



تخمین گرانروی ظاهری مایعات غیر نیوتنی به کمک پردازش تصویر

سید مهدی نصیری^{۱*}، عادل بخشی پور^۲، محمد مهدی حیدری^۳، مریم برزگر مروتی^۴

۱- استادیار بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز، nasiri@shirazu.ac.ir

۲- دانشجوی دکترا بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی بیوسیستم دانشگاه شیراز

چکیده:

گرانروی سیالات که شاخصی از مقاومت مولکول‌ها در برابر جریان است نقش مهمی در طراحی سیستم‌های انتقال مایعات دارد. تاکنون وسایل ثابت و قابل حمل مختلفی برای اندازه‌گیری گرانروی ظاهری مایعات غیر نیوتنی ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است، اما ویژگی سطح اشغال شده توسط سیال مستقیماً ملاک اندازه‌گیری قرار نگرفته است. در این پژوهش با ساخت یک وسیله آزمایشگاهی و استفاده از تکنیک پردازش تصویر رابطه بین گرانروی ظاهری و تغییرات سطح مایع در حال جریان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تغییرات سطح نسبت به زمان از یک رابطه خطی با ضریب همبستگی بسیار قوی (با میانگین خطای نسبی ۳/۷ درصد) پیروی می‌کند و این رابطه تابع گرانروی مایع است. با افزایش گرانروی ظاهری نرخ تغییرات مساحت سطح مایع کاهش یافت. روند تغییرات سطح نسبت به زمان به دو قسمت تند و کند قابل تفکیک بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد نرخ تغییرات مساحت سطح در ناحیه تند (اول) برای تعیین رابطه کالیبراسیون دستگاه قابل استفاده است. بنابراین رابطه بین گرانروی ظاهری و نرخ تغییرات سطح مایع بررسی شد و نشان داد که یک رابطه نمایی با ضریب تبیین ۰/۹۸۸ قادر است گرانروی ظاهری را با میانگین خطای نسبی ۱/۱ درصد تخمین بزند. این نتایج نشان داد این وسیله قابلیت تعیین گرانروی ظاهری سیالات غیر نیوتنی را با استفاده از تکنیک پردازش تصویر داراست.

کلمات کلیدی: پردازش تصویر، سیالات غیر نیوتنی، گرانروی ظاهری

مقدمه

گرانروی (لزجت) یکی از خصوصیات مهم سیالات و بویژه مایعات غیر نیوتنی مثل بسیاری از مواد غذایی مایع و شبه مایع است. این خصوصیت تاثیر بسیار چشم‌گیری در طراحی سیستم‌های انتقال مایعات و از جمله طراحی یا انتخاب پمپ دارد. گرانروی اصطکاک بین مولکول‌های سیال است که خود را به صورت مقاومت در برابر جریان نشان می‌دهد و در سیالات غیر نیوتنی مانند



محلول های غلیظ ماکرو مولکول ها (نشاسته و پروتئین) و کلئوئیدها (امولسیون ها و سوسپانسیون ها) وابستگی زیادی به نرخ برش و زمان دارد (رضوی، ۱۳۸۵، Bourne, 2002). با توجه به تغییر گرانروی با نرخ برش سیالات غیر نیوتنی، گرانروی اندازه گیری شده در یک زمان و با نرخ برش مشخص را به عنوان گرانروی ظاهری این گونه سیالات گزارش می کنند. این گرانروی مشابه گرانروی سیالات نیوتنی تابعی از نرخ برش و تنش برشی است.

تاکون روش های مختلفی برای اندازه گیری گرانروی سیالات غیر نیوتنی طراحی و برای استفاده تجاری سازی شده اند. از آن جمله می توان به وسایلی از جمله لزجت سنج لوله موئین، سقوطی، مخروط و صفحه، استوانه های هم مرکز و قوام سنج بوستویک اشاره نمود (Mohsenin, 1996; Bourne, 2002). همچنین با استفاده از اصول مشابه با وسایل اندازه گیری قبلی، یعنی اصول لوله های موئین، قانون استوک و گشتاور چرخشی، وسایلی را طراحی و پیشنهاد نموده اند (Park et al., 1997; Sahin et al., 2001; Bano, et al., 2003; Sadat and Khan, 2007; Noel et al., 2011). در برخی از این وسایل اندازه گیری مدت زمان حرکت سیال از یک طول و یا حجم شاخصی از لزجت مایع است. انواع لزجت سنج های سقوطی (ساجمه ای یا سوزنی)، قوام سنج بوستویک و لزجت سنج لوله موئین از جمله این وسایل هستند. با این حال وسایلی که نحوه اندازه گیری آن بر اساس سطح باشد مورد استفاده قرار نگرفته است (Bourne, 2002).

اخیرا فناوری پردازش تصویر در شاخه های مختلف علمی توسعه و به کار برده شده است و تخمین خصوصیات فیزیکی نظیر ابعاد، حجم و شکل محصولات کشاورزی نیز کاربرد فراوانی داشته است. بر همین اساس وسیله ای ساخته شد که آزمایش ها اولیه حکایت از موفقیت آن در تخمین گرانروی سیالات غیر نیوتنی داشت (نصیری و همکاران، ۱۳۹۰). تاتار (۱۳۹۱) وسیله ای را برای تخمین گرانروی شیر خرمای به کمک تکنیک پردازش تصویر طراحی و مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش تصویر جریان عمودی شیر خرمای خارج شده از یک سوراخ با شکل مشخص که در ته مخزن تعبیه شده بود، مورد پردازش قرار گرفت و نتایج آن با دستگاه ویسکومتر بروکیلد مورد واسنجی قرار گرفت. سطح جریان لوله ای خارج شده از مخزن توانست گرانروی شیر خرمای را با مقدار قابل توجهی تخمین بزند.

در این پژوهش حاضر با استفاده از تکنیک به کار رفته در طرح اولیه نصیری و همکاران (۱۳۹۰) گرانروی یک محلول معین به عنوان محلول استاندارد برای تعیین گرانروی ظاهری مایعات غیر نیوتنی واسنجی گردید. بنابراین هدف اصلی این طرح استفاده از تغییرات سطح مایع در تعیین لزجت مایعات غیر نیوتنی با استفاده از تکنیک پردازش تصویر است.

مواد و روش ها

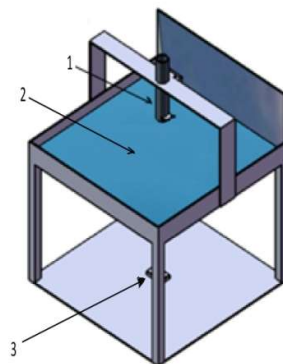
ساخت و آزمایش دستگاه در آزمایشگاه خواص بیوفیزیک بخش مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی (بیوسیستم) دانشگاه شیراز صورت پذیرفت. طرح آزمایشگاهی این دستگاه ساده و شامل یک میز شیشه ای شفاف، دوربین تصویر برداری با مشخصات سرعت تصویر برداری ۳۰ فریم در ثانیه با کیفیت ۳۲۰×۴۸۰ و قابلیت تفکیک پذیری ۱۶ مگاپیکسل بود (شکل ۱ الف).



برای انجام آزمایش‌ها مقدار ۲۵۰ گرم نشاسته (و ۵ گرم ماده رنگی) در ۸۰۰ میلی لیتر آب سرد با سختی ۹۰ قسمت در میلیون حل و به مدت ۵ دقیقه حرارت دهی شد تا پس از ژلاتینه شدن، حریره یکنواخت و نرم بدست آمد. از حریره تولید و خنک شده ۹ تیمار با غلظت‌های مختلف تهیه شد. برای تهیه تیمارها ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۱۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۳۰ و ۱۴۰ گرم حریره در ۲۰۰ میلی لیتر آب با دمای محیط حل و محلول بدست آمده به دو قسمت ۱۵۰ و ۵۰ میلی لیتر تقسیم شد. مقدار ۵۰ میلی لیتر در ظرف مخصوص دستگاه طراحی شده ریخته شد.



ب



الف

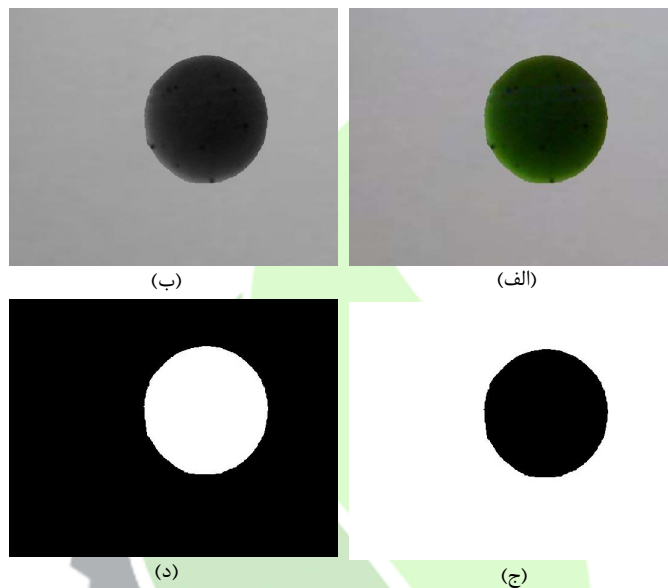
شکل ۱. الف) طرح واره دستگاه ساخته شده، ب) ویسکومتر بروکفیلد
۱- مخزن محلول، ۲- میز توزیع محلول، ۳- محل نصب دوربین

برای این منظور استوانه سفید رنگ بر روی میز شیشه‌ای در موقعیت از قبل تعیین شده قرار داده شد و محلول در درون آن تخلیه شد. برای کاهش روند‌های لازم به منظور حذف تصویر عوامل پیرامونی این استوانه به یک دسته سفید رنگ بلند مجهز بود تا تصویر اطراف در تصویر تهیه شده توسط دوربین وارد نشود. این سطح ایجاد شده بر روی شیشه، سطح اولیه و در تمامی تیمارها یکسان بود. پس از بلند کردن ظرف و حرکت مواد تصویر سطوح ایجاد شده در فاصله زمانی پیاپی تهیه شد. این روند برای تیمارها تکرار شد. تصاویر تهیه شده برای پردازش به جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار متلب انتقال داده شد. تصویر رنگی اولیه به تصویر خاکستری تبدیل شد و سپس با انتخاب حد آستانه مناسب به تصویر سیاه و سفید (باینری) تبدیل شد. در نهایت تصویر ماکمل از تصویر سیاه و سفید حاصله تهیه شد و با شمارش تعداد پیکسل‌های سفید رنگ، مساحت سطح سیال در هر زمان محاسبه گردید (شکل ۲).

به طور همزمان محلول ۱۵۰ میلی لیتر در بشر ریخته شد و توسط دستگاه لزجت سنج بروکفیلد (HADVII+pro، ساخت امریکا) با پروب شماره ۰۶ و در سرعت دورانی ۲۰ دور در دقیقه به مدت ۶۰ ثانیه مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۱ب). میانگین ۱۰ داده برداشت شده در این مدت به عنوان گرانیوی ظاهری در نظر گرفته شد. همبستگی داده‌های بدست آمده از دو دستگاه به منظور کالیبره کردن دستگاه طراحی شده مورد بررسی قرار گرفت.



برای تجزیه و تحلیل داده‌ها یک مدل خطی بر داده‌ها برازش شد و معنی‌داری پارامترهای ضریب زاویه و عرض از مبدا منحنی‌های برازش شده با آزمون چاو^۱ مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از نرم‌افزار Graph Pad Prism نسخه ۵ استفاده شد. افزون بر آن، برای بررسی رابطه نهایی بین تغییرات مساحت سطح تصویر و گرانیوی ظاهری از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ استفاده شد.

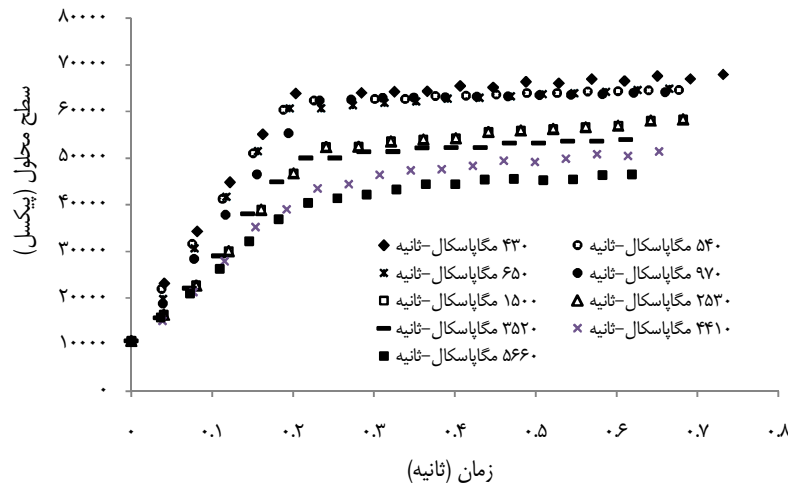


شکل ۲. مراحل مختلف پردازش تصویر؛ (الف) تصویر رنگی اولیه، (ب) تصویر خاکستری، (ج) تصویر سیاه و سفید و (د) تصویر مکمل حاصل از تصویر قسمت (ج) برای اندازه‌گیری مساحت سطح سیال

نتایج و بحث

تغییر سطح محلول پخش شده بر روی میز پس از پردازش تصویر محاسبه شد. این افزایش تا ثابت شدن حرکت محلول بر روی سطح میز ادامه یافت. سطح محلول در غلظت‌های مختلف و در زمان‌های پیاپی در شکل ۳ نشان داده شده است. سرعت افزایش سطح با گذشت زمان تغییر نمود به نحوی که در شکل ۳ دو روند مجزا قابل تفکیک است. با توجه به این روند، منحنی در زمان حدود ۰/۲ ثانیه در حالی که در قسمت اول شامل ۶ داده بود به دو بخش منفک و تجزیه و تحلیل روند تغییرات منحنی‌ها در هر بخش صورت پذیرفت. در هر بخش شیب و عرض از مبدا خط برازش با آزمون چاو مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به اینکه عرض از مبدا بخش نخست برای همه تیمارها ثابت بود اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود نداشت. نتایج این آزمون در جدول ۱ و ۲ درج شده است. در این روابط به جای سطح مطلق محلول از سطح نسبی (حاصل تقسیم سطح محلول در هر زمان به سطح اولیه) استفاده شده است.

^۱ - Chow



شکل ۳. نرخ تغییرات سطح محلول

جدول ۱. معادله، ضریب تبیین و میانگین خطای نسبی تخمین خط برازش شده دو ناحیه مختلف شکل ۳

برازش ناحیه دوم			برازش ناحیه اول			گرانروی ظاهری محلول (مگاپاسکال-ثانیه)
خطا %	R ²	معادله	خطا %	R ²	معادله	
۰/۷	۰/۹۲۳	$A=۰/۸ t + ۵/۷$	۴/۰	۰/۹۹۷	$A=۲۵/۰ t + ۱/۰$	۴۳۰
۰/۲	۰/۹۷۱	$A=۰/۵ t + ۵/۷$	۲/۲	۰/۹۹۹	$A=۲۴/۷ t + ۱/۰$	۵۴۰
۰/۲	۰/۹۸۷	$A=۰/۹ t + ۵/۴$	۱/۶	۰/۹۹۹	$A=۲۳/۸t + ۱/۰$	۶۵۰
۰/۱	۰/۹۷۳	$A=۰/۴ t + ۵/۷$	۱/۳	۰/۹۹۹	$A=۲۱/۲t + ۱/۰$	۹۷۰
۰/۷	۰/۸۷۵	$A=۰/۸ t + ۵/۴$	۵/۱	۰/۹۹۰	$A=۱۸/۵t + ۱/۰$	۱۵۰۰
۰/۳	۰/۹۸۱	$A=۱/۳ t + ۴/۵$	۴/۱	۰/۹۹۴	$A=۱۶/۸t + ۱/۰$	۲۵۳۰
۱/۱	۰/۹۳۴	$A=۰/۹ t + ۴/۵$	۷/۶	۰/۹۹۳	$A=۱۵/۹t + ۱/۰$	۳۵۲۰
۱/۰	۰/۹۳۱	$A=۱/۶ t + ۳/۷$	۳/۹	۰/۹۹۳	$A=۱۳/۸t + ۱/۰$	۴۴۱۰
۱/۸	۰/۸۹۹	$A=۱/۳ t + ۳/۵$	۳/۸	۰/۹۹۹	$A=۱۳/۳t + ۱/۰$	۵۶۶۰

حروف t و A به ترتیب زمان و مساحت نسبی سطح محلول است.

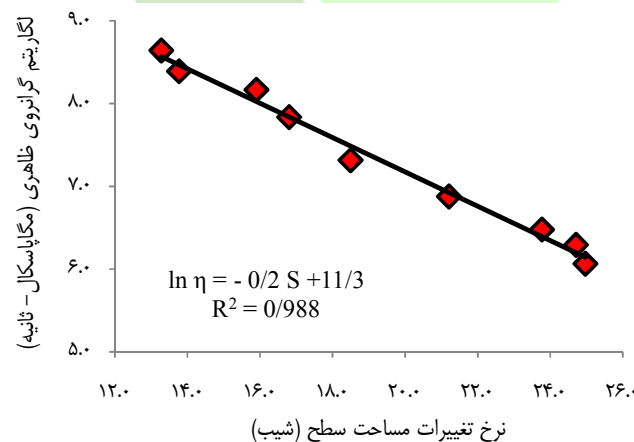
بر اساس نتایج مندرج در جدول ۱ میانگین نهایی خطاهای تخمین برای همه تیمارهای گرانروی حدود ۳/۷ و ۰/۷ درصد به ترتیب در ناحیه اول و دوم محاسبه شد. برای مقایسه گرانروی محلول‌های مورد آزمایش در ذهن با محلول‌های شناخته شده، گرانروی شیر با خامه مضاعف (با چربی ۴۷٪) مقدار ۱۸۵۰ مگاپاسکال-ثانیه گزارش شده است (Bourne, 2002).
با توجه به ثابت بودن عرض از مبدا در بخش نخست منحنی و تفاوت معنی دار در شیب آن که شاخصی از نرخ تغییرات مساحت سطح محلول بود، نمودار قسمت نخست در محاسبه گرانروی مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا نرمال بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به تبدیل متغیر گرانروی ظاهری به لگاریتم طبیعی آن برای نرمال شدن داده‌ها، همبستگی بین دو متغیر نرخ

افزایش مساحت سطح و لگاریتم گرانروی محاسبه شد. با توجه به همبستگی بالای بین داده ها ($r = -0.994$)، رابطه خطی برازش شده بین این دو متغیر تعیین شد (شکل ۴).

جدول ۲. تجزیه و تحلیل منحنی های برازش شده دو ناحیه مختلف شکل ۳

برازش ناحیه دوم		برازش ناحیه اول		گرانروی ظاهری محلول (مگاپاسکال-ثانیه)
عرض از مبدا	شیب	عرض از مبدا	شیب	
۵/۷ ^a	۰/۸ ^a	۱/۰ ^a	۲۵/۰ ^a	۴۳۰
۵/۷ ^a	۰/۵ ^b	۱/۰ ^a	۲۴/۷ ^a	۵۴۰
۵/۴ ^b	۰/۹ ^a	۱/۰ ^a	۲۳/۸ ^a	۶۵۰
۵/۷ ^a	۰/۴ ^b	۱/۰ ^a	۲۱/۲ ^b	۹۷۰
۵/۴ ^b	۰/۸ ^a	۱/۰ ^a	۱۸/۵ ^c	۱۵۰۰
۴/۵ ^c	۱/۳ ^{ac}	۱/۰ ^a	۱۶/۸ ^{cd}	۲۵۳۰
۴/۵ ^c	۰/۹ ^a	۱/۰ ^a	۱۵/۹ ^d	۳۵۲۰
۳/۷ ^d	۱/۶ ^c	۱/۰ ^a	۱۳/۸ ^e	۴۴۱۰
۳/۵ ^e	۱/۳ ^{ac}	۱/۰ ^a	۱۳/۳ ^e	۵۶۶۰

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۴. رابطه بین نرخ تغییرات مساحت سطح محلول و لگاریتم گرانروی ظاهری تیمارهای آزمایش

با توجه به شکل ۴ رابطه کالیبراسیون برای این روش اندازه گیری به صورت روابط زیر بدست آمد:

که η_a ویسکوزیته ظاهری، S شیب یا نرخ تغییرات مساحت سطح تصویر، A مساحت نسبی سطح تصویر در زمان t می باشد. این رابطه دارای میانگین خطای نسبی تخمین ۱/۱ درصد است. همانطور که در شکل نشان داده شده است دامنه اطمینان ۹۵٪ برای تخمین نیز حکایت از دامنه کم تغییرات شکل را در آزمایش های مختلف نشان می دهد.



نتیجه گیری

آزمایش‌ها نشان داد که وسیله ساخته شده با رابطه خطی بسیار قوی ($R^2=0/988$) گرانروی ظاهری مایعات غیرنیوتنی را بر اساس تغییرات مساحت سطح محلول تخمین می‌زند. این روش شرایط لازم را برای توسعه به عنوان یک وسیله ساده اندازه‌گیری گرانروی ظاهری و در نتیجه تعیین خصوصیات گرانروی محصولات و مواد غذایی مایع داراست. این وسیله با تجهیز به حافظه موقت شرایط قابل حمل را داراست و امکان استفاده در خارج از محیط آزمایشگاه را هم خواهد داشت.



منابع

- ۱- رضوی، م. ع. ۱۳۸۵. خواص بیوفیزیک محصولات کشاورزی و مواد غذایی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- نصیری، س. م.، حیدری فروشانی، م. م.، سلیمانی آجقان، م.، فتحی، آ. ۱۳۹۰. دستگاه اندازه گیری هوشمند قوام مواد غذایی مایع و نیمه مایع. سازمان ثبت اسناد و املاک کشور. اداره کا مالکیت صنعتی. شماره ثبت اختراع ۷۲۷۶۸.
- 3- Bourne, M. C. 2002. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. Elsevier Science and Technology Books. USA.
- 4- Bano, M., I. Strharsky and I. Hrmo. 2003. A viscosity and density meter with a magnetically suspended rotor. Review of Scientific Instruments, 74.
- 5- Noel, M. H., B. Semin, J. P. Hulin and H. Auradou. 2011. Viscometer using drag force measurements. Review of Scientific Instruments, 82.
- 6- Park, N. A., F. Thomas and Jr. Irvine. 1997. Liquid density measurement using the falling needle viscometer. International Communications in Heat and Mass Transfer, 24(3): 303-312.
- 7- Sadat, A., and I. A. Khan. 2007. A novel technique for the measurement of liquid viscosity. Journal of Food Engineering, 80: 1194-1198.
- 8- Shin, S., S. W. Lee and D. Y. Keum. 2001. A new mass detecting capillary viscometer. Review of Scientific Instruments. 72.



Estimation of apparent viscosity of non-Newtonian liquids by image processing technique

Seyed Mehdi Nassiri^{1*}, Adel Bakhshipour², Mohammad Mehdi Heydari Froshani³, Marya Barzegar Marvasti⁴

- 1- Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University
- 2- Ph.D. candidate, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University
- 3- Former graduate student, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University
- 4- Graduate student, Department of Biosystems Engineering, Shiraz University

*- Corresponding author: nasiri@shirazu.ac.ir

Abstract

Viscosity of liquids as resistance of molecules to flow has an important role for designing of liquid transfer systems. So far, various stationary and portable devices have been designed and employed for measuring the apparent viscosity of non-Newtonian liquids. However, characteristic of occupied surface by a liquid has not directly used for developing the measurement instruments. In the present work, relationship between apparent viscosity and variations in occupied surface of a non-Newtonian liquid was pinpointed by fabricating an image processing based device. Results revealed that variation of liquid surface area versus time followed a strong linear relationship (with the mean relative error of 3.7 percent), and this relation followed different trends at various apparent viscosity levels. Liquid surface area decreased when the liquid apparent viscosity was increased. The trend of surface area variations was fragmented into two parts of fast and slow rate. Analysis of data showed that the rate of variation of liquid surface at fast (first) region is suitable for building up the device calibration function. Therefore, relationship between apparent viscosity and the rate of liquid surface variations was analyzed and it was observed that it follows an exponential relation with 0.988 coefficient of determination. This relation can estimate apparent viscosity for non-Newtonian liquid with mean relative error of 1.1 percent. It was concluded that this device has capability for measuring apparent viscosity of non-Newtonian liquids by means of image processing.

Keywords: Apparent viscosity, Image processing, Non-Newtonian liquids