JARC

*علمی-پژوهشی*

# تاثیر دما و فشار بر گران‌روی روان‌سازهای پلی‌اُل‌استری آلیفاتیک

**سارا گلابوند[۱] و مرتضی زارع[۲و*]**

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد شیمی فیزیک، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲. استادیار شیمی فیزیک، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

دریافت: مرداد ۹۹ بازنگری: بهمن ۹۹ پذیرش: بهمن ۹۹

## چکیده

یکی از مهم‌ترین ویژگی روان‌سازها که نقش مهمی در فرایندهای گرما و انتقال جرم دارد، گران‌روی است. بررسی وابستگی فشاری و دمایی گران‌روی روان‌سازها برای بسیاری از کاربردهای صنعتی لازم است. در این پژوهش، برای بررسی وابستگی فشاری و دمایی گران‌روی روان‌سازهای تهیه‌شده شامل پلی‌اُل‌استرهای آلیفاتیک، داده‌های گران‌روی قابل‌دسترس در گزارش‌های علمی در گستره وسیعی از فشار و دما مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر تجربی با دو معادله خطی به‌صورت تابعی از فشار و دما توصیف شده‌اند. این معادله‌های خطی، ساده و دقیق امکان برون‌یابی قابل اعتماد داده‌های گران‌روی برای روان‌سازهای مورد مطالعه را فراهم می‌کنند. افزون‌براین‌ها، معادله‌ای که در سال‌های اخیر برای نشان‌دادن وابستگی همزمان گران‌روی به دما و فشار برای مایع‌های یونی پیشنهاد شده بود، برای روان‌سازها به‌کارگرفته و نشان داده شد که همبستگی مناسبی با داده‌های تجربی دارند.

**واژه‌های کلیدی:** پلی‌اُل‌استرهای آلیفاتیک، روان‌سازها، گران‌روی، وابستگی فشار و دما

## مقدمه

روان‌سازها موادی هستند که یک لایه نازک روغنی بین سطح‌های در حال تماس ایجاد می‌کنند و با کاهش اصطکاک و سایش، موجب تسهیل حرکت نسبی سطح‌ها می‌شوند [۱]. افزون‌براین هدف اصلی، روان‌سازها موجب جلوگیری از خوردگی، انتقال گرما، انتقال قدرت و حذف ذره‌های به‌دست آمده از سایش می‌شوند [۲]. یک روان‌ساز مناسب بایستی نقطه انجماد پایین و نقطه جوش زیاد داشته باشد تا در گستره دمایی زیاد، به صورت مایع باشد. همچنین، پایداری هیدرولیکی بالا، پایداری گرمایی بالا و مقاومت بالا در برابر اکسایش و خوردگی از ویژگی‌های دیگر آن‌ها است [۳].

در اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی استرهای بسپاری نخستین فراورده‌ها تجاری بازار بودند. روان‌سازهای پلی‌اُل‌استری از نظر زیست‌محیطی مطلوب است و می‌توان آن‌ها را از منابع تجدیدپذیر تهیه کرد. از طرفی این ترکیب‌ها زیست‌تخریب-پذیر هستند و به‌طور عمده در سامانه‌های خنک‌کننده استفاده می‌شوند. پنتااریتریتول‌استرها مولکول‌های پیچیده و قطبی دارند. پنتااریتریتول‌تراآلکیل‌استرها چهارشاخه و نسبت به سایر استرها بسیار محکم و سخت هستند. این ویژگی مربوط

* **عهده‌دار مکاتبات:** m.zare@scu.ac.ir & zare.su@gmail.com

به ساختار مولکولی و ویژگی فیزیکی (چگالی، گران‌روی و دمای انتقال شیشه‌ای) آن‌ها است [۴].

گران‌روی یک فاکتور قابل‌توجه در تعیین عملکرد و عمر فرسودگی یاتاقان و چرخ‌دنده است. انرژی مورد نیاز یک دستگاه کمپرسور را می‌توان با کاهش گران‌روی روان‌ساز کاهش داد. برای محاسبه‌های بازده انرژی به‌دست آمده با روان‌سازهای جدید، آگاهی از تابعیت دمایی و فشاری گران‌روی لازم است، بنابراین، اندازه‌گیری‌های تجربی گران‌روی و تحلیل توانایی مدل‌های مهندسی برای توصیف رفتار گران‌روی روان‌سازها بسیار اهمیت دارد [۴ تا ۷].

در کار حاضر، گران‌روی به‌عنوان یک ویژگی انتقالی مهم در روان‌سازهای تهیه‌شده پلی‌اُل‌استر مطالعه شد. برای توصیف وابستگی گران‌روی به دما در فشار ثابت، معادله سبک‌روی بررسی شد. سپس داده‌های گران‌روی در فشار بالا، برای توصیف وابستگی فشاری گران‌روی در شرایط هم‌دما به‌کار گرفته شد. همچنین، از معادله‌ای، که در سال‌های اخیر با گروه پژوهشی ما برای مایع‌های یونی پیشنهاد شد، برای نخستین‌بار به منظور توصیف وابستگی همزمان گران‌روی روان‌سازها به دما و فشار استفاده شد.

## بخش تجربی

در سال ۲۰۱۰ قتی و همکارانش [۸ و ۹] وابستگی دمایی گران‌روی مایع‌های یونی برپایه ایمیدازولیم، پیریدینیم، پیرولیدینیم، آمونیم چهارتایی و نیکوتینیم را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که مایع‌های یونی رفتار غیر آرنیوسی از خود نشان می‌دهند. آن‌ها سبک‌روی[1] (عکس گران‌روی) را به‌عنوان تابعی از دما بررسی کردند و معادله ۱ را برای توصیف وابستگی دمایی گران‌روی پیشنهاد کردند.

$$(1/\eta)^{\phi} = a + bT \qquad (۱)$$

که در معادله ۱، $a$ و $b$ ثابت‌های وابسته به مواد و $\phi$ توان مشخصه است. این معادله سه عاملی وابستگی گران‌روی به دما را برای گستره وسیعی از مایع‌های یونی با صحت بالا توصیف می‌کند. معادله ۱ به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌عنوان یک معادله دو عاملی با یک توان جهانی ($\phi$ ۰/۳) =استفاده شده است [۸ تا ۱۲]. در این‌جا، برای نخستین بار، امکان استفاده از معادله ۱ برای توصیف وابستگی دمایی گران‌روی روان‌سازهای تهیه‌شده، در فشار ثابت، بررسی می‌شود.

گران‌روی مایع‌های یونی با افزایش فشار به‌صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. بر مبنای این رفتار، در سال‌های اخیر معادله‌ای برای توصیف وابستگی گران‌روی مایع‌های یونی به فشار ارایه شد [۱۳].

$$\eta^{\phi} = A + BP \qquad (۲)$$

که در آن $A$ و $B$ ثابت‌های برازش و $\phi$ توان مشخصه است. این معادله سه عاملی وابستگی گران‌روی به فشار را برای گستره وسیعی از مایع‌های یونی با درستی بالا توصیف می‌کند. معادله ۲ به‌طور موفقیت‌آمیزی به‌عنوان یک معادله دو عاملی با یک توان جهانی ($\phi$ = ۰/۳) استفاده شده است. در این پژوهش، برای نخستین بار، امکان استفاده از معادله ۲ برای توصیف وابستگی فشاری گران‌روی روان‌سازهای تهیه‌شده، در دمای ثابت، بررسی شد.

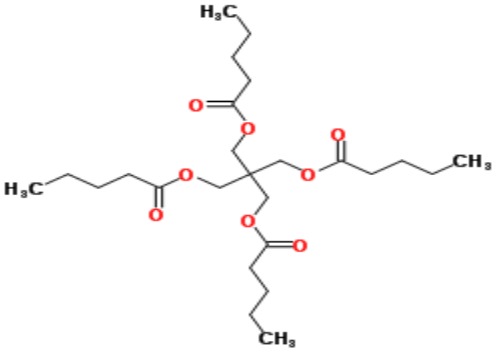
برای ارزیابی توانایی معادله‌های به‌کار گرفته شده در بازتولید داده‌های تجربی، انحراف مطلق میانگین (AAD %) مورد استفاده قرار گرفت (معادله ۳).

$$\frac{AAD}{\%} = 100 \times \frac{1}{N}\sum_{N}\left|\eta_{\text{expt.}} - \eta_{\text{calc.}}/\eta_{\text{expt.}}\right| \qquad (۳)$$

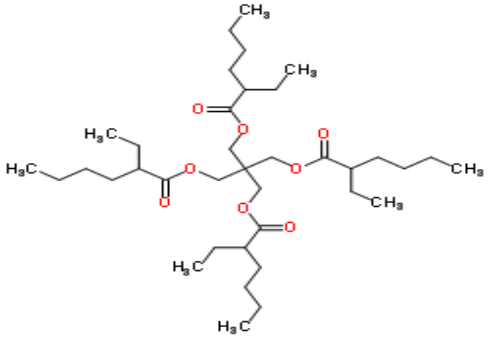
1. Fluidity

که در اینجا $\eta_{expt}$ گران‌روی تجربی و $\eta_{calc}$ گران‌روی به‌دست آمده از معادله‌های ۱ و یا ۲ است. برای دست‌یابی به داده‌های تجربی گران‌رویT روان‌سازهای تهیه‌شده پلی‌اُل‌استرهای آلیفاتیک، در دماها و فشارهای متفاوت، جست‌وجوی کامل در پژوهش‌های معتبر صورت گرفت.

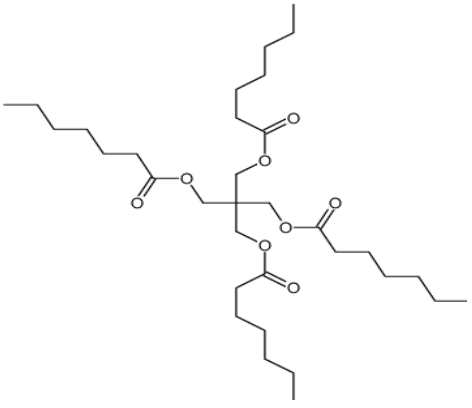
اندازه‌گیری گران‌روی برای این ترکیب‌ها در دامنه‌های متفاوت دمایی و فشاری انجام شده است. نام شیمیایی، نام اختصاری، فرمول شیمیایی، نام آیوپاک، و منابع مورد استفاده ترکیب‌های مورد بررسی در جدول ۱ فهرست شده و طرحواره ساختار شیمیایی آن‌ها نیز در شکل ۱ آمده است.



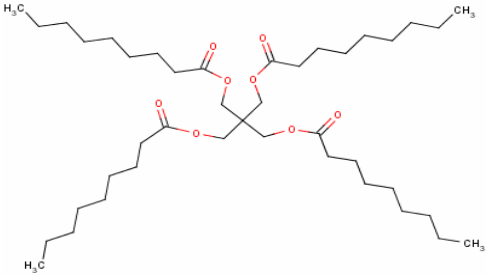
PEC5



PEB8



PEC7



PEC9

شکل ۱ طرحواره ساختار شیمیایی روان‌سازهای تهیه‌شده موردمطالعه

جدول ۱ نام شیمیایی، نام اختصاری و آیوپاک به همراه فرمول شیمیایی روان‌سازهای تهیه‌شده موردمطالعه

| مرجع | نام اختصاری | نام ترکیب | فرمول | نام آیوپاک |
|---|---|---|---|---|
| [۵] | PEB8 | pentaerythritol tetra-2-ethylhexanoate | $C_{37}H_{68}O_8$ | [3-(2-ethylhexanoyloxy)-2,2-bis(2-ethylhexanoyloxymethyl)propyl] 2-ethylhexanoate |
| [۴] | PEC5 | pentaerythritol tetrapentanoate | $C_{25}H_{44}O_8$ | 3-(Pentanoyloxy)-2,2bis[(pentanoyloxy)methyl]propyl valerate |
| [۴] | PEC7 | pentaerythritol tetraheptanoate | $C_{33}H_{60}O_8$ | [3-heptanoyloxy-2,2-bis(heptanoyloxymethyl)propyl] heptanoate |
| [۵] | PEC9 | pentaerythritol tetranonanoate | $C_{41}H_{76}O_8$ | [3-nonanoyloxy-2,2-bis(nonanoyloxymethyl)propyl] nonanoate |

## نتیجه‌ها و بحث

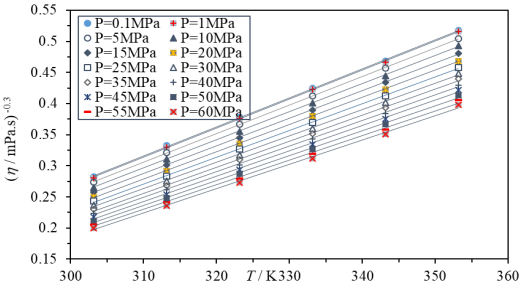
*مطالعه وابستگی گران‌روی به دما*

وابستگی به دما گران‌روی پلی‌اُل‌استرهای آلیفاتیک شامل پنتااریتریتول تترا–۲–اتیل‌هگزانوآت (PEB8)، پنتااریتریتول‌تتراپنتانوآت (PEC5)، پنتااریتریتول‌تتراهپتانوآت (PEC7)، و پنتااریتریتول‌تترانونانوآت (PEC9) موردمطالعه قرار گرفت. رابطه گران‌روی پلی‌اُل‌استرهای آلیفاتیک با دما به‌صورت غیرخطی بوده و در یک فشار ثابت مطابق با انتظار، با افزایش دما گران‌روی کاهش می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که روند زیر بین گران‌روی کاهش می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که روند زیر بین گران‌روی روان‌سازهای پنتااریتریتول استری موردمطالعه برقرار است.

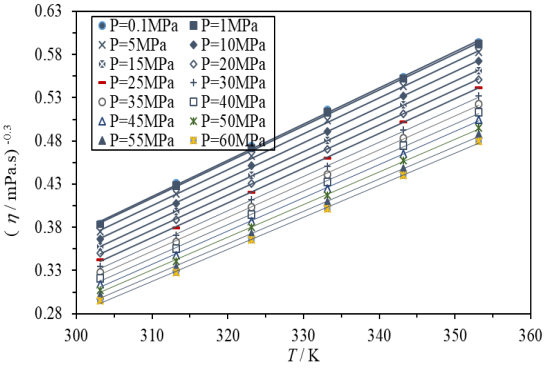
$$\eta\,(\mathrm{PEB8}) > \eta\,(\mathrm{PEC9}) > \eta\,(\mathrm{PEC7}) > \eta\,(\mathrm{PEC5})$$

که با افزایش اندازه مولکول و درجه شاخه‌دارشدن آن گران‌روی افزایش می‌یابد. با افزایش طول زنجیره، مولکول‌ها آزادی حرکت کمتری دارند و در نتیجه اصطکاک بیشتر شده و گران‌روی زیاد می‌شود.

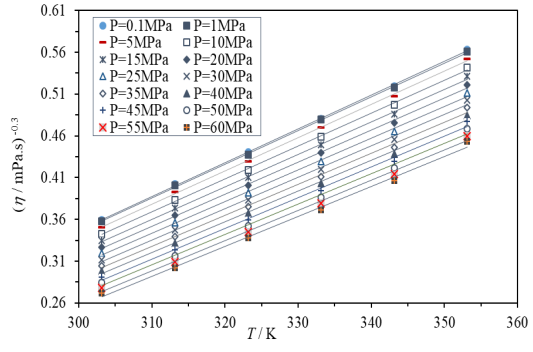
داده‌های مربوط به گران‌روی تجربی در دماهای متفاوت با معادله ۱ با مقدار ثابت $\phi$=۰٫۳ برازش شده است. نمودار مقادیر $\eta^{0.3}$ بر حسب دما برای PEB8، PEC5، PEC7 و PEC9 به ترتیب در شکل‌های ۲ تا ۵ رسم شده است. همان‌گونه که مشخص است، در هر چهار مورد $\eta^{-0.3}$ تابعی خطی از دما است.



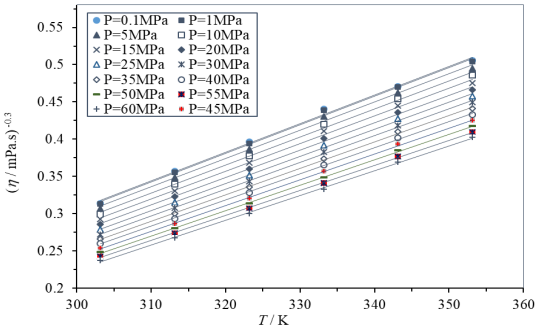

شکل ۲ نمودار $\eta^{-0.3}$ بر حسب $T$ برای PEB8 در فشارهای متفاوت




شکل ۳ نمودار $\eta^{-0.3}$ بر حسب $T$ برای PEC5 در فشارهای متفاوت




شکل ۴ نمودار $\eta^{-0.3}$ بر حسب $T$ برای PEC7 در فشارهای متفاوت

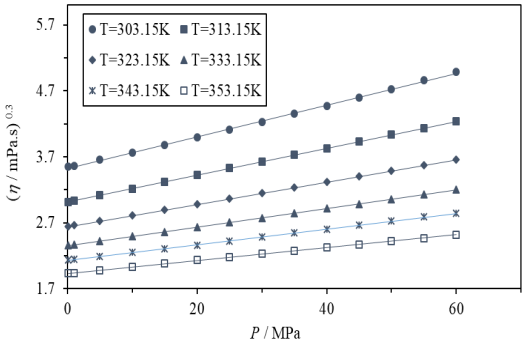



شکل ۵ نمودار $\eta^{-0.3}$ بر حسب $T$ برای PEC9 در فشارهای متفاوت

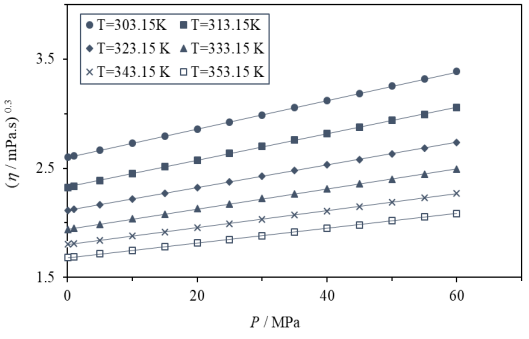
*مطالعه وابستگی گران‌روی به فشار*

وابستگی به فشار گران‌روی روان‌سازهای تهیه‌شده پلی‌اُل‌استری آلیفاتیک در دمای ثابت بررسی شد. تغییرهای گران‌روی این ترکیب‌ها با فشار، مطابق با انتظار به‌صورت

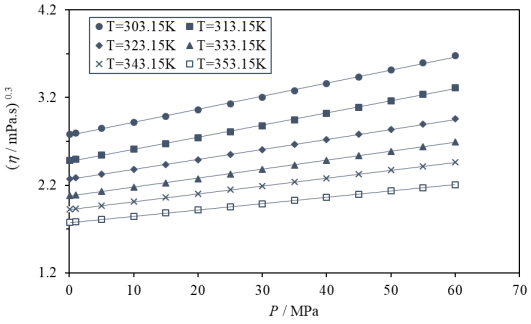
غیرخطی بود و در یک دمای ثابت با افزایش فشار، گران‌روی افزایش می‌یافت. داده‌های مربوط به گران‌روی تجربی در دماهای متفاوت با معادله ۲ با مقدار ثابت $\phi = ۰/۳$ برازش شد. نمودار مقادیر $\eta^{0.3}$ بر حسب فشار برای روان‌سازهای پلی‌اُل‌استری آلیفاتیک موردنظر، در شکل‌های ۶ تا ۹ رسم شده است. همان‌گونه که مشخص است، $\eta^{0.3}$ تابعی خطی از فشار است. دلیل این‌که با افزایش فشار، گران‌روی زیاد می‌شود این است که در اثر اعمال فشار بر مایع، حجم آزاد کاهش می‌یابد، برهم‌کنش بین مولکول‌ها بیشتر می‌شود و درنتیجه گران‌روی افزایش می‌یابد.



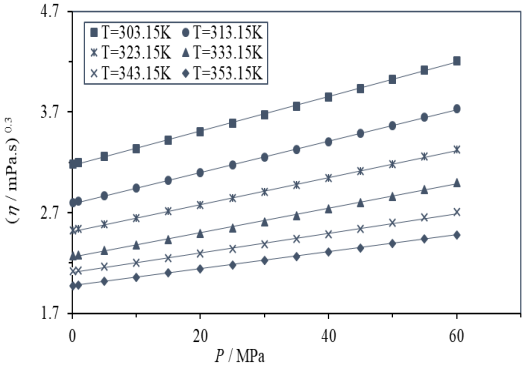

شکل ۶ نمودار تغییر $\eta^{0.3}$ بر حسب $P$ برای PEB8 در دماهای متفاوت




شکل ۷ نمودار تغییر $\eta^{0.3}$ بر حسب $P$ برای PEC5 در دماهای متفاوت




شکل ۸ نمودار تغییر $\eta^{0.3}$ بر حسب $P$ برای PEC7 در دماهای متفاوت




شکل ۹ نمودار تغییر $\eta^{0.3}$ بر حسب $P$ برای PEC9 در دماهای متفاوت

*مطالعه وابستگی هم‌زمان گران‌روی به دما و فشار*

در این بخش، هدف بررسی رفتار گران‌روی روان‌سازهای تهیه شده به‌عنوان تابع هم‌زمانی از دما و فشار است. در شرایط هم‌دما ضرایب معادله ۲ $\eta^{\phi} = A + BP$ یعنی $A$ و $B$ تابعی از دما خواهند بود. در سال‌های اخیر نشان داده‌ایم [۱۳] که برای مایع‌های یونی، $A$ و $B$ تابع مرتبه دومی از دما هستند.

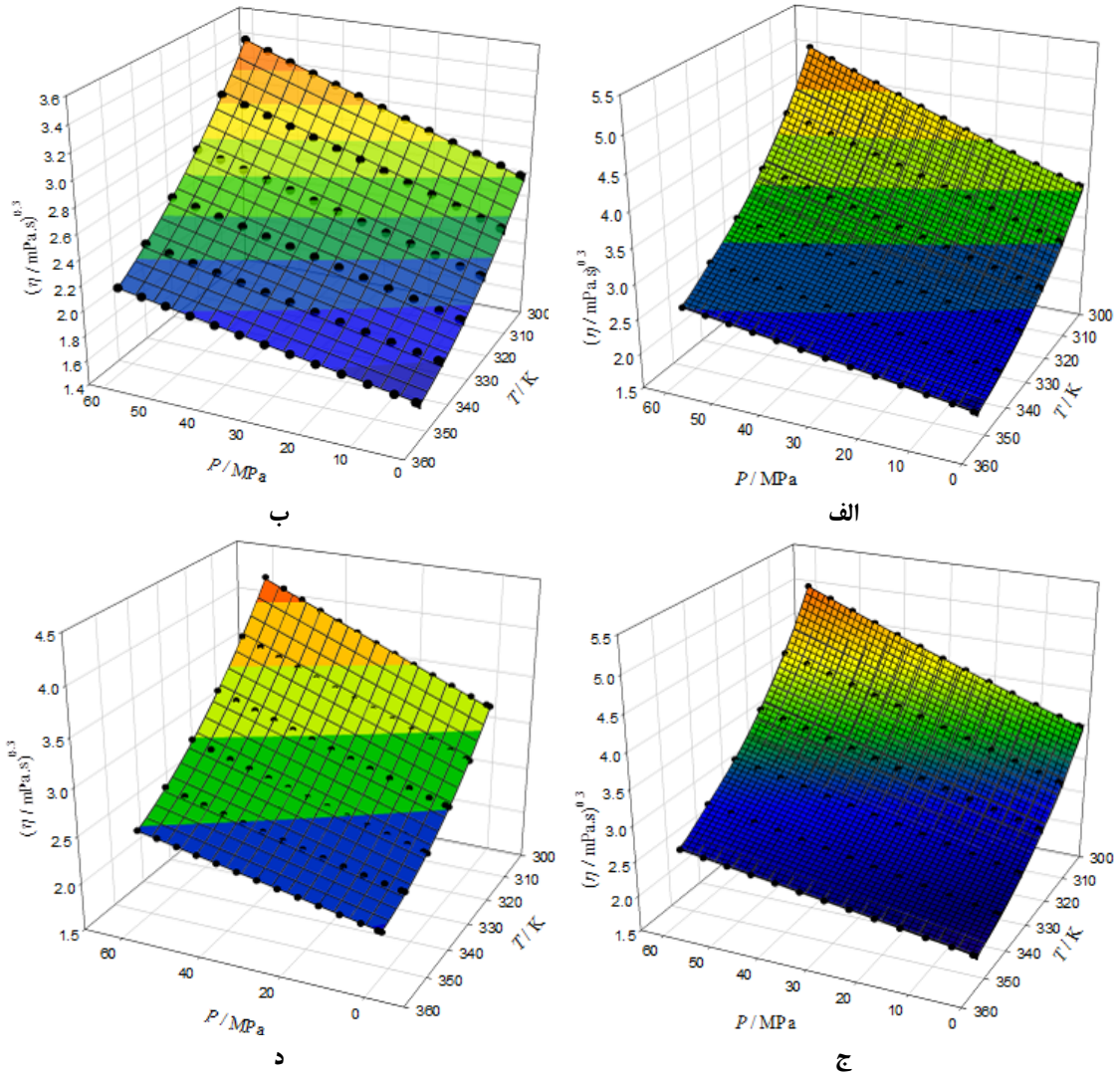
$$A = A_0 + A_1.T + A_2.T^2 \qquad (۴)$$

$$B = B_0 + B_1.T + B_2.T^2 \qquad (۵)$$

با جایگذاری $A$ و $B$ در معادله ۲، معادله ۶ به دست می‌آید.

$$\eta^{\phi} = (A_0 + A_1.T + A_2.T^2) + (B_0 + B_1.T + B_2.T^2)\,P \qquad (۶)$$
$$(\phi = 0.3)$$

این معادله برای توصیف وابستگی هم‌زمان گران‌روی به دما و فشار برای روان‌سازهای تهیه‌شده موردمطالعه قرار گرفت. در این‌جا کل داده‌های $\eta$-$T$-$P$ در برازش به‌کارگرفته شد و با ثابت نگه‌داشتن مقدار $\phi$ ($\phi$=۰/۳) مقادیر عامل‌های $A_0$، $A_1$، $A_2$، $B_0$، $B_1$ و $B_2$ به‌دست آمد. لازم به ذکر است که این ضرایب از روش وایازش غیرخطی و با نرم افزار سیگماپلات نسخه ۱۲/۰ به‌دست آمدند. نمودارهای $\eta$ ($T$,$P$) برای روان‌سازهای مورد بررسی در شکل ۱۰ آمده است.




شکل ۱۰ نمودار $\eta^{0.3}$ بر حسب دما ($T$) و فشار ($P$) برای روان‌سازهای موردبررسی در دماها و فشارهای متفاوت: PEB8 (الف)، PEC5 (ب)، PEC7 (ج) و PEC9 (د)

همان‌گونه که مشخص است، در یک فشار ثابت، با افزایش دما، $\eta$ کاهش یافته و در یک دمای ثابت، با افزایش فشار، $\eta$ افزایش می‌یابد. همخوانی خوبی بین نقاط تجربی و سطوح به‌دست آمده از برازش معادله ۶ مشاهده می‌شود. عامل‌های برازش معادله ۶ و مقادیر $R^2$ و % AAD در جدول ۲ آورده شده است. مقادیر $R^2$ برای روان‌سازهای مورد مطالعه بالای ۰/۹۹۹ است. این معادله گران‌روی‌ها را با % AAD بین ۰/۷۵ ٪ برای PEC5، ۲/۱۲ ٪ برای PEB8 و مقدار میانگین ۱/۳۴ باز تولید می‌کند. با تحلیل وردایی (ANOVA) کیفیت و قابلیت اطمینان برازش‌ها بررسی شد. نتیجه‌های تحلیل وردایی در جدول ۳ آورده شده است. مقادیر بالای F نشان‌دهنده اهمیت مدل وایازش است. همچنین، در تمام موارد مقدار P بسیار کوچک است، که این نیز نشان‌دهنده کیفیت بالای مدل وایازش است.

جدول ۲ عامل‌های مربوط به برازش معادله ۶ ($A_0, A_1, A_2, B_0, B_1, B_2$)، مقادیر $R^2$ و % AAD برای روان‌سازهای تهیه‌شده موردمطالعه

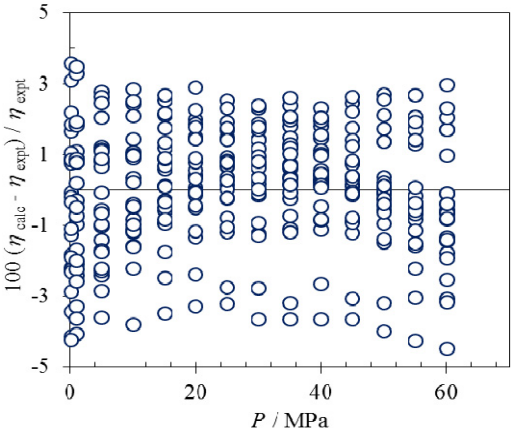
| روان‌ساز | $A_0$ $(mPa\ s)^{0.3}$ | $-10^2.A_1$ $(mPa\ s)^{0.3}.K^{-1}$ | $10^5.A_2$ $(mPa\ s)^{0.3}.K^{-2}$ | $10^2.B_0$ $(mPa\ s)^{0.3}.MPa^{-1}$ | $-10^4.B_1$ $(mPa\ s)^{0.3}.MPa^{-1}.K^{-1}$ | $10^7.B_2$ $(mPa\ s)^{0.3}.MPa^{-1}.K^{-2}$ | $R^2$ | AAD % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PEB8 | ۵۴/۷۶۴ | ۲۸/۷۴۶ | ۳۹/۰۵۱ | ۳۴/۰۷۳ | ۱۶/۹۷۵۰ | ۲۱/۵۳۰۰ | ۰/۹۹۹۵۸ | ۲/۱۲ |
| PEC5 | ۲۸/۱۰۴ | ۱۴/۰۸۳ | ۱۸/۶۹۶ | ۶/۴۰۲۹ | ۱/۹۸۵۴ | ۱/۰۱۸۶ | ۱/۰۰۰۰۰ | ۰/۷۵ |
| PEC7 | ۲۶/۹۱۳ | ۱۳/۱۳۵ | ۱۷/۰۴۶ | ۸/۴۱۴۰ | ۲/۹۱۳۲ | ۲/۰۸۶۳ | ۱/۰۰۰۰۰ | ۱/۵۷ |
| PEC9 | ۴۳/۲۲۷ | ۲۲/۵۳۲ | ۳۰/۷۳۱ | ۷/۵۱۱۸ | ۲/۰۳۳۳ | ۰/۳۹۹۶ | ۰/۹۹۹۷۰ | ۰/۹۴ |

جدول ۳ تحلیل وردایی (ANOVA) برای روان‌سازهای تهیه‌شده موردمطالعه

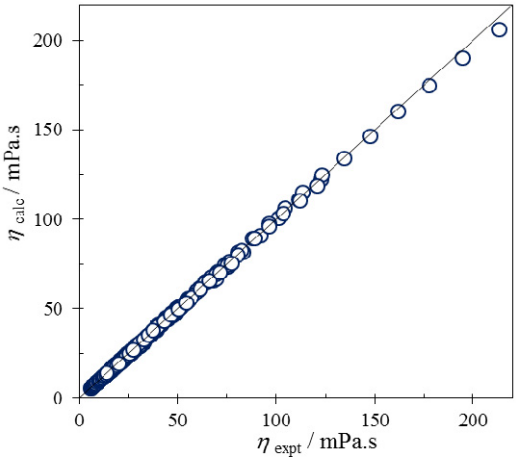
| روان‌ساز | منشا | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PEB8 | وایازش | ۵ | ۴۷/۶۶۹۸ | ۹/۵۳۴۰ | ۲۱۵۰۸ | <۰/۰۰۰۱ |
| | باقیمانده | ۷۸ | ۰/۰۳۴۶ | ۰/۰۰۰۴ | | |
| | کل | ۸۳ | ۴۷/۷۰۴۴ | ۰/۵۷۴۸ | | |
| PEC5 | وایازش | ۵ | ۱۵/۱۱۷۵ | ۳/۰۲۳۵ | ۷۳۵۱۹ | <۰/۰۰۰۱ |
| | باقیمانده | ۷۸ | ۰/۰۰۳۲ | ۰/۰۰۰۰۴ | | |
| | کل | ۸۳ | ۱۵/۱۲۰۷ | ۰/۱۸۲۲ | | |
| PEC7 | وایازش | ۵ | ۱۸/۱۷۰۲ | ۳/۶۳۴۰ | ۱۸۶۵۲ | <۰/۰۰۰۱ |
| | باقیمانده | ۷۸ | ۰/۰۱۵۲ | ۰/۰۰۰۲ | | |
| | کل | ۸۳ | ۱۸/۱۸۵۴ | ۰/۲۱۹۱ | | |
| PEC9 | وایازش | ۵ | ۲۵/۹۶۶۶ | ۵/۱۹۳۳ | ۵۲۴۳۳ | <۰/۰۰۰۱ |
| | باقیمانده | ۷۸ | ۰/۰۰۷۷ | ۰/۰۰۰۰۹۹ | | |
| | کل | ۸۳ | ۲۵/۹۷۴۳ | ۰/۳۱۲۹ | | |

انحراف نسبی بین داده‌های گران‌روی تجربی و مقادیر به‌دست آمده از معادله ۶ بر حسب فشار برای روان‌سازهای مورد مطالعه در شکل ۱۱ رسم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار انحراف نسبی بین ۴- و ۴+ درصد متغیر است. همچنین، نمودار گران‌روی محاسبه‌شده از معادله

۶ بر حسب گران‌روی تجربی در شکل ۱۲ نشان داده شده است.




شکل ۱۱ انحراف نسبی $\eta_{expt}$ از $\eta_{calc}$ به‌دست آمده از معادله ۶ با $\phi$=۰٫۳ با به‌کارگیری ضرایب جدول ۲ به‌عنوان تابعی از فشار برای همه داده‌های تجربی روان‌سازهای تهیه‌شده موردمطالعه




شکل ۱۲ همخوانی بین $\eta_{expt}$ و $\eta_{calc}$ به‌دست آمده از معادله ۶ با $\phi$=۰٫۳ برای همه داده‌های تجربی روان‌سازهای تهیه‌شده موردمطالعه (نتیجه برازش خطی منجر به معادله $\eta_{calc} = 0.99318\ \eta_{expt} + 0.21306$ با $R^2$ برابر با ۰٫۹۹۹۴۸ شد.)

همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، نتیجه خوبی بین گران‌روی محاسبه‌شده و گران‌روی تجربی وجود دارد ($R^2$=۰٫۹۹۹۹۴۸). به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که معادله ۶ می‌تواند به‌خوبی وابستگی دمایی و فشاری گران‌روی روان‌سازهای تهیه‌شده موردنظر را با دقت بالا توصیف کند. افزون‌برآن، به نظر می‌رسد توان $\phi$=۰٫۳ افزون بر انواع متفاوت مایع‌های یونی، برای روان‌سازهای تهیه شده پلی‌اُل‌استری آلیفاتیک نیز معتبر است.

## نتیجه‌گیری

در این کار، وابستگی گران‌روی به دما و فشار برای روان‌سازهای تهیه‌شده پلی‌اُل‌استری آلیفاتیک بررسی شد. بررسی‌ها نشان داد که معادله‌های $(1/\eta)^{\phi} = a+bT$ و $\eta^{\phi} = A+BP$ که پیش از این در مورد مایع‌های یونی پیشنهاد شده بودند، در مورد این گروه از مایع‌های مولکولی نیز کاربرد دارند و می‌توانند وابستگی گران‌روی به دما و به فشار را توصیف کنند. نکته جالب توجه اینکه مقدار توان $\phi$ در مورد روان‌سازها با مایع‌های یونی یکسان است ($\phi$=۰٫۳). به نظر می‌رسد $\phi$ برابر با ۰٫۳ یک توان جهانی است. همچنین، وابستگی هم‌زمان گران‌روی به دما و فشار با معادله پیشنهادشده به خوبی توصیف شده است.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (SCU.SC98.202) در انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

## مراجع

[1] Paredes, X.; Fandino, O.; Pensado, A.S.; Comunas, M.J.P.; Fernandez, J.; Tribol Lett. 45(1), 89–100, 2012.

[2] Paredes, X.; Pensado, A.S.; Comunas, M.J.P.; Fernandez, J.; J. Chem. Eng. Data 55(9), 3216–3223, 2010.

[3] Pensado, A.S.; Comunas, M.J.P.; Fernandez, J.; Tribol Lett. 31(2), 107–118, 2008.

[4] Pensado, A.S.; Comunas, M.J.P.; Fernandez, J.; Ind. Eng. Chem. Res. 45(26), 9171–9183, 2006.

[5] Pensado, A.S.; Comunas, M.J.P.; Lugo, L.; Fernandez, J.; Ind. Eng. Chem. Res. 45(7), 2394–2404, 2006.

[6] Moosavi, M.; Zangi, F.; Iran. J. Chem. Chem. Eng. 38(2), 127–144, 2019.

[7] Yousefi, F.; Iran. J. Chem. Chem. Eng. 2019, Accepted.

[8] Ghatee, M.H.; Zare, M.; Moosavi, F.; Zolghadr, A.R.; J. Chem. Eng. Data 55(9), 3084–3088, 2010.

[9] Ghatee, M.H.; Zare, M.; Zolghadr, A.R.; Moosavi, F.; Fluid Phase Equilib. 291, 188–194, 2010.

[10] Ghatee, M.H.; Zare, M.; Fluid Phase Equilib. 311, 76–82, 2011.

[11] Ghatee, M.H.; Zare, M.; Pakdel, L.; Fluid Phase Equilib. 336, 98–103, 2012.

[12] Zare, M.; Ghatee, M.H.; Sami, R.; Fluid Phase Equilib. 488, 27–39, 2019.

[13] Darabi, L.; Zare, M.; Chem. Phys. 539, 110933, 2020.

JARC

# The Effect of temperature and pressure on the viscosity of aliphatic polyol esters lubricants

**Sara Golabvand[1], Morteza Zare[2,*]**

1. M.Sc. student of Physical Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2. Assistant Prof., Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

**Abstract:** Viscosity is one of the most important properties of lubricants, which affects the processes of heat and mass transfer. The temperature and pressure dependence of the viscosity of lubricants are crucial for most industrial applications. In this work, available literature viscosity data of synthetic lubricants including aliphatic polyol esters on a wide pressure and temperature range used to study the pressure and temperature dependence of the viscosity. The experimental values were correlated with two linear equations, as a function of temperature and pressure. These simple and accurate linear equations provide reliable extrapolation of viscosity data for studied lubricants. In addition, our recent proposed equation is used to represent both the temperature and pressure dependence of the viscosity and demonstrates good correlation with the experimental data.

**Keywords:** Aliphatic polyol esters, Lubricants, Viscosity, Pressure and temperature dependence.

*** Corresponding author Email:** m.zare@scu.ac.ir & zare.su@gmail.com