

## مطالعه موردی

# مروری بر خوردگی‌های ایجاد شده در اجزای مختلف خودرو و پارامترهای موثر بر آن

محمد تشکری ماسوله<sup>۱</sup>، محبوبه آزادی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی، <sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

\* نویسنده مسئول: m.azadi@semnan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶

## چکیده

خوردگی در بسیاری از قسمت‌های خودرو اتفاق می‌افتد و نه تنها به دلیل مشکلاتی که ایجاد می‌کند، نامطلوب است، بلکه ارزش فروش مجدد خودرو را کاسته و استحکام قطعات را نیز کاهش می‌دهد. لذا صنعت خودروسازی یکی از صنایع مهمی می‌باشد که در معرض صدمات و خسارات زیاد، ناشی از واکنش‌های خوردگی می‌باشد. انواع خودروها به دلیل در معرض قرار گرفتن در محیط اتمسفری، گازهای آلاینده و نمک‌های یخ‌زدا، دچار آسیب کلی و جزئی در اجزای مختلف همچون بدنه خودرو، اجزای داخلی موتور، رادیاتور، باتری، سیستم آگزوز، مخزن سوخت، سیستم‌های الکتریکی و ... می‌شود. لذا با توجه به اهمیت بررسی انواع خوردگی‌های محتمل در خودروها در این مقاله به مرور کلی مقالات دیگر محققین پرداخته می‌شود. با توجه به آمار گزارش شده در مقالات، بیشترین میزان خوردگی عموماً در موتور خودرو رخ داده و نوع خوردگی آن، خوردگی حفره‌ای و یا گالوانیک می‌باشد، هرچند خوردگی شیار و یکنواخت نیز می‌تواند در باقی قسمت‌های خودرو همانند سیستم تعلیق خودرو و سیستم سوخت و ... صورت گیرد. از عوامل موثر بر میزان و سرعت خوردگی در صنعت خودروسازی، می‌توان به میزان رطوبت نسبی هوا، میزان و نوع آلاینده‌ها، رطوبت سطحی و دمای کارکرد قطعه نیز اشاره کرد. قابل ذکر است شایع‌ترین آسیب‌های ناشی از خوردگی در موتور شامل مواردی چون احتراق ناقص و کاهش راندمان، انژکتورهای شکسته، گرفتگی فیلتر سوخت و روغن و همچنین عمر کمتر روغن مصرفی است.

**کلیدواژه:** خوردگی، خودرو، خوردگی بدنه خودرو، مواد یخ‌زدا، خوردگی در موتور، خوردگی سیستم آگزوز.

## Case Study

# A Review on Corrosion Caused in Various Components of Automobile and Affecting Parameters

M. Tashakori Masooleh<sup>1</sup>, M. Azadi<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Bachelor's degree, <sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

\* **Corresponding Author:** m.azadi@semnan.ac.ir

**Submission:** 2022 , 10 , 12   **Acceptance:** 2023 , 02 , 25

## Abstract

Corrosion occurs in many parts of the car and it is not only undesirable because of the problems it causes, but also reduces the resale value of the car and reduces the strength of the parts. The automotive industry is one of the important industries that are exposed to damages caused by corrosion reactions. All types of cars, due to exposure to atmospheric environment, polluting gases, and deicing salts, suffer total and partial damages in various components such as car body, internal engine components, radiator, battery, exhaust pipe, fuel tank, electrical systems, etc. Therefore, based on the importance of investigating various possible types of corrosion in automobiles, reviewing of other papers was performed in this paper. According to the statistics reported in the articles, the highest amount of corrosion is generally occurred in the car engine and the type of corrosion is pitting or galvanic corrosion, although crevice and uniform corrosion can also occur in other parts of the car such as the car suspension system, fuel system, etc. Air humidity, pollutants type and content, surface humidity, and temperature can be mentioned among the factors affecting the amount and rate of corrosion in the automotive industry. It should be noted that the most common damages caused by corrosion in the engine parts include incomplete combustion and reduced efficiency, broken injectors, clogging of fuel and oil filters, as well as shorter life of used oil.

**Keywords:** Corrosion; Automobile; Car-body Corrosion; Deicing Salts, Corrosion in Engine, Exhaust System Corrosion.

## ۱- مقدمه

از آنجا که به صورت معمول، بیش از ۵۰ درصد از وزن یک خودرو از فولاد تشکیل شده است، پدیده خوردگی می‌تواند نقش به‌سزایی در صنعت خودروسازی ایفا کند. اگرچه خوردگی ممکن است اثر فوری روی تخریب خودرو نداشته باشد اما قطعاً بر استحکام، ظاهر فیزیکی و عملکرد تأثیر گذاشته و می‌تواند موجب کاهش عمر آن شود. اگرچه خودروسازان گام‌های بلندی در محافظت از بدنه خودرو و دیگر اجزای آن در برابر این پدیده از طریق عملیات سطحی، اعمال پوشش‌ها و انتخاب مواد برداشته‌اند، اما هنوز خودروها به صورت جدی در معرض خوردگی قرار دارند [۱ و ۲]. قابل ذکر است همان‌طور که میزان و نوع خوردگی مواد در اتمسفرهای متفاوت، مختلف است و به محل زندگی افراد در جهان وابسته است، همین امر در مورد خوردگی فلز در قطعات خودرو نیز صدق می‌کند: به عنوان مثال در کشور سوئد، یا در شمال کشور آمریکا و در جنوب کانادا میزان خوردگی خودرو بسیار زیاد است که به دلیل آب و هوای مرطوب و استفاده زیاد از نمک‌های یخ‌زدا می‌باشد [۳ و ۴]. انواع خوردگی در اجزای مختلف یک خودرو با توجه به مدل و شرایط آن نیز می‌تواند اتفاق افتد. به عنوان مثال شرکت مزدا در آگوست ۲۰۱۶ تایید کرد که بیش از ۱۹۰۰۰۰ کراس اوور CX-7 را از سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ فراخوان داده است. پس از فراخوان، اداره ملی ایمنی ترافیک بزرگراه ایالات متحده تایید کرد که آب می‌تواند وارد اتصالات توپی سیستم تعلیق جلوی CX-7 شود. همچنین اگر آب حاوی آلاینده‌هایی باشد، مانند نمکی که برای یخ‌زدایی جاده‌ها استفاده می‌شود، می‌تواند باعث خوردگی بیشتر از نوع خوردگی حفره‌ای در توپی شود. همچنین اگر خوردگی به اندازه کافی شدید باشد، حتی می‌تواند به نوبه خود باعث جدا شدن بازوی کنترل پایینی جلو از وسیله نقلیه شود و هدایت خودرو را دشوار کرده و خطر تصادف را افزایش دهد. همچنین شرکت تویوتا در تابستان ۲۰۱۷ فراخوانی مشابهی را آغاز کرد و بیش از ۳۷۰۰۰۰ خودروی تویوتا و لکسوس برای رفع مشکل جدی سیستم تعلیق به دلیل خوردگی فراخوان شدند. خودروهای مورد نظر کراس اوور RAV4 2006-2011 و سدان لکسوس HS 250h مدل ۲۰۱۰

بودند [۴ و ۵]. قابل ذکر است از آنجا که یک خودرو دارای حدوداً ۳۰۰۰۰ قطعه است که می‌تواند از فلزات و آلیاژهای مختلف ساخته شود که در معرض خوردگی‌های مختلف قرار گیرد. در ذیل به صورت خلاصه به آنها پرداخته می‌شود [۴ و ۶].

## ۲ - انواع آلیاژهای مورد استفاده در خودرو و خوردگی‌های محتمل

### ۲-۱ - آلومینیوم و آلیاژهای آن

انواع آلیاژهای آلومینیومی که می‌تواند در قسمت‌های مختلف خودرو مورد استفاده قرار گیرد، به صورت خلاصه شامل آلومینیوم ۱۱۰۰ (اجزای سیستم خنک‌کن ۲۰۲۴ (پیستون، اجزای ترمز، سیلندر، اجزای چرخ و چرخ دنده‌ها)، ۳۰۰۳، ۳۰۰۴ و ۳۱۰۵ (لوله‌های سیستم خنک‌کن و پنل‌ها، گلگیرها، درها و پوشش کف در ورق بدنه)، ۴۰۳۲ (پیستون، اسکرول کمپرسور و اجزای موتور)، ۵۰۰۵، ۵۰۵۲، ۵۰۸۳، ۵۱۸۲ و ۵۲۵۱ (پوشش بدنه، مخازن سوخت، صفحات فرمان و لوله‌های سیستم خنک‌کن، صفحات تعلیق، دیسک و درام)، ۶۰۱۶، ۶۰۲۲، ۶۰۶۱، ۶۰۸۲ و ۶۱۸۱ (پوشش بدنه، درها، صندوق عقب، سقف، گلگیر، ترمز، محور پروانه چرخ، بدنه کامیون و اتوبوس، کیسه هوا) و ۷۰۰۳ و ۷۰۴۶ (لغزنده صندلی، تقویت سپر، رینگ، جک) می‌باشد. به صورت کلی، آلومینیوم چون نسبت استحکام به وزن بالایی دارد، می‌تواند در انواع قطعات نامبرده مورد استفاده قرار گیرد. همچنین روند خودروسازی بر پایه آلومینیوم به واسطه کاهش وزن خودروها متمرکز شده است. اما مقاومت پایین در برابر انواع خوردگی آلومینیوم موجب شده است که استفاده از این آلیاژ را با چالش مواجه کند. به عنوان مثال خوردگی گالوانیک استفاده از آلیاژهای آلومینیوم را برای خودرو محدود کرده است [۵، ۷ و ۸]، زیرا آلومینیوم در تماس با فولاد خورده خواهد شد. به همین دلیل، آلومینیوم باید از تماس مستقیم با فولاد از طریق استفاده از محافظ‌های عایق یا غیررسانا جلوگیری شود [۱، ۹-۱۱]. قابل ذکر است در شکل ۱، قسمت‌های مختلف بدنه دو ماشین کادیلاک و شورلت نمایش داده شده است که در تماس با هم و امکان خوردگی گالوانیک وجود دارد [۱۲].



شکل ۱ - قسمت‌های مختلف بدنه دو ماشین کادیلاک و شورلت [۱۲]

همچنین به عنوان مثال، احتمال وجود خوردگی گالوانیک در دیواره سیلندر آلومینیومی و پیستون فولادی نیز وجود دارد که می‌تواند به دلیل جذب آب در مایع ترمز رخ دهد و باعث ایجاد حفره روی دیواره سیلندر و ایجاد نشتی شود [۱۳]. گفتنی است در قطعات آلومینیومی خودرو نیز احتمال ایجاد خوردگی حفره‌ای مخصوصاً در حضور یون‌های کلرید بسیار زیاد است [۱۰]. حفره‌ها می‌توانند در ناهمگنی‌های فلزی، شکستن پوشش محافظ، رسوب‌های سطحی یا سایر نقص‌ها شروع شوند [۹]. کلر موجود در نمک یخ‌زدا در شکستن چنین لایه‌های اکسید غیرفعال بسیار موثر است [۱ و ۵]. قابل ذکر است که آلیاژهای آلومینیوم همچنین در تماس با یون کلرید مستعد خوردگی شیاری هستند [۱۷-۱۴]. بیشتر مشکل خوردگی شیاری ناشی از زباله‌های جاده‌ای است که در گوشه‌ها، لبه‌ها و برخی از سطوح عمودی به دام افتاده‌اند. در این قسمت‌ها، الکترولیت نمکی یا رطوبت در تماس نزدیک با فلز نگه داشته می‌شوند. سطوح عمودی و بالایی (مانند گلگیرها) اغلب دچار این نوع خوردگی می‌شوند [۱۵]. همچنین خوردگی ناشی از میکروارگانیسم‌ها یا خوردگی تحت تأثیر میکروبی نیز در سیستم خنک‌کن آلومینیومی نیز وجود دارد [۱۸].

۲-۲ - آلیاژهای منیزی

## ۲-۳- فولادهای ساده کربنی و فولادهای کم آلیاژ

از دهه ۱۹۲۰، فولاد ماده انتخابی خودروسازان در سراسر جهان بوده است. امروزه فولاد حدود ۶۵ درصد از وزن متوسط خودرو را تشکیل می‌دهد. به طور متوسط، ۹۰۰ کیلوگرم فولاد در هر وسیله نقلیه استفاده می‌شود. بدنه خودرو و یا رینگ‌ها که عموماً از فولادهای ساده کربنی یا فولادهای کم آلیاژ ساخته می‌شود، اگر در معرض هوا با مقداری رطوبت باشد به خوردگی یکنواخت دچار می‌گردد. در این صورت، لایه نازکی از رطوبت که در شرایط رطوبت غیرصفر رسوب می‌کند، برای ایجاد پوسیدگی تدریجی سطوح فولادی کافی است. البته ضخامت این فیلم به عواملی مانند دما و فشار محیط، رطوبت نسبی و وجود نمک بستگی دارد [۱ و ۵]. مهمترین روش پیشگیری از خوردگی بدنه استفاده از پوشش‌های پلیمری همچون رنگ می‌باشد. در شکل ۲ نیز، نمایی از سطح زیرین یک خودرو که دچار خوردگی یکنواخت شده است مشاهده می‌شود [۴ و ۲۲]. کف خودرو بخشی است که بیشتر در زمستان در معرض خوردگی قرار می‌گیرد. زمانی که جاده‌ها مملو از محلول آب نمک برای ذوب یخ می‌شوند، این نمک‌ها و مواد شیمیایی باعث خوردگی کف خودرو و قطعات الکترونیکی آن می‌شوند که در این صورت، خوردگی حفره‌ای نیز امکان حضور پیدا می‌کند [۲۳].

مورد نیاز است. برای این کاربردهای دمای بالا، آلیاژهای جدید منیزیم بر اساس افزودن کلسیم و استرانسیوم یا خاک کمیاب ساخته شدند [۱۹ و ۲۰]. از اجزای دیگر ماشین که می‌تواند از آلیاژ منیزیم ساخته شود می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: اجزای فرمان، فریم صندلی، درب و سقف خودرو، نگهدارنده کیسه هوا، بدنه پمپ روغن، بلوک سیلندر، پوشش سوپاپ و بادامک، سیستم ورودی هوا [۲۰].

قابل ذکر است خوردگی یکنواخت در فلزاتی مانند منیزیم می‌تواند رخ دهد [۱ و ۲۱]. برای چنین خوردگی استفاده از رنگ، پوشش، ورق‌های گالوانیزه و حفاظت کاتدی راهکار مناسبی است [۲۱]. هرچند به صورت کلی، به دلیل طبیعت یکنواخت این حمله، این نوع خوردگی، کم‌ترین آسیب را نسبت به اشکال دیگر خوردگی به خودرو وارد می‌کند [۹]. همچنین قطعات منیزیمی همانند آلومینیوم چنانچه در تماس مستقیم با فولاد قرار گیرند در معرض خوردگی گالوانیک می‌باشند، هرچند که استفاده از پوشش‌های تبدیلی همانند پوشش اکسیدی منیزیم توسط عملیات آندایزینگ و پوشش فسفات و کروماته مقاومت به خوردگی این آلیاژ را به طور محسوسی افزایش می‌دهد. قابل ذکر است که برای قطعات منیزیمی امکان خوردگی حفره‌ای و تنش نیز وجود دارد [۲۰ و ۲۲].



شکل ۲- نمایی از سطح زیرین یک خودرو که دچار خوردگی یکنواخت شده است [۴]

فزاینده‌ای در قطعاتی مانند گیره شلنگ، بدنه پمپ، برف پاک‌کن شیشه جلو، سیستم سوخت رسانی و فنرهای کمربند ایمنی استفاده می‌شود [۲۶].

قابل ذکر است که فولاد زنگ‌نزن در تماس با یون کلرید نیز مستعد خوردگی شیاری هستند [۱۶-۱۴]. برای این دسته از فولادها احتمال خوردگی حفره‌ای نیز وجود دارد. خوردگی حفره‌ای نیز در فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی و فریتی در قسمت‌های مرطوب سیستم اگزوز نیز محتمل است، زیرا در قسمت عقب سیستم اگزوز خودرو در داخل سیستم، تراکم گازهای حاصل از احتراق موجب تولید اسید سولفور، اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریک می‌شود [۲۷]. احتمال خوردگی تحت تأثیر میکروبی در سیستم سوخت خودرو نیز وجود دارد [۱۸].

#### ۲-۵ - فولادهای با استحکام بالا و خیلی بالا

نوآوری‌های مدرن فولاد منجر به توسعه یک نوع فولاد جدید شده است که به عنوان فولاد پیشرفته با استحکام بالا شناخته می‌شود. آن‌ها به دلیل وزن سبک، استحکام بالا و شکل‌پذیری بهینه‌ای که دارند، برای ساخت اجزای رادیاتور، بدنه خودرو، تیرهای برخورد جانبی، سپرها چرخ‌دنده‌ها و کمان‌های سقف، اجزای صندلی‌ها انتخابی ارجح هستند [۲۶، ۲۸ و ۲۹]. در شکل ۲، توزیع انواع فولادها در بدنه یک ماشین نمایش داده شده است.

همچنین قطعات فولادی در زیر وسایل نقلیه می‌تواند، دچار خوردگی زیر رسوبی شود. علت خوردگی زیر رسوبی، احتباس آب در زیر رسوب است. با توجه به این وضعیت، داشتن یک محیط خورنده مانند گل و لای جاده برای قطعات در معرض معمول است. لذا این نوع خوردگی می‌تواند شکلی از خوردگی شیاری محسوب شده که تحت رسوبات نخاله‌های جاده رخ می‌دهد [۹]. در این صورت، ناحیه زیر این منطقه پر از گل و لای، می‌تواند به عنوان آند و ناحیه رسوب نشده به عنوان کاتد عمل کند و منجر به خوردگی شود [۳ و ۲۴].

#### ۲-۴ - فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی و فریتی، مارتنزیتی و دوفازی

در واقع، بسیاری از اجزای خودروها شامل حدود ۲ تا ۱۵ کیلوگرم از خانواده فولاد زنگ‌نزن هستند که معمولاً هم در سیستم اگزوز آن‌ها یافت می‌شود. یک سیستم اگزوز دارای انتهای داغ (منیفولد اگزوز، لوله پایین و مبدل کاتالیزوری) و یک انتهای سرد (رزوناتور، لوله میانی، خفه‌کن و لوله خروجی) است. در انتهای داغ، فولاد زنگ‌نزن آستنیتی (مانند ۳۰۹ یا ۳۱۰) و در انتهای سرد، نوع فریتی ۳۰۴ یا ۴۰۹ مورد نیاز است. موتورهای احتراق سوخت، به استفاده از موادی نیاز دارند که به راحتی در دمای بالا تغییر شکل ندهد. فولاد زنگ‌نزن به دلیل نقطه ذوب بالا و مقاومت به خوردگی داغ، یک کاندید مناسب برای این امر است [۲۵]. همچنین از فولادهای زنگ‌نزن به طور



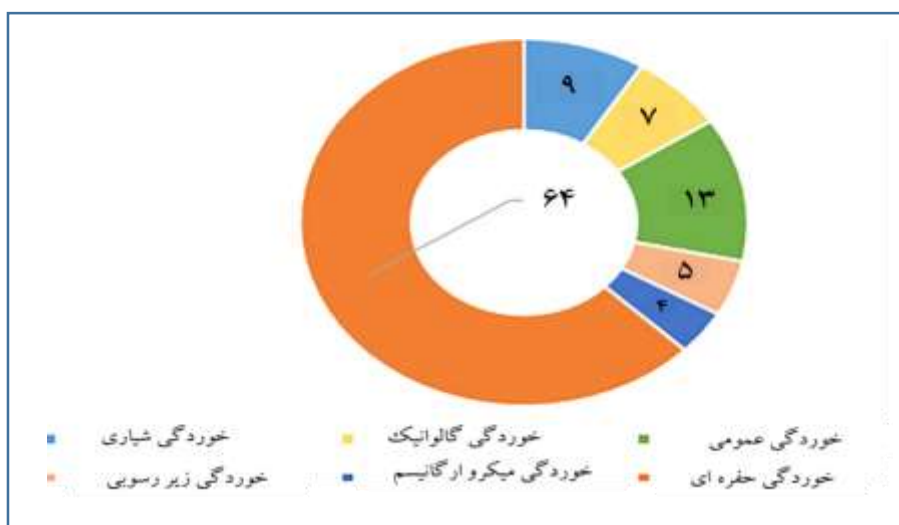
شکل ۳ - توزیع انواع فولادها در بدنه یک ماشین [۳۰]

گزارش شده است که خوردگی حفره‌ای بعنوان بیشترین خوردگی دیده شده (حدود ۶۴ درصد) در انواع خودروها در کشور مراکش محسوب می‌شود [۳۲].

در شکل ۵ نیز، به صورت یک مطالعه موردی دیگر، انواع خوردگی‌های محتمل بر قسمت‌های یک کامیون برف روب را نشان می‌دهد. این خوردگی‌ها شامل خوردگی تنشی، گالوانیک، حفره‌ای و میکروارگانیزم می‌باشد [۳۳].

در این نوع فولادها اگرچه چالش خوردگی یکنواخت وجود ندارد اما امکان خوردگی شیاری، حفره‌ای و تنشی وجود دارد [۳۰ و ۳۱].

لذا، به صورت کلی، انواع مختلفی از خوردگی می‌تواند در قطعات و اجزای مختلف خودرو وجود داشته باشد که شامل خوردگی یکنواخت، گالوانیک، حفره‌ای، شیاری، تنشی، زیرسویی و ناشی از میکروارگانیزم‌ها می‌باشد. با توجه به شکل ۴، قابل ذکر است به صورت مقایسه‌ای و مطالعه موردی،



شکل ۴ - یک مطالعه موردی برای درصد و انواع خوردگی‌های موجود در اجزای خودرو در کشور مراکش [۳۲]



شکل ۵ - انواع خوردگی‌های محتمل در قسمت‌های مختلف یک کامیون برف روب [۳۳]

### ۳- عوامل موثر بر خوردگی

محیط‌های خوردگی برای قطعات خودرو شامل گل و لای جاده، نمک‌های یخ‌زدا، حضور گازهای سولفیدی و آب داخل موتور است که در ادامه به جزئیات آن پرداخته می‌شود.

۳-۱- نمک: خوردگی قطعات خودرو، با نمک جاده یک مشکل گسترده و شناخته شده است. قسمت‌های مختلف زیر بدنه خودرو و سطح داخلی پنل‌های بدنه به راحتی از محصولات خورنده‌ای که در جاده‌ها رسوب می‌کنند و عمدتاً برای ذوب برف استفاده می‌شوند، آسیب می‌بینند. لذا استفاده از مواد شیمیایی یخ‌زدا و مبتنی بر محصولات زیستی از واسط دهه ۱۹۵۰ در آمریکای شمالی ده برابر شده است و علت اصلی خوردگی پنل‌های بدنه اتومبیل توسط نمک جاده که در زمستان برای کنترل برف و یخبندان استفاده می‌شود، است. البته قابل ذکر است که عوامل محیطی دیگر، از جمله آلودگی هوا در مناطق صنعتی، قرار گرفتن در معرض اتمسفر دریایی در مناطق ساحلی، باران اسیدی و گرد و غبار در جاده‌های روستایی نیز خوردگی پنل‌های بدنه اتومبیل و دیگر اجزا را افزایش می‌دهد [۹ و ۳۴]. یخ‌زدهایی که در بزرگراه‌ها استفاده می‌شوند به دلیل مقرون به صرفه بودن، اغلب حاوی کلرید هستند، از جمله کلرید سدیم، کلرید منیزیم و کلرید کلسیم، که گاهی اوقات با بازدارنده‌های خوردگی مخصوص ترکیب می‌شوند [۱۴، ۳۵ و ۳۶]. نمک و آب باعث ایجاد یک محیط خورنده می‌شوند. وجود اکسیژن در محیط آب و نمک، می‌تواند این فرآیند را تحریک کند. نمک‌ها معمولاً به عنوان حامل الکترون‌ها عمل می‌کنند و به آب اجازه می‌دهند تا آن‌ها را از طریق واکنش کاتدی حمل کند. آب به عنوان یک واسطه به انتقال الکترون و نمک به سطح فلز کمک می‌کند. این فرآیند که به عنوان فرآیند الکتروشیمیایی شناخته می‌شود، زمانی اتفاق می‌افتد که آهن در حضور یون‌های اکسیژن و هیدروکسید، اکسید می‌شود. با زنگ زدن فلزات، الکترون‌های آن‌ها از بین رفته و آب به یون‌های

هیدروکسید و اکسیژن تبدیل می‌شود. این فرآیند باعث تشکیل اکسید فلزی (زنگ) می‌شود [۱]. خوردگی تحت تأثیر میکروبی می‌تواند برای تجهیزات کنترل برف و یخ نگران‌کننده باشد، زمانی که آژانس‌ها از محصولات مبتنی بر زیستی، به ویژه محصولات فرعی تصفیه شکر چغندر، برای تهیه یخ‌زدا استفاده می‌کنند [۱۴ و ۳۷].

۳-۲- مقدار رطوبت نسبی در هوا: در شرایط مرطوب، فلز با سرعت بسیار بیشتری خورده می‌شود. این اتفاق در نتیجه واکنش هوای اشباع شده از رطوبت با اکسیژن و الکترون‌های روی سطح فلز رخ می‌دهد. قطعات فلزی زمانی که به مدت طولانی در معرض هوای مرطوب قرار می‌گیرند، سریع‌تر فرسوده می‌شوند. این نوع خوردگی اتمسفری زمانی رخ می‌دهد که مقدار رطوبت در هوا به رطوبت بحرانی برسد، که نقطه‌ای است که در آن آب دیگر تبخیر نمی‌شود و یا از اتمسفر جذب نمی‌شود. در رطوبت نسبی ۸۰٪، این امر در اکثر موارد رخ می‌دهد. هر چه رطوبت نسبی بیشتر باشد، اختلاف دمای مورد نیاز برای تشکیل شبنم کمتر می‌شود و باعث ایجاد خوردگی می‌شود [۱]. مطالعات در شرایط جوی کانادا نشان داده شده است شرایط مرطوب، خوردگی ۴ برابری نسبت به شرایط خشک ایجاد می‌کند [۳۴].

۳-۳- دمای بالا: دما از دو جهت بر خوردگی اتمسفری تأثیر به‌سزایی دارد. اولین مورد افزایش طبیعی در میزان خوردگی است که از نظر تئوری می‌تواند با هر ده درجه افزایش دما، خوردگی دو برابر شود. دوم، اثری که کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، تأخیر دمایی اجسام فلزی در پشت تغییرات دمای محیط به دلیل ظرفیت گرمایی آنها است. هنگامی که دما در عصر کاهش می‌یابد، سطوح فلزی تمایل به گرم‌تر ماندن نسبت به هوای مرطوب اطراف خود دارند و شروع به جمع‌آوری شبنم نمی‌کنند تا زمانی که نقطه شبنم برسد. با افزایش دمای هوای اطراف، دمای عقب‌افتاده سازه‌های فلزی باعث می‌شود که آن‌ها به عنوان کندانسور عمل کنند و لایه‌ای از رطوبت را روی

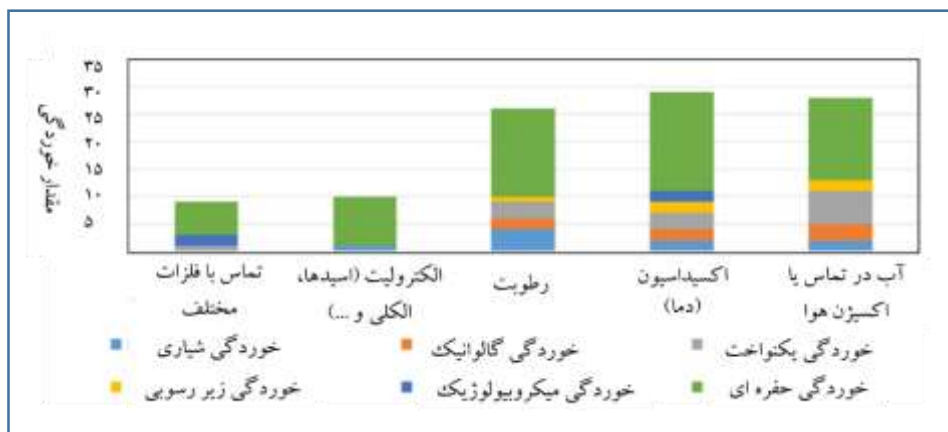
سطوح خود حفظ کنند. چرخه دمایی باعث خوردگی شدید اشیا فلزی در مناطق گرمسیری، شده است [۱]. لذا افزایش دما در یک رطوبت نسبی ثابت، باعث افزایش نرخ خوردگی می‌شود. با این حال، هنگامی که دما افزایش می‌یابد و رطوبت نسبی به طور کلی کاهش می‌یابد، تبخیر رخ می‌دهد و زمان مرطوب شدن کاهش می‌یابد. زمان مرطوب شدن سطح فلز با مدت زمان انجام واکنش‌های خوردگی ارتباط نزدیکی دارد. هر چه زمان خیس شدن بیشتر باشد، مدت زمان بیشتری برای وقوع خوردگی باید رخ دهد [۱۴].

**۳-۴ - روغنکارهای صنعتی:** روان‌کننده خشک به عنوان یک ماده جامد تعریف می‌شود که وقتی بین دو سطح جفت شونده در معرض حرکت نسبی قرار می‌گیرد، اصطکاک را کاهش می‌دهد و از سایش و پارگی (و همچنین از خوردگی) جلوگیری می‌کند. دی سولفید مولیبدن و گرافیت دو روانکار جامد رایج هستند که وقتی به طور مستقیم استفاده شوند باعث خوردگی می‌شوند. دی سولفید مولیبدن به عنوان کاتد در برابر برخی از فلزات در محیط‌های مرطوب عمل می‌کند و ولتاژی تا ۰/۵ ولت تولید می‌کند. دی سولفید مولیبدن همچنین می‌تواند خوردگی گالوانیک را تسریع کرده و موجب خوردگی فلزات آهنی در هنگام مخلوط شدن با گریس شود. در هر صورت گرافیت خورنده است زیرا باعث می‌شود که آهن به صورت انتخابی از چدن خاکستری خورده شود، چون ذرات آهن حذف می‌شوند و گرافیت باقی می‌ماند و توسط خوردگی جدایش انتخابی، باعث تضعیف ساختار می‌شود [۱، ۱۵ و ۲۴].

**۳-۵ - رطوبت سطحی:** رطوبت، به صورت باران و یا به صورت شبنم، نقش مهمی در خوردگی ایفا می‌کند. اگرچه باران می‌تواند آلاینده‌های خطرناک هوا را در جو که در مناطق در

معرض قرار گرفته مانند محیط دریایی تجمع یافته‌اند، از بین ببرد، اما باران همچنین در شکاف‌ها و حفرات جمع می‌شود. باران همچنین می‌تواند با خیس نگه داشتن اشیا، خوردگی را تسریع کند، به ویژه در مناطقی که پیچ و مهره‌های گالوانیزه و قطعات فولادی دارند. علاوه بر این، چگالش و شبنم برخی از انواع نامطلوب رطوبت هستند که با باران مکرر شسته نمی‌شوند و می‌توانند آلودگی را حذف یا رقیق کنند. لایه‌های شبنم که با سولفات‌های اسیدی، نمک دریا و دیگر اسیدها اشباع شده‌اند، ممکن است محیط الکترولیت تهاجمی مانند اسید سولفوریک ایجاد کنند که خوردگی را افزایش می‌دهد. چگالش (شبنم) را می‌توان روی سطوح در مناطق مرطوب و استوایی یافت. در چنین سطوحی، رطوبت می‌تواند ساکن شود که منجر به واکنش قلیایی با فلز یا جذب کربن دی‌اکسید برای تولید یک اسید رقیق (اسید کربنیک) می‌شود [۱ و ۳۷].

**۳-۶ - ذرات معلق در هوا و آلودگی‌ها:** ذرات نمک موجود در هوا که روی سطوح فلزی رسوب کنند در لایه رطوبت سطحی حل می‌شوند و لایه‌های الکترولیت یا قطرات ضخیم‌تری را تشکیل می‌دهند. اکسیژن، دی‌اکسید کربن و آلاینده‌های گازی مانند دی‌اکسید گوگرد، اوزن و دی‌اکسید نیتروژن در این لایه حل می‌شوند و با فرآیند خوردگی تداخل می‌کنند. همچنین سلول‌های خوردگی الکتروشیمیایی موضعی با آندها و کاتدهای سطحی در نتیجه پخش ناهموار لایه‌های آب تشکیل می‌شوند. این امر در نتیجه رسوب ذرات روی سطح رخ می‌دهد [۳ و ۳۴]. به صورت کلی در شکل ۶، ارتباط عوامل موثر خوردگی در خوردگی‌های مختلف در خودرو نمایش داده شده است. به عنوان مثال دما و رطوبت بیشترین تاثیر را در خوردگی حفره‌ای از خود نشان داده است [۳۲].



شکل ۶ - ارتباط عوامل موثر خوردگی در خوردگی‌های مختلف در خودرو [۳۲]

فولادهایی با استحکام بالا و یا اعمال پوشش‌های مناسب پلیمری می‌تواند موجب کاهش خوردگی در این قسمت شوند [۳۸].

۴ - ۲ - سیستم خنک‌کن: سیستم خنک‌کننده موتور احتراقی خودرو از اجزای مختلفی تشکیل شده است که از فلزات مختلفی ساخته شده است که خوردگی کالوانیک را موجب می‌شود: رادیاتورها از مس یا آلومینیوم، کوپلینگ‌های برنزی در ارتباط با با پمپ‌های آب از جنس قلع و موتورهای که از فولاد، چدن یا آلومینیوم ساخته می‌شوند. اکثر خودروهای مدرن، با بلوک موتور آهنی و سرسیلندر آلومینیومی، برای جلوگیری از خوردگی در سیستم خنک‌کننده، نیاز به بازدارنده دارند که وارد آب خنک‌کننده می‌شود [۱]. قابل ذکر است که گاهی بازدارنده و اتیلن گلیکول بعنوان یخ‌زدا با هم ترکیب می‌شوند که منجر به افزایش میزان خوردگی در لوله‌های رادیاتور می‌شود. لذا نوع بازدارنده انتخابی مانند هگزامتیلن - آترامین یا دی فسفات سدیم باید طوری باشد که واکنش‌ها و میزان خوردگی کمترین باشد [۴۰ و ۴۱]. همچنین دماهای کاری بالا، هوادهی، آب خنک‌کننده پر از املاح، خوردگی را تسریع می‌کند. قابل ذکر است لوله‌های رادیاتور ممکن است در اثر خوردگی عمومی مورد حمله قرار گیرند و لوله‌های برنجی هم در سطوح داخلی و هم در سطوح خارجی مورد جدایش روی قرار می‌گیرند. همچنین، از آنجایی که لوله‌های برنجی توسط لحیم کاری ساخته می‌شوند، روغن لحیم کاری ممکن است،

#### ۴ - انواع قطعات خودرو در معرض خوردگی و راهکارهای پیشگیری

خوردگی داخلی و زیر بدنه خودرو بر عمر و عملکرد اجزای حیاتی مانند سیستم‌های سوخت، سیستم‌های خنک‌کننده، سیستم‌های الکتریکی و سیستم‌های آگزوز تاثیر می‌گذارد. اگر چه شاید نگرانی از لحاظ زیبایی نباشد اما خوردگی در این مناطق می‌تواند بر عملکرد ایمن وسیله نقلیه تاثیر بگذارد [۵]. در ذیل به انواع قطعات خودرو که در معرض خوردگی هستند، اشاره شده است و به صورت خلاصه نیز راهکارهای پیشگیری و یا کاهش میزان خوردگی ارائه شده است.

۴ - ۱ - سیستم بدنه: علت اصلی خوردگی بدنه خودرو همانند قسمت‌های پایین درب، تجمع گرد و غبار در قسمت‌های مختلف بسته و داخلی است که با جذب رطوبت به مدت طولانی باقی می‌ماند، به طوری که در این قسمت‌ها خوردگی فلز صورت می‌گیرد، درحالی که عموماً در قسمت‌های بیرونی تمیز و خشک، خوردگی اتفاق نمی‌افتد [۱، ۶ و ۳۸]. قابل ذکر است که رطوبت توسط چیزهایی مانند گل و لای، خاک، قیر و سایر انواع رایج ذرات که هنگام رانندگی در امتداد جاده به پایین وسیله نقلیه در قسمت داخلی بدنه و البته درون لوله آگزوز پرتاب می‌شوند، به دام می‌افتد و موجب ایجاد خوردگی می‌شود که شست‌وشوی این قسمت‌ها می‌تواند موجب کاهش خوردگی در این قسمت‌ها گردد [۳۹]. انتخاب آلیاژ مناسب همانند استفاده از

باعث ترک ناشی از تنش خوردگی یا خوردگی تنشی شوند. اجزایی مانند پمپ خنک‌کننده در معرض آسیب کاویتاسیون ناشی از فروپاشی حباب‌های بخار در سیستم خنک‌کننده هستند؛ جریان بیش از حد مایع خنک‌کننده نیز می‌تواند باعث آسیب به لوله‌های رادیاتور شود و موجب خوردگی کاویتاسیون شوند [۹ و ۴۲]. قابل ذکر است که حضور یون‌های موجود در آب چون یون کلر نیز موجب خوردگی حفره‌ای می‌شود [۴۰ و ۴۳]. همچنین در صورتی که هوا از طریق درپوش رادیاتور وارد سیستم خنک‌کن شود، می‌تواند باعث زنگ‌زدگی و ساییدگی در قسمت آب‌بند، درزگیر و یاتاقان‌های پمپ آب شود [۴۰ و ۴۴].

۴-۳- باتری: محیط اسیدی که روی سطح آکومولاتورها که انرژی لازم برای راه‌اندازی موتور را تامین می‌کنند، ایجاد می‌شود و باعث انجام فرآیندهای خوردگی در پایه‌های سرب می‌شود، جایی که کابل‌ها توسط گیره‌های برنزی یا فولادی به هم متصل می‌شوند. عایق کردن اتصالات در این قسمت موجب کاهش میزان خوردگی می‌گردد [۱ و ۴۵].

۴-۴- لوله‌آگزوز: این سیستم در قسمت‌های انتهایی همچون خفه‌کن عقب در معرض خوردگی خارجی عمومی و موضعی و خوردگی داخلی ناشی از میعانات گازی آگزوز قرار دارند. همچنین دمای گاز آگزوز در نزدیکی منیفولد آگزوز تا ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد، با دمای فلز متناظر تا ۵۹۵ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. بنابراین اجزای سیستم آگزوز مانند لوله‌های منیفولد و مبدل کاتالیزوری در معرض شرایط اکسیداسیون دمای بالا یا خوردگی داغ قرار دارند [۲۷ و ۴۵]. لوله‌های آگزوز ساخته شده از فولاد زنگ‌نزن ( $0/6 - 0/8$  میلی‌متر ضخامت) مقاومت بهتری در برابر خوردگی شیمیایی در دماهای بالا دارند، به همین دلیل است که اکنون از فولاد زنگ‌نزن در بسیاری از مدل‌های محبوب خودرو استفاده می‌شود. این فولاد زنگ‌نزن در برابر خوردگی بسیار بیشتر از فولاد معمولی مقاومت می‌کند، بنابراین عمر طولانی آنها قیمت بالاتر را توجیه می‌کند [۱ و ۴۵]. لذا مواد مورد استفاده برای

مقابله با خوردگی در سیستم‌های آگزوز شامل فولاد آلومینایز شده و فولاد های زنگ‌نزن آستنیتی و فریتی مانند فولاد زنگ‌نزن ۴۰۹ هستند. استفاده از فولاد زنگ‌نزن نوع ۴۰۹ به دلیل هزینه نسبتاً کم و مقاومت خوب در برابر خوردگی و اکسیداسیون دمای بالا در حال افزایش است [۹ و ۴۶]. استفاده از مبدل‌های کاتالیزوری، که در سال ۱۹۷۵ در ایالات متحده آغاز شد، برخی مشکلات خاص برای خودروسازان ایجاد کرده‌است. به دلیل واکنش اکسید کننده و کاتالیز شده‌ای که در جریان گاز خروجی در مبدل انجام می‌شود، دمای گاز خروجی و مقدار مواد خورنده مانند اسید سولفوریک در جریان گاز خروجی افزایش می‌یابد. خود مبدل اساساً از یک زیر لایه سرامیکی با روکش فلز نجیب تشکیل شده است که اغلب در یک قوطی فولاد زنگ‌نزن نوع ۴۰۹ قرار دارد. قرار گرفتن مبدل بین منیفولد آگزوز و لوله آگزوز باعث استفاده از مواد مقاوم در برابر خوردگی برای این قطعه شده است [۹، ۳۹ و ۴۶]. لذا اجزای موجود در سیستم آگزوز خودرو، به عنوان مثال، مخروط‌های داخلی، صفحات بافل، حلقه‌های نگهدارنده و اجزای خارجی مانند میله آویز، پوسته بیرونی، محافظ حرارتی، مخروط‌های بیرونی، درپوش‌های انتهایی، منیفولد و غیره همگی باید بتوانند در برابر بار حرارتی و ارتعاشات ناشی از بار جاده و بار موتور مقاومت کنند، زیرا که اجزای داخلی در معرض خوردگی ناشی از حضور میعانات اسیدی و اجزای خارجی در معرض خوردگی ناشی از حضور نمک یخ‌زدا می‌باشد [۳۹ و ۴۶].

۴-۵- سیستم سوخت: مخازن و خطوط سوخت عموماً در ایالات متحده از فولادهای پوشش داده شده با قلع - سرب ساخته می‌شوند. این فولادها دارای مقاومت خوردگی کلی در این کاربرد است، اما در صورت گیر افتادن آب در مخزن سوخت، در معرض خوردگی حفره‌ای است. فولاد الکتروگالوانیزه نیز توسط برخی از تولیدکنندگان خارج از ایالات متحده استفاده

می‌شود و مقاومت خوبی در برابر خوردگی حفره‌ای دارد. با گذشت زمان، سطوح داخلی مخزن سوخت الکتروگالوانیزه ممکن است محصولات خوردگی قلع سفید (زنک سفید) را با حمله بعدی فلز پایه تشکیل دهند. برای دیگر اجزای سیستم سوخت، مانند خطوط سوخت، فولاد پوشش داده شده با غوطه‌وری داغ درآلیاژ روی - آلومینیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹].

۴ - ۶ - دیگر سیستم‌های خودرو: انواع فولادهای پوشش داده شده برای اجزای تعلیق خودرو شامل فولادهای گالوانیزه گرم، فولاد الکتروگالوانیزه، فولاد آلومینیزه و فولادهای پوشش داده شده با پودر اپوکسی و یا الکتریکی کاتدی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از اجزای تعلیق (به عنوان مثال، اجزای عقبی تعلیق) و اجزای ساختاری (مانند ضربه گیر سپر و ریل‌های جانبی بدنه) از فولادهای کم آلیاژ با استحکام بالا برای کاهش وزن ساخته می‌شوند، اما مشکلات شکل‌پذیری با این مواد تاکنون کاربرد آن‌ها را به کاربردهای سازه‌ای محدود کرده است. فولادهای با استحکام بالا، اگرچه در مقطع نازک‌تر از فولادهای کربنی هستند، اما به همان روش توسط انواع پوشش‌ها محافظت می‌شوند. فلزات پوشش داده شده در صنعت خودرو برای ظاهر تزئینی و مقاومت در برابر خوردگی خود به عنوان مثال در کاربردهای زیبایی خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرند [۷]. البته قابل ذکر است که خوردگی در شفت برف پاک‌کن، زوار پنجره‌ها و یا چرخ‌ها نیز رخ می‌دهد.

#### ۵ - پیامدهای ناشی از واکنش‌های خوردگی

بنابراین با توجه به مطالعات آماری، خوردگی در قسمت موتور به عنوان شایع‌ترین مکان خوردگی در اتومبیل محسوب می‌شود و عموماً زمان زیادی طول می‌کشد تا خوردگی در قسمت موتور ایجاد شود. اما اگر خوردگی موتور زود تشخیص داده نشود، می‌تواند باعث خرابی و هزینه‌های بالای تعمیر شود و همچنین تاثیر منفی بر عمر موتور داشته باشد. شایع‌ترین آسیب‌های ناشی از خوردگی موتور شامل موارد ذیل است:

۵ - ۱ - مصرف بیشتر، احتراق ناقص و کاهش راندمان که در نتیجه واکنش‌های خوردگی و ایجاد رسوبات در طول چرخه احتراق

می‌شود و مقاومت خوبی در برابر خوردگی حفره‌ای دارد. با گذشت زمان، سطوح داخلی مخزن سوخت الکتروگالوانیزه ممکن است محصولات خوردگی قلع سفید (زنک سفید) را با حمله بعدی فلز پایه تشکیل دهند. برای دیگر اجزای سیستم سوخت، مانند خطوط سوخت، فولاد پوشش داده شده با غوطه‌وری داغ درآلیاژ روی - آلومینیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹].

۴ - ۶ - سیستم‌های الکترونیکی: این سیستم در معرض طیف گسترده‌ای از مشکلات خوردگی ناشی از محیط خودرو قرار دارند. مشکلات خوردگی در سیستم‌های الکتریکی معمولی را می‌توان در مرحله طراحی با آب‌بندی اجزاء در صورت امکان به حداقل رساند. طیف گسترده‌ای از ترکیبات آلی و معدنی برای این منظور استفاده می‌شود که شامل رنگ‌ها و پرایمرها، ترکیبات سیلیکونی، لاک‌ها، پلاستیک‌های متعدد و روغن‌ها و گریس‌ها می‌شود. استفاده از قطعات الکترونیکی در خودروها در دهه گذشته به طور چشمگیری افزایش یافته است. این سیستم‌ها ابتدا برای کنترل موتور مورد استفاده قرار گرفتند، اما در حال حاضر طیف گسترده‌ای از عملکردهای کنترل و نظارت را انجام می‌دهند. قطعات الکترونیکی در معرض انواع مشکلات خوردگی از جمله نشتی جریان ناشی از خوردگی و اتصالات کوتاه روی بردهای مدار چاپی و خوردگی در دستگاه‌های بسته‌بندی پلاستیکی شده قرار دارند. طراحی مناسب، تولید و روش‌های تضمین کیفیت می‌تواند به حداقل رساندن این نوع مشکلات در سیستم‌های الکترونیکی خودرو کمک کند [۹]. در سال‌های اخیر در این قسمت به دلیل استفاده از پلیمرهای تقویت شده با فیبر کربنی در صورتی که با یک فلز اتصال وجود داشته باشد خوردگی کالوانیک نیز محتمل خواهد بود [۱۲]. همچنین هنگامی که اتصالات دستگاه کیسه هوا دچار خوردگی می‌شوند، سیستم کیسه هوا ممکن است فعال نشود و صدمات وارده به افراد داخل خودرو آنطور که در نظر گرفته شده است به حداقل نمی‌رسد. قابل ذکر است مس رایج‌ترین ماده مورد استفاده در دستگاه‌های کنترل الکترونیکی به دلیل هدایت الکتریکی و حرارتی خوب آن است. با این حال، ریزمدارهای

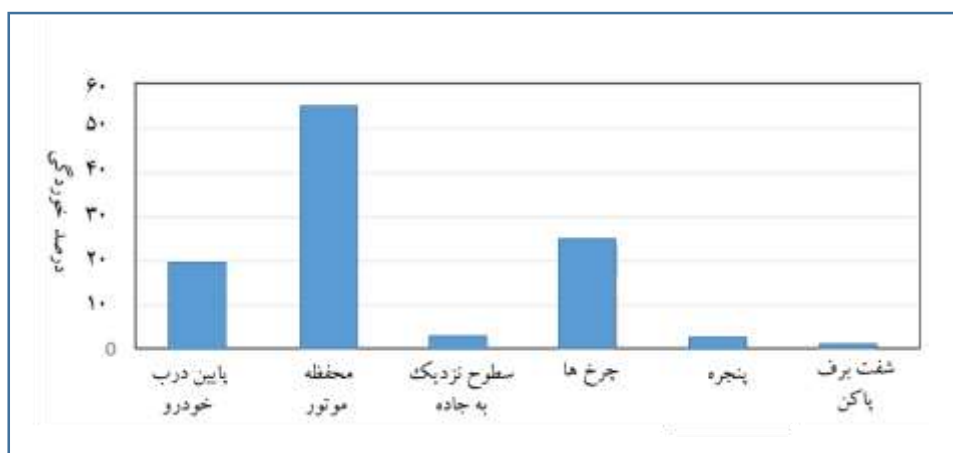
مشکلات گرمایش بیش از حد به دلیل افزایش اصطکاک شود. همچنین زنگ زدگی و خوردگی به تدریج افزایش می‌یابد و باعث نشتی و آسیب‌های دیگر در سیستم خنک کننده می‌شود. ۵ - ۵ = عمر کمتر روغن: ممکن است روغن موتور به دلیل رسوبات سیستم با توجه به محصولات خوردگی، با تغییر رنگ و قوام و کاهش روانکاری بیشتر در معرض تعویض قرار گیرد [۴۸-۵۰]. به صورت کلی، شکل ۷، درصد خوردگی در نواحی مختلف وسیله نقلیه را نشان می‌دهد. از شکل ۷ می‌توان نتیجه گرفت که محفظه موتور منطقه‌ای است که بیشتر تحت تاثیر خوردگی برای همه انواع وسایل نقلیه قرار دارد [۹ و ۳۲].

است. در این صورت، موتور دیگر نمی‌تواند هوا و سوخت را با سرعت معمول پردازش کند.

۵ - ۲ = انژکتورهای شکسته: خوردگی شیار معمولاً در نازل-های انژکتور دیده می‌شود. این می‌تواند منجر به انسداد شده که ناشی از رسوبات بوده و خود موجب خطای کارکرد شود. در اینجا نیز بازده موتور کاهش می‌یابد.

۵ - ۳ = گرفتگی فیلتر سوخت و روغن: زنگ زدگی و رسوب در روغن موتور می‌تواند باعث ایجاد گرفتگی شود. این کار، فیلترهای سوخت و روغن را مسدود می‌کند.

۵ - ۴ = گرمای بیش از حد: ایجاد رسوب در موتور می‌تواند باعث



شکل ۷ - مقایسه میزان خوردگی در اجزای مختلف خودروها [۳۲]

## نتیجه گیری

با توجه به اینکه اغلب قسمت‌های یک خودرو از فلزات و آلیاژهای مختلف ساخته می‌شود، خوردگی یک چالش مهم بوده که در اجزای مختلف روی داده و منجر به کاهش عمر و محدود کردن کارایی آن می‌شود. لذا با توجه به اهمیت خوردگی در صنایع خودروسازی در این تحقیق به مرور مقالات مرتبط پرداخته شد. جنس قطعات مختلف یک خودرو می‌تواند از آلیاژهای منیزیم، آلومینیوم و فولادهای کربنی و آلیاژی می‌باشد که دچار انواع خوردگی شامل خوردگی یکنواخت، حفره‌ای، شیار، تنشی، میکروارگانیزم و گالوانیک شوند. پس از تجزیه و تحلیل آماری مقالات می‌توان نتیجه گرفت که نوع خوردگی حفره‌ای در محفظه موتور، یک خوردگی غالب در وسایل نقلیه می‌باشد. اگرچه رطوبت هوا و وجود نمک‌های یخ‌زدا در جاده از عوامل اصلی خوردگی بدنه خودروها محسوب می‌شوند. سیستم آگزوز خودرو به دلیل وجود میعانات گازی و ایجاد اسیدهای موضعی و غلظت‌های قابل توجه یون‌های کلرید نیز بسیار مستعد خوردگی حفره‌ای هستند. همچنین دمای نزدیک به ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد در مجاورت منیفولد موجب اکسیداسیون شده و تخریب در اجزای مختلف سیستم آگزوز همانند لوله خروجی، صفحات بافل، درپوش خارجی

و ... را سبب می‌شود. سیستم خنک‌کن خودروها نیز در معرض خوردگی گالوانیک، کاویتاسیون و خوردگی تنش می‌باشند. سیستم‌های تعلیق، سوخت‌رسانی و اتصالات الکتریکی خودروها نیز از اجزای دیگر وسایل نقلیه هستند که در معرض صدمات ناشی از خوردگی می‌باشد. لذا انتخاب آلیاژ مناسب، پوشش‌های محافظ و بازدارنده‌ها از مواردی است که می‌تواند خوردگی را در صنایع خودروسازی کاهش دهد.

## مراجع

- [1] A. Kumar, J. Singh, Overreview on corrosion in automotive industry and thermal power plant, Proceedings on Engineering Sciences, Vol. 4, No. 1, 2022, Pp. 13-22.
- [2] M. A. Fentahun, M. A. Savas, Materials used in automotive manufacture and material selection using ashby charts, International Journal of Materials Engineering, Vol. 8, No. 3, 2018, Pp. 40-54.
- [3] M. Fagnani, Metal corrosion in automotive parts, Bruschitech, 2017.
- [4] S. Sawyer-Beaulieu, E. Tam, A. Hussein, Measuring corrosion on vehicles, in real-time, Using Digital Imaging and Analysis Techniques Materials, Vol. 15, 2022, Pp. 3053.
- [5] S. Weaks, Corrosion protection for car parts and safety, Automotive-IQ, 2017.
- [6] H. Jindal, D. Kumar, L. Ishika, S. Kumar, R. Kumar, Role of artificial intelligence in distinct sector: a study, Asian Journal of Computer Science and Technology, Vol. 10, No. 1, 2021, Pp. 1-12.
- [7] K. P. Balan, Metallurgical Failure Analysis, Elsevier, 2018.
- [8] R. Bullet, Introduction to corrosion and process, Springer, 2014.
- [9] S.D. Cramer, B.S. Covino, W.W. Scott, E. Marquard, H. Lampman, M.J. Riddlebaugh, ASM handbook 13, 2003.
- [10] M. Arab, M. Azadi, O. Mirzaee, Effects of manufacturing parameters on the corrosion behavior of Al-B<sub>4</sub>C nanocomposites, Materials Chemistry and Physics, Vol. 253, 2020, Pp. 123259.
- [11] D. Zhao, M. Liu, G. Li, C. Tan, B. Feng, Automobile corrosion mechanism and cases analysis, Lecture Notes in Electrical Engineering, Vol. 486, 2019, Pp. 32-42.
- [12] M. Liu, Y. Guo, J. Wang, M. Yergin, Corrosion avoidance in lightweight materials for automotive applications, Materials Degradation, Vol. 2, No. 1, 2018, Pp. 24.
- [13] M. Hagarova, J. Brezinova, G. Baranova, J. Vinas, P. Maruschak, Degradation of components in cars due to bimetallic corrosion, Materials, Vol. 14, No. 12, 2021, 3323.
- [14] M. Honarvar Nazari, D. Bergner, X. Shi, Manual of best practices for the prevention of corrosion on vehicles and equipment used by transportation agencies for snow and ice control, Minnesota Department of Transportation, 2015.
- [15] A Guide to corrosion protection: for passenger car and light truck underbody structural components, Auto/Steel Partnership, Light Truck Frame Project Team, 1999.
- [16] M. Mills, Corrosion to snow and ice material application equipment, 80th Annual Western Snow and Ice Conference, Embassy Suites. Loveland, 2012.
- [17] M Azadi, M Arab, O Mirzaee, An investigation of corrosion behavior of Al-B<sub>4</sub>C nanocomposites in various corrosive solutions, International Journal of Materials Research, Vol. 111, No.12, 2020, 1002-1014.
- [18] M. Melander, R. Woods, Corrosion study of brazed aluminum radiators retrieved from cars after field service, Corrosion, Vol. 66, No. 1, 2010, 015005.
- [19] W. J. Joosta, P. E. Krajewski Towards magnesium alloys for high-volume automotive applications, Scripta Materialia, Vol. 128, 2017, Pp. 107-112
- [20] J. Wang, X. Pang, H. Jahed, Surface protection of Mg alloys in automotive applications: A review, AIMS Materials Science, Vol. 6, No. 4, 2019, Pp. 567-600.
- [21] M. Virgil, Different forms of corrosion classified on the basis of appearance, Springer, 2004.
- [22] C. Blawert, N. Hort, K.U. Kainer, Automotive applications of magnesium and its alloys, Transaction of Indian Institute of Metals Vol. 57, 2014, Pp. 397-408.
- [23] W. E. Weimer, Corrosion of magnesium, aluminum, and steel automotive sheet metals joined by steel, Master thesis, Ohio State University, 2015.

- ۱۹۴] D. Katundi, A. Tosun-Bayraktar, E. Bayraktar, D. Toueix, Corrosion behaviour of the welded steel sheets used in automotive industry, *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 38, No. 2, 2010, Pp. 146–153.
- [25] P. Snelgrove, Stainless steel automotive and transport developments, *Materials Science*, Vol. 2, 2004, Pp.1-5.
- [26] K. Bachman, Lightweighting still dominates great designs in steel, *FMA The Fabricator*, 2018.
- [27] C. Hoffmann, P. Gumpel, Pitting corrosion in the wet section of the automotive exhaust systems, *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 34, No. 2, 2009, 115-202
- [28] H. Gerengi, N. Sen, I. Uygur, M. M. Solomon, Corrosion response of ultra-high strength steels used for automotive applications, *Materials Research Express*, Vol. 6, No. 8, 2019, Pp. 0865
- [29] W.H. Huang, H.W. Yen, Y.L. Lee, Corrosion behavior and surface analysis of 690 MPa-grade offshore steels in chloride media, *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 8, No. 1, 2019, Pp. 1476-1485.
- [30] X. Hu, Z. Feng, Advanced high-strength steel—Basics and applications in the automotive industry, *Manufacturing Science Division*, Vol. 2047, 2021, Pp.1-30
- [31] G. Vartanov, High-strength, corrosion-resistant steel can be an effective alloy alternative, *Turbomachinery Magazine*, Vol.12, 2020, Pp.1-10.
- [32] A. Chami, R. Benabbou, M. Taleb, Z. Rais, M. El haji, Analysis of survey data on corrosion in the automotive industry, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 45, 2021, Pp. 7636-7642.
- [33] C.Monty, M.C. Miller, I.V. Schneider, W.H. Rodriguez, Evaluation of the effectiveness of salt neutralizers for washing snow and ice equipment, Final report prepared for the The Ohio Department of Transportation, Office of Statewide Planning and Research, 2014.
- [34] M. C. Belangie, Vehicle corrosion in perspective, *National Research Council*, 1989.
- [35] S. Papavinasam, Corrosion control in the oil and gas industry, *Gulf Professional Publishing*, 2014.
- [36] N. Birbilis, B. Hinton, Corrosion, and corrosion protection of aluminium, *Wood head Publishing*, 2011.
- [37] X. Shi, N. Xie, J. Gong, Recent progress in the research on microbially influenced corrosion: a bird's eye view through the engineering lens, *Recent Patents on Corrosion Science*, Vol. 1, 2011, Pp. 118-131.
- [38] M. Azadi, M. Azadi, Corrosion failure study in an oil cooler heat exchanger in marine diesel engine, *International Journal of Engineering: Transactions B: Applications*, Vol. 29, No. 11, 2016, Pp. 1531-1538.
- [39] I. Aniekan , O. E. Kelly, G. Abdulsamad, Engineering material selection for automotive exhaust systems using CES software, *International Journal of Engineering Technologies* , Vol. 3, No. 2, 2017, Pp. 50-61.
- [40] S. Saifudin, S. Munahar, M. Setiyo, Corrosion inhibitor behavior in typical car radiators, *Journal of Physics*, Vol. 1517, 2020, 012033.
- [41] M. Asadikiya, Y. Zhong, M. Ghorbani, Corrosion study of aluminum alloy 3303 in water-ethylene glycol mixture: effect of inhibitors and thermal shocking, *International Journal of Corrosion*, Vol. 2019, 2019, 9020489
- [42] M. Sinha, R.K.Tyag, Strength and corrosion analysis in alloy steel and E-glass composite wear ring in automotive engine cooling water pump, *Materials Today: Proceeding*, Vol. 21, No. 3, 2020, Pp. 1474-1478.
- [43] NACE GA, NACE International, General Attack, 2014.
- [44] S. Memar, M. Azadi, H. Abdoos, Microstructure and corrosion evaluations for Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–lead brass matrix nanocomposites in marine solution, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 295, 2023, Pp.127124
- [45] M. Carrillo, N. Rosas, M. Stoytcheva, R. Zlatev, B. Valdez, A. Eliezer, M. Schorr, Corrosion control in industry, *Collection of open chapters of books in transport research*, 2012.
- [46] M. Yasir, G. Mori, H. Wieser, M. Schattenkirchner, M. Hognl, A new testing method for lifetime prediction of automotive exhaust silencers, *International Journal of Corrosion*, Vol. 2011, 2011, 689292.
- [47] G. Lopez Badilla, The characterization of corrosion in the electronics industry of Mexicali, Doctoral thesis, *Universidad Autónoma de Baja California*, 2008.
- [48] M. Shahabuddin, M. Mofijur, M. Bengir Ahmed Shuvho, M. A. K. Chowdhury, M. A. Kalam, H. H. Masjuki, M. A. Chowdhury, A Study on the corrosion characteristics of internal combustion engine materials in second-generation jatropha curcas biodiesel, *Energies*, Vol. 14, 2021, Pp. 4352.
- [48] M. Azadi, H. Aroo, M.S.A. Parast, M. Azadi, Comparing of high-cycle fatigue lifetimes in un-corroded and corroded piston aluminum alloys in diesel engine applications, *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 21, No. 1, 2021, Pp. 84-94.

- [50] H. Aroo, M. Azadi, M. Azadi, Corrosion effects on high-cycle fatigue lifetime and fracture behavior for heat-treated aluminum-matrix nano-clay-composite compared to piston aluminum alloy, *Silicon*, Vol. 14, No. 7, 2022, Pp. 3749-3763