فصلنامه تحقیقات مکانیک کاربردی
تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۲
دوره۸. شماره ۳. زمستان ۱۳۹۵

بررسی تجربی ویسکوزیته نانو سیال رسانا در حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی

سعید رحمانی[۱]، محمد نیکیان[۲]، حسین شکوهمند[۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، تاکستان، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، تاکستان، ایران
۳- استاد، گروه مهندسی مکانیک، ، دانشگاه تهران، تهران، ایران
s.rahmani.s@tiau.ac.ir

چکیده:
ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی اتیلن گلایکول- Fe_4O_3 تحت میدان مغناطیسی ثابت، موازی و در جهت جریان نانوسیال به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش شدت میدان مغناطیسی ویسکوزیته نانوسیال کاهش می‌یابد. همچنین آزمایشات نشان داد افزایش زمان قرارگیری نانوسیال در معرض میدان مغناطیسی تأثیر کاهش ویسکوزیته نانوسیال را بیشتر میکند.

کلید واژگان: ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی، میدان مغناطیسی، ویسکومتر لوله مویین ، فروفلوییید

Experimental study of nano-fluids viscosity in the absence and presence of conductive magnetic field

Saeed Rahmani[1], Mohammad Nikian[2], Hosein Shokouhmand[3]

1-MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran
2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran
3-Professor, Department of Mechanical Engineering, Tehran University, Tehran, Iran
†Corresponding Author Email: s.rahmani.s@tiau.ac.ir

Abstract:
Ethylene Glaykvl- Fe4O3 magnetic Nano-fluids viscosity constant magnetic field, parallel to the flow of Nano-fluids were studied in vitro. The results showed that with increasing magnetic field strength decreases viscosity of Nano-fluids. The experiment showed that the effect of reducing the viscosity of Nano-fluids dried Nano-fluid exposed to the magnetic field increases.

Keywords: viscosity of magnetic nanofluids, magnetic field, capillary tube viscometer, ferro fluid

۱- مقدمه

تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از نانو سیالات در افزایش انتقال حرارت و اخیرا در زمینه انتقال جرم انجام شده است. در این راستا خواص حرکتی آنها از جمله ویسکوزیته اهمیت خاصی دارد. ویسکوزیته با تاثیر بر اعداد بدون بعد رینولدز وپرانتل، بر ضریب انتقال حرارت جابه جایی تاثیر می‌گذارد. همچنین ویسکوزیته نانو سیال با تاثیر مستقیم بر میزان افت فشار و خواص حرکتی، نیروی پمپاژ لازم جهت انتقال نانو سیال را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نانوسیالات مغناطیسی از دسته نانوسیالات هوشمندی هستند که به دلیل تأثیرپذیری آنها در میدان‌های خارجی و رفتارهای منحصر به فردشان، مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته‌اند.

در سال ۱۹۹۴ شلیامیس و همکاران [1] تاثیر میدان مغناطیسی متناوب را در فرکانس‌های مختلف بر ویسکوزیته فروفلوییدازدیدگاه معادلات تئوری بررسی کردند. نتایج آنها بدین شرح بود که در ابتدا ویسکوزیته با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد و سپس افزایش می‌یابد. در سال ۱۹۹۸ زونر و همکاران [2] با انجام آزمایشاتی، تاثیر تغییر فرکانس میدان مغناطیسی متناوب را بر ویسکوزیته فروفلوییدبررسی کردند و با تطبیق خوبی نتایج شلمیس و همکاران را به دست آوردند. لی و همکاران [3-5] در سال ۲۰۰۵ اثر میدان مغناطیسی ثابت را بر نانو سیال آب/ Fe_4O_3 بررسی کردند. نتایج نشان داد که تغییر ویسکوزیته به اندازه و غلظت ذرات و همچنین جهت میدان مغناطیسی بستگی دارد. میدان مغناطیسی ثابت عمود بر جریان نانوسیال باعث افزایش و موازی با جریان باعث کاهش ویسکوزیته می‌شود. نتیجه اثر میدان ثابت عمود برجریان را خانم منجمی در راستای پروژه کارشناسی ارشد خود برای نانوسیال اتیلن گلایکول / Fe_4O_3 به دست آورد. او همچنین اثر میدان‌های الکتریکی ولتاژ بالا را بر نانو سیال مغناطیسی اتیلن گلایکول/Fe_4O_3 مورد آزمایش قرارداد و نتایج قابل توجهی بدست آورده است[6-7].

کارهای انجام شده بر رفتار حرکتی نانوسیالات به خصوص نانوسیالات مغناطیسی در میدان‌های خارجی بسیار محدود است . لذا در این تحقیق اثر میدان مغناطیسی ثابت، موازی و در جهت جریان را در شدت‌های مختلف بر ویسکوزیته نانو سیال مغناطیسی اتیلن گلایکول /Fe_4O_3 مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش انجام آزمایش

گِرانرَوی، لِزْجَت یا ویسکوزیته(به انگلیسی) Viscosity :. عبارت است از مقاومت یک مایع در برابر اعمال تنش برشی. در یک سیال جاری (در حال حرکت)، که لایه‌های مختلف آن نسبت به یکدیگر جابجا می‌شوند، به مقدار مقاومت لایه‌های سیال در برابر لغزش روی هم گرانروی سیال می‌گویند. هرچه گرانروی مایعی بیشتر باشد، برای ایجاد تغییر شکل یکسان، به تنش برشی بیشتری نیاز است .به عنوان مثال گرانروی عسل از گرانروی شیر بسیار بیشتر است.

با افزایش دما لزجت سیالات مایع کاهش می‌یابد ولی در گازها، قضیه برعکس است، البته درصد تغییرات آن برای سیالات مختلف متفاوت است. بوسیله این دستگاه می‌توان ویسکوزیته مایعات مختلف را در دماهای متفاوت اندازه گیری نمود.

مشخصات فنی:

۱- ویسکوزیمتراستوالد
۲- کورنومتر
۳- حمام ترموستات
۴- پیکومتر

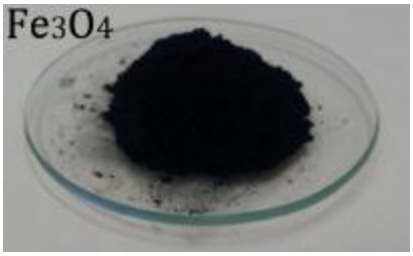
ویسکومتر

ویسکومتر وسیله‌ای برای سنجیدن میزان ویسکوزیته مایعات است. برای موادی که ویسکوزیته آنها با جریان یافتن تغییر می‌کند از ویسکومتر ویژه‌ای به نام رئومتر استفاده می‌گردد. در حالت کلی در یک ویسکومتر دو حالت وجود دارد: یا مایع ویسکوز ساکن است و یک شی جانبی در داخل آن (ابزار اندازه گیری ویسکوزیته) حرکت می‌کند و یا وسیله اندازه گیری ویسکوزیته ساکن بوده و سیال ویسکوز حرکت می‌کند. نیروی کششی که سبب ایجاد حرکت نسبی سیال نسبت به سطح می‌شود می‌تواند به عنوان عاملی برای اندازه گیری ویسکوزیته به کار گرفته شود. حالت جریان باید به گونه‌ای باشد که عدد رینولدز به حدی کوچک باشد که بتوان جریان را آرام فرض نمود. در دمای 20 درجه سلسیوس ویسکوزیته آب 1.002mpa.s است و ویسکوزیته جنبشی آن (نسبت ویسکوزیته با دانسیته) برابر با 1.0038mm2/s است لازم به ذکر است مقادیر فوق جهت کالیبراسیون ویسکومترها به کار می‌رود. ویسکومترهای استاندارد آزمایشگاهی برای مایعات :

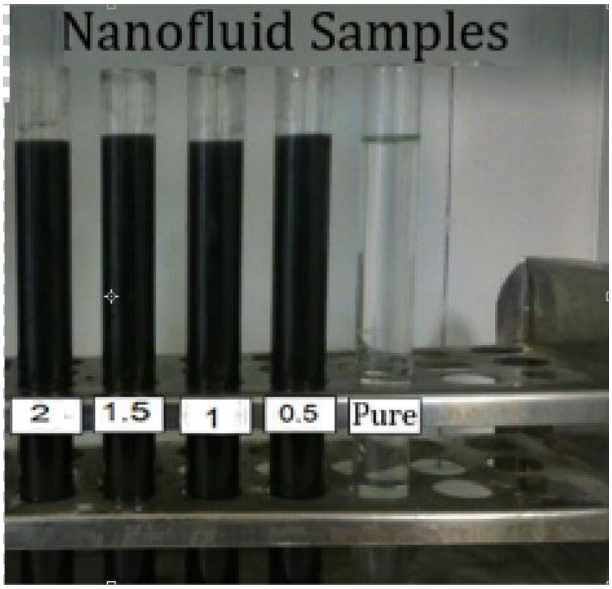
این ویسکومترها برای سنجش ویسکوزیته مایعاتی با دانسیته معین به کار می‌رود .

نانوسیال مورد استفاده در این آزمایش از طریق رسوب مستقیم نانو ذرات، به وسیله روش رسوب فیزیکی بخار با

استفاده از روش شیمیایی مایع (تراکم مستقیم پودرهای نانو از فاز بخار به داخل سیال با فشار بخار کم تهیه می‌شود). برای اندازه گیری ویسکوزیته نانوسیال از ویسکومتر با لوله‌های کانن فنسک[1] استفاده می‌شود. شکل ۱ نمایی از این ویسکومتر را نشان می‌دهد.



شکل۱: نانو ذرات Fe_3O_4



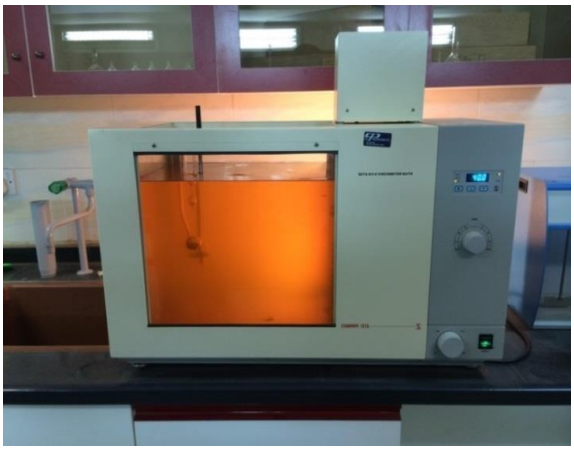
شکل ۲: درصدهای مختلف حجمی ترکیب شده با آب

جدول ۱: خواص ترموفیزیکی آب و مگنتیتFe_3O_4

	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(J/kgK)$	$K(W/mK)$	$\sigma(\Omega.m)^{-1}$
EG	997.1	4179	0.613	0.05
Fe_3O_4	5180	670	9.7	25000

با توجه به اینکه اندازه گیری ویسکوزیته در دماهای مختلف انجام می‌شود ابتدا حمام ویسکومتر را بر روی دمای مورد نظر تنظیم کرده به حمام مهلت می‌دهیم تا به دمای تست برسد. سپس مقدار معینی از نانوسیال را به درون مخین کانن فنسک ریخته و آن را به طور کامل درون حمام قرار می‌دهیم. سپس به مدت ده دقیقه صبر کرده تا دمای حمام با دمای نمونه یکسان شود. سپس با استفاده از پمپ خلا دستی، مایع را از مخین کانن فنسک به درون مخین تست کانن فنسک می‌کشیم. در اینجا باید توجه داشت که سطح مایع را در مخین تست به حدی برسانیم که دو الی سه میلی متر بالاتر از خط شروع تست قرار بگیرد. سپس به محض جاری شدن سیال و رسیدن آن به خط شروع تست، با استفاده از زمان سنج، زمان رسیدن سیال به خط پایان تست را اندازه گیری کرده (برحسب ثانیه) و در نهایت این زمان را در ضریب ^{k} کنن فنسک ضرب کرده و ویسکوزیته را بر حسب سانتی استوک بدست می‌آوریم. ویسکوزیته بدست آمده، ویسکوزیته سینماتیک می‌باشد که باید آن را به ویسکوزیته دینامیک تبدیل کرد. شکل۲ نمایی از این لوله های کانن فنسک می‌باشد.

شکل۳: لوله کانن فنسک

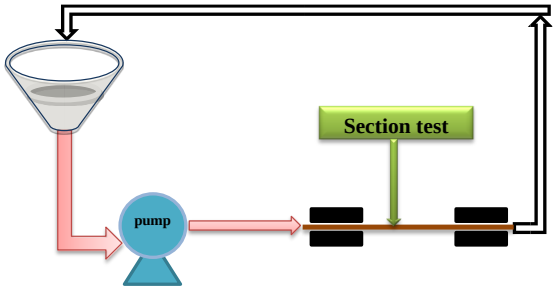


شکل ۴: ویسکومتر

جهت تامین میدان مغناطیسی، دستگاه آزمایشی ساخته شده که در شکل ۳ شماتیک این دستگاه را مشاهده می‌کنید.

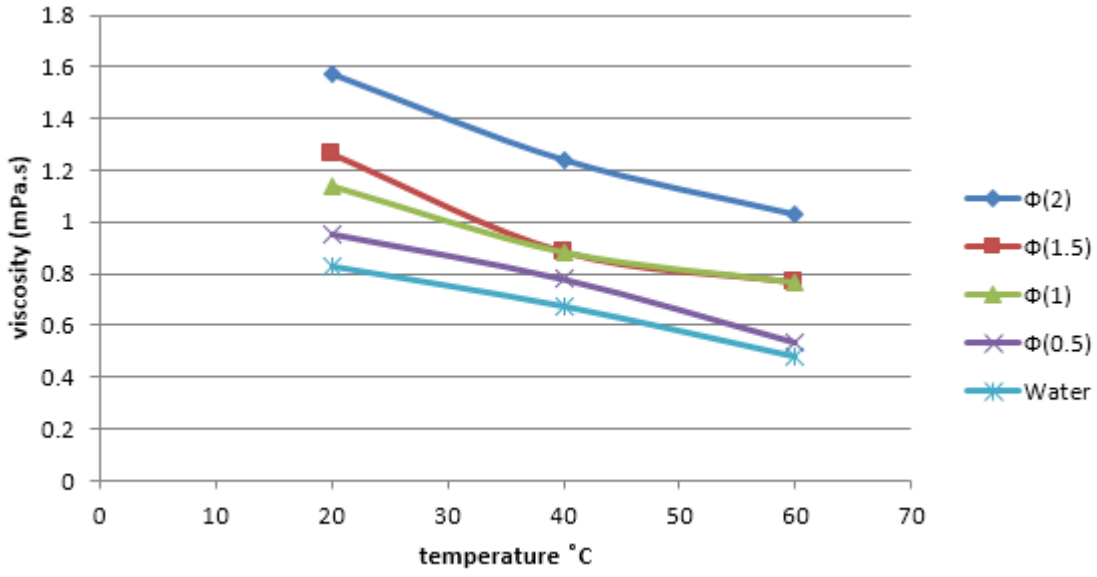
ml200 میلی لیتر از نانوسیال پایدار شده در غلظت‌های مختلف را وارد سیکل می‌کنیم و به مدت 15 الی 20 دقیقه تحت میدان‌های مغناطیسی مختلف قرار می‌گیرد. سپس نمونه-گیری انجام شده و با استفاده از ویسکومتر، ویسکوزیته اندازه گیری می‌شود.

شکل ۳: شماتیک از روش انجام آزمایش

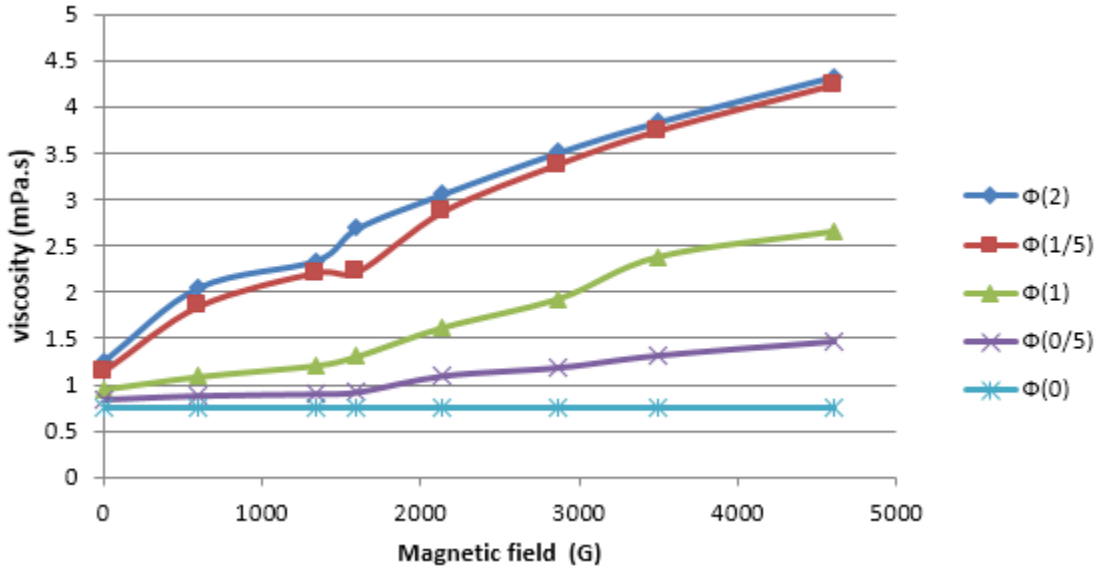


۳- ارائه نتایج بدست آمده

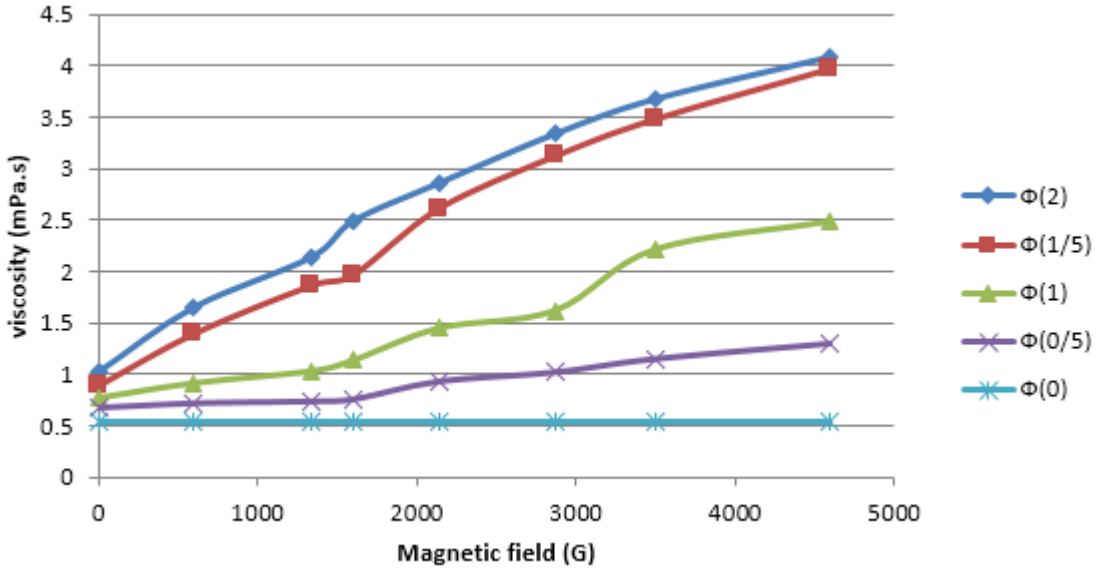
در این آزمایش سیال با کسرهای حجمی ۰, ۰.۵٪, ۱٪, ۱.۵٪, ۲٪ و میدان مغناطیسی ۰ تا ۰.۵ تسلا (۰تا ۴۵۰۰ گوس (G)) مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایش برای هر نمونه آزمایش, آزمایش سه بار تکرار شده است و میانگینی از زمان‌ها برای ویسکوزیته سنجی مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج به صورت نمودار به قرار زیر است.



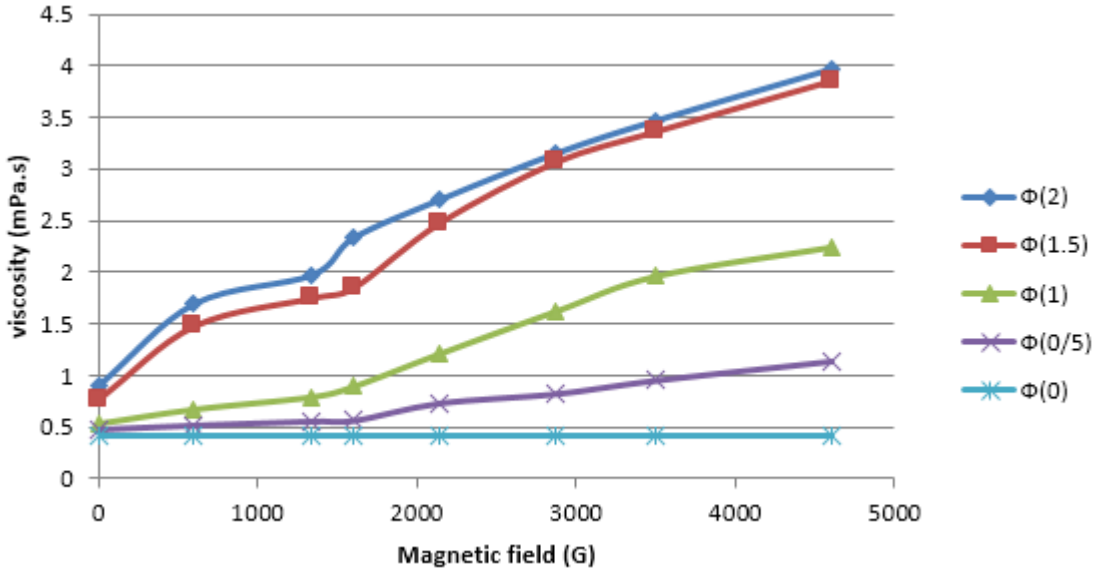
شکل ۵: نمودار تغییرات ویسکوزیته نسبت به دما



شکل ۶: تغییرات ویسکوزیته با میدان مغناطیسی در دما ۲۵درجه سانتیگراد



شکل ۷: تغییرات ویسکوزیته با میدان مغناطیسی در دما ۴۰درجه سانتیگراد



شکل ۸: تغییرات ویسکوزیته با میدان مغناطیسی در دما ۶۰ درجه سانتیگراد

شکل‌های ۶- ۷- ۸ نسبت ویسکوزیته نانوسیال (μ_{nf}) تحت میدان مغناطیسی را به ویسکوزیته سیال پایه (μ_{bf}) نشان می‌دهد. نمودار غلظت ۰/۰درصد حجمی در شکل‌ها نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی تأثیری بر روی ویسکوزیته سیال پایه ندارد. همانطور که ملاحظه می‌شود در غلظت ۰/۵ درصد مقدار ویسکوزیته نانوسیال از ویسکوزیته سیال پایه کمتر شده است. دیده می‌شود که ویسکوزیته این نانوسیال با افزایش شدت میدان مغناطیسی کاهش می‌یابد. با اعمال میدان مغناطیسی خارجی موازی با جهت جریان، ذرات مغناطیسی تحت تأثیر میدان آرایش پیدا کرده و به صورت رشته‌هایی کوچک در جهت جریان قرار می‌گیرند. این جهتگیری در راستای حرکت باعث کاهش ویسکوزیته نانوسیال می‌شود.

از آنجایی که در هر آزمایش زمان عبور نانوسیال و در معرض میدان قرار گرفتن آن کوتاه است در قسمت دیگری از آزمایشات با عبور تعداد دفعات مکرر نانوسیال از میدان مغناطیسی، رفتار حرکتی آن مورد بررسی واقع شد. شکل ۴ ویسکوزیته نانوسیال را با تعداد دفعات عبور داده شده از سیال میدان مغناطیسی با شدت ۲۱۳/۷ گاوس نشان می‌دهد. دیده می‌شود که با افزایش زمان اعمال میدان مغناطیسی، ویسکوزیته نانوسیال کاهش می‌یابد. به عبارتی ذرات فرصت بیشتری برای ساختار یافتن پیدا می‌کنند و اثر آنها در کاهش ویسکوزیته بیشتر می‌شود. اما همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود شیب کاهشی نمودار با زیاد شدن زمان اعمال میدان مغناطیسی کم می‌شود. دلیل این مشاهده، رسیدن نانوسیال مغناطیسی به حالت اشباع مغناطیسی است؛ که در این حالت ساختارهای زنجیره‌ای نانو ذرات کامل شده و اعمال بیشتر میدان، توانایی بیشتری برای تغییر آن ندارد.

۴- نتیجه گیری

بررسی ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی Fe_4O_3/EG تحت میدان مغناطیسی ثابت، موازی و در جهت جریان، نشان داد که با افزایش میدان مغناطیسی ویسکوزیته نانوسیال کاهش می‌یابد. این امر ناشی از ساختار یافتن نانو ذرات به شکل زنجیره‌های کوچک در راستای حرکت است؛ که با تقویت تنش‌های برشی در این راستا حرکت را آسانتر می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که هر چه زمان در معرض قرار گرفتن نانوسیال مغناطیسی تحت میدان، بیشتر باشد، میزان کاهش ویسکوزیته افزایش می‌یابد. تا به حالت اشباع رسیده و ویسکوزیته به یک مقدار ثابت برسد.

۵- مراجع

1. M.I. Shliomis, K.I. Morozov," Negative viscosity of ferrofluid under alternating magnetic-field", Phys Fluids 6 (1994) 2855–2861.

2. A.Zeuner, R.Richter, and I.Rehberg ,"experiments on negative and positive magnetoviscosity in an alternating magnetic field"(1998).

3. Qiang Li, Yimin Xuan, Jian Wang, " Experimental investigations on transport properties of magnetic fluids. ",Experimental Thermal and Fluid Science 30 (2005) 109–.611

4. R.E. Rosensweig, Ferrohydrodynamics, Cambridge University Press, 1985.

5. R. Hiegeister, W. Andra, N. Buske, R. Hergt, I. Hilger, U.Richter, W. Kaiser, Application of magnetite ferrofluids for hyperthermia, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 201(1999) 420–422.

6. K. Nakatsuka, B. Jeyadevan, S. Neveu, H. Koganezawa, The magnetic fluid for heat transfer applications, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 252 (2002) 360–362.

7. John P. McTague, Magnetoviscosity of magnetic colloids, The Journal of Chemical Physics 51 (1969) 133–136.

8. W.F. Hall, S.N. Busenberg, Viscosity of magnetic suspensions, The Journal of Chemical Physics 51 (1969) 137–144.

9. Hooshyar M. Hamedani, Lorin R. Davis, An experimental investigation of the properties of magnetic fluid in thermal rejection applications, in: Proceedings of Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, ASME, New York, 1988,pp. 359–364.