



## پیش‌بینی رضایت مشتریان خدمات پس از فروش با استفاده از یادگیری ماشین در مدیریت ارتباط با مشتری (CRM)

هومن آبایی<sup>۱</sup>

صادق عابدی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۵/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

### چکیده

**زمینه و هدف:** مدیریت ارتباط با مشتری (CRM) ابزار مؤثری برای شناسایی و تحلیل نیازهای مشتریان است. ترکیب با الگوریتم‌های یادگیری ماشین، امکان توسعه مدل‌های پیش‌بینی رضایت مشتری را فراهم می‌آورد که می‌توانند با دقت بالایی احتمال رضایت مشتریان را پیش‌بینی نماید. این مدل‌ها علاوه بر تصمیم‌گیری مدیریتی در سطح عملیاتی، در تدوین سیاست‌های کلان مشتری‌محور نیز کاربرد دارند. هدف این پژوهش، شناسایی عوامل اصلی مؤثر بر رضایت مشتریان و ارائه مدلی برای پیش‌بینی میزان رضایت در صنعت خودروسازی است. **روش‌شناسی:** این پژوهش از نوع کاربردی است و داده‌های مربوط به ۱۲۰۰ مشتری خدمات پس از فروش یک شرکت خودروسازی گردآوری شد. پس از پاک‌سازی و نرمال‌سازی داده‌ها، برای تحلیل از دو الگوریتم یادگیری ماشین شامل خوشه‌بندی فازی (FCM) و درخت تصمیم فازی (FDT) استفاده گردید. همچنین، اعتبار مدل‌ها با شاخص‌هایی همچون دقت، MAE و RMSE موردسنجش قرار گرفت. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد مشتریان در سه خوشه اصلی شامل «راضی»، «ناراضی» و «متوسط» قرار می‌گیرند. متغیرهای زمان پاسخگویی (۳۰ درصد) و هزینه خدمات (۲۵ درصد) بیشترین تأثیر را بر رضایت مشتریان داشتند. دقت مدل درخت تصمیم فازی ۸۹ درصد و خطای RMSE آن ۰.۱۲ محاسبه شد که بیانگر عملکرد مطلوب مدل است. **نتیجه‌گیری:** این پژوهش نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، به‌ویژه خوشه‌بندی فازی و درخت تصمیم فازی، می‌تواند به مدیران در شناسایی گروه‌های مختلف مشتریان، پیش‌بینی میزان رضایت آن‌ها و تدوین استراتژی‌های هدفمند کمک کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان الگویی عملی برای بهبود خدمات پس از فروش در صنعت خودروسازی و سایر صنایع مشابه مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از فناوری‌های هوشمند و سیستم‌های مدیریت ارتباط با مشتری (CRM) برای تحلیل مداوم داده‌ها توصیه می‌شود.

### کلمات کلیدی:

یادگیری ماشین، خوشه‌بندی فازی، درخت تصمیم فازی، رضایت مشتریان، مدیریت ارتباط با مشتری

۱- گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. hooman.abaei@iau.ac.ir

۲- گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران. (نویسنده مسئول) Abedi.sadegh@iau.ac.ir

مقدمه:

در محیط پرتلاطم و رقابتی کسب و کارهای امروز، مشتریان با گزینه‌های فراوان و انتظارات رو به افزایش مواجه هستند. در چنین شرایطی، توانایی سازمان‌ها در ایجاد، حفظ و توسعه روابط بلندمدت با مشتریان به یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت و مزیت رقابتی پایدار تبدیل شده است (شادمهر و همکاران، ۱۳۹۴). مدیریت ارتباط با مشتری به عنوان یک رویکرد استراتژیک، فراتر از یک ابزار فناوری ساده، فلسفه‌ای مدیریتی محسوب می‌شود که هدف آن شناخت دقیق مشتریان، پاسخگویی به نیازهای آنان و ایجاد ارزش افزوده در طول چرخه عمر مشتری است. این رویکرد در سه بعد عملیاتی، تحلیلی و تعاملی توسعه یافته و بستر لازم را برای تعامل مؤثر، تحلیل داده‌های مشتریان و بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی فراهم می‌سازد (قلی‌زاده و سربندی، ۱۳۹۹). اهمیت مدیریت ارتباط با مشتری به ویژه در حوزه خدمات پس از فروش برجسته‌تر است، زیرا در این مرحله مشتریان تجربه واقعی خود از محصول و سازمان را به دست می‌آورند و کیفیت تعاملات پس از فروش می‌تواند در شکل‌گیری ادراک مثبت یا منفی نسبت به برند نقشی حیاتی داشته باشد (برونر و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۵). رضایت مشتری مفهومی چندبعدی است که در نظریه‌های متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. نظریه عدم تأیید انتظارات که به عنوان یکی از شناخته شده‌ترین مدل‌های رضایت مشتری مطرح است، توسط ریچارد ال. اولیور<sup>۲</sup> (۱۹۸۰) ارائه شد. او رضایت را نتیجه مقایسه انتظارات اولیه و ادراک واقعی از عملکرد خدمت می‌داند. مدل کانو<sup>۳</sup> نیازهای مشتریان را در سه سطح اساسی، عملکردی و انگیزشی دسته‌بندی می‌کند و نشان می‌دهد که هر سطح اثر متفاوتی بر رضایت دارد. همچنین، شاخص رضایت مشتری آمریکایی<sup>۴</sup> نقش متغیرهایی همچون کیفیت، ارزش ادراک شده، انتظارات و شکایات مشتریان را در شکل‌گیری رضایت برجسته می‌سازد. این چارچوب‌های نظری بیانگر آن هستند که رضایت مشتری ترکیبی از عوامل کارکردی، احساسی و تجربی است که با هم تعامل داشته و ادراک نهایی مشتری از سازمان را شکل می‌دهند. با افزایش رقابت و پیچیدگی روابط مشتریان با سازمان‌ها، اهمیت تحلیل داده‌های مشتریان و استخراج بینش از آن‌ها دوچندان شده است. در سال‌های اخیر، رشد روزافزون داده‌های دیجیتال حاصل از تعاملات مشتریان از طریق تماس‌های خدماتی، شبکه‌های اجتماعی، اپلیکیشن‌ها و سیستم‌های پشتیبانی، فرصت‌های بی‌نظیری برای شناسایی الگوهای رفتاری و عوامل کلیدی رضایت یا نارضایتی فراهم کرده است (دنیاپور و عبدوی، ۱۳۹۹). با این حال، حجم انبوه و تنوع بالای داده‌ها موجب می‌شود که روش‌های سنتی آماری برای تحلیل آن‌ها کافی نباشند. در چنین بستری، استفاده از رویکردهای نوین مانند یادگیری ماشین و الگوریتم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی اهمیت پیدا می‌کند.

### پیش‌بینی رضایت مشتریان خدمات پس از فروش با استفاده از یادگیری ... / آبایی و عابدی

یادگیری ماشین به سازمان‌ها کمک می‌کند تا روابط پنهان و غیرخطی میان متغیرها را شناسایی کرده و الگوهایی دقیق برای پیش‌بینی رضایت مشتریان ارائه دهند. صنعت خودروسازی به‌عنوان یکی از صنایع پیچیده و رقابتی، وابستگی بالایی به رضایت مشتریان از خدمات پس از فروش دارد. عواملی همچون سرعت پاسخگویی، هزینه خدمات، کیفیت ارائه‌شده، شاخص‌های اصلی تعیین‌کننده سطح رضایت یا نارضایتی مشتریان در این حوزه هستند. مشتریانی که تجربه مثبتی از خدمات پس از فروش دارند، معمولاً وفادار باقی می‌مانند، خریدهای خود را تکرار می‌کنند و با تبلیغات دهان‌به‌دهان مثبت به جذب مشتریان جدید کمک می‌کنند. در مقابل، نارضایتی در این مرحله می‌تواند پیامدهایی همچون ریزش مشتریان، کاهش سودآوری و آسیب جدی به برند را به همراه داشته باشد. مسئله اصلی این پژوهش آن است که در شرایط رقابتی کنونی صنعت خودروسازی، عوامل مختلفی بر رضایت مشتریان از خدمات پس از فروش تأثیرگذارند و شناسایی دقیق این عوامل می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در حفظ مشتریان و ارتقای جایگاه رقابتی شر بر این اساس، سؤال اصلی پژوهش این است؛ چگونه می‌توان با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، میزان رضایت مشتریان را پیش‌بینی کرد؟ فرآیند پژوهش در این راستا به این صورت تعریف شد که ابتدا با مورد مطالعه مشتریان یک شرکت خودروسازی به‌عنوان جامعه آماری داده‌های مربوط به مشتریان از طریق پرسشنامه و اطلاعات واقعی گردآوری می‌شود. در ادامه داده‌ها با استفاده از روش‌های داده‌کاوی، پاک‌سازی و استانداردسازی شدند و با به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین، مشتریان خوشه‌بندی و طبقه‌بندی می‌شوند. درنهایت، نتایج تحلیل‌ها ارائه شد تا علاوه بر شناسایی عوامل کلیدی رضایت مشتری، چارچوبی کاربردی برای بهبود خدمات پس از فروش در صنعت خودروسازی فراهم گردد.

#### **مبانی نظری پژوهش و پیشینه پژوهش:**

##### **-مدیریت ارتباط با مشتری:**

مدیریت ارتباط با مشتری به‌عنوان یک رویکرد استراتژیک، فراتر از یک ابزار نرم‌افزاری صرف، به‌عنوان فلسفه‌ای مدیریتی شناخته می‌شود که هدف آن ایجاد، حفظ و توسعه روابط بلندمدت و سودآور با مشتریان است. در این چارچوب، سازمان‌ها تلاش می‌کنند تا با شناخت عمیق نیازها، انتظارات و ترجیحات مشتریان، خدمات خود را به‌صورت شخصی‌سازی‌شده ارائه دهند و تجربه‌ای مثبت و ماندگار برای مشتریان خلق کنند (سهرابی و همکاران، ۱۳۹۷). مدیریت ارتباط با مشتری ابعاد مختلفی دارد که شامل مدیریت ارتباط با مشتری عملیاتی برای مدیریت تعاملات روزمره با مشتریان، مدیریت ارتباط با مشتری تحلیلی برای استخراج دانش و بینش از داده‌های مشتریان و مدیریت ارتباط

با مشتری تعاملی برای مدیریت ارتباطات دوسویه و مؤثر با مشتریان می‌شود. این رویکرد در خدمات پس از فروش به‌ویژه در صنعت خودروسازی اهمیت ویژه‌ای دارد، چراکه رضایت مشتریان در این حوزه نه تنها به تداوم خرید منجر می‌شود بلکه وفاداری بلندمدت را تقویت کرده و از طریق تبلیغات دهان‌به‌دهان مثبت، برجذب مشتریان جدید نیز اثرگذار است (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۵). یکی از نتایج کلیدی پیاده‌سازی موفق مدیریت ارتباط با مشتری، افزایش ارزش طول عمر مشتری است که به‌عنوان شاخصی مهم برای ارزیابی سودآوری و اثربخشی استراتژی‌های سازمانی مطرح می‌شود. درمجموع، مدیریت ارتباط با مشتری بستری فراهم می‌کند تا سازمان‌ها با اتخاذ تصمیم‌های هوشمندانه، کیفیت خدمات خود را ارتقا داده و جایگاه رقابتی خود را در بازارهای پرتلاطم امروزی تثبیت کنند (برونر و همکاران، ۲۰۲۵).

#### **- رضایت مشتری:**

رضایت مشتری مفهومی کلیدی در بازاریابی و مدیریت خدمات است که در نظریه‌های مختلف به شیوه‌های گوناگون تعریف شده است. بر اساس نظریه اولیور، رضایت مشتری نتیجه مقایسه میان انتظارات اولیه و ادراک واقعی از عملکرد محصول یا خدمت است و زمانی حاصل می‌شود که ادراک مشتری با انتظارات او مطابقت داشته یا از آن فراتر رود. مدل کانو بر این باور است که نیازهای مشتریان در سه سطح نیازهای اساسی، عملکردی و انگیزشی دسته‌بندی می‌شوند و بر میزان رضایت یا نارضایتی آنان تأثیر مستقیم دارند (شاهرودی و همکاران، ۲۰۲۴). مدل سروکوال<sup>۵</sup> پنج بعد کلیدی کیفیت خدمات شامل قابلیت اعتماد، پاسخگویی، اطمینان، همدلی و ملموس بودن را به‌عنوان عوامل اصلی شکل‌دهنده رضایت معرفی می‌کند و مدل مشتری آمریکایی نیز رضایت مشتری را بر اساس شاخص‌هایی همچون کیفیت، ارزش درک شده، انتظارات و شکایات مشتریان می‌سنجد. رضایت مشتری ابعدی گوناگون دارد که می‌توان آن را در سه حوزه کارکردی، احساسی و تجربی بررسی کرد؛ به این معنا که علاوه بر عملکرد واقعی محصول یا خدمت، احساسات مثبت ناشی از تجربه تعامل با سازمان نیز در شکل‌گیری رضایت نقش اساسی ایفا می‌کنند. در این میان، کیفیت خدمات، هزینه خدمات، زمان پاسخگویی و تجربه کارکنان از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رضایت مشتری محسوب می‌شوند و هرگونه ضعف در این ابعاد می‌تواند سطح رضایت مشتریان را کاهش دهد. پیامدهای رضایت مشتری فراتر از یک تجربه فردی است و به‌طور مستقیم بر وفاداری مشتریان، تکرار خرید، افزایش سهم بازار و ارتقای جایگاه برند سازمان تأثیر می‌گذارد. از سوی دیگر، نارضایتی مشتریان که ناشی از عواملی چون کیفیت پایین خدمات، هزینه‌های بالا، تأخیر در پاسخگویی یا برخورد نامناسب کارکنان است،

### پیش‌بینی رضایت مشتریان خدمات پس از فروش با استفاده از یادگیری ... / آبایی و عابدی

پیامدهایی همچون ریزش مشتریان، کاهش سودآوری و آسیب به اعتبار برند سازمان را به دنبال دارد؛ بنابراین، مدیریت علمی و نظام‌مند رضایت مشتری می‌تواند نقش حیاتی در ایجاد مزیت رقابتی پایدار برای سازمان‌ها ایفا کند (لیو، ۲۰۲۳).

#### **-خدمات پس از فروش:**

خدمات پس از فروش به‌عنوان یکی از ارکان اساسی چرخه عمر مشتری، نقشی حیاتی در ارتقای رضایت و وفاداری مشتریان ایفا می‌کند و به‌عنوان عامل مهمی برای ایجاد مزیت رقابتی پایدار در صنایع مختلف به‌ویژه صنعت خودروسازی شناخته می‌شود. این خدمات مجموعه‌ای از فعالیت‌ها و پشتیبانی‌هایی هستند که پس از فروش کالا یا خدمت به مشتری ارائه می‌شوند و هدف آن‌ها افزایش ارزش ادراک‌شده مشتریان و تقویت تجربه کلی آنان است (بوز و چن، ۲۰۱۵). خدمات پس از فروش ابعاد متعددی دارد که شامل زمان پاسخگویی به درخواست‌ها، کیفیت خدمات ارائه‌شده، هزینه خدمات، تجربه و مهارت کارکنان و همچنین سطح دسترسی مشتریان به مراکز خدماتی است. کوتاه بودن زمان پاسخگویی، هزینه‌های منطقی، کیفیت بالای خدمات و برخورد مناسب کارکنان از جمله عواملی هستند که به‌طور مستقیم موجب افزایش رضایت مشتریان می‌شوند و در مقابل، تأخیر در پاسخگویی، هزینه‌های بالا و دسترسی محدود به خدمات از مهم‌ترین عوامل ایجاد نارضایتی محسوب می‌شوند (برونر و همکاران، ۲۰۲۵). اهمیت خدمات پس از فروش در صنعت خودروسازی دوچندان است، چراکه مشتریان انتظار دارند در صورت بروز هرگونه مشکل فنی یا نیاز به سرویس، پاسخگویی سریع، خدمات استاندارد و قابل‌اعتماد دریافت کنند. بهبود در کیفیت خدمات پس از فروش نه‌تنها موجب تقویت اعتماد مشتریان و افزایش وفاداری آنان می‌شود بلکه از طریق تبلیغات دهان‌به‌دهان مثبت می‌تواند به جذب مشتریان جدید نیز کمک کند. خدمات پس از فروش به‌طور مستقیم با شاخص‌هایی همچون تکرار خرید، افزایش ارزش طول عمر مشتری و ارتقای جایگاه برند در بازار ارتباط دارد و درنهایت، سرمایه‌گذاری در این حوزه ابزاری مؤثر برای افزایش سودآوری سازمان به شمار می‌آید؛ بنابراین، مدیریت هوشمند و کارآمد خدمات پس از فروش نه‌تنها بخشی از استراتژی بازاریابی سازمان است، بلکه ابزاری کلیدی برای ایجاد رابطه‌ای بلندمدت و پایدار با مشتریان محسوب می‌شود (آشرف و همکاران، ۲۰۲۵).

#### **-بررسی پیشینه پژوهش:**

در سال‌های اخیر، بهره‌گیری از یادگیری ماشین و الگوریتم‌های خوشه‌بندی به‌عنوان ابزاری مؤثر

برای تحلیل رفتار مشتریان و پیش‌بینی میزان رضایت آن‌ها در صنایع مختلف، ازجمله خدمات پس از فروش، به‌طور فزاینده‌ای موردتوجه قرار گرفته است.

در حوزه دیجیتال‌سازی، برونر و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که دیجیتال‌سازی با بهره‌گیری از تحلیل داده‌های مشتریان می‌تواند درک عمیق‌تری از نیازهای آن‌ها ارائه دهد و به بهبود تجربه مشتری بینجامد. شاه‌رودی و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۲۴) در صنعت بیمه ایران، با بهره‌گیری از تکنیک خوشه‌بندی کی‌مین، به توسعه راهبردهایی برای حفظ بیمه‌گذاران پرداختند و متغیرهایی نظیر هزینه بیمه درمانی را به‌عنوان مؤثرترین عوامل در بخش‌بندی مشتریان معرفی کردند. لیو<sup>۷</sup> (۲۰۲۳) با تلفیق تکنیک‌های داده‌کاوی نظیر درخت تصمیم ID3 و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، الگوریتم‌هایی برای ارزیابی عملکرد کارکنان در مدیریت منابع انسانی طراحی کرد و نشان داد که دقت پیش‌بینی در این سیستم بالا می‌باشد. در یک پژوهش دیگر، بوز و چن<sup>۸</sup> (۲۰۱۵) با توسعه نسخه‌ای بهبودیافته از الگوریتم خوشه‌بندی فازی، رفتار مهاجرتی مشتریان خدمات موبایل را شناسایی کردند و تأکید داشتند که این تکنیک‌ها می‌توانند به کشف الگوهای زمانی در تغییرات رضایت مشتری کمک کنند. وانگ و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۲۴) نیز با بهره‌گیری از الگوریتم ایکس جی بوست<sup>۱۰</sup>، رابطه بین عملکرد ویژگی‌های خدمات و رضایت مشتریان را بررسی کردند و الگوی تأثیر نامتقارن پویا میان آن‌ها را تشریح نمودند. در صنعت بیمه آنالین، اخوان و حسن‌نبی<sup>۱۱</sup> (۲۰۲۴) با طراحی چارچوبی ترکیبی متشکل از الگوریتم درخت تصمیم، به پیش‌بینی تجربه مشتریان پرداختند و توانستند با استفاده از روش‌های نمونه‌برداری مجدد، دقت مدل را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهند. آشرف و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۲۵) با تمرکز بر داده‌های خرده‌فروشی آنالین، چهار الگوریتم خوشه‌بندی ازجمله کی‌مین فازی را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این الگوریتم‌ها در بخش‌بندی مشتریان بر مبنای ویژگی‌های مشتری می‌توانند استراتژی‌های بازاریابی را هدفمندتر سازند. مطالعات فوق‌نشان می‌دهد که الگوریتم‌های خوشه‌بندی فازی و درخت تصمیم در تحلیل داده‌های رفتاری و احساسی مشتریان کاربرد وسیعی دارند و می‌توانند به‌عنوان ابزارهای تصمیم‌یار در بخش‌های مختلفی همچون بیمه، گردشگری، خرده‌فروشی، منابع انسانی و خدمات پس از فروش به کار روند. در سال‌های اخیر، استفاده از یادگیری ماشین، داده‌کاوی و خوشه‌بندی فازی در پیش‌بینی و سنجش رضایت مشتریان در مطالعات داخلی موردتوجه قرار گرفته است. شادمهر و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی بر روی رضایت بیماران از پزشکان، سه الگوریتم یادگیری ماشین شامل درخت تصمیم، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی را مقایسه کردند و نشان دادند که شبکه عصبی بالاترین دقت را در پیش‌بینی رضایت‌مندی دارد و مهم‌ترین عامل تأثیرگذار،

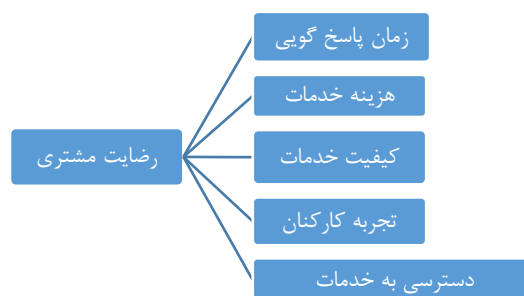
### پیش‌بینی رضایت مشتریان خدمات پس از فروش با استفاده از یادگیری ... / آبایی و عابدی

میزان اطلاعات دریافتی توسط بیمار از پزشک بوده است. قلی‌زاده و سربندی (۱۳۹۹) با استفاده از مدل معادلات ساختاری نشان دادند که مدیریت کیفیت جامع از طریق ارتقاء کیفیت خدمات، به‌طور غیرمستقیم موجب افزایش رضایت و وفاداری مشتریان می‌شود. کیومرث و نیاکان (۱۴۰۰) نیز با بررسی رضایت‌مندی مشتریان بیمه‌های عمر، دریافتند که عواملی چون عدم تحقق وعده‌ها و ضعف در همدلی بیشترین تأثیر را در کاهش رضایت مشتریان دارند. در حوزه خدمات ورزشی، دنیای‌پور و عبدوی (۱۳۹۹) با طراحی مدل مفهومی رضایت مشتریان فروشگاه‌های ورزشی، هفت عامل اصلی را شناسایی کرده و با حذف گویه‌های نامناسب، مدل نهایی با شاخص‌های برازش مطلوب را ارائه دادند. سهرابی و همکاران (۱۳۹۷) نیز با بهره‌گیری از داده‌کاوی و الگوریتم‌های طبقه‌بندی و رگرسیون نرم‌افزار رپیدماینر، مدلی برای پیش‌بینی رضایت مشتریان از خدمات پشتیبانی نرم‌افزاری طراحی کردند و از روش وزن‌دهی برای تعیین مؤثرترین متغیرها استفاده نمودند. عبدالهی و همکاران (۱۳۹۵) با ترکیب تکنیک خوشه‌بندی کی مین و مدل کانوی فازی، نیازهای مشتریان خدمات معاملات برخط بورس را در سه خوشه مجزا شناسایی کرده و میزان رضایت یا ناراضایتی هر ویژگی را در هر خوشه به‌صورت ضریب کمی محاسبه نمودند. شکاف‌های پژوهشی و نوآوری در این پژوهش عبارت است از: استفاده هم‌زمان از دو الگوریتم خوشه‌بندی فازی و درخت تصمیم فازی در زمینه خدمات پس از فروش صنعت خودروسازی، به‌عنوان یک رویکرد ترکیبی و نوآورانه، تاکنون کمتر موردتوجه قرارگرفته است. این پژوهش تلاش دارد تا با استفاده از ترکیب این دو الگوریتم‌های، ضمن شناسایی الگوهای رفتاری مشتریان، پیش‌بینی دقیقی از میزان رضایت آن‌ها ارائه دهد و شکاف‌های موجود در مطالعات پیشین را پر کند.

#### **-روش تحقیق:**

این پژوهش از نوع کاربردی است و با رویکردی کمی و داده‌محور به تحلیل و پیش‌بینی میزان رضایت مشتریان خدمات پس از فروش خودرو می‌پردازد. ابزار جمع‌آوری داده‌ها شامل پرسش‌نامه‌های استاندارد و داده‌های واقعی می‌باشد. پرسشنامه مورد استفاده در این پژوهش بر مبنای ابعاد شناخته‌شده رضایت مشتری طراحی گردید. این ابعاد برگرفته از مدل‌های معتبر بین‌المللی SERVQUAL می‌باشند که در تحقیقات متعدد به‌عنوان ابزارهای استاندارد برای سنجش رضایت مشتری به‌کاررفته‌اند. همچنین، روایی محتوایی پرسشنامه از طریق نظر خبرگان دانشگاهی و صنعتی تأیید شد و پایایی آن با محاسبه ضریب آلفای کرونباخ بالاتر از ۰.۷ موردپذیرش قرار گرفت؛ بنابراین، معیار استاندارد بودن پرسشنامه مبتنی بر پشتوانه نظری معتبر، اعتبارسنجی توسط خبرگان و آزمون پایایی آماری بوده

است. داده‌های این پژوهش شامل ۱۲۰۰ نمونه از مشتریان خدمات پس از فروش شرکت بهمن خودرو می‌باشد. برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها جهت تحلیل‌های بعدی، از آزمون KMO و آزمون بارتلت استفاده شد. نتایج این آزمون‌ها نشان داد که مقدار KMO بالاتر از ۰.۷ بوده و در نتیجه کفایت نمونه در سطح مطلوب قرار دارد. همچنین سطح معناداری آزمون بارتلت کمتر از ۰.۰۵ به دست آمد که بیانگر مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی و استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل دو الگوریتم اصلی خوشه‌بندی فازی و درخت تصمیم فازی خواهد بود. در مرحله اول، الگوریتم خوشه‌بندی فازی برای گروه‌بندی مشتریان به خوشه‌های همگن بر اساس ویژگی‌های مشترک استفاده می‌شود. این الگوریتم، انعطاف‌پذیری بالایی در تحلیل داده‌های مبهم و عدم قطعیت دارد و می‌تواند داده‌ها را در چندین خوشه با درجات عضویت متفاوت تقسیم کند. در مرحله دوم، از الگوریتم درخت تصمیم فازی برای پیش‌بینی میزان رضایت مشتریان استفاده خواهد شد. درخت تصمیم فازی، توانایی تحلیل و تفسیر روابط پیچیده بین متغیرها را دارد و می‌تواند قوانین شفاف و قابل‌فهمی برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان استخراج کند. فرآیند تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی متلب نسخه ۱۳ انجام شد که امکان پیاده‌سازی الگوریتم‌های فازی و پردازش داده‌ها را فراهم می‌کنند. داده‌ها به دو بخش آموزشی (۷۰٪) و آزمایشی (۳۰٪) تقسیم شد. این نسبت برای آزمایش یکی از پرکاربردترین استانداردها در پژوهش‌های حوزه یادگیری ماشین و داده‌کاوی است. در بسیاری از مطالعات داده‌کاوی و یادگیری ماشین این نسبت به‌عنوان یک معیار استاندارد و متوازن مورد استفاده قرار گرفته است. نمودار ۱ مدل پژوهش شامل، متغیرهای مستقل شامل زمان پاسخ‌گویی، هزینه خدمات، کیفیت خدمات، تجربه کارکنان و دسترسی به خدمات در نظر گرفته شده‌اند و متغیر وابسته رضایت مشتری است.



نمودار ۱. مدل مفهومی پژوهش

Figure 1. Conceptual Model of the Research

## پیش‌بینی رضایت مشتریان خدمات پس از فروش با استفاده از یادگیری ... / آبایی و عابدی

### **–فرآیند پاک‌سازی داده‌ها:**

در این پژوهش، داده‌های مربوط به ۱۲۰۰ مشتری پس از فروش یک شرکت خودروسازی طی فرآیند پاک‌سازی آماده تحلیل شدند. ابتدا مقادیر پرت با روش Z-Score و IQR شناسایی و در متغیرهای مربوط تعدیل گردید. سپس مقادیر گم‌شده با روش میانگین و KNN Imputation تکمیل شدند. به‌منظور یکنواختی مقیاس متغیرها، نرمال‌سازی با روش Min-Max و Z-Score انجام شد. در ادامه متغیرهای کیفی با روش One-Hot به داده‌های عددی تبدیل شدند. درنهایت، مجموعه داده استاندارد بدون نویز و تناقض آماده ورود به الگوریتم‌های FCM و FDT گردید که کیفیت و دقت تحلیل‌ها را تضمین می‌کند.

### **–تجزیه و تحلیل داده‌ها با الگوریتم خوشه‌بندی فازی:**

فرآیند تحلیل داده‌ها با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی<sup>۱۳</sup> به‌منظور شناسایی الگوهای پنهان در داده‌های مشتریان خدمات پس از فروش انجام شد. مشخصات خوشه‌ها در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

#### **جدول ۱. مشخصات خوشه‌بندی مشتریان**

**Table 1. Customer Clustering Characteristics**

| خوشه   | میانگین زمان پاسخگویی (ثانیه) | میانگین هزینه خدمات (واحد) | میانگین کیفیت خدمات (۱-۵) | میانگین تجربه کارکنان (سال) | میانگین دسترسی به خدمات (۱-۵) |
|--------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| خوشه ۰ | ۴۵                            | ۳۵۰                        | ۴٫۲                       | ۱۵                          | ۴                             |
| خوشه ۱ | ۱۲۰                           | ۷۵۰                        | ۲٫۸                       | ۸                           | ۳                             |
| خوشه ۲ | ۸۵                            | ۵۰۰                        | ۳٫۵                       | ۱۲                          | ۳٫۵                           |

خوشه ۰: مشتریانی با زمان پاسخگویی کوتاه، هزینه خدمات پایین‌تر از میانگین و کیفیت خدمات بالا. این گروه احتمالاً از خدمات راضی هستند. خوشه ۱: مشتریانی با زمان پاسخگویی طولانی و هزینه خدمات بالا. این گروه به دلیل زمان پاسخگویی و هزینه‌های بالا، ممکن است سطح رضایت کمتری داشته باشند. خوشه ۲: مشتریانی با ویژگی‌های متعادل در زمان پاسخگویی و هزینه خدمات. این گروه در شرایط متوسط قرار دارند و بهبود اندکی در خدمات می‌تواند تأثیر زیادی بر رضایت آن‌ها داشته باشد.

جدول ۲. تحلیل مقایسه‌ای ویژگی‌های خوشه‌ها

Table 2. Comparative Analysis of Cluster Characteristics

| ویژگی         | خوشه ۰ (بهینه) | خوشه ۱ (غیر بهینه) | خوشه ۲ (متوسط) |
|---------------|----------------|--------------------|----------------|
| زمان پاسخگویی | کم             | زیاد               | متوسط          |
| هزینه خدمات   | کم             | زیاد               | متوسط          |
| کیفیت خدمات   | بالا           | پایین              | متوسط          |
| تجربه کارکنان | زیاد           | کم                 | متوسط          |
| دسترسی خدمات  | زیاد           | متوسط              | متوسط          |

جدول ۲ نشان می‌دهد خوشه ۰ (بهینه) شامل گروهی از مشتریان باتجربه مثبت از خدمات، زمان پاسخگویی سریع، هزینه پایین و کیفیت بالای خدمات می‌باشند. خوشه ۱ (غیر بهینه)؛ این گروه نشان‌دهنده چالش‌های اساسی در هزینه و زمان پاسخگویی است که ممکن است موجب نارضایتی مشتریان شود. خوشه ۲ (متوسط)؛ این گروه پتانسیل بهبود قابل‌توجهی دارد و می‌تواند با تغییرات جزئی به سطح بهینه منتقل شود.

جدول ۳. استراتژی پیشنهادی برای هر خوشه

Table 3. Proposed Strategy for Each Cluster

| خوشه   | استراتژی بهبود                                                                |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|
| خوشه ۰ | حفظ استانداردهای فعلی، افزایش تمرکز بر ارائه خدمات شخصی‌سازی شده.             |
| خوشه ۱ | کاهش زمان پاسخگویی از طریق بهینه‌سازی فرآیندها و استفاده از سیستم‌های خودکار. |
| خوشه ۲ | بهبود کیفیت خدمات و افزایش تجربه کارکنان برای ارتقاء سطح خدمات ارائه شده.     |

خوشه‌بندی داده‌های مشتریان نشان داد که تفاوت‌های قابل‌توجهی در ویژگی‌های گروه‌های مختلف وجود دارد. شناسایی و تحلیل هر خوشه، به مدیران این امکان را می‌دهد که استراتژی‌های مشخص و کارآمدی برای بهبود خدمات تدوین کنند. استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی به‌عنوان یک ابزار تحلیلی قدرتمند، دیدگاه‌های عملی و عمیقی در مورد رفتار مشتریان ارائه می‌دهد. نتایج این خوشه‌بندی به‌عنوان ورودی برای الگوریتم درخت تصمیم فازی استفاده خواهد شد تا پیش‌بینی دقیقی از میزان رضایت مشتریان انجام شود.

-تجزیه و تحلیل داده‌ها با الگوریتم درخت تصمیم فازی:

در این بخش از الگوریتم درخت تصمیم فازی برای پیش‌بینی رضایت مشتریان خدمات پس از فروش استفاده می‌شود. این الگوریتم به دلیل قابلیت درک پذیری بالا و انعطاف‌پذیری در مواجهه با داده‌های مبهم و دارای عدم قطعیت، به‌عنوان یک ابزار مناسب برای تحلیل داده‌ها انتخاب شده است.

## پیش‌بینی رضایت مشتریان خدمات پس از فروش با استفاده از یادگیری ... / آبایی و عابدی

جدول ۴. متغیرهای ورودی و خروجی مدل

Table 4. Input and Output Variables of the Model

| توضیحات                                           | نام متغیر       | نوع متغیر              |
|---------------------------------------------------|-----------------|------------------------|
| مدت‌زمان پاسخ به درخواست مشتری (ثانیه).           | زمان پاسخگویی   | متغیرهای ورودی (مستقل) |
| هزینه پرداخت‌شده توسط مشتری برای خدمات (واحد پول) | هزینه خدمات     |                        |
| سطح کیفی خدمات دریافتی (۱-۵)                      | کیفیت خدمات     |                        |
| میزان تجربه نیروی انسانی (سال)                    | تجربه کارکنان   |                        |
| میزان دسترسی مشتری به خدمات                       | دسترسی به خدمات |                        |
| وضعیت رضایت مشتری (راضی=۱ / ناراضی=۰)             | رضایت مشتری     | متغیر خروجی (وابسته)   |

پس از اعمال الگوریتم درخت تصمیم فازی در جدول ۴، چند قانون اصلی به دست آمد که ارتباط میان متغیرهای ورودی و میزان رضایت مشتریان در جدول ۵ نشان می‌دهد.

جدول ۵. قوانین استخراج‌شده از درخت تصمیم فازی

Table 5. Rules Extracted from the Fuzzy Decision Tree

| میزان اطمینان | نتیجه                | شرایط                                                                       | شماره قانون |
|---------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|
| ۹۲٪           | رضایت مشتری = راضی   | اگر زمان پاسخگویی $\geq ۵۰$ و هزینه خدمات $\geq ۴۰۰$ و کیفیت خدمات $\leq ۴$ | قانون ۱     |
| ۸۸٪           | رضایت مشتری = ناراضی | اگر زمان پاسخگویی $< ۱۲۰$ و هزینه خدمات $< ۷۰۰$ و کیفیت خدمات $\geq ۲$      | قانون ۲     |
| ۸۵٪           | رضایت مشتری = راضی   | اگر تجربه کارکنان $\leq ۱۵$ و دسترسی به خدمات $\leq ۴$                      | قانون ۳     |
| ۸۰٪           | رضایت مشتری = متوسط  | اگر هزینه خدمات بین ۴۰۰ و ۶۰۰ و زمان پاسخگویی بین ۵۰ و ۱۰۰                  | قانون ۴     |

دقت مدل درخت تصمیم فازی در جدول ۶ توانسته است پیش‌بینی‌های دقیقی با دقت ۸۹٪ ارائه دهد. نرخ مثبت واقعی مدل توانسته مشتریان راضی را به‌خوبی شناسایی کند. نرخ منفی واقعی مدل در شناسایی مشتریان ناراضی نیز عملکرد قابل قبولی داشته است.

جدول ۶. مقایسه متغیرهای تأثیرگذار بر رضایت مشتریان

Table 6. Comparison of Variables Affecting Customer Satisfaction

| درصد تأثیر | نام متغیر       | رتبه تأثیرگذاری |
|------------|-----------------|-----------------|
| ۳۰٪        | زمان پاسخگویی   | ۱               |
| ۲۵٪        | هزینه خدمات     | ۲               |
| ۲۰٪        | کیفیت خدمات     | ۳               |
| ۱۵٪        | تجربه کارکنان   | ۴               |
| ۱۰٪        | دسترسی به خدمات | ۵               |

متغیرهای زمان پاسخگویی و هزینه خدمات به عنوان مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر رضایت مشتری شناسایی شدند. قوانین استخراج شده از مدل نشان می دهد که مشتریان راضی معمولاً با خدمات سریع، هزینه مقرون به صرفه و کیفیت بالا مواجه هستند. مدل درخت تصمیم فازی توانست با دقت ۸۹٪ پیش بینی دقیقی از میزان رضایت مشتریان ارائه دهد. نتایج به دست آمده به مدیران خدمات پس از فروش این امکان را می دهد تا با استفاده از قوانین شفاف، استراتژی های عملیاتی مؤثری برای بهبود سطح رضایت مشتریان تدوین کنند. گام بعدی: استفاده از نتایج به دست آمده برای تدوین یک مدل بهینه و کاربردی که بتواند در محیط واقعی پیاده سازی شود و به بهبود عملکرد خدمات پس از فروش کمک کند.

#### -تحلیل مقایسه ای مدل ها: خوشه بندی فازی (FCM) و درخت تصمیم فازی (FDT):

در این بخش، عملکرد دو مدل خوشه بندی فازی و درخت تصمیم فازی برای تحلیل و پیش بینی رضایت مشتریان خدمات پس از فروش در جدول ۷ مقایسه می شود.

جدول ۷. مقایسه ویژگی های کلیدی دو مدل

Table 7. Comparison of Key Features of the Two Models

| شاخص مقایسه   | خوشه بندی فازی (FCM)                    | درخت تصمیم فازی (FDT)                    |
|---------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| هدف اصلی      | گروه بندی مشتریان به خوشه های مشابه     | پیش بینی وضعیت رضایت مشتری (راضی/ناراضی) |
| نوع خروجی     | خوشه ها (۳ خوشه شناسایی شده)            | قوانین قابل تفسیر (IF-THEN)              |
| تعامل متغیرها | شناسایی شباهت ها و تفاوت ها بین گروه ها | تحلیل رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی   |
| کاربردپذیری   | مناسب برای تحلیل اکتشافی و بخش بندی     | مناسب برای پیش بینی و تصمیم گیری         |
| شاخص ارزیابی  | Silhouette Score                        | دقت (Accuracy)، MAE، RMSE                |

خوشه بندی فازی مناسب برای شناسایی گروه های مشتریان با ویژگی های مشابه و ارائه استراتژی های هدفمند برای هر گروه می باشد. درخت تصمیم فازی مناسب برای تحلیل روابط میان متغیرها و پیش بینی مستقیم میزان رضایت مشتریان پیشنهاد می شود.

جدول ۸. مقایسه دقت پیش بینی مدل ها

Table 8. Comparison of Model Prediction Accuracy

| شاخص ارزیابی             | FCM  | FDT  |
|--------------------------|------|------|
| دقت (Accuracy)           | ۸۴٪  | ۸۹٪  |
| میانگین خطای مطلق (MAE)  | ۰.۱۶ | ۰.۰۸ |
| میانگین مجذور خطا (RMSE) | ۰.۲۱ | ۰.۱۲ |
| شاخص Silhouette Score    | ۰.۶۷ | -    |

### پیش‌بینی رضایت مشتریان خدمات پس از فروش با استفاده از یادگیری ... / آبایی و عابدی

دقت و شاخص Silhouette در جدول ۸ نشان می‌دهند که خوشه‌ها به‌خوبی از یکدیگر تفکیک شده‌اند. خطای کمتر (MAE) و (RMSE) و دقت بالاتر نشان می‌دهند که مدل درخت تصمیم فازی برای پیش‌بینی نتایج عملکرد بهتری دارد.

#### **-بحث و نتیجه‌گیری:**

امروزه در دنیای کسب‌وکار، رضایت مشتریان به‌عنوان یک مزیت رقابتی پایدار شناخته می‌شود و شرکت‌ها تلاش می‌کنند تا با درک عمیق‌تر از نیازها و رفتار مشتریان، کیفیت خدمات خود را بهبود بخشند. در صنعت خودروسازی، خدمات پس از فروش نقش کلیدی در ایجاد تجربه مثبت برای مشتریان و افزایش وفاداری آن‌ها ایفا می‌کند. با توجه به پیچیدگی داده‌ها و حجم زیاد اطلاعات مشتریان، استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین می‌تواند به شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر رضایت مشتریان کمک کند. مسئله اصلی این پژوهش این بود که چگونه می‌توان با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی فازی و درخت تصمیم فازی میزان رضایت مشتریان خدمات پس از فروش یک شرکت خودروسازی را تحلیل و پیش‌بینی کرد. این پژوهش با استفاده از داده‌های واقعی مربوط به ۱۲۰۰ مشتری خدمات پس از فروش اجرا شد. نتایج خوشه‌بندی فازی نشان داد هر خوشه نیازمند استراتژی‌های خاص خود برای بهبود خدمات و افزایش رضایت مشتریان است. نتایج درخت تصمیم فازی قوانین مشخص و قابل‌فهمی برای پیش‌بینی رضایت مشتریان ارائه کرد. مقایسه دو الگوریتم نشان داد: الگوریتم خوشه‌بندی فازی در شناسایی خوشه‌ها و گروه‌بندی مشتریان به‌خوبی عمل کرد و دقت نتایج آن ۰.۶۷ ارزیابی شد. الگوریتم درخت تصمیم در پیش‌بینی میزان رضایت مشتریان عملکرد بهتری داشت و دقت پیش‌بینی آن بود و خطاهای مدل در محدوده قابل قبولی قرار داشتند. پژوهش حاضر با استفاده از ترکیب خوشه‌بندی فازی خوشه‌بندی فازی و درخت تصمیم فازی خوشه‌بندی فازی توانست نسبت به بسیاری از پژوهش‌های پیشین که تنها از یکی از این الگوریتم‌ها استفاده کرده بودند، نتایج جامع‌تری ارائه دهد. این ترکیب، علاوه بر شناسایی گروه‌های مشتریان، قابلیت پیش‌بینی دقیق رضایت مشتریان را نیز فراهم کرد. در مقایسه با پژوهش‌های قبلی که از درخت تصمیم استاندارد (DT) استفاده کرده بودند، پژوهش حاضر با استفاده از نسخه فازی درخت تصمیم توانست دقت پیش‌بینی بالاتری ۸۹٪ را به‌دست آورد. درخت تصمیم فازی در پژوهش حاضر قوانین شفاف و قابل تفسیر ارائه داد که این قوانین به مدیران امکان می‌دهد تا استراتژی‌های بهتری برای بهبود خدمات تدوین کنند. این ویژگی در مقایسه با الگوریتم‌های صرفاً خوشه‌بندی که بیشتر جنبه اکتشافی دارند، یک مزیت قابل‌توجه است. پژوهش حاضر تأثیر زمان پاسخگویی، هزینه خدمات و کیفیت خدمات را با

دقت بیشتری نسبت به پژوهش‌های پیشین تحلیل کرد. پژوهش حاضر برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که از روش‌های کلاسیک استفاده کرده بودند، از منطق فازی برای مدیریت عدم قطعیت در داده‌ها بهره برد. این ویژگی، پژوهش حاضر را در تحلیل شرایط مبهم و پیچیده برتر می‌سازد. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب دو الگوریتم، رویکردی جامع و دقیق برای تحلیل و پیش‌بینی میزان رضایت مشتریان ارائه می‌دهد. خوشه‌بندی فازی ابزاری مناسب برای شناسایی گروه‌های مشتریان و ارائه استراتژی‌های تفکیکی است. درخت تصمیم فازی با قوانین شفاف و قابل فهم، به مدیران کمک می‌کند تا تصمیمات مؤثرتری اتخاذ کنند. لذا پیشنهاد می‌گردد سازمان‌ها باید بر کاهش زمان پاسخگویی به درخواست‌های مشتریان از طریق به کارگیری سیستم‌های خودکار تمرکز و نسبت به بازنگری در هزینه خدمات و طراحی بسته‌های تشویقی برای مشتریان وفادار اقدام نمایند. همچنین آموزش مداوم کارکنان خدمات پس از فروش برای ارتقای تجربه مشتریان پیشنهاد می‌شود. افزایش دسترسی به مراکز خدمات پس از فروش، به‌ویژه در مناطق کم برخوردار، باید در اولویت قرار گیرد. از سوی دیگر استفاده از فناوری‌های هوشمند و سیستم‌های مدیریت ارتباط با مشتری برای تحلیل مداوم داده‌ها توصیه می‌شود. به پژوهشگران آتی پیشنهاد می‌گردد؛ استفاده از الگوریتم‌های دیگر مانند شبکه‌های عصبی عمیق یا ترکیب الگوریتم‌ها در راستای تکمیل و توسعه مدل انجام نمایند. همچنین می‌توان متغیرهایی مانند احساسات و بازخورد مشتریان در رسانه‌های اجتماعی را به متغیرهای مدل اضافه نمود. این پژوهش نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، به‌ویژه خوشه‌بندی فازی و درخت تصمیم فازی، می‌تواند به مدیران در شناسایی گروه‌های مختلف مشتریان، پیش‌بینی میزان رضایت آن‌ها و تدوین استراتژی‌های هدفمند کمک کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان الگویی عملی برای بهبود خدمات پس از فروش در صنعت خودروسازی و سایر صنایع مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع:

- 1) Abdollahi, A., Shekouhiyar, S., & Ghadari, M. (1395). Measuring customer satisfaction with online trading services using Kano fuzzy approach and data mining. *Financial Management Perspective*, 6(4), 95–114. <https://sid.ir/paper/503372/fa> (in Persian)
- 2) Akhavan, F., & Hassannayebi, E. (2024). A hybrid machine learning with process analytics for predicting customer experience in online insurance services industry. *Decision Analytics Journal*, 11, 100452. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100452>
- 3) Ashraf, A., Rayed, C. A., Awad, N. A., & Sabry, H. M. (2025). A framework for customer segmentation to improve marketing strategies using machine learning. *Procedia Computer Science*, 260, 616–625. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.03.240>
- 4) Bose, I., & Chen, X. (2015). Detecting the migration of mobile service customers using fuzzy clustering. *Information & Management*, 52(2), 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.im.2014.11.001>
- 5) Brunner, M., Tripathi, S., Gundolf, K., Bachmann, N., Thienemann, A. K., Tüzün, A., Pöchtrager, S., & Jodlbauer, H. (2025). Enhancing customer satisfaction through digitalization: Past, present and possible future approaches. *Procedia Computer Science*, 253, 2929–2940. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.02.017>
- 6) Donyapour, H., & Abdavi, F. (1399). A conceptual model of factors affecting customer satisfaction in sports stores. *Sports Marketing Studies*, 1(2), 100–132. <https://sid.ir/paper/381548/fa> (in Persian)
- 7) Gholizadeh, H., & Sarbandi, S. (1399). Evaluation of the impact of total quality management application on customer satisfaction and loyalty. *Business Studies*, 18(103), 101–113. <https://sid.ir/paper/391603/fa> (in Persian)
- 8) Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F., & Tsuji, S. (1984). Attractive quality and must-be quality. *Journal of the Japanese Society for Quality Control*, 14(2), 39–48.
- 9) Kiumarh, M., & Niakan, L. (1400). Evaluation of customer satisfaction with life insurance policies. *Insurance Research Journal*, 36(1), 87–119. <https://sid.ir/paper/986327/fa> (in Persian)
- 10) Liu, J. (2023). Design and application of human resource management system based on data mining technology. *Procedia Computer Science*, 228, 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.11.028>

- 11) Oliver, R. L. (1980). A cognitive model of the antecedents and consequences of satisfaction decisions. *Journal of Marketing Research*, 17(4), 460–469. <https://doi.org/10.1177/002224378001700405>
- 12) Shahroodi, K., Darestani, S. A., Soltani, S., & Eisazadeh Saravani, A. (2024). Developing strategies to retain organizational insurers using a clustering technique: Evidence from the insurance industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 201, 123217. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123217>
- 13) Shadmehr, M., Heshmati, Z. A., Saqafi, F., & Vaisi, H. (1394). Modeling patient satisfaction with physicians based on machine learning methods. *Information and Communication Technology Iran*, 7(23–24), 1–23. <https://sid.ir/paper/171492/fa> (in Persian)
- 14) Sohrabi, B., Reyisi Vanani, I., & Keshavarzi, S. (1397). Developing a model to predict customer satisfaction with software support services using data mining. *Strategic Management Researches*, 24(68), 115–133. <https://sid.ir/paper/513557/fa> (in Persian)
- 15) Wang, J., Wu, J., Sun, S., & Wang, S. (2024). The relationship between attribute performance and customer satisfaction: An interpretable machine learning approach. *Data Science and Management*, 7(3), 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.dsm.2024.01.003>

یادداشت‌ها:

- 
- 1 - Brunner et al.
  - 2 - Richard L. Oliver
  - 3 - Noriaki Kano
  - 4 - ACSI
  - 5 - SERVQUAL
  - 6 - Shahroodi et al.
  - 7 - Liu
  - 8 - Bose & Chen
  - 9 - Wang et al
  - 10 - XGBoost
  - 11 - Akhavan & Hassannayebi
  - 12 - Ashraf et al
  - 13 - Fuzzy C-Means

## Predicting Customer Satisfaction of After-Sales Services Using Machine Learning in Customer Relationship Management (CRM)

Hooman Abai<sup>1</sup>

Sadegh Abedi<sup>2</sup>

Receipt: 27/07/2025      Acceptance: 20/09/2025

### Abstract

**Background and Objective:** Customer Relationship Management (CRM) is an effective tool for identifying and analyzing customer needs. Combining it with machine learning algorithms allows the development of customer satisfaction prediction models that can predict the probability of customer satisfaction with high accuracy. In addition to managerial decision-making at the operational level, these models are also used in formulating macro customer-oriented policies. The aim of this study is to identify the main factors affecting customer satisfaction and provide a model for predicting satisfaction levels in the automotive industry. **Methodology:** This is an applied study and data related to 1200 after-sales service customers of an automotive company was collected. After cleaning and normalizing the data, two machine learning algorithms including fuzzy clustering (FCM) and fuzzy decision tree (FDT) were used for analysis. Also, the validity of the models was measured with indicators such as accuracy, MAE, and RMSE. **Findings:** The results showed that customers fall into three main clusters including "satisfied", "dissatisfied" and "average". The variables of response time (30%) and service cost (25%) had the greatest impact on customer satisfaction. The accuracy of the fuzzy decision tree model was calculated to be 89% and its RMSE error was 0.12, which indicates the optimal performance of the model. **Conclusion:** This study showed that the use of machine learning algorithms, especially fuzzy clustering and fuzzy decision tree, can help managers identify different groups of customers, predict their satisfaction levels and develop targeted strategies. The results of this study can be used as a practical model for improving after-sales services in the automotive industry and other similar industries. The use of smart technologies and customer relationship management (CRM) systems for continuous data analysis is recommended.

### Keywords:

Machine Learning, Fuzzy Clustering, Fuzzy Decision Tree, Customer Satisfaction, Customer Relationship Management

1-Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. hooman.abaei@iau.ac.ir

2-Department of Industrial Management, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. (Corresponding Author) abedi.sadegh@iau.ac.ir

**Extended Abstract:**

This article examines customer satisfaction with after-sales services in the automotive industry and predicts it using machine learning algorithms. The study was designed with the aim of identifying the key factors affecting customer satisfaction and providing a practical model for prediction. The importance of the topic lies in the fact that, in today's competitive conditions, after-sales services not only complement the sales process but also directly influence customer loyalty and market share retention. Customer Relationship Management (CRM) is introduced as the main framework of the study, which in its operational, analytical, and interactive dimensions helps organizations manage interactions with customers. Satisfaction with after-sales services is described as a sustainable competitive advantage, whose positive outcomes include repeat purchases, positive word-of-mouth advertising, and increased customer lifetime value. In the theoretical foundations, well-known models such as Oliver's Expectation-Disconfirmation Theory, the Kano Model, SERVQUAL, and the American Customer Satisfaction Index are reviewed. These models show that customer satisfaction is a combination of functional, emotional, and experiential factors. Moreover, the importance of after-sales services in the automotive industry is emphasized, as customers expect fast response times and high-quality services when problems occur. The literature review references numerous domestic and international studies. These studies demonstrated that data mining techniques such as clustering, decision trees, and neural networks can identify customer behavior patterns. However, the main research gap in this study is that very few have simultaneously applied both Fuzzy C-Means clustering (FCM) and Fuzzy Decision Tree (FDT) in the context of automotive after-sales services. This innovation allows the present research to provide more accurate and comprehensive results compared with previous studies. The methodology is applied and quantitative, and data were collected through standardized questionnaires and real information. The questionnaire was designed based on the dimensions of the SERVQUAL model and its validity and reliability were confirmed. The statistical population included 1,200 after-sales service customers of an automotive company. Before analysis, the data were cleaned and normalized using statistical methods and data-mining techniques. KMO and Bartlett's tests confirmed that the data were suitable for further analysis. The algorithms were then implemented using MATLAB software.

The results of FCM clustering revealed that customers fall into three main clusters. The first cluster included customers who experienced fast response times, low service costs, and high service quality; this group showed the highest level of satisfaction. The second cluster comprised customers with long response times and high service costs, who naturally exhibited higher dissatisfaction. The third cluster represented an average group with moderate characteristics that could be improved with minor service enhancements. For each cluster, specific strategies were proposed: maintaining standards and personalized services for Cluster 1, reducing response time through process optimization for Cluster 2, and improving service quality and staff experience for Cluster 3. Subsequently, the FDT algorithm was applied to predict customer satisfaction more precisely. This algorithm provided clear and interpretable decision rules. For example, if response time is less than 50 seconds, cost is below 400 units, and quality is above 4, the probability of customer satisfaction is 92%. Conversely, if response time is over 120 seconds, service cost is above 700, and quality is below 2, the probability of dissatisfaction is 88%. Additionally, high staff experience and easy access to services were also identified as important factors increasing satisfaction. Results showed that the accuracy of the FDT model was 89%, with an RMSE of 0.12, confirming the model's reliability. The analysis of variable importance indicated that response time (30%) and service cost (25%) were the most influential factors. Service quality ranked third with 20%, followed by staff experience (15%) and service accessibility (10%). Comparing the performance of the two algorithms, FCM was found suitable for clustering and exploratory analysis, while FDT performed better in direct prediction of satisfaction. In the discussion and conclusion, the article emphasizes that customer satisfaction must be managed scientifically and systematically as a sustainable competitive advantage. In the automotive industry, the quality of after-sales services plays a vital role in customer loyalty. The combination of fuzzy algorithms provided more accurate and comprehensive results than previous studies that had only used one method. The article recommends that companies should focus on reducing response times through automation systems, revising service costs and offering promotional packages for loyal customers. Continuous training of staff to improve customer experience and expanding access to service centers, particularly in underprivileged areas, are also recommended. The use of intelligent technologies and CRM systems for ongoing data analysis was considered essential. For future research, it is suggested that more advanced

---

algorithms such as deep neural networks or hybrid methods be applied. Furthermore, adding new variables such as customer feedback from social media could enrich the models. Ultimately, this study demonstrated that the combination of FCM and FDT provides a practical and efficient framework for analyzing and predicting customer satisfaction and helps managers design targeted strategies and improve services. The results of this study are practical and can be generalized to similar industries.