

بررسی و مدل سازی فرآیند تخمیر الکلی ضایعات خرما از طریق اندازه گیری بریکس (۵۰۲)

مطهره واعظی زاده^۱، احمد غضنفری مقدم^۲، محمد حسن فولادی^۳

چکیده

تخمیر الکلی خرما یک فرآیند بیوشیمیایی است که در تبدیل ضایعات کشاورزی به الکل مورد استفاده قرار گرفته است. خرما از محصولات مهم کشاورزی ایران و کرمان به شمار می آید که با داشتن مقادیر زیاد قند و سایر مواد مغذی منبع مهم مواد غذایی برای مردم مناطق خرما خیز کشور محسوب می شود. بخشی از خرما تولیدی کشور به دلایل مختلف مناسب برای مصرف داخل و یا صادرات نیست و یا اینکه محصول پس از برداشت ضایع می شود این محصولات که مقدار آنها کم هم نیست جزء ضایعات کشاورزی به شمار می آیند از این رو این پژوهش سعی در استفاده از ضایعات خرما برای تولید الکل به روش تخمیر الکلی دارد تا بتوان با بکارگیری فن آوری لازم از ضایعات این محصول به نحو مناسبی در جهت استفاده بهینه از این محصول و همچنین افزایش ارزش افزوده این محصول گامی مناسب برداریم. ترکیب عمده محیط تخمیر شیره خرما با بریکس ۷۷ است که با افزودن آب بریکس آن را به ۲۰ می رسانیم و با اضافه کردن مخمر (خمیر مایه ایرانی) و قرار دادن آن در محیط بی هوازی فرآیند تخمیر الکلی خرما صورت می پذیرد و در طی این فرآیند فاکتورهای بریکس مخلوط و درجه حرارت محیط تخمیر را اندازه گیری می کنیم. در پایان نتایج نشان دادند که با گذشت زمان بریکس رفته رفته کاهش می یابد که این روند کاهش در روزهای ابتدایی سریع تر و با گذشت زمان تقریباً بریکس ثابت می ماند و همچنین درجه حرارت محیط نیز از ۲۹-۲۳ درجه سانتیگراد در حال تغییر است در روزهای ابتدایی افزایش درجه حرارت را مشاهده می کنیم ولی پس از چند روز درجه حرارت تقریباً ثابت شده است در نهایت یک مدل ریاضی برای پیشگویی تغییرات بریکس با گذشت زمان پیشنهاد و پارامترهای آن تعیین گردید.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان، پست الکترونیک: motaharehwaezi@yahoo.com

۲- دانشیار بخش مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- دانشیار پژوهشکده باغبانی دانشگاه شهید باهنر کرمان

مقدمه :

ضایعات محصولات کشاورزی از جمله مسائل مهمی است که عمدتاً در کلیه مراحل برداشت، حمل و نقل، انبارداری، بازاریابی و فرآوری محصول صورت می‌گیرد. رعایت نکردن اصول صحیح کاشت و داشت، برداشت نامناسب، عدم دقت در عملیات برداشت، جابجایی و نگهداری و همچنین وجود آفات و بیماریها موجب بروز این ضایعات می‌گردند. آمارهای جهانی نشان می‌دهد که رقم ضایعات محصولات کشاورزی در کشورهای پیشرفته حدود ۷-۵ درصد و در کشورهای در حال توسعه بسیار متغیر و در محدوده ۵۰-۱۵ درصد است. میزان ضایعات در برخی موارد بسته به فساد پذیری محصول، شرایط تولید و فرآوری و همچنین عملیات حمل و نقل و نگهداری به بیش از ۵۰ درصد نیز می‌رسد. میزان بالای ضایعات محصولات کشاورزی مخصوصاً در کشورهای جهان سوم سبب آلودگی و از دست رفتن منابع با ارزش محیط می‌شود. نیاز به کنترل آلودگی محیط زیست و تغییر ارزش‌های فرهنگی و مردمی، کشورهای جهان را مجبور به بهره‌وری بهینه از منابع تجدید دنی و تلاش برای استفاده مجدد از پسمانهای آلی نموده است. در راستای نائل آمدن به این هدف اخیراً تحقیقات گسترده‌ای در زمینه امکان تولید اتانول از محصولات قندی برای مصارف سوختی صورت گرفته است تا بتوان میزان تولید اتانول بوسیله میکروارگانیزم‌ها را با هزینه کم‌تر افزایش داد. تخمیر الکلی علاوه بر تولید مشروبات الکلی اکنون بعنوان تبدیل ضایعات کشاورزی و تولید الکل برای جانشین کردن نفت مورد استفاده قرار می‌گیرد هند اولین کشوری است که قبل از بحران نفت دنیا در سال ۱۹۷۳ از الکل بعنوان منبع سوخت در سطح وسیعی استفاده کرده و بعد از آن کشورهای دیگر این صنعت را در سطح وسیعی توسعه داده اند. بیشترین فعالیت در این زمینه در برزیل بوده است. در سال ۱۹۸۰ تقریباً ۲۰٪ سوخت وسایل نقلیه در برزیل توسط اتانول تامین می‌شود. همچنین در فیلیپین سالانه مقدار زیادی اتانول برای سوخت تهیه می‌شود و تا یلند سالانه ۷۰ میلیون لیتر الکل تولید می‌کند. در آمریکا سالانه تن الکل تولید می‌شود که به مصرف مواد شیمیایی و بعنوان حلال استفاده می‌شود که البته قسمت اعظم آن به روش سنتز اتیلن تهیه می‌گردد و با توجه به کمبود انرژی سوختی در زمینه تهیه الکل به روش تخمیر نیز فعالیت می‌شود. بطور کلی هر ماده ای که دارای هگزوز باشد و یا هر ماده ای که قابل تبدیل به هگزوز باشد می‌تواند به عنوان ماده اولیه در تخمیر الکلی استفاده شود. مثلاً در فرانسه و بلژیک از چغندر قند در آلمان سیب زمینی در فنلاند از خاک اره و ضایعات کارخانه کاغذ سازی و در آمریکا از ذرت، چغندر قند و ملاس برای تهیه الکل استفاده می‌شود.

در صنایع تخمیری آنچه که بیش از همه مورد توجه است تخمیر الکلی یعنی تبدیل مواد قندی به الکل می‌باشد. مثلاً هرگاه شربتی دارای ساکاروز باشد مخمرها با ترشح آنزیم انوتازیا سوکراز ابتدا آنرا به گلوکز و فروکتوز تبدیل کرده و سپس آنزیم دیگری بنام زیماز گلوکز را به الکل و مواد ثانوی تخمیر (ناخالصی) تبدیل می‌کند این مرحله غیر هوازی بوده و بوسیله مخمرهایی که بطور طبیعی در ماده اولیه وجود دارند یا بصورت خالص به ماده اولیه اضافه می‌شوند انجام می‌گردد.

استان کرمان از حیث تولید محصولات کشاورزی و داشتن شرایط آب و هوایی مناسب برای توسعه کشت آنها از مهم‌ترین استانهای تولید کننده اینگونه محصولات محسوب می‌شود. میوه خرما، محصول ارزشمندی است که بعنوان یک رژیم غذایی مناسب برای مردم مناطق خرماخیز استان کرمان به شمار می‌آید. نظر به اینکه بخشی از خرما تولیدی در استان برای عرضه به بازارهای داخلی و خارجی مناسب نیست، از اینرو جا دارد تا با ارائه روشهای جدید در صنایع تبدیلی، گامی در جهت تبدیل ضایعات آن به فرآورده‌های باارزش افزوده بالاتر برداشته شود. تولید اتانول از ضایعات خرما نه تنها بعنوان منبعی از انرژی به شمار می‌آید بلکه نیاز شدید جامعه اقتصادی امروز است. بررسی اخیر نیز در راستای اهداف مذکور و همچنین ایجاد فرصت‌های جدید شغلی و صنایع جدید در استان کرمان صورت گرفته که نتیجه آن افزایش درآمد قشر آسیب پذیر مناطق خرما خیز می‌باشد. در راستای بازیافت ضایعات کشاورزی آقایان محمد حسن فولادی و ابوالفضل گلشن در سال ۲۰۰۷ در مقاله ای تحت عنوان بهینه کردن فرآیند تخمیر الکلی ضایعات خرما به بررسی فاکتورهای مختلف مؤثر بر تخمیر از جمله نوع مخمر، غلظت قند شربت خرما و مواد مغذی در راندمان تولید اتانول پرداخته اند.

هدف از انجام این پژوهش تولید الکل از ضایعات خرما و بررسی چگونگی تغییر غلظت قند و درجه حرارت محیط تخمیر است.

مواد و روشها :

در این تحقیق از خرما به عنوان ماده اولیه و مخمر نوع ساکارومایسسز سرویزیه (پودر خمیر مایه ای انی) استفاده گردید. استخراج شربت قند از خرما طی دو مرحله صورت گرفت ابتدا خرما و آب را به نسبت ۲ به ۳ مخلوط گردید و در دمای معین حرارت داده شد تا شربت قند استخراج شود سپس مخلوط حاصله صاف گردید تا هسته ها و فیبر و مواد زائد آن جدا گردد سپس در مرحله بعد به تفاله آن مقداری آب اضافه گردید تا در صورتیکه مقداری قند هنوز در داخل آنها باقیمانده باشد خارج گردد. دوباره مخلوط حرارت داده می شود و دوباره صاف می گردد تا تمام مواد زائد آن جدا گردد و فقط مواد قندی باقی بماند و یک مخلوط صاف و یکنواختی بدست آید در نهایت مخلوط را حرارت می دهیم تا بریکس آن به ۷۷ برسد . بریکس درصد مواد جامد محلول را گویند. که ممکن است حاوی قند باشد و یا نباشد و وسیله اندازه گیری بریکس رفرکتومتر است.

مجموع مواد غیر قندی + مجمع مواد قندی = بریکس در محلول

دستگاه رفرکتومتر قابلیت محاسبه ضریب شکست نور و نیز پارامتر " بریکس " را برای یک محیط مشخص را دارد. ضریب شکست ، نسبت سرعت نور در دو محیط مختلف است . سرعت نور در محیط ۱ به سرعت نور در محیط ۲ تعریف می گردد. بوسیله تغییر غلظت محیط ها و گونه های محیط ها متفاوت است و همین امر باعث شکست نور می شود. رابطه بین ضریب شکست و غلظت تا حدود 10^{-3} یک رابطه خطی است که براساس همان می توان با تعین ضریب شکست یک محلول غلظت آنرا با

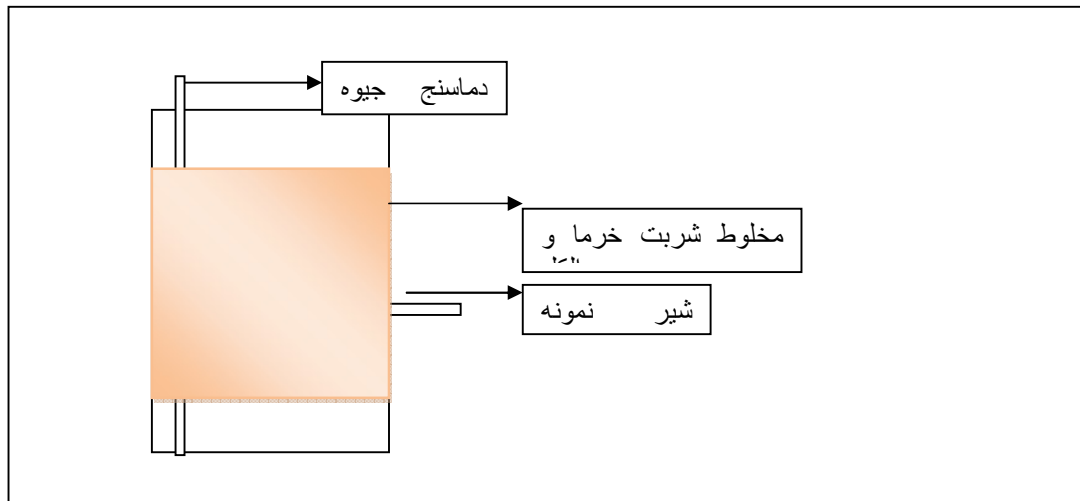
استفاده از نمودار خطی موجود در فاصله حدود 10^{-3} مولار بدست آورد. بریکس واحدی است که بیان کننده مقدار ذرات جامد

موجود در یک محلول است که اصولاً به غلظت و ویسکوزیته وابسته می باشد. اساس کار رفرکتومتر در تابش نور به شرط تکفام بودن آن و هدایت آن به سمت محلول مورد نظر و عبور آن می باشد که چون این دو محیط با هم تفاوت دارند، نور شکسته شده و با ضریب شکست محدود قابل دریافت است. یک رفرکتومتر شامل سطح خارجی ناهموار فلزی ، خط کش و پلاستیک محافظ ، شیشه نوری جلا داده شده، آینه ها و منشورها است. برای اندازه گیری بریکس نمونه را بر روی صفحه منشور قرار داده و سپس دستگاه را در مقابل نور طبیعی خورشید قرار داده و به داخل عدسی نگاه کرده در داخل آن یک نوار درجه بندی شده وجود دارد که وقتیکه در مقابل نور طبیعی قرار گیرد براحتی می توانیم درصد بریکس را با خواندن عدد روی مقیاس بدست آوریم. شکل ۱ یک نمونه رفرکتومتر را نشان می دهد. برای اندازه گیری بریکس مخلوط از دستگاه رفرکتومتر MT – 098 استفاده گردید .



شکل ۱ : یک نمونه از دستگاه رفرکتومتر

برای تهیه الکل از شربت قند خرما ، شربت تهیه شده که بریکس آن ۷۷ است با آب تا بریکس ۲۰ رقیق کرده و سپس مخلوط را داخل ظروف پلاستیکی ریختیم شکل ظرف در شکل شماره ۲ آمده است. و به مخلوط به میزان 5 gr/lit مخمر (پودر خمیر مایه ایرانی) اضافه کردیم و درون هریک از ظروف برای اندازه گیری درجه حرارت محیط تخمیر یک دماسنج جیوه ای قرار دادیم و سپس هر روز و روزی دوبار (صبح و شب) بریکس و درجه حرارت آنها را خوانده و یادداشت کردیم.



شکل ۲: طرحی از ظرفی که در آن آزمایش انجام شده است

نتایج و بحث :

در این پژوهش بریکس و درجه حرارت در هر روز اندازه گیری گردید تا چگونگی تغییرات بریکس مخلوط با گذشت زمان و تغییرات درجه حرارت محیط مورد بررسی قرار گیرد. نتایج حاصله در جدول شماره ۱ خلاصه گردید که در آن زمان اندازه گیری بر حسب روز است و درجه حرارت برحسب درجه سانتیگراد اندازه گیری گردیده است قابل ذکر است که داده های وارد شده در جدول میانگین حاصل از داده هایی است که از دوبار نمونه گیری در روز و نتایج بدست آمده از چند ظرف است .

جدول ۱: داده های مربوط به میانگین بریکس و درجه حرارت محیط تخمیر با گذشت زمان

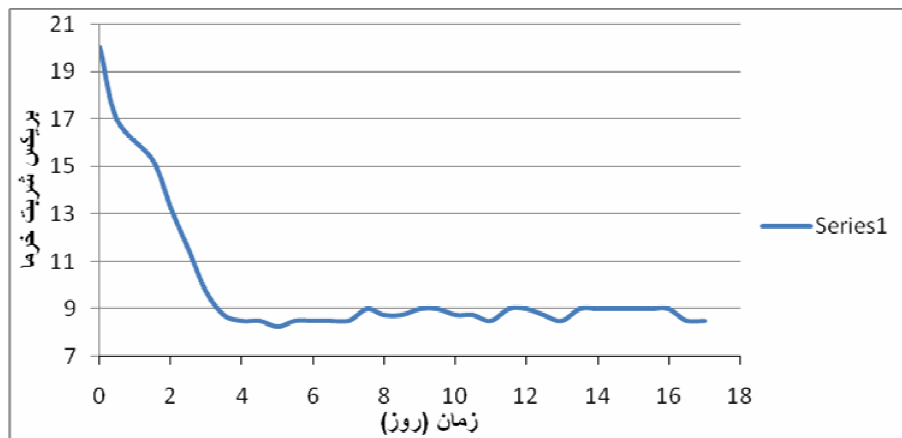
زمان (روز)	بریکس	درجه حرارت (°C)
0	20.00	23.0
1	17.00	26.0
2	14.25	27.0
3	10.75	27.5
4	8.75	۲۸,۰
5	8.50	۲۷,۵
6	8.50	۲۸,۰
7	8.50	۲۸,۰
8	8.75	۲۷,۵
9	8.75	۲۷,۵
10	8.75	۲۷,۵
11	8.75	۲۸,۰
12	8.75	۲۸,۰
13	8.75	۲۸,۵
14	9.00	۲۷,۵
15	9.00	۲۷,۵
16	8.75	۲۸,۰
17	8.50	27.5

نمودار شماره ۱ نمودار بریکس در مقابل زمان است و چگونگی تغییرات بریکس با گذشت زمان را نشان می دهد همانطور که قبلاً بیان گردید بریکس نشانگر در صد قند موجود در مخلوط است و در نتیجه با بررسی نمودار ۱ مشاهده می گردد که با گذشت زمان بریکس رفته رفته کاهش می یابد که این روند کاهشی در روزهای اولیه فرآیند تخمیر با نرخ سریعتری رو به کاهش است و در روزهای بعدی میزان آن با سرعت کمتری کاهش می یابد و حتی گاهی اوقات این مقدار تقریباً ثابت است. در ۶-۵ روز اول بریکس با سرعت زیادی کاهش پیدا کرده است که کاهش بریکس از مقدار ۲۰ به ۸,۵ نشانگر این موضوع است و این نشانگر این است که در روزهای ابتدایی تخمیر قند با سرعت بیشتر و به میزان بیشتری مصرف می گردد زیرا که در روزهای ابتدایی میزان قند زیاد و فعالیت میکرو اورگانیزمها زیاد است و در نتیجه میکرواورگانیزمهای بوجود آمده توسط مخمر با مصرف قند موجود در شربت خرما تولید الکل و گاز دی اکسید کربن کرده ولی با گذشت زمان به این علت که میزان قند موجود در مخلوط کاهش یافته است فعالیت میکرو اورگانیزمها کاهش و در نتیجه مصرف قند و تولید الکل به نسبت گذشته کاهش می یابد ولی باز هم تولید الکل ادامه دارد.

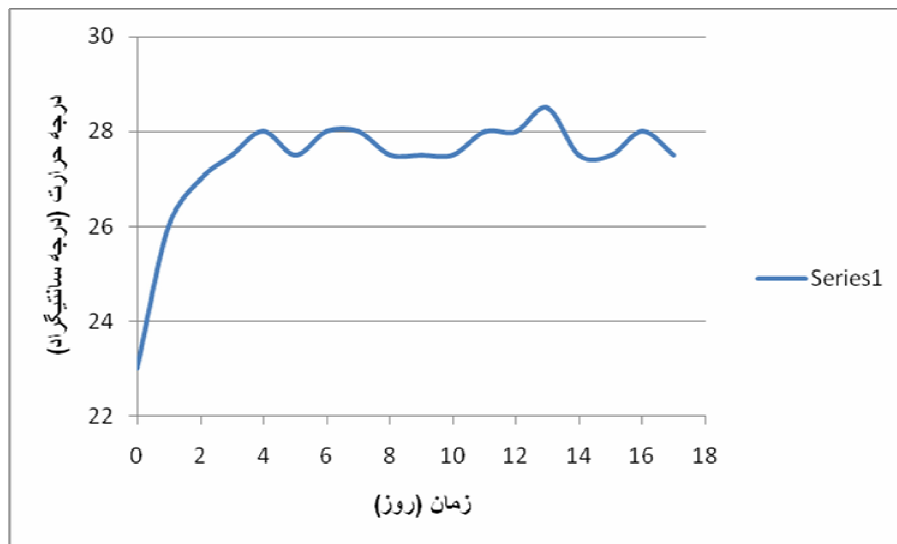
تولید الکل تا جایی ادامه دارد که یا میزان قند موجود خیلی کم بشد و یا اینکه به دلایلی از قبیل کاهش بیش از حد درجه حرارت محیط یا افزایش بیش از حد آن فعالیت میکرو اورگانیزمها را کاهش دهد. بنابراین یکی از فاکتورهای مهم در تولید الکل درجه حرارت محیط تخمیر است و همانطور که می دیند تخمیر یک فرآیند گرما ده است و با مصرف قند و تولید الکل و دی اکسید کربن مقداری گرما تولید می کند که این گرما باعث گرم شدن محیط تخمیر می گردد بنابراین ما در این پژوهش سعی کردیم که چگونگی تغییرات درجه حرارت محیط را بررسی کنیم.

نمودار درجه حرارت به زمان در نمودار شماره ۲ آمده است همانطور که نمودار نشان می دهد در روزهای ابتدایی و اوج فعالیت میکرو اورگانیزمها و تولید الکل درجه حرارت افزایش یافته است ولی با گذشت زمان درجه حرارت کم کم ثابت می ماند ولی در برخی روزها کمی افت درجه حرارت را مشاهده میکنیم که میزان این افت تقریباً کم است و عملاً می توان از این افت چشم پوشی کنیم و همانطور که مشاهده می شود درجه حرارت محیط تخمیر در بین ۲۹-۳۳ تغییر می کند که این درجه حرارت مناسب فعالیت و رشد میکرو اورگانیزمهاست و در این درجه حرارت میکرواورگانیزمها بیشترین فعالیت را دارند. برای بررسی بهتر تغییرات

درجه حرارت محیط تخمیر باید ظرف تخمیر را کاملاً عایق کنیم که این کار را می توان با قرار دادن پشم شیشه در داخل یک فویل آلومینیم و در نتیجه پيچاندن آن دور ظرف و استفاده از ظروف شیشه ای دو جداره انجام داد در این حالت دیگر درجه حرارت محیط اطراف روی آن تاثیر گذار نیست.



نمودار ۱: نمودار بریکس شربت خرما در مقابل زمان



نمودار ۲: نمودار درجه حرارت محیط تخمیر به زمان

در نهایت به مدلسازی فرآیند تخمیر الکلی خرما بر اساس تغییرات بریکس می پردازیم. همانطور که نمودار نشان می دهد بریکس به صورت نمایی تغییر می کند بنابراین می توانیم این فرآیند را با استفاده از یک معادله ریاضی نمایی شبیه سازی کنیم بنابراین بر این اساس در ابتدا یک تابع نمایی ساده برای پیشگویی تغییرات بریکس با تغییر زمان تعریف کردیم. که این تابع دارای دو پارامتر است و به صورت معادله ۱ است برای تعیین پارامترهای مدل از نرم افزار Matlab کمک گرفتیم پس از عبور منحنی از داده ها

بر اساس تابع نمایی ساده مشاهده شد که مدل پیشگویی شده توافق خوبی با داده های آزمایشگاهی ما ندارد. ($R^2 = 0.39$)
در این مدل r, g پارامترهای ما هستند که پس از تعیین آنها به کمک نرم افزار معادله کلی به صورت معادله ۲ در آمد.

$$f(t) = r \times \exp(gt) \quad (1)$$

$$f(t) = 13.21 \exp(-0.03717 t) \quad (2)$$

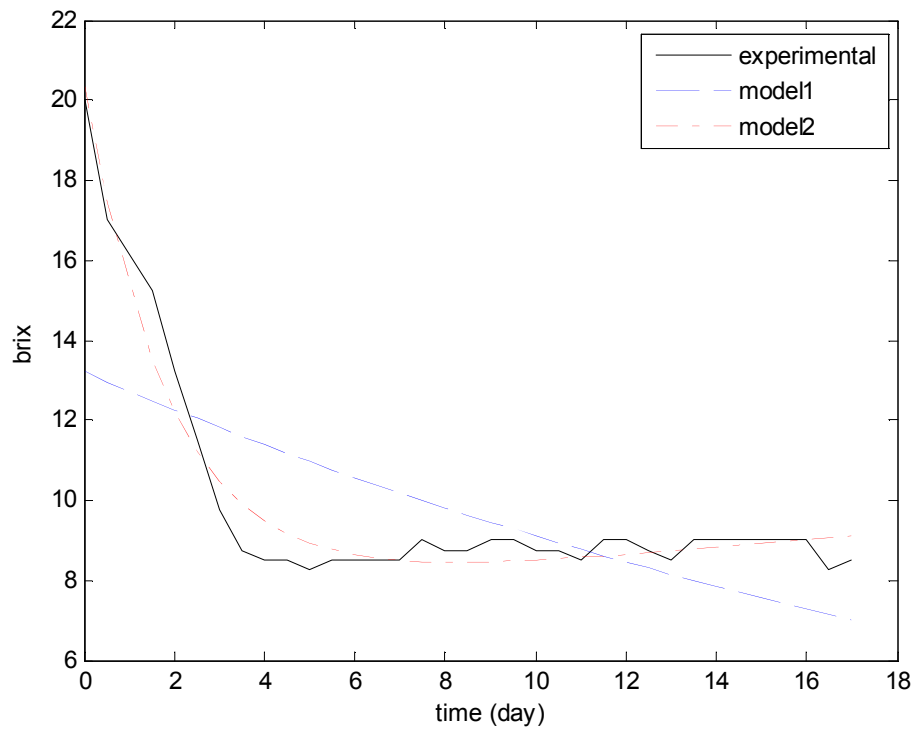
که در آن t زمان بر حسب روز است و $f(t)$ میزان بریکس در هر روز است.

همانطور که گفته شد و نمودار شماره ۳ هم نشان می دهد مدل شماره ۱ یک مدل مناسب برای پیشگویی این فرآیند نیست بنابراین برای پیشگویی این فرآیند از ترکیب دو تابع نمایی استفاده کردیم که این مدل پیشنهاد شده شامل چهار پارامتر a, b, c, d بود که باز پارامترها با کمک نرم افزار Matlab بدست آمدند و همانطور که در نمودار شماره ۳ مشاهده می کنید این مدل (مدل شماره ۲) بر خلاف مدل اول (مدل شماره ۱) توافق زیادی با داده های ما دارد ($R^2 = 0.95$) معادله مربوط به مدل سازی این فرآیند را می توانید در معادله ۳ مشاهده کنید. معادله کلی بدست آمده برای این فرآیند پس از قرار دادن پارامترها در آن به صورت معادله ۴ است.

$$f(t) = a \times \exp(bt) + c \times \exp(dt) \quad (3)$$

$$f(t) = 12.73 \exp(-0.529t) + 7.62 \exp(0.01037t) \quad (4)$$

که در آن t زمان بر حسب روز و $f(t)$ میزان بریکس در هر روز است.



نمودار ۳: منحنی های مربوط به داده های آزمایشگاهی و مدل سازی و مقایسه دو مدل پیشنهاد شده با داده های آزمایشگاهی

منابع :

- ۱: فولادی ، محمد حسن . گلشن ، ابوالفضل ، ۲۰۰۷ ، بهینه کردن فرآیند تخمیر الکلی ضایعات خرما ، سومین همایش ملی بررسی ضایعات محصولات کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس ، ۱۶۷-۱۶۱