دوفصلنامه محاسبات و سامانه های توزیع شده
سال هشتم، شماره۲، شماره پیاپی۱۶، صفحه ۱۷۴ تا ۱۸۴، سال ۱۴۰۴

استخراج نیازمندی های نرم افزار از متون طبیعی با پردازش زبان طبیعی و مدل‌های زبانی بزرگ

حسین رحمانی[۱]، علیرضا عامری،[۲] نسرین آقایی میبدی[۳]*

[۱] گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

[۲] گروه کامپیوتر، دانشگاه دانشگاه آزاد واحد تهران مرکزی

[۳] گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد

چکیده

استخراج خودکار نیازمندی‌های نرم‌افزار از متون طبیعی، به دلیل ابهام، چندمعنایی و تنوع منابع، همچنان یکی از چالش‌های محوری مهندسی نیازمندی‌ها است. روش‌های مبتنی بر پردازش زبان طبیعی در سال‌های اخیر خروجی‌هایی کنترل‌پذیرتر ارائه داده‌اند، اما در مواجهه با بیان‌های ضمنی، جملات پیچیده و داده‌های غیرساخت‌یافته با محدودیت روبه‌رو هستند. در مقابل، مدل‌های زبانی بزرگ با توانایی درک معناشناختی و استنتاج، ظرفیت بالایی برای پردازش متون پیچیده و داده‌های گفتگومحور دارند، هرچند ناپایداری خروجی، حساسیت به نحوه‌ی طرح دستور و احتمال تولید محتوای نادرست، استفاده‌ی مستقیم از آن‌ها را پرریسک می‌کند. این پژوهش با رویکرد تحلیلی–مقایسه‌ای، یک چارچوب مرجع مبتنی بر مدل زبانی بزرگ را بررسی کرده و آن را با سه رویکرد نماینده در استخراج نیازمندی از اسناد و بازخورد کاربران مقایسه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد اگرچه رویکردهای مبتنی بر مدل‌های زبانی بزرگ در استخراج از داده‌های غیرساخت‌یافته مزیت دارند، دستیابی به خروجی قابل‌اتکا مستلزم استانداردسازی و به‌کارگیری سازوکارهای کنترل کیفیت است؛ ازاین‌رو، مقاله بر ضرورت توسعه‌ی رویکردهای ترکیبی تأکید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مهندسی نیازمندی‌ها، استخراج خودکار نیازمندی، پردازش زبان طبیعی، مدل‌های زبانی بزرگ، کنترل کیفیت.

تاریخچه مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰

تاریخ اصلاحات: ۱۴۰۴/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۳۰

ایمیل نویسنده مسئول:
aghaee.meybodi@maybodiau.ac.ir

۱- مقدمه

مهندسی نیازمندی‌ها یکی از بنیادی‌ترین و در عین حال چالش‌برانگیزترین مراحل چرخه‌ی توسعه‌ی نرم‌افزار است. کیفیت نیازمندی‌ها به‌طور مستقیم بر طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی نرم‌افزار اثر می‌گذارد و بخش قابل‌توجهی از شکست‌ها یا هزینه‌های اضافی پروژه‌ها ریشه در نیازمندی‌های ناقص، مبهم یا نادرست دارد. در عمل، نیازمندی‌ها اغلب به زبان طبیعی و در قالب اسناد متنی، استانداردهای مهندسی، سناریوهای کاربر، بازخورد کاربران یا مکالمات میان ذی‌نفعان بیان می‌شوند. اگرچه زبان طبیعی امکان تعامل ساده‌تر میان ذی‌نفعان فنی و غیرفنی را فراهم می‌کند، اما ذاتاً با ابهام، چندمعنایی، ناسازگاری و وابستگی به زمینه همراه است. همین امر استخراج دستی نیازمندی‌ها را زمان‌بر، پرهزینه و مستعد خطای انسانی می‌سازد؛ به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ و پیچیده. از این رو، استخراج خودکار نیازمندی‌ها از متون طبیعی به‌عنوان یک مسئله‌ی مهم پژوهشی مطرح شده است. در سال‌های اخیر، روش‌های متعددی با اتکا به پردازش زبان طبیعی[۱] برای شناسایی جملات نیازمندی، استخراج ساختارها و روابط و کاهش مداخله‌ی انسانی توسعه یافته‌اند؛ اما بخش قابل‌توجهی از رویکردهای مبتنی بر پردازش زبان طبیعی کلاسیک در مواجهه با جملات پیچیده، بیان‌های ضمنی و داده‌های غیرساخت‌یافته و به‌طور خاص در استخراج نیازمندی‌های غیرعملکردی با محدودیت‌های محسوس روبه‌رو هستند.

[1] Natural Language Processing (NLP)

ظهور مدل‌های زبانی بزرگ[2]، تحول قابل‌توجهی در پردازش زبان طبیعی ایجاد کرده و امکان تحلیل معناشناختی عمیق‌تر، استنتاج و پردازش منابع متنی متنوعی مانند مکالمات ذی‌نفعان، بازخورد کاربران، متون چندزبانه و اسناد طولانی را فراهم ساخته است؛ قابلیتی که می‌تواند بسیاری از ضعف‌های روش‌های سنتی را جبران کند. با وجود این، به‌کارگیری مدل‌های زبانی بزرگ در مهندسی نیازمندی‌ها بدون چالش نیست و مسائلی مانند تولید اطلاعات نادرست یا ساختگی، ناپایداری خروجی، وابستگی شدید به طراحی دستوردهی (پرامپت)[3] و عدم پایبندی کامل به قالب‌ها و استانداردهای مستندسازی، استفاده‌ی مستقیم و بدون کنترل از آن‌ها را با ریسک همراه می‌کند. همچنین مرور ادبیات نشان می‌دهد بسیاری از مطالعات موجود تنها بخشی از فرایند استخراج را پوشش داده و از ارائه‌ی یک راهکار جامع و قابل‌اتکا فاصله دارند. بر این اساس، ضرورت رویکردهایی که بتوانند توانایی معناشناختی مدل‌های زبانی بزرگ را با دقت ساختاری، کنترل‌پذیری و تفسیرپذیری روش‌های پردازش زبان طبیعی کلاسیک تلفیق کنند، بیش از پیش احساس می‌شود. پژوهش حاضر با تمرکز بر استخراج خودکار نیازمندی‌های نرم‌افزار از متون طبیعی، ضمن تحلیل و مقایسه‌ی رویکردهای شاخص، تلاش می‌کند تصویری روشن از قابلیت‌ها و محدودیت‌های رویکردهای فعلی ارائه داده و چارچوبی مفهومی برای بهره‌گیری یکپارچه از پردازش زبان طبیعی و مدل‌های زبانی بزرگ پیشنهاد کند. در ادامه‌ی این مقاله، بخش ۲ به مرور ادبیات و مبانی نظری مرتبط با استخراج خودکار نیازمندی‌ها و مفاهیم پایه می‌پردازد، بخش ۳ روش تحقیق پژوهش حاضر را بر اساس تحلیل عمیق یک رویکرد مرجع و مقایسه‌ی آن با سه مطالعه‌ی منتخب ارائه می‌کند، بخش ۴ به تحلیل انتقادی و جمع‌بندی یافته‌های مقایسه‌ای اختصاص دارد و در نهایت، بخش ۵ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی کلی پژوهش را ارائه می‌دهد.

۲- مبانی نظری

۱.۲. مفهوم نیازمندی‌های نرم‌افزار

نیازمندی‌های نرم‌افزار به‌عنوان زیربنای اصلی فرایند توسعه‌ی سیستم‌های نرم‌افزاری، بیانگر انتظارات، اهداف، رفتارها و محدودیت‌های سیستم هستند و نقش تعیین‌کننده‌ای در طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی نرم‌افزار ایفا می‌کنند. این نیازمندی‌ها معمولاً به زبان طبیعی و در قالب اسناد متنی، استانداردهای مهندسی، سناریوهای کاربر یا مکالمات ذی‌نفعان بیان می‌شوند. اگرچه زبان طبیعی ابزار مؤثری برای انتقال مفاهیم میان ذی‌نفعان فنی و غیرفنی است، اما ذاتاً با چالش‌هایی نظیر ابهام، چندمعنایی، ناسازگاری و تفسیرپذیری متفاوت همراه است؛ مسئله‌ای که استخراج دقیق و قابل‌اعتماد نیازمندی‌ها را به یکی از پیچیده‌ترین مراحل مهندسی نرم‌افزار تبدیل کرده است.

۲.۲. نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی

از منظر مفهومی، نیازمندی‌های نرم‌افزار معمولاً به دو دسته‌ی نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی تقسیم می‌شوند. نیازمندی‌های عملکردی رفتارها، قابلیت‌ها و خدماتی را توصیف می‌کنند که سیستم باید ارائه دهد و اغلب به‌صورت صریح، کنش‌محور و مبتنی بر افعال عملیاتی بیان می‌شوند. در مقابل، نیازمندی‌های غیرعملکردی به ویژگی‌های کیفی و محدودیت‌های سیستم نظیر کارایی، امنیت، قابلیت اطمینان و مقیاس‌پذیری می‌پردازند و غالباً به‌صورت ضمنی، توصیفی و وابسته به زمینه بیان می‌شوند. این تفاوت ماهوی باعث می‌شود استخراج خودکار نیازمندی‌های غیرعملکردی به‌مراتب پیچیده‌تر از نیازمندی‌های عملکردی باشد، زیرا این نوع نیازمندی‌ها کمتر دارای الگوهای زبانی صریح بوده و بیشتر به استنتاج معنایی نیاز دارند. ازاین‌رو، تمایز میان این دو دسته نقش مهمی در طراحی و انتخاب روش‌های استخراج خودکار ایفا می‌کند.

۳.۲. نقش پردازش زبان طبیعی در مهندسی نیازمندی‌ها

پردازش زبان طبیعی به‌عنوان یکی از شاخه‌های کلیدی هوش مصنوعی، ابزارها و تکنیک‌هایی را برای تحلیل، تفسیر و استخراج اطلاعات از زبان انسانی فراهم می‌کند. در مهندسی نیازمندی‌ها، روش‌های پردازش زبان طبیعی کلاسیک عمدتاً بر تحلیل نحوی و معنایی متن، شناسایی ساختار جمله، برچسب‌گذاری اجزای کلام، تحلیل وابستگی و استخراج موجودیت‌ها و روابط تمرکز دارند. این رویکردها امکان تشخیص جملات نیازمندی، استخراج عناصر ساختاری مانند بازیگران و کنش‌ها، و شناسایی روابطی نظیر وابستگی، تعارض و روابط علت–معلولی را فراهم می‌کنند. مزیت اصلی این روش‌ها در تفسیرپذیری بالا، کنترل‌پذیری و پایداری نتایج آن‌ها نهفته

[2] Large Language Models (LLMs)

[3] Prompt

است؛ با وجود این، این تکنیک‌ها در مواجهه با جملات پیچیده، بیان‌های ضمنی و داده‌های غیرساخت‌یافته، به‌ویژه در استخراج نیازمندی‌های غیرعملکردی، با محدودیت‌هایی جدی روبه‌رو هستند.

۴.۲. یادگیری ماشین در استخراج خودکار نیازمندی‌ها

برای افزایش دقت و کارایی روش‌های مبتنی بر پردازش زبان طبیعی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و به‌ویژه مدل‌های یادگیری عمیق به حوزه‌ی استخراج نیازمندی‌ها وارد شده‌اند. مدل‌هایی مانند ماشینِ بردارِ پشتیبان[۴]، شبکه‌ی عصبیِ پیچشی[۵]، شبکه‌ی حافظه بلندِ کوتاه‌مدت[۶] و حافظه‌ی بلند کوتاه‌مدتِ دوطرفه[۷] توانسته‌اند الگوهای زبانی پیچیده‌تری را نسبت به روش‌های مبتنی بر قواعد شناسایی کنند و در وظایفی مانند طبقه‌بندی جملات نیازمندی و استخراج روابط عملکرد بهتری ارائه دهند. در مقابل، این مدل‌ها به داده‌های برچسب‌خورده‌ی کافی وابسته‌اند و معمولاً فاقد توانایی درک معنای عمیق، استنتاج سطح بالا و فهم نیت ضمنی متن هستند؛ مسئله‌ای که به‌ویژه در تحلیل نیازمندی‌های غیرعملکردی و داده‌های متنی پراکنده نمود بیشتری پیدا می‌کند.

۵.۲. مدل‌های زبانی بزرگ و تحول در استخراج نیازمندی‌ها

ظهور مدل‌های زبانی بزرگ تحولی بنیادین در پردازش زبان طبیعی ایجاد کرده است. این مدل‌ها با بهره‌گیری از معماری‌های مبتنی بر ترنسفورمر[۸] و آموزش بر حجم عظیمی از داده‌های متنی، توانایی قابل‌توجهی در درک معنا، استنتاج، خلاصه‌سازی و تولید متن از خود نشان داده‌اند. در حوزه‌ی مهندسی نیازمندی‌ها، مدل‌های زبانی بزرگ امکان استخراج نیازمندی‌ها از منابع متنی پیچیده مانند اسناد طولانی، بازخورد کاربران، متون چندزبانه و حتی مکالمات ذی‌نفعان را فراهم کرده‌اند. این مدل‌ها قادرند روابط معنایی پنهان، نیت کاربران و وابستگی‌های مفهومی را شناسایی کنند؛ قابلیتی که دستیابی به آن با روش‌های پردازش زبان طبیعی سنتی دشوار است و به‌ویژه در استخراج نیازمندی‌های غیرعملکردی اهمیت بالایی دارد.

۶.۲. چالش‌ها و ضرورت رویکردهای ترکیبی (پردازش زبان طبیعی و مدل‌های زبانی بزرگ)

با وجود مزایای قابل‌توجه، استفاده از مدل‌های زبانی بزرگ در استخراج نیازمندی‌ها بدون چالش نیست. پدیده‌هایی مانند تولید اطلاعات نادرست یا ساختگی، ناپایداری خروجی، وابستگی شدید به نحوه‌ی طراحی پرامپت و عدم پایبندی کامل به قالب‌ها و استانداردهای مستندسازی، استفاده‌ی مستقیم و بدون کنترل از این مدل‌ها را در محیط‌های مهندسی نرم‌افزار با ریسک همراه می‌سازد. این محدودیت‌ها نشان می‌دهد که اتکا به مدل‌های زبانی بزرگ به‌عنوان یک راهکار مستقل، نمی‌تواند به‌تنهایی پاسخ‌گوی نیازهای مهندسی نیازمندی باشد. در نتیجه، رویکردهای پژوهشی اخیر به سمت ترکیب توانایی‌های معناشناختی مدل‌های زبانی بزرگ با دقت ساختاری و نحوی روش‌های پردازش زبان طبیعی کلاسیک حرکت کرده‌اند. در چنین رویکردهای ترکیبی، پردازش زبان طبیعی سنتی برای کنترل ساختار، استخراج الگوهای زبانی، استانداردسازی خروجی و کاهش خطا به کار گرفته می‌شود، در حالی که مدل‌های زبانی بزرگ مسئول درک عمیق معنا، استنتاج مفهومی و پردازش داده‌های غیرساخت‌یافته هستند. این تلفیق امکان بهره‌برداری هم‌زمان از نقاط قوت هر دو دسته از روش‌ها را فراهم می‌کند و می‌تواند دقت استخراج نیازمندی‌ها به‌ویژه نیازمندی‌های غیرعملکردی را افزایش داده و قابلیت اعتماد خروجی را بهبود بخشد.

بر این اساس، مبانی نظری پژوهش حاضر بر این دیدگاه استوار است که استخراج مؤثر و قابل‌اتکای نیازمندی‌های نرم‌افزار از متون طبیعی مستلزم بهره‌گیری یکپارچه از روش‌های ساختارمحور پردازش زبان طبیعی و توانایی‌های معناشناختی مدل‌های زبانی بزرگ است. چنین رویکردی زمینه‌ی لازم برای توسعه‌ی سامانه‌هایی را فراهم می‌کند که قادر باشند نیازمندی‌ها را از منابع متنی متنوع استخراج کرده، آن‌ها را به‌صورت ساخت‌یافته و استاندارد سازمان‌دهی کنند و خروجی‌ای مناسب برای مراحل بعدی چرخه‌ی توسعه‌ی نرم‌افزار ارائه دهند.

۳- پیشینه تحقیق

[4] Support Vector Machine (SVM)
[5] Convolutional Neural Network (CNN)
[6] Long Short-Term Memory (LSTM)
[7] Bidirectional LSTM (BiLSTM)
[8] Transformer

استخراج خودکار نیازمندی‌های نرم‌افزار از متون طبیعی طی سال‌های اخیر به یکی از اصلی‌ترین حوزه‌های پژوهشی در مهندسی نیازمندی‌ها تبدیل شده است. رشد چشمگیر روش‌های پردازش زبان طبیعی و مدل‌های زبانی بزرگ موجب شده پژوهشگران به دنبال روش‌هایی باشند که بتوانند بخش‌های مختلف چرخه‌ی نیازمندی از استخراج، تحلیل، ساختاردهی تا رسمی‌سازی را خودکار کنند. یکی از جامع‌ترین مرورهای نظام‌مند در این زمینه، پژوهش کلاهدوز-رحیمی و همکاران [۱] است که بیش از چهل مطالعه را در حوزه‌ی رسمی‌سازی بررسی کرده و ضعف‌های اساسی مانند نبود چارچوب‌های ارزیابی استاندارد، کمبود داده‌های دامنه‌محور و فقدان ابزارهای انتهابه‌انتها را شناسایی می‌کند. مطابق یافته‌های این مطالعه، بخش عمده‌ای از پژوهش‌ها تنها یک مرحله از فرایند رسمی‌سازی[۹] را پوشش می‌دهند و از یکپارچگی لازم برخوردار نیستند.

سودی و همکاران [۲] رویکردی عملی برای رسمی‌سازی نیازمندی‌ها ارائه کرده‌اند که شامل پنج مرحله‌ی کلیدی از جمله پیش‌پردازش، شناسایی جملات مرتبط، استخراج ویژگی‌ها، تحلیل ساختار معناشناختی و تبدیل به نمایش رسمی است. این پژوهش از نخستین مطالعاتی است که اهمیت تعامل میان مراحل پردازش زبان طبیعی را در کیفیت خروجی رسمی‌سازی نشان می‌دهد. از منظر روش‌شناختی، مقاله‌ی سابتزاده و همکاران [۳] نقش مهمی در استانداردسازی نحوه‌ی انتخاب تکنیک‌های پردازش زبان طبیعی برای وظایف مهندسی نیازمندی دارد. این مطالعه مجموعه‌ای از معیارهای بنیادی مانند نوع داده، پیچیدگی زبانی، تفسیرپذیری، سطح نویز و نیازمندی‌های دامنه‌ای را معرفی کرده و نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های گذشته فاقد طراحی آزمایش دقیق، داده‌ی کافی و معیارهای ارزیابی مناسب بوده‌اند؛ چارچوبی که مبنای محکمی برای انتخاب رویکرد مناسب در پروژه‌های پردازش زبان طبیعی در مهندسی نیازمندی‌ها فراهم می‌آورد. در میان پژوهش‌های تجربی، مقاله‌ی لاتمر و همکاران [۴] یکی از گسترده‌ترین مطالعات در استخراج جملات نیازمندی از استانداردهای مهندسی به شمار می‌رود. این تحقیق با مقایسه‌ی مدل‌های کلاسیک (SVM، CNN، LSTM) و مدل‌های عمیق مانند برت[۱۰] نشان می‌دهد که مدل‌های مبتنی بر توجه[۱۱] به‌طور قابل‌توجهی دقت بیشتری در تشخیص جملات نیازمندی دارند و تأکید می‌کند که به دلیل ساختار رسمی و تفاوت زبانی استانداردهای مهندسی با متون عمومی، مدل‌ها بدون بازآموزی دامنه‌محور عملکرد مطلوبی نخواهند داشت.

در زمینه‌ی تحلیل ساختار معنایی نیازمندی‌ها، پژوهش فراتینی و همکاران [۵] بر استخراج روابط علت–معلولی تمرکز کرده است؛ روابطی که برای تحلیل اثر تغییر و استدلال منطقی درباره‌ی نیازمندی‌ها اهمیت زیادی دارند. این مطالعه با ترکیبی از قواعد نحوی و مدل‌های ترنسفورمر توانسته روابط علی پنهان در متون نیازمندی را استخراج کند. پژوهش دیگری توسط متگر و همکاران [۶] نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از تعبیه‌های معنایی[۱۲] و مدل‌های طبقه‌بندی، روابطی مانند وابستگی، تعارض و پالایش را به‌صورت خودکار تشخیص داد. این دو مطالعه چشم‌انداز مهمی برای خودکارسازی تحلیل سازگاری و کیفیت نیازمندی‌ها فراهم می‌آورند.

در زمینه‌ی پیش‌پردازش، مقاله‌ی فن و همکاران [۷] یکی از معدود پژوهش‌هایی است که به صورت تجربی اهمیت کلمات توقف در متون مهندسی نرم‌افزار را بررسی کرده است. این پژوهش نشان می‌دهد که برخلاف NLP عمومی، بسیاری از کلمات توقف در متون مهندسی حامل معنا هستند و حذف آن‌ها می‌تواند باعث کاهش دقت مدل‌های استخراج یا طبقه‌بندی شود. بنابراین طراحی فهرست کلمات توقف[۱۳] باید حوزه‌محور و متناسب با نیازمندی‌های نرم‌افزار باشد.

در حوزه‌ی استخراج عناصرِ موردِ کاربرد[۱۴]، مطالعه‌ی سوناوان و همکاران [۸] یکی از مهم‌ترین پژوهش‌های مبتنی بر قواعد است که نشان می‌دهد با تحلیل وابستگی، الگوهای نحوی و قواعد زبانی می‌توان عناصر اصلی موردِ کاربرد[۱۵] شاملبازیگر[۱۶]،

[9] formalisation
[10] BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers)
[11] attention-based
[12] embedding
[13] Stop words
[14] Use Case Extraction
[15] Use Case
[16] Actor

هدف[17]، پیش‌شرط‌ها[18] و پس‌شرط‌ها[19] را استخراج کرد. این پژوهش از اولین کارهایی است که استخراج ساختارمند نیازمندی‌ها را از متن طبیعی نشان می‌دهد.

با ظهور مدل‌های زبانی بزرگ، نسل جدیدی از پژوهش‌ها وارد حوزه‌ی استخراج نیازمندی شده‌اند. پایلون و همکاران [۹] با ارائه‌ی یک سیستم مبتنی بر جمع‌سپاری[20] نشان می‌دهند که مدل های زبانی بزرگ[21] قادرند ورودی‌های چندزبانه‌ی کاربران را نرمال‌سازی، ترجمه و تحلیل کرده و نیازمندی‌ها را با دقت بالا استخراج کنند؛ نتیجه‌ای که نمونه‌ی موفقی از کاربرد مدل‌های زبانی بزرگ در داده‌های نویزی و چندزبانه به شمار می‌رود. در سطح روش‌شناختی، مقاله‌ی کسل و همکاران [۱۰] یکی از مهم‌ترین نقدهای علمی بر پژوهش‌های هوش مصنوعی مولد[22] محسوب می‌شود. این مطالعه دوازده ضعف بنیادین از جمله سوگیری، ناپایداری، عدم تکرارپذیری، گزارش‌دهی ناقص، ضعف طراحی آزمایش و نبود کنترل کیفیت را شناسایی کرده و استانداردهایی برای انجام پژوهش‌های معتبر در این حوزه ارائه می‌دهد؛ چارچوبی انتقادی که برای طراحی و تحلیل مطالعه‌ی حاضر ضروری است.

در بخش کاربردی، پژوهش فوگلسانگ و همکاران [۱۱] یک راهنمای مهم برای استفاده از مدل های زبانی بزرگ در وظایف مختلف مهندسی نیازمندی ارائه می‌دهد. این پژوهش نشان می‌دهد مدل‌های زبانی بزرگ در خلاصه‌سازی، بازنویسی، طبقه‌بندی، استخراج اطلاعات و تحلیل کیفیت عملکرد بالایی دارند، اما کیفیت خروجی آن‌ها به‌شدت وابسته به طراحی پرامپت، تنظیمات مدل و تعریف معیارهای ارزیابی است. کریشنا و همکاران [۱۲] نیز عملکرد چند مدل زبانی بزرگ از جمله GPT-4 را در تولید سند مشخصات نیازمندی‌های نرم‌افزار[23] ارزیابی کرده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که اگرچه مدل‌ها توانایی تولید ساختار اولیه‌ی مشخصات نیازمندی‌های نرم‌افزار را دارند، اما دچار مشکلاتی مانند ابهام، ناسازگاری، اضافه‌نویسی و عدم پای‌بندی به قالب‌های استاندارد هستند.

در راستای استخراج پیشرفته‌ی نیازمندی‌ها، پژوهش چارچوب ریکاور[24] توسط وُریا و همکاران [۱۳] یک رویکرد نوآورانه ارائه می‌دهد که نیازمندی‌ها را مستقیماً از مکالمات ذی‌نفعان استخراج می‌کند. این روش شامل یک خط‌لوله‌ی سه‌مرحله‌ای تشخیص بخش‌های مفید مکالمه، تحلیل ساختاری و تولید نیازمندی با استفاده از لاما ۲[25] است و نتایج نشان می‌دهد که خروجی سیستم در برخی موارد با عملکرد مهندسان نیازمندی برابری می‌کند. این پژوهش یکی از مهم‌ترین نمونه‌های استفاده‌ی عملی مدل های زبانی بزرگ در پردازش داده‌های گفتاری واقعی است.

جمع‌بندی این ۱۳ مقاله نشان می‌دهد که پژوهش‌های حوزه‌ی استخراج نیازمندی‌ها از متون طبیعی را می‌توان در دو دسته‌ی اصلی طبقه‌بندی کرد: روش‌های مبتنی بر پردازش زبان طبیعی کلاسیک و روش‌های مبتنی بر مدل‌های زبانی بزرگ. روش‌های پردازش زبان طبیعی سنتی (مراجع ۱ تا ۸) عمدتاً بر تحلیل نحوی، ساختار جمله و استخراج روابط معنایی تمرکز دارند و مزیت آن‌ها در تفسیرپذیری، کنترل‌پذیری و پایداری خروجی است، اما در درک مفاهیم عمیق، جملات پیچیده و داده‌های غیرساخت‌یافته با محدودیت‌هایی جدی روبه‌رو هستند. در مقابل، مطالعات مبتنی بر مدل‌های زبانی بزرگ (مراجع ۹، ۱۱، ۱۲ و ۱۳) ظرفیت‌های بی‌سابقه‌ای برای پردازش معناشناختی، تحلیل داده‌های چندزبانه، استخراج از منابع پیچیده و حتی تولید خودکار اسناد نیازمندی فراهم کرده‌اند، بااین‌حال چالش‌هایی مانند سوگیری، ناپایداری، توهمِ زبانی[26] و وابستگی شدید خروجی به نحوه‌ی طراحی دستوردهی، استفاده‌ی مطمئن و صنعتی از آن‌ها را با ریسک همراه می‌کند. افزون بر این، مطالعات روش‌شناختی (مراجع ۳ و ۱۰) نشان می‌دهند که بخش قابل‌توجهی از پژوهش‌های موجود از طراحی آزمایش ضعیف، ارزیابی ناکافی و نبود معیارهای کنترل کیفیت رنج می‌برند. به‌طور کلی، اگرچه هر دو دسته‌ی روش‌ها نقاط قوت مشخصی دارند، تاکنون هیچ پژوهشی یک راهکار کامل و انتهابه‌انتها برای استخراج نیازمندی‌های که شامل استخراج جملات، تشخیص روابط، ساختاردهی، استانداردسازی و ارزیابی کیفیت ارائه نکرده است؛

[17] Goal
[18] Preconditions
[19] Postconditions
[20] crowd-based
[21] Large Language Models (LLMs)
[22] Generative AI (GenAI)
[23] Software Requirements Specification (SRS)
[24] RECOVER
[25] Llama-2
[26] Hallucination

جدول ۱. خلاصه و مقایسه مطالعات منتخب در استخراج خودکار نیازمندی‌ها

ردیف	نویسندگان (سال)	محور/موضوع پژوهش	روش/الگوریتم اصلی	یافته‌ها و مشارکت کلیدی
۱	کلاهدوز-رحیمی و همکاران (۲۰۲۳) [۱]	رسمی‌سازی نیازمندی‌ها	NLP + یادگیری ماشین	مرور نظام‌مند گسترده؛ شناسایی شکاف‌ها مثل نبود داده‌ی دامنه‌محور، نبود چارچوب ارزیابی استاندارد و کمبود ابزارهای انتهابه‌انتها.
۲	سودی و همکاران (۲۰۲۳) [۲]	خط‌لوله‌ی رسمی‌سازی	خط‌لوله‌ی NLP	ارائه‌ی خط‌لوله‌ی چندمرحله‌ای (پیش‌پردازش تا تبدیل به نمایش رسمی) و نشان دادن اثر مستقیم کیفیت مراحل اولیه بر خروجی رسمی‌سازی.
۳	سابتزاده و همکاران (۲۰۲۴) [۳]	راهنمای روش‌شناختی در NLP برای مهندسی نیازمندی‌ها	تحلیل روش‌ها/چارچوب تصمیم‌گیری	ارائه‌ی معیارهای انتخاب و ارزیابی تکنیک‌های NLP در مهندسی نیازمندی (ابهام، نوع وظیفه، تفسیرپذیری، مقیاس داده و...)، و نقد ضعف طراحی آزمایش در پژوهش‌های پیشین.
۴	لومتر و همکاران (۲۰۲۳) [۴]	استخراج نیازمندی از استانداردهای مهندسی	SVM / CNN / BERT	ارزیابی تجربی بزرگ‌مقیاس؛ برتری مدل‌های مبتنی بر توجه (مانند BERT) و تأکید بر تفاوت زبان استانداردهای مهندسی با متن عمومی و نیاز به آموزش/تنظیم دامنه‌محور.
۵	فراتینی و همکاران (۲۰۲۰) [۵]	استخراج روابط (علت–معلولی)	قواعد نحوی + Transformer	استخراج روابط علت–معلولی برای تحلیل تغییر، استدلال منطقی و کشف وابستگی‌های پنهان در نیازمندی‌ها.
۶	متگر و همکاران (۲۰۲۵) [۶]	طبقه‌بندی روابط نیازمندی	تعبیه‌های معنایی + دسته‌بند	تشخیص خودکار روابطی مانند وابستگی/تعارض/پالایش؛ گزارش قابلیت اتکا در مقایسه با تحلیل انسانی.
۷	فن و همکاران (۲۰۲۳) [۷]	پیش‌پردازش متن در مهندسی نرم‌افزار	تحلیل آماری + NLP	نشان می‌دهد فهرست کلمات توقف عمومی برای متون مهندسی نرم‌افزار مناسب نیست و حذف نادرست آن‌ها می‌تواند دقت مدل‌ها را کاهش دهد؛ نیاز به فهرست کلمات توقف دامنه‌محور.
۸	سوناوان و همکاران (۲۰۲۵) [۸]	استخراج عناصر «موارد کاربرد»	قواعد NLP + تحلیل وابستگی	استخراج ساختاریافته عناصر Use Case مانند بازیگر، سناریو، پیش‌شرط/پس‌شرط از متن نیازمندی؛ نمونه‌ی شاخص رویکردهای قواعدمحور.
۹	پایلون و همکاران (۲۰۲۴) [۹]	استخراج نیازمندی با مدل های زبانی بزرگ در محیط چندزبانه	تعبیه‌های مدل های زبانی بزرگ	نرمال‌سازی/ترجمه/استخراج نیازمندی از ورودی نویزی و چندزبانه‌ی کاربران؛ مناسب سناریوهای بازخورد کاربری.
۱۰	کسل و اتکینسون (۲۰۲۴) [۱۰]	چالش‌های «هوش مولد» در مهندسی نرم‌افزار	تحلیل مفهومی/روش‌شناختی	شناسایی ضعف‌های پژوهشی GenAI (سوگیری، ناپایداری، تکرارپذیری، گزارش‌دهی ناقص و...) و ارائه‌ی توصیه‌های روش‌شناختی برای پژوهش قابل اتکا.

۱۱	فوگلسانگ و فیشباخ (۲۰۲۵) [۱۱]	کاربرد مدل های زبانی بزرگ در وظایف مهندسی نیازمندی	مدل‌های زبانی بزرگ (مانند GPT) + راهنمای عملی	راهنمای کاربردی برای وظایف (خلاصه‌سازی، بازنویسی، طبقه‌بندی، استخراج) و تأکید بر وابستگی کیفیت خروجی به طراحی دستور/پرامپت و ارزیابی دقیق.
۱۲	کریشنا و همکاران (۲۰۲۴) [۱۲]	تولید «سند مشخصات نیازمندی‌ها»	GPT-4 / GPT-3.5	قابلیت تولید پیش‌نویس سند مشخصات نیازمندی‌ها، اما همراه با ابهام/ناسازگاری/اضافه‌نویسی و نیاز به نظارت انسانی و کنترل کیفیت.
۱۳	وُریا و همکاران (۲۰۲۴) [۱۳]	استخراج نیازمندی از مکالمات ذی‌نفعان	NLP + LLM (LLaMA-2)	خط‌لوله‌ی استخراج از گفتگوهای واقعی؛ نتایج نزدیک به عملکرد انسانی در برخی سناریوها و نمونه‌ی مهم استخراج از داده‌ی غیرساخت‌یافته گفتگومحور.

ازاین‌رو، خلأ اصلی در ادبیات، نبود یک رویکرد ترکیبی است که بتواند دقت نحوی پردازش زبان طبیعی کلاسیک را با قدرت معناشناختی مدل‌های زبانی بزرگ ادغام کند، هدفی که پژوهش حاضر دقیقاً در راستای آن تعریف شده است.

برای جمع‌بندی و مقایسه‌ی نظام‌مند مطالعات منتخب، جدول ۱ خلاصه‌ای از محور پژوهش، روش/الگوریتم اصلی و مهم‌ترین یافته‌ها و مشارکت‌های کلیدی هر مقاله را ارائه می‌کند. این جدول به‌صورت فشرده نشان می‌دهد که مطالعات پیشین چگونه میان رویکردهای قواعدمحور پردازش زبان طبیعی، روش‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق و رویکردهای مبتنی بر مدل‌های زبانی بزرگ توزیع شده‌اند و هر دسته چه نوع خروجی‌ها و محدودیت‌هایی را گزارش کرده است. جمع‌بندی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه رویکردهای موجود هر یک بخشی از مسئله‌ی استخراج نیازمندی‌ها را پوشش می‌دهند، فقدان یک چارچوب انتهابه‌انتها که بتواند قابلیت‌های معناشناختی مدل‌های زبانی بزرگ را با دقت و کنترل‌پذیری پردازش زبان طبیعی تلفیق کند، همچنان به‌عنوان خلأ اصلی پژوهشی باقی مانده است. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با هدف پاسخ به این خلأ و ارائه‌ی یک رویکرد ترکیبی طراحی شده است.

۴- روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف تحلیل و ارزیابی رویکردهای استخراج خودکار نیازمندی‌های نرم‌افزار از متون طبیعی، از یک طرح پژوهشی تحلیلی–مقایسه‌ای بهره می‌گیرد. در این طرح، به‌جای ارائه‌ی یک مرور صرف، یک رویکرد مرجع که دارای فرایند نسبتاً کامل استخراج نیازمندی و مبتنی بر مدل‌های زبانی بزرگ است، به‌صورت عمیق بررسی شده و سپس با سه مطالعه‌ی مکمل که نماینده‌ی جهت‌گیری‌های متفاوت در استخراج نیازمندی هستند مقایسه می‌شود. این طراحی امکان ارزیابی ساختارمندِ نوع داده‌ی ورودی، میزان ساختارمندی متن، تکنیک‌های پردازشی، نوع خروجی و سازوکارهای کنترل کیفیت را فراهم می‌سازد و در نهایت مبنایی برای استخراج شکاف‌ها و ارائه‌ی دیدگاه تحلیلی پژوهش حاضر ایجاد می‌کند.

۱.۴. طرح پژوهش و رویکرد مرجع

در چارچوب این پژوهش، مقاله‌ی «استخراج خودکار نیازمندی‌ها از مکالمات ذی‌نفعان[۲۷]» به‌عنوان مطالعه‌ی مرجع انتخاب شده است[۱۳]. این رویکرد با هدف استخراج نیازمندی‌ها از مکالمات ذی‌نفعان طراحی شده و به دلیل بهره‌گیری از مدل‌های زبانی بزرگ و ارائه‌ی یک خط‌لوله‌ی نسبتاً انتهابه‌انتها، به‌عنوان مبنای مقایسه در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه، برای جلوگیری از تکرار، از عبارات «رویکرد مرجع»، «چارچوب مرجع» یا «مطالعه‌ی مرجع» بهره گرفته می‌شود. دلیل انتخاب این رویکرد مرجع، تمرکز مستقیم آن بر استخراج خودکار نیازمندی‌ها، استفاده از مدل‌های زبانی بزرگ، به‌کارگیری داده‌های واقعی و غیرساخت‌یافته‌ی گفتگوهای ذی‌نفعان و ارائه‌ی یک خط‌لوله‌ی انتهابه‌انتها برای فرایند استخراج است[۱۳]. این ویژگی‌ها باعث می‌شود رویکرد مرجع نقطه‌ی اتکای مناسبی برای مقایسه‌ی

[27] RECOVER: Toward the Automatic Requirements Generation from Stakeholders' Conversations

علمی و بررسی نقاط قوت و محدودیت‌ها در حوزه‌ی مهندسی نیازمندی باشد.

۲.۴. مروری بر چارچوب مرجع

چارچوب مرجع یک رویکرد انتهابه‌انتها برای استخراج نیازمندی‌های نرم‌افزار مستقیماً از مکالمات ذی‌نفعان ارائه می‌دهد [۱۳]. فرض اصلی این رویکرد آن است که بخش قابل‌توجهی از نیازمندی‌ها در مراحل اولیه و در خلال گفتگوها و تعاملات میان ذی‌نفعان شکل می‌گیرد، اما به دلیل ماهیت غیرساخت‌یافته‌ی این داده‌ها، اغلب به‌صورت ناقص یا غیرسیستماتیک ثبت می‌شود [۱۳]. بر همین اساس، رویکرد مرجع تلاش می‌کند با پردازش مکالمات خام و بهره‌گیری از توانایی معناشناختی مدل‌های زبانی بزرگ، نیازمندی‌ها را به شکل متنی استخراج کند.

این چارچوب مسئله‌ی استخراج را از طریق یک خط‌لوله‌ی چندمرحله‌ای مدیریت می‌کند. در مرحله‌ی نخست، رونوشت مکالمات خام تحلیل می‌شود و بخش‌هایی که به‌طور بالقوه مرتبط با نیازمندی‌ها هستند شناسایی می‌گردند تا نویز موجود در داده کاهش یابد [۱۳]. در مرحله‌ی بعد، پردازش‌های زبانی و ساختاری روی بخش‌های منتخب اعمال می‌شود تا داده برای تحلیل معنایی آماده شود [۱۳]. در نهایت، یک مدل زبانی بزرگ (مبتنی بر لاما-۲[۲۸]) برای استخراج و تولید نیازمندی‌های متنی به کار گرفته می‌شود و خروجی، مجموعه‌ای از نیازمندی‌های استخراج‌شده از محتوای مکالمات است [۱۳]. نقطه‌ی قوت اصلی این چارچوب در توانایی آن برای پردازش داده‌های کاملاً غیرساخت‌یافته و بهره‌گیری از درک معنایی عمیق مدل‌های زبانی بزرگ نهفته است؛ بااین‌حال، تمرکز محدود بر ساختاردهی صریح خروجی، تمایز روشن میان نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی و نیز انطباق کامل با قالب‌ها و استانداردهای رایج مستندسازی نیازمندی‌ها از جمله محدودیت‌هایی است که مبنای تحلیل مقایسه‌ای پژوهش حاضر را تشکیل می‌دهد.

۳.۴. دامنه‌ی مقایسه و مطالعات منتخب

به‌منظور قرار دادن رویکرد مرجع در یک بستر تحلیلی مناسب، سه پژوهش دیگر به‌عنوان مطالعات مقایسه‌ای انتخاب شده‌اند که هر یک نماینده‌ی یک جهت‌گیری متفاوت در استخراج خودکار نیازمندی‌ها هستند. مقاله‌ی استخراج عناصر موردِ کاربرد از اسناد نیازمندی[۲۹] نماینده‌ی رویکردهای مبتنی بر پردازش زبان طبیعی کلاسیک و قواعد زبانی است که بر استخراج ساختارهای مشخصی مانند عناصر «موارد کاربرد/سناریوی کاربری» از اسناد متنی تمرکز دارد [۸]. مقاله‌ی به‌کارگیری مدل‌های زبانی بزرگ در سند مشخصات نیازمندی‌های نرم‌افزار[۳۰] کاربرد مدل‌های زبانی بزرگ را در تولید یا بازنویسی سند مشخصات نیازمندی‌های نرم‌افزار بررسی می‌کند و تصویری تجربی از توانایی‌ها و محدودیت‌های این مدل‌ها ارائه می‌دهد [۱۲]. در نهایت، مقاله‌ی مهندسی نیازمندیِ مبتنی بر جمع‌سپاریِ چندزبانه با استفاده از مدل‌های زبانی بزرگ[۳۱] رویکردی مبتنی بر مدل‌های زبانی بزرگ را برای استخراج نیازمندی‌ها از بازخورد کاربران در محیط‌های چندزبانه معرفی می‌کند [۹]. این مجموعه از مطالعات، دامنه‌ی مقایسه‌ی پژوهش حاضر را شکل داده و امکان تحلیل رویکرد مرجع در کنار روش‌های قواعدمحور و مدل‌محور را فراهم می‌سازد.

۴.۴. تحلیل مقایسه‌ای

در راستای تحلیل ساختارمند رویکرد مرجع و مقایسه‌ی آن با سه مطالعه‌ی منتخب، لازم است ابعاد کلیدی این رویکردها بر اساس معیارهای مشترک مورد ارزیابی قرار گیرد. این معیارها شامل نوع منبع داده، میزان ساختارمندی ورودی، تکنیک پردازشی غالب، تمرکز استخراج، نوع خروجی تولیدشده، میزان تمایز میان نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی و همچنین سازوکارهای کنترل کیفیت خروجی است. چنین مقایسه‌ای امکان می‌دهد نقاط قوت و محدودیت‌های هر رویکرد نه به‌صورت منفرد، بلکه در یک چارچوب تحلیلی مشترک بررسی شود و تصویر روشن‌تری از جایگاه رویکرد مرجع در میان روش‌های قواعدمحور و مدل‌محور ارائه گردد. جدول ۲ خلاصه‌ای از این تحلیل مقایسه‌ای را ارائه می‌کند و نشان می‌دهد هر رویکرد در برابر معیارهای یادشده چه سطحی از پوشش و کارایی را فراهم می‌ساز

[28] LLaMA-2

[29] Extracting Use Case Elements from Requirement Documents

[30] Using LLMs in Software Requirements Specifications

[31] Multilingual Crowd-Based Requi ments Engineering Using LLMs

جدول ۲. مقایسه‌ی چارچوب مرجع با سه رویکرد منتخب در استخراج نیازمندی‌ها

معیار مقایسه	رویکرد مرجع: استخراج از مکالمات [۱۳]	استخراج عناصر موارد کاربرد [۸]	مدل زبانی بزرگ در سند مشخصات نیازمندی‌ها [۱۲]	استخراج نیازمندی از بازخورد کاربران چندزبانه [۹]
منبع داده	مکالمات ذی‌نفعان	اسناد نیازمندی	اسناد مشخصات نیازمندی‌ها	بازخورد کاربران
میزان ساختار داده	غیرساخت‌یافته	نیمه‌ساخت‌یافته	نیمه‌ساخت‌یافته	غیرساخت‌یافته
تکنیک اصلی	مدل زبانی بزرگ (LLaMA-2)	پردازش زبان طبیعی قواعدی	مدل زبانی بزرگ	تعبیه‌های مدل زبانی بزرگ
تمرکز استخراج	استخراج انتهابه‌انتها	استخراج ساختارها	تولید/بازنویسی سند	استخراج نیازمندی
نوع خروجی	نیازمندی متنی	عناصر موارد کاربرد	سند مشخصات نیازمندی‌های نرم‌افزار	نیازمندی استخراج‌شده
تمایز نیازمندی‌ها	ندارد	محدود	ضمنی	محدود
کنترل کیفیت خروجی	محدود	بالا	محدود	متوسط

۵.۴. مشاهدات تحلیلی و جمع‌بندی روش

نتایج تحلیل مقایسه‌ای نشان می‌دهد رویکرد مرجع در پردازش داده‌های غیرساخت‌یافته و ارائه‌ی فرایند انتهابه‌انتها برای استخراج نیازمندی از مکالمات، نسبت به رویکردهای متکی بر اسناد ساختارمند مزیت دارد [۱۳]. بااین‌حال، از منظر قابلیت اتکا در محیط‌های مهندسی، ضعف‌هایی مانند نبود تمایز صریح نیازمندی‌های عملکردی/غیرعملکردی، محدود بودن کنترل کیفیت خروجی و عدم ارائه‌ی قالب استاندارد برای نمایش نیازمندی‌ها همچنان چالش‌زا است [۱۳]. در مقایسه با آن، رویکردهای قواعدمحور در استخراج ساختارهای دقیق و قابل‌کنترل‌تر موفق‌ترند [۸]، اما انعطاف معنایی کمتری نسبت به مدل‌های زبانی بزرگ دارند. در سوی دیگر، مطالعات مرتبط با تولید/بازنویسی «سند مشخصات نیازمندی‌های نرم‌افزار» و نیز استخراج نیازمندی از بازخورد کاربران چندزبانه نشان می‌دهند که مدل‌های زبانی بزرگ در درک معنایی و پوشش تنوع زبانی توانمند هستند، اما کنترل کیفیت و استانداردسازی خروجی همچنان مسئله‌ای کلیدی باقی می‌ماند [۱۲]، [۹].

جمع‌بندی روش تحقیق حاضر نشان می‌دهد که طراحی تحلیلی—مقایسه‌ای اتخاذشده، با قرار دادن یک رویکرد مدل‌محور به‌عنوان نقطه‌ی مرجع و سنجش آن در برابر سه رویکرد مکمل، امکان شناسایی شکاف‌های موجود و نیازهای توسعه‌ای را فراهم ساخته است. بر این اساس، دیدگاه پژوهش حاضر بر این فرض استوار است که ادغام توانایی معناشناختی مدل‌های زبانی بزرگ با دقت ساختاری و تفسیرپذیری روش‌های پردازش زبان طبیعی کلاسیک می‌تواند مسیر مناسبی برای بهبود استخراج خودکار نیازمندی‌ها به‌ویژه در تمایز عملکردی/غیرعملکردی، کنترل کیفیت و استانداردسازی خروجی ایجاد کند و مبنایی برای ارائه و ارزیابی چارچوب‌های کاربردی‌تر در مطالعات آتی باشد.

۵- نتیجه گیری

این پژوهش با هدف ترسیم تصویری منسجم از وضعیت پژوهش‌های مرتبط با استخراج خودکار نیازمندی‌های نرم‌افزار از متون طبیعی و شناسایی مسیرهای قابل دفاع برای بهبود آن انجام شد. مرور مطالعات نشان داد که رویکردهای ساختارمحور پردازش زبان طبیعی، به‌واسطه‌ی تکیه بر تحلیل‌های نحوی و

الگوهای صریح، در استخراج عناصر قابل‌ردیابی و تولید خروجی‌های کنترل‌پذیرتر عملکرد مناسبی دارند، اما در مواجهه با متن‌های نویزی، بیان‌های ضمنی و داده‌های غیرساخت‌یافته (مانند گفتگوها و بازخوردهای پراکنده) با افت کارایی روبه‌رو می‌شوند. از منظر دیگر، رویکردهای مبتنی بر مدل‌های زبانی بزرگ توانایی بیشتری در پوشش تنوع زبانی، فهم زمینه و استخراج از منابع غیرساخت‌یافته نشان می‌دهند؛ بااین‌حال، چالش‌هایی مانند ناپایداری نتایج، حساسیت به دستوردهی و احتمال تولید خروجی نادرست، مانع استفاده‌ی مستقیم و بدون کنترل از آن‌ها در فرایندهای مهندسی می‌شود.

در بخش روش تحقیق، با اتخاذ یک چارچوب تحلیلی–مقایسه‌ای و انتخاب یک مطالعه‌ی مرجع مبتنی بر استخراج نیازمندی از مکالمات ذی‌نفعان، مقایسه‌ی نظام‌مند با سه رویکرد مکمل انجام شد. تحلیل مقایسه‌ای نشان داد که اگرچه رویکردهای مدل‌محور در استخراج انتهابه‌انتها از داده‌های واقعی غیرساخت‌یافته امیدوارکننده‌اند، اما نبود تفکیک شفاف نیازمندی‌های عملکردی و غیرعملکردی، ضعف در قالب‌بندی و استانداردسازی خروجی، و کمبود سازوکارهای روشن برای کنترل کیفیت، موجب می‌شود خروجی آن‌ها برای استفاده‌ی مستقیم در مستندسازی و تصمیم‌گیری مهندسی کافی نباشد. از سوی دیگر، روش‌های ساختارمحور پردازش زبان طبیعی، به دلیل قواعد صریح و امکان ردیابی، خروجی پایدارتر و قابل اعتمادتر تولید می‌کنند، اما برای پوشش کامل پیچیدگی‌های معنایی و زمینه‌ای متن، به تقویت معناشناختی نیاز دارند.

بر این اساس، جمع‌بندی اصلی مقاله آن است که مسیر قابل دفاع برای ارتقای استخراج خودکار نیازمندی‌ها، توسعه‌ی رویکردهای ترکیبی است: بهره‌گیری از توانایی معناشناختی مدل‌های زبانی بزرگ برای فهم متن‌های پیچیده و غیرساخت‌یافته، همراه با به‌کارگیری مؤلفه‌های ساختارمحور پردازش زبان طبیعی برای استانداردسازی، تفکیک دقیق نیازمندی‌ها، کاهش خطا و کنترل کیفیت. در ادامه، پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده بر طراحی معیارهای ارزیابی دقیق و تکرارپذیر، ایجاد سازوکارهای کنترل کیفیت چندمرحله‌ای، و ارائه‌ی خروجی ساخت‌یافته و نزدیک به قالب‌های رایج مستندسازی تمرکز کنند تا به‌کارگیری سامانه‌های استخراج نیازمندی در پروژه‌های واقعی، قابل اعتمادتر و کاربردی‌تر شود.

۶- منابع

1. Kolahdouz-Rahimi, S., K. Lano, and C. Lin, Requirement formalisation using natural language processing and machine learning: A systematic review. arXiv preprint arXiv:2303.13365, 2023.
2. Sudhi, V., L. Kutty, and R. Gröpler. Natural language processing for requirements formalization: How to derive new approaches? in Concurrency, Specification and Programming: Revised Selected Papers from the 29th International Workshop on Concurrency, Specification and Programming (CS&P'21), Berlin, Germany. 2023. Springer.
3. Sabetzadeh, M. and C. Arora, Practical guidelines for the selection and evaluation of NLP techniques in RE. arXiv preprint, 2024.
4. Luttmer, J., et al., Requirements extraction from engineering standards–systematic evaluation of extraction techniques. Procedia CIRP, 2023. 119: p. 794-799.
5. Frattini, J., et al. Automatic extraction of cause-effect-relations from requirements artifacts. in Proceedings of the 35th IEEE/ACM International conference on automated software engineering. 2020.
6. Motger, Q. and X. Franch, Automated Requirements Relations Extraction, in Handbook on Natural Language Processing for Requirements Engineering. 2025, Springer. p. 177-206.
7. Fan, Y., C. Arora, and C. Treude. Stop words for processing software engineering documents: Do they matter? in 2023 IEEE/ACM 2nd International Workshop on Natural Language-Based Software Engineering (NLBSE). 2023. IEEE.
8. Sonawane, S. and S. Puthran, Extracting use case elements from requirement documents: a natural language processing approach. Requirements Engineering, 2025: p. 1-28.
9. Pilone, A., et al., Multilingual crowd-based requirements engineering using large language models. arXiv preprint arXiv:2408.06505, 2024.
10. Kessel, M. and C. Atkinson, Morescient GAI for Software Engineering (Extended Version). arXiv preprint arXiv:2406.04710, 2024.
11. Vogelsang, A. and J. Fischbach, Using large language models for natural language processing tasks in requirements engineering: A systematic guideline, in Handbook on Natural Language Processing for Requirements Engineering. 2025, Springer. p. 435-456.
12. Krishna, M., et al. Using llms in software requirements specifications: An empirical evaluation. in 2024 IEEE 32nd International Requirements Engineering Conference (RE). 2024. IEEE.
13. Voria, G., et al., RECOVER: Toward the Automatic Requirements Generation from Stakeholders'

How to cite: H. Rahmani, A. Ameri and N. Aghayee Meybodi "Automatic Software Requirements Extraction from Natural Language Texts Using Natural Language Processing and Large Language Models," *Journal of Distributed Computing and Systems*, Vol. 8, No. 2, Serial No. 16, pp. 174–184, 2026.

Automatic Software Requirements Extraction from Natural Language Texts Using Natural Language Processing and Large Language Models

Hossein Rahmani[1], Alireza Ameri[2] and Nasrin Aghaee Meybodi[3]*

[1] Department of Computer Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

[2] Department of Computer Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Central Tehran Branch,

[3] Department of Computer Engineering, Islamic Azad University, Meybod Branch, Meybod, Iran

Abstract

Automatic extraction of software requirements from natural language texts remains a fundamental challenge in Requirements Engineering due to ambiguity, variability, and the unstructured nature of textual sources. Traditional Natural Language Processing (NLP) techniques provide structured and interpretable outputs; however, they often struggle with implicit expressions, complex sentence structures, and non-functional requirements. On the other hand, Large Language Models (LLMs) demonstrate strong semantic understanding and reasoning capabilities, enabling more effective processing of conversational and heterogeneous textual data. Nevertheless, concerns such as output instability, prompt sensitivity, and hallucination limit their direct application in engineering contexts.

This study adopts an analytical–comparative research design to examine a reference LLM-based framework and compare it with three representative approaches in requirements extraction from documents and user feedback. The comparative analysis evaluates data structure, extraction techniques, output format, quality control mechanisms, and requirement categorization capabilities. The findings indicate that while LLM-based approaches offer superior performance in handling unstructured and multilingual data, achieving reliable and standardized outputs requires integration with structure-oriented NLP techniques. Consequently, the study highlights the necessity of hybrid frameworks that combine semantic intelligence with structural control to enhance reliability, quality assurance, and standard compliance in automated requirements extraction.

Keywords: Requirements Engineering, Automatic Requirements Extraction, Natural Language Processing, Large Language Models, Quality Control

Conversations. arXiv e-prints, 2024: p. arXiv: 2411.19552.

نسرین آقایی – استادیار دانشکده علوم کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی میبد. علایق تحقیقاتی او شامل یادگیری ماشینی، داده های بزرگ محاسبات موازی و بیوانفورماتیک است.

نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:

aghaee.meybodi@maybodiau.ac.ir

حسین رحمانی فارغ التحصیل رشته‌ی مهندسی کامپیوتر از دانشگاه یزد است و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر گرایش نرم افزار دانشگاه آزاد اسلامی یزد می‌باشد. او در حال حاضر به عنوان برنامه نویس در یکی از شرکت های نرم افزاری یزد مشغول به کار است.

نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:

hosseinrahmani3007@gmail.com

علیرضا عامری فارغ التحصیل رشته ی مهندسی کامپیوتر از دانشگاه شهید رجایی تهران است و در حال حاضر دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوترگرایش نرم افزار دانشگاه آزاد واحد تهران مرکزی می‌باشد. او در حال حاضر به بعنوان برنامه نویس در یکی از شرکت های سمنان به صورت ریموت مشغول به کار است.

نشانه رایانامه ایشان عبارتند از:

alireza.ameri.official@gmail.com

روش ارجاع: ح. رحمانی، ع. عامری و نسرین آقایی میبدی «استخراج نیازمندی‌های نرم‌افزار از متون طبیعی با پردازش زبان طبیعی و مدل‌های زبانی بزرگ»، دوفصلنامه محاسبات و سامانه‌های توزیع‌شده، سال هشتم، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۶، صفحات ۱۷۴ تا ۱۸۴، ۱۴۰۴.