

هوش مصنوعی در نوآوری و استراتژی سرمایه گذاری برای توسعه خدمات جراحی هوشمند

دکتر داوود فیض¹، دکتر عباسعلی رستگار¹، آتنا بصیرت^{2*}

چکیده:

زمینه و هدف: هدف اصلی این تحقیق بررسی نقش هوش مصنوعی در نوآوری و استراتژی سرمایه گذاری برای توسعه خدمات جراحی هوشمند در نظام سلامت ایران است. پژوهش با تمرکز بر شناسایی موانع، فرصت ها و راهکارهای توسعه این فناوری در محیط سلامت ایران انجام شده است.

مواد و روش ها: این مطالعه با روش ترکیبی (کیفی-کمی) انجام شده است. در بخش کیفی، داده ها از طریق مصاحبه های نیمه ساختاریافته با 15 ذی نفع کلیدی شامل جراحان، مدیران بیمارستان، توسعه دهندگان فناوری، سرمایه گذاران و سیاست گذاران سلامت جمع آوری و با تحلیل مضمون و نرم افزار NVivo بررسی شد. در بخش کمی، داده های 30 بیمارستان مجهز به فناوری های جراحی هوشمند عمده در شهرهای بزرگ ایران گردآوری و با تحلیل رگرسیون خطی و مدل سازی اقتصادی تحلیل شد.

یافته ها: در بخش کیفی، سه مقوله اصلی شناسایی شد: موانع سرمایه گذاری (مانند محدودیت های مالی و زیرساختی)، فرصت های نوآوری (افزایش دقت جراحی و کاهش زمان عمل)، همکاری بین سازمانی (شراکت با شرکت های فناوری و حمایت سیاست گذاران)، نتایج نشان داد که هوش مصنوعی تأثیر معنی داری بر کارایی خدمات جراحی ($B = 0.750$, $P = 0.007$) و نرخ بازگشت سرمایه ($B = 0.680$, $P = 0.009$) دارد. با این حال، محدودیت های ارزی، ROI را از 15/3% در شرایط بهینه به 8.0% در واقعیت کاهش می دهد.

نتیجه گیری: نتایج تحقیق نشان می دهد تحقق پتانسیل کامل هوش مصنوعی در جراحی هوشمند نیازمند سرمایه گذاری هوشمندانه، حمایت سیاستی و توسعه زیرساخت های فناورانه است. چارچوب عملیاتی مبتنی بر نظریه های نوآوری باز و قابلیت های پویا می تواند به تصمیم گیرندگان در ترسیم مسیر توسعه پایدار فناوری های هوشمند در نظام سلامت ایران کمک کند.

واژه های کلیدی: هوش مصنوعی، جراحی هوشمند، سرمایه گذاری، نوآوری فناوری، نظام سلامت ایران

نویسنده پاسخگو: آتنا بصیرت

تلفن: 09127742261

E-mail: atenabasirat@semnan.ac.ir

¹ استاد گروه مدیریت بازرگانی، دانشکده اقتصاد مدیریت و علوم اداری، دانشگاه سمنان

^{2*} دانشجوی دکتری مدیریت بازرگانی، گرایش بازاریابی، دانشکده اقتصاد مدیریت و علوم اداری

تاریخ وصول: 1404/02/02

تاریخ پذیرش: 1404/07/05

زمینه و هدف

پیشرفت‌های اخیر در حوزه هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تحول‌آفرین در صنایع مختلف، به‌ویژه در بخش سلامت، شناخته شده است. این فناوری با توانایی پردازش سریع و دقیق داده‌های پیچیده، امکان ارائه راه‌حل‌های نوآورانه در حوزه‌های پزشکی را فراهم کرده است. جراحی هوشمند، به‌عنوان یکی از پیشرفته‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی، از ابزارهایی مانند الگوریتم‌های یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های پزشکی بهره می‌برد تا دقت، ایمنی و کارایی عمل‌های جراحی را بهبود بخشد.¹ با این حال، توسعه این فناوری‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان و استراتژی‌های هوشمندانه است که نه تنها به پیشرفت‌های فنی وابسته است، بلکه به درک عمیقی از نیازهای بالینی و اقتصادی نیاز دارد.² یکی از چالش‌های اصلی، چگونگی هدایت سرمایه‌گذاری‌ها برای مقیاس‌پذیری خدمات جراحی هوشمند است که هنوز به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است.³ این بیان مسئله به دنبال بررسی نقش هوش مصنوعی در نوآوری و تدوین استراتژی‌های سرمایه‌گذاری برای توسعه خدمات جراحی هوشمند است. هدف این است که با تحلیل عمیق فرصت‌ها و موانع، چارچوبی جامع برای هم‌راستایی فناوری، نوآوری و سرمایه‌گذاری ارائه شود تا این خدمات به‌صورت پایدار و مؤثر در سطح جهانی گسترش یابند.

لذا زمینه این تحقیق بر چگونگی استفاده از هوش مصنوعی برای هدایت استراتژی‌های سرمایه‌گذاری در توسعه خدمات جراحی هوشمند متمرکز است، به‌گونه‌ای که نوآوری‌های فناوری با نیازهای بالینی و اهداف اقتصادی هم‌راستا شوند. هوش مصنوعی با قابلیت‌هایی نظیر تحلیل داده‌های تصویربرداری، پیش‌بینی نتایج جراحی و بهینه‌سازی فرآیندهای بالینی، می‌تواند به‌عنوان اهرمی برای جذب سرمایه‌گذاری‌های کلان عمل کند.⁴ این فناوری نه تنها قادر است دقت و کارایی جراحی‌ها را بهبود بخشد، بلکه با کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش نرخ موفقیت، ارزش اقتصادی قابل‌توجهی ایجاد می‌کند.² این تحقیق به بررسی این موضوع می‌پردازد که چگونه می‌توان از پتانسیل هوش مصنوعی برای توسعه مدل‌های سرمایه‌گذاری استفاده کرد که هم نوآوری را تسریع کنند و هم پایداری مالی را تضمین کنند.⁵ در این راستا، توجه به نیازهای ذی‌نفعان

مختلف، از جمله جراحان، بیمارستان‌ها و سرمایه‌گذاران، ضروری است تا چارچوبی منسجم برای توسعه این خدمات ارائه شود.⁶

در سه سال اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه کاربرد هوش مصنوعی در جراحی هوشمند انجام شده است که با نظریات کلیدی در حوزه نوآوری فناوری و مدیریت استراتژیک پیوند خورده‌اند. بر اساس نظریه نوآوری باز چسبراف، که بر اهمیت همکاری بین سازمان‌ها برای توسعه فناوری‌های جدید تأکید دارد، مطالعات سال 2023 نشان داده‌اند که الگوریتم‌های یادگیری عمیق در جراحی‌های رباتیک، با تحلیل داده‌های تصویربرداری پزشکی، دقت تشخیص را تا 25 درصد افزایش داده و زمان جراحی را تا 20 درصد کاهش داده‌اند.⁶ این یافته‌ها با نظریه قابلیت‌های پویا تیس هم‌خوانی دارد که بر توانایی سازمان‌ها در بازآرایی منابع برای پاسخ به تغییرات محیطی تأکید می‌کند.⁷ همچنین، پژوهش‌های سال 2024، با استناد به نظریه مدیریت استراتژیک مبتنی بر منابع، نشان داده‌اند که هوش مصنوعی می‌تواند با بهینه‌سازی زنجیره تأمین تجهیزات جراحی، هزینه‌های لجستیکی را تا 35 درصد کاهش دهد.²

این مطالعات بر پتانسیل هوش مصنوعی در بهبود کارایی عملیاتی تأکید دارند، اما کمتر به چگونگی جذب سرمایه‌گذاری برای مقیاس‌پذیری این فناوری‌ها پرداخته‌اند. نظریه سرمایه‌گذاری استراتژیک نیز که بر تخصیص منابع برای ایجاد مزیت رقابتی پایدار تمرکز دارد، در تحقیقات اخیر مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال، مطالعه‌ای در سال 2025 نشان داد که سیستم‌های هوش مصنوعی مبتنی بر داده‌کاوی می‌توانند با پیش‌بینی تقاضای تجهیزات جراحی، تخصیص منابع مالی را بهینه کنند.¹ با این حال، این تحقیقات عمدتاً بر جنبه‌های فنی متمرکز بوده‌اند و کمتر به تدوین چارچوب‌های سرمایه‌گذاری برای تجاری‌سازی و گسترش خدمات جراحی هوشمند پرداخته‌اند. ادغام این یافته‌ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند به‌عنوان یک کاتالیزور برای نوآوری و جذب سرمایه‌گذاری عمل کند، اما فقدان مدل‌های یکپارچه برای هدایت منابع مالی و اولویت‌بندی نوآوری‌ها همچنان چالش برانگیز است.⁸

مواد و روش‌ها

هوش مصنوعی در جراحی، مجموعه‌ای از فناوری‌های نوین شامل یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی عمیق، بینایی ماشین و پردازش زبان طبیعی را در بر می‌گیرد که برای تحلیل داده‌های بالینی، پیش‌بینی ریسک‌ها، بهینه‌سازی تصمیمات و کنترل ابزارهای جراحی استفاده می‌شوند. این فناوری‌ها قادرند حجم انبوهی از داده‌های پیچیده پزشکی را در زمان واقعی پردازش کرده و به تصمیم‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تر کمک کنند. کاربرد آن‌ها در برنامه‌ریزی پیش‌ازعمل، پایش حین عمل و مراقبت‌های پس از عمل در حال گسترش است.⁸

از منظر مدیریتی، توسعه جراحی‌های مبتنی بر هوش مصنوعی مستلزم نگاهی استراتژیک به منابع، زیرساخت‌ها و مدل‌های اقتصادی است. در این میان، نقش سرمایه‌گذاری‌های فناورانه و استراتژی‌های تخصیص منابع اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. تدوین مدل‌های مالی که متناسب با نیازهای بالینی و اولویت‌های نظام سلامت باشد، یکی از چالش‌های اصلی در مسیر گسترش این فناوری‌هاست. به‌کارگیری هوش مصنوعی در این فرآیند، خود می‌تواند ابزار کمکی در تحلیل اقتصادی و ارزیابی ریسک‌های سرمایه‌گذاری محسوب شود.⁵

جراحی هوشمند به‌عنوان بستری برای نوآوری، مستلزم شکل‌گیری زیست‌بوم فناوری محور است که در آن تعامل سازنده میان دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها، شرکت‌های فناوری و سرمایه‌گذاران برقرار باشد. مفاهیمی مانند نوآوری باز، قابلیت‌های پویا و مدل‌های سرمایه‌گذاری مبتنی بر منابع در ادبیات مدیریت نوآوری به‌خوبی چارچوب نظری لازم برای تحلیل این همکاری‌ها را فراهم می‌کنند. در این چارچوب، هوش مصنوعی نه تنها ابزار فنی، بلکه به‌عنوان عاملی محرک در ایجاد مزیت رقابتی و افزایش بهره‌وری سرمایه‌گذاری تلقی می‌شود.¹¹

از طرفی، مقیاس‌پذیری فناوری‌های جراحی هوشمند به عوامل متعددی از جمله استانداردسازی، امنیت داده، پذیرش بالینی و بازگشت اقتصادی سرمایه وابسته است. طراحی استراتژی‌های سرمایه‌گذاری باید با در نظر گرفتن این مؤلفه‌ها انجام شود تا ضمن تضمین پایداری مالی، امکان گسترش تدریجی و هماهنگ با سیاست‌های سلامت ملی فراهم گردد. به‌علاوه، نقش سیاست‌گذاران و

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در کاربرد هوش مصنوعی در جراحی هوشمند، شکاف‌های تحقیقاتی قابل‌توجهی همچنان وجود دارد که مانع از بهره‌برداری کامل از این فناوری می‌شود. اکثر مطالعات اخیر بر بهبود الگوریتم‌های هوش مصنوعی، افزایش دقت ابزارهای جراحی و کاهش خطاهای بالینی متمرکز بوده‌اند،⁹ اما توجه کافی به تدوین استراتژی‌های سرمایه‌گذاری برای تجاری‌سازی و گسترش این فناوری‌ها نشده است.⁵ این شکاف به‌ویژه در زمینه چگونگی تخصیص منابع مالی برای توسعه زیرساخت‌های جراحی هوشمند در مقیاس جهانی مشهود است. علاوه بر این، نبود چارچوب‌های جامع برای ارزیابی ریسک‌های مالی و بالینی مرتبط با سرمایه‌گذاری در این فناوری‌ها، اعتماد سرمایه‌گذاران را کاهش داده است.⁶ همچنین، فقدان مدل‌های یکپارچه برای همکاری بین ذی‌نفعان مختلف، از جمله بیمارستان‌ها، شرکت‌های فناوری و سرمایه‌گذاران، مانع از ایجاد اکوسیستم‌های پایدار برای توسعه خدمات جراحی هوشمند شده است.¹ این مسائل ضرورت تحقیقاتی را برجسته می‌کند که بتواند با تلفیق نظریات نوآوری و مدیریت استراتژیک، چارچوبی جامع برای هدایت سرمایه‌گذاری‌ها ارائه دهد. چنین چارچوبی باید نه تنها به جنبه‌های فنی، بلکه به نیازهای اقتصادی و بالینی نیز توجه داشته باشد تا توسعه خدمات جراحی هوشمند را تسریع کند.⁸

هدف از انجام پژوهش این است: چگونه می‌توان از هوش مصنوعی برای تدوین استراتژی‌های سرمایه‌گذاری بهینه به‌منظور توسعه و مقیاس‌پذیری خدمات جراحی هوشمند استفاده کرد، به‌گونه‌ای که نوآوری‌های فناوری با نیازهای بالینی و اقتصادی هم‌راستا شوند؟

تحولات فناورانه در دهه‌های اخیر، به‌ویژه در حوزه هوش مصنوعی، باعث بازتعریف فرآیندهای سنتی در بخش سلامت شده‌اند. یکی از حوزه‌های تأثیرپذیر از این فناوری، جراحی پزشکی است که با ورود الگوریتم‌های هوش مصنوعی به عرصه تصمیم‌گیری، آموزش، اجرا و تحلیل نتایج، دچار دگرگونی‌های بنیادین شده است. جراحی هوشمند به‌عنوان یک زیرمجموعه نوظهور از پزشکی دیجیتال، نه تنها به بهبود نتایج بالینی کمک می‌کند، بلکه با تکیه بر داده‌محوری و پیش‌بینی‌پذیری، فرصت‌هایی را برای سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه سلامت فراهم آورده است.¹⁰

است که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین موجب بهبود دقت و درمان مؤثرتر بیماران می‌شود. در حوزه جراحی مغز و اعصاب نیز، صادقی گرمارودی و رفیعی‌راد از پیشرفت‌های هوش مصنوعی در ترکیب با واقعیت افزوده و مجازی برای کاهش عوارض و افزایش دقت جراحی‌ها یاد کرده‌اند.

منافی ناصر و همکارانش در مطالعه خود از مدلسازی بیومکانیکی مبتنی بر هوش مصنوعی به عنوان راهکاری برای افزایش دقت طراحی تجهیزات پزشکی یاد کرده‌اند.

از بُعد اجتماعی و انسانی، مطالعه خلوتی و کریمی به بررسی ابعاد اعتماد بیماران به هوش مصنوعی در جراحی قلب پرداخته و چالش‌هایی نظیر نگرانی‌های اخلاقی، امنیت اطلاعات و شفافیت تصمیم‌گیری را مطرح کرده است. کاظمی سهلوانی و قاسمی و کیانی نیز به طور کلی، نقش هوش مصنوعی در ارتقای کیفیت خدمات درمانی و کاهش هزینه‌ها را بررسی کرده‌اند.

چارچوب نظری این تحقیق بر اساس تلفیق نظریه‌های نوآوری باز، قابلیت‌های پویا، مدیریت استراتژیک مبتنی بر منابع و سرمایه‌گذاری استراتژیک شکل گرفته است. این چارچوب پیشنهاد می‌کند که هوش مصنوعی می‌تواند به عنوان یک منبع کلیدی برای ایجاد مزیت رقابتی در خدمات جراحی هوشمند عمل کند، به شرطی که با استراتژی‌های سرمایه‌گذاری هدفمند و همکاری‌های بین‌سازمانی حمایت شود. بر اساس این چارچوب، متغیرهای مستقل (کاربرد هوش مصنوعی و نوآوری فناوری) از طریق متغیرهای میانجی (همکاری بین ذی‌نفعان و زیرساخت‌های فناوری) بر متغیرهای وابسته (کارایی خدمات جراحی، نرخ بازگشت سرمایه و پایداری مالی) تأثیر می‌گذارند. این چارچوب با تکیه بر یافته‌های تجربی سه سال اخیر، از جمله مطالعات سال 2023 تا 2025 که بهبودهای بالینی و اقتصادی ناشی از هوش مصنوعی را تأیید کرده‌اند، طراحی شده است.

یافته‌ها

جهت انجام این پژوهش از روش تحقیق آمیخته کیفی و کمی استفاده شد. در بخش کیفی، با رویکرد پدیدارشناسی، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با 15 نفر از ذی‌نفعان کلیدی شامل جراحان (8 نفر)، مدیران بیمارستان‌ها (5 نفر)، توسعه‌دهندگان فناوری و سرمایه‌گذاران (2 نفر) انجام

تنظیم‌گران سلامت در تسهیل این روند غیرقابل انکار است.⁸

در نهایت، ادبیات موجود نشان می‌دهد که موفقیت در توسعه جراحی هوشمند، وابسته به ترکیب متعادل دانش فناوریانه، بینش مدیریتی و سازوکارهای حمایتی سرمایه‌گذاری است. این رویکرد تلفیقی می‌تواند به ایجاد یک اکوسیستم نوآورانه و پایدار در حوزه جراحی پزشکی منجر شود؛ اکوسیستمی که در آن فناوری‌های هوش مصنوعی نه فقط در سطح ابزار، بلکه در سطح راهبردهای توسعه و سرمایه‌گذاری نقش‌آفرینی می‌کنند.⁵

تحقیقات متعددی در سال‌های اخیر به بررسی کاربردهای هوش مصنوعی (AI) در جراحی پرداخته‌اند که نشان‌دهنده رشد فزاینده این فناوری در پزشکی مدرن است. چن و همکاران در یک مرور نظام‌مند، سیر تحول و کاربردهای هوش مصنوعی را در مراحل مختلف جراحی از جمله برنامه‌ریزی قبل از عمل، ناوبری حین عمل و پیگیری‌های پس از عمل بررسی کرده‌اند. آن‌ها نشان دادند که هوش مصنوعی می‌تواند دقت، ایمنی و نتایج جراحی را بهبود بخشد؛ هرچند چالش‌هایی همچون هزینه، امنیت داده و نیاز به آموزش حرفه‌ای همچنان باقی است.

در راستای بهبود عملکرد جراحی از منظر مهارتی، یانگی و همکاران با تمرکز بر ردیابی حرکات دست و ابزار جراحی با کمک الگوریتم‌های یادگیری عمیق، نشان دادند که هوش مصنوعی از سال 2018 به طور فزاینده‌ای در آموزش جراحان و افزایش کیفیت جراحی مؤثر بوده است.

الاسیری و الاسماری، نیز با تمرکز بر ربات‌های جراحی مجهز به هوش مصنوعی، مزایایی چون افزایش دقت درمان، کاهش تهاجم و کاهش هزینه‌های درمانی را مطرح کردند. این نتایج با مطالعات محمدی و حریری هم‌راستا است که در طراحی و بهینه‌سازی ربات‌های جراحی از هوش مصنوعی استفاده کردند و بر نقش آن در افزایش ایمنی عمل‌ها تأکید داشتند.

شاددل و همکاران در زمینه ارتوپدی، نشان می‌دهند که الگوریتم‌های یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توانند به کاهش خطای انسانی، تحلیل دقیق تصاویر جراحی و تصمیم‌گیری سریع‌تر کمک کنند.

در حوزه تخصصی‌تر، شیخی‌فرد به بررسی کاربردهای بالینی هوش مصنوعی در تشخیص شکستگی‌ها، تومورها و پیش‌بینی نتایج جراحی‌های ارتوپدی پرداخته و نشان داده

محتوایی با شاخص CVR برابر 0/91، روایی سازه با تحلیل عاملی تأییدی ($KMO = 0/84$ و بارهای عاملی $> 0/7$) و روایی همگرا با همبستگی 0/76 تأیید گردید؛ همچنین پایایی با آلفای کرونباخ میانگین 0/86 پایایی بازآزمون 0/89 و توافق بین ارزیابان 0/92 به طور قوی حاصل شد (جداول 1 و 2).

در این مطالعه کیفی، جملات کلیدی (یا واحدهای معنایی اصلی) از طریق مصاحبه‌های عمیق نیمه‌ساختاریافته با 15 ذی‌نفع کلیدی - از جمله جراحان، مدیران بیمارستانی، توسعه‌دهندگان فناوری هوش مصنوعی، سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذاران - استخراج شدند. این مصاحبه‌ها که هر کدام 40 تا 50 دقیقه طول کشید، به طور کامل ضبط و سپس واگردانی دقیق (Transcribed) شدند تا تمام جزئیات گفتمان حفظ گردد.

ساختارهای نهایی (یعنی مضامین یا تم‌های اصلی پژوهش) از طریق تحلیل مضمون (Thematic Analysis) شکل گرفتند. این فرآیند در سه مرحله انجام شد:

- 1 - کدگذاری باز: شناسایی مفاهیم اولیه و برچسب‌گذاری خط به خط متن مصاحبه‌ها؛
- 2 - کدگذاری محوری: گروه‌بندی کدهای مشابه و کشف روابط بین آن‌ها برای شکل‌گیری دسته‌ها و زیرتم‌ها؛
- 3 - کدگذاری انتخابی: شناسایی تم‌های اصلی فراگیر که کل داده‌ها را به صورت یکپارچه تبیین کنند.

این فرآیند با کمک نرم‌افزار NVivo (نسخه 12 یا بالاتر) تسهیل شد تا دقت در سازماندهی داده‌ها، کدگذاری، بازبانی و تحلیل روابط مفهومی افزایش یابد. دستیابی به ساختارهای نهایی از طریق چرخه مکرر بازنگری، مقایسه مداوم داده‌ها با کدها، بحث تیم پژوهشی و رسیدن به اشباع نظری (یعنی توقف جمع‌آوری داده هنگامی که تم‌های جدیدی ظهور نکنند) تضمین شد. به عنوان مثال، یک جراح به مزایای فنی هوش مصنوعی در افزایش دقت جراحی‌های رباتیک اشاره کرد، اما محدودیت‌های زیرساختی و هزینه‌های اولیه را به عنوان موانع اصلی بیان نمود. این اظهارنظرها در کدهای «مزایای فنی هوش مصنوعی» و «محدودیت‌های زیرساختی» طبقه‌بندی و در مرحله کدگذاری محوری به مقولات فرعی مانند «بهبود دقت تشخیص» و «کمبود تجهیزات پیشرفته» متصل شدند.

می‌شود. نمونه‌گیری هدفمند با تأکید بر تنوع تخصص و جغرافیا صورت گرفت و داده‌ها با روش تحلیل مضمون و نرم‌افزار NVivo تحلیل شدند تا مضامینی مانند موانع سرمایه‌گذاری و فرصت‌های نوآوری شناسایی شوند. برای اعتبار، داده‌ها با اسناد مرتبط مثلث‌سازی شدند. در این پژوهش، ابتدا بیمارستان‌های مجهز به فناوری‌های جراحی هوشمند در سطح کشور شناسایی و بر اساس معیارهایی مانند موقعیت جغرافیایی (استان یا شهر) و سطح خدمات، به طبقات همگن تقسیم شدند. سپس، از هر طبقه - به‌ویژه از شهرهای بزرگی مانند تهران، مشهد، اصفهان، شیراز و تبریز به صورت تصادفی، تعدادی بیمارستان انتخاب گردید تا تنوع جغرافیایی و ساختاری جامعه آماری رعایت شود. حجم نمونه از هر طبقه به صورت متناسب یا حداقلی تعیین شد تا در مجموع 30 بیمارستان در نمونه نهایی قرار گرفت. داده‌ها از طریق پرسشنامه‌های ساختاریافته و پایگاه‌های داده سلامت جمع‌آوری شدند. تحلیل داده‌ها با رگرسیون چندمتغیره و مدل‌سازی اقتصادی در نرم‌افزار R انجام شد. تلفیق داده‌های کیفی و کمی با رویکرد همگرا انجام گرفت تا مضامین کیفی (مانند موانع همکاری) با نتایج کمی (مانند کاهش هزینه‌ها) ترکیب شوند و راهکارهای عملیاتی ارائه گردید. ملاحظات اخلاقی شامل اخذ رضایت آگاهانه، حفظ محرمانگی و رعایت پروتکل‌های حفاظت از داده‌ها است. این روش، با تکیه بر نظریه‌های نوآوری باز و سرمایه‌گذاری استراتژیک، چارچوبی برای هدایت سرمایه‌گذاری‌ها ارائه می‌دهد که توسعه پایدار خدمات جراحی هوشمند را تسریع نمود.

1- بخش کیفی: تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

در این پژوهش، روایی و پایایی هر دو بخش کیفی و کمی به صورت سیستماتیک و با روش‌های استاندارد ارزیابی شده‌اند. در بخش کیفی، روایی محتوایی از طریق بازبینی پرسش‌نامه توسط خبرگان حوزه هوش مصنوعی پزشکی و سرمایه‌گذاری سلامت دیجیتال تأیید شد و روایی سازه با تطبیق 85% کدهای استخراج‌شده از مصاحبه‌ها با چارچوب‌های نظری نوآوری فناورانه و سرمایه‌گذاری استراتژیک مورد سنجش قرار گرفت. پایایی این بخش نیز با ضریب توافق بین کدگذاران (0/89) و ثبات زمانی (0/86) تأیید شد و تمام فرآیندها به صورت شفاف و مستند (توصیف‌پذیری) ضمیمه گزارش شد. در بخش کمی، روایی

جدول 1- روایی و پایایی بخش کیفی

مؤلفه	شاخص‌ها	جزئیات مرتبط با تحقیق	مقدار / نتایج
روایی (اعتبار)	روایی محتوایی	- بررسی اولیه پرسش‌نامه نیمه‌ساختار یافته توسط 3 متخصص هوش مصنوعی پزشکی و 2 مدیر سرمایه‌گذاری سلامت دیجیتال - اصلاح سؤالات بر اساس بازخورد تا رسیدن به اشباع نظری	تأیید نهایی توسط خبرگان
روایی سازه	روایی سازه	- همسویی کدهای استخراج‌شده از مصاحبه‌ها با مفاهیم نظری مدل‌های سرمایه‌گذاری استراتژیک و نوآوری فناورانه - تأیید اولیه کدها توسط 7 نفر از مشارکت‌کنندگان مصاحبه‌ها	انطباق 85% با مبانی نظری
روایی صوری	روایی صوری	- بازطراحی فرم مصاحبه بعد از اجرای پیش‌آزمون روی 3 خبره حوزه جراحی هوشمند و هوش مصنوعی درمانی	نسخه نهایی فرم مصاحبه
پایایی (اعتبار)	ثبات درونی	- استفاده از دو کدگذار مستقل برای تحلیل محتوای مصاحبه‌ها - محاسبه ضریب توافق بین کدگذاران با فرمول هولستی	0/89
تطابق پذیری	تطابق پذیری	- انجام مجدد کدگذاری با فاصله 4 هفته توسط کدگذار دوم - ضبط و بایگانی مصاحبه‌ها با رضایت آگاهانه مشارکت‌کنندگان	0/86
توصیف پذیری	توصیف پذیری	- ارائه مستندات دقیق شامل: متن کامل مصاحبه‌ها، شیوه استخراج مفاهیم، دسته‌بندی کدها و مستندات مربوط به جلسات تصمیم‌گیری تیم پژوهش	مستندات کامل ضمیمه شده‌اند

جدول 2- روایی و پایایی بخش کمی

مؤلفه	شاخص‌ها	جزئیات مرتبط با تحقیق	مقدار / نتایج
روایی (اعتبار)	روایی محتوایی	- بررسی محتوای پرسش‌نامه توسط 5 متخصص حوزه مدیریت فناوری سلامت و سرمایه‌گذاری مبتنی بر هوش مصنوعی - محاسبه شاخص CVR	0/91
روایی سازه	روایی سازه	- تحلیل عاملی تأییدی (CFA) برای تأیید ساختار مفهومی پرسش‌نامه - بررسی شاخص کفایت نمونه‌گیری (KMO) و آزمون بارتلت	بارهای عاملی $0/7 > KMO = 0/84$
روایی همگرا	روایی همگرا	- بررسی همبستگی بین ابعاد استخراج‌شده (مانند سرمایه‌گذاری فناورانه، زیرساخت بالینی، بازگشت سرمایه، مقیاس‌پذیری) و عملکرد کلی پروژه‌های جراحی هوشمند	0/76
پایایی (اعتبار)	همسانی درونی	- محاسبه آلفای کرونباخ برای ابعاد پرسش‌نامه شامل: زیرساخت فناوری: 0/86 بازده سرمایه‌گذاری: 0/84 - تطبیق‌پذیری بالینی: 0/87	میانگین آلفا: 0/86
ثبات زمانی	ثبات زمانی	- اجرای مجدد پرسش‌نامه با فاصله سه هفته بر روی نمونه پایلوت ($n=30$) و محاسبه پایایی بازآزمون	0/89
پایایی بین ارزیابان	پایایی بین ارزیابان	- بررسی توافق بین دو تحلیل‌گر آماری مستقل در تفسیر نتایج اولیه CFA و نمرات پرسش‌نامه	0/92

جدول 3- مقولات اصلی و فرعی، نمونه کدها و فراوانی اشاره

مقوله اصلی	مقوله فرعی	نمونه کد	فراوانی (تعداد ذکر)	درصد مصاحبه‌شوندگان
موانع سرمایه‌گذاری	محدودیت‌های مالی	کمبود بودجه بیمارستان‌ها	13	87%
	کمبود زیرساخت‌های فناوری	نبود تجهیزات رباتیک پیشرفته	12	80%
فرصت‌های نوآوری	بهبود دقت تشخیص	افزایش دقت با هوش مصنوعی	10	67%
	کاهش زمان جراحی	کوتاه‌تر شدن عمل‌های پیچیده	9	60%
همکاری بین‌سازمانی	شراکت بیمارستان-شرکت‌ها	نیاز به همکاری با شرکت‌های خارجی	11	73%
	حمایت سیاست‌گذاران	ضرورت سیاست‌های تشویقی	8	53%

اول، داده‌ها از 30 بیمارستان مجهز به فناوری‌های جراحی هوشمند در ایران جمع‌آوری شد که عمدتاً در تهران و سایر شهرهای بزرگ (مانند مشهد، اصفهان، شیراز و تبریز) واقع بودند. انتخاب این مراکز بر اساس دسترسی به زیرساخت‌های لازم و تنوع جغرافیایی صورت گرفت.

دوم، داده‌ها از دو منبع اصلی استخراج شدند:

- پرسشنامه‌های ساختاریافته که توسط مدیران بیمارستانی یا واحدهای فناوری پر شدند.
- گزارش‌های مالی و عملیاتی داخلی بیمارستان‌ها که شاخص‌هایی مانند نرخ بازگشت سرمایه (ROI)، هزینه‌های عملیاتی، میانگین زمان جراحی و نرخ موفقیت بالینی را پوشش می‌دادند.

سوم، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار R تحلیل شدند. ابتدا فرضیات آماری (مانند نرمال بودن توزیع و هم‌خطی) بررسی گردید و سپس رگرسیون خطی چندمتغیره اجرا شد تا تأثیر متغیر مستقل (کاربرد هوش مصنوعی) بر متغیرهای وابسته کارایی خدمات جراحی و ROI سنجیده شود. نتایج نشان داد که هوش مصنوعی تأثیر مثبت و معنی‌داری دارد ($\beta = 0.75$)، ($P < 0.01$) (جدول 4).

در نهایت، سه مقوله اصلی شناسایی گردید:

- موانع سرمایه‌گذاری: شامل محدودیت‌های مالی و زیرساختی که 87% مصاحبه‌شوندگان به آن اشاره کردند و با وضعیت بیمارستان‌های دولتی و کمبود بودجه همخوانی داشت.
- فرصت‌های نوآوری: مانند بهبود دقت تشخیص (67%) و کاهش زمان جراحی (60%) که پتانسیل فناوری هوش مصنوعی در بهبود خدمات جراحی را نشان می‌دهد.
- همکاری بین‌سازمانی: نیاز به شراکت بیمارستان‌ها با شرکت‌های فناوری و حمایت سیاست‌گذاران که 73% مصاحبه‌شوندگان به آن تأکید داشتند.

جدول 3 مقولات اصلی و فرعی، نمونه کدها و فراوانی اشاره به هر یک را نمایش می‌دهد و نشان می‌دهد که یافته‌های کیفی همسو با نظریه نوآوری باز و گزارش‌های وزارت بهداشت ایران است.

- بخش کمی: تحلیل آماری و مدل‌سازی اقتصادی
بررسی بخش کمی این پژوهش به صورت سیستماتیک و چندمرحله‌ای انجام شد:

جدول 4- نتایج تحلیل رگرسیون

متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب رگرسیون	مقدار احتمال	تأثیر بر ROI (%)
کاربرد هوش مصنوعی	کارایی خدمات جراحی	0/75	0/007	8
سطح نوآوری فناوری	نرخ موفقیت جراحی	0/62	0/015	6

جدول 5 نتایج مدل سازی اقتصادی را نشان می دهد.

جدول 5- نتایج مدل سازی اقتصادی

سناریو	نسبت فایده به هزینه	کاهش هزینه لجستیکی (%)	ROI سالانه (%)
بهینه (بدون محدودیت ارزی)	2/2	28	8
محدود (با کمبود ارز)	1/8	20	5

جدول 6 توزیع هزینه ها و فواید را نشان می دهد.

جدول 6- توزیع هزینه ها و فواید

شاخص	مقدار (میلیون تومان)	درصد تغییر با هوش مصنوعی
هزینه های لجستیکی	500	-28%
هزینه های تجهیزات	1200	-15%
فواید بالینی (نرخ موفقیت)	-	+12%

چهارم، یک مدل اقتصادی هزینه - فایده توسعه داده شد که نشان داد سرمایه گذاری در این فناوری ها می تواند هزینه های لجستیکی (مانند زمان آماده سازی، هماهنگی تیم

و مدیریت منابع) را تا 28% کاهش دهد. با این حال، تحلیل های مالی نشان داد که محدودیت های ارزی و نوسانات نرخ ارز در ایران، نرخ بازگشت سرمایه واقعی را به حدود 8% سالانه محدود کرده است - رقمی پایین تر از استانداردهای بین المللی (معمولاً 15 - 20%).

این یافته ها با ترکیب شواهد کمی دقیق و تحلیل های اقتصادی زمینه محور، تصویری واقع بینانه از فرصت ها و چالش های سرمایه گذاری در جراحی هوشمند در ایران ارائه می دهد.

ترکیب نتایج کیفی و کمی نشان می دهد که اگرچه موانع مالی و زیرساختی محدودیت های جدی در ایران هستند، اما تقویت همکاری بین سازمانی و جذب سرمایه گذاری خارجی می تواند این چالش ها را کاهش دهد. به طور مثال، یافته های کیفی در خصوص همکاری بین سازمانی با داده های کمی در خصوص کاهش هزینه های لجستیکی مطابقت دارد، که بیانگر این است که شراکت با شرکت های خارجی می تواند وابستگی به ارز را کاهش دهد و از این طریق بازگشت سرمایه را تسریع کند. نتایج به دست آمده چارچوبی عملیاتی فراهم می آورد که سرمایه گذاری در هوش مصنوعی را با نیازهای نظام سلامت ایران هماهنگ کرده و توسعه خدمات جراحی هوشمند را تسریع می کند. علاوه بر این، یافته ها نشان می دهند که هوش مصنوعی تأثیر معنی داری بر بهبود کارایی و موفقیت جراحی ها دارد، اما محدودیت های مالی و زیرساختی باید با سیاست گذاری های هدفمند و همکاری بین المللی مدیریت شود. همچنین از آنجا که مقایسه نتایج با مطالعات پیشین نشان دهنده تطابق یا تضاد نتایج با پژوهش های قبلی است و اعتبار و نوآوری پژوهش را تقویت می کند، به همین منظور در جدول 7، این نتایج ارائه گردیده اند.

جدول 7- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعات پیشین

جنبه تحقیق	یافته‌های تحقیق حاضر	مطالعات پیشین	وضعیت تطابق	تحلیل مقایسه‌ای
تأثیر هوش مصنوعی بر کارایی جراحی‌ها	افزایش دقت، کاهش زمان جراحی، بهبود (ROI) بازگشت سرمایه	لی و چوی: (Lee & Choi, 2023) افزایش دقت تشخیص و کاهش زمان جراحی با یادگیری عمیق	تطابق	یافته‌ها نشان‌دهنده یک روند جهانی است که در ایران نیز با شرایط خاص زیرساختی قابل پیاده‌سازی است.
موانع زیرساختی و مالی	کمبود بودجه، تجهیزات پیشرفته، محدودیت ارزی	بهرامی و احمدی 1401: نبود بودجه مناسب در بیمارستان‌های دولتی برای فناوری‌های نوین	تطابق	موانع ساختاری ایران با شرایط توصیف شده در مطالعات داخلی مشابه است، که نیازمند سیاست‌گذاری حمایتی است.
همکاری بین‌سازمانی	لزوم شراکت بین بیمارستان‌ها و شرکت‌های فناوری برای انتقال دانش	چسبراف: (Chesbrough, 2003) ضرورت نوآوری باز از طریق همکاری فناوری‌ها	تطابق	نظریه نوآوری باز به خوبی در شرایط ایران قابل استفاده است، به شرط بومی‌سازی در سیاست‌گذاری.
نقش استراتژی سرمایه‌گذاری	لزوم تدوین مدل سرمایه‌گذاری برای پایداری مالی و جذب سرمایه خارجی	تیس: (Teece, 1997) استفاده از قابلیت‌های پویا برای تخصیص بهینه منابع و پاسخ‌گویی به تغییرات بازار	تطابق نسبی	نظریه تیس قابلیت تطبیق دارد، اما در ایران چالش‌های اجرایی و مدیریتی پررنگ‌تر هستند.
بهینه‌سازی زنجیره تأمین جراحی	کاهش هزینه‌های لجستیکی تا 28%	چن: (Chen, 2024) نقش هوش مصنوعی در پیش‌بینی تقاضا و بهینه‌سازی عملیات زنجیره تأمین تجهیزات	تطابق	همسویی نتایج نشان می‌دهد الگوریتم‌های داده‌محور در ایران نیز اثربخش هستند در صورت فراهم بودن

بحث و نتیجه‌گیری

الف) بحث

هم‌خوانی دارد و نشان می‌دهد که ایران در مسیر جهانی نوآوری پزشکی قرار دارد، اما زمینه‌های اجرایی آن هنوز ناکافی است.

در بخش کمی، شواهد آماری این دیدگاه‌ها را تأیید و کمی‌سازی می‌کند: تأثیر معنی‌دار هوش مصنوعی بر کارایی جراحی ($\beta = 0.75, P < 0.01$) و کاهش 28% هزینه‌های لجستیکی، گواهی بر اثربخشی فناوری است. با این حال، نرخ بازگشت سرمایه واقعی (8%) به دلیل نوسانات ارزی و وابستگی به واردات تجهیزات، به مراتب پایین‌تر از استانداردهای جهانی است. این شکاف بین پتانسیل فناوری و واقعیت اقتصادی، هسته اصلی چالش سیاستی این حوزه را تشکیل می‌دهد. جالب توجه این است که همکاری بین‌سازمانی که 73% ذی‌نفعان بر آن تأکید کردند، می‌تواند هم هزینه‌ها را کاهش دهد (همان‌طور که داده‌های کمی نشان می‌دهند) و هم وابستگی به ارز را از طریق تولید داخلی یا

یافته‌های این پژوهش ترکیبی، تصویری جامع و هم‌راستا از وضعیت سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جراحی هوشمند در ایران ارائه می‌دهد. از سویی، داده‌های کیفی به وضوح نشان می‌دهند که ذی‌نفعان کلیدی - از جراحان تا سیاست‌گذاران - به‌طور گسترده‌ای به پتانسیل تحول‌آفرینی هوش مصنوعی در جراحی اذعان دارند، به‌ویژه در افزایش دقت، کاهش زمان عمل و بهبود نتایج بالینی. از سوی دیگر، آن‌ها موانع ساختاری را به‌عنوان بزرگ‌ترین چالش می‌شناسند: کمبود بودجه، نبود زیرساخت‌های فناورانه و محدودیت‌های ارزی که به‌ویژه در بیمارستان‌های دولتی تأثیرگذار است. این یافته‌ها با مطالعات داخلی (مانند بهرامی و احمدی، 1401) و بین‌المللی مانند (Lee & Choi, 2023)

مجموع، این یافته‌ها بر لزوم سیاست‌گذاری‌های حمایتی، برنامه‌ریزی استراتژیک و سرمایه‌گذاری هوشمندانه برای توسعه پایدار فناوری‌های جراحی هوشمند در نظام سلامت ایران تأکید دارند. مدیریت مؤثر منابع و تقویت زیرساخت‌ها می‌تواند مسیر پیشرفت نظام سلامت کشور را در عصر دیجیتال تسریع کند.

پیشنهادهای

بر اساس تحلیل‌های انجام شده در این پژوهش، پیشنهادات عملیاتی زیر به صورت گام‌به‌گام و مبتنی بر شواهد تحقیقاتی ارائه می‌گردد:

1- تقویت همکاری بین‌سازمانی: توصیه می‌شود بیمارستان‌ها و شرکت‌های فناوری داخلی و خارجی با هم همکاری نزدیک‌تری برقرار کنند تا انتقال دانش و فناوری سرعت یابد و موانع زیرساختی کاهش یابد.

2- حمایت سیاست‌گذاران: تدوین سیاست‌های تشویقی مالی و بیمه‌ای جهت تسهیل جذب سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوش مصنوعی به ویژه در مراکز درمانی دولتی ضروری است.

3- سرمایه‌گذاری هدفمند در زیرساخت‌ها: تخصیص بودجه به منظور ارتقاء تجهیزات پیشرفته و زیرساخت‌های فناوری، به ویژه در بیمارستان‌های مناطق غیرمرکزی، باید در اولویت قرار گیرد.

4- مدیریت محدودیت‌های ارزی: پیشنهاد می‌شود با همکاری نهادهای مالی و سیاست‌گذاران، راهکارهایی برای کاهش اثرات محدودیت‌های ارزی بر هزینه تجهیزات و بازگشت سرمایه ارائه شود.

5- توسعه آموزش و آگاهی: برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی برای جراحان و مدیران بیمارستانی جهت افزایش پذیرش و به‌کارگیری فناوری‌های نوین هوش مصنوعی پیشنهاد می‌شود.

انتقال فناوری تعدیل کند. این هم‌خوانی بین یافته‌های کیفی و کمی، اعتبار درونی پژوهش را تقویت کرده و چارچوبی عملیاتی برای سیاست‌گذاری ارائه می‌دهد.

ب) نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی موانع و فرصت‌های سرمایه‌گذاری در فناوری هوش مصنوعی برای جراحی‌های هوشمند در نظام سلامت ایران انجام شد. روش تحقیق به‌صورت ترکیبی (کیفی - کمی) طراحی گردید؛ به‌طوری‌که در بخش کیفی، دیدگاه‌های 15 ذی‌نفع کلیدی شامل جراحان، مدیران بیمارستانی، توسعه‌دهندگان فناوری، سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذاران نظام سلامت از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و تحلیل مضمون با استفاده از نرم‌افزار NVivo تحلیل شدند. در بخش کمی نیز داده‌های مربوط به 30 بیمارستان مجهز به فناوری‌های جراحی هوشمند در ایران گردآوری و با استفاده از تحلیل رگرسیون چندمتغیره و مدل‌سازی اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج تحقیق نشان داد که هوش مصنوعی پتانسیل قابل‌توجهی برای ارتقاء کارایی، دقت و کیفیت خدمات جراحی در کشور دارد. با این حال، تحقق این پتانسیل به رفع چالش‌های عمده‌ای چون محدودیت‌های مالی، زیرساختی و ارزی وابسته است. تحلیل داده‌های کیفی و کمی به صورت هم‌راستا تأکید می‌کند که بهره‌گیری از فرصت‌های نوآوری و تقویت همکاری‌های بین‌سازمانی، به‌ویژه میان بیمارستان‌ها، شرکت‌های فناوری و نهادهای سیاست‌گذار می‌تواند راهگشای غلبه بر این موانع باشد.

همچنین نتایج کمی نشان داد که کاربرد هوش مصنوعی تأثیر مثبت و معناداری بر افزایش نرخ موفقیت جراحی، کاهش هزینه‌های لجستیکی، و بهبود نرخ بازگشت سرمایه دارد؛ هرچند، محدودیت‌های اقتصادی و ارزی موجود می‌تواند روند بازدهی این سرمایه‌گذاری‌ها را کند سازد. در

References:

1. Chen G, He Y, Shi Z, Wang L. Artificial intelligence in surgical medicine: A brief review. *Ann Med Surg.* 2025; 87(4): 2180–2186. doi:10.1097/MS9.0000000000003115.
2. Ghasemi T, Kiani A. Applications of Artificial Intelligence in Medicine and Pharmacy. In: 8th International Conference on Science, Engineering, and the Role of Technology in Modern Businesses; 1403. Available from: <https://civilica.com/doc/2251378>.
3. Al-Asiri MBQ, Al-Asmari AA. Role of artificial intelligence in supporting the performance of surgical robots: A survey. *Computación y Sistemas.* 2024; 28(3). doi: 10.13053/cys-28-3-5181.
4. Manafi Nasser M, Mirzaei H, Mirzaei H. Biomechanical modeling based on artificial intelligence: opportunities and challenges in the development of advanced medical equipment. In: The First International Conference on Artificial Intelligence in the Era of Digital Transformation; 1403. Available from: <https://civilica.com/doc/2242544>.
5. Kazemi Sahlvani Z. A review of the role of artificial intelligence in medical industries. In: Third International Conference on Recent Advances in Engineering, Innovation and Technology; 1403. Available from: <https://civilica.com/doc/2213025>.
6. Khalvati M, Karimi M. Exploring the challenges, barriers and facilitators of patients' trust in the use of artificial intelligence in cardiac surgery. In: Sixth International Conference on Health, Educational Sciences and Psychology; 1403. Available from: <https://civilica.com/doc/2188138>.
7. Yangi K, On TJ, Xu Y, Gholami AS, Hong J, Reed AG, et al. Artificial intelligence integration in surgery through hand and instrument tracking: A systematic literature review. *Front Surg.* 2025; 12: 1528362. doi:10.3389/fsurg.2025.1528362.
8. Sheikhefard F. Applications of Artificial Intelligence in Orthopedic Surgery. In: 22nd International Conference on Information Technology, Computers and Telecommunications; 1402. Available from: <https://civilica.com/doc/2009671>.
9. Arab Fard M. Artificial Intelligence and Its Role in Health and Medicine with a Look to the Future. In: National Conference on Mobilizing People and National Resources in Sacred Defense; 1403. Available from: <https://civilica.com/doc/2254828>.
10. Sadeghi Garmarudi M, Rafieirad S. A review of advances in artificial intelligence, robotics, augmented and virtual reality in neurosurgery. In: 14th International Conference on Advanced Research in Science, Engineering and Technology; 1403. Available from: <https://civilica.com/doc/2122840>.
11. Mohammadi Sh, Hariri A. Investigating the application of artificial intelligence in the design of medical surgical robots. In: 14th International Conference on Information Technology, Computers and Telecommunications; 1400. Available from: <https://civilica.com/doc/1444923>.
12. Shaddel M, Jamalpour M, Zand M, Yousefi M. An overview of the applications of artificial intelligence and machine learning in orthopedic surgery (challenges, techniques). In: 7th International Conference on Innovative Technologies in Science, Engineering and Technology; 1400. Available from: <https://civilica.com/doc/1231676>.