JARC

علمی-پژوهشی

سنتز و بررسی ویژگی‌های تریبولوژیکی مایعات یونی به‌عنوان بسته افزودنی بدون خاکستر در روغن‌های هیدرولیک

شهریار کشاورزی[۱و*]، محمد رضا نعیمی جمال[۲و*] و محمد قربان دکامین[۲]

۱. دانشجوی دکتری شیمی آلی، دانشکده شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران
۲. استاد شیمی آلی، دانشکده شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران

دریافت: فروردین ۹۹ بازنگری: مرداد ۹۹ پذیرش: مهر ۹۹

چکیده: با توجه به پیشرفت دانش روانکاری و گستره وسیعی از مواد افزودنی در روانکارها پرداختن به این شاخه از فناوری اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش دو نوع مایع یونی با کاتیون ایمیدازول و آنیون‌های بیس (تری‌فلورومتیل‌سولفونیل)آمید (TFSA) و تریس (تترافلورواتیل)تری‌فلورو فسفات (FAP) تهیه شدند. از این مواد به عنوان افزودنی روغن هیدرولیک گرید ۳۲ ISO استفاده شد و ویژگی‌های تریبولوژی آن‌ها با آزمون‌های گران‌روی سینماتیک در دمای ۴۰ °C، قابلیت جداشدن آب از روغن، خوردگی مس، عدد اسیدی، سایش (آزمون چهار ساچمه) و خاکستر سولفاته بررسی و مشخص شد همه ویژگی‌های تریبولوژیک روغن حاوی افزودنی‌های مایع‌های یونی نسبت به روغن حاوی افزودنی متداول روی دی‌آلکیل‌دی‌تیوفسفات (ZDDP) ویژگی‌های مشابه یا بهتری داشتند. همچنین، نتایج آزمون‌های چهار ساچمه و تصاویر میکروسکوب الکترونی (SEM) نشان داد که روغن‌های حاوی مایع‌های یونی سایش کمتری نسبت به روغن هیدرولیک حاوی افزودنی ZDDP دارند.

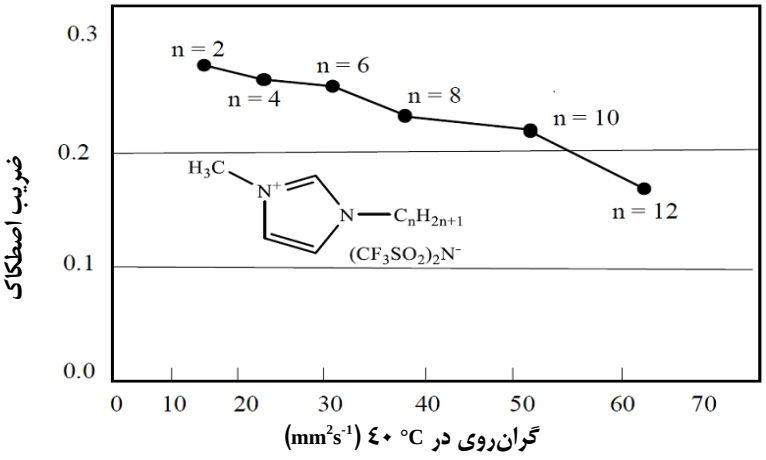
واژه‌های کلیدی: روانکارها، روغن هیدورلیک، مایعات یونی، تریبولوژی

مقدمه

آغاز قرن ۲۱ مصادف با شروع پژوهش‌های گسترده در زمینه انرژِی پاک و سوخت و روان‌کننده سبز است. با توجه به کاربرد زیاد روانکارها و ایجاد آلودگی زیست‌محیطی و منابع روبه پایان آن‌ها، روانکارها و افزودنی‌های زیست تخریب‌ناپذیر موردتوجه قرارگرفته‌اند [۱]. مایع‌های یونی ترکیب‌هایی هستند که متشکل از کاتیون‌های آلی نامتقارن بزرگ و یک آنیون معدنی است. بزرگ‌بودن مولکول و طبیعت شیمیایی کاتیون و آنیون و پراکنده‌بودن بار الکتریکی روی این نمک‌ها و نیروی الکترواستاتیکی کم میان آنیون و کاتیون و عدم تقارن موجب می‌شود تا ساختار بلوری منظم غیرممکن بوده و همیشه به‌صورت مایع باشند. از طرفی به خاطر حالت زوج یونی کاتیون/آنیون ویژگی پوشش‌دهی خوبی روی سطح دارند و در روانکار مرزی نقش بسزایی دارند

* **عهده‌دار مکاتبات:** naimi@iust.ac.ir & s.keshavarzi@foumanchimie.com

[۲]. به‌دلیل ویژگی‌های بی‌همتای زیاد شامل فراریت ناچیز، نقطه اشتعال و پایداری گرمایی بالا، برای پژوهشگران علم روانکاری بسیار با اهمیت هستند. در صنعت به‌کارگیری روانکارهایی که پایداری گرمایی و مقاومت شیمیایی بالا و همچنین، طول عمر زیاد دارند، بسیار موردتوجه است. مایع‌های یونی به طور معمول بالاتر از ۳۵۰ °C تجزیه می‌شوند، حتی در بعضی از موارد آن‌ها تا دمای ۴۵۰°C نیز تجزیه‌ناپذیر هستند [۳]. روغن‌های هیدرولیک و توربین ایده‌آل بایستی گستره دمایی عملیاتی ۵۰- تا ۴۰۰ °C را داشته باشند. قطبیت بالای مایع‌های یونی موجب می‌شود که فیلم نازکی از این روانکار بین سطوح تشکیل شود و مانع از سایدگی و تخریب ماشین‌آلات شود. پژوهش‌ها نشان داده است که ساختار کاتیون و گروه آلکیل کاتیون نقش مهمی در افزایش ویژگی تریبولوژیکی دارد [۴ تا ۸] پایداری گرمایی، ویژگی‌های پاداکسایشی، پادسایش و ویژگی فشارپذیری (EP) از جمله ویژگی‌های مهمی است که به طول زنجیر آلکیل کاتیون و همچنین، آنیون بستگی دارد. بزرگ‌بودن طول زنجیر گروه آلکیلی در کاتیون ایمیدازولیم بر ضریب اصطکاک و حلالیت روغن و ویژگی‌های EP تأثیر مثبتی دارد (**Error! Reference source not found.**) [۹ و ۱۰]. واردکردن دو گروه ایمیدازول موجب افزایش گران‌روی و کاهش ضریب اصطکاک و پایداری گرمایی می‌شود.



شکل ۱ نقش طول زنجیر گروه آلکیل در کاتیون ایمیدازولیم بر ضریب اصطکاک

مایع‌های یونی تهیه‌شده در این پژوهش به‌دلیل فشار بخار پایین، پایداری گرمایی خوب، ویژگی‌های روانکاری مناسب، عدم تولید آلاینده‌های زیست محیطی، بالابودن نقطه اشتعال و عدم خوردگی تجهیزات یک بسته افزودنی مناسب در تولید روانکارهای صنعتی به‌حساب می‌آیند. آنیون‌های موجود در ساختار مایع‌های یونی تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی‌های روان‌کنندگی آن‌ها دارند. آنیون‌های آب‌دوست مانند BF_4^- و PF_6^- گاهی سبب خوردگی فولاد در شرایط مرطوب می‌شود، اما در مقابل، آنیون‌های آب‌گریز خوردگی کمتری و ویژگی‌های روان‌کنندگی بهتری از خود نشان می‌دهند. آنیون‌های تریس(تترافلورواتیل)تری‌فلورو فسفات (FAP[1]) و بیس(تری‌فلوروميتيل‌سولفونیل)آمید (TFSA[2]) نسبت به بقیه آنیون‌ها آب‌گریزتر هستند [۱۱ و ۱۲]. حلالیت

1. Tris(tetrafluoroethyl)trifluorophosphate (FAP)
2. bis(trifluoromethylsulfonyl)amide (TFSA)

مایع یونی برپایه کاتیون ۱-دسیل-۳-متیل ایمیدازولیم در آب را نشان می‌دهد.

جدول ۱حلالیت مایع یونی در آب برپایه کاتیون ۱-دسیل-۳-متیل ایمیدازولیم

ساختار	حلالیت در آب (ppm)
TFSA	$۱/۱ \times ۱۰^{۴}$
FAP	۲×۱۰^{۳}

برای اینکه روغن‌های روان‌کننده صنعتی همه ویژگی لازم را داشته باشند و بتوانند وظایف خود را انجام بدهند احتیاج به یک سری مواد افزودنی دارند که به منظور تأمین ویژگی‌های مناسب به روغن پایه اضافه می‌شود.

مهم‌ترین و اصلی‌ترین مواد افزودنی روغن‌های صنعتی عبارت‌اند از:

- مواد افزودنی پادسایش: این مواد مانع سایش قطعات فلزی در تماس با یکدیگر می‌شوند.

- مواد افزودنی پاداکسایش: این مواد رادیکال‌هایی که در اثر تنش‌های گرمایی و مکانیکی در هیدروکربن به‌وجود می‌آید را به‌دام می‌اندازد و مانع از اکسیدشدن روغن و در نتیجه تولید اسیدهای آلی می‌شوند.

- مواد پادخوردگی و پادزنگ: موادی هستند که مانع خوردگی یاتاقان‌ها از جنس مس، سرب و آهن می‌شوند. این مواد با خنثی‌کردن اسیدهای آلی و جلوگیری از رسیدن رطوبت به سطوح فلزی موجب کاهش زنگ‌زدگی و خوردگی می‌شوند.

- بهبوددهنده اصطکاک: این گروه از مواد موجب کاهش اصطکاک درونی سیال و درنتیجه کم‌شدن اصطکاک می‌شوند و مصرف سوخت نیز کاهش می‌یابد.

- مواد پادکف: این مواد به‌دلیل تأثیر روی کشش سطحی روغن و کم‌کردن آن موجب آزادشدن هوای حبس‌شده در روغن می‌شوند و به‌صورت سیلیکونی یا غیرسیلیکونی هستند.

بخش تجربی

مواد و دستگاه‌ها

مواد مصرفی شامل متیل‌ایمیدازول، برومودکان، بروموهگزادکان، استونیتریل، اتیل استات، منیزیم سولفات، بیس(تری‌فلورومتیل‌سولفونیل)آمیدوتریس(تترافلورواتیل)تری‌فلور و فسفات، از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. نمونه‌های تهیه‌شده با دستگاه‌های طیف‌سنج NMR، ساخت Bruker با فرکانس 300 MHz و حلال $DMSO\text{-}D^{6}$ و یا D_2O در حضور شاهد TMS و طیف‌سنج FTIR مدل Nicolet800 بررسی شدند. برای طیف FTIR نمونه‌های جامد به صورت قرص جامد KBr (۵ ٪) و مایع‌های یونی به‌صورت فیلم نازک از نمونه بر قرص KBr تهیه شدند. برای بررسی رفتار تریبولوژی مایع-های یونی تهیه‌شده به‌عنوان مواد افزودنی روغن هیدرولیک، دستگاه‌های آزمون خوردگی مدل TAMSON(PMT) ساخت انگلستان برپایه استاندارد ASTM D130، آزمون چهار ساچمه (4-Ball) با دستگاه مدل STANHOPE-SETA ساخت انگلستان برپایه استاندارد ASTM D2596، آزمون جداشدن آب از روغن با دستگاه مدل SCVAVINI ساخت کشور ایتالیا برپایه استاندارد ASTM D1401، آزمون آزاد سازی هوا از روغن با دستگاه مدل STANHOPE-SETA ساخت کشور انگلستان برپایه استاندارد ASTM D3427 و آزمون خاکستر سولفاته با دستگاه مدل STANHOPE-SETA ساخت انگلستان برپایه استاندارد ASTM D874، آزمون اسیدینگی[1] با دستگاه مدل METROHM ساخت سوئیس برپایه استاندارد ASTM D664، و آزمون گران‌روی با دستگاه مدل SVM

1. Acidity

3001 ساخت آلمان برپایه استاندارد ASTM D445 به‌کارگرفته شدند.

تهیه مایع‌های یونی پایه کاتیون ایمیدازولیم

مایع‌های یونی تهیه‌شده در این کار پس از تهیه واکنشگرها و تجهیزات مورد نظر در طی دو مرحله کلی تهیه کاتیون ایمیدازولیم و تبدیل آن به نمک یا جفت‌یون اولیه و در پایان تعویض آنیون (تعویض آنیون هالید با آنیون FAP و TFSA) تهیه شدند. لازم به ذکر است که گاهی هریک از این مراحل برای تهیه ترکیب موردنظر در چند مرحله انجام می‌شدند.

تهیه ۱–دسیل–۳–متیل‌ایمیدازولیم برمید

به یک بالن سه‌دهانه ۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۵/۰۵ گرم (معادل ۰/۰۶۱ مول) از ۱–متیل‌ایمیدازول، مقدار ۱۷/۶۸ گرم (معادل ۰/۰۸ مول) از ۱–برمودکان افزوده شد. به مخلوط واکنش ۳/۵ میلی‌لیتر از حلال استونیتریل نیز افزوده شد. مخلوط واکنش در شرایط اتمسفر بی‌اثر (گاز نیتروژن) برای ۱۲ ساعت و در دمای ۱۵۰ °C همزده شد. پس از خنک‌شدن محتویات بالن، مایع یونی ۱–دسیل–۳–متیل‌ایمیدازولیم برمید با ۸ میلی‌لیتر استونیتریل و ۳۰ میلی‌لیتر اتیل الکل خشک شسته شد تا واکنشگرهای واکنش نداده احتمالی از مخلوط واکنش جدا شوند. در پایان حلال موجود در ظرف واکنش در تبخیرکننده چرخان تبخیر شد و مایع یونی با بازده ۸۵ درصد به‌دست آمد [۱۳].

*تهیه مایع یونی ۱–دسیل –۳–متیل ایمیدازولیم بیس (تری‌فلورومتان‌سولفونیل‌آمید) (**IL-1**):*

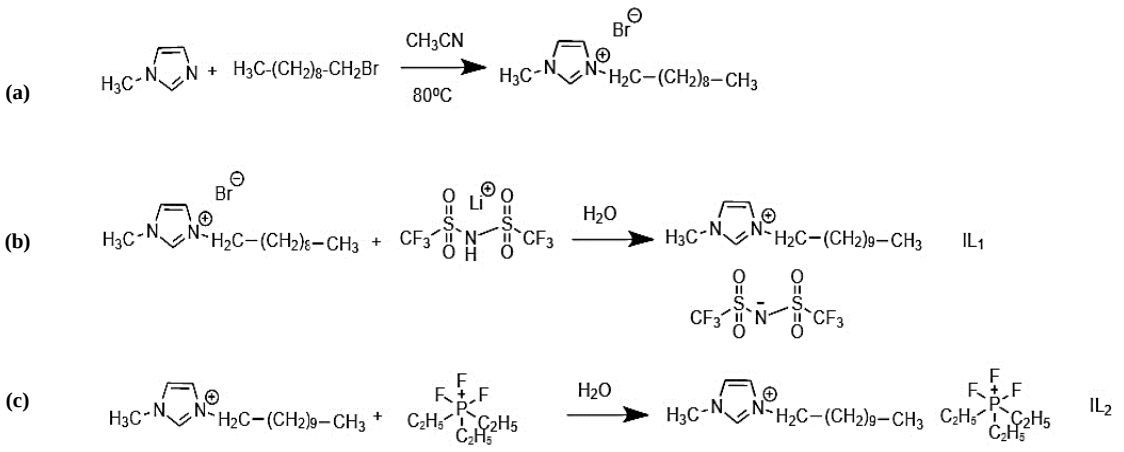
به یک بالن سه‌دهانه ۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۳/۸۶ گرم (معادل ۰/۰۱۷ مول) از ۱–دسیل–۳–متیل‌ایمیدازولیم، مقدار ۵/۵۲ گرم (معادل ۰/۰۱۷ مول) از تریس(تترافلورواتیل)تری‌فلورو فسفات افزوده شد. به مخلوط واکنش ۷ میلی‌لیتر آب مقطر نیز افزوده شد. مخلوط واکنش در شرایط اتمسفر بی اثر (گاز نیتروژن) در دمای محیط به‌مدت ۲ ساعت هم‌زده شد. پس از تبخیر آب با دستگاه تبخیرکننده چرخان، مقدار ۳/۲ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان و ۱/۲ گرم منیزیم سولفات به ظرف واکنش افزوده و مخلوط واکنش برای یک ساعت راکد نگه‌داشته شد. پس از صاف‌شدن، در دمای ۳۰ °C حلال موجود در بالن تبخیر شد و مایع زرد رنگ گران‌رو با بازده ۸۶ درصد به‌دست آمد [۱۴].

*تهیه مایع یونی ۱–دسیل–۳–متیل‌ایمیدازولیم تریس (تترافلورواتیل) تری فلورو فسفات (**IL-2**):*

به یک بالن سه‌دهانه ۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۳/۸۶ گرم (معادل ۰/۰۱۷ مول) از ۱–دسیل–۳–متیل‌ایمیدازولیم، ۸/۲۲ گرم (معادل ۰/۰۱۷ مول) از تریس(تترافلورواتیل)تری‌فلورو فسفات افزوده شد. به مخلوط واکنش ۷ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد. مخلوط واکنش در شرایط اتمسفر بی اثر (گاز نیتروژن) در دمای محیط به‌مدت ۲ ساعت هم‌زده شد. پس از تبخیر آب با دستگاه تبخیرکننده چرخان، ۳ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان و ۱/۲ گرم منیزیم سولفات به ظرف واکنش افزوده شد و برای یک ساعت مخلوط واکنش راکد نگه‌داشته شد. پس از آن در دمای ۳۰ °C حلال موجود در بالن تبخیر شد و مایع زرد رنگ گران‌رو با بازده ۸۵ درصد به‌دست آمد [۱۵].

نتیجه‌ها و بحث

ساختار مولکولی همه ترکیب‌های تهیه‌شده در این پژوهش، در نشان داده شده است.



شکل ۲ مراحل کلی تهیه مایع‌های یونی پایه کاتیون ایمیدازولیم

شناسایی مایع‌های یونی تهیه‌شده

مایع‌های یونی تهیه‌شده با روش‌های H-NMR و FTIR بررسی شدند. نوار گستره ۳۱۲۲ تا cm^{-1} ۳۴۴۲ نشان‌دهنده حلقه ایمیدازول و نوار ناحیه cm^{-1} ۱۵۷۲ مربوط به پیوند کششی C=C حلقه ایمیدازول و جذب cm^{-1} ۱۳۰۹ مربوط به حالت ارتعاشی C-N است. نوارهای جذب‌شده در گستره‌های ۱۲۶۹ تا cm^{-1} ۱۳۵۲ و ۱۱۹۴ تا cm^{-1} ۱۲۶۹ نشان‌دهنده TFSA و FAP هستند. داده‌های طیفی نمونه‌ها در زیر ارایه شده‌اند:

داده‌های طیفی مایع یونی ۱-دسیل-۳-متیل ایمیدازولیم برمید:

FTIR (KBr, v/cm^{-1}): 3442 (imidazole ring), 3145 (CH aromatic), 2936 (CH alkane), 1572 (C=C aromatic), 1465 (CH alkane), 1309 (C-N aromatic), 1169 (CH_2X alkyl halide), 622 (C-Br); ^{1}H NMR ((DMSO), δ (ppm)): 9.47 (1H, s, N-CH-N), 7.8 (1H, s, CH, imidazolium ring), 7.79 (1H, s, CH, imidazolum ring), 4.32 (2H, t, N-CH_2), 3.85 (3H, s, CH_3), 3.65 (2H, t, CH_2-Br), 2.27 ppm (6H, m, -CH_2-CH_2-CH_2).

داده‌های طیفی مایع یونی ۱-دسیل-۳-متیل ایمیدازولیم بیس(تری‌فلورومتان‌سولفونیل آمید):

FTIR (KBr, v/ cm^{-1}): 3151- 3116 (Ar-H), 2936, 2864 (CH_2), 1566 (C=C), 1352 [(SO_2)]; ^{1}H NMR ((DMSO-D^6), δ (ppm)): 9.52 (1H, s, N-CH-N), 7.89 (1H, s, CH, imidazolium ring), 7.79 (1H, s, CH, imidazolium ring), 4.5 (2H, t, N-CH_2), 3.89 (3H, s, CH_3), 2.32 (2H, m, -CH_2- CH_2- CH_2).

داده های طیفی مایع یونی ۱-دسیل-۳متیل ایمیدازولیم تریس(تترافلورواتیل)تری‌فلورو فسفات:

FTIR (KBr, v/cm^{-1}): 3442 (imidazole ring), 3145 (CH aromatic), 2936 (CH alkane), 1572 (C=C aromatic), 1465 (CH alkane), 1309 (C-N aromatic); ^{1}H NMR ((DMSO), δ(ppm)): 9.56 (1H, s, N-CH-N), 7.82 (1H, s, CH, imidazolium ring), 7.80 (1H, s, CH, imidazolum ring), 4.55 (2H, t, N-CH_2), 3.87 (3H, s, CH_3), 2.38 (2H, m, -CH_2-CH_2-CH_2).

فرمولاسیون روغن‌ها

برای ساخت روغن هیدرولیک از روغن پایه ISO ۳۲ استفاده شد که ویژگی‌های آن در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲ ویژگی‌های روغن پایه ISO۳۲

ویژگی‌ها	نتیجه‌ها
گران‌روی در ۱۰۰ °C (سانتی استوک)	۵/۴۸
گران‌روی در ۴۰ °C (سانتی استوک)	۳۳/۴
شاخص گران‌روی	۹۹
نقطه اشتعال (°C)	۲۰۰
نقطه ریزش (°C)	−۱۲
جداشدن آب از روغن برحسب دقیقه	۴۰–۳۷–۳ در ۵ دقیقه
اسیدینگی (میلی‌گرم پتاسیم هیدروکسید بر گرم نمونه)	۰/۱

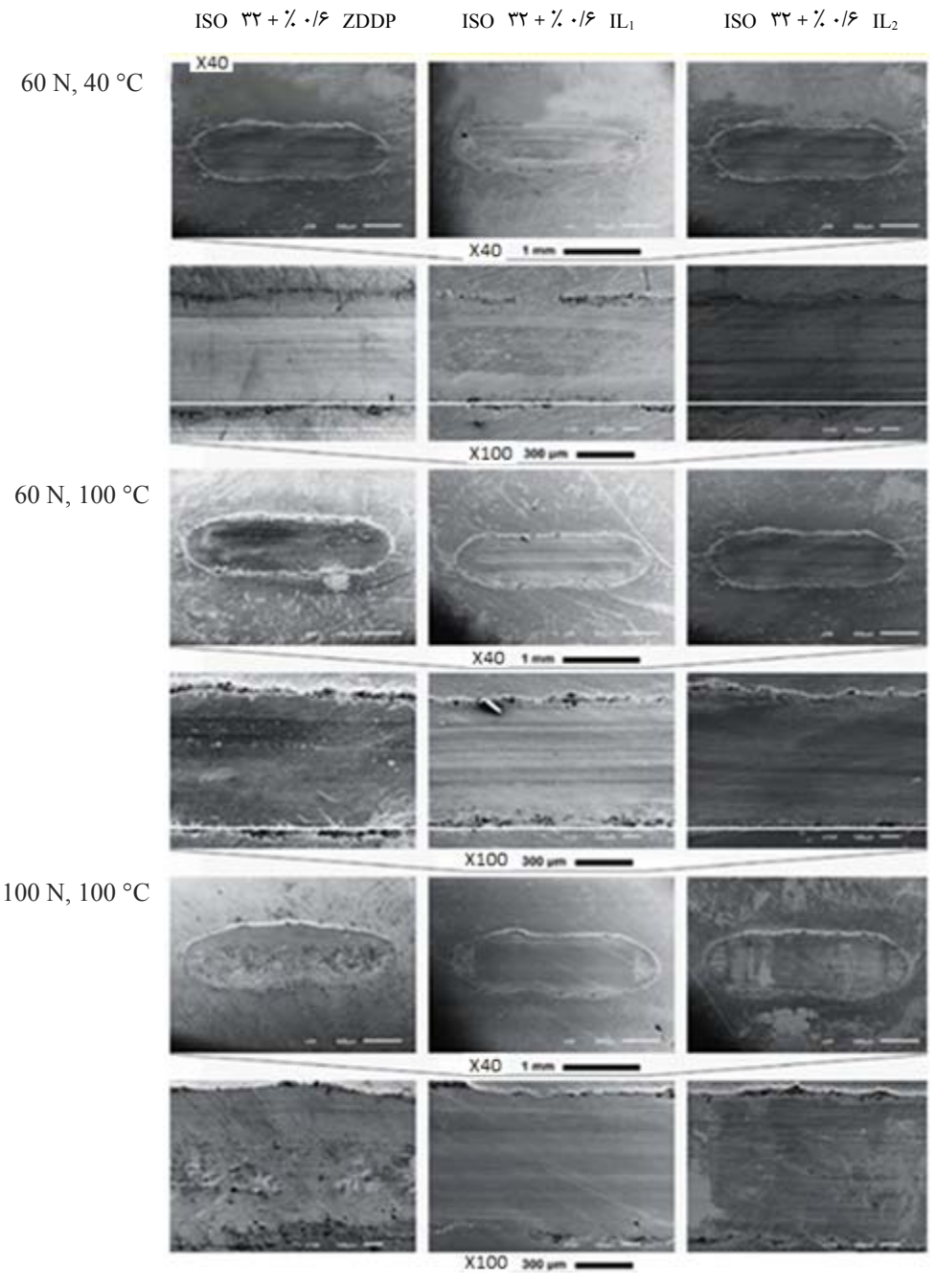
برای ساخت روغن هیدرولیک مطابق فرمولاسیون متداول در شرکت‌های روغن‌ساز از روغن پایه و میزان ۰/۶ درصد از مواد افزودنی استفاده شد. مایع یونی ساخته‌شده به مقدار ۰/۶ درصد وزنی به روغن پایه افزوده شد و ویژگی‌های روانکاری آن‌ها در مقایسه با روغن پایه اولیه و ZDDP اندازه‌گیری شد که نتیجه‌های آن در جدول ۳ شامل روغن پایه و روغن هیدرولیک با استفاده از IL_2، IL_1 و ZDDP نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ویژگی‌های روانکاری روغن هیدرولیک حاوی مایع‌های یونی تهیه‌شده به مراتب بهتر از افزودنی ZDDP و روغن پایه بدون افزودنی است [۱۶]. نتایج تحمل بار برای روغن هیدرولیک ساخته‌شده با استفاده از مایع‌های یونی ۲۰۰ کیلوگرم است درصورتی‌که برای روغن پایه و روغن هیدرولیک ساخته‌شده با ZDDP به ترتیب ۱۲۰ کیلوگرم و ۱۶۰ کیلوگرم است. عدد اسیدینگی در مقایسه با ZDDP کمتر است که شرایط خوردگی کمتری را به دنبال دارد و مدت جداشدن آب از روغن نیز در روغن‌های هیدرولیک ساخته‌شده با مایع یونی کمتر از ZDDP است. میزان خاکستر سولفاته مایع‌های یونی تهیه‌شده به میزان ۰/۰۱ درصد هست درصورتی‌که میزان خاکستر ZDDP چهار برابر بیشتر است (۰/۰۴درصد). هر چقدر میزان خاکستر کمتر باشد کیفیت روغن بهتر است [۱۷].

تجزیه سطحی

برای انجام آزمون چهارساچمه نمونه‌ها با ۰/۶ درصد وزنی مایع یونی برپایه فرمولاسیون روغن‌های هیدرولیک با روغن پایه ISO ۳۲ مخلوط و وزن هر کدام از نمونه‌ها به ۱۰۰ گرم رسانده شد. همین عملیات برای ZDDP به‌عنوان افزودنی رایج یا مرجع نیز انجام گرفت. پس از آماده‌سازی نمونه روغن‌های هیدرولیک، آزمایش چهارساچمه بر سه نمونه روغن ساخته‌شده انجام‌گرفت. در این آزمون ساچمه‌های روغنکاری‌شده تحت نیروها و زمان‌های متفاوت قرارگرفته و سایش آن‌ها با میکروسکوپ الکترونی بررسی شد (شکل ۳). با توجه به نتیجه‌های به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که مقدار سایش بر سطح، در حضور فراورده افزودنی مایع‌های یونی تهیه‌شده بسیار کمتر از زمانی است که ZDDP در فرمولاسیون روغن هیدرولیک به‌کاررفته است. مایع‌های یونی بخاطر داشتن ویژگی‌های قطبی و فشارپذیری بالا یک لایه مقاوم بر سطح ایجاد می‌کنند. این لایه تا اندازه زیادی از خوردگی و سایش سطح جلوگیری می‌کند. همچنین، در بالاترین بزرگ نمایی می‌توان مشاهده کرد که افزودنی تهیه‌شده تحت عنوان IL_1 و IL_2 در مقایسه با ZDDP موجب کاهش شدت سایش می‌شود [۱۸ و ۱۹].

جدول ۳ ویژگی‌های روانکاری اندازه‌گیری‌شده روغن پایه و روغن هیدرولیک

نام آزمون	استاندارد	ISO ۳۲	ISO ۳۲ + IL_1 (٪ ۰/٦)	ISO ۳۲ + IL_2 (٪ ۰/٦)	ISO ۳۲ + ZDDP (٪ ۰/٦)
گران‌روی در ٤٠ °C (سانتی استوک)	ASTM D445	۳۳/۲۴	۳۳/۴۲	۳۳/۵۴	۳۳/۳
خوردگی مس	ASTM D130	۱a	۱a	۱a	۱a
عدد اسیدی (میلی‌گرم پتاسیم هیدروکسید بر گرم نمونه)	ASTM D664	۰/۱	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۳۰
قابلیت جدایش از آب (دقیقه)	ASTM D1401	۳–۳۷–۴۰ ۶ دقیقه	۳–۳۷–۴۰ ۷ دقیقه	۳–۳۷–۴۰ ۱۰ دقیقه	۳–۳۷–۴۰ ۵ دقیقه
زمان آزادسازی هوا از روغن (دقیقه)	ASTM D3427	۵	۷	۶	۱۰
خاکستر سولفاته (درصد وزنی)	ASTM D874	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۱
چهارساچمه (کیلوگرم)	ASTM D2596	۱۲۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۶۰



شکل ۳ میزان سایش سطوح روانکاری در حضور افزودنی‌های متفاوت

نتیجه‌گیری

در این مقاله دو ترکیب مایع یونی به‌عنوان افزودنی روانکار تهیه شد. سپس مایع‌های یونی تهیه‌شده در فرمولاسیون روغن هیدرولیک با روغن پایه ISO ۳۲ به‌کار برده شدند. ویژگی‌های روانکاری روغن‌ها اندازه‌گیری شد. روغن هیدرولیک‌های فرموله‌شده با مایع‌های یونی ویژگی‌های تریبولوژیک به مراتب بهتری از روغن هیدرولیک فرموله‌شده با افزودنی متداول ZDDP از خود نشان دادند. مایع‌های یونی افزون‌بر اینکه افزودنی‌های بهتری برای روانکارها هستند، برای تجزیه‌پذیری نیز آثار سوء محیطزیستی کمتری دارند. لازم به ذکر است بیشتر پژوهش‌ها که در این زمینه گزارش شده مربوط به روغن‌های موتوری و گریس است. این پژوهش جزء نخستین کارهای پژوهشی روغن هیدرولیک است که دستاوردی جدید برای صنعت روغن است و قابل‌استفاده برای روغن‌های توربین نیز است.

مراجع

[1] Marques, P.M.T.; Fernandes, C.M.C.G.; Martins, R.C.; Seabra, J.H.O.; Tribol. Int. 71, 7–16, 2014.

[2] Fernandes, C.M.C.G.; Martins, R.C.; Seabra, J.H.O.; Tribol. Int. 70, 83–93, 2014.

[3] Fernandes, C.M.C.G.; Martins, R.C.; Seabra, J.H.O.; Tribol. Int. 58, 47–54, 2013.

[4] Fernandes, C.M.C.G.; Martins, R.C.; Seabra, J.H.O.; Tribol. Int. 59, 121–128, 2013.

[5] Fernandes, C.M.C.G., Amaro, P.M.P.; Martins, R.C.; Seabra, J.H.O.; Tribol. Int. 66, 194–202, 2013.

[6] Fernandes, C.M.C.G., Amaro, P.M.P.; Martins,,R.C.; Seabra, J.H.O.; Tribol. Int. 67, 72–80, 2013.

[7] Totolin, V.; Minami, I.; Gabler, Ch.; Dörr, N.; Tribol. Int. 67, 191–198, 2013.

[8] Stolte, S.; Steudte, S.; Areitioaurtena, O.; Pagano, F.; Thöming, J.; Stepnowski, P.; Igartua, A.; Chemosphere 89, 1135–1141, 2013.

[9] Ye, C.F.; Liu, W.M.; Chen, Y.X.; Yu, L.G.; Chem. Commun. 10, 2244–2245, 2001.

[10] Kamimura, H.; Kubo, T.; Minami, I.; Mori, S.; Tribol. Int. 40, 620–625, 2007.

[11] Fareghi Alamdari, A.; Ghorbani Zamani, F.; Journal of Energetic Materials 10(2), 13-23, 2015.

[12] Jimenez, A.E.; Bermudez, M.D.; Tribol. Lett. 37, 431–443, 2010.

[13] Viesca, J.L.; Garcia, A.; Battez, A.H.; Gonzalez, R.; Monge, R.; Fernandez-Gonzalez, A.; Hadfield, M.; Tribol Lett. 52, 431-437, 2013.

[14] Jimenez, A.E.; Bermudez, M.D.; Wear 265, 787–798, 2008.

[15] Hamrock, B.J.; Schmid, S.R.; Jacobson, B.O.; "Fundametals of Fluid Film Lubrication, 2nd Ed.", CRC Press, USA, 2004.

[16] Dowson, D.; in "History of Tribology", 2nd Ed., Wiley, USA, 1998.

[17] Rudnick, L.R. (Editor); "Lubricant Additives: Chemistry and Applications", 2nd Ed., CRC Press, USA, 2009.

[18] Jost, H.P.; "Lubrication: Tribology, Education and Research, Report on the Present Position and Industry's Needs (submitted to the Department of Education and Science by the Lubrication Engineering and Research) Working Group", Her Majesty's Stationery Office, London, 1966.

[19] Minami, I.; Molecules, 14(6), 2286-2305, 2009.

Synthesis and study of tribological properties of ionic liquids as an ash-free additive package in hydraulic oils

Shahriar Keshavarz[1,*], Mohammad Reza Naimi-Jamal[2,*], Mohammad G. Dekamin[2]

1. PhD student in Department of Chemistry, Department of Chemistry, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
2. Professor of Organic Chemistry, Department of Chemistry, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Abstract: Because of ever-increasing demand for the use of biodegradable lubricants and additives, it is necessary to design and synthesize new additives. In the present study, two ionic liquids with imidazole cations were synthesized and characterized by ^{1}H NMR and FTIR spectra. The use of ionic liquids based on the imidazolium cation and anion bis(trifluoromethylsulfonyl)amide (TFSA) and tris(tetrafluoroethyl)trifluorophosphate (FAP) has been investigated. These additives are known to be green additives as these compounds lack zinc, an element prohibited by environmental protection organizations. These materials were used as an additive to ISO 32 grade hydraulic oil. Their lubricating properties, such as cinematic viscosity at 40 °C, copper corrosion, 4-ball weld point test, sulfated ash, oil/water separating test, and air release from oil were examined, which showed better results than the ordinary additive zinc dialkyldithiophosphate (ZDDP).

Keywords: Ionic liquids, Hydraulic oil, Tribological properties, Anti-rust additive, Anti-wear additive

*** Corresponding author Email:**
naimi@iust.ac.ir
& s.keshavarzi@foumanchimie.com