فصلنامه مهندسی مدیریت نوین
سال دهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳

پیش‌بینی انتخاب محصول توسط مشتریان مبتنی بر بازاریابی عصبی با الگوریتم هوش جمعی سالپ آشوبی

مرضیه ملکی[۱]، زهرا دشت لعلی[۲]

چکیده

تعیین الگوی تصمیم‌گیری مشتریان در خرید محصولات یکی از موارد مهم در بازاریابی است و هدف از مقاله، ارائۀ راهکار جدید در بازاریابی عصبی در پیش‌بینی انتخاب محصولات توسط مشتریان است. در این تحقیق سیگنال‌های مغزی از بیست‌وپنج نفر شرکت‌کننده با محدودۀ سنی ۱۸ تا ۳۸ سال در زمان مشاهده ۱۴ محصول مختلف استفاده‌شده است که گروه اول شامل ۱۰ مرد و ۶ زن با گسترۀ سنی ۱۸ تا ۲۳ سال، گروه دوم شامل ۸ مرد و ۵ زن با گسترۀ سنی ۲۵ تا ۳۰ سال و گروه سوم شامل ۷ مرد و ۴ زن با گسترۀ سنی ۳۱ تا ۳۸ سال بودند. برای انتخاب ویژگی در این مقاله الگوریتم جدیدی مبتنی بر هوش جمعی سالپ آشوبی ارائه‌شده است که می‌تواند با قدرت جستجوی بالا، ویژگی‌های مؤثر را مشخص نماید و برای پیش‌بینی نهایی از طبقه بندهای مختلف در قالب یادگیری چندتایی استفاده‌شده است. در مدل پیشنهادی، از روش طیف‌های مرتبه بالا در استخراج ویژگی‌ها از سیگنال مغزی استفاده‌شده که شامل بیش از هفتصد ویژگی است و سپس انتخاب ویژگی با الگوریتم هوش جمعی سالپ پیشنهادی تعداد ویژگی‌ها از ۷۴۲ به ۱۹۸ کاهش یافته است. نتایج نشان داده است که مدل پیشنهادی توانسته به‌طور میانگین در تشخیص انتخاب کاربران در همه محصولات دقت ۷۵/۹۹ درصد داشته باشد که نشان‌دهنده بهبود ۳/۷۵ درصدی نتایج نسبت به تحقیقات مشابه است.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی، الگوریتم فراابتکاری، انتخاب ویژگی، یادگیری ماشین

طبقه بندی موضوعی: L11, C31

---

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مدیریت، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

۲ استادیار گروه مدیریت، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران (نویسنده مسئول)

zahra.dashtlaali@gmail.com

تاریخ وصول ۱۴۰۲/۵/۸ **تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۱۰/۱۸**

مقدمه

مهم‌ترین نیازمندی فروش در محصولات، دانستن سلایق مشتریان و انتخاب‌های آن‌ها است و بازاریابی عصبی نقطهٔ عطفی در بهبود بازارهای جهانی محسوب می‌شود اما موانع و محدودیت‌هایی دارد که شامل خطای روش‌های یادگیری ماشین در بازشناسی الگو سیگنال‌های مغزی است که ایجاب می‌کند که راهکارهای مختلف بهبود یادگیری ماشین بررسی شود و به ارائهٔ مدل کارا در بازاریابی عصبی پرداخته شود (Bigne & Chatzipanagiotou, 2020) در این خصوص استخراج و انتخاب ویژگی از سیگنال‌های مغزی اهمیت بالایی داشته و روش‌های مختلف در این خصوص ارائه‌شده است (Hosseini & Houshmand, 2022) اما هنوز این روش‌ها می‌توانند ارتقا یابند و با دقت بالاتری ویژگی‌های مطلوب در سیگنال‌ها را مشخص کنند؛ بنابراین با توجه به‌ضرورت و اهمیت انتخاب ویژگی در یادگیری ماشین، در این مقاله به ارائهٔ راهکاری جدید پرداخته شده است.

درواقع شکاف تحقیقات در حوزهٔ پیش‌بینی رفتار مشتریان، ارائهٔ روشی کارا در انتخاب ویژگی است زیرا تعداد زیاد سیگنال‌های مغزی شامل ویژگی‌های متعدد است و بدون انتخاب ویژگی مؤثر، یادگیری ماشین با خطا همراه است و نتیجهٔ پیش‌بینی دقت کافی را ندارد.

مقالات بازاریابی عصبی یکی از موضوعات روز در کاربردهای مختلف است و در آن با استفاده از یادگیری ماشین به ارائهٔ راهکارهای جدید پرداخته می‌شود. درواقع با استفاده از یادگیری ماشین می‌توان رفتار مشتریان و سلایق انتخابی آن‌ها در محصولات را پیش‌بینی نمود و بدین شکل سیاست‌های مناسب فروش و بازاریابی را پیش گرفت. در این مقاله به ارائهٔ راهکاری جدید مبتنی بر روش‌های هوش جمعی ازجمله الگوریتم هوش جمعی سالپ در ایجاد یادگیری ماشین پرداخته شده است.

مبانی نظری پژوهش

این تحقیق با توجه به این مسئله مطرح شده است که در پیش‌بینی رفتار مشتریان از طریق بازاریابی عصبی، وجود روشی کارا در یادگیری ماشین ارتباط مستقیم با نتیجهٔ مدل

داشته و می‌تواند این پیش‌بینی در انتخاب محصول که یکی از مهم‌ترین موارد در فروش است را، ارتقا دهد. در یادگیری ماشین نیاز به روشی کارا در استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی یک چالش است که در این تحقیق به ارائهٔ راهکاری در این خصوص پرداخته شده است(Hosseini, 2023a) .

ما در این مقاله به دنبال ارائهٔ یک روش تحلیل با استفاده از سیگنال EEG به کمک طیف‌های مرتبهٔ بالا در کاربرد بازاریابی عصبی هستیم که برای رفع مشکلات و خلأهای بازاریابی به شکل سنتی است ازجمله شیوهٔ استفاده از برگه‌های نظرسنجی که همواره اطلاعات دقیقی نداشته است، ازجمله موارد دیگر طراحی تبلیغات، بسته‌بندی محصولات و قیمت‌گذاری با تکیه‌بر تجربهٔ فروشندگان در شیوهٔ سنتی بازاریابی است و نداشتن میزان تأثیر این موارد بر مشتریان، اما پیش‌بینی میزان موفقیت فروش یک محصول با تکیه‌بر سنجش واکنش مغز و بازاریابی عصبی[1]، می‌تواند بازخورد مناسبی را از میزان تأثیر هر محصول روی مشتریان در اختیار قرار دهد.

ویژگی‌های زیادی می‌توان از سیگنال‌های EEG استخراج نمود. این ویژگی‌ها با اعمال تبدیلات مختلف بر روی سیگنال‌های EEG به دست می‌آیند. به‌عنوان‌مثال، یکی از این تبدیلات، تبدیل فوریه است که اطلاعات فرکانسی سیگنال را استخراج می‌کند. طبقه‌بندی، مرزهای تصمیم‌گیری را مطابق روش مطلوب به‌صورت غیرخطی تنظیم می‌کند. تاکنون روش‌های طبقه‌بندی مختلفی برای تشخیص احساسات سیگنال‌های EEG استفاده‌شده است. الگوریتم‌های زیادی برای طبقه‌بندی مورداستفاده قرار می‌گیرند که در این میان، روش نزدیک‌ترین همسایگان[2]، ماشین بردار پشتیبان[3]، تجزیه‌وتحلیل اختیاری خطی[4] و شبکهٔ عصبی مصنوعی[5] بیشتر استفاده می‌شوند و در برخی تحقیقات به‌صورت هم‌زمان از چند روش بهره می‌برند(Ykhlef and et al, 2021) در این پژوهش ما از طیف‌های مرتبهٔ بالا در استخراج ویژگی و از روش هوش جمعی سالپ در انتخاب ویژگی در داده‌های سیگنال مغزی استفاده کرده و روش‌های مختلف طبقه‌بندی

1 Neuromarketing
2 Nearest Neighbor
3 Support Vector Machin
4 Linear Discriminant Analysis
5 Artificial neural network

به‌صورت یادگیری چندتایی را مبتنی بر مقالهٔ پایه (Hosseini and Houshmand, 2022) آزمایش نموده‌ایم.

با توجه به اهمیت استخراج ویژگی از طریق سیگنال مغزی و وجود تعداد زیاد ویژگی‌ها در این داده‌ها، نشان داده‌شده است که انتخاب ویژگی اهمیت دارد و ارائهٔ روش مناسب در آن ارتباط مستقیم با دقت پیش‌بینی رفتار مشتریان در انتخاب محصولات دارد (Hosseini and Houshmand, 2022)؛ بنابراین با توجه به این شکاف تحقیقاتی، در این مقاله مدلی جدید در بازاریابی عصبی برای پیش‌بینی انتخاب کاربران در محصولات مختلف، از روی سیگنال‌های مغزی با استفاده از الگوریتم هوش جمعی در انتخاب بهترین ویژگی‌ها و روش‌های طبقه‌بندی برای آن ارائه می‌شود. مدل ارائه‌شده تابه‌حال برای بازاریابی عصبی و با استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی سالپ آشوبی(Tawhid, Ibrahim, 2022) ارائه نشده است که در این مقاله در قالب یک مدل کامل یادگیری ماشین ارائه‌شده است.

سؤالات این تحقیق به شرح زیر است:

- چگونه با بهبود یادگیری ماشین می‌توان افزایش دقت در پیش‌بینی رفتار مشتریان را به‌دست آورد؟
- چگونه استخراج ویژگی سیگنال‌های مغزی، باعث ارائهٔ مدل پیش‌بینی کارا می‌شود؟
- چگونه انتخاب ویژگی با الگوریتم هوش جمعی سالپ آشوبی باعث افزایش دقت مدل پیش‌بینی می‌شود؟

پیشینه پژوهش

شکاف نظری این تحقیق مربوط به چالش‌های روش‌های مختلف در بهبود یادگیری ماشین در کاربرد پیش‌بینی رفتار مشتریان است و اینکه ارائهٔ روشی کارا در فازهای مختلف یادگیری ماشین تا چه اندازه می‌تواند برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر در پیش‌بینی رفتار مشتریان مؤثر باشد؛ بنابراین تحقیقات مختلفی در فازهای یادگیری ماشین ازجمله انتخاب ویژگی‌ها از مجموعه داده، ارائه‌شده است ولی با توجه به ویژگی‌های متعدد از

سیگنال‌های مغزی در بازاریابی عصبی، هنوز این حوزه جای پژوهش دارد و تمرکز این تحقیق در بهبود فرایند انتخاب ویژگی با استفاده از روش‌های هوش جمعی و یادگیری چندتایی است. در ادامه به خلاصه برخی از مقالات در قالب جدول ۱ پرداخته شده است.

جدول ۱: بررسی مقالات در بازاریابی عصبی

مرجع	موضوع مقاله	دستاورد
Asaadi and Davari, (2021)	بررسی رابطه بین ابعاد بازاریابی عصبی و رضایت مشتریان در بانک مسکن استان کردستان	نشان داده که مؤلفه تحریک احساسات بازاریابی عصبی بیشترین تأثیر بر ارائه موفق محصولات نوین بانک دار است
Ghaedi and et al (2021)	لذت و تصمیم به خرید در صنعت خدمات ورزشی	نتایج نشان داد که پاسخ‌های عصبی روان‌شناختی درصد زیادی از تصمیم به خرید مصرف‌کننده را تبیین می‌کنند
Sotoudehnejad (2022)	بررسی نقش بازاریابی عصبی در بهبود قابلیت‌های سایت‌های تجاری	وب‌سایت‌های تجاری مغزپسند که با توجه به ساختار و عملکرد مغز انسان طراحی می‌شوند، موجب انگیزش مغز کاربران می شوند و از دیگر نتایج آن، بهبود قابلیت های سایت های تجاری برمبنای بازاریابی عصبی است
Bonyadi naeini and moghiseh (2021)	حضور بروندادهای پژوهشی حوزهٔ بازاریابی عصبی در رسانه‌های اجتماعی	شاخص‌های آلتمتریکس می‌توانند در کنار شاخص‌های سنتی استنادی، جهت مطالعه اثرگذاری بروندادهای پژوهشی حوزه بازاریابی عصبی مورداستفاده قرار گیرد
Rahimi and PourSaeid	بررسی نقش بازاریابی عصبی بر پاسخ	تحلیل و نتیجه نشان می‌دهد که

(2022)	مصرف‌کننده محصولات ورزشی با میانجی‌گری نقش رقابتی برند ویژه	بازاریابی عصبی و ابعاد آن بر پاسخ مصرف‌کنندگان محصولات ورزشی تأثیر دارد، همچنین نقش رقابتی برند ویژه به‌عنوان متغیر میانجی بر تصمیم مصرف‌کننده از طریق بازاریابی عصبی تأثیر غیرمستقیم دارد.
Jelodari and Mouseli (2022)	تأثیر بازاریابی عصبی بر محرک‌های بازاریابی مصرف‌کنندگان	نتایج پژوهش نشان می‌دهد که احساسات روی وفاداری مشتریان به محصول و برند و درنتیجه تصمیمات خرید آن‌ها تأثیر بسزایی دارد و سنجش این احساسات، کلید درک مشتری و شکل تصمیم‌گیری در خرید است.
Nowrouzi (2022)	تأثیر بازاریابی عصبی بر سبک‌های تصمیم‌گیری مشتریان سازمان در شعب بانک تجارت شهرستان بندرعباس	نتایج پژوهش بیانگر این است که بازاریابی عصبی بر سبک‌های تصمیم‌گیری مشتریان سازمان در شعب بانک تجارت شهرستان بندرعباس تأثیر معنادار و مثبتی دارد
Amiri and Davari, (2022)	تحلیل عوامل پیش‌برنده و بازدارندهٔ بازاریابی عصبی در حوزهٔ تبلیغات؛ مطالعه‌ای با رویکرد شناختی	نتایج نشان داد عوامل پیش‌برندهٔ بازاریابی عصبی در حوزهٔ تبلیغات با ۲۰ مفهوم و ۸۸ کد شامل سه دستهٔ پیشران‌های مرتبط با کسب‌وکار (۸ مفهوم)، پیشران‌های مرتبط با بازاریابان و آژانس‌های تبلیغاتی (۸ مفهوم) و

		پیشران‌های مرتبط با مصرف‌کنندگان (۴ مفهوم) و عوامل بازدارندهٔ بازاریابی عصبی در حوزهٔ تبلیغات با ۲۲ مفهوم و ۱۱۴ کد شامل سه دستهٔ بازدارنده‌های مرتبط با کسب‌وکار (۷ مفهوم)، بازدارنده‌های مرتبط با بازاریابان و آژانس‌های تبلیغاتی (۹ مفهوم) و بازدارنده‌های مرتبط با مصرف‌کنندگان (۶ مفهوم) هستند.
Hosseini and Ghasemi Siani (2022)	نقش آگهی‌های تبلیغاتی مرتبط با ورزش در پارک در تغییرات امواج مغزی افراد با استفاده از QEEG	نتایج نشان داد امواج مغزی افراد در مرحلهٔ پس‌آزمون (مشاهدهٔ تصاویر منطقی و هیجانی) نسبت به مرحلهٔ پیش‌آزمون (مشاهدهٔ صفحهٔ سفید) کاهش یافت که این کاهش هنگام مشاهدهٔ تصاویر هیجانی بیشتر بود.
Hosseini and Houshmand (2022).	تحلیل سیگنال‌های EEG به‌کمک طیف‌های مرتبه‌ی بالا در کاربرد بازاریابی عصبی	مدل پیشنهادی به‌کمک SVM با هستهٔ گوسی توانسته به‌طور میانگین روی کلیهٔ کاربران به صحت ۷۳/۲۴ درصد برسد
Hosseini (2023b)	تحلیل پاسخ مغز به محرک‌های بازاریابی به کمک سیگنال مغزی (EEG) در کاربرد بازاریابی عصبی	نتایج پژوهش نشان می‌دهند دو دستهٔ پسندیدن یا نپسندیدن یک کالا را می‌توان به کمک ماشین بردار پشتیبان با میزان صحّت ۷۳/۵ درصد طبقه‌بندی کرد که در مقایسه با پژوهش گذشته ۳/۵

		درصد بهبود در نتایج دیده می‌شود.
Hosseini (2023a)	تجزیه‌وتحلیل سیگنال‌های مغزی به کمک آنتروپی پراکندگی سلسله‌مراتبی و جنگل تصادفی در کاربرد بازاریابی عصبی	از تحلیل نتایج مدل به صحّت ۷۳/۶۷ درصد حاصل شده است

در مرور ادبیات مشخص است که روش‌های مختلف بازاریابی عصبی در حوزه‌های کاربردی مختلف استفاده‌شده است و یکی از مهم‌ترین مسائل کار با ویژگی‌های مختلف استخراج‌شده از سیگنال‌های مغزی بوده که نیاز به روش‌هایی دارد که بتواند ویژگی‌های تأثیرگذار را استخراج کند، زیرا تأثیر مستقیم بروی دقت طبقه‌بندی دارد.

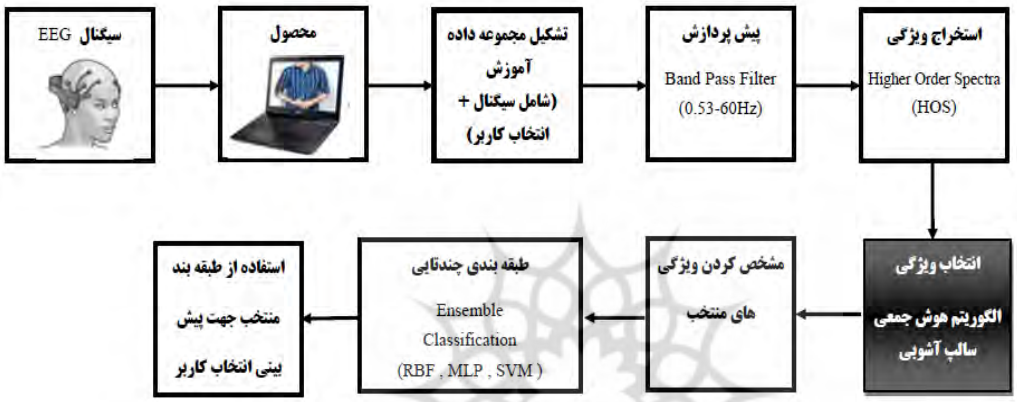
روش پژوهش

روش جمع‌آوری مجموعه داده با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده در مقالات در پیش‌بینی رفتار مشتریان در بازاریابی عصبی و به‌طور ویژه از تحقیق (Hosseini and Houshmand, 2022) استفاده‌شده است که شامل سیگنال‌های مغزی است که در مدل پیشنهادی استفاده می‌شود. درواقع جامعه آماری مربوط به مدل پیشنهادشده در حوزه بازاریابی عصبی، با استفاده از سیگنال مغزی از تعدادی شرکت‌کننده در زمان نمایش محصولات مختلف دریافت می‌شود، همچنین این مجموعه داده در برخی از تحقیقات در دسترس قرار داده‌شده است. ارزیابی نتایج با استفاده از نرم‌افزار متلب و تحلیل آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام شده است.

نحوه جمع‌آوری مجموعه داده از ۲۵ سوژه و نمایش ۱۴ محصول است.سیگنال EEG از این شرکت‌کنندگان در زمان نمایش محصولات در صفحه‌ی نمایشگر رایانه به مدت ۴ ثانیه ثبت‌شده است. مجموعه‌ای از ۱۴ محصول مختلف انتخاب‌شده است که هر محصول دارای سه نوع مختلف (A, B, C) بوده است که درمجموع ۴۲ تصویر مختلف را ایجاد می‌کند (۳*۱۴=۴۲). درنهایت ۱۰۵۰ قطعه سیگنال EEG (یعنی ۲۵*۴۲=۱۰۵۰)

برای همه‌ی شرکت‌کنندگان ثبت‌شده است. شرکت‌کنندگان در گستره‌ی سنی ۱۸ تا ۳۸ سال قرار دارند (Hosseini and Houshmand, 2022)

در مدل پیشنهادی چندین قسمت ازجمله مرحله جمع‌آوری داده، پیش‌پردازش، استخراج ویژگی و نرمال‌سازی، انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی وجود دارد که در شکل ۱ مشخص شده است. مدل پیشنهادی با توجه به مدل ارائه‌شده در (Hosseini and Houshmand, 2022) ارائه‌شده است که در آن برای انتخاب ویژگی از الگوریتم هوش جمعی سالپ آشوبی و برای طبقه‌بندی از یادگیری چندتایی استفاده‌شده است.



شکل ۱. مدل پیشنهادی در انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی (قسمت پررنگ ایده مدل پیشنهادی نسبت به مقاله پایه (Hosseini and Houshmand, 2022) است.

با توجه به شکل ۱ نوآوری تحقیق حاضر در انتخاب ویژگی با روش هوش جمعی سالپ آشوبی است که تابه‌حال در این خصوص استفاده نشده است.

در این قسمت هرکدام از مراحل مدل پیشنهادی تشریح می‌شود . در مدل پیشنهادی مرحله جمع‌آوری داده، پیش‌پردازش سیگنال، استخراج ویژگی در هر دو فاز آموزش و آزمایش مدل انجام می‌شود ولی مرحله انتخاب ویژگی و آموزش طبقه بند در فاز آموزش انجام‌شده و تنها فاز آزمایش از آن استفاده می‌کند. پیش‌پردازش جهت از بین بردن موارد اشتباه در سیگنال ازجمله سیگنال فعالیت عضلات و حرکت چشم انجام می‌شود. در این مرحله داده‌ها با استفاده از پالایه‌های باند عبور فاز صفر در باند فرکانسی

۰/۵۳ الی ۶۰ هرتز پالایه با استفاده از عملکرد فیلتراسیون نرم‌افزار MATLAB انجام می‌شود.

تحقیقات حاضر باهدف بررسی اختلاف‌های موجود بین EEG حالت دوست داشتن محصول و حالت دوست‌نداشتن محصول و ارائهٔ روشی برای تفکیک این دو حالت با استفاده از مشخصه‌های طیف مرتبه بالا در سیگنال EEG مربوط به این دو حالت انجام‌شده است.از میان طیف‌های مرتبه بالا، Bispectrum و Bicoherence طی مطالعات زیادی که روی آن‌ها انجام‌شده کارایی خوبی را از خود نشان داده‌اند. به‌علاوه، کار با طیف‌های مراتب بالاتر (نظیر Trispectrum) با مشکلات پیچیدگی و وقت‌گیر بودن محاسبات روبرو هستند. به همین دلیل در این پروژه نیز کار بر روی Bispectrum و Bicoherence متمرکز گردید. به دلیل مشکلات کار با این توابع معمولاً ویژگی‌هایی از روی آن‌ها تعریف‌شده و موردبررسی قرار می‌گیرد. در این تحقیق، ازآنجاکه ما هیچ حدس اولیه‌ای از ویژگی‌های مناسب نداشتیم، تصمیم بر این شد که با مراجعه به کارهای مشابه، انواع ویژگی‌های مناسب، شناسایی‌شده و محاسبه گردد و سپس با روش انتخاب ویژگی الگوریتم هوش جمعی سالپ از بین آن‌ها ویژگی‌های بهینه انتخاب شود.

روش انتخاب ویژگی مبتنی بر مدل رپر[1] پیاده‌سازی شده است. در این مدل دو مرحله با عنوان مرحله انتخاب ویژگی و مرحله یادگیری و آزمایش وجود دارد. در مرحله انتخاب ویژگی که در آن زیرمجموعه‌هایی از مجموعه ویژگی اصلی، با استفاده از دقت طبقه بند روی‌داده‌های آموزش به‌عنوان معیار، انتخاب می‌شوند که در این پژوهش از الگوریتم هوش جمعی سالپ استفاده می‌شود و مرحله یادگیری و آزمایش که در آن یک طبقه‌بندی با استفاده از بهترین زیرمجموعه ویژگی یافته شده و داده‌های آموزش، یاد گرفته می‌شود و با استفاده از داده‌های آزمایش محک زده می‌شود که در این مرحله از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده می‌شود.

در روش انتخاب ویژگی هر خانه از سالپ که مقدار ۱ داشته باشد بدین معنی است که آن ویژگی در مجموعه ویژگی انتخاب قرار دارد. در الگوریتم پیشنهادی هر مربع از سالپ که مقدار ۱ داشته باشد بدین مفهوم است که آن ویژگی در مجموعه ویژگی

[1] wrapper

گزینش قرار دارد. جهت ارزیابی هر سالپ در الگوریتم هوش جمعی سالپ از معادله ۱ استفاده می‌شود.

$$CA = \frac{TN+TP}{TN+FN+TP+FP} \quad (۱)$$

در روش پیشنهادی برای ارزیابی هر سالپ (مجموعه ویژگی) باید میزان برازندگی یا همان تابع برازندگی تخصیص یابد که برای این کار از روش نزدیک‌ترین همسایه برای ارزیابی مجموعه ویژگی‌های انتخابی با استفاده از معادله ۱ با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایگان محاسبه می‌شود.

به‌صورت خلاصه در این پژوهش با توجه به خاصیت روش هوش جمعی سالپ در دقت به دست آوردن بهینه‌ها و همچنین با توجه به اثربخشی و کارایی الگوریتم رپر در انتخاب بهترین مجموعه ویژگی‌ها با استفاده از الگوریتم‌های متفاوت ازجمله الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه، در این پژوهش روش هوش جمعی سالپ ترکیبی با نگاشت آشوب در تولید عامل‌های جستجو (پیدا کردن تمام زیرمجموعه ویژگی‌های مناسب) برای گزینش همه زیرمجموعه ویژگی‌های شایسته بهبود داده‌شده است. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی در شکل ۲ آورده شده است. همان‌گونه که واضح است برای استخراج بهینه‌های مسئله از حافظه خارجی بهره گرفته شده است.

مراحل روش پیشنهادی به‌صورت زیر است:

مرحله ۱: تنظیم متغیرهای روش پیشنهادی و مسئله بهینه‌سازی شامل تعداد سالپ‌ها و تعداد تکرار کلی روش.

تولید سالپ‌ها با نگاشت لجستیک طبق معادله ۲ انجام می‌شود:

$$x_{n+1} = \lambda\, x_n(1 - x_n) \qquad \lambda = 4 \qquad n = 0، 1، 2، \dots \qquad x_n \in [0، 1] \quad (۲)$$

مرحله ۲: تا رسیدن به اتمام تکرار داخلی مراحل زیر انجام شود.

۲-۱- محاسبه برازندگی هر سالپ با معادله ۱ استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه.

۲-۲- مشخص کردن بهترین سالپ (سالپی با برازندگی بهتر) در هر زیر جمعیت.

۲-۳- به‌روزرسانی C1 در هر زیر جمعیت با معادله ۳:

$$c_1 = 2e^{-\left(\frac{4I}{L}\right)^2} \quad (۳)$$

که در آن I شماره تکرار تکامل فعلی الگوریتم و L تعداد تکرار نهایی الگوریتم است.

۲-۴-به‌روزرسانی موقعیت رهبر برای سالپ اول در هر زیر جمعیت با تبدیل کد باینری به حقیقی با معادله ۴:

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + c_1\left((ub_j - lb_j)c_2 + lb_j\right) & c_3 \geq 0 \\ F_j - c_1\left((ub_j - lb_j)c_2 + lb_j\right) & c_3 < 0 \end{cases} \quad (۴)$$

X_j^1 محل قرارگیری اولین سالپ یا رهبر است و F محل قرارگیری غذا برای بعد j است که بعد از هر سیکل با توجه به جواب‌های جدید جمعیت تولیدشده آپدیت می‌شود، UB کران بالا و LB کران پایین بعد j است. پارامترهای c2 و c3 اعدادی تصادفی هستند و مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر روی نرخ اکتشاف و استخراج با پارامتر c1 است.

۲-۵-به‌روزرسانی موقعیت پیرو برای تمام سالپ‌ها پیرو در هر زیر جمعیت با اجرای معادله ۵:

$$x_j^i = \frac{1}{2}\left(x_j^i + x_j^{i-1}\right) \quad (۵)$$

در حرکت سالپ پیرو، موقعیت مکانی هر سالپ پیرو X_j^i از موقعیت فعلی خود بعلاوه موقعیت سالپ قبل خود تأثیر می‌پذیرد.

۲-۶-تبدیل سالپ‌ها با مقادیر حقیقی به معادل باینری

۲-۷-درصورتی‌که سالپی از فضای جستجو خارج شده است، مجدد تولید شود.

مرحله ۳: اضافه شده به شمارنده تکرار کلی و در صورتیکه تکرار کلی روش تمام شده است اتمام در غیر این صورت رفتن به مرحله ۲

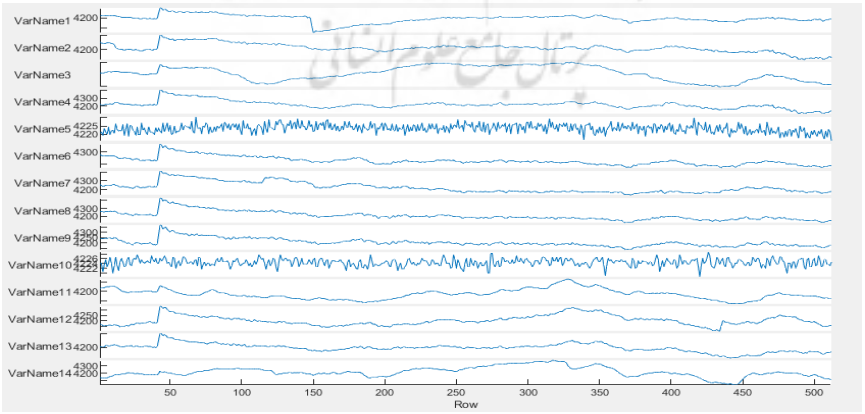
معرفی محدوده مورد مطالعه

محدوده موضوعی ارتباط تحقیق حاضر را به بازاریابی عصبی، پردازش سیگنال در مهندسی پزشکی و روش‌های داده‌کاوی در هوش مصنوعی مربوط است و ازنظر محدوده مکانی مربوط تحقیق انجام شده در ایران (Hosseini and Houshmand, 2022) است که از مجموعه داده‌ای شامل سیگنال مغزی پنج نفر با محدود سنی ۱۸ تا ۳۸ در سه گروه سنی مختلف ازجمله گستره سنی ۱۸ تا ۲۳ سال با ۱۰ مرد و ۶ زن، گسترهٔ سنی ۲۵ تا ۳۰ سال با ۸ مرد و ۵ زن و گروه سوم شامل ۷ مرد و ۴ زن با گستر سنی ۳۱ تا ۳۸ سال در مشاهده ۱۴ محصول جمع‌آوری شده است و محدوده زمانی این تحقیق مربوط به بازه تابستان ۱۴۰۱ تا زمستان ۱۴۰۱ است.

یافته‌های پژوهش

سیگنال‌های EEG پژوهش با دستگاه بی‌سیم ۱۴ کانالهٔ Emotiv EPOC با استاندارد بین‌المللی ۱۰ – ۲۰ با آرایش الکترودهایAF3، F7، F3، FC5، T7، P7، O1، O2، P8، T8، FC6، F4، F8، AF4 ثبت شده است. الکترودهای مرجع CMS و DRL به ترتیب در موقعیت‌های P3 و P4 و در بالای گوش‌ها قرار دارند. فرکانس نمونه‌برداری داخل دستگاه ۲۰۴۸ هرتز است که نرخ نمونه‌برداری آن‌ها به ۱۲۸ هرتز کاهش‌یافته است. اطلاعات از طریق بلوتوث و دانگل USB به رایانه ارسال می‌شوند.

در شکل ۲ به یک نمونه سیگنال از یک کاربر در مشاهده یک عکس در ۱۴ کانال مختلف سیگنال دریافتی که با نرم‌افزار MATLAB ترسیم‌شده است، اشاره می‌شود.



شکل۲. سیگنال‌های دریافتی در ١٤ کانال از یک کاربر در مشاهده تصویر اول

سپس سیگنال‌های دریافتی بعد پیش‌پردازش جهت از بین بردن موارد اشتباه در سیگنال ازجمله سیگنال فعالیت عضلات و حرکت چشم در پالایه‌های باند عبور فاز صفر در باند فرکانسی ۰/۵۳ الی ۶۰ هرتز پالایه با استفاده از عملکرد فیلتراسیون نرم‌افزار MATLAB انجام شد.

سپس مطابق با فرایند اعمال طیف مرتبه بالا، بر اساس توابع Bispectrum و Bicoherence تعریف و استخراج‌شده است. بدین منظور پس از ثبت ۱۴کانالهٔ سیگنال EEG، این دو تابع برای داده‌های هر کانال، محاسبه گردید. برای تعریف ویژگی‌ها ابتدا صفحهٔ دوفرکانسی به چند محدودهٔ مجزا تقسیم‌بندی شد و ویژگی‌ها به‌صورت مجموع اندازهٔ Bispectrumها، مجموع اندازهٔ Bicoherenceها و مجموع مربع اندازهٔ Bicoherenceها در هریک از این محدوده‌ها تعریف گردید. این ویژگی‌ها جمعاً ۵۳ ویژگی را برای هر کانال تشکیل دادند که با محاسبهٔ آن‌ها در کانال‌های مختلف، برای هر نمونه ۷۴۲=۵۳ ۱۴ ویژگی به دست آمد.

ویژگی‌های استخراج‌شده برای هر کاربر در مشاهده هر عکس یک نمونه آموزش جهت استفاده از طبقه بند را شامل می‌شود اما این تعداد ویژگی در مرحله انتخاب ویژگی کاهش می‌یابد. در مرحله انتخاب ویژگی هر سالپ به‌اندازه طول کلیه ویژگی‌ها یعنی ۷۴۲ خانه دارد که به‌طور تصادفی با صفر و یک پر می‌شود. صفر به معنی اینکه ویژگی مترادف آن ارائه انتخاب‌نشده و یک به معنی آن است که انتخاب‌شده است

جهت انتخاب ویژگی از الگوریتم هوش جمعی سالپ با ۳۰ سالپ استفاده شد و در تمام اجراها تعداد همسایگان درروش نزدیک‌ترین همسایه ۳ در نظر گرفته شد. تعداد ویژگی‌های انتخابی از مجموع ۷۴۲ ویژگی برای هر نمونه با روش انتخاب ویژگی الگوریتم هوش جمعی سالپ_روش نزدیک‌ترین همسایه به ۱۹۸ ویژگی کاهش یافت.

در ادامه مرحله انتخاب ویژگی آموزش طبقه‌بندی‌ها است. جهت آموزش و آزمایش در فاز آموزش مدل از ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزی و ۳۰ درصد برای آزمایش استفاده‌شده است. درواقع از مجموع کل نمونه‌ها ۷۳۵ نمونه جهت آموزش و ۳۱۵ نمونه جهت آزمایش استفاده‌شده است.

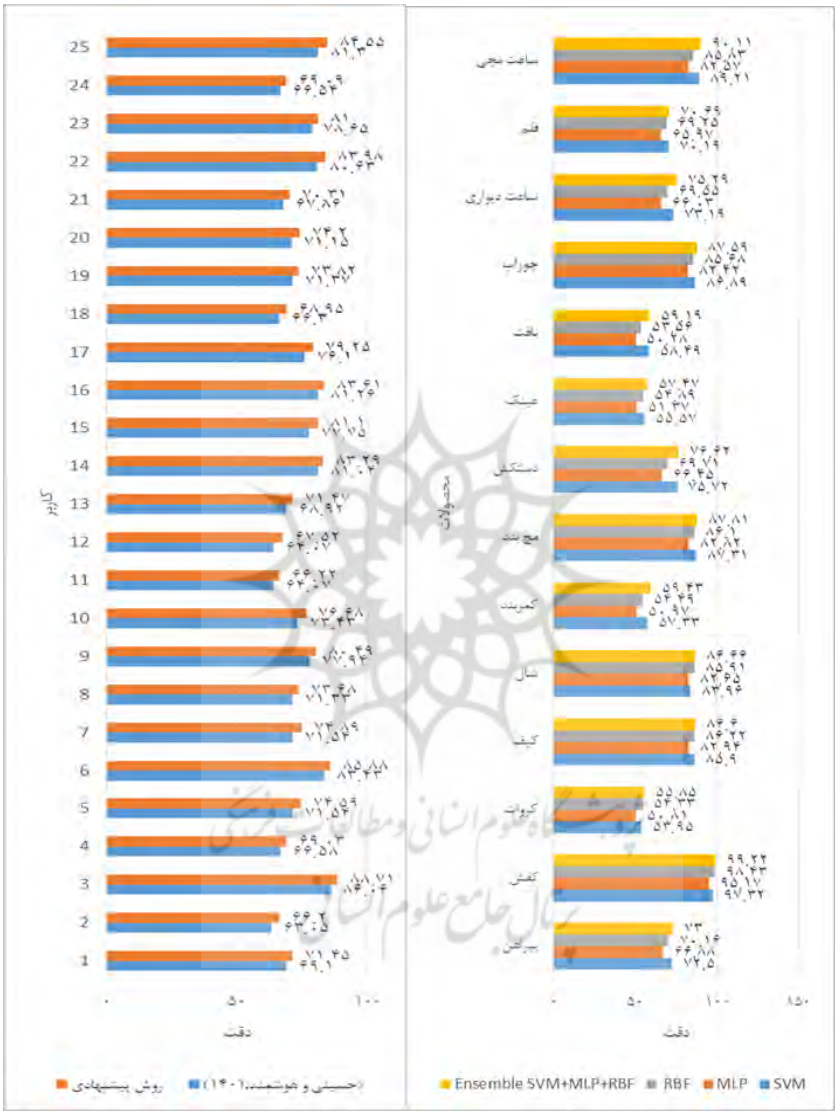
نتایج طبقه‌بندی حاصل از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی و ماشین بردار پشتیبان در چند حالت بررسی‌شده است. در یک بررسی میزان دقت طبقه‌بندی در دو کلاس دوست داشتن و دوست‌نداشتن برای هرکدام از ۱۴ محصول آزمایش‌شده است. در این آزمایش برای هر فرد یکی از محصولات جهت آزمایش در نظر گرفته شد و نتیجه دقت طبقه‌بندی به‌صورت میانگین ثبت گردید.در آزمایش بعدی میزان دقت دسته‌بندی برای هر کاربر به‌صورت جداگانه بررسی شد و ثبت گردید.

در آزمایش‌ها با امتحان کردن نورون‌های مختلف در لایه پنهان شبکه عصبی پرسپترون چندلایه مشاهده شد که بهترین تعداد نورون در لایه پنهان ۸ است و شبکه عصبی به ازای این تعداد نورون نتیجه دسته‌بندی بهتری داشته است.

در آموزش ماشین بردار پشتیبان با هسته‌های مختلف آزمایش‌ها انجام‌شده و مشاهده شد که بهترین نتایج مربوط به استفاده از هسته گوسی، همچنین شبکه عصبی تابع پایه شعاعی که دارای تابع گذر گوسی است در این طبقه‌بندی استفاده‌شده است. مدل یادگیری چندتایی شامل نتیجه رأی‌گیری سه روش ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و شبکه عصبی تابع پایه شعاعی نیز در این طبقه‌بندی در نظر گرفته شده است. نمودار میله‌ای صحت دسته‌بندی به‌دست‌آمده در شکل ۳ برای شبکه عصبی پرسپترون، تابع پایه شعاعی و ماشین بردار پشتیبان آمده و همچنین یادگیری چندتایی از این سه روش آمده است.

همانطور که از شکل ۳ مشخص است میزان دقت برای سه روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با هسته گوسی، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی با تابع گذر گوسی و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با ۸ نرون در لایه پنهان در محصولات مختلف شامل ۱۴ قلم، متفاوت بوده است. روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه کمترین میزان دقت را داشته است ولی شبکه عصبی تابع پایه شعاعی و ماشین بردار پشتیبان نسبت به هم در محصولات مختلف متفاوت بودند و در برخی محصولات شبکه عصبی تابع پایه شعاعی دقت بالاتری داشته است؛ اما یادگیری چندتایی نشان داده است که توانسته دقت بیشتر از سه روش تکی در طبقه‌بندی داشته باشد زیرا روش‌ها توانسته‌اند ضعف یکدیگر را در

تشخیص‌های اشتباه تا حدی پوشش دهند. در این آزمایش‌ها به‌طور میانگین شبکه عصبی پرسپترون چندلایه دارای دقت ۶۹/۸۰ درصد، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی دارای دقت ۷۳/۱۵ درصد، ماشین بردار پشتیبان دارای دقت ۷۴/۸۲ بوده است، اما یادگیری چندتایی دارای دقت ۷۶/۱۰ بوده است.



شکل۳. مقایسهٔ صحت دسته‌بندی در هر محصول شکل٤. مقایسه‌ای صحت دسته‌بندی در ۲۵ کاربر

در شکل ۴ مقایسه نتایج دقت دسته‌بندی برای کاربران مختلف با روش پیشنهادی در مقایسه با روش مقاله پایه (Hosseini and Houshmand, 2022) آمده است که نشان

می‌دهد بیشترین میزان دقت مربوط به کاربر سوم بوده و کمترین میزان دقت مربوط به کاربر دوم بوده است و به‌طور میانگین در کلیه کاربران در روش پیشنهادی ۷۵/۹۹ درصد و در روش مقاله پایه ۷۳/۲۴ درصد بوده است که نشان از ارتقا نتایج تا ۳/۷۵ درصد دارد.

همان‌طور که از نتایج شکل ۴ مشاهده شد، نتایج ماشین بردار پشتیبان در مقاله پایه (حسینی و هوشمند، ۱۴۰۱) از یادگیری چندتایی شامل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و تابع پایه شعاعی و ماشین بردار پشتیبان نبوده است. البته ماشین بردار پشتیبان استفاده‌شده در هر دو روش، یعنی روش پیشنهادی و روش پایه، نسبت به شبکه عصبی پرسپترون چندلایه بیشتر بوده است که این شاید به علت تعداد نمونه‌های نسبتاً کم باشد زیرا ماشین بردار پشتیبان برعکس شبکه عصبی می‌تواند با تعداد نمونه‌های کم‌تری نیز به نتایج قابل قبولی برسد.

بحث و نتیجه‌گیری

در مقاله به ارائهٔ مدلی جهت پیش‌بینی انتخاب مشتریان از بین محصولات پرداخته شده است. در این مقاله سیگنال مغزی از ۲۵ کاربر در مشاهده ۱۴ در سه مدل جمعاً ۴۲ تصویر محصول نمایش داده‌شده و سپس پیش‌پردازش شده و با روش طیف مرتبه بالای سیگنال، استخراج ویژگی شده است. ویژگی‌های استخراج‌شده با استفاده الگوریتم هوش جمعی سالپ آشوبی به همراه روش نزدیک‌ترین همسایه در مدل رپر انتخاب ویژگی شده و درنهایت با روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و ماشین بردار پشتیبان آموزش داده‌شده است. روش طیف‌های مرتبه بالا در استخراج اطلاعات فاز سیگنال الکتروآنسفالوگرام افراد اعمال شد و نتایج حاکی از عملکرد خوب آن در تشخیص حالت‌های دوست داشتن محصول و دوست‌نداشتن آن بوده است. در این مقاله مقادیر Bispectrum و Bicoherence به‌عنوان دو نمونه از پرکاربردترین توابع طیف مرتبه بالای سیگنال به‌منظور بررسی ارتباط حالات دوست داشتن و یا دوست‌نداشتن محصول با سیگنال‌های مغزی مورداستفاده قرار گرفت و ویژگی‌ها استخراج شد. بدین منظور پس از ثبت ۱۴کانالهٔ سیگنال EEG، این دو تابع برای داده‌های هر کانال، محاسبه گردید. برای تعریف ویژگی‌ها ابتدا صفحهٔ دو فرکانسی به چند محدودهٔ مجزا تقسیم‌بندی

شد و ویژگی‌ها به‌صورت مجموع اندازهٔ Bispectrumها، مجموع اندازهٔ Bicoherence ها و مجموع مربع اندازهٔ Bicoherenceها در هریک از این محدوده‌ها تعریف گردید. این ویژگی‌ها جمعاً ۵۳ ویژگی را برای هر کانال تشکیل دادند که با محاسبهٔ آن‌ها در کانال‌های مختلف، برای هر نمونه ۷۴۲ ویژگی به دست آمد. سپس در مرحله انتخاب ویژگی با الگوریتم هوش جمعی سالپ آشوبی و روش نزدیک‌ترین همسایه در مدل رپر، ویژگی‌های به ۱۹۸ ویژگی کاهش پیدا کرد. جهت یادگیری ماشین از سه روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و تابع پایه شعاعی و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد.

در حالت کلی با توجه نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین میزان دقت در دسته‌بندی در محصول کفش با میزان ۹۹/۲۲ بوده است و کمترین مربوط به کروات با میزان ۵۵/۸۵ بوده است و به‌طور میانگین برای کلیه محصولات درروش ماشین بردار پشتیبان در مقاله پایه ۷۴/۸۲ درصد دقت دسته‌بندی(Hosseini and Houshmand, 2022) به‌دست‌آمده اما در روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در مقاله پایه (Hosseini and Houshmand, 2022) این عدد ۶۹/۷۵ بوده است اما نتایج در روش پیشنهادی به‌طور میانگین شبکه عصبی پرسپترون چندلایه دارای دقت ۶۹/۸۰ درصد، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی دارای دقت ۷۳/۱۵ درصد، ماشین بردار پشتیبان دارای دقت ۷۴/۸۲ بوده است، اما یادگیری چندتایی دارای دقت ۷۶/۱۰ بوده است.

نتایج نشان داد که به‌طور میانگین در کلیه کاربران در روش پیشنهادی ۷۵/۹۹ درصد و در روش مقاله پایه ۷۳/۲۴ درصد بوده است.مدل پیشنهادی توانسته به‌طور میانگین ۳/۷۵ درصد نسبت به روش مقاله پایه (Hosseini and Houshmand, 2022) دقت بالاتری داشته باشد.

در پاسخ به سؤال اول تحقیق مبنی بر اینکه چگونه با بهبود یادگیری ماشین می‌توان افزایش دقت در پیش‌بینی رفتار مشتریان را به دست آورد؟ می‌توان گفت که روش‌های یادگیری ماشین در فاز طبقه‌بندی به ویژگی‌های از مجموعه داده جهت نیازمند هستند که این ویژگی‌ها اگر بیشترین تأثیر در کلاس داده‌ها را داشته باشد می‌تواند باعث افزایش دقت پیش‌بینی شود؛ بنابراین روش پیشنهادی در انتخاب ویژگی نشان داده است که توانسته دقت پیش‌بینی را افزایش دهد.

در پاسخ به سؤال دوم تحقیق مبنی بر اینکه چگونه استخراج ویژگی سیگنال‌های مغزی، باعث ارائهٔ مدل پیش‌بینی کارا می‌شود؟ می‌توان گفت که استخراج ویژگی با روش طیف‌های مراتب بالاتر توانسته، ویژگی‌های کاملی از سیگنال‌های مغزی نمایان کند که این ویژگی‌ها ارتباط مستقیم با انتخاب روش‌ها در ارائهٔ مدل پیش‌بینی کارا دارند. مدل پیشنهادی نشان داده است که استخراج ویژگی طیف‌های مراتب بالاتر می‌تواند در مدل کارا در بازاریابی عصبی استفاده شود.

در پاسخ به سؤال سوم تحقیق مبنی بر اینکه چگونه انتخاب ویژگی با الگوریتم هوش جمعی سالپ آشوبی باعث افزایش دقت مدل پیش‌بینی می‌شود؟ می‌توان گفت که الگوریتم‌های تکاملی با دقت جستجو بالا می‌توانند به انتخاب بهترین ویژگی‌ها کمک کنند، اما مسئله انتخاب ویژگی دارای بهینه‌های سراسری متعدد بوده؛ بنابراین الگوریتم هوش جمعی سالپ آشوبی توانسته با قدرت جستجو خود، نتایج مناسبی را در مدل پیش‌بینی ایجاد کند، زیرا یکی از فازهای مهم یادگیری ماشین یعنی انتخاب ویژگی را به‌خوبی انجام داده است.

به‌عنوان کارهای آتی می‌توان استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر ازجمله الگوریتم بهینه‌ساز یوزپلنگ، الگوریتم بهینه‌سازی ملخ که قدرت همگرایی بالایی نسبت به الگوریتم هوش جمعی سالپ دارد، در فاز انتخاب ویژگی در مدل پیشنهادی بررسی شود. همچنین روش پیشنهادی می‌تواند در محصولات دیگر با تعداد کاربران بیشتر بررسی شود تا کارایی آن در کاربردهای مختلف بررسی شود.

References

- Asaadi, M., & Davari, S.(2021). Investigating the relationship between dimensions of neuromarketing and customer satisfaction in Maskan Bank of Kurdistan province. *Quarterly Scientific Journal of Human Resources & Capital Studies*, *1*(1),140-161.[In Persian].
- Aldayel, M,. Ykhlef, M & Al-Nafjan, A (2021). Consumers' Preference Recognition Based on Brain–Computer Interfaces: Advances, Trends, and Applications. Arabian Journal for Science and Engineering.11,15-26.

-Amiri, S., & Davari, A. (2022). Analyzing the Driving and Inhibiting Factors of Neuromarketing in Advertising: A Study with a Cognitive Approach. *New Marketing Research Journal*, *12*(1),89-108.[In Persian].doi: 10.22108/nmrj.2021.130428.2535

- Bigne, E., Chatzipanagiotou, K., and Ruiz, C. (2020). Pictorial content, sequence of conflicting online reviews and consumer decision-making: The stimulus-organism-response model revisited. Journal of Business Research.
- Bonyadi naeini, A., & moghiseh, Z. (2021). The Presence of Neuromarketing Scientific Publications in Social Media: An Altmetric Study. *New Marketing Research Journal*, *11*(1), 27-44.[In Persian]. doi: 10.22108/nmrj.2021.125291.2250
- Casado-Aranda, L. -A., Sánchez-Fernández, J., Ibáñez-Zapata, J. -Á., & Liébana-Cabanillas, F. J. (2020). How consumer ethnocentrism modulates neural processing of domestic and foreign products: A neuroimaging study. Journal of Retailing and Consumer Services, 53, 101961.
- Ghaedi, A., Izadi, B., & Ghasemyan, M. (2021). Measuring Brainwaves, arousal, pleasure and decision to purchase sports service industry. *Sport Management Journal*, *13*(2), 639-657..[In Persian]. doi: 10.22059/jsm.2020.294673.2381
- Ghasemi Siani, M., Mohammadi, S., & Soltan Hosseini, M. (2022). The Role of Sports-Related Advertising in the Park in Brainwave Changes of People Using QEEG. Sport Management Journal, *13*(4), 1197-1213.[In Persian]. doi: 10.22059/jsm.2020.299301.2430.
- Hosseini, S. A. (2023a). Analysis of EEG Signals using Hierarchical Dispersion Entropy and Random Forest in the Neuromarketing Application. *Computational Intelligence in Electrical Engineering*. [In Persian]. doi: 10.22108/isee.2023.133401.1561.
- Hosseini, S. A. (2023b). Analyzing the Brain Response to Marketing Stimuli Using Electroencephalogram (EEG) Signal in the Neuromarketing Application. *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, *14*(1), 135-150. [In Persian].doi: 10.22108/isee.2022.130154.150.

- Hosseini, S. A., & Houshmand, M. (2022). Analysis of the EEG Signal Using Higher-Order Spectra (HOS) in the Neuro-marketing Application. *New Marketing Research Journal*, *12*(1), 25-42. [In Persian]. doi: 10.22108/nmrj.2022.130413.2537.
- Jelodari, A, & Mousel, S.(2022). The effect of neuromarketing on consumers' marketing motivations. *The 4th National Conference on New Patterns of Business Management.* [In Persian].
- Karimi Ghaleital, M. (2022). Application of statistics with order higher than two in signal processing and systems theory,
- Nowrouzi, F.(2022). The effect of neuromarketing on the decision-making styles of the organization's customers in Tejarat Bank branches in Bandar Abbas city.*Knowledge-based business management quarterly*, 2(1), 99-123. [In Persian].
- Rahimi, M,. & PourSaeid M.M. (2022). Examining the role of neuromarketing on the consumer response of sporting products with the mediation of the competitive role of the special brand. *The 4th National Conference on New Patterns of Business Management.* [In Persian].
- Sotoudehnejad, S.(2022). nvestigating the role of neural marketing in improving the capabilities of commercial sites. *The first management and e-commerce conference*. [In Persian].
- Tawhid, M., Ibrahim, A. (2022). Improved salp swarm algorithm combined with chaos. Mathematics and Computers in Simulation, 114, 163–191.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی