



مدلسازی و شبیه سازی شار در جداسازی غشایی آنتوسیانین از گلبرگ زعفران با استفاده از روشهای تجربی و شبکه عصبی

طاهره طاهری^۱، سید محمود موسوی^{۲*}، عباس همتی کاخکی^۳، سید محمد باقر وکیلی^۴

۱- گروه تحصیلات تکمیلی مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان

۲- مرکز پژوهشی غشاء و فرآیندهای غشایی گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی

۴- گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان

چکیده

مدلسازی فرآیند اولترافیلتراسیون با یک مدل تجربی و مدل شبکه عصبی برای غشاءهایی از جنس پلی اترسولفون و از نوع ۱۰ و ۲۰ کیلو دالتون در فشارهای ۵،۴ و ۶ بار صورت گرفته است. در شبیه سازی فرآیند اولترافیلتراسیون با استفاده از نرم افزار MATLAB®7.2 برنامه ای برای بکارگیری شبکه عصبی نوشته شد. همچنین با بکارگیری مدل تجربی مهتا، شبیه سازی با استفاده از نرم افزار Data Fit انجام شد. بررسی منحنی های حاصل از نتایج به دست آمده نشان می دهد، در این جداسازی گرفتگی غشاء و قطبش غلظتی نقش مهمی در کاهش شار تراوه و کنترل جداسازی ایفا می کنند و شار حجمی تراوه به علت گرفتگی غشاء و وجود پدیده قطبش غلظتی با افزایش زمان کاهش پیدا می کند و این شار با افزایش فشار به علت افزایش نیروی محرکه افزایش می یابد. ضمناً مدل شبکه عصبی نسبت به مدل تجربی مهتا پیش گویی بهتری را برای شار بیان می کند.

واژه های کلیدی: غشاء، آنتوسیانین، گلبرگ زعفران، اولترافیلتراسیون، گرفتگی، قطبش غلظتی

۱- مقدمه

رنگ از عوامل موثری است که کیفیت و نوع ماده غذایی را می توان با آن تشخیص داد. به عبارتی عواملی مانند فرآیندهای تبدیلی غذاها و فعالیت پاره ای از میکروارگانیسم ها در مواد غذایی باعث

* مرکز پژوهشی غشاء و فرآیندهای غشایی گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد،



تغییرات رنگی در آنها می شود. از این نظر توسط رنگ مواد غذایی، به سادگی می توان از کیفیت و سالم بودن آنها آگاه شد.

به طور خلاصه می توان گفت که رنگ در مواردی شاخص میزان ماندگی یا کهنگی یک ماده غذایی می باشد. باید توجه داشت که رنگدانه ها در مواد غذایی صرفاً سبب ارائه وضعیت ظاهری خاص نمی شوند، بلکه وظایف دیگری همچون جذب انرژی، حمل اکسیژن، جذب تشعشع و ... را دارند. با توجه به مزیت‌های بهداشتی، استفاده از رنگهای طبیعی غذایی به جای رنگ های سنتزی در صنایع غذایی و اثرات سوء استفاده از رنگهای سنتزی بویژه ایجاد بیماری های آلرژی و قلبی، روز به روز دامنه استفاده از رنگهای سنتزی را محدودتر و بر عکس توجه خاصی بر استفاده از پیگمانهای رنگی طبیعی و به کار بردن آنها به جای رنگهای سنتزی مبذول می گردد که در این مقوله بیشترین تحقیقات بر روی استفاده از آنتوسیانین ها به عنوان ماده رنگی افزودنی طبیعی به مواد غذایی که دارای خاصیت آنتی اکسیدانی هستند، انجام شده است [۱، ۲].

امروزه یکی از روشهای جدید و موثر در تولید رنگهای طبیعی، استفاده از حلالهای مناسب برای استخراج رنگ از منشاء گیاهی آن می باشد. ضمناً می توان برای تغلیظ ماده رنگی جدا شده، از سیستم های فیلتراسیون غشایی نظیر اولترافیلتراسیون استفاده نمود.

قطبش غلظتی و گرفتگی غشاء باعث کاهش شار در طی اولترافیلتراسیون می شود. بررسی کاهش شار در فرآیند اولترافیلتراسیون از اهمیت ویژه ای برخوردار است، بطوریکه تعدادی از محققین به بررسی آن پرداخته اند و مدلهایی در این زمینه ارائه داده اند.

Masciola و همکارانش [۳] در رابطه با گرفتگی غشاء در اولترافیلتراسیون UF از نوع امولسیون و تعلیق تحقیقاتی انجام داده اند. در این تحقیق برای ایجاد امولسیون و تعلیق در خوراک از روغن و ژلاتین استفاده شده است و یک مدل تجربی که توصیفی از مدل فیلتراسیون لایه کیک می باشد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که تطابق خوبی بین داده های آزمایشی و مدل تجربی وجود دارد. Huang و همکارانش [۴] یک مدل تجربی را در ارتباط با فیلتراسیون لایه کیک پیشنهاد کرده است. کاربرد این مدل تجربی، برای امولسیون های پساب روغنی می باشد. نتایج تحقیقات نشان داده است که بین مدل تجربی پیشنهادی و داده های آزمایشی بخصوص در غلظت های پایین و فشارهای کم تطابق خوبی وجود دارد.

در تحقیقی دیگر، نتایج آزمایش برای کاهش میزان جریان با زمان در اولترافیلتراسیون درشت مولکولها و نتایج پیش بینی شده در این زمینه با یک مدل تجربی که بر اساس مقاومت می باشد، بررسی شده است. در این مدل تجربی، فشار اسمزی، تشکیل لایه ژلی و جذب سطحی به عنوان عوامل موثر در کاهش جریان در نظر گرفته شده است. مدل تجربی برای اولترافیلتراسیون مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج تخمین زده شده با مدل تجربی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است [۵، ۶].

Song [۷] یک مدل تجربی برای اولترافیلتراسیون که قابلیت پیش بینی جریان تراوه به عنوان تابعی از زمان برای شرایط عملیاتی متفاوت دارد، را در نظر گرفت. هدف اصلی از این کار پیش بینی کاهش



جریان با یک مدل تجربی بود که پارامترهای ورودی آن وابسته به شرایط عملیاتی می باشد. نتایج نشان داد، که تطابق خوبی بین داده های آزمایشی و مدل تجربی وجود دارد. در این مقاله به عنوان یک تحقیق مناسب و نوین، با بکارگیری همزمان یک مدل تجربی مهم در رابطه با تغییر شار فرآیند اولترافیلتراسیون با زمان و استفاده از شبکه های عصبی برای این منظور، به مقایسه نتایج آنها برای تغییر شار با زمان در طی فرآیند جداسازی غشایی آنتوسیانین از گلبرگ زعفران پرداخته شده است.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- آزمایشات

ماده اولیه در این تحقیق، گل زعفران منطقه کاشمر می باشد که کلاله و پرچم آن جداسازی شده است. اسید سیتریک، اسید کلریدریک، استات سدیم، آب و کلرور پتاسیم مواد شیمیایی مورد نیاز برای انجام آزمایش هستند.

برای استخراج، ابتدا ۱۰ گرم گلبرگ خشک شده را توسط ترازویی با دقت یک هزارم وزن می کنیم. بعد گلبرگها را در یک بشر دو لیتری ریخته و در مرحله اول یک لیتر حلال به آنها می افزاییم و توسط همزن به مدت نیم ساعت هم می زنیم. سپس محلول را صاف می کنیم. بعد گلبرگها را به بشر برمی گردانیم و نیم لیتر حلال به آنها اضافه می کنیم و به مدت ۵ دقیقه توسط همزن هم می زنیم. دوباره محلول را صاف کرده و با نیم لیتر دیگر حلال به مدت ۵ دقیقه استخراج را انجام می دهیم. بعد محلول به دست آمده از سه مرحله را توسط قیف بوختر تحت خلاء صاف می کنیم. (البته این محلول را توسط کاغذ معمولی قبلا صاف کرده ایم). محلول صاف شده را توسط حلال به حجم ۲ لیتر می رسانیم. به این طریق برای هر مرحله آزمایش با سیستم غشایی حدود ۴۵ لیتر محلول تهیه می کنیم. لازم به ذکر است استخراج در دمای محیط انجام شده است و pH محلول استخراج شده حدود ۱/۷۴ می باشد. محلول آماده شده تا شروع آزمایش در یخچال نگهداری می شود [۸].

در این تحقیق از یک سیستم غشایی یا پایلوت UF/NF برای جداسازی استفاده شده است. این واحد مجهز به دو تانک (با ظرفیت ۷۰ لیتر)، پمپ سانتریفوژ فولادی ضد زنگ عمودی، دبی سنج، مدول های اولترافیلتراسیون و نانوفیلتراسیون، مبادله کن حرارتی، شیرهای کنترل جریان، دو فشار سنج و چهار دماسنج می باشد. برای این که عملیات در دمای معینی صورت بگیرد و همچنین از تغییرات دما در طی عملیات جلوگیری به عمل آید، دمای سیال درون تانک توسط دماسنجی که روی خروجی مبدل حرارتی نصب است، کنترل می شود. قبل از هر عملیات جداسازی، باید سیستم با آب مقطر و مواد شیمیایی شستشو داده شود تا برای مرحله بعدی آماده شود [۸،۹].

اثر عوامل مختلف نظیر اختلاف فشار و نوع غشاء بر کارایی فرآیند جداسازی غشایی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور تانک تغذیه سیستم غشایی با نمونه محلول استخراج شده پر می شد و عملیات اولترافیلتراسیون تحت شرایط عملیاتی مورد نظر برای ۶۰ دقیقه ادامه می یافت. هر ۵ دقیقه حجم تراوه



اندازه گیری می شد تا زمانی که شار این فاز ثابت گردد که این مدت یک ساعت برای انجام این آزمایشات بوده و در نهایت یک نمونه از تراوه، یک نمونه از ناتراوه و یک نمونه از خوراک اولیه جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل می شد [۹].

۲-۲-۲-مدلسازی

مدلسازی فرآیند اولترافیلتراسیون با مدل تجربی مهتا و مدل شبکه عصبی صورت گرفته است.

- مدل تجربی مهتا

در فرآیندهای غشایی، کاهش شار تراوه (J) با زمان یک پدیده عادی می باشد. کاهش اولیه جریان در اثر گرفتگی غشاء اتفاق می افتد که با رسوب برگشت ناپذیر و موثر مواد در منافذ غشاء و جذب سطحی درشت مولکولهای موجود در محلول بر روی سطح غشاء ایجاد می شود و ادامه کاهش جریان به علت پدیده تشکیل لایه ژلی و پلاریزاسیون غلظت می باشد [۱۰].

همچنانکه قبلاً گفته شد تعدادی مدل تجربی و نیمه تجربی برای بیان رفتار J در طول فرآیند اولترافیلتراسیون پیشنهاد شده است. این مدل ها، J را به عنوان تابعی از زمان بیان می کنند. مدل مهتا یکی از بهترین این مدلها است. برای یک فرآیند اولترافیلتراسیون با اختلاف فشار ثابت، مدل مهتا تابعیت جریان بر حسب زمان را به صورت ذیل بیان می کند [۱۱]:

$$J = K + K_2 \exp(-K_3 t) \quad (1)$$

که K ، K_2 ثابت هایی هستند که به صورت تجربی مشخص می شوند. K_3 بیان کننده کاهش آهنگ جریان می باشد و t معرف زمان می باشد.

- مدل شبکه عصبی مصنوعی

سیستم شبکه عصبی مصنوعی الهام گرفته شده از مغز و سیستم شبکه عصبی انسان می باشد و مانند مغز انسان از تعداد زیادی نرون تشکیل شده است. این شبکه ها مانند مغز انسان دارای قابلیت یادگیری می باشند. در مواردی که نتوانیم یک الگوریتم حل به صورت فرمولی بیابیم، یا وقتی تعداد زیادی مثال از ورودی و خروجی سیستم مورد نظرممان در اختیار باشد و بخواهیم برای آن سیستم، مدل ارائه کنیم و یا وقتی بخواهیم یک ساختار از اطلاعات موجود بدست بیاوریم، استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می تواند سودمند باشد. تاکنون برای شبکه های عصبی، توپولوژی های مختلف همراه با کاربردهای متنوع ارائه شده اند که طیف وسیعی از موضوعات را پوشش می دهند [۱۲].

انتخاب شبکه عصبی باید با لحاظ موارد زیر صورت گیرد:

- ساختار شبکه مورد نظر بایستی تا حد امکان ساده باشد یعنی تعداد لایه های مخفی و نرون ها در هر لایه کم باشد. بدیهی است کاهش پیچیدگی ساختار شبکه در اثر منظور کردن این امر می تواند زمان فرآیند یادگیری و خطر پیشگویی ضعیف شبکه را کاهش دهد.
- شبکه باید بتواند فرآیند یادگیری را با استفاده از حداقل داده ها به انجام برساند.



- شبکه بایستی قادر باشد فرآیند تربیت را برای یک خطای معین در حداقل زمان ممکن یا حداقل سیکل یادگیری به انجام برساند.
 - شبکه آموزشی دیده بایستی از قابلیت تعمیم پذیری بالایی برای داده‌های آزمون و از قابلیت پیشگویی خوبی برای داده‌های جدید برخوردار باشد.
- رابطه ذیل برای یک شبکه عصبی برقرار می باشد:

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + b_j\right) \quad (2)$$

که y ، خروجی، x ، ورودی، w ، وزن ورودی و b ، بایاس می باشند.

۲-۳- شبیه سازی

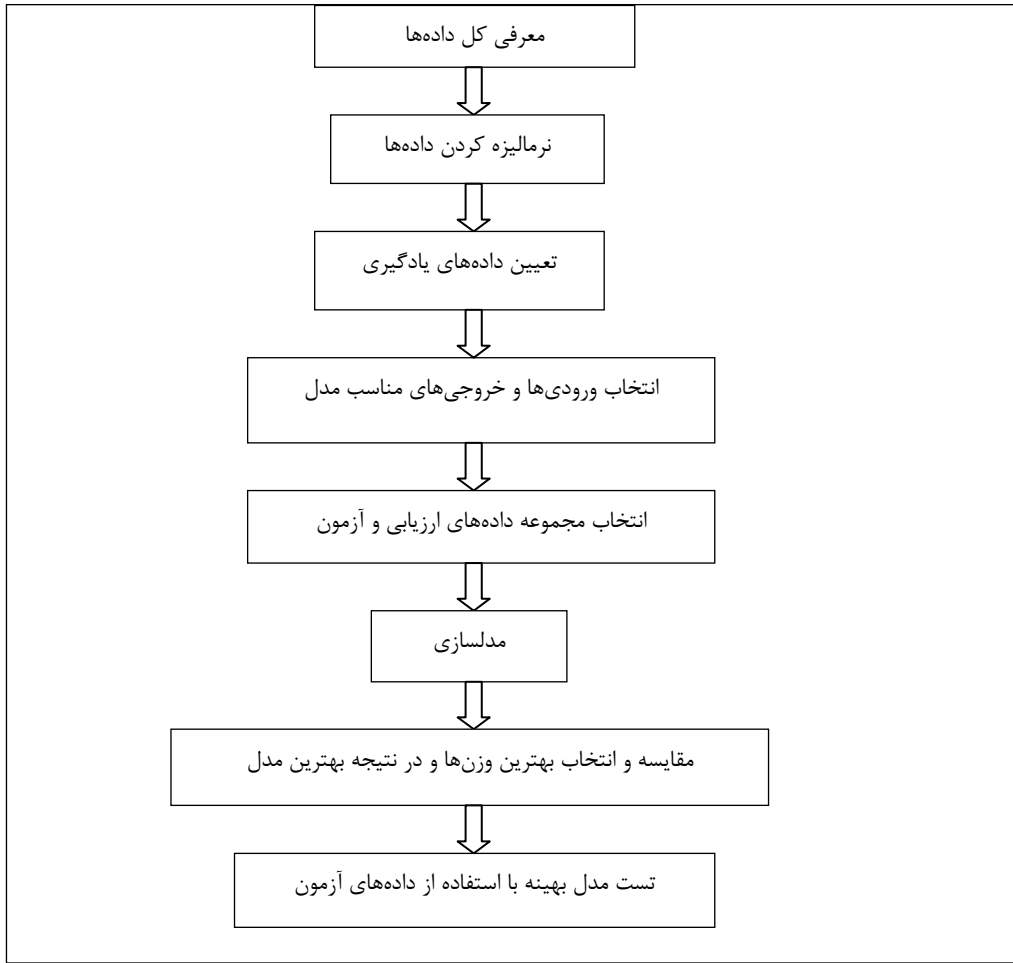
برای مدل سازی فرآیند اولترافیلتراسیون با داده های تجربی موجود، با استفاده از نرم افزار MATLAB®7.2 [۱۳] برنامه ای برای بکارگیری شبکه عصبی نوشته شده است. در این برنامه مطابق شکل ۱ کاربر قادر است بر اساس یک الگوریتم مدلسازی معین فرآیند یادگیری، آزمون و ارزیابی یک شبکه عصبی را انجام دهد. در این برنامه برای پیشگویی میزان شار در هر لحظه، یک مدل شبکه عصبی به کارگرفته شده است و در این مدل می توان با تغییر تعداد لایه های مخفی و تغییر توابع تبدیل بکارگرفته شده تغییر پاسخ دهی مدل را ارزیابی نمود.

در مدل پیشنهادی در لایه ورودی شبکه عصبی، سه پارامتر اختلاف فشار، زمان و نوع غشاء وارد شدند. در مرحله بعد داده ها نرمالیزه شده و سپس به سه دسته با نسبت انتخابی تقسیم شدند. دسته اول با تعداد (۶۰٪ کل داده ها) برای تربیت شبکه، دسته دوم با تعداد ۲۰٪ کل داده ها برای ارزیابی شبکه و دسته سوم نیز با تعداد ۲۰٪ کل داده ها برای تست کردن شبکه با آرایشی مناسب که شامل تمام محدوده های زمانی باشد، طبقه بندی شدند. با توجه به ۳۳۶ داده تجربی، شبکه ای با یک لایه مخفی و ۳۰ نرون بهترین جواب را با کمترین خطا داد.

متداول ترین تابع تبدیل غیرخطی برای سیستم های غیر خطی نظیر فرآیندهای غشایی تابع انتقال سیگموئیدی S شکل است که در این برنامه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین با استفاده از مدل تجربی مهتا، مدلسازی تجربی صورت گرفت. در این مدلسازی از نرم افزار Data Fit استفاده شد. ابتدا ۳۳۶ داده به نرم افزار داده شد. سپس معادله تجربی مهتا را برای آن تعریف کرده و با حدس مقادیری برای ضرایب مهتا، برنامه اجرا شد. حدس و خطا تا زمانی که برنامه اعلام کند که اجرا با موفقیت صورت گرفته ادامه داشت. طوری که برنامه ضرایب صحیح مهتا را همراه با نمودار و مقدار خطا ها داد.



انجمن مهندسی
شیرازی ایران



شکل ۱- الگوریتم شبیه سازی برای مدل شبکه عصبی

۳- نتایج و بحث

اگر نتایج مربوط به دبی حجمی تراوه بر سطح غشاء به کارگیری شده تقسیم شود، نتایج شار حجمی حاصل خواهد شد که بر حسب زمان در فشارهای مختلف قابل ترسیم می‌باشند.

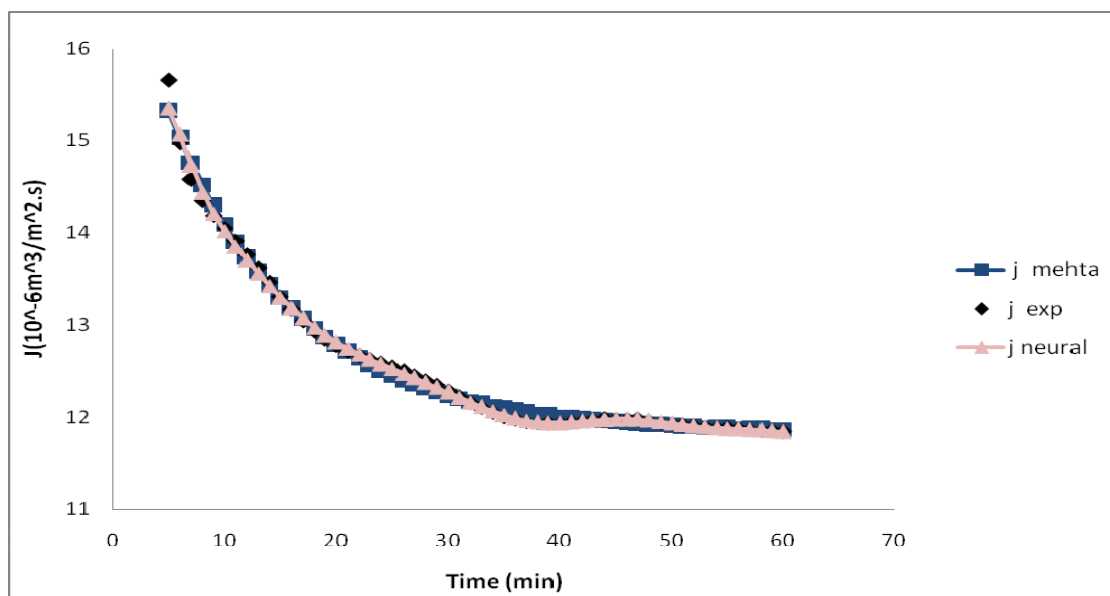
۳-۱- غشاء ۱۰ kDa

مقادیر بدست آمده ضرایب معادله تجربی مهتا برای آزمایشات ۱، ۲ و ۳ در جدول ۱ ارائه شده اند. این نتایج از برازش مقادیر تجربی با معادله تجربی مهتا در نرم افزار Data fit بدست آمده است.

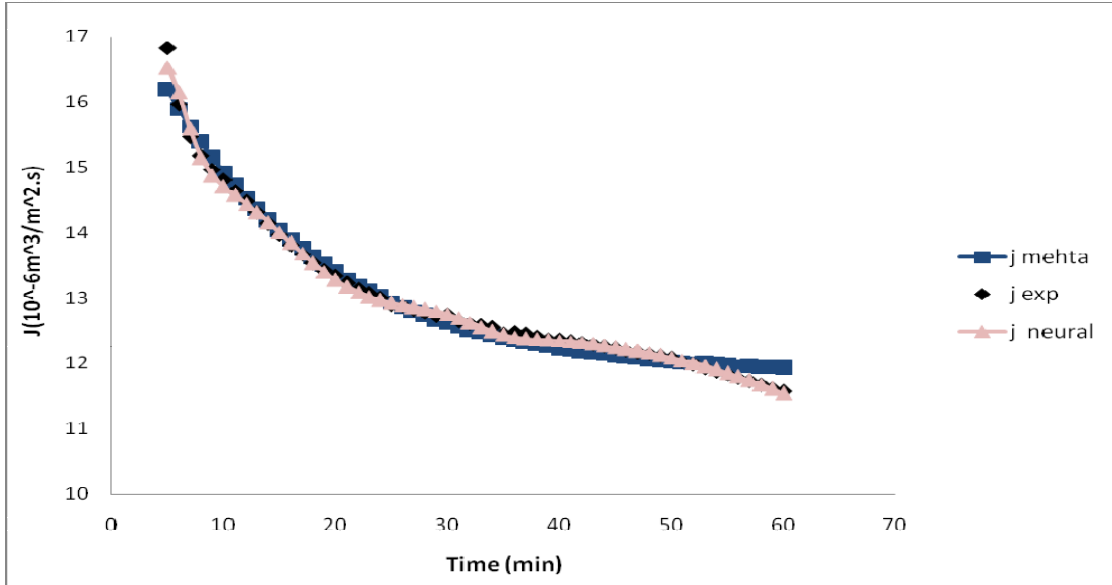
جدول ۱- مقادیر بدست آمده برای ضرایب مدل تجربی مهتا برای آزمایشات ۱ و ۲

شماره آزمایش	متغیر	مقدار
۱	k	11.8437043458499
	k2	5.35315808584308
	k3	8.66902946820069E-02
۲	k	11.8225775566221
	k2	6.12777143359877
	k3	6.78184236280326E-02
۳	k	20.3641250728469
	k2	6.13082759433141
	k3	0.152342646806054

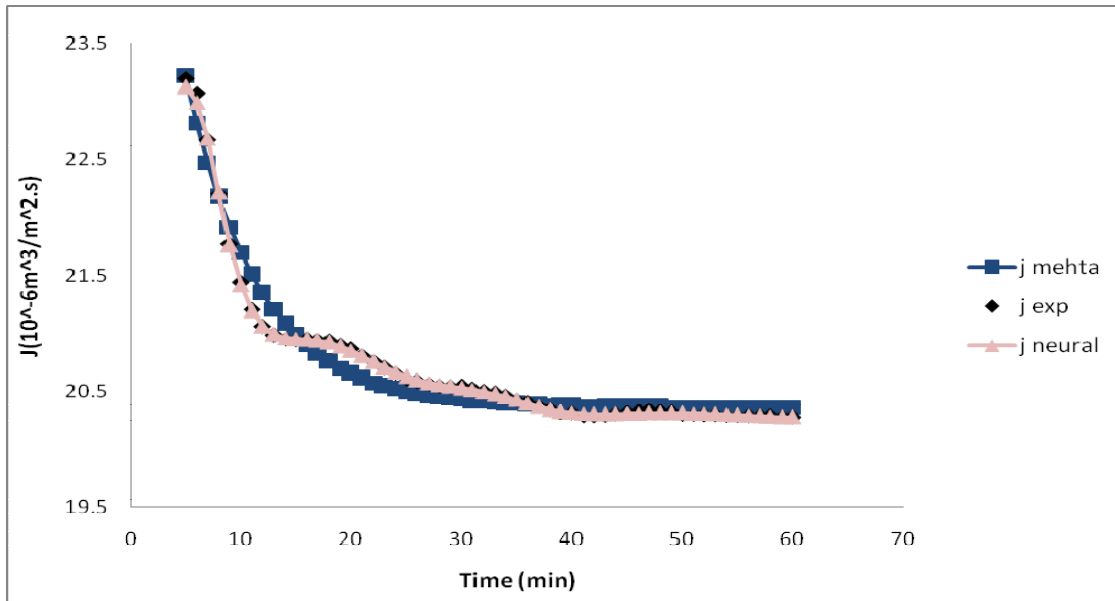
تغییرات شار برحسب زمان برای غشاء ۱۰ KDa در اختلاف فشارهای ۵،۴ و ۶ بار در شکل های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. در تمام منحنی ها شار حجمی از یک مقدار اولیه زیاد شروع شده و با گذشت زمان کاهش یافته و در نهایت ثابت مانده و به مقدار پایایی رسیده است که پایان آزمایش به شمار می رود. این کاهش شار حجمی به واسطه قطبش غلظتی در اثر انجام عمل جداسازی و از طرفی به واسطه گرفتگی غشاء در اثر عبور مواد می باشد. این عوامل، افزایش مقاومت غشاء و محدودیت عبور مواد را در پی دارند.



شکل ۲- تغییرات شار برحسب زمان برای غشاء ۱۰ kDa در اختلاف فشار ۴ bar (آزمایش ۱)



شکل ۳- تغییرات شار برحسب زمان برای غشاء ۱۰kDa در اختلاف فشار ۵ bar (آزمایش ۲)



شکل ۴- تغییرات شار برحسب زمان برای غشاء ۱۰ kDa در اختلاف فشار ۶ bar (آزمایش ۳)

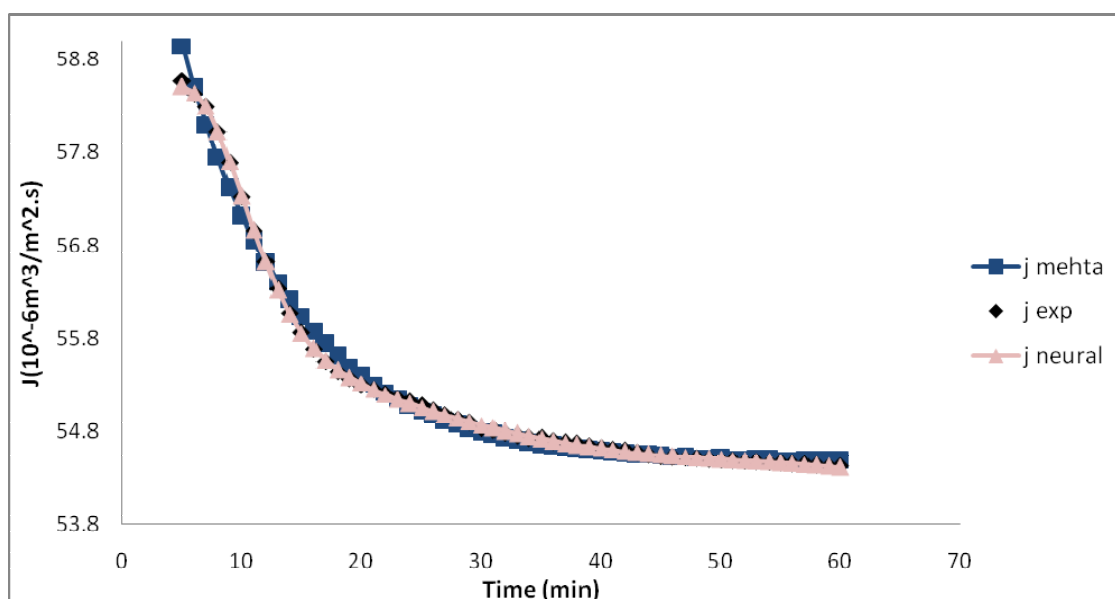
۲-۳- غشاء ۲۰kDa

مقادیر بدست آمده برای ضرایب معادله تجربی مهتا برای آزمایشات ۵،۴ و ۶ با استفاده از برازش مقادیر تجربی با معادله تجربی مهتا در نرم افزار Data fit در جدول ۲ ارائه شده است.

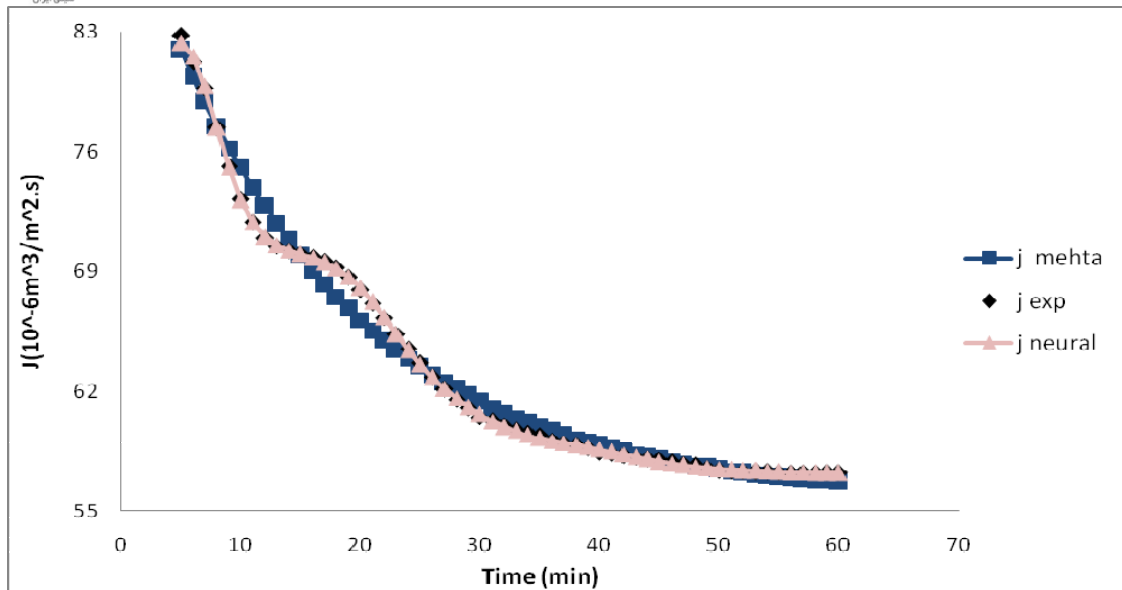
جدول ۲- مقادیر بدست آمده برای ضرایب مدل تجربی مهتا برای آزمایشات ۴، ۵ و ۶

شماره آزمایش	متغیر	مقدار
۴	k	54.4728329161327
	k2	7.56995171295152
	k3	0.105190520247071
۵	k	55.7424132654309
	k2	35.5856636390257
	k3	6.13776821631951E-02
۶	k	82.3033638819089
	k2	27.9121643984711
	k3	0.078535227535256

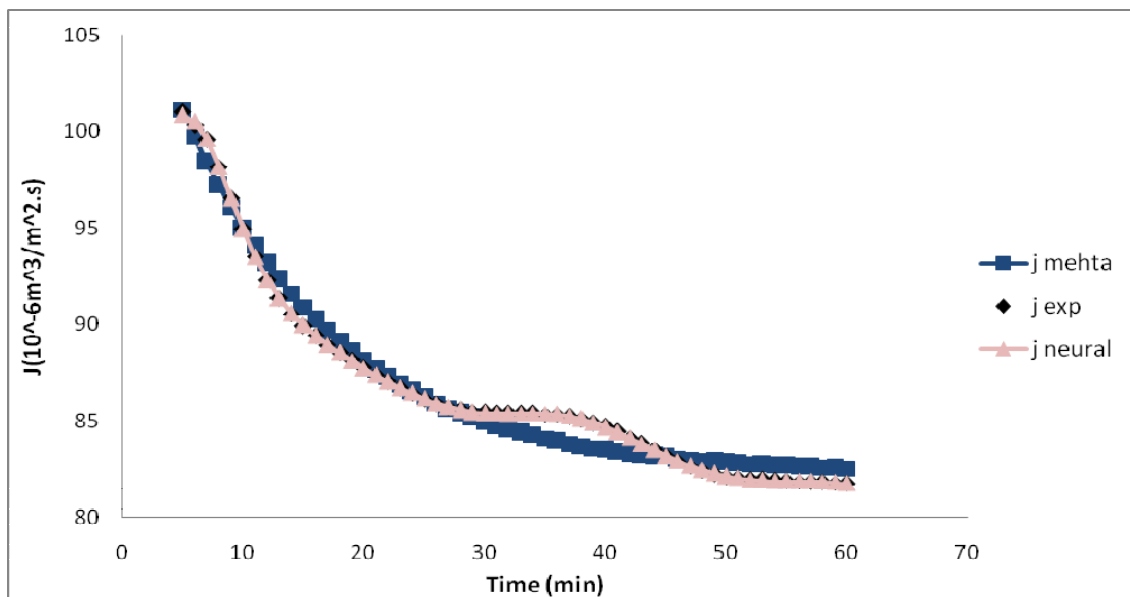
تغییرات شار برحسب زمان برای غشاء ۲۰ kDa در اختلاف فشارهای ۴، ۵، ۶ و ۷ بار در شکل های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. آنچه در سه شکل قابل مشاهده است، آن است که با افزایش فشار در هر غشاء و در نتیجه افزایش نیروی محرکه، شار حجمی زیاد می شود. اما شیب اولیه کاهش شار حجمی در منحنی های فشار بالاتر، بیشتر از این شیب در منحنی های مربوط به فشارهای پایین تر است و این مسئله به واسطه گرفتگی سریع تر و قطبش غلظتی بیشتر در فشارهای بالاتر است.



شکل ۵- تغییرات شار برحسب زمان برای غشاء ۲۰ kDa در اختلاف فشار ۴ bar (آزمایش ۴)



شکل ۶- تغییرات شار بر حسب زمان برای غشاء ۲۰ kDa در اختلاف فشار ۵ bar (آزمایش ۵)



شکل ۷- تغییرات شار بر حسب زمان برای غشاء ۲۰ kDa در اختلاف فشار ۶ bar (آزمایش ۶)

۳-۳- مقایسه آماری

برای مقایسه آماری نتایج آزمایشی و نتایج حاصل از مدلها از دو پارامتر آماری R^2 ، مربع ضریب همبستگی و MSE، خطای مربع متوسط استفاده شده است:



$$MSE = \frac{\sum_i^n (J_{model,i} - J_{exp,i})^2}{n} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\sum_i^n (J_{model,mean} - J_{exp,i})^2 - \sum_i^n (J_{model,i} - J_{exp,i})^2}{\sum_i^n (J_{model,mean} - J_{exp,i})^2} \quad (4)$$

که $J_{model,i}$ مقدار شار مدل، $J_{exp,i}$ مقدار تجربی شار، $J_{model,mean}$ مقدار متوسط شار مدل، n تعداد کل داده ها و i شماره داده می باشند.

برای یک مدل هر چه مقدار R^2 به یک نزدیک تر و مقدار MSE به صفر نزدیک تر باشد، آن مدل بهتر است.

با استفاده از این پارامترها که برای ۶ آزمایش در جدول ۳ ارائه شده اند مقایسه بین دو مدل انجام شده است. نتایج نشان می دهد که در هر شش آزمایش مدل شبکه عصبی خیلی بهتر از مدل تجربی مهتا جواب داده است و نتایج این مدل در آزمایش های ۳، ۴ و ۶ بهتر از سایر آزمایش ها می باشد.

جدول ۳- مقادیر R^2 و MSE برای مدل های مهتا و شبکه عصبی در شش آزمایش

شماره آزمایش	مدل	MSE	R ²
۱	Mehta	5.86E-03	0.9927556
	Neural	1.19E-05	0.9963868
۲	Mehta	0.0233023	0.9827924
	Neural	1.42E-05	0.9970301
۳	Mehta	0.0162777	0.9632149
	Neural	5.51E-07	0.9993296
۴	Mehta	0.0114324	0.9909164
	Neural	7.26E-08	0.999802
۵	Mehta	0.7065396	0.9855173
	Neural	1.58E-06	0.9997786
۶	Mehta	0.5839965	0.9764969
	Neural	2.09E-07	0.999914

۴- نتیجه گیری

در جداسازی آنتوسیانین بوسیله اولترافیلتراسیون گرفتگی غشاء و قطبش غلظتی نقش مهمی در کاهش شار تراوه و کنترل جداسازی ایفا می کند. با افزایش اختلاف فشار برای هر غشاء و در نتیجه افزایش نیروی محرکه، شار حجمی تراوه زیاد می شود. اما شیب اولیه کاهش شار حجمی در منحنی های فشار بالاتر، بیشتر از این شیب در منحنی های مربوط به فشارهای پایین تر است و این مسئله به واسطه گرفتگی سریع تر و قطبش غلظتی بیشتر در فشارهای بالاتر می باشد. در تمام منحنی ها شار حجمی از



یک مقدار اولیه زیاد شروع شده و با گذشت زمان کاهش یافته و در نهایت ثابت مانده و به مقدار پایایی رسیده است که پایان آزمایش به شمار می رود. این کاهش شار حجمی به واسطه قطبش غلظتی در اثر انجام عمل جداسازی و از طرفی به واسطه گرفتگی غشاء در اثر عبور مواد می باشد. این عوامل، افزایش مقاومت غشاء و محدودیت عبور مواد را در پی دارند. در هر ۶ آزمایش مدل شبکه عصبی بهتر از مدل تجربی مهتا جواب داده است و مقدار خطاها برای آن کمتر می باشد.

مراجع

- ۱- دانشور حسینی، کاظم، شریعتمدار، شهرام، "شناسایی آنتوسیانین های موجود در گلبرگ زعفران"، سازمان پژوهشهای علمی صنعتی ایران مرکز خراسان، ۱۳۷۱.
- ۲- همتی کاخکی، عباس، "بهینه سازی عوامل مؤثر بر تولید رنگ خوراکی از گلبرگ زعفران"، مجله علوم و صنایع کشاورزی، ۱۳۸۰.
- 3-D.A.Masciola, R.C.Viadero and B.E.Reed, UF flux prediction for oil-in-water emulsions: Anal Series Resistance, J. Membrane Sci. 184(2001)197.
- 4- L.Huang and M.T. Morrissey, Fouling of membranes during microfiltration of Surimi wash water: roles of pore blocking surface cake formation, J.Membrane Sci. 144(1998)113.
- 5-L.Song, A new model for the prediction of the limiting flux in ultrafiltration, J.Membrane Sci. 144(1998)173.
- 6-G.Belfort, R.H.Davis and A.L. Zydney, The behavior of suspensions and macromolecular solution in ultrafiltration, J.Membrane Sci. 96(1994)58.
- 7- L.Song, Flux decline in crossflow microfiltration and ultrafiltration: mechanisms and modeling of membrane fouling, J.Membrane Sci. 139(1998)183.
- ۸- خان قیطاقی، راحله، "جداسازی آنتوسیانین از گلبرگ زعفران بوسیله حلال و جداسازی غشایی"، پروژه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان، ۱۳۸۶.
- ۹- جلالیان، آزاده، "استخراج آنتوسیانین از گلبرگ زعفران و بهینه سازی فرآیند استخراج آن"، پروژه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۴.
- ۱۰- مدائنی، سید سیاوش، "غشاء ها و فرآیند های غشایی"، انتشارات طاق بستان، چاپ اول، ۱۳۸۱.
- 11-B.Mehta, Processing of model compositional whey solutions with pressure driven membranes, PhD thesis, Ohio State University, 1973.
- ۱۲- منهج، محمد باقر، "هوش محاسباتی (جلد اول) مبانی شبکه های عصبی"، مرکز نشر پروفیسور حسابی، ۱۳۷۹.
- 13-H. Demuth, and M. Beale, Neural Network Toolbox User's Guide For Use With MATLAB ©COPYRIGHT by The MathWorks, Inc, 2002.