



مجله علمی، تخصصی

افزون روان

شماره یازدهم | سال یازدهم | پاییز ۱۴۰۲

# سیالات فلزکاری (اصول و مبانی)

دانایی کلید توانایی



# سخن نخست



به نام خدا

در اواسط دهه شصت میلادی یک محقق انگلیسی بنام Peter Jost گزارشی تحقیقاتی را به دولت این کشور ارائه نمود که در آن برای اولین بار میزان تأثیر روانکاری ناکارآمد بر درآمد ناخالص ملی انگلستان مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته بود. در گزارش اولیه ای که وی ارائه کرد برای نخستین بار عبارت ترایبولوژی ابداع شد. ترایبولوژی علمی است که به توضیح و تشریح پدیده های روانکاری، اصطکاک و سایش بین سطوح در حرکت می پردازد. از آن تاریخ تاکنون مباحث ترایبولوژی و علوم روانکاری و روانکارشناسی به عنوان یکی از موضوعات مهم در زیرشاخه های علوم مکانیک و شیمی شناخته شده است و نقش اساسی را در رشد و توسعه صنایع مختلف بر عهده گرفته است.

محققین، دانشمندان و خبرگان این صنعت در طی چندین دهه گذشته با صرف هزینه های هنگفت تحقیقاتی و با تلاش و کوشش فراوان، این شاخه از علم را بسط و توسعه داده اند. از حدود دهه های پنجاه و شصت میلادی، صنایع مادر مانند صنعت نفت، صنایع نظامی، صنعت خودرو و امثال آنها با شتاب فزاینده ای رو به رشد بوده اند. این امر به نوبه خود نیاز روزافزون به انواع روانکارها و ویژگیها و توانمندیهای مختلف را به دنبال داشته است. لذا این حرکت پرشتاب، باعث ایجاد ظرفیت های بسیار عظیم پژوهشی و تحقیقاتی در حوزه علوم روانکاری گردیده و به تبع آن حجم چشمگیری از اطلاعات علمی و تخصصی در قالب کتابهای فنی، مجلات تخصصی، مقالات، پایان نامه ها و وب گاه های مختلف در زمینه روانکارها و علم روانکاری پدید آمده است.

با توجه به اینکه امروزه استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات سهولت بیشتری برای استفاده از اغلب این اطلاعات فراهم آورده است ممکن است در نظر اول دسترسی به اطلاعات مفید و صحیح امری سهل و ساده به نظر برسد. ولی به تجربه دیده شده است که به همان اندازه که کمبود یا نبود اطلاعات در زمینه های علمی و تخصصی می تواند محدود کننده باشد، گاهی روپارویی با انبوهی از اطلاعات متفرق و حجیم برای یک موضوع تخصصی نیز می تواند ملال آور و حتی مشکل ساز باشد. علاوه بر این، سهولت انتشار مطالب در فضای مجازی که گاه به انگیزه های صرفاً تجاری صورت می گیرد نیز باعث ایجاد توده ای از اطلاعات و داده های ناصحیح و گاه گمراه کننده می گردد.

بدیهی است اخذ و گردآوری اطلاعات تخصصی صحیح، مفید و کارآمد و ارائه آنها به صورت یک مجموعه مدون برای آگاهی و بهره مندی فعالین و ذینفعان حوزه روانکارها از دستاوردهای جدید صنعت روانکاری، می تواند به عنوان یکی از حلقه های مهم زنجیره ارزش در علم روانکاری مطرح باشد. ناگفته

پیداست که این امر نیازمند مهارت و ورزیدگی ویژه ای است که متخصصین و پژوهشگران این حوزه با ممارست، جستجوی منابع و واکاوی مراجع مختلف علمی می توانند به آن دست یابند.

در همین راستا، شرکت افزون روان نیز به عنوان یکی از اعضای فعال در صنعت روانکاری، همواره خود را متعهد می داند تا نقش خود را به بهترین نحو ممکن ایفا نماید. مجله علمی و تخصصی افزون روان یکی از ابزارهایی است که این شرکت در جهت روشننگری و ارائه خدمات علمی به صنعت روانکار ارائه می نماید. ما همواره در تلاش هستیم تا مباحث و موضوعات علمی، فنی و تخصصی روز جهان را که در دنیای روانکاری مطرح هستند به آگاهی مخاطبین عزیزمان برسانیم.

لذا ضمن تشکر و قدردانی از مخاطبین گرانقدری که با ارائه پیشنهادات و نظرات ارزشمند خود در باره این مجله همواره ما را در ارائه خدمات بهتر و با کیفیت بالاتر همراهی و مساعدت می نمایند، بدینوسیله از تمامی اساتید، محققین، کارشناسان و متخصصین گرامی که در حوزه روانکاری و روانکارها فعالیت دارند برای مشارکت در ارائه مطالب و مقالات علمی و یافته های ارزنده فنی خود برای انتشار آنها در مجله افزون روان دعوت به عمل می آید.

مسعود تیموری

سر دبیر

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

شرکت  
افزون روان



مجله علمی، تخصصی افزون روان

دو فصلنامه سراسری

شماره پانزدهم، سال یازدهم، پاییز ۱۴۰۲

شماره ثبت: ۸۵۲۱۵

سر دبیر و ویراستار:

دکتر مسعود تیموری

نظارت و هماهنگی:

مرتضی رضایی

نویسندگان:

زهرا نادى زاده، پانته آحاجى بزرگى، درسا وحيدى

رامتین رضانی

طراح گرافیک و صفحه آرا

مرتضی رضایی

لینتوگرافی و چاپ:

چاپ رامتین

نشانی:

تهران، خیابان پاسداران، خیابان شهید جهانبخش نژاد،

پلاک ۱۰

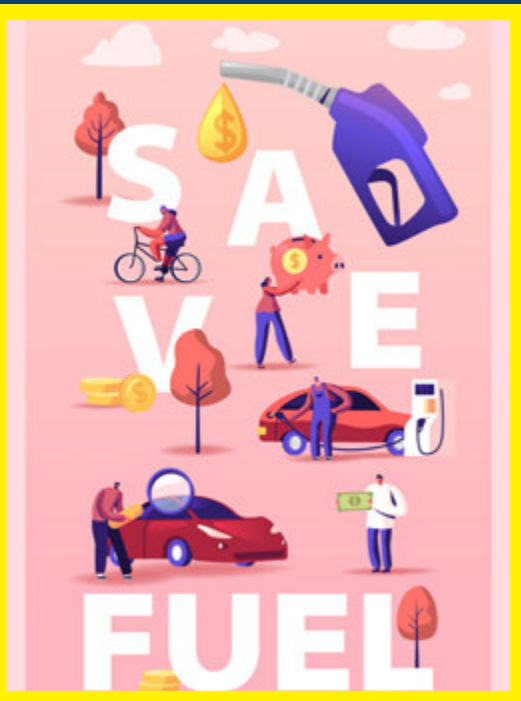


تلفن: ۰۲۱-۲۳۵۵۹۹۹۹

فکس: ۰۲۱-۲۲۸۰۴۴۵۸



۱۰  
سیالات فلزکاری، اصول و مبانی



۱۲  
روغن موتور کارآمد در مصرف  
سوخت: چالشی پیش روی  
طراحان فرمولاسیون



۳۳

نگاهی به اهمیت روز افزون  
سیالات انتقال حرارت



۳۱

آشنایی با روانکار دنده  
قسمت دوم: ارزیابی  
روغن دنده ها

# PC-12 New Diesel engine Oil Category

طبقه بندی PC-12 برای  
موتور های دیزل سنگین که  
محدودیت های سخت گیرانه  
آلاینده های محیط زیست تا سال  
۲۰۲۷ میلادی را پوشش می  
دهند تعریف شده است.



# آخرین بروزرسانی‌ها در طبقه بندی جدید روغن های موتور خودروهای سنگین



در ایالات متحده آمریکا، آژانس حفاظت از محیط زیست از یک سو و هیئت منابع هوایی کالیفرنیا از سوی دیگر، قوانین بسیار سختگیرانه ای را برای کاهش گازهای آلاینده کربن و نیتروژن ( $\text{NO}_x$  و  $\text{CO}_x$ ) روی خودروهای سنگین وضع نموده اند.

اتوبوس ها را کاهش دهد. این مقررات باید از سال ۲۰۲۷ بر روی کامیون ها اجرا شوند.

طرح EPA انتشار آلاینده هایی از جمله هیدروکربن ها، ذرات معلق و مونوکسید کربن را تنظیم می کند. اما چیزی که بیشترین تأثیر را بر سخت افزار خودروهای سنگین دارد، کاهش انتشار اکسیدهای نیتروژن ( $\text{NO}_x$ ) به کمتر از مقدار فعلی اش یعنی  $0.12$  گرم بر اسب بخار در ساعت است. بر اساس الزامات EPA، این امر مستلزم کاهش  $82/5$  درصدی  $\text{NO}_x$  برای تردهای بزرگراهی است بعلاوه اینکه یک پارامتر اضافی نیز باید برای شبیه سازی تردهای محلی و ایست و حرکت های مربوطه اضافه شود.

همزمان با این رخداد، اقداماتی نیز توسط هیئت منابع هوایی کالیفرنیا (CARB) در مورد کاهش  $\text{NO}_x$  در حال انجام است. در محدودیت های وضع شده توسط CARB، کاهش انتشار گاز های گلخانه ای نسبت به وضعیت فعلی باید تا  $75\%$  تا سال  $2024$  و  $90\%$  نسبت به سال  $2027$  تحقق پذیرد.

معرفی الزامات جدید آلاینده گی سوخت های فسیلی در ایالات متحده باعث ایجاد تغییرات قابل توجهی در موتورهای دیزلی سنگین و سخت افزار سیستم تصفیه گاز های خروجی اگزوز شده است. این امر باعث شده است که سازندگان موتور خواستار ارائه طبقه بندی جدیدی برای روغن موتورهای دیزلی از API باشند که PC-12 نامیده می شود. معرفی این سطح کیفی جدید برای حصول اطمینان از حفاظت کافی و مناسب از قطعات و سخت افزار موتور است. در این مقاله برآنیم تا بروز رسانی جدید در روند پیشرفت PC-12 و چالش های مرتبط با آن را که ممکن است در آینده با آن مواجه شویم مورد بررسی قرار دهیم.

در ایالات متحده، الزامات مربوط به انتشار گاز های گلخانه ای کامیون های سنگین سخت تر می شود. طرح کامیون های پاک آژانس حفاظت از محیط زیست<sup>۱</sup> (EPA) مجموعه ای از مقررات را تنظیم می کند که بتدریج در طی سه سال آینده تدوین می شود تا آلودگی کامیون ها و

جدول شماره ۱. مقایسه محدودیت های قدیمی موتورهای احتراق تراکمی خودروهای سنگین				
	Current CARB	Current EPA	CARB 2027	EPA 2027
FTP Cycle (NOx g/bhp-hr)	0.20	0.20	0.020 0.035*	0.035
HDD SET-RMC (NOx g/bhp-hr)	0.20	0.20	0.020 0.035*	0.035
Low-Load Cycle (NOx g/bhp-hr)	N/A	N/A	0.050 0.090*	0.050

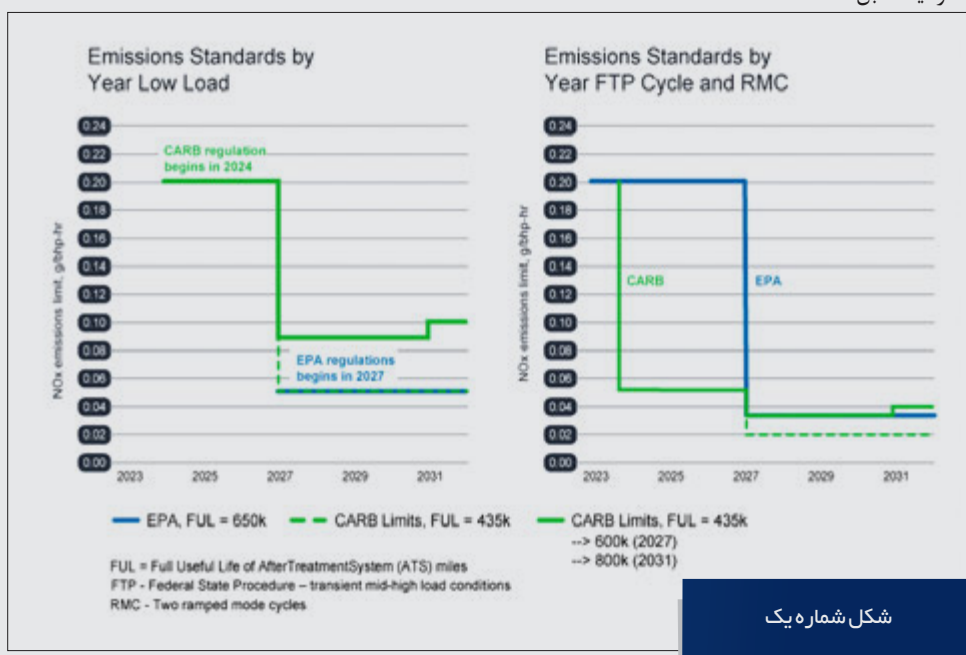
FTP-Federal State Procedure-Transient mid-high load conditions

SET-Supplemental Emissions Test

RMC-Two ramped mode cycles

\*Limit applies for vehicles with aftertreatment system designed to go to 600K mile useful life.

این مقررات سخت گیرانه تر، انتشار گاز های گلخانه ای را در محدوده وسیع تری از شرایط عملیاتی کامیون ها شامل می شود. به عنوان مثال محدودیت جدید "کم باری" که برای کاهش انتشار آلاینده های کامیون هایی که درجا کار می کنند طراحی شده است. شدت و جدول زمانی مقررات انتشار گاز های گلخانه ای به صورت نمودار برای دو قانون محدود کننده آلاینده ها که در بالا اشاره شد، در شکل شماره یک قابل مشاهده است.



شکل شماره یک

علاوه بر این، برای اینکه محدودیت های مذکور قابل اجرا باشند باید عمر مفید تجهیزات و دستگاه های تصفیه آلاینده ها بالاتر برده شود و همچنین مدت زمانی که موتور ها تحت پوشش ضمانت قرار می گیرند نیز طولانی تر شود.

جدول شماره ۲. دوره های گارانتی و طول عمر مفید موتور خودروهای سنگین						
	Warranty Period			Aftertreatment system useful life periods		
	Miles	Years	Hours	Miles	Years	Hours
Current	100,000	5	---	435,000	10	22,000
MY 2027 and later	450,000	10	22,000	650,000	11	32,000



### دو طبقه بندی جدید PC-12

کار بر روی توسعه PC-12 در حال انجام است و انتظار می رود دو طبقه بندی جدید را که با تقسیم ویسکوزیته که امروزه با عنوان API 'C' و FA-4 وجود دارند، به ارمغان بیاورد. دسته اول، یا همان طبقه بندی (PC-12A) API 'C'، احتمالاً حداقل ویسکوزیته روغن در دما و سرعت برشی بالای (HTHS) موجود را حفظ می کند و با طبقه بندی های قدیمی تر سازگار است. دسته دوم، طبقه بندی API 'F' نامیده می شود و با ویسکوزیته HTHS پایین تر (PC-12B)، احتمالاً HTHS تا ۲/۶ cp کاهش می یابد تا امکان استفاده از درجه های ویسکوزیته SAEXW-20 برای بهبود بیشتر مصرف سوخت فراهم شود. این طبقه بندی برای استفاده در موتورهای مدرن و آینده هدف گذاری شده است و توسط API با طبقه بندی های قدیمی تر سازگاری ندارد.

### روند پیشرفت PC-12

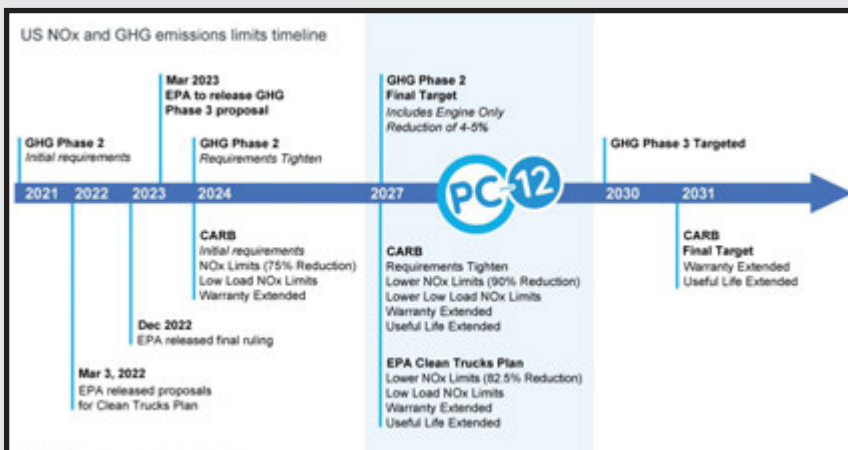
پیشرفت در توسعه آزمون های نوآورانه و جایگزین طبقه بندی های جدید در حال انجام است. محافظت در برابر سایش: دو تست سایش برای اضافه شدن به PC-12 پیشنهاد شده اند. اولین، تست سایش سوپاپ روی موتور ۶/۷ لیتری فورد است که توسط فورد برای مشخصات Ford WSS M2C171-F1 معرفی شده است تا اطمینان حاصل شود که روغن موتور از سیستم سوپاپ محافظت می کند. در حال حاضر توسعه این آزمون موتوری بر روی درجه

### کاهش انتشار گازهای گلخانه ای

EPA همچنین در حال کاهش انتشار گازهای گلخانه ای<sup>۱</sup> از طریق الزامات فاز دوم GHG است. این آیین نامه کامیون های کانتینری و کفی دار<sup>۲</sup>، وانت های بزرگ، وانت ها و همه ی انواع و اندازه های اتوبوس و کامیون های باری<sup>۳</sup> مدل سال های ۲۰۲۱-۲۰۲۷ را پوشش می دهد. EPA می گوید انتظار دارد که استانداردهای نهایی انتشار CO<sub>2</sub> را تا حدود ۱/۱ میلیارد تن کاهش دهد و مصرف روغن را تا دو میلیارد بشکه در طول عمر خودروهای فروخته شده تحت این برنامه کاهش دهد. این امر باعث شده تا سازندگان خودرو به سیستم های آبرودینامیک، لاستیک ها و گرمایش، تهویه مطبوع هوای خودروهای خود توجه کنند. طبق گزارش EPA، انواع متفاوت کشنده های کامیونی و کامیونت های کاری مختلف تقریباً ۸۵ درصد از مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه ای در بخش کامیون های سنگین را تشکیل می دهند. بنابراین برای مهار بیشتر آنها، فاز دوم GHG، این کلاس های خودرو را ملزم می کند تا به بهبود ۴ تا ۵ درصدی مصرف سوخت و کاهش CO<sub>2</sub> نسبت به خودروهای مدل سال ۲۰۱۷ دست یابند.

جدول شماره ۳

Reduction in fuel consumption and GHG emissions compared to MY 2017 baseline	MY 2021	MY 2024	MY 2027
Combination Tractors	13%	20%	25%
Trailers	5%	7%	9%
Heavy Duty Pickup Trucks and Vans	2.5%	10%	16%
Vocational Vehicles	12%	20%	24%
Separate Engine Standards (tractor, vocational)			4-5%



این قوانین GHG احتمالاً باعث تغییرات سخت افزاری مانند بهبود احتراق، جایجایی هوا و فناوری تصفیه گازهای گلخانه ای و همچنین استفاده گسترده از سیستم های بازیابی گرمای هدر رفته و روانکارها با ویسکوزیته پایین تر می شود. با نگاهی بیشتر به آینده، انتظار می رود EPA استاندارد های به روز شده GHG را به زودی در مدل سال ۲۰۳۰ در فاز سوم مورد نظر GHG تعیین کند.

واضح است که تغییرات قابل توجهی در فناوری موتور های دیزلی سنگین قابل انتظار است و جهت اطمینان از محافظت پیوسته روانکارها از موتور ها و سخت افزار سیستم پس از تصفیه برای دوره های طولانی تر، انجمن تولید کننده های موتور<sup>۴</sup> (EMA) یک طبقه بندی جدید روغن موتور (PC-12) را برای خودرو های مدل سال ۲۰۲۷ (اولین تاریخ مدنظر مجوز<sup>۱</sup> ژانویه ۲۰۲۷) درخواست کرده است.

تست‌های PC-11 زیر شامل PC-12 نمی‌شوند:

- تست سایش (RFWT) به دلیل عدم استفاده با تست کامینز ISB حذف می‌شود.
- در شکل شماره دو، مقایسه‌ای بین دو ویژگی PC-12A و PC-12B صورت گرفته است و بطور خلاصه مشخصات آن‌ها نمایش داده شده است.

PC-12A OILS		PC-12B OILS	
PC-12A	Enhanced durability requirements	PC-12B	
↑		↑	
SAE grades		SAE grades	
XW-30 and heavier		XW-30 XW-20	
Viscosity		Viscosity	
>3.5cP		2.6-3.2cP	
Fuel economy		Fuel economy	
Good		Better/best	
Back serviceable		Back serviceable	
API CH-4 CI-4 (PLUS) CJ-4 CK-4		Less viscosity control for soot	
Applications		Applications	

شکل شماره دو

اطمینان از تامین طولانی مدت بخش‌های آزمون موتوری با تبدیل به جدیدترین موتور مدل سال ۲۰۲۳ کار می‌کند. همچنین، آزمون سایش دیترویت دیزل<sup>۱</sup> DD13، همزمان با PC-11 برای رفع نگرانی‌ها در مورد خراش افتادن بدنه سیلندر<sup>۲</sup> با روغن موتورهای دارای ویسکوزیته پایین‌تر توسعه داده شده است. اگرچه این آزمون در PC-11 گنجانده نشده است، اما به مشخصات کامیون دایملر و دیترویت دیزل اضافه شده است.

**مقاومت در برابر اکسیداسیون:** از آنجاییکه موتورها داغ‌تر می‌شوند و OEMها به دنبال این هستند که با وجود شرایط سخت‌تر نسبت به گذشته هنوز هم فواصل تعویض روغن را حفظ کنند باید محافظت روغن در برابر اکسیداسیون هم تقویت شود. این امر به معنای محدودیت‌های سختگیرانه‌تر در تست ولوو T-13 است.

**محافظت از سیستم تصفیه:** همچنین می‌توان انتظار داشت که محدودیت‌های شیمیایی سختگیرانه‌تر به کاهش مسمومیت سیستم تصفیه گاز اگزوز کمک کند. اهداف فعلی حداکثر ۰/۱٪ فسفر (P)، حداکثر ۰/۳۵٪ گوگرد (S) و حداکثر ۰/۹٪ خاکستر سولفاته (SASH) توسط EMA به عنوان یک توافق بین اعضای OEM در خواست شده است برخی OEMها پیشنهاد کرده‌اند که محدودیت‌های شیمیایی مشخصات فنی OEM خودشان در سطوح حداکثر ۰/۰۸٪ P، حداکثر ۰/۳٪ S و ۰/۸-۰/۹٪ SASH سخت‌گیرانه‌تر است و احتمالاً شامل محدودیت‌های جدیدی برای پتاسیم و سدیم می‌شود.

علاوه بر این یکی از اعضای EMA به دلیل کاهش دوام ناشی از کاهش مقدار فسفر در روغن و احتمال مسمومیت سیستم تصفیه با انواع خاصی از ترکیبات فسفر خواستار در نظر گرفتن پارامتر حفظ فسفر شده است.

**محافظت از آب بندها:** حفاظت از آب بندهای نیتربلی هیدروژنه نیز مورد درخواست است. این بیشتر بخاطر همراهی و هماهنگی با آب بند هایی است که در حال حاضر طبق مشخصات فنی مورد تایید ACEA استفاده می‌شوند.

### تست‌های جایگزین

تست کنترل افزایش ویسکوزیته ناشی از دوده Mack T-11 با تست کنترل ویسکوزیته دوده Cummins جایگزین می‌شود. انتظار می‌رود تست Cummins نیز دقیقاً همان پارامترهای کنترلی ویسکوزیته مشابه Mack T-11، برای طبقه بندی گریدهای جدید ویسکوزیته بالاتر گروه 'C' API را مورد استفاده قرار دهد.

انتظار می‌رود توسعه این آزمون جدید برای پوشش دادن کاستی‌های موجود بین Mack T-8 و Mack T-11 که به پایان عمر خود نزدیک می‌شوند استفاده شود. توسعه این آزمون شامل موارد زیر خواهد بود:

- جایگزین کردن مستقیم Mack T-11 با عملکرد کنترل دوده معادل تا ۶/۷٪ دوده در طبقه بندی‌های جدید و فعلی در گروه 'C' API جهت سازگاری با سطوح کیفی پیشین.
- حفاظت از موتورها در برابر افزایش ویسکوزیته دوده در حدود ۰/۴٪ دوده برای طبقه بندی جدید 'F' API با ویسکوزیته پایین به دلیل سطوح پایین دوده موتورهای دیزلی مدرن.
- احتمالاً جایگزین شدن Mack T-8 در طبقه بندی‌های قدیمی‌تر از (API CH-4, API CI-4).



- تست کاتر پیپلار 1N تک سیلندر به دلیل عدم استفاده در مقایسه با تست کاتر پیپلار C13 چند سیلندر حذف می شود.
- تست Mack T-12 حذف می شود زیرا عملکرد اکسیداسیون از قبل توسط تست Volvo T-13 پوشش داده شده است و پارامتر سایش آستر سیلندر با سایش میل بادامک Cummins برابر تباط دارد.

علاوه بر این، در اطمینان از مناسب بودن تست ها برای استفاده با روغن های جدید با ویسکوزیته پایین، چالش هایی وجود دارد. در اینجا، روغن های مرجع جدید در SAE XW-20 برای برخی از آزمایش هایی که در بازه زمانی PC-10 با روغن های مرجع SAE 15W-40 توسعه یافتند، مورد نیاز است. هنوز مطالعات زیادی برای توسعه و آزمایش روغن موتورهای آماده برای عرضه به بازار در خودروهای مدل ۲۰۲۷ باید انجام شود.

آزمون Volvo T-13 در آزمایشگاه SWRI



آزمون Detroit Diesel DD13 در آزمایشگاه Intertek



منابع:

1. [www.LubesnGreases.com/sustainability](http://www.LubesnGreases.com/sustainability)

سیالات فلز کار (MWF) برای تسهیل عملیات فلز کاری مشخص بر روی یک قطعه فلزی مخصوص که به عنوان قطعه کار شناخته می شود، مورد نیاز هستند.

# Basics of Metalworking Fluids



زهرانادی زاده

کارشناس تحقیق و توسعه

# سیالات فلز کاری، اصول و مبانی

## کاربردهای MWF

اولین گام در درک پیچیدگی MWFها، یادگیری در مورد کاربردهای متنوع آنهاست که می‌توانند به چهار دسته تقسیم شوند: حذف براده فلز<sup>۲</sup>، شکل دهی فلز<sup>۴</sup>، محافظت از فلز<sup>۵</sup> و عملیات سخت کاری (آبدیده کردن) فلز<sup>۶</sup>.

## حذف ذرات فلز

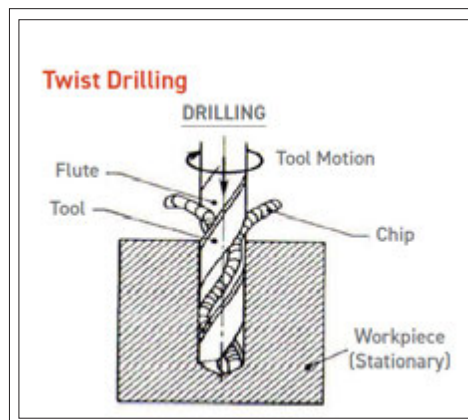
بزرگترین بخش استفاده MWFها شامل حذف ذرات فلز است. در این کاربرد، فلز به صورت براده با استفاده از ابزار برش از قطعه کار جدا می‌شود. فرایند حذف فلز را می‌توان به دو کاربرد حذف براده بزرگ و براده کوچک تقسیم کرد. نمونه‌هایی از فرایندهای براده‌های بزرگ و براده‌های کوچک در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

سیالات فلز کاری<sup>۱</sup> (MWF) برای تسهیل عملیات فلز کاری مشخص روی یک قطعه فلز مخصوص که به عنوان قطعه کار<sup>۲</sup> شناخته می‌شود، مورد نیاز هستند. فرایندهای ساخت بسیار متنوع هستند و آلیاژهای فلزی بسیار مختلفی نیز وجود دارند که عملیات فلز کاری روی آنها انجام می‌گیرد و در آن‌ها MWFها مورد نیاز هستند. به همین دلیل، MWFها بر خلاف سایر روانکارها، بر اساس دستورالعمل یا استانداردهای واحدی کار نمی‌کنند. فرمولاتورها باید MWFهای خاصی را طراحی کنند که با شرایط عملیاتی خاص مطابقت داشته باشند. در حقیقت، شرایطی وجود دارد که دو ماشین ابزاری که عملیات مشابهی را در یک کارخانه انجام می‌دهند ممکن است به MWFهای متفاوتی نیاز داشته باشند. این چالش، درک این موضوع که انواع اصلی MWFها کدامند و کاربرد و عملکرد آنها چیست را دشوار کرده است. هدف این مقاله روشن کردن این نکات و همچنین ارائه دیدگاه‌هایی در مورد مسائل عملیاتی اصلی پیش روی کاربران نهایی MWF و چالش‌های آینده است.

جدول شماره ۱. فرایندهای حذف فلز

براده کوچک	براده بزرگ
سنگ زنی <sup>۷</sup>	مته کاری <sup>۸</sup>
سنگ کشی <sup>۹</sup>	خان کشی <sup>۱۰</sup>
لیسه زنی <sup>۱۱</sup>	سوراخکاری <sup>۱۲</sup>
پرداخت کاری نهایی <sup>۱۳</sup>	فرزکاری <sup>۱۴</sup>
	برق‌زنی <sup>۱۵</sup>
	سوراخکاری <sup>۱۶</sup>

شکل شماره ۱. سوراخکاری مارپیچ، نمونه‌ای از عملیات حذف فلز، شامل استفاده از ابزاری است که به عنوان مته برای جدا کردن فلز از قطعه کار با برداشتن براده‌های بزرگ شناخته می‌شود.



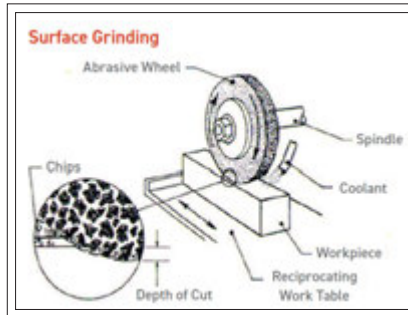
اولین گام در درک پیچیدگی MWFها یادگیری در مورد کاربردهای متنوع آنهاست که می‌توانند به چهار دسته تقسیم شوند: حذف براده فلز، شکل دهی فلز، محافظت از فلز و عملیات سخت کاری (آبدیده کردن) فلز.

خاص از یک محل تولید به محل دیگر برای پردازش بیشتر منتقل شود، روغن های محافظ فلز موقت مورد نیاز هستند. برای محافظت از فلزی که در پل، اسکله یا لنگرگاه استفاده می شود، از یک روغن محافظ فلز دائمی استفاده می شود. شکل شماره ۵ نشان می دهد که بسته به کاربرد، روغن محافظ را می توان از سه هفته تا پنج سال فرموله کرد.

### آبکاری فلز<sup>۳</sup>

در عملیات حرارتی یا سخت کاری فولاد، فلز طبق برنامه مشخصی تا دمای بالا گرم می شود تا تنش های باقی مانده در آن آزاد شوند. هدف از فرآیند گرم کردن، تنظیم میزان سختی و شکل پذیری یک قطعه کار مشخص است. برای حفظ یکپارچگی ابعاد فلز در حین خنک شدن، یک فرآیند خنک سازی کنترل شده به نام کوئنچینگ انجام می شود که به ایجاد خواص مکانیکی و ریزساختار مطلوب نیز کمک می کند. برای دستیابی به این هدف از یک روغن کوئنچینگ فلز برای کنترل فرآیند خنک سازی استفاده می شود. اغلب، آبکاری بر روی آلیاژهای

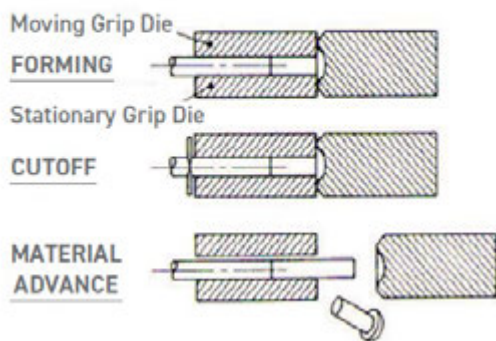
در فرایندهای براده بزرگ مانند سوراخکاری، مقدار قابل توجهی فلز را می توان از قطعه کار جدا کرد (شکل شماره ۱). در فرایندهای براده کوچک مانند سنگ زنی، فلز بسیار کمی حذف می شود زیرا ممکن است قطعه کار در میانه عملیات پرداخت کاری باشد که در آن سطح فلز باید پارامتر خاصی را که مورد نیاز کاربر نهایی است برآورده کند (شکل شماره ۲).



شکل شماره ۲. براده های کوچک در سنگ زنی سطحی حذف می شوند.

### Cold Heading

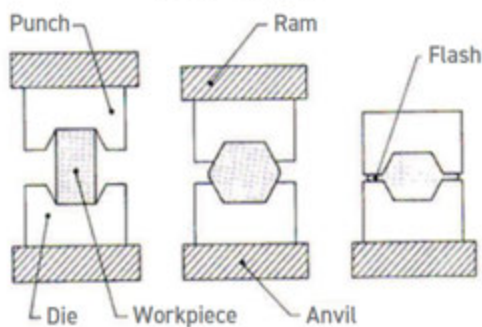
#### COLD HEADING



شکل شماره ۳. قطعات فلزی کوچک مانند پیچ و مهره ها و پیچ ها معمولاً از طریق عملیات شکل دهی فلزات سرد تولید می شوند.

### Forging

#### DROP FORGING



شکل شماره ۴. در عملیات آهنگری شکل دهی فلز، فلز تحت شرایط کشش شدید به شکل قالب در می آید.

### شکل دهی فلز

زمانی که قطعه کار تحت عملیات شکل دهی فلز قرار می گیرد، برخلاف حالت براده برداری، مقدار بسیار ناچیزی از فلز حذف می شود. در اینجا، شکل قطعه کار معمولاً با قرار دادن آن در یک قالب خاص تغییر می کند. عملیات شکل دهی فلز را می توان به شش نوع کلی تقسیم کرد که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

هر یک از این عملیات های شکل دهی فلز را می توان به بسیاری از فرآیندهای مرتبط تقسیم کرد. برخی از عملیات ها، شکل یک قطعه کوچک فلز را تغییر می دهند در حالیکه برخی دیگر بر روی قطعه کارهای بسیار بزرگتر استفاده می شوند. به عنوان مثال، کله زنی سرد<sup>۱</sup> معمولاً برای ساخت کنگی قطعات فلزی کوچک مانند پیچ و مهره استفاده می شود (شکل شماره ۳). در مقابل، فورجینگ<sup>۲</sup> یک عملیات شکل دهی فلزی شدید است که در آن یک قطعه فلز بزرگ به شکل قالبی تحت فشار قرار می گیرد (شکل شماره ۴).

### محافظت از فلز

روغن های محافظ فلز برای محافظت از سطوح فلزی در برابر خوردگی به صورت موقت یا نیمه دائم بسته به فرآیند، مورد استفاده قرار می گیرند. آنها با تشکیل یک پوشش محافظ روی سطح فلزی و ممانعت از تعامل اکسیژن و آب با قسمت فلزی مشخص عمل می کنند. اگر یک قطعه کار

هدف از فرآیند گرم کردن، تنظیم میزان سختی و شکل پذیری یک قطعه کار مشخص است. برای حفظ یکپارچگی ابعاد فلز در حین خنک شدن، یک فرآیند خنک سازی کنترل شده به نام کوئنچینگ انجام می شود که به ایجاد خواص مکانیکی و ریزساختار مطلوب نیز کمک می کند.

1- Cold heading  
2- Forging

3- Metal quenching: سرد کردن سریع فلز در آب

**Quenching - Mastering the Process**

**DIVIDED BY OPERATIONAL TEMPERATURE**  
 • "Cold" Oils (27° - 93°C)  
 • Martempering Oils (93° - 232°C)

**"COLD" OILS**  
 • Typically three different speeds  
 - Fast (7-9 GMQS)  
 - Medium (10-13 GMQS)  
 - Normal (14-16+ GMQS)

**MARTEMPERING OILS**  
 • Applicable to high alloy, or carburized distortion prone parts  
 • Slower than Cold Oils (Typically 20+ GMQS)



شکل شماره ۶. عملیات سخت کاری، مرحله خنک کاری عملیات حرارتی است. روغن های کونچ فلز به کنترل بکپار چگی ابعادی فلز در هنگام سرد شدن از دمای بالا تا دمای محیط کمک می کنند. انواع مختلفی از روغن های کونچ بر اساس دمای عملیات و نرخ سرعت خنک کاری مورد استفاده قرار می گیرند.

- **جدایش؛ روغن شکل دهی فلز باید سطح** قطعه کار را از طریق مکانیزم فیزیکی (از طریق ویسکوزیته) یا شیمیایی از سطح قالب جدا نگه دارد تا اطمینان حاصل شود که این دو جزء به هم نمی رسند. این موضوع برای اطمینان از افزایش عمر قالب ضروری است.
- **پاک کنندگی؛ تمیز سازی یکی دیگر از** عوامل مهم است که در آن یک روغن شکل دهی فلز باید تجمع بقایای فلزی یا ریزدانه های روی قالب را به حداقل برساند. همچنین این روغن باید با مواد پاک کننده سطح فلز که بعد از عملیات شکل دهی فلز برای تمیز کردن سطح قطعه استفاده می شوند سازگاری داشته باشد.
- **وظیفه اصلی یک روغن محافظ، حفاظت در برابر خوردگی در یک کاربرد خاص برای بازه زمانی مورد نیاز است. این ویژگی ممکن است نیاز به تنظیم داشته باشد تا روغن محافظ بتواند در محیط های شدید مانند حضور اسیدها و نمک های فلزی حفاظت را به خوبی فراهم کند. روغن های محافظ ممکن است در**

برای اطمینان از تولید قطعه سالم، باید روانکاری کافی برای کاهش اصطکاک وجود داشته باشد. محافظت در برابر خوردگی دومین مشخصه مهم برای روغن شکل دهی فلز است زیرا پس از اتمام عملیات، قطعه کار ممکن است در انبار قرار گیرد یا برای پردازش بیشتر به کارخانه تولید دیگری منتقل شود.

شکل شماره ۵. انواع روغن های محافظ

TYPE نوع روغن	PROTECTION نوع محافظت
Short Term محافظ کوتاه مدت	3weeks indoor storage سه هفته انبارداری در فضای بسته
Weldable قابل جوشکاری بدون پاک کردن روغن	Up to 6 months indoor storage تا شش ماه انبارداری در فضای بسته
Mid Term محافظ میان مدت	Up to 1-year indoor storage تا یک سال انبارداری در فضای بسته
Long Term محافظ بلند مدت	Up to 5 years indoor storage تا ۵ سال انبارداری در فضای بسته
Long Term Outdoor محافظ بلند مدت در فضای باز	Up to 1 year تا یک سال در فضای باز
VCI oil روغن های فرار محافظ خوردگی	Up to 5 years indoor storage تا ۵ سال انبارداری در فضای بسته
Transit Coatings روغن های محافظ حین حمل و نقل قطعه	Up to 6 months outdoor تا شش ماه در فضای باز

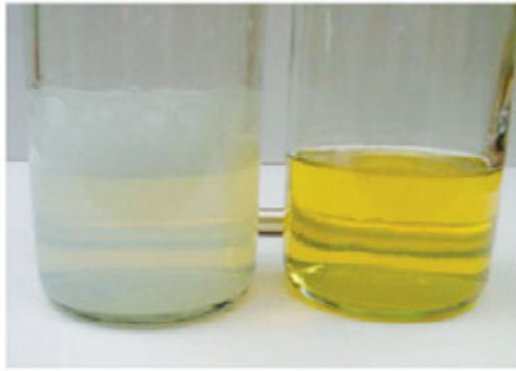
آهنی انجام می شود و بر اساس دما و نرخ (یا سرعت) سرد شدن تقسیم بندی می شود (شکل شماره ۶).

**عملکرد MWF**

چهار نوع MWF عملکردهای متفاوتی از خود نشان می دهند زیرا هر یک از چهار کاربرد دارای الزامات عملکردی متمایز هستند. برای حذف براده های فلز، یک MWF باید وظایف اصلی زیر را انجام دهد:

- **روانکاری؛** برای به حداقل رساندن اصطکاک که می تواند در طول تعامل بین قطعه کار و ابزار برش ایجاد شود، مورد نیاز است.
- **خنک کاری؛** از آنجاییکه هنگام برخورد ابزار برش با قطعه کار می تواند گرمای قابل توجهی ایجاد شود امری مهم است زیرا اگر دفع گرما بخوبی رخ ندهد، عمر ابزار و ویژگی های قطعه کار به خطر می افتد.
- **زدودن براده ها از محل ماشینکاری؛** برای اطمینان از عدم آسیب رساندن آنها به ابزار برش یا قطعه کار ضروری است.
- **محافظت در برابر خوردگی؛** از آنجاییکه ماشینکاری می تواند پوشش اکسیدسی را از بین ببرد و سطح فلز بی حفاظ را در معرض اکسیژن و آب قرار دهد و منجر به مشکلاتی مانند زنگ زدگی و لکه شود، محافظت در برابر خوردگی به صورت موقت مورد نیاز است.
- **در شکل دهی فلزات، روانکاری به دلایلی مختلفی موضوع مهمی است. برای اطمینان از تولید قطعه سالم، باید روانکاری کافی برای کاهش اصطکاک وجود داشته باشد. محافظت در برابر خوردگی دومین مشخصه مهم برای روغن شکل دهی فلز است زیرا پس از اتمام عملیات، قطعه کار ممکن است در انبار قرار گیرد یا برای پردازش بیشتر به کارخانه تولید دیگری منتقل شود. روغن شکل دهی فلز باید برای جلوگیری از خوردگی تا چند ماه بخوبی وظیفه خود را انجام دهد. سایر وظایفی که روغن های شکل دهی فلز انجام می دهند عبارتند از:**

### Semisynthetic Fluid



شکل شماره ۸. هنگامی که کنسانتره (شکل سمت راست) با سرعت خاصی به آب اضافه می شود، یک روغن نیمه سنتزی میکروامولسیون نیمه شفاف (شکل سمت چپ) تشکیل می دهد.

### Emulsifiable Oil (Soluble Oil)



شکل شماره ۷. یک کنسانتره روغن امولسیون شونده در سمت راست نشان داده شده است، و هنگامی که با یک نرخ مشخص به آب اضافه می شود، یک ماکرو امولسیون تشکیل می شود (همانطور که در سمت چپ نشان داده شده است) که این ماکرو امولسیون در عملیات فلز کاری به کار می رود.

روغن های خام با ویژگی خنک سازی از طریق سازگاری با آب طراحی شده است. این امر از طریق ترکیب نمودن یک نوع افزودنی به نام امولسیفایر به همراه سایر افزودنی ها و روغن پایه نفتی در فرمولاسیون انجام می شود که به عنوان کنسانتره<sup>۳</sup> شناخته می شود. هنگامی که کنسانتره آماده شد و برای یک کاربر نهایی ارسال شد، کنسانتره با سرعت خاصی به آب اضافه می شود تا یک ماکرو امولسیون تولید شود که ظاهری شبیه شیر دارد (شکل شماره ۷). ماهیت مات امولسیون به این دلیل ایجاد می شود که اندازه متوسط مایسل بزرگتر از یک میکرون است.

نام مرسوم این نوع MWF روغن حل شونده<sup>۴</sup> است، اما این عبارت مفهوم دقیقی از این سیال MWF نیست زیرا اساساً روغن در آب محلول نیست. روغن امولسیون شونده نام بهتری است زیرا روغن نهایی یک ماکرو امولسیون تولید می کند.

#### روغن های نیمه سنتزی

هنگامی که اصطلاح روغن نیمه سنتزی برای کاربردهای روانکاری رایج مورد بحث قرار می گیرد، این فرض ایجاد می شود که روانکار دارای دو روغن پایه مختلف است. یکی روغن نفتی (معدنی) و دیگری سنتزی مانند پلی آلفا اولفین (PAO).

اما MWF نیمه سنتزی با این تعریف همخوانی ندارد. به دلیل نیاز به خنک سازی، آب به عنوان دومین "پایه" برای استفاده با روغن معدنی در کنسانتره روغن نیمه سنتزی معرفی می شود. افزودنی های عاملدار با روغن معدنی، آب یا هر دو پایه سازگار هستند و برای ارائه عملکرد لازم در یک کاربرد خاص اضافه می شوند. در روشی مشابه با روغن امولسیون شونده، روغن نیمه سنتزی به یک کاربر نهایی ارسال می شود و کنسانتره با غلظت خاصی به آب اضافه می شود. تفاوت در این است که یک روغن نیمه سنتزی ظاهری مانند یک میکروامولسیون و نیمه شفاف دارد که فرد می تواند آن را ببیند (شکل شماره ۸).

#### روغن سنتزی

منظور از اصطلاح روغن سنتزی که توسط اکثر تریبولوژیست ها مطرح شود این است که این نوع گونه از MWF ها با روغن پایه معدنی فرموله نشده اند. در عوض، برخی از پایه ها (به عنوان مثال PAO ها، استرها، پلی آلکیلن گلیکول ها و فسفات استرها) در یک MWF سنتزی مورد استفاده قرار می گیرد. البته باید توجه داشت

عملکردی دوگانه به عنوان مثال روغن شکل دهی فلز نیز استفاده شوند. در این جایگاه، آنها ممکن است نیاز به خاصیت روانکاری مناسب داشته باشند و از جوش خوردگی قطعات فلزی جلوگیری کنند.

وظایف اصلی روغن های کوئچینگ در قسمت قبلی این مقاله به تفصیل شرح داده شدند.

#### انواع MWF

چهار نوع اصلی MWF ها عبارتند از روغن خام<sup>۱</sup>، امولسیون شونده<sup>۲</sup>، نیمه سنتزی و سنتزی. تعاریف این نوع روغن ها در ASTM D2881 (طبقه بندی استاندارد برای روغن های فلز کاری و مواد مرتبط) به تفصیل آمده است.

#### روغن خام

این نوع MWF از یک روغن پایه نفتی تهیه شده است که می تواند با افزودنی های خاصی جهت تقویت و افزایش عملکرد فرموله شود. در اینجا هیچ آبی در ترکیب روغن وجود ندارد لذا روغن خام هنگامیکه در معرض آب قرار می گیرد نمی تواند امولسیون شود. از این رو، روغن خام ظاهری مشابه سایر روانکارهای خودروبی و صنعتی دارد که آنها نیز با روغن های نفتی و افزودنی های مناسب فرموله می شوند.

#### روغن امولسیون شونده

یکی از نقاط ضعف اصلی روغن خام مورد استفاده در کاربردهای MWF، خواص خنک کنندگی پایین آن است. یک روغن امولسیون شونده، برای ترکیب خاصیت روانکاری موجود در

باید توجه داشت پایه اصلی یک MWF سنتزی همان آب است. به عبارت دقیق تر، پایه اصلی مورد استفاده در MWF ها از آب و افزودنی های عاملدار تهیه می شود.

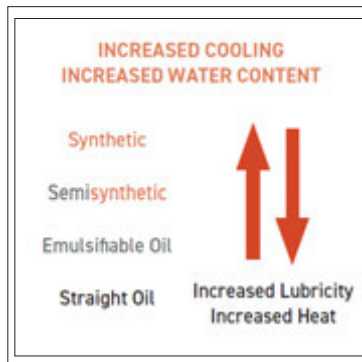
1- Straight oil  
2- Emulsifiable oil

3- Concentrate  
4- Soluble oil





شکل شماره ۹. روغن سنتزی حل شونده پرمصرف ترین سیال سنتزی است که پایه اولیه آن آب است.



شکل شماره ۱۰. انتخاب یکی از چهار نوع MWF مبتنی بر توانایی آنها در ارائه ویژگی های روانکاری و خنک سازی است. همانطور که نشان داده شده است، یک تعادل بین روانکاری و خنک سازی وجود دارد. بهترین تعادل را می توان در روغن های امولسیون شونده و سیالات نیمه سنتزی یافت.

پایه اصلی یک MWF سنتزی همان آب است. به عبارت دقیق تر، پایه اصلی مورد استفاده در MWF ها از آب و افزودنی های عاملدار تهیه می شود. مهمترین اصل در اینجا عدم استفاده از روغن پایه معدنی است (شکل شماره ۹). این کنسانتره یک محلول واقعی تک فازی است که حاوی هیچگونه مایسلی نیست و کاملاً شفاف است. ظاهر یک روغن سنتزی شبیه به یک لیوان آب است بطوریکه تمام عمق آن نیز بدون هیچ کدورت و مات شدگی دیده می شود. جامع و فراگیر تضمین می کند که کارکنان، محیطی امن برای ایجاد تغییرات ساختاری بزرگ و تغییرات رفتاری دارند و تلاش های پایداری را به موفقیت تبدیل می کنند. این نوع روغن سنتزی اصطلاحاً روغن سنتزی محلول<sup>۱</sup> شناخته می شود. دو نوع دیگر از روغن سنتزی وجود دارد که به عنوان روغن سنتزی امولسیونی و روغن سنتزی خام شناخته می شوند.

روغن سنتزی امولسیونی شبیه به روغن امولسیون شونده است با این تفاوت که یک پایه سنتزی مانند PAO با افزودنی های عاملدار در کنسانتره استفاده می شود و هیچ روغن معدنی وجود ندارد. رقیق سازی بیشتر با آب قبل از استفاده انجام می شود و معمولاً یک ماکرو امولسیون تولید می کند.

یک پایه سنتزی همچنین می تواند با فرموله شدن با افزودنی های عاملدار به یک روغن سنتزی خام تبدیل شود. هیچ روغن معدنی و آب در این نوع MWF ها وجود ندارد. پایه های قابل استفاده مرسوم شامل استرها، هیدروکربن های سنتزی و روغن های گیاهی هستند.

تعادل بین روانکاری و خنک سازی برای چهار نوع MWF در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است. روغن های خام و روغن های سنتزی محلول واقعی به ترتیب بهترین عملکرد را در حداکثر روانکاری و حداکثر خنک سازی نشان می دهند. امولسیون های تشکیل دهنده انواع MWF (روغن امولسیون شونده، روغن نیمه سنتزی و روغن امولسیون سنتزی) بهترین سازش را بین روانکاری و خنک کنندگی ارائه می دهند و آنها را برای استفاده توسط کاربران نهایی جذاب تر می کند.

علاوه بر روغن های پایه مختلفی که در ساخت MWF ها بکار می روند، این محصولات را معمولاً با انواع متنوع و متعددی از انواع افزودنی های عاملدار فرموله می کنند. سیزده نوع افزودنی خاص در شکل شماره ۱۱ نشان داده شده است که می تواند توسط فرمولاتورها در MWF ها استفاده شوند. پیچیدگی بیشتر فرمولاسیون های MWF این است که بیش از یک نوع از افزودنی های مختلف را می توان در یک روغن خاص استفاده کرد. این بدان معنی است که تعداد اجزای یک MWF می تواند

شکل شماره ۱۱. سیزده نوع افزودنی مورد استفاده در روغن های فلز کاری

Antimicrobial Pesticides (Biocides)
Antimist Agents (Usually tankside addition)
Antioxidants (mainly straight oils)
Corrosion Inhibitors
Coupling Agents
Defoamers (Antifoams)
Dyes
Emulsifiers
Extreme Pressure Agents
Boundary Lubricity Additives
Metal Deactivators
Reserve Alkalinity Boosters (Amines)
Wetting Agents

یک پایه سنتزی همچنین می تواند با فرموله شدن با افزودنی های عاملدار به یک روغن سنتزی خام تبدیل شود. هیچ روغن معدنی و آب در این نوع MWF ها وجود ندارد. پایه های قابل استفاده مرسوم شامل استرها، هیدروکربن های سنتزی و روغن های گیاهی هستند.

به ۲۰ یا بیشتر برسد.

## چالش های آینده

مسائل پیچیده ای که تامین کنندگان مواد اولیه MWF، فرمول سازان و کاربران نهایی با آن مواجه هستند به این معنی است که چالش های مهمی در آینده وجود دارد که باید بر آنها غلبه کرد. چهار چالش که در استفاده از MWF در آینده با آن مواجه خواهیم بود عبارتند از:

- بر آوردن الزامات عملکردی و پایداری یا چرخه عمر به ویژه برای کاربران نهایی و بزرگ جهانی.
- جایگزینی وسایل نقلیه دارای موتور احتراق داخلی با وسایل نقلیه الکتریکی و کاهش مصرف MWF ها پایداری و ماندگاری اقتصاد بازار این سیالات را با چالش روبرو می کند.
- جذب استعدادهای جدید به بازار رو به افول MWF ها مشکل تر خواهد شد
- در صورتی که استفاده از انواع پارافین های کلردار به دلیل مشکلات مداوم تجمع زیستی و سمی (PBT<sup>1</sup>) ممنوع شوند آنگاه بر آورد نمودن الزامات روانکاری تحت شرایط عملیاتی سخت بسیار پیچیده خواهد شد.

علاوه بر این، توسعه پایدار یکی از موضوعات مهم و کلیدی است که به طور فزاینده ای در تأثیر گذاری بر انتخاب MWF ها اهمیت خواهد داشت. در ارتباط با پایداری و انتخاب MWF، اهمیت موضوع باز یافت در حال افزایش است. کاربران نهایی چنین برنامه هایی را در گذشته با موفقیت پیاده سازی کرده اند. این برنامه ها شامل تفکیک موارد مختلف کاربری از یکدیگر است. این استراتژی باید برای به حداقل رساندن بهره وری MWF و به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه ای در آینده ادامه یابد.

مقررات جهانی محدود کننده، توانایی فرمول سازها را برای آماده سازی محصولات آینده که قادر باشند بخوبی نیازهای صنعت را رفع کنند تحت تأثیر قرار می دهند. انواع الزامات قانونی که مدام بروز آوری می شوند یا در دست تصویب هستند، استفاده از مواد اولیه ارزان و مقرون به صرفه که کارایی آنها طی سالیان متمادی ثابت شده است را حذف نموده و با به طور قابل توجهی محدود می کنند. نوسانات زنجیره تامین مداوم بر نحوه فرموله شدن MWF ها و در نهایت بر دسترسی و هزینه آنها برای کاربران نهایی تأثیر می گذارد.

یکی از موضوعات مهم برای فرمول سازها، فائق آمدن بر چالش فزاینده ای فرمول بندی MWF های زیست پایدار و زیست تخریب پذیر است. یافتن مواد اولیه نوین و فرمول بندی MWF هایی که هم با اهداف سبز مطابقت داشته و هم اهداف عملکردی را بر آورده می کنند (با کوچک شدن فهرست محصولات عملکردی تایید شده توسط سازمان نظارتی)، به طور فزاینده ای دشوار تر می شود.

با کوچکتر شدن لیست میکروپوشش های تایید شده، جایگزینی آنها با افزودنی هایی که سمیت کمتری نسبت به محصولات ثبت شده در FIFRA دارند، چالش برانگیز خواهد بود. فرمول سازان و کاربران نهایی باید برای توافق بر سر عملکرد و مسائل زیست محیطی و اهداف پایدار با یکدیگر همکاری کنند. به همین علت،

طراحی MWF هایی که هم در حین استفاده پایدار هستند و هم پس از دور ریختن به راحتی تخریب می شوند، یکی از چالش های فعلی و آینده است که فرمول سازان و کاربران نهایی همچنان باید به آن دست و پنجه نرم کنند.

ماهیت چند بعدی MWF ها یکی دیگر از چالش هایی است که کاربر نهایی باید در رشته های مختلف تجاری با آن رو به رو شود. کارکنان محیط زیست، بهداشت و ایمنی (EHS) با نیاز به رعایت فهرستی از مقررات داخلی و خارجی در حال رشد مواجه خواهند شد. تعمیر و نگهداری نیاز به انجام کارهای بیشتر و مداوم جهت پیدا کردن زمان برای نگهداری روغن ها در شرایط عملیاتی مطلوب خواهد داشت. با توجه به استفاده تقریباً فراگیر و همه جانبه از سیستم های انتقال روغن فشار بالا<sup>۲</sup>، عملیات بازیافت و همچنین فیلتراسیون روغن ها، حفظ و تنظیم کیفیت MWF ها را به چالش کشیده خواهند شد.

چهار چالش ویژه ای که کاربران نهایی در آینده با آن مواجه خواهند شد.

- فرمولاتورها باید با ارائه محصولاتی که دوام بیشتری دارند و دور ریز کمتری تولید می کنند، به کاربران نهایی کمک کنند. آموزش برای کمک به کاربران نهایی جهت نگهداری سیستم های خود برای مدت زمان طولانی تر نیز با هدف کاهش ضایعات مهم است. این رویکرد ها را می توان با معرفی افزودنی های پایدار و روغن های پایه مبتنی بر منابع تجدیدپذیر مانند روغن های گیاهی ترکیب کرد. این افزودنی ها و روغن های پایه وابستگی به روغن های معدنی را کاهش می دهند و در عین حال عملکرد فوق العاده ای را ارائه می کنند و در صورت نگهداری/فرمول بندی مناسب، عمر کاری MWF را افزایش می دهند
- الزامات همچنان یک چالش دائمی خواهند بود که فرمولاتورها را وادار می کند تا استراتژی های هوشمندانه و نوآورانه ای برای توسعه محصولات پایدار جدید جهت جایگزینی محصولات قدیمی تر پیدا کنند. نیاز به MWF های جدید می تواند چالش برانگیز تر شود زیرا مواد اولیه کمتری در دسترس است و کاربران نهایی با نیاز به ماشینکاری فلزات/آلیاژهای جدید برای برآورده کردن طرح های جدید خود رو به مواجه می شوند.

● افزایش برخی الزامات که استفاده از مواد افزودنی شامل گروه های عاملدار موجود اخیر را ممنوع می کند، یک چالش مداوم برای فرمول سازان MWF است. بنابراین، فرمول سازان باید آگاهی خود را از تغییر مقررات به روز نگه دارند و سعی کنند تا جایی که ممکن است توسعه روغن های جایگزین را پیش بینی کنند. به عنوان مثال افزایش فشار ناشی از عدم دسترسی به منابع نفتی و همچنین عدم مقبولیت زیست محیطی مواد اولیه نفتی، فرمولاتورها را به سمت استفاده از محصولات بدون نفت سوق می دهد.

● علاوه بر این، ممنوعیت استفاده از افزودنی های عاملدار و ویژه محصولات MWF و همچنین رشد تولید خودروهای الکتریکی نیز به عنوان نگرانی های آینده مطرح هستند. دو دسته از افزودنی هایی که در آینده برای فرمول سازان MWF در دسترس نخواهد بود، افزودنی های فشار پذیر (EP) بر پایه کلر و فسفر و از دست دادن برخی بایوساید ها (مانند هگزا هیدروتربازین<sup>۳</sup>) هستند. به احتمال قوی، تولید خودروهای الکتریکی منجر به کاهش تقاضای MWF ها در بازار خودرو خواهد شد.

پیش بینی می شود که تصفیه فاضلاب MWF ها به دلیل نگرانی های فزاینده شهرهای کوچک تر که کارخانه های تولیدی در آن قرار دارند، در آینده برای کاربران نهایی به یک مسئله تبدیل خواهد شد. نهایتاً این روند مصرف کنندگان نهایی کوچک تر را مجبور می کند که فاضلاب را با هزینه های بالاتری دفع کنند. MWF های سنتزی، اگر عاری از روغن های نامحلول مزاحم<sup>۴</sup> باشند و به خوبی نگهداری شوند، می توانند سال ها دوام بیاورند و مشکلات تولید آب را به حداقل برسانند. روغن های امولسیون شونده و نیمه سنتزی نمی توانند این دوام را داشته باشند زیرا هر دو نوع روغن حداکثر یک سال عمر مفید دارند.

به طور خلاصه، اصول MWF ها باید به خوبی درک شوند تا مسائل مهم عملیاتی و چالش های آینده را بتوان بهتر حل کرد. همانطور که در این مقاله اشاره شد، نگرانی های زیادی وجود دارد که صنعت باید در حال حاضر و در آینده به آنها رسیدگی کند.

منابع:

1. Byers, J. (Ed.) (2018), Metalworking Fluids, 3rd Edition, CRC Press: Boca Raton, Fla.
2. ASTM D2881: [www.astm.org/d2881-19.html](http://www.astm.org/d2881-19.html)

# Engine oil Fuel economy

بهینه سازی فرمولاسیون روغن موتور می تواند در کاهش مصرف سوخت خودروها تاثیر مستقیمی داشته باشد، ولی همیشه بهینه سازی فرمولاسیون با چالش ها و مشکلاتی روبروست که در این مقاله به اهم آنها می پردازیم.



# روغن موتور کار آمد در مصرف سوخت: چالشی پیش روی طراحان فرمولاسیون

## مقدمه

استانداردهای جدید ارائه شده در خصوص مصرف بهینه سوخت خودروها توسط گروه G20<sup>۱</sup>، تغییر ذائقه خریداران خودرو که ناشی از افزایش قیمت سوخت های فسیلی است و همچنین بالا رفتن میزان مالیات خودرو، فشار زیادی را بر تولید کنندگان خودرو تحمیل کرده است. در ایالات متحده آمریکا، اداره ملی ایمنی ترافیک بزرگراه<sup>۲</sup> (NHTSA) و آژانس حفاظت از محیط زیست<sup>۳</sup> (EPA) در سال ۲۰۱۸ قانون وسایل نقلیه ایمن با سوخت مقرون به صرفه را تدوین کرده اند که استانداردهای سختگیرانه ای در خصوص میزان مصرف سوخت و تولید دی اکسید کربن را شامل می شود. این استانداردها برای خودروهای سواری و کامیون های سبک اعمال می شوند و از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۶ هر سال یک و نیم درصد میزان سختگیری های صورت گرفته افزایش داده می شوند.

پارلمان و شورای اروپا مقرراتی را تصویب کردند که استانداردهای انتشار دی اکسید کربن را برای خودروهای سواری و ون های جدید بین سال های ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۰ تعیین می کند. از سال ۲۰۲۱، میانگین آلایندگی ناوگان اتحادیه اروپا برای خودروهای جدید ۹۵ گرم دی اکسید کربن در کیلومتر (CO<sub>2</sub>/Km) تعیین شده است که برابر با مصرف حدود ۴/۱ لیتر بنزین در ۱۰۰ کیلومتر (۵۷/۴ mpg) یا ۳/۶ لیتر گازوئیل در ۱۰۰ کیلومتر (۶۵/۳ mpg) است. میانگین انتشار دی اکسید کربن برای خودروهای جدید فروخته شده در اتحادیه اروپا حدود ۱۲۰ گرم دی اکسید کربن در هر کیلومتر است. لازم به ذکر است تولید کنندگان خودرو به ازای هر گرم بر کیلومتر بیشتر از حد تعیین شده باید ۹۵ یورو به ازای هر وسیله نقلیه جریمه پرداخت کنند.

استانداردهای جدید ژاپن در خصوص مصرف سوخت که یک سال پیش منتشر شد، میانگین مصرف سوخت ناوگان این کشور را تا سال ۲۰۳۰، ۲۵/۴ کیلومتر در لیتر (۵۹/۸ mpg) تعیین کرد که حدود ۳۰ درصد بهبود نسبت به میانگین



رامتین رمضان

کارشناس توسعه بازار

مصرف سوخت ناوگان امروزی را نشان می دهد.

این عوامل سیاسی و اقتصادی، تلاش های تحقیق و توسعه را که توسط سازندگان اصلی<sup>۴</sup> (OEM) برای بهره‌وری بهتر سوخت انجام می شود، تشدید می نماید. علاوه بر تلاش های صورت گرفته در زمینه پیش‌راننده الکتریکی و استفاده از منابع انرژی جایگزین برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای<sup>۵</sup> (GHG)، تاکید زیادی نیز بر درک جنبه‌های تریبولوژیکی تلفات انرژی در پیش‌راننده‌ها، استفاده از پیشرفت‌های فعلی در طراحی موتور، مهندسی روانکاری و همچنین پوشش دهی<sup>۶</sup> برای به حداقل رساندن این تلفات صورت می گیرد.

برای تشویق خودروسازان به نوآوری های اقتصادی-زیست محیطی<sup>۷</sup>، به آنها<sup>۸</sup> اعتبارات مالی ویژه کاهش انتشار آلاینده‌ها<sup>۹</sup> تخصیص داده می شود. البته این نوآوری ها باید به تایید مراجع بی طرف واقعا منجر به کاهش تولید و انتشار دی اکسید کربن شوند، حتی اگر روند آزمایشی مورد استفاده برای تایید نوع وسیله نقلیه نتواند اثر آن را نشان دهد. همچنین اگر خودروسازی بتواند خودروهای با آلایندگی صفر یا بسیار پایین مانند خودروهای برقی و هیبریدی (که کم تر از ۵۰ گرم دی اکسید کربن در هر کیلومتر منتشر می کنند) تولید نماید،<sup>۱۰</sup> اعتبار فوق العاده<sup>۱۱</sup> اعطا می شود.

## تأثیر روغن موتور در مصرف سوخت

بخش قابل توجهی از اتلاف انرژی در موتورهای احتراق داخلی ناشی از اصطکاک روغن موتور بادبوره سیلندر است. از این رو گرایش به سمت روغن های با ویسکوزیته پایین تر افزایش می یابد. با این حال، راه حل استفاده از روغن با ویسکوزیته پایین که البته به کاهش تلفات ناشی از اصطکاک کمک می کند، یک نقطه ضعف دارد. ویسکوزیته پایین، تنش های تریبولوژیکی بر روی اجزای موتور را افزایش می دهد. لذا تنها راه باقی مانده استفاده گسترده تر از بهبود دهنده های اصطکاک<sup>۱۲</sup> (FM) و افزودنی های ضد سایش<sup>۱۳</sup> (AW) در فرمولاسیون ساخت روغن موتور برای کمک به محافظت قطعات در برابر سایش است. توسعه فرمولاسیون های دقیق آن طور که به نظر می رسد ساده نیست و ممکن است به دلیل فعل و انفعالات افزودنی ها با یکدیگر، مشکلات متعددی بوجود آید. شکل شماره ۱ توضیح می دهد که روغن موتور کارآمد در مصرف سوخت چگونه عمل می کند: در سمت چپ منحنی گشتاور واقعی یک موتور ۱/۶ لیتری تزریق مستقیم بنزین<sup>۱۴</sup> (GDI) نشان داده شده است و در سمت راست منحنی افت گشتاور اصطکاکی برای همان موتور که با استفاده از یک تست موتوری اندازه گیری شده نشان داده شده است. اصطکاک حدود یک دهم گشتاور مفید موتور را هدر می دهد. هنگامی که دور موتور کمتر از ۲۰۰۰ دور در دقیقه باشد، یعنی جایی که سهم رژیم های روانکاری مخلوط و لایه مرزی قابل توجه است، اصطکاک را می توان با استفاده از افزودنی های بهبود دهنده اصطکاک یا پوشش های با اصطکاک کم کاهش داد. همچنین در دور موتورهای بالاتر از ۲۰۰۰ دور در دقیقه، یعنی زمانی که روانکاری هیدروپنمیک<sup>۱۵</sup> غالب می شود، اصطکاک را

بخش قابل توجهی از اتلاف انرژی در موتورهای احتراق داخلی ناشی از اصطکاک روغن موتور بادبوره سیلندر است. از این رو گرایش به سمت روغن های با ویسکوزیته پایین تر افزایش می یابد.

۱ - گروه G20، یک انجمن بین‌المللی است که از ۱۹ کشور به علاوه اتحادیه اروپا تشکیل شده است. این گروه موضوعات گسترده‌ای از جمله استحکام مالی، تجارت، سرمایه‌گذاری، تغییرات آب و هوا و مسائل توسعه را مورد بررسی قرار می‌دهد.

2- National Highway Traffic Safety Administration

3- Environmental Protection Agency

4- Original Equipment Manufacturer

5- Greenhouse gas

6- Coating

7- Eco-innovation

8- Emission Credits

9- Friction Modifier

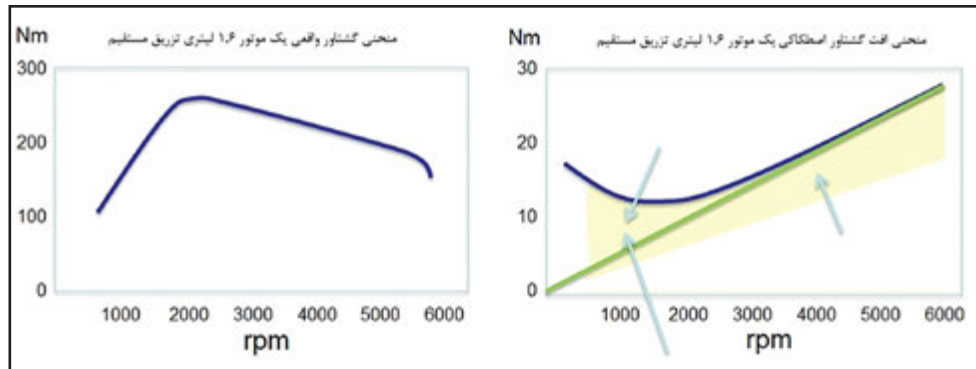
10- Antiwear

11- Gasoline Direct Injection

۱۲ - در روانکاری هیدروپنمیک، سطح یاتاقان کاملاً توسط یک فیلم سیال از یکدیگر جدا می شوند.

کارآمد بودن یک روغن در مصرف سوخت تا حد زیادی به طراحی موتور، نوع خودرو و شرایط رانندگی بستگی دارد.

مصرف سوخت روغن های فرموله شده به ویسکوزیته روغن پایه و بسته استفاده شده بستگی دارد. برخی از روغن های با ویسکوزیته بالا می توانند تاثیر بیشتری در مصرف سوخت نسبت به روغن های با ویسکوزیته پایین تر داشته باشند.



شکل شماره ۱. منحنی گشتاور واقعی و گشتاور اصطکاکی برای یک موتور ۱/۶ لیتری با تزریق مستقیم سوخت

در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. نتایج واقعی تست موتور پراکندگی زیادی دارد؛ زیرا مصرف سوخت روغن های فرموله شده به ویسکوزیته روغن پایه و بسته افزودنی استفاده شده بستگی دارد. برخی از روغن های

می توان با استفاده از روانکارهایی با ویسکوزیته پایین تر کاهش داد. برای مقایسه مصرف سوخت بین وسایل نقلیه تاکنون چرخه های رانندگی مختلفی توسعه یافته اند. در اروپا چرخه رانندگی جدید اروپایی (NEDC)، در آمریکا EPA<sup>۲</sup> که چندین چرخه برای شهر و بزرگراه دارد و در ژاپن از JC08 استفاده می شود که در نهایت برای هماهنگ سازی تمامی این

جدول شماره ۱. محدوده تست های Sequences VIF و Sequences VIE

Fuel Efficiency		% , Test Limit
Sequence VI E (ASTM D8114)		
0W-20, 5W-20	FEI2	1.8
	FEI1+FEI2	3.8
0W-30, 5W-30	FEI2	1.5
	FEI1+FEI2	3.1
10W-30	FEI2	1.3
	FEI1+FEI2	2.8
Sequence VI F (ASTM D8226)		
0W-16	FEI2	1.9
	FEI1+FEI2	4.1

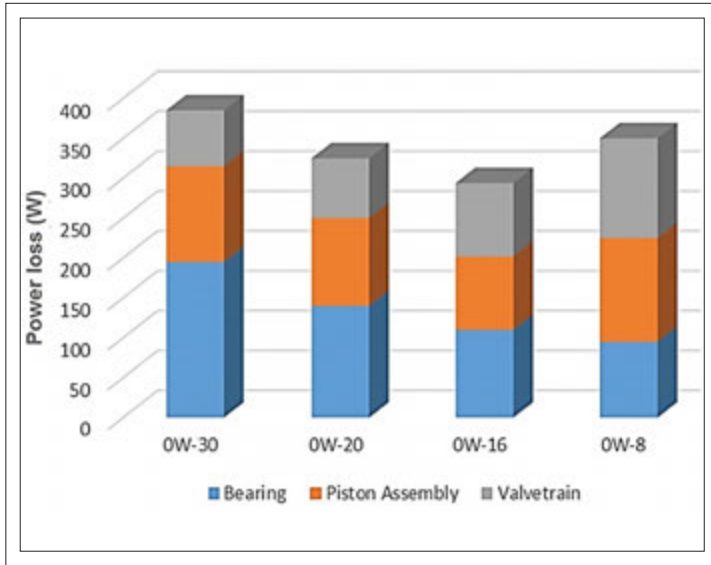
با ویسکوزیته بالا می توانند تاثیر بیشتری در مصرف سوخت نسبت به روغن های با ویسکوزیته پایین تر داشته باشند. با این حال، از نظر آماری و بر اساس آزمایش های انجام شده در موسسه SWRI<sup>۵</sup>، مشخص شد مصرف سوخت با کاهش ویسکوزیته بهبود بیشتری دارد و از زمانی که از روغن های با گرید SAE 0W-8 استفاده می شود شاهد کاهش مصرف سوخت هستیم. دلیل این اثر به وضوح در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

چرخه ها، روش آزمون هماهنگ شده جهانی وسایل نقلیه سبک<sup>۳</sup> (WLTP) توسعه یافته است.

برای خودروهای سواری، تغییر از استاندارد SAE 15W-40 به SAE 0W-20 تحت شرایط NEDC یا EPA به طور متوسط ۳ تا ۴ درصد بهبود در مصرف سوخت را به همراه داشت و حرکت بعدی به سمت استاندارد SAE 0W-8 می تواند این مقدار را ۲ تا ۳ درصد دیگر کاهش دهد؛ به شرطی که سخت افزار موتور بتواند با خیال راحت از پس چنین ویسکوزیته پایینی برآید. تحت رانندگی ملایم تر در چرخه JC08، روغن های با ویسکوزیته پایین تر می توانند تاثیر بیشتری (تا ۵٪) داشته باشند. برعکس، برای چرخه WLTP در شرایط سختگیرانه تر این مقدار معمولاً به میزان ۰/۳ تا ۰/۶ درصد در مقایسه با NEDC کاهش می یابد.

از آنجایی که کارآمد بودن یک روغن در مصرف سوخت تا حد زیادی به طراحی موتور، نوع خودرو و شرایط رانندگی بستگی دارد، مقایسه روغن در یک تست

“Like-To-Like” ضروری است. یک استاندارد رایج برای این کار Se-quence VI نامیده می شود که در دو استاندارد فعلی، VIF و Sequences VIE (طبق ASTM D8114 و D8226) از موتور ۳/۶ لیتری جنرال موتورز استفاده می کنند که تحت شرایط عملیاتی در یک محیط آزمایشی کار می کند. در این تست از یک روغن با گرید SAE 20W-30 که فاقد افزودنی بهبود دهنده اصطکاک می باشد به عنوان نمونه استفاده می شود. مصرف سوخت در دو مرحله مختلف تعیین می شود: FEI1 بعد از ۱۶ ساعت (روغن تازه) و FEI2 بعد از ۱۰۹ ساعت (روغن کار کرده). این روش برای تمایز بین انواع مختلف بهبود دهنده های اصطکاک ضروری است زیرا برخی از آن ها به آسانی اکسید می شوند و می توانند به سرعت خاصیت خود را از دست بدهند. محدوده تست های مختلف برای درجات مختلف ویسکوزیته روغن



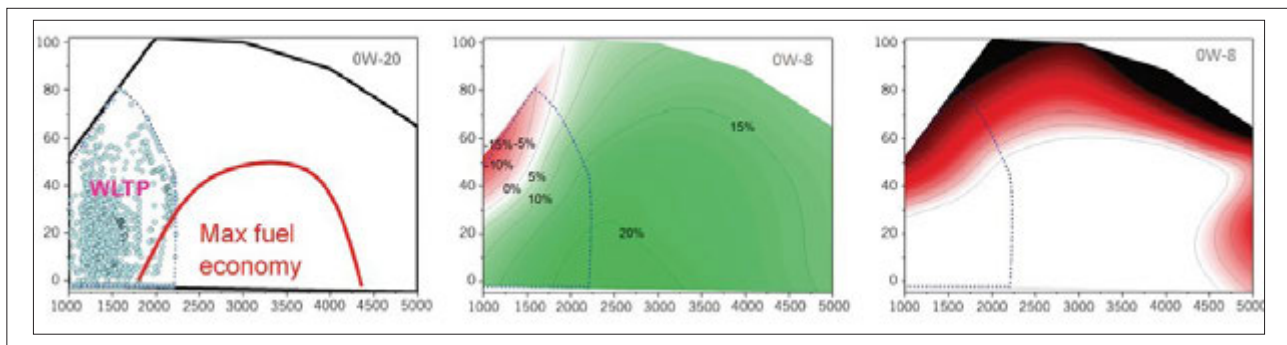
شکل شماره ۲. اندازه گیری اصطکاک موتور تک سیلندر بنزینی

۴ "نقطه مطلوب" موتور ناحیه ای در حدود ۳۰۰۰ دور بر دقیقه و ۶۰ درصد توان که موتور به کم ترین میزان مصرف سوخت خاص می رسد و این امر باعث می شود مصرف سوخت به طور قابل توجهی کاهش یابد. با این حال، مشکل سازترین مشاهدات در سرعت کم و دور موتور بالا است (ناحیه قرمز)، زیرا این نه تنها نشان دهنده مصرف سوخت بالاست بلکه خطر بالای سایش را نیز نشان می دهد که توسط تست شبیه سازی یاتاقان تایید شده است (نمودار سمت راست). این مثال نشان می دهد در شرایط سرعت کم- دور موتور بالا ممکن است فیلم روانکار<sup>۵</sup> روغن از بین برود؛ مشکلات در سرعت بالا بیشتر با ظرفیت ناکافی پمپ روغن مرتبط است و با استفاده از پمپ های دور متغیر قابل رفع است. در دور موتور بالا، نیروهای اینرسی وارد بر مجموعه پیستون، شاتون و اثرات کاویتاسیون نیز نقش فزاینده ای در سایش دارند و این ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی در انتهای گژن<sup>۶</sup> بین شود. با این حال، به طور کلی، روانکارهایی با ویسکوزیته پایین، کمتر در معرض کاویتاسیون قرار دارند. از آنجاییکه فیلم هیدرودینامیک زمانی که هیچ حرکت نسبی بین سطوح در حال حرکت وجود ندارد بین می رود، مشکلات سایش روانکارهایی با ویسکوزیته پایین که با ظهور فن آوری

این داده ها با استفاده از یک موتور بنزینی تک سیلندر که برای اندازه گیری اصطکاک اجزای موتور به کار می رود به دست آمده است. کاهش مداوم ویسکوزیته منجر به کاهش مداوم اصطکاک یاتاقان می شود، این در حالی است که روغن با ویسکوزیته پایین تر منجر به افزایش کلی اصطکاک موتور به دلیل افزایش زیاد اصطکاک در مجموعه سوپاپ و پیستون می شود. بنابراین باید توجه داشت که بسیاری از موتورها برای کار با روغن ویسکوزیته پایین طراحی نشده اند. برای چنین موتورهایی، هرگونه صحبت در خصوص استفاده از روغن ویسکوزیته پایین تا حد زیادی غیر منطقی است. در ژاپن، یک تست مصرف سوخت جدید سازمان استاندارددهای خودرو ژاپن<sup>۱</sup> (JASO) که با نام JASO M364:2019 شناخته می شود، توسعه یافته است و ممکن است به ایجاد زمینه ای برای شکل گیری نسخه بعدی تست Sequence VI در کمیته بین المللی استانداردسازی<sup>۲</sup> GF-7 (ILSAC) کمک کند. این تست زیر مجموعه JASO GLV-1 است که به عنوان یک استاندارد برای روغن های با ویسکوزیته و مصرف سوخت کم توسعه یافته است.

### تأثیرات منفی ویسکوزیته پایین

اصلی ترین چالش در روند کاهش مداوم ویسکوزیته روغن موتور، افزایش سایش قطعات موتور است. ضخامت فیلم روانکار هیدرودینامیکی با ویسکوزیته روانکار رابطه مستقیم دارد. بنابراین، برای حفظ رژیم روانکاری هیدرودینامیکی، اغلب نیاز به اعمال اصلاحات اساسی در سخت افزار موتور از جمله نوع پوشش سطحی، یاتاقان ها، سیستم های فیلتراسیون و پمپ روغن است. بدون این کار خطر سایش بیش از حد است و نمی توان آن را نادیده گرفت. شکل شماره ۳ شمایی از میزان مصرف سوخت شبیه سازی شده مخصوص ترمز<sup>۳</sup> (BSFC) و یاتاقان را برای یک خودروی سواری نشان می دهد. در این شکل تغییر BSFC از SAE 0W-20 (نمودار سمت چپ) به SAE 0W-8 (نمودار میانی) نشان داده شده است. ناحیه سبز مربوط به بهبود مصرف بهینه سوخت و ناحیه قرمز به افزایش مصرف سوخت است (تا ۲۰ درصد کاهش در BSFC امکان پذیر است). متأسفانه بیشترین تأثیر به ناحیه ی سرعت متوسط به بالا و دور موتور کم محدود می شود. چنین شرایطی در صورتی اعمال می شود که موتور به تازگی روشن شده و آماده حرکت باشد، یعنی نزدیک به



شکل شماره ۳. شمای مصرف سوخت شبیه سازی شده مخصوص ترمز و یاتاقان برای یک خودروی سواری مدرن

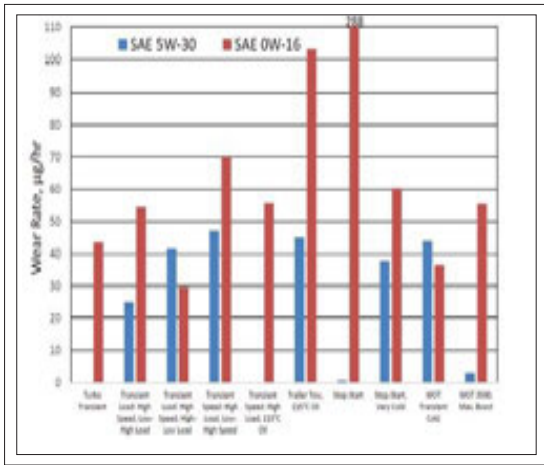
1- Japanese Automobile Standards Organization  
2- International Lubricant Specification Advisory Committee  
3- Brake-specific fuel consumption  
4- Sweet Spot

۵- فیلم روانکار عبارت است از یک لایه نازک روغنی که بین سطوح قرار گرفته و از تماس دو سطح با یکدیگر جلوگیری می نماید.  
۶- میله ای است تو خالی که سر کوچک شاتون را به پیستون متصل می کند.

	Top Ring Face	Top Ring Side	Second Ring Face	Liner	Main Bearing
Cold Start					
Turbo Transient					
Transient Load: Low Speed, Low-High Load					
Transient Load: High Speed, Low-High Load					
Transient Load: High Speed, High-Low Load					
Transient Speed: Low Load, Low-High Speed					
Transient Speed: High Load, Low-High Speed					
Transient Speed: High Load, Low-High Speed, 115°C Oil					
Trailer Tow					
Trailer Tow, 115°C Oil					
Boundary Lubrication					
Stop-Start, 4hr Hot Temp					
Stop-Start					
Stop-Start, Very Cold					
Wide Open Throttle (WOT) Transient Cold					
WOT: Steady State, 2500rpm					
WOT: Steady State, 3500rpm					
WOT: Steady State, 5000rpm					
WOT: 3500rpm, Max. Boost					
WOT: 5000rpm, Max. Boost					

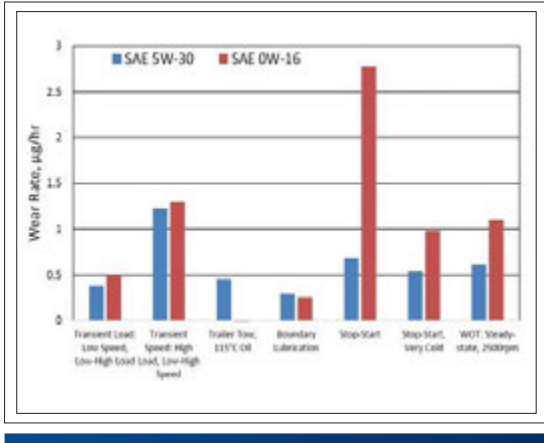
جدول شماره ۲. اجزای مختلف موتور در تست های مختلف سایش

استارت-استاپ<sup>۱</sup> معرفی شده اند تشدید می شود. استفاده از پمپ روغن الکتریکی و یاتاقان های غلتشی برای میل بادامک (میل سوپاپ) و میل تعادل به کاهش این مساله کمک می کند. از یاتاقان (غلطشی) برای نگهداشتن میل لنگ نیز مورد آزمایش قرار گرفت ولی موثر شناخته نشد. از آنجا که مصرف بهینه سوخت به عنوان یک جنبه عملکردی بسیار مهم در نظر گرفته می شود و در واقع بسیاری از موتورسازان OEM صراحتاً خواستار آن هستند، حرکت به سمت تولید روغن موتورهای با ویسکوزیته پایین تر ادامه دار خواهد بود. البته باید به این نکته توجه داشت که روغن های کارآمد در مصرف سوخت، برای مصرف کننده نهایی توجیه اقتصادی چندانی ندارند. با این حال، در صورتی که خودروهای تولید شده بتوانند با استفاده از یک روانکار ویژه ۱ تا ۲ درصد در مصرف سوخت صرفه جویی کنند، تولیدکنندگان خودرو می توانند میزان جریمه هایی که باید پرداخت کنند را به شدت کاهش دهند.



شکل شماره ۳. مقدار سایش رینگ پیستون در مراحل مختلف تست موتور

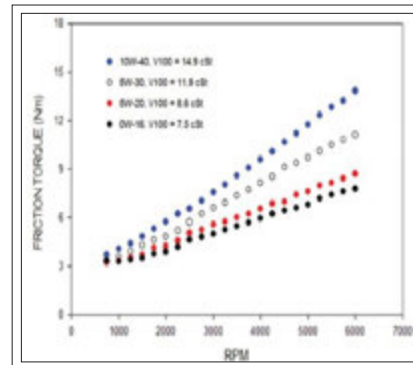
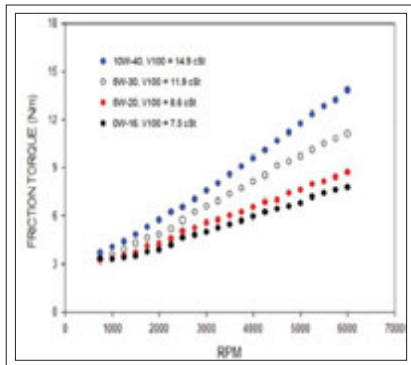
در عین حال نباید از نظر دور داشت که روی موضوع نقش روغن موتورهای کارآمد در کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه ای بیش از حد در رسانه ها تبلیغ شده است بطوریکه هر روز کارشناسان بیشتری در هنگام بحث در باره مزایا و معایب فناوری های مختلف کاهش مصرف گازهای گلخانه ای به تحلیل چرخه عمر روی می آورند. مقدار CO<sub>2</sub> تولید شده در فرایند تولید هر اتومبیل را نمی توان نادیده گرفت. در فرایند ساخت هر وسیله نقلیه حدود ۱۰ تن دی اکسید کربن تولید می شود که این میزان تقریباً ۲۰ تا ۳۰ درصد کل دی اکسید کربن تولید شده توسط این خودرو در کل چرخه عمر آن می باشد. این در حالی است که با استفاده از روغن های کارآمد در مصرف سوخت، نهایتاً می توانیم تنها درصد اندکی آلاینده را کاهش دهیم. نتیجه کلی این است که اگر با کاهش ویسکوزیته روغن موتور، باعث کوتاه شدن عمر مفید موتور خودرو شویم، نهایتاً منجر به آلودگی بیشتری شده ایم. از این رو عجیب نیست که تمام روغن های موتور ملزم به مرتفع کردن تست های عملکردی خاصی برای محافظت در برابر سایش باشند. تست های استاندارد مانند (Sequence I/VB ASTM D8350) که توسط انجمن آمریکایی آزمایش ها و مواد<sup>۲</sup> (ASTM) طراحی شده و در مشخصات عملکرد API/ILSAC گنجانده شده اند با استفاده از یک موتور "معمولی" با تزریق نقطه ای انجام می شود. این در حالی است که در حال حاضر نزدیک به ۷۵ درصد خودروهای جدید از موتورهای تزریق مستقیم سوخت<sup>۳</sup> (GDI) بهره می برند. طراحی های مختلف موتور نتایج متفاوتی تولید می کنند که باعث می شود نتیجه فرآیند توسعه روانکار را پیچیده تر نمایند جدول شماره ۲ اندازه گیری سایش برای یک موتور ۲ لیتری<sup>۴</sup> GDI EcoBoost<sup>۴</sup> را نشان می دهد که توسط موسسه تحقیقاتی SWRI با استفاده از تست RATT<sup>۵</sup> انجام شده است. این تست با استفاده از روغن های SAE 0W-16 و SAE 5W-30 انجام شده که حاوی بسته افزودنی مشابه بودند. موتور و روغن تحت شرایط سخت مختلفی قرار گرفتند و مقادیر سایش برای هر بخش از موتور مشخص شد. جدول شماره ۲ اجزایی را نشان می دهد که سایش قابل توجهی را تجربه کرده اند.



شکل شماره ۴. مقدار سایش آستری سیلندر در مراحل مختلف تست موتور

شکل شماره ۴ و ۵ نیز مقدار سایش رینگ پیستون و آستری سیلندر را نشان می دهد. (همانطور که مشاهده می شود، روغن موتور با ویسکوزیته کمتر منجر به سایش بیشتر در حدود دو سوم شرایط عملیاتی موتور می شود). تست های موتوری برای مطالعه اثر روغن بر میزان اصطکاک قطعات بسیار مفید هستند. شکل های شماره ۶ و ۷ داده های گشتاور اصطکاکی را برای دو موتور بنزینی مختلف نشان می دهند. برای انجام این تست از موتورهای ۲ لیتری<sup>۴</sup> سیلندر استفاده شده است:

۱- تکنولوژی خاموش و روشن کردن خودکار موتور یا استاپ-استارت (stop-start) یکی از فناوری هایی است که با هدف کاهش مصرف سوخت خودروها و در نتیجه کاهش میزان آلودگی شهرها توسعه پیدا کرده است.  
 ۲- American Society for Testing and Materials  
 ۳- Gasoline direct injection  
 ۴- نوعی موتور توربوشارژر و تزریق مستقیم است که توسط کمپانی فورد تولید شده که در اصل توسط کمپانی VEF توسعه یافته است.  
 ۵- Radionuclide Tracer Testing



شکل شماره ۷. تاثیر بهبود دهنده اصطکاک (مولیبدن) بر اصطکاک اجزای موتور (Ford Duratec, M.B M133)

از اصطکاک رژیم لایه مرزی جلوگیری می کند. شکل شماره ۷ نشان دهنده نحوه تاثیر پذیری میزان اصطکاک موتور از مواد افزودنی بهبود دهنده اصطکاک در فرمولاسیون روانکار است. می توان مشاهده کرد که موتور با سوپاپ DAMB و سیلندر چدنی معمولی نسبت به موتور با سوپاپ RFF و سیلندر با پوشش حرارتی از مزایای بیشتری بهره می برد. این نشان می دهد که استفاده از بهبود دهنده های اصطکاک تنها زمانی مفید است که اصطکاک رژیم لایه مرزی سهم قابل توجهی در اتلاف انرژی کل داشته باشد.

### برخی دیدگاه ها در رابطه با پیشرانه های هیبریدی

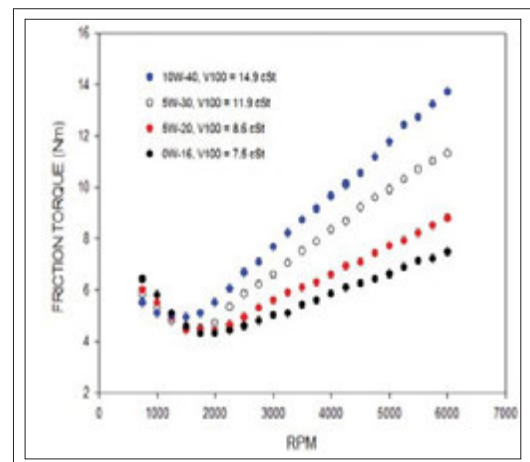
پیشرانه های هیبریدی چالش های جدیدی برای تولیدکنندگان روغن به همراه دارند: از آنجایی که موتور احتراق داخلی یا درون سوز<sup>۳</sup> (ICE) خودروهایی هیبریدی در طول استفاده از خودرو به طور دائم روشن نمی باشد، ممکن است نتواند به دمای عملیاتی برسد. ویسکوزیته روغن به طور قابل توجهی با دما تغییر می کند و منجر به این می شود که موتورهای سرد اصطکاک بیشتری داشته باشند. علاوه بر این، دمای پایین روغن شرایطی را برای تراکم آب بر روی دیواره های سیلندر ایجاد می کند که منجر به تجمع آب در میل لنگ می شود. ضمناً، هنگامیکه موتور سرد کار می کند خطر رقیق شدن روغن با سوخت نیز وجود دارد. اگرچه مواد افزودنی متفرق کننده<sup>۴</sup> به حل شدن آب در روغن و دور کردن آن از میل لنگ کمک می کنند، اما در موارد شدید که میزان آب خیلی زیاد باشد دیگر کاری از این مواد نیز برنیامده و ممکن است روغن در حضور آب زیاد به ماده ای شبیه به "سس مایونز" تبدیل شود که به هیچ وجه قابلیت روانکاری قطعات موتور را ندارد. تنها راه حل عملی که در حال حاضر در دسترس است، برنامه ریزی الکترونیک کنترل پیشرانه برای درگیر کردن موتور خودرو در فواصل زمانی برای گرم کردن روغن و تبخیر آب و سوخت اضافی است.

خودروهای هیبریدی معمولاً از روانکارهایی با ویسکوزیته پایین همچون SAE 0W-20 و SAE 0W-8 استفاده می کنند. روانکارها با ویسکوزیته فوق العاده پایین به شدت به افزودنی بهبود دهنده اصطکاک و افزودنی ضد سایش به جهت بهبود مصرف سوخت در محدوده سرعت کم-دور بالا که به نقطه مطلوب موتور (Sweet Spot) نزدیک تر است، وابسته هستند؛ در حالی که ویسکوزیته روغن در وضعیت سرعت بالا-دور پایین بر مصرف بهینه سوخت تاثیر غالب را دارد.

### نتیجه گیری

روغن موتور یک عنصر حیاتی در توسعه پیشرانه های اصطکاک کم است و استفاده از روغن موتور با ویسکوزیته پایین یک روش کارآمد برای کاهش اصطکاک در موتورهای احتراق داخلی (بنزینی و هیبرید) است. با این حال، روغن با ویسکوزیته پایین به جهت حفاظت بهتر در شرایط سخت و اصطکاک شدید مستلزم استفاده از افزودنی های بهبود دهنده اصطکاک و افزودنی های ضد سایش است. همراه با استفاده گسترده تر از روغن های پایه سنتزی، انتظار می رود که بهبود دهنده های اصطکاک نقش بسیار مهمی در تولید روانکارهای آینده داشته باشند.

فورد دوراتک (Ford Duratec) و مرسدس بنز M133 تفاوت اصلی بین موتورهای نوع سیلندرها بود: سیلندر ساخته شده با چدن معمولی با سنگ زنی دقیق در مقابل چدن با پوشش حرارتی، و سوپاپ<sup>۱</sup> DAMB در مقابل سوپاپ<sup>۲</sup> RFF. این تست ها در شرایط بدون فشار و با استفاده از یک پمپ روغن الکتریکی خارجی، جهت تامین روغن مورد نیاز موتور انجام شده اند. شکل شماره ۶ تاثیر ویسکوزیته روغن بر اصطکاک اجزای موتور را در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد نشان می دهد. با گذر از درجه SAE 10W-40 به SAE 0W-16 کاهش تقریباً دو برابری اصطکاک موتور در دور موتور بالا را مشاهده می کنیم. هر دو روغن موتور مذکور با استفاده از بسته افزودنی یکسان فرموله شده اند. با این حال، این اثر به تدریج با کم شدن دور موتور و سرعت، کمتر می شود. جالب است که برای موتور قدیمی تر (فورد) که دارای سیلندر چدنی معمولی و سوپاپ DAMB است، روغن با کمترین ویسکوزیته بالاترین اصطکاک را در دور کم ایجاد می کند. این نشان می دهد که فروپاشی فیلم روانکار هیدرودینامیک ممکن است یک مشکل واقعی باشد. برای موتور جدیدتر (مرسدس بنز) با سیلندر چدنی با پوشش حرارتی و سوپاپ RFF، گشتاور اصطکاک تقریباً به صورت خطی به دور موتور وابسته است. این موضوع بیانگر این نکته است که طراحی جدید به طور موثری



شکل شماره ۶. تاثیر ویسکوزیته روغن بر اصطکاک اجزای موتور (Ford Duratec, M.B M133) در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد



سیالات انتقال حرارت تقریباً در اغلب فرآیندهای شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نظر به اهمیت شناخت انواع این سیالات و همچنین پارامترهای مهم در انتخاب آن‌ها، مقاله پیش رو تنظیم و تدوین گردیده است.



# Heat Transfer Fluids

# نگاهی به اهمیت روز افزون سیالات انتقال حرارت

## کاربردهای یک سیال انتقال حرارت

وظیفه اصلی یک سیال انتقال حرارت، انتقال گرما از یک مکان به مکان دیگر است. سیالات انتقال حرارت برای انتقال گرما در سیستم‌هایی که در فشار پایین کار می‌کنند (معمولاً سیستم‌های بسته) طراحی شده‌اند. این سیالات قادرند گرما را بطور غیرمستقیم، با نرخ ثابت و باراندامن بالا از یک نقطه به نقطه دیگر سیستم منتقل نمایند.

عملکرد اصلی یک سیال انتقال حرارت جذب گرما از یک نقطه منبع گرما را در سیستم و انتقال آن به سایر مناطق سیستم است که ممکن است به گرما نیاز داشته باشند. فرضاً بخش‌هایی نظیر راکتورها، اکسترودرها، برج‌های تقطیر و استخراج و بسیاری از کاربردهای دیگر که برای عملکرد مناسب به گرما نیاز دارند.

یک سیال انتقال حرارت، انرژی حرارتی را از یک جزء سیستم به جزء دیگری منتقل می‌کند و جهت انتقال گرما می‌تواند به داخل یا خارج قطعه باشد و در نتیجه آن را گرم یا خنک کند. در واقع عملکرد سیال انتقال حرارت در دمای بالا و دمای پایین تفاوتی ندارند.

مزیت انتقال حرارت توسط سیالات این است که منبع سوخت در یک قسمت از سیستم (مشعل حرارتی کوره) متمرکز می‌شود، بنابراین خطر بالقوه آتش‌سوزی و انتقال سوخت به نقاط مختلف سیستم کاهش می‌یابد. ضمن اینکه در این روش نیازی به استفاده از فشارهای بالا (مانند سیستم

امروزه استفاده روزافزون از وسایل الکتریکی محققان را به درک بهتری از دلایل استفاده از مایعات انتقال حرارت در این وسایل که مقادیر قابل توجهی گرما تولید می‌کنند، سوق داده است. وسایل الکتریکی مقادیر قابل توجهی گرما تولید می‌کنند و به منظور بهبود عملکرد آن‌ها سیالات انتقال حرارت مورد نیاز هستند. این مسئله در صنعت روانکار، در مورد خودروهای الکتریکی (EV) نیز صادق می‌باشد. این خودروها در محدوده دمایی بین ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد عمل می‌کنند. از آنجایی که تولید گرما در طول چرخه‌های شارژ/دشارژ باتری بسیار شدید است، این مسئله نگهداری باتری‌ها در محدوده دمایی مورد نظر را دشوار می‌کند و همچنین منجر به کاهش ظرفیت باتری و طول عمر بالقوه آن‌ها می‌شود. در این مقاله استفاده از سیالات انتقال حرارت، به طور کلی، مورد بحث قرار خواهد گرفت، زیرا آنها در کاربردهای صنعتی برای دوره زمانی طولانی مورد استفاده بوده‌اند.



پانته آحاجی بزرگی

کارشناس تحقیق و توسعه

در سیالات انتقال حرارت با دمای بالا، معمولاً از روغن‌های معدنی، روغن‌های سنتزی و سیلیکون‌ها استفاده می‌شود. این سیالات عموماً قادرند در محدوده دمایی بالای ۱۵۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد عملیات انتقال حرارت را بخوبی انجام دهند.

مبنای انتخاب یک سیال انتقال حرارت معمولاً عواملی نظیر حداکثر دمای عملیاتی، خواص فیزیکی سیال، ملاحظات زیست محیطی و محدودیت های قیمتی می باشند.

می رود و احتمال اینکه دما از نقطه انجماد آب/گلیکول پایین تر برود نیز وجود دارد. در سیالات انتقال حرارت با دمای بالا، معمولاً از روغن های معدنی، روغن های سنتزی و سیلیکون ها استفاده می شود. این سیالات عموماً قادرند در محدوده دمایی بالای ۱۵۰ و تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد عملیات انتقال حرارت را بخوبی انجام دهند. این سیالات همچنین می توانند در محدوده دمایی سیالات مخلوط آب/گلیکول استفاده شوند اما به دلیل مقرون به صرفه نبودن معمولاً این اتفاق صورت نمی گیرد. با این حال ممکن است شرایطی طوری باشد که از سیالات بر پایه آب/گلیکول استفاده نشود. مبنای انتخاب سیال معمولاً عواملی نظیر بیشترین دمای عملیاتی در طول پروسه، خواص فیزیکی و محیط زیستی و همچنین ملاحظات قیمتی می باشند. برخی از الزامات انتقال حرارت در دمای پایین با ویژگی های سیالات انتقال حرارت با دمای بالا متفاوت می باشد. سیالات انتقال حرارت با دمای پایین در محدوده دمایی ۸۰- درجه سانتیگراد تا تقریباً ۱۵۰ درجه سانتیگراد دارای عملکرد مناسب می باشد. یکی از مهمترین خواص سیالات انتقال حرارت در دمای پایین

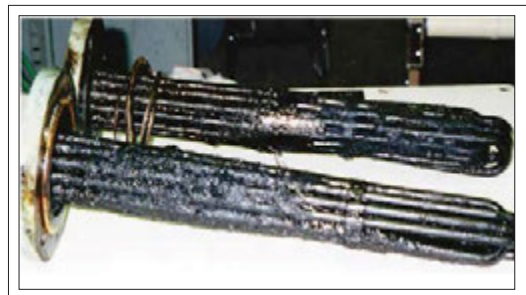
های بخار) نیست و راندمان این روش نیز بالا است. تفاوت این که یک سیال انتقال حرارت برای عملکرد در دمای پایین یا بالا مناسب است مشروط به خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نظر برای آن کاربرد می باشد. به عنوان مثال، سیالات که در دمای پایین کاربرد دارند، دارای ویسکوزیته پایین تر، فشار بخار بالاتر و دامنه ی نقطه جوش محدودتر در مقایسه با سیالات با دمای بالا می باشند.

سیالات انتقال حرارت با دمای بالا در درجه اول در مواردی که گرمایش از یک جزء سیستم به جز دیگر منتقل می شود استفاده می شوند، در حالی که سیالات با دمای پایین عمدتاً برای خنک کردن قطعات استفاده می شوند. در موارد خاص، می توان از یک سیال با دمای بالا برای خنک کردن یک جزء سیستم استفاده کرد. حرارت را از آن خارج کند و همانند یک سیال با دمای پایین عمل کند.

اگرچه برخی از متخصصان تمایز بین سیالات انتقال حرارت در دمای بالا و پایین را تا حدی غیرواقعی می دانند. آنها معتقدند که این اصطلاحات به طور کلی برای تفاوت گذاشتن بین روغن پایه های معدنی، سیالات آلی و سیالات بر پایه ی سیلیکون و گلیکول/آب به کار می روند. به طور کلی، مایعات مبتنی بر گلیکول/آب دارای مزایایی در مقایسه با سیالات بر پایه سیلیکون می باشند. این سیالات در محدوده عملیاتی ۲۵ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد به دلیل هزینه کمتر و خواص فیزیکی برتر مورد استفاده قرار می گیرد. بعضی از سیالات سیلیکونی خاص و سیالات آلی را می توان در دمای عملیاتی کمتر از منفی ۲۵ درجه سانتیگراد و تا منفی ۱۰۰ درجه سانتیگراد مورد استفاده قرار داد. مهمترین دلیل استفاده از سیلیکونی ها این است که در دماهای خیلی پایین ویسکوزیته محلول های آب/گلیکول خیلی بالا



ویسکوزیته آنها است. در واقع، ویسکوزیته به اندازه ای پایین باشد که دستیابی به جریان آشفته، برای خنک کردن یا خنک نگه داشتن سیستم هایی مانند چیلرها در دمای مورد نیاز را تامین کند. در حالی که، سیالات انتقال حرارت با دمای بالا باید در برابر مکانیسم هایی تخریبی مانند اکسیداسیون و حرارتی مقاوم باشند. شاخصه هایی مانند منبع گرما، نیاز به رژیم جریانی آشفته، باید در ارزیابی عملکرد سیالات انتقال حرارت دما بالا مورد توجه قرار گیرد. مشکلات تخریب ناشی از گرم شدن بیش از حد (هیتزهای کک بسته) و اکسیداسیون (لجن دار مخزن انبساط) در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل شماره ۱. کک بستن سطح فلزی انتقال حرارت، گرمای بیش از حد یکی از علل تخریب سیال انتقال حرارت است.



شکل شماره ۲. سیالات انتقال حرارت می توانند در جین استفاده اکسید شوند که منجر به خرابی زودرس می شود. در اینجا تصویر توده لجن ایجاد شده در یک منبع انبساط نمایش داده شده است.

### نمونه هایی از سیالات انتقال حرارت

انواع سیالات انتقال حرارت به انواع دمای پایین و دمای بالا براساس ساختار شیمیایی نیز تقسیم می شود. سیالات انتقال حرارت با دمای بالا از هیدروکربن های آروماتیک و آلیفاتیک گرفته تا سیلیکون ها و در برخی موارد نمک مذاب را شامل می شود. سیالات با دمای پایین می توانند هیدروکربن های آروماتیک، آلیفاتیک گلیکول ها، الکل ها،

محلول های نمکی و سیلیکون ها را نیز در برگیرد.

بسیاری از سیالات انتقال حرارت با دمای بالا بر پایه هیدروکربن یا سنتزی هستند که می توانند در دماهای بالا کار کنند، اگرچه همه آنها از نظر مقاومت در برابر اکسیداسیون پایداری مشابهی ندارند. سیالات بر پایه آروماتیک مانند ترفنیل های هیدروژنه در دماهای بسیار بالا پایدار می باشند. سیالات بر پایه مخلوط آب/گلیکول متداول ترین سیالات انتقال حرارت با دمای پایین هستند اما برای انتقال حرارت موثر در دماهای پایین تر از ۱۸- درجه سانتیگراد کارایی خود را از دست می دهند چون ویسکوزیته آنها بشدت بالا می رود و حالت خیلی غلیظ پیدای می کنند. برای دماهای پایین تر، مخلوط های سیلیکونی، الکل ها، مایعات هیدروکربنی ویژه و برخی از پایه های آروماتیک باید مورد استفاده قرار گیرند.

نوعی دیگری از طبقه بندی سیالات انتقال حرارت بر پایه انحلال و یا عدم انحلال در آب می باشد. معمولاً سیالات انتقال حرارت به انواع آبی، معدنی و سنتزی تقسیم بندی می شوند. رایج ترین مایع انتقال حرارت در جهان آب است زیرا ویژگی های منحصر به فرد آن باعث می شود تا برای گرمایش و سرمایش کارآمد باشد اما دامنه ی عملکردی آب بسیار محدود است. سیالات بر پایه ی آب/گلیکول، مخلوط ها و محلول های نمکی آبی قابلیت های عملیاتی مایعات آبی را افزایش می دهند، اما همچنان محدودیت هایی دارند. سیالات با دمای بالا هر دو گروه از سیالات آلی طبیعی و سنتزی را در بر می گیرند. سیالات آلی طبیعی به طور کلی برای عملکرد از ۱۲۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد مناسب هستند. سیالات فرموله شده با روغن های پایه گروه II و گروه III معمولاً از نظر پایداری حرارتی و کنترل تشکیل رسوب در مقایسه با همتایان گروه I عملکرد بهتری دارند. در دماهای عملیاتی بیش از ۳۰۰ درجه سانتی گراد آروماتیک های سنتزی ترجیح داده می شوند. این آروماتیک ها شامل بنزن های آلکیل، بی فنیل های آلکیل دار، آریل اترها، ترفنیل های هیدروژنه و مخلوط دی فنیل اتان ها می شود. سیالات انتقال حرارت ویژه دمای پایین قادر به دستیابی به حداقل دمای کار منفی ۱۱۵ درجه سانتیگراد می باشند. انواع این سیالات عبارتند از گلیکول، سیلیکون، هیدروکربن ها سنتزی، اترها، استرها و هیدروکربن های فلوئوردار.

### معیارهای انتخاب

پارامترهای مختلفی باید برای انتخاب یک سیال انتقال حرارت در نظر گرفته شوند. برای سیالات عملیاتی در دمای بالا، نقطه اشتعال سیال باید بیشتر از دمای عملیاتی باشد. باید توجه داشت که در برخی کاربردها دمای بالک و در برخی موارد دمای فیلم ممکن است به نقطه اشتعال نزدیک باشند.

منظور از دمای بالک دمای متوسط توده سیال است. بالاترین دمایی که حجم کل سیال ممکن است با آن مواجه شود بسیار مهم است. این شاخصه را باید حتما در هنگام انتخاب یک سیال در نظر گرفت. در بیشتر موارد عملیاتی، زمانی که سیالات انتقال حرارت در معرض دماهای بالاتر از حداکثر دمای نامی خود قرار می گیرند، با سرعت بسیار زیادی شروع به تخریب شدن می کنند. همانند بسیاری از فرآیندهای شیمیایی، به ازای افزایش ۱۸ درجه فارنهایت (۱۰ درجه سانتیگراد)، سرعت اکسیداسیون سیال دو برابر می شود، بنابراین خرید سیالی با حداکثر دمای نامی که کمی بالاتر از حداکثر دمای فرآیند باشد عاقلانه است. به عنوان یک قاعده کلی، سیال های انتقال حرارت ارزان تر، تحمل دمای بالک پایین تری دارند. حداکثر دمای فیلم سیال دمایی است که سیال در داخل منبع گرمایشی در نقطه تماس با سطح انتقال حرارت به آن می رسد. درجه حرارت فیلم بطور متوسط در کاربردهای معمول می تواند تا حدود ۵۰ درجه فارنهایت (۲۸ درجه سانتیگراد) بالاتر از حداکثر دمای بالک باشد. علاوه بر این، خواص فیزیکی مانند ظرفیت گرمایی، چگالی، ویسکوزیته و همچنین ضریب انتقال حرارت سیال نیز باید مورد توجه قرار گیرد. یک پارامتر مهم دیگر مربوط به شاخصه های ایمنی سیال انتقال حرارت است. مواردی مانند سمیت در سیالات انتقال حرارت ویژه دمای پایین اهمیت زیادی دارد.

### شیوه های نگهداری

یک نکته قابل اهمیت در دستورالعمل های ایمنی مربوط به سیالات انتقال حرارت این است که

زیرا معمولاً هیچ نشانه قابل مشاهده‌ای از تخریب تا زمانی که شکست واقعی رخ ندهد، بروز نمی‌نماید.

سیالات انتقال حرارت دارای طول عمر عملیاتی معینی هستند که بسته به کاربرد آنها می‌تواند خیلی کوتاه از ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ ساعت یا خیلی طولانی حدود ۱۲ تا ۱۵ سال باشد. در این مدت، تجزیه و تحلیل پارامترهایی مانند عدد اسیدی، ویسکوزیته و نقطه اشتعال برای ارزیابی وضعیت سیال انتقال حرارت مهم هستند. برای تعمیر و نگهداری صحیح سیستم‌های انتقال حرارت، باید اپراتورهای مربوطه تاریخچه‌ای از تجزیه و تحلیل‌های انجام شده بر روی یک سیستم خاص و پایش وضعیت سیال انتقال حرارت را در اختیار داشته باشند.

### کاربردهای سیالات انتقال حرارت

سیالات انتقال حرارت در دامنه‌ای گسترده‌ای از موارد از جمله پالایش نفت و گاز، فرآوری شیمیایی، تولید پلیمرها، فرآیندهای خشک کردن صنعتی، فرآوری مواد غذایی و آشامیدنی استفاده می‌شوند.

فرآوری دارویی، فرآوری بایومس، فرآیندهای استخراج، خنک کننده‌های سیستم‌های الکترونیکی، تولید بخار و همچنین تجهیزاتی که از مایعات انتقال حرارت استفاده می‌کنند شامل مخازن ژاکت دار، مخازن راکتور، بویلرها، برج‌های تقطیر، اکسیدکننده‌های حرارتی، اتوکلاوها، غلتک کالندر<sup>۲</sup>، پرس‌های صفحه‌ای، قالب‌ها، خشک‌کن‌ها و نظایر آنها همه مثال‌هایی از کاربرد و استفاده سیالات انتقال حرارت هستند. در واقع، هر واحد عملیاتی در دنیای مهندسی شیمی به احتمال زیاد از سیالات انتقال حرارت استفاده می‌کند که روشی کارآمد برای انتقال و مصرف گرما در فرآیندهای مختلف می‌باشد.

در فرآیندهای تولید گاز طبیعی مایع، پالایشگاه‌ها، تولید الیاف مصنوعی، تولید رزین پلی اتیلن ترفتالات، پتروشیمی، در سیستم گرمایش، تهویه مطبوع<sup>۳</sup>، اتاق‌های کشت<sup>۴</sup>، مواد غذایی و فرآوری نوشیدنی، سیالات انتقال حرارت نقش به‌سزایی دارند.

### سیالات انتقال حرارت و منابع انرژی تجدیدپذیر

سیالات انتقال حرارت نقش مهمی در تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر دارند. این سیالات در کاربردهای برگرفته از انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی و در سیستم‌های ذخیره گرمایی کاربرد دارند. بطور مثال از سیالات پایه آب/گلیکول در کلکتورهای خورشیدی نصب شده در پشت بام‌ها که تامین گرما در آبگرمکن‌های خانگی و سیستم رادیاتور آنها را بر عهده دارند استفاده می‌شود. سیالات مبتنی بر آروماتیک‌های سنتزی بطور فزاینده‌ای در نیروگاه‌های انرژی خورشیدی که از آینه‌های مقعر بهره می‌برند مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این کاربرد، سیالات انتقال حرارت تادمای تقریبی ۴۰۰ درجه سانتیگراد در کلکتورهای خورشیدی مقعر سهموی<sup>۵</sup> گرم می‌شوند و برای تولید بخار فوق گرم که در به حرکت درآوردن یک ژنراتور توربین برای تولید برق استفاده می‌شود، کاربرد دارند. ذخیره انرژی حرارتی در نیروگاه‌های خورشیدی متمرکز (CSP) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا زمانی که خورشید تابش درخشانی نداشته باشد نیز این نیروگاه‌ها باید ذخیره انرژی داشته باشند و بتوانند الکتریسیته تولید کنند. همچنین سیالات انتقال حرارت برای انتقال انرژی گرمایی از کلکتورهای خورشیدی به بخش تولید الکتریسیته نیروگاه استفاده می‌شوند و گاهی این سیالات در فرایند شارژ سیستم ذخیره انرژی گرمایی نیروگاه نیز کاربرد دارند. مخلوط‌های هیدروکربنی با پایداری دمایی بسیار بالا (مخلوط اکسید بی فنیل / دی فنیل) معمولاً به عنوان سیالات انتقال حرارت در مواردی که افزایش دما

حداکثر دمای عملیاتی سیستم نباید از حداکثر میزان مجاز تعیین شده تجاوز کند. تجاوز از حداکثر دمای کاری توصیه شده می‌تواند منجر به تخریب بیش از اندازه سیال و همچنین آسیب به تجهیزات مورد استفاده در طول پروسه به دلیل رسوب/کک شدن برای سیالاتی که در درجه حرارت بالا کار می‌کنند، شود. حذف اکسیژن برای اطمینان از عمر طولانی مدت سیال نیز بسیار مهم است. وضعیت سیال باید به صورت دوره‌ای کنترل شود و بر اساس شرایط توصیه شده نگهداری شود. مولفه‌هایی مانند میزان محصولات حاصل از تخریب‌های ملکولی که شامل ترکیبات شیمیایی با نقطه جوش بالا و پایین می‌باشد باید مورد پایش قرار گیرد. برای سیالات انتقال حرارت بر پایه آب/گلیکول باید میزان سطح گلیکول و میزان مواد بازدارنده خوردگی بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند.

امروزه بسیاری از تامین کنندگان سیالات یک برنامه پایش وضعیت سیال و ارائه توصیه‌ها برای نگهداری سیالات انتقال حرارت را ارائه می‌دهند. هوا (اکسیژن)، دمای بالا و رطوبت از بزرگ‌ترین تهدیدها برای سیالات انتقال حرارت محسوب می‌شوند. بنابراین، باید جلوی ورود اکسیژن به سیستم و خروج ترکیبات سبکتر فرار از سیستم ممانعت نمود.

مایعات انتقال حرارت آب/گلیکول نیز می‌توانند در هنگام استفاده در برابر کف کردن آسیب پذیر باشند. کف در مایعات انتقال حرارت آب/گلیکول می‌تواند ناشی از وجود آلاینده‌ها، برخی از افزودنی‌های خنک کننده مکمل، و وجود هوا در سیستم به دلیل ترک یا نشتی باشد. وجود کف در سیستم‌های انتقال حرارت منجر به مشکلاتی در حین پر کردن یک سیستم ایجاد می‌کند. افزودن مواد ضد کف می‌تواند تمایل به کف کردن سیال انتقال حرارت را سرکوب کند. یکی از مواردی که باید در بررسی کیفیت سیالات حرارتی که تحت فرایند پیرشدگی<sup>۱</sup> قرار گرفته‌اند، مورد توجه قرار گیرد میزان ضد کف در این سیالات است که نباید کاهش پیدا کند و همچنین شواهدی از وجود آلودگی و ذرات خارجی در آن دیده نشود.

از تست ASTM D1881 برای ارزیابی میزان کف در سیالات بر پایه آب/گلیکول استفاده می‌شود. شکل شماره ۳ نشان می‌دهد که چگونه یک مایع انتقال حرارت خاص می‌تواند در طول آزمایش کف تولید کند.

طول عمر سیال تابع بسیاری از متغیرهای دنیای واقعی می‌باشد که این متغیرها شامل تمام اجزای سیستم شامل سیال، گرمکن‌ها، خنک کننده، پمپ‌ها، شیرها و غیره می‌باشد. بر اساس توصیه‌های OEM، هر گونه انحراف از خواص فیزیکی که در خارج از محدوده‌های بهینه شده است، باید بررسی و اصلاح شوند. برای اطمینان از طول عمر و ایمنی سیالات سیستم‌های انتقال حرارت باید به طور مرتب برای اطمینان از اینکه دما، فشار و سیکل‌های زمانی پایدار هستند انجام ارزیابی در دستور کار قرار گیرد. هر گونه نشتی سیال حرارتی باید به سرعت برطرف شود در غیر این صورت می‌تواند منجر به موقعیت‌های خطرناک شود. نگهداری از سیالات انتقال حرارت بسیار مهم است



شکل شماره ۳. ارزیابی کف کردن یک مایع انتقال حرارت بر پایه آب/گلیکول با استفاده از روش آزمون ASTM D1881

سانتیگراد کار کند دچار تخریب بسیار کمی می شود و دارای یک عمر مفید بسیار طولانی است. اما اگر همان سیال در دمای ۴۱۰ درجه سانتیگراد کار کند طول عمر بسیار کوتاه تری را تجربه می کند. مایعات انتقال حرارت مبتنی بر هیدروکربن آروماتیک و پلی دی متیل سیلوکسان در محدوده دمایی بین ۴۰۰ تا ۴۲۵ درجه سانتیگراد کار می کنند. برای استفاده در دماهای بالاتر، مخلوط یوتکتیک<sup>۱</sup> نمک های معدنی گزینه ی مناسبی می تواند باشد.

### عملکرد یک سیال انتقال حرارت در یک وسیله نقلیه الکتریکی

گرمای بیش از حد تولید شده توسط یک خودرو الکتریکی در حین اینکه خودرو در حال کار است منجر به کاهش طول عمر قطعات کلیدی مانند موتور الکتریکی و باتری می شود. به همین جهت است که خودروهای الکتریکی با چالش های مرتبط به مدیریت حرارتی و مشکلات تریبولوژیک مواجه هستند.

از این رو بسیاری از تولید کنندگان خودروهای الکتریکی در صدد طراحی یک سیستم یک پارچه خنک کننده در این خودروها هستند. در واقع در اینجا از یک سیال برای خنک کردن موتور و دیگر قطعات الکتریکی استفاده می شود. این خنک کننده وظیفه روانکاری سیستم دنده ها، سیستم پیلبرینگ ها و احتمالاً کلاچ ها را هم برعهده دارد که کارایی بیشتری را به دلیل کاهش اندازه و وزن خودروهای الکتریکی به ارمغان می آورد. در این طرح، سیال سیستم پیشران<sup>۲</sup> به

طور معمول یک هیدروکربن (مانند پلی آلفا الیفین سنتزی، PAO) می باشد که برای خنک کاری و روانکاری مستقیم استفاده می شود و به طور بالقوه می تواند مدیریت حرارتی بهتری را در مقایسه با روغن های انتقال حرارت بر پایه آب/گلیکول و روش های خنک کننده غیر مستقیم ارائه دهد. باتری ممکن است به مدیریت حرارتی پیشرفته تری برای بهینه سازی در سه رکن ایمنی، عملکرد و رانندگی بالقوه نیاز داشته باشد. مواد مختلفی را می توان برای مدیریت حرارتی بهتر در یک سیستم در نظر گرفت. بطور مثال سیالاتی نظیر هوا، آب/گلیکول، سیالات دی الکتریک (به عنوان مثال، هیدروکربن)، مواد و سیالات برودتی را می توان نام برد. به طور بالقوه سیالات انتقال حرارت دی الکتریک می توانند در جهت حصول به یک سیستم خنک کننده مستقیم که توزیع مدیریت حرارتی یکنواخت تر در سیستم به همراه دارد، مورد استفاده قرار گیرند. مدیریت حرارتی در خودروهای الکتریکی همانند وسایل نقلیه با موتور احتراق داخلی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. اجزای هر دو موتور گرما تولید می کنند و دوام کمتری در دماهای بالا دارند. سیالات انتقال حرارت با جذب و مدیریت دمای اجزای خودرو، باعث کارایی بهتر و طول عمر بیشتر خودروها می شوند. با افزایش سرعت شارژ باتری در خودروهای الکتریکی نیاز به کنترل دما بیش از پیش احساس می شود. باتری ها با توان بیش از ۳۰۰ کیلو وات امروزه بسیار متداول هستند و حتی در سیستم های شارژ باتری با راندمان بالا نیز حداقل ۱۲ تا ۱۵ کیلووات گرما تولید می شود که باید بطریق مقتضی دفع شود تا از استهلاک قطعات در دمای بالا جلوگیری شود.

### خنک کننده به روش مستقیم یا غوطه وری

پتانسیل یک خودرو EV در تولید گرمای بسیار زیاد به این معناست که روش خنک سازی غیر مستقیم که در موتورهای احتراق داخلی کاربرد دارد، در اینجا کاربردی نیست و راه حل بهتری مورد نیاز است. یک رویکرد منطقی، قرار دادن سیال انتقال دهنده حرارت در تماس مستقیم با اجزای حساس در یک EV است. این همان فرایندی است که به خنک سازی مستقیم یا غوطه وری موسوم است. در باتری های فعلی، فرایند خنک سازی انتقال گرما از باتری با استفاده از یک ترکیب رسانای گرما صورت می گیرد. این ترکیب قادر است گرما را به یک مبدل حرارتی منتقل نماید. سپس این مبدل گرما را به سیال انتقال حرارت منتقل می کند. سیال انتقال حرارت به رادیاتور منتقل می شود جایی که گرما به هوا انتقال داده می شود. در روش خنک کننده مستقیم

تا ۳۹۰ درجه سانتیگراد مورد نیاز است، استفاده می شوند. همچنین مخلوط برخی نمک های مذاب پایه نیترات به عنوان مخازن ذخیره حرارتی استفاده می شوند.

در کاربردهای CSP، پیکربندی آینه ها باید طوری باشد که انرژی خورشید را بر روی برخی از گیرنده ها که سیالات انتقال حرارت در درون آنها گردش می کنند متمرکز نمایند تا این سیالات انرژی حرارتی را به منبع تولید برق (ژنراتور) منتقل کنند. CSP از رایج ترین فناوری هایی است که در آن از سیالات انتقال حرارت استفاده می شود با توجه به خروجی انرژی بسیار بالا از خورشید، در کاربردهای CSP نیاز به استفاده از یک سیال انتقال حرارتی سنتزی با دمای بالاست. معمولاً یک سیال فاز بخار، طراحی می شود تا ظرفیت دما را به حداکثر برساند. برای ذخیره سازی انرژی حرارتی از یک سیال مبتنی بر نمک نیترات استفاده می شود. دلیل آن این است که نمک ها نرخ های بسیار پایینی از اتلاف حرارت را نشان می دهند و با فناوری های سیستمی مناسب به گردش در می آیند. در کاربردهای مرتبط با انرژی زمین گرمایی از مایعات انتقال حرارت بر پایه آب استفاده می شود. زیرا انتقال انرژی در



شکل شماره ۴. تصویری از یک نیروگاه خورشیدی متمرکز

دماهای بسیار معتدل و ثابت صورت می گیرد.

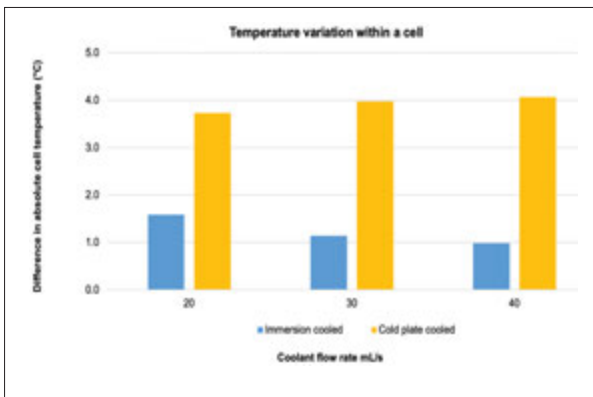
### اثر بخشی سیالات انتقال حرارت

مایعات انتقال حرارت فعلی تا زمانی موثر هستند که هنگام استفاده برای اطمینان از بهینه بودن در طولانی مدت مورد ارزیابی قرار می گیرند. سیالات انتقال حرارت با گذشت زمان، وقتی که در معرض انرژی حرارتی قرار می گیرند تخریب می شوند. توانایی نظارت بر نرخ های نسبی تخریب و اقدام سریع نه تنها برای افزایش طول عمر آن کلیدی است، بلکه مهمتر از آن، جلوگیری از تجمع محصولات تخریبی است که می توانند در عملکرد سیستم تداخل ایجاد کنند. هر گونه انرژی گرمایی که از منبع گرما منتقل نشود منجر به تجزیه مولکولی سیالات می شود. حداکثر دمای استفاده از یک سیال خاص معیاری برای سنجش پایداری حرارتی آن است. سیال با حداکثر دمای توصیه شده ۴۰۰ درجه سانتی گراد در یک سیستم، اگر در دمای ۳۰۰ درجه

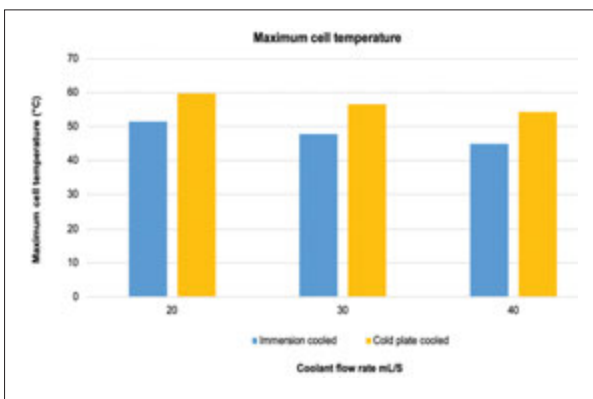
1- Eutectic point

نقطه یوتکتیک: کمترین نقطه ذوب، در ترکیب خاصی از اجزا صورت می گیرد که به این نقطه، نقطه یوتکتیک (Eutectic Point) می گویند.

2- Drive unit



شکل شماره ۶. حداکثر دمای سلول باتری برای غوطه‌وری سرد (مستقیم) در مقابل صفحه سرد خنک شده (غیر مستقیم) در سه نرخ جریان نشان داده شده است.



شکل شماره ۷. تغییرات دما در سلول باتری برای غوطه‌وری سرد (مستقیم) در مقابل صفحه سرد خنک شده (غیر مستقیم) در سه نرخ خنک‌کننده نشان می‌دهد که خنک‌سازی مستقیم منجر به دمای یکنواخت‌تر می‌شود که برای گسترش آن مطلوب است.

### روش‌های ارزیابی خنک‌کاری غوطه‌وری

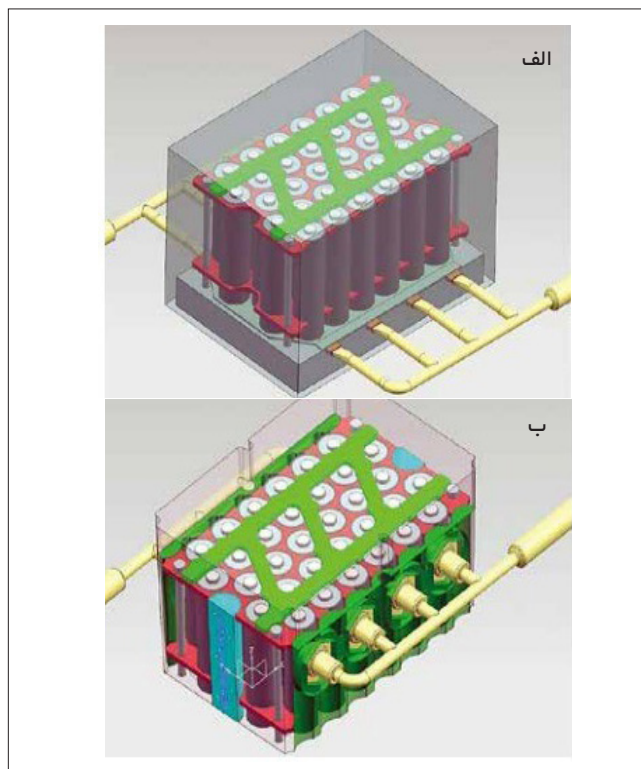
صنایع مرتبط با فناوری‌های خنک‌کاری غوطه‌وری هنوز در مراحل ابتدایی توسعه سیالات مربوطه در خودروهای برقی هستند و تاکنون هیچ آزمایش گسترده‌ای در صنعت انجام نشده است. این سیالات باید دارای خواص مختلفی باشند. ویژگی‌های الکتریکی مناسب (رسانایی و خواص دی‌الکتریک)، سازگاری با اجزاء و قطعات فلزی و غیرفلزی، قابلیت هدایت حرارتی بالا و نقطه انجماد پایین (کمتر از منفی ۴۰ درجه سانتیگراد) و همچنین ویسکوزیته متناسب با شرایط عملیاتی از مهمترین این ویژگی‌ها هستند. عملکرد خوب در تست نفوذ میله فلزی در باتری<sup>۱</sup> (این تست با هدف ارزیابی امنیت باتری صورت می‌گیرد و حالت اتصال کوتاه داخلی را شبیه‌سازی می‌کند) یکی دیگر از تست‌های مهم این باتری‌ها است. همچنین سیال انتقال حرارت در این باتری‌ها باید از خواص زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی مورد تایید مراکز ذیصلاح قرار گیرد. علاوه بر مطالعه ویژگی‌های اولیه (مانند ویسکوزیته، چگالی، رسانایی و ظرفیت حرارتی) ویسکوزیته سیالات انتقال حرارت نقش مهمی در بازده حرارتی دارد. ویسکوزیته کمتر می‌تواند راندمان حرارتی را بهبود بخشد. انتقال حرارت و

یا غوطه‌وری، سیال انتقال حرارت مستقیماً در تماس مستقیم با باتری‌ها قرار می‌گیرد و عملیات رسانی گرم‌ما و مبدل حرارتی حذف می‌شوند.

در خنک‌سازی به روش غیر مستقیم از مدار خنک‌کننده با صفحات یا ژاکت‌های خنک‌کننده استفاده می‌شود در این صفحات وظیفه خنک‌سازی قطعات را به عهده دارند. در واقع در این روش این صفحات هستند که به عنوان یک واسطه انتقال گرما به سمت سیالات خنک‌کننده را بر عهده دارند. در روش خنک‌سازی مستقیم از آنجایی که گرما مسیر کوتاه‌تری را انتخاب می‌کند کارایی سیستم خیلی بالاتر است. در خنک‌سازی به روش غیر مستقیم، به اجزای بیشتری مانند صفحات خنک‌کننده نیاز می‌باشد. این صفحات وزن خود را افزایش داده و به تبع آن کارایی را کاهش می‌دهند.

برای ارزیابی تفاوت احتمالی بین خنک‌کننده مستقیم و غیر مستقیم، یک ماژول باتری در شکل شماره ۵ نمایش داده شده است.

در سرعت جریان‌های خنک‌کننده که ارزیابی صورت گرفته است حداکثر دمای سلول‌های سرد شده به روش غوطه‌وری به طور متوسط ۲۰ درصد کمتر از سلول‌های سرد شده به روش غیر مستقیم بوده است. علاوه بر این، گرادینان توزیع دما در روش خنک‌سازی غوطه‌وری حدود ۵۰ درصد کمتر شده است که این به معنای توزیع بهتر و یکنواخت‌تر دمای سل است که به افزایش عمر آن کمک می‌کند. شکل شماره ۶ حداکثر دمای باتری در دو مدل خنک‌سازی به روش غوطه‌وری و غیر مستقیم را نمایش می‌دهد. همانطور که در شکل شماره ۷ نمایش داده شده است توزیع دمایی در مدل خنک‌سازی غوطه‌وری همگن‌تر است. در روش غوطه‌وری سیال انتقال حرارت مستقیم باتری و لوازم الکترونیکی است که اجازه می‌دهد تا در روش خنک‌سازی مستقیم، سطح بیشتری از خنک‌کننده با گرم‌ترین قسمت‌های سیستم EV در تماس باشد.



شکل شماره ۵. یک ماژول باتری مدل مبتنی بر سلول‌های استوانه‌ای برای خنک‌سازی (الف) مستقیم یا غوطه‌وری و (ب) برای خنک‌سازی صفحه سرد غیر مستقیم

صنعت خودرو باید از روش های استاندارد تست برای تسهیل تجاری سازی استفاده کند. برخلاف موتور احتراق داخلی، سیستم پیشران در خودروهای برقی آن چنان به بلوغ نرسیده است. بازار به سرعت در حال توسعه است و OEM های مختلف به چالش های متفاوتی در ارتباط با خنک کننده در طراحی های متفاوت برخورد کرده اند.

بوجود آمدن فناوری جدید غوطه وری برای خنک کاری ممکن است دوباره مثل وضعیتی که امروز در خودروهای برقی مختلف شاهد آن هستیم منجر به پدید آمدن انواع سیستم های مختلف خنک کاری با استانداردهای مختلف شود. به عنوان مثال، اتومبیل های مورد استفاده در محیط های شهری نسبت به خودروهای بزرگ تر، موتورهای کوچک تر و عملکرد پایین تری دارند. خودروهای کوچکتر با باتری ها کوچکتر و فناوری باتری ارزان تر با هزینه کم در وسایل نقلیه برای سفرهای شهری کوتاه برد مورد استفاده قرار خواهند گرفت. خودروهای برقی برای خارج از شهر، مسافت های طولانی تری را باید ببیمایند و مجهز به باتری هایی با کارایی بالاتر باشند که در وقفه های کوتاه رانندگی به سرعت شارژ می شوند. خنک کننده غوطه وری، با چالش های مهندسی آن، ممکن است توسط تولید کنندگان وسایل نقلیه پرهزینه، با کارایی بالا و دور برد مورد استقبال قرار گیرد که در آن مشتریان از پرداخت هزینه برای سریعترین شارژ خشنود باشند. نتیجه این است که مصرف کنندگان با چالش تقابل هزینه و منفعت مواجه خواهند شد. فعلا در کوتاه مدت خودروهای ارزان تر و کوچک تر احتمالاً با روش خنک کننده غیر مستقیم ادامه کار خواهند داشت. نتیجه اینکه فناوری خنک کننده غوطه وری به عنوان یک گزینه ثانویه باقی می ماند تا زمانی که بازار خودروهای برقی با تولید انبوه قیمت این خودروها را در اندازه ی خودروهای احتراق داخلی پایین بیاورد.

کاهش مقاومت پمپ در داخل سیستم بهترین رویکرد برای ارزیابی و اثربخشی یک سیال انتقال حرارت در یک سیستم واقعی (مانند یک موتور الکتریکی و باتری) است.

پارامترهای طراحی همچنین می توانند بر راندمان حرارتی تأثیر بگذارند. تست ایمنی برای ارزیابی اثربخشی یک سیال انتقال حرارت در تامین خنک کاری مستقیم بسیار با اهمیت است. حالتی را در نظر بگیرید که یک سلول باتری دچار خرابی می شود. درک چگونگی رفتار سیال و اینکه چه اقداماتی باید برای پکیج باتری صورت گیرد بسیار با اهمیت است. البته مانند همیشه، ویژگی های فیزیکی مانند فراریت، نقطه اشتعال، نقطه ریزش، سازگاری مواد و پایداری اکسیداسیون نیز باید ارزیابی شوند.

فراریت کمتر به این معنی است که میزان تلفات تبخیر کمتر است و سیستم خنک کننده نیازی به شارژ مکرر ندارد. نقطه اشتعال بالاتر به معنای ایمنی بهتر در دمای بالا است. سیال انتقال حرارت باید نقطه ریزش پایینی داشته باشد تا منجمد نشود یا در دماهای پایین ویسکوزیته آن به طور قابل توجهی افزایش نیابد زیرا این امر پمپاژ سیال را مشکل می کند. اجزای تشکیل دهنده ی سیستم خنک کننده شامل مواد الاستومری، مس، مواد عایق یا هر ماده ای که در سیستم خنک کننده یافت می شود نباید توسط مایع انتقال حرارت آسیب ببینند. سیال انتقال حرارت باید در برابر اکسیداسیون در دمای بالا مقاومت مناسبی داشته باشد. دو مشخصه دیگر که باید مورد ارزیابی قرار گیرند رسانایی الکتریکی و ولتاژ شکست هستند. سیال باید رسانایی الکتریکی محدودی برای جلوگیری از ایجاد جرقه در موتور و سیستم الکتریکی انتقال قدرت داشته باشد. ولتاژ مورد نیاز برای عبور جریان از سیال باید تا حد امکان بالا باشد، مقادیر مورد نظر معمولاً بین ۴۰ تا ۸۰ کیلو ولت (kV) هستند. هدایت الکتریکی پایین و پایدار برای سیالات انتقال حرارت نه تنها در خودروهای برقی، بلکه در سایر خنک کننده های الکتریکی در کاربردهایی مانند پیل سوختی نیز اهمیت دارد.

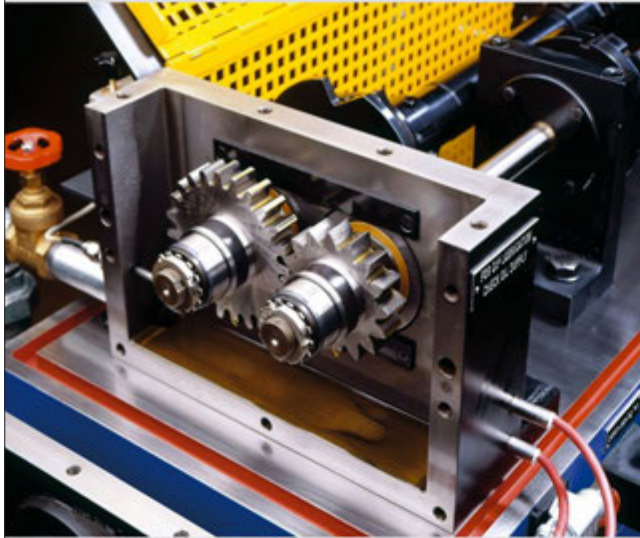
### چالش های تجاری سازی در خنک سازی غوطه وری

اهمیت دفع گرمای تولید شده توسط باتری، موتور الکتریکی، سیستم الکترونیکی انتقال قدرت تلاش ها برای تجاری سازی روش خنک کاری غوطه وری را تسریع کرده است. اما چالش هایی وجود دارد که باید بر آنها غلبه کرد. توسعه دهندگان سیالات خنک کننده به روش غوطه وری باید سه مورد را قبل از تجاری سازی در نظر بگیرند. اولین مساله سازگاری سیال با اجزای سیستم است. این مورد به خصوص در مورد سیالاتی که دارای ویسکوزیته پایین هستند و در پمپاژ سیال نقش بر عهده دارد، از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. معمولاً سیالات با ویسکوزیته پایین تر تأثیر منفی بر سیستم آب بندی و بقیه پلیمرها می گذارند. دلیل آن این است که سیالات با ویسکوزیته پایین تر، به طور کلی، دارای مولکول های کوچکتری هستند که پتانسیل بیشتری برای واکنش با مواد دیگر دارند. تولید کنندگان خودروهای EV باید دقت زیادی را در انتخاب موادی مانند الاستومرها به خرج دهند و در عین حال به موازات آنها، سازندگان سیال نیز باید توجه داشته باشند فرمولاسیونهایی را توسعه دهند که منجر به حداکثر سازگاری با قطعات الاستومری شوند.

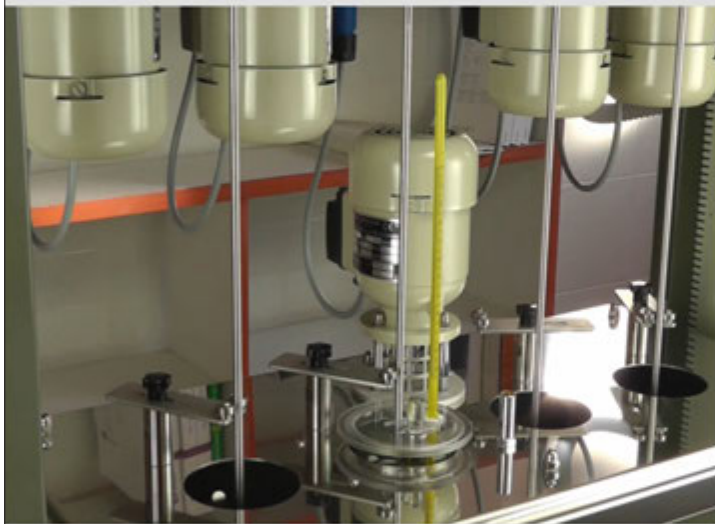
منبع:

1. Please go to the following link: [www.evcreate.nl/ideal-battery-temperature](http://www.evcreate.nl/ideal-battery-temperature)





روانکارهای دنده از اهمیت خاصی در صنایع مختلف برخوردار هستند. روغن های طبقه بندی انواع روغن های دنده و همچنین متد های شناسایی و ارزیابی آزمایشگاهی این روانکارها دستمایه اصلی مقاله حاضر هستند و سعی شده است یک دوره کلی در این مقوله برای خوانندگان ارائه شود.



# Gear Oils Test Methods



# آشنایی با روانکار دنده – قسمت دوم: ارزیابی روغن دنده‌ها

## مقدمه

در شماره قبلی به شرح کامل انواع دنده و ترکیبات روانکارهای آن پرداختیم. با توجه به اینکه نیاز است همواره از کارکرد صحیح روغن در محیط‌های مختلف اطمینان حاصل کرد تا بتوان از خرابی‌های غیرمنتظره جلوگیری کرد، سنجش آن بسیار ضروری است. در ادامه الزامات رایج برای سنجش روانکارهای دنده اعم از صنعتی و خودرویی را بیان می‌کنیم.

## روغن‌های دنده خودرو

تکامل روانکارهای دنده با ترکیب و کارکرد فعلی، از معرفی دنده‌های هیپوئید در سال ۱۹۲۵ آغاز شد. این دنده‌ها، با توجه به وزن سبک‌تر و عملکرد با صدای کمتر و قابلیت تحمل بار بیشتر مورد توجه تولیدکنندگان خودرو قرار گرفتند اما روانکاری آنها با توجه به نیاز به خواص ضد فشار بالاتر با چالش مواجه شدند. به تدریج روغن دنده‌هایی با عملکرد بهتر ایجاد شدند. روغن‌هایی که در ابتدا تولید می‌شدند بر پایه شیمی ترکیبات گوگرد، فسفر و کلر بودند. اما این روانکارها نیز در محورهای هیپوئید جدید که در گشتاورهای بالا استفاده می‌شدند ناکارآمد بودند. در سال ۱۹۵۰ با همکاری سازمان‌های API، ارتش نظامی آمریکا و CRC<sup>۱</sup> روش‌های آزمونی طراحی شد تا عملکرد روغن دنده را تحت بار کم و گشتاور بالا بسنجند. این آزمون‌ها روغن‌های مختلف را از نظر میزان تحمل بار متمایز می‌کردند.

در سال ۱۹۶۰ مشکلات اکسیداسیون و حرارتی پیش آمده در روانکارهای تحت بار و نگرانی‌های محیط زیستی که برای استفاده از کلر وجود داشت منجر به استفاده از افزودنی‌های گوگرد-فسفر و ترکیبات مبتنی بر بورات شد که تا به امروز نیز استفاده می‌شوند. در نهایت تلاش‌های سازمان‌های SAE، ASTM، API، ارتش ایالات متحده آمریکا و CRC منجر به شرح کامل الزامات روانکارهای ویژه دنده‌های خودرویی امروزی شد.

امروزه روان‌کننده‌های دنده خودرو به چند



دکتر ساهوچیدی  
کارشناس مهندس فروش

طریق طبقه‌بندی می‌شوند:

- استاندارد API
- طبقه‌بندی ویسکوزیته در استاندارد (SAE J306) SAE
- طبقه‌بندی نظامی ایالات متحده آمریکا MIL-PRF-2105E و SAE J2360
- مشخصات شرکت‌های OEM

این طبقه‌بندی‌ها در ادامه مورد بحث قرار خواهند گرفت.

## طبقه‌بندی استاندارد API

بر این اساس روانکارهای دنده به شش گروه تقسیم بندی می‌شوند که این الزامات در جدول شماره ۱ خلاصه شده است.

## طبقه‌بندی بر اساس استاندارد (SAE J306) SAE

در این روش روغن‌های دنده از نظر رئولوژیکی (به عنوان مثال، جریان روغن و تغییر شکل) مطابق جدول SAE J306C طبقه‌بندی می‌شوند. برای کاهش خرابی‌های دنده‌هایی که در دمای پایین کار می‌کنند در زمانی که ویسکوزیته روغن به  $15000 \text{ cP}$  و مقادیر بالاتر می‌رسد، این استاندارد در برخی از گریدها همانند ۷۵W و ۸۵W محدود و ویسکوزیته در دماهای پایین را تعیین می‌کند. همچنین الزامات پایداری برشی نیز در آن گنجانده شده است چرا که روغن‌های دنده ممکن است حاوی پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا باشند که در طول عمر کارکرد، برش پیدا کرده و منجر به کاهش ویسکوزیته می‌شوند. به منظور اطمینان از اینکه در دمای بالا ویسکوزیته روغن حفظ می‌شود، حدود مقادیر ویسکوزیته مورد نیاز برای جلوگیری از آسیب به پاتاقان و چرخ دنده در جدول مشخص شده است.

## طبقه‌بندی نظامی ایالات متحده آمریکا MIL-PRF-2105E و SAE J2360

در آگوست ۱۹۹۵، استاندارد نظامی MIL-PRF-2105E تدوین شد که بیشتر الزامات API MT-1 (مطابق جدول شماره ۲) را در بر می‌گرفت. در سال ۱۹۹۸، به درخواست ارتش ایالات متحده، موسسه استاندارد آمریکا (SAE)<sup>۲</sup> استاندارد SAE J2360 را به عنوان معادل استاندارد نظامی MIL-PRF-2105E پذیرفت. الزامات MIL-PRF-2105E یا SAE J2360 برای روغن‌های خودرو، دنده فرمان، جعبه دنده‌های دستی کلاس ۷ و ۸ و سایر نقلیه سنگین در نظر گرفته شده است. آزمون‌های خوردگی نوار مس، تمایل به ایجاد کف، پایداری حرارتی و اکسیداسیون، آزمون سایش دنده، سازگاری با آب بندها و... برخی از آزمون‌هایی است که در این طبقه‌بندی تعریف شده است. همچنین در این روش برای اطمینان از کارکرد مناسب آزمون‌های میدانی توسط به کارگیری وسایل نقلیه مرتبط نیز استفاده می‌شود. در جدول شماره ۲ ویژگی‌های انواع گروه بندی‌های روغن دنده بر اساس این استاندارد ارائه گردیده است.

در سال ۱۹۵۰ با همکاری سازمان‌های API، ارتش آمریکا و CRC روش‌های آزمونی طراحی شد تا عملکرد روغن دنده را تحت بار کم و گشتاور بالا بسنجند. این آزمون‌ها روغن‌های مختلف را از نظر میزان تحمل بار متمایز می‌کردند.

ویسکوزیته مهم ترین ویژگی یک روانکار است. در حقیقت ویسکوزیته معیاری برای میزان مقاومت روغن در برابر جریان یافتن است.

به طور کلی روغن های دنده صنعتی در شرایط بارگذاری متوسط به کار می روند و معمولاً از آنها در کارخانه های فولاد، سایت های ساختمانی و معدنی، کوره ها و امثالهم استفاده می شود.

جدول شماره ۱. مشخصات طبقه بندی API		
تقسیم بندی API	شرح مشخصات	کاربرد
GL-1	روغن های معدنی به همراه آنتی اکسیدانت و ضد زنگ، ضد کف و کاهنده نقطه ریزش	انتقال سیستم دستی کامیون
GL-2	استفاده از افزودنی های ضد فشار ملایم و ضد سایش	برای دنده حلزونی روغن دنده صنعتی
GL-3	دارای افزودنی های با اثر ملایم ضد فشار است	سیستم انتقال نیروی دستی مارپیچ مخروطی
GL-4	معادل MIL-L-2105 (که الان منسوخ شده می باشد) است. حدوداً با مقدار ۵۰ درصد مقادیر افزودنی سطح GL-5 به دست می آید.	انتقال دهنده های دستی مارپیچ مخروطی دنده های هیپوئید در سرعت و بار متوسط
GL-5	تقریباً معادل MIL-L-2105D فعلی در سراسر جهان، تولید کنندگان به عنوان روغن دنده اصلی <sup>۱</sup> برای اکثر خودروهای های مسافری و کامیون ها پیشنهاد می کنند.	برای مواردی با گشتاور بالا و یا سرعت های بالا در دنده های هیپوئید و سایر انواع دنده
GL-6	منسوخ شده به دلیل آنکه تجهیزات آزمون آن به صورت تجاری موجود نیست	دنده های هیپوئید در شرایط سخت عملکردی
MT-1	حاوی مواد افزودنی ضد فشار و مقاوم در برابر تخریب حرارتی	برای جعبه دنده های دستی غیرهمگام <sup>۲</sup> که در اتوبوس ها و کامیون های سنگین استفاده می شود.

Properties	SAE Viscosity Classification								
	70W	75W	80W	85W	80	85	90	140	250
Vis at 100°C									
Min (cSt)	4.1	4.1	7.0	11.0	7.0	11.0	13.5	24.0	41.0
Max (cSt)	None	None	None	None	<11.0	<13.5	<24.0	<41.0	None
Vis of 150,000 cP									
Max Temp, °C	-55	-40	-26	-12	None	None	None	None	None
Military Specification									
Properties	75W		80W90		85W140				
Viscosity at 100°C									
Min (cSt)	4.1		13.5		24.0				
Max (cSt)	None		<24.0		<41.0				
Vis of 150,000 cP	-40		-26		-12				
Max Temp, °C	-45		-35		-20				
Channel Point, min, °C	150		165		180				
Flash Point, min °C									

### جدول شماره ۲ - طبقه بندی ویسکوزیته SAE J2360 و MIL-PRF-2105E

#### طبقه بندی های OEM

الزامات مربوط به OEM، اهداف خاصی را در زمینه های بهبود مصرف سوخت، کاهش دمای عملکرد، بهبود خوردگی فلزات زرد (مس و برنج)، بهبود اصطکاک برای کاهش لغزش، پایداری اکسیداسیون و... در بر می گیرد. این مشخصات عموماً مشمول الزامات مطرح شده در API GL-5 است. در جدول شماره ۳ مشهورترین استانداردها و الزامات OEM ها ارائه گردیده است.

OEM	Specification No.	SAE Viscosity Grades	Performance Requirements	Recommended Drain Period (miles)
Mack	GO-J	80W-90, 85W-140	Mil-PRF-2105E Seal immersion test Mack spalling test <sup>(b)</sup> 500 000 mile field test 100 hour L-60-1 Extended Mack cycling test <sup>(a)</sup>	250 000  500 000
	GO-J Plus			
Eaton/Dana	PS-163/ SHAES-256	75W, 80W-90, 85W-140	Mil-PRF-2105E Copper & bronze corrosion tests Dynamic seal tests Spalling test 500 000 mile field test Wet L-37 Test	500 000
ArvinMeritor	076-D & A	80W-90, 85W-140	Mil-PRF-2105E	100 000 miles without pump and filter to 500 000 miles with pump, filter and appropriate additives
Mercedes Benz	235	90, 85W90, 85W140	API GL-5 In-house axle tests	60 000 (long haul) for all without flexible service system (FSS) 220 000 for FSS
Mercedes Benz	235.6	80W90 85W90,90	API GL-5 In-house axle tests  Dynamic seal tests 50 ppm Cl max.	60 000 (long haul) for all without flexible service system (FSS) 220 000 for FSS
Volvo	97 310	75W, 80W, 90, 85W140, 80W140	API GL-5	75 000 (long haul)
	97 312	75W90	API GL-5/Pitting test/field test	110 000 current (long haul) 250 000 target
MAN	342N	90	API GL-5	50 000
	342ML	80W90	API GL-5 FZG PITS field test	100 000 (long haul)
	342SL	75W90 80W90	API GL-5 FZG PITS field test	200-250 000
Iveco	...	90 85W140	API GL-5	75 000
ZF	TEMLO5	90	API GL-5 In-house axle and FZG tests	50 000

<sup>a</sup>This oil is used for axles and transmissions.  
<sup>b</sup>Test currently not available.

جدول شماره ۳- مشخصات OEM برای سیستم های انتقال دهنده و محور ها

### الزامات روغن های دنده صنعتی

به طور کلی روغن های دنده صنعتی در شرایط بارگذاری متوسط به کار می روند و معمولاً از آنها در کارخانه های فولاد، سایت های ساختمانی و معدنی، کوره ها امثالهم استفاده می شود. عملکرد اصلی آنها جلوگیری از خوردگی و زنگ زدگی فلزات، ممانعت از ساییش قطعات و دنده ها، افزایش خواص ضد فشار، جلوگیری از کف کردن، حفظ خاصیت جدایش پذیری از آب و توانایی عملکرد در هنگام بروز آلودگی های جزئی است. نمونه هایی از مهم ترین الزامات تعیین شده برای روغن های دنده صنعتی به شرح ذیل است:

- AISE 224 (که قبلاً U.S Steel 224 نامیده می شد)
- انجمن سازندگان چرخ دنده آمریکا 9005-94 AGMA-D94
- جنرال موتورز LS-2
- دیوید براون ET 33/80
- استاندارد DIN 51517-3
- استاندارد کارخانه ای Flenders
- استاندارد کارخانه ای Cincinnati Milacron P35، P59، P63، P74، P77، P78

### نقطه اشتعال بر اساس ASTM D92

هیچ آزمایشی وجود ندارد که بتواند به طور کامل رفتار آتش گیری نمونه را پیش بینی کند و برای ارزیابی کامل تر نیاز است چندین آزمایش انجام شود. رفتار اشتعال به مقدار زیادی به شکل فیزیکی روغن وابسته است. برای مثال مشتعل شدن در حالت بخار آسان تر است چون در این حالت نمونه با اکسیژن بیشتری در تماس است. آزمون های مختلفی برای ارزیابی این ویژگی ابداع شده اند که عبارتند از:

- ۱ اشتعال پذیری در هنگام اسپری
- ۲ اشتعال در هنگام تماس با سطح داغ

۳ اشتعال پذیری هنگامی که سیال روی یک بستر جذب می شود

برای اندازه گیری دمای آتشگیری و اشتعال مواد بسیار قابل اشتعال (و فرار) از استاندارد ASTM D92 استفاده می شود. این آزمایش تمایل نمونه را (در شرایط آزمایشگاهی) برای تشکیل ترکیبات آتش پذیر با هوا اندازه گیری می کند.

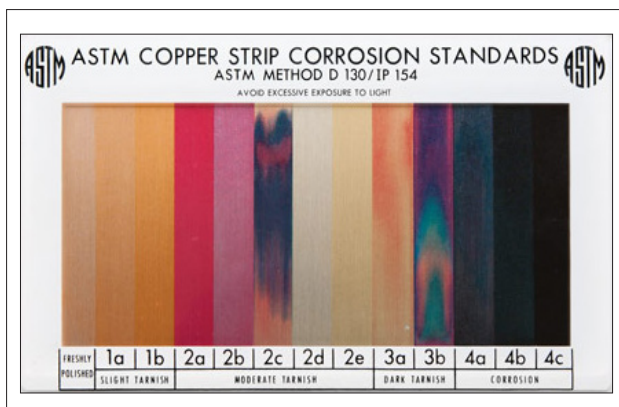
### عدد صابونی شدن ASTM D94

تخریب روغن ممکن است باعث ایجاد محصولات جانبی اسیدی و استری گردد. با این آزمون مقدار اسید یا ترکیبات اسیدی مانند استر را در نمونه تخمین می زنند. صابونی شدن یک فرآیند شیمیایی برای تبدیل چربی ها به صابون است. عدد صابونی برابر مقدار پتاسیم هیدروکسیدی است که با یک گرم از نمونه در دمای بالا واکنش می دهد. بالا بودن عدد صابونی نشان دهنده افزایش تمایل روغن به تشکیل رسوب است. دو روش

Tests	AGMA 9005-D94 EP	DN 51517 Part 3 (CLP)	AISE 224
Timken OK Load, ASTM D 2782	60 lbs min	...	60 lbs min
FZG A/8.3/90, Pass Stage, min	12	11	11
4 Ball EP, ASTM D 2783	...	...	...
Weld Point	...	...	250 kg min
Load Wear Index	...	...	45 min
4 Ball Wear, ASTM D 2266 120 kg, 1800 rpm, 1 hr	...	...	Scar Diameter—0.35 max
Corrosion Protection	...	...	...
ASTM D 130, 3 hrs/100°C	1b max	...	1b max
ASTM D 665, min	Pass B	Pass A	Pass A & B
Oxidation Stability	...	...	...
ASTM D 2893 (121°C), % Vis Incr	6 max	...	...
S 200, % Vis Incr	...	...	6 max
Precipitation Number	...	...	0.1 max
Foam Suppression, ASTM D 892	...	...	...
Seq I Tendency/Stability, ml max	75/10	...	...
Seq II Tendency/Stability, ml max	75/10	...	...
Seq III Tendency/Stability, ml max	75/10	...	...

جدول شماره ۴- مقایسه مشخصات روغن دنده های صنعتی در استانداردهای مختلف

بسیار کم یا بدون لکه (1a) تا لکه های بسیار تیره (4c) متغیر است. اگر نتایج در محدوده مرزی 1b تا 2a قرار داشته باشند، فلزات زرد رنگ در جعبه دنده ممکن است در معرض خطر حمله شیمیایی و خوردگی باشند (شکل شماره ۱)



شکل شماره ۱. مشخصه‌ی استاندارد خوردگی نوار مس

### چگالی ASTM D287

تعیین دقیق اندازه گیری چگالی برای تبدیل های حجمی روغن ضروری است. همچنین با در نظر گرفتن چگالی در کنار سایر ویژگی های روغن، می توان به مقدار تقریبی ترکیبات هیدروکربنی و ظرفیت گرمایی یک روغن پی برد. چنانچه ساختارهای پارافینیک در روغن بیشتر باشند، چگالی آن مقدار بیشتری خواهد داشت. با افزایش مقدار چگالی، میزان ظرفیت گرمایی حجمی کاهش می یابد.

### ویسکوزیته ASTM D445

ویسکوزیته مهم ترین ویژگی فیزیکی یک روانکار است. در حقیقت ویسکوزیته معیاری برای میزان مقاومت روغن در برابر جریان یافتن است. در هنگام کار روغن در جعبه دنده، ویسکوزیته عامل موثر در تعیین میزان ضخامت فیلم روغن بین دنده ها می باشد. عملکرد درست تجهیزات مثل جعبه دنده، محور و سیستم انتقال، به ویسکوزیته روانکار آنها وابسته است. ویسکوزیته، گرمای ایجاد شده بر اثر اصطکاک

رایج برای این آزمون وجود دارد که شامل تیتراسیون با شناسگرهای رنگی و تیتراسیون پتانسیومتری می باشد.

بسیاری از روانکارها مانند روغن دنده های حلزونی یا روغن ابزار پنوماتیک، حاوی مواد افزودنی چربی برای بهبود خواص ضد اصطکاک هستند. به همین دلیل عدد صابونی همیشه در روغن های نو شامل مواد EP وجود دارد. در روغن های مصرف شده، مواد صابونی شدنی در طول کار کرد تشکیل می شوند که باید به عنوان مواد نامحلول در روغن در نظر گرفته شوند.

### نقطه ریزش ASTM D97

نقطه ریزش یک روغن پایین ترین دمایی است که در نمونه آزمایشگاهی مشخص، جریان روغن مشاهده می شود. این مقدار وابسته به مقدار مواد مومی شکل موجود در داخل روغن است که برای پمپاژ نیاز به پیش گرمایش دارند. با این حال، ممکن است پایین ترین دمایی که روغن در یاتاقان های یک قطعه جریان می یابد، متفاوت با پایین ترین دمایی باشد که در آن چرخ دنده ها می توانند روغن کاری کافی را دریافت کنند.

### خوردگی نوار مس ASTM D130

افزودنی های روغن باعث بهبود بسیاری از ویژگی های آن می شوند، اما در برخی شرایط می توانند برای برخی از تجهیزات یا قطعات مضر باشند. به عنوان مثال، در جعبه دنده هایی که دارای دنده های متشکل از فلزات زرد (معمولاً مس یا برنج) هستند، برخی از افزودنی های ضد فشار (EP) می توانند با این فلزات نرم تر واکنش شیمیایی داده و باعث خوردگی شدید قطعه و حتی خرابی شوند. مس، نقره، برنج، و سایر آلیاژهای "فلز نرم" مستعد خوردگی ناشی از مولکول های واکنش پذیر گوگرد هستند. یک راه آسان برای تعیین میزان خوردگی مواد افزودنی موجود در روغن روی فلزات زرد استفاده از نتایج تست خوردگی نوار مسی مطابق با روش آزمون (ASTM D130) است.

در این آزمایش یک نوار مس کاملاً تمیز و براق در دو دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت معینی غوطه ور می شود و پس از هر آزمایش نوار مسی را از نظر لکه دار شدن مورد بررسی قرار می دهند. نتایج از لکه

روغن است و به مقدار کمی، چگالی روغن و ناخالصی نیز در آن نقش دارند. تمایل روغن به ایجاد کف می تواند در کاربردهای مختلف نظیر دنده هایی با سرعت بالا، پمپاژ با حجم بالا و روان کننده های پاششی مشکل های جدی ایجاد کند. روانکاری نامناسب، ترکیدگی حباب ایجاد شده<sup>۱</sup> و سرریز روان کننده منجر به آسیب های مکانیکی می شود. با این حال، رفتار کف کردن روغن های روان کننده را می توان با افزودنی های ضد کف مانند افزودن ترکیبات مناسب حاوی سیلیکون یا پلی گلیکول های محلول در روغن که کشش سطحی روغن را کاهش می دهند، بهبود بخشید.

### ویژگی های اکسیداسیون ASTM D943

بر اساس شواهد تجربی متعدد، مشاهده شده است که اکسیداسیون اولین مکانیسم تخریب روغن های جعبه دنده است. با شکستن ساختار روغن، توانایی مولکول برای حمل بار بین دو سطح جامد متحرک تغییر می یابد. علاوه بر این، شکل جدید مولکول ها باعث می شود که آنها به شیوه ای فیزیکی متفاوت با مولکول های روانکار برهم کنش داشته باشند که می تواند منجر به گرمایش و ویسکوزیته بیشتر از معمول گردد.

این آزمون بطور گسترده برای تخمین پایداری اکسیداسیون روان کننده ها، به ویژه آنهایی که مستعد آلودگی با آب هستند بکار می رود. این روش آزمون، پایداری اکسیداسیون روغن های توربین بخار در دمای بالا در حضور اکسیژن، آب و فلزات مس و آهن را می سنجد.

### شاخص ویسکوزیته ASTM D2270

به طور کلی شاخص ویسکوزیته و ابستگی ویسکوزیته سینماتیک به دما را نشان می دهد. شاخص ویسکوزیته یک معیار پذیرفته شده برای تعیین تغییر ویسکوزیته سینماتیک بر اثر تغییرات دمای یک فرآورده نفتی بین ۴۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد است. شاخص ویسکوزیته بالا، نشان دهنده کاهش کمتر ویسکوزیته با افزایش دمای روانکار است.

### گوگرد ASTM D2622

کیفیت بسیاری از روغن ها به میزان گوگرد موجود در آنها مرتبط است. آزمون اندازه گیری گوگرد، از طریق طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس انجام می گردد. با توجه به اینکه اخیراً مقرراتی در سازمان های فدرال، ایالتی و محلی منتشر شده است که میزان گوگرد را محدود می کنند. این روش ابزاری فراهم می کند تا بتوان تعیین کرد آیا محتوای روغن مطابق با مشخصات یا محدودیت های قانونی است یا خیر.

### جدا پذیری ASTM D2711

این روش توانایی جدا شدن روغن و آب از یکدیگر را مشخص می کند و برای روغن هایی با ویسکوزیته متوسط و بالا کاربرد دارد. مخلوط شدن روغن و آب منجر به افزایش ویسکوزیته، از دست دادن استحکام فیلم، شستشوی مواد افزودنی و خرابی روانکار می شود. ویسکوزیته مهمترین مشخصه فیزیکی روغن است. آب آزاد می تواند منجر به ایجاد امولسیون شود که این امر به نوبه خود ویسکوزیته را بالا می رود و باعث می شود تجهیزات سخت تر کار کنند و گرم تر شوند و نهایتاً قطعات ماشین در اثر استهلاک زیاد از کار می افتند.

### ویسکوزیته بروکفیلد ASTM D2983

این روش مناسب بودن روانکار را برای استفاده در دمای پایین محیط تعیین می کند. این تست برای اندازه گیری ویسکوزیته روغن های دنده در محدوده دمایی ۵- تا ۴۰- درجه سانتیگراد و محدوده ویسکوزیته بین هزار تا یک میلیون سانتی پواز است. نمونه

تماس فلز با فلز، میزان آب بندی، مصرف روغن و همچنین سهولت راه اندازی یا کارکرد ماشین ها را در شرایط دمایی مختلف به ویژه در آب و هوای سرد معین می کند. آلاینده های روغن، فشارهای بسیار بالا، گرمای شدید، تبخیر و نیروهای برشی عواملی هستند که روی ویسکوزیته اثر می گذارند.

ویسکوزیته آب مقطر یک سانتی استوک است. روغن دنده ای با ویسکوزیته ۸۲۰۰ سانتی استوک، ۸۲۰۰ برابر آب مقطر ویسکوز است. برای مقایسه، در نظر بگیرید که ویسکوزیته عسل در دمای اتاق حدود ۱۰۰۰۰ سانتی استوک است و روغن دنده چیزی شبیه به آن است. به طور معمول، روغن هایی در این محدوده ویسکوزیته برای دنده باز و برای انواع مختلف قطارها مجهز به دنده هایی با سرعت پایین استفاده می شوند.

### عدد اسیدی ASTM D664

عدد اسیدی به عنوان یک راهنما در کنترل کیفیت فرمولاسیون روغن استفاده می شود. همچنین گاهی اوقات به عنوان معیاری برای تجزیه روانکار در شرایط کارکرد استفاده می شود. این روش مقدار ترکیبات اسیدی روغن های دنده را تعیین می کند. روغن ها به علت وجود مواد افزودنی و یاد اثر واکنش های تجزیه نظیر اکسیداسیون، دارای ترکیبات اسیدی هستند. مقدار نسبی این مواد را می توان با تیتراسیون با بازها تعیین کرد. با توجه به آنکه انواع محصولات اکسیداسیون در محاسبه عدد اسیدی نقش دارند و هر یک از نظر خواص خوردندگی متفاوت هستند، لذا از این روش نمی توان برای پیش بینی میزان خوردندگی روغن استفاده نمود و ارتباطی میان عدد اسیدی و تمایل خوردندگی روغن وجود ندارد.

### مقاومت در برابر زنگ زدگی ASTM D665

این روش توانایی روغن ها در جلوگیری از زنگ زدگی را ارزیابی می کند. در بسیاری از کاربردها جمله دنده های توربین بخار، امکان اختلاط آب و روانکار همیشه وجود دارد که این امر می تواند منجر به زنگ زدگی قطعات آهنی شود. برای انجام این آزمون، میله ای استوانه ای در مخلوطی از روغن و آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت غوطه ور می شود و در پایان ۲۴ ساعت، علائم زنگ زدگی میله بررسی می شود.

### خاکستر سولفات ASTM D874

از تست خاکستر سولفات برای نشان دادن غلظت افزودنی های حاوی فلز استفاده می گردد. در غیاب فسفر، عناصری نظیر باریم، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم به سولفات ها و قلع و روی به اکسیدهای خود تبدیل می شوند. گوگرد و کلر هم تداخلی ندارند، اما وقتی فسفر در کنار فلزات وجود دارد، به طور جزئی یا کامل به عنوان فسفات فلزی در خاکستر سولفات باقی می ماند. به دلیل تداخلات بین عناصر فوق، مقادیر خاکستر سولفات به دست آمده تجربی ممکن است با مقادیر خاکستر سولفات محاسبه شده از تجزیه و تحلیل عنصری متفاوت باشد. از این رو، از خاکستر سولفات نباید به عنوان شاخصی از محتوای کل ترکیبات فلزی استفاده شود.

### کف ASTM D892

با حرکت حباب های هوا به سطح، کف سطحی تشکیل می شود. کف از یک سری حباب های هوا تشکیل شده است که هر کدام توسط پوسته ای از روغن احاطه شده اند. عوامل موثر بر سرعت جدا شدن این حباب های هوا از روغن و به سطح آمدن آن بیشتر متاثر از اندازه حباب ها، ویسکوزیته روغن و دمای

### ساییدگی

این نوع سایش معمولاً روی دندان‌های چرخ دنده به وجود می‌آید و علت آن اغلب آلودگی روانکار به ذرات سخت و لبه تیز است. سایش ساییده اصولاً زمانی اتفاق می‌افتد که سطح دنده در تماس با ذراتی با سختی بالاتر قرار می‌گیرد. بسیاری از سازندگان چرخ دنده اهمیت مونتاژ تمیز را به طور کامل درک نمی‌کنند. قبل از راه‌اندازی جعبه دنده‌های جدید باید برای تخلیه شن و ماسه، تراشه‌های ماشینکاری غیر معمول و سایر آلودگی‌های احتمالی داخل آنها اقدام نمود. همچنین بهتر است بعد از ۵۰ ساعت کار اولیه، روغن را کاملاً تخلیه نموده و مجدداً جعبه دنده را با روغن نو شارژ کرد.

### صیقل

چنانچه مواد ضد فشار EP موجود در دنده واکنش پذیری شیمیایی بالایی داشته باشند منجر به صیقل سطح دندان‌های دنده می‌شوند و علی‌رغم آن که سطح جلا داده شده و خوب به نظر می‌رسد، می‌تواند دقت چرخ دنده را کاهش دهد. به صورت ایده آل افزودنی‌های متداول مانند گوگرد و فسفر، باید زمانی که دما به حد جوش خوردگی می‌رسد عمل کنند. در صورتی که در برخی موارد، در قسمت‌هایی از دندان‌های دنده که دما بالا است تشکیل لایه‌های سولفید آهن و فسفات آهن می‌دهند. حذف مداوم لایه‌های سطحی، منجر به صیقل بیش از حد می‌گردد. با استفاده کمتر از افزودنی‌های فعال می‌توان از این پدیده جلوگیری نمود. حذف این عوامل ساییده با فیلتراسیون مناسب و تعویض مرتب روغن نیز امکان پذیر است.

### خراشیدگی

زمانی که ضخامت روانکار برای جدا کردن دو سطح کافی نباشد احتمال وجود خراش وجود دارد. خراشیدگی عمدتاً در سرعت‌های متوسط تا زیاد و در دندان‌های سخت شده رخ می‌دهد. در این پدیده، سطوح تماس برای مدت کوتاهی به هم جوش می‌خورند و سرعت لغزش بالا در سطوح تماس، موجب شکست اتصالات جوش می‌گردد. در دنده‌هایی که در رژیم لایه مرزی<sup>۷</sup> چنانچه ضخامت روغن به حدی کافی نباشد تا از تماس فلز با فلز جلوگیری کند، لایه‌های اکسید هم ممکن است از بین رفته و سطوح فلزی با هم جوش بخورند. لغزش بین دندان‌های دنده ممکن است باعث شکست اتصالات جوش و آسیب‌های شدید گردد. برای جلوگیری از این آسیب می‌توان از روانکارهایی با ویسکوزیته بالا و مواد افزودنی ضد خراش استفاده کرد و یا از مواد افزودنی مانند گوگرد، فسفر و یا بورات بهره گرفت. خنک کردن دندان‌های دنده با مقدار مناسبی از روانکار با دمای پایین نیز می‌تواند راه حل مناسبی برای جلوگیری از این آسیب باشد.

### روش آزمون سایش چهار گلوله ASTM D2266 و تحمل بار ASTM D2783

روش تست سایش چهار گلوله برای سنجش خواص نسبی ضدسایشی روانکارها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در مواقعی که سطوح فلزی فولادی با یکدیگر درگیر باشند، شبیه سازی مناسبی از نرخ سایش را

در یک حمام هوا در دمای آزمایش به مدت ۱۶ ساعت سرد می‌شود و سپس در یک ظرف عایق شده به حمام ویسکومتر بروکفیلد برای تعیین ویسکوزیته منتقل می‌شود.

### رها سازی هوا از روغن های ASTM D3427

مخلوط شدن روغن با هوا در تجهیزات مختلف، مانند یاتاقان‌ها، کوپلینگ‌ها، چرخ دنده‌ها، پمپ‌ها و خطوط برگشت روغن، ممکن است باعث پراکندگی حباب‌های ریز هوا در روغن شود. اگر زمان ماندگاری در مخزن به قدری نباشد که حباب‌های هوا به سطح روغن برسند، مخلوطی از هوا و روغن

زمانی که ضخامت روانکار برای جدا کردن دو سطح کافی نباشد احتمال وجود خراش وجود دارد. خراشیدگی عمدتاً در سرعت‌های متوسط تا زیاد و در دندان‌های سخت شده رخ می‌دهد.

در سیستم روانکار گردش می‌کند. این مورد ممکن است منجر به کاهش فشار روغن (به ویژه در پمپ‌های گریز از مرکز)، روانکاری ناقص در یاتاقان‌ها و چرخ دنده‌ها و عملکرد ضعیف یا خرابی سیستم، اختلال در خنک کردن، افزایش تمایل برای اکسیداسیون، کواپتاسیون و میکرو دیزلینگ گردد. معمولاً این خاصیت را نمی‌توان با افزودنی‌ها بهبود بخشید و سرعت جدا شدن این حباب‌ها بستگی به اندازه حباب‌ها، ویسکوزیته روغن و دمای روغن دارد.

### آزمون‌های مکانیکی

برای درک بهتر این آزمون‌ها ابتدا به معرفی‌هایی که روانکاری نامناسب می‌تواند در دنده به وجود آورد می‌پردازیم. آسیب دنده‌ها طیف وسیعی را در بر می‌گیرد و برخی از مهم‌ترین آنها در دنده‌های روغنکاری شده شامل موارد ذیل است:

### خستگی: تشکیل حفره و زیر حفره<sup>۲</sup>

حفره عموماً در دندان‌های دنده به وجود می‌آید و دلیل آن تنش بالای موجود در آن ناحیه است. یک ترک ناشی از خستگی در سطح دندان‌های دنده یا در عمق کمی از زیر سطح شروع می‌شود. ترک در یک فاصله کوتاه در جهتی تقریباً موازی با سطح دندان‌های رشد می‌کند تا زمانی که تکه‌ای از مواد سطحی را جدا کند و حفره تشکیل شود. انتخاب روغن با ویسکوزیته مناسب به منظور تشکیل فیلم روانکاری با ضخامت مناسب، مهمترین پارامتری است که بر آن تاثیر می‌گذارد.

### سایش<sup>۳</sup>: چسبندگی<sup>۴</sup>، ساییدگی<sup>۵</sup> و صیقل<sup>۶</sup>

### چسبندگی

پیچیده ترین مکانیسم سایش است. برهمکنش‌های مولکولی و اتمی بین دو سطح اصطکاکی می‌تواند ذرات مواد را از سطوح تماس جدا کند. در فرایند چسبندگی، یک اتصال نقطه‌ای بین دو ماده به وجود می‌آید که اغلب به آن جوش سرد می‌گویند. چسبندگی زمانی اتفاق می‌افتد که لایه روان کننده مرزی در روغن یا سایر لایه‌های محافظ (مانند اکسید فلز) گسیخته شود. در بسیاری از چرخ دنده‌ها، به دلیل محدودیت‌هایی که در ویسکوزیته، سرعت و دمای روانکار وجود دارد، از نوع روانکاری مرزی استفاده می‌کنند که سایش در آن اجتناب ناپذیر است. سایش در دنده‌هایی با بار سنگین و سرعت آهسته به مقدار حداکثری خود می‌رسد و در این شرایط، استفاده از روانکارهایی با ویسکوزیته بالا از شدت سایش می‌کاهد. همچنین استفاده از افزودنی‌هایی شامل گوگرد و فسفر موجب افزایش خاصیت ضدسایش می‌شود.

لازم هستند مورد استفاده قرار می گیرند.

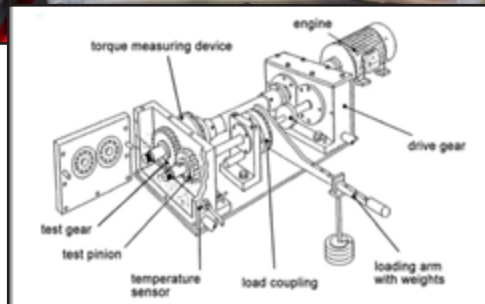
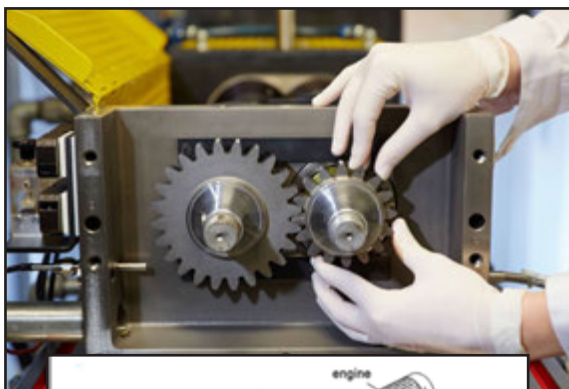
اغلب از آزمون تیمکن برای ارزیابی و شبیه سازی عملکرد روغن دنده در فشار شدید و همچنین مقاومت روغن در برابر خراش استفاده می شود. دستگاه شامل یک دهانه فولادی است که در برابر یک بلوک فولادی می چرخد. سرعت چرخش و دمای نمونه روغن نیز مشخص است. نتیجه آزمون تیمکن با دو پارامتر مشخص می شود که عبارتند از:

① حداقل بار که باعث پاره شدن فیلم روغن بین دهانه چرخان و بلوک ثابت می شود و ایجاد گیرپاژ یا خط اندازی می کند.

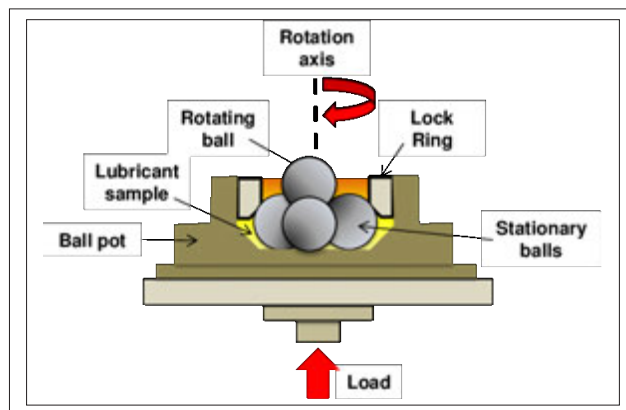
② حداکثر بار (مقدار OK) که در آن دهانه در حال چرخش، فیلم روانکار را پاره نمی کند.

### روش آزمون ظرفیت تحمل بار روغن (FZG) ASTM D5182

انتقال نیرو در بسیاری از کاربردهای خودروبی و صنعتی از طریق استفاده از سیستم های دنده ای انجام می شود. در سرعت های عملیاتی بالا، روغن می تواند نقش مهمی در جلوگیری از خراشیدگی دنده ها داشته باشد. در این روش ظرفیت تحمل بار روغن های به کار رفته در دنده های ساده و حلزونی (محور موازی) سنجیده می شود. در طول آزمایش FZG، دنده ها روی بار مشخص تنظیم شده اند و توسط یک موتور الکتریکی با سرعت متغیر می چرخند و دمای روغن نیز قابل کنترل است (شکل شماره ۴). دندانه های دنده پس از هر مرحله بارگذاری، از نظر خراش بررسی می شوند. علاوه بر ارزیابی بصری وضعیت دندانه دنده، کاهش وزن دنده نیز اندازه گیری می شود.



شکل شماره ۴. نمایی از دستگاه FZG



شکل شماره ۲. نحوه قرار گیری گلوله های فولادی و بار وارده در روش آزمون چهار گلوله

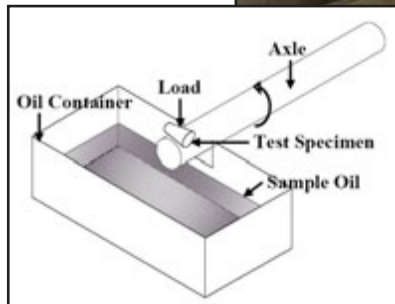
بدست می دهد. این آزمون اغلب برای روانکارهایی که دارای مواد افزودنی ضدسایش و ضدفشار باشند مورد استفاده قرار می گیرد. در این آزمون یک گوی (گلوله کرومی) فولادی تحت بار، در برابر سه گوی ثابت می چرخد و قطر سایش ایجاد شده روی توپ های ثابت در پایان آزمایش اندازه گیری می شود. اندازه گیری مقدار سایش (قطر ناحیه سایش یافته) و نیروی لازم برای جوش خوردگی دائمی گوی ها یکی از معیارهای آزمایشگاهی مهم برای سنجش کیفیت روانکاری در رژیم لایه مرزی است.

### روش آزمون تیمکن<sup>۱</sup> ASTM D2782

این آزمون روشی سریع برای اندازه گیری مقاومت سایشی و قابلیت حمل بار روانکارهای دنده را ارائه می دهد. روش آزمایش تیمکن به طور گسترده ای برای تعیین مشخصات ضد سایشی و ضدفشاری روانکارهای دنده که دارای مواد افزودنی



شکل شماره ۳. نمایی از دستگاه تیمکن



منابع:

1. Tried and tested: How the right questions can unlock gear oil performance, Chris Pether, Industrial CTS Specialist, Afton Chemical and Paul Norris, Senior R&D Scientist, Afton Chemical, 2021

2. <https://www.intertek.com>

3. George E. Totten, Steven R. Westbrook, Rajesh J. Shah – Fuels and Lubricants Handbook. Technology, Properties, Performance, and Testing, 2003.





## Aluminium Iso Propoxide (AIP)

**نوع محصول:** تغلیظ کننده گریس آلومینیومی  
**مزایا:**

AIP مهمترین جز ساخت گریس آلومینیوم کمپلکس می باشد و باعث بهبود ویژگی های گریس از جمله مقاومت عالی در برابر آب، پایداری مکانیکی خوب و قابلیت پمپاژ در دمای پایین می شود. این محصول در الکل، ایزوپروپیل الکل، بنزن، تولوئن، کلروفرم و تتراکلرید کربن محلول است.

گریس های آلومینیوم کمپلکس دارای ویژگی های بسیار عالی از جمله چسبندگی بالا به سطح فلزات، نقطه ذوب و دمای سرویس عملیاتی بالا می باشد و به واسطه الیاف ریز این گریس معمولاً جهت اسپری روی سطوح دنده های باز استفاده می شود.

## Infineum D3503

**نوع محصول:** بسته افزودنی روغن موتور دیزلی  
**کاربرد:**

Infineum D3503 یک بسته افزودنی برای فرمولاسیون روغن های موتور دیزلی با کیفیت بالا است که الزامات عملکردی روغن های موتور دیزلی مطابق با API FA-4, API CK-4 را برآورده می کند. این بسته افزودنی تاییدیه شرکت های مطرح خودرو سازی از جمله Volvo, MAN, Mack, Renault و ... را پوشش می دهد.

**مزایا:**

- پوشش هم زمان سطح کیفیت پایین تر ( CJ-4 )
- عملکرد اکسیداسیون عالی
- حفاظت در برابر سایش عالی
- کنترل مصرف روغن
- کنترل رسوب عالی



در مبحث توسعه پایدار در صنعت روانکار، بهبود مستمر ترکیب شیمیایی انواع روانکارها یکی از اهداف کلیدی محسوب می شود. این امر منجر به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و صرفه جویی در میزان مصرف سوخت خواهد شد.

