

طراحی مدل تشخیص زودهنگام ایرادات قابلیت اطمینان محصول با استفاده از تحلیل داده‌های گارانتی و نتایج آزمون‌های کیفی خط تولید (مطالعه موردی سالن موتورسازی)

امیر شریف‌پور

کارشناس ارشد کیفیت جامع خودرو، موسسه آموزشی، پژوهشی و فناوری گروه صنعتی ایران خودرو، sharifpour@ikco.ir

کامیار صبری لقای

(نویسنده مسئول) استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی ارومیه *

حمیدرضا ایزدبخش

استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه خوارزمی، hizadbakhsh@khu.ac.ir

مرتضی آگاه

کارشناس ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه علم و صنعت ایران، mortezaagah68@gmail.com

چکیده هزینه‌های گارانتی در شرکت‌های تولیدی یکی از سرفصل‌های مهم هزینه‌ای را شکل داده و می‌تواند بخش قابل توجهی از سود شرکت را به خود اختصاص دهد. طبیعی است که تلاش برای کاهش این هزینه‌ها می‌تواند منجر به افزایش حاشیه سود شود. در همین راستا شناسایی ایرادات قابلیت اطمینانی پیش از وقوع آن‌ها می‌تواند به کاهش هر چه بیشتر این هزینه‌ها و همچنین کاهش نارضایتی مشتری کمک کند. از آنجایی که مشکلات قابلیت اطمینان ممکن است ناشی از ایرادات تولیدی باشند جداسازی این محصولات پس از فرایند تولید به کاهش بازگشت‌های گارانتی کمک شایانی می‌کند. لذا در این مقاله، یک مدل تشخیص زودهنگام ایرادات قابلیت اطمینان محصول با استفاده از تحلیل داده‌های گارانتی و پارامترهای کیفی خط تولید طراحی شده است. در همین راستا یک مطالعه موردی بر روی موتورهای TU5 ایران خودرو انجام شده است.

کلمات کلیدی قابلیت اطمینان، تحلیل داده‌های گارانتی، مدل تشخیص زودهنگام، مدل نرخ خرابی

۱- مقدمه

همچنین هزینه‌های مالی که تولیدکننده و ارایه دهنده خدمات گارانتی برای پذیرش و رفع ایرادات محصول صرف می‌کند، باعث کاهش حاشیه سود و از بین رفتن منابع می‌شود. به همین جهت بهبود قابلیت اطمینان محصول و کاهش هزینه‌های گارانتی یکی از اهداف و مسئولیت‌های اصلی هر شرکت خودروسازی است. در این راستا تشخیص زودهنگام مشکلات قابلیت اطمینان می‌تواند به تولیدکنندگان و تامین‌کنندگان کمک کند تا از طریق اقدامات اصلاحی به موقع، اقدام به حداقل رساندن هزینه‌های گارانتی و ضرر از دست دادن اعتبار شرکت نمایند.

به طور طبیعی بسیاری از محصولات شرکت‌های تولیدی از جمله خودرو زودتر از سایر محصولات مشابه دچار خرابی می‌شوند که علت این امر می‌تواند استفاده نامناسب، نوسانات فرایند تولید سازنده یا تامین‌کنندگان و همچنین ضعف‌های موجود در طراحی باشد. این خرابی‌ها نه تنها مشتری را متضرر می‌کند بلکه اغلب اثر منفی بر روی اعتبار سازندگان و پتانسیل فروش محصولات آنان دارد.

* (Corresponding author) sabri@uut.ac.ir

همین راستا، مرجب و صادقی [۱] به طراحی سیستم خبره مبتنی بر هوش مصنوعی جهت تشخیص خودکار عیوب موتور خودرو پرداختند. در این مقاله یک سیستم مبتنی بر هوش مصنوعی جهت تشخیص خودکار عیوب موتور خودرو پیشنهاد شده است و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که شبکه عصبی در این زمینه، عملکرد موفقی داشته و با درصد ۹۲/۸ خرابی‌های خودرو را به درستی تشخیص می‌دهد. اکبری جوکار و همکاران [۲] به خرابی‌هایی که پس از مونتاژ و تکمیل محصول و در برخی مواقع فروش محصول پیش می‌آید، پرداخته‌اند. آن‌ها در این مقاله پس از معرفی ابزارها و روش‌های ردیابی عوامل موثر در کیفیت تولید، تلفیقی از روش‌های ردیابی مناسب را برای ایجاد سیستم ردیابی و کنترل در سالن مونتاژ موتور پژو ۲۰۶ در شرکت ایران خودرو ارائه دادند. آقارزی و سلک [۳] به اندازه‌گیری شاخص کیفی قابلیت اطمینان موتور TU5 در خودرو پژو ۲۰۶ پرداختند. در این مقاله محاسبه قابلیت اطمینان موتور از دو منظر بررسی گردید: ۱- در نظر گرفتن هر بار مراجعه بابت هر ایراد موتوری به عنوان یک خرابی و شکست. ۲- وزن گذاری ایرادات موتور با توجه به شدت اثر آن بر عملکرد موتور و اثرات روانی و مالی برای مشتری. حسینی و کاظمی [۴] به بررسی شکست سپر حرارتی یک موتور بنزینی به روش تحلیل مدال و از طریق شبیه‌سازی اجزای محدود و آزمون تجربی و روش‌های اصلاح آن پرداختند.

هدف از تشخیص زودهنگام ایرادات قابلیت اطمینان محصول، ایجاد فرصتی برای سازنده جهت کشف نشانه‌های اولیه ایرادات کیفی و قابلیت اطمینان محصول از طریق آنالیز داده‌های گارانتی است. تامین این هدف از طریق کشف نقاط تغییر غیرطبیعی در داده‌های گارانتی بوسیله انواع تکنیک‌های آماری مانند نمودارهای کنترلی، یا مقایسه با توزیع‌های احتمالی بازه مبنای تعریف شده یا تکنیک‌های محاسباتی مانند هوش مصنوعی صورت می‌پذیرد. در ادبیات موضوع، چندین روش برای کشف وضعیت غیر عادی محصول از روی داده‌های گارانتی توسعه یافته است. کریم^۱ و همکارانش [۵] روشی برای کشف و تشخیص نقاط تغییر از طریق شمارش برگشتی‌های گارانتی با استفاده از مدل‌سازی و مقایسه متوسط خرابی‌ها قبل و بعد از نقطه تغییر ارائه دادند. وو و میک^۲ [۶] از قواعد تشخیص آماری بهره بردند تا اولین نشانه‌های تغییرات قابل اطمینان را با تخمین توزیع پواسون آشکار کنند. گرابرت^۳ و همکارانش [۷] با استفاده از تخمین توزیع احتمالات و الگوریتم شبکه عصبی یک سیستم تشخیص زودهنگام را توسعه دادند. هنری و دونوان^۴ [۸] از نمودارهای کنترلی برای پایش

بالا بودن هزینه‌های گارانتی نشانگر کیفیت پایین محصول، تعدد ایرادات منتقل شده به مشتری و عدم کفایت سیستم‌ها و مکانیزم‌های تولیدی و کیفی در سطح شرکت مادر و تامین‌کنندگان قطعات است. بنابراین کاهش زمان عکس العمل خودروساز نسبت به داده‌های گارانتی و اتخاذ اقدامات فوری جهت رفع عیب بر روی خودروهای موجود در سایت، می‌تواند منجر به تامین به موقع قطعات یدکی مورد نیاز، تعیین دوباره کاری مجاز و هماهنگی و انتقال اطلاعات مورد نیاز به شبکه خدمات و آماده کردن شبکه در مقابل بروز بحران احتمالی ناشی از تعدد خودروهای معیوب دارای عیب مشترک شود و خسارات مادی و معنوی ایرادات را به حداقل برساند. بعلاوه از طریق برقراری ارتباط معنادار بین نتایج و متغیرهای کلیدی و تاثیرگذار در فرایند تولید و همینطور تامین‌کنندگان، می‌توان بازه تشخیص عیب را به کوتاه‌ترین زمان ممکن کاهش داد و تا حد امکان از انتقال ایرادات که موجب نارضایتی مشتری شده و تبعات آن به شبکه پیشگیری کرد. لذا در این پژوهش به طراحی یک مدل تشخیص زودهنگام ایرادات قابلیت اطمینان محصول با استفاده از تحلیل داده‌های گارانتی و نتایج تست‌های کیفی خط تولید پرداخته شده است. با اختیار داشتن مقادیر پارامترها و شاخص‌های کلیدی فرایند تولید موتورهای TU5 در شرکت خودروسازی ایران خودرو، می‌توان احتمال خرابی موتورهای تولیدی را پیشاپیش ارزیابی کرده و به موقع جهت رفع ایرادات مداخله کرد و از انتقال محصولات نامنطبق یا با ریسک خرابی بالا به شبکه خدمات پیشگیری نمود. این امر مستقیماً باعث کاهش هزینه‌های گارانتی، بهبود سطح رضایت مشتریان و ارتقای تصویر ذهنی برند در جامعه خواهد گردید.

ساختار مابقی این مقاله به شرح ذیل می‌باشد. در بخش ۲ مروری بر ادبیات موضوع انجام شده است. در بخش ۳ مثال انگیزشی برای مسأله مطرح شده ارائه شده است. در بخش ۴ ابتدا مدل مفهومی ارائه شده و سپس مدل پیشنهادی با جزئیات کامل بررسی شده است. بخش ۵ به ارائه نتایج و تحلیل‌های انجام شده بر روی مثال انگیزشی پرداخته است. در نهایت در بخش آخر نتایج پژوهش به همراه پیشنهادات آتی بیان شده است.

۲- مرور ادبیات

در این بخش به بررسی اجمالی تحقیقات گذشته در رابطه با تشخیص زود هنگام مشکلات قابلیت اطمینان می‌پردازیم. در

³ Grabert

⁴ Honari & Donovan

¹ Karim

² Wu & Meeker

همچنین چانگ ون ژو^۸ [۱۲] تنها پژوهشی بود که دامنه استفاده از نتایج کیفی داخل فرایند را حتی به داده‌های حاصله از آزمون‌ها و اندازه‌گیری‌های فرایندی و شاخص‌های کیفی یک تامین‌کننده اصلی (Tier-1) نیز توسعه داده است. در این مقاله نتایج کیفی یاد شده به همراه داده‌های گارانتی جهت ایجاد یک مدل تشخیص/هشدار زودهنگام خطاهای قابلیت اطمینان محصول بکار رفته‌اند.

در نهایت مطالعه ادبیات موضوع نشان می‌دهد که تحلیل داده‌های گارانتی در حالت سنتی بصورت ویژه تمرکز بر جستجوی روش‌ها و مدل‌های جدید برای تخمین قابلیت اطمینان محصول و مراجعات گارانتی از روی داده‌های گارانتی با کیفیت نازل، می‌باشد و توجه اندکی به توسعه الگوریتم‌های تشخیص و هشدار زودهنگام و همچنین پیشنهاد تغییرات طراحی شده است. اگرچه دو حوزه اخیر برای تولیدکنندگان بسیار اهمیت دارند. برخلاف پیش بینی و تخمین گارانتی که فقط مرتبط به جنبه مالی یک تولیدکننده است، یک سیستم هشدار زودهنگام با کارایی بالا و تغییرات طراحی اثر بخش می‌تواند ریسک خسارات جانی، یا خسارات مالی هنگفت را کاهش دهد. همچنین طبق بررسی‌هایی که بر روی مطالعات داخلی در زمینه تحلیل داده‌های گارانتی انجام شد، تحقیق مشابهی که قصد مرتبط ساختن اندازه‌گیری‌های فرایندی با قابلیت اطمینان محصول و داده‌های گارانتی و ایجاد یک سیستم هشدار به موقع را داشته باشد، یافت نشد و برای اولین بار است که چنین پژوهشی در داخل کشور انجام می‌شود. در نهایت هدف از این پژوهش، بدست آوردن مدلی برای پیش‌بینی احتمال خرابی محصولات بر اساس پارامترهای مرتبط با قطعات ورودی و پارامترهای فرایندی محصول می‌باشد. به همین منظور از داده‌های خدمات پس از فروش و اطلاعات بدست آمده از متوسط ماهیانه پارامترهای مرتبط با قطعات ورودی و پارامترهای فرایندی استفاده کرده و مدلی برای ارتباط این دو منبع اطلاعات ارائه شده است. هدف از این مدل پیش‌بینی زودهنگام مشکلات دوام و قابلیت اطمینان محصول بر اساس اطلاعات متوسط ماهیانه پارامترهای ذکر شده است. با توجه به اینکه مشکلات دوامی محصولات معمولاً پس از اینکه به دست مشتری می‌رسد مشخص می‌شوند، استفاده از این مدل می‌تواند به انجام برنامه‌ریزی درمقابل با بروز نارضایتی و هزینه‌های ناشی از این مشکلات کمک کند.

تمام تغییرات و جهت صحنه‌گذاری رویکردشان بر اساس داده‌های ساختگی و نیز داده‌های واقعی گارانتی استفاده کردند. ویتال و نیومن^۵ [۹] در مورد دانش در حال شکوفایی تشخیص زودهنگام برای موارد گارانتی و قابلیت اطمینان تحقیق کردند. آنان نتایج تحقیقات خود را در قالب سه سنجه مورد نیاز برای ارزیابی کارایی یک سیستم یا الگوریتم تشخیص زودهنگام بیان کردند: الف) احتمال کشف یک تغییر ب) احتمال هشدار اشتباه ج) زمان مورد نیاز برای هشدار (برای تشخیص تغییر). وو و میکر [۶] با این پیش‌فرض که نرخ خرابی‌ها و مراجعات گارانتی برای خودروهای تولید شده در ماه‌های مختلف، مدل‌های پواسون مستقلی با نرخ مراجعات متفاوت را دنبال می‌کنند، یک روش آزمون پیاپی برای تشخیص زودهنگام ایرادات قابلیت اطمینان پیشنهاد دادند. این روش استفاده از نمودارهای کنترل فرایند مرسوم را جهت مقایسه متوالی نرخ مراجعات جاری با یک دوره پایدار از سوابق نرخ مراجعات تولیدات همان ماه تولید را تعمیم داد. به نحوی که هر مشکل کیفی پدیدار شده با یک خطای نوع اول (ریسک آلفا) از پیش تعیین شده، تشخیص داده شود. لیندنر^۶ و همکارانش [۱۰] در تحقیقات خود مشاهده کردند که منحنی‌های نرخ مراجعات گارانتی در امتداد ماه‌های تولید معمولاً برای طول عمرهای متفاوت محصول، مشابه‌اند و تنها از نظر تعداد تفاوت دارند. بنابراین آنان با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و شبکه عصبی برای تجمیع اطلاعات مراجعات گارانتی با در نظر گرفتن وابستگی بین تولیدات ماه‌های مختلف قادر شدند روند چندین ماه آینده را با دقت خوبی پیش‌بینی کنند. گرابرت و همکارانش [۶] نرخ مراجعات گارانتی را با استفاده از یک مدل چند لایه هوش مصنوعی تخمین زدند و سپس در کنار داده‌های گارانتی، نتایج کیفی تولیدکنندگان مانند نتایج ارزشیابی (آدیت) محصولات قبل از تحویل را نیز در تحلیل خود لحاظ کردند تا به یک وضعیت مرجع برای مقایسه دست یابند. وو و اکبرف^۷ [۱۱] یک رگرسیون برداری (SVR) وزن داده شده ارائه کردند و از مدل سری‌های زمانی بر مبنای SVR وزن داده شده جهت پیش‌بینی مراجعات گارانتی استفاده کردند.

بررسی‌های موجود در حوزه مدل‌سازی گارانتی نشان می‌دهد که در اکثر مقالات تمرکز اصلی تنها بر خود مراجعات گارانتی است و تنها تعداد اندکی از محققان سعی در استفاده از اطلاعات و داده‌های بالادستی تولیدکنندگان داشته‌اند. برای مثال گرابرت و همکارانش [۶] از داده‌های کیفی سایت تولیدی برای تشخیص مشکلات قابلیت اطمینان از منظر تولیدکنندگان بهره برده‌اند،

⁷ Akbarov

⁸ Chongwen Zhou

⁵ Vittal & Neuman

⁶ Lindner

۳- مثال انگیزشی

شناسایی و تحت کنترل قرار گیرند. پس از یافتن ایرادات مهم، مدارک و مستندات مربوط به تحلیل هر ایراد توسط تیم های کارشناسی مدیریت موتورسازی مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس فعالیت‌های بهبود انجام شده و برنامه‌های اقدام اصلاحی، مهمترین پارامترهای موثر بر بروز ایرادات شناسایی و نتایج اندازه گیری و پایش این پارامترها در بازه مورد مطالعه گردآوری گردیده است. در مجموع ۱۳ پارامتر مهم مرتبط با فرایند و قطعات ورودی شناسایی شده که ممکن است بر قابلیت اطمینان و دوام محصول تأثیر داشته باشند، انتخاب شده است. به عنوان مثال برخی از این پارامترها عبارتند از: تعداد ایرادات مهم در آدیت نهایی محصول، نمره منفی آدیت موتور، هم راستایی گاید سوپاپ با استکانی سرسیلندر، قطر گاید سوپاپ سرسیلندر، قطر و گردی نشیمنگاه استکانی سرسیلندر و غیره. در این دسته‌بندی موارد ۱ تا ۹ در زمره پارامترهای فرایندی و موارد ۱۰ تا ۱۳ پارامترهای مرتبط با قطعات ورودی می‌باشند. به منظور بررسی ارتباط مقدار متوسط ماهیانه این پارامترها با مشکلات دوامی، تولیدات ۴۰ ماه از این محصول بین سال‌های ۹۲ تا ۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. در همین راستا اطلاعات تمام محصولات تولیدی در این ماه‌ها که دچار مشکلات دوامی شده‌اند و به خدمات پس از فروش مراجعه کرده‌اند استخراج شدند. این اطلاعات شامل ماه و کیلومتر کارکرد مراجعه به خدمات پس از فروش و نرخ تولید محصول مورد نظر در ماه‌های مختلف تولید هستند. در کنار اطلاعات خدمات پس از فروش مقدار متوسط ماهیانه پارامترهای ۱۳ گانه نیز در این ۴۰ ماه تولید استخراج شدند. نمونه‌ای از مقادیر واقعی متوسط ماهیانه پارامترهای قطعه و فرایند به ازای ماه‌های مختلف تولید در جدول ۱ ارائه شده است:

مدل و روش‌های توسعه داده شده در بخش‌های بعد برای بررسی اطلاعات کسب شده از کلیه موتورهای TU5 تولیدی و موتورهای برگشتی از خدمات پس از فروش شرکت ایران خودرو در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۵ می‌باشند. همچنین ابزار جمع-آوری داده‌ها در این پژوهش بانک‌های اطلاعاتی گارانتی، سیستم کنترل تولید سالن‌های موتورسازی شرکت ایران خودرو، سوابق تحلیل موتورهای برگشتی از شبکه خدمات پس از فروش شرکت ایران خودرو می‌باشد. پس از بررسی سوابق تحلیل موتورهای برگشتی، ریشه‌های اصلی بروز ایرادات به دو دسته ایرادات با منشا فرایند و ایرادات با منشا قطعات ورودی طبقه‌بندی شده و مهمترین و پرتکرارترین دلایل و ریشه‌های بروز ایرادات قابلیت اطمینان موتورها با استفاده از نمودار پارتو تعیین گردیده‌اند. ایرادات فرایندی آن دسته از ایرادات هستند که ناشی از مغایرت‌های نیروی انسانی، مشکلات نگهداری تجهیزات و ماشین آلات، یا طراحی نادرست فرایند و تجهیزات می‌باشد. ایرادات مرتبط با کیفیت قطعات ورودی ناشی از مغایرت‌های فرایندی تامین-کنندگان هستند که مستقیماً تحت اختیار و کنترل تولیدکننده محصول نهایی نمی‌باشند ولی در صورت مشاهده ایرادات مرتبط با قطعات ورودی در سایت تولیدی، قطعات مرجوع^۹ شده و با قطعات سالم از همان تامین کننده یا دیگری جایگزین می‌گردند.

دلیل بروز هر یک از این ایرادات می‌تواند ناشی از حداقل یک عامل اصلی و تعیین کننده باشد. در واقع برای پیشگیری از بروز ایرادات، باید پارامترهای مهمی که در بروز ایرادات مؤثرند،

جدول ۱: نمونه‌ای از پارامترهای قطعه و فرایند(داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده از قطعات و فرایندها)

ماه تولید	پارامتر												
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
۹۵/۰۵	۰	۰	۰	۰	۰	۱۳	۲۹	۱۹	۱۰	۰٫۰۰۶	۲٫۲۶۲	۹۶٫۴۱	۰٫۰۷۶
۹۵/۰۶	۰٫۸۰۱	۰	۰	۰٫۰۶۷	۰	۱۳	۵۸	۴۲	۰	۰	۲٫۱۶۸	۹۶٫۴۸	۰٫۰۴۴
۹۵/۰۷	۰٫۳۱	۰	۰٫۴۳۳	۰	۰	۱۱٫۵	۲۶	۴۲	۲۱	۰	۱٫۵۰۷	۹۵٫۹۹	۰٫۰۸
۹۵/۰۸	۰٫۴۱۷	۰	۰٫۰۶۲	۰٫۰۲۹	۱	۸	۳۳	۴۲	۳۳	۰	۱٫۰۸۳	۹۷٫۳۵	۰٫۰۴۶
۹۵/۰۹	۰٫۰۵۵	۰	۰	۰٫۰۲۹	۱	۱۶٫۵	۲۳	۵۴	۲۷	۰	۱٫۰۰۳	۹۸٫۹۹	۰٫۰۸۹
۹۵/۱۰	۰	۰	۰	۰٫۰۳۹	۰	۱۲٫۵	۴۰	۴۷	۳	۰	۰٫۶۴۴	۹۸٫۰۱	۰٫۰۶۶
۹۵/۱۱	۱۰٫۰۳۶	۶٫۹۳۴	۱٫۸۹۶	۱۰٫۰۵۲	۲	۱۷٫۵	۲۹	۶۵	۱۰	۰٫۰۰۴	۱٫۰۱۳	۹۷٫۶	۰٫۰۱۷
۹۵/۱۲	۰٫۱۳۹	۱۱٫۹۸	۰٫۰۶۷	۰٫۵۶۷	۰	۱۳	۳۰	۳۰	۴	۰	۰٫۷۹۷	۹۶٫۱۸۳	۰٫۰۲۴

توجه: به دلیل قوانین شرکت ایران خودرو در رابطه با انتشار داده‌ها نام دقیق ستون‌های ۱ تا ۱۳ ذکر نشده‌اند.

⁹ Claim

تابع توزیع زمان شکست تولیدات ماه \bar{t}_m	F_j
پارامتر مکان توزیع زمان شکست تولیدات ماه \bar{t}_m	μ_j
پارامتر مکان توزیع زمان شکست	σ
پارامتر \bar{t}_m تأثیرگذار بر زمان شکست	θ_i
زمان شکست ثبت شده \bar{t}_m از تولیدات ماه \bar{t}_m	o_{ij}
مقدار \bar{t}_m آمین پارامتر تأثیرگذار بر زمان شکست در ماه \bar{t}_m	x_{ij}
بردار پارامترهای تأثیرگذار بر زمان شکست در ماه \bar{t}_m	x_j
چندک p ام زمان شکست به ازای بردار x_j	$t_p(x_j)$
زمان (پیمایش) مورد نظر برای پایش درصد محصولات نامنطبق	t_f
تابع توزیع احتمال استاندارد برای توزیع‌های استفاده شده	Φ
تابع چگالی احتمال استاندارد برای توزیع‌های استفاده شده	ϕ

در ادامه مدلی برای ایجاد ارتباط بین احتمال خرابی محصول مورد بحث با در نظر گرفتن مقدار مشخصی برای هر یک از این پارامترها ارائه شد.

۴- فرموله‌سازی مساله

در این بخش به تشریح روش تحقیق و حل مساله پرداخته می‌شود. در این فرایند ابتدا اطلاعات محصول مورد نظر جمع آوری و مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس برازش مدل‌های مختلف بر روی این داده‌ها که بر مبنای ماه‌های مختلف تولید، مدت پیمایش قبل از خرابی و کیلومتر پیمایش قبل از خرابی طبقه بندی شده است، مورد ارزیابی قرار گرفته و مناسب‌ترین مدل انتخاب گردیده است. سپس کیفیت توزیع بر روی داده‌های ماه‌های مختلف نیز مورد مطالعه قرار گرفته و در انتها توزیع احتمال مناسب برای مدل‌سازی انتخاب می‌شود. در مرحله بعد از روی تغییرات پارامترهای مکان و مقیاس توزیع در ماه‌های مختلف، این نتیجه حاصل شد که تغییرات پارامترها و شاخص‌های فرایندی طی ماه‌های مختلف بر پارامتر مکان توزیع اثر می‌گذارند. بنابراین بین پارامتر مکان توزیع احتمال و پارامترهای فرایندی ارتباط برقرار کرده و برازش را مجدداً انجام داده و ضرایب پارامترها تخمین زده و اثر آنها را روی مدل ارزشیابی می‌شود. پس از حذف پارامترهای غیر مؤثر بر مدل، ضرایب را بروز رسانی کرده و مدل نهایی بدست می‌آید. در مرحله آخر اعتبارسنجی مدل بررسی می‌شود. در نهایت با استفاده از نمودار کنترل p مدل تشخیص زودهنگام خرابی پیشنهادی ارائه شده است. مدل مفهومی ارائه شده از مراحل انجام کار در شکل ۱ نشان داده شده است. در واقع در شکل ۱ مراحل تشخیص زودهنگام ایرادات قابلیت اطمینان بر اساس پارامترهای کلیدی مؤثر و مرتبط با قطعات و فرایند به صورت یک مدل مفهومی ارائه شده است.



شکل ۱: مدل مفهومی تشخیص زودهنگام قابلیت اطمینان

۴-۲- نمادگذاری

در این قسمت از نمادگذاری‌های زیر استفاده می‌کنیم:

تعداد پارامترهای اثرگذار بر زمان شکست	m
اندیس پارامترهای اثرگذار بر زمان شکست	i
تعداد ماه‌های تولید	l
اندیس ماه تولید	j
حداکثر تعداد بازگشت‌ها در خدمات پس از فروش برای تولیدات ماه \bar{t}_m	k_j
نرخ تولید در ماه \bar{t}_m	n_j

۴-۲- مدل سازی زمان شکست

$$\Pr_j(T \leq t) = F_j(t; \mu_j, \sigma) \tag{۴}$$

$$= F(t; \theta, \theta_1, \dots, \theta_m, \sigma) = \Phi\left(\frac{\ln t - \mu_j}{\sigma}\right)$$

که در آن $\mu_j = \theta_j + \theta_1 x_{1j} + \dots + \theta_m x_{mj}$ و σ به پارامترهای توصیفی بردار x_j وابسته نیست. تابع چندک زمان شکست برای این مدل به صورت رابطه خطی δ است:

$$\ln[t_p(x_j)] = \mu_j + \Phi^{-1}(p)\sigma \tag{۵}$$

$$= \theta_j + \theta_1 x_{1j} + \dots + \theta_m x_{mj} + \Phi^{-1}(p)\sigma$$

انتخاب Φ شکل توزیع را برای مقادیر مشخصی از بردار x_j تعیین می کند. تابع درستنمایی برای یک نمونه $\sum_{j=1}^l k_j$ تایی از مشاهدات مستقل با داده های سانسور شده از راست و داده های زمان شکست دقیق به صورت رابطه ϵ است:

$$L(\theta, \dots, \theta_m, \sigma) = \prod_{j=1}^l \prod_{i=1}^{k_j} L_{ij}(\theta, \dots, \theta_m, \sigma; o_{ij}) \tag{۶}$$

$$= \prod_{j=1}^l \prod_{i=1}^{k_j} \left[\frac{1}{\sigma t_{ij}} \phi\left(\frac{\ln o_{ij} - \mu_j}{\sigma}\right) \right]^{\delta_{ij}} \left[1 - \Phi\left(\frac{\ln o_{ij} - \mu_j}{\sigma}\right) \right]^{1-\delta_{ij}}$$

که در آن $\delta_i = 1$ ، $\mu_j = \theta_j + \theta_1 x_{1j} + \dots + \theta_m x_{mj}$ برای زمان شکست دقیق، و $\delta_i = 0$ برای مشاهده سانسور شده از راست و O_{ij} بیانگر مشاهده i ام از ماه تولید j ام است. در دو مدل ارائه شده پارامترها بر اساس تابع درستنمایی ارائه شده برآورد می شوند. به همین منظور پارامترها به نحوی انتخاب می شوند که تابع درستنمایی حداکثر شود.

۴-۳- نمودار کنترل P

همانطور که در ادبیات موضوع اشاره شد، به منظور ایجاد قابلیت استفاده عملی از مدل تشخیص زود هنگام، برخی از محققین از نمودارهای کنترل آماری فرایند (SPC) برای این منظور بهره برده اند و از نمودارهای کنترلی متفاوتی برای این امر استفاده کرده اند. در این پژوهش از نمودار نمودار کنترلی P استفاده خواهد شد. خروجی مدل تشخیص زود هنگام پیشنهادی، تخمین قابلیت اطمینان محصول در کیلومترهای مختلف است. بصورتی که می توان بر اساس این قابلیت اطمینان تعداد محصولاتی از

در این قسمت به منظور ایجاد ارتباط بین پارامترهایی تأثیرگذار بر خرابی محصول و زمان شکست آن از مدل های رگرسیون خطی ساده استفاده می کنیم. به همین منظور توزیع های زمان شکست پر استفاده در بحث قابلیت اطمینان را به دو دسته کلی تقسیم می کنیم: ۱) توزیع هایی مانند توزیع نرمال، لجستیک و کوچکترین مقدار حدی، ۲) توزیع هایی همچون وایبل، لوگ نرمال و لوگ لجستیک. در ابتدا برای توزیع های نوع ۱ تابع توزیع زمان شکست محصول را به صورت رابطه ۱ می نویسیم:

$$\Pr_j(T \leq t) = F(t; \mu_j, \sigma) \tag{۱}$$

$$= F_j(t; \theta, \theta_1, \dots, \theta_m, \sigma) = \Phi\left(\frac{t - \mu_j}{\sigma}\right)$$

که در آن $\mu_j = \theta_j + \theta_1 x_{1j} + \dots + \theta_m x_{mj}$ و σ به پارامترهای توصیفی x_j وابسته نیست. تابع چندک زمان شکست برای این مدل به صورت رابطه ۲ است:

$$t_p(x_j) = \mu_j + \Phi^{-1}(p)\sigma \tag{۲}$$

$$= \theta_j + \theta_1 x_{1j} + \dots + \theta_m x_{mj} + \Phi^{-1}(p)\sigma$$

انتخاب Φ شکل توزیع را برای مقادیر مشخصی از x تعیین می کند. تابع درستنمایی برای یک نمونه $\sum_{j=1}^l k_j$ تایی از مشاهدات مستقل با داده های سانسور شده از راست و داده های زمان شکست دقیق به صورت رابطه ۳ است:

$$L(\theta, \dots, \theta_m, \sigma) = \prod_{j=1}^l \prod_{i=1}^{k_j} L_{ij}(\theta, \dots, \theta_m, \sigma; o_{ij}) \tag{۳}$$

$$= \prod_{j=1}^l \prod_{i=1}^{k_j} \left[\frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{o_{ij} - \mu_j}{\sigma}\right) \right]^{\delta_{ij}} \left[1 - \Phi\left(\frac{o_{ij} - \mu_j}{\sigma}\right) \right]^{1-\delta_{ij}}$$

که در آن $\delta_i = 1$ ، $\mu_j = \theta_j + \theta_1 x_{1j} + \dots + \theta_m x_{mj}$ برای زمان شکست دقیق، و $\delta_i = 0$ برای مشاهده سانسور شده از راست و O_{ij} بیانگر مشاهده i ام از ماه تولید j ام است. به همین ترتیب برای توزیع های وایبل، لوگ نرمال و لوگ لجستیک داریم:

(۱) توزیع‌های احتمال نوع ۱

$$\bar{p} = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^l \Phi\left(\frac{t_f - \mu_j}{\sigma}\right) \quad (۸)$$

(۲) توزیع‌های احتمال نوع ۲

$$\bar{p} = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^m \Phi\left(\frac{\ln t_f - \mu_j}{\sigma}\right) \quad (۹)$$

بر اساس حدود پیشنهادی ابتدا در فاز I حدود کنترل محاسبه می‌شوند و سپس در فاز II درصد ارقام نامنطبق در ماه‌های تولید مختلف مورد پایش قرار می‌گیرند.

۵- نتایج عددی

در این متن، در این قسمت سعی بر اساس مدل‌های ارائه شده موتورهای تولیدی شرکت ایران خودرو مورد بررسی قرار گیرند. در همین راستا ابتدا داده‌ها مورد پالایش اولیه قرار می‌گیرند. سپس مدل پیشنهادی با توجه به توزیع‌های احتمال نوع ۱ و ۲ بر داده‌ها برازش می‌شوند و بهترین توزیع و مدل متناظر آن انتخاب می‌گردد. در مرحله بعد مدل تشخیص زودهنگام ارائه شده بر روی داده‌ها پیاده می‌شود.

۵-۱- پالایش اولیه داده‌ها

برای هر موتور در بانک اطلاعاتی خدمات پس از فروش اطلاعات کاملی ثبت می‌شود که در این پژوهش از شماره موتور، تاریخ تولید، تاریخ تحویل و تاریخ خرابی (مراجعه) و همچنین میزان پیمایش بهره برده شده است و در انتها جدولی پس از جمع‌بندی داده‌ها بدست می‌آید که نشان می‌دهد چه تعداد از محصولات تولیدی هر ماه در مدت ۴ سال یا ۴۸ ماه، در هر ماه پس از تحویل دچار مشکل جدی در قوای محرکه خود شده‌اند و همچنین این اتفاق در چه میزان پیمایشی بر حسب کیلومتر رخ داده است. داده‌ها نشان می‌دهد که تمامی موتورهای برگشتی حداکثر تا ماه شانزدهم از دوره گارانتی به شبکه خدمات پس از فروش مراجعه کرده‌اند. جهت بررسی اولیه داده‌ها، داده‌ها را پالایش کرده و در صورت وجود داده‌های پرت را حذف می‌کنیم. به منظور حذف داده‌های پرت بر اساس نوع توزیع داده‌ها عمل می‌کنیم.

تولیدات هر ماه که به صورت انتظاری معیوب می‌شوند را در هر بازه زمانی (پیمایشی) تخمین زد و از آنجاییکه تعداد تولید هر ماه را در اختیار داریم، به راحتی درصد محصولات معیوب قابل محاسبه می‌باشد. بنابراین با در دست داشتن درصد محصولات معیوب یا به عبارت دیگر تعداد برگشتی‌های انتظاری در هر ماه می‌توان از نمودار کنترلی P برای پایش درصد محصولات معیوب استفاده کرد. بر اساس مدل ارائه شده در بخش قبل می‌توان در انتهای هر ماه و با توجه به میانگین پارامترهای قطعه و فرایند درصد محصولات معیوب را پیش‌بینی کرد. سپس این درصد محصولات معیوب در نمودار کنترلی P پایش می‌شود و در صورت خارج از کنترل بودن اقدام مقتضی صورت می‌گیرد. به همین منظور با توجه به درصد ارقام نامنطبق محاسبه شده در بخش قبل به ارائه حدود کنترلی درصد ارقام نامنطبق می‌پردازیم. در اینجا با توجه به اینکه درصد ارقام نامنطبق با گذشت زمان تغییر می‌کند باید این درصد در یک زمان مشخص محاسبه و در حدود کنترلی مورد پایش قرار گیرد. به عنوان مثال شخصی ممکن است علاقمند باشد که درصد ارقام معیوب برگشتی در خدمات پس از فروش را برای محصولاتی که ۱۰ ماه از تاریخ تولیدشان گذشته است محاسبه کند. بنابراین در این حالت درصد ارقام معیوب در زمان $t = 10$ ماه بررسی خواهند شد. دقت شود که برای محصولاتی همچون خودرو که شکست‌ها بر حسب میزان پیمایش صورت گرفته محاسبه می‌شوند باید از مقیاس زمانی معادل که همان میزان پیمایش است استفاده شود. اگر فرض کنیم که هر خودرو به صورت متوسط در هر ماه ۱۰۰۰ کیلومتر می‌پیماید، در آنصورت ۱۰ ماه معادل ۱۰۰۰۰ کیلومتر خواهد بود. بنابراین درصد ارقام نامنطبق در $t = 10000$ کیلومتر بدست خواهد آمد. استفاده از مقیاس مناسب بستگی به نوع داده‌های شکست دارد. در اینجا داده‌های شکست می‌توانند بر حسب میزان پیمایش یا زمان سپری شده از تولید ثبت شوند. صرف نظر از نوع مقیاس در نظر گرفته شده برای t ، حدود کنترلی P در زمان $t = t_f$ به صورت رابطه ۷ بدست می‌آیند:

$$UCL_j = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_j}}$$

$$CL = \bar{p} \quad (۷)$$

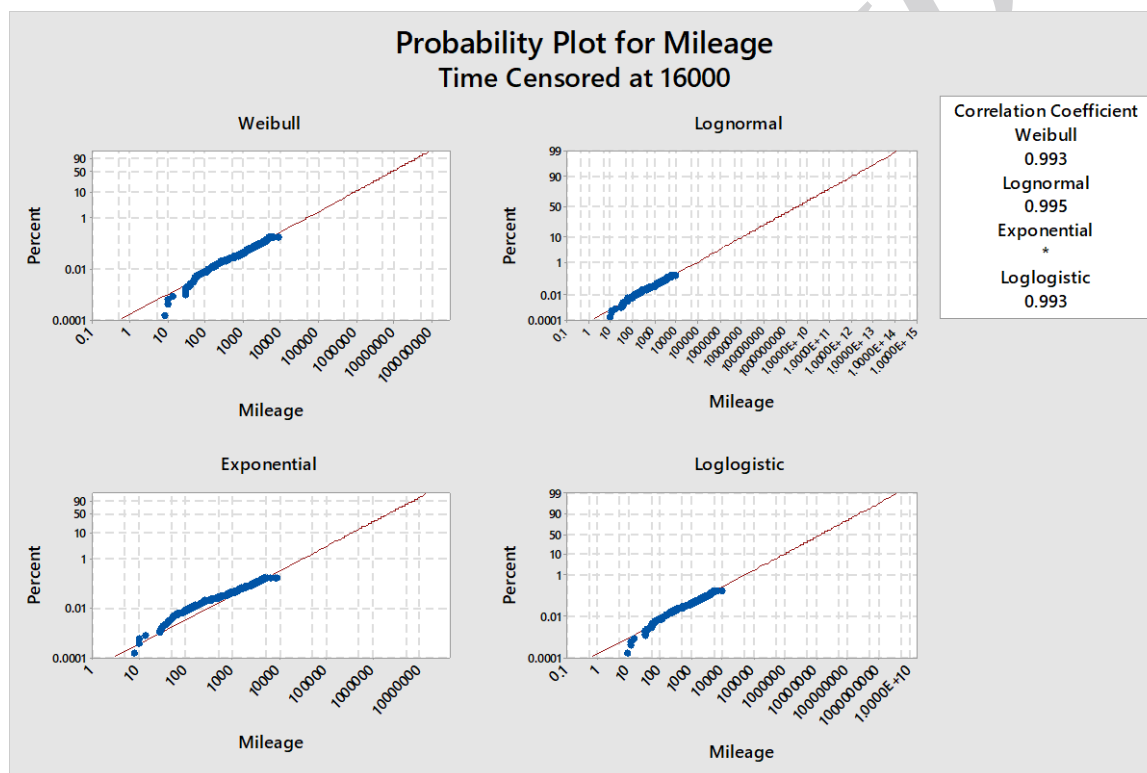
$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_j}}$$

که در آن $n_j = 1, \dots, l$ عبارت است از نرخ تولید ماه j ام و \bar{p} برای توزیع‌های نوع ۱ و ۲ به ترتیب به صورت روابط ۸ و ۹ بدست می‌آید:

۵-۲- برازش اولیه

راست ثبت می‌شوند. اگر میانگین مسافت پیموده شده توسط هر خودرو در ماه را ۱۰۰۰ کیلومتر در نظر بگیریم در آن صورت زمان شکست خودروهایی که هنوز به خدمات پس از فروش مراجعه نکرده‌اند برابر با ۱۶۰۰۰ کیلومتر و به صورت سانسور شده از راست ثبت خواهد شد. بنابراین در بدست آوردن توزیع احتمال زمان یا کیلومتر شکست موتور داده‌ها را به صورت دقیق و همچنین سانسور شده از راست در نظر می‌گیریم. چهار توزیع غیرمنفی وایبول، لوگ‌نرمال، نمایی و لوگ لجستیک بر داده‌های خدمات پس از فروش برازش شده و نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

پس از حذف داده‌های یرت، توزیع احتمال مسافت‌های پیموده شده توسط خودروهای مراجعه کرده به خدمات پس از فروش را بدون در نظر گرفتن زمان تولید آن‌ها بدست می‌آوریم. مسافت پیموده شده توسط آن خودروهایی که به خدمات پس از فروش مراجعه کرده‌اند به عنوان زمان دقیق ثبت می‌شوند. همچنین زمان آن دسته از خودروهایی از هر ماه تولیدی که هنوز به خدمات پس از فروش مراجعه نکرده‌اند به صورت سانسور شده از



شکل ۲: برازش چهار توزیع غیرمنفی وایبول، لوگ‌نرمال، نمایی و لوگ لجستیک بر داده‌های خدمات پس از فروش

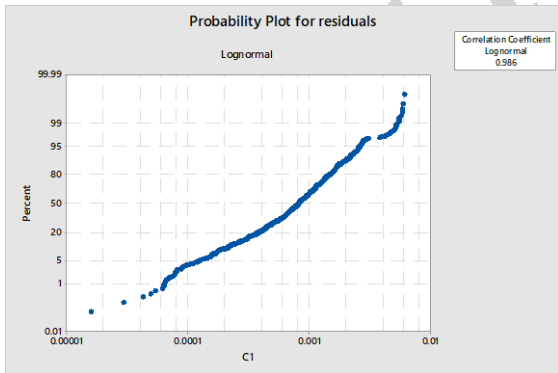
از فروش بدون در نظر گرفتن زمان تولید در جدول شماره ۲ ارائه شده است. به همین ترتیب توزیع لوگ‌نرمال را به صورت جداگانه بر داده‌های ماه‌های تولید مختلف برازش می‌کنیم. نتایج نشان می‌دهد که پارامتر مقیاس توزیع لوگ‌نرمالی که بر تمام داده‌ها بدون در نظر گرفتن پارامترهای قطعه و فرایند برازش شده است نزدیک به پارامترهای مقیاس بدست آمده از برازش توزیع لوگ-نرمال بر ماه‌های مختلف تولیدی است. همچنین مشاهده می‌شود که بازه اطمینان پارامترهای شکل با هم همپوشانی دارند که می-

بر اساس نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد توزیع لوگ‌نرمال بهترین برازش را بر داده‌های موجود ارائه می‌دهد. با این حال، به منظور بررسی بیشتر، توزیع زمان شکست را بر حسب ماه‌های مختلف تولیدی نیز بدست می‌آوریم. نتایج این برازش برای ماه‌های مختلف تولیدی نشان می‌دهد که در اکثر ماه‌ها توزیع وایبول و لوگ‌نرمال دارای برازش‌های مناسبی هستند. بنابراین با توجه به بررسی‌های انجام شده نتیجه می‌گیریم که زمان خرابی موتور-ها در ماه‌های مختلف تولیدی از توزیع لوگ‌نرمال پیروی می‌کند. پارامترهای توزیع لوگ‌نرمال برازش شده بر داده‌های خدمات پس

قابلیت اطمینان و نرخ مخاطره این محصول در ماه j ام به صورت معادلات ۱۳ و ۱۴ ارائه می‌شود:

$$R_j(t | x_j) = 1 - \Phi \left[\frac{\ln t - \theta x_j}{\sigma} \right]; \quad (13)$$

بنابراین هدف تعیین اثر و برآورد بردار پارامتری θ می‌باشد به طوری که مدل فوق به بهترین نحو ممکن ارتباط بین پارامترهای قطعه و فرایند و زمان شکست محصول را برقرار کند. به همین منظور به شناسایی مهمترین پارامترهایی که بر قابلیت اطمینان محصول تأثیر می‌گذارند، می‌پردازیم. ابتدا مدل را بر روی داده‌ها برازش کرده و به منظور بررسی کیفیت برازش نمودار احتمال باقیمانده‌های استاندارد را رسم می‌کنیم. این نمودار در شکل ۳ نشان داده شده است. داده‌های بررسی شده در این مورد عبارت از میانگین پارامترهای تأثیرگذار بر زمان شکست محصول در ماه‌های تولید مختلف و کیلومتر مراجعه خودروهای مراجعه کرده به خدمات پس از فروش به دلیل ایرادات موتور به تفکیک ماه تولیدشان هستند. خلاصه‌ای از داده‌های مورد بررسی در جدول شماره ۱ ارائه شده است. همانطور که در نمودار شکل ۳ مشاهده می‌شود باقیمانده‌های استاندارد تقریباً بر روی خط راست قرار می‌گیرند و مقدار ضریب همبستگی ۰٫۹۸۶ می‌باشد. بنابراین می‌توان برداشت کرد که مدل لوگ‌نرمال برازش مناسبی بر داده‌ها پس از در نظر گرفتن پارامترها ایجاد می‌کند.



شکل ۳: نمودار احتمال باقیمانده‌ها برای توزیع لوگ‌نرمال پس از در نظر گرفتن پارامترها

به منظور برآورد پارامترهای مدل آماری اشاره شده از روش حداکثر درستنمایی و نرم افزار آماری JMP10 استفاده شده است. در همین راستا بر اساس رابطه ۱۳ تابع درستنمایی محاسبه و با استفاده از نرم افزار ترکیبی از پارامترها که این تابع درستنمایی را حداکثر می‌کند بدست آمده است. نتایج برازش نشان می‌دهد که در سطح خطای تعیین شده یعنی ۵ درصد، پارامترهای θ_5, θ_4 و θ_{11} بیشترین تأثیر را بر خروجی مدل

تواند مؤید این موضوع باشد که پارامتر مقیاس توزیع‌های لوگ-نرمال برازش شده با هم برابر هستند. بنابراین می‌توان نتیجه گیری کرد که پارامترهای قطعه و فرایند موتور، پارامتر مکان توزیع لوگ‌نرمال را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

جدول ۲: تخمین پارامترهای توزیع لوگ نرمال بر روی داده‌ها بدون در نظر گرفتن زمان تولید

پارامتر	برآورد	خطا	حد پایین	حد بالا
مکان	۲۲,۰۰۴۷	۰,۲۶۳۶۶۰	۲۱,۴۸۷۹	۲۲,۵۲۱۴
مقیاس	۴,۵۴۱۵۴	۰,۱۰۱۰۷۴	۴,۳۴۷۷۰	۴,۷۴۴۰۳
لگاریتم درستنمایی = -۱۴۰۳۰,۱۹۱				
ضریب همبستگی			آماره اندرسون دارلینگ	
۰,۹۹۵			۲۱۸۶۸,۱۹۶	

۵-۳- مدل پیشنهادی

همانطور که گفته شد توزیع زمان خرابی موتورها از توزیع لوگ نرمال پیروی می‌کند که تابع چگالی و توزیع احتمال آن به ترتیب در روابط ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

$$f(t; \sigma, \mu) = \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}}; t > 0, \sigma > 0 \quad (10)$$

$$F(t; \sigma, \mu) = \Phi \left[\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right]; \quad (11)$$

در توزیع لوگ نرمال μ و σ به ترتیب بیانگر پارامترهای مکان و مقیاس می‌باشند. همانطور که در بخش قبل اشاره شد می‌توان برداشت کرد که تغییر پارامترهای فرایندی در ماه‌های تولید مختلف پارامتر مکان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین سعی می‌کنیم ارتباطی بین پارامتر مکان توزیع لوگ‌نرمال و پارامترهای قطعه و فرایند برقرار کنیم. در همین راستا و با در نظر گرفتن $m = 13$ که نشانگر ۱۳ پارامتر اثرگذار بر زمان شکست است، متغیری به صورت رابطه ۱۲ تعریف می‌کنیم:

$$\mu_j = \theta x_j = \theta_0 + \theta_1 x_{1j} + \theta_2 x_{2j} + \dots + \theta_{13} x_{13j} \quad (12)$$

که در آن $\theta = [\theta_0, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{13}]$ بردار سطری پارامترهای قطعه و فرایند و $x_j = [1, x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{13j}]$ بردار ستونی مقدار پارامترهای تولیدی ۱۳ گانه در ماه j ام است. بنابراین تابع

مقدار مشخصی از پارامترهای قطعه و فرایند می‌توان تابع قابلیت اطمینان محصول را بدست آورد.

به عنوان مثال به ازای مقادیر زیر از پارامترهای قطعه و فرایند تابع قابلیت اطمینان به صورت شکل ۴ بدست می‌آید.

$$x = [1, 0, 99, 1, 44, 0, 08, 35, 91, 41, 58, 29, 16, 2, 16, 1, 29, 4, 65]$$

دارند. به همین ترتیب پارامترهای $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7, \theta_8, \theta_9, \theta_{10}, \theta_{11}, \theta_{12}$ و نیز کمترین اثر را بر خروجی مدل دارند. در اینجا اثرات را یک بار دیگر بدون در نظر گرفتن پارامترهای $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6, \theta_7, \theta_8, \theta_9, \theta_{10}, \theta_{11}, \theta_{12}$ می‌آوریم. با وجود اینکه برخی پارامترها بر اساس سطح خطای تعیین شده رد می‌شوند ولی چون مقدار P-value برای آن‌ها خیلی زیاد نیست آن‌ها را حذف نمی‌کنیم. نتیجه حاصل در جدول ۳ نشان داده شده است. در نهایت تابع قابلیت اطمینان به صورت معادله ۱۵ نوشته می‌شود. بر اساس مدل فوق به ازای

$$R(t|x) = 1 - \Phi \left[\frac{\ln(t) - (34,2 - 4,802x_1 + 0,334x_2 - 8,779x_3 - 0,23x_4 - 0,04x_5 - 0,27x_6 - 0,141x_7 - 0,122x_{11} + 0,12x_{12})}{7,501} \right]; \quad (15)$$

جدول ۳: تعیین ضرایب نهایی پارامترها پس از غربالگری

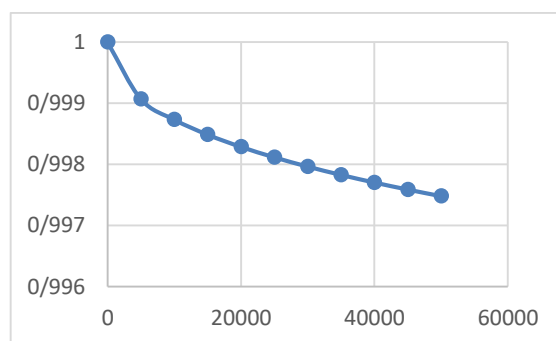
پارامتر	ضریب	خطا	P-value	حد پایین	حد بالا
θ	۳۴,۲۰۱	۱,۰۲۰	۰,۰۹۵	۳۲,۲۸۴	۳۶,۲۹۰
θ_1	-۴,۸۰۲	۲,۸۸۲	۰,۰۳۷	-۱۰,۴۸۳	۰,۸۳۹
θ_2	۰,۳۳۵	۰,۱۶۱	۰,۰۸۹	۰,۰۲۱	۰,۶۵۵
θ_3	-۸,۷۷۹	۵,۰۷۸	۰	-۱۸,۵۹۲	۱,۳۷۷
θ_4	-۰,۰۲۳	۰,۰۰۶	۰,۲۰۴	-۰,۰۳۵	-۰,۰۱۱
θ_5	-۰,۰۰۵	۰,۰۰۴	۰,۰۳۲	-۰,۰۱۲	۰,۰۰۲
θ_6	-۰,۰۲۷	۰,۰۱۳	<۰,۰۰۰۱	-۰,۰۵۲	-۰,۰۰۲
θ_7	-۰,۱۴۲	۰,۰۱۵	<۰,۰۰۰۱	-۰,۱۷۱	-۰,۱۱۳
θ_{11}	-۰,۱۲۲	۰,۰۱۸	۰,۱۲۹	-۰,۱۵۷	-۰,۰۸۸
θ_{12}	۰,۰۱۲	۰,۰۰۸	۰,۰۹۵	-۰,۰۰۳	۰,۰۲۸
σ	۷,۵۰۱	۰,۲۴۷		۷,۰۳۹	۸,۰۰۸

محاسبه PPM مقدار ناپایایی محصول در ۱۰۰۰۰ کیلومتر را در عدد یک میلیون ضرب می‌کنیم.

$$PPM = 1000000 \times (1 - 0,998733) = 1267$$

۴-۵- نمودار کنترل P

به منظور استفاده از نمودار P ابتدا در فاز I با استفاده از داده‌های ماه‌های گذشته حدود کنترلی نمودار برآورد می‌شوند. سپس در فاز II مقادیر پیش‌بینی شده از درصد محصولات معیوب در ماه‌های آتی بر روی نمودار قرار گرفته و پایش می‌شوند. در همین راستا درصد محصولات معیوب بدست آمده از مدل پیشنهادی در کیلومترهای مختلف برای فروردین سال ۹۲ تا اسفند سال ۹۵ به



شکل ۴: نمودار قابلیت اطمینان بر مبنای مدل پیشنهادی (مثال)

بر اساس نمودار شکل ۴ می‌توان برداشت کرد که تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر مقدار PPM برابر با ۱۲۶۷ بدست می‌آید. به منظور

۶- نتیجه‌گیری

مدل پیشنهادی در این مقاله، نتایج شاخص‌ها و پارامترهای کلیدی را به رفتار محصول (موتور) در طول دوره گارانتی پیوند می‌دهد و برای اولین بار این امکان را ایجاد می‌کند تا به محض محاسبه شاخص‌ها و سنجش پارامترهای کلیدی، حتی پیش از اینکه یک موتور بر روی خودرو مونتاژ و تحویل مشتری شود، ریسک بروز خرابی و برگشت موتور مشخص شده و اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه برای صیانت از مشتری معمول گردد. با استفاده از نتایج این مدل و از طریق بکارگیری نمودارهای کنترلی می‌توان توانایی فرایند را با استفاده از داده‌های این تحقیق تعیین و از محدوده‌های آن برای پایش وضعیت فرایند استفاده کرد و ریسک تولید و فروش محصولات نامنطبق را به حداقل رساند.

مراجع

[۱] مرجب، س. و ع. صادقی (۱۳۹۳). طراحی سیستم خبره مبتنی بر هوش مصنوعی جهت تشخیص خود کار عیوب موتور خودرو. کنفرانس ملی علوم مهندسی، ایده‌های نو (۸)، موسسه آموزش عالی آیندگان تنکابن.

[۲] اکبری جوکار، م. و همکاران (۱۳۸۶). طراحی سیستم ردیابی در سالن مونتاژ موتور خودرو. نخستین کنفرانس بین‌المللی مدیریت زنجیره‌ی تامین و سیستم‌های اطلاعات، انجمن مدیریت استراتژیک ایران.

[۳] آقارضا، و. ب. سلک (۱۳۸۴). اندازه‌گیری شاخص کیفی قابلیت اطمینان موتور TU5 در خودرو پژو ۲۰۶. چهارمین همایش موتورهای درونسوز، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو.

[۴] کاظمی، م. و همکاران، (۱۳۹۲). تحلیل ریشه‌های خرابی شکست سپرحرارتی پایینی منی‌فولد دود، هشتمین همایش موتورهای درونسوز، تهران، شرکت تحقیق، طراحی و تولید موتور ایران خودرو.

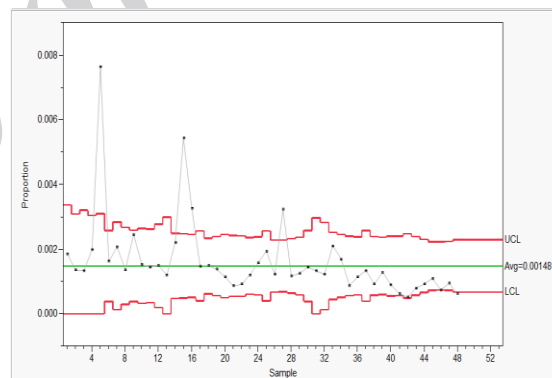
[5] Karim, M. R., & Suzuki, K. A. Z. U. Y. U. K. I. (2007). Analysis of warranty data with covariates. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 221(4), 249-255.

[6] Wu, H. and W. Q. Meeker (2002). "Early Detection of Reliability Problems Using Information From Warranty Databases." Technometrics 44(2): 120-133.

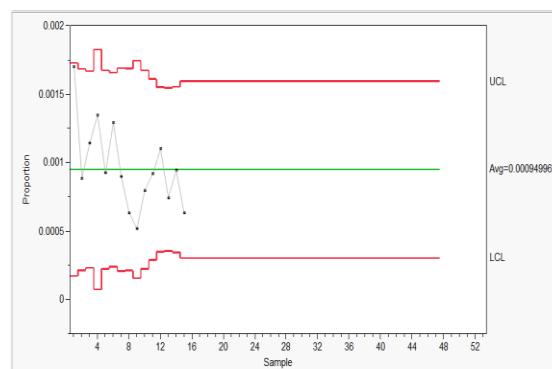
منظور بدست آوردن حدود کنترل نمودار P مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از این فاز برای ۱۶۰۰۰ کیلومتر (۱۶ ماه) پس از تولید در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطورکه مشاهده می‌شود درصد معیوب‌ها در ماه‌های انتهایی سال ۹۵ کاهش یافته است. بنابراین نمودار کنترل را برای این ماه‌ها مجدد رسم می‌کنیم و فاز پایش ماه‌های آتی را بر اساس نتایج این ماه‌ها انجام می‌دهیم. نتایج حاصل برای این ماه‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است. بنابراین میانگین درصد معیوب‌ها پس از رسم مجدد نمودار کنترل و با توجه به نبود نقاط خارج از کنترل برابر است با:

$$\bar{P} = 0.00094996$$

حال بر اساس این مقدار از میانگین درصد محصولات معیوب می‌توان ماه‌های آینده را مورد پایش قرار داد. لازم به ذکر است که درصد محصولات معیوب بدست آمده برای ۱۶ ماه پس از تولید محاسبه شده بودند. با این حال می‌توان این نمودارها را برای ماه‌های مختلف پس از تولید رسم کرد و درصد محصولات معیوب پیش‌بینی شده را پایش کرد.



شکل ۵: نمودار P در فاز I



شکل ۶: نمودار P در فاز I ماه‌های پایانی سال ۹۵

[7] Grabert, M., et al. (2004). An Early Warning System for Vehicle Related Quality Data. Industrial Conference on Data Mining, Springer.

[8] Honari, B., & Donovan, J. (2007). Early detection of reliability changes for a non-Poisson life model using field failure data. In *Annual IEEE Reliability and Maintainability Symposium, 2007. RAMS'07.* (pp. 346-349).

[9] Vittal, S., & Neuman, H. (2008). Early detection of warranty issues: A multi-disciplinary literature survey. In *Annual IEEE Reliability and Maintainability Symposium, 2008. RAMS 2008.* (pp. 181-186).

[10] Lindner, G., & Klose, A. (1997). ML and statistics for trend prognosis of complaints in the automobile industry. In *Proceedings of the ICML-97 Workshop on Machine Learning Applications in the Real World: Methodological Aspects and Implications* (pp. 20-26).

[11] Wu, S., & Akbarov, A. (2011). Support vector regression for warranty claim forecasting. *European Journal of Operational Research*, 213(1), 196-204.

[12] Zhou, C., Chinnam, R. B., & Korostelev, A. (2012). Hazard rate models for early detection of reliability problems using information from warranty databases and upstream supply chain. *International Journal of Production Economics*, 139(1), 180-195.