

سهرابعلی قربانیان^{۱*}، حسین ابوالقاسمی^۲، سید محمد علی موسویان^۳ و محمد قنادی^۴

^۱ عضو هیات علمی دانشکده مهندسی شیمی - پردیس دانشکده های دانشکده فنی - دانشگاه تهران

^۲ استادیار دانشکده مهندسی شیمی - پردیس دانشکده های دانشکده فنی - دانشگاه تهران

^۳ استاد دانشکده مهندسی شیمی - پردیس دانشکده های دانشکده فنی - دانشگاه تهران

^۴ استاد دانشکده مهندسی شیمی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(تاریخ دریافت ۸۵/۷/۷، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۵/۹/۲۶، تاریخ تصویب ۸۵/۱۱/۲۱)

هدف این مطالعه، تعیین منحنی عبور تجربی جهت بازیابی اسید سیتریک به کمک فرآیند جذب سطحی توسط رزین‌های تبادل یونی در دماهای ۲۰، ۳۵، ۵۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. همچنین یک مدل ریاضی برای منحنی عبور ارائه شده است. از بین رزین‌های تبادل یونی آزمایش شده نتایج نشان داده است که نوع بازی ضعیف آن جهت بازیابی اسیدهای آلی و از جمله اسید سیتریک مناسب می‌باشد. همچنین از بین رزین‌های بازی ضعیف بهترین رزین جهت جداسازی اسید سیتریک 93-Amberlite IRA می‌باشد. در کار تجربی حاضر، در جذب حالت گذرا، منحنی جذب ایزوترم تجربی اسید سیتریک در دماهای متفاوت بدست آمد. بطور کلی، اگر چه با افزایش دما ضریب نفوذ درون ذره‌ها افزایش می‌یابد ولی جذب مؤثر اسید در بستر و یا در واقع ظرفیت اشباع رزین کاهش می‌یابد. همچنین یک مدل ریاضی جدید برای منحنی عبور ارائه شده است که تطابق بسیار خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد.

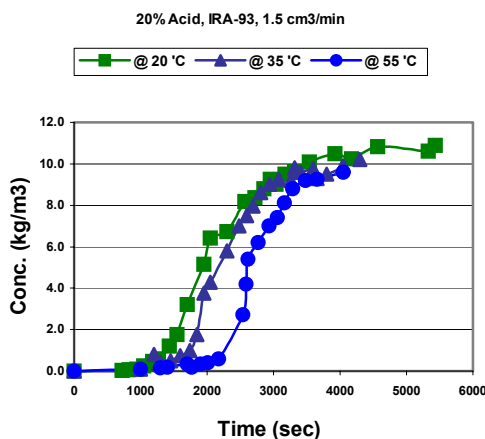
: ستون جذب سطحی - تبادل یونی - بازیافت اسیدهای آلی - اسید سیتریک - مدلسازی منحنی

عبور

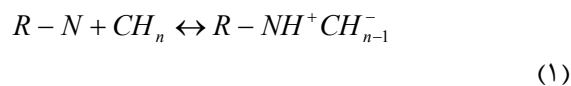
اجرائی این روش را در تولید اسید سیتریک بسیار محدود و سخت می‌نماید. لازم به ذکر است که هیچ کدام از این روش‌ها درجه تبدیل^۱ و راندمان بالایی ندارند. اخیراً استفاده از رزین‌های تبادل یونی سنتزی در جداسازی اسیدهای آلی و خالص‌سازی آنها مورد استفاده قرار گرفته است [۱-۳]. این دسته از رزین‌ها به عنوان جاذب اسید بطور انتخابی عمل کرده و سایر اجزای محلول بصورت دست نخورده باقی می‌مانند. بعد از اشباع شدن جاذب جامد یعنی در پایان یک دوره از عملیات جدا سازی، جاذب جامد با روش شستشو با آب، اسید یا باز مجدداً احیاء می‌شود با آنکه اصل جداسازی اسیدهای آلی توسط روش تبادل یونی شناخته شده است هنوز جزئیات بسیاری وجود دارد که نیازمند توسعه و پیشرفت است. بر این اساس به نظر می‌رسد که بستر متحرک شبیه‌سازی شده^۲ با استفاده از روش کروماتوگرافی بسیار مناسب و مؤثر باشد که بر اساس تماس پیوسته جریان غیر همسو بین خوراک

استفاده از اسیدهای آلی در اکثر صنایع به عنوان محصول میانی و خصوصاً اهمیت آن در بیوتکنولوژی و به عنوان مواد اولیه برای افزودنی‌های خوراکی، داروها، پلاستیک‌های قابل بازیافت زیست محیطی و سایر محصولات حائز اهمیت است. خالص سازی اسیدهای آلی و بخصوص اسید سیتریک به روش جذب سطحی در مقایسه با سایر روش‌ها دارای هزینه‌های تولید پائین‌تری می‌باشد. در حال حاضر دو طریقه جداسازی اسید سیتریک از تخمیر آب گوشت وجود دارد که عبارتند از ته‌نشینی استاندارد و دیگری استخراج مایع- مایع. روش اول شامل مراحل دشوار و پر مصرف انرژی و نیازمند مقادیر بسیار زیاد آب، هیدروکسید کلسیم و اسید سولفوریک غلیظ می‌باشد و در نتیجه مقدار قابل ملاحظه‌ای ضایعات و سنگ گچ بدون مصرف تولید می‌شود. روش دوم نیز نسبتاً پیچیده بوده و نیازمند حلال‌های آلی متفاوتی است که عموماً سمی و یا سرطان‌زا هستند که همین مسئله قابلیت

مورد آنالیز قرار گرفته شد. بطور کلی، در هر دم حدوداً تعداد ۲۵ نمونه مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این آزمایش‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.



واکنش رزین تبادل یونی بصورت زیر می‌باشد:



حتی برای اسیدی با بیشتر از یک گروه کربوکسیل در یک مولکول مانند اسید سیتریک در معادله بالا R-N بیانگر رزین پایه است [۷].

همچنین بر اساس آزمایش‌ها ضریب نفوذ اسید سیتریک در خلل و فرج ذره ماده جاذب و ظرفیت اشباع رزین در دماهای مختلف بدست آمد. نتایج بدست آمده در جدول (۱) آورده شده است. همچنین با توجه به صرف نظر کردن مقاومت انتقال جرم در لایه مایع در خارج ذره یک مدل ریاضی برای منحنی عبور فرایند جذب نیز ارائه شد.

Temperature (°C)	$D_P \times 10^{10} \text{ m}^2/\text{sec}$	$C_m \text{ (g / lit)}$
20	3.1	302.2
35	4.3	265.1
55	6.1	190.4

به منظور طراحی صحیح یا مناسب فرایند کروماتوگرافی SMB، مطالعه و تحقیق یک مدل ریاضی جهت منحنی عبور^۵ در یک ستون تبادل یونی مورد تاکید

و ماده جذب کننده^۳ است.

با توجه به اینکه SMB یک فرآیند پیوسته کروماتوگرافی می‌باشد بنابراین نیازمند آگاهی از پارامترهایی نظیر خواص رزین‌های تبادل یونی و تعادل جذب و ویژگی‌های عملکردی بستر در ستون کروماتوگرافی می‌باشد. البته برای تشخیص و بهینه کردن پارامترهای عملیاتی بهترین راه، استفاده از یک مدل ریاضی از فرایند است. عموماً در این مدل‌ها مقاومت انتقال جرم در لایه مایع در خارج ذره قابل صرف‌نظر است و بر این اساس مدل‌های ریاضی فرآیند جذب قابل ارایه می‌باشد [۴-۶].

هدف از آزمایش‌ها، ارزیابی قابلیت و انتخاب رزین تبادل یونی مناسب در پالایش اسید سیتریک است. انواع رزین‌های آنیونی بازی قوی و آنیونی ضعیف که در بازار داخلی به سختی قابل دسترس است، امبرلایت‌های IRA - 420, IRA-458, IRA - 92, IRA - 93 آزمایش قرار گرفت که از بین آنها امبرلایت IRA-93 دارای کارایی مناسب‌تر می‌باشد. بنابراین، با توجه به انتخاب امبرلایت IRA-93 آزمایش‌هایی به منظور بررسی اثر دما بر میزان جذب انجام شد.

آزمایش‌ها در ستون‌های شیشه‌ای با قطر داخلی یک سانتی‌متر، طول ۲۰ سانتی‌متر و گنجایش بستر ۱۵ سانتی‌متر مکعب انجام شدند. جذب و دفع اسید در شرایط جریان ثقلی و با سرعت ۱/۵ میلی لیتر در دقیقه انجام پذیرفت.

جذب با استفاده از غلظت ۲۰ درصد وزنی اسید سیتریک در مایع خوراک و در دماهای ۲۰، ۳۵ و ۵۵ درجه سانتیگراد انجام شد. شوینده^۴ به کار گرفته شده در بستر جاذب شامل آب مقطر و محلول‌های ۰/۲ مولار از اسید سولفوریک می‌باشد. غلظت اسید سیتریک در جریان خروجی توسط اسپکتروفتومتر مدل UV-300-210nm اندازه‌گیری شد.

لازم به توضیح است که برای انجام این آزمایش‌ها از دستگاه Cary 1E / Cary 3E, UV-Vis Spectrophotometers از شرکت Varian استفاده گردیده است.

نمونه‌های اسید خروجی از ستون در هر ۱۰۰ الی ۲۰۰ ثانیه جمع‌آوری شده و توسط روش اسپکتروفتومتری

گرفتند و مشخص شد که مدل‌های چند جمله‌ای و کسری هم‌پوشانی مناسبی را میان مقادیر متغیرهای مستقل و وابسته ایجاد نمی‌کنند. بنابراین صرفاً نتایج مدل ضمنی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که این مدل برای اولین بار در مورد منحنی عبور جذب ارایه شده است.

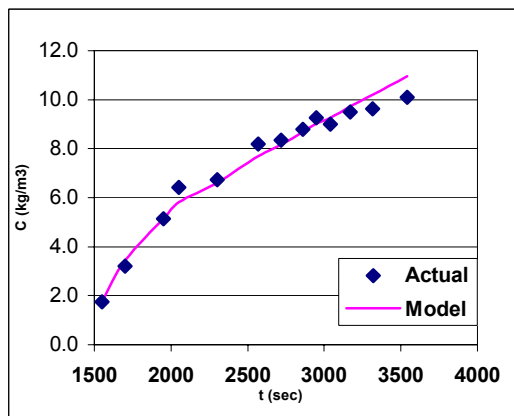
بر این اساس، مدل بدست آمده برای مقادیر آزمایشگاهی در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد بصورت زیر بدست آمد:

$$C = \frac{2.080 t}{0.174 + C^{-1.885}} \quad (2)$$

خروجی نرم افزار برای این مدل در جدول (۲) ارایه شده است. لازم به ذکر است که واحد پارامتر زمان (t) صرفاً در مدل‌های ارایه شده بر حسب ساعت می‌باشد و در نمودارها، واحد زمان بر حسب ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: نتایج خروجی نرم‌افزار Eviews در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد.

Equation: C20_ Workfile: UNTITLED1				
View Procs Objects Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids				
Dependent Variable: LOG(C20)				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/06 Time: 09:58				
Convergence achieved after 9 iterations				
LOG(C20)=LOG((C(1)*T20))-LOG(C(2))+C20*(C(3))				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	2.080377	0.417874	4.978480	0.0006
C(2)	0.173929	0.028388	6.126756	0.0001
C(3)	-1.885641	0.304003	-6.202698	0.0001
R-squared	0.989849	Mean dependent var	1.905959	
Adjusted R-squared	0.987818	S.D. dependent var	0.515931	
S.E. of regression	0.056944	Akaike info criterion	-2.694338	
Sum squared resid	0.032426	Schwarz criterion	-2.563965	
Log likelihood	20.51319	F-statistic	487.5436	
Durbin-Watson stat	1.169736	Prob(F-statistic)	0.000000	



شکل ۲: مقایسه مدل و نتایج تجربی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد.

بوده و هست. بنابراین، درکار تجربی حاضر، یک مدل برای غلظت جذب اسید سیتریک بر مبنای دمای ثابت جذب، بر حسب زمان و غلظت خروجی اسید سیتریک از ستون ارایه شده است. بطورکلی، سه مدل برای غلظت جذب اسید در دماهای ۲۰، ۳۵، ۵۵ مدلسازی شده است. در این مقاله برای مدلسازی از روش معمولی حداقل مربعات (OLS) استفاده شده و با نرم افزار Eviews انجام گردیده است.

در روش OLS آزمون‌های متعددی جهت صحت و همپوشانی داده‌ها انجام می‌شود که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

الف) R-squared: نشان دهنده هم‌پوشانی مدل با توجه به آزمایش‌ها، تجربی است که اگر به عدد یک نزدیک باشد نشان‌دهنده همپوشانی خوب داده‌هاست.

ب) Adjusted R-squared: نشان دهنده هم‌پوشانی واقعی بر مبنای مجموع مربعات مانده‌ها که باید در یک مدل مناسب به عدد یک نزدیک شود.

ج) Durbin-Watson stat: باقیمانده‌ها را با هر رابطه دیگر مورد مطالعه قرار می‌دهد و عدد بالاتر از یک نشان‌دهنده مناسب بودن مدل است.

د) F-statistic: منطقی بودن کل رابطه را بیان می‌کند.

ه) Prob: احتمال صفر شدن ضرایب انتخاب شده در مدل را تحقیق و بررسی می‌کند و هر چه این عدد به صفر نزدیکتر شود این احتمال منطقی‌تر خواهد بود.

مدل‌های ریاضی متعددی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت که از میان آنها می‌توان به معادله چند جمله‌ای $C = a + bt + dt^2 + \dots$ ، مدل کسری $C = \frac{at}{1 + bt + \dots}$ و مدل‌های لگاریتمی و توانی اشاره نمود.

علاوه بر این چندین معادله ضمنی^۷ نیز برای هم-پوشانی مناسب‌تر مورد بررسی قرار گرفت که از بین آنها می‌توان به مدل‌های $C = \frac{at}{b + C^n}$ و شکل بی‌بعد

$$\frac{C}{C_F} = \frac{at}{b + \left(\frac{C}{C_F}\right)^n}$$

آن اشاره نمود.

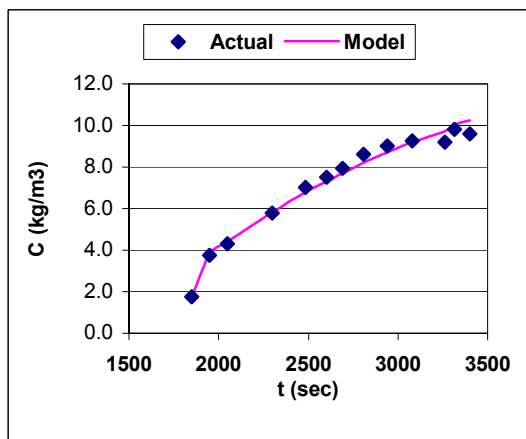
مدل‌های مختلف پیشنهاد شده برای بیان ارتباط غلظت جذب شده با زمان بر اساس نتایج آزمایشگاهی به دست آمده از لحاظ آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار

$$C = \frac{1.908 t}{0.150 + C^{-1.513}} \quad (4)$$

خروجی نرم افزار Eviews مطابق جدول (4) حاصل شد.

جدول 4: نتایج خروجی نرم افزار Eviews در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد.

Equation: C55_ Workfile: UNTITLED1				
View Procs Objects Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids				
Dependent Variable: LOG(C55)				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/06 Time: 10:03				
Convergence achieved after 4 iterations				
LOG(C55)=LOG((C(1)*T55))-LOG(C(2)+C55*(C(3)))				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	1.908266	0.258661	7.377479	0.0000
C(2)	0.149976	0.014407	10.41008	0.0000
C(3)	-1.513673	0.198385	-7.629994	0.0000
R-squared	0.991367	Mean dependent var	1.882215	
Adjusted R-squared	0.989640	S.D. dependent var	0.501937	
S.E. of regression	0.051089	Akaike info criterion	-2.911337	
Sum squared resid	0.026100	Schwarz criterion	-2.780964	
Log likelihood	21.92369	F-statistic	574.1652	
Durbin-Watson stat	0.647337	Prob(F-statistic)	0.000000	



شکل 4: مقایسه مدل و نتایج تجربی در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد.

ثوابت مدل‌های مورد بررسی در دو فرم مذکور در سه دمای آزمایش شده در جداول (۵) و (۶) ارائه شده است.

$$C = \frac{at}{b + C^n} \quad :$$

T	$20^\circ C$	$35^\circ C$	$55^\circ C$
a	2.080	2.314	1.908
b	0.174	0.155	0.150
n	-1.185	-1.293	-1.513

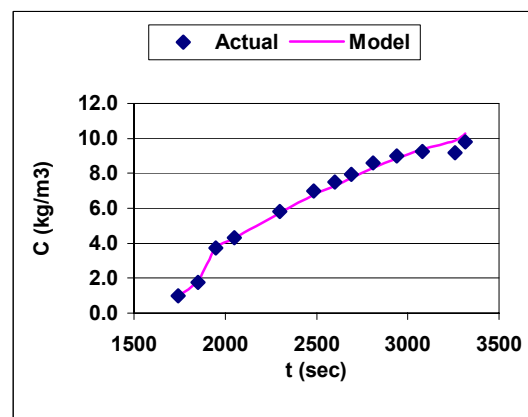
لازم به ذکر است که این نرم افزار از آرگومنت‌های C به جای ضرایب استفاده نموده و اگر از طرفین معادله لگاریتم گرفته شود نتایج به دست آمده توسط آماره‌های متعدد قابل بررسی و تحلیل است. بنابراین $a = C(1)$ ، $b = C(2)$ و $n = C(3)$ می‌باشد. مدل ریاضی بدست آمده برای دمای ۳۵ درجه سانتیگراد بصورت زیر می‌باشد:

$$C = \frac{2.314 t}{0.155 + C^{-1.293}} \quad (3)$$

همچنین خروجی نرم افزار برای رابطه (۳) در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول 3: نتایج خروجی نرم افزار Eviews در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد.

Equation: C35_ Workfile: UNTITLED1				
View Procs Objects Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids				
Dependent Variable: LOG(C35)				
Method: Least Squares				
Date: 05/15/06 Time: 10:01				
Convergence achieved after 5 iterations				
LOG(C35)=LOG((C(1)*T35))-LOG(C(2)+C35*(C(3)))				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	2.314405	0.091623	25.25995	0.0000
C(2)	0.155219	0.012856	12.07335	0.0000
C(3)	-1.293094	0.087116	-14.84341	0.0000
R-squared	0.997280	Mean dependent var	1.708233	
Adjusted R-squared	0.996736	S.D. dependent var	0.708782	
S.E. of regression	0.040496	Akaike info criterion	-3.376074	
Sum squared resid	0.016399	Schwarz criterion	-3.245701	
Log likelihood	24.94448	F-statistic	1833.067	
Durbin-Watson stat	1.143245	Prob(F-statistic)	0.000000	



شکل 3: مقایسه مدل و نتایج تجربی در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد.

مدل ریاضی بدست آمده برای دمای ۵۵ درجه سانتیگراد به صورت زیر می‌باشد:

جداول (۲، ۳ و ۴).

- همچنین نتایج آزمایش ها نشان داد که جهت بازیافت اسیدهای آلی رزین‌های بازی ضعیف به دلیل مقاومت مکانیکی بالاتر و صرفه اقتصادی بیشتر از رزین‌های بازی قوی که در طیف وسیعی از PH کارآیی دارند، مناسب هستند. بر اساس نتایج تحقیقات سایر محققان رزین‌های IRA-92 و IRA-93 در بازیافت اسید سیتریک نسبت به رزین‌های IRA-420 و IRA-458 بهتر و مناسب‌تر می‌باشند و دارای راندمان بالاتری هستند [۸].

$$\frac{C}{C_F} = \frac{at}{b + \left(\frac{C}{C_F}\right)^n}$$

T	20 ° C	35 ° C	55 ° C
a	2.970	2.383	1.692
b	2.082	1.321	-0.007
n	-0.931	-0.930	-0.780

با توجه به شکل (۱)، تاثیر افزایش دما را بر میزان جذب اسید سیتریک توسط رزین نشان می‌دهد. نتایج حاصله بیانگر این مطلب است که با افزایش دما میزان جذب زیاد می‌شود، به گونه‌ای که تقریباً از دمای ۲۰ تا ۵۵ درجه سانتیگراد به دو برابر افزایش می‌یابد. ولی از طرف دیگر، سرعت اشباع رزین با افزایش دما افزایش می‌یابد که این برای یک رزین ایده‌آل نمی‌باشد. همچنین جدول (۱) نیز این مطلب را نشان می‌دهد. ضمناً از جدول (۱) مشاهده می‌شود که با افزایش دما ضریب نفوذ درون ذره‌ای افزایش یافته که تقریباً به دو برابر رسیده است. درحقیقت با افزایش دما، چون ضریب نفوذ افزایش می‌یابد میزان جذب اسید افزایش یافته و در یک بازه زمانی مشخص شدت اشباع رزین افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از شکل (۱) و جدول (۱)، پیشنهاد می‌شود که دمای پایین و دمای بالا برای عملیات جذب مقدار بهینه نمی‌باشد، لذا بهترین شرایط عملیاتی دمای میانی یعنی دمای حدوداً ۳۵ درجه سانتیگراد می‌باشد که در این دما هم میزان جذب نسبتاً خوب بوده و همچنین سرعت اشباع شدن رزین بالا نمی‌باشد.

نتایج حاصل از مدل‌های ریاضی نشان دهنده همپوشانی خوب داده‌های تجربی و مدل می‌باشند. بطور کلی پیشنهاد می‌شود برای منحنی‌های عبور بهترین مدل ریاضی یک مدل ضمنی می‌باشد که دارای شکل کلی $C = \frac{at}{b + C^n}$ می‌باشد. تعیین ضرایب a ، b و n برای یک بستر معین وابسته به دما می‌باشند. بطور کلی نتایج مدلسازی نشان داده است که احتمال صفر بودن هریک از ضرایب فوق در حد صفر می‌باشد (مطابق اعداد Prob در جداول ۲، ۳ و ۴). همچنین خطای مدل کمتر از یک درصد می‌باشد. (مطابق Adjusted R-squared موجود در

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشی نتایج را به شرح زیر نشان داده است:

- برای بازیافت اسیدهای آلی از مایعات تخمیری، رزین‌های بازی ضعیف مناسب‌تر از رزین‌های بازی قوی می‌باشند.

- در سیستم تحقیق شده مناسب‌ترین ماده جهت جداسازی اسید سیتریک از محلول حاوی اسید رزین امبرلایت IRA-93 می‌باشد.

- همانطور که انتظار می‌رفت سرعت اشباع رزین با افزایش دما افزایش می‌یابد. اما در دماهای پایین، سرعت اشباع رزین پایین می‌باشد ولی از طرف دیگر سرعت جذب اسید کم خواهد بود.

- مطابق منحنی‌های عبور بدست آمده، میزان جذب اسید با افزایش دما افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش دما ضریب نفوذ ذره جاذب افزایش می‌یابد. اما به طور کلی، بهترین دما برای جذب اسید سیتریک توسط رزین امبرلایت IRA-93 دمای حدوداً ۳۵ درجه سانتیگراد می‌باشد. بنابراین باید در فرآیندهای جذب اسید آلی توسط رزین همواره دمای بهینه جذب توسط آزمایش تعیین گردد.

- بهترین مدل برای منحنی عبور ایزوترم یک مدل ریاضی ضمنی بصورت $C = \frac{at}{b + C^n}$ می‌باشد. این مدل ریاضی خصوصاً بر قسمتی از منحنی که شامل نقطه شکست شروع منحنی عبور تا نقطه شکست پایانی عبور می‌باشد بهترین تطابق را دارد و خطای حاصل از مدل در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی کمتر از یک درصد می‌باشد.

- مزیت مدل ریاضی ارایه شده این است که تعیین ضرایب a ، b و n برای یک بستر معین و شرایط هیدرولیکی یکسان فقط به دما وابسته می‌باشد. بنابراین فقط کافی است آزمایش‌هایی در دماهای مختلف انجام شود و در نتیجه ضرایب مدل تکمیل می‌گردد.

a:	ضریب ثابت مدل
b:	ضریب ثابت مدل
C:	غلظت جذب رزین gr/lit
C _m :	غلظت جذب اشباع رزین gr/lit
D _p :	ضریب نفوذ درون ذره‌ای m ² /sec
t:	زمان hr و sec
T:	دما °C
n:	ضریب ثابت مدل

در اینجا لازم می‌دانیم از جناب آقای مهندس سعیدرضا رادپور و جناب آقای مهندس محمد اسماعیلی که در تهیه و تدوین این مقاله با ما همکاری داشته‌اند سپاسگزاری و قدردانی نماییم.

- 1 - Kulprathipanja, S., Oroskar, A. and Preignitz J., (1989). "Separation of citric acid from fermentation broth with a weakly basic anionic resin absorbent." *US patent 4851573*.
- 2 - Kulprathipanja, S. *Separation of citric acid from fermentation broth. European patent EP*, 324210B1.
- 3 - Cao, X., Yun, H. and Koo, Y. (2002). "Recovery of lactic acid by anion exchange resin Amberlite IRA-400." *Biochem. Eng. J.*, Vol. 11, PP.189-196.
- 4 - Takatsuji, W. and Yoshida, H. (1994). "Removal of organic acids from wine by adsorption on weakly basic ion exchangers." *Sep. Sci. Technol.*, Vol. 29, PP.1473-1470.
- 5 - Gluszes, P., Jamroz, T., Sencio, B. and Ledakowicz, S. (2004). "Equilibrium and dynamic investigations of organic acids adsorption onto ion-exchange resins." *BioProcess Biosys. Eng.*, Vol. 26, PP.185-190.
- 6 - Mokrini, A., Ousse, D. and Esplugas, S. (1997). "Oxidation of aromatic compounds with UV radiation /Ozone/ hydrogen peroxide." *Water Sci. Technol.*, Vol. 35, PP.95-102.
- 7 - Misak, N. Z. (2000). "Some aspects of the application of adsorption isotherms to ion exchange reaction." *React, Funct. Polym.*, Vol. 43, PP. 153-164.
- 8 - Ayhan, D., Erol, P., Fethiye, G., Turkan, A. and Gulsin, A. (2005). "Adsorption of Cu, Zn, Ni, Pb, and Cd from aqueous solution on Amberlite IR-120 Synthetic resin." *Journal of colloid and interface Science*, Vol. 282, PP.2-25.

- 1 - Conversion Factor
 - 2 - Simulated Moving Bed (SMB)
 - 3 - Adsorbent
 - 4 - Elution
 - 5 - Breakthrough curve
 - 6 - Ordinary Least Square
 - 7 - Implicit Equation
-