

استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر در تخمین گرانش مایعات

(مطالعه موردی: شیر خرمای)

عبدالعباس جعفری^۱، احسان تاتار^۲

۱- عضو هیأت علمی بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

* ایمیل نویسنده مسئول: ajafari@shirazu.ac.ir

چکیده

رفتار سیالات طی فرآوری در اثر تغییر در قوام و ترکیب ماده به علت انجام عملیاتی مانند حرارت دادن، مخلوط کردن، سرد کردن و ... تغییر می‌نماید. در این راستا گرانشی یک عامل مهم برای ارزیابی کیفیت در اغلب مواد است. برای اندازه‌گیری گرانشی از دستگاه‌های لزجت‌سنج استفاده می‌شود که به طور مستقیم و حسی در تماس با مواد هستند. کار کردن با این دستگاه‌ها زمان‌بر، پرهزینه، تحت تاثیر عوامل انسانی و در مواردی نیازمند کالیبره‌سازی دوره‌ای می‌باشد. در تحقیق حاضر سعی شده است با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر گرانشی سیالات تعیین شود. با توجه تولید صنعتی شیر خرمای و با نگاه صنعتی به این پژوهش از شیر خرمای به عنوان ماده مورد آزمایش استفاده شد. ابتدا بوسیله یک دستگاه اندازه‌گیری متداول مقادیر گرانشی شیر خرمای در ۵ سطح دما و در ۶ سطح غلظت اندازه‌گیری شد و رفتار حاکم بر شیر مورد بررسی قرار گرفت. با مطالعات انجام شده مشخص شد که رفتار شیر خرمای با قانون توان قابل بیان است و می‌توان پارامترهای این معادله را تعیین کرد. از شکل ریزش شیر خرمای در دما و غلظت‌های یاد شده عکس‌برداری شد و با استفاده از ویژگی‌های استخراج شده از عکس‌های مذکور و با به کارگیری شبکه‌های عصبی، پارامترهای قانون توان تعیین گردیدند. در نهایت نتایج بدست آمده نشان داد که به وسیله تکنیک‌های پردازش تصویر گرانشی سیال (شیر خرمای) را می‌توان بصورت بلادرنگ و با دقت بالا تعیین کرد.

واژه‌های کلیدی: استخراج ویژگی، شهد، غلظت، لزجت، ماشین بینایی

مقدمه

خرمای ایران برخلاف پتانسیل بالای تولید متاسفانه به دلیل کیفیت پایین محصول و بسته‌بندی نامناسب آن جایگاه مناسبی در بازارهای جهانی ندارد و سالیانه حدود ۳۰٪ از خرمای تولید شده در کشور مستقیماً جذب بازار مصرف نمی‌شود و می‌بایست در واحدهای صنایع تبدیلی و فرآوری تبدیل به فرآورده‌های با ارزش شود (ثباتی، ۱۳۸۷).

فرآورده‌های خرما به دو دسته فرآورده‌های تخمیری و غیرتخمیری تقسیم می‌شوند. از فرآورده‌های تخمیری اتانول، سرکه، اسید سیتریک، تولید پروتئین تک‌یاخته و تولید چربی و از فرآورده‌های غیرتخمیری شیره خرما و قند خرما را می‌توان نام برد. شیره خرما متداول‌ترین فرآورده مشتق از خرما می‌باشد که هم به صورت سنتی و هم صنعتی تولید می‌شود (ثباتی، ۱۳۸۷). فرآیند تولید شیره خرما در مقیاس صنعتی و تولید انبوه از چهار مرحله اصلی بشرح زیر تشکیل یافته است: مرحله شستشو و ضدعفونی و هسته‌گیری خرما، مرحله عصاره‌گیری، تصفیه شیره و در نهایت تغلیظ شیره.

در روش صنعتی برای تهیه شیره خرما از تجهیزات صنعتی استفاده می‌شود. اما برای انتخاب تجهیزات مناسب دانستن خصوصیات رئولوژیک شیره خرما ضرورت دارد. یکی از این خصوصیات گرانشی می‌باشد. گرانشی طبق تعریف به عمل اصطکاک درون سیال و در نتیجه، مقاومت سیال در برابر جریان گفته می‌شود و معیار اندازه‌گیری شدت جریان است (رضوی، ۱۳۸۵). دانستن گرانشی سیال امری ضروری برای کنترل شدت جریان، طراحی و انتخاب مناسب‌ترین تجهیزات، پمپ‌ها، مبدل‌های حرارتی و دستگاه‌های بسته بندی است (شهیری، ۱۳۸۷). بطور معمول گرانشی بوسیله دستگاه‌های لزجت‌سنج که به طور مستقیم و حسی در تماس با سیال است اندازه‌گیری می‌شود.

روش‌های سنتی ارزیابی حسی در تعیین خصوصیات مواد کاربرد زیادی دارند. ولی این روش‌ها زمان‌بر و پرهزینه و تحت تأثیر عوامل انسانی و در مواردی نیازمند تنظیم مجدد است. این عوامل سبب ایجاد انگیزه برای توسعه روش‌های جانشین است که در زمان کمتر و با دقت بیشتر خصوصیات محصول را تعیین کند. پردازش تصویر یکی از این روش‌ها است (Kvaal, 1998). وقتی نیروی برشی بر سیالی اعمال می‌شود، باعث تغییر شکل سیال و جریان یافتن آن می‌گردد. تنش برشی (τ) وارد شده بر سیال توسط فرمول زیر نشان داده می‌شود:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

τ = تنش برشی (N/m^2)

F = نیرو (N)

A = سطح مقطع (m^2)

نرخ برش یا گرادیان سرعت همان dv/dy (بر حسب عکس ثابته (s^{-1})) است. در سیالات نیوتنی رابطه بین تنش برشی و نرخ برش خطی است و نسبت تنش برشی به نرخ برش یا گرانشی دینامیک یا ضریب گرانشی (η) بر حسب پویز عبارت است از:

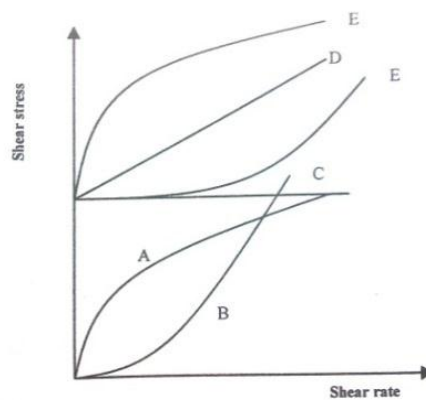
$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} = \eta \dot{\gamma} \quad (2)$$

اگرچه تعدادی زیادی از سیالات غذایی رفتار نیوتنی از خود نشان می‌دهند، اما بعضی از مایعات و مواد بیولوژیکی نیمه‌جامد دارای رفتار غیرنیوتنی هستند، یعنی رابطه بین تنش برشی و نرخ برشی آنها خطی نیست. چنین سیالاتی را اصطلاحاً غیرنیوتنی می‌نامند.

محلول‌های غلیظ ماکرومولکولها (نشاسته‌ها، پروتئین‌ها و صمغ‌ها) و مواد کلوئیدی نظیر امولسیون‌ها، خمیرها و سوسپانسیون‌ها مثال‌هایی از سیالات غیرنیوتنی در صنایع غذایی هستند.

رفتار سیالات غیرنیوتنی به علت تغییر در گرانروی آنها که وابسته به شرایط کار است، مشکل می‌باشد. گرانروی اندازه‌گیری شده تحت شرایط خاص (در یک زمان) را گرانروی ظاهری (η_a) می‌نامند. گرانروی ظاهری برای سیالات غیرنیوتنی همانند سیالات نیوتنی برابر نسبت تنش برشی به نرخ برش می‌باشد، با این تفاوت که گرانروی سیالات غیرنیوتنی تابعی از نرخ برش بوده و بر-خلاف گرانروی سیالات نیوتنی، تحت شرایط مختلف نرخ برش ثابت نیست.

سیالات غیرنیوتنی به دو گروه بزرگ سیالات وابسته به زمان و سیالات مستقل از زمان تقسیم‌بندی می‌شوند (رضوی، ۱۳۸۵). رئوگرام انواع سیالات مستقل از زمان توسط منحنی‌های E, D, C, B, A در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. منحنی A نشانگر سیال سودوپلاستیک، منحنی B نشان‌دهنده سیال دیلاتانت، منحنی C یک سیال پلاستیک مطلق، منحنی D یک سیال پلاستیک بینگهام^۱ و منحنی‌های E یک جسم کاسون (هرشل - بالکلی^۲) است.



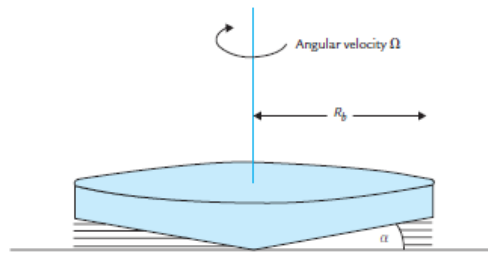
شکل ۱. رئوگرام سیالات مستقل از زمان

لزجت‌سنج‌ها بر اساس روش کار به انواع مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که متداول‌ترین آنها عبارتند از: لزجت‌سنج لوله مویینه، لزجت‌سنج چرخشی هم‌محور، لزجت‌سنج سقوط گوی، لزجت‌سنج مخروط و صفحه.

لزجت‌سنج مخروط و صفحه دارای یک جز متحرک است. در این نوع لزجت‌سنج‌ها، مخروط دارای زاویه کوچکی است که در تماس با یک صفحه بوده و مایع به علت کشش سطحی خود بین مخروط و صفحه قرار می‌گیرد. در اثر نیروی مقاومت سیال، روی مخروط در حال چرخش گشتاوری ایجاد می‌شود و بر اساس این گشتاور و روابط تعریف شده مقدار گرانروی تعیین می‌شود.

یک ویژگی مهم لزجت‌سنج مخروط و صفحه این است که به علت کوچک بودن زاویه مخروط سرعت برشی در تمام نقاط سیال یکسان است.

1. Bingham
2. Casson or Herschel-Bulkley



شکل ۲. لزجت‌سنج مخروط و صفحه

لزجت‌سنج چرخشی بروکفیلد^۱ جهت بررسی رفتار رئولوژیکی مخلوط خمیر کنجد کم‌چرب و شیر خرم مورد استفاده قرار گرفته است که در آن تأثیر جایگزین کردن چربی با صمغ گوار، زانتان و نشاسته در ۳ سطح و دماهای ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد بررسی شده است. همه مخلوط‌های خمیرکنجد و شیر خرم رفتار شبه‌پلاستیکی غیرنیوتنی در همه دماها و سطوح چربی جایگزین شده نشان دادند (Rezavi *et al.*, 2007)

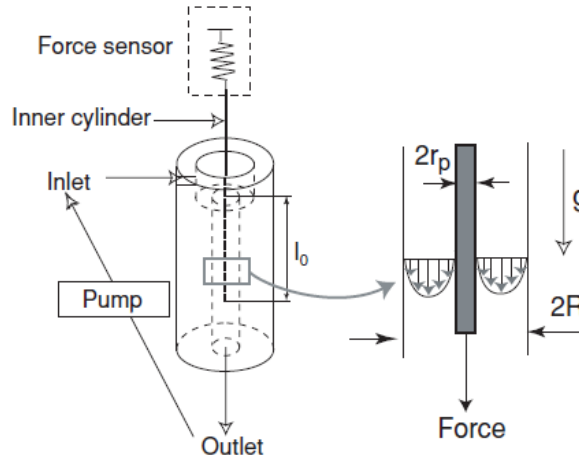
دستگاهی که دانسیته و گرانیوی را به طور هم‌زمان اندازه‌گیری می‌کند توسط پارک و همکاران (۱۹۹۷) طراحی شد. دستگاه شامل چند سوزن، یک استوانه‌ای عمودی، مبدل‌های اندازه‌گیر زمان می‌باشد. روش کار دستگاه به این ترتیب می‌باشد که چند سوزن با دانسیته‌های مشخص به درون سیال رها می‌شوند و مدت زمانی که سوزن‌ها فاصله مشخصی را درون سیال طی می‌کردند توسط مبدل‌ها اندازه‌گیری شده و سپس سرعت سوزن‌ها مشخص می‌شدند. با توجه به مشخص بودن سرعت و دانسیته سوزن‌ها مقدار گرانیوی و دانسیته سیال با استفاده از معادله استوکس تعیین می‌شد. با این دستگاه گرانیوی و دانسیته را برای سیالات نیوتنی را با دو سوزن و برای سیالات غیرنیوتنی با سه سوزن می‌توان تعیین کرد.

با استفاده از روش تشخیص جرم لزجت‌سنج لوله موئینه‌ای جدیدی توسط شین و همکاران (۲۰۰۱) طراحی شد که می‌توانست گرانیوی هر دو نوع سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی را در محدوده بزرگی از نرخ برش تعیین کند. در این لزجت‌سنج برخلاف لزجت‌سنج‌های معمول اندازه‌گیری تغییرات جرم سیال نسبت به زمان جایگزین اندازه‌گیری دبی و افت فشار شد. با یک ترازوی دقیق می‌توان تغییرات جرم سیال جمع شده در ظرف را اندازه گرفت و از آن برای محاسبه ریاضی گرانیوی و نرخ برش استفاده کرد. برای امکان‌سنجی و بررسی دقت روش تشخیص جرم سیال آب و یک سیال غیرنیوتنی مورد آزمایش قرار گرفتند و نتایج آنها با یک لزجت‌سنج چرخشی مقایسه شد. نتایج روش تشخیص جرم مطابقت بسیار خوبی با نتایج لزجت‌سنج چرخشی داشت. از مزایای این لزجت‌سنج سادگی، هزینه پایین، توانایی اندازه‌گیری گرانیوی در محدوده نسبتاً وسیع نرخ برش است.

نوعی لزجت‌سنج با استفاده از اندازه‌گیری نیروی اعمال شده توسط جریان آرام سیال درون یک مجرای کوچک توسط نوئل و همکاران (۲۰۱۱) طراحی شد. نیرو توسط یک حسگر استوانه‌ای بلند که در مسیر جریان سیال غوطه‌ور بود اندازه‌گیری می‌شد. مقدار گرانیوی به وسیله رابطه $\mu = \frac{F}{\lambda l_0 U}$ تعیین می‌شود. در این رابطه μ گرانیوی دینامیکی، F نیرو، U سرعت میانگین سیال، l_0

1. Brookfield

طول حسگر غوطه‌ور و λ ضریب شکل می‌باشد. این لزجت‌سنج برای چندین سیال نیوتنی و غیرنیوتنی مورد آزمایش قرار گرفت. برای سیالات نیوتنی که محدوده گرانیوی آنها $(0.001-0.1 Pa.s)$ بود جواب دستگاه به صورت خطی و با مقادیری که از رئومتر-های تجاری بدست آمد ۹۰٪ مطابقت داشت و برای سیالات غیرنیوتنی، با توجه به تغییرات نیرو با تغییرات سرعت جریان امکان تعیین گرانیوی وابسته به نرخ برش را فراهم می‌کرد (شکل ۳).



شکل ۳. شماتیک دستگاه ساخته شده توسط نوئل و همکاران

تغلیظ شیره خرما در حین فرآوری، موجب افزایش گرانیوی آن می‌شود. و لذا با اندازه‌گیری گرانیوی شیره خرما بصورت پیوسته می‌توان تعیین کرد که آیا محصول نهایی به غلظت مورد نظر رسیده است یا نه. گرانیوی طبق تعریف به عمل اصطکاکی درون سیال و در نتیجه مقاومت سیال در برابر جریان گفته می‌شود. وقتی گرانیوی سیال افزایش می‌یابد نیروهای اصطکاکی نیز افزایش می‌یابند و انرژی بیشتری مورد نیاز خواهد بود (رضوی، ۱۳۸۵).

هدف از این تحقیق، بررسی روابط بین ویژگی‌های ظاهری قابل استخراج توسط پردازش تصویر و مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده گرانیوی است تا به کمک آن بتوان بصورت بلادرنگ اقدام به اندازه‌گیری گرانیوی شیره خرما نمود.

مواد و روش‌ها

شیره خرما استفاده شده به عنوان سیال مورد آزمایش از شرکت خرما بن جنوب تهیه شد. لوازم و تجهیزات استفاده شده در این تحقیق عبارت بودند از:

دستگاه لزجت‌سنج بروکفیلد مدل *LVDV-II+PRO* ساخت کشور آمریکا.

دستگاه حمام آب *Memmert* مدل *WNB 22* ساخت کشور آلمان.

دوربین دیجیتال *CDD* مدل *Canon IXUS 960IS* با وضوح ۱۲ مگاپیکسل.

ترموستات *SAMWON ENG* مدل *SU-105IP* ساخت کشور کره جنوبی.

رفراکتومتر *ATAGO* ساخت کشور ژاپن.



المنت‌های حرارتی با توان ۳۰۰ وات.

برای اندازه‌گیری گرانشی شیره خرما از دستگاه لزجت‌سنج موجود در بخش مهندسی شیمی دانشگاه شیراز استفاده شد. برای اندازه‌گیری گرانشی از اسپیندل استوانه‌ای استفاده شد. نمایشگر این دستگاه، مقدار گرانشی و گشتاور مورد نیاز برای ثابت نگه‌داشتن سرعت دورانی را نشان می‌داد. برای اندازه‌گیری گرانشی مطابق روش ارائه شده توسط شرکت سازنده، مقدار نیم لیتر شیره خرما درون یک بشر ریخته و زیر دستگاه لزجت‌سنج و درون حمام آب قرار داده شد. شیره خرما به مدت ۳۰ دقیقه در دمای مورد نظر گرم شد تا دمای همه نقاط شیره خرما و همچنین اسپیندل هم‌دمای و متعادل گشت. سپس دستگاه لزجت‌سنج در سرعت دورانی مورد نظر شروع به کار کرد. قرائت مقدار گرانشی بعد از مدتی که مقادیر گرانشی به حالت تعادل رسید و تغییری در آنها مشاهده نشد انجام گرفت و مقادیر تنش برشی و نرخ برش محاسبه شدند. در بعضی از سیالات از جمله شیره خرما، رابطه بین تنش برشی و نرخ برش در یک مختصات لگاریتمی - لگاریتمی به صورت خطی است:

$$\log \tau = \log k + n \log \left(\frac{dv}{dy} \right) \quad (3)$$

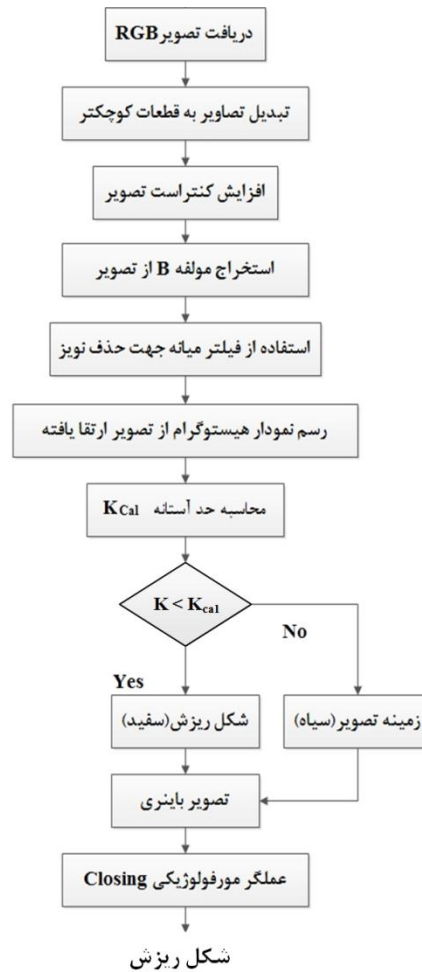
که در آن k شاخص قوام سیال ($Ns^m m^{-2}$) و n شاخص قانون توان یا رفتار جریان می باشد. بنابراین برای بدست آوردن مقادیر شاخص قوام و شاخص رفتار جریان باید داده‌های تنش برشی و نرخ برش در یک مقیاس لگاریتمی و یا لگاریتم داده‌های تنش و کرنش در یک مختصات معمولی ترسیم گردد. در این حالت شاخص رفتار جریان شیب خط راست و شاخص قوام عرض از مبدأ خواهد بود.

بنابراین با به دست آوردن مقادیر n و k می‌توان گرانشی سیالی را که از قانون توان تبعیت می‌کند، در دامنه مشخصی از تنش برشی و نرخ برش محاسبه کرد و به راحتی می‌توان مشخص نمود که سیال نیوتنی یا غیرنیوتنی است (رضوی، ۱۳۸۵). جهت تهیه تصاویر لازم برای بخش پردازش تصاویر این تحقیق از شکل ریزش شیره خرما در غلظت‌های مختلف ۶ محدوده ۲۰ تا ۷۰ درجه بریکس و ۵ دما از ۲۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد عکسبرداری شد. بدین منظور مجموعه لوازم شامل دو بخش کلی مخزن و پایه عکس‌برداری تشکیل شد. به منظور جلوگیری از تبادل حرارتی شیره خرما با محیط و در نتیجه تغییرات گرانشی ناخواسته، اطراف کل مخزن، عایق کاری حرارتی شد.

از آنجا که خروج مایع از روزنه و شکل جریان خروجی تابع فشار استاتیکی در لحظه خروج از روزنه می‌باشد و تغییرات ارتفاع ستون مایع موجب تغییر دبی خروجی و تغییر شکل جریان می‌شد لذا ارتفاع مایع ثابت نگه داشته شد تا تغییرات جریان تنها در اثر تغییرات گرانشی بوده و وابسته به از فشار مایع نباشند. به همین دلیل یک محفظه واسط میان مخزن مایع و روزنه خروجی در نظر گرفته شد که توسط یک مکانیزم شناور، سطح مایع را دائماً ثابت نگه می‌داشت. محفظه تثبیت تا ارتفاع ۱۰ سانتیمتر از شیره خرما پر می‌شد. به منظور عکس‌برداری در دماهای مختلف در این قسمت دو المنت حرارتی و ترموستات برای گرم کردن و کنترل دمای شیره استفاده شد.

پردازش تصویر

فلوچارت مراحل مختلف آماده‌سازی و قطعه‌بندی تصاویر در شکل (۴) آورده شده است.



شکل ۴. فلوچارت مراحل مختلف مربوط به آماده‌سازی و قطعه‌بندی تصویر

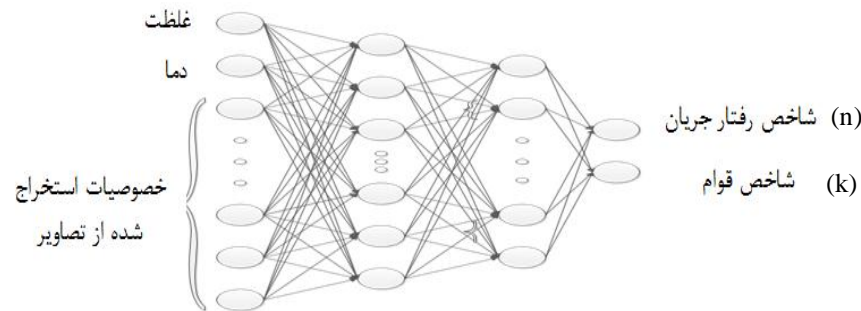
برای افزایش تضاد رنگ‌های موجود در تصویر کنتراست تصویر نیز افزایش داده شد. برای انجام عملیات پردازش برای استخراج اطلاعات، با آستانه‌گیری از مولفه رنگی B ، تصویر باینری حاصل شد. تصاویر قبل از تحلیل شدن پیش پردازش شدند تا نوفه از تصویر حذف شود. برای حذف نقاطی از تصویر که به صورت تصادفی بوجود آمدند از فیلتر میانه استفاده گردید. این بهینه‌سازی و فیلتر باعث شد که انواع نوفه‌های موجود در تصویر تا حد قابل قبولی حذف شوند و تصویر شفاف‌تر در اختیار قرار گیرد. پس از این مرحله مقدار حد آستانه برای جدا کردن شکل مورد نظر از زمینه و تبدیل تصویر به حالت سیاه و سفید تعیین شد. مقدار حد آستانه از روی نمودار هیستوگرام رنگ آبی تعیین گردید.

استخراج ویژگی‌ها از تصاویر

ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر عبارت بودند از عرض مقطع ریزش مایع در ارتفاع‌های مختلف ریزش از روزنه ته مخزن مایع. در مجموع ده عرض مقطع ریزش به عنوان ویژگی در نظر گرفته شد که با تحلیل مولفه‌های اصلی تعدادی از ویژگی‌ها حذف گردیدند. رابطه بین ویژگی‌های استخراج شده از تصویر با مقدار گرانشی شیره خرما بررسی گردید. با توجه به ماهیت گرانشی، تنها اندازه‌گیری ویژگی شکل کافی بود بدین منظور برنامه‌ای طراحی شد که در ارتفاع‌های مشخصی از شکل فاصله عرضی تصویر سیاه و سفید را محاسبه نماید.

استفاده از شبکه عصبی جهت پیش‌بینی شاخص رفتار جریان و شاخص قوام

در این تحقیق از شبکه عصبی چند لایه با روش تعلیم پس انتشار خطا به منظور پیش‌بینی دو مقدار شاخص رفتار جریان و شاخص قوام بر اساس ویژگی‌های استخراج شده از تصویر استفاده شد. با توجه به اشکال روزنه‌ها و ابعاد آنها شش شبکه عصبی تشکیل گردید. ماتریس ورودی به شبکه عصبی شامل داده‌های استخراج شده از تصاویر، ویژگی‌های غلظت، دما و ماتریس خروجی دو مقدار شاخص رفتار جریان و شاخص قوام بودند.



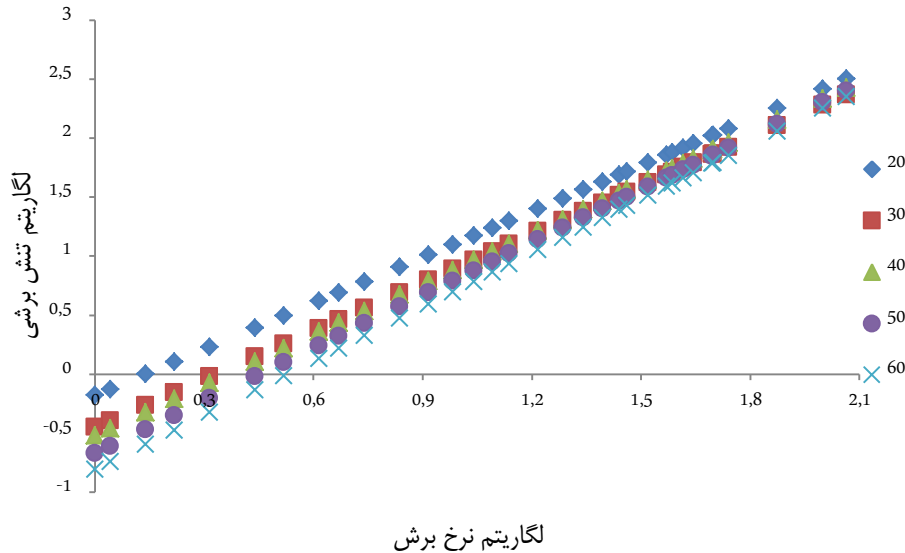
شکل ۵. طرح‌واره شبکه عصبی برای تخمین مقادیر n و k .

با توجه به این که عکس‌برداری از شکل ریزش در شش سطح غلظت و پنج سطح دما انجام گرفت، بنابراین شبکه از ۳۰ سری داده که هر سری شامل ویژگی‌های ذکر شده بودند، تشکیل شدند.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات گرانشی شیره خرما نسبت به نرخ برش در غلظت‌های مختلف نشان داد که رفتار این مایع در غلظت‌ها و دماهای مختلف یکسان نبوده و در برخی موارد این ماده رفتار سودوپلاستیک و در برخی موارد رفتار دیلاتانت از خود نشان می‌دهد. با بررسی لگاریتم تغییرات تنش برشی در برابر لگاریتم نرخ برش، مشخص شد که می‌توان شاخصهای جریان و شاخص قوام را از این داده‌ها بدست آورد. شکل (۶) یک نمونه از این روابط بین لگاریتم تنش برشی و نرخ برش را در غلظت ۴۰ درجه بریکس

نشان می دهد. غلظت با گرانیوی رابطه‌ای مستقیم و غیرخطی دارد و با افزایش غلظت گرانیوی افزایش می‌یابد. در شکل (۶) رابطه معکوس و غیر خطی گرانیوی و دما نیز مشهود است بطوری که با افزایش دما، گرانیوی کاهش می‌یابد.



شکل ۶. نمودار تغییرات گرانیوی نسبت به نرخ برش در غلظت ۴۰ درجه بریکس

با توجه به مطالب بالا مقادیر n و k برای شیر خرمای در غلظت‌ها و دماهای مختلف محاسبه شد. جدول ۱ مقادیر شاخص جریان و شاخص قوام را به ازای غلظت‌های مختلف در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد نشان می دهد. با توجه به مقادیر n بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که در غلظت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه بریکس شیر رفتار غیرنیوتنی از نوع دیلاتانت از خود نشان می‌دهد و در غلظت ۵۰ درجه بریکس شیر به طور تقریبی دارای رفتار نیوتنی و در غلظت‌های ۶۰ و ۷۰ درجه بریکس دارای رفتار غیرنیوتنی از نوع سودوپلاستیک است.

جدول ۱. مقادیر شاخص جریان سیال و شاخص قوام ازای غلظت‌های مختلف.

$K(Pa.s^n)$	n	دما ($^{\circ}C$)	غلظت (درجه بریکس)
۰/۱۲	۱/۴۸	۳۰	۲۰
۰/۱۳	۱/۵۵	۳۰	۳۰
۰/۴۴	۱/۳۶	۳۰	۴۰
۳/۲۲	۰/۹۶	۳۰	۵۰
۳۰/۱۵	۰/۷۰	۳۰	۶۰
۱۵۷/۸۵	۰/۵۱	۳۰	۷۰

شبکه عصبی پیش‌بینی شاخص رفتار جریان و شاخص قوام

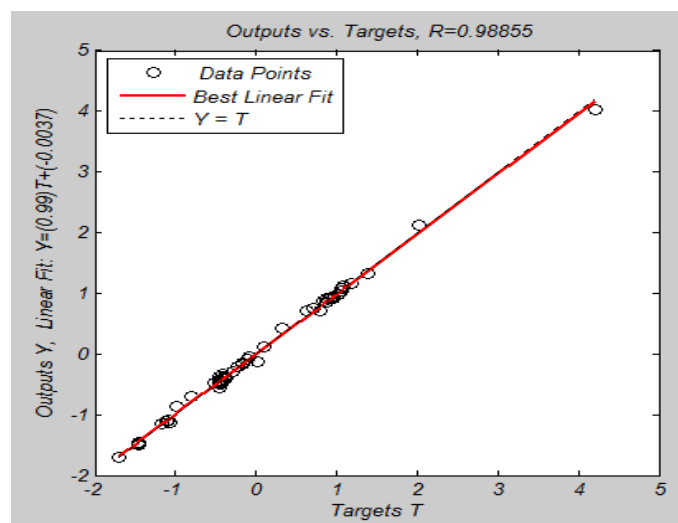
با توجه به نتایج بدست آمده از بخش‌های قبل مشاهده گردید که شیره خرما در غلظت‌ها و دماهای مختلف رفتار غیرنیوتنی از خود نشان داد. در سیالات غیرنیوتنی مقدار گرانیوی باید به همراه نرخ برش بیان شود و در نتیجه امکان بیان یک مقدار ثابت گرانیوی به ازای دما و غلظت مشخص برای یک سیال غیرنیوتنی وجود ندارد. از این رو برای سیالات غیرنیوتنی دو مقدار n و k با کمک شبکه‌های عصبی با لحاظ کردن ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر پیش‌بینی شدند.

جهت طراحی شبکه‌های عصبی از جعبه ابزار شبکه‌های عصبی نرم‌افزار متلب نسخه ۷/۱۱ استفاده شد. تعیین تعداد لایه‌ها و این که در هر لایه چند نرون باشد مساله پیچیده‌ای است که معمولاً به روش آزمون و خطا شبکه‌ای بهینه طراحی می‌شود و در نهایت شبکه‌های با دو لایه پنهان که در آنها از تابع‌های انتقال تانژانت سیگموئید و تابع فعالیت خروجی از نوع خطی بود، استفاده شد. برای آموزش شبکه ابتدا داده‌ها به صورت تصادفی توسط نرم افزار شبکه عصبی به سه قسمت تقسیم شدند، به طوری که ۷۰٪ داده برای آموزش، ۱۵٪ برای اعتبارسنجی و ۱۵٪ برای آزمون شبکه استفاده شد.

جهت انتخاب بهترین شبکه مقادیر میانگین مربعات خطا در هر شبکه ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفت که از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{ANN,i} - Y_{mea,i})^2 \quad (4)$$

که N برابر تعداد نمونه‌ها، $Y_{ANN,i}$ خروجی شبکه عصبی برای نمونه i ام و $Y_{mea,i}$ نمایانگر مقدار اندازه‌گیری شده واقعی برای نمونه شماره i ام می‌باشد و در نهایت شبکه دارای کمترین مقدار میانگین مربعات خطا و بهترین ضریب همبستگی به عنوان شبکه مناسب انتخاب گردید (Cubillos et al., 2003). در شکل (۷) نتیجه تطابق داده‌های حاصل از مدل با مقادیر واقعی نشان داده شده است.



شکل ۷. نمودار تطابق داده‌های واقعی و مدل تعیین گرانیوی



در جدول (۲) نتایج اعتبارسنجی ضربدری ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود از سه شبکه‌ای که برای هر شکل بوجود آمده بودند تنها شبکه‌ای که بهترین میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی را داشت به عنوان شبکه نهایی برای پیش بینی n و k انتخاب شده‌اند.

جدول ۲. شبکه‌های عصبی نهایی بعد از اعتبارسنجی ضربدری.

شکل روزنه	ابعاد روزنه (mm)	توپولوژی	میانگین خطای ارزیابی	ضریب همبستگی
دایره‌ای	۶	۸-۷-۴-۲	۰/۰۱۶۸	۰/۹۷۲۸
	۱۲	۹-۴-۲-۲	۰/۰۱۳۸	۰/۹۸۸۵
	۲۴	۸-۲-۴-۲	۰/۰۱۵۹	۰/۹۷۷۴
مستطیلی	۲×۱۴	۱۰-۶-۴-۲	۰/۰۱۷۹	۰/۹۶۷۸
	۴×۲۸	۹-۳-۳-۲	۰/۰۱۶۱	۰/۹۷۶۸
	۸×۵۶	۷-۲-۴-۲	۰/۰۱۹۸	۰/۹۵۶۳

با توجه به مقادیر میانگین مربعات خطا و ضرایب همبستگی روزنه دایره‌ای با قطر ۱۲ میلیمتر بهترین کارایی را نسبت به دیگر شکل روزنه‌ها دارد و همچنین با توجه به جدول (۲) می‌توان گفت که روزنه‌ها با شکل دایره‌ای نسبت به شکل مستطیلی کارآمدتر بودند.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به آزمایشات انجام شده مشخص گردید که تغییرات غلظت باعث تغییر رفتارهای گوناگونی بر روی سیال مورد آزمایش می‌شود بطوری که در غلظت‌های بالا سیال رفتار سودوپلاستیک، در غلظت‌های میانی رفتار نیوتنی و در غلظت‌های پایین رفتار دیلاتانت از خود نشان دهد و همچنین افزایش دما در تمام سطوح غلظت باعث کاهش میزان گرانشی می‌شود. با توجه به رفتار-های متفاوت سیال، گرانشی می‌بایست بر اساس شاخص‌های رفتار جریان و قوام تعیین شد. بدین منظور از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی این شاخص‌ها استفاده گردید. شبکه‌های عصبی بر اساس ویژگی‌های غلظت، دما و داده‌های استخراج شده از تصویر بوجود آمدند. با بررسی‌های انجام شده مشخص شد که شبکه‌های عصبی قادرند بر اساس این سه ویژگی، مقادیر شاخص‌های جریان و قوام را با دقت بالایی پیش‌بینی کنند.

منابع

- ثباتی گاوگانی، م. ۱۳۸۷. بررسی وضعیت بازیافت مواد با ارزش از ضایعات کشاورزی. ماهنامه کشاورزی و غذا شماره ۷۴. رضوی، م. ع. ۱۳۸۵. خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- شهیری طبرستانی، ه. مقصودلو، ی. معتمدزادگان، ع. و صادقی ماهونک، ع. ۱۳۸۷. پیش بینی تغییرات گرانشی زلاتین پوست ماهی قزل آلی رنگین کمان تولید شده در زمان های مختلف پیش فرآوری با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی. هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی. مشهد. ایران.
- Cubillos, F., and Reyes A. 2003. Design of a model based on a modular neural network approach. *Drying Thechnology*, 21(7):1185-1195.
- Noël, M. H., Semin, B., Hulin, J. P., and Auradou, H., 2011. Viscometer using drag force measurements. *Review of Scientific Instruments*, 82(2): 023909.
- Park, N. A., Thomas, F., and Irvine Jr., 1997. Liquid density measurements using the falling needle viscometer. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 24(3): 303-312.
- Rezavi, S. M. A., Habibi Najafi, M. B., and Alaei, Z., 2007. The time independent rheological properties of low fat sesame paste/date syrup blends as a function of fat substitutes and temperature. *Food Hydrocolloids*, 21: 198–202.
- Shin, S., Lee, S. W., and Keum, D. Y., 2001. A new mass-detecting capillary viscometer". *Review of Scientific Instruments*, 72(7):3127-3128.
- Kvaal, K., Wold, J. P., Indahl, U. J., Baardseth, P., and Naes, T. 1998. Multivariate feature extraction from textural images of bread. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 42: 141–158.