



مدل سازی اثر فراصوت بر ویسکوزیته، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت های مختلف صمغ گزانتان

فخرالدین صالحی^{۱*}، معین اینانلودوقوز^۲

۱-دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ های مقاله :	استفاده از امواج فراصوت برای تغییر ساختار صمغ ها، منجر به اصلاح و بهبود ویژگی های عملکردی و خواص رئولوژیکی آنها می شود. در این پژوهش اثرات شدت فراصوت و زمان تیماردهی بر ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت های مختلف صمغ گزانتان بررسی و مدل سازی شد. برای مدل سازی فرآیند نیز از روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی با سه ورودی (توان فراصوت، زمان تیماردهی و غلظت صمغ) و سه خروجی (ویسکوزیته، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان) استفاده گردید. ویسکوزیته ظاهری نمونه شاهد صمغ گزانتان (تیمار نشده) با غلظت های ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد به ترتیب برابر ۲۱/۰، ۳۹/۹ و ۶۶/۵ میلی پاسکال ثانیه بود. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت و زمان اعمال فراصوت، ویسکوزیته صمغ کاهش می یابد. تیماردهی با امواج فراصوت به مدت ۲۰ دقیقه باعث کاهش معنی دار ویسکوزیته ظاهری صمغ گزانتان از ۳۹/۹ به ۲۳/۲ میلی پاسکال ثانیه گردید ($p < 0.05$). نتایج مدل سازی به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه ای با ساختار ۳-۵-۳ در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک می تواند پارامترهای رئولوژیکی صمغ گزانتان را با ضریب همبستگی بالا و مقدار خطا پایین پیش بینی نماید. مقادیر میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده (NMSE)، میانگین خطا مطلق (MAE) و ضریب همبستگی (r) برای پیش بینی ویسکوزیته ظاهری صمغ گزانتان به ترتیب برابر ۰/۲۰، ۷۳/۱۷، ۶/۴۸ و ۰/۹۰ بود. بر اساس نتایج آزمون آنالیز حساسیت، شدت تیماردهی با فراصوت به عنوان مؤثرترین عوامل در تغییر ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان صمغ گزانتان بود.
کلمات کلیدی: آنالیز حساسیت، الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی، تانژانت هیپربولیک، ویسکوزیته ظاهری.	
DOI: 10.22034/FSCT.21.146.158	
*مسئول مکاتبات: F.Salehi@Basu.ac.ir	

۱- مقدمه

هیدروکلوئیدها (صمغ‌ها) ترکیبات آب‌دوستی هستند که به‌عنوان غلیظ‌کننده برای تغییر خواص رئولوژیکی غذاها استفاده می‌شوند. یکی از صمغ‌هایی که به‌طور گسترده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، صمغ گزانتان است. این صمغ یک هیدروکلوئید آنیونی و یک پلی‌ساکارید خارج سلولی است که توسط باکتری گزانتوموناس کمپستریس (*Xanthomonas campestris*) تولید می‌شود [۱]. صمغ گزانتان به‌طور گسترده در دسترس است و در صنایع غذایی از آن به‌عنوان یک عامل غلیظ‌کننده، تثبیت‌کننده، تعلیق‌کننده، امولسیون‌کننده و ژل‌کننده استفاده می‌کنند. محلول آبی صمغ گزانتان رفتار سودوپلاستیکی از خود نشان می‌دهد [۲-۴].

در حال حاضر، اصلاح و بهبود کیفیت هیدروکلوئیدها با استفاده از فرآیندهای غیرحرارتی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و شرکت‌های فرآوری مواد غذایی قرار گرفته است [۵، ۶]. برای مثال، اثر فشار هیدرواستاتیک بالا بر خصوصیات رئولوژیکی و پایداری کف/امولسیون صمغ دانه قدومه شیرازی توسط قادری و همکاران (۲۰۲۰) بررسی شده است. این پژوهشگران گزارش کردند که استفاده از این روش غیرحرارتی منجر به افزایش پایداری کف و امولسیون تهیه شده از صمغ دانه قدومه شیرازی می‌شود [۵].

امروزه فراصوت^۱ به‌عنوان یک ابزار سبز جدید با تأثیرات منحصر به فرد در نگهداری و فرآوری مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تأثیر امواج فراصوت به دلیل پدیده کاویتاسیون، گرمایش، افزایش تحرک و ایجاد تنش برشی در نمونه‌ها است [۷، ۸]. یکی از جدیدترین کاربردهای فراصوت، تغییر ترکیب و خواص ساختاری پلیمرهایی مانند هیدروکلوئیدها است [۹-۱۱].

توانایی صمغ گزانتان برای کنترل خواص محلول (به دلیل ایجاد ویسکوزیته بالا در غلظت کم) استفاده از آن را به‌عنوان یک اصلاح‌کننده رئولوژی در صنایع مختلف ترویج داده

است [۱]. خواص رئولوژیکی محلول صمغ‌ها نقش مهمی در طراحی فرآیندها و انتخاب دستگاه‌های فرآوری و انتقال مواد ایفا می‌کنند. در پژوهش‌های اخیر، از فراصوت برای تجزیه کنترل شده صمغ‌ها و در نتیجه تغییر در ویسکوزیته و خواص رئولوژیکی آنها استفاده شده است [۹-۱۳]. اثر فراصوت بر رفتار رئولوژیکی پکتین چغندر قند توسط یانگ و همکاران (۲۰۲۰) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده توسط این پژوهشگران نشان داد که مقادیر ویسکوزیته و ضریب قوام پکتین پس از اعمال فراصوت کاهش می‌یابد [۱۴].

مدل شبکه عصبی مصنوعی^۲ یک مدل ریاضی با سازگاری قوی و توانایی شبیه‌سازی عالی برای بررسی ناشناخته‌ها است [۱۵، ۱۶]. الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است و بر این اساس که بهترین‌ها حق بقا دارند، شکل گرفته است [۱۶، ۱۷]. روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به‌طور گسترده‌ای به‌منظور مدل‌سازی فرآیندها و پیش‌بینی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها استفاده می‌شود. این روش دارای قابلیت بالایی برای یافتن مقدار بهینه یک تابع هدف پیچیده است [۱۷، ۱۸].

استفاده از تیمار فراصوت به دلیل تأثیرات فیزیکی شیمیایی مفید فراوانی که دارد، توصیه شده است [۷، ۱۰]. لذا در این پژوهش اثر توان فراصوت و زمان تیماردهی بر ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان بررسی و به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه محلول صمغ گزانتان

پودر صمغ گزانتان از شرکت فوفنگ (چین) خریداری شد. برای تهیه غلظت‌های مختلف از صمغ گزانتان، با حل پودر صمغ در آب مقطر محلول‌های با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد (وزنی/حجمی) تهیه شد. برای تکمیل فرآیند

1- Ultrasound

2- Artificial Neural Network (ANN)

ابتدا تنش برشی محلول‌ها در سرعت‌های برشی مختلف (۱۲-۱۳۴ بر ثانیه) توسط دستگاه ویسکومتر ثبت و سپس برای مدل‌سازی از مدل قانون توان استفاده شد.

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

در این معادله، $\dot{\gamma}$ سرعت برشی (s^{-1})، τ تنش برشی (mPa)، k ضریب قوام ($mPa \cdot s^n$) و n شاخص رفتار جریان (بدون واحد) هستند [۲۲]. برای برازش داده‌ها با مدل قانون توان و محاسبه ضریب قوام و شاخص رفتار جریان، از نرم‌افزار متلب (R2012a) استفاده شد.

۲-۵- مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی

مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یک فن یادگیری عمیق است که از نورون‌های سیستم عصبی انسان الهام گرفته شده است [۱۶]. یک شبکه عصبی مصنوعی متداول، یک ساختار موازی متصل است که از یک لایه ورودی متشکل از نورون‌ها (مرتبط با متغیرهای ورودی)، یک لایه پنهان متشکل از نورون‌ها و یک لایه خروجی متشکل از نورون‌ها (مرتبط با متغیرهای خروجی) تشکیل شده است [۲۳]. در این مطالعه برای مدل‌سازی و پیش‌بینی خصوصیات رئولوژیکی صمغ گزانتان تیمار شده با فراصوت، سه ورودی (توان فراصوت، زمان تیماردهی و غلظت صمغ) و سه خروجی (ویسکوزیته، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان) برای شبکه در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن^۴ (نسخه ۵) جهت مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد [۲۴].

۲-۶- آنالیز آماری

در این پژوهش اثر امواج فراصوت بر ویسکوزیته، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان بررسی شد. این پژوهش در قالب فاکتوریل بر پایه

آبگیری صمغ، محلول‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق نگهداری و سپس جهت تیماردهی با فراصوت استفاده شدند.

۲-۲- تیماردهی با فراصوت

برای اعمال تیمار فراصوت بر صمغ گزانتان، از دستگاه حمام فراصوت (مدل vCLEAN1-L6، بکر، ایران) با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز استفاده گردید. برای این منظور، ۲ لیتر از هر محلول تهیه شده از صمغ گزانتان داخل حمام فراصوت ریخته شد. سپس اثر توان فراصوت (در دو سطح ۷۵ و ۱۵۰ وات) و زمان تیماردهی (در پنج زمان ۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه) بر محلول صمغ بررسی شد.

۲-۳- اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری

خصوصیات رئولوژیکی هیدروکلوئیدها به دلیل خواص ساختاری و بافتی که در محصولات غذایی ایجاد می‌کنند، بسیار مهم است [۱۹]. برای اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری محلول‌های تیمار شده با فراصوت از یک ویسکومتر چرخشی (بروکفیلد، DV2T، RV، آمریکا) استفاده شد. برای اندازه‌گیری ویسکوزیته ظاهری صمغ گزانتان، ویسکوزیته محلول‌ها در سرعت برشی ۶۱ بر ثانیه با استفاده از کیت UL آداپتور در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد.

۲-۴- محاسبه ضریب قوام و شاخص رفتار جریان

برای محاسبه ضریب قوام و شاخص رفتار جریان مدل‌های مختلف رئولوژیکی استفاده شد. با توجه به ماهیت صمغ، غلظت پایین محلول‌ها، خطاهای به دست آمده از بررسی مدل‌های مختلف رئولوژیکی و همچنین مقالات منتشر شده در این زمینه [۲۰، ۲۱]، مدل قانون توان^۳ (معادله ۱) برای بررسی رفتار رئولوژیکی محلول این صمغ مناسب تشخیص داده شد. لذا در این مطالعه، برای محاسبه ضریب قوام و شاخص رفتار جریان محلول‌های تهیه شده از صمغ گزانتان،

4- Neurosolution software (Excel software release 5.0), NeuroDimension, Inc., USA

3- Power law

انرژی فراصوت به‌عنوان محرک تعدادی از واکنش‌های فیزیکوشیمیایی شناخته می‌شود که منجر به تغییر ویژگی‌های عملکردی هیدروکلوئیدها در سیستم‌های غذایی مایع می‌شوند [۲۵]. در این پژوهش، با افزایش زمان تیماردهی با امواج فراصوت نیز ویسکوزیته ظاهری صمغ گزانتان کاهش یافت. در توان ثابت ۷۵ وات، افزایش زمان تیماردهی با امواج فراصوت تا ۲۰ دقیقه باعث کاهش معنی‌دار ویسکوزیته ظاهری صمغ گزانتان از ۳۹/۹ به ۲۳/۲ میلی‌پاسکال ثانیه (سانتی‌پواز) شد ($p < 0.05$). کاهش ویسکوزیته صمغ‌ها هنگام فرار گرفتن در معرض امواج فراصوت را می‌توان به دلیل تجزیه ساختارهای مولکولی بزرگ آنها به اشکال کوچکتر به دلیل اثر کایتاسیون نسبت داد [۱۱، ۲۵]. لی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که امواج فراصوت در مدت ۱۰ تا ۲۰ دقیقه به‌سرعت باعث کاهش شدید در ویسکوزیته محلول صمغ گلوکومانان کونیاک^۵ (با غلظت ۱٪) شد [۱۰].

طرح کاملاً تصادفی انجام و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 21 تجزیه و تحلیل شد. تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام و برای مقایسه میانگین پاسخ‌های مشاهده شده، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۹۵٪ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر فراصوت بر ویسکوزیته ظاهری

فراصوت قادر است هیدروکلوئیدهای پیچیده را به اجزای مولکولی کوچکتر تجزیه کند و در نتیجه ویسکوزیته محلول تهیه شده از آنها را کاهش دهد [۱۰]. در شکل ۱ اثر شدت و زمان تیماردهی با فراصوت بر ویسکوزیته ظاهری صمغ گزانتان با غلظت ۰/۱۵ درصد به نمایش درآمده است. در سایر غلظت‌ها هم رفتار مشابهی مشاهده شد. با افزایش توان دستگاه فراصوت، شدت تیماردهی به نمونه‌ها افزایش یافت و باعث کاهش ویسکوزیته محلول‌ها شد. از نظر آماری نیز این کاهش در اکثر زمان‌های تیماردهی معنی‌دار بود ($p < 0.05$).

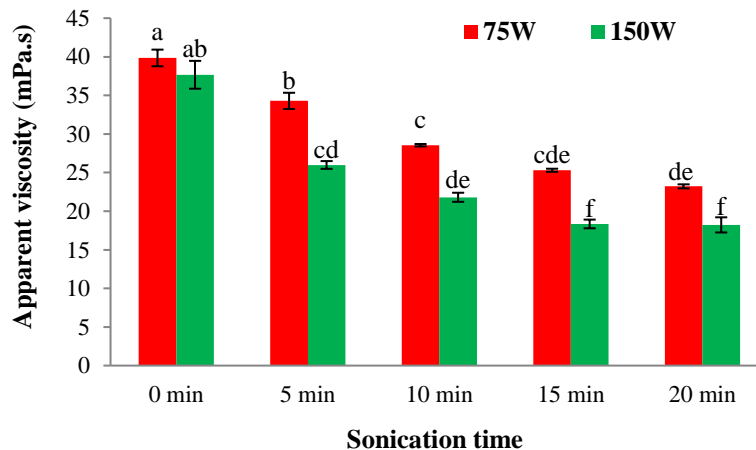


Figure 1- Effect of sonication power and durations on the apparent viscosity of xanthan gum (concentration=0.15%)

Different letters above the columns indicate a significant differences ($p < 0.05$)

این شکل مربوط به توان ۷۵ وات دستگاه فراصوت است و داده‌های به دست آمده از توان ۱۵۰ وات نیز رفتار مشابهی را نشان داد. در همه غلظت‌ها، با افزایش زمان تیماردهی با

در شکل ۲ اثر زمان تیماردهی با فراصوت بر ویسکوزیته ظاهری غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان را نشان می‌دهد.

شکل ۲ اثر غلظت صمغ گزانتان بر ویسکوزیته ظاهری را نیز نشان می‌دهد. مشابه سایر صمغ‌ها، با افزایش غلظت صمغ، ویسکوزیته ظاهری صمغ گزانتان نیز افزایش یافت. ویسکوزیته ظاهری نمونه شاهد صمغ گزانتان (تیمار نشده) با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۲ درصد به ترتیب برابر ۲۱/۰، ۳۹/۹ و ۶۶/۵ سانتی‌پواز بود. در نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده با فراصوت، از نظر آماری، اختلاف معنی‌داری بین ویسکوزیته ظاهری غلظت‌های مختلف صمغ وجود داشت ($p < 0.05$).

فراصوت، ویسکوزیته ظاهری کاهش یافت و بیشترین کاهش مربوط به زمان ۲۰ دقیقه بود. در این پژوهش، بیشترین ویسکوزیته ظاهری صمغ گزانتان مربوط به نمونه شاهد با غلظت ۰/۲ درصد و کمترین ویسکوزیته ظاهری نیز مربوط به نمونه با غلظت ۰/۱ درصد و تیمار شده با فراصوت به مدت ۲۰ دقیقه بود. اثر امواج فراصوت بر خواص رئولوژیکی محلول صمغ دانه خرنوب توسط فریزاد و عباسی (۲۰۲۳) بررسی شده است. نتایج آنها نشان داد که با افزایش زمان تیماردهی با فراصوت (۹۰-۰ دقیقه)، ویسکوزیته محلول صمغ دانه خرنوب کاهش می‌یابد [۱۳].

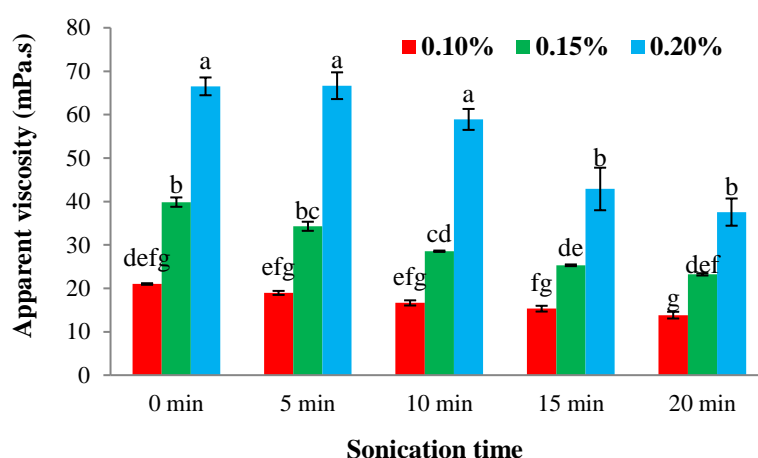


Figure 2- Effect of sonication durations on the apparent viscosity of different concentrations of xanthan gum (power=0.75W)

Different letters above the columns indicate a significant differences ($p < 0.05$)

نتایج این پژوهش نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۵ نورون در لایه پنهان می‌تواند به خوبی ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان را پیش‌بینی کند.

اخیراً از شبکه‌های عصبی مصنوعی به دلیل دقت و توانایی تعمیم بالا در مدل‌سازی، به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی سیستم‌های بیولوژیکی غیرخطی استفاده شده است [۲۳]. مقادیر خطا (میانگین مربعات خطا^۷، میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده^۸، میانگین خطای مطلق^۹، حداقل خطای مطلق^{۱۰} و حداکثر خطای مطلق^{۱۱}) و ضریب تبیین^{۱۲} برای پیش‌بینی ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام و شاخص رفتار

۲-۳- نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش، با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک^۶ به دست آمد، این نوع تابع به عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب شد. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۵۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده شود، شبکه به خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها است. ۱۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش دیده استفاده گردید. به منظور ارزیابی شبکه هم از باقی مانده داده‌ها (۴۰ درصد) استفاده گردید.

10- Minimum absolute error
11- Maximum absolute error
12- Correlation coefficient (r)

6- Hyperbolic tangent function
7- Mean squared error (MSE)
8- Normalized Mean squared error (NMSE)
9- Mean absolute error (MAE)

Mean absolute error	6.48	122.07	0.03
Minimum absolute error	0.23	0.48	0.00
Maximum absolute error	20.81	487.67	0.12
Correlation coefficient (r)	0.90	0.90	0.85

مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۳ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود ۱۶ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد که نشان دهنده توانایی روش الگوریتم ژنتیک در بهینه کردن پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی است. در این مدل‌سازی، حداقل مقدار میانگین مربعات خطا محاسبه شده برای پارامترهای رئولوژیکی صمغ گزانتان، ۰/۰۱۹ بود.

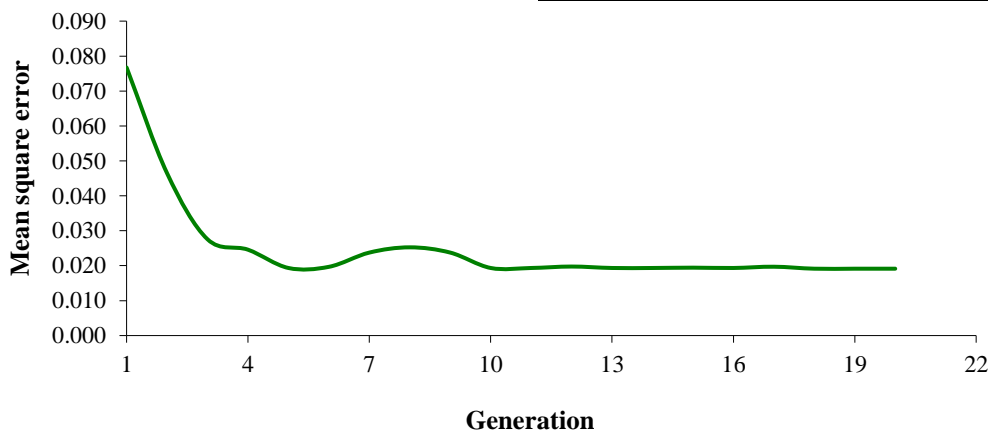


Figure 3- Mean square error versus generation during training of network

شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی پارامترهای رئولوژیکی صمغ گزانتان است.

جریان در جدول ۱ گزارش شده است. میانگین مربعات خطا نرمالیزه شده برای پیش‌بینی ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان توسط شبکه عصبی بهینه به ترتیب برابر ۰/۲۰، ۰/۲۰ و ۰/۳۰ بود که نشان دهنده قدرت شبکه در کاهش خطا هنگام مدل‌سازی است. همچنین، ضریب تبیین محاسبه شده برای پیش‌بینی ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان توسط شبکه عصبی بهینه به ترتیب برابر ۰/۹۰، ۰/۹۰ و ۰/۸۵ بود.

Table 1- The error values in prediction of apparent viscosity, consistency coefficient, and flow behavior index of different concentrations of xanthan gum

Error	Apparent viscosity	Consistency coefficient	Flow behavior index
Mean squared error	73.17	28420.77	0.00
Normalized Mean squared error	0.20	0.20	0.30

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی برای ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت‌های مختلف صمغ گزانتان و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی بهینه (۳/۵/۳) در شکل ۴ نشان داده

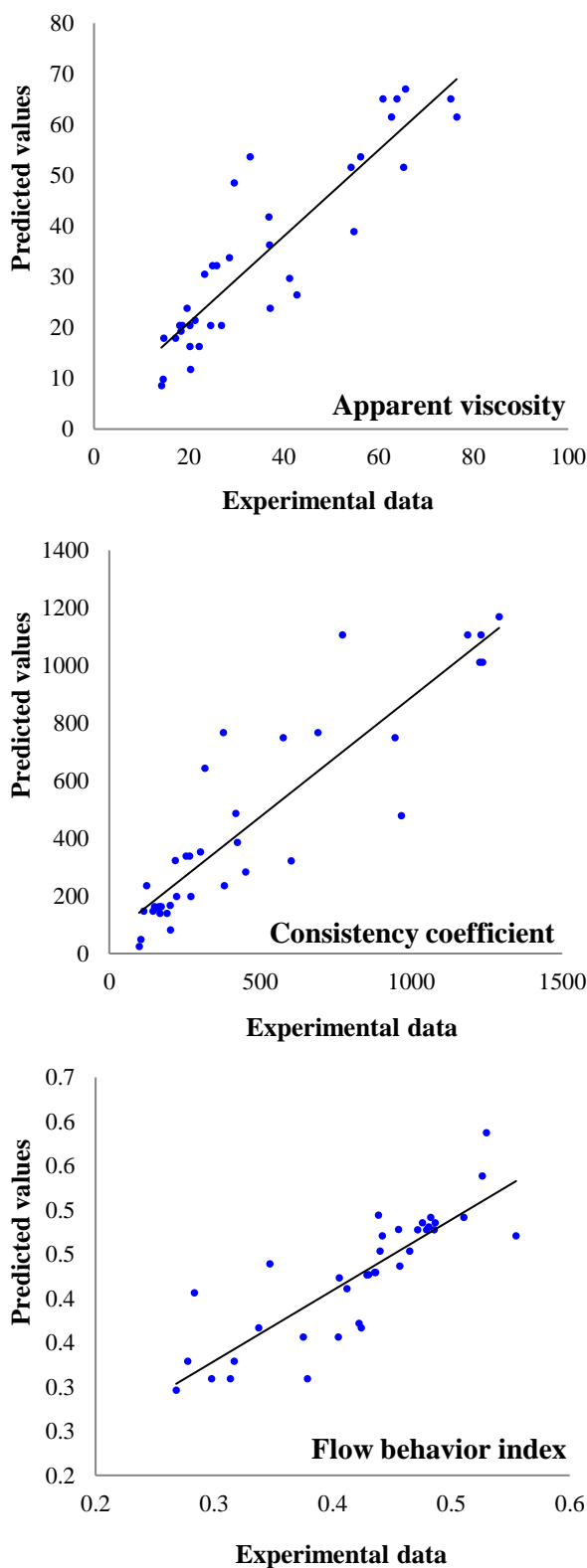


Figure 4- Experimental data vs predicted values of apparent viscosity, consistency coefficient, and flow behavior index of different concentrations of xanthan gum

هدف از فرآیند آموزش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن مقادیر وزن و بایاس شبکه عصبی

بهینه است. در جدول ۲، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نورون برای شبکه دارای ۵ نورون در لایه پنهان گزارش شده است.

Table 2- Weight values and bias of the optimal network

Hidden neurons	Bias	Input neurons			Output neurons		
		Power (W)	Ultrasound time (min)	Concentration (%)	Apparent viscosity (mPa.s)	Consistency coefficient (mPa.sn)	Flow behavior index
1	1.1923	-0.4902	-0.4739	0.5210	-0.0363	0.6134	-0.5375
2	0.7321	1.3188	-0.2686	0.5462	-1.3554	-0.7177	0.3747
3	0.6648	0.8298	-0.4303	-0.0068	0.5840	-0.5938	-0.8181
4	-0.6641	0.6159	0.3397	-0.5484	-0.7956	-1.3767	-0.2871
5	2.1337	0.3350	1.2036	-1.8546	0.3598	-0.1854	0.2876
Bias					-0.3314	-0.5098	0.6223

شبکه بهینه ایجاد شده توسط روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. همان‌طوری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در میان متغیرهای ورودی، به ترتیب توان فراصوت و زمان تیماردهی با فراصوت به‌عنوان مؤثرترین عوامل در تغییر پارامترهای رئولوژیکی صمغ گزانتان می‌باشند.

آنالیز حساسیت روشی است که در آن میزان و نحوه توزیع داده‌های ورودی با بیشترین تأثیر بر روی خروجی مدل مشخص شود. در واقع تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی، سبب کاهش مراحل سعی و خطا و شناخت مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر پدیده مورد نظر می‌گردد [۲۶]. به‌منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت روی

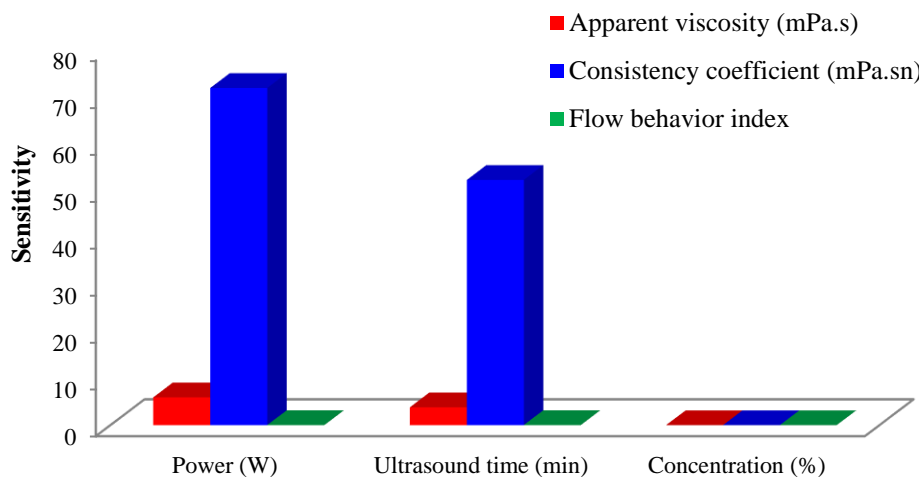


Figure 5- Sensitivity analysis results for prediction of apparent viscosity, consistency coefficient, and flow behavior index of different concentrations of xanthan gum

صمغ گزانتان مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش توان دستگاه فراصوت، شدت تیماردهی به نمونه‌ها افزایش و ویسکوزیته محلول‌ها کاهش یافت. با افزایش زمان تیماردهی

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه شدت و زمان اعمال فراصوت بر ویسکوزیته، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت‌های مختلف

رئولوژیکی صمغ‌های مختلف استفاده نمود. نتایج آنالیز حساسیت نیز نشان داد که شدت تیماردهی با فراصوت به‌عنوان مؤثرترین پارامتر در تغییر پارامترهای رئولوژیکی صمغ‌گزانتان است.

۵- تشکر و قدردانی

از حمایت مالی شورای پژوهشی دانشگاه بوعلی سینا از این پژوهش، قدردانی می‌کنیم.

با امواج فراصوت نیز ویسکوزیته ظاهری صمغ‌گزانتان کاهش یافت. با افزایش غلظت صمغ، ویسکوزیته ظاهری صمغ‌گزانتان افزایش یافت. در این پژوهش از مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی ویسکوزیته ظاهری، ضریب قوام و شاخص رفتار جریان غلظت‌های مختلف صمغ‌گزانتان استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان داد که روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی پارامترهای رئولوژیکی صمغ‌گزانتان مناسب است و از این روش می‌توان برای پیش‌بینی رفتار

۶- منابع

- [1] Nsengiyumva, E. M., Heitz, M. P., Alexandridis, P. 2023. Thermal hysteresis phenomena in aqueous xanthan gum solutions, *Food Hydrocolloids*. 144, 108973.
- [2] Nejadmansouri, M., Shad, E., Razmjooei, M., Safdarianghomsheh, R., Delvigne, F., Khalesi, M. 2020. Production of xanthan gum using immobilized *Xanthomonas campestris* cells: Effects of support type, *Biochemical Engineering Journal*. 157, 107554.
- [3] Sarraf, M., Naji-Tabasi, S., Beig-babaei, A. 2021. Influence of calcium chloride and pH on soluble complex of whey protein-basil seed gum and xanthan gum, *Food Science & Nutrition*. 9, 6728-6736.
- [4] Jiang, T., Zhao, J.-d., Zhang, J.-r. 2022. Splitting tensile strength and microstructure of xanthan gum-treated loess, *Scientific Reports*. 12, 9921.
- [5] Ghaderi, S., Hesarinejad, M. A., Shekarforoush, E., Mirzababae, S. M., Karimpour, F. 2020. Effects of high hydrostatic pressure on the rheological properties and foams/emulsions stability of *Alyssum homolocarpum* seed gum, *Food Science & Nutrition*. 8, 5571-5579.
- [6] Mirzababae, S. M., Ozmen, D., Hesarinejad, M. A., Toker, O. S., Yeganehzad, S. 2022. A study on the structural, physicochemical, rheological and thermal properties of high hydrostatic pressurized pearl millet starch, *International Journal of Biological Macromolecules*. 223, 511-523.
- [7] Salehi, F. 2023. Recent advances in the ultrasound-assisted osmotic dehydration of agricultural products: A review, *Food Bioscience*. 51, 102307.
- [8] Salehi, F., Razavi Kamran, H., Goharpour, K. 2023. Effects of ultrasound time, xanthan gum, and sucrose levels on the osmosis dehydration and appearance characteristics of grapefruit slices: process optimization using response surface methodology, *Ultrasonics Sonochemistry*. 98, 106505.
- [9] Li, R., Feke, D. L. 2015. Rheological and kinetic study of the ultrasonic degradation of xanthan gum in aqueous solution: Effects of pyruvate group, *Carbohydrate Polymers*. 124, 216-221.
- [10] Li, J., Li, B., Geng, P., Song, A.-X., Wu, J.-Y. 2017. Ultrasonic degradation kinetics and rheological profiles of a food polysaccharide (konjac glucomannan) in water, *Food Hydrocolloids*. 70, 14-19.
- [11] Muñoz-Almagro, N., Montilla, A., Moreno, F. J., Villamiel, M. 2017. Modification of citrus and apple pectin by power ultrasound: Effects of acid and enzymatic treatment, *Ultrasonics Sonochemistry*. 38, 807-819.
- [12] Raoufi, N., Kadkhodae, R., Fang, Y., Phillips, G. O. 2019. Ultrasonic degradation of Persian gum and gum tragacanth: Effect on chain conformation and molecular properties, *Ultrasonics Sonochemistry*. 52, 311-317.
- [13] Farizadeh, S., Abbasi, H. 2023. Effect of ultrasonic waves on structural, functional and rheological properties of locust bean gum, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*. 19, 365-381.
- [14] Yang, Y., Chen, D., Yu, Y., Huang, X. 2020. Effect of ultrasonic treatment on rheological and emulsifying properties of sugar beet pectin, *Food Science & Nutrition*. 8, 4266-4275.
- [15] Wei, Q., Lv, M., Wang, B., Sun, J., Wang, D. 2023. A comparative study of optimized conditions of QuEChERS to determine the pesticide multiresidues in *Lycium barbarum* using response surface methodology and genetic algorithm-artificial neural network, *Journal of Food Composition and Analysis*. 120, 105356.
- [16] Lee, G. E., Kim, R. H., Lim, T., Kim, J., Kim, S., Kim, H.-G., Hwang, K. T. 2022. Optimization of accelerated solvent extraction of ellagitannins in black raspberry seeds using artificial neural network coupled with genetic algorithm, *Food Chemistry*. 396, 133712.
- [17] Salehi, F. 2020. Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits and vegetables during postharvest storage: A review, *International Journal of Fruit Science*. 20, 506-520.

- [18] Fadaie, M., Hosseini Ghaboos, S. H., Beheshti, B. 2020. Characterization of dried persimmon using infrared dryer and process modeling using genetic algorithm-artificial neural network method, *Journal of Food Science and Technology (Iran)*. 17, 189-200.
- [19] Koocheki, A., Hesarinejad, M. A., Mozafari, M. R. 2022. *Lepidium perfoliatum* seed gum: investigation of monosaccharide composition, antioxidant activity and rheological behavior in presence of salts, *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 9, 61.
- [20] Xuewu, Z., Xin, L., Dexiang, G., Wei, Z., Tong, X., Yonghong, M. 1996. Rheological models for xanthan gum, *Journal of Food Engineering*. 27, 203-209.
- [21] Song, K.-W., Kim, Y.-S., Chang, G.-S. 2006. Rheology of concentrated xanthan gum solutions: Steady shear flow behavior, *Fibers and Polymers*. 7, 129-138.
- [22] Salehi, F., Razavi Kamran, H., Goharpour, K. 2023. Production and evaluation of total phenolics, antioxidant activity, viscosity, color, and sensory attributes of quince tea infusion: Effects of drying method, sonication, and brewing process, *Ultrasonics Sonochemistry*. 99, 106591.
- [23] Zheng, Z.-Y., Guo, X.-N., Zhu, K.-X., Peng, W., Zhou, H.-M. 2017. Artificial neural network – Genetic algorithm to optimize wheat germ fermentation condition: Application to the production of two anti-tumor benzoquinones, *Food Chemistry*. 227, 264-270.
- [24] Satorabi, M., Salehi, F., Rasouli, M. 2021. The influence of xanthan and balangu seed gums coats on the kinetics of infrared drying of apricot slices: GA-ANN and ANFIS modeling, *International Journal of Fruit Science*. 21, 468-480.
- [25] Oloruntoba, D., Ampofo, J., Ngadi, M. 2022. Effect of ultrasound pretreated hydrocolloid batters on quality attributes of fried chicken nuggets during post-fry holding, *Ultrasonics Sonochemistry*. 91, 106237.
- [26] Ghorbani, M., Naghipour, L., Karimi, V., Farhoudi, R. 2013. Sensitivity analysis of the effective input parameters upon the ozone concentration using artificial neural networks, *Iranian Journal of Health and Environment*. 6, 11-22.



Modeling the effect of ultrasound on viscosity, consistency coefficient, and flow behavior index of different concentrations of xanthan gum

Fakhreddin Salehi^{1*}, Moein Inanloodoghuz²

1-Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

2 -MSc Student, Department of Food Science and Technology, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article History:</p> <p>Received: 2023/8/19 Accepted: 2023/10/19</p>	<p>The use of ultrasonic waves to change the structure of the gums leads to the modification and improvement of their functional characteristics and rheological properties. In this research, the effects of ultrasonic intensity and treatment time on apparent viscosity, consistency coefficient, and flow behavior index of different concentrations of xanthan gum were investigated and modeled. Genetic algorithm-artificial neural network method with three inputs (ultrasonic power, treatment time and gum concentration) and three outputs (viscosity, consistency coefficient, and flow behavior index) was used to model the process. The apparent viscosities of the xanthan gum control sample (untreated) at concentrations of 0.1, 0.15, and 0.2% were 21.0, 39.9, and 66.5 mPa.s, respectively. The results of this research showed that gum viscosity decreased with increasing intensity and duration of ultrasound application. Ultrasonic treatment for 20 min significantly reduced the apparent viscosity of xanthan gum from 39.9 to 23.2 mPa.s ($p < 0.05$). The genetic algorithm-artificial neural network modeling results showed that the network with 3-5-3 structure in a hidden layer and using the hyperbolic tangent activation function can predict the rheological parameters of xanthan gum with high correlation coefficient and low error value. Values of mean squared error (MSE), normalized mean squared error (NMSE), mean absolute error (MAE), and correlation coefficient (r) to predict the apparent viscosity of xanthan gum were 73.17, 0.20, 6.48, and 0.90, respectively. Based on the results of the sensitivity analysis test, ultrasonic treatment intensity was the most effective factor in changing the apparent viscosity, consistency coefficient, and flow behavior index of xanthan gum.</p>
<p>Keywords:</p> <p>Apparent viscosity, Genetic algorithm-artificial neural network, Hyperbolic tangent, Sensitivity analysis.</p>	
<p>DOI: 10.22034/FSCT.21.146.158</p> <p>*Corresponding Author E-Mail: F.Salehi@Basu.ac.ir</p>	