

حلالیت هیدروژن سولفید در محلول های آبی متیل دی اتانول آمین فعال شده

مسیح حسینی جناب^۱، عبدالله طاقانی^۲، مهدی وحیدی^۱، سید حسام نجیبی^۳

۱- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده گاز کد پستی ۱۸۷۴۵-۴۱۶۳

۲- دانشگاه صنعتی شریف taghani@Mehr.sharif.edu

۳- دانشگاه صنعت نفت و بخش تحقیق و توسعه شرکت ملی گاز ایران

چکیده

حلالیت گاز اسیدی هیدروژن سولفید (H_2S) در محلول $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ متیل دی اتانول آمین (MDEA)، $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ تترا متیلن سولفون (TMS) و در حلال های سه جزئی $MDEA+TMS+H_2O$ ، $MDEA+PZ+H_2O$ (پپرازین = PZ) در غلظت کل $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ در دماهای ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سانتیگراد و در محدوده فشارهای ۲۵۰۰ - ۵۰ kPa اندازه گیری شد. این آزمایش در یک سل بسته (اتوکلاو) با حجم ۲۵۰ میلی لیتر مجهز به سیستم کنترلر دما و فشارسنج دیجیتالی و بهمزن انجام شد و نتایج بدست آمده در فشارهای پایین و بالا با هم مقایسه شد. همچنین حلالیت H_2S در محلول $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ MDEA ۱ و $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ TMS ۱ انجام شده و با مقاله (۱۹۸۲) Jou جهت بررسی صحت و دقت روش مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد که حلالیت H_2S در محلول $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ MDEA بیشتر از حلالیت آن در محلول $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ TMS می باشد. همچنین حلالیت H_2S در محلول $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ MDEA بیشتر از حلالیت آن در محلول $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ MDEA + TMS، $MDEA+PZ$ می باشد. با افزایش دما حلالیت H_2S در تمام محلول های فوق بشدت کاهش می یابد در صورتی که افزایش فشار باعث افزایش حلالیت گاز می شود. حلالیت گاز در فشارهای خیلی بالا در حلال فیزیکی TMS با توجه به قانون هنری افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: حلالیت، هیدروژن سولفید، متیل دی اتانول آمین، تترا متیلن سولفون، پپرازین

مقدمه

فرآیند خالص سازی گازهای طبیعی از گازهای اسیدی به کار می رود. مخلوط TMS با یک حلال آلکانول آمین آبی برخلاف آمینهای آبی میتواند ترکیبات کربنیل سولفید (COS) و مرکاپتانها را جداسازی نماید [۱].

متیل دی اتانول آمین (MDEA) یکی از آلکانول آمینهای مورد توجه در جداسازی و از بین بردن گازهای اسیدی است. به دلایل متعددی چون

سولفولان (تترا متیلن سولفون، TMS) یک حلال فیزیکی خوبی است که به طور وسیع در صنایع گوناگون جهت تصفیه گازهای اسیدی استفاده می شود. امروزه به دلیل این که این حلال دارای مزایای فراوانی از جمله ظرفیت بالای آن برای حل کردن گاز نسبت به حلالهای فیزیکی دیگر، فشار بخار پایین و انتالپی تبخیر پایین می باشد، بطور گسترده در

حلالهای فیزیکی وقتی که فشارهای جزئی گازهای اسیدی در خوراک بالا باشد ترجیح داده می شود. در حالی که در فشارهای جزئی پایین گازهای اسیدی، حلالهای شیمیایی برتری دارند [۳]. اگر چه حلالهای شیمیایی مزیت‌هایی چون ظرفیت بالای تصفیه گاز به خصوص در فشارهای پایین را دارند اما در مواردی چون انتالپی بالای جذب، خوردگی، واکنشهای جانبی (تخریب آمین) نامناسب می باشند [۳]. با ملاحظه اختلاف بین حلالهای شیمیایی و فیزیکی به نظر می رسد که اهمیت حلالهای فیزیکی در آینده بسیار باشد. دلایل زیر را می توان به گسترش استفاده از حلالهای فیزیکی نام برد:

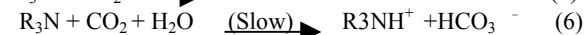
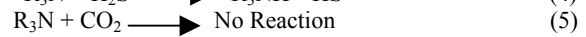
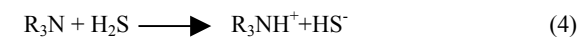
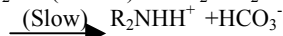
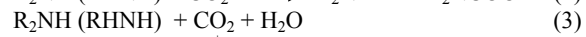
۱- بهای کمتر

۲- فقدان واکنشهای جانبی

۳- مناسب برای گازهای اسیدی در غلظتهای بالا

انتخاب حلالهای آمین

یک حلال ایده آل برای جذب انتخابی H_2S حلالی است که دارای ظرفیت جذب بالا برای H_2S و ظرفیت جذب پایین برای CO_2 باشد. در بین حلالهای آمین هیچ یک بطور کامل رضایت بخش نیست، اما به دلیل اختلاف در سرعت جذب H_2S و CO_2 می توان این دو گاز را به صورت انتخابی از هم جدا کرد. واکنشهایی که بین آمینهای نوع اول، دوم و سوم با H_2S و CO_2 انجام می گیرد را می توان به صورت زیر نوشت.



گرمای واکنش کمتر و اثر خوردندگی کمتر نسبت به آمینهای دیگر استفاده از آن بیش از آمینهای دیگر است [۲].

خارج ساختن ناخالصیهای گازی اسیدی از جمله دی اکسید کربن و هیدروژن سولفید و دی اکسید گوگرد از گازهای طبیعی یک مرحله لازم در بسیاری از فرآیندهای صنعتی است، به دلیل این که گازهای اسیدی باعث بوجود آمدن مشکلاتی چون مسمومیت کاتالیست، خوردگی اسیدی در فرآیندهای متوالی می شود [۳].

حلالهای مایع که برای خارج ساختن گازهای اسیدی از جمله H_2S و CO_2 که بر اساس جذب شیمیایی و فیزیکی انجام می گیرد، بر اساس نوع برهم کنشهای گاز با مایع به دو گروه تقسیم میشوند:

الف) حلالهای شیمیایی (بازهای شیمیایی) که با واکنشهای شیمیایی مشخص بین گازهای اسیدی با حلال شناخته می شوند.

از جمله حلالهای شیمیایی می توان به آمینهای نوع اول مثل مونو اتانول آمین (MEA)، دی اتیل گلیکول آمین (DGA)، آمینهای نوع دوم، از جمله دی اتانول آمین (DEA) و دی ایزو پروپانول آمین (DIPA) و از آمینهای نوع سوم به MDEA و TEA اشاره کرد.

ب) حلالهای فیزیکی، ترکیبات آلی قطبی هستند که گازهای اسیدی بدون واکنش شیمیایی مشخص بین گاز و فاز مایع جذب می شوند. از حلالهای فیزیکی می توان به پروپیلن کربنات، N فرمیل مورفولین، متیل سیانو استات و TMS اشاره نمود.

شیمیایی MDEA و حلالهای فیزیکی H₂O و TMS استفاده شده است. تعادل بخار - مایع برای گاز در حلالهای فیزیکی را می توان به صورت زیر نمایش داد:



در حالت تعادل فوگاسیته گونه های مولکولی A در دو فاز بخار - مایع برابر هستند:

$$f(a)^v = f(a)^l \quad (8)$$

$$f^v = \phi_a y_a P \quad (9)$$

رابطه ۹ وابستگی فوگاسیته گاز در مایع نسبت به فشار به خصوص در فشارهای بالا را نشان می دهد.

ثابت هنری (H) به صورت زیر تعریف می شود:

$$H = \lim_{a \rightarrow 0} f_a / m_a \quad (10)$$

با فرض ایده آل بودن گاز رابطه زیر را می توان بدست آورد:

$$Y_a P = m_a H_A \quad (11)$$

فشار جزئی گونه A تقریباً متناسب با مولاریته آن در حلال فیزیکی است، بنابراین می توان گفت که در فشارهای بالاتر حلالیت گاز در حلال فیزیکی افزایش می یابد.

بخش تجربی

محلولهای آمین با استفاده از حلالهای (Fluka 98%), MDEA (Riedel, 98.5%) و TMS و PZ (Merck, 99%) با آب دیونیزه با غلظت های مورد نظر تهیه شدند. هیدروژن سولفید (H₂S) با درصد خلوص بسیار بالا فراهم گردید.

اندازه گیری حلالیت H₂S در محلول آمین در یک سل تعادلی (اتوکلاو) با حجم کل ۲۵۰ میلی لیتر مجهز به کنترلر دیجیتالی دما (۱-/+ °C) و فشار

همانطوری که مشاهده می شود CO₂ با آمینهای نوع اول و دوم برای تشکیل کاربامات با سرعت متوسط پیشرفت می کند در صورتی که با آمین نوع سوم هیچ واکنشی نمی دهد، و در محلولهای آبی آمینهای نوع دوم و سوم به کندی پیشرفت می کند. H₂S با آمینهای نوع اول و دوم همانند آمینهای نوع سوم بطور کامل واکنش می دهد. برای جذب انتخابی H₂S و به منظور انتخاب آمین مناسب باید بین آمینهای شناخته شده مقایسه ای انجام شود.

آمینهای نوع اول مثل بازهای قوی هستند که برای جذب انتخابی H₂S مناسب نیست. در بین آمینهای نوع دوم DIPA به دلیل جذب کمتر CO₂ نسبت به دی اتانول آمین، حلال خوبی برای جداسازی جذبی H₂S است. آمینهای نوع سوم اختلاف عمده ای با آمینهای نوع اول و دوم دارند. این نوع آمینها با CO₂ هیچ واکنشی نمی دهند، فقط یک واکنش بسیار آرام برای تشکیل بی کربنات در محلول آبی انجام می دهند، بنابراین آمینهای نوع سوم دارای جذب انتخابی بالایی نسبت به H₂S در حضور CO₂ می باشد [۴].

روابط ترمودینامیکی سیستمهای حلالهای مخلوط

Mather و همکارانش [۵] حلالیت تعادلی H₂S و CO₂ را در حلالهای مخلوط شامل MDEA+TMS آب بررسی نموده اند، آنها نتایج خود را بین محلول آبی MDEA با مخلوط TMS + MDEA با غلظت کل ۲ Kmol/m³ مقایسه کردند. بر اساس تعریف حلالهای مخلوط شامل چند حلال متفاوت می باشد. در این کار تحقیقی حلال

سنج دیجیتالی Brooks با دقت ($\pm 0.1\%$) و همزن مغناطیسی انجام گرفت.

در دمای محیط حلال آمین پس از تخلیه هوای درون سل، تزریق شده و کنترلر دما و همزن روشن می شود. پس از رسیدن دمای محلول به دمای مورد نظر فشار بالایی محلول در سل ثبت شده و سپس H_2S وارد سیستم می شود. پس از زمان (حدود ۲ ساعت) که فشار به تعادل رسید با خاموش نمودن همزن، از محلول آمین نمونه برداری می شود. نمونه های آمین و H_2S توزین شده و محلول ید با غلظت مشخص ($0.05 M$) به ظرف نمونه حاوی آمین و H_2S اضافه نموده و به مدت ۱۰ الی ۱۵ دقیقه به هم زده می شود. سپس H_2S با روش تیتراسیون برگشتی ید - تیو سولفات در حضور شناساگر نشاسته تعیین می شود، مقدار آمین نیز به روش توزین و دانسیته محلول آمین بدست می آید. شکل ۱ شمای کلی سیستم اندازه گیری حلالیت گازها در محلول را نشان می دهد.

نتایج

تست سیستم $MDEA + H_2S + H_2O$

به منظور بررسی سیستم، صحت و دقت داده های آزمایش با نتایج آزمایش Jou [۶] مقایسه شد، لذا حلالیت گاز H_2S در محلول MDEA با غلظت 1 kmol/m^3 در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد در محدوده فشار ۱۰۰-۲۰۰۰ کیلو پاسکال بررسی شد. شکل ۲ نتایج آزمایش را در مقایسه با نتایج کارهای Jou نشان می دهد، که بیانگر آن است که سیستم از صحت و دقت بالایی در محدوده فشار مورد نظر برخوردار است. جدول ۱ داده های بدست آمده را با داده های مرجع (۶) نشان می دهد.

مقایسه حلالیت H_2S در محلول های

TMS و MDEA

همچنین حلالیت H_2S در حلال فیزیکی TMS خالص با غلظت 1 kmol/m^3 در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد جهت مقایسه با حلالیت آن در MDEA با غلظت یکسان در شکل ۳ آورده شده است. این نمودار نشان می دهد که حلالیت H_2S در حلال فیزیکی و خالص TMS از حلالیت آن در حلال شیمیایی و بازی MDEA با غلظت یکسان، پایین تر است. به دلیل این که H_2S در حلال شیمیایی MDEA با انجام واکنش شیمیایی و تشکیل یونهای باردار حل می شود، در صورتی که در حلال فیزیکی فقط به دلیل وجود برهم کنش های شیمیایی و قطبیت مولکول ها انجام می گیرد. جدول ۲ داده های بدست آمده را نشان می دهد.

بررسی حلالیت H_2S در محلول MDEA

$3/36 \text{ kmol/m}^3$

حلالیت گاز H_2S در محلول MDEA در غلظت $3/36 \text{ kmol/m}^3$ در دماهای ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درجه سانتیگراد اندازه گیری شد. نتایج آزمایش در جدول ۳ و شکل ۴ آورده شده است. همانطوری که ملاحظه می شود با افزایش دما حلالیت گاز کاهش می یابد ضمن این که با افزایش فشار، مقدار گاز جذب شده در محلول MDEA در دمای معین افزایش می یابد.

بررسی حلالیت H_2S در محلول TMS

$3/36 \text{ kmol/m}^3$

حلالیت گاز H_2S در محلول TMS در غلظت $3/36 \text{ kmol/m}^3$ در دمای ۴۰، ۵۵ و ۷۰

شکل ۷ حلالیت گاز H_2S را در حلالهای $3.0 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ و $3..36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ $0.86 \text{ 2.5Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$, $0.36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ TMS} +$ $2.0 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ و $\text{Kmol/m}^3 \text{ TMS} +$ $1.36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ TMS}$ در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد و در محدوده فشار $۲۵۰۰ \text{ kPa} - ۵۰$ نشان می دهد. حلال مخلوط شامل مقادیر مختلف از MDEA و TMS در فشارهای جزئی پایین و بالا از گاز H_2S نتایج مختلفی را ارائه می دهد. داده های آزمایش نیز در جدول ۶ آورده شده است.

شکل ۸ حلالیت گاز H_2S را در حلالهای $3.0 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ و $3..36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ $2.5 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$, $0.36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ TMS} +$ $2.0 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ و $0.86 \text{ Kmol/m}^3 \text{ TMS} +$ $1.36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ TMS}$ در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و در محدوده فشار $۲۵۰۰ \text{ kPa} - ۵۰$ نشان می دهد. حلال مخلوط شامل مقادیر مختلف از MDEA و TMS در فشارهای جزئی پایین و بالا از گاز H_2S نتایج مختلفی را ارائه می دهد. داده های آزمایش نیز در جدول ۷ آورده شده است.

بررسی حلالیت H_2S در محلول $\text{MDEA} + \text{PZ}$

شکل ۹ حلالیت گاز H_2S را در حلالهای $3.0 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ و $3..36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ $2.5 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$, $0.36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ PZ} +$ $2.0 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ و $0.86 \text{ Kmol/m}^3 \text{ PZ} +$ $1.36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ PZ}$ در دمای ۴۰ درجه نشان میدهد. حلال مخلوط شامل مقادیر مختلف از $\text{MDEA} + \text{PZ}$ در فشارهای جزئی پایین و بالا نتایج قابل قبولی را ارائه می دهد. داده های آزمایش نیز در جدول ۸ آورده شده است.

درجه سانتیگراد اندازه گیری شد. نتایج آزمایش در جدول ۴ و شکل ۵ آورده شده است. همانطوری که ملاحظه می شود با افزایش دما حلالیت گاز کاهش می یابد.

بررسی حلالیت H_2S در محلول $\text{TMS} + \text{MDEA}$ در غلظت های مختلف

شکل ۶ حلالیت گاز H_2S را در حلالهای $3.0 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ و $3..36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ $2.5 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$, $0.36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ TMS} +$ $2.0 \text{ Kmol/m}^3 \text{ MDEA}$ و $0.86 \text{ Kmol/m}^3 \text{ TMS} +$ $1.36 \text{ Kmol/m}^3 \text{ TMS}$ در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد و در محدوده فشار $۲۵۰۰ \text{ kPa} - ۵۰$ نشان می دهد. حلال مخلوط شامل مقادیر مختلف از MDEA و TMS در فشارهای جزئی پایین و بالا از گاز H_2S نتایج مختلفی را ارائه می دهد. داده های آزمایش نیز در جدول ۵ آورده شده است.

نتایج آزمایش نشان می دهد که در فشارهای جزئی پایین، حلال شیمیایی نقش مؤثری در جذب H_2S دارند، اما به دلیل این که فاکتور جذب با استوکیومتری واکنش شیمیایی محدود می شوند، در فشارهای بالا مقدار نسبی جذب H_2S کاهش می یابد. در صورتی که جذب گازهای اسیدی در حلال فیزیکی غیر استوکیومتری بوده و هیچ محدودیتی در جذب وجود ندارد و جذب گاز اسیدی متناسب با فشار جزئی گاز می باشد. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود در فشارهای پایین MDEA نسبت به TMS جذب بیشتری دارد در صورتی که در فشارهای بالاتر جذب H_2S توسط MDEA کاهش می یابد.

H₂S در محلول MDEA با نسبت بالاتر، حلالیت بیشتری دارد.

۳- جذب H₂S در فشارهای پایین توسط محلول شیمیایی و در فشارهای بالاتر توسط محلول فیزیکی صورت می گیرد.

۴- با مقایسه حلالیت H₂S در محلول های با غلظت نسبی مختلف از MDEA و PZ نشان می دهد که H₂S در محلول MDEA+ PZ ، حلالیت بیشتری دارد که نشان می دهد PZ فعال کننده آمین بوده و باعث افزایش جذب میگردد.

منابع:

1. W.Qian; Y.Ki, A.E, Mather; Ind. Eng. Chem. Res.1995, 34, 2545-2550.
2. M.L, Posey; and G.T, Rochelle; Ind. Eng. Chem. Res. 1997, 36, 3944-3953.
3. Y.X; R.P, Schutte; L.G, Helper; The Canadian J. of Chem. Eng. 1992, 70, 569-573.
4. J.A,Lagas; Sulphur 1982, 159, 35-39.
5. R.L, Kent; B. Eisenberg; Hydrocarbon process. 1976, 55, 87-90.
6. F.Y, Jou; A.E, Mather; F.D,Otto; Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. 1982, 21, 539-544.

شکل ۱۰ حلالیت گاز H₂S را در حلالهای

3.0 Kmol/m³ MDEA و 3.36 Kmol/m³ MDEA
2.5 Kmol/m³ MDEA, 0.36 Kmol/m³ PZ +
2.0 Kmol/m³ MDEA و 0.86Kmol/m³ PZ +
1.36Kmol/m³ PZ در دمای ۵۵ درجه نشان میدهد.
حلال مخلوط شامل مقادیر مختلف از MDEA+PZ
در فشارهای جزئی پایین و بالا نتایج قابل قبولی را
ارائه می دهد. داده های آزمایش نیز در جدول ۹
آورده شده است.

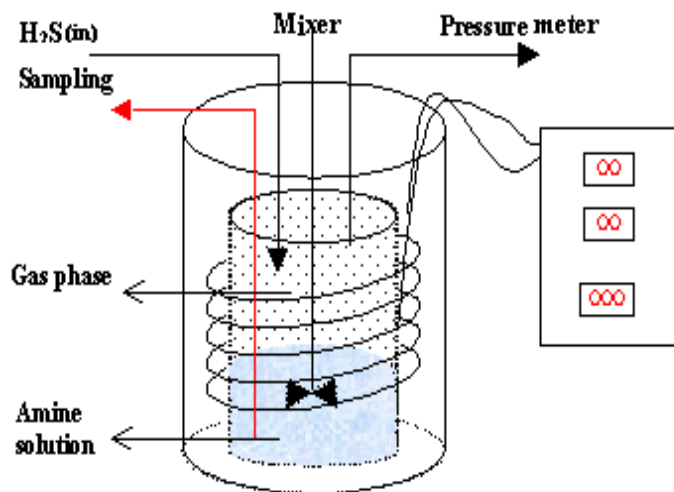
شکل ۱۱ حلالیت گاز H₂S را در حلالهای

3.0 Kmol/m³ MDEA و 3.36 Kmol/m³ MDEA
2.5 Kmol/m³ MDEA, 0.36 Kmol/m³ PZ +
2.0 Kmol/m³ MDEA و 0.86Kmol/m³ PZ +
1.36Kmol/m³ PZ در دمای ۷۰ درجه نشان میدهد.
حلال مخلوط شامل مقادیر مختلف از MDEA+PZ
در فشارهای جزئی پایین و بالا نتایج قابل قبولی را
ارائه می دهد. داده های آزمایش نیز در جدول ۱۰
آورده شده است.

نتیجه گیری

۱- حلالیت H₂S در دماهای ۴۰ ، ۵۵ و ۷۰ درجه سانتیگراد در محلول MDEA و TMS خالص بررسی شد. مقایسه نتایج نشان داد که حلالیت H₂S در دماهای پایین تر در هر دو محلول بیشتر از حلالیت آن در دماهای بالا است.

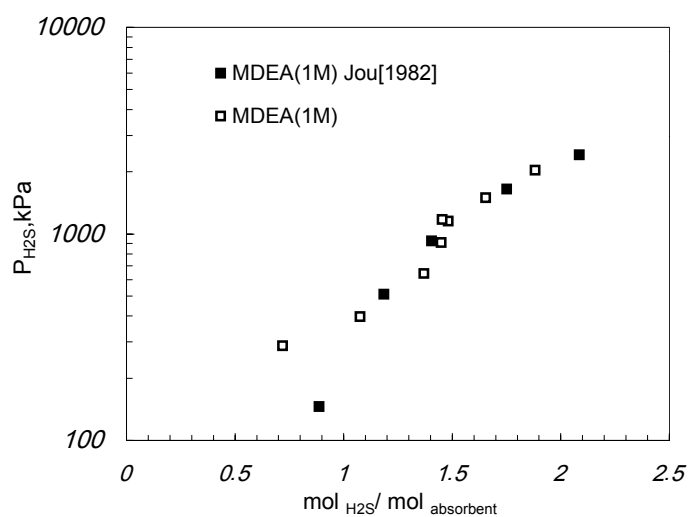
۲- با مقایسه حلالیت H₂S در محلول های با غلظت نسبی مختلف از MDEA و TMS نشان می دهد که



شکل (۱) سیستم اندازه گیری حلالیت گازها در مایعات

جدول (۱) مقایسه حلالیت H_2S در محلول $MDEA\ 1\ \text{Kmol/m}^3$ با نتایج Jou [۶] در دمای ۷۰°C

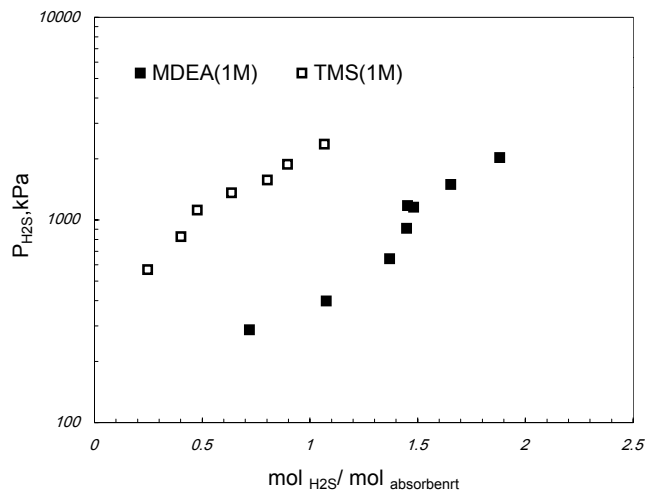
$\text{mol}_{H_2S}/\text{mol}_{\text{absorbent}}$	MDEA (1M)	
	Ref. [6] P_{H_2S} (kPa)	MDEA (1M) P_{H_2S} (kPa)
0.886	146	
1.185	511	
1.405	925	
1.751	1650	
2.085	2420	
0.719		287
1.075		398
1.369		643
1.449		909
1.481		1156
1.453		1177
1.654		1497
1.881		2035



شکل (۲) مقایسه حلالیت H_2S در محلول $MDEA\ 1\ \text{Kmol/m}^3$ با نتایج Jou [۶] در دمای ۷۰°C

جدول (۲) مقایسه حلالیت H_2S در محلول های $MDEA$ $1/0$ $Kmol/m^3$ و TMS $1/0$ $Kmol/m^3$ در دمای $70^\circ C$

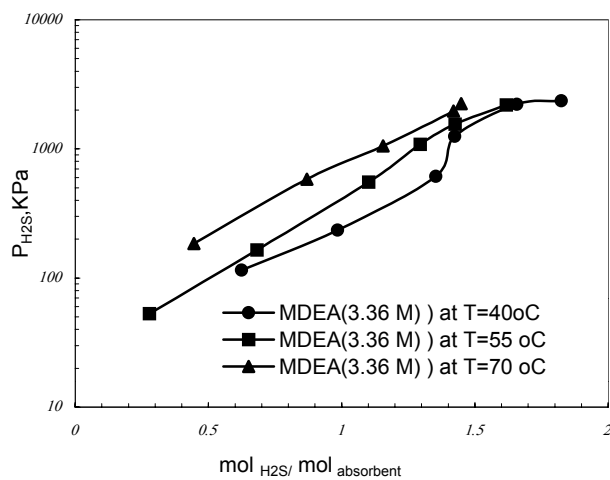
$mol_{H_2S}/mol_{absorbent}$	MDEA (1M)	TMS (1M)
	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)
1.075	398	
1.369	643	
1.449	909	
1.481	1156	
1.453	1177	
1.654	1497	
1.881	2035	
0.246		570
0.401		827
0.477		1118
0.636		1360
0.802		1575
0.896		1885
1.066		2366



شکل (۳) مقایسه حلالیت H_2S در محلول های $MDEA$ $1/0$ $Kmol/m^3$ و TMS $1/0$ $Kmol/m^3$ در دمای $70^\circ C$

جدول (۳) حلالیت H_2S در محلول $MDEA$ $3/36$ $Kmol/m^3$ در دماهای $40^\circ C$ ، $55^\circ C$ و $70^\circ C$

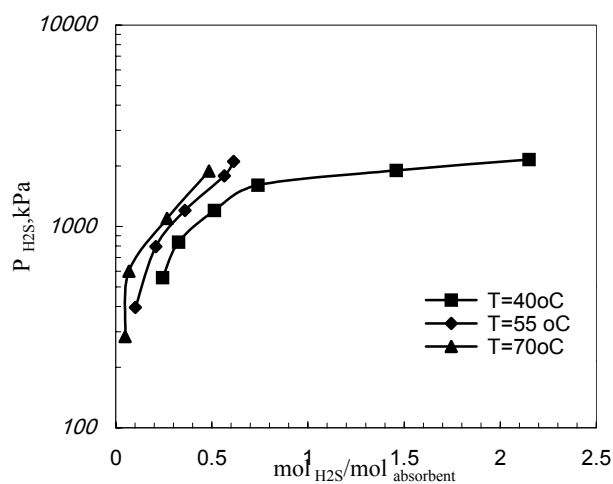
$Mol_{H_2S}/mol_{absorbent}$	T=40°C	T=55°C	T=70°C
	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)
0.625	115		
0.985	235		
1.354	613		
1.425	1250		
1.658	2210		
1.825	2354		
0.279		53	
0.682		165	
1.101		552	
1.295		1083	
1.426		1553	
1.618		2196	
0.446			185
0.870			583
1.155			1056
1.420			1970
1.449			2240



شکل (۴): حلالیت H_2S در محلول $MDEA$ 3.36 kmol/m^3 در دماهای 40°C ، 55°C و 70°C

جدول (۴) حلالیت H_2S در محلول TMS 3.36 kmol/m^3 در دماهای 40°C ، 55°C و 70°C

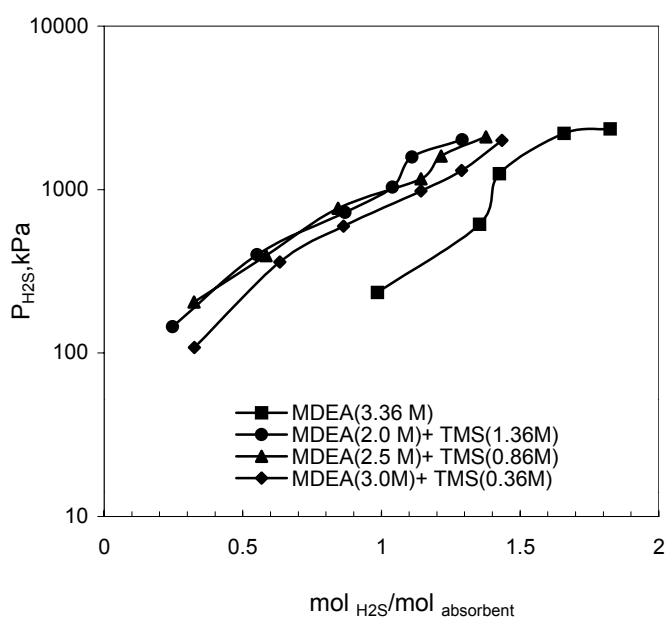
$\text{mol}_{H_2S}/\text{mol}_{\text{absorbent}}$	$T=40^\circ\text{C}$	$T=55^\circ\text{C}$	$T=70^\circ\text{C}$
	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)
0.244	556		
0.326	836		
0.513	1202		
0.739	1603		
1.459	1897		
2.150	2146		
0.101		396	
0.208		795	
0.359		1199	
0.564		1784	
0.613		2103	
0.048			284
0.069			600
0.266			1096
0.484			1883



شکل (۵) حلالیت H_2S در محلول TMS 3.36 kmol/m^3 در دماهای 40°C ، 55°C و 70°C

جدول (۵) حلالیت H_2S در محلول های MDEA + TMS در غلظت کل $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ در دمای 40°C

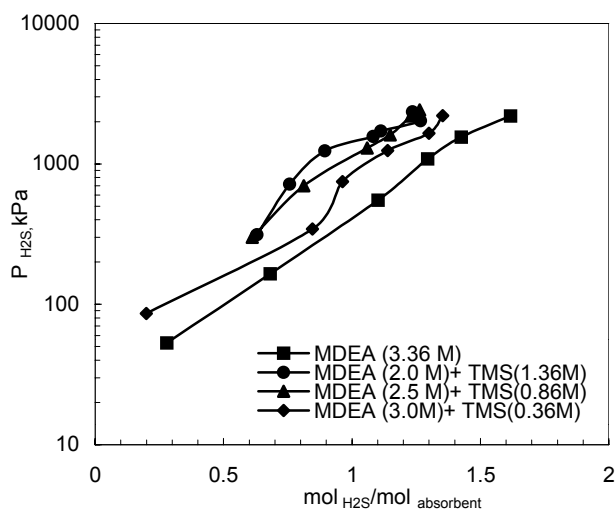
$\text{mol}_{H_2S}/\text{mol}_{\text{absorbent}}$	MDEA (3.36 M)	MDEA (2.0 M) +TMS (1.36M)	MDEA (2.5 M) +TMS (0.86M)	MDEA (3.0 M) +TMS (0.36M)
	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)
0.625	115			
0.985	235			
1.354	613			
1.425	1250			
1.658	2210			
1.825	2354			
0.247		145		
0.552		399		
0.869		724		
1.04		1036		
1.11		1580		
1.291		2019		
0.324			205	
0.584			395	
0.844			767	
1.142			1165	
1.215			1606	
1.377			2105	
0.325				108
0.634				361
0.863				598
1.143				979
1.289				1306
1.435				1999



شکل (۶) حلالیت H_2S در محلول های MDEA + TMS در غلظت کل $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ در دمای 40°C

جدول (۶) حلالیت H_2S در محلول های MDEA +TMS در غلظت کل $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ در دمای 55°C

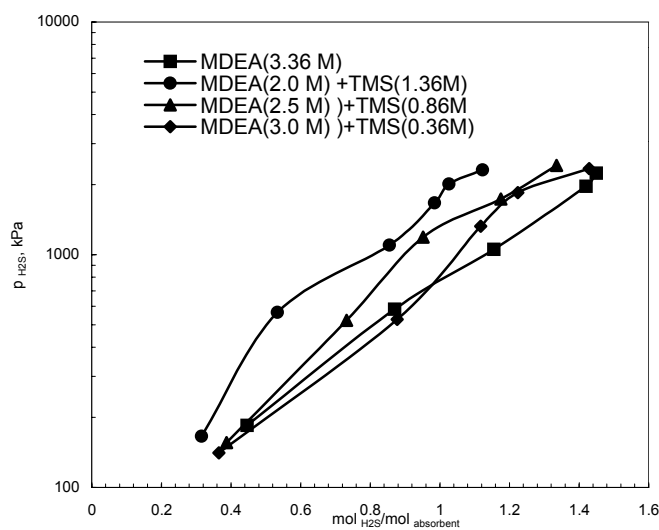
$\text{mol}_{H_2S}/\text{mol}_{\text{absorbent}}$	MDEA (3.36 M)	MDEA (2.0 M) +TMS (1.36M)	MDEA (2.5 M) +TMS (0.86M)	MDEA (3.0 M) +TMS (0.36M)
	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)	P_{H_2S} (kPa)
0.279	53			
0.682	165			
1.101	552			
1.295	1083			
1.426	1553			
1.618	2196			
0.631		313		
0.758		718		
0.895		1240		
1.083		1570		
1.113		1710		
1.267		2023		
1.236		2350		
0.612			300	
0.813			697	
1.059			1299	
1.149			1613	
1.23			2193	
1.264			2423	
0.199				86
0.846				344
0.963				747
1.139				1244
1.300				1654
1.353				2202



شکل (۷) حلالیت H_2S در محلول های MDEA +TMS در غلظت کل $3/36 \text{ Kmol/m}^3$ در دمای 55°C

جدول (۷) حلالیت H_2S در محلول های MDEA +TMS در غلظت کل 3.36 Kmol/m^3 در دمای 70°C

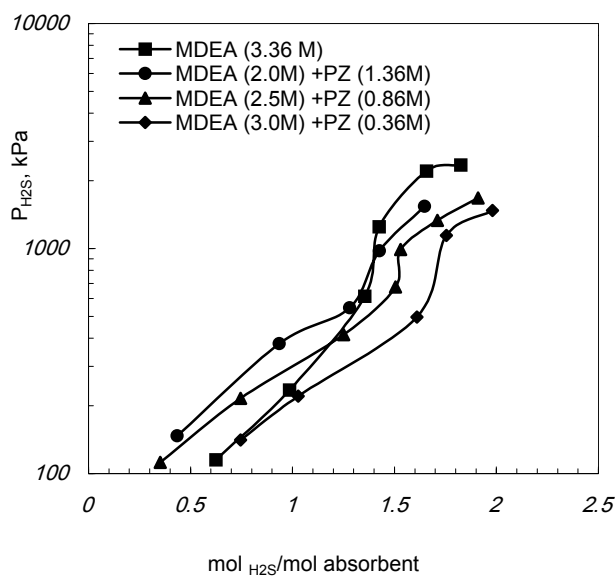
$\text{mol}_{H_2S}/\text{mol}_{\text{absorbent}}$	MDEA (3.36 M)	MDEA (2.0 M) +TMS (1.36M)	MDEA (2.5 M) +TMS (0.86M)	MDEA (3.0 M) +TMS (0.36M)
0.446	185			
0.870	583			
1.155	1056			
1.420	1970			
1.449	2240			
0.315		166		
0.533		566		
0.855		1099		
0.985		1671		
1.026		2013		
1.123		2313		
0.387			156	
0.732			523	
0.952			1192	
1.175			1733	
1.335			2417	
0.365				141
0.877				528
1.117				1325
1.224				1850
1.429				2347



شکل (۸) حلالیت H_2S در محلول های MDEA +TMS در غلظت کل 3.36 Kmol/m^3 در دمای 70°C

جدول (۸) حلالیت H₂S در محلول های MDEA + PZ در غلظت کل ۳/۳۶ Km³/m³ در دمای ۴۰ °C

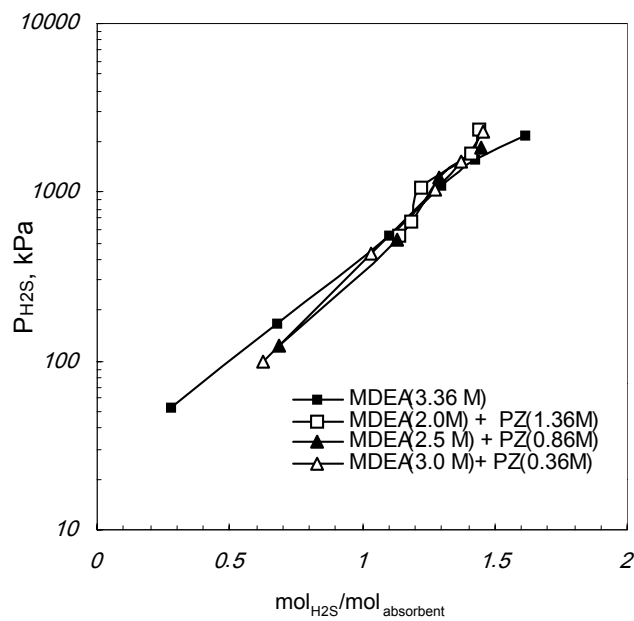
mol _{H₂S} /mol _{absorbent}	MDEA (3.36 M)	MDEA (2.0M) +PZ (1.36M)	MDEA (2.5M) +PZ (0.86M)	MDEA (3.0M) +PZ (0.36M)
	P _{H₂S} (kPa)	P _{H₂S} (kPa)	P _{H₂S} (kPa)	P _{H₂S} (kPa)
0.625	115			
0.985	235			
1.354	613			
1.425	1250			
1.658	2210			
1.825	2354			
0.435		147		
0.935		378		
1.28		545		
1.426		976		
1.648		1539		
0.352			112	
0.745			216	
1.25			414	
1.505			674	
1.53			990	
1.711			1334	
1.91			1680	
0.746				141
1.028				221
1.61				496
1.754				1142
1.98				1478



شکل (۹) حلالیت H₂S در محلول های MDEA + PZ در غلظت کل ۳/۳۶ Km³/m³ در دمای ۴۰ °C

جدول (۹) حلالیت H₂S در محلول های MDEA + PZ در غلظت کل ۳۶ Km³/m³ در دمای ۵۵ °C

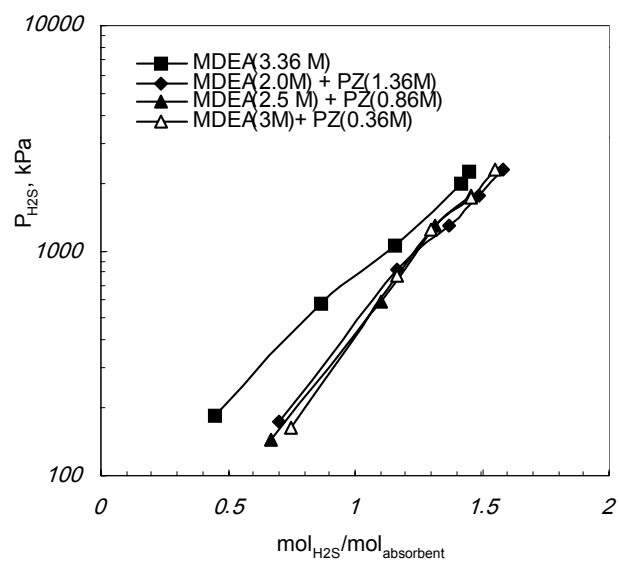
mol _{H₂S} /mol _{absorbent}	MDEA (3.36 M)	MDEA (2.0M) +PZ (1.36M)	MDEA (2.5M) +PZ (0.86M)	MDEA (3.0M) +PZ (0.36M)
	P _{H₂S} (kPa)	P _{H₂S} (kPa)	P _{H₂S} (kPa)	P _{H₂S} (kPa)
.279	53			
0.682	165			
1.101	552			
1.295	1083			
1.426	1553			
1.618	2196			
1.143		551		
1.188		668		
1.22		1055		
1.415		1709		
1.443		2331		
0.686			122	
1.135			520	
1.294			1228	
1.395			1823	
1.425			2362	
0.624				99
1.035				435
1.273				1045
1.373				1530
1.457				2260



شکل (۱۰) حلالیت H₂S در محلول های MDEA + PZ در غلظت کل ۳۶ Km³/m³ در دمای ۵۵ °C

جدول (۱۰) حلالیت H₂S در محلول های MDEA + PZ در غلظت کل ۳۶ Kmol/m³ در دمای ۵۵ °C

mol _{H₂S} /mol _{absorbent}	MDEA (3.36 M)	MDEA (2.0M) +PZ (1.36M)	MDEA (2.5M) +PZ (0.86M)	MDEA (3.0M) +PZ (0.36M)
	P _{H₂S} (kPa)	P _{H₂S} (kPa)	P _{H₂S} (kPa)	P _{H₂S} (kPa)
0.446	185			
0.870	583			
1.155	1056			
1.420	1970			
1.449	2240			
0.698		173		
1.169		822		
1.369		1283		
1.490		1761		
1.582		2293		
0.671			145	
1.105			592	
1.315			1284	
1.458			1750	
0.746				165
1.164				768
1.298				1245
1.458				1715
1.548				2280



شکل (۱۱) حلالیت H₂S در محلول های MDEA + PZ در غلظت کل ۳۶ Kmol/m³ در دمای ۵۵ °C