

## مطالعات انتقال جرم در راکتور "اتوسیرکولاسیون" برای حذف سولفید هیدروژن از گازهای اسیدی\*

عباسعلی رجب پور<sup>(۱)</sup> علی کریمی<sup>(۲)</sup> حمیدرضا بختیاری<sup>(۳)</sup> محمدرضا جعفری نصر<sup>(۴)</sup> مجید تقی زاده<sup>(۵)</sup>

(یادداشت پژوهشی)

**چکیده** در این پژوهش، انتقال جرم گاز اکسیژن به درون مایع در راکتور *Air Lift* در فرآیند حذف تک مرحله ای سولفید هیدروژن از گازهای اسیدی توسط محلول کیلات آهن باراکتور (اتوسیرکولاسیون) به طریقه آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. از گازهای اکسیژن و نیتروژن به عنوان فاز گاز و از آب مقطر، محلول  $500 \text{ ppm}$  کیلات آهن و محلول دوغابی با غلظت جامدات (گوگرد) (wt%)  $0.08 \text{ sulfur}/100 \text{ ml solution}$  در محلول کیلات آهن، به عنوان فاز مایع استفاده می شود. آزمایشات در یک راکتور *Air Lift* از نوع حلقه داخلی *Internal Loop* صورت می گیرد. تحقیقات نشان می دهد که در دامنه سرعت ظاهری گاز مورد مطالعه، ضریب انتقال جرم برای هر سه انتخاب از فاز مایع، تفاوت چندانی ندارد. تزریق گاز نیتروژن به عنوان گاز خنثی باعث افزایش ضریب انتقال جرم، کاهش غلظت اشباع و در نتیجه کاهش شار انتقال جرم می گردد. در پایان روابط تجربی که نشان دهنده تغییرات ضریب انتقال جرم بر حسب سرعت ظاهری اکسیژن و نیتروژن می باشند، ارائه گردیده است. مقایسه نتایج این پژوهش با کارهای تجربی مشابه از توافق خوبی برخوردار است.

**واژه های کلیدی** راکتور *Air Lift*، راکتور اتوسیرکولاسیون، محلول کیلات آهن، ضریب انتقال جرم، سولفید هیدروژن.

## Mass Transfer Study in "Autocirculation" Reactor For $\text{H}_2\text{S}$ Removal of Acid gas Streams

A.A. Rajabpour A. karimi H.R. Bakhtiary M.R. Jafari Nasr M. Taghizadeh

**Abstract** In this paper, oxygen mass transfer in an Airlift reactor for single step  $\text{H}_2\text{S}$  removal from acid gas streams has been studied experimentally. Oxygen and nitrogen were used as gas phase. Water, Chelated iron solution (500ppm) and a slurry solution 0.08%(wt%) sulfur per 100 ml of solution of chelated iron) were used as liquid phase. Experiments were carried out in a 60 liters Internal loop Airlift reactor. Results show that mass transfer coefficient ( $K_{La}$ ) for three different types of liquid phase are almost equal. Adding of nitrogen accompanied with oxygen causes an increase in mass transfer coefficient, decreasing saturation concentration ( $C^*$ ) and consequently decreasing mass transfer flux. Finally, new correlations expressing variation of mass transfer coefficient in terms of air and nitrogen superficial velocities were presented. There is a good agreement between this work and similar experimental works.

**Key Words** Airlift Reactor, Autocirculation Reactor, Chelated Iron Solution, Mass Transfer Coefficient, Mass Transfer Flux,  $\text{H}_2\text{S}$  Removal.

\* نسخه اولیه مقاله در تاریخ ۸۳/۶/۱۱ و نسخه نهایی آن در تاریخ ۸۴/۹/۱۲ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) پژوهنده، پژوهشکده گاز، واحد مدل سازی و شبیه سازی، پژوهشگاه صنعت نفت

(۲) پژوهنده، پژوهشکده گاز، واحد مدل سازی و شبیه سازی، پژوهشگاه صنعت نفت

(۳) پژوهنده، پژوهشکده گاز، واحد مدل سازی و شبیه سازی، پژوهشگاه صنعت نفت

(۴) استادیار، پژوهشکده گاز، واحد مدل سازی و شبیه سازی، پژوهشگاه صنعت نفت

(۵) استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه مازندران

راکتورهای اتوسیرکولاسیون در دامنه ای از جریان آشفته عمل می‌کنند که انتقال از راه جابه جایی (Convective Transport) در توده سیال اتفاق می‌افتد. این مساله همه مقاومت‌های موجود به غیر از آنهایی که در اطراف مرز مشترک بین گاز- مایع، وجود دارند را حذف می‌کند. بنابراین مساله انتقال اکسیژن به یک مساله انتقال جرم در سطح مشترک گاز- مایع تقلیل می‌یابد. به علت اینکه کاتالیست با آب مقطر رقیق می‌شود در ابتدا مساله انتقال جرم در مورد آب بررسی می‌شود و در نهایت اثر افزایش کیلات آهن و محلول دوغابی کیلات آهن با غلظت ۵۰۰ ppm در پدیده انتقال جرم مورد بررسی قرار می‌گیرد (غلظت مواد جامد در محلول کیلات آهن ۰/۰۸ (wt%) sulfur/ 100 ml solution می‌باشد). در ابتدا ضریب انتقال جرم حجمی ( $K_L a$ ) برای موارد بالا در حضور اکسیژن محاسبه و در نهایت اثر نیتروژن بر این پارامتر دیده خواهد شد. مطالعات موجود منجر به ارائه رابطه تجربی ضریب انتقال جرم با سرعت ظاهری گاز (هوا) مطابق با روابط ارائه شده توسط محققان [1,4] می‌باشد. این روابط تجربی برای توسعه نرم افزاری کامپیوتری که قبلاً تهیه شده، به کار گرفته می‌شود. همچنین رابطه‌ای تجربی که اثر وجود نیتروژن در ضریب انتقال جرم را نشان دهد، ارائه خواهد شد. در این میان به منحنی‌های مربوطه نیز اشاره ای خواهد شد.

### آزمایشات

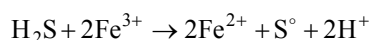
راکتور مورد استفاده از نوع Air Lift با حلقه داخلی (Internal Loop) به ابعاد: متر  $H_d=2$ ، متر  $D_r=0/145$  و نسبت سطح مقطع ناودانی (Riser) به بالابر (Downcomer) (Ad/Ar) برابر ۰/۳۷۵ می‌باشد. دامنه سرعت ظاهری گاز بر مبنای سطح مقطع بالابر در دامنه ۰/۰۴ تا ۰/۲۵ سانتی متر بر ثانیه می‌باشد. سیال به

### مقدمه

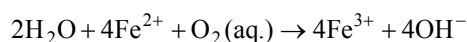
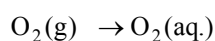
از ابتدای قرن بیستم کارهای تحقیقاتی با هدف تبدیل سولفید هیدروژن به گوگرد خالص عنصری توسط فرآیندی در فاز مایع و قابل بازیابی، در دست انجام بوده است. در اواخر دهه شصت میلادی فرآیندهای اکسیداسیون در فاز مایع بر پایه کیلات آهن که در آن از یک محلول کمپلکس کیلات آهن استفاده می‌شد، معرفی گردید. مزیت منحصر به فرد راکتور اتوسیرکولاسیون عدم نیاز به پمپ برای گردش محلول است. کاتالیست کیلات آهن به منظور حذف سولفید هیدروژن از جریان گازهای اسیدی به کار برده می‌شود و حذف سولفید هیدروژن از جریان گازهای اسیدی توسط راکتور ایرلیفت در یک مرحله انجام می‌گیرد.

واکنش‌های انجام شده به صورت زیر می‌باشد:

واکنش اکسیداسیون:



واکنش‌های احیا:



در این مقاله، انتقال جرم اکسیژن از فاز گاز (موجود در هوا) به فاز مایع در حضور گاز نیتروژن به منظور عمل احیاء کاتالیست کیلات آهن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این میان مقاومت‌های زیادی برای انتقال اکسیژن به فاز مایع وجود دارد. مقاومت‌هایی همچون مقاومت در فیلم گاز درون حباب، مقاومت در مرز مشترک گاز - مایع (Interface) و مقاومت در توده فاز مایع از جمله این موارد می‌باشند.

مقاومت‌های یاد شده غالباً در این نوع راکتورها قابل چشم پوشی می‌باشد. بنابراین در عمل

در حین آزمایش ثابت فرض می شود و دمای کتتری در حدود  $26 \pm 1^\circ C$  می باشد. همچنین فشار اتمسفریک در نظر گرفته می شود و سرعت ظاهری گاز در محدوده  $0.40$  تا  $0.25$  سانتی متر متغیر می باشد. هوا توسط کمپرسور مرکزی پژوهشگاه تأمین می گردد و نیتروژن توسط کپسول های متصل به سیستم، تزریق می شود و قبل از انجام آزمایشات، دستگاه اکسیژن متر کالیبره خواهد شد.

در این آزمایشات ضریب انتقال جرم حجمی ( $K_L a$ ) تعیین می گردد. برای محاسبه  $K_L a$  آزمایشگاهی، نیاز به جریان سازی سیال از اکسیژن قبل از شروع آزمایشات توسط نیتروژن می باشد. از این رو، گاز نیتروژن که توسط توزیع کننده اول به سیستم تزریق می شود، باعث تهی شدن سیال از اکسیژن می گردد. در حین آزمایش غلظت اکسیژن در طول راکتور با زمان افزایش می یابد.

زمان ثبت نتایج ۱۰ دقیقه اول آزمایشات می باشد. بعد از جریان سازی اکسیژن در محلول، مدت زمان ۲ دقیقه برای خارج شدن تمام نیتروژن از سیستم لازم است و بعد از این زمان به سیستم هوا تزریق می شود [1,3].

### مبانی نظری

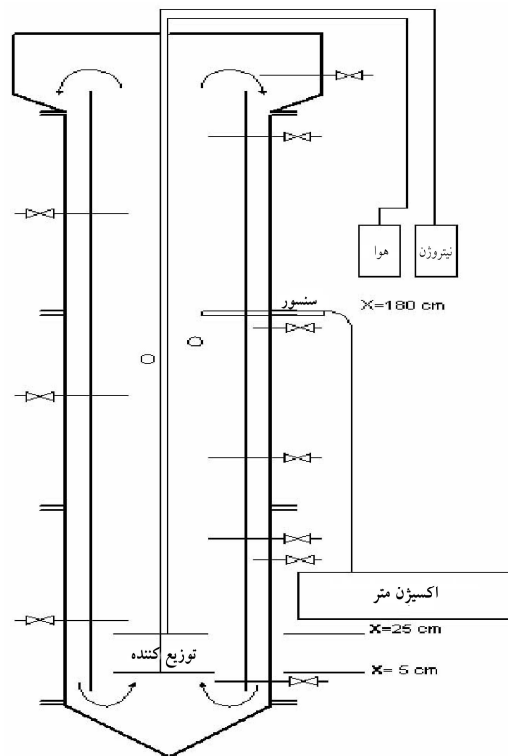
مطابق قانون اول Fick در یک المان شکل (۲) در حالت ناپایدار برای شار جرمی داریم:

$$J = \frac{D}{\Delta x} \Delta c \quad (1)$$

که در آن  $D$  ضریب نفوذ مولکولی در فیلم و نسبت  $\frac{D}{\Delta x}$  همان ضریب انتقال جرم،  $k$ ، می باشد. رابطه (۱) برای دو فیلم به صورت زیر است:

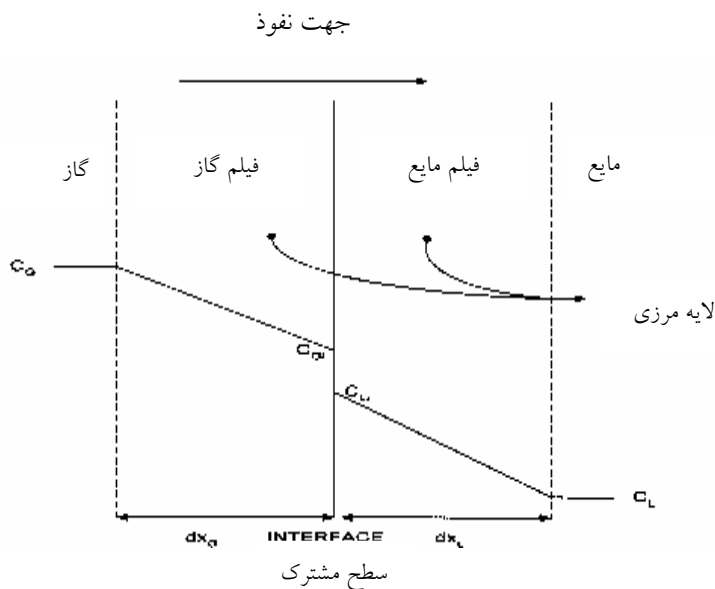
$$J = k_G (C_G - C_{Gi}) = k_L (C_{Li} - C_L) \quad (2)$$

کاربرده شده، آب مقطر، محلول کیلات آهن با غلظت  $500 \text{ ppm}$  و محلول دوغابی کیلات آهن با درصد مواد جامد  $0.08 \text{ (wt\%) Sulfur/ 100 ml solution}$  می باشد.



شکل ۱ نقشه سیستم آزمایشگاهی

شکل (۱) نمایی از سیستم آزمایشگاهی نصب شده است که ابعاد آن، قطر بالابرابر  $14/5$ ، قطر ناودانی  $17/5$  و ارتفاع راکتور، برابر  $220$  سانتی متری باشد. در اثر تزریق گاز درون بالابر به علت اختلاف دانسیته ایجاد شده بین مایع درون بالابر و مایع درون ناودانی، مایع به صورت اتوماتیک بین این دو ناحیه سیرکوله می شود. توزیع کننده ها در فواصل  $5$  سانتی متری از کف راکتور (نیتروژن) و  $25$  سانتی متری (هوا)، قرار دارند. الکتروداکسیژن در داخل بالابر در فاصله  $180$  سانتی متری از کف راکتور قرار گرفته است. دما و فشار



شکل ۲ المانی از سطح تماس گاز- مایع در راکتور

با قرار دادن شرایط مرزی و اولیه:  $C = C_{L0}$  at  $t = 0$  &  
 $C = C_L$  at  $t = t$  و مرتب کردن معادله (۶) داریم:

$$\ln\left(\frac{C^* - C_{L0}}{C^* - C_L}\right) = K_L a \cdot t \quad (7)$$

حال اگر سرعت رسیدن به تعادل E را نسبت به انتقال جرم لحظه ای به میزان حداکثر انتقال جرم در نظر بگیریم، داریم:

$$E = \frac{C_L - C_{L0}}{C^* - C_{L0}} \quad (8)$$

با قرار دادن معادله (۷) در (۸) خواهیم داشت:

$$\ln(1 - E) = -K_L a \cdot t \quad (9)$$

حال با رسم منحنی  $\ln\frac{1}{1-E}$  بر حسب زمان ضریب انتقال جرم  $K_L a$  محاسبه خواهد شد. شیب این منحنی بیانگر ضریب انتقال جرم  $K_L a$  می باشد.

شکل (۳) نمونه ای از تغییرات E تعادلی با زمان را نشان می دهد. زمان رسیدن به پایداری را می توان مبنای زمانی برای رسم شکل  $\ln\frac{1}{1-E}$  بر حسب زمان

در رابطه بالا  $k_L$  و  $k_G$  ضریب های انتقال جرم فاز گاز و مایع است. از آنجا که غلظت فصل مشترک در حالت تعادل می باشد، شار جرمی به صورت زیر نوشته می شود:

$$J = K_L (C^* - C_L) \quad (3)$$

از آنجا که شار جرمی را می توان به صورت زیر نوشت:

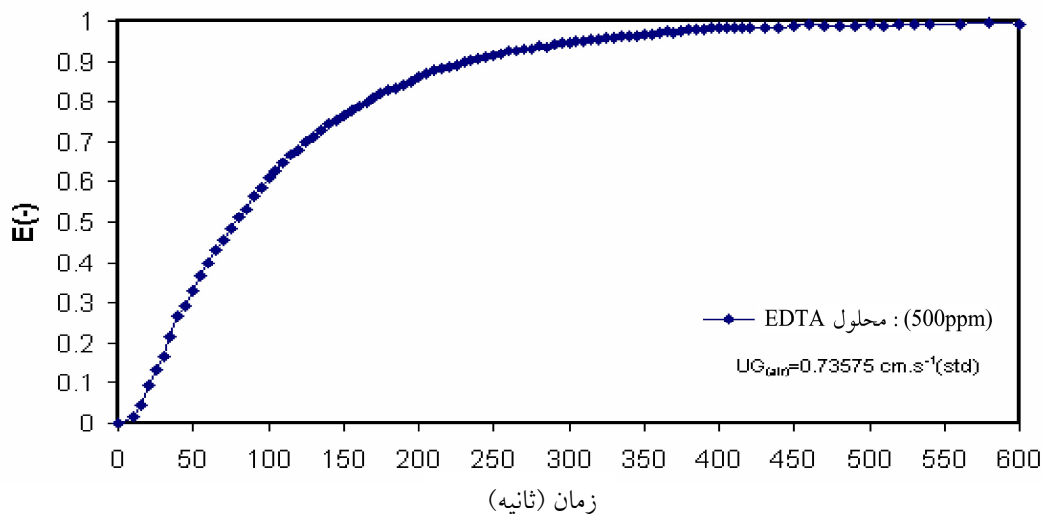
$$aJ = \frac{dC_L}{dt} \quad (4)$$

با قرار دادن رابطه (۳) در رابطه (۴) معادله زیر به دست می آید:

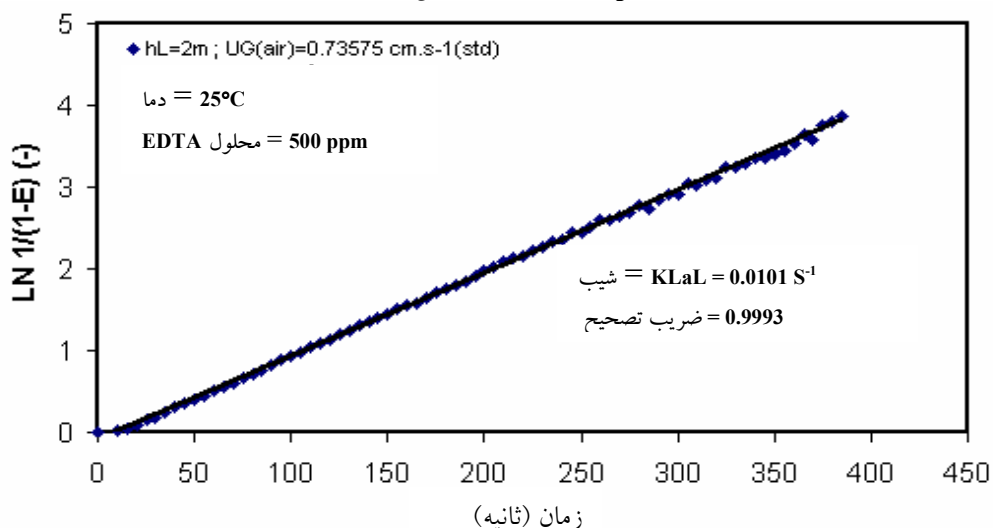
$$\frac{dC_L}{dt} = K_L a (C^* - C_L) \quad (5)$$

که در آن  $C^*$  غلظت تعادلی و  $C_L$  همان C غلظت اکسیژن در طول آزمایش می باشد که بعد از گذشت زمان طولانی به حالت پایدار می رسد. با انتگرال گیری از رابطه (۵) داریم:

$$\ln(C^* - C) = -K_L a \cdot t + \text{Const} \quad (6)$$



شکل ۳ تغییرات (E) تعادلی با زمان



شکل ۴ تغییرات  $\ln (1/(1-E))$  با زمان

بالابر، استفاده می‌شود. همچنین نمونه‌ای از منحنی  $\ln \frac{1}{1-E}$  بر حسب زمان در شکل (۴) ارائه شده است که شیب آن نشان دهنده ضریب انتقال جرم می‌باشد. این منحنی نیز شبیه منحنی‌های ارائه شده توسط محققان یاد شده است. فرض‌های این آزمایش‌ها:  
 ۱- فاز مایع کاملاً مخلوط می‌شود.

دانست. با افزایش میزان دبی هوا، این زمان کاهش می‌یابد. این منحنی شبیه منحنی‌های ارائه شده توسط محققان دیگر می‌باشد [1,2]. مطابق نتایج دیگر محققان [2] محل قرار گرفتن الکترود اکسیژن در داخل ناودانی یا بالابرچندان تأثیری بر زمان رسیدن به تعادل ندارد از این رو، در راکتور Air Lift مورد نظر از یک الکترود اکسیژن و آن هم داخل

شده توسط محققان [1,7] استوار می‌باشد. این محققان  $K_L a$  را برحسب سرعت ظاهری گاز به صورت یک رابطه تجربی ارائه داده اند که در جدول (۲) به آنها اشاره شده است. روابط به دست آمده در این تحقیق در جدول (۳) ارائه شده است. این اطلاعات مربوط به حالتی است که هوا توسط توزیع کننده به درون سیستم تزریق می‌شود.

با توجه به جدول‌های (۳ و ۲) مشاهده می‌شود که در مورد آب مقطر توان به دست آمده از آزمایشات در محدوده رابطه تجربی ارائه شده توسط این محققان قرار دارد. تنهاتفاوت در ضریب این روابط است که علت آن می‌تواند به اختلاف ابعاد هندسی راکتور مربوط باشد. تفاوت در توان و ضریب روابط تجربی ارائه شده در

۲- سیال با توجه به دامنه UG در محدوده جریان حبابی (Bubbly Flow) قرار داشته باشد.

۳- تغییرات میزان اکسیژن محلول به الکتروداکسیژن حساس باشد.

به علت تأثیر خواص محلول، دانسیته، دما و فشار، ابعاد هندسی راکتور، نفوذ پذیری و ویسکوزیته، بر ضریب انتقال جرم، دانستن خواص فیزیکی سیال ضروری است [6]. خواص فیزیکی سیال در دمای  $26 \pm 1^\circ C$  و فشار اتمسفریک در جدول (۱) ارائه شده است.

### روابط تجربی

معادلات به کار گرفته شده بر پایه روابط تجربی ارائه

جدول ۱ خواص فیزیکی سیال

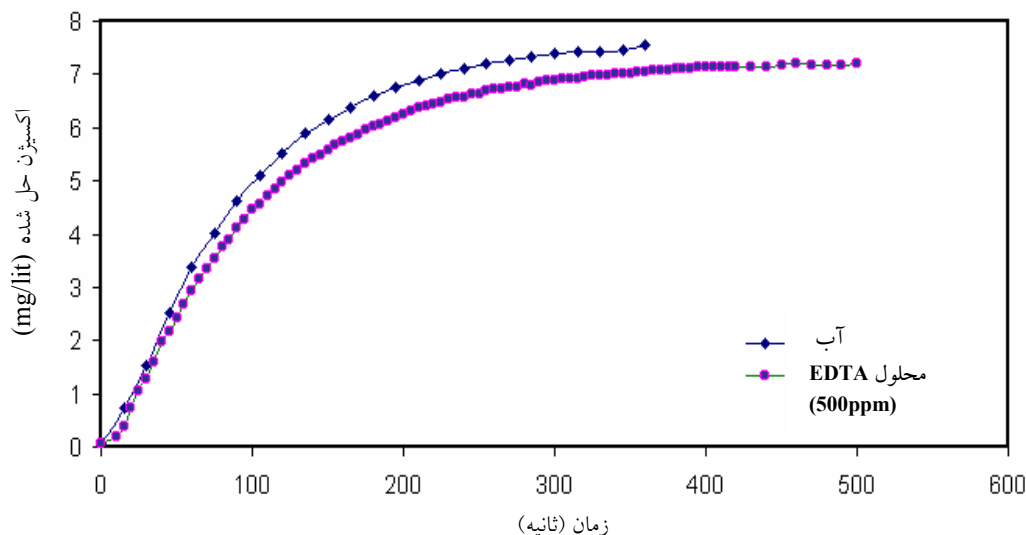
فاز مایع	$DL * 10^5$ ( $cm^2/s$ )	$\rho$ ( $g/cm^3$ )	TDS ( $g/lit$ )	ضریب هدایت ( $ms/cm$ )	میزان شوری (Salinity)
Water	2.6	$\approx 1$	0.07	0.13	0.1
EDTA Solution 500 ppm	0.16	1.03	4.58	9.17	6
EDTA Solution Slurry 0.08(wt%) Sulfur/100 ml solution	0.17	1.11	4.46	8.94	6

جدول ۲ روابط تجربی ارائه شده توسط محققین [1,7]

نوع راکتور	روابط	دامنه کاربرد
External Loops Draught - tube Internal loops (annulus sparged) Bubble column <b>Bello et al.1985</b>	$K_L a = 0.79 [1 + A_d/A_r]^{-2} U_{G(air)}^{0.8 \pm 0.1}$	Air- water or aqueous salt solution 0.15 ( $kmol.m^{-3}$ ) NaCl, $H_d = 1.8$ m, $D_r = 0.152$ m $U_G = (0.0137, 0.086)$ , $m.s^{-1}$ (Bubble flow) $A_d/A_r = 0.11$ to $0.069$ (External Loops) $A_d/A_r = 0.13, 0.35$ and $0.56$ (Internal loops) Bubble Column, $A_d/A_r = 0$
External Loops <b>Chisti et al 1986</b>	$K_L a = [1 + A_d/A_r]^{-1} (0.349 - 0.102 C_s) U_{G(air)}^{0.837 \pm 0.062}$	Air- Slurry Solution at above conditions

جدول ۳ روابط تجربی به دست آمده از آزمایشات در غیاب نیتروژن

نوع راکتور	معادلات	دامنه کاربرد
Internal Loops	$K_{La}=0.6118[1+A_d/A_r]^{-2} U_{G(N_2)}^{0.8819} U_{G(air)}^{0.6767}$	Air, N <sub>2</sub> - Water, D <sub>c</sub> or D <sub>r</sub> =0.145 m, H <sub>d</sub> =2 m U <sub>G(air)</sub> = 0.04 to 0.25, cm.s <sup>-1</sup> U <sub>G(N<sub>2</sub>)</sub> = 0.04 to 0.25, cm.s <sup>-1</sup> (Bubble flow) A <sub>d</sub> /A <sub>r</sub> =0.37455 (Internal Loop)
Internal Loops	$K_{La}=0.18454 [1+A_d/A_r]^{-2} U_{G(N_2)}^{0.506} U_{G(air)}^{0.49267}$	Air, N <sub>2</sub> - EDTA Solution ( 500 ppm) at above condition
Internal Loops	$K_{La}=[1+A_d/A_r]^{-1}(0.58127-5.379 C_s) U_{G(N_2)}^{0.4252} U_{G(air)}^{0.5873}$	Air, N <sub>2</sub> - EDTA Solution Slurry 0.08(wt%) Sulfur/ 100 ml solution



شکل ۵ تغییرات اکسیژن حل شده با زمان برای آب مقطر و محلول

می‌یابد [5]، تغییرات غلظت در طول زمان نیز کاهش خواهد یافت. همان طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود با تغییر نوع سیال از آب مقطر به محلول کیلات آهن، منحنی تغییرات غلظت اکسیژن با زمان در محلول، پایین تر از آب مقطر قرار می‌گیرد. همچنین در شکل (۵) مشاهده می‌شود که غلظت تعادلی در حالت پایدار نیز در محلول کیلات آهن نسبت به آب مقطر کاهش می‌یابد. حال با تزریق نیتروژن در حضور هوا، این

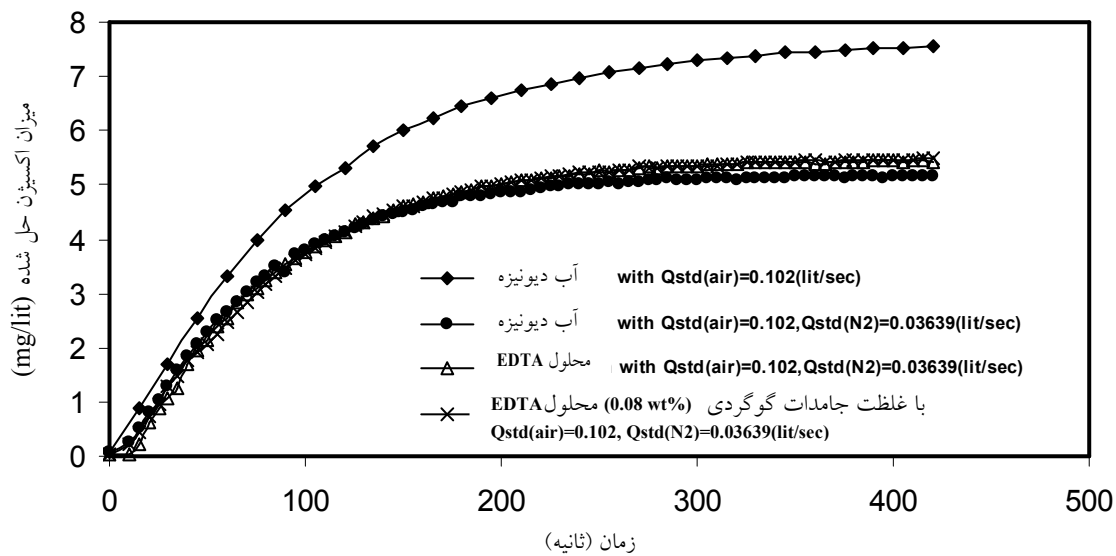
مورد محلول کیلات آهن و محلول دوغابی با روابط این محققان در نوع محلول و احتمالاً حلالیت اکسیژن در محلول و همچنین اختلاف ابعاد هندسی راکتور بوده است.

### بحث

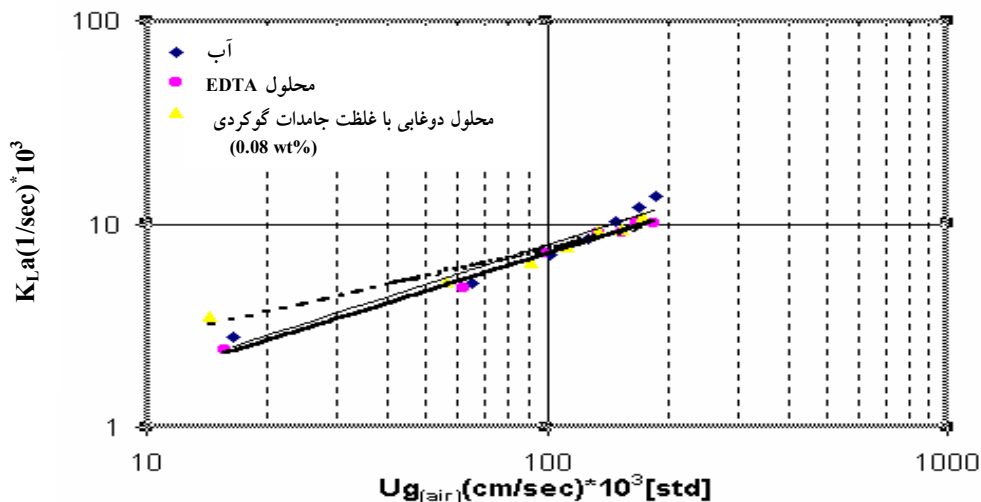
در این بخش، به اثر نوع سیال و وجود گاز نیتروژن همراه با هوا که در حین آزمایش به سیستم تزریق می‌شود، می‌پردازیم. از آنجا که حلالیت اکسیژن در محلول کیلات آهن نسبت به آب مقطر کاهش

شده است. همان طور که در قبل اشاره شد تغییر نوع سیال و ویسکوزیته و خواص سیال باعث تغییر  $K_{La}$  خواهد شد، ولی در این مورد چون غلظت محلول کیلات آهن پائین و نیز مواد جامد موجود نیز کم می باشد این تغییر احساس نمی شود ولی در هر صورت میزان  $K_{La}$  کاهش می یابد. این منحنی شبیه منحنی های ارائه شده در مقالات می باشد [1].

تغییرات در غلظت محسوس ترمی شود و با افزایش میزان دبی نیتروژن کاهش این محدوده شدیدتر خواهد شد و در نتیجه  $C^*$  تعادلی نیز کاهش می یابد. این مطالب در شکل (۶) به روشنی دیده می شود. علت این امر را می توان کاهش درصد مولی اکسیژن در مخلوط اکسیژن و نیتروژن در محلول دانست. خاصیت تهی کنندگی گاز نیتروژن نیز می تواند علت بعدی باشد. منحنی لگاریتمی ضریب انتقال جرم بر حسب سرعت ظاهری گاز (هوا) برای هر سه سیال در شکل (۷) ارائه



شکل ۶ تغییرات اکسیژن حل شده با زمان در حضور نیتروژن و در غیاب آن برای آب مقطر و محلول کیلات آهن و محلول دوغابی



شکل ۷ تغییرات لگاریتمی ضریب انتقال جرم با سرعت ظاهری گاز (هوا) برای آب مقطر و محلول کیلات آهن و محلول دوغابی



حال در هر  $U_G$ ، یک میزان  $K_{La}$  وجود دارد که با جایگزینی در معادله (۱۰) می‌توان میزان شار انتقال جرمی را محاسبه نمود که در نهایت منحنی شارانتقال جرم بر حسب سرعت ظاهری گاز در حضور نیتروژن و در غیاب نیتروژن در یک منحنی با هم مقایسه می‌شود. این مطالب را می‌توان در شکل (۹) برای محلول کیلات آهن مشاهده نمود. با توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که تغییرات شار بر حسب سرعت ظاهری گاز در حضور نیتروژن پائین تر از منحنی تغییرات شار بر حسب سرعت ظاهری گاز در غیاب نیتروژن می‌باشد. این مطلب برای آب مقطر و محلول دوغابی نیز عیناً تکرار می‌شود.

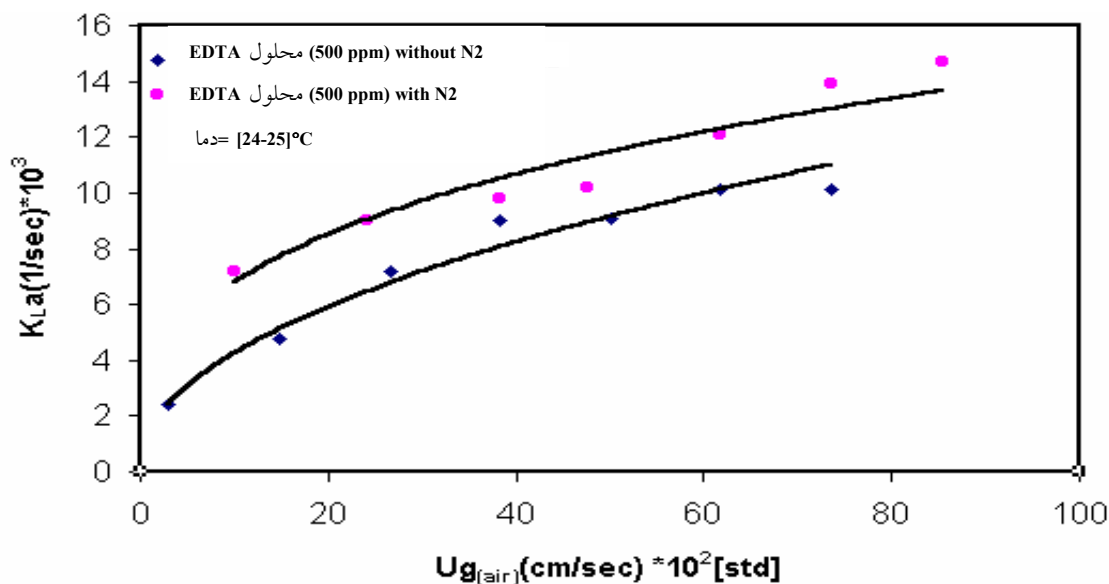
بر طبق آنچه آورده شد، اثر نیتروژن افزایش  $K_{La}$  و کاهش غلظت تعادلی است. اثر غلظت تعادلی بر میزان افزایش  $K_{La}$  غلبه کرده و در نهایت شارانتقال جرم در واحد حجم کاهش خواهد یافت. در

### اثر وجود نیتروژن

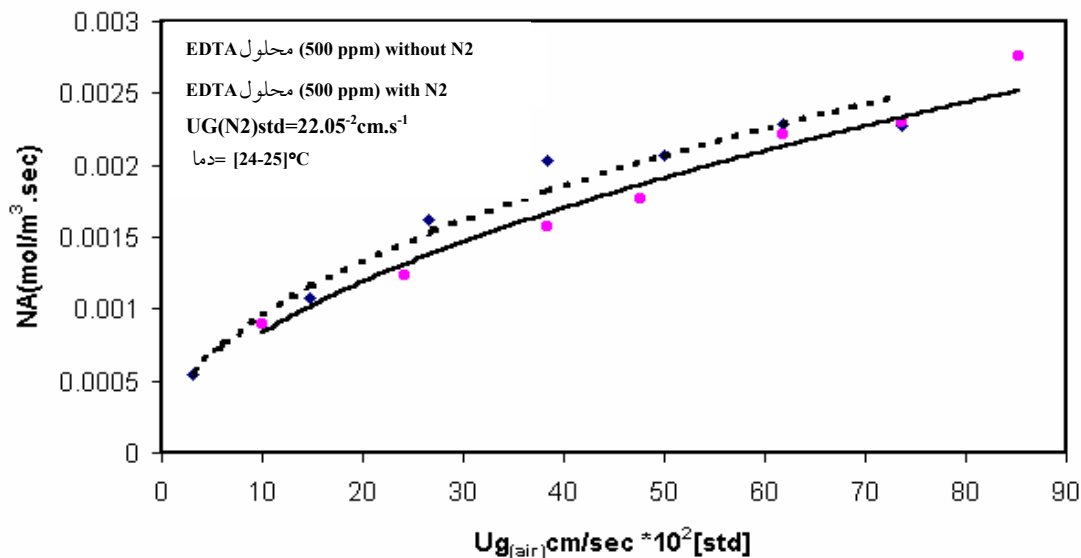
با تزریق نیتروژن به سیستم به علت تغییر شرایط آشفستگی و افزایش سرعت چرخش مایع میزان  $K_{La}$  افزایش خواهد یافت. این موارد در هر سه نوع سیال، مشاهده می‌شود. شکل (۸) نشان دهنده این موضوع در محلول کیلات آهن با غلظت ۵۰۰ ppm می‌باشد. منحنی‌های مربوط به آب مقطر و محلول دوغابی نیز شبیه این منحنی می‌باشند و این افزایش در آنها نیز مشاهده می‌شود.

همان طور که اشاره شد با تزریق نیتروژن به سیستم غلظت تعادلی اکسیژن ( $C^*$ ) کاهش می‌یابد و با توجه به اینکه شار انتقال جرم در واحد حجم  $N_A$  بر طبق رابطه (۱۰) تابعی از غلظت تعادلی سیستم می‌باشد از این رو، میزان شدت انتقال جرم در واحد حجم کاهش می‌یابد.

$$N_A = K_{La}(C^* - C) \quad (10)$$



شکل ۸ تغییرات ضریب انتقال جرم با سرعت ظاهری گاز (هوا) در حضور نیتروژن و در غیاب آن



شکل ۹ تغییرات شار حجمی انتقال جرم با سرعت ظاهری گاز(هوا) در حضور نیتروژن و در غیاب آن برای محلول کیلات آهن

جدول ۴ روابط تجربی به دست آمده از آزمایشات در حضور نیتروژن

نوع راکتور	معادلات	دامنه کاربرد
Internal Loops	$K_L a = 0.1107 [1 + A_d/A_r]^{-2} U_{G(\text{air})}^{0.8979}$	Air- water, $D_c$ or $D_r = 0.145$ m, $H_d = 2$ m $U_G = 0.04$ to $0.25$ , $\text{cm.s}^{-1}$ (Bubble flow) $A_d/A_r = 0.37455$ (Internal Loop)
Internal Loops	$K_L a = 0.5641 [1 + A_d/A_r]^{-2} U_{G(\text{air})}^{0.6239}$	Air-EDTA Solution(500 ppm) at above condition
Internal Loops	$K_L a = [1 + A_d/A_r]^{-1} (0.5584 - 6.519 C_s) U_{G(\text{air})}^{0.5514}$	Air-Solution Slurry 0.08(wt%) Sulfur/100 solution at above condition

### بحث و نتیجه گیری

بر طبق آنچه آورده شد، در اثر تغییر نوع سیال از آب مقطر به محلول کیلات آهن، میزان حلالیت کاهش می‌یابد و نیز، با تزریق نیتروژن به سیستم میزان  $K_L a$  افزایش، ولی میزان شار انتقال جرم در واحد حجم کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن این موارد، سرانجام رابطه‌ای تجربی ارائه شد که ضریب انتقال جرم را به

این مقاله، با توجه به نیاز برنامه کامپیوتری، رابطه‌ای که بتواند ضریب انتقال جرم را بر حسب سرعت‌های ظاهری گازهای نیتروژن و هوا بیان کند، ضروری به نظر می‌رسد. که با به کارگیری نرم افزار Table- Curve در فضای سه بعدی می‌توان به این مقصود رسید. اطلاعات به دست آمده برای هر سه سیال در جدول (۴) ارائه شده است.

c= Constant  
 $C_{L0}$ = C at initial condition, mg/lit  
 D= Column diameter, cm  
 $D_L$ = Liquid phase diffusivity,  $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$   
 E= Fractional approach to equilibrium  
 $K_L a$ = Volumetric mass transfer coefficient,  $\text{s}^{-1}$   
 $N_A$ =Molar flux,  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$   
 ppm=Part per million  
 T=Temperature, °C  
 t = Time, sec  
 TDS= Total dissolved salt, gr/lit  
 UG=Superficial gas velocity based on riser,  $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$

### Greek letters

$\rho$ = Liquid density,  $\text{gr} \cdot \text{cm}^{-3}$

سرعت‌های ظاهری گازهای نیتروژن و هوا ربط می‌دهد. خاطر نشان می‌سازد هدف این پژوهش بررسی اثر وجود دو توزیع کننده در راکتور حذف تک مرحله ای سولفید هیدروژن از گازهای اسیدی بر میزان ضریب انتقال جرم و نیز، ارائه رابطه‌ای تجربی برای کاربرد در نرم افزار کامپیوتری بوده است.

### Nomenclatures

$A_d$  = Area section downcomer,  $\text{cm}^2$   
 $A_r$  = Area section riser,  $\text{cm}^2$   
 a= Specific gas –liquid interfacial area based on clear liquid volume,  $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ , or  $\text{cm}^{-1}$   
 C= Dissolved oxygen concentration, mg/lit  
 $C^*$  = Steady state ( or saturation ) dissolved oxygen concentration, mg/lit

### مراجع

1. Chisti, M. Y., "Air – Lift Bioreactors", Elsevier Science Publishing Co., 1<sup>st</sup> Edition, New York, (1980).
2. Merchuk, J. C., Osenberg, G., Siegel, M., and Shacham, M., "A method for Evaluation of Mass Transfer Coefficient in the Different Reactor", Chemical Engineering Science, Vol. 47, No. 9-11, pp. 2221 – 2226, (1992).
3. Nakanoh, M., Yoshida, F., "Gas Absorption by Newtonian and Non Newtonian Liquids in a Bubble column", Ind. Eng. Chem. Process Des. DeV., Vol. 19, pp 190-195, (1980).
4. Russell, A. B., "Hydrodynamics and oxygen Transfer in a Pilot Scale Air Lift Fermenter", Ph. D. Thesis, London University, (1989).
5. Wabs, H. J., and Beenackers, A. A. C. M., "Kinetics of  $\text{H}_2\text{S}$  Absorption in to Aqueous Ferric Solution of EDTA and HEDTA", AIChE Journal, Vol. 40, No. 3, PP. 433-443, (1994).
6. Nakanoh, M., M.Eng. Thesis, Kyoto University, (1976).
7. Bello, R. A., Robinson, C. W., and Moo-young, "Prediction of the Volumetric Mass Transfer Coefficient in Pneumatic Contactors", Chem. Eng. Sci., Vol. 40, PP. 53-58 (1985).