

# کاربرد و مدلسازی راکتورهای با جریان برخوردکننده در فرایند ایزومریزاسیون گلوکز با استفاده از آنزیم تثبیت یافته گلوکز ایزومراز

نرگس فلاح<sup>i</sup>، مرتضی سهرابی<sup>ii</sup>

## چکیده

استفاده از روش جریانهای برخوردکننده در اجرای عملیات مربوط به مهندسی شیمی، یکی از فرایندهای نو به شمار می رود و در بسیاری از موارد، بالاترین بازده و کارایی را نسبت به روشهای متعارف نشان داده است. در این تحقیق واکنش ایزومری شدن D- گلوکز به D- فروکتوز با استفاده از آنزیم تثبیت یافته گلوکز ایزومراز به عنوان نمونه ایی از واکنشهای کاتالیستی جامد - مایع در راکتورهای پاششی با جریان برخورد کننده بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که درصد تبدیل گلوکز به فروکتوز در این راکتور، در مقایسه با راکتورهای معمولی، نظیر بسترهای پر شده بهبود یافته و کارایی بالاتری دارد. در مقاله حاضر، منحنی توزیع زمان اقامت قطرات در راکتور به دست آمده و مدلسازی آماری آن با استفاده از روش زنجیره ایی مارکوف صورت گرفته است.

## کلمات کلیدی:

مدلسازی، راکتور با جریانهای برخوردکننده، گلوکز، فروکتوز، گلوکز ایزومراز، آنزیم تثبیت یافته، واکنش کاتالیستی جامد - مایع

## *Application and Modeling of the Impinging reactors in Isomerization of glucose with Immobilized Enzyme*

### ABSTRACT

Application of the impinging streams methods for performing chemical engineering related operations, is considered as a new method and, in many occasions has shown the highest efficiency and performance capability in comparison to any other conventional method.

In the present work the isomeration of D-glucose to D-fructose using immobilized glucose isomerase, is studied as a typical example of the catalyzed solid - Liquid reactions which is carried out in a spray impinging reactor (SIR). The results obtained shows that the conversion ratio of glucose to fructose in this reactor is much higher than than corresponding amount obtained from conventional reactors such as packed beds, and also shows the higher performance capability at this reactor Also the particles residence times distribution curve is plotted and the reactor is modeled, using markov chains discrete formulation, which has shown the relative ideality of this reactor with respect to other common reactors. In this study a stochastic model, based on Markov chain processes has been developed for the TISR, which describes the residence time distribution (RTD) within the reaction system.

### KEYWORDS

<sup>i</sup> دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر Email: nfallah2001@aut.ac.ir

<sup>ii</sup> استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر و عضو فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران

Email: sohrabi@aut.ac.ir

در تحقیق حاضر، ایزومریزاسیون D - گلوکز به D - فروکتوز با استفاده از آنزیم تثبیت یافته گلوکز ایزومراز (یک واکنش زیستی جامد-مایع)، در راکتورهای پاششی با یک و دو جریان برخورد کننده مورد بررسی قرار گرفته است. این واکنش در صنعت از اهمیت ویژه ای برخوردار است، زیرا D - گلوکز به صورت مستقیم نمی تواند به جای ساکارز یا قند معمولی به کار رود و همچنین نسبت به ساکارز از شیرینی کمتری برخوردار است و کریستال شدن آن در محلول ها، انجام فرایند را با مشکل مواجه می سازد. واکنش ایزومریزاسیون گلوکز به فروکتوز برگشت پذیر است و درصد تبدیل تعادلی گلوکز به فروکتوز در شرایط صنعتی یعنی دمای  $50^{\circ}C$ ، حدود ۵۰٪ است. واکنش مذکور گرماگیر و گرمای واکنش برابر  $5 kJ/mol$  است. ایزومریزاسیون گلوکز معمولاً در راکتورهای لوله ای پر شده با آنزیم تثبیت یافته و با سرعت حجمی  $1/h$  - ۲ - ۰/۲ صورت می گیرد.

یکی از اهداف این تحقیق اجرای واکنش ایزومریزاسیون فوق در راکتور پاششی با یک جریان برخورد کننده و نیز دو جریان برخوردکننده با طراحی جدید و مقایسه درصد تبدیل گلوکز در راکتورهای مذکور با راکتورهای ناپیوسته همزن دار است. هدف دیگر این پژوهش، مدلسازی راکتور با جریانهای برخوردی است.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- اجرای فرایند ایزومریزاسیون

شکلهای ۱ و ۲ به ترتیب شمای راکتور با یک جریان برخوردکننده و راکتور با دو جریان برخوردکننده همراه ابعاد دستگاهها را نشان می دهد. این دستگاهها دارای بدنه استوانه ای شکل قابل تعویض از جنس پلاستیک شفاف ( پلیمرمتیل- متاکریلات) هستند که بستر آنزیم تثبیت شده به ترتیب در یکی از دو انتها و یا در قسمت مرکزی آنها قرار گرفته است. محلول شربت گلوکز را یک پمپ به جریان می اندازد و سپس به وسیله نازل هایی به سوی بستر آنزیم پاشیده می شود. محصول نهایی از خروجی راکتور که زیر بستر آنزیم قرار دارد، خارج می گردد.

یکی از مهم ترین عوامل در اجرای بهینه فرآیندهای مختلف مهندسی شیمی، کارکرد فرآیند موردنظر در بالاترین آهنگ و بازده ممکن است. این عوامل در میزان سرمایه گذاری اولیه و هزینه های جاری نیز نقش بسزایی دارد.

روش جریان های برخورد کننده را برای اولین بار در دهه شصت میلادی I.Elprine پیشنهاد داد و بعدها یکی از مؤثرترین راه ها برای افزایش سرعت عملیات انتقال جرم و حرارت در فرایندهای مربوط به مهندسی شیمی شناخته شد [۱]. در یکی از این روش ها، دو جریان مختلف جهت و همراستا در محلی در داخل سیستم با یکدیگر برخورد می کنند. هریک از جریانها ممکن است متشکل از دو فاز جامد- مایع، جامد- گاز، و گاز- مایع و یا تک فاز باشد. واکنشهای چند فازی متعددی از جمله جذب شیمیایی گاز  $CO_2$  در هیدروکسید سدیم [۲] و محلول منواتانل آمین [۳] و نیتراسیون تولوئن توسط مخلوط اسیدهای نیتریک و سولفوریک در سیستم مایع - مایع [۴] سولفور زدایی از سوخت گازی در یک سیستم مایع-گاز [۵]، سنتز متانل در فاز مایع [۶] مورد بررسی قرار گرفته اند. همچنین سیستم جریانهای برخورد کننده در فرایندهای شیمیایی دیگر نظیر اختلاط، انحلال و عملیات انتقال جرم و حرارت به نحو رضایت بخش به کار رفته است [۷-۱۵].

در این سیستمها رفتار غیر منتظره ای از دو فاز غیر قابل انحلال در یکدیگر ملاحظه می شود که ابزاری در تشدید پدیده های انتقال در سیستمهای نامتجانس محسوب می شود. به نظر می رسد که عوامل زیر سبب افزایش شدت پدیده های انتقال جرم و حرارت می شود:

۱- افزایش سرعت نسبی بین فازها

۲- افزایش زمان اقامت ذرات در جریان به سبب حرکت نوسانی آنها در فاز پیوسته

۳- وجود سطح تماس مؤثر در پدیده های انتقال جرم و حرارت که برابر با سطح تماس واقعی ذرات در جریان است.

۴- اختلاط کامل در منطقه برخوردی که باعث افزایش ضرایب انتقال جرم و حرارت می شود.

۵- در جریانهای گاز- مایع و مایع - مایع برخوردی بین ذرات و نیروهای برشی موجب شکسته شدن قطرات به اجزای ریزتر می شود.

راکتور پاششی با دو جریان برخورد کننده، یکی از انواع راکتورهای برخورد کننده به شمار می رود.

Xylose Ketol -Isomerase) با نام تجاری Sweetzymet است که توسط شرکت novo به بازار عرضه می شود و از میکروارگانیسم streptomyces murinus به دست می آید. این آنزیم به صورت گرانول های خشک استوانه ای شکل به رنگ قهوه ای است که اندازه آن ۰/۳ تا ۱ میلی متر است و دارای فعالیت معادل با ۲۵۰ IGIU/gr است.

### ۲-۱-۲ روشهای سنجش

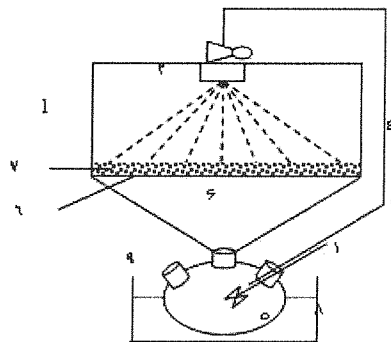
اندازه گیری غلظت گلوکز با روش glucose oxidase/peroxidase و تعیین غلظت فروکتوز با روش cystin-carbusol صورت گرفته است [۱۶]. دقت این روش با سنجش غلظت مشخصی از این دو منوساکارید آزمایش شده است و حداکثر خطای مشاهده شده حدود ۴٪ ± است.

### ۲-۱-۳ اجرای آزمایشها

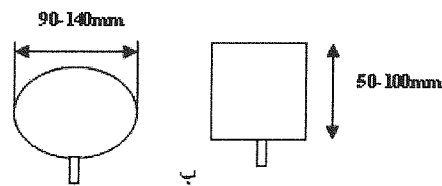
مخزن خوراک شامل ۲ لیتر از محول ۰/۱ مولار گلوکز و ۰/۱ مولار  $MgSO_4$  به عنوان پایدارکننده در دمای  $25^{\circ}C$  و  $pH=7/5$  بود. سپس دمای محلول خوراک به  $60^{\circ}C$  افزایش می یافت و جهت هوازدایی از آن، از گاز نیتروژن که به وسیله دو عدد حباب پخش کن درون مخزن پخش می شد، استفاده می گردید. برای یکنواخت کردن غلظت و نیز پخش موثرتر نیتروژن درون خوراک از یک همزن استفاده می شد. جریان خوراک پس از عبور از راکتور و انجام واکنش مجدداً به سوی ظرف خوراک برگشت داده می شد. برگشت محصول به داخل ظرف خوراک به این دلیل انجام می شد که مدت زمان مؤثر اقامت محلول در راکتور بیش از چند ثانیه نیست و لذا برای رسیدن به درصد تبدیل بالا لازم است که محلول به طور مکرر از بستر آنزیم عبور داده شود. در زمانهای مختلف از محصول نمونه گرفته شده و برای اطمینان از عدم پیشرفت واکنش به مدت ۱۵ دقیقه جوشانده می شد و سپس مورد تجزیه قرار می گرفت.

### ۳- نمودار توزیع زمان اقامت

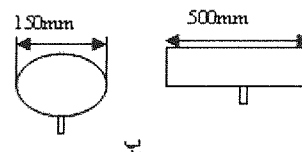
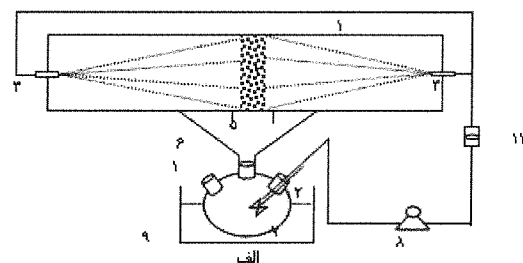
نمودار توزیع زمان اقامت قطرات (RTD) نشان دهنده رفتار قطرات مایع در راکتور است. این منحنی علاوه بر تعیین میزان غیر ایده ال بودن راکتور، در محاسبه مقدار تبدیل خوراک در راکتور و متوسط زمان اقامت نیز نقش دارد. برای به دست آوردن منحنی توزیع زمان اقامت در راکتور، از روش تحریک-پاسخ استفاده شد. به این ترتیب که یک ضربه از ردیاب به داخل راکتور تزریق شده و توزیع این ردیاب در خروجی از راکتور اندازه گیری شد. با رسم منحنی در صد ردیاب خروجی نسبت به زمان، منحنی توزیع زمان اقامت به دست



شکل ۱



شکل (۱): الف - نمودار دستگاه با یک جریان برخوردارکننده ب - ابعاد دستگاه ۱- بدنه دستگاه ۲- نازل پاشنده ۳- پمپ شتاب دهنده ۴- لوله انتقال دهنده ۵- مخزن خوراک ۶- بستر نگهدارنده آنزیم ۷- آنزیم ۸- حمام آب بن ماری ۹- دریچه نمونه برداری ۱۰- همزن



شکل (۲): الف- نمودار با دو جریان برخوردارکننده ب- ابعاد دستگاه ۱- بدنه دستگاه ۲- بستر آنزیم ۳- نازل پاشنده ۴- خروجی راکتور ۵- قیف ۶- مخزن خوراک ۷- پمپ ۸- حمام آب ۹- محل نمونه برداری ۱۰- پیوسته کننده جریان ۱۱- همزن

### ۲-۱-۱ مواد

تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از جمله گلوکز به صورت بسیار خالص و متعلق به شرکت Merck بوده است. آنزیم تثبیت یافته گلوکز ایزومراز (D-5.3.1.5 EC

$$p_{11} = p_{22} = e^{-2(Q+r)\Delta t/v} \quad (2)$$

$$p_{33} = e^{-r\Delta t/v} \quad (3)$$

با توجه به اینک احتمال ترک هر حالت ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) برابر  $1 - p_{ij}$  است:

$$p_{13} = p_{23} = \frac{r}{r+Q}(1 - e^{-(Q+r)\Delta t/v}) \quad (4)$$

$$p_{32} = p_{31} = \frac{1}{2}(1 - e^{-r\Delta t/v}) \quad (5)$$

$$p_{14} = p_{24} = \frac{Q}{r+Q}(1 - e^{-(Q+r)\Delta t/v}) \quad (6)$$

و ماتریس احتمالات انتقال کامل به شکل زیر در می آید:

$$P = \begin{pmatrix} e^{-2(Q+r)\Delta t/v} & \frac{R}{R+1}(1 - e^{-2(Q+r)\Delta t/v}) & \frac{1}{R+1}(1 - e^{-2(Q+r)\Delta t/v}) & 0 & 0 \\ 0 & e^{-2(Q+r)\Delta t/v} & \frac{R}{R+1}(1 - e^{-2(Q+r)\Delta t/v}) & \frac{1}{R+1}(1 - e^{-2(Q+r)\Delta t/v}) & 0 \\ \frac{1}{2}(1 - e^{-4R\Delta t/v}) & \frac{1}{2}(1 - e^{-4R\Delta t/v}) & e^{-4R\Delta t/v} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

برای بی بعد کردن معادلات از تعاریف زیر استفاده شده است:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta t}{\tau} \quad \text{و} \quad R = \frac{r}{Q} \quad (8)$$

چون در زمان  $\Delta t$ ، قطرات در حالت (۱) یا (۲) هستند، بردار احتمال اولیه  $S_{(0)}$  به صورت زیر است:

$$S_{(0)} = [S_{1(0)} \quad S_{2(0)} \quad S_{3(0)} \quad S_{4(0)} \quad S_{5(0)}] \\ [0.5 \quad 0.5 \quad 0 \quad 0 \quad 0]$$

به این ترتیب با دانستن  $P$  و  $S_{(0)}$  مقادیر  $S_{(1)}$  تا  $S_{(23)}$  بدست می آید:

$$S_{(m+1)} = S_{(m)} \cdot P \quad (9)$$

حال برای آوردن منحنی حقیقی RTD در هر  $\Delta t$  تجربی، به ترتیب زیر عمل می کنیم و نتایج را به دست می آوریم:

الف- متوسط زمان اقامت واقعی در راکتور عبارتست از:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{23} t_i A_i}{\sum_{i=1}^{23} A_i} \quad (10)$$

که  $A_i$  غلظت نوری ماده رنگی (متناسب با غلظت ماده) در زمان  $t_i$ ،  $i\Delta t$ ، زمان برابر با  $i\Delta t$  است.

آمد. تعیین این منحنی در این نوع راکتور به علت حرکت نوسانی قطرات در منطقه برخوردی بسیار مهم است.

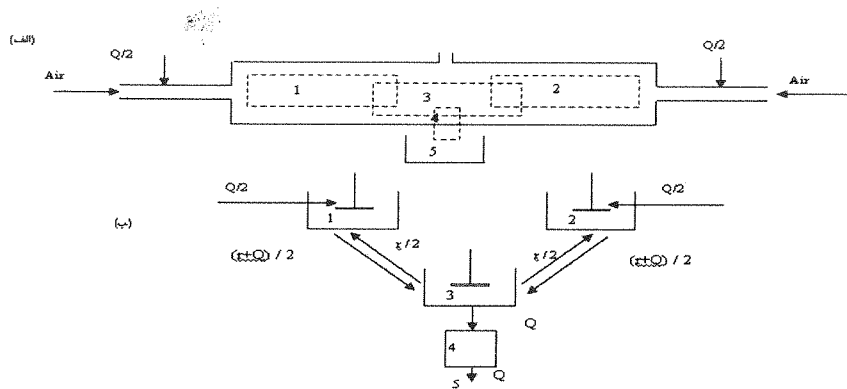
اندازه گیری غلظت ردیاب در حجم جمع آوری شده از خروجی راکتور در فاصله زمانی  $\Delta t$  تعیین می شود. فاصله های زمانی  $\Delta t$  را می توان تغییر داد. برای این منظور از ظرف مدوری که به قسمتهای مساوی تقسیم شده، استفاده شد. این ظرف به صورت استوانه ای کوتاه با انتهای مسدود بود که به ۲۲ خانه مساوی تقسیم شده بود. ظرف مذکور در زیر خروجی راکتور قرار می گرفت و به وسیله یک موتور الکتریکی می چرخید. فاصله های زمانی مختلف با تغییر سرعت چرخش ظرف و نیز تغییر تعداد خانه ها به دست می آمد. پس از تزریق ردیاب (محلول رنگی) به مدخل راکتور و جمع آوری نمونه ها، غلظت هر نمونه با استفاده از روشهای نورسنجی تعیین می شد. برای مدل کردن راکتور با دو جریان برخورد کننده از مدل زنجیره ای مارکوف استفاده شد. به این منظور مسیر جریان در راکتور مطابق با آرایش شکل ۳ در نظر گرفته شد [۴]. در این آرایش نواحی (۱) و (۲) راکتورهای همزن دار فرض می شوند و همچنین ناحیه (۳) نیز که منطقه برخورد دو جریان را نشان می دهد، دارای رفتاری نظیر یک راکتور همزن دار

است.  $\frac{r}{2}$  مقداری از جریان است که بین راکتورهای (۱) و (۲) و (۳) در حال نوسان بوده و نشانگر حرکت نوسانی قطرات خوراک در ناحیه برخورد است؛ بنابراین قطرات از راکتورهای (۱) و (۲) وارد راکتور (۳) شده و در حالت (۴) از آن خارج می شوند. شدت جریان ورودی به راکتورهای (۱) و (۲) برابر  $\frac{Q}{2}$  است

$\Delta t$  زمان نمونه برداری یا زمان اقامت در راکتور در هر حالت،  $Q$  شدت جریان ورودی به راکتور،  $\tau$  شدت جریان برگشتی ذرات،  $v$  موجودی کل مایع درون راکتور و  $v$  موجودی مایع در هر یک از حالات یا راکتورها است و به صورت زیر تعریف می شود:

$$v = \frac{v}{m_v} \quad (11)$$

$m_v$  تعداد حالات است و در این آرایش برابر با ۳ است. ناحیه (۴) در آرایش ارائه شده، یک حالت خروجی است و به عنوان حالت فعال در مدل مارکوف در نظر گرفته نمی شود. طبق اصول مدل زنجیره ای مارکوف، احتمال وجود قطرات در هر ناحیه و نیز احتمال ورود و خروج قطرات از هر ناحیه با روابط زیر بیان می شود:



شکل (۳): مدل راکتور پاششی با دو جریان برخوردکننده

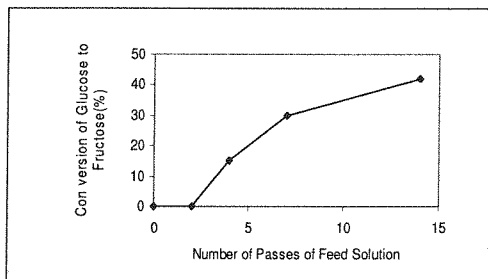
ب- واریانس تجربی را طبق فرمول زیر محاسبه می کنیم:

$$\sigma_{exp}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{23} (t_i - \tau) A_i}{\sum_{i=1}^{23} A_i} \quad (11)$$

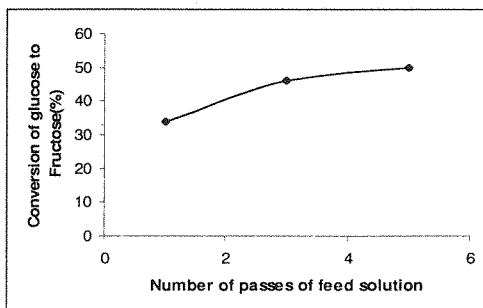
#### ۴- نتایج

##### ۴-۱- فرایند ایزومریزاسیون

شکل (۴) و (۵) به ترتیب میزان تبدیل گلوکز را در راکتور با یک و دو جریان برخوردکننده نشان می دهد. همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است، میزان تبدیل گلوکز در راکتور با دو جریان برخورد کننده ۵۰ درصد در زمان ۱۰ ثانیه است که این میزان در راکتورهای لوله ای تنها ۵ درصد در مدت زمان ۴ دقیقه است [۱۷-۲۰]



شکل (۴): اثر گذر زمان بر میزان تبدیل گلوکز در راکتور با یک جریان برخوردکننده



شکل (۵): اثر گذر زمان بر میزان تبدیل گلوکز در راکتور با دو جریان برخوردکننده

مهم ترین عوامل موثر بر درصد تبدیل گلوکز، فاصله بین دو نازل تا بستر و سرعت حجمی جریانهاست. نتایج زیر از

ج- با توجه به تعاریف گذشته داریم:

$$\Delta\theta_{exp} = \left(\frac{\Delta t}{\tau_{exp}}\right)$$

R است. اما با دانستن  $\Delta\theta$ ، تنها تابعی از R می شود؛ لذا توابع  $s_e(i)$  نیز تابعی از R خواهند بود. به علاوه، می دانیم که:

$$1 = \Delta\theta \sum_{i=1}^{23} i s_e(i)(R, \Delta\theta) \quad (12)$$

در اینجا  $s_e(i) = s_4(i)$  خواهد بود. با دانستن  $\Delta\theta$ ،

$s_4(i)$  فقط تابعی از R می شود و داریم:

$$1 = \Delta\theta \sum_{i=1}^{23} i s_4(i) R \quad (13)$$

با حل این معادله مقدار R به دست می آید.

د- تعیین مقادیر R و  $\Delta t$  واریانس مدل، به کمک رابطه زیر

محاسبه می شود:

$$\sigma_{model}^2 = \sum_{i=1}^{23} s_4(i)(R, \Delta\theta) [\tau(i\Delta\theta) - 1]^2 \quad (14)$$

ه - حال اگر واریانس های مدل و تجربی یکسان باشند؛

یعنی:

$$\sigma_{exp}^2 = \sigma_{model}^2 \quad (15)$$

$\Delta t$  مورد نظر صحیح بوده و منحنی حقیقی RTD به دست

می آید. در غیراین صورت این عملیات در  $\Delta t$  های دیگر آزمایش می شود.

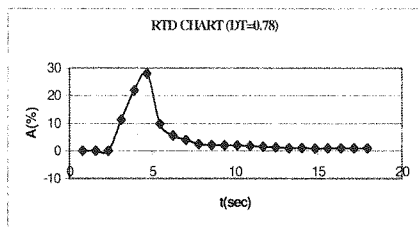
برای حل معادلات فوق از نرم افزار Labview و ویرایش ه استفاده شد و برنامه ای تدوین گردید تا تک تک Siها را محاسبه کند و با یک پارامتر R و سپس معادله ۱۲ را حل نماید تا R به دست آید و بقیه مراحل ادامه یابد.

مشاهدات بعمل آمده حاصل شده است:

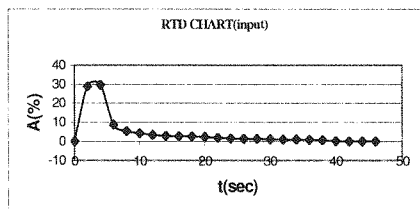
الف- همان طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، تغییر فاصله نازلها از ۵۰ میلی متر به ۱۰۰ میلی متر سبب کاهش کارایی سیستم می شود.

ب- افزایش فشار پمپ در راکتورهای با دو جریان برخوردکننده سبب افزایش کارایی سیستم می شود که نتایج آن در شکل (۷) نشان داده شده است.

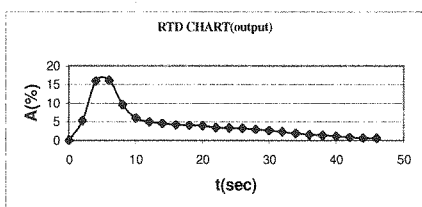
جریان برخوردکننده در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



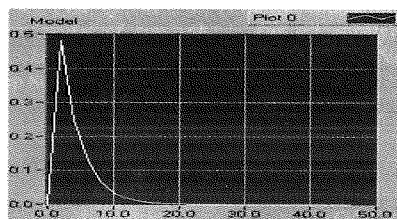
شکل (۸): منحنی توزیع زمان اقامت راکتور با یک جریان برخوردکننده (DT = 0.78)



شکل (۹): منحنی RTD ردیاب ورودی به راکتور با دو جریان برخوردکننده



شکل (۱۰): منحنی RTD ردیاب خروجی از راکتور با دو جریان برخوردکننده

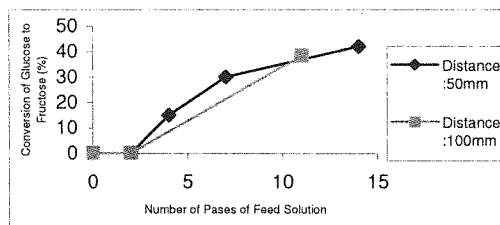


شکل (۱۱): منحنی RTD مدل راکتور با دو جریان برخوردکننده

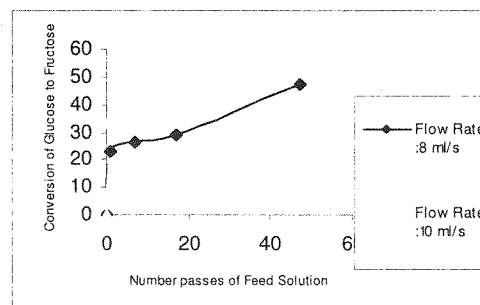
## ۵- جمع بندی نهایی

۱- کاهش کارایی سیستم بر اثر افزایش فاصله دو نازل را می توان چنین تفسیر کرد که در فاصله ۱۰۰ میلی متری قسمتی از قطرات مایع به جدار راکتور می چسبند و از رسیدن به بستر آنزیم جلوگیری می شود. مناسب ترین فاصله، مقداری است که (با توجه به زاویه پاشش نازل) در آن تمام جت مایع بر روی بستر آنزیم پاشیده می شود.

۲- سرعت واکنش ایزومری شدن در راکتورهای با دو جریان برخوردکننده، حدود ۳۰۰ برابر سرعت آن در یک راکتور متعارف است. پدیده مذکور می تواند بیانگر این امر باشد



شکل (۶): منحنی اثر فاصله نازل از بستر آنزیم بر درصد تبدیل گلوکز در راکتور با یک جریان برخوردکننده



شکل (۷): منحنی اثر فشار پمپ (دبی جریان) بر درصد تبدیل گلوکز

ج - در شرایط آزمایش، درصد تبدیل به دست آمده در راکتور با یک جریان برخوردکننده حدود ۸۰ برابر بیشتر از راکتور همزن دار ناپیوسته است نتایج این مقایسه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مقایسه راکتورهای با جریان برخوردکننده با راکتور همزن دار

دستگاه	زمان ماندگاری (ثانیه)	درصد تبدیل گلوکز
راکتور همزن دار ناپیوسته	۱۶۰۰	۲۵/۶
راکتور با یک جریان برخوردکننده	۳۰	۴۲
راکتور با دو جریان برخوردکننده	۱۰	۵۰

## ۴-۲- مدلسازی

نمودار RTD تجربی مربوط به راکتور با یک جریان برخوردکننده در شکل (۸) و نمودار RTD تجربی مربوط به راکتور با دو جریان برخوردکننده در شکل (۹)، (۱۰) نشان داده شده است. نمودار RTD مدل مربوط به راکتور با دو

- [۱۲] Goddis, E. S.; Vogelpohl, A. ;" *The impinging-stream reactor : A high performance loop reactor for mass transfer controlled chemical reactions*" , *Chemical Engineering Science.*, vol. 74,p.p. 2877-2882 ,1992.
- [۱۳] Sohrabi, M.; Ahmadi Marvast, M. ;"Application of a continouse two impinging streams reactor in solid – liquid enzyme reaction " , *Industrial and Engineering Chemistry Reaserch*, vol.39, p.p.1903-1910, 2000.
- [۱۴] Molaei Dehkordi, A.; "A novel two-impinging –jet reactor for copper extraction and stripping processes " *Chemical Engineering Journal*, vol.87, p.p.227-238, 2002.
- [۱۵] Berman, Y.; Tanklevsky, A.; Oren, Y.; Tamir, A.: "Modeling and experimental studies of SO2 absorption in coaxial cylinders with impinging streams " *Chemical Engineering Science* , vol.55, p.p.1023-1028, 2000
- [۱۶] Coburn, h.J.;Carrol J.J.;" *Improved manual and automated colorimetric determination of serum glucose*".*Clinical chemistry*,vol. 19, p.p.127-136, 1973.
- [۱۷] Verhoff, F.h. ;"diffusion resistance and enzyme activity decay in peller", *Biotechnology and Bioengineering* ,vol.24, p.p.703-713, 1982.
- [۱۸] Vlaev ,S.D.; " *D-glucose isomerization using an immobilized glucose isomerase preparation from Streptomyces thermovulgaris strain 127*", *Acta biotechnology*, vol. 11, p.p.49-69.
- [۱۹] Vostics-Raki , D.; " *Devlopment of reactor model for glucose isomerization catalyzed by Whole-cell immobilized glucose isomerase*", *Bioprocess Engineering* ,vol.7,p.p.183-189, 1991.
- [۲۰] Danno, G.;"*Studies on d-glucose isomerizing enzyme from Basillus coagans , Strain NH\_68. part4:Purification ,Crystalization and some physicochemical properties*", *Agriculture and biology and chemistry*, vol.34, p.p.1795-1806,1970.
- که عامل محدود کننده سرعت کلی واکنش یک پدیده فیزیکی، و به احتمال قوی، مقاومت لایه مایع در اطراف قطعات آنزیم تثبیت شده است. سرعت بسیار زیاد جت مایع ضخامت لایه را به شدت کاهش داده ، سبب حذف مقاومت فیلمی می شود و در نتیجه سرعت واکنش شیمیایی، تعیین کننده سرعت کلی فرایند می‌گردد.
- ۳- نمودار RTD مدل نیز انحراف از ایده ال بودن این نوع راکتور را نشان می‌دهد.
- ### ۶-مراجع
- [۱] Elprin, I.T. ;"Heat transfer in opposing currents " , *Journal of Engineering Physics*, vol. 6, p.p. 62-68, 1961 .
- [۲] Tamir A.; Herskovitz D.;"Absorption of CO<sub>2</sub> in a new two impinging stream absorber", *Chemical engineering science*,vol. 40, p.p. 2149-2151, 1985.
- [۳] Sohrabi, M.; Jamshidi, A.M.J.;" *Studies on behavior and application of the continous two impinging streams reactors in gas-liquid reactions* " , *Journal of chemical technology and biotechnology* ,vol. 69, p.p. 415-420, 1997.
- [۴] Sohrabi, M.; Kaghazchi, T.; Yazdani, F.J. ;" *Modeling and application of continous impinging streams reaction in liquid-liquid heterogeneous reaction* " ,*Chem.Technol. Biotechnol.*, vol. 58, p.p. 363-370 , 1993.
- [۵] Wu, Y.; Li, Q.; Li, F. ;" *Desulfurization in gas – continous impinging stream gas- liquid reactor* " ,*Chemical Engineering Science.*, vol. 62,p.p. 1814-1824 , 2007.
- [۶] Lishun, H.; Xinjun, W.; Xiaoming, L.; Guangsuo, Y.; Fuchen, W.; Zunhong, Y.; " *The Characteristics of liquid – phase methanol synthesis in an impinging stream reactor* " , *Chemical Engineering and processing* vol. 46,p.p. 905-909 , 2007.
- [۷] Tamir, A; Kitron, A.; " *Application of impinging streams in chemical engineering processes :review* " , *Chemical Engineering Communication* , vol. 50, p.p. 241-330, 1987.
- [۸] Tamir, A.; Elprin ,I.; Luzzatto , K.;" *Drying in a new two impinging streams reactor* " , *Chemical Engineering Science.*, vol. 39, p.p 139-146, 1984.
- [۹] Tamir A. ;"Processes and phenomena in impinging streams reactors " , *Chemical Engineering Progress.*,vol. 85, p.p. 53-61, 1989.
- [۱۰] Kitron, A; Tamir, A.; "Drying and mixing of solid and particle 's RTD in four impinging streams and multistage two impinging sreams reactors " ,*Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 26, p.p. 2454-2461 , 1987.
- [۱۱] Kitron, A. ;Tamir, A.;" *Performance of coaxial gas – solid two impinging sreams (TIS) reactor: hydrodynamics, residence time distribution and drying heat transfer*", *Industrial Engineering Chemistry Research* , vol. 27, p.p. 1760-1767, 1988.