسسه).
- توجیه بودجه: برای هر آیتم هزینه، یک توجیه مختصر اما قانع‌کننده ارائه شود که چرا این هزینه ضروری است.
- منابع موجود: ذکر منابعی که در حال حاضر در دسترس تیم هستند و نیازی به تأمین بودجه ندارند (مثلاً دسترسی به HPC دانشگاه، نرم‌افزارهای موجود، تخصص اعضای هیئت علمی بدون نیاز به حقوق اضافی).

۱۰. نتایج مورد انتظار و اهمیت طرح (Expected Outcomes and Significance):

- هدف: برجسته کردن دستاوردهای علمی، کاربردی و تأثیرات گسترده‌تر پژوهش.

- محتوا:

○ نتایج علمی (Scientific Outcomes):

- “توسعه و اعتبارسنجی یک مدل یادگیری عمیق [نوع مدل] جدید و قوی برای طبقه‌بندی [وظیفه خاص] با استفاده از [نوع داده].”
- “شناسایی ویژگی‌های تصویربرداری [یا پاتولوژی دیجیتال] کلیدی و الگوهای نامشهودی که با [نوع/گرید تومور] مرتبط هستند، از طریق روش‌های XAI.”
- “انتشار حداقل [تعداد] مقاله در مجلات معتبر بین‌المللی با داوری همتا (Peer-Reviewed) در زمینه [مثلاً رادیولوژی، انکولوژی، هوش مصنوعی پزشکی].”
- “ارائه نتایج در کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی مرتبط.”

○ نتایج کاربردی (Practical/Clinical Outcomes):

- “ایجاد یک ابزار بالقوه کمک تشخیصی (Computer-Aided Diagnosis - CADx) که می‌تواند به رادیولوژیست‌ها/پاتولوژیست‌ها در تشخیص دقیق‌تر و سریع‌تر [نوع/گرید تومور] کمک کند.”
- “پتانسیل کاهش نیاز به بیوپسی‌های تهاجمی غیرضروری در [درصد تخمینی] موارد.”
- “فراهم کردن اطلاعات پیش‌آگهی غیرتهاجمی برای کمک به برنامه‌ریزی درمانی شخصی‌سازی شده در مراحل اولیه.”

○ اهمیت و تأثیر گسترده‌تر (Significance and Broader Impact):

- “این پژوهش می‌تواند به بهبود قابل توجهی در دقت و کارایی تشخیص [نوع تومور] منجر شود که نهایتاً به بهبود پیامد بیماران (کاهش مرگ‌ومیر و عوارض) و کاهش هزینه‌های نظام سلامت کمک می‌کند.”
- “موفقیت این طرح، کاربرد هوش مصنوعی را در حوزه حساس انکولوژی/رادیولوژی/پاتولوژی بیشتر تثبیت کرده و راه را برای تحقیقات مشابه در سایر انواع تومورها یا بیماری‌ها هموار می‌سازد.” * “این

پژوهش به تربیت نیروی انسانی متخصص در زمینه میان‌رشته‌ای هوش مصنوعی در پزشکی کمک خواهد کرد.

- “نتایج می‌تواند در آینده به عنوان بخشی از گایدلاین‌های بالینی یا سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری بالینی (CDSS) مورد استفاده قرار گیرد.”

۱۱. نحوه انتشار و بهره‌برداری از نتایج (Dissemination Plan):

- **هدف:** تشریح برنامه‌های تیم برای به اشتراک‌گذاری یافته‌های پژوهش با جامعه علمی، بالینی و عموم.
- **محتوا:**
 - **انتشارات علمی:** “نتایج اصلی در قالب مقالات کامل در مجلات معتبر بین‌المللی با ضریب تأثیر بالا و داوری هم‌تا در حوزه‌های [مثلاً Radiology, Neuro-Oncology, Cancer Research, Medical Image Analysis, Nature Machine Intelligence] منتشر خواهند شد. ما انتشار حداقل [تعداد] مقاله را هدف‌گذاری کرده‌ایم.”
 - **ارائه در کنفرانس‌ها:** “یافته‌های کلیدی در کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی پیشرو مانند [مثلاً RSNA, ASCO, ECR, MICCAI, ISMRM] به صورت ارائه شفاهی یا پوستر ارائه خواهند شد.”
 - **گزارش نهایی:** “گزارش کامل و نهایی طرح به [نام سازمان تأمین‌کننده بودجه یا معاونت پژوهشی دانشگاه] ارائه خواهد گردید.”
 - **دسترسی آزاد (Open Access):** “ما متعهد به اشتراک‌گذاری یافته‌ها هستیم و در صورت امکان، مقالات را به صورت دسترسی آزاد منتشر خواهیم کرد و کدهای منبع مدل (پس از پاکسازی و مستندسازی) و یا مدل‌های پیش‌آموزش‌دیده را از طریق پلتفرم‌هایی مانند GitHub به اشتراک خواهیم گذاشت تا تحقیقات آتی را تسهیل کنیم (با رعایت ملاحظات مالکیت معنوی و حریم خصوصی).”
 - **کاربردی‌سازی و بهره‌برداری (اختیاری):** “در صورت کسب نتایج بسیار امیدوارکننده، پتانسیل تجاری‌سازی مدل به عنوان یک نرم‌افزار کمک تشخیصی یا همکاری با شرکت‌های تجهیزات پزشکی برای ادغام آن در پلتفرم‌های موجود، بررسی خواهد شد.”

- ارتباط با جامعه بالینی و بیماران: “برنامه‌هایی برای ارائه نتایج به زبان ساده‌تر در سمینارهای بیمارستانی یا از طریق انجمن‌های علمی و حمایتی بیماران (در صورت امکان) وجود دارد.”

۱۲. محدودیت‌های طرح (Limitations):

- هدف: نشان دادن آگاهی و تفکر انتقادی پژوهشگر نسبت به ضعف‌ها و چالش‌های بالقوه مطالعه.
- محتوا: شناسایی صادقانه و شفاف محدودیت‌ها و در صورت امکان، اشاره به راهکارهای کاهش آن‌ها.
- محدودیت‌های طراحی (Design Limitations): “ماهیت گذشته‌نگر مطالعه می‌تواند منجر به سوگیری انتخاب (Selection Bias) و محدودیت در کنترل متغیرهای مخدوشگر ناشناخته شود. اگرچه سعی در جمع‌آوری داده از تمام بیماران واجد شرایط (consecutive) می‌شود، این سوگیری کاملاً قابل حذف نیست.”
- محدودیت‌های داده (Data Limitations):
 - تک/چند مرکزی بودن: “داده‌ها در ابتدا از [تعداد] مرکز جمع‌آوری می‌شوند که ممکن است تعمیم‌پذیری (Generalizability) نتایج به سایر مراکز با جمعیت‌ها یا پروتکل‌های تصویربرداری متفاوت را محدود کند. اعتبارسنجی خارجی (External Validation) بر روی مجموعه داده‌های کاملاً مستقل از مراکز دیگر، گام ضروری بعدی پس از این طرح خواهد بود.”
 - حجم نمونه: “اگرچه حجم نمونه بر اساس محاسبات آماری تعیین شده، ممکن است برای تحلیل زیرگروه‌های نادر تومور یا بررسی اثر متغیرهای کمتر شایع، کافی نباشد.”
 - کیفیت و ناهمگونی داده‌ها: “تفاوت در دستگاه‌های MRI (سازنده، قدرت میدان) و پروتکل‌های اسکن بین مراکز یا در طول زمان می‌تواند منجر به ناهمگونی در داده‌های تصویری شود. اگرچه از تکنیک‌های نرمال‌سازی استفاده می‌شود، این ناهمگونی می‌تواند بر عملکرد مدل تأثیر بگذارد.”
- محدودیت‌های مدل (AI Model Limitations):
 - تفسیرپذیری: “علیرغم استفاده از روش‌های XAI، مدل‌های یادگیری عمیق تا حدی ماهیت “جعبه سیاه” خود را حفظ می‌کنند و درک کامل مکانیسم تصمیم‌گیری آن‌ها همچنان یک چالش است.”

▪ بیش‌برازش (*Overfitting*): “همواره خطر بیش‌برازش مدل به داده‌های آموزشی وجود دارد، اگرچه از تکنیک‌های تنظیم و افزایش داده برای کاهش آن استفاده می‌شود. عملکرد نهایی روی مجموعه آزمون مستقل، معیار اصلی ارزیابی تعمیم‌پذیری خواهد بود.”

▪ نیاز به اعتبارسنجی آینده‌نگر: “اعتبار نهایی مدل نیازمند ارزیابی در یک مطالعه آینده‌نگر (Prospective study) در محیط بالینی واقعی است.”

○ محدودیت‌های سگمنتاسیون: “دقت سگمنتاسیون تومور (چه دستی و چه خودکار) می‌تواند بر عملکرد نهایی مدل طبقه‌بندی تأثیر بگذارد. خطاهای سگمنتاسیون یک منبع بالقوه خطا هستند.”

۱۳. معرفی تیم پژوهشی و امکانات (Research Team and Facilities):

- هدف: نشان دادن توانایی و صلاحیت تیم پژوهشی و کفایت امکانات برای اجرای موفقیت‌آمیز طرح.
- محتوا:

○ معرفی اعضای کلیدی تیم:

▪ مجری اصلی (*PI*): نام، سمت، تخصص اصلی (مثلاً دانشیار رادیولوژی با تخصص در تصویربرداری عصبی/پستان/...)، تجربیات مرتبط با موضوع طرح، نقش در پروژه (مدیریت کلی، نظارت علمی، تفسیر نتایج).

▪ همکاران اصلی (*Co-Investigators*): نام، سمت، تخصص هر یک (مثلاً متخصص هوش مصنوعی/یادگیری عمیق، پاتولوژیست، انکولوژیست، متخصص آمار، مهندس نرم‌افزار)، تجربیات مرتبط، نقش مشخص در پروژه (مثلاً توسعه مدل AI، آنالیز آماری، جمع‌آوری و تفسیر داده‌های بالینی/پاتولوژی).

▪ دانشجویان/پژوهشگران پسادکتری: (در صورت وجود) نقش آن‌ها در اجرای فنی کار.

○ تکمیل تخصص‌ها: تأکید بر اینکه تیم دارای ترکیبی مناسب از تخصص‌های بالینی (رادیولوژی، پاتولوژی، انکولوژی) و فنی (هوش مصنوعی، علوم داده، آمار) لازم برای اجرای موفق طرح است.

○ معرفی امکانات و زیرساخت‌ها:

- دسترسی به داده: “تیم پژوهش به پایگاه داده‌های بالینی و سیستم بایگانی تصاویر (PACS) [نام بیمارستان/موسسه] دسترسی دارد.”
- توان محاسباتی: “دسترسی به مرکز محاسبات با توان بالا (HPC) دانشگاه [نام دانشگاه] شامل [تعداد] گره محاسباتی مجهز به GPUهای [مدل GPU] برای آموزش مدل‌های یادگیری عمیق فراهم است.”
- نرم‌افزارها: “لایسنس نرم‌افزارهای مورد نیاز مانند MATLAB, SPSS, و دسترسی به کتابخانه‌های متن‌باز Python (TensorFlow, PyTorch, Scikit-learn, etc) وجود دارد.”
- فضای آزمایشگاهی/اداری: “فضای اداری و امکانات لازم برای تیم پژوهش در [نام بخش/دانشکده] فراهم است.”

۱۴. منابع (References):

- هدف: لیست کردن تمام منابع علمی که در متن پروپوزال به آن‌ها استناد شده است.
- محتوا:
 - لیست کامل: شامل تمام مقالات، کتاب‌ها، گزارش‌ها و سایر منابع ذکر شده در متن.
 - فرمت استاندارد و یکسان: استفاده از یک فرمت استاندارد شناخته‌شده مانند Vancouver (شماره‌گذاری در متن و لیست مرتب بر اساس شماره) یا APA (نام نویسنده و سال در متن و لیست الفبایی در انتها). انتخاب فرمت معمولاً بستگی به الزامات سازمان مربوطه دارد.
 - دقت و کامل بودن: اطمینان از صحت تمام جزئیات هر منبع (نام نویسندگان، عنوان کامل، نام مجله/کتاب، سال، جلد، شماره صفحات).
 - استفاده از نرم‌افزار مدیریت مراجع: بسیار توصیه می‌شود که از نرم‌افزارهایی مانند EndNote, Zotero یا Mendeley برای مدیریت منابع و تولید خودکار لیست با فرمت دلخواه استفاده شود تا از خطا و ناهماهنگی جلوگیری گردد.

نکات پایانی:

- **مخاطب‌شناسی:** زبان و سطح جزئیات پروپوزال باید متناسب با مخاطب (کمیته اخلاق، شورای پژوهشی دانشگاه، سازمان تأمین‌کننده بودجه ملی/بین‌المللی) تنظیم شود.
 - **وضوح و روانی:** متن باید روان، منسجم و به راحتی قابل فهم باشد. از جملات پیچیده و طولانی پرهیز کنید.
 - **اثبات ادعاها:** تمام ادعاها، به‌ویژه در بخش مقدمه و مرور ادبیات، باید با استناد به منابع معتبر پشتیبانی شوند. * **بازبینی دقیق:** پروپوزال نهایی باید قبل از ارسال، چندین بار توسط خودتان، همکاران طرح و در صورت امکان، توسط فردی خارج از تیم که با موضوع آشنایی دارد، به دقت خوانده و ویرایش شود (از نظر علمی، نگارشی و املايي).
- با پیروی از این راهنمای تفصیلی، شما می‌توانید یک پروپوزال بسیار قوی، جامع و متقاعدکننده برای طرح تحقیقاتی خود در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در پزشکی تدوین کنید.

موفق باشید!
مرکز تحقیقاتی نورایتکس