



## استفاده از واقعیت مجازی و شبکه‌های عصبی عمیق برای افزایش میزان بهبودی و رضایتمندی بیماران از روند درمان کایروپراکتیک

نونا حلمی<sup>(۱)</sup> گلاره ویسی\*<sup>(۲)</sup>

(۱) گروه مهندسی کامپیوتر، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

(۲) گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران\*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۸

### چکیده

امروزه به دلیل سبک زندگی نادرست، اختلالات اسکلتی گسترش بسیار بالایی پیدا کرده‌است. با کمک روش‌های کایروپراکتیک، بدون عمل جراحی و با هزینه کمتر می‌توان به بهبود بسیاری از این اختلالات کمک کرد. اما اغلب بیماران به این روش درمان اطمینان ندارند. در این مقاله، هدف ما آموزش و آگاهی بخشی به بیماران و افزایش اطمینان به حصول نتیجه درمان کایروپراکتیک با استفاده از واقعیت مجازی است. بدین منظور، داده‌های بیماران، شامل ام‌آر‌آی و اطلاعات شخصی و شرایط آن‌ها جمع‌آوری شده و سطح رضایت بیمار و پزشک، از روند درمان نیز ثبت می‌شود. به کمک این داده‌ها و با استفاده از تکنیک یادگیری عمیق، مدل مناسبی برای پیش‌بینی میزان بهبودی بیمار، بعد از روند درمان ارائه می‌گردد. به علاوه، به کمک نقشه برجستگی، نشان می‌دهیم که کدام بخش از تصویرها برای تشخیص بیماری از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. هم‌چنین با کمک داده‌های ثبت شده و مدل پیش‌بینی پیشنهادی در این مقاله، یک اپلیکیشن اندروید توسعه داده می‌شود که بیمار را برای ادامه درمان ترغیب کرده و حرکات اصلاحی مناسب بیمار را نیز به وی آموزش می‌دهد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد استفاده از این اپلیکیشن کمک بزرگی برای بیماران خواهد بود.

**کلمات کلیدی:** کایروپراکتیک، شبکه عصبی کانولوشن، واقعیت افزوده، یادگیری عمیق، واقعیت مجازی، نقشه برجستگی

\*عهده‌دار مکاتبات:

گلاره ویسی

نشانی: گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

پست الکترونیکی: [gveisi@gmail.com](mailto:gveisi@gmail.com)

از زمانی که بحث فناوری اطلاعات و ارتباطات مطرح شده، اصطلاح دهکده جهانی در مسیر رشد خود پس از طی راه‌های طولانی، مناطق دوردست را نیز در بر گرفته است. امروزه در اکثر جوامع پیشرفته و یا حتی رو به رشد، مراکز فناوری اطلاعات و ارتباطات جهت خدمت‌رسانی الکترونیکی دایر گردیده‌است تا به واسطه آن از خدمات اینترنتی از جمله خدمات دولت‌های الکترونیک و ارتباطات اینترنتی برای اتصال کلیه مناطق به این دهکده جهانی استفاده گردد. خصوصاً در سال‌های اخیر، در شرایط تهدید و ویروس‌های فراگیری مانند کرونا یا حوادث طبیعی مثل سیل و زلزله، خدمات سلامت الکترونیک، امکان مهمی در جهت تأمین سلامت عمومی، اعم از پیشگیری، رصد، تشخیص، اولویت‌بندی اقدامات، درمان و پیشگیری است. از سوی دیگر استفاده بسیار از وسایل الکترونیکی مانند تلفن همراه و رایانه و همچنین سبک زندگی نادرست، باعث ایجاد اختلالات اسکلتی به خصوص ناراحتی‌های ستون فقرات گردیده‌است.

فاکتورهای متعددی در ایجاد آسیب‌های اسکلتی عضلانی نقش دارند. از جمله این فاکتورها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

(الف) فاکتورهای فیزیکی، سازمانی و جنبه‌های اجتماعی کار و محل کار

(ب) جنبه‌های فیزیکی و اجتماعی زندگی در خارج از محل کار (ورزش و تمرینات ورزشی و غیره)

(ج) ویژگی‌های فیزیکی و فیزیولوژیکی فرد [1]

آسیب‌های اسکلتی عضلانی ناشی از کار، سبب تحمیل هزینه‌های زیادی به سیستم بهداشتی درمانی کشورها می‌شود. هزینه‌های مستقیم شامل هزینه‌های پرداختی به پزشک و بیمارستان، توان‌بخشی، بیمه و غیره است و هزینه‌های غیرمستقیم شامل ازکارافتادگی فرد آسیب‌دیده و تلفات دستمزد او، هزینه‌های تحمیل شده به کارفرما و غیره می‌باشد [2] [3].

مشکلات اسکلتی عضلانی ناشی از کار در بین کارکنان ایرانی، به‌ویژه در اندام‌های فوقانی (گردن، شانه‌ها، مچ دست) و اندام‌های تحتانی (کمر، زانو، ران و باسن)، در مقایسه با دیگر کشورها گسترش به نسبت بالایی دارد [4]. دردهای بدنی علاوه بر ناتوانی‌های بدنی، مشکلات روانی را هم همراه خود دارند که باعث افزایش تنش در جامعه می‌شود [5].

فلسفه کایروپراکتیک که مبنی بر اصل پیشگیری و تأکید بر درمان علت عارضه است، می‌تواند نقش بسیار مهمی در امر پیشگیری و درمان به‌موقع امراض ستون فقرات و دیگر مفاصل ایفا کند.

درد پشت و به‌طورکلی دردهای ستون فقرات یکی از معمول‌ترین مشکلات اغلب مردم است. اکثر جراحان، عمل را به‌عنوان یکی از روش‌ها به بیماران معرفی می‌کنند در صورتی که ممکن است امکان رفع مشکل از طریق کایروپراکتیک بدون دارو و جراحی میسر باشد. دوره درمان حدود ۸ هفته می‌باشد اما مشکل این روش این است که زمانی نتیجه حاصل می‌گردد که مغز فعال شده باشد. ۱۰ روز بعد از شروع درمان، مغز آماده شده و دستور می‌دهد که پروتئین‌های لازم برای ترمیم این دیسک یا بافت تولید گردد که این عمل هم ۱۰ روز به طول می‌انجامد. در این ۲۰ روز (حدود ۳ هفته)، ورزش‌ها و تمرین‌ها باعث می‌شود که عملکرد مفاصل به‌حالت نرمال برگردد، فشار از روی بافت‌ها و ماهیچه‌ها کمتر شده و التهاب دیسک کم شود. در واقع بعد از ۲ تا ۳ هفته، بین ۴۰ تا ۵۰ درصد التهاب دیسک کم شده و مغز آماده همکاری است. در این زمان اکثر بیماران تفاوت را درک کرده و با وجود درد احساس توانمندی می‌کنند. اما چون یکی دو هفته اول بیمار هیچ نتیجه‌ای را نمی‌بیند گاهی دچار سوءظن و عدم اطمینان به روش درمان می‌گردد. ضمن اینکه اگر در طی این ۲۱ روز، جلسات یا تمرین‌ها به‌طور منظم و طبق برنامه انجام نشود، مغز فعال نشده و به حالت صفر و اولیه در خواهد آمد. بنابراین اطمینان بیمار به این روش و همکاری با متخصص کایروپراکتیک تأثیر زیادی بر روند بهبود و گرفتن نتیجه دارد. اکثر مراجعین در یک ماه به ۷۰ تا ۸۰ درصد تکمیل درمان می‌رسند.

و در همین‌جا درمان را متوقف می‌کنند در صورتی که برای اینکه التهاب کامل بخوابد، ۲ هفته نیاز دارد تا بعد از جایگزینی پروتئین‌های جدید به ثبات رسیده و عملکرد نرمال بشود [6].

نظرسنجی‌های مختلف نشان می‌دهد که فقط ۵-۱۰٪ از بزرگسالان در کانادا و ایالات متحده در هر سال به متخصص کایروپراکتیک مراجعه می‌کنند. از دلایل آن می‌توان فهم عمومی درباره کایروپراکتیک، ترجیحات بیمار و تصور عمومی منفی نام برد. درک منفی در مورد کار کایروپراکتیک توسط پزشکان و دیگر متخصصان پزشکی نیز یکی دیگر از عوامل است.

مطالعات [7] نشان می‌دهد برای درمان کمردرد و گردن‌درد، کایروپراکتیک منجر به کاهش در میزان جراحی (به ترتیب -۳۲,۱٪ و -۴۹,۴٪)، تصویربرداری پیشرفته (-۳۲,۷٪ و -۴۵,۶٪)، مراقبت در بیمارستان (-۴۰,۱٪ و -۴۹,۵٪) و رادیوگرافی با فیلم ساده (-۲۳,۱٪ و -۳۶٪) است. حتی در مواردی بوده که پس از یک عمل جراحی ناموفق، کایروپراکتیک موفق عمل کرده است [8].

یکی از مهم‌ترین مطالعاتی که در مؤسسه پزشکی پیشگیری نیویورک انجام شد نشان می‌دهد مراقبت‌های کایروپراکتیک باعث تقویت سیستم ایمنی بدن می‌شود که یکی از مزایای استفاده از کایروپراکتیک به خصوص در شرایط حاضر و کرونا می‌باشد. این مطالعه بر روی ۱۰۷ نفر بود که به مدت پنج سال یا بیشتر تحت مراقبت‌های کایروپراکتیک بودند و نشان داد، بیماران کایروپراکتیک دو برابر توانایی ایمنی بیشتری نسبت به سایر افراد و ۴ برابر صلاحیت ایمنی بیشتر نسبت به افراد مبتلا به سرطان و دیگر بیماری‌های جدی داشتند. طبق اظهارات دکتر پرو، هرگز در گروهی شاهد چنین پیشرفت مثبتی نبوده‌ایم [9].

در این مقاله هدف ما آموزش و آگاهی بخشی به بیماران درباره بیماری‌های ستون فقرات و افزایش باور و اطمینان به حصول نتیجه درمان به وسیله واقعیت افزوده و پیش‌بینی نتیجه درمان توسط شبکه عصبی عمیق است. برای اولین بار یک ابزار پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری عمیق در حوزه کایروپراکتیک ارائه می‌دهیم. به کمک این مدل می‌توان میزان بهبودی و رضایتمندی بیمار را بعد از روند درمان پیش‌بینی نموده و سپس با به‌کارگیری واقعیت مجازی<sup>۱</sup> (VR) و افزوده<sup>۲</sup> (AR)، تأثیر شرایط مختلف بر روند بیماری را به فرد نمایش داده و روند درمان را به بیمار آموزش داد. تجربیات AR می‌تواند به بیماران کمک کند تا از طریق تجسم مستقیم و بدون استرس محرک‌های واقعی، احساس امنیت، کنترل و راحتی بیشتری نسبت به درمان حضوری داشته باشند [10] [11]. این کار باعث افزایش میزان اطمینان بیمار به روند درمان و کمک به تصمیم‌گیری فرد جهت انتخاب روش درمان به صورت مجازی و غیرحضوری می‌گردد. همچنین بیمار با واقعیت مجازی به انجام فرآیند درمان ترغیب شده و بهتر با پزشک همکاری کرده و تمرین‌های منزل را دنبال می‌نماید. هم‌چنین در این مقاله، روشی برای مشخص کردن نقاط مهم یک ام‌آرآی پیشنهاد می‌دهیم که به پزشک برای تصمیم‌گیری بهتر کمک می‌کند. همچنین می‌تواند اعتماد بیماران را به مراقبتی که دریافت می‌کنند، افزایش دهد. واقعیت مجازی و واقعیت افزوده کمک می‌کند که بیمار ارتباط و تعامل بهتری با پزشک برقرار نماید.

## ۲- مروری بر کارهای انجام‌شده

بازبینی مقالات نشان می‌دهد که درمان پزشکی با VR به‌طور کلی در زمینه‌های مختلفی کارآمد و پذیرفته شده است [12]. در سال ۲۰۱۸، در زمینه کایروپراکتیک، یک اپلیکیشن موبایل<sup>۳</sup> براساس AR ارائه شد که متخصصین کایروپراکتیک، تراپیست‌ها، متخصصین قدرتی، مربیان ورزش، بدن‌سازی یا ماساژورها می‌توانند از آن برای ارزیابی مرتب حرکات وضعیتی و غربالگری ستون فقرات و عملکرد بیماران استفاده نمایند. این اپلیکیشن در وضعیت‌های مختلف از بیمار عکس گرفته و ۱۷ علامت برجسته

<sup>۱</sup> Virtual Reality

<sup>۲</sup> Augmented Reality

<sup>۳</sup> PostureScreen Mobile® (PSM)

بر روی آن‌ها شناسایی می‌نماید. اینکه بیمار چه مقدار لباس داشته باشد در نتیجه‌ی اپلیکیشن مؤثر است، این فناوری برای تشخیص حرکت سر به جلو نیز مؤثر است [13] [14].

یکی از کاربردهای VR در کاهش و کنترل درد می‌باشد [15] که در تحقیق‌های زیادی بررسی و به آن پرداخته شده‌است: کاهش درد در قربانیان سوختگی شدید [16]، مدیریت درد در بیماران بیمارستان به عنوان ابزاری مؤثر و بدون دارو [17]، کاهش درد اندام فانتوم (که افراد قطع عضو در عضو از دست رفته تجربه می‌کنند) [18].

در مقاله‌ای در سال ۲۰۱۹، به درمان مبتنی بر واقعیت مجازی<sup>۴</sup> (VRG) اشاره شد. در این مقاله به میزان تأثیر درمان کلینیکی مک کنزی<sup>۵</sup> (CBMT) و بازی واقعیت مجازی روی شدت درد، تحمل عضلات، محدودیت فعالیت، محدودیت مشارکت، عقیده اجتناب از ترس، سلامت عمومی بیمار با درد پشت مزمن غیراختصاصی پرداختند [19]. همچنین مطالعات زیادی نشان داده است که استفاده از VR آرامش، قبل از عمل، باعث کاهش اضطراب و استرس در بیماران کودک و بزرگسال می‌شود [20] [21].

در یک بررسی سیستماتیک در مورد تأثیر مداخله VR بر اضطراب، افسردگی، خستگی و درد، مطالعات منتشر شده از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ روی سه پایگاه داده الکترونیکی پاب مد<sup>۶</sup>، مدلین<sup>۷</sup>، کتابخانه کوکران و ساینس دایرکت<sup>۸</sup> بررسی شد. VR می‌تواند به‌طور مؤثر این علائم را در زمینه‌ها و بیماری‌های مختلف از جمله سرطان کم کرده و شدت علائم را کاهش دهد [22]. در مطالعه دیگری در یک بیمارستان استرالیایی<sup>۹</sup>، بیماران سرطانی را در خلال جلسات شیمی‌درمانی و پرتودرمانی به‌وسیله واقعیت مجازی در سطح مناسبی از مدیتیشن و آرامش قرار دادند.

حتی در بیماری همه‌گیر ویروس کرونا (COVID-19) که یک اورژانس بهداشتی جهانی است و پزشکان را ملزم به آمادگی برای مقابله با افزایش بروز تروما و علائم روان‌شناختی مرتبط با استرس می‌کند، VR می‌تواند به مقابله با پیامدهای بالقوه کوتاه‌مدت و بلندمدت سلامت روان کمک نماید [23].

VR یا AR به‌طور مؤثر برای تکنیک بهتر جراحی استفاده می‌شود. این مدل‌های مجازی دقیق آناتومی بیمار را ایجاد می‌کند. این به پزشکان کمک می‌کند تا تصویرهای 3D مجازی را از زوایای مختلف مشاهده کنند. این فناوری هم اکنون در قلب و مغز و اعصاب برای نظارت استفاده می‌شود و نتایج بیمار را بهبود می‌بخشد. همچنین نقش مهمی برای کمک به پزشک در رابطه با ضربه و دیگر شکستگی‌ها دارد [24].

یکی دیگر از کاربردهای واقعیت مجازی، در توان بخشی و فیزیوتراپی می‌باشد که در موارد مختلفی بررسی شده‌است: توان بخشی بیماران کودک با بیماری‌های مادرزادی مخچه (VR-SPIRIT) [25]، توان بخشی قلبی بیماران قلبی عروقی [26]، تأثیر توان بخشی قلبی عروقی واقعیت مجازی در ترکیب‌بندی بدن و ظرفیت عملکرد بیماران با بیماری‌های قلبی [27]، آموزش تعادل در بیماران سکته مغزی و جایگزینی برای فیزیوتراپی معمولی (CT) [28].

۴ Virtual Reality Game

۵ Clinic-Based McKenzie Therapy

۶ PubMed

۷ MEDLINE

۸ ScienceDirect

۹ Lifehouse Brien'O Chris

۱۰ conventional physiotherapy

یک محیط آموزش مجازی سه بعدی<sup>۱۱</sup> برای کودکان مبتلا به اوتیسم جهت ارتباط متقابل با محیط و ایجاد حس کنترل بر روی محیط در آنان طراحی شده است [29]. در تحقیقی دیگر با استفاده از یک شبیه‌ساز<sup>۱۲</sup>، محیط یادگیری واقعیت مجازی دسکتاپ ساخته شده است که از طریق بازی، مهارت‌های اجتماعی را به کودکان مبتلا به اوتیسم یاد می‌دهد [30].

کورزینسکی<sup>۱۳</sup> و همکاران، عملکرد حسگرهای حرکتی در انسان‌ها قبل از پیوند اندام فوقانی با استفاده از واقعیت مجازی و بازخورد حسی را بررسی نمودند. نتایج مطالعه موردی حکایت از آن دارد که آموزش ذهنی به کمک محرک‌های حسی و بصری توسط سیستم کامپیوتری منجر به تداعی تغییرات مفید فعالیت‌های مغزی مربوط به کنترل حرکتی در بیماران با کمبود عارضه مادرزادی دوجانبه اعضا فوقانی می‌شود [31].

یک مطالعه امکان‌سنجی [32] نشان داد، ماندن بیماران در ICU اغلب با بی‌تحركی طولانی مدت، خواب مختل و طولانی مدت درد مشخص می‌شود، که بیماران ICU را در معرض خطر بیشتری برای ضعف اکتسابی ICU و مرگ و میر ناشی از هذیان قرار می‌دهد. VR به‌عنوان یک حواس‌پرتی از ناراحتی‌های اجتناب‌ناپذیر مرتبط با مراقبت‌های ICU و کمک به بهبود تجربه بیمار عمل می‌کند.

در واقع در بیشتر مطالعات از VR یا AR جهت آموزش یا کاهش درد در بیماران استفاده شده است. جمال‌الدین و همکاران در تحقیقی به بررسی اتومات کردن درجه‌بندی رادیولوژی در ام‌آر‌آی (MRI) نخاع کمر پرداختند که امکان خواندن بسیار سریع اسکن بالینی را فراهم می‌کند [33].

در یک تحقیق دیگر از یادگیری عمیق برای تقسیم‌بندی خودکار مهره‌های ستون فقرات، تشخیص سطح دیسک و درجه‌بندی تنگی مجرای ستون فقرات استفاده کردند [34].

همچنین از یادگیری عمیق برای پیش‌بینی سگته مغزی ایسمتیک از طریق تصویربرداری رزونانس مغناطیسی اولیه استفاده کردند [35]. اهمیت این روش در این است که می‌تواند سایز بافت مرده و مکان آن برای تصمیم‌گیری و پیش‌بینی سگته در بیماران را پیش‌بینی کند.

مهسا بابایی و همکاران یک مدل پیش‌بینی‌کننده برای ارزیابی موفقیت در نتیجه جراحی PSF طراحی کرده‌اند. PSF یک عمل جراحی است که بر روی بیمارانی که از درد کمر رنج می‌برند انجام می‌شود [36].

در سال ۲۰۱۹ از یادگیری عمیق برای پیش‌بینی سریع‌تر بیماری آلزایمر با استفاده از داده‌های ام‌آر‌آی استفاده شد [37]. در سال ۲۰۲۱ از مدل‌های یادگیری عمیق چندحالتی برای تشخیص زودهنگام مرحله بیماری آلزایمر استفاده نمودند [38].

در سال ۲۰۲۰ از تشخیص خودکار مبتنی بر یادگیری عمیق سه‌بعدی در بیماری آلزایمر با پیش‌بینی مشترک MMSE با fMRI در حالت استراحت استفاده شد که دارای میانگین دقت آزمون ۸۵/۲۷ درصد برای طبقه‌بندی AD در برابر گروه شاهد سالم بود [39].

تصلب شرایین کاروتید علت اصلی مرگ و میر در سراسر جهان است. در [40] به مقایسه الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری عمیق برای پیش‌بینی بهبود بالینی روان‌پزشکی با ام‌آر‌آی عملکرد می‌پردازد. یک روش مبتنی بر yolov3 برای تشخیص خودکار عروق کاروتید در ام‌آر‌آی پیشنهاد شده است که می‌تواند به‌طور خودکار رگ‌های کاروتید را تشخیص دهد، که بسیار به پزشکان کمک می‌نماید.

<sup>۱۱</sup> MEDIATE

<sup>۱۲</sup> OpenSimulator

<sup>۱۳</sup> Kurzynski

در یک تحقیق دیگر [41]، روش‌های پیشرفته برای پیش‌بینی نشانگر زیستی مولکولی با استفاده از ام‌آرآی گلیوم<sup>۱۴</sup> مغز کار شده‌است. این مقاله، نشان می‌دهد یادگیری عمیق می‌تواند موارد غیرقابل مشاهده را ببیند و رویکردهای یادگیری ماشین و رویکردهای یادگیری عمیق برای شناسایی ویژگی‌های پیش‌بینی‌کننده و انجام پیش‌بینی واقعی را بررسی کرده‌است. از یادگیری عمیق مبتنی بر شبکه عصبی کانولوشن همچنین برای پیش‌بینی خودکشی افتراقی در بیماران افسرده با تصویربرداری نمونه مغز و ام‌آرآی، استفاده شده‌است و نتایج نشان داده که روش یادگیری عمیق مبتنی بر ام‌آرآی می‌تواند به طور مؤثری افراد را در سطوح مختلف خطر خودکشی، از افسردگی گرفته تا ایده خودکشی و اقدام به خودکشی، شناسایی کند [42].

### ۳- روش پیشنهادی

در این مقاله از اطلاعات ۵۱ بیمار که تحت درمان کایروپرتیک قرار گرفته‌اند، با رضایت شخصی آن‌ها، استفاده شده‌است. این اطلاعات شامل ۲۸۰۰ ام‌آرآی، جنسیت، سن، تعداد مراجعات، میزان رضایت و بهبود بیمار می‌باشد که در جدول ۱ قابل مشاهده است. بیماران انتخاب شده همه به دلیل مشکلات گردن یا کمر (ستون فقرات) به پزشک مراجعه کرده‌اند. ثبت داده این کار توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد تایید شده و کد اخلاق IR.IAU.MSHD.REC.1400.063 را دریافت کرده‌است. قبل از آغاز جلسات کایروپرتیک، ام‌آرآی‌های بیماران دریافت می‌شود. در پایان جلسات، میزان رضایت شرکت‌کنندگان از دوره درمان را با نظرسنجی از بیمار و پزشک به دست می‌آوریم. این درصد رضایت عددی بین ۰ تا ۱۰۰ در نظر گرفته شده و از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$(1) \text{ میزان رضایت} = w1 \times \text{میزان رضایت بیمار} + w2 \times \text{میزان رضایت متخصص کایروپرتیک}$$

که در آن  $w1$  ضریب وزنی میزان تأثیر نظر بیمار و  $w2$  ضریب وزنی مربوط به میزان تأثیر نظر پزشک می‌باشد. ما در شبیه سازی‌ها،  $w1=0.6$  و  $w2=0.4$  و  $w1+w2=1$  را در نظر گرفتیم. آزمون همبستگی پیرسون همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده‌است، یک همبستگی مثبت ( $r=0.402$ ،  $p=0.003$ ) را بین تعداد مراجعه و رضایت بیمار (با آستانه سطح معناداری ۰,۰۵) نشان می‌دهد، به این معنی که سطح رضایت بیمار از مراقبت‌های کایروپرتیک با تعداد جلسات مراجعه بالا می‌رود. اما سطح رضایت، با سن یا فواصل بین مراجعه ارتباط معنی‌داری نشان نمی‌دهد.

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار اطلاعات بیماران مورد استفاده

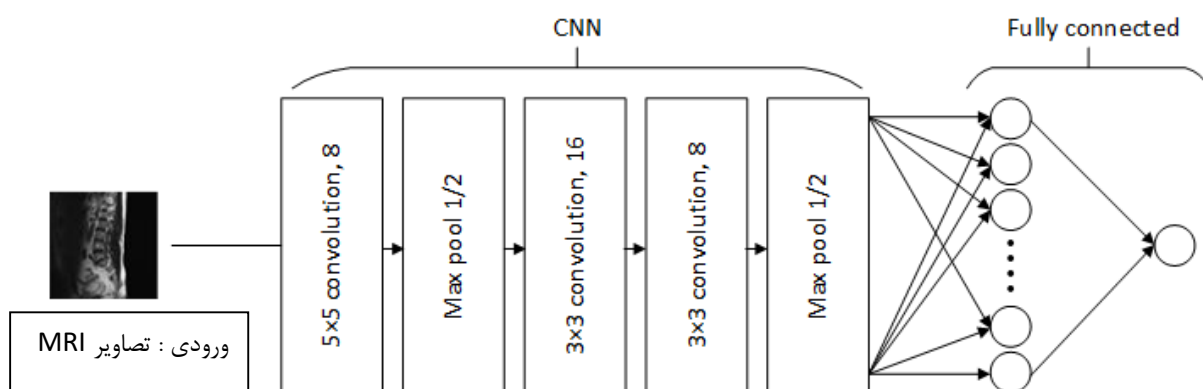
جنسیت	تعداد بیماران	سن	فاصله مراجعات	تعداد جلسات
مرد	24	42.72±7.43	0.79±0.66	7.96±2.96
زن	27	45.55±13.60	0.88±0.33	10.48±3.22
میزان رضایت	ضریب همبستگی پیرسون		0.171	0.402 *
	p-values		0.231	0.003

<sup>۱۴</sup>gliomas

این مرحله دارای دو قسمت می‌باشد که تمامی موارد با زبان برنامه نویسی پایتون نسخه ۳.۵ نوشته شده‌است و از فریم‌ورک وِبی‌فلسک<sup>۱۵</sup> که با زبان پایتون نوشته شده نیز استفاده گردیده‌است. قسمت اول بخش آموزش و پیش‌بینی است که شامل سه مرحله اصلی است: پیش‌پردازش داده‌ها، یادگیری شبکه عصبی و آزمون مدل یاد گرفته. در قسمت پیش‌پردازش ابتدا تصویرها به دلیل سرعت بخشیدن به فرآیند یادگیری، به یک ماتریس عددی  $3 \times 64 \times 64$  پیکسل تغییر یافته و سپس داده‌ها با تغییر بازه اعداد به  $[0,1]$  نرمال می‌شوند [43].

$$\check{X} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $X$  ماتریس عددی عکس،  $X_{\min}$  حداقل مقدار ماتریس و  $X_{\max}$  نیز حداکثر مقدار است. داده‌های نرمال شده را به صورت ماتریسی کنار هم قرار داده و در مدل یادگیر از آن استفاده می‌کنیم.



شکل ۱: ساختار شبکه عصبی عمیق مورد استفاده

برای یادگیری مدل از شبکه CNN [44] استفاده می‌نماییم که شامل لایه‌های کانولوشن برای تولید ویژگی، لایه‌های بولینگ برای استخراج ویژگی و بخش پیش‌خورد برای عملیات رگرسیون است. کارکرد لایه بولینگ، کاهش اندازه مکانی (عرض و ارتفاع) تصویر (ورودی) جهت کاهش تعداد پارامترها و محاسبات در داخل شبکه و بنابراین کنترل **overfitting** است. لایه بولینگ به صورت مستقل بر روی هر بخش عمقی از توده ورودی عمل کرده و آن‌ها را با استفاده از عملیات **MAX** از لحاظ مکانی تغییر سایز می‌دهد [45].

شکل ۱ نمای این شبکه را به خوبی نشان می‌دهد. این شبکه دارای لایه **dropout** به جهت مقاوم‌سازی مدل در برابر نویز است. این لایه، بخشی از نورون‌های مصنوعی از پیش تعریف شده‌است که به طور مصنوعی لغو شده و شبکه را مجبور می‌کند به روش‌های مختلف دستیابی به همان خروجی را یاد بگیرد و به طور مداوم جهت کاهش خطر بیش‌برازش در **CNN** یکپارچه شود [46].

به جهت آنکه شبکه‌های کانولوشن برای یادگیری به داده‌های زیادی نیاز دارند و داده‌های موجود ممکن است برای یادگیری کم باشد، از روش **6-fold cross validation** برای یادگیری با برازش مناسب استفاده شده‌است.

شبکه، با  $n$  نمونه آموزشی ساخته شده است. از  $LOOCV^{16}$  برای آموزش و ارزیابی مدل استفاده می‌کنیم. برای این منظور از بین  $n$  نمونه،  $n-1$  برای آموزش مدل CNN و  $n$ th نمونه برای تست مدل آموزش دیده استفاده می‌کنیم. این پردازش  $n$  بار تکرار می‌شود پس همه نمونه‌ها یکبار در مرحله تست شرکت می‌کنند. بدین‌سان مدل تنها بر روی نمونه‌هایی که در طول آموزش دیده نشده‌اند، آزمایش می‌شود در حالی که از نمونه‌ها به طور کامل برای آموزش و ارزیابی مدل استفاده می‌شود. سپس کیفیت پیش‌بینی با استفاده از معیار میانگین مربعات خطا ( $RMSE^{17}$ ) و همبستگی پیرسون ( $R$  که هرچه بالاتر باشد، بهتر است) ارزیابی می‌شود.

خروجی مدل به عنوان پیش‌بینی درصد رضایت شرکت‌کنندگان،  $y_i \in [0,1]$ ، با توجه به ام‌آرآی ورودی که با  $X_i$  نشان داده می‌شود، تعریف می‌گردد. در طول مرحله آموزش، CNN الگوهایی را در مجموعه داده‌های آموزشی برچسب‌گذاری شده، شناسایی خواهد کرد. ام‌آرآی‌ها در این مطالعه وارد شبکه می‌شوند و خروجی  $\hat{y}_i$  را تولید می‌کنند. خروجی‌های تولید شده توسط شبکه با خروجی‌های درست مقایسه می‌شوند و تابع هدف را تعریف می‌کنند:

$$F = \sum_{i=1}^{\tilde{n}} \|y_i - \hat{y}_i\| \quad (3)$$

که در رابطه فوق،  $\tilde{n}$  تعداد تمام نمونه‌های آموزشی است. در طول آموزش، پارامترهای شبکه تنظیم می‌شوند تا زمانی که الگوهای شناسایی شده توسط شبکه منجر به پیش‌بینی‌های خوبی برای داده‌های آموزشی شود. پس از یادگیری الگوها، می‌توان از شبکه برای پیش‌بینی داده‌های جدید استفاده کرد. CNN یک راه قدرتمند برای یادگیری نمایش‌های مفید از تصاویرها و دیگر داده‌های ساخت یافته است. هر لایه به اصطلاح پنهان، بیشتر اوقات دو لایه مجزا دارد: مرحله اول از پیچیدگی کانولشن لایه قبلی حاصل می‌شود، مرحله دوم یک مرحله حداکثر بولینگ است که در آن تعداد واحدها به میزان قابل توجهی با حفظ حداکثر پاسخ، کاهش می‌یابد. پس از چندین لایه پنهان، لایه نهایی معمولاً اتصال کامل دارد. برای هر کلاسی که شبکه پیش‌بینی می‌کند یک واحد دارد و هر یک از آن واحدها ورودی همه واحدهای لایه قبلی را دریافت می‌کنند. یک لایه خروجی پیش‌بینی‌های شبکه عصبی را تولید می‌کند. در اینجا، ما می‌خواهیم مدل را طوری آموزش دهیم که پیش‌بینی ما به اندازه کافی به سطح رضایت گزارش شده توسط بیمار پس از مراقبت‌های کارپوکتیک نزدیک باشد. در طول آموزش، تعدادی از خروجی‌های لایه به‌طور تصادفی نادیده گرفته می‌شوند یا حذف می‌شوند. این باعث می‌شود که لایه به عنوان یک لایه با تعداد گره‌های متفاوت و متصل به لایه آخر در نظر گرفته شود. در واقع، هر به‌روزرسانی در طول مرحله آموزش با معماری کمی متفاوت انجام می‌شود. ما از نرخ یادگیری  $5e-07$  با بهینه‌ساز Adam [47] استفاده کردیم و آموزش را در تکرار 400 متوقف کردیم.

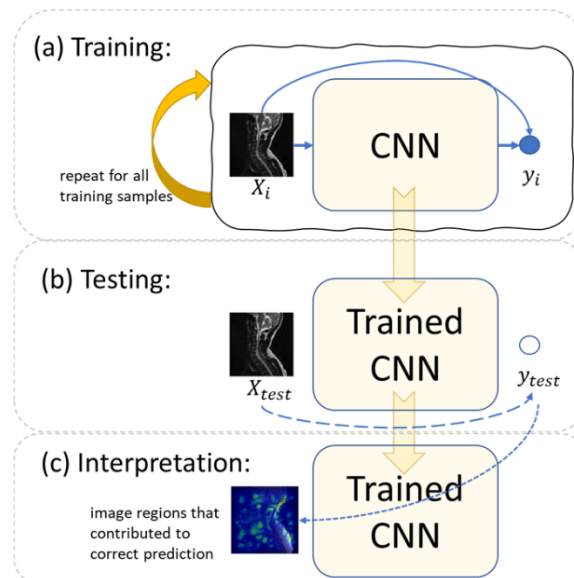
برای آموزش CNNها، بیشتر اوقات مجموعه داده‌های بزرگ مورد نیاز است. اما مجموعه داده‌های ما از نظر اندازه محدود است. مانند سایر مطالعات، در طی هر بار آموزش، ما یک سری از داده‌ها را همان‌گونه که در [48] معرفی شده، تقویت می‌کنیم. داده‌های تقویت شده را به مجموعه آموزشی اضافه می‌کنیم و شبکه را با این مجموعه داده پیشرفته آموزش می‌دهیم. افزون بر این، همان‌گونه که در دیگر کارها نیز انجام شده، نخست شبکه را روی مجموعه داده ImageLet بزرگ [49] پیش آموزش می‌دهیم تا نیاز به مجموعه داده‌های آموزشی بزرگ را به حداقل برسانیم.

<sup>16</sup> leave-one-out-cross-validation

<sup>17</sup> Root Mean Square Error

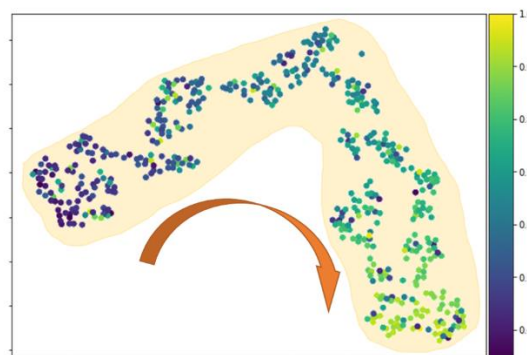


مراحل آموزش و آزمایش به ترتیب در شکل ۲ (a) و (b) نشان داده شده است. هم‌چنین برای تفسیر نتایج به دست آمده، از نقشه‌های برجسته برای توضیح پیش‌بینی‌های CNN آموزش‌دیده استفاده می‌کنیم. نقشه برجستگی با به‌کارگیری گرادینت‌های خروجی بر روی ورودی ساخته می‌شود و مناطق تصویرها مربوط به پیش‌بینی را برجسته می‌کند (شکل ۲(c)). بدین‌سان، پیکسل‌هایی را شناسایی می‌کنیم که بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی نادرست رضایت آینده داشته‌اند. برای نمونه، ممکن است متوجه شویم ناحیه ام‌آر‌آی که فتق دیسک را نشان می‌دهد، مسئول پیش‌بینی رضایت سطحی پس از مراقبت‌های کایروپراکتیک بوده است. برای تولید نقشه‌های برجستگی، از روش Grad-CAM [50] استفاده می‌کنیم.



شکل ۲: روند آموزش و تست شبکه عصبی کانولوشن پیشنهادی

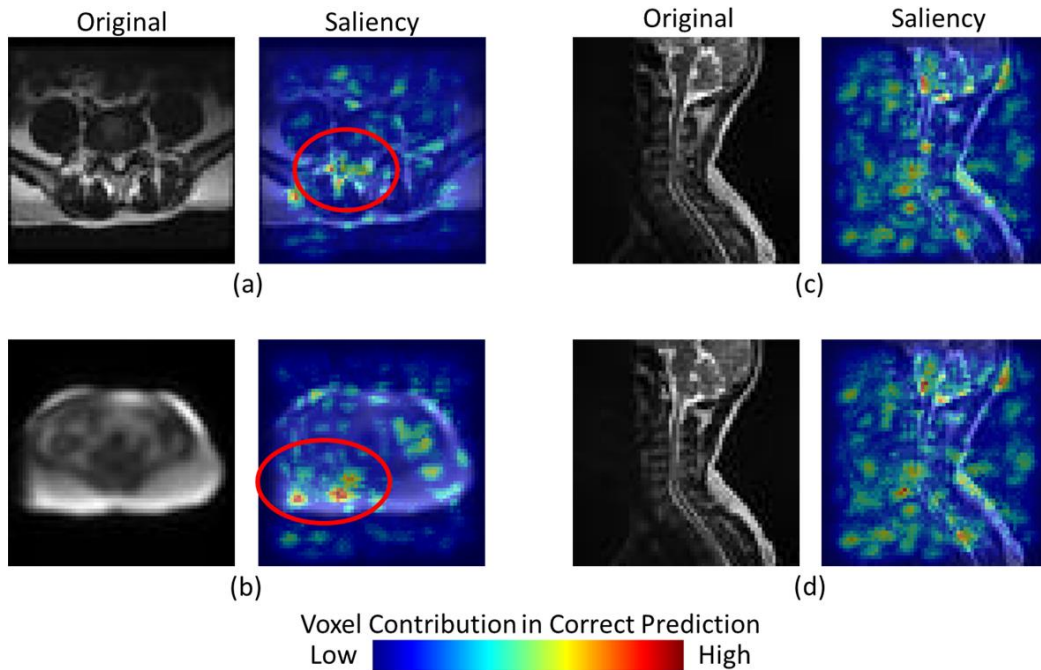
علاوه بر نقشه‌های برجستگی، ما ویژگی‌های استخراج شده با مدل CNN را تجزیه و تحلیل می‌کنیم. معیارهای برداری شده در انتهای لایه‌های کانولوشن به عنوان ویژگی‌های آموخته شده از مدل در نظر گرفته می‌شود. سپس از  $tSNE$ <sup>۱۸</sup> برای کاهش ابعاد ویژگی‌ها و تجسم آنها در فضای دوبعدی استفاده می‌کنیم.  $tSNE$ ، یک روش پرکاربرد برای تجسم داده‌های با ابعاد بالا در ابعاد پایین‌تر (مانند دوبعدی یا سه‌بعدی) است.  $tSNE$  همان ساختار همسایگی را در ابعاد پایین‌تر حفظ کرده و تجسم مطلوب را تولید می‌کند.



<sup>۱۸</sup> t-distributed Stochastic Neighbor Embedding

شکل ۳: تجسم دوبعدی tsNE از ویژگی‌های یاد گرفته شده توسط مدل CNN پیشنهادی

شکل ۳، فضای ویژگی‌های یاد گرفته شده توسط روش ما را نشان می‌دهد. هر نقطه یک نمونه آموزشی را نشان داده و رنگ روی آنها میزان رضایت حقیقی را نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی، با نمونه‌هایی با کمترین رضایت شروع شده و هر چه به سمت راست حرکت کنیم، سطح رضایت افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، قادر به یادگیری الگو و ایجاد فضای ویژگی معنی‌دار است. نقشه‌های برجستگی، نشان می‌دهند که مناطقی برجسته می‌شوند که بیشترین کمک را در پیش‌بینی صحیح احتمال رضایت دارند. نقشه‌های برجستگی، نواحی تأثیرگذار در تصویر ام‌آرآی را نشان می‌دهند. نمونه‌هایی از این تصویرها در شکل ۴، نشان داده شده‌است. ما همچنین از متخصص کایروپراکتیک خواستیم تا مناطق اطلاعاتی را در ام‌آرآی‌ها به‌طور مستقل شناسایی کند. سپس مناطق شناسایی شده توسط پزشک و نقشه‌های برجستگی را مقایسه کردیم. مشاهده می‌شود که در بیشتر موارد، نقشه‌های برجستگی و مناطق شناسایی شده توسط متخصص کایروپراکتیک هم‌تراز هستند. همان گونه که در شکل ۴ (الف) نشان داده شده‌است، ریشه عصب سمت راست، زیر فشار خفیف دیسک است و باعث ایجاد درد در سطح سگمنتال کمری و ساختارهای بافت نرم مرتبط می‌شود. در نقشه برجستگی برای این تصویر، مناطقی که ناراحتی یا درد ناشی از فشار دیسک است، به‌عنوان منطقه مهمی از تصویر برای پیش‌بینی مشخص می‌شود. به‌طور مشابه، در شکل ۴ (c-d)، مناطق مشکل‌ساز C4-5 تا C6-7 سطح سگمنتال هستند. این نواحی با درد بازو و دست، قسمت قدامی و خلفی گردن، گلو، جعبه صدا و قسمت بالای کمر همراه هستند. دوباره، نقشه‌های برجستگی، حوزه‌های مشکل را از این سطوح قطعه‌ای تأیید می‌کنند. با این وجود، جالب‌تر این است که برای برخی از تصویرها، این هم‌ترازی همیشه مطابق با نظر متخصص کایروپراکتیک نیست، یعنی مدل پیشنهادی بر پایه مناطقی از ام‌آرآی که توسط کایروپراکتیک در نظر گرفته نمی‌شود، پیش‌بینی را انجام می‌دهد. این مدل ممکن است ویژگی‌های بیشتری را در مقایسه با پزشک انتخاب کرده باشد. این یافته‌ها می‌توانند مکمل ویژگی‌هایی باشند که معمولاً توسط پزشک برای تشخیص انتخاب می‌شوند.



شکل ۴: مناطق مؤثر ام‌آرآی در تشخیص متخصص کایروپراکتیک، سمت راست: نقشه برجستگی تولید شده توسط مدل پیشنهادی برای ام‌آرآی سمت چپ

### ۲-۳- پیاده‌سازی AR

بیمار از طریق اپلیکیشن موبایل طراحی شده، فیلم کوتاهی در مورد شیوه کار کایروپرکتیک مشاهده می‌نماید که در مورد روش کار و فرآیند درمان توضیح می‌دهد. سپس ام‌آر‌آی بیمار گرفته می‌شود، این عکس به‌عنوان ورودی به مدل پیش‌بین ارسال می‌گردد و میزان رضایتمندی بیمار بعد از درمان، پیش‌بینی شده و به‌شکل واقعیت افزوده، به بیمار نمایش داده می‌شود. جهت سرویس‌دهی و ارتباط شبکه با اپلیکیشن، از مدل و رابط `rest api` استفاده و با زبان `php` پیاده‌سازی شده‌است. اپلیکیشن اندروید، در محیط `android Studio` با زبان `kotlin` و `java` و با به‌کارگیری کیت توسعه نرم‌افزار واقعیت افزوده `Vuforia`، طراحی شده‌است.

این اپلیکیشن، تأثیر شرایط مختلف بر روند بیماری را به فرد نمایش داده و روند درمان و حرکات اصلاحی را به بیمار آموزش می‌دهد. بدین‌سان بیمار بدون استرس و با احساس امنیت بیشتر، در فرآیند درمان مشارکت نموده و احساس بهتری را نسبت به درمان حضوری خواهد داشت. با به‌کارگیری این اپلیکیشن میزان اطمینان بیمار به فرآیند درمان افزایش خواهد یافت. هم‌چنین بیمار، بیشتر و بهتر با پزشک همکاری کرده و تمرین‌های منزل را دنبال خواهد کرد. در شکل‌های ۵ و ۶، عکس‌هایی از صفحات اپلیکیشن را مشاهده می‌نمایید:



شکل ۵: دریافت ام‌آر‌آی بیمار



شکل ۶: نمایش پیش‌بینی میزان رضایت بیمار بعد از انجام کایروپرکتیک

#### ۴- نتایج

در این مقاله، نتایج را با روش‌های سنتی یادگیری ماشین مقایسه می‌کنیم. لازم به ذکر است که مقاله‌ای در مراجع برای پیش‌بینی میزان رضایت بیماران پس از طی روند درمان کایروپراکتیک وجود ندارد و تمامی روش‌ها روی یک سیستم و توسط خود نویسندگان این مقاله پیاده‌سازی شده‌اند. از یک طبقه‌بند رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) با هسته‌های خطی و گوسی برای پیش‌بینی میزان رضایت استفاده شده‌است. همچنین نتایج مدل CNN خود را با مدل رگرسیون LASSO (کمترین عملگر انتخاب و انقباض مطلق) مقایسه می‌کنیم که انتخاب ویژگی پراکنده را پیاده‌سازی کرده و سپس مقادارهای رضایت خروجی را رگرسیون می‌کند. در هر دو این مدل‌ها، ورودی به عنوان مقادارهای برداری شده تمام ام‌آر‌آی‌ها تعریف می‌شود. مدل SVR از  $C=10$  و  $\sigma=2-3$  و  $\lambda=0.1$  از LASSO استفاده می‌کند. این تنظیمات هاپرپارامتر منجر به بهترین نتایج در جستجوی شبکه برای بهترین هاپرپارامترها می‌شود.

در فاز اول که آموزش شبکه و پیش‌بینی نتایج بود، ۶ مرحله، 6 fold cross validation انجام شد. هر مرحله یک ششم داده‌ها برای تست استفاده شد و خروجی‌های زیر به دست آمد:

جدول ۲: مقایسه روش‌ها با RMSE, R و همبستگی p-value

\*همبستگی با میانگین پیش‌بینی با آستانه ۰,۰۵ معنی‌دار است. بهترین نتیجه در هر ستون، با حروف پررنگ مشخص شده‌است.

مدل	RMSE	R	p-value
SVR (Linear)	0.4128	0.0315	0.4822
SVR (Gaussian)	0.3632	0.0513	0.2522
LASSO	0.3587	0.0665	0.1376
کار ما (CNN)	0.1121	0.1491	0.0008*

برای مقایسه نتایج، بیماران به دو گروه کنترل و آزمایش تقسیم شده‌است. این اپلیکیشن در اختیار گروه آزمایش که ۲۰ نفر از بیماران را شامل می‌شد و به طور تصادفی انتخاب شدند، قرار گرفت و در طول یک سال، از طریق اپلیکیشن، آموزش‌های لازم به آنها داده شد و ارتباط دوطرفه با متخصص کایروپراکتیک میسر بود. بعد از یک سال با به‌کارگیری پرسش‌نامه میزان رضایت آنها مجدد دریافت شد. نتایج هر دو گروه با به‌کارگیری آزمون‌های دقیق فیشر و آزمون t مقایسه گردید.

برای بررسی میزان رضایت بیماران، پرسشنامه‌ای تهیه شد که در اختیار بیماران قبل و بعد از مراحل درمان قرار گرفت. این پرسش‌نامه توسط بیمار و پزشک به صورت هم‌زمان و با همکاری همدیگر تکمیل گردید. داده‌های جمع‌آوری شده، با نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ و آزمون‌های آماری T-test، ANOVA و آزمون هم‌بستگی پیرسن تجزیه و تحلیل شد. سطح معنی‌داری در این مطالعه ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

در این مطالعه مشخص گردید که دید مثبت یا منفی بیماران نسبت به کلیت درمان یا نگرش آنها نسبت به درمان خودشان اثر ۸۲ درصد در رضایت آنها از درمان داشته است.

همچنین با توجه به یافته‌های این مطالعه، میانگین نمره رضایت بیماران ۶۷,۱۳ از ۱۰۰ بود. در جدول ۱ مقایسه میانگین حیطه‌های مختلف برحسب جنسیت با به‌کارگیری آزمون تی استیودنت مستقل آورده شده‌است.

در جدول ۳ میزان رضایتمندی بیماران مورد مطالعه در حیطه‌های مختلف سن، فاصله مراجعات، تعداد جلسات بر حسب جنسیت ارائه شده است. آزمون T نشان می‌دهد بین تعداد جلسات مردان و زنان اختلاف معناداری وجود دارد (چون مقدار ضریب همبستگی از ۰,۰۵ بیشتر است) اما بین سن و فاصله مراجعات مردان و زنان اختلاف قابل توجهی وجود ندارد. (جدول ۴) همچنین جدول ۴ نشان می‌دهد بین تعداد جلسات و درصد رضایت بیماران و درصد رضایت بیماران از اپلیکیشن رابطه معناداری وجود دارد. در جدول ۵ میزان رضایتمندی بیماران مورد مطالعه در حیطه‌های مختلف سن، فاصله مراجعات، تعداد جلسات بر حسب جنسیت از اپلیکیشن طراحی شده را نشان می‌دهد. مقدار میانگین و انحراف معیار میزان رضایت بیماران از کاربرد پروتکتیک در گروه‌های آزمایش و کنترل و ضریب تغییرات (جدول ۶ و ۷)، نشان می‌دهد به‌کارگیری اپلیکیشن در میزان رضایت آن‌ها تأثیر داشته و ۸۲ درصد از بیماران اذعان داشتند که AR کمک زیادی در تصمیم‌گیری آن‌ها برای انتخاب روش درمان و آموزش داشته است.

جدول ۳: میزان رضایت بیماران مورد مطالعه در حیطه‌های مختلف سن، فاصله مراجعات، تعداد جلسات بر حسب جنسیت

	درجه آزادی	sig	t	
سن	46	.052	-.325	برابری واریانس
	40.960		-.331	نابرابری واریانس
فاصله مراجعات	47	.073	-.318	برابری واریانس
	36.156		-.314	نابرابری واریانس
تعداد جلسات	47	.561	-2.913	برابری واریانس
	46.99		-2.916	نابرابری واریانس

جدول ۴: بررسی همبستگی بین خصوصیات بیماران با رضایت بیماران از اپلیکیشن

	گروه آزمایش		گروه کنترل	
	ضریب همبستگی	سطح معنی داری	ضریب همبستگی	سطح معنی داری
سن	*-.561	.008	.035	.810
تعداد جلسات	.293	.197	** .402	.003
فاصله مراجعات	.416	.061	.171	.231

\*, \*\* همبستگی بالای ۰,۰۱ معنی دار است

جدول ۵: میزان رضایتمندی بیماران مورد مطالعه در حیطه‌های مختلف سن، فاصله مراجعات، تعداد جلسات بر حسب جنسیت از اپلیکیشن

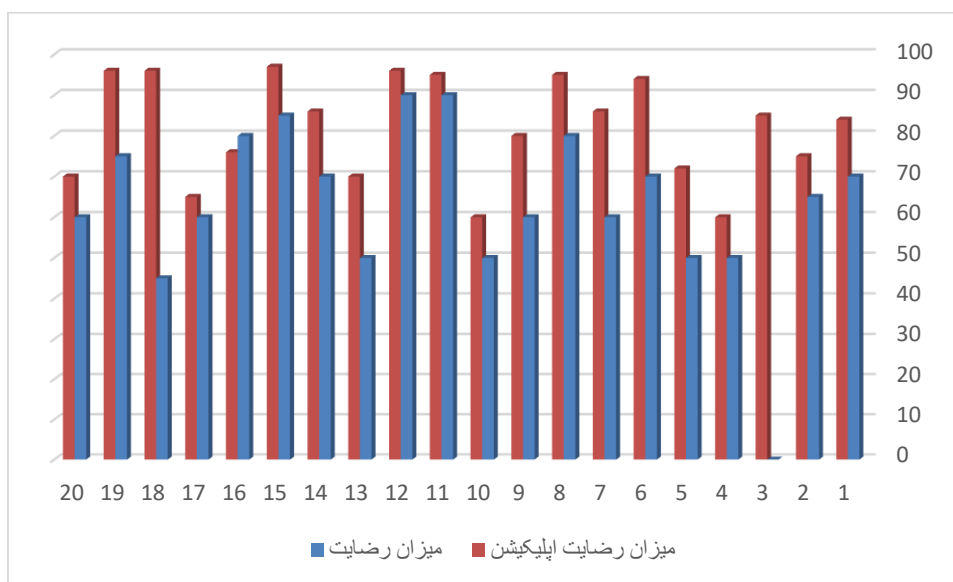
T	P-value	درجه آزادی
---	---------	------------

سن	-0.325	.052	46
	-0.331		33.583
تعداد جلسات	-2.913	.561	47
	-2.916		47
فاصله مراجعات	-0.318	.073	47
	-0.314		36.156
درصد رضایت	-1.676	.759	19
	-1.729		18.841

جدول ۶: میزان تأثیر اپلیکیشن در گروه آزمایش

میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	
91.55	6.48	0.07	گروه آزمایش
63.30	12.52	0.20	گروه کنترل

جدول ۷: میزان رضایت بیماران در گروه آزمایش و گروه کنترل



## ۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

افراد کمی با مراقبت‌های کایروپراکتیک آشنا هستند. در اغلب موارد، بیماران به پزشک برای پیش بینی اثربخشی مراقبت‌های کایروپراکتیک و دیدن نتایج رضایت‌بخش، اعتماد لازم را ندارند. از طرفی هزینه‌های مرتبط با اختلالات اسکلتی عضلانی بالا

است و به‌کارگیری خدمات غیرتهاجمی کایروپرکتیک، در صورت مؤثر بودن، می‌تواند هزینه‌های مرتبط با این اختلالات را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. بنابراین، کمک به بیماران برای جلب اعتماد در مراقبت‌های کایروپرکتیک می‌تواند یک گام مهم باشد. در این مقاله، هدف ما جلب اطمینان بیمار به انتخاب روش درمان کایروپرکتیک به‌جای عمل جراحی با استفاده از فناوری‌های روز دنیا بود که در کارهای قبلی انجام نشده بود. ما یک پیش‌بینی کننده مبتنی بر یادگیری ماشین را برای پیش‌بینی نتایج درمان کایروپرکتیک پیشنهاد دادیم. یکی از مشکلات اصلی در این زمینه نبودن اطلاعات (ام‌آر‌آی) بیماران با کیفیت خوب و فیلم‌های مناسب بود. در ایران از ام‌آر‌آی استفاده می‌شود اما در خارج از ایران از عکس‌های رادیولوژی، از این روی استفاده از عکس‌ها و مجموعه داده‌های بین‌المللی هم امکان‌پذیر نبود. با کمک دکتر سمیعی و همکارانشان اطلاعات لازم برای این کار با رعایت استانداردها و کدهای اخلاقی، گردآوری شد.

هم‌زمانی انجام این کار با ویروس کووید ۱۹، فواید طرح را بیشتر نشان داد چرا که خیلی از بیماران به دلیل نگرانی از مراجعه به پزشک‌ها و حتی ترس از عمل جراحی در بیمارستان، تمایل بیشتری به استفاده از خدمات این اپلیکیشن و پزشکی از راه دور نشان دادند.

مدل پیشنهادی این مقاله، اولین مدلی است که میزان رضایت از مراقبت‌های کایروپرکتیک را با استفاده از ام‌آر‌آی بیماران، قبل از آغاز جلسات درمانی پیش‌بینی می‌کند. اگرچه این اولین کار انجام‌شده در این زمینه است و هنوز جای بهبود وجود دارد، اما اثربخشی آن بر روی مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده کاملاً مشخص است.

#### ۶- مراجع

- [1] I. L. Organization, "Recommendation concerning the list of occupational diseases and the recording and notification of occupational accidents and diseases (Recommendation R194)," Geneva, 2002.
- [2] S. K. P. M. K. M. P. M. M. M. e. a. Parno A, "The prevalence of occupational musculoskeletal disorders in Iran: A meta-analysis study," *Work*, vol. 58, no. 2, pp. 203-214, 2017.
- [3] L. P. M. T. Weahrer G, "Costs of occupational injury and illness within the health service sector," *International Journal of Health Services*, vol. 35, no. 2, pp. 243-359, 2005.
- [4] K. R. A. R. M. S. F. A. M. A. Parno, "Meta-analysis Study of Work-related Musculoskeletal Disorders in Iran," *Rehabilitation*, vol. 21, no. 2, pp. 182-205, 2020.
- [5] M. Srini Pillay, "https://www.health.harvard.edu/," june 2020. [Online]. Available: <https://www.health.harvard.edu/blog/psychology-low-back-pain-201604259537>.
- [6] T. A. Souza, *Differential Diagnosis for the Chiropractor*, Aspen Publishers, 2001.
- [7] M. M. D. L. D. Craig F. Nelson DC, "Effects of a Managed Chiropractic Benefit on the Use of Specific Diagnostic and Therapeutic Procedures in the Treatment of Low Back and Neck Pain," *Manipulative and Physiological Therapeutics*, vol. 28, no. 8, pp. 564-569, 2005.

- [8] Joel Alcantara DC, Gregory Plaughter DC, Richard E. Thornton DC, Chris Salem DC, "Chiropractic care of a patient with vertebral subluxations and unsuccessful surgery of the cervical spine," *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, vol. 24, no. 7, pp. 477-482, 2001.
- [9] D. Lester, "https://lesterchiropracticny.com," 18 september 2010. [Online]. Available: <https://lesterchiropracticny.com/boosting-immunity/>.
- [10] R. R. F. B. J. Stetz MAJMC, "Virtual reality supporting psychological health," in *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6.*, vol. 337, Switzerland, Springer, 2011, pp. 13-29.
- [11] G. C. T. B. Fabio Galbusera, "Artificial intelligence and machine learning in spine research," *JOR Spine*, vol. 2, no. 1, 2019.
- [12] M. W. B. J. B. I. J. Dascal, "Virtual reality and medical inpatients: A systematic review of randomized, controlled trials.," *Innovation Clinical Neuroscience*, vol. 14, no. 1-2, p. 14-21, 2017.
- [13] E. V. J. R. B. A. C. B. David M. Boland, "Inter- and intra-rater agreement of static posture analysis using a mobile application," *Journals of Physical Therapy Science*, vol. 28, p. 3398-3402, 2016 Dec 27.
- [14] E. V. B. Kimberly A. Szucs, "Rater reliability and construct validity of a mobile application for posture analysis," *Journal of Physical therapy Science*, vol. 3, p. 31-36, 2018 Jan 27.
- [15] H. J. e. a. N. Morina, "Can virtual reality exposure therapy gains be generalized to real-life? A meta-analysis of studies applying behavioral assessments," *Behavior Research and Therapy*, vol. 4, p. 18-24, 2015.
- [16] D. M. AW. Faber, "Repeated use of immersive virtual reality therapy to control pain during wound dressing changes in pediatric and adult burn patients," *Journal of Burn Care and Research*, vol. 34, no. 5, p. 563-568, 2013.
- [17] B. Spiegel, G. Fuller, M. Lopez, T. Dupuy, B. Noah, A. Howard, M. Albert, "Virtual reality for management of pain in hospitalized patients: a randomized comparative effectiveness trial," *Plos One*, 2019.
- [18] R. M. A.-E. K.-W. K.-O. C. K. A. C. Z. H. L. M. Ortiz-Catalan, "Phantom motor execution facilitated by machine learning and augmented reality as treatment for phantom limb pain: a single group, clinical trial in patients with chronic intractable phantom limb pain," *The Lancet*, vol. 388, no. 10062, pp. 2885-2894, 2016.
- [19] M. A. O. O. C. E. Mbada, "Comparative Effects of Clinic-and-Virtual Reality-Based McKenzie Therapy in Chronic Non Specific Low-Back Pain," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 99, no. 10, pp. 66-79, 2019.



- [20] S.-J. P. J.-W. P. ., J.-W. K. ., H.-J. Y. T.-W. K. J. S. H. S.-H. H. J-H Ryu, "Randomized clinical trial of immersive virtual reality tour of the operating theatre in children before anaesthesia," *British Journal of Surgery*, vol. 104, no. 12, p. 1628–1633, 2017.
- [21] B. M.-M. G. J. L.Ganry, "Using virtual reality to control preoperative anxiety in ambulatory surgery patients: A pilot study in maxillofacial and plastic surgery," *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 119, no. 4, p. 257–261, 2018.
- [22] A.Ioannou, E.Papastavrou, M.N.Avraamides, A.Charalambous, "Virtual Reality and Symptoms Management of Anxiety, Depression, Fatigue, and Pain: A Systematic Review," *SAGE Open Nursing*, vol. 6, pp. 1-13, 2020.
- [23] A. B. F. F. F. M. C.Imperatori, "Global Storm of Stress-Related Psychopathological Symptoms: A Brief Overview on the Usefulness of Virtual Reality in Facing the Mental Health Impact of COVID-19," *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, vol. 23, no. 11, 2020.
- [24] A. M.Javaid, "Virtual reality applications toward medical field," *Clinical Epidemiology and Global Health*, vol. 8, no. 2, pp. 600-605, 2020.
- [25] N.Butti, E.Biffi, C.Genova, R.Romaniello, D.F.Redaeli, G.Reni, R.Borgatti & C.Urgesi, "Virtual Reality Social Prediction Improvement and Rehabilitation Intensive Training (VR-SPIRIT) for paediatric patients with congenital cerebellar diseases: study protocol of a randomised controlled trial," study protocol of a randomised controlled trial, 2020.
- [26] E. T.-Y. C. C.-Y. Y. Wen Penn, "Effects of Virtual-Reality-Augmented Cardiopulmonary Rehabilitation Programs for Patients with Cardiovascular Diseases: A Systemic Review," *Neuropsychiatry Journal* , vol. 8, no. 5, 2018.
- [27] L. L. B. M. B. F. A. João P.L.N.Silva, "Effects of Conventional and Virtual Reality Cardiovascular Rehabilitation in Body Composition and Functional Capacity of Patients with Heart Diseases: Randomized Clinical Trial," *International Journal of Cardiovascular Sciences*, vol. 31, no. 6, pp. 619-629, 2018.
- [28] F. A.-E. E.-G. I.Cortés-Pérez, "Immersive Virtual Reality in Stroke Patients as a New Approach for Reducing Postural Disabilities and Falls Risk: A Case Series," *Stroke Treatments and Therapies*, vol. 10, no. 5, pp. 296-308, 2020.
- [29] P. M. G. v. W. C. C. N. Pares, "Achieving dialogue with children with severe autism in an adaptive multisensory interaction: the "MEDIATE" project," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 11, no. 6, pp. 734-743, 2005.
- [30] J. M. Z. S. Fengfeng Ke, "Virtual Reality–Based Social Skills Training for Children With Autism Spectrum Disorder," *Journal of Special Education Technology*, vol. 37, no. 1, 2020.
- [31] A. J. J. M. A. W. P. B. L. S. J. W. K. K.-S. Marek Kurzynski, "Computer-aided training sensorimotor cortex functions in humans before the upper limb transplantation using virtual reality and sensory feedback," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 87, pp. 311-321, 2017.

- [32] T.L.Ong, M.M. Ruppert, M.Akbar, P.Rashidi, T.Ozrazgat-Baslanti, A.Bihorac, M.Suvajdzic, "Improving the Intensive Care Patient Experience With Virtual Reality—A Feasibility Study," *Critical Care Explorations*, vol. 2, no. 6, p. 122, 2020.
- [33] A. Jamaludin, "Automated Analysis of Spinal MRI using Deep Learning," University of Oxford, 2017.
- [34] S. P. B. B. S. D. K. P. A. M. H. M. R. G. G. S. R. P. Jen-Tang Lu, "Deep Spine: Automated Lumbar Vertebral Segmentation, Disc-Level Designation, and Spinal Stenosis Grading using Deep Learning," in *3rd Machine Learning for Healthcare Conference*, 2018.
- [35] Y. X. T. T. Yannan Yu, "Use of Deep Learning to Predict Final Ischemic Stroke Lesions From Initial Magnetic Resonance Imaging," *JAMA Network Open*, vol. 3, no. 3, 2020.
- [36] P. A. N. K. M. M.Babae, "A Predictive Model for Assessment of Successful Outcome in Posterior Spinal Fusion Surgery," *International Clinical Neuroscience Journal*, vol. 4, no. 4, pp. 143-151, 2017.
- [37] M. H.Li, "A deep learning model for early prediction of Alzheimer's disease dementia based on hippocampal magnetic resonance imaging dat," *Alzheimer's & Dementia*, vol. 15, no. 8, pp. 1059-1070, 2019.
- [38] L. T. H. & M. J.Venugopalan, "Multimodal deep learning models for early detection of Alzheimer's disease stage," *scientific reports*, 2021.
- [39] Nguyen Thanh Duc, Seungjun Ryu, Muhammad Naveed Iqbal Qureshi, Min Choi, Kun Ho Lee & Boreom Lee, "3D-Deep Learning Based Automatic Diagnosis of Alzheimer's Disease with Joint MMSE Prediction Using Resting-State fMRI," *Neuroinformatics*, vol. 18, pp. 71-86, 2020.
- [40] I. D. C. S. C. Jason Smucny, "Comparing machine and deep learning-based algorithms for prediction of clinical improvement in psychosis with functional magnetic resonance imaging," *Human Brain mapping*, vol. 42, no. 4, pp. 1197-1205, 2020.
- [41] B. P.Korfatis, "Deep learning can see the unseeable: predicting molecular markers from MRI of brain gliomas," *Clinical Radiology*, vol. 74, no. 5, pp. 367-373, 2019.
- [42] F.-T. W. Y.-H. T. M. T. C. Y.-P. E. C. R. S. J.-C. W. V.Chin-Hung Chen, "Convolutional Neural Network-Based Deep Learning Model for Predicting Differential Suicidality in Depressive Patients Using Brain Generalized q-Sampling Imaging," *The Journal of Clinical Psychiatry*, vol. 82, no. 2, 2021.
- [43] Y. Y. B. G. H. LeCun, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, pp. 436-444, 2015.
- [44] A. S. L. A. Lundervold, "An overview of deep learning in medical imaging focusing on MRI," *Zeitschrift für Medizinische Physik*, vol. 29, no. 2, pp. 102-127, 2019.

- [45] M. A. B. S. Scherer D, "Evaluation of pooling operations in convolutional architectures for object recognition," in International conference on artificial Neural Network, Berlin, 2010.
- [46] B. B. J. S. D. D. H. Y. LeCun, "Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition," Neural Computation, vol. 29, no. 2, pp. 541-551, 1989.
- [47] Z. Zhang, "Improved adam optimizer for deep neural networks," in IEEE/ACM 26th International Symposium on Quality of Service (IWQoS), Banff, 2018.
- [48] K. N. L. L. M. A. H. F. K. Ruqian Hao, "A Comprehensive Study of Data Augmentation Strategies for Prostate Cancer Detection in Diffusion-Weighted MRI Using Convolutional Neural Networks," Journal of Digital Imaging, vol. 34, p. 862–876, 2021.
- [49] J. W. D. R. S. L.-J. L. K. L. L. F.-F. Deng, "Imagenet: A large-scale hierarchical image database," in IEEE conference on computer vision and pattern recognition, Miami, 2009.
- [50] M. C. A. D. R. V. D. P. D. B. Ramprasaath R. Selvaraju, "Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization," International Journal of Computer Vision, vol. 128, p. 336–359, 2020.