



Islamic Azad University , Shiraz Branch
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis



نشریه

تحلیل مدارها،

داده ها

و سامانه ها





نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها

هیات تحریریه

| | | |
|---------------------------|-------------------------------|------------|
| دانشگاه آزاد اسلامی شیراز | دکتر حامد آگاهی | مدیر مسئول |
| دانشگاه صنعتی شیراز | دکتر طاهر نیکنام | سر دبیر |
| دانشگاه آزاد اسلامی شیراز | دکتر زهرا مقصودزاده سروسستانی | مدیر داخلی |

هیات تحریریه

| | | |
|---|-----------------------------|---------|
| دانشگاه صنعتی شیراز | دکتر طاهر نیکنام | استاد |
| دانشگاه شیراز | دکتر رحیم غیور | استاد |
| دانشگاه شیراز | دکتر حبیب اله عبیری | استاد |
| دانشگاه صنعتی خواجه نصیر | دکتر حمید خالوزاده | استاد |
| دانشگاه بین المللی امام خمینی | دکتر اصغر کشت کار | استاد |
| دانشگاه صنعتی امیرکبیر | دکتر محمدباقر منهج | استاد |
| دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات | دکتر محمد ناصر مقدسی | استاد |
| دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله | دکتر حسن توکلی | استاد |
| دانشگاه شهید بهشتی | دکتر سید ابراهیم افجه ای | استاد |
| دانشگاه آزاد اسلامی شیراز | دکتر حامد آگاهی | دانشیار |
| دانشگاه آزاد اسلامی قزوین | دکتر احمد فخاریان | دانشیار |
| دانشگاه آزاد اسلامی قزوین | دکتر امیرمسعود افتخاری مقدم | دانشیار |
| دانشگاه شهرکرد | دکتر مجید ابن علی | دانشیار |
| دانشگاه آزاد اسلامی شیراز | دکتر محمدصادق جوادی | دانشیار |



نشریه تحلیل مدارها، داده‌ها و سامانه‌ها

سال اول - شماره چهارم - زمستان ۱۴۰۲

فهرست مقالات

| ردیف | عنوان مقاله / نویسندگان | صفحه |
|------|--|------|
| ۱ | تشخیص تومور مغزی در تصاویر رزونانس مغناطیسی با استفاده از شبکه عصبی کانولوشنی عمیق میترا افسری نژاد، نبی اله شیری، رامین براتی | ۱ |
| ۲ | کاربرد اینترنت اشیا در سلامتی و تناسب اندام هوشمند راضیه شیردل، زهرا مقصودزاده سروستانی | ۱۰ |
| ۳ | سوگیری الگوریتم‌های توصیه ناشی از رفتار رتبه‌بندی کاربران در شبکه‌های اجتماعی آنلاین مهدی صفرپور، سید هادی یعقوبیان، کرم الله باقری فرد، راضیه ملک حسینی، صمد نجاتیان | ۱۷ |
| ۴ | مکان‌یابی خودکار کاروانسراها در تصاویر ماهواره‌ای با بهره‌گیری از تکنیک‌های پردازش تصویر مبتنی بر یادگیری عمیق محمد حسین سالاری، محمدمبین شایگان، فرناز فرجی | ۲۶ |
| ۵ | بهبود سیستم‌های توصیه‌گر وب با استفاده از مهندسی ویژگی برای پیش‌بینی لینک‌های بعدی کاربران وحید صفاری، کرم الله باقری فرد، حمید پروین، صمد نجاتیان، وحیده رضایی | ۳۹ |
| ۶ | طراحی و شبیه‌سازی ساختاری پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور جهت تولید و افزایش هارمونیک سوم محمدجواد رحیم‌زاده، رحیم غیور، مریم محیط پور | ۴۷ |



تشخیص تومور مغزی در تصاویر رزونانس مغناطیسی با استفاده از

شبکه عصبی کانولوشنی عمیق

میترا افسری نژاد^۱، نبی اله شیری^{۲*}، رامین براتی^۳

^۱ گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
mitra_afsarinejad@yahoo.com

^۲ گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
na.shiri@iau.ac.ir

^۳ گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران
barati.ramin@aut.ac.ir

چکیده: در این مقاله، تشخیص تومور مغز از طریق به کارگیری روشهای پیشرفته یادگیری عمیق مورد بررسی قرار گرفته است. رویکرد این مطالعه، شامل توسعه و آموزش یک معماری جامع از شبکه عصبی کانولوشنی (CNN) با بهره‌گیری از یک مجموعه داده گسترده از تصاویر رزونانس مغناطیسی مغز (MRI) می‌باشد. مدل پیشنهادی در طبقه‌بندی بافت معمولی مغز و مناطق تحت تأثیر تومور، بسیار توانمند است. این معماری شامل لایه‌های متعدد از جمله لایه‌های کانولوشنی، نرمال‌سازی دسته‌ای و لایه‌های پولینگ است که در نهایت به یک لایه قوی طبقه‌بندی منجر می‌شود. از طریق آموزش دقیق و بهینه‌سازی، شبکه عصبی کانولوشنی معرفی شده توانسته است در طبقه‌بندی تومور مغز به دقت بالایی دست یابد. اثربخشی این مدل پیشنهادی از طریق آزمایش‌های جامع به نمایش گذاشته شده، که نشان‌دهنده قابلیت آن در تشخیص دقیق تومور مغز است.

واژه های کلیدی: تومور مغزی، شبکه عصبی کانولوشنی، تصویربرداری پزشکی، یادگیری عمیق، طبقه‌بندی تصویر.

Brain Tumor Detection in Magnetic Resonance Imaging by Deep Convolutional Neural Network

Mitra Afsarinejad¹, Nabiollah Shiri^{2*}, Ramin Barati³

¹Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
mitra_afsarinejad@yahoo.com

²Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
na.shiri@iau.ac.ir

³Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

Abstract:

In this paper, brain tumor detection is addressed through the application of advanced deep-learning techniques. The approach involves the development and training of a comprehensive convolutional neural network (CNN) architecture. Leveraging an extensive dataset of brain magnetic resonance imaging (MRI), the proposed model expresses its proficiency in the classification of normal brain tissue and tumor-affected regions. The architecture encompasses multiple layers, including convolutional, batch normalization, and pooling layers, culminating in a robust classification layer. Through rigorous training and optimization, the introduced CNN achieves a high level of accuracy in brain tumor classification. The effectiveness of the proposed model is showcased through comprehensive experimentation, demonstrating its potential to significantly contribute to the medical field's efforts in precise brain tumor diagnosis.

Keywords: Brain tumor, Convolutional neural network, Medical imaging, Deep learning, Image classification.

DOI:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲

۱- مقدمه

در [۴] یک رابط یادگیری ماشین ۱۶ کاناله، محاسبات محصول داخلی را در یک آرایه مبدل دلتاسیگما (IPDSM) جاسازی می‌کند که نویز کوانتیزه را از بین می‌برد. این نمونه، در CMOS ۶۵ نانومتری به مساحت ۰/۹۵ میلیمتر مربع جای می‌گیرد و هر کانال تا ۱۰۰ میلیون ضرب در ثانیه انجام می‌دهد. سیستم با یک روش استاندارد یادگیری ماشین برای تشخیص تصویر ارائه شده و دقت طبقه‌بندی برابر با استفاده از یک الگوریتم مشابه در DSP نقطه شناور است. در [۵] یک طبقه‌بندی‌کننده یادگیری ماشین معرفی می‌شود که محاسبات را درون یک آرایه SRAM استاندارد انجام می‌دهد. این سیستم، عملیات حافظه صریح را حذف کرده و در شناسایی ارقام از تصاویر پایگاه داده MNIST با دقت بالا و مصرف انرژی ۱۱۳ برابر کمتر نسبت به سیستم دیجیتال SRAM لیده‌آل عمل می‌کند. الگوریتم AdaBoost.R، یک الگوریتم تقویتی برای مسائل رگرسیون است که با حذف نمونه‌هایی با خطای تخمین نسبی بالاتر از یک آستانه، مراحل AdaBoost را انجام می‌دهد. این الگوریتم از مدل M5 به عنوان یک ماشین یادگیری ضعیف برای آزمایش‌ها استفاده می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که AdaBoost.RT بر روی بیشتر مجموعه‌های داده بهتر از روش‌های دیگر عمل می‌کند [۶]. رگرسیون لجستیک و شبکه‌های عصبی از مدل‌های معمول در طبقه‌بندی داده‌های پزشکی هستند [۷]. این مقاله، تفاوت‌ها و شباهت‌ها را خلاصه کرده و آن‌ها را با سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین مقایسه می‌کند. ملاحظاتی برای ارزیابی کیفیت مدل‌ها و نتایج مطرح می‌شود. در نهایت، یافته‌ها در مورد برآورده شدن معیارهای کیفیت برای این مدل‌ها خلاصه می‌شود. در [۸] یک سامانه یادگیری با استفاده از ماشین بردار پشتیبان (SVM) برای استخراج اطلاعات (IE) ارائه می‌شود. از ویژگی منحصر به فرد سامانه، استفاده از SVM با حاشیه‌های ناهمسان برای مجموعه‌های داده کم‌حجم است. این رویکرد نیاز به تعداد کمتری طبقه‌بند SVM برای آموزش دارد و در مقایسه با سامانه‌های مبتنی بر SVM دیگر، عملکرد بهتری داشته است. مقاله [۹] به بررسی سیستم‌های تشخیصی خودکار برای تشخیص سرطان پستان می‌پردازد. هدف اصلی آن، راهنمایی برای توسعه سیستم‌های پشتیبان تصمیم خودکار جهت تشخیص سرطان پستان است. مقایسه نتایج نشان داده که ماشین بردار پشتیبان دقت تشخیص بیشتری نسبت به سایر سیستم‌های تشخیصی خودکار دارد. در [۱۰] یک مدل فازی نوین ارائه شده که امکان نمایش چندین کلاس با احتمالات مختلف را داراست. این مدل از توسعه‌ای از طبقه‌بند بیز مربعی بهره می‌برد و از الگوریتم خوشه‌بندی نظارت شده برای شناسایی استفاده می‌کند. موفقیت این رویکرد در دسته‌بندی سرطان سینه نشان داده شده است.

پیشرفت‌های صورت گرفته در تصویربرداری پزشکی، دقت تشخیص بی‌نظیری را به ارمغان آورده است. تصویر رزونانس مغناطیسی (MRI) به‌عنوان یک ابزار مهم در زمینه رادیولوژی ظاهر شده و به‌خصوص، استفاده از هوش مصنوعی در تجزیه و تحلیل داده‌های MRI، پیشرفت‌های بی‌پایانی را در تشخیص و توصیف تومورهای مغزی ایجاد کرده است. این مقاله در حوزه راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای تشخیص تومور مغز در تصاویر MRI وارد می‌شود و نقش اساسی شبکه‌های عصبی عمیق (DNNs) را در انقلاب دقت و کارایی روش‌های تشخیصی، برجسته می‌کند. با بهره‌گیری از قدرت شبکه‌های عصبی عمیق، امکان بهبود فرآیند تشخیص از طریق شناسایی زود هنگام و دقیق تومورهای مغز بررسی می‌شود.

در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های یادگیری عمیق تشخیص دقیق و به‌موقع تومورهای مغز نقش کلیدی در تشخیص زود هنگام و برنامه‌ریزی درمان ایفا می‌کند. در زمینه تشخیص تومور مغز، تحقیقات مختلف نتایج قابل توجهی داشته‌اند. در [۱] یک سیستم نوآورانه با استفاده از مقایسه‌گرها با مصرف انرژی کم برای طبقه‌بندی سیگنال‌های حسگرهای آنالوگ معرفی می‌شود. این سیستم با جایگزینی تقویت‌کننده‌ها و مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال، دقت ۹۰٪ در طبقه‌بندی ده‌راهه را با مصرف انرژی ۵۴۳ پیکوژول، با کاهش ۳۳ برابری نسبت به سیستم‌های دیجیتال معمولی، ارائه می‌دهد. این پیشرفت‌ها در عملکرد و بهره‌وری انرژی، تحولات قابل توجهی را به همراه داشته‌اند. پژوهش [۲] یک ضرب‌کننده ماتریسی سوئیچ شده با ظرفیت برنامه‌پذیر را با حافظه بدون خط معرفی می‌کند. این طراحی از ظرفیت‌های یکای فرنجی برای پردازش انرژی با سرعت بالا و هزینه کم بهره‌مند می‌برد. دو کاربرد این ضرب‌کننده شامل: (۱) جلوه آنالوگ برای سیستم تشخیص تصویر با کاهش تعداد تبدیل A/D و مصرف انرژی (۲) شتاب‌دهنده هم‌پردازشی برای بهینه‌سازی نزول گرادینت تصادفی با بهره‌وری انرژی بالا [۲] می‌باشند. در [۳] یک سیستم حسگر پزشکی معرفی می‌شود که با مصرف انرژی کم، بیشترین محاسبات طبقه‌بندی را درون تبدیل آنالوگ به دیجیتال (ADC) انجام می‌دهد. از الگوریتم پردازشی برای ترکیب ویژگی خطی و طبقه‌بندی در یک تبدیل ماتریسی استفاده شده و از ADC ضرب‌کننده ماتریسی جهت ضرب با انرژی کمتر استفاده می‌شود. دو سیستم نمونه‌ای نیز ارائه شده‌اند: (۱) یک تشخیص‌گر آریتمی قلبی (۲) یک تشخیص‌گر جنسیت چهره. خطای RMS برای تمامی ضرب‌کردن‌ها ۰/۰۱۸ و صرفه‌جویی در انرژی به ترتیب ۱۳ و ۲۹ برابر سیستم‌های معمولی است.



مقاله [۱۱] یک سامانه تشخیص خودکار برای سرطان سینه با استفاده از قوانین ارتباط و شبکه عصبی معرفی می‌کند. از قوانین ارتباط برای کاهش ابعاد پایگاه داده و شبکه عصبی برای طبقه‌بندی هوشمندانه استفاده شده و نرخ درست طبقه‌بندی سامانه ۹۵/۶٪ است. این تحقیق نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند برای ساخت سامانه‌های تشخیص خودکار سریع برای بیماری‌های دیگر نیز مفید باشد. در [۱۲] یک بهبود نوآورانه در آموزش شبکه‌های عصبی برای دسته‌بندی الگو ارائه می‌شود. الگوریتم آموزش، الهام‌گرفته از ویژگی متاپلاستیک نورون‌ها و نظریه اطلاعات شانون، برای شبکه‌های عصبی مصنوعی طراحی شده و بر یک ملیپرسترون چندلایه اعمال می‌شود. الگوریتم AMMLP مقادیر بالاتری برای به‌روزرسانی وزن‌ها در فعالیت‌های کمتر فراگیر اختصاص می‌دهد و به آموزش کارآمد و بهبود عملکرد MLP می‌انجامد. بر اساس آزمایش، با استفاده از پایگاه داده سرطان سینه ویسکانسین (WBCD)، AMMLP بهترین نتیجه را با دقت ۹۹/۶۳٪ ارائه داده است. مقاله [۱۳] یک سیستم CAD را با استفاده از تکنیک رمزگذاری one-hot برای تشخیص خودکار سرطان سینه ارائه می‌دهد. سیستم با استفاده از مجموعه داده BreakHis با دقت ۹۸/۶۲٪ عملکرد بهتری نسبت به روش‌های پیشین داشته و با استفاده از معیارهای مختلف، عملکرد سیستم را بهبود بخشیده است. حسگرهای تصویر اشعه ایکس بزرگ بر مبنای تکنولوژی CMOS APS برای کاربردهای پزشکی -از جمله توموسینتز دیجیتال سینه- ارائه شده‌اند. نویز الکترونیکی پایین این حسگرها، امکان استفاده از فاصله پیکسل کوچک‌تر از ۷۵ میکرومتر برای شناسایی میکروکلسیفیکیشن و کاهش میانگین در عددی DBT را فراهم می‌کند [۱۴].

در [۱۵]، یک طبقه‌بند شبکه عصبی مصنوعی آنالوگ با استفاده از یک تابع فعال‌ساز غیرخطی مبتنی بر تقویت‌کننده منبع مشترک ارائه داده است. این شبکه با دقت ۰/۸۲ بر روی مجموعه داده MNIST (اعداد ۰ تا ۹) عمل کرده و با استفاده از ساختار تقویت‌کننده سورس مشترک، مصرف انرژی خود را ۵ برابر کاهش داده است. در [۱۶]، رویکردی برای پیشگیری از خطاهای محاسباتی ناشی از خطاهای سخت‌افزاری در پردازنده‌های دیجیتال ارائه شده است. از مراحل یادگیری ماشین تعبیه‌شده استفاده شده و دو سیستم تحلیل داده حسگر (تشخیص تشنج بر اساس EEG و تشخیص آریتمی قلب بر اساس ECG) در سخت‌افزار با دقت بازسازی شده‌اند. این سیستم‌ها با استفاده از یک هسته کوچک بدون خطا مدل حساس به خطا را ایجاد و به کار می‌برند. در [۱۷]، یک شبکه عصبی مصنوعی آنالوگ با استفاده از تقویت‌کننده سورس مشترک ارائه شده است. این شبکه با ساختار ساده‌تر و مصرف انرژی کمتر، در تشخیص سرطان سینه با دقت بالا عمل می‌کند. یک توپولوژی نوآورانه برای تقریب دقیق تابع تانژانت هایپربولیک در حلق جریانی با استفاده از ترانزیستورها در ناحیه زیرآستانه در [۱۸] معرفی می‌شود. این توپولوژی با ساختار کاملاً تفاضلی و متعادل، مصرف انرژی و مساحت را به حداقل می‌رساند.

توپولوژی با در نظر گرفتن اثر بدن، تحلیل شده و اصلاحاتی جهت ایمن‌سازی اثر بدن اعمال شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی برای پیاده‌سازی در تکنولوژی CMOS AMI با اندازه ۰/۳۵ میکرومتر ارائه شده‌اند. مقاله [۱۹] به بررسی کاربرد گسترده روش یادگیری پس‌انتشار در تحقیقات شبکه‌های عصبی می‌پردازد. این روش نزول تصادفی از دهه ۶۰، در انواع مدل‌ها و توابع هدر کاربرد دارد. به‌ویژه، در مسئله تشخیص الگو از آن استفاده شده و یک الگوریتم یادگیری جدید بر اساس معیار اطلاعات ارائه داد. ویژگی‌های دینامیکی منحنی‌های یادگیری بر اساس مقاله‌ای قدیمی از نویسنده مورد بررسی قرار گرفته است. مقاله با بخش کوتاه تاریخی به پایان می‌رسد. در [۲۰] یک روش بهینه‌سازی برای یادگیری از منابع توزیعی مختلف را ارائه می‌شود و از اطلاعات داده‌ها در شرایط ناهمگن بهره می‌برد. این روش نسبت به روش‌های معمول، بهبود یافته و قابلیت اعمال در دامنه‌های مختلف داده را نشان می‌دهد. با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در مقالات فوق، هدف اصلی این مقاله، پیاده‌سازی و آموزش یک مدل شبکه عصبی عمیق برای دسته‌بندی تصاویر با استفاده از الگوریتم‌ها و تنظیمات آموزش بهینه است. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی با ارتقاء شاخص‌های ارزیابی اصلی نظیر Dice، حساسیت و دقت، به بهبودهای مهمی دست یافته، که این امر به بهبود کارایی مدل در زمینه تصویربرداری و دسته‌بندی تصاویر اشاره دارد. در ادامه این مقاله، بررسی جامعی از معماری شبکه عصبی عمیق پیشنهادی انجام می‌شود. در بخش دوم، مدل شبکه عصبی عمیق طرح پیشنهادی بیان می‌شود. بخش سوم نتایج شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج را نشان می‌دهد. در نهایت، در بخش چهارم، نتایج تحقیق انجام شده بیان می‌شود.

۲- شبکه عصبی متعارف عمیق پیشنهادی

مجموعه داده‌های تصویربرداری پزشکی به طور ذاتی، پیچیده و متنوع هستند و شامل ساختارهای آناتومیک مختلف، نویز و تغییرات می‌شوند. در این زمینه، شبکه عصبی کانولوشنی عمیق پیشنهادی از ظرفیت خود برای یادگیری خودکار ویژگی‌های تمییزدهنده از داده‌های تصویر خام بهره می‌برد. قابلیت این معماری برای ضبط الگوها و نمایش‌های پیچیده در تصاویر، به همراه فرآیند استخراج ویژگی سلسله‌مراتبی، آن را به یک نامزد ایده‌آل برای وظایف تشخیص تومور تبدیل کرده است. هدف اصلی این مطالعه توسعه یک مدل موثر برای تشخیص تومور با آموزش یک شبکه عصبی کانولوشنی عمیق بر روی یک مجموعه داده تصویر پزشکی است. مجموعه داده Kaggle، پیش‌پردازش شده تا اطمینان از یکنواختی و انطباق مناسب با وظیفه مورد نظر حاصل شود. همانطور که در شکل‌های (۱،۲) نشان داده شده، معماری عصبی کانولوشنی با چندین لایه کانولوشنی و لایه پولینگ طراحی شده که این امکان را می‌دهد که ویژگی‌های مرتبط را از تصاویر با مقیاس‌های مختلف یاد بگیرد و استخراج کند.

شتاب‌دهنده گرافیکی به طور قابل توجهی آموزش را سریع‌تر می‌کند. برخلاف اثرات گذشته، استراتژی پیش‌پردازش این پژوهش، تصاویر را به ابعاد 28×28 استاندارد تبدیل می‌کند که همگرایی در کل مجموعه داده را ترویج می‌دهد. ارزیابی دقیق، تقسیم سیستماتیک مجموعه داده و انتخاب‌های ذهنی، از ویژگی‌های این پژوهش می‌باشد.

شکل (۲) معماری CNN را که برای تشخیص تومور مغز طراحی شده، نشان می‌دهد. اجزای معماری به شرح زیر می‌باشد:

۱. لایه ورودی، نمایانگر ورودی شبکه است؛ جایی که تصاویر ورودی

با ابعاد مشخص (28×28 پیکسل) به شبکه وارد می‌شوند.

۲. لایه کانولوشن ۱ اولین عمل کانولوشن را انجام داده و الگوهای مهم در تصاویر مربوط به تومور را استخراج می‌کند.

۳. لایه نرمال‌سازی دسته‌ای ۱، لایه کاهش ابعاد و نرمال‌سازی دسته‌ای (BatchNorm1) بوده و پایداری و همگرایی شبکه را افزایش می‌دهد. تابع فعال‌سازی ReLU 1 به شبکه امکان یادگیری الگوهای پیچیده‌تر را می‌دهد. لایه کاهش ابعاد (Max Pooling 1) ابعاد تصاویر را کاهش داده و ویژگی‌های مهم را حفظ می‌کند.

۴. لایه کانولوشن ۲ ادامه استخراج ویژگی‌های پیچیده‌تر از نقشه‌های ویژگی به دست آمده از لایه‌های قبلی را انجام می‌دهد.

۵. لایه نرمال‌سازی دسته‌ای ۲، مانند لایه‌های قبلی عمل می‌کنند و به افزایش کارایی و یادگیری اطلاعات مفید برای تشخیص تومور کمک می‌کند.

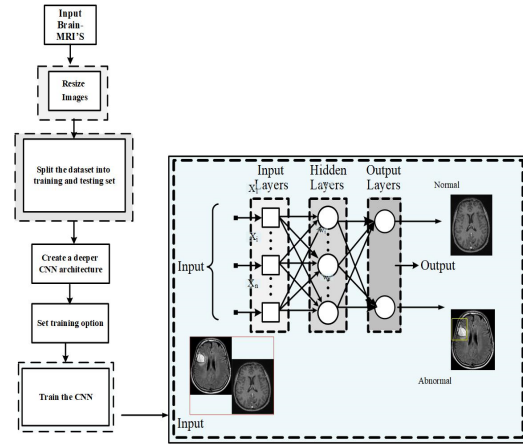
۶. لایه کاملاً متصل ۱ و Dropout Layer ویژگی‌های استخراج شده را با هم ترکیب کرده و با اعمال Dropout از اورفیت کردن جلوگیری می‌کنند.

۷. لایه کاملاً متصل ۲، ادامه‌ی فرآیند یادگیری را انجام می‌دهند.

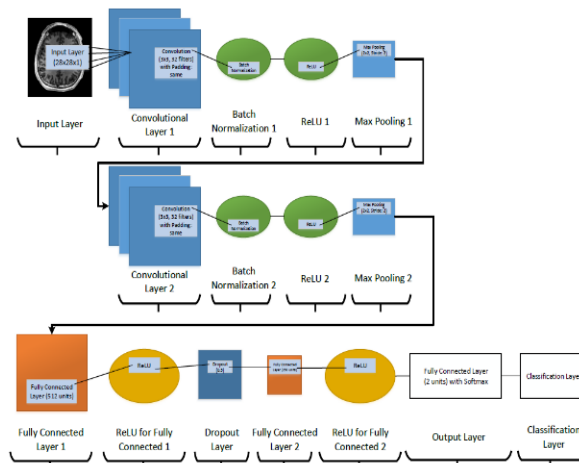
۸. لایه خروجی (طبقه‌بندی)، اطلاعات نهایی پیش‌بینی را ارائه می‌دهد. در اینجا از تابع softmax استفاده شده تا اطلاعات به صورت یک توزیع احتمالی بر روی دو کلاس، تومور و عدم تومور، تولید شود. لایه طبقه‌بندی بر اساس بیشترین احتمال تعیین کلاس پیش‌بینی شده است.

این شبکه با دقت و جزئیات طراحی شده تا ویژگی‌های تصاویر ورودی را استخراج کند، این ویژگی‌ها را بهینه‌سازی کند و پیش‌بینی دقیقی از تشخیص تومور مغز ارائه دهد. ترکیب لایه‌های کانولوشنی، نرمال‌سازی دسته‌ای و کاملاً متصل، این شبکه را قادر به یادگیری و تمایز الگوهای پیچیده مرتبط با ویژگی‌های تومور می‌کند.

شبکه‌های عصبی کانولوشنال به عنوان یک دسته قدرتمند از مدل‌های یادگیری عمیق برای وظایف مختلف بینایی ماشین، از جمله طبقه‌بندی تصویر، شناسایی اشیاء و تقسیم‌بندی معنایی، به وجود آمده‌اند. در اینجا، اجزای اساسی شبکه‌های عصبی کانولوشنال، روابط ریاضی و توضیح متغیرهای درگیر در لایه‌های کانولوشنال و توابع فعال‌سازی مورد بحث قرار می‌گیرند.



شکل (۱). روش کلی عملکرد CNN عمیق پیشنهادی.



شکل (۲). الگوریتم یادگیری عمیق CNN.

آموزش شبکه شامل بهینه‌سازی پارامترهای آن با استفاده از بهینه‌ساز Adam است؛ در حالی که انتخاب دقیق از هایپرپارامترها از همگرایی بهینه اطمینان حاصل می‌کند. استفاده از واحد پردازش گرافیکی (GPU) برای آموزش فرآیند را شتاب می‌دهد و امکان آزمایش و اعتبارسنجی سریع‌تر را فراهم می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که شبکه عصبی کانولوشنی (CNN) عمیق پیشنهادی با دقت بالا توانسته تصاویر پزشکی را به دو دسته دارای تومور و بدون تومور تقسیم کند. با دستیابی به عملکرد طبقه‌بندی بالا، امیدواری به بهبود توانایی تشخیصی پزشکی افزایش می‌یابد. معماری CNN پیشنهادی در مقایسه با تحقیقات موجود نوآوری‌های قابل توجهی ارائه می‌دهد. بر خلاف رویکردهای سنتی، مدل به طور استراتژیک از نرمال‌سازی دسته‌ای، لایه‌های dropout و نرخ‌های یادگیری تطبیقی از طریق بهینه‌ساز Adam بهره‌مند شده، که به همگرایی بهبود یافته و استخراج ویژگی قوی منجر می‌شود. افزایش تدریجی لایه‌های کانولوشنال و پولینگ، یادگیری ویژگی سلسله مراتبی را تسهیل می‌کند که مدل را از معماری‌های ساده‌تر متمایز می‌کند. علاوه بر این، اضافه شدن لایه‌های کاملاً متصل، تشخیص الگوهای پیچیده‌تر را فراهم می‌کند که قابلیت‌های برخی از مدل‌های معاصر را فراتر می‌برد. استفاده از



تابع، اختلاف میان توزیع واقعی کلاس (y) و توزیع پیش‌بینی شده کلاس (\hat{y}) را به صورت (۶) اندازه‌گیری می‌کند.

$$L(y, \hat{y}) = -\sum (y - i * \log(y - i)) \quad (6)$$

بهینه‌ساز Adam یک الگوریتم بهینه‌سازی تطبیقی است که معمولاً برای آموزش شبکه‌های عصبی استفاده می‌شود. این الگوریتم پارامترهای مدل را بر اساس میانگین متحرک گرادینان‌ها و مربع گرادینان‌ها به‌روزرسانی می‌کند و به صورت (۷-۹) معرفی می‌شود.

$$m_t = \beta_1 * m_{t-1} + (1 - \beta_1) * \nabla L \quad (7)$$

$$v_t = \beta_2 * v_{t-1} + (1 - \beta_2) * (\nabla L)^2 \quad (8)$$

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \alpha * m_t / (\sqrt{v_t} + \epsilon) \quad (9)$$

در اینجا، m_t و v_t میانگین‌های متحرک، θ_t پارامترهای مدل، α نرخ یادگیری، β_1 و β_2 هاپرپارامترها، و ϵ یک ثابت کوچک برای جلوگیری از تقسیم بر صفر هستند.

در این پژوهش، یک رویکرد بهینه‌سازی نوآورانه بیان شده که از یادگیری انتقالی با شبکه‌های عصبی کانولوشنال بهره‌مند می‌شود. این روش از دانش جمع‌آوری شده از مجموعه داده‌های بزرگ و ساختارهای پیچیده بهره می‌برد و در نهایت به بهبود تعمیم و همگرایی در وظیفه تشخیص تومور کمک می‌کند. در هسته استراتژی بهینه‌سازی، یک مدل مناسب از شبکه عصبی کانولوشن واقع شده است. این مدل با پیچیدگی‌های تحلیل تصاویر پزشکی هماهنگ می‌باشد و عواملی نظیر پیچیدگی معماری، اندازه مجموعه داده اصلی، و ارتباط با تصویربرداری پزشکی را در نظر گرفته است. مدل‌هایی چون ResNet، VGG، و Inception عملکرد استثنایی خود را در دامنه‌های مختلف تشخیص تصویر اثبات کرده‌اند و از اینرو برای تشخیص تومور با مکانیزم این تحقیق نیز گزینه‌های مناسبی هستند. پایه روش پیشنهادی، تغییر شکل دادن شبکه عصبی به شبکه عصبی کانولوشن پیش‌آموزش یافته برای تشخیص تومور است. لایه‌های تماماً متصل نهایی مدل پیش‌آموزه با یک سر تصویب سفارشی جایگزین می‌شوند تا با تعداد کلاس‌های تومور هدف هماهنگ شود. این افزوده شدن اطمینان حاصل می‌کند که شبکه به‌طور ساده از تشخیص تصویر عمومی به وظیفه خاص تشخیص تومور منتقل می‌شود. یک اصل کلیدی، حفظ هوشی است که توسط مدل پیش‌آموزش یافته از طریق یادگیری انتقالی به‌دست آورده است. برای تسهیل این فرآیند، به طور استراتژیک وزن‌های لایه‌های کانولوشنال منجمد شده تا از تغییر مکانیسم‌های اصلی استخراج ویژگی در طول آموزش جلوگیری می‌شود. این منجمدسازی استراتژیک، ویژگی‌های سلسله‌مراتبی جوهری را که مدل پیش‌آموزش یافته مسلط بر آنها شده است، حفظ می‌کند و این امکان را می‌دهد که بر روی تنظیم دقیق شبکه برای دامنه خاص خود تمرکز شود.

برای بهینه‌سازی بیشتر، می‌توان از تنظیم دقیق استفاده کرد. با باهوش‌مندان آزاد کردن و آموزش لایه‌های کانولوشنال انتخاب‌شده، مدل می‌تواند به جزئیات موجود در مجموعه داده تشخیص تومور تطبیق یابد. تنظیم دقیق کنترل‌شده، امکان یک مسیر برای شبکه

سنگ بنای شبکه‌های عصبی کانولوشنال، عملگر کانولوشن است که الگوهای محلی را از داده‌های ورودی استخراج می‌کند. این عملگر شامل ضرب اندازه‌های یک تصویر ورودی با یک هسته (همچنین به عنوان فیلتر شناخته می‌شود) است. نتیجه به صورت جمع‌بندی برای تولید یک نقشه ویژگی می‌شود. این فرآیند در سراسر تصویر تکرار می‌شود. رابطه عملگر کانولوشن در زیر بیان شده است.

$$F(x, y) = \sum (i, j) [I(x - i, y - j) * K(i, j)] \quad (1)$$

در اینجا، $F(x, y)$ مقدار در موقعیت (x, y) در نقشه ویژگی را نمایان می‌کند، I تصویر ورودی و K هسته است. تابع فعال‌سازی ReLU پس از عملگر کانولوشن برای معرفی غیرخطیت اعمال می‌شود. این تابع مقادیر منفی در نقشه ویژگی را با صفر جایگزین می‌کند و مقادیر مثبت را بدون تغییر باقی می‌گذارد.

$$\text{ReLU}[x] = \max(0, x) \quad (2)$$

در (۲)، x خروجی یک عملیات کانولوشن است که ویژگی‌های مهمی را در تصاویر پزشکی ثبت می‌کند. تابع ReLU به شبکه این امکان را می‌دهد که ویژگی‌های مهم مرتبط با تشخیص تومور را شناسایی و تقویت کند. به عبارت ساده‌تر، زمانی که خروجی لایه کانولوشن شامل اطلاعات مرتبط با حضور تومورها است، ReLU اطمینان حاصل می‌کند که این اطلاعات ذخیره شده و برای تحلیل بیشتر ارسال شود. از سوی دیگر، اگر خروجی به تشخیص تومور کمی نکند (یعنی مقدار منفی باشد)، ReLU این اطلاعات بی‌اهمیت را با صفر کردن آن به طور مؤثر حذف می‌کند. استفاده از فعال‌ساز ReLU در بهبود قابلیت شبکه برای یادگیری الگوهای پیچیده در تصاویر پزشکی نقش اساسی دارد و در نهایت در تشخیص دقیق و کارآمد تومورها کمک می‌کند و به عنوان تابع فعال‌ساز استاندارد در مدل‌های یادگیری عمیق به دلیل سادگی و اثربخشی در یادگیری الگوهای پیچیده متداول شده است.

هدف نرمال‌سازی دسته‌ای، نرمال‌سازی فعالیت‌های یک لایه است و به استقرار و شتاب بخشی در آموزش شبکه عصبی کمک می‌کند.

$$y = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (3)$$

در اینجا، x ویژگی ورودی، μ میانگین، و σ انحراف معیار ویژگی هستند. همچنین، Max pooling یک عملیات کاهش نمونه است که ابعاد فضایی یک نقشه ویژگی را کاهش می‌دهد و با (۴) مشخص می‌شود. این عملگر از بین یک پنجره تعریف‌شده، بیشینه مقدار را انتخاب می‌کند و به‌طور مؤثر اطلاعات بیشتری را ثبت می‌کند.

$$\text{MaxPooling}(x, y) = \max(x(2x, 2y), X(2x, 2y + 1), X(2x + 1, 2y), X(2x + 1, 2y + 1)) \quad (4)$$

رابطه خروجی یک نورون تکی به صورت (۵) می‌باشد.

$$y = \text{activation}(Wx + b) \quad (5)$$

در اینجا، W ماتریس وزن، x ورودی، b بایاس، و activation تابع فعال‌ساز هستند. تابع از دست دادن آنتروپی متقاطع به عنوان یک تابع از دست دادن معمولاً برای وظایف طبقه‌بندی استفاده می‌شود. این

به روزرسانی پارامترها در طول آموزش تأثیر می‌گذارد، در طول فرآیند آموزش به مقدار پایه‌ای ۰/۱۰ حفظ شد. این نتایج تأثیرگذاری معماری شبکه عصبی کانولوشنی پیشنهادی در یادگیری از داده‌های آموزش و بهبود دقت پیش‌بینی را نشان می‌دهند. با این حال، لازم به ذکر است که این معیارها، عملکرد مدل را بر روی داده‌های آموزش نشان می‌دهند. برای ارزیابی توانایی واقعی مدل در عمومی‌سازی و انجام پیش‌بینی دقیق بر روی داده‌های نامرئی، لازم است که عملکرد آن را بر روی مجموعه داده آزمون ارزیابی شود. روندهای مشاهده شده در جدول (۱) نشان‌دهنده توانمندی مدل برای عملکرد خوب بر روی داده‌های نامرئی است. با این حال، اعتبارسنجی و ارزیابی بیشتر بر روی مجموعه داده آزمون ضروری است تا نتایج قطعی‌تری به دست آید و اطمینان حاصل شود که مدل در سناریوهای واقعی تشخیص تومور مغز از اطمینان برخوردار است.

تجزیه و تحلیل و جزئیات آموزش با دقت انجام شد و به نتایج قابل توجهی منجر شد. زمان کل فرآیند آموزش تنها ۱۷ ثانیه بوده است. این سرعت قابل توجه به استفاده از یک GPU تنها بازمی‌گردد و نمونه‌ای از توانایی منابع سخت‌افزاری تخصصی در تسریع وظایف یادگیری عمیق است. دوره‌های آموزش قوی برنامه‌تربین، شامل ۳۰ دوره و هرکدام شامل ۴ تکرار بود که به مجموع ۱۲۰ تکرار مشخص شده دست یافت. در طول این فرآیند، نرخ یادگیری ثابت با مقدار ۰/۰۰۱ حفظ شد. این چرخه‌های آموزش قوی که تحت استراتژی نرخ یادگیری ثابت قرار دارند، نشان‌دهنده‌ی یک رویکرد پایدار و کارآمد برای آموزش شبکه‌های عصبی کانولوشنی عمیق می‌باشد. عملکرد موفق شبکه عصبی کانولوشنی با استفاده از یک GPU، نه تنها فرآیند آموزش را شتاب داد، بلکه نقش مهمی که سخت‌افزارهای تخصصی در برنامه‌های مدرن یادگیری عمیق ایفا می‌کنند را نیز به نمایش می‌گذارد. با بهره‌مندی از قابلیت‌های یک GPU تنها، پژوهشگران می‌توانند به طور مؤثر زمان‌های آموزش را کاهش داده و در نتیجه وظایف پیچیده را به صورت زمانی کارآمدتر و قابل دسترس‌تر اجرا کنند. فرآیند اجرای روش پیشنهادی پس از پیش‌پردازش که قبلاً بر روی پایگاه داده انجام شده با مرحله آستانه‌گذاری می‌باشد که در شکل (۵-الف) نشان داده شده است. در این شکل، شش تصویر اصلی MRI با نام‌های a1 تا a6 به عنوان ورودی در نظر گرفته شده تا ارزیابی شبکه انجام شود. این تصاویر اولیه دیدی دقیق از ساختارهای آناتومیک مغز ارائه می‌دهند. سپس، یک مجموعه متناظر شش تصویر، با نام‌های b1 تا b6، از طریق یک فرآیند دو مرحله‌ای که شامل آستانه‌گذاری و طبقه‌بندی است، تولید شده است. عملیات آستانه‌گذاری برای افزایش قابلیت رویت ناهنجاری‌های ممکن - به خصوص با تمرکز بر مناطق تومور مغز - اعمال می‌شود. پس از مرحله آستانه‌گذاری، یک الگوریتم طبقه‌بندی برای تمایز بین بافت عادی مغز و مناطق ممکن تومور استفاده می‌شود. تصاویر حاصل از b1 تا b6 نتایج این فرآیند دقیق را خلاصه می‌کنند و موفقیت این رویکرد در جدا کردن و طبقه‌بندی

فراهم می‌کند تا ویژگی‌های خاص حوزه را یاد بگیرد و در عین حفظ دانش اساسی درون لایه‌های پیش‌آموزفته حاکم بماند. تنظیم نرخ یادگیری، اندازه دسته، و تعداد اپوک‌ها شش امکان سفارشی‌سازی دینامیک آموزش شبکه را به خصوصیات مجموعه داده و سخت‌افزار موجود می‌دهد. با تنظیم مکرر پارامترها، می‌توان بین همگرایی سریع و عملکرد مدل پایدار تعادل برقرار کرد. برای اثبات کارایی روش پیشنهادی، شبکه به ارزیابی تجربی دقیق گذاشته می‌شود. شبکه سفارشی طبق روش یادگیری انتقالی مشخص شده با مجموعه داده تشخیص تومور آموزش می‌بیند. پس از همگرایی، عملکرد آن با یک مجموعه داده آزمایش مستقل ارزیابی می‌شود. معیارهایی چون دقت، بازخوانی، و امتیاز F1 ارزیابی جامعی از توانایی مدل در تمایز کلاس‌های تومور را فراهم می‌کند.

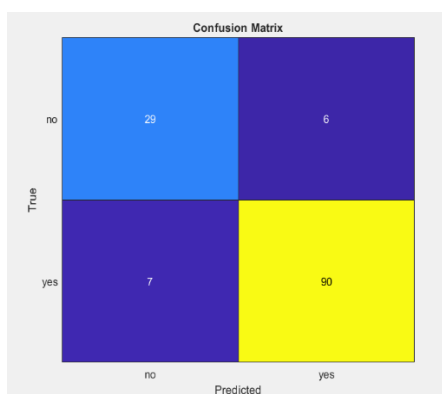
۳- نتایج و بحث

شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهند که روش بهینه‌سازی یادگیری انتقالی پیشنهادی، بهبودهای قابل توجهی در هر دو معیار دقت و سرعت همگرایی نسبت به آموزش از ابتدا ارائه می‌کند. روش بهینه‌سازی پیشنهادی از قابلیت‌های یادگیری انتقالی و شبکه‌های آموزش یافته بهره می‌برد و یک راه مؤثر را برای افزایش کارایی در تشخیص تومور ارائه می‌دهد. آموزش شبکه عصبی کانولوشن این مقاله با استفاده از نرم افزار MATLAB نسخه R2020a انجام شده و از GPU در طول فرآیند آموزش برای افزایش شتابدهی استفاده شده است.

عملکرد مدل از طریق معیارهای مختلف ارزیابی شد و توانایی دقیق در دسته‌بندی تصاویر به عنوان حاوی تومور یا خالی از تومور نشان داده شد. شبکه عصبی کانولوشنی عمیق ارائه شده عملکرد استثنایی در تشخیص تومور با دقت ۱۰۰٪ را نشان می‌دهد. برای ارزیابی جامع عملکرد مدل تشخیص تومور مغز، پیشرفت آن از طریق چندین اپوک آموزشی پیگیری می‌شود و تکرارهای مختلف، معیارهای کلیدی عملکرد ثبت می‌شود. جدول (۱) به طور خلاصه نشان‌دهنده نشانگرهای کارایی حیاتی در اپوک‌های انتخاب شده در طول فرآیند آموزش است؛ که بر اساس آن، عملکرد مدل به طور پیوسته در طول آموزش بهبود می‌یابد. در اپوک اول، دقت مینی‌بچ ۴۶/۸۸٪ بود، که نشان‌دهنده این بود که مدل برای کمتر از نصف نمونه‌ها در هر مینی‌بچ، پیش‌بینی صحیح انجام می‌داد. با پیشرفت آموزش، بهبود قابل توجهی در دقت مشاهده شد. بدین صورت که تا اپوک سی، به دقت ۱۰۰/۰٪ در مینی‌بچ دست یافت؛ که نشان‌دهنده یادگیری تقریباً کامل مدل از داده‌های آموزش بود. همزمان، دسترس‌ی به از دست رفتن مینی‌بچ استفاده شد که اختلاف بین برچسب‌های پیش‌بینی شده و واقعی را اندازه‌گیری می‌کند. در اپوک اول، از دست رفتن نسبتاً بالا بود و برابر با ۰/۸۳۸۷ بود، که نمایانگر ابهامات اولیه مدل بود. با پیشرفت آموزش، از دست رفتن به طور مداوم کاهش یافت و تا اپوک سی‌ام، به ۰/۰۰۹ رسیده است. نرخ یادگیری، یک هاپرپارامتر اساسی که بر تأثیر نرخ



- مثبت واقعی (TP): مدل در ۹۰ مورد پیش‌بینی کرده که کلاس 'بله' (تومور) بوده و به درستی 'بله' پیش‌بینی شده است.
- منفی واقعی (TN): در ۲۹ مورد، مدل 'نه' (بدون تومور) را پیش‌بینی کرده و کلاس واقعی 'نه' بوده است.
- مثبت غلط (FP): مدل در ۷ مورد 'بله' را پیش‌بینی کرده در حالی که کلاس واقعی 'نه' بوده است. این نمونه‌ها نشان‌دهنده مواردی هستند که مدل به اشتباه حضور تومور را نشان می‌دهد.



شکل (۶). ماتریس های سردرگمی

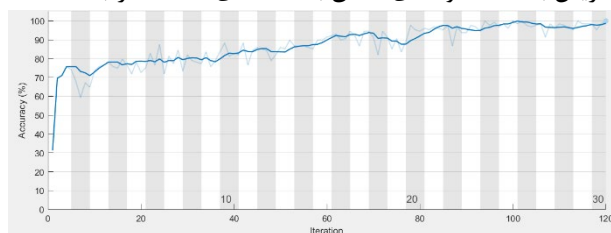
جدول (۱): مقداردهی اولیه داده‌های ورودی.

| Epoch | Iteration | Time Elapsed (hh:mm:ss) | Mini-batch Accuracy | Mini-batch Loss | Base Learning Rate |
|-------|-----------|-------------------------|---------------------|-----------------|--------------------|
| 1 | 1 | 0:00:00 | 46.88% | 0.8387 | 0.01 |
| 13 | 50 | 0:00:07 | 90.63% | 0.2313 | 0.01 |
| 25 | 100 | 0:00:14 | 96.88% | 0.558 | 0.01 |
| 30 | 120 | 0:00:17 | 100.00% | 0.009 | 0.01 |

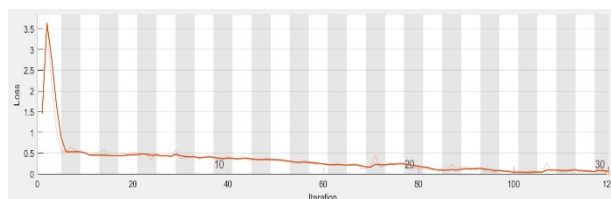
جدول (۲). مقایسه با مقالات قبلی

| This Work | This Work | | | | | | | |
|-------------|-----------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| | [22] | [23] | [24] | [25] | [26] | [27] | [28] | |
| Dice | 0.92 | 0.92 | 0.84 | 0.89 | — | 88.3 | — | — |
| Sensitivity | 0.96 | 0.94 | 0.86 | 0.85 | 92.73 | 87.4 | 98.1 | 99.7 |
| Precision | 0.95 | 1 | 0.85 | — | — | 86.43 | 98.55 | 100 |
| specificity | 0.7714 | — | — | — | — | — | 99.75 | 100 |
| F1 score | 0.9010 | — | — | — | — | — | — | — |
| Recall | 0.9381 | — | — | — | — | — | — | — |
| Accuracy | 0.8485 | — | — | 99.30 | — | — | 99.6 | — |

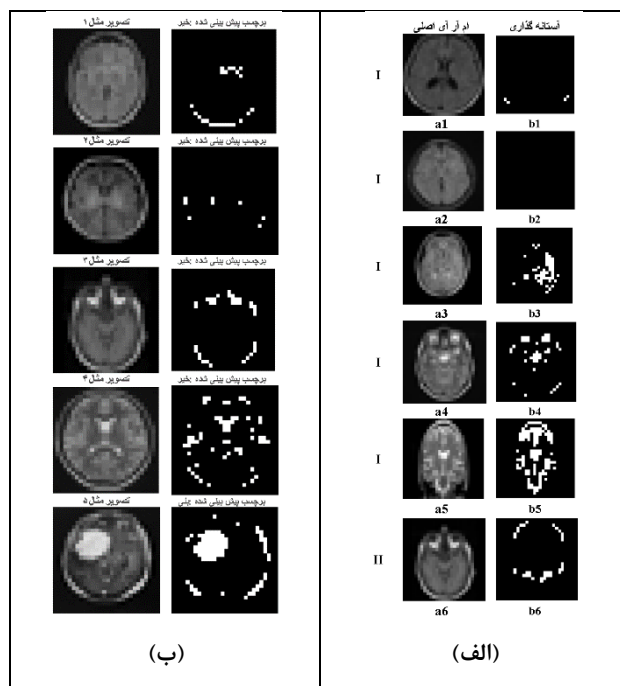
تومورهای مغز در اسکن‌های MRI را برجسته می‌کنند. این مجموعه دوگانه تصاویر یک دیدگاه جامع از قبل و بعد ارائه می‌دهد و کارآمدی روش پیشنهادی در شناسایی دقیق و مکانیابی تومورهای مغز در داده‌های MRI را نشان می‌دهد. پس از انجام پردازش‌های الگوریتم، نتایج خروجی شبکه عصبی در شکل (۵-ب) نشان داده شده که بیانگر توانایی الگوریتم در مشخص کردن تصاویر دارای تومور و بدون تومور است. در این روش دو حالت ممکن برای تصاویر MRI با دو برجسب مشخص شده و داده‌های ارزیابی با دقت بالایی دسته‌بندی می‌شوند. ماتریس سردرگمی شکل (۶)، نحوه عملکرد طبقه‌بندی شبکه پیشنهادی را با جزئیات بیشتر نشان داده شده است. هر ورودی در این ماتریس با تعداد نمونه‌های متعلق به دسته‌های مختلف مرتبط است.



شکل (۳): از دست دادن در فرآیند آموزش.



شکل (۴): دقت در فرآیند آموزش.



شکل (۵). الف - بررسی نتایج آستانه‌گذاری و طبقه‌بندی تومورهای مغزی در MRI؛ ب - نتایج پردازش تومورهای مغزی در MRI

- [4] Buhler, Fred N., Adam E. Mendrela, Yong Lim, Jeffrey A. Fredenburg, and Michael P. Flynn. "A 16-channel noise-shaping machine learning analog-digital interface." In 2016 IEEE Symposium on VLSI Circuits (VLSI-Circuits), pp. 1-2. IEEE, 2016.
- [5] Zhang, Jintao, Zhuo Wang, and Naveen Verma. "A machine-learning classifier implemented in a standard 6T SRAM array." In 2016 IEEE Symposium on VLSI Circuits (vlsi-circuits), pp. 1-2. IEEE, 2016.
- [6] Solomatine, Dimitri P., and Durga L. Shrestha. "AdaBoost. RT: a boosting algorithm for regression problems." In 2004 IEEE International Joint Conference on Neural Networks (IEEE Cat. No. 04CH37541), vol. 2, pp. 1163-1168. IEEE, 2004.
- [7] Dreiseitl, Stephan, and Lucila Ohno-Machado. "Logistic regression and artificial neural network classification models: a methodology review." *Journal of biomedical informatics* 35, no. 5-6 (2002): 352-359.
- [8] Li, Yaoyong, Kalina Bontcheva, and Hamish Cunningham. "SVM based learning system for information extraction." In *International Workshop on Deterministic and Statistical Methods in Machine Learning*, pp. 319-339. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [9] Übeyli, Elif Derya. "Implementing automated diagnostic systems for breast cancer detection." *Expert systems with Applications* 33, no. 4 (2007): 1054-106
- [10] Abonyi, Janos, and Ferenc Szeifert. "Supervised fuzzy clustering for the identification of fuzzy classifiers." *Pattern Recognition Letters* 24, no. 14 (2003): 2195-2207.
- [11] Karabatak, Murat, and M. Cevdet Ince. "An expert system for detection of breast cancer based on association rules and neural network." *Expert systems with Applications* 36, no. 2 (2009): 3465-3469.
- [12] Marcano-Cedeño, Alexis, Joel Quintanilla-Domínguez, and Diego Andina. "Breast cancer classification applying artificial metaplasticity algorithm." *Neurocomputing* 74, no. 8 (2011): 1243-1250.
- [13] Karthiga, R., G. Usha, N. Raju, and K. Narasimhan. "Transfer learning based breast cancer classification using one-hot encoding technique." In 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS), pp. 115-120. IEEE, 2021.
- [14] Zhao, Chumin, Jerzy Kanicki, Anastasios C. Konstantinidis, and Tushita Patel. "Large area CMOS active pixel sensor x-ray imager for digital breast tomosynthesis: analysis, modeling, and characterization." *Medical physics* 42, no. 11 (2015): 6294-6308.
- [15] Jayaraj, Akshay, Imon Banerjee, and Arindam Sanyal. "Common-source amplifier based analog artificial neural network classifier." In 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp. 1-5. IEEE, 2019.
- [16] Wang, Zhuo, Kyong Ho Lee, and Naveen Verma. "Overcoming computational errors in sensing platforms through embedded machine-learning kernels." *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems* 23, no. 8 (2014): 1459-1470.
- [17] Hua, Ruobing, and Arindam Sanyal. "39fJ Analog Artificial Neural Network for Breast Cancer Classification in 65nm CMOS." In 2019 IEEE 62nd International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp. 436-439. IEEE, 2019.
- [18] Carrasco-Robles, Manuel, and Luis Serrano. "A novel CMOS current mode fully differential tanh (x) implementation." In 2008 IEEE International Symposium

• منفی غلط (FN): مدل در ۶ مورد 'نه' را پیش‌بینی کرده در حالی که کلاس واقعی 'بله' بوده است. این نمونه‌ها نشان‌دهنده مواردی است که مدل قادر به شناسایی حضور تومور نشده است. این تجزیه و تحلیل نکات مهمی را ارائه می‌دهد و نقاط قوت و ضعف مدل را نشان می‌دهد. تعداد زیاد مثبت‌های واقعی نمایانگر توانایی بالای مدل در تشخیص تومور است؛ در حالی که حضور مثبت‌ها و منفی‌های غلط نشان‌دهنده حوزه‌هایی برای بهبود هستند. بهینه‌سازی دقت و بازخوانی مدل برای دستیابی به عملکرد بهینه در تشخیص تومور مغز بسیار حائز اهمیت است. در جدول (۲) شاخص‌های اصلی برای مدل پیشنهادی و روش‌های [۲۲-۲۶] نشان داده شده که بیانگر برتری روش پیشنهادی است. به‌طور خاص، مقدار Dice برابر با ۰/۹۲، حساسیت به اندازه ۰/۹۶، و دقت به میزان ۰/۹۵ را نشان می‌دهد. این ارقام تاکید می‌کنند که روش پیشنهادی در این مطالعه بهبودهای مهمی ارائه داده است.

۴- نتیجه‌گیری

این مقاله در زمینه تشخیص تومور مغز با استفاده از شبکه عصبی کانولوشنی یک پیشرفت چشم‌گیر داشته است. الگوریتم استفاده شده، با دقت و حساسیت بالا به جزئیات، از لحظه بارگیری داده تا فرآیند آموزش مدل، به گونه‌ای سازمان‌دهی شده که امکان ادامه توسعه و بهینه‌سازی را فراهم می‌کند. پردازش تصویرها با توجه به تغییر اندازه، تقسیم دقیق مجموعه داده، و طراحی هوشمند شبکه، این پروژه را به یک پایگاه قابل اعتماد برای تشخیص تومور مغز تبدیل کرده است. انتخاب مناسب پارامترها، بهینه‌سازی فرآیند آموزش با الگوریتم Adam، و استفاده از GPU نشان‌دهنده تعهد جدی به بهترین عملکرد و سرعت در توسعه مدل است. این پروژه نه تنها به تشخیص دقیق تومور مغز کمک می‌کند بلکه با باز کردن راه برای بهینه‌سازی و افزودن اطلاعات جدید، امکان افزایش کارایی آن را فراهم می‌کند. این پیشرفت در زمینه تصویر پزشکی مسیری را برای ادامه تحقیقات و اثرگذاری در حوزه تشخیص بیماری‌ها با استفاده از هوش مصنوعی می‌گشاید.

مراجع:

- [1] Wang, Zhuo, and Naveen Verma. "A low-energy machine-learning classifier based on clocked comparators for direct inference on analog sensors." *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* 64, no. 11 (2017): 2954-2965
- [2] Lee, Edward H., and S. Simon Wong. "24.2 A 2.5 GHz 7.7 TOPS/W switched-capacitor matrix multiplier with co-designed local memory in 40nm." In 2016 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), pp. 418-419. IEEE, 2016.
- [3] Wang, Zhuo, Jintao Zhang, and Naveen Verma. "Realizing low-energy classification systems by implementing matrix multiplication directly within an ADC." *IEEE transactions on biomedical circuits and systems* 9, no. 6 (2015): 825-837.



- on Circuits and Systems (ISCAS), pp. 2158-2161. IEEE, 2008.
- [19] Amari, Shun-ichi. "Backpropagation and stochastic gradient descent method." *Neurocomputing* 5, no. 4-5 (1993): 185-196.
- [20] Selvathi, D., and R. Deiva Nayagam. "FPGA implementation of on-chip ANN for breast cancer diagnosis." *Intelligent Decision Technologies* 10, no. 4 (2016): 341-352.
- [21] Ghahramani, Marzieh, and Nabiollah Shiri. "Brain tumour detection in magnetic resonance imaging using Levenberg–Marquardt backpropagation neural network." *IET Image Processing* 17, no. 1 (2023): 88-103.
- [22] Shirali, Armaghan, and Nabiollah Shiri. "Diagnosis of brain tumours by MRI binarisation with variable fuzzy level." *IET Image Processing* 14, no. 16 (2020): 4269-4276.
- [23] Jnn, J.C.: 'A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters', *J. Cybern.*, 1973, 3, pp. 3, pp. 32–57
- [24] Hasan, A.M., Jalab, H.A., Meziane, F., et al.: 'Combining deep and handcrafted image features for MRI brain scan classification', *IEEE Access*, 2019, 7, pp. 79959–79967
- [25] Razzak, M.I., Imran, M., Xu, G.: 'Efficient brain tumor segmentation with multiscale two-pathway-group conventional neural networks', *IEEE. J. Biomed. Health. Inf.*, 2019, 23, (5), pp. 1911–1919
- [26] Zadeh, L.A.: 'Fuzzy sets, information and control', *Inf. Control*, 1965, 8, (3), pp. 338–353
- [27] Jasmine Hephzipah, J., Thirumurugan, P.: 'Performance Analysis of Meningioma Brain Tumor Detection System Using Feature Learning Optimization and ANFIS Classification Method', *IETE Journal of Research*, 2022, 68, (2), pp. 1542-1550.
- [28] Ghahramani, Marzieh, and Nabiollah Shiri. "An Adaptive NEURO Fuzzy Inference System Optimized by Genetic Algorithm for Brain Tumor Detection in Magnetic Resonance Images." *IET Image Processing*, DOI: 10.1049/ipr2.13031.

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



کاربرد اینترنت اشیا در سلامتی و تناسب اندام هوشمند

راضیه شیردل^{۱*}، زهرا مقصودزاده سروستانی^۲

۱- اداره اندازه‌شناسی اوزان و مقیاس‌ها، اداره کل استاندارد استان فارس، شیراز، ایران

rzshirdel@gmail.com

۲- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

Za.maghsoodzadeh@iau.ac.ir

چکیده: مفهوم زندگی هوشمند با هدف بهینه‌سازی محیط اطراف برای سهولت استفاده و سهولت در نصب است. اینترنت اشیا چهارمین مرحله در تکامل اینترنت با هدف دیجیتالی کردن جهان است. یک شهر هوشمند به ما امکان می‌دهد دستگاه‌ها را از راه دور نظارت، مدیریت و کنترل کنیم و همچنین اطلاعات عملی و بینش جدیدی را از جریان‌های عظیم داده‌های بلادرنگ تولید کنیم. یک شهر هوشمند از شش جزء تشکیل شده است که عبارتند از: خانه هوشمند، اقتصاد هوشمند، سالن‌های ورزشی هوشمند، اداره هوشمند، پردیس دانشگاهی هوشمند و حکمرانی هوشمند. هدف این مقاله ارائه و بررسی مختصر اجزای یک باشگاه هوشمند و نقش اینترنت اشیا در سلامتی و تناسب اندام و مقایسه مقالات مرتبط در خصوص تجهیزات هوشمند در کمک به انجام این امر است.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیا، محیط هوشمند، تناسب اندام هوشمند

The application of Internet of Things in smart health and fitness

Razieh Shirdel^{1*}, Zahra Maghsoodzadeh Sarvestani²

¹ Metrology Department of Weights and Scales, General Department of Standards of Fars Province, Shiraz, Iran

rzshirdel@gmail.com

² Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

za.maghsoodzadeh@iau.ac.ir

Abstract:

The concept of smart living aims to optimize the surrounding environment for ease of use and ease of installation. The Internet of Things is the fourth stage in the evolution of the Internet with the aim of digitizing the world. A smart city allows us to remotely monitor, manage and control devices, as well as generate actionable information and new insights from massive streams of real-time data. A smart city consists of six components, which are: smart home, smart economy, smart sports halls, smart administration, smart university campus and smart governance. The purpose of this article is to provide a brief overview of the components of a smart gym and the role of the Internet of Things in health and fitness, and to compare related articles on smart equipment in helping to do this.

Keywords: Internet of Things, Smart environment, Smart Health and fitness.

DOI: 00.00000/0000

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

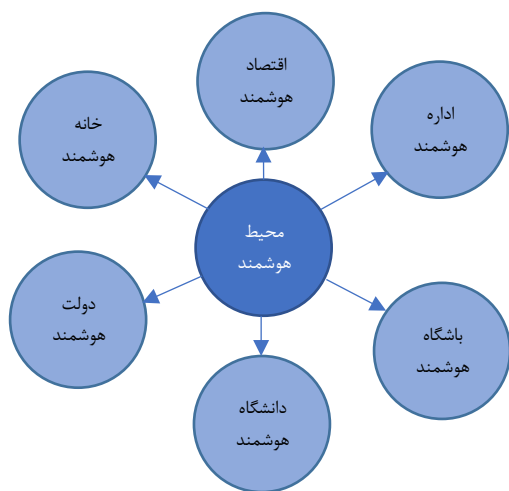
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۳

نوع مقاله: مروری

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵

* نویسنده‌ی مسئول

۱- مقدمه



شکل (۱): خلاصه اجزای یک محیط هوشمند

این دستگاه‌ها توسط ورزشکاران به عنوان بخشی از لباس یا لوازم جانبی پوشیده می‌شوند و مجهز به ریزپردازنده، حسگرها و یک واحد ارتباطی هستند. علاوه بر این، اتصال را در یک شبکه شخصی، که معمولاً به آن PAN می‌گویند، ارائه می‌کند. تلفن هوشمند نقش اصلی را در ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها ایفا می‌کند و دستگاه‌های پوشیدنی را با اتصال همه‌جا به اینترنت توانمند می‌کند. استفاده از نشانگرهای زیستی در فعالیت‌های مرتبط با تناسب اندام، امکان اندازه‌گیری و کاربرد ویژگی‌های خاص را فراهم کرده و به عنوان شاخصی از فرآیندهای بیولوژیکی و بیماری‌زا، یا پاسخ به یک مواجهه یا مداخله خارجی خاص عمل می‌کند [۴]. در مرحله تعامل اجتماعی، ما دارای ویژگی‌های اجتماعی برنامه‌های تناسب اندام هستیم که می‌تواند بر تغییر رفتار سلامتی و تناسب اندام و دریافت حمایت توسط افراد دیگر در این شبکه-های اجتماعی تأثیر بگذارد [۵]. در حال حاضر فعالیت بدنی راه خوبی برای بهبود مقاومت در برابر استرس روانی اجتماعی است. اخیراً گرمین مکانیسمی را برای اندازه‌گیری میزان استرس کاربران ساعت هوشمند با تعیین فاصله بین هر ضربان قلب معرفی کرده است [۶]. یکی از فناوری‌هایی که می‌تواند تناسب اندام هوشمند را برای مؤثرتر کردن کاربر تقویت کند، «Social-IOT» است که در واقع اتصال «دستگاه به دستگاه» است. فناوری «Social-IOT» اشتراک گذاری اطلاعات بین-دستگاه‌های غیرانسانی مانند تلفن‌های هوشمند را فراهم می‌کند [۷]. این کار می‌تواند به سیستم کمک کند تا از تجربیات همه سیستم‌ها و دستگاه‌های متصل استفاده کند و داده‌ها و اطلاعات مفید را برای تصمیم‌گیری و پیش‌بینی بهتر برای ورزشکاران و شرکت‌کنندگان جمع‌آوری کند. از طرفی، قابلیت‌های حسگری به همراه الگوریتم‌های پیشرفته هوش مصنوعی قادر به اندازه‌گیری بسیاری از اعمال و رفتار افراد در طول فعالیت‌های روزانه‌شان هستند [۸].

اینترنت اشیا^۱ منجر به افزایش دسترسی و قابلیت استفاده دستگاه‌های اطراف ما می‌شود و روش بهتری برای زندگی با سیستم‌های اتوماسیون و تجزیه و تحلیل پیشرفته فراهم می‌کند. حوزه اینترنت اشیا چشم‌انداز وسیع‌تری در مورد هوش مصنوعی، حسگرها، شبکه و پیام‌رسانی ابری به ما می‌دهد. محیطی که تمام ویژگی‌های ذکر شده را در برمی‌گیرد، ادعا می‌شود که یک محیط هوشمند است. اینترنت اشیا به حوزه‌های مختلفی از جمله اتوماسیون خانگی، تولید، شبکه‌های خانه هوشمند، سیستم‌های امنیتی، مراقبت‌های بهداشتی، سیستم‌های حمل و نقل نظامی، مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌ها و حسگرها مرتبط است [۱]. اینترنت اشیا راه را برای عصر جدیدی هموار می‌کند که در آن مردم و فناوری با هم در جهت تحول همکاری می‌کنند.

به گفته گارتنر^۲، تا پایان سال ۲۰۲۴، تعداد دستگاه‌های متصل به ۲۰ میلیارد خواهد رسید. از سوی دیگر همه‌گیری کووید ۱۹ و خانه‌نشینی اجباری مردم، منجر به تسریع این امر شد. با استفاده از این دستگاه‌ها، خدمات شهری هوشمند احتمالاً از مرز ۴۰۰ میلیارد دلار در سال عبور خواهد کرد [۲]. یک جامعه هوشمند^۳ از شش جزء تشکیل شده است: خانه هوشمند^۴، اقتصاد هوشمند^۵، سالن‌های ورزشی هوشمند^۶، اداره هوشمند^۷، پردیس دانشگاهی هوشمند^۸ و حکمرانی هوشمند^۹ [۳]. شکل (۱) اجزای یک محیط هوشمند را نمایش می‌دهد.

۲- باشگاه هوشمند

امروزه مردم مایل هستند زمان قابل توجهی را در باشگاه‌های ورزشی صرف کنند و تنها هدفشان این است که تناسب اندام داشته باشند. تناسب اندام بخشی از زندگی نیست، بلکه یک روش زندگی است. با این حال، ممکن است انسان‌ها با فرورفتن در روزمرگی‌ها از سلامتی خود غافل شوند. دستگاه‌ها و فن‌آوری‌های مختلف اینترنت اشیا را می‌توان برای آسان‌تر کردن تجربه ورزشکاران و صاحبان باشگاه‌ها پیاده‌سازی کرد. برای بررسی حرکت بدن و پیگیری تمرین، می‌توان از سنسورهای مختلفی استفاده کرد. یک سیستم ورود و خروج رکورد RIDF می‌تواند برای پیگیری افرادی که به ترتیب وارد و خارج شده‌اند مفید باشد. اعضای باشگاه را می‌توان با توجه به تعداد روزها یا مدت زمان صرف شده در باشگاه تغییر داد. همچنین می‌توان از فضای اطلاعات ابری برای ثبت اطلاعات هر فرد استفاده کرد. سیستم‌های مانیتورینگ پوشیدنی اغلب توسط کارمندان اداری برای نظارت بر ضربان قلب، تعداد قدم‌ها، کالری‌های سوزانده شده و سایر پارامترهای مرتبط با تناسب اندام استفاده می‌شوند.

⁶ Smart Gym

⁷ Smart Office

⁸ Smart Campus

⁹ Smart Government

¹ IOT: Internet of Things

² Gartner

³ Smart Environment

⁴ Smart Home

⁵ Smart Economy



۳- چالش‌های موجود در حوزه تناسب اندام

ورزش و تناسب اندام نقش مهمی در زندگی افراد دارد. با این حال، در ورزش‌های مختلف، بیشتر اوقات رویکرد "خودت انجام بده" می‌تولند ناامن باشد. این امر به ویژه زمانی مشکل‌ساز است که تمرین‌کنندگان تصمیم می‌گیرند بهترین شیوه‌ها را دنبال نکنند و تمرینات تناسب اندام را به تنهایی انجام دهند. تحت این شرایط، آسیب رخ می‌دهد یا عملکرد تمرینی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، اکثر مردم دانش محدودی در مورد تمرینات تناسب اندام ایمن و کارآمد دارند و حفظ یک برنامه تمرینی میان‌مدت و بلندمدت هم نیاز به انگیزه و هم نظارت دارد. از آنجایی که آسیب‌های ورزشی یک مشکل رایج است، چندین مطالعه پزشکی در تلاش هستند تا راه‌حلهایی برای پیش‌بینی، پیشگیری و یا کاهش وقوع آنها بیابند. برخی از ابزارها برای سال‌ها در دسترس بوده و مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند ساق پا و محافظ مچ، و حتی انواع مختلف چسب ماهیچه‌ای و بسیاری دیگر از وسایل فیزیکی برای جلوگیری یا کاهش شدت آسیب‌ها مناسب هستند. مطالعات متعددی تلاش کرده‌اند تا مشکلات تناسب اندام را با جلوگیری از شایع‌ترین آسیب‌ها و در نتیجه اتلاف سرمایه و زمان بهبود بخشند؛ اما همچنان این چالش اصلی برای مقابله در این مسیر است.

۴- تناسب اندام هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا

مفاهیم و خدمات اینترنت اشیا تأثیر قابل توجهی بر اکثر ورزش‌ها از جمله تناسب اندام دارند. تناسب اندام هوشمند کاربردهای مختلفی در ورزش‌هایی مانند فوتبال، اسکی و باله که دارای دوره پیش‌فصل (به عنوان بهترین زمان برای بهبود هوازی) هستند دارد. شباهت‌های زیادی بین تناسب اندام هوشمند و سایر ورزش‌های هوشمند وجود دارد. در تمرینات ورزشی هوشمند، برخی از عوامل خارجی (مانند انرژی جنبشی، قدرت متابولیک، شتاب، بارهای بدن و غیره) و همچنین برخی از عوامل داخلی (مانند جذب اکسیژن، ضربان قلب، بار مفصل، بار عضلانی و غیره) پتانسیل بالایی دارند. نظارت بر بار تمرینی و اثرات برنامه تمرینی بر بدن ورزشکار، برای ارائه برنامه تمرین در ورزش‌هایی مانند دوچرخه سواری موضوع دیگری است که دقیقاً در تناسب اندام هوشمند وجود دارد. با این حال، بین تناسب اندام هوشمند و سایر ورزش‌های هوشمند مانند والیبال، فوتبال یا بسکتبال تفاوت‌هایی وجود دارد. این تفاوت‌ها به دلیل ماهیت ورزش است؛ به عنوان مثال در والیبال برخی ویژگی‌ها مانند زمان واکنش، دقت در توپ، آگاهی از موقعیت و غیره در نظر گرفته می‌شود و قدرت پرش در فوتبال یا زاویه و سرعت شوت عامل مهمی در بسکتبال است. اما این عوامل دارای اهمیت کمتری در تناسب اندام هوشمند هستند. در وزنه‌های بارگذاری

شده تناسب اندام هوشمند، زمان اجرای برنامه تمرینی برای انجام یک عمل (مانند حرکت دادن دمبل یا هالتر) و نظارت بر زاویه حرکت دست‌ها و پاها مهم است [۸].

۵- اجزای یک سیستم هوشمند مناسب باشگاه

معماری مرجع یک سیستم هوشمند مناسب باشگاه در شکل (۲) نشان داده شده است. این سیستم عمدتاً از بخش‌های زیر تشکیل شده است: (۱) دستگاه تناسب اندام^۱: دستگاه‌های تناسب اندام زیادی در باشگاه وجود دارد. این دستگاه‌ها با اتصال چند سنسور اصلاح می‌شوند. به عنوان مثال، یک سنسور فاصله در دستگاه کشش اضافه می‌شود تا فاصله کشش اندازه‌گیری شود. سپس کار با کشیدن تمرین را می‌توان محاسبه کرد.

(۲) سنسور^۲: سنسورها در دستگاه‌های تناسب اندام برای اندازه‌گیری حجم کار کاربران استفاده می‌شوند. به طور کلی برای جلوگیری از مشکل اتصال کابل، از سنسورهای بی‌سیم روی دستگاه‌ها استفاده می‌شود. نوع سنسور به دستگاه بستگی دارد.

(۳) دستگاه پوشیدنی^۳: دستگاه‌های پوشیدنی برای ثبت تمرین‌های روزانه مانند ضربان قلب در زمان واقعی، تعداد قدم‌های برداشته شده در راه رفتن و غیره استفاده می‌شوند. دستگاه پوشیدنی عمدتاً برای ثبت داده‌های فعالیت زمانی که کاربر در باشگاه بدنسازی نیست استفاده می‌شود. با جمع‌آوری این داده‌ها، سیستم‌ها می‌توانند تجزیه و تحلیل دقیق‌تری برای وضعیت سلامتی کاربر انجام دهند.

(۴) برد توسعه^۴: برد توسعه برای دریافت داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها استفاده می‌شود. این برد معمولاً دارای یک صفحه نمایش لمسی است که کاربران می‌توانند با برنامه‌ها کار کنند و درخواست‌های مختلف بدهند. اپلیکیشن نصب شده در برد توسعه، مشابه ترمینال موبایل است و عمدتاً برای انتقال داده بین سنسورها و سرور استفاده می‌شود. در همین حال، برای کاربرانی که از ترمینال موبایل استفاده نمی‌کنند، یک وسیله جایگزین است.

(۵) سرور^۵: بخش میانی سیستم شامل یک سرور است که برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌های ارسالی از سنسورها و ترمینال استفاده می‌شود. همچنین، رابط‌های برنامه کاربردی وب (API) را برای ترمینال برای فراخوانی فراهم می‌کند.

(۶) خوشه محاسباتی^۶: خوشه محاسباتی برای انجام وظایف محاسباتی بالا استفاده می‌شود. این گره‌های محاسباتی توسط سرور سیستم ارسال می‌شوند.

(۷) پایانه سیار^۷: ترمینال اطلاعات تمرین یا تناسب اندام را توسط برنامه نشان می‌دهد. این برنامه بر روی پلتفرم IOS یا اندروید اجرا می‌شود [۹].

^۵ System Server

^۶ Computing Cluster

^۷ Mobile Terminal

^۱ Fitness Apparatus

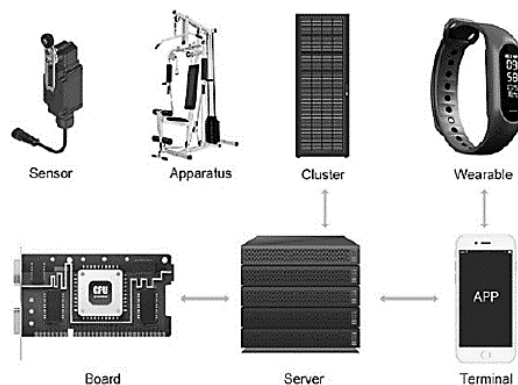
^۲ Sensor

^۳ Wearable Device

^۴ Development Board



ترکیب‌های مختلفی در عنوان، چکیده یا کلمات کلیدی وارد شدند که از آن جمله می‌توان به ورزش یا فعالیت بدنی، شبکه بی‌سیم حسگر بدن (WBSN)، ساعت هوشمند، لباس یا کفش دارای ردیاب، واحد اندازه‌گیری اینرسی (IMU)، میکروالکترومکانیک، شتاب‌سنج، ژيروسکوپ، فشارسنج، اینترنت اشیا، و عملکرد، حرکت، رفتار، تناسب اندام، کارديو، هوازی قدرتی، عصبی عضلانی یا سرعتی، تغییر جهت یا ضربان قلب اشاره کرد.



شکل (۲): معماری مرجع سیستم هوشمند

جدول (۱): معیارهای واجد شرایط بودن

| معیارهای حذف | معیارهای ورود |
|--|--|
| کاربردهای پوشیدنی و اینترنت اشیا در سایر فعالیت‌های انسانی غیر مرتبط با ارزیابی تناسب اندام یا نظارت بر سلامت در ورزشکاران (به عنوان مثال، نظارت بر مراقبت‌های بهداشتی، نظارت بر رفاه غیر مرتبط با ورزش، جمعیت‌های بالینی، دستگاه‌های پزشکی) | کاربردهای پوشیدنی و اینترنت اشیا در ارزیابی تناسب اندام (به عنوان مثال، ارزیابی سطح قلبی تنفسی، وضعیت عصبی عضلانی، تعادل، سرعت و تغییر جهت، توده بدن یا ترکیب بدن) نظارت بر سلامت در ورزشکاران یا ورزش‌ها (به عنوان مثال، ضربان قلب، کیفیت خواب) |

۶- عوامل موثر بر مطالعه سیستماتیک

روش‌های مورد استفاده در این مطالعه در ادامه بیان شده است.

۱-۶- معیارهای واجد شرایط بودن

پروتکل جستجو به طور مستقل برای شناسایی مطالعات مرتبط، که شامل ارزیابی عنوان، چکیده و فهرست مرجع هر مطالعه بود، انجام شد. معیارهای ورود و خروج در جدول (۱) ارائه شده است. علاوه بر این، نسخه‌های کامل مقالات موجود در مطالعه به منظور شناسایی و در نتیجه حذف مقالاتی که معیارهای انتخاب را برآورده نمی‌کنند، با جزئیات بازنگری شدند. جستجوی تکمیلی در فهرست منابع مقالات ارائه شده برای ارزیابی مطالعات مرتبط اضافی انجام شد و خطاهای احتمالی برای مقالات ارائه شده نیز در نظر گرفته شده است.

۲-۶- منابع اطلاعاتی و جستجو

با جستجوی پایگاه‌های داده الکترونیکی WOS، CCC، DIIDW، MEDLINE، RSCI، SCIELO، JEEE-Xplore، KJD، SPORT- Discus، PubMed، کاکرین^۱ کلمات کلیدی و مترادف‌ها در

۳-۶- استخراج داده‌ها

با استفاده از دستورالعمل کاکرین، داده‌ها استخراج گردیدند [۱۰]. همچنین با مطالعه مقالات، معیارهای ورود و یا خروج، مورد بررسی قرار گرفتند.

۴-۶- ارقام داده

در تجزیه و تحلیل انجام شده بر روی مقالات انتخابی، داده‌های زیر استخراج شد: نوع طرح مطالعه، تعداد شرکت کنندگان (N)، گروه سنی (میانگین \pm انحراف معیار)، جنس (مرد، زن یا هر دو)، پروتکل آزمایشی و نوع ورزش، ویژگی‌های دستگاه پوشیدنی (حسگرها، محرک‌ها، میکروکنترلر، پردازنده، توپولوژی شبکه)، ویژگی‌های ابزارهای نرم‌افزاری (نرم‌افزار، الگوریتم‌های ML، مکانیسم‌های هوش مصنوعی).

۵-۶- ارزیابی روش شناختی

ارزیابی STROBE برای ارزیابی سوگیری روش شناختی مقالات واجد شرایط با پیروی از انطباق O'Reilly و همکاران، اعمال شد [۱۱]. هر یک از مقالات شامل ده مورد امتیازدهی شد. هر مطالعه با پیروی از O'Reilly و همکاران از نظر کیفی رتبه‌بندی شد. روش شناسایی [۱۱] بدین صورت است: از ۰ تا ۶ امتیاز، مطالعه در معرض خطر سوگیری (کیفیت پایین) و از ۷ تا ۱۰ امتیاز، مطالعه با خطر کم سوگیری (کیفیت بالا) در نظر گرفته شد.

۷- مطالعه مقالات موجود و بررسی نتایج

پس از بررسی مطالعات مراجع [۱۲-۱۸]، اطلاعات مربوط به ابزارهای پوشیدنی، دستگاه اینترنت اشیا (حسگرها، پردازنده‌ها، حافظه و غیره)، نرم‌افزار(های) مورد استفاده، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و در نهایت روش ارزیابی تناسب اندام مورد استفاده در هر مطالعه، از میان دستگاه‌های ارائه شده، مشاهده شد که یکی از دستگاه‌هایی که بیشترین مطالعه را داشت، مچ‌بند بود. نتایج در جدول (۲) آورده شده است.

¹ Cochrane

جدول (۲): نتایج مطالعه

| نوع بار | نتیجه گیری های اصلی | کاربرد | نوع وسیله | مقاله مورد مطالعه |
|---------|---|----------------------------|-----------------|--------------------------|
| دیجیتال | ارائه پیش بینی های قابل اعتماد مربوط به شرایط دوقلو و آسان تر کردن بهینه سازی فرآیند تمرین | نظارت بر ورزشکاران | مچ بند | Barricelli2020 [12] |
| خارجی | نتایج ارائه شده با اعتبارسنجی متقاطع بهتر عمل می کند. تشخیص فعالیت انسانی ممکن است به شناسایی حرکت در آینده و بهبود درک کیفیت حرکت کمک کند. | تشخیص فعالیت های انسانی | مچ بند | Munoz-Organero 2019 [13] |
| خارجی | رویکرد پیشنهادی امکان طبقه بندی ۱۹ فعالیت بدن سازی را با دقت خوبی فراهم می کند. این ممکن است به ردیابی ورزش و کمک به طراحی تمرینات فردی برای افراد کمک کند، در حالی که بار تحمیل شده را شناسایی می کند. | شمارش تکرار و تشخیص تمرین | مچ بند بند سینه | Qi2019 [14] |
| خارجی | این مچ بند امکان تشخیص حرکات راکت را با دقت خوبی فراهم می کرد که به کمی کردن کیفیت و کمیت حرکات در طول تمرین و سناریوهای مسابقه کمک می کند. | تشخیص ورزش راکت | مچ بند | Xia2020 [15] |
| داخلی | این دستگاه پوشیدنی به تشخیص زودهنگام شرایط هشدار مربوط به وضعیت سلامت بازیکنان کمک می کند. | پایش ضربان قلب | مچ بند دست بند | Xiao2020 [16] |
| خارجی | مچ بند امکان تشخیص حرکات راکت را با دقت خوبی فراهم می کرد که به کمی کردن کیفیت و کمیت حرکات در طول تمرین و سناریوهای مسابقه کمک می کند. | پایش وضعیت فیزیولوژیکی | نامشخص | Zhao2020 [17] |
| خارجی | مربی مجازی امکان تشخیص ۱۵ مجموعه برنامه آموزشی و همچنین تشخیص رفتارهای غیر استاندارد را فراهم و بهبود طراحی آموزشی کمک می کند | نظارت به موقع بر ورزشکاران | دستکش | Zou2020 [18] |

با توجه به معیار "الف"، مناسب بودن حسگرهای مورد استفاده برای کسب نشانگرهای زیستی، با تمرکز بر کوچک سازی در سطح مدار مجتمع (IC) که شامل طراحی سیستم روی تراشه (SOC) است. از آنجایی که پوشیدنی ها به صورت فیزیکی به بدن ورزشکار متصل می شوند، برداشتن سیم ها می تواند با توجه به کاربرد چنین سیستم هایی در یک سناریوی واقعی ارزش زیادی داشته باشد. بنابراین، طراحی IC های خاص که فناوری های حسگر را یکپارچه می کند باید شامل یک بخش آنالوگ برای رابط حسگر، یک CPU قدرتمند برای پردازش متناوب و یک رادیو کم قدرت برای ارتباطات متناوب باشد. برای دستیابی به قابلیت اطمینان بیشتر، فن آوری های حسگر باید بر بهبود نسبت سیگنال به نویز و حساسیت متمرکز شوند؛ که ممکن است از سازندگان IC امکانات جدیدی مانند رویکردهای جدید بسته بندی SOC IC با هدف دستیابی به دستگاه های پوشیدنی قابل اعتمادتر و قوی تر را طلب کند [۸].

با توجه به معیار "ب"، کاهش مصرف انرژی کلی فناوری های پوشیدنی اینترنت اشیا بسیار مهم است. با این حال با بررسی آثار ارزیابی شده، مشاهده گردید که اکثر آنها هنوز در مرحله نمونه اولیه هستند. علاوه بر این، همگرایی به سمت طراحی مدارهای مجتمع ویژه (ASIC) به کاهش مصرف انرژی کلی کمک می کند و در عین حال یکپارچه سازی و کوچک سازی، راه را برای دستگاه های پوشیدنی و اینترنت اشیا کمتر تهاجمی در ورزش هموار می کند. علاوه بر این، و در نتیجه، هزینه کلی چنین دستگاه هایی کاهش می یابد، زیرا تولید در مقیاس بزرگ باعث کاهش هزینه کلی تولید می شود.

با توجه به معیار "ج"، اکثر آثار مورد بررسی از استانداردهای ارتباطی استفاده می کنند که برای کار در شبکه های محلی (LAN) با استفاده از پروتکل های [ZigBee] یا در یک شبکه شخصی (PAN) با استفاده از پروتکل های ارتباطی بلوتوث [۱۶-۱۴] و بلوتوث کم انرژی (BLE) و فقط یک کار از شبکه گسترده (WAN) استفاده می

۸- بحث

هدف این بررسی سیستماتیک، شناسایی و خلاصه کردن مطالعاتی بود که کاربرد دستگاه های پوشیدنی و اینترنت اشیا را برای ارزیابی تناسب اندام مورد بررسی قرار داده اند. به طور کلی، یازده نوع دستگاه قابل پوشیدن اینترنت اشیا مجزا برای ارزیابی تناسب اندام ارزیابی شده که بیشترین مورد استفاده از مچ بند است. بحث بر اساس چهار معیار خواهد بود:

- الف. **سنجش:** مناسب بودن حسگرهای مورد استفاده برای به دست آوردن نشانگرهای زیستی.
- ب. **پردازش:** ظرفیت محاسباتی و تأثیر آن بر استقلال دستگاه.
- ج. **ارتباطات:** پروتکل های ارتباطی و تأثیر آنها بر استقلال و امنیت و حریم خصوصی دستگاه.
- د. **کاربرد:** قابلیت کاربرد فناوری پوشیدنی اینترنت اشیا برای ارزیابی تناسب اندام.

به طور معمول، دستگاه های پوشیدنی و اینترنت اشیا توسط ورزشکاران به شکل لباس یا لوازم جانبی دیگر که شامل حسگرها، ریزپردازنده و یک واحد ارتباطی است که امکان اتصال با تلفن هوشمند یا ارائه دهنده خدمات شخص ثالث را فراهم می کند که برای اندازه کوچک، طراحی شده است. CPU قدرتمند برای پردازش متناوب (یعنی پردازش سریع داده با بازگشت سریع به حالت خواب عمیق) با مصرف کم و ارتباطات کم مصرف برای قابلیت همکاری همه جا حاضر طراحی شده است. در چنین معماری هایی، گوشی های هوشمند نه تنها برای ذخیره سازی و پردازش داده ها، بلکه برای عملکرد به عنوان یک دروازه، نقش اصلی را ایفا می کنند و دستگاه های پوشیدنی را با اتصال همه جا به اینترنت قدرتمند می کنند.

به آن پرداخته شود مربوط به خودمختاری چنین دستگاه‌هایی است. به عنوان مثال، کاهش مصرف انرژی دستگاه برای دستیابی به سطح بالاتر و پیشی گرفتن از مرحله نمونه اولیه بسیار مهم است.

۱۰- نتیجه‌گیری

امروزه سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیا به طور چشم‌گیری در حال گسترش هستند. از طرفی به دلیل مسائلی چون شغل‌های اداری و یا بیماری‌های همه‌گیر مانند کووید-۱۹، یکجانشینی طولانی‌مدت پیش می‌آید. سلامتی و تناسب اندام از نکات مهم در حفظ سلامت روح و بدن است؛ اما افراد به دلیل مشغله‌های فراوان کاری ممکن است از آن غافل شوند. وجود تجهیزات هوشمند و باشگاه هوشمند کمک می‌کند تا افراد بتوانند حرکات ورزشی را به طور صحیح انجام دهند. فناوری‌های پوشیدنی و اینترنت اشیا در ورزش برای نظارت بر پیشرفت چنین فناوری‌هایی هنوز ضعیف است، که در نهایت پذیرش آن توسط جامعه ورزشی را محدود می‌کند. از سوی دیگر، نظارت بر وضعیت فیزیولوژیکی، شناسایی و ردیابی فعالیت، امکانات جدیدی را در مورد ارزیابی تناسب اندام باز می‌کند. این بررسی به ما این نکته را گوشزد می‌کند که پیشرفت‌های آینده باید تکنیک‌های یادگیری ماشینی را برای تعیین روابط بین آن متغیرها و تعیین اهداف تمرینی بهینه و فردی برای ورزشکاران تفریحی و حرفه‌ای اضافه کند و به آنها کمک کند تا روند تمرین را با شرایط فردی و عوامل محیطی نظارت و تنظیم کنند.

مراجع

- [1] Moser, K., Harder, J., & Koo, S. G. (2014, October). Internet of things in home automation and energy efficient smart home technologies. In *2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (pp. 1260-1265). IEEE.
- [2] Alva, A. S., Dinesh, A. S., & Chavan, C. P. (2022, December). IOT for Enabling Smart environment system. In *2022 International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)* (pp. 1-6). IEEE
- [3] Wang, M., Zhang, G., Zhang, C., Zhang, J., & Li, C. (2013, June). An IOT-based appliance control system for smart homes. In *2013 fourth international conference on intelligent control and information processing (ICICIP)* (pp. 744-747). IEEE.
- [4] Yang, H., Lee, W., & Lee, H. (2018). IOT smart home adoption: the importance of proper level automation. *Journal of Sensors, 2018*.
- [5] Passos J, Lopes SI, Clemente FM, Moreira PM, Rico-González M, Bezerra P, Rodrigues LP. Wearables and Internet of Things (IOT) Technologies for Fitness Assessment: A Systematic Review. *Sensors (Basel)*. 2021 Aug 11;21(16):5418. doi: 10.3390/s21165418. PMID: 34450860; PMCID: PMC8400146.
- [6] E.T. Luhanga, A.A.E. Hippocrate, H. Suwa, Y. Arakawa, K. Yasumoto, Identifying and evaluating user

کند [۱۶]. از پروتکل‌های مورد بررسی، تنها پروتکل‌های ZigBee و BLE برای عملکرد کم مصرف طراحی شده‌اند. عامل مهم دیگری که در این مطالعه مورد ارزیابی قرار نگرفت، تأخیر ارتباطی بود که به شدت وابسته به فناوری ارتباطات اتخاذ شده مورد استفاده است، زیرا هیچ یک از آثار مورد بررسی به این موضوع نپرداختند. در مورد امنیت، Wi-Fi از رمزگذاری ۲۵۶ بیتی استفاده می‌کند، در حالی که بلوتوث و BLE فقط از رمزگذاری ۱۲۸ بیتی استفاده می‌کنند، که سطح امنیتی رایجی است که برنامه‌های کاربردی استاندارد به آن نیاز دارند. با این حال برای سطح امنیت بالاتر، باید با حریم خصوصی معادل بی‌سیم (WEP) و دسترسی محافظت شده از Wi-Fi (WPA2-AES) در نظر گرفته شود، که ارتباطات را به‌طور آشکار ایمن‌تر می‌کند [۲۱].


با توجه به معیار "د"، در میان مطالعات بررسی شده که نتایج را برای ارزیابی تناسب اندام گزارش کرده‌اند، دو دسته اصلی شناسایی شده است: (۱) پیش وضعیت فیزیولوژیکی با دو اثر [۱۷،۱۶] و (۲) شناسایی فعالیت ردیابی با پنج اثر [۱۲-۱۵، ۱۸].

۹- محدودیت‌های مطالعه، تحقیقات آینده و پیامدهای عملی

اکثر کارهای مورد بررسی در این بررسی سیستماتیک با در نظر گرفتن کاربرد نظارت بر وضعیت فیزیولوژیکی و شناسایی ردیابی فعالیت برای ارزیابی تناسب اندام انجام شده است. تمرکز این بررسی سیستماتیک، ارزیابی کاربرد فناوری‌های پوشیدنی و اینترنت اشیا برای چنین برنامه‌هایی از نظر سخت‌افزار، نرم‌افزار و مکانیزم‌های پردازشی، مانند یادگیری ماشینی یا سایر ابزارهای مرتبط است. با این حال، استفاده فعلی از فناوری‌های پوشیدنی و اینترنت اشیا در ورزش برای نظارت بر حجم فعالیت ورزشکاران هنوز در حال توسعه است. نیاز به کسب اطلاعات بیشتر و با کیفیت بهتر در مورد فعالیت‌های ورزشکاران، هنوز توسط جامعه پژوهشی برآورده نشده است؛ که می‌تواند با این واقعیت توجیه شود که بیشتر مطالعات مورد بررسی در این مقاله هنوز نمونه اولیه هستند. این نشان می‌دهد که پیشرفت چنین فناوری‌هایی هنوز پایین است. علاوه بر این، افزایش یادگیری ماشینی در ورزش می‌تواند کاربرد فناوری‌های پوشیدنی و اینترنت اشیا را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد و به هموار کردن راه برای گام بعدی به سمت تجزیه و تحلیل تناسب اندام پیش‌بینی‌کننده کمک کند [۲۲].

علاوه بر این، پیشرفت‌های جدید در الکترونیک انعطاف‌پذیر و ساخت IC، توسعه ابزارهای پوشیدنی و دستگاه‌های اینترنت اشیا را متحول کرده است. با این حال، هنوز محدودیت‌هایی در ارتباط با اندازه‌گیری چندین نشانگر زیستی وجود دارد که با محدودیت‌های ارائه شده نه تنها در سطح پیاده‌سازی حسگر فیزیکی، بلکه در سطح محاسبات لبه‌ای سیستم، به چالش کشیده می‌شوند، یعنی نیاز به پیاده‌سازی‌های سبک‌وزن یادگیری ماشینی برای تجزیه و تحلیل داده‌های موثر در حاشیه، غیرمتمرکز است. موضوع مهم دیگری که باید



- [22] Passos, J., Lopes, S. I., Clemente, F. M., Moreira, P. M., Rico-González, M., Bezerra, P., & Rodrigues, L. P. (2021). Wearables and Internet of Things (IOT) technologies for fitness assessment: a systematic review. *Sensors*, 21(16), 5418.
- COPYRIGHTS**
 ©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>
- 
- [7] T. Wyss, M. Boesch, L. Roos, C. Tschopp, K.M. Frei, H. Annen, R. La Marca, Aerobic fitness level affects cardiovascular and salivary alpha amylase responses to acute psychosocial stress, *Sports Med.-Open* 2 (1) (2016) 1–11.
- [8] H. Lee, J. Kwon, Survey and analysis of information sharing in social IOT, in: 2015 8th IEEE International Conference on Disaster Recovery and Business Continuity (DRBC), 2015, pp. 179–184
- [9] Farrokhi, A., Farahbakhsh, R., Rezazadeh, J., & Minerva, R. (2021). Application of Internet of Things and artificial intelligence for smart fitness: A survey. *Computer Networks*, 189, 107859.
- [10] Cochrane Consumers & Communication Review Group. Data Extraction Template for Included Studies. Available online: https://ccrg.cochrane.org/sites/ccrg.cochrane.org/files/public/uploads/det_2015_revised_final_june_20_2016_nov_29_revised.doc (accessed on 10 August 2021).
- [11] O'Reilly, M., Caulfield, B., Ward, T., Johnston, W., & Doherty, C. (2018). Wearable inertial sensor systems for lower limb exercise detection and evaluation: a systematic review. *Sports Medicine*, 48, 1221-1246.
- [12] Barricelli, B. R., Casiraghi, E., Gliozzo, J., Petrini, A., & Valtolina, S. (2020). Human digital twin for fitness management. *IEEE Access*, 8, 26637-26664.
- [13] Mario, M. O. (2018). Human activity recognition based on single sensor square HV acceleration images and convolutional neural networks. *IEEE Sensors Journal*, 19(4), 1487-1498.
- [14] Qi, J., Yang, P., Hanneghan, M., Tang, S., & Zhou, B. (2018). A hybrid hierarchical framework for gym physical activity recognition and measurement using wearable sensors. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 1384-1393.
- [15] Xia, K., Wang, H., Xu, M., Li, Z., He, S., & Tang, Y. (2020). Racquet sports recognition using a hybrid clustering model learned from integrated wearable sensor. *Sensors*, 20(6), 1638.
- [16] Xiao, N., Yu, W., & Han, X. (2020). Wearable heart rate monitoring intelligent sports bracelet based on Internet of things. *Measurement*, 164, 108102.
- [17] Zhao, Y. X., Hsieh, Y. Z., Lin, S. S., Pan, C. J., & Nan, C. W. (2020). Design of an IOT-Based Mountaineering Team Management Device Using Kalman Filter Algorithm. *Journal of Internet Technology*, 21(7), 2085-2093.
- [18] Zou, Y., Wang, D., Hong, S., Ruby, R., Zhang, D., & Wu, K. (2020). A low-cost smart glove system for real-time fitness coaching. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(8), 7377-7391.
- [19] Singh, S., Kozłowski, M., García-López, I., Jiang, Z., & Rodríguez-Villegas, E. (2021). Proof of concept of a novel neck-situated wearable PPG system for continuous physiological monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-9.
- [20] Wei, Y., Cao, Q., Hargrove, L., & Gu, J. (2020, July). A Wearable Bio-signal Processing System with Ultra-low-power SoC and Collaborative Neural Network Classifier for Low Dimensional Data Communication. In *2020 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)* (pp. 4002-4007). IEEE.
- [21] Ammar, M., Russello, G., & Crispo, B. (2018). Internet of Things: A survey on the security of IOT frameworks. *Journal of Information Security and Applications*, 38, 8-27.



سوگیری الگوریتم‌های توصیه ناشی از رفتار رتبه‌بندی کاربران در شبکه‌های اجتماعی آنلاین

مهدی صفرپور^۱، سید هادی یعقوبیان^{۲*}، کرم الله باقری فرد^۳، راضیه ملک حسینی^۴، صمد نجاتیان^۵

- ۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
Mehdi.safarpour@iau.ac.ir
- ۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
Yaghoobian.h@gmail.com
- ۳- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
ka.bagherifard@iau.ac.ir
- ۴- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
malekhoseini.r@gmail.com
- ۵- گروه مهندسی برق، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
Sa.Nejatian@iau.ac.ir

چکیده: با افزایش ضریب نفوذ شبکه‌های اجتماعی آنلاین، نقش الگوریتم‌های توصیه‌کننده در این سکوها بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد و بررسی صحت کارکرد این الگوریتم‌ها در ارائه توصیه‌های مناسب حائز اهمیت می‌باشد. این مقاله نشان می‌دهد با حضور اطرافیان و آشنایان فرد در شبکه‌های اجتماعی، شاهد رفتارهایی از سوی کاربران در این شبکه‌ها هستیم که بیشتر جنبه روانشناسی دارد و بسیاری از کنش‌های کاربران روی یک پست از احترام یا نزدیکی فرد با صاحب پست نشات می‌گیرد. این پژوهش با بررسی رفتار کاربران در شبکه اجتماعی اینستاگرام نشان می‌دهد پیش‌بینی رتبه‌بندی پست‌های منتشر شده توسط دوستان و آشنایان فرد با دقت میانگین ۷۵ درصد امکان‌پذیر می‌باشد. قابل پیش‌بینی بودن رفتار کاربران در قبال پست‌های منتشر شده توسط نزدیکان که بدون استخراج اطلاعات آن پست صورت می‌پذیرد، نقش ارتباطات عاطفی نشات گرفته از روابط اجتماعی پایدار را در پذیرش یک پست نشان می‌دهد و امکان ارائه توصیه‌های اشتباه در الگوریتم‌های مبتنی بر فیلترینگ مشترک به دلیل این سوگیری داده‌ها را قوت می‌بخشد.

واژه های کلیدی: شبکه‌های اجتماعی، الگوریتم‌های توصیه‌گر، فیلترینگ مشارکتی، پیش‌بینی رفتار کاربران

Biasing recommendation algorithms due to users' rating behavior in online social networks

Mehdi Safarpour¹, S. Hadi Yaghoobyan^{2*}, Karamollah BagheriFard³, Razieh Malekhoseini⁴, Samad Nejatian⁵

- ¹ Department of Computer Engineering, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
Mehdi.safarpour@iau.ac.ir
- ² Department of Computer Engineering, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
Yaghoobian.h@gmail.com
- ³ Department of Computer Engineering, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
ka.bagherifard@iau.ac.ir
- ⁴ Department of Computer Engineering, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
malekhoseini.r@gmail.com
- ⁵ Department of Electrical Engineering, Yasooj Branch, Islamic Azad University, Yasooj, Iran
Sa.Nejatian@iau.ac.ir



Abstract:

As online social networks continue to gain widespread popularity, there is an increasing emphasis on the role of recommender algorithms within these platforms. It is crucial to evaluate the accuracy of these algorithms in providing appropriate recommendations. This paper demonstrates that the presence of individuals and acquaintances within social networks significantly influences user behavior in ways that are largely psychological. Many user actions on a post are influenced by their respect or closeness to the post's owner. Through an examination of user behavior on the Instagram social network, our research has shown that it is possible to predict the ranking of posts published by friends and acquaintances with 75% accuracy. Furthermore, it can predict the number of post likes published by relatives without any details from post. This study delves into how the predictability of user behavior towards posts from friends and acquaintances underscores the impact of emotional connections stemming from stable social relationships on post acceptance. It also raises concerns about the potential for incorrect recommendations in algorithms based on collaborative filtering due to data bias resulting from these factors.

Keywords: social networks, recommendation systems, collaborative filtering, users' behavior prediction

DOI: 00.00000/0000

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹

یک یا چند جنبه از ویژگی های رفتار کاربران داشته اند، اما با توجه به پیچیدگی های رفتار انسان، تمام ویژگی های رفتار کاربران مورد بررسی قرار نگرفته است. روش های فیلتر کردن محتوا^۴ و فیلتر کردن مشترک^۵ برای پیش بینی اینکه افراد چگونه یک آیتم جدید را ارزیابی کرده و امتیاز می دهند، از دیرباز توسعه داده شده اند. فیلتر کردن محتوا بر این فرض بنیان نهاده شده که کاربر تمایل به مشاهده و انتخاب آیتم هایی دارد که قبلا نیز پذیرفته و در روش فیلترینگ مشترک، الگوریتم توصیه گر بر اساس تحلیل علایق کاربر و سایر کاربران (دوستان) مشابه برای نشان دادن اقلام احتمالا مورد توجه کاربر اقدام می کند [۳].

اصل اساسی الگوریتم های پیشنهاددهنده این است که بین کاربر و آیتم های انتخابی او وابستگی معناداری وجود دارد، بنابراین ایده اصلی این است که می توان علایق کاربر را بر اساس خواص (یا ویژگی های) آیتم هایی که در گذشته به آنها امتیاز داده یا به آنها دسترسی یافته است، استخراج کرد [۴]. اما به نظر می رسد رفتار کاربر در مورد تمام پست ها یکسان نباشد و بخشی از فرایند پذیرش یک آیتم توسط کاربر در رسانه های اجتماعی به فاکتورهای روانشناختی فرد همچون ارتباط عاطفی کاربر با فرد انتشاردهنده آیتم (همبستگی اجتماعی) [۵-۷]، محدودیت شناختی بر اساس تعداد دوستان [۸]، ظرفیت محدود مغز برای مدیریت روابط اجتماعی [۹]، موقعیت مکانی آیتم در زمان نمایش در صفحه وابسته است [۱۰]. موضوعاتی که در ابتدای صفحه شبکه اجتماعی یک کاربر هستند، چشم گیرترند، و در نتیجه، نسبت به موضوعاتی که در مکان های پایین تر هستند بیشتر احتمال دارد که مشاهده شوند. بنابراین فاکتورهای اجتماعی و شناختی در حوزه علم روانشناسی رسانه اجتماعی در احتمال پذیرش یا عدم پذیرش یک آیتم تاثیرگذار خواهد بود. عملکرد نامناسب الگوریتم توصیه مشکلاتی همچون افزایش ترافیک شبکه، اتلاف زمان و منابع کاربر، کاهش رضایت

۱- مقدمه

امروزه شبکه اجتماعی آنلاین به یک بستر محبوب برای انتشار اطلاعات و ارتباط مردم با یکدیگر تبدیل شده است. افراد می توانند با خانواده و دوستان ارتباط برقرار کرده و در تماس باشند. دولت ها و سازمان های تجاری می توانند فرصت های جدیدی برای تجارت، سیاست و ارائه خدمات، برای شهروندان و مصرف کنندگان را به وجود آورند. افراد به دلایل مختلف از شبکه های اجتماعی استفاده می کنند اما عمدتاً از رسانه های اجتماعی برای ارتباط با دوستان و اشتراک رویدادها استفاده می کنند [۱]. با ظهور شبکه های اجتماعی آنلاین^۱ (OSN)، استفاده از سیستم های پیشنهاددهنده^۲ (RS) که با استفاده از مشخصات پروفایل، فعالیت ها و علایق کاربران، سبب توصیه های بهتر به آنان می شود نیز وارد فاز کاربردی تری به نام سیستم های پیشنهاددهنده اجتماعی^۳ (SRS) شده است. شبکه های اجتماعی آنلاین می توانند اطلاعاتی را فراهم کنند که بتوان ارتباطات مجازی، فیزیکی و اجتماعی میان کاربران، منافع، عادت های مشترک و همچنین علایق شخصی آنان را شناسایی کرد. سیستم های پیشنهاددهنده با استخراج این اطلاعات و بسته به دامنه کاربردی که برای آن ها تعریف شده است، توصیه های مناسب را ارائه می کنند. در واقع SRS دامنه توصیه خود را از پیشنهادات عمومی تا توصیه افراد برای دوستی، مکان ها، برجسبها و دیگر موارد گسترش داده است [۲]. بررسی رفتار کاربر، تنظیمات و علایق کاربر، عناوین موضوعات و ارتباط بین آن ها، شناسایی گروه هایی از کاربران همفکر و غیره می تواند برای فیلتر کردن اطلاعات استفاده شود تا فقط موضوعات وابسته، به روز و مورد علاقه کاربران به آن ها نمایش داده شود. به منظور استخراج داده از رفتار کاربران در شبکه های اجتماعی، تحقیقات بسیاری انجام شده که هر یک سعی در مدل کردن

¹ Online Social Network² Recommender Systems³ Social Recommendation System⁴ Content-Based Filtering⁵ Collaborative Filtering

و تعامل کاربر و امکان نادیده گرفتن موارد بالقوه جالب را به دلیل نمایش داده نامناسب به همراه داشته باشد. لذا بررسی و مدل سازی رفتار کاربر می تواند سبب برطرف شدن نقاط ضعف الگوریتم های موجود شده و افزایش کارایی کلی سیستم را به همراه آورد.

در این پژوهش نحوه برخورد کاربران شبکه مجازی اینستاگرام در مواجهه با پست های مختلف منتشر شده در این شبکه اجتماعی مورد مطالعه قرار گرفته است و این موضوع مورد آزمایش قرار گرفته که آیا کاربران در مواجهه با پست های منتشر شده توسط دوستان خود، علائق خود را ملاک پذیرش پست قرار می دهند یا لایک کردن پست بیشتر به دلیل وجود روابط اجتماعی پایدار بین این افراد است. از آنجا که در بسیاری از الگوریتم های توصیه کننده، معیارهای مجاورت شبکه مجازی، افزایش کنش بین دو نفر را مبنای شباهت این افراد با یکدیگر لحاظ می کنند، آیا با استفاده از این الگوریتم ها امکان ارائه توصیه های اشتباه برای این افراد وجود خواهد داشت؟ در ادامه مقاله به صورت ذیل سازماندهی شده است. کارهای مرتبط در بخش ۲ مورد بحث قرار گرفته است. فاکتورهای اجتماعی تاثیرگذار در روابط افراد در یک جامعه از بعد روانشناسی در بخش ۳ تعریف شده است. بررسی رفتار کاربر روی شبکه اینستاگرام در بخش ۴ ارزیابی می شوند و یافته های تحقیق و تفسیر رفتارهای مشاهده شده در آزمایش در بخش ۵ ارائه خواهد شد.

۲- کارهای مرتبط

با ظهور شبکه های اجتماعی، سیستم های توصیه کننده شبکه های اجتماعی مورد توجه تحقیقات زیادی قرار گرفته است. کاربرد این سیستم ها از توصیه آیتم و مخاطب جدید فراتر رفته و شامل مواردی همچون پیشنهادات شغلی تا کشف پیوندهایی که احتمالاً به روابط پایدار تبدیل می شود گسترده شده است [۱۱]. پیش زمینه هر سیستم پیشنهاددهنده، ارزیابی علائق کاربر می باشد. علائق و ترجیحات کاربران در شبکه های اجتماعی به دو شکل صریح یا ضمنی مشخص می شوند. ترجیحات صریح مانند لایک کردن یا کامنت و ترجیح ضمنی مثل جستجوی اطلاعاتی خاص، یا مشاهده صفحات یا پست هایی به خصوص است. استخراج علائق کاربر مبنایی برای فیلتر کردن اطلاعات نمایش داده شده به کاربر می باشد. علائق کاربر را می توان بر اساس خواص (یا ویژگی های) آیتم هایی که در گذشته به آنها امتیاز داده یا به آنها دسترسی یافته است، الگوبرداری کرد [۴]. به منظور استخراج علائق کاربر، آنالیز رفتار کاربر در شبکه های اجتماعی اهمیت بسیار دارد. آنالیز رفتار کاربر را در سه گام تعیین مشخصات رفتار

کاربر^۱، تشخیص رفتار کاربر^۲ و پیش بینی رفتار کاربر^۳ بررسی نموده و روش هایی برای انجام کار در هر گام عنوان کرده اند. کامپانا و دلماسترو در [۲] دسته بندی مناسبی روی روش های پیشنهاد آیتم انجام داده و الگوریتم های این گروه را در دو رویکرد کلی مبتنی بر حافظه^۴ که از روابط و شباهت های کاربر با همسایگانش در پیشنهاد آیتم استفاده می کند و مبتنی بر مدل^۵ که از تکنیک های یادگیری ماشین برای یادگیری تابع هدف استفاده می کنند تقسیم بندی کرده اند. هر دو رویکرد بر اساس الگوریتم های فیلترینگ مشترک (CF) کار می کنند.

الگوریتم های بسیاری از رویکردهای مبتنی بر حافظه استفاده می کنند. روش های آماری، بررسی موضوع را با فیلترینگ مشترک (CF) به منظور بهبود قدرت سیستم توصیه گر ترکیب نمودند تا تمایلات کاربر و محبوبیت آیتم در پیشنهادات منظور نمایند و نشان می دهند عملکرد سیستم پیشنهاددهنده زمانی که ویژگی های کاربر و محتوای آیتم در نظر گرفته می شود بیشتر می شود [۱۲]. کنگ و لیمان از فعالیت های آنلاین کاربران، برای یافتن توجه محدود کاربران به دوستانشان و آیتم های منتشر شده آنها استفاده نموده است. این مقاله با ارائه مدل LA-CTR^۶ دو پیشرفت مهم دارد: اول اینکه با محتوای آیتم ترکیب می شود و بنابراین می تواند قدرت توضیحی به پیشنهاداتش اضافه کند و همین طور آیتم های مربوط جدید پیشنهاد دهد. به علاوه مدل ارائه شده می تواند درجه نفوذ و تاثیر سایر کاربران در پذیرش یک آیتم را بر اساس مدل توجه محدود، یاد بگیرد [۳]. مشکل اصلی موجود در الگوریتم های مبتنی بر حافظه این است که الگوریتم ها، قابلیت پیش بینی امتیاز آیتم های بدون امتیاز را ندارند که این مشکل در الگوریتم های مبتنی بر مدل بر طرف می گردد [۲]. در بین روش های پیشنهاد آیتم مبتنی بر مدل، روش های مبتنی بر قوانین انجمنی^۷، شبکه های بیز^۸، ماشین های بردار پشتیبان^۹، تجزیه ماتریس^{۱۰}، شبکه های عصبی^{۱۱} و یادگیری عمیق^{۱۲} بهترین روش از نظر مقیاس پذیری و دقت روش تجزیه ماتریس می باشد [۴]. تجزیه ماتریس برای یافتن ساختار پنهان پشت هر داده، قدرتمندترین ابزار است و چهار مدل معروف SVD^{۱۳}، PCA^{۱۴}، PMF^{۱۵} و NMF^{۱۶} از این ساختار استفاده می کنند [۱۳].

ایده مشترک در راه حل های مبتنی بر تجزیه ماتریس این است که ارتباطات اجتماعی روی ترجیحات کاربر در شبکه های اجتماعی (به طور مثال، در امتیاز دهی) تاثیر می گذارد. انتخاب های دو دوست بسیار شبیه تر از انتخاب های دو فرد غریبه است؛ به همین دلیل این راه حل ها به طور معمول وزن روابط اجتماعی را تعیین می کنند که نشان دهنده قدرت ارتباطات اجتماعی در میان کاربران مرتبط است و معمولاً بر

⁹ Support Vector Machines

¹⁰ Matrix Factorization

¹¹ Neural networks

¹² Deep-learning methods

¹³ Singular Value Decomposition

¹⁴ Principal Component Analysis

¹⁵ Probabilistic Matrix Factorization

¹⁶ Non-negative Matrix Factorization

¹ behavior characterization

² behavior recognition

³ behavior prediction

⁴ Memory-based algorithms

⁵ Model-based

⁶ Limited Attention Collaborative Topic Regression

⁷ Association rule-based

⁸ Bayesian network



تضمین می کند که محبوبیت آیتم توصیه شده با آیتم مورد پذیرش کاربران قابل تطابق باشد. این روش در مقایسه با راه حل های دیگر مبتنی بر انتشار^۸ دقت بیشتری دارد. در [۷] حجم پیام های منتقل شده بین کاربران در قالب یک گراف استخراج شده و نهایتاً یک تنسور شامل کاربران، روابط و مدت زمان ارتباط با توجه به حجم پیام ها ایجاد می شود. در این مقاله از روش سلسه مراتبی، موفق به طبقه بندی روابط شده اند. روش های فوق در ارائه یک سیستم توصیه گر هر چند موفقیت هایی را به همراه داشته، اما جنبه های روانشناسی و شناختی رفتار کاربر نادیده گرفته شده است. با توجه به اهمیت این فاکتورها، مقالاتی در این خصوص در حوزه علم روانشناسی رسانه اجتماعی مورد مطالعه قرار گرفت که در ادامه نتایج این مطالعات بیان شده است.

۳- بررسی فاکتورهای اجتماعی

رسانه های اجتماعی آنلاین نظیر فیسبوک، توئیتر، اینستاگرام و ... بر اساس مدل سازی رفتار انسان در اجتماع ایجاد شده است بنابراین برای درک رفتار کاربران در رسانه های اجتماعی آنلاین، بررسی مسائل موجود در قلمرو روانشناسی اجتماعی حائز اهمیت می باشد. از دیدگاه روانشناسی اجتماعی، اصل مجاورت^۹ اینگونه عنوان می کند که افرادی که بیشتر با یکدیگر روبرو می شوند، تمایل به ایجاد روابط قوی تر دارند. افزایش استفاده از ارتباطات مبتنی بر فناوری به افراد امکان می دهد بدون توجه به محدودیت های فاصله فیزیکی، با دیگران ارتباط برقرار کنند، اما به نظر می رسد که ارتباطاتی از این دست ارتباط افراد را افزایش می دهد؛ اما اغلب فقط بین کسانی که از قبل شرایط یکدیگر را می شناسند استفاده می شود [۱۹]. انسان ها جذب افرادی می شوند که ارزش ها و علایق مشابهی با خود را دارند [۲۰]. در مطالعات علوم اجتماعی و جامعه شناسی، قانون هموفیلی^{۱۰} بیان می کند که در شبکه های اجتماعی، افرادی که ویژگی های مشابه دارند نسبت به افرادی که با هم شباهت ندارند، تمایل بیشتری به ارتباط با یکدیگر دارند [۲۱]. افراد تمایل دارند با توجه به ویژگی های جسمی و ویژگی های جمعیت شناختی مانند سن، جنسیت و قومیت، با افرادی که شبیه خود هستند ارتباط برقرار کنند و با آنها پیوند برقرار کنند. همچنین افراد نزدیک اجتماعی ممکن است به ویژه در تغییرات توزیع شده درون زنا در نحوه توزیع توجه خود (به عنوان مثال، در محیط) در طول زمان مشابه باشند [۲۲]. توانایی افراد برای مدیریت روابط اجتماعی محدود است و این محدودیت به وسیله ظرفیت مغز مشخص می شود. عدد دانبار عددی است که یکی از محدودیت های شناختی انسان را بیان می کند. این عدد که اولین بار توسط رابین دانبار مطرح

اساس شباهت رتبه بندی می شوند [۴]. در روش CTR-smf^۱ موئلفان، CTR^۲ را با مدل های تجربه ماتریس اجتماعی یکپارچه کرده اند تا ارتباط اجتماعی بین کاربران را به حساب بیاورند. این روش به جای اینکه مستقیماً بداند که کاربران چگونه به دوستانشان توجه می کنند از اثر هموفیلی^۳ استفاده می کند [۱۴]. در روش RSboSN^۴ محققان از الگوریتم خوشه بندی برای شناسایی گروه های دوستان استفاده می کنند. این روش از لحاظ دقت و فراخوانی بهتر از الگوریتم هایی نظیر SoRec^۵ عمل می کند، که اثبات اثربخشی رویکرد مبتنی بر خوشه بندی می باشد [۱۵]. در [۱۶] محققین بر اساس نظریه گراف و با این دیدگاه که سلاقی یک کاربر نزدیک به دوستان مورد اعتماد اوست اطلاعات دوستان هر کاربر را استخراج و توسط روش های مبتنی بر گراف، میزان نفوذ کاربران بر همسایگانش را محاسبه و از اطلاعات به دست آمده در الگوریتم RS پیشنهادی استفاده می نماید. در این روش محققان معتقدند با ترکیب کردن نفوذ تپولوژیکی با الگوریتم توصیه کننده تاثیر پیشنهادات بهتر می شود. همچنین در این مقاله علاوه بر نفوذ بین کاربران مرتبط، تأثیر تعاملات غیرمستقیم میان کاربران بررسی شده که می تواند عملکرد توصیه را بهبود بخشد [۱۶].

محققین در [۱۷] عنوان می کنند اگرچه امکان بهره برداری از اطلاعات شبکه اجتماعی برای توصیه ها از ظرفیت بالایی برخوردار است، اما با چالش های بزرگی روبرو است. اول، یافتن تعاملات اجتماعی در روابط اجتماعی دور پیچیده است و استخراج صحیح اطلاعات مفید برای توصیه ها دشوار است. دوم، انتخاب اطلاعات تاثیر گذار همسایگان، در صورت تعامل آنها با آیتم های مختلف کار پیچیده ای است. سرانجام، استخراج ترجیحات کاربر از تعاملات کاربر و آیتم ها، چالش برانگیز است. برای مقابله با چالش های فوق، پژوهشگران در این تحقیق، تاثیر تعاملات بین کاربران بر روی تصمیمات کاربر در شبکه های اجتماعی را با روش یادگیری عمیق بررسی کرده اند و یک چارچوب فیلترینگ مشترک عمیق بنام DSCF^۶ پیشنهاد می دهد. امتیاز این روش در پیش بینی پذیرش یک آیتم توسط کاربر این است که نه تنها همسایگان مستقیم بلکه همسایگان دورتر را در محاسبات لحاظ می کند. روش PLIERS^۷ (پیشنهاد آیتم بر اساس محبوبیت)، یک روش پیشنهاد آیتم مبتنی بر برچسب است که در آن آیتم ها به ترتیب سلاقی کاربر به او پیشنهاد می شوند. در این روش فرض می شود محبوبیت یک آیتم یا موضوع مربوط به معنای آن است و هر چقدر یک برچسب عمومی تر باشد میزان استفاده از آن بیشتر است و هر چه یک برچسب خصوصی تر باشد عمومیت کمتری دارد. در این مورد روش PLIERS این مشکل بزرگ انتخاب بین آیتم های عمومی و غیر عمومی در شبکه را حل می کند و

⁵ Social Recommendation Using Probabilistic Matrix Factorization

⁶ Deep Social Collaborative Filtering

⁷ Popularity-based Item Recommender System

⁸ diffusion-based

⁹ proximity principle

¹⁰ Homophily

¹ Collaborative Topic Regression with Social Matrix Factorization

² Collaborative Topic Regression

^۳ هموفیلی اشاره به تمایل اشخاص مشابه برای ارتباط با همدیگر دارد، و یک اصل سازمانی قدرتمند در شبکه های اجتماعی است.

⁴ Recommender System based on Social Networks



شده است بیشینه شمار افرادی که یک نفر می‌تواند با آن‌ها رابطه اجتماعی پایدار برقرار کند را مشخص می‌کند. محققان معتقدند این عدد چیزی بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ است، هرچند بر روی مقدار دقیق آن جماعی وجود ندارد. منظور از رابطه اجتماعی پایدار روابطی است که در آن فرد بداند طرف مقابلش کیست و چه رابطه‌ای با سایر افراد دارد [۲۳]. اگرچه باور بر این است که رسانه‌های اجتماعی آنلاین سبب توسعه اندازه شبکه‌های اجتماعی و مجموعه افرادی که با هم در ارتباط هستند می‌شود، تحقیقات نشان می‌دهند که تعداد دوستانی که کاربران شبکه‌های اجتماعی آنلاین با آنها در ارتباط هستند بسیار نزدیک به شبکه‌های اجتماعی در دنیای واقعی است [۲۴، ۲۵]. با این حال، کاربران به ندرت توجه‌شان را به طور یکنواخت تقسیم می‌کنند. برخی دوستان ممکن است سهم بیشتری از توجه یک کاربر را به دلیل آشنایی، اعتماد، نزدیکی اجتماعی یا تاثیر، دریافت کنند [۳].

رفتارهای رتبه‌بندی^۱ کاربران لزوماً علایق ذاتی کاربران را نشان نمی‌دهد. در این پژوهش محققان پس از بررسی چندین سیستم شبکه‌های اجتماعی، ادعا می‌کنند که رفتارهای رتبه‌بندی کاربر عموماً تحت تأثیر دو عامل علاقه ذاتی کاربر و توجه عموم است. در حالی که علاقه ذاتی کاربر نسبتاً پایدار است اما توجه عموم در یک بازه زمانی خاص متأثر از اخبار روز بوده و متغیر می‌باشد. در این پژوهش محققین به بررسی تاثیر اخبار و توجه عموم در یک بازه زمانی به آیت‌های مورد بازدید کاربر پرداخته‌اند [۲۶]. در [۱۱] پژوهشگران برای به دست آوردن بینش بیشتر در مورد ویژگی‌های مطلوب توصیه‌های اجتماعی، یک مطالعه بر روی ۳۸ کاربر (بازه سنی ۲۲ تا ۳۴ و ۷۹٪ مرد) انجام دادند که بازخورد مربوط به تعامل، انتظارات و نیازهای آن‌ها با تمرکز بر توصیه‌های دوستان آن‌ها در شبکه اجتماعی فیسبوک را ارائه می‌دهد. هدف این مطالعه، درک بهتر و به دست آوردن اطلاعات در مورد این است که کاربران وقت خود را در فیسبوک چگونه سپری می‌کنند، همچنین میزان استقبال کاربران از موارد سرگرمی (در حوزه فیلم و موسیقی) که توسط الگوریتم‌های پیشنهاددهنده ارائه شده است مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد با وجود هم‌پوشانی بین علایق هر فرد با دوستانش، بهتر است محتوای جالب بر اساس توصیه دوستان فرد که ارتباط قوی با آنها دارد پیشنهاد شود نه بر اساس تعداد لایک و سرعت انتشار در شبکه‌های اجتماعی. بر این اساس محققان در این پژوهش با طراحی سیستمی، محتوای منتشر شده توسط دوستان کاربر (به عنوان مثال، پست‌ها، پیوندها) را به دسته‌های مختلف (به عنوان مثال موسیقی و فیلم) تقسیم‌بندی کرده و سپس اطلاعاتی را برای اختصاص دادن آن محتوا به یک زیرمجموعه خاص‌تر (مثلاً ژانرهای موسیقی فرعی) جمع‌آوری می‌کنند. سیستم هر متن همراه آن محتوا را تجزیه و تحلیل می‌کند تا احساسات مربوط به آن را شناسایی کرده و نظر مثبت یا منفی ابراز شده توسط ناشر محتوا را استنباط کند. بر اساس مشخصات علاقه کاربر و میزان شباهت با ناشر

محتوا، امتیاز علاقه به محتوا تعیین می‌شود و بر این اساس محتوا به کاربر پیشنهاد می‌شود [۱۱]. بررسی فاکتورهای اجتماعی نشان می‌دهد حداقل بخشی از رفتار کاربران در رسانه‌های اجتماعی می‌تواند متأثر از عوامل همبستگی‌های اجتماعی باشد.

۴- روش تحقیق

در این بخش در نظر داریم با بررسی رفتار رتبه‌بندی کاربران در شبکه‌های اجتماعی، به بررسی احتمال تاثیر روابط اجتماعی در رفتار رتبه‌بندی کاربران بپردازیم. در صورت اثبات این موضوع (تاثیر روابط اجتماعی در لایک یا کامنت پست‌های دوستان)، امکان سوگیری داده‌ها در الگوریتم‌های توصیه‌گر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. لذا در ادامه این مقاله روند کار به این شکل تبیین می‌گردد که در بخش ۴-۱ مجموعه داده‌های مورد استفاده در این تحقیق توصیف می‌گردد سپس در بخش ۴-۲ تاثیر توجه محدود کاربران در پذیرش آیت‌م مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج و نمودارها به تفصیل شرح داده می‌شود.

۴-۱- استخراج داده‌ها

با توجه به هدف این تحقیق و به منظور کاهش پیچیدگی‌ها، شبکه اجتماعی انتخابی برای تحلیل داده‌ها، شبکه اینستاگرام انتخاب شده است که باز نشر پست‌ها بسیار محدود بوده و کاربران توجه خود را در قالب لایک و کامنت بر روی پست‌های دریافتی ابراز می‌کنند. به همین منظور از تعدادی از کاربران در شبکه اجتماعی اینستاگرام درخواست شده به ما اجازه دهند که با دنبال کردن ایشان، پست‌های آنها را مورد تحلیل قرار دهیم. البته در متن درخواست قید شده که این تحقیق هیچ یک از اطلاعات محرمانه شما شامل محتوای پست‌ها و کامنت‌ها را نیاز نداشته و صرفاً کنش‌های دنبال‌کنندگان را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. برای استخراج داده‌ها از API ارائه شده توسط شرکت متا به نام Instagram Graph API استفاده شده است. در این پژوهش حدود سه هزار حساب کاربری (شناسه حساب کاربری، تعداد پست، تعداد دنبال‌کننده، تعداد دوست، متن حساب کاربری، وضعیت عمومی یا خصوصی بودن حساب کاربری) شرکت کرده‌اند. اطلاعات شامل شناسه بیش از ۲۸ هزار پست منتشر شده توسط این افراد (شناسه هر پست، زمان انتشار، تعداد لایک، تعداد کامنت، موقعیت مکانی پست، شناسه لایک‌کنندگان) و بیش از سه میلیون دنبال‌کننده این افراد (شناسه حساب کاربری) می‌باشد که مربوط به فوریه سال ۲۰۲۰ تا جولای ۲۰۲۱ می‌باشد. در این تحقیق از اطلاعات خصوصی کاربران استفاده نگردیده و صرفاً آمار مورد نیاز از هر پست بدون ذکر شناسه کاربر مورد استفاده قرار گرفته است.

با توجه به رفتار متفاوت کاربران در مواجهه با پست‌های مختلف، حساب‌های کاربری به دو گروه عمومی و خصوصی دسته بندی گردید و

¹ Rating

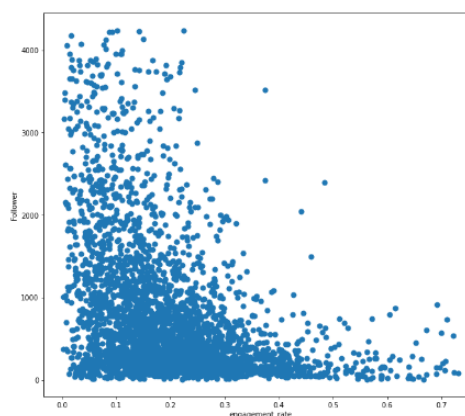


۴-۲- تجزیه و تحلیل داده‌ها

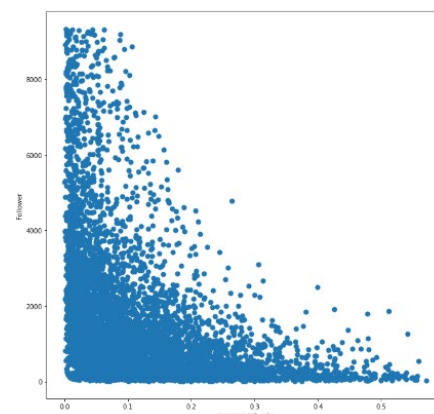
حال که ابعاد داده‌های استخراج شده مشخص شده است می‌توان به بررسی رفتار کاربران در مواجهه با پست‌های مختلف در اینستاگرام پرداخت. یک کاربر فرضی X در زمان استفاده از اینستاگرام با سه گروه پست مواجه می‌شود. گروه اول پست‌هایی هستند که توسط دوستان و آشنایان فرد اخیراً منتشر شده است. این گروه از پست‌ها معمولاً متعلق به حساب‌های کاربری خصوصی می‌باشد که توسط کاربر X فالو شده‌اند، گروه دوم پست‌هایی هستند که معمولاً علائق کاربر را تشکیل می‌دهند و معمولاً حساب‌های کاربری عمومی با تعداد دنبال‌کننده زیاد هستند؛ این حساب‌های کاربری نیز توسط کاربر X فالو شده‌اند. گروه سوم از پست‌هایی که کاربر در معرض آن قرار می‌گیرد پست‌هایی هستند که نتیجه خروجی الگوریتم‌های توصیه‌گر و بر اساس تلفیقی از علائق کاربر و علائق دوستان کاربر X می‌باشد. از آنجا که استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر فیلترینگ مشترک در شبکه‌های اجتماعی بسیار معمول است، طبیعی است که بخش زیادی از خروجی الگوریتم توصیه‌کننده آیتم، پست‌هایی باشد که توسط دوستان نزدیک کاربر X اتخاذ شده و با لایک یا کامنت مورد پذیرش آنها قرار گرفته است. شکل (۳) نمونه‌ای از این توصیه‌ها را نشان می‌دهد.

مسئله از آنجا آغاز می‌گردد که رابطه نزدیکی علائق کاربر X و Y یکی از دنبال‌شوندگان^۲ توسط X می‌باشد) از روی تعداد لایک و کامنتی نشأت می‌گیرد که این دو کاربر روی پست‌های یکدیگر داشته‌اند و این موضوع سبب می‌شود الگوریتم توصیه‌کننده، آیتم‌های مورد علاقه کاربر Y را در لیست پیشنهادی به کاربر X قرار دهد. در این مقاله ادعا شده بخش زیادی از لایک پست‌های کاربر Y توسط کاربر X به دلیل روابط اجتماعی و نه علاقه به محتوای آیتم منتشر شده توسط Y بوده است. در حقیقت پذیرش پست منتشر شده در پیج کاربر Y توسط کاربر X ربطی به علائق کاربر X نداشته و صرفاً به دلیل وجود روابط اجتماعی بین X و Y بوده است. پیش‌بینی این موضوع که آیا یک کاربر یک پست را با لایک یا کامنت مورد پذیرش قرار می‌دهد یا خیر، به عوامل زیادی بستگی دارد که مهمترین آن علائق کاربر به پست منتشر شده می‌باشد. لذا پیش‌بینی پذیرش یک آیتم توسط کاربر نیاز به اطلاعات بسیاری دارد که حداقل آن لیست موضوعات مورد علائق کاربر و همخوانی محتوای پست با این لیست دارد. در ادامه سعی شده با نشان دادن پیش‌بینی پذیر بودن رفتار کاربران در قبال پست‌های منتشر شده توسط دوستان (بدون هر گونه اطلاعاتی از علائق کاربر و محتوای پست)، نشان دهیم رفتار کاربران در قبال دوستان نشأت گرفته از روابط اجتماعی و نه علائق آنها است. لذا رفتار دنبال‌کننده‌های هر حساب کاربری در مواجهه با پست‌های منتشر شده آن حساب کاربری مورد بررسی قرار گرفته و میزان پیش‌بینی پذیر بودن این رفتار در دو گروه از حساب‌های کاربری عمومی و خصوصی بدون اطلاع از محتوای پیام بررسی شده است. برای این منظور لایک کنندگان حدود ۲۸ هزار پست که توسط حدود ۳ هزار

از نرخ مشارکت^۱ به جای تعداد لایک به منظور نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شده است. شکل‌های (۱)، (۲) ابعاد داده‌های استخراج شده را نشان می‌دهد که در این دو نمودار، حساب کاربری هر کاربر بر اساس تعداد دنبال‌کننده و میزان میانگین مشارکت (لایک) مشخص شده است.



شکل (۱): تعداد دنبال‌کننده به نرخ مشارکت (حساب خصوصی)



شکل (۲): تعداد دنبال‌کننده به نرخ مشارکت (حساب کاربری عمومی)



شکل (۳): نمونه‌ای از پست‌های پیشنهادی الگوریتم توصیه‌گر

اینستاگرام

^۲ Following

^۱ Engagement Rate

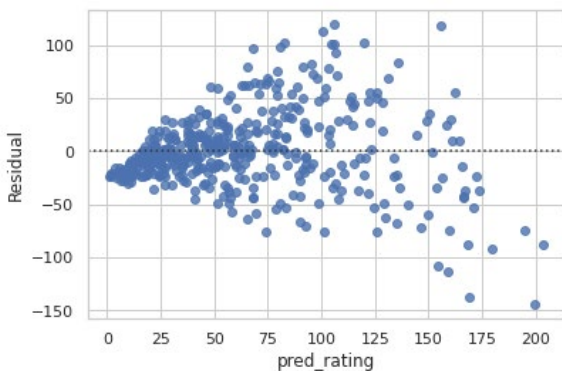
شناختی بر اساس تعداد دوستان [۲۷] و ظرفیت محدود مغز برای مدیریت روابط اجتماعی [۲۸] مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول (۱): داده‌ها شامل مشخصه پست، مشخصه دنبال‌کننده و پذیرش یا عدم پذیرش پست

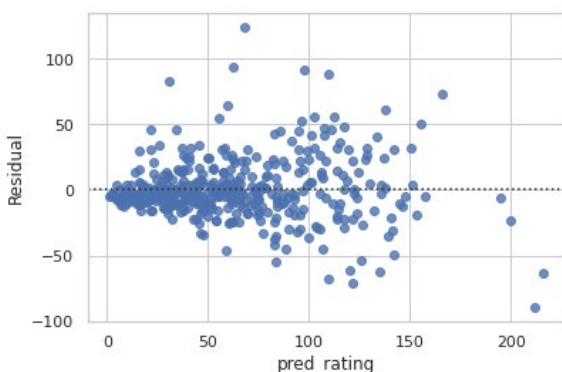
| MediaId | FollowerId | Rating |
|---------|------------|--------|
| 53894 | 20325 | 1.0 |
| 53892 | 1249095 | 0.0 |
| 53892 | 9826734 | 1.0 |
| 53890 | 32107490 | 1.0 |
| 53890 | 33959167 | 0.0 |

جدول (۲): داده‌ها شامل شناسه کاربر پست گذارنده، شناسه دنبال‌کننده و پذیرش یا عدم پذیرش پست

| UserId | FollowerId | Rating |
|--------|------------|--------|
| 75351 | 20325 | 1.0 |
| 75351 | 1249095 | 0.0 |
| 75351 | 9826734 | 1.0 |
| 75351 | 32107490 | 1.0 |
| 75351 | 33959167 | 0.0 |



شکل (۴): نمودار^۱ residplot با مقادیر پیش‌بینی تعداد لایک و مقادیر باقیمانده با الگوریتم SVD در حساب‌کاربری خصوصی با ورودی جدول (۱)



شکل (۵): نمودار^۱ residplot با مقادیر پیش‌بینی تعداد لایک و مقادیر باقیمانده با الگوریتم SVD در حساب‌کاربری خصوصی با ورودی جدول (۲)

کاربر در شبکه اینستاگرام منتشر شده، (حدود ۳ میلیون رکورد) استخراج شده و توسط دو الگوریتم توصیه‌گر Baseline و SVD در دو گروه پست‌های منتشر شده در صفحات عمومی و خصوصی بررسی گردیده است. برای این منظور، دو الگوریتم‌های Baseline و SVD دو بار و با دو داده ورودی متفاوت که در جداول (۱، ۲) نشان داده شده است مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در اجرای اول، داده ورودی شامل مشخصه‌ای از شناسه پست می‌باشد، اما مشخص نیست که محتوای منتشر شده متعلق به چه کسی است (جدول ۱). در اجرای دوم مشخصه کاربر جایگزین مشخصه پست شده است (جدول ۲). نتیجه پیش‌بینی تعداد لایک پست آخر کاربران خصوصی و عمومی توسط الگوریتم توصیه‌گر SVD با دو ورودی مجزای جداول (۱، ۲)، در شکل‌های (۴-۷) نشان داده شده است.

مقایسه شکل (۴) با شکل (۵) نشان می‌دهد که پیش‌بینی پذیرش یک پست در حساب‌های کاربری خصوصی با داده‌های جدول (۲) که حاوی اطلاعات صاحب پست می‌باشد با دقت بیشتری امکان پذیر است. این مقایسه با توجه به محاسبه میزان خطای RMSE در جدول (۳) بیشتر نمایان است؛ در الگوریتم SVD میزان این خطا از ۳۸.۹۴ به ۲۴.۵۲ کاهش پیدا کرده است. استنباط ما چنین است که پذیرش پست‌های دوستان در شبکه‌های مجازی بدون در نظر گرفتن علاقه ذاتی به محتوای پست، صورت می‌گیرد و کاربران محتوای منتشر شده توسط دوستان و آشنایان خود را (پست‌های موجود در حساب‌های کاربری خصوصی) بدون در نظر گرفتن محتوای پیام، پذیرش می‌کنند. اما با تغییر گروه حساب کاربری از خصوصی به عمومی و با وجود استراتژی یکسان و استفاده از داده‌های جدول (۲)، میزان خطای پیش‌بینی پذیرش نه تنها بهتر نشده بلکه افزایش یافته است این موضوع در مقایسه شکل (۶) با شکل (۷) مشخص است. در جدول (۳) مقادیر میزان خطای پیش‌بینی RMSE آورده شده است. همانطور که از داده‌های این جدول مشخص است، در حساب‌های کاربری خصوصی با تغییر داده‌ها و استفاده از مشخصه کاربر به جای مشخصه آیتم و بدون اطلاع از سلايق کاربر و یا محتوای منتشر شده، میزان دقت پیش‌بینی افزایش می‌یابد. اما در پست‌های منتشر شده در حساب‌های کاربری عمومی این موضوع متفاوت است و با تغییر داده‌ها و استفاده از مشخصه ثابت کاربر به جای مشخصه متغیر آیتم، دقت پیش‌بینی‌ها کاهش می‌یابد.

همانطور که قبلاً گفته شد مغز انسان دارای ظرفیت محدود برای ایجاد روابط اجتماعی پایدار است و افزایش تعداد دنبال‌کننده‌ها در شبکه‌های اجتماعی نشان دهنده از بین رفتن این محدودیت نیست. شکل (۸) نشان می‌دهد با افزایش تعداد دنبال‌کننده‌های یک پیج خصوصی قابلیت پیش‌بینی، پذیرش پست توسط دنبال‌کنندگان کاهش می‌یابد که دلیل این موضوع، کاهش روابط پایدار با افزایش تعداد دنبال‌کننده‌ها می‌باشد. این موضوع در تحقیقاتی با موضوع محدودیت

^۱ residplot - نموداری از باقیمانده‌ها را نشان می‌دهد که تفاوت بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل رگرسیون است.

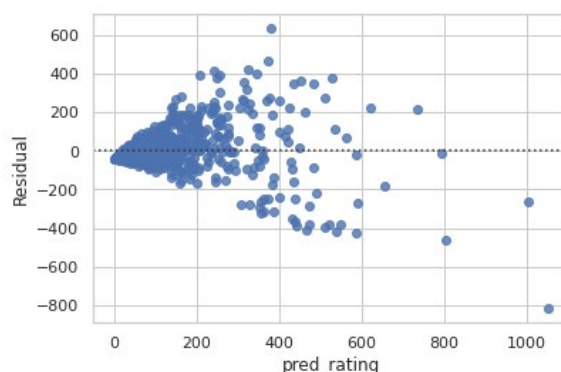
جدول (۳): محاسبه میزان خطای پیش‌بینی با دو ورودی جدول (۱)، (۲)

توسط الگوریتم SVD در دو گروه حساب‌کاربری خصوصی و عمومی

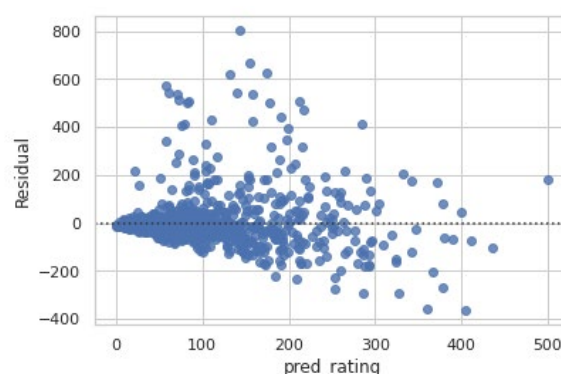
| Subject | Input Data Fields | Accounts Type | RMSE Value |
|---------------|-------------------|---------------|------------|
| SVD algorithm | Table 1 | private | 38.94 |
| SVD algorithm | Table 2 | private | 24.52 |
| SVD algorithm | Table 1 | public | 104.51 |
| SVD algorithm | Table 2 | public | 112.40 |

۵- نتیجه‌گیری

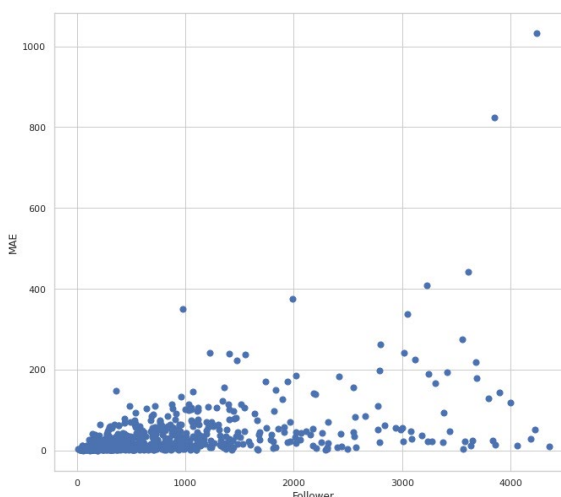
با افزایش ضریب نفوذ رسانه‌های اجتماعی آنلاین در بین جوامع که سبب شده تقریباً تمامی اطرافیان نزدیک فرد در شبکه اجتماعی به عنوان یکی از دنبال‌کنندگان او حضور داشته باشند و همچنین محدودیت‌هایی همچون مشغله کاری که سبب شده افراد در دنیای واقعی کمتر یکدیگر را ملاقات کنند، شاهد برخی رفتارها در شبکه اجتماعی می‌باشیم که بیشتر جنبه روانشناختی دارد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد رفتار کاربران در قبال پست‌های منتشر شده توسط دوستان و آشنایان که معمولاً به شکل حساب‌های کاربری خصوصی می‌باشد با دقت نسبتاً بالایی (بیش از ۷۵ درصد) قابل پیش‌بینی است. این موضوع نشان می‌دهد که رفتارهای رتبه‌بندی کاربران در صفحه‌های خصوصی که متعلق به دوستان و آشنایان کاربر می‌باشد، لزوماً علایق ذاتی کاربران را نشان نمی‌دهد؛ که دلیل این امر همین قابل پیش‌بینی بودن پذیرش یک پست بدون اطلاع از محتوای آیتم می‌باشد. اما در حساب‌های کاربری عمومی پیش‌بینی پذیرش یک آیتم بدون اطلاع از محتوای آیتم تقریباً ممکن نمی‌باشد که این موضوع نشان می‌دهد کاربران در حساب‌های کاربری عمومی پذیرش و رتبه‌بندی یک پست را بیشتر بر اساس علایق خود انجام می‌دهند. بنابراین، حداقل بخشی از فرایند پذیرش یک آیتم توسط کاربر در رسانه‌های اجتماعی به ارتباط عاطفی کاربر با فرد انتشاردهنده آیتم وابسته است. این موضوع نشان می‌دهد استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر فیلترینگ مشترک که علایق دوستان کاربر را به عنوان توصیه در لیست پیشنهادی به کاربر نشان می‌دهد ممکن است به دلیل سوگیری داده‌های علایق کاربر با خطای قابل توجهی همراه باشد. ما اعتقاد داریم در کنش بین یک کاربر با دوستان نزدیک در رسلنه‌های اجتماعی آنلاین در بسیاری از موارد، پذیرش یک آیتم در شبکه مجازی به دلیل روابط عاطفی و اجتماعی بین افراد است و نمی‌بایست موضوع این آیتم‌ها را به عنوان علایق کاربر تعبیر کرد. این در حالی است که بسیاری از روش‌های موجود، پذیرش یک آیتم توسط کاربر را مبنایی برای استخراج علایق کاربر لحاظ می‌کنند و الگوریتم‌های مبتنی بر فیلترینگ مشترک (CF) که عمدتاً برای توصیه آیتم استفاده می‌شوند، آیتم‌هایی را پیشنهاد می‌دهند که با آیتمی که به دلیل رابطه اجتماعی با صاحب آن پست پذیرش شده، رابطه دارد.



شکل (۶): نمودار residplot با مقادیر پیش‌بینی تعداد لایک و مقادیر باقیمانده با الگوریتم SVD در حساب‌کاربری عمومی با ورودی جدول (۱)



شکل (۷): نمودار residplot با مقادیر پیش‌بینی تعداد لایک و مقادیر باقیمانده با الگوریتم SVD در حساب‌کاربری عمومی با ورودی جدول (۲)



شکل (۸): نسبت خطای^۱ MAE به تعداد دنبال‌کننده‌های پیچ که نشان‌دهنده دقت پیش‌بینی الگوریتم SVD با داده ورودی جدول (۲) می‌باشد و مشخص می‌کند دقت پیش‌بینی پذیرش یک آیتم با افزایش تعداد دنبال‌کننده کاهش می‌یابد.

^۱ Mean Absolute Error

- [18] V. Arnaboldi, M. G. Campana, F. Delmastro, and E. Pagani, "PLIERS: A popularity-based recommender system for content dissemination in online social networks," *arXiv [cs.IR]*, 2023.
- [19] T. M. Newcomb, "Varieties of interpersonal attraction," in *Group dynamics: Research and theory*, D. Cartwright and A. Zander, Eds. 1960, pp. 104–119.
- [20] G. L. Clore and D. Byrne, "A reinforcement-affect model of attraction," in *Foundations of Interpersonal Attraction*, Elsevier, 1974, pp. 143–170.
- [21] M. McPherson, L. Smith-Lovin, and J. M. Cook, "Birds of a feather: Homophily in social networks," *Annu. Rev. Sociol.*, vol. 27, no. 1, pp. 415–444, 2001.
- [22] R. Hyon, A. M. Kleinbaum, and C. Parkinson, "Social network proximity predicts similar trajectories of psychological states: Evidence from multi-voxel spatiotemporal dynamics," *Neuroimage*, vol. 216, no. 116492, p. 116492, 2020.
- [23] R. I. M. Dunbar, "Neocortex size as a constraint on group size in primates," *J. Hum. Evol.*, vol. 22, no. 6, pp. 469–493, 1992.
- [24] B. Gonçalves, N. Perra, and A. Vespignani, "Modeling users' activity on twitter networks: Validation of dunbar's number," *PLoS One*, vol. 6, no. 8, p. e22656, 2011.
- [25] R. I. M. Dunbar, "Do online social media cut through the constraints that limit the size of offline social networks?," *R. Soc. Open Sci.*, vol. 3, no. 1, p. 150292, 2016.
- [26] H. Yin, B. Cui, L. Chen, Z. Hu, and Z. Huang, "A temporal context-aware model for user behavior modeling in social media systems," in *Proceedings of the 2014 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 2014.
- [27] N. O. Hodas and K. Lerman, "How visibility and divided attention constrain social contagion," in *2012 International Conference on Privacy, Security, Risk and Trust and 2012 International Conference on Social Computing*, 2012.
- [28] R. I. M. Dunbar and S. Shultz, "Understanding primate brain evolution," *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, vol. 362, no. 1480, pp. 649–658, 2007.
- [1] M. Yang, S. Zhang, H. Zhang, and J. Xia, "A new user behavior evaluation method in online social network," *J. Inf. Secur. Appl.*, vol. 47, pp. 217–222, 2019.
- [2] M. G. Campana and F. Delmastro, "Recommender systems for online and mobile social networks: A survey," *Online Soc. Netw. Media*, vol. 3–4, pp. 75–97, 2017.
- [3] J.-H. Kang and K. Lerman, "LA-CTR: A limited attention collaborative topic regression for social media," *arXiv [cs.IR]*, 2013.
- [4] C. C. Aggarwal, *Recommender Systems: The Textbook*, 1st ed. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2016.
- [5] F. C. T. Chua, H. W. Lauw, and E.-P. Lim, "Generative models for item adoptions using social correlation," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 25, no. 9, pp. 2036–2048, 2013.
- [6] N. D. Rodríguez, M. P. Cuéllar, J. Lilius, and M. D. Calvo-Flores, "A survey on ontologies for human behavior recognition," *ACM Comput. Surv.*, vol. 46, no. 4, pp. 1–33, 2014.
- [7] B. L. Bianca, "The user behavior analysis based on text messages using parafac and block term decomposition," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 9, no. 10, 2018.
- [8] N. O. Hodas and K. Lerman, "How visibility and divided attention constrain social contagion," *arXiv [physics.soc-ph]*, 2012.
- [9] R. I. M. Dunbar and S. Shultz, "Evolution in the social brain," *Science*, vol. 317, no. 5843, pp. 1344–1347, 2007.
- [10] G. Buscher, E. Cutrell, and M. R. Morris, "What do you see when you're surfing?: Using eye tracking to predict salient regions of web pages," in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2009.
- [11] M. Aivazoglou et al., "A fine-grained social network recommender system," *Soc. Netw. Anal. Min.*, vol. 10, no. 1, 2020.
- [12] D. Agarwal and B.-C. Chen, "fLDA: Matrix factorization through latent dirichlet allocation," in *Proceedings of the Third ACM International Conference on Web Search and Data Mining - WSDM '10*, 2010.
- [13] D. Bokde, S. Girase, and D. Mukhopadhyay, "Matrix factorization model in collaborative filtering algorithms: A survey," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 49, pp. 136–146, 2015.
- [14] S. Purushotham, Y. Liu, and C.-C. J. Kuo, "Collaborative topic regression with social matrix factorization for recommendation systems," *arXiv [cs.IR]*, 2012.
- [15] Z. Sun et al., "Recommender systems based on social networks," *J. Syst. Softw.*, vol. 99, pp. 109–119, 2015.
- [16] Z. Li, F. Xiong, X. Wang, Z. Guan, and H. Chen, "Mining heterogeneous influence and indirect trust for recommendation," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 21282–21290, 2020.
- [17] W. Fan, Y. Ma, D. Yin, J. Wang, J. Tang, and Q. Li, "Deep social collaborative filtering," in *Proceedings of the 13th ACM Conference on Recommender Systems*, 2019.

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>





Islamic Azad University, Shiraz Branch

نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis

sanad.iau.ir/journal/jcdsa



مکان‌یابی خود کار کاروانسراها در تصاویر ماهواره‌ای با بهره‌گیری از

تکنیک‌های پردازش تصویر مبتنی بر یادگیری عمیق

محمد حسین سالاری^{۱*}، محمدامین شایگان^۲، فرناز فرجی^۳

۱- آزمایشگاه فناوری‌های تعاملی، دپارتمان علوم جنگلبانی و تکنولوژی، دانشگاه فنلاند شرقی

Mohammadhossein.salari@uef.fi

۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

MA.Shayegan@iau.ac.ir

۳- دانشکده علوم انسانی، دانشکده تاریخ، کلاسیک و باستان‌شناسی، دانشگاه نیوکاسل

Farnaz.faraji@newcastle.ac.uk

چکیده: در دهه اخیر، استفاده از یادگیری عمیق در فرآیند پردازش تصاویر به شدت رواج یافته است. استفاده از این تکنیک در زمینه حفاظت و شناخت میراث فرهنگی نیز در مقیاس ملی و بین‌المللی توجه زیادی را به خود جلب کرده است. لیکن مشکلاتی مانند نبود پایگاه‌های داده مورد نیاز، هزینه‌بر بودن ایجاد پایگاه داده جدید، پیچیدگی کار با شبکه‌های عصبی عمیق و نیاز به منابع سخت‌افزاری گران‌قیمت توجه به این مسئله را محدود ساخته است. پژوهش حاضر با ایجاد پایگاه داده‌ای از تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از پردازش تصویر مبتنی بر یادگیری عمیق، پایگاه داده‌ای از کاروانسراهای پابرجای ایران ارائه کرده است. به‌همین منظور، پایگاه داده‌ای متشکل از موقعیت جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای ۲۰۳ کاروانسرای ایران، ایجاد و سپس با استفاده از تکنیک یادگیری انتقالی، الگوریتم یافتن شیء YOLOv5 بر روی پایگاه داده فوق، آموزش داده شده است. به منظور بررسی کارایی شبکه، ۲۵ تصویر جدید از محیط اطراف برخی از کاروانسراها انتخاب و با استفاده از تکنیک پنجره لغزان و وزن‌های آموزش داده شده از قبل، فرایند تشخیص کاروانسراها انجام گرفت. در نهایت، دقت الگوریتم پیشنهادی برابر با ۹۱/۴۳ mAP_0.5٪ محاسبه گردید. روش پیشنهادی می‌تواند به متخصصان میراث فرهنگی در شناخت آثار برجای مانده کمک شایانی نماید.

واژه‌های کلیدی: یادگیری عمیق، کاروانسرا، تصاویر ماهواره‌ای، شبکه‌های عصبی پیچیده، الگوریتم YOLOv5

Automatic Localization of Carvanserais in satellite Images using Image Processing Techniques based on Deep Learning

Mohammad Hossein Salari^{1*}, Mohammad Amin Shayegan², Farnaz Faraji³

¹ Interactive Technologies Lab, School of Computing, Faculty of Science, Forestry and Technology, University of Eastern Finland

Mohammadhossein.salari@uef.fi

² Department of Computer Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

MA.Shayegan@iau.ac.ir

³ Heritage and landscape, Faculty of Humanities, Vrije Universiteit Amsterdam, Research Assistant, School of History, Classics and Archaeology, Newcastle University

Farnaz.faraji@newcastle.ac.uk

Abstract:

In the past decade, the use of deep learning for image-processing task has gained significant popularity. This method has also attracted national and international attention in the field of cultural heritage protection and recognition. However, some issues such as the lack of necessary databases, the costs of creating a new dataset, the complexity of working with deep neural networks, and the need for expensive hardware resources have limited attention to this issue. The present research has provided a database of Iran's remaining caravanserais using a database of satellite images and a deep



learning-based image processing technique. To this end, a database consisting of geolocation and satellite images of 203 Iranian caravanserais has been created. Then, the YOLOv5 object detection algorithm has been trained on this database using the transfer learning technique. To evaluate the performance of this network, 25 new images from the environment around some caravanserais were selected and tested using the sliding window technique and the trained weights. Finally, the accuracy of the proposed algorithm was calculated mAP_{0.5} 43.91%. Therefore, the current method can be useful for cultural heritage experts in recognizing the remaining locations.

Keywords: Deep Learning, Caravansarai, Satellite Images, Complex neural Network, YOLOv5 Algorithm.

DOI: 00.00000/0000

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۱۹

نوع مقاله: پژوهشی / مروری

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹

۱- مقدمه

مدیریت میراث است. استفاده از یادگیری ماشینی باعث کاهش زمان و هزینه استفاده از نیروی انسانی در مدیریت پروژه‌های میراث فرهنگی و تسهیل فعالیت‌های متخصصان حفاظت و مرمت میراث می‌شود [۵]. برای رفع مشکلات موجود در روش‌های سنتی مستندنگاری بناهای تاریخی، پژوهش حاضر به بررسی استفاده از تکنیک‌های یادگیری عمیق و پردازش تصاویر ماهواره‌ای در مکان‌یابی مجموعه کاروانسراهای موجود در اقلیم ایران پرداخته است. در این مقاله از تصاویر ماهواره‌ای و یادگیری عمیق برای یافتن مکان کاروانسراها استفاده شده است. هرچند که تاکنون تلاش‌های پژوهشی بسیاری توسط افرادی نظیر زنجانی و مالیان جهت مکان‌یابی خودکار کاروانسراها مبتنی بر پیشینه تحقیق ارائه شده صورت گرفته شده است، لیکن پایگاه داده‌ای از موقعیت جغرافیایی و تصاویر ماهواره‌ای از کاروانسراهای ایران با اتکالی به روش ارائه شده در پژوهش حاضر در دسترس عموم قرار نگرفته است. به منظور نیل به اهداف ذکر شده، در این مقاله ابتدا یک پایگاه داده از موقعیت جغرافیایی کاروانسراهای ایران ایجاد و سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایگاه داده تصویری مورد نیاز برای آموزش الگوریتم‌های مکان‌یابی اشیاء ایجاد شده است. در گام بعد، با استفاده از پایگاه داده تصاویر ایجاد شده الگوریتم YOLOv5 برای مکان‌یابی کاروانسراها، آموزش داده شده است. در نهایت برای بررسی میزان کارایی روش پیشنهادی، عملیات مکان‌یابی کاروانسرا با ترکیب تکنیک پنجره لغزان و الگوریتم YOLOv5 انجام گرفته است.

ادامه ساختار این مقاله به شرح زیر است. بخش ۲ به معرفی انواع کاروانسرا و ویژگی هندسی آن‌ها، الگوریتم YOLOv5 مورد استفاده در این تحقیق و معیارهای دقت و پیشینه پژوهش‌های مرتبط در این حوزه اختصاص داده شده است. در بخش ۳ الگوریتم پیشنهادی، مراحل ایجاد پایگاه داده‌های مورد نیاز و آموزش الگوریتم پیشنهادی آورده شده است. در بخش ۴ مقایسه بین روش پیشنهادی با سایر ادبیات تحقیق انجام شده است و در نهایت، بخش ۵ این مقاله به تشریح نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده اختصاص داده شده است.

میراث فرهنگی به عنوان یکی از ابزارهای قدرتمند حفاظت از هویت جامعه در طول تاریخ بشر شناخته شده است. ارزش بی‌بدیل این آثار، ضرورت اقدامات مراقبتی و حفاظتی از آن‌ها را دوچندان می‌سازد. عملیات مستندنگاری، ثبت و ایجاد نقشه از سازه‌ها، ساختارها و ابنیه تاریخی و فرهنگی، به عنوان یکی از اقدامات اساسی در حفاظت از میراث فرهنگی و دانش تاریخی جامعه شناخته می‌شود. طبقه‌بندی و مکان‌یابی این ابنیه، علاوه بر کمک به مستندنگاری کاروانسراها، به شناسایی مسیرهای تاریخی کاروان‌رو و مهم در سرزمین ایران کمک کرده و این امر می‌تواند نقش به‌سزایی در مطالعات کارشناسان تاریخ معماری ایران و حفاظت‌گران و مرمت‌گران میراث فرهنگی داشته باشد. کاروانسراها مجموعه‌ای از ابنیه تاریخی درون‌شهری و برون‌شهری در فلات ایران بوده و به گواه منابع مختلف، کشور ایران در احداث کاروانسراها مبتکر و متقدم بر سایر کشورها بوده است [۱]. متأسفانه بسیاری از کاروانسراهای موجود در ایران، به علت متروک ماندن و عدم رسیدگی و مرمت مستمر، تخریب شده و یا تغییر یافته‌اند و تنها تعداد اندکی از آنها در وضعیتی مطلوبی حفاظت شده‌اند. روش‌های موجود برای شناسایی و مستندنگاری ابنیه تاریخی در کشور، روش‌های سنتی بوده که این امر باعث افزایش هزینه‌ها و خطای محاسباتی می‌شود [۲].

در سال‌های اخیر، استفاده از ابزارها و تکنولوژی‌های نوین، به انتخابی کارآمد، کم‌هزینه و با ریسک کم در مراقبت، حفاظت، مستندنگاری و مدیریت میراث فرهنگی بدل شده است [۳]. از میان تکنولوژی‌ها و فناوری‌های معاصر، ابزارهایی نظیر فتوگرامتری و تصویربرداری از راه دور، واقعیت مجازی، هوش مصنوعی و ... به عنوان بخشی از راهکارهای دیجیتال‌سازی میراث فرهنگی شناخته شده‌اند. در بین ابزارهای ذکر شده، طبقه‌بندی و شناسایی آثار به کمک پردازش تصویر و استفاده از تکنیک‌های شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق، بیشترین کاربرد را در این حوزه داشته‌اند [۴]. از جمله مزایای استفاده از یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق در حوزه حفاظت از میراث فرهنگی، امکان گسترش دسترسی کاربران به مجموعه داده‌های بزرگ به منظور طبقه‌بندی و سازمان‌دهی اطلاعات موجود، و همچنین به‌روزرسانی و بازگردانی آرشیو داده‌های تاریخی برای استفاده در عملیات حفاظت و



۲- ادبیات تحقیق

۱-۲- پیشینه پژوهش

زنجانی و مالیان در تحقیق خود به بررسی ویژگی‌های هندسی و پرتوسنجی مناسب برای استخراج کاروانسراها در تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند [۶]. آن‌ها با بررسی شکل کاروانسراهای مختلف دریافتند که اکثر کاروانسراها، مربعی و یا مستطیلی شکل بوده و دیواره‌های این بناها دارای اشکال منظمی است. علاوه بر این، برج‌هایی در چهار گوشه اکثر کاروانسراها واقع شده که می‌تواند نشانه‌ای مناسب برای تشخیص این بناهای تاریخی باشد. همچنین، اغلب کاروانسراها دارای محوری متقارن و متعادل بوده و به اتاق‌های متوالی و متعدد تفکیک شده‌اند. در این تحقیق ۱۱ ویژگی هندسی و ۳ ویژگی پرتوسنجی مناسب برای استخراج کاروانسرا از طریق سنجش از دور معرفی شده است. نتایج حاصل نشان داده است که الگوریتم‌های استخراج لبه و شکل می‌توانند به عنوان یک راهکار در تشخیص کاروانسراها در تصاویر ماهواره‌ای به کار گرفته شوند. در تحقیقی دیگر، زنجانی و مالیان با ایجاد پایگاه داده‌ای شامل ۵۰ تصویر ماهواره‌ای از کاروانسراهای ایران، به مسئله شناسایی خودکار کاروانسراهای ایرانی، با بهره‌گیری از الگوریتم تناظریابی الگویی پرداخته‌اند [۲]. آن‌ها در ابتدا با بررسی ساختار کاروانسراهای ایرانی، ویژگی‌های هندسی آن‌ها را از تصاویر موجود استخراج کرده و سپس برای یافتن کاروانسرا در یک تصویر، با استفاده از الگوریتم‌های لبه‌یابی و آستانه‌گذاری و در نهایت با روش‌های قطعه‌بندی تصویر، عملیات مکان‌یابی را انجام داده‌اند. زنجانی و مالیان در تحقیق خود متوجه شده‌اند که به علت شباهت بسیار زیاد دیواره‌های کاروانسرا با محیط اطراف و از سویی وجود سایر اطلاعات نامرتب در تصاویر ماهواره‌ای، الگوریتم طراحی شده بر اساس لبه‌یابی و آستانه‌گذاری قابلیت استفاده به عنوان ابزاری مؤثر برای استخراج کاروانسرا را ندارد. لذا در ادامه، آن‌ها با بهره‌گیری از الگوریتم تناظریابی الگویی و ساخت الگوی کاروانسراها و جستجوی آنها در تصویر، الگوریتم جدیدی معرفی کرده‌اند که قابلیت استخراج دقیق مکان کاروانسراها در ۸۴٪ تصاویر نمونه را دارد. متأسفانه محققین این مقاله، پایگاه داده خود را منتشر نساخته‌اند. همچنین آن‌ها از تصاویر بدون کاروانسرا در پایگاه داده خود استفاده نکرده‌اند و بنابراین نمی‌توان در مورد تعمیم‌پذیری و میزان خطای مثبت کاذب روش پیشنهادی آن‌ها نظری داد. بله‌ی و همکاران نیز به موضوع کاربرد هوش مصنوعی در حفاظت از میراث فرهنگی پرداخته‌اند [۳]. آن‌ها در پژوهش خود بر آن بوده‌اند تا به کمک پروژه موردی CEPROQHA، کاربرد روش‌ها و حوزه‌های مختلف یادگیری عمیق را در حفاظت از میراث فرهنگی مورد واکاوی قرار دهند. به نظر آن‌ها مجموعه رویکردهای یادگیری عمیق، قابلیت طبقه‌بندی و جهت‌دهی به داده‌های میراث فرهنگی را دارند.

کوندرلی و همکاران به تشخیص میراث گمشده در ویدیوهای تاریخی با کمک شبکه‌های عصبی پرداخته‌اند [۵]. این پژوهشگران معتقدند که یکی از روش‌های بازیابی اطلاعات میراث مفقود، رجوع به تصاویر تاریخی آرشیوها است. سلسله مراتب پژوهشی در این تحقیق بدین صورت است که پس از شناسایی میراث مفقود به کمک تکنیک یادگیری عمیق، بازسازی سه‌بعدی مجازی آن‌ها با روش فتوگرامتری انجام می‌شود. این روش بر روی دو نمونه موردی کلیسای تور سنت جکوئیس و ساختمان لس هالس و بر مبنای وضعیت معماری این دو بنا، پیش از تخریب آن‌ها، انجام شده است. مهم‌ترین مشکل پژوهش فوق، کیفیت پایین تصاویر تاریخی موجود از بناهای ذکر شده و تعداد اندک این تصاویر است که عملکرد شبکه عصبی را محدود ساخته است. یافته‌های این تحقیق نشان از اهمیت بالای نوآوری‌های موجود در زمینه مستندنگاری باده‌مان‌های تخریب‌شده داشته و شیوه‌های جدیدی را برای بازگردانی اطلاعات گذشته در اختیار قرار می‌دهد. دارما و همکاران به مقایسه بین الگوریتم‌های YOLOv5 و mask R-CNN در تشخیص نقوش حکاکی^۱ پرداخته‌اند [۷]. در این تحقیق مشخص گردید که الگوریتم YOLOv5 با رسیدن به دقت [0.95-0.5] mAP برابر با ۰/۹۸۷ و زمان آموزش کمتر، از الگوریتم mask R-CNN بهتر عمل می‌کند. لاماس و همکاران به طبقه‌بندی و دسته‌بندی سبک‌های مختلف ابنیه معماری شناخته شده به عنوان میراث فرهنگی با بهره‌گیری از تکنیک‌های یادگیری عمیق پرداخته‌اند [۸]. در این پژوهش، نویسندگان دو هدف «انتشار پایگاه داده برای دسترسی عموم» و «بررسی امکان استفاده از شبکه‌های عصبی در مستندسازی میراث معماری دارای ارزش» را دنبال کرده‌اند. پایگاه داده ایجاد شده در این پژوهش شامل اجزای میراث معماری^۲ است که برای آموزش و اعتبارسنجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اسس و همکاران در تحقیق خود به مطالعه تشخیص و طبقه‌بندی آسیب‌های رخ داده بر روی مصالح بنایی ساختمان‌های میراث فرهنگی، به کمک داده‌های تصویری پرداخته‌اند [۹]. هدف از این مطالعه، تعیین نحوه استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشینی در تخمین میزان عملیات حفاظتی لازم بر روی میراث معماری بوده است. آن‌ها در پژوهش خود چهارچوب مورد نیاز برای خودکارسازی فرایند تعیین میزان مرمت مورد نیاز را ارائه نموده و به بررسی عملکرد آن برای ارزیابی چیدمان سنگی دیوارهای بنایی پرداخته‌اند. گرونر و همکاران، به مقایسه مدل‌های مورد استفاده در یادگیری عمیق برای شناسایی اشیاء در تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند [۱۰]. آن‌ها در بررسی خود متوجه شدند که الگوریتم‌های تشخیص شیء تک-مرحله‌ای ضمن داشتن دقتی مشابه، با سرعت بسیار بالاتر از الگوریتم‌های دو یا چند مرحله‌ای، عملیات تشخیص شیء در تصاویر ماهواره‌ای را انجام می‌دهند. اما الگوریتم‌های دو یا چند مرحله‌ای برای تشخیص اشیاء کوچک، از دقت بالاتری برخوردارند. همچنین در این تحقیق به استفاده از مدل پنجره لغزان در

² Architectural Heritage Elements Dataset

¹ carving motif



کاروانسراهای چاه خوشاب و کاروانسرای دوکوهک هستند [۱۶]. شکل (۱) تصویر ماهواره‌ای و پلان نقشه این دو کاروانسرا را نشان می‌دهد. کاروانسراهای چهار ایوانی دارای حیاط مرکزی باز بوده و سابقه‌ای طولانی در تاریخ معماری ایران دارند. اغلب این کاروانسراها با طرح ثابت مربع یا مستطیل و با ایوان‌هایی در مرکز هر جبهه ساخته شده‌اند، لیکن در جزئیات شکل داخل و خارج، دروازه ورودی، برج‌ها و سایر فضاها دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند [۱۶]. نمونه این نوع کاروانسراها، کاروانسرای دیرگچین و کاروانسرای مهیار است که نقشه پلان و تصویر ماهواره‌ای آن‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است. کاروانسراهای مورد هدف در پژوهش حاضر، اغلب در دسته کاروانسراهای برون‌شهری و ایوان‌دار (دو ایوانی و چهار ایوانی) قرار دارند.



ب

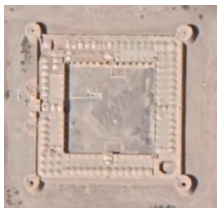
الف



د

ج

شکل (۱): (الف) کاروانسرای چاه‌خوشاب، نزدیک فردوس [۱۶]؛ (ب) تصویر ماهواره‌ای کاروانسرای چاه‌خوشاب از سرویس نقشه گوگل؛ (ج) کاروانسرای دو دهک [۱۶]؛ (د) تصویر ماهواره‌ای کاروانسرای دو دهک از سرویس نقشه گوگل



ب

الف



د

ج

شکل (۲): (الف) کاروانسرای دیرگچین، نزدیک شهری [۱۶]؛ (ب) تصویر ماهواره‌ای کاروانسرای دیرگچین از سرویس نقشه گوگل؛ (ج) کاروانسرای مهیار [۱۶]؛ (د) تصویر ماهواره‌ای کاروانسرای مهیار از سرویس نقشه گوگل

شناسایی اشیاء در تصاویر ماهواره‌ای اشاره شده است. بالانویک و همکاران عملیات شناسایی موقعیت سدهای ذخیره پسماند معادن در تصاویر ماهواره‌ای را با بهره‌گیری از تکنیک یادگیری عمیق انجام داده‌اند [۱۱]. پایگاه داده این پژوهش مجموعه‌ای متشکل از تصاویر ماهواره‌ای سه کاناله RGB است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از تکنیک یادگیری عمیق، می‌توان هزینه‌های شناسایی و موقعیت سنجی عوارض زمینی را به حداقل رساند و از این تکنیک‌ها، برای شناسایی بناهای ساخته شده توسط انسان بهره گرفت.

در زمینه استفاده از الگوریتم YOLOv5، ونگ و همکاران عملکرد الگوریتم YOLOv5 بهینه شده را در تشخیص رانش زمین در تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۲]. آن‌ها در مقاله خود ابتدا پایگاه داده‌های مورد نیاز را با استفاده از تصاویر رزولوشن بالای ماهواره‌ای ایجاد و عملیات برچسب‌زنی بر روی تصاویر را با کمک متخصصان انجام داده‌اند. سپس با افزودن تکنیک Adaptively Spatial Feature Fusion (ASFF) به الگوریتم YOLOv5 و ادغام ویژگی‌های موجود در مقیاس‌های مختلف و افزودن Convolutional Block Attention Module (CBAM) برای استخراج بهتر ویژگی‌های کم‌عمق نسبت به بهبود الگوریتم پایه اقدام نموده‌اند. روش آن‌ها ۱/۶۴٪ بهبود را نسبت به روش‌های موجود نشان می‌دهد. جیندال و همکاران به بررسی امکان استفاده از الگوریتم YOLOv5 برای تشخیص هواپیما در تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند [۱۳]. آن‌ها برای بررسی دقت الگوریتم YOLOv5 و YOLOv4، آنها را بر روی پایگاه داده CGI plane بررسی نموده و متوجه شده‌اند که دقت YOLOv4 در صورت عدم استفاده از داده‌افزایی^۱، بیشتر از YOLOv5 است. اما با انجام داده‌افزایی، YOLOv5 به دقت بالاتری رسیده، ضمن آنکه سریع‌تر نیز آموزش می‌بیند. ژان‌یینگ و همکاران از الگوریتم YOLOv5 برای تشخیص آتش در جنگل از تصاویر تهیه شده توسط پهپادها استفاده نموده‌اند [۱۴]. همچنین هو و همکاران نیز از الگوریتم YOLOv5 بهبود یافته، برای تشخیص آتش در جنگل استفاده کرده‌اند [۱۵]. هر دو این مقالات توانایی‌های الگوریتم یاد شده در تشخیص آتش را نشان می‌دهند.

۲-۲- مبانی نظری

۲-۲-۱- کاروانسرا و گونه‌های آن

کاروانسراهای ایران از نظر هندسی به پنج دسته کاروانسراهای دو ایوانی، کاروانسراهای چهار ایوانی، کاروانسراها با تالار ستون‌دار، کاروانسراهای با پلان متفرقه و کاروانسراهای چندضلعی تقسیم می‌شوند [۱]. کاروانسراهای دو ایوانی همانند مدارس و مساجد، اغلب به فرم مربع یا مستطیل ساخته شده‌اند. عموماً ایوان‌های این کاروانسراها یکی در مدخل ورودی و دیگری روبه‌روی آن قرار دارد. فضاهای دیگر نیز دور تا دور میان سرای مربع شکل مرکزی جای گرفته‌اند. نمونه این طرح‌مایه،

^۱ Data Augmentation

۲-۲-۲- شبکه عصبی عمیق YOLOv5

است که در پژوهش حاضر، به علت تعداد اندک داده‌های پایگاه داده آموزشی و همچنین نیاز به سرعت بالای محاسبات، از YOLOv5s که کوچک‌ترین و سریع‌ترین معماری خانواده YOLOv5 است استفاده شده است. ساختار YOLOv5s در شکل (۳) ترسیم شده است.

۲-۲-۳- معیارهای خطا

در مقاله حاضر، به منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی در مکان‌یابی کاروانسراها، از معیارهای صحت/فراخوانی (۱)، دقت (۲) [۲۴] و mAP^۶ (۶) استفاده شده است.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (۱)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (۲)$$

در (۱، ۲) مقدار TP برابر با تعداد نمونه‌هایی مثبتی که به درستی تشخیص داده شده‌اند، FP تعداد نمونه‌های منفی‌ای که به اشتباه مثبت تشخیص داده شده‌اند و FN تعداد نمونه‌های مثبتی که به اشتباه منفی تشخیص داده شده‌اند، هستند.

معیار mAP مقادیر کادر محدودکننده^۷ یک تصویر (با استفاده از اطلاعات ground-truth آن تصویر) را با کادرهای محدودکننده تشخیص داده شده توسط الگوریتم مقایسه کرده و یک امتیاز ایجاد می‌کند. هرچه مقدار این امتیاز بیشتر باشد بیانگر عملکرد بهتر الگوریتم است. برای محاسبه mAP ابتدا دقت میانگین (AP)^۸ برای هر یک از کلاس‌های داده‌ها محاسبه می‌شود. AP راهکاری برای خلاصه‌سازی نمودار precision-recall به یک مقدار عددی بر اساس (۳) است [۲۵].

$$AP = \sum_{k=0}^{k=n-1} [\text{Recalls}(k) - \text{Recalls}(k+1)] * \text{Percisions}(k) \quad (۳)$$

$\text{Recalls}(n) = 0, \text{Percisions}(n) = 1$
 $n : \text{Number of thresholds}$

در کاربردهای تشخیص شیء، یک مقدار آستانه برای محاسبه مثبت یا منفی بودن خروجی الگوریتم انتخاب می‌گردد و اگر معیار IoU^۹ بر اساس (۴) از این مقدار بیشتر باشد، طبق (۵) آن خروجی به عنوان نمونه مثبت و در غیر اینصورت به عنوان نمونه منفی طبقه‌بندی می‌گردد [۲۶].

$$IoU = \frac{\text{Area Of Overlap}}{\text{Area of Union}} \quad (۴)$$

$$\text{class}(IoU) = \begin{cases} \text{Positive if } IoU \geq \text{Threshold} \\ \text{Negative if } IoU < \text{Threshold} \end{cases} \quad (۵)$$

پس از محاسبه AP برای تمام کلاس‌ها، میانگین این مقادیر به همراه مقدار آستانه IoU انتخاب شده، به عنوان mAP بر اساس (۶) گزارش می‌گردد. به شکل معمول، مدل‌های تشخیص شیء با چند مقدار آستانه متفاوت ارزیابی می‌شوند. یکی از متداول‌ترین حد آستانه‌ها،

الگوریتم YOLO توسط ردمون و همکاران برای تشخیص سریع و بلادرنگ اشیاء در تصاویر پیشنهاد شده است [۱۷] و تاکنون نسخه‌های مختلفی از این الگوریتم معرفی شده است. این الگوریتم، تک‌مرحله‌ای بوده و بر خلاف بسیاری از الگوریتم‌های تشخیص شیء، مرحله پیشنهاد نواحی را طی نمی‌کند و فقط تعداد محدودی از کادر محصورکننده را پیشنهاد کرده و به همین علت، دقت تشخیص بلادرنگ^۱ مناسب و سریعی دارد [۱۸]. در مقاله حاضر، از نسخه YOLOv5 [۱۹] به‌عنوان یکی از پر کاربردترین نسخه‌های خانواده YOLO استفاده شده است. اصلی‌ترین تفاوت YOLOv5 با سایر معماری‌های خانواده YOLO، پیاده‌سازی کامل آن با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Python و کتابخانه PyTorch است. برخلاف نسخه‌های پیشین YOLO که بر مبنای کتابخانه DarkNet توسعه یافته‌اند، این تغییر، باعث سهولت در نصب، اجرا و آموزش مجدد شبکه YOLOv5 شده است. الگوریتم YOLOv5 ساختاری مشابه با سایر الگوریتم‌های خانواده YOLO داشته و از چهار بخش ورودی، neck، backbone و پیش‌بینی^۲ تشکیل می‌شود [۲۰]. ورودی الگوریتم YOLOv5 از تکنیک بهینه‌سازی داده به صورت موازی^۳ بهره می‌گیرد که باعث بهبود عملکرد آن در تشخیص اشیاء کوچک می‌شود. در هنگام آموزش شبکه YOLOv5، اندازه بهینه برای anchor frame‌ها برای هر مجموعه داده آموزشی، به صورت تطبیقی محاسبه می‌شود [۲۱]. قسمت Backbone در شبکه YOLOv5 ویژگی‌های اصلی تصویر ورودی را استخراج می‌کند. در YOLOv5 از CSPDarknet به عنوان Backbone استفاده شده که با ادغام CSPNet^۴ در معماری Darknet ایجاد شده است [۲۲]. استفاده از CSPNet در YOLOv5 باعث افزایش سرعت، در عین دست‌یابی به دقتی مشابه و حتی بیشتر نسبت به معماری Darknet53 شده است [۲۳]. معماری YOLOv5 برای ترکیب ویژگی‌های استخراج شده توسط Backbone خود، از ساختاری مشابه با PANet^۵ برای بخش Neck استفاده می‌کند. استفاده از این ساختار باعث می‌شود تا مدل آموزش دیده، بتواند اشیاء با اندازه‌های متفاوت را شناسایی کرده و در برابر تغییر اندازه مقاوم باشد [۲۱]. لایه خروجی در YOLOv5 از سه شبکه کانولوشنی تشکیل می‌شود که هر کدام عملیات یافتن شیء را به شکل مجزا انجام می‌دهند. سپس بر روی خروجی حاصل از این سه شبکه، عملیات maximum value suppression انجام گرفته تا خروجی نهایی ایجاد گردد [۲۰]. با تغییر تعداد هسته‌های کانولوشن Focus و CBL و تعداد residual modules در CSP، می‌توان به Backbone‌های با عمق و عرض مختلف برای شبکه YOLOv5 دست یافت که هر کدام داری سرعت و دقتی متفاوت هستند [۲۰]. لازم به ذکر

^۶ Mean Average Precision (mAP)

^۷ Bounding Box

^۸ Average Precision (AP)

^۹ Intersection over Union (IoU)

^۱ Real-Time

^۲ Prediction

^۳ Mosaic Data Enhancement

^۴ Cross Stage Partial Networks (CSPNet)

^۵ Path Aggregation Network (PANet)



IoU mAP@.5 بوده که به معنی متوسط AP کلاس‌های مختلف برای IoU با آستانه ۰/۵ است.

$$mAP = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=n} AP_k \quad (6)$$

$AP_k =$ the AP of class k

$n :$ the number of classes

۲-۲-۴- معرفی LabelImg

LabelImg یک ابزار رایگان و منبع باز است که برای برچسب‌زنی و حاشیه‌نگاری گرافیکی تصاویر طراحی شده است. این ابزار با استفاده از Python توسعه یافته و از Qt برای رابط گرافیکی خود استفاده می‌کند. LabelImg امکان ذخیره حاشیه‌نگاری‌ها را در هر دو فرمت XML VOC و فایل متنی YOLO به پژوهشگران می‌دهد که این امر آن را به ابزاری منعطف برای پروژه‌های مختلف تشخیص شیء تبدیل می‌کند. رایگان و منبع باز بودن، سهولت استفاده و فرمت‌های مختلف پشتیبانی شده، باعث کاربرد گسترده این ابزار در ایجاد مجموعه داده‌های با کیفیت بالا برای آموزش مدل‌های یادگیری عمیق شده است.

۳- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی پژوهش حاضر برای تشخیص کاروانسراها از روی تصاویر ماهواره‌ای با ابعاد بزرگ طراحی شده است. در این روش، ابتدا تصاویر ورودی با استفاده از تکنیک پنجره لغزان و با همپوشانی متناسب با قدرت تفکیک تصاویر و ابعاد کاروانسراها، برش زده شده و سپس به ابعاد مورد نیاز الگوریتم YOLOv5 کاهش اندازه داده می‌شوند. سپس به وسیله الگوریتم YOLOv5 و با استفاده از وزن‌های از پیش آموزش داده شده، عملیات استخراج مکان‌های کاندیدا انجام می‌شود. در گام بعد، مجدداً تصویر ورودی به مرکز مکان‌های کاندیدا برش خورده منتقل و بار دیگر عملیات مکان‌یابی کاروانسراها توسط الگوریتم YOLOv5 و حد آستانه بالاتر از مرحله قبل، انجام می‌شود. با توجه به این نکته که دو کاروانسرا نمی‌توانند همپوشانی داشته باشند، با ادغام نواحی کاندیدای کاروانسرا با همپوشانی بالا، خروجی نهایی برای بررسی افراد خبره ایجاد می‌گردد. شکل (۳) مراحل کلی روش پیشنهادی در این مقاله جهت مکان‌یابی کاروانسراها را نشان می‌دهد. در این پژوهش تمامی داده‌های مورد نیاز ایجاد شده است. مراحل آماده‌سازی پایگاه داده مورد نیاز و جزئیات گام‌های انجام گرفته برای آموزش و معیارسنجی الگوریتم پیشنهادی در شکل (۴) نمایش داده شده است.

۳-۱- ایجاد پایگاه داده موقعیت جغرافیایی کاروانسرا

به منظور ایجاد پایگاه داده تصاویر ماهواره‌ای از کاروانسراها، لازم بود ابتدا موقعیت جغرافیایی کاروانسراها استخراج شود. با توجه به آنکه سابق

بر این تحقیق، هیچ داده دیجیتال و دقیقی از مختصات جغرافیایی کاروانسراها ایجاد نشده بود، ابتدا فهرستی از کاروانسراهای شناخته شده از منابع فهرست کاروانسراهای ایران [۶]، [۲۷] و همچنین جست‌وجوی عبارت «کاروانسرا» در سرویس نقشه گوگل، ایجاد شد. سپس مختصات دقیق این کاروانسراها به صورت دستی و با کمک نقشه بینگ^۱ از سرویس‌های نقشه گوگل^۲ بدست آمد. پس از راستی آزمایی و حذف موارد تکراری، فهرست نهایی موقعیت جغرافیایی کاروانسراها، که شامل موقعیت جغرافیایی ۲۰۳ کاروانسرا می‌شود، ایجاد شد. نمونه‌ای از این داده‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

۳-۲- دانلود تصاویر ماهواره‌ای متناظر با موقعیت‌های

جغرافیایی کاروانسراها

در این گام برای ایجاد پایگاه داده تصاویر ماهواره‌ای از کاروانسراها، موقعیت‌های جغرافیایی استخراج شده در مرحله ۳-۱ به عنوان مرکز تصویر انتخاب شده و با استفاده از سرویس‌های نقشه گوگل و بینگ و به صورت نیمه خودکار، یک تصویر از هر کاروانسرا در سطح نزدیکی به زمین^۳ ۱۰۰ متر و ابعاد ۴۰۰ × ۴۰۰ متر تهیه شد. برای ایجاد تصاویر نمونه منفی، از محیط اطراف هر کاروانسرا دو تصویر و از ۲۰ مکان تاریخی ایران (مانند حافظیه شیراز، میدان آزادی تهران و ...) در همان سطح نزدیکی به زمین مرحله قبل، ۷۴۵ تصویر دانلود و در پایگاه داده ذخیره شد. تصاویر نمونه منفی به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بافتی مشابه با کاروانسراها داشته باشند تا شبکه عصبی عمیق آموزش داده شده در مراحل بعد، دارای تعمیم‌پذیری بیشتری باشد. شکل (۵) نمونه‌ای از داده‌های موجود در پایگاه داده اولیه را نشان می‌دهد.

۳-۳- ترسیم کادرهای محدود کننده

در این مرحله با استفاده از ابزار LabelImg [۲۸] اطراف هر کاروانسرا یک کادر^۴ ترسیم شد. تصاویر فاقد کاروانسرا بدون ترسیم کادر محدودکننده، به عنوان نمونه منفی در پایگاه داده تشخیص شیء قرار داده شده‌اند. شکل (۶) نمونه‌ای از تصاویر موجود در پایگاه داده به همراه کادرهای محدود کننده رسم شده برای آنها را نشان می‌دهد.

جدول (۱): نمونه داده موقعیت جغرافیایی کاروانسراهای ایران

| شماره | نام کاروانسرا | موقعیت جغرافیایی بر حسب Decimal degrees (DD) |
|-------|-------------------------|--|
| ۰۰۱ | کاروانسرای یام | ۳۸.۳۴۴۳۲۸ و ۴۵.۸۳۴۹۶۶ |
| ۰۰۲ | کاروانسرای خواجه نظر | ۳۸.۹۷۷۴۵۲ و ۴۵.۵۷۷۰۳۸ |
| ۰۰۳ | کاروانسرای جمال آباد | ۲۷.۲۷۱۹۲۳ و ۸۴۳۰۷۵.۴۷ |
| ۰۰۴ | کاروانسرای رباط شرق | ۲۶۶۴۹۰.۳۶ و ۶۵۵۲۵۳.۶۰ |
| ... | ... | ... |
| ۲۰۳ | کاروانسرای رباط ده چاهک | ۳۳.۲۸۱۲۵۴ و ۹۱۰۱۱۱.۵۸ |

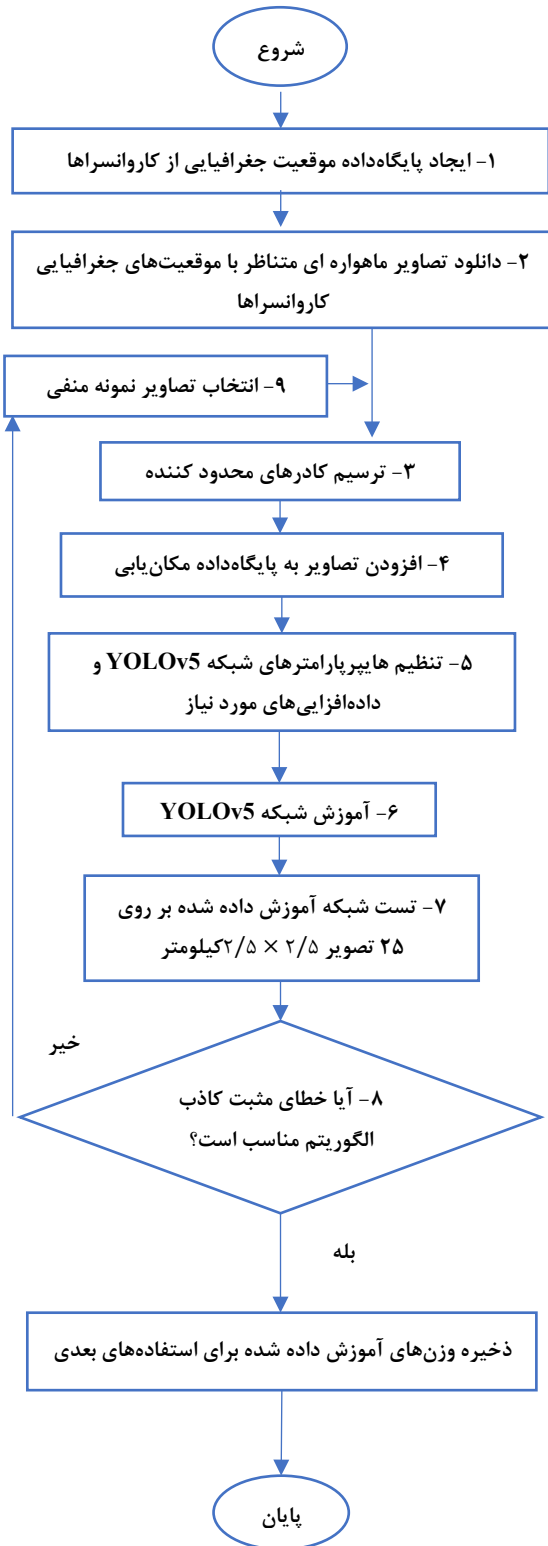
³ Zoom

⁴ Bonding box

¹ <https://www.bing.com/maps>

² <https://www.google.com/maps>





شکل (۴): فلوجارت مراحل ایجاد پایگاه داده و آموزش شبکه عصبی YOLOv5

هایپرپارامترهای تنظیم شده برای آموزش الگوریتم YOLOv5 در جدول (۲) و داده‌افزایی‌های انجام شده هنگام آموزش شبکه در جدول (۳) آمده است. نمونه‌ای از داده‌افزایی‌های انجام شده بر روی تصاویر پایگاه‌داده در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۳): مراحل کلی روش پیشنهادی

۳-۴- افزودن تصاویر به پایگاه‌داده مکان‌یابی

با توجه به اینکه برای برخی از کاروانسراها دو تصویر (یکی از سرویس نقشه گوگل و دیگری از سرویس نقشه بینگ) در پایگاه داده وجود دارد، جهت جلوگیری از بروز خطای Group Leakage، زوج تصویر کاروانسرا تنها در یکی از دو گروه تصاویر اعتبارسنجی یا آموزش قرار داده شده‌اند.

۳-۵- تنظیم هایپرپارامترهای شبکه YOLOv5 و

داده‌افزایی‌های مورد نیاز

به منظور افزایش تعداد تصاویر جهت آموزش بهتر شبکه عمیق مورد استفاده، از فرایند داده‌افزایی در این پژوهش استفاده شده است. مقدار انتخاب شده برای پارامترهایی مانند چرخش تصادفی، جابه‌جایی تصویر، تغییر ابعاد و ... به گونه‌ای انتخاب شده‌اند تا بیشترین نزدیکی را با شرایط دنیای واقعی داشته باشند.



جدول (۲): هایپر پارامترهای آموزش

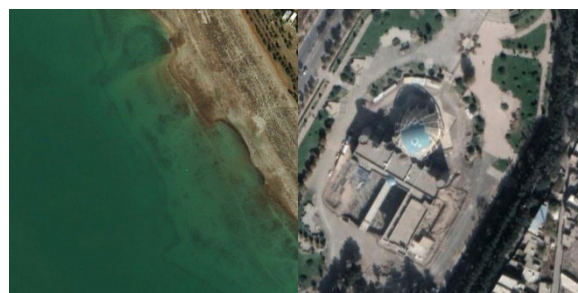
| مقدار | پارامتر |
|----------------------|--|
| lr0: 0.001 | مقدار اولیه نرخ یادگیری |
| lrf: 0.2 | OneCycleLR مقدار نهایی پارامتر (lr0 * lrf) |
| momentum: 0.937 | SGD momentum/Adam بتا ۱ |
| weight_decay: 0.05 | کاهش وزن بهینه ساز |
| warmup_epochs: 3.0 | دوره‌های گرم کردن |
| warmup_momentum: 0.8 | جنبش اولیه گرم کردن |
| warmup_bias_lr: 0.1 | lr با یاس اولیه گرم کردن |
| box: 0.05 | box loss gain |
| cls: 0.5 | cls loss gain |
| cls_pw: 1.0 | وزن‌های مثبت BCELoss |
| obj: 1.0 | obj loss gain (متناسب با پیکسل‌ها) |
| obj_pw: 1.0 | وزن‌های مثبت BCELoss |
| iou_t: 0.20 | IoU حد آستانه آموزش |
| anchor_t: 4.0 | حد آستانه لنگرهای چندگانه |
| anchors: 3 | لنگرها در هر لایه خروجی |
| fl_gamma: 0.0 | focal loss گاما |

جدول (۳): هایپر پارامترهای داده‌افزایی

| مقدار | پارامتر |
|------------------|-----------------------------|
| hsv_h: 0.015 | داده افزایی HSV-Hue تصویر |
| hsv_s: 0.7 | اشباع داده افزایی HSV-تصویر |
| hsv_v: 0.4 | داده افزایی HSV-Value تصویر |
| degrees: 15.0 | چرخش تصویر (+- درجه) |
| translate: 0.35 | انتقال تصویر |
| scale: 0.3 | ابعاد تصویر |
| shear: 0.001 | برش تصویر |
| perspective: 0.0 | چشم انداز تصویر |
| flipud: 0.5 | وارونگی تصویر بالا-پایین |
| fliplr: 0.5 | وارونگی تصویر چپ-راست |
| mosaic: 0.0 | موزاییک تصویر |
| mixup: 0.0 | ترکیب تصویر |
| copy_paste: 0.0 | رونوشت و الصاق بخش‌ها |

۳-۶- آموزش شبکه YOLOv5

برای آموزش شبکه YOLOv5 از کدهای Python منتشر شده توسط توسعه‌دهندگان اصلی^۱ این شبکه استفاده شده است. کارت گرافیک مورد استفاده برای آموزش شبکه از نوع Tesla K80 با ۱۲ گیگابایت رم بوده و از محیط Google Colab^۲ برای آموزش الگوریتم YOLOv5 استفاده شده است.



شکل (۵): نمونه تصاویر موجود در پایگاه داده اولیه



شکل (۶): نمونه تصاویر پایگاه داده تشخیص شیء



شکل (۷): نمونه‌ای از تغییرات ایجاد شده بر روی تصاویر کاروانسرا در هنگام انجام تکنیک داده‌افزایی

² <https://colab.research.google.com/>

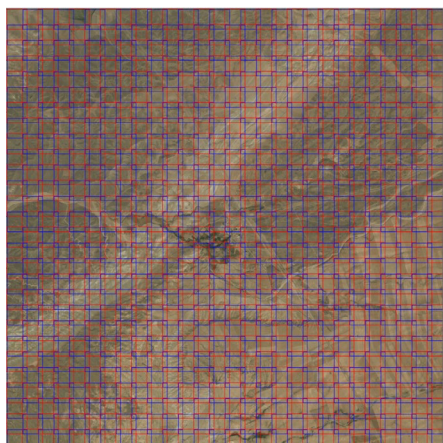
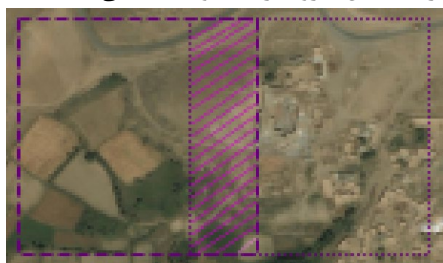
¹ <https://github.com/ultralytics/yolov5>



سطح اطمینان مرحله انتخاب شده است. نتایج اعمال سطوح اطمینان مختلف در گام دوم تشخیص کاروانسراها، در جدول (۵) درج شده است.

۳-۸- بررسی خطای مثبت کاذب الگوریتم

با اجرای گام‌های شرح داده شده در مرحله قبل، کاروانسراهای کاندیدا از تصاویر نمونه استخراج می‌شوند. به علت تعداد کم داده‌های آموزشی و شباهت سایر بناها با ساختار کاروانسرا، خطای مثبت کاذب الگوریتم آموزش داده شده، زیاد است. به منظور کاهش این خطا، مکان‌هایی که در این گام به اشتباه کاروانسرا تشخیص داده شده‌اند، به عنوان تصاویر نمونه منفی، به پایگاه‌داده افزوده شده و آموزش شبکه عصبی مجدداً تکرار می‌گردد. مرحله افزودن تصاویر نمونه منفی به پایگاه‌داده و آموزش مجدد الگوریتم YOLOV5 تا زمانی که افزودن تصاویر جدید باعث کاهش معیار تشخیص کاروانسراها نشود، ادامه می‌یابد.



شکل (۸): نمونه‌ای تصاویر دانلود شده در مرحله ۷ و نحوه برش خوردن آن (کادرهای سبز و قرمز نواحی برش خوردن را نمایش می‌دهد)



شکل (۹): حساسیت شبکه آموزش داده شده به محل قرارگیری کاروانسرا در تصویر

۳-۷- تست شبکه آموزش داده شده بر روی ۲۵

تصویر $2/5 \times 2/5$ کیلومتر

پس از ایجاد پایگاه داده و آموزش شبکه عصبی YOLOV5 بر روی آن، جهت کاهش خطای مثبت کاذب الگوریتم پیشنهادی، وزن‌های آموزش داده شده بر روی تصاویر دنیای واقعی بررسی شده و خطاهای شبکه به عنوان تصاویر جدید به پایگاه‌داده افزوده می‌شود و آموزش YOLOV5 مجدداً تکرار می‌گردد و در نهایت بهترین وزن‌های شبکه YOLOV5 برای استفاده‌های بعدی ذخیره می‌گردد. بدین منظور، موقعیت جغرافیایی ۲۵ کاروانسرا از پایگاه داده موقعیت‌های جغرافیایی، به صورت تصادفی انتخاب و تصاویر با ابعاد $2/5 \times 2/5$ کیلومتری با مرکزیت آن‌ها دانلود شدند. سپس این تصاویر با استفاده از تکنیک پنجره لغزان در ابعاد 800×800 پیکسل با همپوشانی ۲۰۰ پیکسل برش داده شدند (شکل (۸)). در این بخش ابعاد هر تصویر به 526×526 پیکسل کاهش داده شدند. پس از کاهش ابعاد تصاویر برش خورده و با استفاده از وزن‌های آموزش داده شده در مرحله ۶، الگوریتم YOLOV5 بر روی این تصاویر جدید اجرا شد.

با وجود استفاده از داده‌افزایی جابه‌جایی تصاویر، الگوریتم YOLOV5 به محل کاروانسرا در تصویر باز هم حساس بود (شکل (۹)). لذا برای افزایش دقت نهایی، الگوریتم پیشنهادی در دو مرحله، عملیات تشخیص کاروانسراها را انجام می‌دهد. ابتدا با آستانه اطمینان^۱ برابر با ۰/۲۵، کاروانسراهای کاندیدا استخراج می‌شوند. سپس محل کاندیدهای نمونه به عنوان مرکز یک تصویر جدید انتخاب شده و پس از انجام عملیات حذف تصاویر با همپوشانی بالا، پیش‌بینی نهایی الگوریتم YOLOV5 بر روی این تصاویر با آستانه اطمینان برابر با ۰/۵ اجرا می‌شود. مقادیر آستانه اطمینان ۰/۲۵ و ۰/۵ استفاده شده با آزمون و خطا به دست آمده‌اند. برای رسیدن به این مقادیر، به صورت تصادفی ۱۰ کاروانسرا از پایگاه‌داده انتخاب شده و مرحله استخراج کاروانسراهای کاندیدا با confidence thresholdهای مختلف بر روی این ۱۰ تصویر انجام شده است. با اجرای تکنیک پنجره لغزان در ابعاد 800×800 پیکسل با همپوشانی ۲۰۰ پیکسل بر روی ۱۰ تصویر $5/2 \times 5/2$ کیلومتری انتخاب شده، به ازای هر تصویر ۱۱۵۶ تصویر جدید ایجاد می‌شود. با توجه به همپوشانی ۲۰۰ پیکسلی و ابعاد کاروانسراها، ممکن است هر کاروانسرا در حداکثر ۴ تصویر قرار گرفته باشد. همچنین در بسیاری از تصاویر هیچ کاروانسرای وجود نخواهد داشت. نتیجه حاصل از اجرای الگوریتم یافتن کاروانسرا با حد آستانه‌های مختلف مرحله اول در جدول ۴ آورده شده است. لازم به ذکر است که منظور از تشخیص صحیح در جدول ۴، تشخیص کاروانسرای منحصر به فرد است که حداکثر می‌تواند برابر با تعداد ۱۰ کاروانسرا باشد. بر اساس نتایج جدول (۴)، حد آستانه ۰/۲۵ که در آن تمامی کاروانسراها تشخیص داده می‌شوند به عنوان

^۱ Confidence Threshold



جدول (۴): کاروانسراهای کاندیدای استخراج شده به ازای مقادیر مختلف سطح اطمینان

| آستانه اطمینان | تشخیص صحیح | تشخیص اشتباه |
|----------------|------------|--------------|
| ۰.۷۵ | ۲ | ۳۹۸ |
| ۰.۶۵ | ۳ | ۱۲۵۳ |
| ۰.۵۵ | ۳ | ۱۸۹۵ |
| ۰.۴۵ | ۷ | ۳۴۵۹ |
| ۰.۳۵ | ۸ | ۳۹۸۱ |
| ۰.۲۵ | ۱۰ | ۴۹۸۰ |
| ۰.۱۵ | ۱۰ | ۵۳۴۹ |
| ۰.۰۵ | ۱۰ | ۷۵۹۸ |

جدول (۵): کاروانسراها به ازای مقادیر مختلف سطح اطمینان

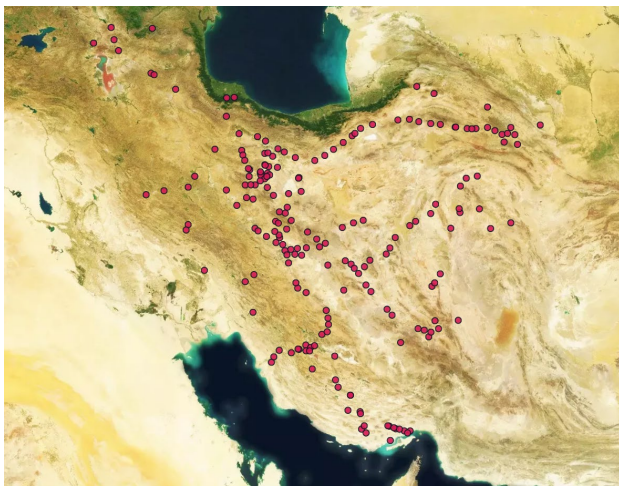
| سطح اطمینان | تشخیص صحیح | تشخیص اشتباه |
|-------------|------------|--------------|
| ۰.۷۵ | ۱۰ | ۲۳۱۰ |
| ۰.۵۰ | ۱۰ | ۱۱۰۶ |
| ۰.۲۵ | ۹ | ۸۷۹ |

۳-۹- انتخاب تصاویر نمونه منفی

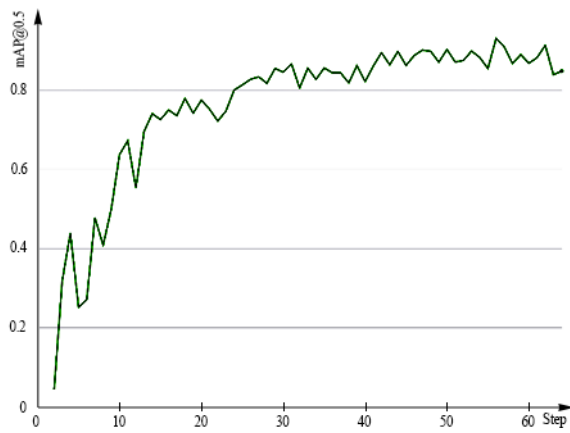
برخی از تصاویر نمونه منفی حاصل از گام ۸ در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که تصاویر افزوده شده به پایگاه داده، فاقد کادرهای محدودکننده در تصاویر شکل (۱۰) هستند.

۴- بررسی نتایج

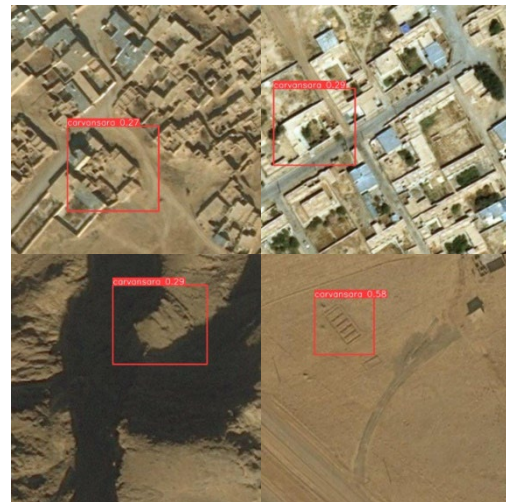
به منظور استفاده بهینه از پایگاه داده موقعیت‌های جغرافیایی ایجاد شده در این مقاله، یک نقشه تعاملی^۱ با استفاده از کتابخانه keplergl ایجاد شده است (شکل (۱۱)). این نقشه در آدرس carvansarai.ai در دسترس است. نمودار تغییرات $mAP@0.5$ در گام‌های مختلف آموزش معماری YOLOv5 در شکل (۱۲) نشان داده شده است. بر اساس شکل (۱۲)، بهترین دقت این معماری در یافتن کاروانسراها، $mAP_{0.5} = 91/43\%$ است که در گام ۵۸ آموزش به دست آمده است. مقادیر recall و precision (شکل‌های (۱۳)، (۱۴)) الگوریتم YOLOv5 به ترتیب برابر 0.9629 و 0.8387 بوده که بیانگر توانایی بالای مدل آموزش داده شده در تشخیص کاروانسراها است.



شکل (۱۱): نقشه پراکندگی موقعیت جغرافیایی کاروانسراهای ایران



شکل (۱۲): نمودار تغییرات $mAP@0.5$



شکل (۱۰): برخی از تصاویر نمونه منفی حاصل از گام ۸

^۱ interactive



شکل (۱۵): خروجی الگوریتم YOLOv5 بر روی تصاویر راستی آزمایی



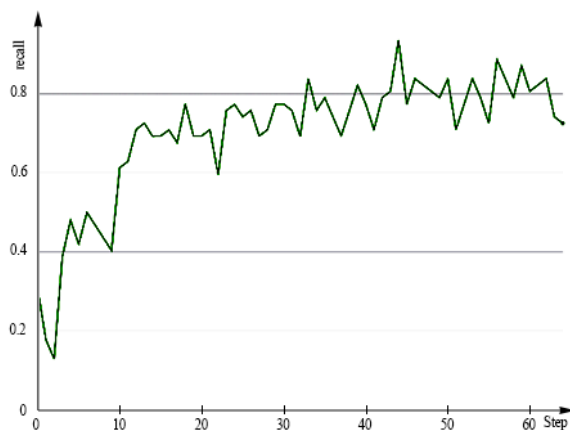
شکل (۱۶): کاروانسرای جدید یافته شده توسط الگوریتم پیشنهادی



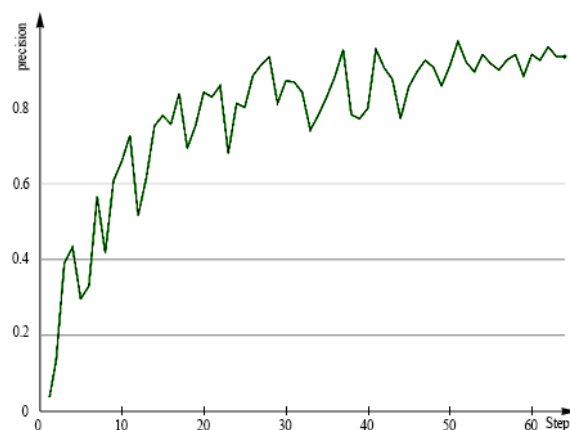
شکل (۱۷): سه مکان تاریخی یافته شده توسط الگوریتم پیشنهادی که کاروانسرا بودن یا نبودن آن‌ها را نمی‌توان از روی تصاویر ماهواره‌ای به شکل قطعی مشخص نمود.

۵ - مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با ادبیات تحقیق

الگوریتم تناظریابی الگویی با عملیات لبه‌یابی سوبل با هسته دو مربعی معرفی شده توسط زنجانی و مالیان [۲] تنها پژوهشی است که سابق بر این بر روی استخراج خودکار کاروانسراها بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. دقت روش زنجانی و مالیان بر روی تنها ۵۰ کاروانسرا بررسی شده است در حالی که در پایگاه داده مقاله حاضر، ۲۰۹ کاروانسرا وجود



شکل (۱۳): نمودار تغییرات recall



شکل (۱۴): نمودار تغییرات precision

نمونه‌ای از خروجی الگوریتم YOLOv5 بر روی تصاویر راستی آزمایی پایگاه‌داده، در شکل (۱۵) نشان داده شده است. با اجرای شبکه بر روی ۲۵ تصویر $2/5 \times 2/5$ کیلومتری دانلود شده، مشخص گردید که الگوریتم هر ۲۵ کاروانسرای مورد بحث را به درستی تشخیص می‌دهد، اما تعداد تشخیص‌های اشتباه بیشتر از حداکثر میزان مورد نظر است (برای نمونه بر روی یک تصویر $2/5$ در $2/5$ کیلومتری، ۸۵۰ تصویر به عنوان کاروانسرای کاندید استخراج می‌گردید). جهت کاهش خطای مثبت کاذب، تصاویر تشخیص اشتباه، به عنوان نمونه منفی به پایگاه‌داده افزوده شد و آموزش شبکه YOLOv5 مجدداً تکرار گردید. با چندین مرتبه انجام مراحل آموزش شبکه YOLOv5 و افزودن تصاویر نمونه منفی به پایگاه‌داده، میزان خطای مثبت کاذب الگوریتم از ۸۵۰ تصویر به ۱۰۱ تصویر کاندید کاهش یافت. در بررسی‌های انجام شده مشخص شد که الگوریتم پیشنهادی این مقاله، موفق به تشخیص یک کاروانسرای جدید در این تصاویر شده است که این کاروانسرا در منابع موجود [۶، ۲۷]، معرفی نشده است (شکل ۱۶). همچنین الگوریتم پیشنهادی، ۳ مکان جدید را یافته که شباهت زیادی به ساختار کاروانسرا دارند (شکل ۱۷)، اما این مورد را از روی تصاویر ماهواره‌ای نمی‌توان به طور قطعی بیان کرد و این مسئله نیاز به بررسی میدانی جهت نتیجه‌گیری نهایی دارد.



مراجع:

- [۱] کیانی، م. ی. معماری ایران: دوران اسلامی. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت)، ۱۳۷۹.
- [۲] زنجانی، ف. مالیان، ع. "استخراج خودکار کاروانسراهای ایرانی از تصاویر ماهواره ای با بهره گیری از الگوریتم تناظرابی الگویی". سیزدهمین سمپوزیوم بین المللی پیشرفت های علوم و تکنولوژی. سرزمین پایدار، معماری و شهرسازی، ۱۳۹۷.
- [3] Belhi, Abdelhak, et al. "Deep learning and cultural heritage: the CEPROQHA project case study." *2019 13th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA)*. IEEE, 2019.
- [4] Kersten, T. P., and M. Lindstaedt. "Potential of automatic 3D object reconstruction from multiple images for applications in architecture, cultural heritage and archaeology." *International Journal of Heritage in the Digital Era* 1.3 (2012): 399-420.
- [5] Condorelli, Francesca, et al. "A neural networks approach to detecting lost heritage in historical video." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9.5 (2020): 297.
- [۶] زنجانی، ف. مالیان، ع. "ملاحظات هندسی و پرتوسنجی برای آشکارسازی و مستندنگاری کاروانسراها"، نخستین همایش ملی مستندنگاری میراث طبیعی و فرهنگی، ۱۳۹۶.
- [7] Darma, I. Wayan Agus Surya, Nanik Suciati, and Daniel Siahaan. "A performance comparison of balinese carving motif detection and recognition using YOLOv5 and mask R-CNN." *2021 5th International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS)*. IEEE, 2021.
- [8] Llamas, Jose, et al. "Classification of architectural heritage images using deep learning techniques." *Applied Sciences* 7.10 (2017): 992.
- [9] Oses, Noelia, Fadi Dornaika, and Abdelmalik Moujahid. "Image-based delineation and classification of built heritage masonry." *Remote Sensing* 6.3 (2014): 1863-1889.
- [10] Groener, Austen, Gary Chern, and Mark Pritt. "A comparison of deep learning object detection models for satellite imagery." *2019 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)*. IEEE, 2019.
- [11] Balaniuk, R., O. Isupova, and S. Reece. "Mining and tailings dam detection in satellite imagery using deep learning." *arXiv 2020. arXiv preprint arXiv:2007.01076*.
- [12] Wang, Tao, et al. "Landslide detection based on improved YOLOv5 and satellite images." *2021 4th International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (PRAI)*. IEEE, 2021.
- [13] Jindal, Manik, et al. "Aircraft Detection from Remote Sensing Images using YOLOV5 Architecture." *2022 6th International Conference on Devices, Circuits and Systems (ICDCS)*. IEEE, 2022.
- [14] Zhanying, Zhang, and Chen Xinyuan. "Research on Forest Fire Detection Algorithm Based on Yolov5." *2021 International Conference on Intelligent Computing, Automation and Systems (ICICAS)*. IEEE, 2021.
- [15] Hu, Mingdi, Yaqian Ren, and Haoxin Chai. "Forest Fire Detection Based on Improved YOLOv5." *Proceedings of the 2021 4th International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition*. 2021.
- [۱۶] کیانی، م. کلایس، و. فهرست کاروانسراهای ایران، جلد اول، سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۶۳.

دارد. همچنین مراحل استخراج ویژگی‌ها در روش زنجانی و مالیان به صورت دستی برای کاروانسراهای مربعی شکل مورد مطالعه انجام شده است که باعث می‌شود روش ارائه شده توسط این محققین برای تشخیص کاروانسراهای چندضلعی و یا با پلان متفرقه، قابل استفاده نباشد. در صورتی که در روش پیشنهادی فرایند استخراج ویژگی‌ها به صورت خودکار و توسط الگوریتم یادگیری عمیق انجام شده و نیازی به تغییر در فرایند پیشنهادی برای تشخیص سایر کاروانسرا نیست. اما شاید بتوان مهم‌ترین ضعف روش زنجانی و مالیان را در عدم بررسی دقت الگوریتم ارائه شده بر روی تصاویر سایر بناها و مکان‌ها دانست، زیرا با توجه به ساختار بسیار مشابه کاروانسرا با برخی از مدارس، مساجد و ابنیه دیگر، و نوع ویژگی‌های انتخاب شده در آن مقاله، می‌توان توقع داشت که حساسیت^۱ روش ارائه شده توسط زنجانی و مالیان کم بوده و در عمل، امکان استفاده از آن روش در دنیای واقعی وجود نداشته باشد. در صورتی که در روش پیشنهادی این مقاله، با افزودن تصاویر نمونه منفی حاصل از اجرای روش بر روی ناحیه‌ای حدود ۱۵۶ کیلومتر مربعی و آموزش چندین باره الگوریتم YOLOv5 می‌توان از عملکرد روش پیشنهادی در دنیای واقعی مطمئن بود. لازم به ذکر است که به دلیل در دسترس نبودن داده‌های مقاله زنجانی و مالیان، مقایسه مستقیم دقت روش پیشنهادی زنجانی و مالیان و الگوریتم پیشنهادی این مقاله امکان پذیر نمی‌باشد.

۶ - نتیجه گیری

دقت $0.5_{\text{map}}/91/43\%$ به دست آمده توسط الگوریتم YOLOv5 در مکان‌یابی کاروانسراها با توجه به محدود بودن تعداد داده‌های در دسترس و یافتن یک کاروانسرای جدید توسط الگوریتم پیشنهادی در مساحت ۱۵۶ کیلومتر مربعی بررسی شده در این تحقیق، بسیار امیدوار کننده است. همچنین پس‌پردازش‌های انجام شده بر روی نتایج هنگام استفاده از تکنیک پنجره لغزان، که باعث کاهش خطای مثبت کاذب الگوریتم پیشنهادی شده است، باعث گردیده تا بتوان از روش پیشنهادی این مقاله به صورتی عملی و در دنیای واقعی استفاده نمود. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده بیانگر آن است که تکنیک‌های پردازش تصویر مبتنی بر یادگیری عمیق، می‌توانند برای حل مسائل مرتبط به میراث فرهنگی استفاده شوند. لازم به ذکر است که پایگاه‌داده موقعیت‌های جغرافیایی و پایگاه‌داده تصاویر ماهواره‌ای کاروانسراهای که در این تحقیق ایجاد شده‌اند به شکل منبع باز در آدرس

<https://caravanserai.ai-hue.ir>

<https://caravanserai.ai-hue.ir/map.htm>

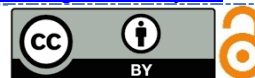
برای دانلود در دسترس محققین قرار گرفته‌اند.

¹ Sensitivity

- [17] Redmon, Joseph, et al. "You only look once: Unified, real-time object detection." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2016.
- [18] Mohamed, Hussam El-Din, et al. "Msr-yolo: Method to enhance fish detection and tracking in fish farms." *Procedia Computer Science* 170 (2020): 539-546.
- [19] Jocher, Glenn, et al. *YOLOv5*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5563715> (2021)
- [20] Zhou, Junchi, et al. "Ship target detection algorithm based on improved YOLOv5." *Journal of Marine Science and Engineering* 9.8 (2021): 908.
- [21] Yao, Jia, et al. "A real-time detection algorithm for Kiwifruit defects based on YOLOv5." *Electronics* 10.14 (2021): 1711.
- [22] Fang, Yiming, et al. "Accurate and automated detection of surface knots on sawn timbers using YOLO-V5 model." *BioResources* 16.3 (2021): 5390.
- [23] Wang, Chien-Yao, et al. "CSPNet: A new backbone that can enhance learning capability of CNN." *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition workshops*. 2020.
- [24] Powers, David MW. "Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation." *arXiv preprint arXiv:2010.16061* (2020).
- [25] Chen, Sheng, Bernard Mulgrew, and Peter M. Grant. "A clustering technique for digital communications channel equalization using radial basis function networks." *IEEE Transactions on neural networks* 4.4 (1993): 570-590.
- [26] Rezatofighi, Hamid, et al. "Generalized intersection over union: A metric and a loss for bounding box regression." *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. 2019.
- [۲۷] کیانی، م، کلایس، و. و. فهرست کاروانسراهای ایران، جلد دوم، سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۸۶.
- [28] LabelIm. Open Annotation Tool. <http://labelme.csail.mit.edu/Release3.0>. Last accessed 24 July 2021

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>





بهبود سیستم‌های توصیه گر وب با استفاده از مهندسی ویژگی برای

پیش بینی لینک‌های بعدی کاربران

وحید صفاری^۱، کرم الله باقری فرد^{۲*}، حمید پروین^۳، صمد نجاتیان^۴، وحیده رضایی^۵

۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

Vahid.Saffari@iau.ac.ir

۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

ka.bagherifard@iau.ac.ir

۳- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد نورآباد ممسنی، دانشگاه آزاد اسلامی، نورآباد، ایران

parvinhamid@gmail.com

۴- گروه مهندسی برق، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

Sa.Nejatian@iau.ac.ir

۵- گروه ریاضی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران

vahidehrezaie80@gmail.com

چکیده: در دوران رشد چشم‌گیر محتوای آنلاین، درک رفتار کاربر و ارائه پیشنهادات دقیق محتوا، چالش اساسی است. با توجه به محدود بودن ویژگی‌های موجود در لاگ سرور، روش‌های قبلی صرفاً با توجه به این ویژگی‌ها اقدام به طراحی سیستم توصیه‌گر نموده‌اند؛ ولی لازم است با استفاده از ویژگی‌ها و روش‌های جدید، دقت مدل افزایش یابد. این مقاله رویکرد جامعی را برای افزایش دقت پیشنهاد صفحات وب ارائه می‌دهد؛ به صورتی که با استخراج ویژگی "مدت ارتباط کاربر با صفحه"، خوشه‌بندی کاربران انجام گرفته و در نهایت برای هر کدام از کاربران یک پروفایل با استفاده از دنباله کاوی ایجاد می‌گردد. این ویژگی جدید توانسته به طور قابل توجهی در بهبود پروفایل‌های کاربر موثر باشد و پیش‌بینی بازدید بعدی کاربر را تسهیل کند. ارزیابی این مدل، نشان می‌دهد که اضافه کردن این ویژگی باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در دقت پیش‌بینی می‌شود. همچنین، تحلیلی از خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم‌های k-means و k-medoids نشان می‌دهد که روش دوم تنوع بیشتری در دسته‌بندی نمونه‌ها داشته و برتری آن را در این زمینه نشان می‌دهد. در نهایت، این مقاله به توسعه یک سیستم پیشنهاد وب جهت پیش‌بینی مقصد وب بعدی کاربر، منجر شد.

واژه های کلیدی: وب کاوی، مهندسی ویژگی، مدل‌سازی رفتار کاربر، پیش‌بینی صفحه بعدی

Improving Web Recommender Systems Using Feature Engineering to Predict Users' Next Links

Vahid Saffari¹, KaramAllah Bagherifard^{2*}, Hamid Parvin³, Samad Nejatian⁴, Vahideh Rezaie⁵

¹ Department of Computer Engineering, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

Vahid.Saffari@iau.ac.ir

² Department of Computer Engineering, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

ka.bagherifard@iau.ac.ir

³ Department of Computer Engineering, Nurabad Branch, Islamic Azad University, Nurabad, Iran

parvinhamid@gmail.com

⁴ Department of Electrical Engineering, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

Sa.Nejatian@iau.ac.ir

⁵ Department of Mathematics, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran

vahidehrezaie80@gmail.com

Abstract:

In the era of exponential growth in online content, understanding user behavior and providing accurate content recommendations pose fundamental challenges. Due to the limited features available in server logs, previous methods solely designed recommendation systems based on these features. However, there is a need to enhance model accuracy through new features and approaches. This article introduces a comprehensive approach to improving the precision of web page recommendations. By extracting the feature "user's duration of interaction with a page," user clustering is performed, resulting in the creation of profiles for each user using Mining Sequence. This new feature significantly contributes to enhancing user profiles, facilitating the prediction of a user's next web page visit. Evaluation of this model demonstrates a noticeable increase in prediction accuracy with the addition of this feature. Furthermore, clustering analysis using k-means and k-medoids algorithms indicates that the latter provides greater diversity in sample categorization, showcasing the superiority of using k-medoids in this domain. Ultimately, this article contributes to the development of a web recommendation system capable of predicting the next web destination for users.

Keywords: Web mining, Future Engineering, User Behavior Modeling, Next Web Page Prediction

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله:

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۳

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

مستمر با مسیر پیمایش‌های آنلاین آن‌ها نیز هماهنگی داشته باشند [۳]. از آنجایی که اکثر کارهای مشابه، روش‌های پیشنهادی خود را با استفاده از ویژگی‌های موجود در فایل لاگ‌سرور ارائه داده‌اند این تحقیق در نظر دارد با استخراج ویژگی جدید، نشان دهد که در مقایسه با روش‌های موجود، دقت مدل سیستم توصیه‌گر بهبود پیدا می‌کند. این تحقیق اهداف متعددی در حوزه سیستم‌های توصیه‌گر وب دارد. در ابتدا، به‌طور دقیق اثربخشی تکنیک‌های مهندسی ویژگی در سیستم‌های توصیه‌گر وب بررسی می‌گردد. سپس از طریق تحلیل دقیق، پتانسیل این تکنیک‌ها برای بهبود کیفیت توصیه‌گر و بهبود انتظارات کاربر بررسی می‌شود. جنبه دوم تحقیق بر تأثیر مهندسی ویژگی بر پیش‌بینی لینک بعدی و دقت آن تمرکز دارد. در این مقاله به بررسی اهداف کلیدی تحقیق که شامل استخراج ویژگی، روش‌های نوآورانه و پتانسیل تحولی آن‌ها می‌شود، پرداخته شده است.

روش‌شناسی تحقیق، با فرآیندهای جمع‌آوری داده‌های دقیق و گوناگون شروع می‌شود. سپس تکنیک‌های مهندسی ویژگی توصیف می‌شود که نقش ویژگی‌های مهندسی در بهبود دقت پیش‌بینی لینک بعدی را برجسته می‌کند. انتخاب مدل و معیارهای ارزیابی مورد بحث قرار می‌گیرد تا رویکرد تحقیق را روشن کند. فلوجارت کلی تحقیق در شکل (۱) نشان داده شده است. ساختار این مقاله شامل بررسی ادبیات و کارهای پیشین، توضیحات دقیق از روش پیشنهادی، آزمایشات و نتایج، بحث درباره یافته‌ها و جهت‌های تحقیقات آینده است.

۲- پیشینه تحقیق

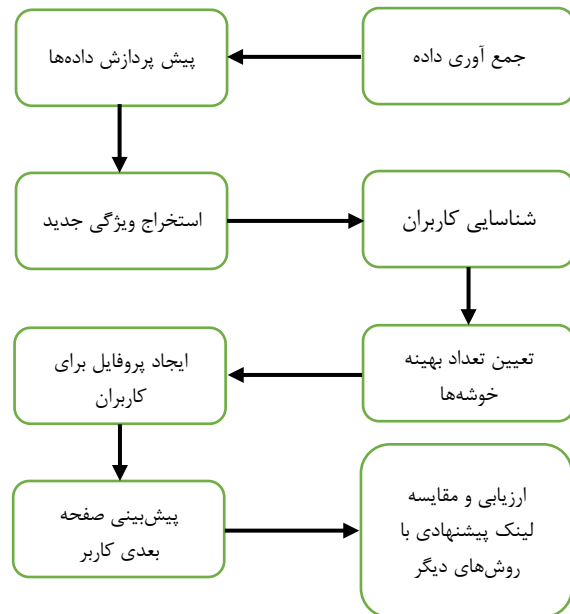
با توجه به تمرکز روزافزون جامعه توسعه‌دهندگان بر بهبود تجربه کاربری (UX⁴) به دلیل دیجیتالی شدن، این تحقیق یک سیستم توصیه‌گر وب نوآورانه را معرفی می‌کند که از داده‌های دنباله‌ی مرور وب کاربر استفاده می‌کند. با استفاده از خوشه‌بندی Fuzzy C-Means (FCM)، سیستم خوشه‌های بهتر N-tuples و کاربران مشابه

۱- مقدمه

وب‌کاوی، فرایند خودکار استخراج اطلاعات از اینترنت با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی است؛ که به سه دسته اصلی تقسیم می‌شود: وب‌کاوی ساختاروب (WSM¹)، وب‌کاوی محتواوب (WCM²) و وب‌کاوی استفاده از وب (WUM³). وب‌کاوی محتوای وب، استخراج نکات ارزشمند از انواع مختلف محتوای صفحات وب شامل متن، تصاویر، ویدیوها و صداها است. وب‌کاوی ساختار وب بر روی کشف اطلاعات مفید از پیوندهای صفحات وب تمرکز دارد و همچنین تجزیه و تحلیل پیوندهای خروجی و ورودی را بررسی می‌کند که اغلب برای رتبه‌بندی صفحات وب استفاده می‌شود. وب‌کاوی استفاده از وب فعالیت و ورودی‌های جستجو را برای شناسایی الگوها و رفتارهای مشترک کاربران مورد بررسی قرار می‌دهد و کاربردهای آن شامل توسعه پروفایل کاربر است [۱].

در سیستم‌های توصیه‌گر وب در دوران دیجیتالی، ارائه توصیه‌های شخصی‌سازی شده از اهمیت بسزایی برخوردارند. آن‌ها به کاربران کمک می‌کنند تا در حضور گسترده‌ی اطلاعات آنلاین، گام‌های بعدی خود را بردارند. پیش‌بینی لینک یا توصیه‌گر بعدی در توصیه‌های وب یک چالش مهم است [۲]. در میان اصولی که در این تحقیق به آن توجه شده، نقش حیاتی مهندسی ویژگی در بهینه‌سازی سیستم‌های پیشنهادی وب قرار دارد. مهندسی ویژگی به عنوان یک ابزار اساسی، عملکرد را بهبود بخشیده و امکان ساخت نمایش‌های دقیق و مفیدتری از رفتار و ترجیحات کاربران را فراهم می‌کند. اهمیت بیشتر مهندسی ویژگی در این است که می‌تواند الگوهای پیچیده در تعاملات کاربران را آشکار سازد. از طریق مهندسی ویژگی موثر، هدف ما گشایش یافتن فهم عمیق‌تری از ترجیحات هر فردی است که این امکان را فراهم می‌کند که سیستم‌های پیشنهادی وب، پیشنهادهای ارائه دهند که نه تنها با علایق کاربران همخوانی داشته باشند، بلکه با پیشروی و تحولات

³ Web Usage Mining¹ Web structure Mining⁴ User Experience² Web Content Mining



شکل (۱): فلوچارت کلی تحقیق

برای کاربر هدف را شناسایی می‌کند. همچنین وزن هر صفحه وب را ارزیابی کرده و مسائل موجود در سیستم‌های توصیه را مورد بررسی قرار داده تا توصیه‌هایی برای پیش‌بینی بازدید صفحه وب بعدی کاربر ارائه دهد. از طریق آزمایش‌ها با استفاده از داده‌های واقعی مجموعه داده MSNBC که شامل ۵۰۰۰ ورودی کاربر می‌باشد، دقت مدل پیشنهادی به طور تقریبی سه برابر برخی سیستم‌های موجود با نرخ دقت حدود ۳۳٪ است [۴]. تحقیق دیگری بر روی چالش توسعه یک سیستم توصیه بسیار دقیق برای صفحات وب جدید براساس ترجیحات کاربران تمرکز دارد. از یک الگوریتم ژنتیک خودکار خوشه‌بندی (ACGA) و یک مدل مارکوف سومین درجه اصلاح‌شده استفاده می‌کند. داده‌های رفتار کاربر، مانند فرکانس وقوع و زمان بازدید از صفحات، از فایل‌های log سرور وب استخراج می‌شود. ACGA از دو مرحله خوشه‌بندی و یک الگوریتم ژنتیک برای ایجاد خوشه‌ها تشکیل شده است. مدل مارکوف سومین درجه اصلاح‌شده به طور مؤثر صفحه بعدی را در سیستم توصیه پیش‌بینی می‌کند. آزمایشات با مجموعه داده CTI واقعی نشان می‌دهد که سیستم توصیه پیشنهادی بهتر از دیگر روش‌ها عمل می‌کند و دقت بالاتری دارد [۵]. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای بر روی بهبود سیستم‌های وب با رویکردهای توصیه‌گر کارآمد و قابل اعتماد تمرکز داشته است. در حالی که انواع مختلفی از روش‌ها برای بهبود توصیه‌های کاربر بررسی شده‌اند، چندین چالش هنوز هم در سیستم‌های فعلی توصیه‌گر وجود دارند. مطالعه بعدی یک چارچوب جامع ارائه می‌دهد که به چالش‌های اساسی مانند قابلیت مقیاس‌پذیری، پراکندگی داده، مشکلات شروع سرد و مسائل نقطه مبنای توصیه پرداخته است. این چارچوب اساساً برای سیستم‌های توصیه فیلم طراحی شده و در این حوزه اعتبارسنجی شده است، اما به

راحتی می‌تواند به حوزه‌های دیگری نیز تطبیق یابد. این چارچوب، مدل‌های پیش‌بینی مختلف را مدیریت می‌کند و از داده‌های ساختارمند مشتق‌شده از الگوریتم‌های داده‌کاوی استفاده می‌کند تا توصیه‌های وابسته به زمینه مبتنی بر ویژگی‌های محصول و کاربر در یک انتزاع حوزه خاص ارائه دهد [۷].

یک سیستم توصیه‌گر به عنوان یک عنصر بی‌نیاز برای وبسایت‌ها و برنامه‌ها حضور دارد و به کاربران یک رابط قابل اعتماد ارائه می‌دهد. این سیستم کاربران را در جستجو و بهره‌برداری بهینه از منابع وب کمک می‌کند. عوامل متعددی در جمع‌آوری داده‌های مرتبط با علائق کاربر و بهره‌گیری از آن برای ساخت یک سیستم توصیه‌گر ماهر مؤثر هستند. وب معنایی نقش حیاتی در ترویج پروتکل‌های مبتنی بر انتولوژی بازی می‌کند که ماهیت و کارایی سیستم توصیه‌گر مورد نظر را تعریف می‌کنند. علاوه بر این، اصول مختلفی در توسعه این سیستم‌ها به کار می‌رود. سیستم‌های توصیه‌گر، تأثیر بسیار مهمی در ارتقای تجربه کاربری وبسایت‌ها و برنامه‌ها دارند و اطمینان می‌دهند که محتواها و منابع مناسبی به کاربران ارائه می‌شود [۴]. سیستم‌های توصیه‌گر نقش حیاتی در دوران دیجیتال ایفا می‌کنند و با ارائه محتواها و توصیه‌های محصول سفارشی، به کاربران کمک می‌کنند تا در سایه گسترده‌ی خدمات آنلاین، گام‌های خود را بردارند. همانطور که حجم داده‌های اینترنت به افزایش ادامه می‌دهد، دقت و تنوع این توصیه‌ها در اهمیت زیادی افزایش می‌یابد. یک چالش مهم در مواجهه با این سیستم‌ها، "مشکل شروع سرد" است که به توصیه‌هایی برای کاربران جدید یا معرفی محتوای تازه به کاربرانی که با آن‌ها قبلاً تعاملی نداشته‌اند، اشاره دارد. برای رفع این چالش‌ها، الگوریتم‌های پیشرفته مانند KNN2 و SVD استفاده می‌شوند که بر اساس مفاهیم تجزیه ماتریس عمل می‌کنند. این سیستم‌ها در تولید توصیه‌های دقیق و بهبود تجربه کاربری از طریق کاهش بارهای تصمیم‌گیری عالی عمل می‌کنند. موفقیت آن‌ها بستگی به توانایی درک ترجیحات کاربران، حفظ پایداری در میان تغییرات پروفایل‌های کاربری و افزایش تنوع توصیه‌ها دارد. مقالات تحقیقاتی در این حوزه، بینش‌ها و ارزیابی‌های عملی از انواع مدل‌های توصیه‌گر را ارائه می‌دهند [۸-۱۲].

سیستم‌های توصیه‌گر که از تکنیک‌های یادگیری ماشین استفاده می‌کنند، در حوزه سلامت به طور قابل توجهی جلب توجه کرده‌اند. با گسترش اطلاعات درمان آنلاین، بیماران به دنبال یافتن پزشکان مناسب آنلاین بیشتر می‌گردند. برای پاسخ به این نیاز، یک سیستم توصیه دکنتر نوعی از سیستم توصیه‌گر ترکیبی ارائه داده است که از روش‌های متنوع توصیه‌گری مانند مبتنی بر محتوا، همکاری و فیلترینگ مشارکتی استفاده می‌کند. این سیستم با تحلیل ترجیحات بیماران برای انتخاب پزشک و استفاده از الگوریتمی تطبیقی برای ایجاد یک تابع رتبه‌بندی پزشکان، اولویت‌بندی شخصی‌سازی را در نظر می‌گیرد. این سیستم رتبه‌بندی معیارهای بیمار را کمی کرده و

² k-nearest neighbors

¹ Cold Start

وب که کاربران قصد بازدید از آن‌ها را دارند، عملکرد بهتری داشته و دقت و پوشش را نسبت به سیستم‌های توصیه‌مبتنی بر محتوا بهبود می‌بخشد [۱۱-۱۵].

در تحقیق دیگری، از یک سامانه توصیه‌گر مبتنی بر وب برای هدایت مشاوران در راهنمایی دانش‌آموزان برای انتخاب مسیر شغلی و حرفه‌ای استفاده شده است. با توجه به عدم اطمینان دانش‌آموزان در مورد انتخاب مسیر تحصیلی و افزایش نرخ انصراف از تحصیل، این سامانه با بهره‌گیری از الگوریتم شبکه عصبی عمیق، موفق به پیش‌بینی مسیر تحصیلی دانش‌آموزان با دقت $83/11\%$ شده است. این مطالعه با استفاده از نمرات و پروفایل‌های اجتماعی به عنوان عوامل تعیین کننده، شامل ۱۵۰۰ دانش‌آموز از پایه اول تا سوم برنامه K-12 را مورد بررسی قرار داده است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که الگوریتم شبکه عصبی عمیق به‌عنوان ابزاری موثر در پیش‌بینی مسیر تحصیلی می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد مشاوران راهنمایی ایفا کند. به این ترتیب، سامانه توصیه‌گر مسیر حرفه‌ای مبتنی بر وب به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری جهت هدایت دانش‌آموزان به مسیرهای تحصیلی اثربخش و یکپارچه می‌باشد [۱۶]. در مطالعه بعدی، اهمیت بررسی نقش توصیه‌گر صفحات وب در چارچوب‌های وب هوش مصنوعی و استخراج اطلاعات معنادار از وب به وسیله توصیه به صفحات وب به عنوان یک مسئله کلیدی مورد توجه قرار گرفته است. نتایج مدل‌های معمولی مطابقت کلیدی و آماری نشان داده که اغلب به‌طور ناسازگار با پرس و جوهای کاربر عمل می‌کنند. این تحقیق به یادگیری نیازهای هر کاربر بر اساس داده‌های اولویتی که در اختیار دارد، توجه کرده و از چارچوب گراف با استفاده از الگوریتم وزن‌دار گسستون برای تمثيل مناسب داده‌های کاربر مورد استفاده نموده است. با استفاده از مدل توصیه جدید THHO_DFC با بهینه‌سازی تیلور هرد و ترکیب یادگیری عمیق فازی، بهبود چشمگیری در دقت، بازخوانی، اندازه‌گیری F و دقت مدل K-Nearest Neighbor مبتنی بر اصلاح لاپلاس در توصیه به صفحات وب مناسب به دست آمده است. این پژوهش نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی عملکرد بهتری در زمینه کارایی و توصیه به صفحات وب ارائه می‌دهد [۱۷]. در مقاله دیگر، نگاهی جامع به چالش‌های یافتن اطلاعات در دوران داده‌های بزرگ ارائه شده و نیاز به سیستم‌های فیلترینگ اطلاعات برای کمک به کاربران در پیدا کردن اطلاعات مورد نیاز آنها بررسی شده است. این مقاله با تأکید بر سیستم‌های توصیه‌گر به برنامه‌های عملیاتی واقعی، تکنیک‌ها و توسعه‌های مختلف در زمینه‌های متنوع از جمله تجارت الکترونیک، گردشگری الکترونیک، منابع الکترونیکی، دولت الکترونیک، یادگیری الکترونیکی و کتابخانه الکترونیکی را مورد بررسی قرار می‌دهد. تحلیل این مقاله امکان ارائه نگاه دقیقتری به توسعه‌های کنونی و شناسایی چالش‌ها و مشکلات موجود در سیستم‌های توصیه‌گر را فراهم می‌آورد و نتایج به عنوان راهنمایی و پیشنهادات برای افراد عملی و محققان در زمینه سیستم‌های توصیه‌گر ارائه شده است [۱۸].

توصیه‌های منطقی و موثر برای انتخاب پزشکان ارائه می‌دهد که توسط ارزیابی‌های جامع تأیید شده است [۹]. پژوهشی دیگر، یک سیستم توصیه صفحات وب نوآورانه را معرفی می‌کند که هدف آن بهبود تجربه مرور برای کاربران ناشناس است. برخلاف تکنیک‌های سنتی وب کاوی، این سیستم از یک رویکرد چند مرحله‌ای برای پیش‌پردازش داده، کشف ارتباط بین صفحات وب، خوشه‌بندی و طبقه‌بندی داده استفاده می‌کند که اندازه‌گیری‌های منحصر به فردی مانند ماتریس فواصل، ماتریس فراوانی و ماتریس ارتباطات برای مدل‌سازی ارتباطات صفحات وب استفاده می‌شوند. گراف مجازی بر اساس ماتریس ارتباطی ایجاد می‌شود و سپس به خوشه‌هایی مبتنی بر الگوریتم جستجوی عمیق بهبود یافته، به عنوان نماینده الگوهای مسیریابی تقسیم می‌شود. کاربر فعال با استفاده از الگوریتم LCS به یکی از این خوشه‌ها دسته‌بندی می‌شود و مقدار آستانه‌ای به کار گرفته می‌شود تا تعداد بهینه‌ای از صفحات وب توصیه شود. اندازه‌گیری‌های نوآورانه این روش، استفاده از مقدار آستانه در هنگام تشکیل و توصیه خوشه، منجر به بهبود معیارهای عملکرد می‌شود. این بهبودها شامل دقت بیشینه 61% ، پوشش میانگین $49/2\%$ ، امتیاز F1 میانگین $28/87\%$ ، تطابق بازدید میانگین $57/8\%$ در تشکیل خوشه و حداقل 15% نقاط پرت در فرآیند تشخیص پرت داده می‌شود [۱۰].

در حال حاضر، برای توصیه‌های مبتنی بر محتوا، تحلیل معنایی صفحات وب به چالش اساسی تبدیل شده است. در مطالعه دیگری، یک رویکرد استخراج معنایی محتوای وب برای سیستم‌های توصیه در فروشگاه‌های آنلاین معرفی شده است. این روش بر اساس دو مرحله اصلی استوار است: مرحله اول شامل پیش‌پردازش معنایی داده‌های متنی با استفاده از ترکیبی از انتزاعات واژگان توسعه یافته و موجود است. مرحله دوم از الگوریتم Naive Bayes برای ارائه توصیه‌ها استفاده می‌کند. خروجی سیستم با استفاده از دقت، بازخوانی و امتیاز F ارزیابی می‌شود. نتایج نشان دادند که پیش‌پردازش معنایی، دقت سیستم توصیه را نسبت به روش KNN، $5/2\%$ افزایش داده است. علاوه بر این، سیستم توانایی ارائه یک بستر برای توصیه‌های مبتنی بر محتوا در فروشگاه‌های آنلاین دارد. این سیستم به روش‌های توصیه موجود با این ویژگی برتری دارد که می‌تواند بازخورد کاربران را در مورد محتوای متنی مرتبط با محصول تحلیل کرده و توصیه‌های لازم را ارائه دهد [۵]. تحقیق بعدی به چالش ارائه اطلاعات بهداشتی کاربرپسند از طریق توسعه یک سیستم توصیه صفحات وب می‌پردازد. سیستم معروف به PASO-WPR از بهینه‌سازی اجتماع ذرات و دو عامل کلیدی یعنی عامل ذره کاربر و عامل ذره معنایی استفاده می‌کند. این سیستم با بهره‌گیری از اطلاعات معنایی و تکنیک‌های وب کاوی، صفحات وب را بر اساس شباهت‌های معنایی آن‌ها به‌جای مکان‌های یکسان به منابع متحد کلاس‌بندی می‌کند. این خوشه‌ها برای ارائه توصیه‌های صفحات وب منطبق با نیازهای هر کاربر به کار می‌روند. سیستم PASO-WPR نسبت به روش‌های دیگر در شناسایی صفحات



۳- روش پیشنهادی

۱-۳- جمع آوری داده

در دامنه وب و در ارائه توصیه‌های شخصی‌سازی شده با استفاده از داده‌های زمانی دارد. فرایند ایجاد این ویژگی شامل مراحل زیر است:

مرحله ۱- ساخت ماتریس IP-URL: فرایند ایجاد ویژگی را با ساخت یک ماتریس آغاز می‌گردد که در آن ردیف‌ها نشان‌دهنده آدرس‌های IP منحصر به فرد و ستون‌ها نمایانگر URL‌های متمایز در مجموعه داده هستند. این ماتریس به عنوان پایه‌ای برای محاسبه زمان صرف شده توسط کاربران بر روی هر صفحه وب از طریق آدرس‌های IP خاص عمل می‌کند که محاسبه زمان بازدید یک آدرس IP از یک URL خاص به شکل زیر است:

$$Visit Time_{(IP-URL)} = \sum \text{Time Spent on URL by IP} \quad (1)$$

که $Visit Time_{(IP-URL)}$ نمایانگر زمان بازدید یک IP خاص از یک URL مشخص است.

مرحله ۲- محاسبه میانگین زمان بازدید برای هر URL: بعد از تعیین زمان‌های بازدید برای هر IP بر روی هر URL، گام بعدی شامل محاسبه میانگین زمان بازدید برای هر URL است. این کار با استفاده از فرمول زیر انجام می‌شود:

$$Average\ Visit\ Time_{URL} = \frac{\sum Visit\ Time_{(IP-URL)}}{Number\ of\ visit\ to\ URL} \quad (2)$$

که $Average\ Visit\ Time_{URL}$ میانگین زمان بازدید است.

مرحله ۳- اعمال وزن‌دهی بر اساس مقادیر مشخص شده: بعد از به دست آوردن میانگین مدت زمان بازدید برای هر URL، این مقادیر با استفاده از عوامل وزن‌دار مشخص شده، جمع می‌شوند. این تجمیع به شکل زیر قابل نمایش است:

$$Score_{URL} = W_1 \times Average\ Visit\ Time_{URL} + W_2 \times Average\ Visit\ Time_{URL} + W_3 \times Average\ Visit\ Time_{URL} \quad (3)$$

در اینجا، امتیاز ترکیبی برای یک URL خاص به عنوان $Score_{URL}$ نمایش داده شده است که W_1 ، W_2 و W_3 مقادیر وزن‌دهی مشخص شده هستند که به ترتیب برای هر کدام از وزنها مقادیر ۱، ۳ و ۵ را در نظر گرفته ایم. با پیروی از این مراحل و استفاده از فرمول‌های ریاضی برای ایجاد ویژگی‌ها، با موفقیت یک ویژگی جدید برای اندازه‌گیری زمان صرف شده در هر صفحه وب ایجاد می‌گردد. این ویژگی پتانسیل بسیاری را برای بهبود تجزیه و تحلیل داده‌ها دارد و امکان فراهم کردن توصیه‌های شخصی بر اساس زمان را فراهم می‌کند. در نتیجه، این رویکرد ساختاری در مهندسی ویژگی در داده‌کاوی وب، یک دارایی ارزشمند در درک رفتار کاربر است.

جدول (۱): رکوردهای فایل لاگ

| تعداد | |
|-------------------|-----------|
| کل رکوردها | 4,477,843 |
| بعد از پیش پردازش | 715,014 |
| تعداد جلسات کاربر | 21,916 |

۳-۳- استخراج ویژگی جدید

سایت Ehadish.com یک بازار آنلاین معروف است که محصولات و خدمات متنوعی را ارائه می‌دهد. این وبسایت با رابط کاربری دوستانه و دسته‌بندی‌ها و فیلترهای جستجوی واضح، امکان مرور آسان را برای کاربران فراهم می‌کند و محصولاتی از جمله تجهیزات الکترونیک، دستگاه‌های موبایل و... را ارائه می‌دهد [۶]. این سایت به دلیل حضور قوی در رسانه‌های اجتماعی و تعهد به رضایت مشتریان شناخته شده است. این مطالعه از داده‌های سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۳ که شامل فایل‌های لاگ سرور و اطلاعات مربوط به محتوای وبسایت می‌شود، استفاده کرده است. جدول (۱)، یک مرور بر تعداد رکوردهای مرتبط با فایل‌های لاگ قبل و بعد از پیش‌پردازش و تقسیم جلسه ارائه می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که پایگاه داده نهایی شامل ۲۱۹۱۶ جلسه با میانگین طول جلسه ۶/۵ لینک در هر جلسه است.

وب کاوی فرآیندی است که اطلاعات ارزشمندی را از داده‌های وب استخراج می‌کند. پیش‌پردازش داده مرحله‌ای حیاتی در این فرآیند است که شامل پاکسازی و آماده‌سازی داده‌های خام می‌شود. فایل‌های لاگ سرور وب، معمولاً به فرمت CLF^1 ، شامل فیلدهایی همچون اطلاعات مشتری، زمان، جزئیات درخواست و غیره هستند. در وب‌کاوی، پیش‌پردازش داده‌ها لاگ‌های خام را به منظور نمایش رفتارهای کاربران به ساختاری جدولی تبدیل می‌کند. این پردازش بر روی تعاملات اصلی مانند کلیک‌ها بر صفحات وب تمرکز دارد و درخواست‌های ثانویه و محتواهای غیرمرتبط همچون تصاویر و ویدیوها را استثنا می‌کند. فرمت‌های URL استاندارد می‌شوند، پارامترهای تکراری حذف می‌شوند و درخواست‌های خطا، فیلتر می‌شوند. شناسایی کاربر و تعیین جلسه با استفاده از روش‌هایی همچون آدرس‌های IP و زمان رویت صفحه انجام می‌شود. این فرایندها رفتارهای کاربر را به جلساتی تجمیع می‌کنند تا برای تحلیل‌های بیشتر، تشخیص الگو و توصیه‌های شخصی‌سازی شده قابل انجام شود. پیش‌پردازش داده از اهمیت بسزایی برخوردار است زیرا داده‌های وب را برای تحلیل معنادار و برداشت‌های قابل اجرا آماده می‌کند [۱۳-۱۴].

تجزیه و تحلیل و استخراج داده‌ها از گام‌های حیاتی در وب کاوی داده و تحلیل آن است. در این زمینه، یک ویژگی نوآورانه معرفی می‌شود که میزان زمان صرف شده بر روی هر صفحه وب داخل مجموعه داده را اندازه‌گیری می‌کند. این ویژگی اهمیت چشمگیری در درک رفتار کاربر

¹ Common Log Format

جدول (۲) : محاسبه تعداد خوشه

| (K) تعداد خوشه ها | معیارهای ارزیابی | | |
|-------------------|------------------|--------|-----------|
| | Precision | Recall | F-Measure |
| 20 | 0.702 | 0.402 | 0.511 |
| 80 | 0.721 | 0.419 | 0.53 |
| 120 | 0.732 | 0.431 | 0.543 |
| 200 | 0.728 | 0.430 | 0.541 |
| 300 | 0.730 | 0.425 | 0.537 |

۳-۴- شناسایی کاربران

شناسایی کاربر یک عنصر اساسی در سیستم‌های کاوش وب است که امکان تفکیک کاربران فردی بر اساس آدرس‌های IP آن‌ها را فراهم می‌کند. برای افزایش دقت این فرایند، یک عامل محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا به چالش‌های احتمالی ناشی از چند کاربر با آدرس‌های IP یکسان در شبکه‌های محلی پاسخ دهد. با اجرای شناسایی کاربر، امکان دسته‌بندی دقیق‌تر کاربران از طریق تقسیم‌بندی جلسات به وجود می‌آید که معمولاً با تعریف جلسات به عنوان دنباله‌های درخواست‌های کاربر در یک بازه زمانی ۳۰ دقیقه‌ای انجام می‌شود. این رویکرد، تجزیه و تحلیل دقیق‌تری از رفتارها و ترجیحات کاربران را فراهم می‌کند، که منجر به تولید توصیه‌های شخصی، بهبود طراحی وب‌سایت و ارتقای تجربه کلی کاربر می‌شود. این رویکرد چندوجهی در شناسایی کاربر و تقسیم‌بندی جلسات به عنوان یک روش اساسی در کاوش وب، پایه‌ای برای تحلیل عمیق رفتار کاربر در محیط وب فراهم می‌کند.

۳-۵- کشف الگوی رفتاری کاربران

در این بخش، به بررسی مراحل مختلف کشف الگوهای رفتاری کاربران در سیستم‌های کاوش وب پرداخته می‌شود. این بخش شامل چهار زیربخش اساسی است: تقسیم داده، مقدار بهینه خوشه، خوشه‌بندی و ساخت پروفایل. در این بخش، به طور مختصر بر اهمیت و نقش هر یک از این زیربخش‌ها در فرایند کشف الگوهای رفتاری کاربران تأکید می‌شود. لازم به ذکر است که هر زیربخش با همکاری و هماهنگی با یکدیگر، منجر به کسب بینش‌های دقیق و تنزیل شده‌تری درباره الگوهای رفتاری کاربران می‌شود.

زیر بخش اول - تقسیم داده: در این بخش مجموعه دادگان به سه زیرمجموعه تقسیم شده است: مجموعه آموزش، مجموعه اعتبارسنجی و مجموعه آزمون با تقسیمی به نسبت ۲۰-۲۰-۶۰ درصد. هدف این تقسیم‌بندی سه‌گانه به این صورت است: اولاً، از داده‌های اعتبارسنجی برای تعیین مقدار بهینه برای پارامتر k که نمایانگر تعداد مطلوب خوشه‌ها برای تحلیل خوشه‌بندی می‌باشد، استفاده می‌گردد. ثانیاً، داده‌های آموزش برای آموزش مدل خوشه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آخر، داده‌های آزمون برای ارزیابی عملکرد مدل آموزش دیده استفاده می‌شود. این رویکرد منطقی تقسیم داده اجازه می‌دهد تا به طور موثر مدل خوشه‌بندی را بهینه کرده و عملکرد آن را بر روی

داده‌های ناشناخته ارزیابی کنیم که منجر به کشف الگوهای رفتاری قوی و دقیق می‌شود. این روش دقیق تقسیم داده اطمینان می‌دهد که هر زیرمجموعه درون فرآیند خوشه‌بندی، یک هدف مشخص را مشخص می‌کند و در نتیجه کارایی مدل را بهینه می‌کند و قابلیت اطمینان در شناسایی الگوهای رفتاری را افزایش می‌دهد.

زیر بخش دوم - مقدار بهینه خوشه: در زمینه تحلیل خوشه‌بندی، تعیین تعداد بهینه از خوشه‌ها یک گام حیاتی است. هدف این فرایند، یافتن تعداد مناسبی از خوشه‌ها است و اغلب از داده‌های اعتبارسنجی بهره می‌برد. در این مقله، از مجموعه داده اعتبارسنجی برای تخمین تعداد بهینه از خوشه‌ها استفاده کرده و با مشخص کردن یک دامنه از ۲۰ تا ۳۰۰ برای هر یک از این سناریوهای خوشه‌بندی، معیارهای عملکرد از جمله دقت، فراخوانی و اندازه F همان طور که در جدول (۲) نشان داده شده، محاسبه انجام پذیرفته است. از طریق این ارزیابی دقیق، تعداد مطلوب خوشه‌ها به مقدار عدد ۱۲۰ شناسایی گردید. این روش دقیق، اطمینان حاصل می‌کند که فرآیند خوشه‌بندی از اطلاعات کافی برخوردار بوده و در زمینه داده‌ها کارایی دارد.

زیر بخش سوم - خوشه بندی: در تلاش برای یافتن بهترین روش خوشه‌بندی، دو تکنیک معروف k -means و k -medoids با استفاده از معیار شباهت Levenshtein مقایسه گردیده است. همانطور که پیش‌تر بیان گردید در شروع خوشه‌بندی، هدف شناسایی مقدار مطلوب برای تعداد خوشه بود و مشخص گردید که استفاده از ۱۲۰ خوشه بهترین عملکرد را دارد. این رویکرد در گروه‌بندی دنباله‌های مشابه URLها عالی بوده و سازماندهی روشنی از داده‌ها را ارائه داده است. پس از ارزیابی دقیق، مشخص گردید که روش k -medoids نسبت به k -means از نظر تنوع و کارایی خوشه‌بندی بهتر عمل کرده است. به همین دلیل، تصمیم بر آن شد که از تکنیک k -medoids به عنوان پایه برای تحلیل‌های بیشتر استفاده شود.

زیر بخش چهارم - ساخت پروفایل: در مرحله "پروفایل‌سازی"، هدف ایجاد پروفایل برای هر خوشه و در نهایت ایجاد پروفایل کاربری با شناسایی دنباله‌های در هر خوشه با استفاده از الگوریتم FP-growth می‌باشد که این دنباله‌های شناسایی شده به عنوان پروفایل‌های خوشه عمل می‌کنند. برای در نظر گرفتن تنوع در دنباله لینک‌ها در هر خوشه، به دنبال سناریویی هستیم که یک خوشه ممکن است بیش از یک پروفایل را به خود اختصاص دهد که این امر باعث دقت بیشتر در پیش‌بینی لینک بعدی در مرحله توصیه لینک می‌شود. در این مرحله، برای سه خوشه امکان تعیین پروفایل‌ها براساس دنباله‌های لینک موجود وجود نداشت. پس از یافتن پروفایل‌ها، وزنی برای هر پروفایل بر اساس ویژگی زمان بازدید استخراج شده محاسبه می‌شود. این وزن‌ها هنگام انتخاب URLها و ارائه توصیه‌ها برای لینک‌های بعدی استفاده خواهند شد. این رویکرد پروفایل‌سازی، با ترکیب کاوش دنباله با اطلاعات زمانی، دقت توصیه لینک‌ها در چارچوب کاوش استفاده از وب را افزایش می‌دهد.



۳-۶- پیش‌بینی صفحه بعدی کاربر

در مراحل قبلی، از داده‌های اعتبارسنجی برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها و شناسایی الگوریتم خوشه‌بندی استفاده شد و سپس، از داده‌های آموزش برای آموزش و ارزیابی مدل استفاده گردید. در ادامه برای ارزیابی مدل پیش‌بینی برای صفحه وب بعدی، دو سناریو متمایز مورد بررسی قرار داده شده است. ابتدا، ویژگی نوآورانه‌ای به نام مدت زمان صرف شده در هر صفحه به پروفایل کاربری اضافه گردید که این امر ایجاد پروفایل‌های دقیق‌تر را ممکن ساخت و این پروفایل‌ها برای پیش‌بینی صفحه وب بعدی برای هر کاربر استفاده شدند. در دومین سناریو، پیش‌بینی‌ها بدون اضافه کردن این ویژگی جدید انجام گرفت. نتایج نشان داد که با اضافه کردن این ویژگی جدید، دقت پیش‌بینی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که دقت مدل با استفاده از معیارهای ارزیابی استاندارد مانند دقت، فراخوانی و اندازه F به شکل جدول (۴) برای موارد 'پیش‌بینی با ویژگی جدید' و 'پیش‌بینی بدون ویژگی جدید' نمایش داده شده است.

۵- نتیجه‌گیری و کارهای آتی

این مقاله یک بررسی گسترده از مدل‌سازی رفتار کاربران و پیش‌بینی در حوزه استخراج داده وب ارائه می‌دهد. در این مقاله یک رویکرد نوآورانه معرفی شده است که مدت زمان جلسات کاربران را در نظر می‌گیرد و این امر باعث بهبود دقت در پیش‌بینی انتخاب‌های صفحات وب بعدی کاربران می‌شود. در ادامه با استفاده از تکنیک‌های خوشه‌بندی مانند k -means و k -medoids، کاربران به طور موثر در خوشه‌ها گروه‌بندی گردیده که منجر به بهبود دقت و بازخوانی مدل پیش‌بینی شده شده است. به‌طور خاص، در این مقاله اندازه خوشه ۱۲۰ را به عنوان مقدار مطلوب شناسایی کرده که به طور پیوسته از سایر گزینه‌ها بهتر عمل کرده است. آزمایشات و یافته‌ها به طور روشن افزایشات قابل توجهی در دقت پیش‌بینی را نشان می‌دهد که به دلیل اضافه کردن مدت زمان جلسه به عنوان ویژگی جدید در مدل به دست آمده است. با استفاده از معیارهای استاندارد مانند دقت، فراخوانی و اندازه F ، عملکرد مدل را با دقت ارزیابی کرده و نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که این ویژگی جدید چگونگی موثر بودن مدل پیش‌بینی را افزایش داده است. علاوه بر این، تحلیل مقایسه‌ای از خوشه‌بندی k -means و k -medoids نشان می‌دهد که عملکرد برتر k -medoids، کمک به پروفایل‌دهی دقیق‌تر به کاربر می‌کند. برای کارهای آتی، این تحقیق پیشنهاد می‌گردد که راه‌های جدیدتری برای مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار کاربران را بررسی گردد که بررسی ویژگی‌ها و الگوریتم‌های اضافی، می‌تواند دقت مدل را بیشتر افزایش دهد. علاوه بر آن، این مطالعه می‌تواند به دامنه‌های گسترده‌تری مانند تجارت الکترونیک، پیشنهاد محتوا و تبلیغات شخصی‌سازی شده گسترش یابد تا به تقاضای رو به رشد خدمات محور برای کاربران پاسخ دهد.

در این مرحله، از داده‌های موجود در مجموعه داده آزمون برای ارزیابی عملکرد مدل خود در پیش‌بینی صفحه وب بعدی که کاربر احتمالاً به آن سر خواهد زد، استفاده شده است. این رویکرد شامل استفاده از الگوریتم همسایگی‌های نزدیکترین است که ورودی‌های آن شامل URL‌های ورودی و پروفایل‌های خوشه‌هایی است که در مرحله "پروفایل‌سازی" تولید شده‌اند. همانطور که پیش‌تر توضیح داده شد، این پروفایل‌ها با ویژگی‌های وزن‌دار مدت زمان بازدید برای هر صفحه وب غنی شده‌اند که این امکان را می‌دهد تا الگوهای مرور صفحات توسط کاربر را به صورت جامع‌تری بررسی شود. در این مرحله، از الگوریتم همسایگی‌های نزدیکترین برای انتخاب مناسب‌ترین پروفایل برای URL‌های ورودی داده شده استفاده گردیده که این فرایند انتخاب عمدتاً بر اساس ویژگی وزنی مدت زمان بازدید انجام می‌شود. پروفایل خوشه با بیشترین وزن شباهت به عنوان پروفایلی که ارتباطش با جلسه کاربری فعلی را نشان می‌دهد، انتخاب می‌شود. پس از انتخاب، مدل خود را ارزیابی نموده که شامل معیارهای دقت، فراخوانی و اندازه F می‌باشد. هدف این فرایند، اطمینان از این است که مدل پیش‌بینی با الگوهای مرور صفحات توسط کاربر هماهنگ باشد و این باعث تسهیل تجربه وب به صورت شخصی‌سازی شده می‌شود. با بهینه‌سازی تعاملات کاربر، وب‌سایت‌ها می‌توانند درگیری و رضایت کاربران را افزایش دهند.

۴- آزمایشات و نتایج

در بخش اول، ابتدا به ارزیابی عملکرد مدل خوشه‌بندی پرداخته شده است. معیارهای ارزیابی از جمله دقت، فراخوانی و اندازه F ، به عنوان نشانگرهای حیاتی برای اندازه‌گیری کیفیت خوشه‌های تولید شده توسط مدل عمل می‌کنند. همانطور که ذکر گردید از داده‌های اعتبارسنجی برای تعیین تعداد مناسب خوشه‌ها (K) برای موثر بودن آموزش مدل استفاده شده است. برای به اشتراک گذاشتن نتایج به طور جامع، یک خلاصه در جدول (۲) نشان داده شده که عملکرد مدل برای انواع مختلف خوشه‌بندی را نشان می‌دهد. این جدول شامل ستون‌های تعداد خوشه (K)، دقت، فراخوانی و اندازه F است که نتایج برای تعداد مختلف خوشه‌ها از ۲۰ تا ۳۰۰ ارائه شده تا پیکربندی بهینه را شناسایی کند. بر اساس نتایج آزمایشی که در جدول (۲) ارائه شده است، مشخص است که اندازه خوشه ۱۲۰ نسبت به پیکربندی‌های دیگر عملکرد بهتری داشته و بیشترین اندازه F را به دست آورده است که نشانگر بهترین نتایج خوشه‌بندی می‌باشد.

در خوشه‌بندی، از الگوریتم‌های k -means و k -medoids برای تقسیم داده‌ها به خوشه‌ها استفاده شد. سپس، عملکرد این دو روش را مقایسه نموده و مشاهده شد که روش k -medoids به طور مداوم از k -means عملکرد بهتری داشته است. برای نشان دادن این موضوع، نتایج در جدول (۳) نشان داده شده که ستون‌های آن به ترتیب نشان دهنده روش استفاده شده، دقت، فراخوانی و اندازه F هستند.

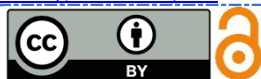


- [14] R. & P. J. Wagh, "A Novel Web Page Recommender System for Anonymous Users Based on Clustering," *Asian Journal For Convergence In Technology (AJCT)*, vol. 5, no. 1, 2019.
- [15] Manikandan, R., Saravanan, V, "A novel approach on Particle Agent Swarm Optimization (PASO) in semantic mining for web page recommender system of multimedia data: a health care perspective," *Multimed Tools Appl*, vol. 79, p. 3807–3829, 2020.
- [16] J. R. D. Atienza, R. M. (2022). A Deep Neural Network in a Web-based Career Track Recommender System for Lower Secondary Education. 2022 2nd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON), (pp. pp. 1-6). Ravet, India.
- [17] Jayalakshmi, N. (January 2023). Taylor Horse Herd Optimized Deep Fuzzy clustering and Laplace based K-nearest neighbor for web page recommendation. *Advances in Engineering Software*, Volume 175.
- [18] Imran Hossain, M. A. (2023). A Survey of Recommender System Techniques and the E-commerce Domain. *Computer Science, Information Retrieval*.

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



جدول (۳) : مقایسه K-MEDOIDS و K-MEANS

| روش | معیار ارزیابی | | |
|-----------|---------------|--------|-----------|
| | Precision | Recall | F-Measure |
| k-means | 0.732 | 0.431 | 0.543 |
| k-medoids | 0.812 | 0.691 | 0.747 |

جدول (۴) : مقایسه پیش‌بینی صفحه بعدی با ویژگی جدید

| روش | معیار ارزیابی | | |
|--------------------------|---------------|--------|-----------|
| | Precision | Recall | F-Measure |
| پیش‌بینی با ویژگی جدید | 0.89 | 0.92 | 0.90 |
| پیش‌بینی بدون ویژگی جدید | 0.78 | 0.86 | 0.82 |

مراجع

- [1] L. WangBin, "Web Mining Research," in *5th International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, 2003.
- [2] F.O. Isinkaye, Y.O. Folajimi, B.A. Ojokoh,, "Recommendation systems: Principles, methods and evaluation," *Egyptian Informatics Journal*, vol. 16, no. Issue 3, pp. 261-273, 2015.
- [3] Zhang, Q., Lu, J. & Jin, Y, " Artificial intelligence in recommender systems," *Complex Intell*, vol. 7, no. 1, p. 439–457, 2021.
- [4] V. P. a. M. P. F. Mansur, "A review on recommender systems," in *International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, Coimbatore, India, 2017.
- [5] I. T. Afolabi, "Semantic Web mining for Content-Based Online Shopping Recommender Systems," . *International Journal of Intelligent Information Technologies (IJIT)*, vol. 15, no. 4, pp. 41-56, 2019.
- [6] "www.Ehadish.com," [Online].
- [7] H. Hasija, "Recommender system with web usage mining based on fuzzy c means and neural networks," in *International Conference on Next Generation Computing Technologies*, Dehradun, India, 2015.
- [8] Katarya, R., Verma, O.P, "An effective web page recommender system with fuzzy," *Multimed Tools Appl*, vol. 76, no. 20, p. 21481–21496, 2017.
- [9] F. Darbandi Monfared, "A novel web page recommender using data automatic clustering," *SN Applied Sciences*, vol. 1, p. 1719, 2019.
- [10] María N. Moreno, Saddys Segrera, Vivian F. López, María Dolores Muñoz, "Web mining based framework for solving usual problems," *Neurocomputing*, vol. 176, pp. 72-80, 2016.
- [11] T. Bhattacharya, A. Jaiswal and V. Nagpal, "Web usage mining and text mining in the environment of web personalization for ontology development of recommender systems," in *5th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*, Noida, India, 2016.
- [12] A. G. M. E. Badr Hssina, "Recommendation system using the k-nearest neighbors and singular value decomposition algorithms," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vols. 11, No 6, pp. 5541-5548, 2021.
- [13] Muhammad Waqar, Nadeem Majeed, Hassan Dawood, Ali Daud & Naif Radi, "An adaptive doctor-recommender system," *Behaviour & Information Technology*, vol. 38, no. 9, pp. 959-973, 2019.





طراحی و شبیه سازی ساختاری پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور جهت تولید و افزایش هارمونیک سوم

محمدجواد رحیمزاده^۱، رحیم غیور^{۲*}، مریم محیط پور^۳

۱- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

mjrahimzade1356@gmail.com

۲- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

rghayour@shirazu.ac.ir

۳- گروه مهندسی برق، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

mohitpour@gmail.com

چکیده: در این مقاله بر اساس ویژگی غیرخطی گرافن و قراردادن لایه‌ای از گرافن بر روی بستر مناسب، یک موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور جهت تولید هارمونیک سوم پیشنهاد شده است. نقش پارامترهای مختلف گرافن تک‌لایه در خاصیت رزونانس و رسانایی غیرخطی گرافن تعیین شده است. نشان داده شده که با تغییر پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن (μ_{eg})، می‌توان تولید هارمونیک سوم را که بر اساس خواص غیرخطی گرافن تک‌لایه است، تنظیم کرد. روش محاسباتی تفاضل محدود در حوزه زمان برای شبیه‌سازی عددی و تجزیه و تحلیل ساختار پیشنهادی در محدوده طول موج مادون قرمز میانی استفاده شده است. در شبیه‌سازی‌های ما بهره توان تبدیلی در حدود $48/08$ - دسی‌بل محاسبه شد که افزایش قابل توجهی نسبت به سایر منابع نشان می‌دهد. استفاده از نمونه‌های گرافن با کیفیت بالا و شناور کردن آن‌ها و در نهایت استفاده از دی‌الکتریک Si_3N_4 عملکرد ساختار پیشنهادی را در مقایسه با سایر مراجع، بهبود بخشیده است. نتیجه این کار می‌تواند برای توسعه طیف وسیعی از برنامه‌های کاربردی مهم مانند تولید فرکانس جدید، پردازش سیگنال، طیف‌سنجی، سنسجش شیمیایی و سوئیچ‌ها در محدوده فرکانس مادون قرمز میانی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: بهره توان تبدیلی، گرافن شناور، موجبر پلاسمونیک، هارمونیک سوم

Design and simulation of plasmonic structure based on suspended graphene sheets for enhancing third harmonic generation

Mohammad Javad Rahimzadeh¹, Rahim Ghayour^{2*}, Maryam Mohitpour³

¹ Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
mjrahimzade1356@gmail.com

² Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
rghayour@shirazu.ac.ir

³ Department of Electrical Engineering, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran
mohitpour@gmail.com

Abstract:

In this article, based on the nonlinear property of graphene and placing a layer of graphene on a suitable substrate, a plasmonic waveguide based on suspended graphene has been proposed to enhance third harmonic generation (THG). The role of different parameters of single-layer graphene in resonance properties and nonlinear conductivity of graphene has been determined. It is shown that by changing the electrochemical potential of graphene, it is possible to tune the THG, which is based on the nonlinear properties of monolayer graphene. The finite difference computing method in the time



domain (FDTD) has been used for numerical simulation and analysis of the proposed structure in the mid-infrared wavelength range. In our simulations, the conversion efficiency was calculated at about -48.08 dB, which shows a significant increase compared to other sources. Using high quality graphene samples and floating them and finally using Si_3N_4 dielectric has improved the performance of the proposed structure compared to other references. The result of this work can be used to develop a wide range of important applications such as new frequency generation, signal processing, chemical sensing and switches in the MIR frequency range.

Keywords: conversion efficiency, suspended graphene, Plasmonic waveguide, Third harmonic.

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۲۳

۱- مقدمه

تحریک کند. پلاسمون برانگیخته شده روی گرافن در محدوده تراهرتز و مادون قرمز میانی طیف الکترومغناطیسی قرار دارد [۶]. اخیراً ساختارهای مختلفی برای تولید هارمونیک سوم در محدوده عملکرد نوری مورد بررسی قرار گرفته است [۷]. در [۸] یک موجبر مبتنی بر سیلیکون معرفی شده که در آن لایه‌ای از طلا بر روی یک بستری سیلیکونی قرار می‌گیرد. با اعمال نور در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر به سازه، هارمونیک سوم در طول موج ۵۱۷ نانومتر تولید می‌شود. مشکل اصلی در دستگاه‌های پلاسمونیک که از نقره و طلا ساخته می‌شوند، تلفات قابل توجه آنها در محدوده‌های فرکانسی مختلف است. به دلیل این تلفات، کارایی این دستگاه‌های پلاسمونیک به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، اثرات غیرخطی مانند THG در موجبرهای پلاسمونیک مبتنی بر فلزات نجیب مانند نقره و طلا در مقایسه با اثرات غیرخطی در موجبرهای پلاسمونیک مبتنی بر گرافن بسیار ضعیف است. همچنین بهره غیرخطی مرتبه سوم در فلزات نجیب با تحریک الکتریکی قابل تنظیم نیست و نیاز به تغییر هندسه سازه دارد. در واقع، در گرافن، اثر غیرخطی را می‌توان با تغییر پتانسیل الکتروشیمیایی بدون تغییر ساختار تنظیم کرد [۹]. گرافن علاوه بر داشتن خواص غیرخطی خوب، خواص الکترونیکی، مغناطیسی و نوری مفیدی از خود نشان می‌دهد و تلفات بسیار کمتری در محدوده THz^4 و مادون قرمز میانی دارد [۱۰]. به‌طور کلی، گرافن دو مزیت عمده نسبت به مواد پلاسمونیک معمولی دارد. اولاً، طول انتشار SPPs در گرافن در مناطق THz و مادون قرمز میانی بیشتر از فلزات معمولی است. دوم، قابلیت تنظیم خواص نوری گرافن توسط دوپینگ و ولتاژ بیاس خارجی در دسترس است [۱۱]. بنابراین، دستگاه‌های پلاسمونیک مبتنی بر گرافن، از جمله موجبرها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. تحرک بالای حامل گرافن منجر به زمان استراحت طولانی حامل‌ها می‌شود و بنابراین، طول انتشار پلاریتون پلاسمون‌های سطحی گرافن^۵ (GSPP) به طور معقولی افزایش می‌یابد. تلفات انتشار موجبرهای پلاسمونیک مبتنی بر گرافن پیشنهادی در تحقیقات گذشته از مرتبه $4\text{-}6\text{dB}\mu\text{m}^{-1}$ است که هنوز هم زیاد است [۱۲]. تلفات انتشار بالا مانع از توسعه مدارهای مجتمع پلاسمونیک می‌شود.

یکی از فرایندهای نور غیرخطی، تولید هارمونیک نوری است که در آن تعدادی فوتون (N) با انرژی (E) و فرکانس (ω) یکسان، (که در آن $E = \hbar\omega$) با یک ماده غیرخطی بر همکنش کرده و تولید یک فوتون جدید با انرژی $E_N = NE$ یا فرکانس ($\omega_N = N\omega$) می‌کنند [۱]. در دهه اخیر، گسترش منابع نور با استفاده از تولید هارمونیک سوم (THG) بسیار مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات زیادی انجام شده است. یکی از پارامترهای مهم در این تحقیقات، بهره توان هارمونیک سوم است. به‌طور کلی، در یک موجبر نوری با تطبیق فاز مناسب بین فرکانس اصلی و هارمونیک سوم می‌توان نرخ تبدیل هارمونیک سوم را افزایش داد که این امر با روش‌هایی مانند مهندسی سازه انجام می‌شود [۲]. چنین تطبیق فازی معمولاً به ساختارهای پیچیده‌ای نیاز دارد که پیاده‌سازی آنها در عمل دشوار است. مکانیسم تولید هارمونیک سوم با استفاده از برهم‌کنش شدت نور با یک ماده غیرخطی یک روش بسیار مؤثر است و از مهندسی ساختارهای پیچیده اجتناب می‌کند [۱]. مطالعات اخیر کاربردهای مهم گرافن را در اپتیک و الکترونیک نشان می‌دهد که بر اساس ویژگی‌های مختلف گرافن از جمله رفتار غیرخطی گرافن است [۳]. گرافن یک ماده کریستالی دو بعدی از کربن است که در آن اتم‌های کربن در یک شبکه لانه زنبوری قرار گرفته‌اند. خواص الکتریکی، نوری و فیزیکی خارق‌العاده گرافن به دلیل ساختار پیوند لانه زنبوری آن است که این ماده را از سایر مواد دو بعدی متمایز می‌کند [۴]. پلاسمونیک به‌طور کلی یک رویکرد هیجان‌انگیز برای غلبه بر حد پراش نور است به‌طوری که طراحی و ساخت مدارهای مجتمع فوتونی در مقیاس نانو امکان‌پذیر می‌شوند. در دهه اخیر، گرافن به‌عنوان یک ماده پلاسمونیک ویژه با رفتار غیرخطی در محدوده‌ی خاصی از طول موج مورد استفاده قرار گرفته است [۵].

پلاریتون پلاسمون سطحی قوی^۲ (SPP) و تنظیم‌پذیری آسان پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن^۳ (μcg) از مزایای پلاسمون‌های سطحی شگفت‌انگیز گرافن نسبت به فلزات نجیب مانند طلا و نقره است [۶]. با اعمال نور شدید، پلاریتون‌های پلاسمون سطحی، برانگیخته شده و در مرز مشترک فلز - عایق پخش می‌شوند. جفت‌شدن چنین میدان‌هایی می‌تواند اثرات غیرخطی گرافن (به‌ویژه هارمونیک سوم) را بیشتر

⁴ Terahertz

⁵ Graphene surface plasmon polaritons

¹ Third harmonic generation

² Surface plasmon polaritons

³ Electrochemical potential

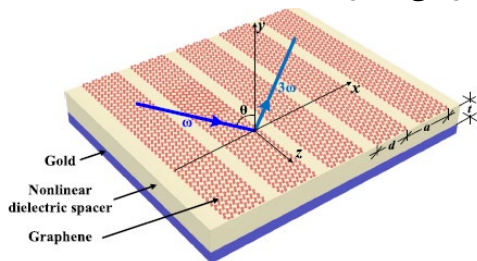


لایه‌های گرافن معلق، تحرک حامل بالایی با بیش از 10^{10} سانتی‌متر مربع بر ولت، ثابته نشان می‌دهند [۱۳]. در حالی که با قرار دادن یک لایه گرافن بر روی یک بستر می‌تواند تحرک حامل‌های گرافن را به طور قابل توجهی به 10^{10} سانتی‌متر مربع بر ولت، ثابته کاهش دهد، بنابراین زمان استراحت حامل‌ها به طور قابل توجهی محدود می‌شود. چنین تخریبی در تحرک حامل‌ها عمدتاً به دلیل برهم‌کنش گرافن با بستر زیرین است. وجود عواملی مانند فونون‌های سطحی، تله‌های بار سطحی، نقص و... در زیر لایه می‌تواند باعث این محدودیت شود [۱۴]. بنابراین، بسیار مطلوب است که دستگاه‌های یکپارچه مبتنی بر ورقه‌های گرافن معلق ساخته شوند. ترانزیستورهای اثر میدانی با کارایی بالا با استفاده از لایه‌های گرافن معلق قبلاً پیشنهاد شده‌اند [۱۵]، که نقش مهمی در مدارهای الکترونیکی آینده ایفا می‌کنند. با این حال، دستگاه‌های اپتوالکترونیکی غیر خطی مبتنی بر گرافن معلق بررسی نشده‌اند. در بخش ۲ هدایت گرافن و تأثیر تغییر پارامترهای مهم پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن، زمان آرامش حامل‌ها و فرکانس نور اعمالی بر روی رسانایی غیرخطی گرافن و توان هارمونیک سوم مورد بررسی قرار گرفته است. در اینجا ما یک موجبر پلاسماونیک مبتنی بر گرافن شناور جهت تولید هارمونیک سوم ارائه کرده‌ایم که مشکلات کاهش تحرک حامل‌ها را نداشته و با افزایش زمان آرامش حامل‌ها و کاهش تلفات، در نهایت باعث افزایش بهره توان تبدیلی (نسبت توان هارمونیک سوم به توان نور اعمالی) نسبت به سایر منابع شده است. ماکزیم بهره توان تبدیلی محاسبه شده در این ساختار که در بخش ۳ محاسبه شده است، به ازای پارامترهای مهم شدت میدان ورودی 1 MW/cm^2 ، زمان آرامش حامل‌ها 3 ps و ضریب غیر خطی مرتبه سوم $3 \times 10^{-18} \text{ m}^2\text{V}^{-2}$ برابر -48.08 dB به دست آمده است. در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده قبلی، نقاط قوت و ضعف آنها اشاره شده است.

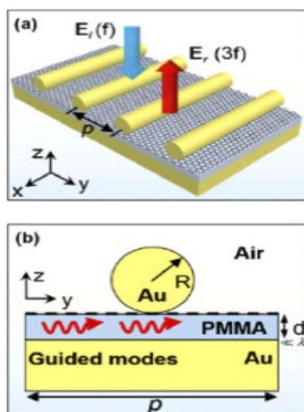
یکی از روش‌های متداول جهت تولید هارمونیک سوم استفاده از ساختار توری‌شکل است [۱]. در اینجا با اعمال یک میدان الکترومغناطیسی با دامنه 0.19 مگاوات بر سانتی‌متر مربع در فرکانس $10/48$ تراهرتز، هارمونیک سوم را محاسبه کرده است. ماکزیم بهره توان تبدیلی در این ساختار $64/34$ - دسی بل به دست آمده است [۱]. در این مقاله تأثیر پارامترهای مهمی مانند فرکانس ورودی، پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن و زمان آرامش حامل‌ها بررسی نشده است. همچنین ماکزیم بهره توان تبدیلی ساختار پیشنهادی از این مرجع بیشتر است. استفاده از نانو نوارهای گرافن به صورت پرپودیک روش دیگری جهت تولید هارمونیک سوم است. شکل (۱) چنین ساختاری را نشان می‌دهد. نانو نوار گرافن به صورت پرپودیک بر روی یک دی‌الکتریک غیرخطی قرار دارد و کل مجموعه بر روی یک بستر طلا قرار گرفته است. افزایش ضریب پذیرفتاری گرافن ($10^{-1} \times 1/3$) می‌تواند به طور چشمگیری بهره توان تبدیلی هارمونیک سوم را افزایش دهد. زیرلایه فلزی نیز می‌تواند به عنوان الکتروود گیت عمل کند تا از

طریق ولتاژ بایاس اعمال شده، انرژی فرمی قابل تنظیم باشد [۱۷]. نکته قابل توجه در این مقاله بهره بالای ساختار 26 - دسی بل است که ناشی از ضریب پذیرفتاری غیرخطی بسیار بزرگ در نظر گرفته شده برای گرافن بوده که $4/7 \times 10^7$ برابر ضریب پذیرفتاری ساختار پیشنهادی ما است. افزایش ضریب غیر خطی مرتبه سوم حتی با مقادیر کمتر توان ورودی، افزایش بهره توان تبدیلی را در پی خواهد داشت.

شکل (۲) ساختار جالبی جهت تولید هارمونیک سوم ارائه کرده است. این ساختار شامل یک لایه گرافن بر روی دی‌الکتریک با ضریب دی‌الکتریک $2/25$ بوده که روی زیرلایه‌ای از طلا قرار گرفته و بر روی گرافن استوانه‌هایی از طلا به صورت پرپودیک قرار دارند. نکته قابل توجه، استفاده از یک منبع میدان الکترومغناطیسی با فرکانس یک سوم فرکانس تشدید پلاسماون‌ها است؛ تا بتواند با استفاده از خاصیت غیرخطی گرافن فرکانس سه برابر فرکانس نور اعمالی تولید کرده و خود باعث افزایش تشدید و در نهایت افزایش هارمونیک سوم شود. ماکزیم بهره توان تبدیلی هارمونیک سوم در این ساختار $104/3$ - دسی بل است [۱۶]. در ساختار فوق توجه به این نکته حائز اهمیت است که به دلیل تلفات ساختار، به هر حال توان هارمونیک سوم تولید شده جهت تشدید بیشتر اثرات غیرخطی، از توان منبع اعمالی کمتر بوده و لذا ممکن است به عنوان یک منبع جهت ایجاد تشدید در ساختار از کارایی مناسبی برخوردار نباشد. همچنین استفاده از فلز نجیب طلا می‌تواند باعث تلفات در ساختار شود. نکته آخر اینکه طراحی هندسی چنین ساختارهایی مشکل است.



شکل (۱): ساختار تولید هارمونیک سوم توسط گرافن بستر توری [۹].



شکل (۲): (الف) ساختار تولید هارمونیک سوم، (ب) مقطع دوبعدی از ساختار [۱۶].

حامل‌ها بسیار کاهش خواهد یافت و لذا طول انتشار پلاریتون پلاسمون‌های سطحی به شدت کاهش یافته و تلفات افزایش می‌یابد که منجر به کاهش بهره توان هارمونیک سوم شده است. دوم، استفاده از فلزات نجیب در ساختارهای پلاسمونیک و در محدوده فرکانس تراهرتز و مادون قرمز باعث کاهش طول انتشار پلاریتون پلاسمون‌ها و افزایش تلفات می‌شود. در نهایت استفاده از منابع با شدت زیاد صرف نظر از مشکلات ساخت و تلفات زیاد آن‌ها، می‌تواند باعث افزایش توان هارمونیک سوم شود. جنبه‌های نوآوری در این مقاله در ادامه بیان می‌شود. همانگونه که در فوق نیز اشاره شد، استفاده از گرافن به صورت معلق می‌تواند تحرک حامل‌ها را به شدت افزایش داده و با افزایش رسانایی و کاهش تلفات، باعث افزایش توان هارمونیک سوم شود. مهمترین نوآوری در این مقاله، طراحی و شبیه‌سازی یک موجبر پلاسمونیک غیرخطی مبتنی بر یک لایه گرافن معلق جهت تولید و افزایش هارمونیک سوم است؛ که برای اولین بار پیشنهاد شده است. لذا با توجه به شناور بودن گرافن مقدار زمان آرامش حامل‌ها نسبت به سایر منابع بیشتر است. در نتیجه علاوه بر افزایش بهره توان تبدیلی سبب افزایش طول انتشار نیز می‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان‌دهنده بهبود قابل توجه بهره توان هارمونیک سوم نسبت به سایر مراجع است.

ادامه ساختار مقاله به صورت زیر است. در بخش دوم تئوری و مبنای فیزیکی ساختار پیشنهادی و هدایت خطی و غیرخطی گرافن مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین رابطه پراکندگی در یک ساختار مبتنی بر گرافن شناور به منظور بررسی حساسیت نور به صورت تئوری مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش سوم یک موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور جهت تولید و افزایش بهره توان هارمونیک سوم طراحی و با نرم‌افزار لومریکال شبیه‌سازی کرده‌ایم. نتایج شبیه‌سازی را با توجه به پارامترهای مختلف مورد بررسی قرار داده و در یک جدول با نتایج مراجع دیگر مقایسه کرده‌ایم. در نهایت در بخش چهارم نتیجه‌گیری مقاله ارائه شده است.

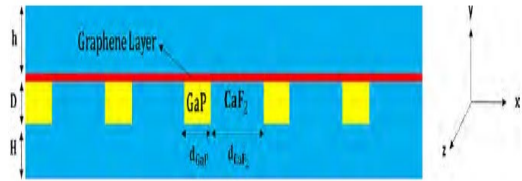
۲- تئوری و مبنای فیزیکی

در این بخش ساختار فیزیکی موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن معلق و مبنای نظری رسانایی سطحی در گرافن با توجه به پدیده پلاسمونیک ارائه شده و روش شبیه‌سازی و نرم‌افزار کاربردی به اختصار توضیح داده شده است.

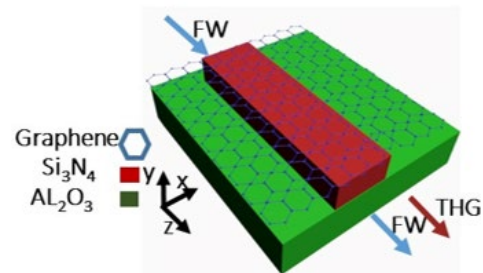
۲-۱- شماتیک سه‌بعدی موجبر پلاسمونیک مبتنی

بر گرافن معلق^۱ (SGPWG)

شماتیک سه‌بعدی (SGPWG) معلق پیشنهادی در شکل (۵-الف) نشان داده شده است. نمای مقطع سازه نیز در شکل (۵-ب) نشان داده



شکل (۳): تصویر شماتیک از فرا سطح پلاسمونیک بر اساس لایه گرافن قرار گرفته بر روی توری CaF_2 که شیارهای آن با GaP پر شده است [۱۷].



شکل (۴): شماتیک موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن [۱۸].

ساختار نشان داده شده در شکل (۳) شامل لایه‌های گرافن قرار گرفته بر روی یک توری تصادفی است که از مدهای پلاسمونیک موضعی اندرسون پشتیبانی می‌کند. در اینجا، ابتدا تولید هارمونیک سوم را در یک متاسطح پلاسمونیک متشکل از سه لایه از گرافن که بر روی توری کلسیم فلوراید (CaF_2) رسوب کرده و شیارهای آن با گالیم فسفید (GaP) پر شده، مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه تأثیر تصادفی بودن تراشه‌های CaF_2 بر THG را نشان داده که منجر به تولید مدهای موضعی اندرسون برای امواج SPP منتشر شده از طریق لایه گرافن می‌شود. در این تحقیق، تولید هارمونیک سوم در فرکانس‌های رزونانس مربوط به مدهای موضعی نسبت به ساختار تناوبی معمولی ۱۲۵ برابر قوی‌تر است. در اینجا افزایش بیشتر THG زمانی اتفاق می‌افتد که سه لایه از گرافن به جای توری دوره‌ای روی یک توری تصادفی قرار گیرد [۱۷]. نقطه قوت این تحقیق، بهره بالای این ساختار (۳۹/۰۳- دسی بل) است. اما شدت میدان اعمالی ۱۶ برابر ساختار پیشنهادی ما است. به تبع با افزایش توان ورودی می‌توان بهره توان هارمونیک تولیدی را افزایش داد. در شکل (۴) یک موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن جهت تولید هارمونیک سوم در محدوده طول موج مادون قرمز میانی ارائه شده است. در این ساختار از فرمول کوبو جهت رسانایی گرافن استفاده شده و تأثیر تغییر پارامترهای مهم ساختار بر روی توان هارمونیک سوم مورد بررسی قرار گرفته است. ماکزیمم بهره توان تبدیلی ۵۱/۰۶- دسی بل محاسبه شد. [۱۸]. مزیت ساختار فوق کار در ناحیه مادون قرمز میانی است. اما بهره توان تبدیلی آن از ساختار پیشنهادی ما کمتر است.

به طور کلی در ساختارهای فوق نکات زیر را باید مدنظر قرارداد. اول اینکه به دلیل قرار گرفتن گرافن بر روی زیر لایه، عملاً تحرک

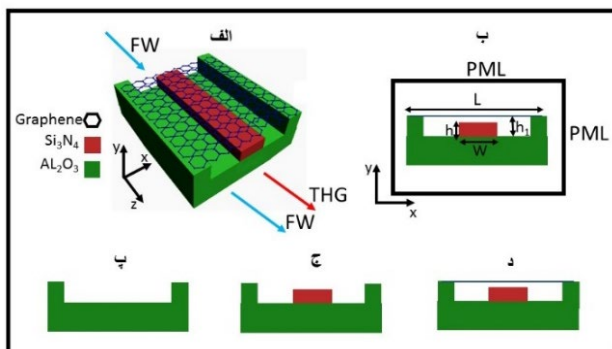
^۱ Suspended graphene plasmonic waveguide

$$\tau = \mu_c \mu_e / ev_f^2 \quad (4)$$

که در آن v_f سرعت فرمی و برابر 10^6 متر بر ثانیه و μ تحرک حامل‌های بار است. معمولاً تحرک حامل‌های بار در گرافن در حدود ۱ متر مربع بر ولت‌ثانیه در نظر گرفته می‌شود. در مطالعات اخیر برای ساختارهای پلاسمونیک مقدار μ تا ۱۰ مترمربع بر ولت‌ثانیه نیز گزارش شده است [۲۰]. به نظر می‌رسد این مقدار از μ برای یک لایه گرافن که بر روی یک بستر قرار گرفته است، یک فرض واقعی نیست. این حال تحرک حامل‌ها به بزرگی ۱۲ متر مربع بر ولت‌ثانیه برای یک لایه گرافن شناور با کیفیت بالا گزارش شده است [۱۹]. در ساختار پلاسمونیک ارائه شده در این مقاله مقدار تحرک حامل‌ها برای گرافن شناور برابر ۶ مترمربع بر ولت‌ثانیه در نظر گرفته شده که بسیار کمتر از مقادیر گزارش شده است. در شبیه‌سازی ما، مقدار پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن برابر 0.35 الکترون ولت می‌باشد، لذا مطابق (۴)، مقدار τ برابر $2/1$ پیکوثانیه به دست می‌آید. برای گرافن تک‌لایه، اگر فرکانس کاری کم باشد ($\hbar\omega < 2\mu_{cg}$) سرعت انتقال الکترون‌های بین‌باندی در مقایسه با درون باند کوچک خواهد بود، در نتیجه رسانایی مرتبه سوم با $1/\omega^3$ متناسب است، در حالیکه برای فرکانس‌های بالا ($\hbar\omega > 2\mu_{cg}$)، پدیده غالب انتقال بین‌باندی الکترون‌ها است و فرکانس رسانایی مرتبه سوم متناسب با $1/\omega^4$ خواهد بود [۹]. فرکانس کاری ما در محدوده تراهرتز پایین است، جایی که انتقال درون باند غالب است.

در محدوده THz و با استفاده از گرافن با دوپ متوسط، فقط عبارت درون باند در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه رسانایی غیرخطی گرافن از مدل درود استفاده شده است که برابر است با [۲۰]:

$$\sigma_3(\omega) = i \frac{3}{32} \frac{e^2}{\pi \hbar^2} \frac{(ev_f)^2}{\mu_c \omega^3} (1 - i\alpha_t) \quad (5)$$



شکل (۵): (الف) نمای سه‌بعدی ساختار موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور، (ب) نمای مقطع دو بعدی ساختار، (پ) الگوی بستر اکسید آلومینیوم واچ کردن قسمت وسط آن، (ج) قرار دادن لایه Si3N4 با استفاده از روش PECVD و اچ از طرفین، (د) انتقال گرافن بر روی لایه Si3N4.

شده است. همانطور که دیده می‌شود، یک برجستگی از Si_3N_4 با عرض W و ارتفاع h در وسط سازه قرار دارد. ورق گرافن معلق توسط برجستگی‌های دی‌اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) کمی بالاتر از هسته (در وسط) نگه داشته می‌شود. مراحل ممکن از فرآیند ساخت برای SGPWG پیشنهادی به طور خلاصه در شکل‌های (۵-پ، ج و د) نشان داده شده است. ابتدا یک بستر آلومینیومی با استفاده از لیتوگرافی پرتو الکترونی و به دنبال آن اچ کردن یون واکنشی^۱ (RIE) الگوبرداری می‌شود [۱۹]. در نتیجه دو برآمدگی آلومینیومی در دو طرف سازه تشکیل می‌شود (شکل ۵-پ). در مرحله بعد، لایه Si_3N_4 با ضخامت h_1 و به روش رسوب بخار شیمیایی استاندارد افزایش یافته با پلازما^۲ (PECVD) رشد می‌کند. لایه Si_3N_4 به گونه‌ای صیقل داده می‌شود که یک سطح صاف روی کل نمونه وجود دارد. با استفاده از فرآیند لیتوگرافی و به دنبال آن اچ کردن انتخابی Si_3N_4 قسمت میانی لایه Si_3N_4 نگه داشته می‌شود در حالی که کناره‌های Si_3N_4 حذف می‌شود (شکل ۵-ج). در نهایت، گرافن که قبلاً روی مس رشد کرده با استفاده از روش انتقال مرطوب روی لایه Si_3N_4 منتقل می‌شود [۲۰]. این مرحله همچنین می‌تواند با قرار دادن یک تک لایه گرافن لایه‌برداری شده مکانیکی در بالای نمونه انجام شود (شکل ۵-د) [۱۴].

۲-۲- هدایت نوری در گرافن

گرافن یکی از بهترین هادی‌های قابل کنترل است که تا به امروز کشف شده است. رسانایی الکتریکی بالای این ماده به دلیل پیکربندی باندهای انرژی آن است. نوارهای ظرفیت و رسانایی در گرافن مخروطی و روبه‌روی هم بوده و در نقاط دیراک بر یکدیگر مماس هستند. در واقع ناحیه بریلوئن به شکل شش‌ضلعی است که نقاط دیراک آن رؤس آن هستند [۱۲]. در سیستم‌های معمولی و واقعی، از مدل درود برای بیان رسانایی خطی گرافن استفاده می‌شود. ابتدا ضریب دی‌الکتریک مختلط برای گرافن را معرفی می‌کنیم که برابر است با [۱۲، ۲۷]:

$$\epsilon_g(\omega) = 1 + \frac{i\sigma(\omega)}{\omega\epsilon_0\Delta} \quad (1)$$

که در آن Δ ضخامت یک‌لایه گرافن و برابر با 0.34 نانومتر، σ رسانایی مختلط، ω فرکانس زاویه ای و ϵ_0 ثابت گذردهی خلا است. برای محاسبه سهم انتقال درون‌باند و بین‌باند در رسانایی مختلط گرافن، از فرمول معروف Kubo استفاده می‌کنیم [۱۲]:

$$\sigma_{intra}(\omega) = \frac{ie^2\mu_c}{\pi\hbar^2(\omega + i\tau^{-1})} \quad (2)$$

$$\sigma_{inter}(\omega) = \frac{ie^2}{4\pi\hbar} \ln \left(\frac{2|\mu_c| - \hbar(\omega + i\tau^{-1})}{2|\mu_c| + \hbar(\omega + i\tau^{-1})} \right) \quad (3)$$

که μ_c پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن و τ زمان استراحت حامل‌ها بوده و برابر است با:

² Plasma-enhanced chemical vapor deposition

¹ Reactive ion etching

که در آن ω و ω' فرکانس‌های زاویه‌ای سیگنال‌های پروب و پمپ و E دامنه میدان الکتریکی سیگنال پمپ است. با قرار دادن (۱۰) در (۹) و با فرض اینکه $k_0(N_{\text{eff}} + iK_{\text{eff}}) = q$ و پس از انجام ساده‌سازی‌ها (از آنجایی که d و K_{eff} بسیار کوچک هستند)، بخش‌های حقیقی و موهومی (۹) را می‌توان به صورت (۱۱) جدا کرد که در آن ثابت دی‌الکتریک زیرلایه به‌عنوان ϵ_1 در نظر گرفته می‌شود [۱۲]:

$$N_{\text{eff}} = \epsilon_0 \pi \hbar^2 \omega \frac{(P\omega - 2\pi \hbar^2 \tau^{-2} |\sigma_{NL}| |E|^2)}{(P^2 - 4\pi^2 \hbar^4 \tau^{-2} |\sigma_{NL}|^2 |E|^4)} \times \quad (12)$$

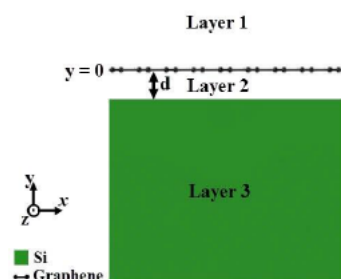
$$(\epsilon_{si} + 1) \frac{\tanh(k_0 N_{\text{eff}} d) + 1}{k_0 \epsilon_{si} \tanh(k_0 N_{\text{eff}} d) + k_0}$$

$$K_{\text{eff}} = \epsilon_0 \pi \hbar^2 \omega \tau^{-1} \frac{(P + 2\omega \pi \hbar^2 |\sigma_{NL}| |E|^2)}{(P^2 + 4\pi^2 \hbar^4 \tau^{-2} |\sigma_{NL}|^2 |E|^4)} (\epsilon_{si} + 1) \times \quad (12)$$

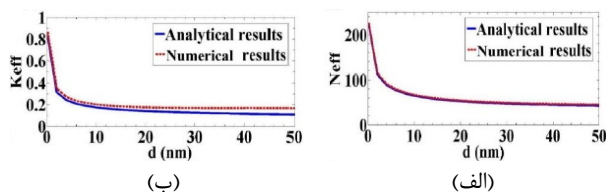
$$\frac{\tanh(k_0 N_{\text{eff}} d) + 1}{k_0 \epsilon_{si} \tanh(k_0 N_{\text{eff}} d) + k_0^2 \epsilon_{si} N_{\text{eff}} d + k_0 - \frac{k_0 \epsilon_{si} \tanh(k_0 N_{\text{eff}} d) + k_0}{\tanh(k_0 N_{\text{eff}} d) + 1}}$$

$$P = e^2 \mu_c - 2\pi \hbar^2 |\sigma_{NL}| |E|^2 \omega \quad (13)$$

بخش حقیقی و موهومی شاخص مؤثر در حالت غیرخطی به‌عنوان تابعی از d و در طول موج ۱۰ میکرومتر و پتانسیل شیمیایی ۰/۳۵ الکترون‌ولت محاسبه شده و به ترتیب در شکل‌های (۷-الف و ب) نشان داده شده است. دیده می‌شود که N_{eff} و K_{eff} با افزایش d کاهش می‌یابند. با توجه به (۱۱-۱۲)، می‌توان نتیجه گرفت که N_{eff} و K_{eff} با d رابطه معکوس دارند. هنگامی که d افزایش می‌یابد، برهم‌کنش بین GSP ها و بستر سیلیکونی کاهش می‌یابد و در نتیجه، GSPها ثابت دی‌الکتریک مؤثر زیر لایه را تجربه می‌کنند. همچنین مقادیر بزرگ N_{eff} در شکل (۷-الف) محصور شدن بالای GSPها را تایید می‌کند که باعث تحریک و انتشار پلاریتون پلاسمون‌های گرافن می‌شود [۱۲].



شکل (۶): ساختار مبتنی بر گرافن شناور [۱۲].



شکل (۷): محاسبه شاخص‌های مؤثر GSPهای معلق در حالت

غیرخطی به‌ازای تغییر شکاف بین لایه گرافن معلق و بستر سیلیکون.

(الف) قسمت حقیقی و (ب) قسمت موهومی [۱۲].

در اینجا α_t ضریب جذب دوفتون در گرافن بوده و برابر ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود [۱۹]. به طور معمول، دما در شبیه‌سازی‌های ما ۳۰۰ درجه کلوین در نظر گرفته شده است. اثرات غیرخطی گرافن به دلیل برهم‌کنش میدان نوری با الکترون‌های لایه بیرونی اتم‌های کربن است؛ بنابراین باعث حرکت الکترون نسبت به هسته می‌شود. در واقع این پدیده به دلیل دوقطبی‌های لحظه‌ای (قطبی شدن) است. حال، اگر این جابه‌جایی بزرگ باشد، قطبش الکترون غیرخطی بوده و با بسط تیلور به‌صورت زیر بیان می‌شود [۲۱]:

$$p = \epsilon_0 \chi^{(1)} E + \epsilon_0 \chi^{(2)} E^2 + \epsilon_0 \chi^{(3)} E^3 + \dots \quad (6)$$

پلاریزاسیون غیرخطی مرتبه سوم به شرح زیر است [۲۱]:

$$p^{(3)}(t) = \epsilon_0 \chi^{(3)} E^3(t) \quad (7)$$

با اعمال میدان الکتریکی تک فرکانس $E(t) = E \cos(\omega t)$ در (۷)، پلاریزاسیون غیرخطی مرتبه سوم به‌صورت زیر خواهد شد [۲۱]:

$$p^{(3)}(t) = \frac{1}{4} \chi^{(3)} E^3 \cos(3\omega t) + \frac{3}{4} \chi^{(3)} E^3 \cos(\omega t) \quad (8)$$

جمله اول در (۸)، میدانی با فرکانس 3ω را نشان می‌دهد که به دلیل اعمال میدان الکتریکی با فرکانس ω به یک ماده غیرخطی ایجاد شده است که منجر به پیدایش هارمونیک سوم می‌شود. با اعمال نور شدید، میدان بسیار قوی در ساختارهای پلاسمونیک ایجاد می‌شود که می‌تواند اثرات غیرخطی THG را افزایش دهد.

اگرچه موجبرهای پلاسمونیک به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۲۲]؛ اما پلاسمونیک‌های غیرخطی موجبر بر اساس گرافن شناور کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار پیشنهادی یک موجبر پلاسمونیک غیرخطی مبتنی بر گرافن شناور است که با نرم‌افزار Lumerical در بخش ۳ شبیه‌سازی شده است. استفاده از گرافن به‌عنوان یک ماده غیرخطی جدید در موجبرهای پلاسمونیک، ماده امیدوارکننده‌ای در توسعه فناوری‌های پیشرفته است که سرعت‌های فوق‌العاده سریع و ابعاد بسیار کوچک را ارائه می‌کنند.

۳-۲- پراکندگی غیرخطی در ساختار گرافن معلق

شماتیک ساختار مبتنی بر گرافن معلق که در جهت‌های x و z ثابت است در شکل (۶) نشان داده شده است [۱۲]. ساختار شامل گرافن، فاصله هوایی، و زیر لایه است. با فرض انتشار در جهت z ، میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی مد TM در لایه‌های مختلف را می‌توان با استفاده از معادلات ماکسول محاسبه کرد. رابطه پراکندگی ساختار چندلایه به‌صورت زیر است [۱۲]:

$$\frac{-i \sigma q}{\omega \epsilon_0} = 1 + \frac{\tanh(qd) + \epsilon_{si}}{\epsilon_{si} \tanh(qd) + 1} \quad (9)$$

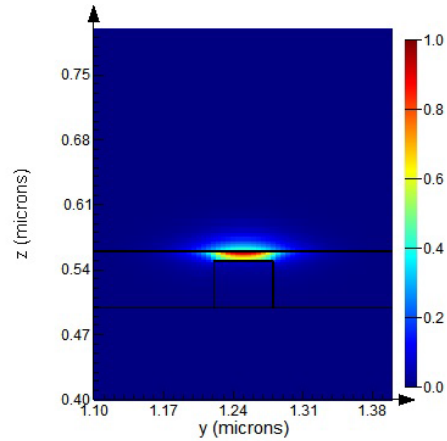
حال می‌خواهیم از عبارات بالا برای استخراج رابطه پراکندگی GSPهای شناور در حالت غیرخطی استفاده کنیم. رسانایی کل گرافن را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد [۱۲]:

$$\sigma(\omega, \omega') = \sigma_{\text{intra}}(\omega) + 2\sigma_{NL}(\omega') |E|^2 \quad (10)$$

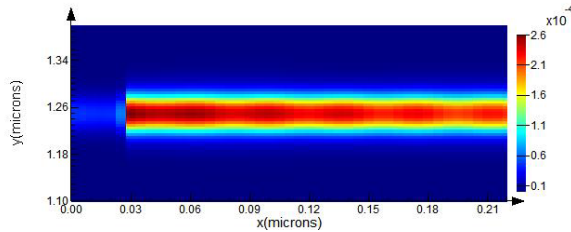
۳- طراحی موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور برای تولید هارمونیک سوم

در این بخش، ساختار موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن معلق برای بهبود قابل توجه THG طراحی و با نرم افزار لومریکال شبیه سازی شده است. همچنین تأثیر تغییر پارامترهای مختلف بر روی بهره توان هارمونیک سوم مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار پیشنهادی در شکل (۵) نشان داده شده است؛ بخش (الف) نمودار سه بعدی و قسمت (ب) یک مقطع دوبعدی از یک موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور (SGPWG) برای تولید هارمونیک سوم در محدوده THz را نشان می دهد. ساختار پیشنهادی از زیر لایه های از Al_2O_3 تشکیل شده است و روی زیر لایه، لایه ای از دی الکتریک Si_3N_4 قرار دارد. لازم به ذکر است که ضریب شکست Si_3N_4 و Al_2O_3 ، طبق فرمول پالیک برای محدوده فرکانس کاری $37/7 - 38/7$ تراهرتز به صورت عددی بهینه شده است [۲۵]. در نهایت یک لایه گرافن بر روی دی الکتریک Si_3N_4 قرار می گیرد. همان طور که مشاهده می شود یک فاصله ای بین هسته و گرافن در وسط ساختار وجود دارد. پارامترهای هندسی به صورت $h=50nm$ ، $h_1=60nm$ ، $w=60nm$ در نظر گرفته شده است. جهت پیشگیری از تأثیر برجسته گی های کناری بر روی مد اصلی هسته، مقدار $l=1.2\mu m$ در نظر گرفته شده است. شبیه سازی به صورت سه بعدی با تکنیک FDTD انجام شده است. در این ساختار، ضریب شکست خطی (طبق فرمول Kubo) و ضریب غیر خطی مرتبه سوم (حساسیت) گرافن برابر $\chi^{(3)} = 3 \times 10^{-18} m^2 V^{-2}$ اعمال می شود [۱۸ و ۲۶]؛ جایی که ما هارمونیک سوم را در پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن $\mu_{eg} = 0.35eV$ محاسبه می کنیم. یک منبع مد نوری در جهت x به سازه اعمال شده و ابعاد سازه برای حداکثر توان THG تنظیم می گردد. بنابراین پروفیل مد میدان الکتریکی به دست آمده و در شکل (۸) نشان داده شده است.

در این مقاله، پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن $\mu_{eg} = 0.35eV$ و شدت نور اعمال شده برابر با $I=0.1 MW/cm^2$ ، بازای فرکانس ورودی $f_{in}=37.7THz$ در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی خواص انتقال و بازتاب سازه، از یک لایه تطبیق کامل (PML) به عنوان لایه مرزی در جهت z استفاده شده است. با اعمال نور فرودی، پلاسمون ها (مطابق شکل (۹) و بحثی که در قسمت ۲-۲ انجام شد) تحریک شده و در طول موجبر منتشر می شوند. تولید هارمونیک سوم در گرافن عمدتاً تحت تأثیر سه عامل قرار می گیرد. باتوجه به (۵)، پتانسیل الکتروشیمیایی کمتر گرافن باعث رسانایی غیر خطی مرتبه سوم قوی تر گرافن می شود. لذا پاسخ غیر خطی قوی تری برای گرافن با سطوح فرمی پایین تر انتظار می رود، و عمدتاً به این دلیل است که برای عملکرد در ناحیه ی غیر خطی، کل انرژی به دست آمده توسط الکترون ها در گرافن تحت اعمال نور با شدت بالا باید در مقایسه با میانگین انرژی فرمی آنها به اندازه کافی بزرگ باشد. عامل بعدی در تولید هارمونیک سوم قوی، شدت میدان الکترومغناطیسی اعمال شده (I_{FW}) است.



شکل (۸): پروفایل مد میدان موجبر پلاسمونیک گرافن شناور



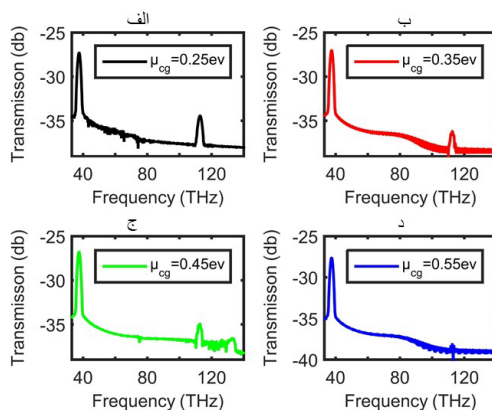
شکل (۹): تحریک پلاسمونها و انتشار آنها بر روی سطح گرافن در موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور

۴-۲- مبنای شبیه سازی

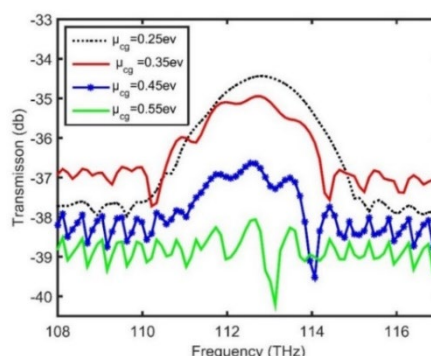
جهت طراحی ادوات نوری و افزاره های نانوفتونیک مانند سوئیچ های پلاسمونیک، موجبرهای پلاسمونیک، گیت های منطقی، تشدیدگرها و... در اندازه های نانومتر و بررسی توزیع مد و رفتار پلاسمونیک، حل عددی معادلات ماکسول ضروری است. به طور معمول، از روش دامنه زمانی تفاضل محدود، FDTD، برای تجزیه و تحلیل امواج الکترومغناطیسی در ساختارهای پلاسمونیک پیچیده استفاده می شود [۲۳]. تحلیل مودال و انتقال و انعکاس موجبرها به روش عددی در حوزه فرکانس و زمان در این کار انجام شده است. در روش عددی، ساختار پیشنهادی مورد نظر به یک شبکه مربع تقسیم شده و برای پارامترهای محیط، تقریب پله ای در نظر گرفته می شود [۲۳]. همچنین میدان های الکترومغناطیسی گسسته شده و معادلات ماکسول با تقریب محافظه کارانه آنها جایگزین شده و میدان های الکترومغناطیسی در طول زمان محاسبه می شوند [۲۴]. این روش به صورت شرطی پایدار است و به طور کلی مشکل همگرایی ندارد. نرم افزار Lumerical، این روش را به خوبی پشتیبانی می کند. در این مقاله از نرم افزار Lumerical برای شبیه سازی استفاده شده است. نکته مهم در شبیه سازی استفاده از مش بندی مناسب است، به این معنی که ابعاد مشبک سازی کوچک تر باعث شبیه سازی دقیق تر و در عین حال باعث افزایش زمان شبیه سازی شده و نیاز به حافظه بیشتری دارد. کاهش اندازه مش به خصوص در شبیه سازی سه بعدی، زمان شبیه سازی را به شدت افزایش می دهد. شبیه سازی ما به صورت سه بعدی با مش بندی مناسب انجام شده است.

در واقع، اثرات غیرخطی در شدت نور اعمال شده زیاد فعال می‌شوند، از آنجایی که اثرات غیرخطی نتیجه برهم‌کنش فوتون با فوتون است، ذاتاً ضعیف هستند بنابراین شدت نور بالاتر، اثر غیرخطی را افزایش می‌دهد و به نوبه خود THG بالاتری را تحریک می‌کند. سومین عامل مؤثر در THG فرکانس نور اعمال شده (f_{FW}) است. طبق (۵)، در فرکانس بالاتر میدان اعمال شده، رسانایی مرتبه سوم پایین‌تری در گرافن مشاهده می‌شود، در نتیجه THG کاهش می‌یابد. ما این سه عامل را با شبیه‌سازی ساختار شکل (۵) در محیط FDTD بررسی کرده‌ایم. شکل (۱۰) طیف‌های انتقال را به ازای مقادیر مختلف پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن نشان می‌دهد. نمودارهای هارمونیک سوم و فرکانس اصلی را می‌توان به وضوح مشاهده کرد. جهت بهتر دیده شدن تغییرات طیف توان هارمونیک سوم، در شکل (۱۱) طیف توان هارمونیک سوم به ازای مقادیر مختلف پتانسیل الکتروشیمیایی جهت مقایسه آورده شده است. همانگونه که انتظار می‌رفت، مطابق (۵) مشاهده می‌شود که با افزایش پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن (μ_{cg}) و کاهش رسانایی آن، توان خروجی THG کاهش می‌یابد. بنابراین با تنظیم پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن می‌توان قدرت THG را کنترل کرد. در مرحله بعد با تغییر فرکانس نور ورودی و با شبیه‌سازی سه‌بعدی، THG مربوطه را به دست آورده‌ایم. شبیه‌سازی‌ها برای فرکانس‌های 35.5 و 36.5 و 37.5 و 38.5 THz انجام شده است. نتایج شبیه‌سازی در شکل (۱۲) آورده شده است. در اینجا نیز انتظار ما بر آورده‌شد. مطابق (۵) دیده می‌شود با افزایش فرکانس ورودی، توان هارمونیک سوم کاهش می‌یابد. در مرحله آخر تغییرات توان هارمونیک سوم را به‌ازای تغییر توان ورودی بررسی می‌کنیم. شکل (۱۳)، THG را برای تغییر توان ورودی نشان می‌دهد. با تغییر توان ورودی، THG نیز متناسب با آن تغییر می‌کند.

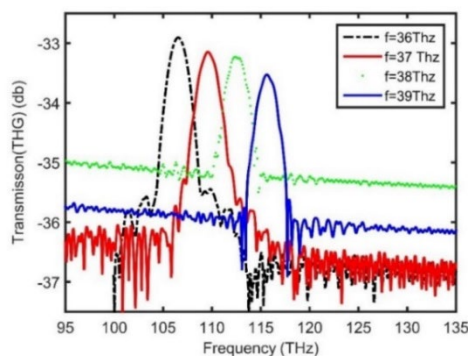
برای درک بهتر توان هارمونیک سوم تولید شده، از مفهوم راندمان توان تبدیلی (CE) استفاده می‌کنیم که به‌صورت $CE = 10 \log(p_{out_{TH}}/p_{in_{FW}})$ تعریف شده است [۹]؛ که در آن $p_{out_{TH}}$ توان هارمونیک سوم در فرکانس 3ω و $p_{in_{FW}}$ توان ورودی در فرکانس ω است. شکل (۱۴-الف) بهره توان تبدیلی را به ازای تغییرات پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن، شکل (۱۴-ب) بهره توان تبدیلی را به ازای تغییرات فرکانس ورودی و شکل (۱۴-ج) تغییرات بهره توان را نسبت به توان ورودی نشان می‌دهد. ماکزیمم بهره توان تبدیلی محاسبه شده در این ساختار به ازای پارامترهای مهم شدت میدان ورودی ۱ مگاوات بر سانتی‌متر مربع، زمان آرامش حامل‌ها ۳ پیکوثانیه و ضریب غیر خطی مرتبه سوم 3×10^{-18} مترمربع بر مربع ولت، برابر $48/08$ دسی‌بل به‌دست آمده است. بررسی اثر زمان استراحت حامل‌ها τ بر توان خروجی نتایج جالبی را نشان می‌دهد. مطابق (۲) با افزایش τ ، رسانایی گرافن نیز افزایش می‌یابد و باعث کاهش تلفات می‌شود و در نهایت توان خروجی را افزایش می‌دهد. همچنین، اگر τ کمتر از حد (0.1 پیکوثانیه) باشد، تلفات گرافن قلیل‌توجه خواهد بود و عملیات



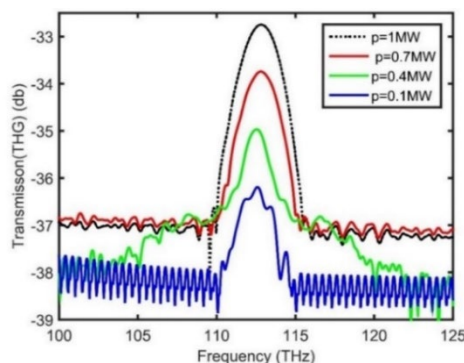
شکل (۱۰): طیف انتقال در SGPWG بر حسب پتانسیل الکتروشیمیایی: (الف) $\mu_{cg}=0.25\text{eV}$ (ب) $\mu_{cg}=0.35\text{eV}$ (ج) $\mu_{cg}=0.45\text{eV}$ (د) $\mu_{cg}=0.55\text{eV}$



شکل (۱۱): طیف توان های انتقال در SGPWG به ازای مقادیر مختلف پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن.

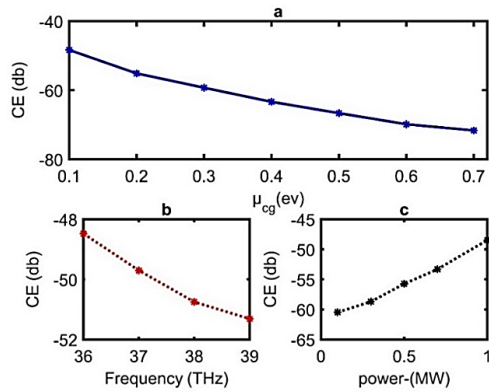


شکل (۱۲): طیف انتقال هارمونیک سوم به ازای مقادیر مختلف فرکانس ورودی.

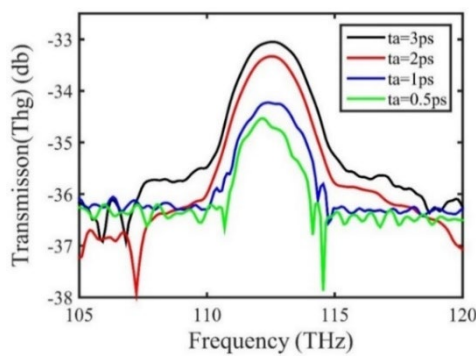


شکل (۱۳): طیف توان های انتقال به ازای مقادیر مختلف توان ورودی.





شکل (۱۴): بهره توان تبدیل (CE): (الف) بر حسب پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن μ_{cg} ، (ب) بر حسب فرکانس ورودی f_{FW} و (ج) بر حسب توان ورودی P_{FW} .



شکل (۱۵): طیف THG بر حسب زمان آرامش حامل $\tau = 0.5, 1, 2, 3ps$

جدول (۱): مقایسه حداکثر بازده تبدیل (MCE)

| منبع | سال | I (MW/cm^2) | μ_{cg} (eV) | τ (ps) | $\chi^{(3)}$ (m^2V^{-2}) | MCE (db) |
|-----------|------|----------------------|------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------|
| [۹] | ۲۰۱۶ | ۰/۱ | ۰/۴ | ۳ | $11/4 \times 10^{-14}$ | -۱۳۵ |
| [۷] | ۲۰۱۷ | ۰/۳ | ۰/۳ | ۰/۵ | $1/3 \times 10^{-10}$ | -۲۶ |
| [۱] | ۲۰۱۸ | ۰/۱۹ | ۰/۶۵ | ۰/۵ | نامشخص | -۶۴/۳۴ |
| [۱۶] | ۲۰۲۰ | ۲/۳ | ۰/۳ | ۱۰ | نامشخص | -۱۰۴/۳ |
| [۱۷] | ۲۰۲۳ | ۱۶ | ۰/۵۵ | نامشخص | نامشخص | -۳۹/۰۳ |
| این مقاله | ۲۰۲۴ | ۱ | ۰/۳۵ | ۰/۵ | 3×10^{-18} | -۴۸/۰۸ |

مراجع

- [1] J. Li, T. Zhang, L. Chen, " High-Efficiency Plasmonic Third-Harmonic Generation with Graphene on a Silicon Diffractive Grating in Mid-infrared Region", Nano Express, vol. 13, no. 338, 25 October 2018, (doi:10.1186/s11671-018-2750-8).
- [2] Z. Wang, V. Kalathingal, Y. Wei Ho, T X. Hoang, H. Chu, Y. Guo, J C. Viana-Gomes, G. Eda, C. A. Nijhuis, "Phase Matching via Plasmonic Modal Dispersion for Third Harmonic Generation", Advanced Science published by Wiley-VCH GmbH, Volume 9, no 21, 25 July 2022, (doi: 10.1002/advs.202201180).

غیرخطی احتمالاً به منابع با شدت بسیار زیاد و احتمالاً غیرقابل دسترس نیاز خواهد داشت. در این مقاله با شبیه‌سازی موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور، اثر تغییر τ را در شکل (۱۵) بررسی کرده‌ایم. همان‌طور که انتظار داشتیم با افزایش زمان آرامش حامل‌ها، توان خروجی افزایش می‌یابد.

در نهایت، با مقایسه بهره THG سازه پیشنهادی با مقالات اخیر، می‌توان کارایی سازه را بهتر تجسم کرد. این موضوع در جدول (۱) قابل مشاهده است. نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای ساختار پیشنهادی نسبت به سایر منابع است. لازم به ذکر است که برای هر مرجع حداکثر توان به دست آمده درج شده است. با توجه به اینکه نتایج این مقالات مطابق با پارامترهای مختلف موجود در آن‌ها است، لذا در این جدول مرتبط‌ترین پارامترها که شامل ضریب شکست غیرخطی مرتبه سوم، شدت نور ورودی، پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن و زمان استراحت حامل‌ها می‌باشد، آورده شده است. هرچند به نظر می‌رسد بهترین گزینه برای مقایسه ماکزیمم بهره توان تبدیلی^۱ (نسبت ماکزیمم توان خروجی هارمونیک سوم به توان ورودی) در مراجع مختلف است. نکته قابل توجه در جدول فوق، بهره بالای [۱۷، ۷] است. در [۱۷]، به نظر می‌رسد بهره تبدیلی بالا به دلیل شدت بالای نور ورودی (۱۶ مگاوات بر سانتی متر مربع) است که ۱۶ برابر شدت نور در این مقاله است. طبیعی است که به ازای شدت میدان اعمالی بیشتر، توان هارمونیک سوم تولیدی افزایش یافته و در نهایت، بهره توان تبدیلی نیز زیاد خواهد شد. در [۷]، نکته قابل توجه اعمال ضریب غیرخطی بزرگ 10×10^7 است که $4/7 \times 10^7$ برابر ضریب غیرخطی این مقاله است. این نکته حائز اهمیت است که به ازای ضریب غیرخطی بیشتر، حتی با شدت نور کمتر نیز می‌توان بهره توان تبدیلی را افزایش داد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک موجبر پلاسمونیک مبتنی بر گرافن شناور جهت تولید هارمونیک سوم در محدوده تراهرتز پیشنهاد شده که عملکرد آن بر اساس خواص غیرخطی مرتبه سوم گرافن است. در این مقاله بهره توان تبدیلی در حدود $48/08$ دسی‌بل محاسبه شد که در مقایسه با سایر منابع افزایش داشته است. مشاهده گردید که برای پتانسیل الکتروشیمیایی مختلف گرافن، توان خروجی THG تغییر می‌کند، بالاترین مقدار توان خروجی در فرکانس ورودی $37/7$ تراهرتز و در پتانسیل الکتروشیمیایی گرافن $0/35$ الکترون‌ولت به دست آمد. اثرات تغییر فرکانس ورودی و توان ورودی نیز در نظر گرفته شد، در واقع، افزایش/کاهش توان ورودی باعث افزایش/کاهش توان خروجی می‌شود. از طرف دیگر، توان خروجی THG با فرکانس ورودی نسبت عکس دارد و با افزایش فرکانس ورودی، توان خروجی کاهش می‌یابد.

¹ Maximum conversion efficiency (MCE)

- plasmonic Anderson localized states", *Optics & Laser Technology*, Vol. 161, June 2023, 109123, (doi.org/10.1016/j.optlastec.2023.109123).
- [18] M.J. Rahimzadeh, R.Ghayour, M.Mohitpour, "Enhancing third harmonic generation using a mid-infrared graphene plasmonic waveguide", *Optical and Quantum Electronics*, Vol. 55, September 2023, (doi.org/10.1007/s11082-023-05256-z).
- [19] Z. Qi, Z. Zhu, W. Xu, J. Zhang, C. Guo, K. Liu, X. Yuan, S. Qin, "Electrically tuneable directional coupling and switching based on multimode interference effect in dielectric loaded graphene plasmon waveguides", *Journal of Optics*, Vol. 18, no. 6 18, 2016, (doi.10.1088/2040-8978/18/6/065003).
- [20] J. Cardenas, C.B. Poitras, J.T. Robinson, K. Preston, L. Chen, M. Lipson, "Low loss etchless silicon photonic waveguides", *Opt. Express*, Vol. 17, no. 6, pp. 4752-4757, 2009, (doi. 10.1364/oe.17.004752).
- [21] R. W. Boyd, "Nonlinear Optics", Third Edition, 28 March, 2008, Elsevier.
- [22] W. Xu, Z. H. Zhu, K. Liu, J. F. Zhang, X. D. Yuan, Q. S. Lu, and S. Q. Qin, "Dielectric loaded graphene plasmon waveguide", *Optics Express*, Vol. 23, no. 4, pp. 5147-5153, 2015, (doi.10.1364/OE.23.005147).
- [23] U. S. Inan, R. A. Marshall, "Numerical Electromagnetics", Cambridge University Press, June 2012, (doi.10.1017/CBO9780511921353).
- [24] S. D. Gedney, "Introduction to the Finite-Difference Time – Domain (FDTD) method for electromagnetic" , Morgan & Claypool, 2011.
- [25] <https://refractiveindex.info>, Kischkat et al. 2012.
- [26] C. JL, Ve.N, S. JE. "Third order optical nonlinearity of graphene", *New Journal of Physics*, Volume. 16, May 2014, (doi.10.1088/1367-2630/16/5/053014).
- [27] M. Katebi Jahromi, R. Ghayour, Z. Adelpour, 2021, , " Modeling electric field increment in the Tip-Enhanced Raman Spectroscopy by using grating on the probe of atomic force nanoscope," , *Optical and Quantum Electronics*, vol. 53, Pages.1-19.
- [3] C H. Costa, LFC. Pereira, G. Bezerra, "Light propagation in quasiperiodic dielectric multilayers separated by graphene", *Phys. Rev*, Vol. 96, pp. 12–15 September 2017, (doi.org/10.1103/PhysRevB.96.125412).
- [4] A. H. Castro Neto, F. Guinea, N. M. R. Peres, K. S. Novoselov, A. K. Geim, "The electronic properties of graphene", *Rev. Mod. Phys*, Vol. 81, no. 1, pp. 109–162, January - March 2009, (doi:10.1103/RevModPhys.81.109).
- [5] C. Beckerleg, J. C.Thomas, I. Zeimpekis, M. H.Samuel,C. Chris, W.H. Daniel, E. Hendry, "Cavity enhanced third harmonic generation in graphene", *Applied Physics Letters*, Vol. 112, no. 1, pp. 11102-11106, January 2018, (<https://doi.org/10.1038/s41565-018-0145-8>).
- [6] W. Yindi, L. Hongxia , W. Shulong , C. Ming , Z. Haifeng , Q. Yanbin "Electrical Phase Control Based on Graphene Surface Plasmon Polaritons in Mid-infrared", *Nanomaterials*, Vol. 10, March 2020, (doi:10.3390/nano10030576).
- [7] B. Jin1, T. Guo, C. Argyropoulos, "Enhanced third harmonic generation with graphene metasurfaces", *Journal of Optics*, Vol. 19, no. 919, pp. 345-349, 2017, (doi.org/10.1088/2040-8986/aa8280).
- [8] N. A. Savostianova, S. A. Mikhailov, "Third harmonic generation from graphene lying on different substrates: optical-phonon resonances and terference effects", *Optics Express*, VOL. 25, PP. 3268-3285, 2017, (doi.org/10.1364/OE.25.003268).
- [9] H. Nasari, M. S. Abrishamian, "Electrically tunable, plasmon resonance enhanced,terahertz third harmonic generation via graphene", *RSC Adv*,VOL. 6, PP. 50190-50200. 2016, (doi: 10.1039/c6ra08086c).
- [10] J. Wu, S. Guo, Z. Li, X. Li, H. Xue, Z. Wang, "Graphene Hybrid Surface Plasmon Waveguide with Low Loss Transmission", *Plasmonics*, March 2021, (doi.org/10.1007/s11468-020-01181-z).
- [11] A.N. Grigorenko, M. Polini, K.S. Novoselov, "Graphene plasmonics", *Nature Photonics*, vol. 6, PP. 749–758, 2012, (doi:10.1038/NPHOTON.2012.262).
- [12]] S. Bahadori-Haghighi, R. Ghayour, M. H. Sheikhi, "Design and analysis of low loss plasmonic waveguide and directional coupler based on pattern-free suspended graphene sheets", *Carbon*, Vol. 129,no. 129, pp. 653-660, 2018, (doi.org/10.1016/j.carbon.2017.12.066).
- [13] K.I. Bolotin, K.J. Sikes, J. Hone, H.L. Stormer, P. Kim, "Temperature-dependent transport in suspended graphene", *Phys. Rev. Lett.* 101, (2008) 096802, (doi.org/10.1103/PhysRevLett.101.096802).
- [14] K.I. Bolotin, K.J. Sikes, Z. Jiang, M. Klima, G. Fudenberg, J. Hone, P. Kim, H.L. Stormer, "Ultrahigh electron mobility in suspended graphene, *Solid State Commun*", VoL. 146, PP. 9–10, Pages 351-355146, 2008, (doi:10.1016/j.ssc.2008.02.024).
- [15] K.I. Bolotin, K.J. Sikes, Z. Jiang, M. Klima, G. Fudenberg, J. Hone, P. Kim, H.L. Stormer, "Ultrahigh electron mobility in suspended graphene, *Solid State Commun*", VoL. 146, PP. 9–10, Pages 351-355146, 2008, (doi:10.1016/j.ssc.2008.02.024).
- [16] Y. LIU, S. ZHU, Q. ZHOU, Y. CAO, Y. FU, L. GAO, H. CHEN, Y. XU, "Enhanced third-harmonic generation induced by nonlinear field resonances in plasmonic-graphene metasurfaces", *Optics Express*, Vol. 28, No. 9, 27 April 2020, (doi.org/10.1364/OE.391294).
- [17] M.Sedaghat Nejad, M.Ghasempour Ardakani, "Significant enhancement of third harmonic generation in graphene layers placed on a random grating supporting

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>





Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA)

Volume 1, Issue 4, Winter 2024

Papers List

| <u>Number</u> | <u>Paper title/Authors</u> | <u>Page</u> |
|---------------|---|-------------|
| 1 | Brain Tumor Detection in Magnetic Resonance Imaging by Deep Convolutional Neural Network Mitra Afsarnejad, Nabiollah Shiri, Ramin Barati | 1 |
| 2 | The application of Internet of Things in smart health and fitness Razieh Shirdel, Zahra Maghsoodzadeh Sarvestani | 10 |
| 3 | Biasing recommendation algorithms due to users' rating behavior in online social networks Mehdi Safarpour, S. Hadi Yaghoubyan, Karamollah BagheriFard, Razieh Malekhoseini, Samad Nejatian | 17 |
| 4 | Automatic Localization of Carvanserai in satellite Images using Image Processing Techniques based on Deep Learning Mohammad Hossein Salari, Mohammad Amin Shayegan, Farnaz Faraji | 26 |
| 5 | Improving Web Recommender Systems Using Feature Engineering to Predict Users' Next Links Vahid Saffari, KaramAllah Bagherifard, Hamid Parvin, Samad Nejatian, Vahideh Rezaie | 39 |
| 6 | Design and simulation of plasmonic structure based on suspended graphene sheets for enhancing third harmonic generation Mohammad Javad Rahimzadeh, Rahim Ghayour, Maryam Mohitpour | 47 |



Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA) Editorial Board

| | | |
|-------------------------------|------------------------------------|---|
| Director-in-Charge | Hamed Agahi | Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran |
| Editor-in-Chief | Taher Niknam | Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran |
| Internal Manager | Zahra Maghsoodzadeh | Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran |
| <u>Editorial Board</u> | | |
| <i>Professor</i> | Taher Niknam | Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran |
| <i>Professor</i> | Rahim Ghayour | Shiraz University, Shiraz, Iran |
| <i>Professor</i> | Habibollah Abiri | Shiraz University, Shiraz, Iran |
| <i>Professor</i> | Hamid Khaloozadeh | K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran |
| <i>Professor</i> | Asghar Keshtkar | Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran |
| <i>Professor</i> | Mohammad Bagher Menhaj | Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran |
| <i>Professor</i> | Mohammad Naser Moghadasi | Islamic Azad University, S&R Branch, Tehran, Iran |
| <i>Professor</i> | Hasan Tavakoli | Baqiyatollah University of Medical Sciences, Tehran, Iran |
| <i>Professor</i> | Seyedebrahim Afjeii | Shahid Beheshti University, Tehran, Iran |
| <i>Associate Professor</i> | Hamed Agahi | Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran |
| <i>Associate Professor</i> | Ahmad Fakharian | Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran |
| <i>Associate Professor</i> | Amir-Masud Eftekhari-Moghadam | Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran |
| <i>Associate Professor</i> | Majid Ebnali | Shahrekord University |
| <i>Associate Professor</i> | Mohammad Sadegh Javadi Estahbanati | Islamic Azad University, Shiraz Branch, Shiraz, Iran |



Islamic Azad University , Shiraz Branch
Journal of Circuits, Data and Systems Analysis



نشریه تحلیل مدارها، داده ها و سامانه ها

Journal of Circuits, Data & Systems Analysis

