



طراحی یک آزمایش سبز برای آزمایشگاه شیمی فیزیک -

سیستم ساده تعادل فازی دو جزیبی جامد - مایع

زهرا احمد آبادی^{۱*}، مینا جامی الاحمدی^۲

^۱ گروه شیمی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

چکیده

سیستم های تعادل فازی از مباحث مهم در شیمی فیزیک است. با توجه به این که آموزش عملی فازها به درک عمیق تر این بخش از علم کمک می کند، طرح یک دستور کار با رویکرد شیمی سبز و توجه به سلامت انسان ضروری است. در این پژوهش سیستم ساده تعادل فازی جامد - مایع پالمیتیک اسید - اولئیک اسید، جایگزین سیستم نفتالن - بنزن یا نفتالن - تولوئن شده است. این سیستم نه تنها می تواند اهداف آموزشی این بخش را تامین کند، بلکه دارای قابلیت بازیافت مواد مصرفی یا استفاده از پسماند آن به عنوان مواد اولیه در سایر آزمایشگاه های آموزشی است. از جهت قیمت نیز برای یک آزمایشگاه آموزشی دوره کارشناسی مقرون به صرفه است. از این آزمایش ساده، نقطه ذوب پالمیتیک اسید برابر ۶۴ درجه سانتی گراد و آنتالپی ذوب این ماده، ۴۰/۶۹ کیلوژول بر مول به دست آمد که نسبت به مقادیر واقعی، با توجه به وسایل ساده مورد استفاده و میزان خلوص مواد به کار رفته، دارای درصد خطای قابل قبولی است. قابل ذکر است که در نتایج آزمایش سیستم نفتالن - تولوئن نیز همین مقدار خطا مشاهده می شود.

کلیدواژه ها: تعادل جامد - مایع، پالمیتیک اسید، اولئیک اسید، نمودار فازی

* نویسنده مسئول: (✉ z_ahmadabadi@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲۰

مقدمه

جنبش شیمی سبز^۱ در اوایل دهه ۱۹۹۰ از سوی آژانس محیط زیست آمریکا^۲ آغاز شد؛ هدف این جنبش، تشویق صنایع و محیط های علمی جهت استفاده از علم شیمی بدون آلودگی محیط زیست می باشد. به عبارت دیگر، ماموریت شیمی سبز:

" توسعه فناوری های شیمیایی است که استفاده یا تولید مواد خطرناک را در طراحی و ساخت محصولات شیمیایی به حداقل رسانده و یا حذف کند" (کلرک^۳ و همکاران ۱۳۹۴).

در این میان به کارگیری شیمی سبز در طراحی آزمایش های دوره ی آموزشی مقطع کارشناسی یا دبیرستان می تواند، ایده ی جایگزینی ترکیبات و روشهای نامتناسب با محیط زیست و سلامت انسان را در زندگی حرفه ای و شخصی فراگیران ایجاد نماید و همچنین زمینه ساز رشد و تقویت این نوع تفکر در مقاطع تحصیلات تکمیلی می گردد. یکی از آزمایش های سرفصل دروس آزمایشگاه شیمی فیزیک ۱ رشته های شیمی مبحث فازهاست که یکی از مباحث اساسی شیمی محسوب می شود و نه تنها اکثر دانشجویان مرتبط با این رشته به نحوی با آن سر و کار دارند، بلکه در صنایع مختلف نیز از این موضوع علمی استفاده می شود. سیستم های دوجزئی جامد- مایع یکی از انواع تعادل های فازی هستند که به علت بررسی متغیرهای ترمودینامیکی و ارائه ی اطلاعات مفید در باره سیستم مورد نظر، به عنوان یکی از ساده ترین تعادل ها در اغلب آزمایشگاه های شیمی فیزیک سراسر جهان مطرح می باشد (شومیکر^۴ ۱۹۹۶، سیمی^۵ ۱۹۹۰، هارین^۶ ۱۹۹۷، ویلیمز^۷ ۱۹۹۷، اتکینز^۸ ۲۰۰۶، ضیایی ۱۳۹۷، قریب ۱۳۸۳، جامی الاحمدی ۱۳۹۶).

در واقع فاز، بخشی از یک سیستم است که از نظر خواص فیزیکی و ترکیب شیمیایی یکنواخت باشد. تغییر یا انتقال فاز، تبدیل خود به خود یک فاز به فاز دیگر است و توسط روش های تحلیل حرارتی مورد مطالعه قرار می گیرد. بررسی ترمودینامیکی فازها بر این واقعیت استوار است که در حالت تعادل، پتانسیل شیمیایی یک گونه در کل نمونه (همه فازها) یکسان است (اتکینز ۲۰۰۶).

¹ Green Chemistry Movement

² US Environmental Protection Agency

³ Celerk

⁴ Shoemaker

⁵ Sime

⁶ Halpern

⁷ Williams

⁸ Atkins

در یک سیستم ساده تعادل مایع - جامد، شامل دو جزء سازنده a و b که در حالت مایع به هر نسبتی در یکدیگر حل می گردند و در هنگام انجماد فقط جامدهای خالص متبلور می شوند و قانون فازها (قانون فازی گیبس^۱) برای آنها به صورت زیر بیان می شود:

$$F=C-P+2 \quad \text{معادله (۱)}$$

در معادله ی (۱)، F تعداد درجات آزادی، C تعداد مواد سازنده سیستم و P تعداد فازهای موجود در حال تعادل ترمودینامیکی هستند. تعداد درجات آزادی نشان دهنده ی میزان استقلال متغیرهای شدتی می باشد؛ به عبارت دیگر، درجات آزادی این مفهوم را در بردارد که برای پیش بینی وضعیت و تعیین مقدار دقیق بخش عمده ای از خواص ترمودینامیکی سیستم، بررسی تغییرات محدودی از خواص ترمودینامیکی سیستم نظیر دما و فشار کافی است (مضطرزاده ۱۳۷۸).

یکی از دقیق ترین و مناسب ترین روش های ارائه ی تغییرات حالت فیزیکی یک ماده خالص یا مخلوط، رسم نمودار فازی آن است. نمودارهای فازی دما-ترکیب سیستم های دو جزئی جامد-مایع اهمیت زیادی در فرایندهای صنعتی، مانند ساخت نمایشگرهای بلوری مایع یا نیمه هادی ها دارد (اتکینز-۲۰۰۶). رسم نمودارهای دما-ترکیب این سیستم ها در طراحی فرایندهای مهم صنعتی همچون تولید بلورها، آلیاژهای فلزی، نیمه هادی ها و دارو ها مورد استفاده قرار می گیرد (بنسام^۲ ۲۰۱۳، اتکینز ۲۰۰۶). برخی از سیستم های دو جزئی که در آزمایشگاه های آموزشی مورد بررسی قرار می گیرند، عبارتند از: سیستم دوجزئی (جامد - مایع) شامل: نفتالن-دی فنیل آمین (شومیکر ۱۹۹۶، ضیایی ۱۳۹۷، قریب ۱۳۸۳، جامی الاحمدی ۱۳۹۶)، پارا دی کلرو بنزن-نفتالن، نفتالن-دی فنیل متان (گالوس^۳ ۲۰۰۱، اتکینز^۴ ۲۰۰۶)، نفتالن- تولوئن و نفتالن-بنزن (دانیلز^۵ ۱۹۷۰).

مشکل اساسی همه ی این سیستم ها ایجاد آلودگی زیست محیطی اعم از آلودگی هوا، آلودگی خاک و آب های زیرزمینی (در نتیجه وارد شدن پسماند و دورریز این آزمایش ها به چاه های فاضلاب) می باشد؛ و می تواند اثرات مضر بر روی پوست، سیستم تنفسی و همچنین افزایش خطر ابتلا به سرطان در انسان، ایجاد نماید (سیگما ۲۰۱۸). برخی از کارشناسان جهت جلوگیری از این اثرات، ترجیح می دهند که آزمایش های فوق را از برنامه آموزشی آزمایشگاه حذف نمایند. در این صورت، یادگیری دانشجویان فقط بر مبنای تئوری صورت گرفته و دچار اختلال می شود. در این راستا، بررسی

¹ Gibbs phase rule

² Benessam

³ Gallus

⁴ Atkins

⁵ Daniels

و تحقیق در زمینه یافتن و انجام آزمایش با سیستم‌هایی که از نظر سلامتی و زیست محیطی ایمن و بی‌ضرر باشند، ضروری به نظر می‌رسد.

هدف اصلی این پژوهش، معرفی یک سیستم ساده ی دوجزئی است، بدون ایجاد مشکلات زیست محیطی و اثر نامطلوب بر سلامت انسان است که با اصل ۳ و ۵ از اصول دوازده گانه شیمی سبز نیز، منطبق باشد (اسگولتز^۱ ۲۰۱۳) و همچنین اهداف آموزشی مرتبط با این مبحث درسی را تأمین کند. چندین مطالعه توسط گرماسنجی پویشی دیفرانسیلی^۲ (کاستا^۳ ۲۰۰۹، ۲۰۰۷) یا روش‌های دیگر (کازوهرو^۴ ۲۰۱۶، پولنگ^۵ ۲۰۱۱، کاستا^۶ ۲۰۰۹، گلیموری^۷ ۲۰۱۴) بر روی انتقالات فازی بر روی اسیدهای چرب جامد و مایع، سیستم‌های دوجزئی و سه جزئی تا کنون گزارش شده است اما در این مطالعه با هدف به کارگیری وسایل ساده و رایج در آزمایشگاه‌های آموزشی و با موادی با درصد خلوص مناسب از نظر قیمت و فراوانی انجام می‌گیرد. در این بررسی از سیستم دو جزئی (مایع - جامد): اولئیک اسید-پالمیتیک اسید استفاده شده است که از مزایایی چون، سهولت دسترسی، نداشتن اثرات نامطلوب زیست محیطی و اثر بر سلامت انسان، قابلیت بازیافت و استفاده مجدد و یا به کارگیری پسماند این آزمایش به عنوان مواد اولیه سایر آزمایش‌های این دوره برخوردار است.

روش اجرا

اولئیک اسید^۸ $(CH_3(CH_2)_7C = C(CH_2)_7COOH)$ ساخت کشور مالزی با خلوص تجارتي / دارویی و پالمیتیک اسید $(CH_3(CH_2)_{14}COOH)$ ^۹ با خلوص ۹۵٪ از شرکت مرک خریداری شد. این مواد بدون خالص سازی بیشتر با کنترل نقطه ذوب تایید گردید. سیستم تعادلی دو جزئی (جامد- مایع)، پالمیتیک اسید- اولئیک اسید: مقدار ۱/۲۵ گرم پالمیتیک اسید با ترازوی دیجیتالی وزن و در یک لوله آزمایش قطور پیرکس قرار داده می‌شود. به محتوی لوله ۰/۱ میلی لیتر اولئیک اسید توسط میکرو پی پت افزوده می‌شود و سر لوله با یک چوب‌پنبه سوراخ‌دار به همراه دماسنج الکلی ($100-0^{\circ}C$) مسدود شده و درون یک لوله آزمایش قطور قرار می‌گیرد (شکل ۱)، این مجموعه در یک حمام آب توسط گرم‌کن الکتریکی حرارت داده می‌شود. دمای حمام آب

¹ Schultz

² Differential scanning calorimetry

³ Costa

⁴ Kazuhiro

⁵ Potong

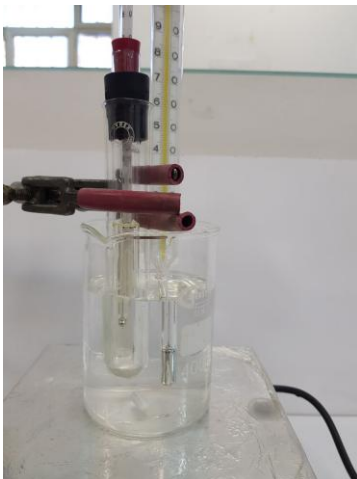
⁶ Costa

⁷ Guilherme

⁸ Oleic acid

⁹ Palmitic acid

بر روی حدود ۷۰ درجه (با توجه به نقطه ذوب پالمیتیک اسید خالص ۶۳ درجه) تنظیم می‌گردد. در دمای بالای ۶۵ درجه مخلوط تک فازی شفاف ایجاد می‌شود. در این هنگام مجموعه ی لوله آزمایش - لوله آزمایش قطور، از داخل حمام خارج و در مجاورت هوا قرار می‌گیرد تا دمای آن به آرامی کاهش یابد. هر ۳۰ ثانیه یک بار دما یادداشت و دمای تشکیل اولین بلور پالمیتیک اسید مشخص می‌شود.



شکل ۱- حمام آب به همراه لوله قطور حاوی اولئیک اسید و پالمیتیک اسید

برای دماهای پایین‌تر از دمای محیط، از حمام آب یخ جهت سرد شدن و ایجاد بلور استفاده می‌گردد. این عمل با افزایش‌های متوالی اولئیک اسید طبق جدول ۱، تکرار می‌شود. همه محاسبات در این مطالعه، با استفاده از نرم افزار Excel انجام گردید و جهت رسم نمودارهای فازی نرم افزار sigmaplot مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

پتانسیل شیمیایی یک گونه در محلول از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\mu_i = \mu_i^* + RT \ln a_i \quad \text{معادله (۲)}$$

که می‌توان آن را به این صورت نیز بازنویسی کرد.

$$\mu_i = \mu_i^* + RT \ln \gamma_i x_i \quad \text{معادله (۳)}$$

در این روابط، X_i کسر مولی، a_i فعالیت و γ_i ضریب فعالیت گونه i بوده و μ_i^* پتانسیل شیمیایی i خالص است. از روابط فوق، می‌توان معادله‌ای را به صورت زیر برای محاسبه آنتالپی ذوب و نقطه ذوب یک گونه در مخلوط دوتایی رقیق استنتاج کرد:

$$\ln x_i = \frac{\Delta H_{fus}(i)}{R} \left(\frac{1}{T_f} - \frac{1}{T} \right) \quad \text{معادله (۴)}$$

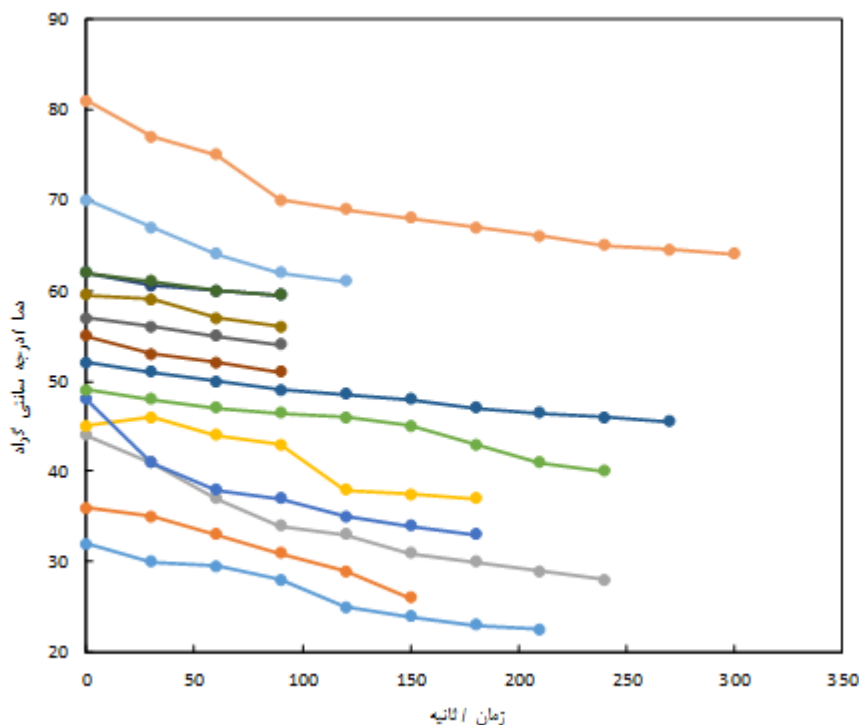
در معادله (۴)، T_f و $\Delta H_{fus}(i)$ به ترتیب، نقطه ذوب و آنتالپی ذوب گونه i را نشان می‌دهند. از معادله (۴)، جهت تعیین این مقادیر در مقاله حاضر استفاده شده است. در جدول ۱ مقادیر اولئیک اسید اضافه شده به ۱/۲۵ گرم پالمیتیک اسید، دماهای مربوط به دوفازی شدن مخلوط‌ها و کسر مولی و کسر جرمی پالمیتیک اسید گزارش شده است.

جدول ۱ - حجم اولئیک اسید اضافه شده به ۱/۲۵ گرم پالمیتیک اسید، دمای دوفازی شدن مخلوط، کسر مولی و کسر

جرمی پالمیتیک اسید

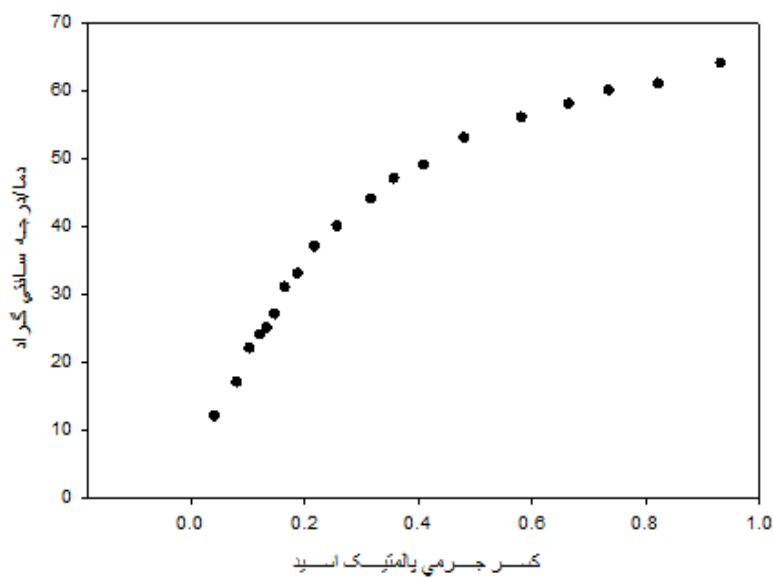
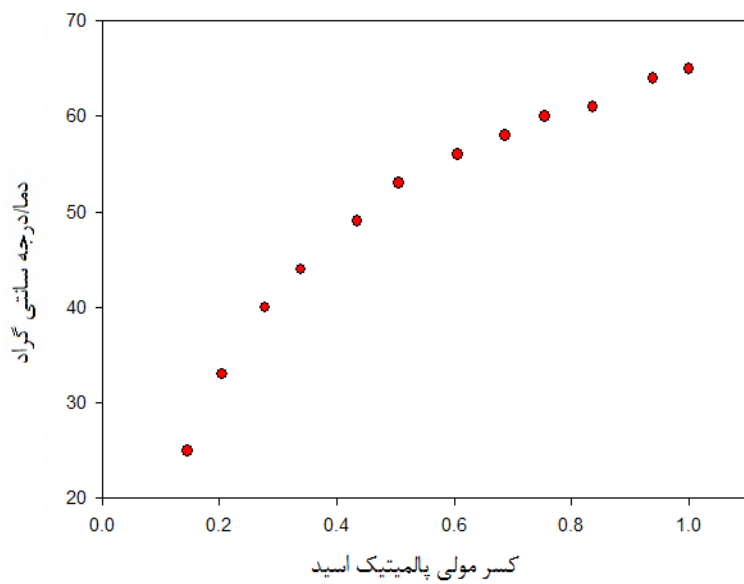
کسر مولی پالمیتیک اسید	کسر جرمی پالمیتیک اسید	دما (°C)	حجم اولئیک اسید اضافه شده
۰/۹۳۹	۰/۹۳۳	۶۴	۰/۱
۰/۸۳۷	۰/۸۲۳	۶۱	۰/۲
۰/۷۵۵	۰/۷۳۶	۶۰	۰/۲
۰/۶۸۷	۰/۶۶۶	۵۸	۰/۲
۰/۶۰۶	۰/۵۸۳	۵۶	۰/۳
۰/۵۰۶	۰/۴۸۲	۵۳	۰/۵
۰/۴۳۵	۰/۴۱۱	۴۹	۰/۵
۰/۳۸۱	۰/۳۵۸	۴۷	۰/۵
۰/۳۳۹	۰/۳۱۸	۴۴	۰/۵
۰/۲۷۸	۰/۲۵۹	۴۰	۱
۰/۲۳۵	۰/۲۱۸	۳۷	۱
۰/۲۰۴	۰/۱۸۹	۳۳	۱
۰/۱۸۰	۰/۱۶۶	۳۱	۱
۰/۱۶۱	۰/۱۴۹	۲۷	۱
۰/۱۴۶	۰/۱۳۴	۲۵	۱
۰/۱۳۳	۰/۱۲۳	۲۴	۱
۰/۱۱۴	۰/۱۰۴	۲۲	۱

در شکل ۲ نمودارهای سرد شدن دما-زمان، برای افزایش‌های مختلف اولئیک اسید نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود شیب منحنی‌ها با گذشت زمان کاهش پیدا می‌کند، ولی، به جز برای بالاترین منحنی (پالمیتیک اسید خالص)، به علت اثر حضور اولئیک اسید، نقطه ذوب ثابتی مشاهده نمی‌شود.



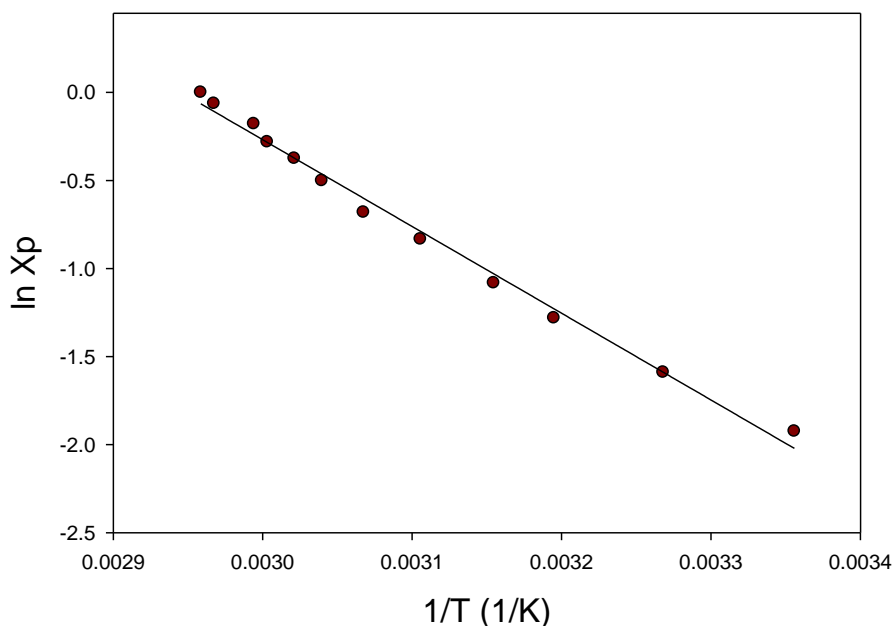
شکل ۲- نمودارهای سرد شدن دما- زمان، برای افزایش اولئیک اسید به پالمیتیک اسید

مطابق شکل ۳ نمودارهای دما بر حسب کسر جرمی (نمودار سمت راست) و دما بر حسب کسر مولی (نمودار سمت چپ)، پالمیتیک اسید نمایش داده شده است. از برون یابی این نمودارها دمای ذوب پالمیتیک اسید خالص ۶۴ درجه ی سانتی‌گراد به دست می‌آید که خطای ۱/۶ درصد را نسبت به مقدار واقعی ($62/9^{\circ}\text{C}$) نشان می‌دهد.



شکل ۳- نمودار دما بر حسب کسر جرمی پالمیتیک اسید (سمت راست) و نمودار دما بر حسب کسر مولی پالمیتیک اسید (سمت چپ)

شکل ۴ نمودار رسم لگاریتم طبیعی کسر مولی پالمیتیک اسید بر حسب معکوس دما می باشد. با استفاده از شکل ۴، آنتالپی ذوب پالمیتیک اسید $40.69 \text{ kJ mol}^{-1}$ (9.68 J g^{-1}) به دست می آید. که در مقایسه با آنتالپی گزارش شده (کاستا ۲۰۰۹، گلیموری ۲۰۱۴، دایره المعارف جامع اطلاعات شیمیایی و فیزیکی ۲۰۱۹) ($20.8/0.2 \text{ J g}^{-1}$ و 53.7 kJ mol^{-1})، حدود ۲۴ درصد خطا مشاهده می شود. این میزان خطا با توجه به خطای روش آزمایش، وسایل به کار رفته و همچنین خلوص نسبتا پایین مواد جهت به کارگیری در یک آزمایشگاه آموزشی قابل توجیه است. یکی دیگر از منابع خطا در این محاسبه، استفاده از معادله‌ای است که به صورت تقریبی و برای $1 \rightarrow \gamma_i$ به دست آمده و مورد استفاده قرار گرفته است. بدیهی است که در کسرهای مولی پایین پالمیتیک اسید، خطای قابل توجهی حاصل خواهد شد. لازم به ذکر است این حدود خطا در نتیجه آزمایش سیستم دو جزیی نفتالین - تولوئن با این روش نیز مشاهده می شود (جامی الاحمدی ۱۳۹۶).



شکل ۴- لگاریتم طبیعی کسر مولی پالمیتیک اسید بر حسب عکس دما

مقایسه ی قیمت مواد مصرفی در جدول ۲، برای آزمایش طراحی شده با پالمیتیک اسید - اولینک اسید با آزمایش سیستم نفتالین - تولوئن، نشان می دهد جایگزینی این روش چندان گران قیمت نبوده و حتی می تواند برای آزمایشگاه های آموزشی مقرون به صرفه باشد. زیرا چنانچه مواد

پسماند این آزمایش جمع آوری شود، با توجه به اختلاف قابل ملاحظه نقطه ذوب آنها در آزمایشگاه شیمی آلی برای مبحث تبلور نوبتی امکان جداسازی و خالص سازی آنها وجود داشته و مواد اولیه بازیافت می شود و همچنین می تواند بدون خالص سازی برای آزمایش صابونی شدن در آزمایشگاه آلی مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۲ - مقایسه قیمت مواد مصرفی در روش آزمایش پالمیتیک اسید - اولئیک اسید با آزمایش سیستم نفتالین

تولون		
نام ماده	واحد	قیمت (تومان)
تولون (آرنیکو ۲۰۱۸)	لیتر	۱۱۲۵۰۰
اولئیک اسید (آرنیکو ۲۰۱۸)	لیتر	۱۷۰۰۰۰
نفتالین (صنایع شیمیایی شمیران ۲۰۱۸)	۲۵۰ گرم*	۴*۵۱۰۰۰
پالمیتیک اسید (آرنیکو ۲۰۱۸)	۱ کیلوگرم	~۲۸۰۰۰۰

بحث و نتیجه گیری

استفاده از سیستم تعادلی فاز جامد مایع شامل پالمیتیک اسید - اولئیک اسید جهت آزمایشگاه های آموزشی شیمی فیزیک ۱ دوره کارشناسی، به عنوان جایگزین برای سیستمهای نفتالین - تولون یا بنزن، فنل - آب، دارای مزایای متعددی است، که می توان به برخی از آنها اشاره کرد. از جمله:

۱- به کارگیری اسیدهای چرب و ایجاد همبستگی شیمی زیستی با درس شیمی فیزیک از طریق آشنا کردن فرگیران با ترکیبات طبیعی زیستی، در این آزمایش، ممکن علاقه مندی است آنها به درس افزوده شود. ایجاد مباحث میان رشته ای به عنوان عاملی در جذاب کردن برنامه درسی تا کنون گزارش شده است (خورسندی ۱۳۸۸).

۲- استفاده از این ترکیبات در آزمایشگاه های آموزشی به تعدادی دفعات مکرر و گروه های زیاد کلاسی، همراه با ایجاد مشکلات زیست محیطی یا سلامت انسان نمی باشد و از طرفی گران قیمت هم نیستند.

۳- پسماند آن به سادگی قابل بازیافت و یا قابل استفاده در آزمایش های دیگر است و حتی اگر بازیافت هم نشوند به سادگی در طبیعت تجزیه می گردند.

۴- در این روش، هر دو اسید چرب دارای نقطه ذوب زیر ۱۰۰ درجه سانتی گراد هستند و آزمایش با آنها به راحتی با حمام آب قابل انجام است.

۵- مزیت دیگر این روش، تشابه سیستم دو جزئی حاصل از این دو اسید چرب با توجه به ساختار همسان آنها (تنها اختلاف دو اتم کربن)، با یک سیستم ساده همانند نفتالن-تولون می باشد که از طریق برون‌یابی نقطه ذوب پالمیتیک اسید از روی نمودار فازی و نیز محاسبه آنتالپی ذوب آن به سادگی امکان‌پذیر است و اهداف آموزشی مورد نظر را تامین می‌کند. لازم به ذکر است که در آزمایش‌هایی مشابه که تا کنون بر روی سیستم دوجزئی نفتالن - تولون، در آزمایشگاه‌های دانشگاه‌های مختلف انجام شده است (گالوس ۲۰۰۱، دانیلز ۱۹۷۰، ضیایی ۱۳۹۷، قریب ۱۳۸۳، جامی الاحمدی ۱۳۹۶)، نقطه ذوب نفتالن در محدوده $75-85^{\circ}\text{C}$ و آنتالپی ذوب این ماده در گستره $15-25 \text{ kJ mol}^{-1}$ به دست آمده است که نسبت به مقادیر واقعی آن $80/26^{\circ}\text{C}$ و kJ mol^{-1} ۱۹/۰۵، (دایره المعارف جامع اطلاعات شیمیایی و فیزیکی ۲۰۱۹) خطای حدود ۵ درصد برای نقطه ذوب و ۲۵ درصد برای آنتالپی ذوب را به همراه داشته است، که خطای این سیستم جایگزین با نقطه ذوب پالمیتیک اسید برابر ۶۴ درجه سانتی‌گراد با ۱/۶ درصد و آنتالپی ذوب این ماده، ۴۰/۶۹ با ۲۴٪ نیز در این محدوده قرار می‌گیرد. دستورکار پیشنهادی ذیل، برای جایگزینی این سیستم به جای سیستم نفتالن-تولون یا فنل - آب ارائه می‌شود.

دستورکار آزمایش سیستم ساده ی تعادل فازی دو جزئی جامد - مایع

۱/۲۵ گرم پالمیتیک اسید را با دقت ۰/۱ گرم وزن کرده و داخل لوله آزمایش قطور بریزید. به وسیله پی‌پت، ۰/۱ میلی‌لیتر اولئیک اسید به داخل لوله آزمایش اضافه کنید و با چوب‌پنبه ای که از وسط آن دماسنج عبور داده شده است، درب لوله آزمایش را ببندید و آن را دهید تا دمای آن کاهش یابد. در حین سرد کردن، لوله آزمایش را در معرض نور قرار دهید و دمای تشکیل اولین ذرات جامد را ملاحظه و یادداشت کنید. آزمایش را با اضافه کردن اولئیک اسید طبق جدول ۳ به لوله آزمایش و یادداشت کردن دمای انجماد تکرار کنید.

جدول ۳ - حجم اولئیک اسید اضافه شده در مراحل مختلف

مرحله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
حجم اولئیک اسید اضافه شده (میلی لیتر)	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۱	۱	۲	۳

محاسبات

- ۱- با استفاده از چگالی اولئیک اسید (0.895 g.cm^{-3}) کسر مولی پالمیتیک اسید را در هریک از اندازه‌گیری‌ها پیدا کنید.
- ۲- بر روی یک منحنی، دما بر حسب کسر مولی پالمیتیک اسید را رسم کنید.
- ۳- منحنی رسم شده را با منحنی حالت ایده‌آل مقایسه کرده و در مورد انحراف از حالت ایده‌آل بحث کنید.
- ۴- با توجه به معادله گیبس-هلمهولتز (Gibbs-Helmhols) $\frac{\partial \ln X_2}{\partial T} = -\frac{\Delta H_{fus}}{RT^2}$ روشی برای به دست آوردن آنتالپی ذوب پالمیتیک اسید پیشنهاد کنید و مقدار ΔH_{fus} را با روش پیشنهادی خود به دست آورید.
- ۵- مقدار ΔH_{fus} مشاهده شده و ΔH_{fus} واقعی پالمیتیک اسید را با یکدیگر مقایسه کنید. خطای نسبی و مطلق آزمایش را محاسبه کرده و دلایل خطای مشاهده شده را بنویسید.

منابع

- جامی الاحمدی، مینا (۱۳۹۶)، دستور کار آزمایشگاه شیمی فیزیک ۱، دانشگاه فرهنگیان مشهد.
- خورسندی طاسکوه، علی (۱۳۸۸)، تنوع گونه شناختی در آموزش و پژوهش میان رشته ای، فصلنامه مطالعات میان رشته ای در علوم انسانی، ۱(۴) ص ۸۳-۵۷.
- کلرک، جیمز. مک واری، دونکان (۱۳۹۴)، شیمی سبز و فناوری. جلد اول. ترجمه فهیمه ورمقانی. همدان: دانش مانا.
- ضیایی، طهماسبی (۱۳۸۷) دستور کار آزمایشگاه شیمی فیزیک ۱، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد.
- قریب، فرخ و شهین کوثری امین (۱۳۸۳)، آزمایشگاه شیمی فیزیک، مرکز چاپ و انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- مضطرزاده، فتح الله؛ واهاک مارقوسیان؛ صلاحی، اسماعیل (۱۳۷۸) در آمدی بر تعادل فازی در سرامیکها، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- Atkins, P.; Paula, J. (2006) Physical Chemistry, Eighth Edition, Oxford University press: Oxford.

- Benessam, S.; Khimeche, K.; Djellouli, F.; Benziane, M.; Dahmani, A. (2013) Phase diagram of ibuprofen with fatty acids, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 112 (1) 317-320.
- Costa, M. C.; Rolemberg, M.P.; Meirelles, A.J.A.; Coutinho, J.A.P; Krähenbühl, M.A. (2009) The solid–liquid phase diagrams of binary mixtures of even saturated fatty acids differing by six carbon atoms, *Thermochimica Acta* 496, 30–37.
- Costa, M.C.; Rolemberg, M.P.; Boros, L.A.D; Krähenbühl, M.A; Oliveira, M.G.; Meirelles, A.J.A (2007) Solid-liquid equilibrium of binary fatty acid mixtures, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 52, 130–36.
- Costa, M.C.; Sardo, M. ;Rolemberg, M.P.; Coutinho, J.A.P; Meirelles, A.J.A.; Ribeiro-Claro, P. (2019) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 100th Edition.
- Daniels, F.; Williams, J.W.; Bender. P.; Alberty, C.D. (1970) *Experimental Physical Chemistry*, 7th, McGraw-Hill: New York.
- Tamura, K; Kasuga, T.; Nakagawa, T. (2016) Phase behavior and solid–liquid equilibria of aliphatic and aromatic carboxylic acid mixtures, *Fluid Phase Equilibria*, 420, 24–29.
- Krähenbühl, M.A. (2009) The solid–liquid phase diagrams of binary mixtures of consecutive, even saturated fatty acids, *Chemistry and Physics of Lipids*, 160, 85-97.
- Gallus, J.; Lin, Q.; Zumbühl A.; Friess S. D.; Hartmann R. (2001) Physical Chemistry Laboratory, *Journal of Chemical Education*, 78, 961- 964.
- Maximo, G.J.; Costa, M.C.; Coutinho, j.A.P.; Meirelles; A.J.A. (2014) Trends and demands in the solid–liquid equilibrium of lipidic mixtures, *RSC Advances*, 4, 31840-31850.
- Shoemaker, D. P.; Garland, C. W.; Nibler, J. W. (1996) *Experiments in Physical Chemistry*, 6th; McGraw-Hill: New York.
- Sime, R.J. (1990) *Physical Chemistry: Methods, Techniques, and Experiments*, Holt Rinehart & Winston.
- Halpern, A. M. (1997) *Experimental Physical Chemistry: A Laboratory Textbook*, 2th; Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ.

- Madeleine, S.; (2013) Embedding Environmental Sustainability in the Undergraduate Chemistry Curriculum: A Case Study. *Journal of learning design*. 6, 20-33.
- Potong, W.; Sookkumnerd, T; Rattanaphanee, P. (2011) Analysis of Phase Transformation of Pure Fatty acids and Its Mixtures by Differential Scanning Calorimetry, *TICHe International Conference*, November 10 – 11, THAILAND.
- Williams, K. R.; Collins, S. E. (1994) The Solid-Liquid Phase Diagram Experiment: Updated for the Physical Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 71, 617– 620.



Designing a Green Experiment for the Physical Chemistry Lab-Simple Two-component Solid-liquid Phase Equilibrium System

Zahra Ahmadabadi ^{1*}, Mina Jami Alahmadi ²

^{1,2} Department of Chemistry, Farhangian University, Tehran, Iran

Abstract

Phase equilibrium systems are important topics in physical chemistry. As the practical training of phases contributes to a deeper understanding of this part of science, planning an agenda with a green chemistry approach and attention to human health is essential. In this study, a simple solid-liquid phase equilibrium system, palmitic acid - oleic acid, replaced the naphthalene - benzene or naphthalene - toluene system. This system not only can this system meet the educational goals of this department, but it also has the capability to recycle consumables and use waste as raw materials in other training laboratories. It is also affordable for an undergraduate training lab. From this simple experiment, the melting point of palmitic acid was 64° C and the melting enthalpy of this material was 40.69 kJ / mol. Compared to the actual values, due to the simple tools and the purity of the material used, it has an acceptable error percentage. It is noteworthy that the same uncertainty also is observed in the results of naphthalene-toluene system.

Keywords: Solid-liquid equilibrium, Palmitic acid, Oleic acid, Phase diagram.

*Corresponding Author: (✉ z_ahmadabadi@yahoo.com)