

دیاگرام های دو فازي سه جزئي شامل H_2O , PEG 1000 (پلي اتيلن گليکول به جرم مولکولي 1000) و Na_2SO_3 (سولفیت سدیم)

سید ابولفضل سید سجادی
استاد

منصور انبیاء
استاد

احمد نصیری
کارشناسی ارشد

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

استخراج بیومولکول ها مانند (آنزیم ها، پروتئین ها) با روش دو فاز آبی با استفاده از دستگاه های رایج در صنایع شیمیایی، پدیده ای جدید می باشد، که از اواخر دهه ۱۹۸۰ مورد توجه پژوهشگران و صنعتگران قرار گرفته است. در این مقاله دیاگرام فازي سیستم سه جزئي (Na_2SO_3 , PEG 1000, H_2O) گزارش شده و مقادیر PEG 1000 و نمک Na_2SO_3 در دو فاز اندازه گیری شده است. مقدار PEG 1000 با استفاده از رفراکتومتر و مقدار نمک Na_2SO_3 با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شده و منحنی باینودال دو سیستم فوق الذکر در دماهای ۲۵ و ۳۵ و ۴۵ درجه سانتیگراد بدست آمده است منحنی باینودال (نمودار فازي) بصورت رسم درصد وزنی PEG 1000 بر حسب مقادیر وزنی Na_2SO_3 در دو فاز بالا و پایین در دماهای ذکر شده بدست آمده است در نهایت نمودار مثلثی سیستم سه جزئي Na_2SO_3 و PEG 1000 بر حسب مقادیر وزنی Na_2SO_3 بدست آمده و از آنجا نقطه پلیت سیستم مشخص شده است. این سیستم سه جزئي می تواند در بیوتکنولوژی به منظور جداسازی بیومولکولها بکار گرفته شود.

کلمات کلیدی

پلي اتيلن گليکول (PEG)، سولفیت سدیم (Na_2SO_3)، دیاگرام های فازي، خطوط ارتباطی، جذب اتمی، رفراکتومتر منحنی باینودال.

Phase Diagrams of System Consisting two Phases and three Components as (H_2O , polyethyenglycol 1000, Na_2SO_3)

S.A.Seyedsajady
Professor

M.Anbia
Professor

A.Nasiri
MS.c.

Chemical Engineering Department,
Iran University of Science and Technology

Abstract

Extraction of biomolecules (as enzymes and proteines) by the use of two aqueous phase and conventional chemical industry instrument is a new phenomenon. In this research, phase diagram of a three-component system consisting of (Na_2SO_3 , PEG 1000, H_2O) and also concentration of PEG 1000 and Na_2SO_3 were measured respectively by the use of refractometer and atomic adsobtion spectrophotometer. Phase diagram of this system was achieved with drawing PEG 1000 weight percent vs. Na_2SO_3 , weight percent in two phase and at some temperature as 25° C, 35° C,

Keywords

مقدمه

استفاده از سیستم‌های دو فازي شامل پلیمرهای محلول در آب یک روش بسیار مفید و قوی برای جداسازی و خالص‌سازی پروتئین‌ها، آمینواسیدها و دیگر مواد بیولوژیکی را در اختیار گذاشته است. این تکنیک برای اولین بار در سالهای ۱۹۵۸-۱۹۵۶ توسط آلبرتسون معرفی شد و برای تعداد زیادی از بیومولکولها مورد استفاده قرار گرفت. [۱-۳] این سیستم‌های دو فازي را می‌توان از حل کردن دو پلیمر که از نظر ساختمانی متفاوت باشند (مانند پلی‌اتیلن گلیکول PEG و دگسترون DX) یا یک پلیمر و یک نمک در آب بوجود آورد که آب تشکیل‌دهنده هر کدام از فازها حدوداً ۷۵٪ یا بیشتر می‌باشد. [۴]

به منظور طراحی فرایندهای مربوط به استخراج مایع - مایع وجود اطلاعات کافی در مورد خواص ترمودینامیکی سیستم مورد استفاده ضروری می‌باشد این خواص عبارتند از دما، نوع پلیمر، غلظت پلیمر، جرم مولکولی پلیمر، نوع نمک، غلظت نمک، PH و غیره. [۵] از نظر اقتصادی که بیشتر مورد توجه صنایع است، سیستم‌های دو فازي شامل پلیمر - نمک مناسب‌تر از سیستم‌های دو فازي شامل پلیمر - پلیمر می‌باشند. به همین علت اغلب تحقیقات اخیر بر روی سیستم‌های شامل پلیمر- نمک متمرکز شده است. اما تا کنون برای بسیاری از این گونه سیستمها داده‌های تجربی مناسبی در دسترس نمی‌باشد. یکی از پلیمرهایی که در سیستم‌های دو فازي بیشتر مورد توجه واقع شده است پلی اتیلن گلیکول PEG می‌باشد.

پلی پروپیلن گلیکول یا PPG یکی از پلیمرهایی است که از نظر ساختمانی بسیار شبیه به PEG می‌باشد. در صورتی که جرم مولکولهای بالای آن بطور جزئی در آب حل می‌شود. [۶]

کاتو و همکارانش [۷] منحنی باینودال $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{PPG 400}$ را بدست آورده و چلوخت و همکارانش [۸ و ۹] داده‌های تعادل مایع - مایع را برای سیستم آبی PPG 425 و PPG 725 در حضور NaCl تعیین کرده‌اند.

بخش تجربی

الف - مواد شیمیایی، دستگاهها و روش کار

سدیم سولفیت Na₂SO₃، پلی اتیلن گلیکول به جرم مولکولی ۱۰۰۰ (PEG 1000) از شرکت مرک بدون خالص‌سازی مجدد و آب دو بار تقطیر در طول آزمایشات مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل AA 670 G شیماتسو برای اندازه‌گیری نمک سدیم سولفیت بکار گرفته شد. گاز مصرفی استیلن - هوا بوده است. دستگاه رفراکتو متر مدل BAVSCH & LOMB ساخت USA برای اندازه‌گیری پلیمر پلی اتیلن گلیکول به جرم مولکولی ۱۰۰۰ بکار گرفته شد.

حمام آب برای ایجاد تعادل دمایی در سیستم دو فازي بکار رفته است.

ترازوی دقیق دیجیتالی FX300 کمپانی A & D با دقت ۰/۰۰۱ که برای وزن کردن انواع نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

برای تعیین نمودار معیارگیری سیستم دو فازي $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{PEG 1000} + \text{H}_2\text{O}$ در دمای ۲۵ °C ابتدا ۵ نمونه با درصد‌های مختلفی از نمک سدیم سولفیت (۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ درصد وزنی) ساخته شد. برای رسم نمودار معیارگیری، از ۵ نمونه اصلی با تغییری که در غلظت پلیمر و آب صورت گرفت ۴۰ نمونه دیگر ساخته شد. (به ازای هر نمونه اصلی ۸ نمونه فرعی ساخته شد که در تمام آنها غلظت نمک سدیم سولفیت ثابت بود). از تمام ۴۰ نمونه حاصل با استفاده از دستگاه رفراکتومتر ضریب شکست گرفته و نمودار معیارگیری سیستم فوق‌الذکر در دمای ۲۵ °C بدست آمد. ضریب شکست (n) هم به غلظت پلیمر و هم نمک بستگی دارد که رابطه آنها خطی بوده و بصورت زیر می‌باشد:

$$n_0 = a_0 + a_1 W_s + a_2 W_p$$

که در آن W_p و W_s به ترتیب درصد وزنی نمک و پلیمر می‌باشد. ضرایب رابطه فوق برای مخلوط "Na₂SO₃ + PEG 1000 + H₂O" عبارتند از: $a_2 = 1/2 \times 10^{-3}$ ، $a_1 = 1/918 \times 10^{-3}$ و $a_0 = 1/33$. واضح است در نمونه‌هایی که درصد وزنی پلیمر یا نمک از محدوده نمودار معیارگیری خارج باشند، نمونه‌ها باید رقیق شوند که در این کار تحقیقاتی نیز بعضی از نمونه‌ها که درصد پلیمر یا نمک در آنها از محدوده نمودار معیارگیری خارج بود رقیق شده‌اند. [۴]

یکی از روشهایی که معمولاً برای اندازه‌گیری غلظت پلیمرها بکار برده می‌شود روش تعیین ضریب شکست یا رفرکتومتري می‌باشد. در این مقاله در دمای ۲۵ °C، ۱۱ نمونه مجهول و در دمای ۴۵ °C نیز ۱۴ نمونه مجهول ساخته شد. نمونه‌های مجهول در دستگاه بنماری (محل ایجاد تعادل دمایی در سیستم دو فازی) به مدت ۲۴ ساعت به ترتیب در دماهای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتیگراد قرار گرفتند. در این مدت زمان سیستم‌های دو فازی به تعادل می‌رسیدند. سپس از فاز بالا به پایین با استفاده از سرنگ ۱۰ میکرو لیتری نمونه‌برداری می‌شد. فاز بالا غنی از PEG و فاز پایین غنی از نمک می‌باشد که مقدار PEG با استفاده از رفرکتو متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری غلظت سدیم سولفیت در فاز بالا به علت کم بودن غلظت نمک از روش اسپکتروسکوپی جذب اتمی استفاده گردید. حساسیت بالا، سهولت آماده‌سازی نمونه و کاهش مزاحمت از طرف کاتیونهای دیگر دلایل مفید بودن این روش است.

برای اندازه‌گیری نمونه‌های مجهول، در فاز بالا و پایین ابتدا یک محلول استاندارد سدیم به عنوان محلول مادر ساخته می‌شد. این محلول مادر که دارای 1000 ppm سدیم می‌باشد نمونه‌های ۱-۲/۰ ppm سدیم را ساخته و از این نمونه‌ها جذب گرفته می‌شد و بدین ترتیب منحنی استاندارد سدیم بدست آمد. از فاز بالا و پایین نمونه‌های مجهول در دماهای ۲۵ °C و ۳۵ °C و ۴۵ °C نمونه‌برداری شده که نتایج رفراکتومتري و جذب اتمی به ترتیب در جداول (۱)، (۲) و (۳) گزارش شده است. مقادیر در فاز بالا بیشتر از فاز پایین بوده و مقادیر نمک بر عکس در فاز پایین بیشتر از فاز بالا بدست آمده است.

ب - تعیین منحنی باینودال

در منحنی باینودال منطقه دو فازی یا یکنواخت از منطقه یک فازی یا یکنواخت جدا می‌شود برای اکثر سیستمها بدست آوردن منحنی باینودال با استفاده از روش کدر شدن محلول صورت می‌گیرد، بدین ترتیب که محلولی با غلظت مشخص از نمک مورد نظر را در استوانه فوق‌الذکر ریخته صبر نموده تا به تعادل دمایی برسد. سپس این محلول را بوسیله الکلی در حین همزدن تیتتر می‌نمایند تا اینکه محلول کدر شود. کدر شدن محلول نقطه پایانی تیتراسیون می‌باشد. سپس با اضافه کردن مقدار مشخصی آب به محلول، محلول از حالت تیره در آمده و شفاف می‌شود. دوباره عمل تیتراسیون تکرار می‌گردد. این کار تا کامل شدن منحنی انجام می‌گیرد. در سیستم فازی شامل "Na₂SO₄ + PEG 1000 + H₂O" نقطه پایانی واضح نیست و با تعیین خطوط ارتباطی منحنی باینودال برای این سیستم مشخص می‌شود. [۵]

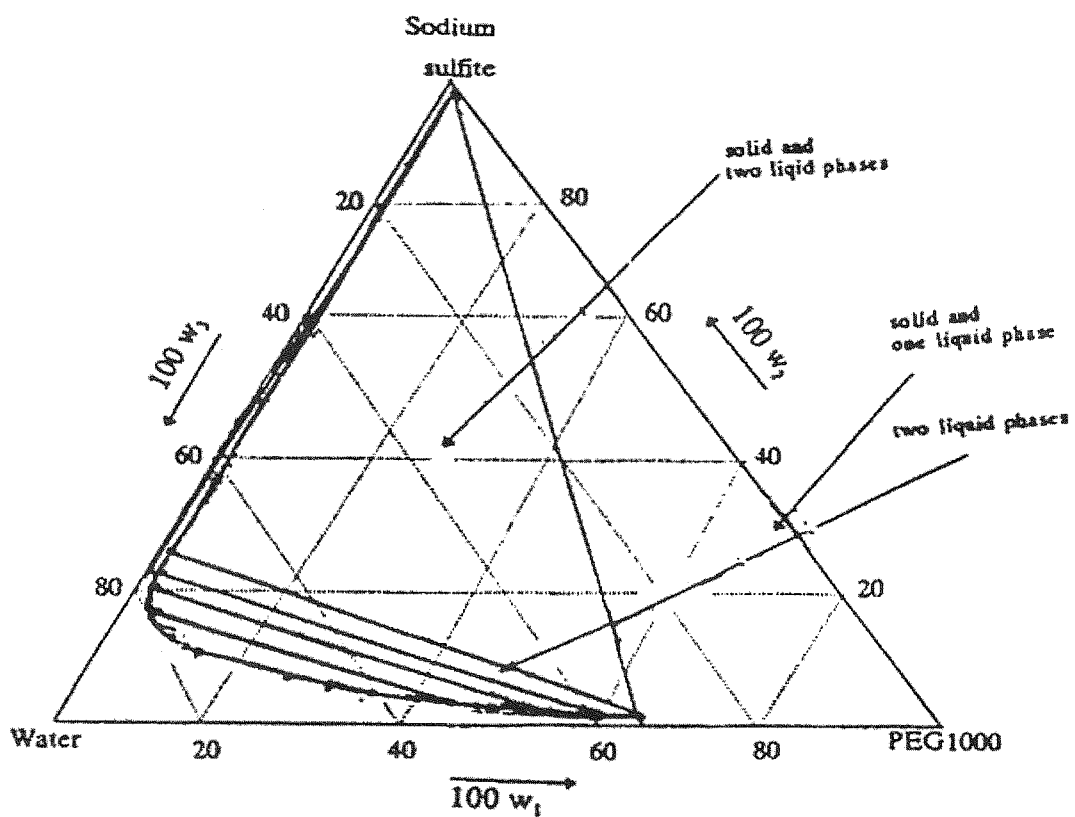
ج - بدست آوردن خطوط ارتباطی

برای بدست آوردن خطوط ارتباطی نمونه‌هایی با وزن تقریبی ۲۵ گرم از اختلاط مقدار مناسبی نمک، آب و پلیمر ساخته می‌شود. نمونه‌های ساخته شده را در حمام (با دمای ثابت و معین) قرار داده و به مدت ۱ الی ۲ ساعت هم‌زده می‌شوند. سپس نمونه‌ها را در همان دما به مدت ۲۴ ساعت ثابت و بدون حرکت قرار داده تا فازها از هم جدا و شفاف شوند. بعد از برقراری تعادل از فازهای بالا و پایین نمونه‌برداری می‌شود.

بحث و نتیجه گیری

با مخلوط کردن آب - نمک و پلیمر یک سیستم دو فازی تشکیل می‌شود. فاز بالا غنی از پلیمر و فاز پایین غنی از نمک می‌باشد. در نمونه‌هایی که درصد نمک در آنها زیاد است علاوه بر دو فاز مایع، یک فاز جامد که همان رسوب Na₂SO₃ می‌باشد نیز تشکیل می‌گردد. چون غلظت نمک در دو فاز بر حسب واحد گرم می‌باشد برای تعیین درصد وزنی آن در دو فاز و با استفاده از دستگاه جذب اتمی باید نمونه‌ها تا حد ppm رقیق شوند. دیاگرام فازی سیستم "Na₂SO₃ + PEG 1000 + H₂O"

برای اولین بار و در سه دمای 25°C و 35°C و 45°C مورد مطالعه قرار گرفته است. مشاهده شد که حلالیت این سیستم با افزایش دما کاهش می‌یابد. اما مسأله قابل توجه این است که موقعیت نقطه پلیت این سیستم در سه دمای 25°C و 35°C و 45°C اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارند. در دمای 45°C حلالیت نمک در نزدیکی نقطه پلیت در فاز بالا بسیار کمتر از حلالیت آن در دمای 35°C است و حلالیت نمک در دمای 25°C در نقطه پلیت می‌باشد. در یک مخلوط پلیمر و حلال فقط هنگامی که سازنده‌ها در محدوده معینی از نسبت‌هایشان می‌باشند سیستم دو فازی تشکیل می‌شود. منحنی که دو نقطه یک فازی و دو فازی (هموزن و هتروژن) را از یکدیگر جدا می‌کند منحنی باینودال نامیده می‌شود. تمام مخلوط‌هایی که ترکیب آنها به نقاط بالای منحنی داده می‌شود منجر به جدایی فاز می‌شود. در صورتی که نقاط پایین منحنی جدایی فاز را نشان نمی‌دهند. در نقطه بحرانی ترکیبات و مجموعه‌های دو فازی بطور تئوری مساوی می‌شوند. در شکل (۱) نمودار مثلی سیستم دو فازی سه جزئی جهت مشخص شدن محدوده‌های مختلف فازی برای سیستم فوق نشان داده شده است. در این دیاگرام منطقه‌های تعادلی مایع - مایع، جامد - جامد و مایع - جامد مشخص شده‌اند. موقعیت نقطه پلیت برای سیستم " $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{PEG 1000} + \text{H}_2\text{O}$ " در دمای 25°C در $30/88$ درصد وزنی PEG، $2/73$ درصد وزنی سدیم سولفیت $66/47$ درصد وزنی آب در دمای 35°C در $36/50$ درصد وزنی PEG، $1/46$ درصد وزنی سولفیت و $62/58$ درصد وزنی آب در دمای 45°C در $41/48$ درصد وزنی PEG، $0/92$ درصد وزنی سدیم سولفیت و $57/60$ درصد وزنی آب می‌باشد.



شکل (۱) دیاگرام فاز کامل سیستم پلی اتیلن گلیکول (۱) + سدیم سولفیت (۲) + آب (۳) در دمای 25°C .

نتایج مربوط به درصد خطاهای نسبی ($\%E_r$) در اندازه‌گیری PEG 1000 و نمک سدیم سولفیت (Na_2SO_3) در جداول (۱)، (۲) و (۳) در سه دمای 25°C و 35°C و 45°C گزارش شده است و مورد خطا و تکرارپذیری در محاسبه غلظت PEG و Na_2SO_3 منظور گردیده است. باید بگوییم که هر قدر تکرارپذیری بیشتر بوده و به مقدار واقعی نزدیکتر باشد خطا کمتر است و هر قدر تکرارپذیری کمتر باشد و با مقدار واقعی فاصله داشته باشد خطا بیشتر می‌باشد. برای سیستم سه جزئی فوق‌الذکر درصد خطای نسبی میانگین در سه دما بدست آمده که نتایج آن در جدول شماره (۴) ارائه شده است.

جدول (۱) داده‌های تعادلی سیستم دو فازي ("Na₂SO₃ + PEG 1000 + H₂O") در ۲۵°C.

| کل محلول | | فاز بالا | | فاز پایین | | درصد خطای نسبی %E _r | |
|--|----------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|
| % mass Na ₂ SO ₃ | % mass PEG1000 | % mass Na ₂ SO ₃ | % mass PEG1000 | % mass Na ₂ SO ₃ | % mass PEG1000 | % mass Na ₂ SO ₃ | % mass PEG1000 |
| ۲/۷۸ | ۳۱/۲۵ | ۰/۸۹ | ۳۷/۱۸ | ۴/۸۹ | ۲۴/۶۴ | ۰/۱۴ | ۳/۹۵ |
| ۳/۲۷ | ۳۱/۶۸ | ۰/۴۴ | ۴۳/۱۰ | ۵/۷۶ | ۱۸/۴۴ | ۲/۸۷ | ۵/۰۲ |
| ۳/۷۵ | ۳۱/۷۶ | ۰/۴۲ | ۴۵/۵ | ۷/۳۷ | ۱۵/۱۲ | ۴/۵۶ | ۳/۸۶ |
| ۴/۸۳ | ۳۱/۹۳ | ۰/۳۹ | ۴۵/۹۳ | ۹/۵۴ | ۱۶/۰۴ | ۲/۹۵ | ۱/۸۶ |
| ۵/۶۵ | ۳۱/۹۹ | ۰/۳۴ | ۴۶/۲۹ | ۱۱/۲۷ | ۱۵/۵۳ | ۳/۳۷ | ۲/۷۴ |
| ۶/۱۷ | ۳۲/۲۲ | ۰/۲۷ | ۴۷/۸۹ | ۱۲/۲۷ | ۱۴/۵۶ | ۳/۰۸ | ۱/۶۲ |
| ۶/۶۸ | ۳۲/۳۳ | ۰/۱۹ | ۴۸/۸۱ | ۱۳/۱۲ | ۱۳/۹۲ | ۲/۹۸ | ۰/۳۷ |
| ۷/۱۸ | ۳۲/۴۵ | ۰/۱۷ | ۴۹/۳۲ | ۱۴/۱۸ | ۱۳/۶۱ | ۳/۰۳ | ۰/۰۶ |
| ۸/۵۷ | ۳۳/۳۵ | ۰/۱۶ | ۵۲/۶۵ | ۱۷/۱۱ | ۱۰/۸۷ | ۴/۷۶ | ۰/۷۵ |
| ۱۰/۲ | ۳۳/۴۸ | ۰/۱۲ | ۵۴/۷۷* | ۱۹/۹۱ | ۹/۸۹* | ۳/۴۳ | ۱/۸۱ |
| ۱۲/۱۱ | ۳۴/۲۶ | ۰/۱۰ | ۶۳/۵۲* | ۲۴/۱۱ | ۳/۰۳* | ۲/۸۷ | ۰/۰۴ |

*رسوب Na₂SO₃ ظاهر می‌شود.

جدول (۲) داده‌های تعادلی سیستم دو فازي ("Na₂SO₃ + PEG 1000 + H₂O") در ۳۵°C.

| کل محلول | | فاز بالا | | فاز پایین | | درصد خطای نسبی %E _r | |
|--|----------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|
| % mass Na ₂ SO ₃ | % mass PEG1000 | % mass Na ₂ SO ₃ | % mass PEG1000 | % mass Na ₂ SO ₃ | % mass PEG1000 | % mass Na ₂ SO ₃ | % mass PEG1000 |
| ۱/۰۵ | ۳۶/۵۲ | ۰/۲۸ | ۴۲/۵۵ | ۱/۸۹ | ۳۰/۱۵ | ۰/۰۱ | ۳/۳۳ |
| ۱/۱۵ | ۳۷/۴۸ | ۰/۲۲ | ۴۱/۲۷ | ۲/۱۷ | ۲۳/۷۰ | ۱۳/۳۲ | ۳/۹۱ |
| ۲/۲۸ | ۳۷/۵۲ | ۰/۲۰ | ۵۶/۵۰ | ۴/۳۷ | ۱۸/۵۴ | ۰/۰۱ | ۰/۲۱ |
| ۳/۰۲ | ۳۷/۵۸ | ۰/۱۵ | ۵۷/۵۸ | ۵/۹۳ | ۱۷/۵۹ | ۰/۰۱ | ۰/۶۶ |
| ۳/۷۵ | ۳۸/۷۸ | ۰/۱۴ | ۶۳/۰۰ | ۷/۴۵ | ۱۴/۷۷ | ۰/۲۷ | ۱/۲ |
| ۴/۷۲ | ۳۹/۰۲ | ۰/۱۳ | ۶۸/۶۳ | ۹/۳۲ | ۹/۴۵ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ |
| ۵/۱۷ | ۳۹/۲۵ | ۰/۱۰ | ۷۰/۰۵ | ۱۰/۲۵ | ۸/۴۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۵/۷۴ | ۳۹/۴۶ | ۰/۰۹ | ۷۱/۰۵ | ۱۱/۳۹ | ۷/۸۸ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۶/۱۱ | ۳۹/۷۴ | ۰/۰۸ | ۷۳/۴۱ | ۱۲/۱۴ | ۶/۰۸ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۶/۸۳ | ۴۰/۰۰ | ۰/۰۷ | ۷۵/۵۰ | ۱۳/۵۹ | ۴/۵۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۷/۰۵ | ۴۰/۲۲ | ۰/۰۳ | ۷۸/۲۵ | ۱۴/۰۸ | ۲/۲۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۸/۴۵ | ۴۰/۳۱ | ۰/۰۲ | ۷۹/۴۲ | ۱۶/۹۳ | ۱/۲* | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۹/۸۹ | ۴۰/۴۵ | ۰/۰۲ | ۸۰/۱۵ | ۱۹/۷۶ | ۰/۸۰* | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۱۲/۳۷ | ۴۳/۱۱ | ۰/۰۲ | ۸۵/۸۳ | ۲۴/۷۲ | ۰/۴۰* | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |

*رسوب Na₂SO₃ ظاهر می‌شود.

جدول (۳) داده‌های تعادلی سیستم دو فازی ("Na₂SO₃ + PEG 1000 + H₂O") در ۴۵ °C.

| کل محلول | | فاز بالا | | فاز پایین | | درصد خطای نسبی %E _r | |
|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|---------------|
| %mass Na ₂ SO ₃ | %mass PEG1000 | %mass Na ₂ SO ₃ | %mass PEG1000 | %mass Na ₂ SO ₃ | %mass PEG1000 | %mass Na ₂ SO ₃ | %mass PEG1000 |
| ۳/۸۰ | ۴۱/۵۰ | ۳/۳۷ | ۴۷/۱۵ | ۳/۷۴ | ۳۵/۸۵ | ۰/۰۱ | ۶/۴۴ |
| ۳/۸۹ | ۴۲/۳۸ | ۲/۸۱ | ۵۲/۲۷ | ۴/۳۸ | ۳۲/۵۰ | ۰/۰۱ | ۷/۵۸ |
| ۳/۶۸ | ۴۲/۵۲ | ۲/۳۳ | ۵۵/۰۵ | ۴/۹۳ | ۳۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۱/۳۵ |
| ۳/۹۰ | ۴۳/۰۵ | ۲/۲۲ | ۵۷/۵۸ | ۵/۵۷ | ۲۸/۵۲ | ۰/۰۱ | ۰/۱۲ |
| ۴/۰۹ | ۴۳/۸۴ | ۲/۱۸ | ۵۸/۰۰ | ۵/۹۴ | ۲۹/۶۸ | ۰/۰۱ | ۰/۷۳ |
| ۶/۹۸ | ۴۳/۹۸ | ۱/۹۵ | ۶۲/۵۵ | ۱۱/۸۸ | ۲۵/۴۲ | ۰/۰۱ | ۰/۹۳ |
| ۷/۲۳ | ۴۴/۰۵ | ۱/۶۴ | ۶۸/۲۷ | ۱۲/۸۲ | ۱۹/۸۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ |
| ۱۰/۴۸ | ۴۴/۰۶ | ۱/۵۸ | ۷۱/۰۵ | ۱۹/۲۸ | ۱۷/۰۸ | ۰/۰۱ | ۰/۴۷ |
| ۱۳/۱۶ | ۴۴/۲۵ | ۰/۹۲ | ۷۸/۵۸ | ۲۵/۴۷ | ۹/۹۲ | ۰/۰۱ | ۰/۲۶ |
| ۱۴/۸۷ | ۴۴/۳۸ | ۰/۱۴ | ۸۰/۸۰ | ۲۹/۵۲ | ۷/۹۷ | ۰/۰۱ | ۰/۲۶ |
| ۱۸/۳۲ | ۴۴/۴۲ | ۰/۱۰ | ۸۳/۴۵ | ۳۶/۳۲ | ۵/۳۹ | ۰/۰۱ | ۰/۶۰ |
| ۲۰/۰۵ | ۴۴/۴۶ | ۰/۰۵ | ۸۴/۴۲ | ۴۰/۱۰ | ۴/۵۱* | ۰/۰۱ | ۰/۱۲ |
| ۲۳/۱۰ | ۴۴/۵۰ | ۰/۰۱ | ۸۵/۲۵ | ۴۵/۹۰ | ۳/۷۵* | ۰/۰۱ | ۰/۶۲ |
| ۲۶/۵۰ | ۴۴/۹۰ | ۰/۰۱ | ۸۷/۸۳ | ۵۳/۰۸ | ۱/۹۸* | ۰/۰۱ | ۰/۱۶ |

* رسوب Na₂SO₃ ظاهر می‌شود.

جدول (۴) درصد خطاهای نسبی متوسط (Erm) برای Na₂SO₃ و PEG 1000 در سه دمای ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتیگراد.

| دما / جزء سازنده | درصد خطاهای نسبی متوسط | | |
|---------------------------------|------------------------|-------|-------|
| | ۲۵ °C | ۳۵ °C | ۴۵ °C |
| PEG 1000 | ۳/۰۹ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ |
| Na ₂ SO ₃ | ۲/۰۰ | ۰/۶۷ | ۰/۴۶ |

جدول (۵) موقعیت پلیت برای سیستم ("Na₂SO₃ + PEG 1000 + H₂O") در دمای ۲۵ °C.

| T °C | H ₂ O | Na ₂ SO ₃ | %PEG 1000 |
|------|------------------|---------------------------------|-----------|
| ۲۵ | ۶۶/۴۷ | ۲/۷۳ | ۳۰/۸۸ |
| ۳۵ | ۶۲/۵۸ | ۱/۴۶ | ۳۶/۵۰ |
| ۴۵ | ۵۷/۶۰ | ۰/۹۲ | ۴۱/۴۸ |

- [1] Albertsson P. A, "Partition of Cell Particles and Macromolecules", 3rd edn wiley - Interscience, newyork. P. 346. (1986).
- [2] Kula M. R., Kroner K.H., and Hustedt H. "Purification of Enzymes by Liquid Liquid extraction", Adv. Biochemeng, 24, 73.
- [3] Walter H., Brooks. D. E., and Fisher, D., "Partitioning in Aqueous two Phase Systems" Academic Press, New York, 1985.
- [4] Salabat A, Zafarami-moattar. M, T., and Kabiri-Badar M., "Application of aqueous polymer systems in biotechnology", IranIAN an g.Polymer Sciense and Technology (Persian Edition) 26, 247 - 251, (1995).
- [5] Molyneux P., "Water Solubel synthetic Polymers Properties and Behavior", crc press, boca raton fl, vol. 1, (1983)
- [6] Kato M., Yamaguchi m., Kaiuchi t., Ito S., and Nakmura M. "Binodal curve of the system ppg 400 + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ + water international solent extraction conference", July. Kyoto , Japan 1990.
- [7] Cheluget. E.L, Geinas, s.Vera, J. H. and weber, m.e.liquid-liquid equilibrium of aqueous mixtures of (propylene gelycol) with Nacl, g.chem.eng. data, 39, 127, 130, (1994).
- [8] Cheulgte, E.L, Marx S, Weber M. E. and Vera J. H., J. Solution Chem, 23, 275, 1994.