



## غلظت‌سازی ترکیبات آلی فرار از مایعات خالص در فاز گازی

امیرعباس مفیدی<sup>۱</sup>، حسن اصیلیان<sup>۲</sup>، احمد جنیدی جعفری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۷/۱۹

تاریخ ویرایش: ۹۱/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۱۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** تولید بخارات با غلظت ثابت از مایعات آلی خالص در مطالعات میدانی و آزمایشگاهی بهداشتی و سم‌شناسی و همچنین کالیبراسیون دستگاه‌های اندازه‌گیری بهداشت حرفه‌ای و محیط، کاربردهای فراوانی دارد. شناخت مزایا و معایب روش‌های مختلف غلظت‌سازی می‌تواند محقق را در راه‌اندازی یکی از مهم‌ترین بخش‌های مطالعه که همان غلظت‌سازی است یاری نماید. در این تحقیق ضمن بررسی روش‌های مختلف غلظت‌سازی به مقایسه دو روش و شناسایی عوامل تأثیرگذار در هر یک پرداخته شده است.

**روش بررسی:** به منظور ساخت غلظت‌های مشخص از استایرن، از دو سیستم تبخیری و تزریقی استفاده شد. در سیستم تبخیری با دمش هوا در بطری گاز شوی 250 ml در دو حالت نازل (در فاصله نزدیک از سطح مایع و در داخل مایع) غلظت‌های مورد نظر تولید شد و در سیستم تزریقی از یک دستگاه پمپ سرنگی (Graseby<sup>۳۱۰۰</sup>، ساخت شرکت Smiths) استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از هر دو سیستم با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار در ثبات غلظت هر یک از سیستم‌ها از جمله ثبات دما، میزان جریان، تعداد منافذ و موقعیت قرارگیری نازل مورد مقایسه قرار گرفت.

**یافته‌ها:** برای تولید غلظت 300 ppm از بخارات استایرن در رطوبت ۱۹٪، ضریب تغییرات غلظت‌های تولید شده در سیستم بابلر ۲/۸۶٪ و سیستم غلظت‌سازی پمپ سرنگی ۲/۰۱٪ محاسبه شد. زمان تقریبی ایجاد تعادل در سیستم غلظت‌سازی پمپ سرنگی در حدود ۶۰ دقیقه بود، این در حالی است که سیستم غلظت‌سازی تبخیری در حدود ۱۰۵ دقیقه به ثبات رسید. ضریب تغییرات غلظت‌های تولید شده در حالتی که نازل هوا در سطح مایع قرار دارد ۲/۵۲٪ و در شرایطی که نازل درون مایع قرار گیرد به ۱/۹۷٪ می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** مهم‌ترین فاکتور در دستیابی به غلظت ثابت، کنترل عوامل تأثیرگذار، از جمله دما و جریان می‌باشد. پایین‌تر بودن ضریب تغییرات غلظت‌های تولید شده در سیستم پمپ‌سرنگی نشان دهنده برتری این سیستم در مقایسه با سیستم غلظت‌سازی بابلر است که یکی از دلایل آن، عدم وابستگی سیستم تزریقی به سطح مایع درون ظرف است.

**کلیدواژه‌ها:** پمپ سرنگی، ترکیبات آلی فرار، دما، غلظت‌سازی دینامیک، غلظت‌سازی استاتیک، جریان هوا، میدجت ایمپینجر

### مقدمه

در تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی ساخت غلظت‌های معینی از گازها توسط مایعات خالص از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. ترکیبات آلی فرار (Volatile Organic Compound (VOC)، فراوان‌ترین ترکیبات موجود در اتمسفر می‌باشند [۱]. یکی از مهم‌ترین کاربردهای ساخت غلظت‌های مشخص از این ترکیبات استفاده در کالیبراسیون دستگاه‌های کاشف گازها و بخارات می‌باشد که همواره یکی از فعالیت‌های مشکل‌ساز به حساب می‌آید، چرا که تولید غلظت‌های مشخصی از آلاینده در هوا دارای حساسیت‌ها و

دشواری‌های خاصی می‌باشد [۲]. از جمله کاربردهای تهیه غلظت‌های مشخص از یک آلاینده می‌توان به بررسی میزان جذب و ترسیم ایزوترم، تعیین نقطه نشت (Breakthrough)، ایجاد غلظت استاندارد به منظور کالیبراسیون دستگاه‌های تجزیه به‌عنوان مثال (Gas chromatography) GC، کالیبراسیون و بررسی عملکرد سنسورهای ایمنی، کالیبراسیون دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا اشاره کرد [۳]. روش‌های غلظت‌سازی گازها به دو دسته غلظت‌سازی استاتیکی (Method Static) یا بچ (Batch) و غلظت‌سازی دینامیک یا جریان پیوسته (Dynamic Method)

۱- دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. asilia\_h@modares.ac.ir

۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

می توان از سایر محدودیت های این روش قلمداد کرد [۳]. در صورتی که لازم باشد از محفظه قابل انعطاف استفاده شود، می توان از کیسه های میلار<sup>۴</sup> یا کیسه های میلار آلومینیومی، تفلون و یا پلی اتیلن استفاده کرد. مزیت استفاده از ظروف قابل انعطاف این است که از تمام هوای داخل آن می توان استفاده کرد. استفاده از کیسه های پلی اتیلن راحت و ساده بوده ولی مشکل آن جذب سطحی آلاینده ها بر روی دیواره ها می باشد. همچنین برخی از آلاینده ها می توانند از دیواره های محفظه به بیرون نشت کنند. کیسه های میلار و میلار آلومینیومی نفوذپذیری کمتری دارد. دلیل آن هم نداشتن خاصیت الاستیک است. استفاده از این کیسه ها مزیت دیگری نیز دارد و آن ثابت بودن حجم محفظه است [۴].

### سیستم های دینامیک

همان طور که اشاره شد، در مقابل روش غلظت استاتیک روش غلظت سازی با استفاده از جریان دینامیک گاز وجود دارد. اگرچه استفاده از این گونه سیستم ها پیچیده تر و پرهزینه تر از روش های استاتیک می باشد، اما مزایای زیادی نیز به همراه دارد که از آن جمله می توان به قابل نظر بودن تأثیر جذب سطحی و کندانس شدن مواد بر روی دیواره ها، در شرایطی که سیستم به حالت تعادل پایدار رسیده باشد اشاره کرد. سایر مزایای این گونه سیستم ها عبارتند از: امکان تولید گاز با غلظت های مشخص بدون محدودیت حجمی و رقیق سازی پیوسته که امکان تولید طیف وسیعی از غلظت ها را فراهم می کند. همچنین در این سیستم ها امکان کنترل گرمایی، رطوبت و تولید فلوهای مختلف وجود دارد [۳].

در سیستم های دینامیک به منظور دستیابی به غلظت های مورد نظر می باید میزان جریان آلاینده و میزان جریان هوای تمیزی که وارد سیستم می شود را به دقت کنترل کرد. سیستم های دینامیک جریان پیوسته

تقسیم بندی می شوند [۴]. در سیستم های استاتیک، غلظت مشخصی از گاز و هوا با یکدیگر مخلوط شده تا در نهایت غلظت مشخصی از آلاینده تولید می شود. در حالی که در سیستم دینامیک گاز و هوا به طور پیوسته با نسبت های مشخص با یکدیگر مخلوط شده و غلظت های مورد نظر را تولید می کنند. دو محدودیت عمده سیستم غلظت سازی استاتیک عبارتند از دست رفتن بخشی از بخارات به دلیل جذب سطحی و محدود بودن حجم گاز تولید شده. روش دینامیک محدودیت های روش استاتیک را نداشته و می تواند حجم های نامحدودی از آلاینده ها را تولید نماید. همچنین پس از به تعادل رسیدن سیستم های دینامیک می توان از اثر جذب سطحی چشم پوشی کرد [۴].

### سیستم های استاتیک

اساس روش های استاتیک را تزریق مایع و یا بخار در یک محیط سربسته و اضافه کردن یک گاز رقیق کننده به آن تشکیل می دهد [۳]. در واقع در سیستم های بچ مقدار مشخص از یک ماده در داخل یک محفظه ریخته می شود سپس با استفاده از مقدار مشخصی از هوای تمیز این ماده رقیق سازی شده و به غلظت مورد نظر می رسد. این محفظه می تواند سخت<sup>۱</sup> یا قابل انعطاف<sup>۲</sup> باشد [۴]. ظروف مورد استفاده می تواند فلزی، شیشه ای و گاهی اوقات پلاستیکی باشد. بنابراین تولید گاز با این روش نیاز به تجهیزات پیشرفته آزمایشگاهی نداشته و با وسایل ساده و ارزان قیمت نیز می توان آن را تولید نمود [۳].

یکی از محدودیت های اصلی این روش جذب سطحی یا کندانس<sup>۳</sup> شدن مواد بر روی دیواره های ظروف به حساب می آید. بنابراین در غلظت های بالا غلظت موجود داخل ظروف خیلی قابل اعتماد نخواهد بود. محدودیت دیگر این روش، محدودیت حجمی گاز تولید شده در هر مرحله می باشد. همچنین ایجاد نشت و تغییرات فشار را

<sup>۱</sup>. Rigid

<sup>۲</sup>. Flexibale

<sup>۳</sup>. Condense

<sup>۴</sup>. Mylar

سرنگ، محدود بودن ظرفیت سرنگ و خالی شدن آن می‌باشد که باعث می‌شود همیشه نیاز به پر کردن مجدد آن وجود داشته باشد.

### روش نفوذ

روش نفوذ بر پایه قانون فیک<sup>۱۲</sup> می‌باشد. بر اساس این قانون نفوذ یک ماده در یک ماده دیگر نسبتی است از تفاوت غلظت دو طرف در ثابت تناسب  $k$  که این ثابت به ویژگی‌های ماده بستگی دارد. به عبارت دیگر:

$$J = -D \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه  $J$  شدت تراوش،  $D$  ضریب تراوش،  $\phi$  میزان غلظت در واحد حجم و  $x$  طول است [۵]. در این روش بخاری که از مایع ایجاد می‌شود توسط یک غشا انتشار پیدا می‌کند. در میان روش‌های مختلف استفاده از لوله‌های نفوذ کننده پر استفاده‌ترین روش به حساب می‌آید. لوله‌های نفوذ کننده از مواد پلیمری ساخته می‌شوند که مایع در داخل آن‌ها ریخته می‌شود. در صورتی که دمای لوله‌های نشر کننده در یک حد ثابت باقی بماند، میزان انتشار آن‌ها نیز ثابت می‌ماند. این لوله‌ها به‌عنوان منابع پایدار برای تولید بخارات شناخته می‌شوند. برای حصول غلظت‌های مورد نظر، بخارات تولید شده از این لوله‌ها توسط هوای تمیز، رقیق‌سازی می‌شوند. فاکتورهایی از قبیل دمای محفظه، طول لوله و مواد سازنده، ضخامت دیوارها بر میزان نشر این لوله‌های تأثیرگذار است. لذا به‌منظور ایجاد غلظت‌های مختلف می‌توان هر یک از این پارامترها را تغییر داد. مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر عملکرد لوله‌های نفوذ کننده، دما است. مطالعات نشان داده‌اند که به ازای  $[1k]$  تغییر، میزان نفوذ ۱۰٪ تغییر می‌کند [۶]. بنابراین در این روش به منظور دستیابی به غلظت دقیق و صحیح گاز لازم است که سیستم کنترل گرمای دقیق داشته باشیم.

جریان دایمی و پیوسته‌ای از آلودگی را در مدت زمان کوتاهی ایجاد می‌کند. این‌گونه سیستم‌ها هم برای گازها و هم برای مایعات قابل استفاده می‌باشد. البته در سیستم‌های رقیق کننده بخار مایعات می‌باید تدابیری برای بخار کردن مایع به کار بسته شود. چرا که در این حالت آلاینده در دمای معمول آزمایش به صورت مایع بوده و برای تولید غلظت‌های مشخص باید عملیات تبخیر صورت پذیرد [۴]. روش‌های مختلفی برای تولید دینامیک غلظت‌های مشخصی از بخارت وجود دارد. هر کدام از این روش‌ها با بهره‌گیری از یک سری قوانین فیزیکی غلظت‌های مشخصی از آلاینده را می‌توانند تولید نمایند. چند نوع معروف و پرکاربرد از این روش‌ها عبارتند از: روش تزریق<sup>۵</sup>، روش نفوذ<sup>۶</sup>، روش انتشار<sup>۷</sup>، روش تبخیر<sup>۸</sup> [۳].

### روش تزریق

در این روش، به منظور تهیه غلظت‌های مختلف گاز به روش دینامیک، مایع مورد نظر به داخل محفظه حاوی گاز رقیق کننده تزریق می‌شود. برای انجام این کار تجهیزات مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به سرنگ معمولی، سرنگ‌های موتوری و پمپ‌های سرنگی<sup>۹</sup> اشاره کرد. در سیستم‌های تزریق به منظور تهیه غلظت‌های مختلف می‌توان جریان‌های مختلفی از گاز رقیق کننده را مورد استفاده قرار داد. به منظور تبخیر تمامی مایعی که قرار است به داخل گاز رقیق کننده تزریق شود، از وسیله‌ای جهت اسپری کردن<sup>۱۰</sup> و یا هیتر استفاده می‌شود. سیستم گرمایش مانع از کندانس شدن بخارات می‌شود. به‌منظور یکنواخت‌سازی غلظت و جلوگیری از تغییرات آن، معمولاً می‌باید از یک محفظه اختلاط<sup>۱۱</sup> استفاده نمود. یکی دیگر از محدودیت‌های استفاده از روش تزریق با

5. Injection
6. Permeation
7. Diffusion
8. Evaporation
9. Syring Pump
10. Atomizer
11. Mixing Chamber

12. Fick'S Law

قابل استفاده بوده و کاربردهای فراوانی دارد. البته برای ایجاد ترکیبات چند جزئی نمی‌توان از یک ظرف استفاده کرد، بلکه می‌باید چندین ظرف را همزمان مورد استفاده قرار داد و هر یک را با ماده‌های خالص پر کرد. یکی از معایب این روش، طولانی بودن زمان لازم برای ایجاد تعادل است.

### روش تبخیر

روش تبخیر یکی از ساده‌ترین روش‌های غلظت‌سازی است [۳]. در زمینه سیستم‌های ساخت بخارات از مایعات سیستم‌های بابلر به خوبی شناخته شده هستند. بیشتر سیستم‌های مورد استفاده نیز از این مفهوم استفاده می‌کنند [۸]. در این روش از یک گاز رقیق کننده به منظور ایجاد حباب در داخل مایع و یا عبور گاز از سطح مایع استفاده می‌شود. ی که قرار است بخارات آن تولید شود درون ظرفی به نام بابلر ریخته می‌شود. فشاری که در داخل بابلر ایجاد می‌شود به دمای آن بستگی دارد. وابستگی بسیار زیادی بین فشار بخار و دما وجود دارد. در نتیجه شدت بخارات تولید شده نیز به شدت به تغییر دما وابسته می‌باشد [۸]. در مقالات توصیه شده است که میزان جریان گاز باید به قدری کم باشد که غلظت گاز به حد اشباع برسد [۶، ۹]. بخارات به‌دست آمده از روش اشباع بخار<sup>۱۷</sup> می‌تواند توسط گاز رقیق کننده رقیق تر شود و یا ممکن است توسط یک مبدل گرمایی خنک شود تا غلظت آن پایین بیاید. روش تبخیر روشی ارزان قیمت است و زمان به تعادل رسیدن آن نسبت به روش‌های نفوذ و انتشار کمتر است. علاوه بر این، امکان مرطوب کردن هوا نیز وجود دارد [۳].

در این مطالعه به ساخت آزمایشگاهی غلظت‌های مشخصی از ترکیبات آلی فرار اقدام شده و ابعاد مختلف غلظت‌سازی دینامیک به روش اشباع بخار و روش تزریق مقایسه شده است. برای ساخت غلظت‌ها از دو سیستم غلظت‌سازی یعنی سیستم بابلر و پمپ سرنگی استفاده شده است و عوامل تأثیرگذار در ثبات غلظت هر

به منظور دستیابی به غلظت‌های مختلف می‌توان نسبت‌های مختلف از گاز رقیق کننده را مورد استفاده قرار داد.

روش نفوذ برای بسیاری از ترکیبات قابل استفاده می‌باشد. از این روش می‌توان برای ایجاد غلظت‌های مشخصی از گازهای قابل کندانس شدن، گازهای دایمی، مایعات، جامدات تصعیدشونده و بسیاری از ترکیبات نیمه فرار دیگر استفاده کرد. سیمونتا و همکاران در مطالعه‌ای اقدام به ساخت لوله‌های منتشر کننده از جنس پلی تترافلوئورواتیلن<sup>۱۳</sup> کردند و ترکیبات BTEX<sup>۱۴</sup> را در آن مورد بررسی قرار دادند. پلی تترافلورواتیلن PTFE یک ترموپلاستیک پلیمری سفید رنگ و پرکاربرد می‌باشد که با نام تجاری تفلون<sup>۱۵</sup> شناخته می‌شود. یکی از ویژگی‌های مهم این ماده تخلخل و اصطکاک<sup>۱۶</sup> پایین آن می‌باشد [۷]. در این مطالعه تأثیر پارامترهای مختلف از جمله دما بر روی تغییرات غلظت مورد بررسی قرار گرفته است. سیمونتا و همکاران اعلام کردند روش نفوذ روشی مؤثر و دقیق برای تهیه غلظت‌های پایین گازها در حد غلظت‌های چند ppm و چند ppb است. از جمله محدودیت‌هایی این روش زمان تعادل طولانی، هزینه بالا و عدم امکان متوقف کردن نفوذ است [۶].

### روش انتشار

اساس این روش، انتشار بخارات مایع ریخته شده در یک محفظه، از طریق لوله موئین است. عوامل تأثیرگذار بر مقدار انتشار عبارتند از دما، فشار، گرادیان غلظت، طول و قطر لوله موئین و میزان جریان گاز رقیق کننده. در این روش تغییر (°C) ۱ در دمای آزمایش می‌تواند غلظت را تا ۵٪ تغییر دهد. روش انتشار این مکان را فراهم می‌کند که غلظت‌های در حد (ppm) ۱۰۰-۱/۰ را تهیه نماییم. این روش برای طیف وسیعی از ترکیبات

13. Polytetrafluoroethylene (PTFE)

14. Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylenes

15. Teflon

16. Coefficient of Friction

17. Saturated Vapour

استفاده از یک کپسول هوای خشک آزمایشگاهی تأمین می‌شود. هوای خشک پس از عبور از یک روتامتر کالیبره شده در یک سه راهی به دو بخش تقسیم می‌گردد. یکی از انشعابات به سمت سیستم رطوبت‌دهی قابل تنظیم رفته و قسمت دوم به سمت بابلر حاوی ترکیب آلی فرار هدایت می‌شود. انشعاب اول پس از تنظیم رطوبت، به یک روتامتر کالیبره شده (L) ۲ وارد می‌شود و پس از تنظیم دقیق جریان به محفظه یکنواخت‌سازی غلظت وارد می‌گردد. این محفظه به ظرفیت (L) ۳ و از جنس پیرکس (ساخت شرکت شات دوران<sup>۲۱</sup> آلمان) می‌باشد. قسمت دوم جریان هوا وارد روتامتر کالیبره شده دیگری به ظرفیت (ml) ۱۰۰ می‌گردد و پس از تنظیم شدت جریان به داخل بطری گازشوی وارد می‌شود و پس از برخورد با مایع به‌طور آهسته به سمت بالا حرکت کرده و از بطری گاز شوی خارج می‌شود. بخارات تولید شده در ادامه توسط لوله‌ای کوتاه به محفظه اختلاط و یکنواخت‌سازی غلظت وارد می‌شود. طول این لوله تا جایی که امکان دارد باید کوتاه در نظر گرفته شود، زیرا در غلظت‌های بالا میزان جذب سطحی افزایش می‌یابد. برای بستن در محفظه یکنواخت‌سازی غلظت به جای سپتوم‌های متداول لاستیکی، از یک درب شیشه‌ای استفاده شد. از آنجاییکه تمایل جذب سطحی ترکیب مورد استفاده روی سطوح بالا بود، با ساختن یک در شیشه‌ای (مشابه سپتوم)، تلاش شد تا میزان خلل و فرج سطوح به حداقل مقدار برسد، چرا که میزان خلل و فرج پیرکس خیلی کمتر از سپتوم‌های پلاستیکی و چوبی موجود در بازار است. همچنین به‌منظور کمک به اختلاط این دو جریان ساختار ورودی‌ها به صورتی که در شکل-۱ نمایش داده شده است طراحی شد. در این ساختار محفظه دارای دو لوله ورودی و یک لوله خروجی می‌باشد که به‌طور کامل از جنس پیرکس ساخته شده است. لوله ورودی گاز نازک‌تر از لوله هوا بوده و در داخل آن قرار داده می‌شود. این مکانیزیم باعث بهبود

یک از سیستم‌ها از جمله ثابت دما، میزان جریان، شکل نازل، تعداد منافذ نازل، موقعیت قرار گیری سرسرنگ و غیره مورد بررسی قرار گرفته است.

### روش بررسی

ترکیب آلی فرار مورد استفاده استایرن مونومریک<sup>۱۸</sup> ( $C_6H_5CH=CH_2$ ) (ساخت شرکت مرک، آلمان) بود. نام دیگر این ترکیب وینیل بنزن<sup>۱۹</sup> است. استایرن یک ترکیب آلی فرار روغنی بی‌رنگ و بی‌بو بوده و از جمله مهم‌ترین موادی است که در صنایع پلاستیک و لاستیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. دانسیته این مایع  $909 \text{ Kg/m}^3$  بوده و جرم مولی آن  $104/15 \text{ (gr/mol)}$  است [۱۰]. نقطه جوش این ماده  $145^\circ\text{C}$  و فشار بخار آن در دمای اتاق ( $25^\circ\text{C}$ )  $4/5$  میلی متر جیوه می‌باشد. بر اساس تعریف ارائه شده توسط اتحادیه اروپا هر ترکیب آلی که در فشار اتمسفریک استاندارد  $101/3 \text{ (KPa)}$  دمای جوش کمتر یا مساوی  $125^\circ\text{C}$  داشته باشد ترکیب آلی فرار شناخته می‌شود [۱۱]. از این رو ماده به شدت فرار به حساب می‌آید.

### مکانیزیم غلظت‌سازی با سیستم بابلر: در این

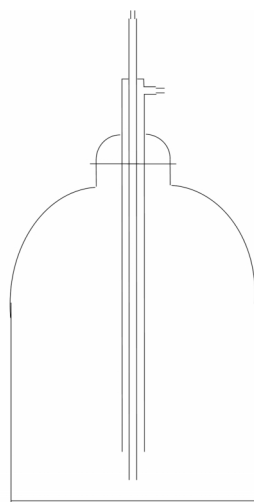
سیستم به منظور ایجاد غلظت‌های ثابتی از بخارات ترکیبات آلی فرار و اشباع بخارات از یک بطری گاز شوی<sup>۲۰</sup> (SIBATA، ساخت تایوان) استفاده شد. قسمت فوقانی این گاز شوی در اشکال مختلف در شیشه‌گری ساخته شد. طول لوله گاز شوی و تعداد منافذ آن بسته به نیاز تنظیم گردیده و به دو حالت با مایع تماس پیدا می‌کرد. در حالت اول لوله هوا در فاصله نزدیکی از سطح مایع قرار گرفته و هوای خارج شده از لوله به سطح مایع برخورد می‌کند و در حالت دوم لوله هوا به داخل مایع فرو رفته و در آن حباب ایجاد می‌کند. مدار مورد استفاده در سیستم بابلر در شکل-۲ نمایش داده شده است. در این سیستم جریان هوای مورد

<sup>18</sup>. Monomeric Styrene

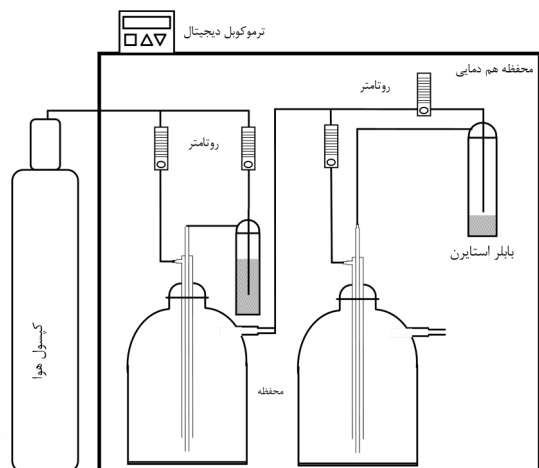
<sup>19</sup>. Vinyl Benzene

<sup>20</sup>. Gas Washing Bottle

<sup>21</sup>. Schott Duran



شکل ۱- محفظه اختلاط و نحوه قرار گیری لوله های اختلاط



شکل ۲- مدار سیستم غلظت ساز بخارات توسط بابلر

اختلاط دو جریان می شود زیرا زمانی که بخارات از لوله میانی خارج می شوند توسط چتری از هوا که اطراف آن را احاطه کرده اند، پوشانده شده و اختلاط صورت می پذیرد.

با توجه به رابطه آنتونی<sup>۲۲</sup> فشار بخار مایعات به دمای آن ها وابسته است و با توجه به تأثیرپذیر بودن تبخیر سطحی از فشار بخار، در این مطالعه کلیه ظروف و رباطها در داخل یک باکس<sup>۲۳</sup> هم دمایی قرار داده شد. برای ساخت این محفظه از ورق های پلکسی گلاس<sup>۲۴</sup> به ضخامت ۱ (cm) استفاده شد. این ورق ها مقاومت مکانیکی مناسبی دارند که امکان ساخت که محفظه در لولا دار را فراهم می نماید. برای کنترل دمای محفظه از یک ترموستات و هیتر استفاده شد. طوری که با کاهش دمای محفظه از  $25^{\circ}\text{C}$ ، ترموستات فرمان روشن شدن هیتر را صادر می نمود. همچنین به منظور اطمینان از صحت کارکرد سیستم دمای محفظه توسط یک دماسنج الکلی که درست در وسط محفظه نصب شده بود کنترل می شد. به منظور کنترل دمایی ظرف استایرن از یک دستگاه ترمومتر- ترموستات دیجیتال با حساسیت بالا (TMC 101، ساخت شرکت پویش) استفاده شد. میزان صحت نمایشگر این دستگاه در حد ۵ درصد یعنی یک رقم دیجیتال بود. به منظور کنترل گرمایی، سنسور حرارتی مماس به بدنه ظرف حاوی استایرن قرار گرفت. با کاهش دمای ظرف از  $25^{\circ}\text{C}$  سنسور (با ضریب حساسیت ۰/۱) به سرعت عمل می کرد و یک منبع حرارتی با توان ۴۰W را که به صورت نواری دور ظرف پیچیده شده بود را روشن می کرد. با افزایش دما سنسور پیام را به ترموستات دیجیتال منتقل می کرد و منبع حرارتی خاموش می شد. ترمومتر- ترموستات دیجیتال قابلیت تنظیم درجه حرارت های مختلف و میزان حساسیت های مختلف را داشت طوری که حساس ترین شرایط آن پاسخ گویی به ازای  $0/1^{\circ}\text{C}$  اختلاف نسبت به شرایط تنظیم شده

بود، که در این حالت منبع حرارتی در هر دقیقه چند بار خاموش و روشن می شد. علت استفاده از منبع حرارتی با توان پایین این بود که پس از قطع جریان، گرمای باقی مانده در بدنه منبع به حدی نباشد که باعث افزایش دما به بیش از مقدار مورد نظر شود. همچنین سیستم ترموکوبل دیجیتال مورد استفاده به مکانیزم PID<sup>۲۵</sup> مجهز بود. این مکانیزم به طور گسترده ای در سیستم های کنترل صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. در این مکانیزم تفاوت بین مقدار اندازه گیری شده و

<sup>22</sup>. Antoine Equation

<sup>23</sup>. Box

<sup>24</sup>. Plexiglass Sheets

<sup>25</sup>. Proportional Integral Derivative

از پمپ سرنگی استفاده شده است. در این سیستم جریان هوا به سمت پمپ سرنگی رفته و در آنجا با قطرات خارج شده از سر سوزن پمپ سرنگی درگیر می‌شود. همچنین به منظور ایجاد غلظت‌های یکنواخت، مقداری الیاف پشم شیشه در مقابل سوزن سرنگ قرار گرفت. قسمت دیگر هوای تمیز که از سه‌راهی جدا شده بود به سمت روتامتر دیگری رفته و پس از تنظیم فلو به محفظه غلظت‌سازی مشابه شکل ۱- وارد می‌شد. در این محفظه بخارات آلاینده تولید شده از پمپ سرنگی توسط جریان مشخصی از هوای تمیز رقیق‌سازی می‌شد و به غلظت مورد نظر می‌رسید.

به منظور وارد کردن سرعت تزریق دستگاه، ابتدا محاسبات حجم استایرن مورد نیاز در دقیقه انجام شد و نزدیک‌ترین عدد به عدد به دست آمده، به دستگاه داده شد. در نهایت برای غلظت‌سازی دقیق و رساندن غلظت به عدد مورد نظر از تنظیم نسبت هوای تمیز و هوایی اشباع‌شده استفاده شد.

بر اساس رابطه ۲ برای ایجاد غلظت (ppm) ۳۰۰ استایرن در یک متر مکعب، به (gr) ۱/۲۷۷ استایرن نیاز می‌باشد [۱۳]. با داشتن دانسیته استایرن ساخت شرکت مرک حجم متناظر (ml) ۱/۴ به ازای یک متر مکعب هوا به دست می‌آید، یعنی (ml)  $10^{-3} \times 1/4$  به ازای هر لیتر هوا. با توجه به اینکه نرخ تزریق پمپ سرنگی بر اساس مقدار تزریق در ساعت قابل تنظیم می‌باشد، این حجم می‌باید به حجم مورد نیاز در ساعت تبدیل می‌شد. دبی مورد استفاده (Lit/min) ۱ بود که در نهایت مقدار نهایی (ml/hr)  $10^{-3} \times 84$  محاسبه شد.

$$C(\text{Mg.M}^{-3}) = \frac{M \times C(\text{PPM})}{24.45} \quad \text{رابطه ۲}$$

اما از آنجا که کمترین مقدار قابل تنظیم پمپ سرنگی مورد استفاده (ml/hr) ۰/۱ بود، به منظور دستیابی به غلظت مورد نظر رقیق‌سازی توسط هوای اضافی صورت پذیرفت.

مقدار مورد نظر به طور دایم سنجیده می‌شود و متناسب با این مقدار تفاوت، دستور صادر می‌شود. به عنوان مثال در این سیستم جریان برق هیتر وصل می‌شود. به منظور جلوگیری از عبور از نقطه مورد نظر، سیستم به‌طور هوشمند شیب افزایش دما را محاسبه کرده و پیش از رسیدن به نقطه مورد نظر جریان هیتر را قطع می‌کند [۱۲]. سیستم با کمک این مکانیزیم مانع از افزایش دما به بیش از مقدار مطلوب می‌شود. به منظور حداقل کردن تعداد دفعات روشن و خاموش شدن سیستم، دور محفظه توسط یک عایق حرارتی به طور کامل پوشیده شده بود. آزمایشگاه به سیستم خنک‌کننده گازی مجهز بود و دمای محیط همیشه کمتر از (°C) ۲۴ قرار داشت. به منظور اطمینان از صحت کارکرد سیستم از سه دماسنج الکلی که یکی به جداره خارجی ظرف مایع، درست در کنار سنسور ترموکوبل و دیگری در داخل محفظه و سومی در بیرون باکس هم‌دمایی قرار داشت استفاده شد. با این کار دمای بیرون محفظه و صحت عدد نمایش داده شده توسط ترموکوبل دیجیتال به طور پیوسته چک می‌شد.

**مکانیزم سیستم غلظت‌سازی با پمپ سرنگی:** برای غلظت‌سازی با مکانیزیم تزریق از یک دستگاه پمپ سرنگی (Graseby 3100)، ساخت شرکت Smiths) استفاده شد. ظرفیت سرنگ مورد استفاده در این آزمایش متناسب با نوع دستگاه (ml) ۵۰ انتخاب شد. به منظور تهیه غلظت‌های مورد نیاز سوزن سرنگ متصل به پمپ سرنگی در یک سه‌راهی قرار داده شد و جریان آرام هوا از روی آن عبور داده می‌شد. با توجه به نیاز به یک سرسرنگ بلند از یک سرنگ به طول (mm) ۹۰ استفاده شد. مدار آزمایش مورد استفاده برای غلظت‌سازی تزریقی در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که در طرح شماتیک نیز مشاهده می‌شود، در این سیستم نیز هوای خشک و پاک ورودی از کپسول هوای خشک تأمین می‌شود. سیستم رطوبت‌زنی و انشعابات مورد استفاده در این سیستم مشابه سیستم بابلر می‌باشد و تنها به جای استفاده از بطری گاز شوی

شکل-۴ نشان داده شده است. میانگین غلظت‌های تولید شده در سیستم غلظت‌سازی با بلر (ppm) ۳۰۰ و ضریب تغییرات آن ۲/۸۶ درصد می‌باشد. در شرایطی که نازل هوا در سطح مایع قرار گرفته باشد، با افزایش زمان تست به دلیل کاهش سطح مایع موجود در ظرف، میزان غلظت به تدریج کاهش می‌یابد.

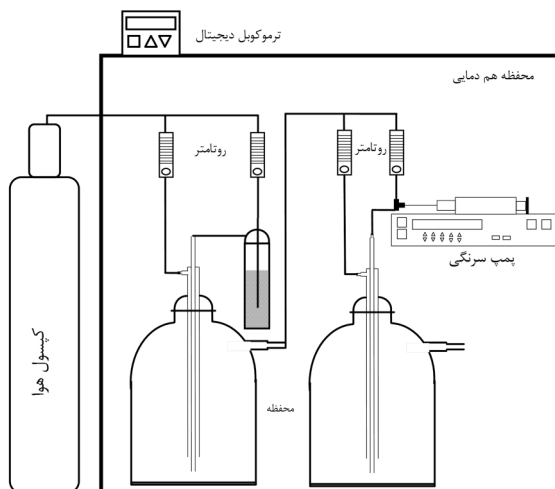
متوسط غلظت تولید شده در سیستم غلظت‌ساز پمپ سرنگی در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در آزمایشی مشابه حالت قبل میانگین غلظت‌های تولید شده در سیستم غلظت‌ساز تزریقی (ppm) ۳۰۰ ضریب تغییرات غلظت‌های ساخته شده ۲/۰۱ درصد است. داده‌های به‌دست آمده نشان می‌دهد تغییرات غلظت در این سیستم وابسته به زمان انجام تست نبوده و با گذشت زمان، انحراف معیار غلظت تغییر قابل توجهی نشان نمی‌دهد.

### بحث و نتیجه گیری

برات و همکاران در مطالعه خود اعلام کردند دقت روش غلظت‌سازی تبحیری در حدود ۱۵-۵ درصد می‌باشد. همچنین با بررسی عوامل تأثیرگذار بر غلظت، عمده‌ترین دلایل نوسانات غلظت را تغییرات دما و سیستم رقیق‌سازی اعلام کردند. همچنین در این مطالعه اعلام کردند که نوسانات غلظت به فشار بخار مورد استفاده نیز بستگی دارد و هرچه فشار بخار یک مایع کمتر باشد میزان نوسانات غلظت آن کمتر می‌شود [۱۴].

هری و همکاران با بررسی سیستم غلظت‌سازی تزریقی اعلام کردند که دقت این روش در حدود ۹-۵ درصد می‌باشد و نوسانات غلظت تحت تأثیر دقت تزریق آلاینده می‌باشد. همچنین اعلام کردند که غلظت‌سازی همزمان چند آلاینده با سیستم غلظت‌سازی تزریقی دقت یک آلاینده خالص را ندارد [۱۵].

همچنین دو سیستم غلظت‌سازی از لحاظ زمان رسیدن به تعادل نیز مورد مقایسه قرار گرفتند. زمان تقریبی ایجاد تعادل در سیستم غلظت‌سازی پمپ سرنگی در حدود ۶۰ دقیقه می‌باشد، این در حالی است



شکل ۳- مدار سیستم غلظت ساز بخارات توسط پمپ سرنگی

### روش آنالیز استایرن

مقادیر غلظت استایرن در خروجی محفظه یکنواخت‌ساز در فواصل زمانی ۱۵ دقیقه توسط دستگاه قرابت مستقیم کالیبره شده کوچک<sup>۲۶</sup> (مدل ۵۰۰۰، ساخت کشور انگلستان) که با روش آشکارسازی یون‌ها PID<sup>۲۷</sup> کار می‌کند، اندازه‌گیری و ثبت شد. به‌منظور اطمینان از داده‌های به‌دست آمده، هر یک از اندازه‌گیری‌ها حداقل سه بار تکرار شد. همچنین به‌منظور اطمینان از صحت داده‌های اندازه‌گیری شده از دستگاه گاز کروماتوگرافی (Philips PU-4410) مجهز به دتکتور FID استفاده شد. ستون مورد استفاده در دستگاه از نوع پک<sup>۲۸</sup> (طول ۱/۵ متر و قطر ۴ میلی‌متر) بود و برای تجزیه، از متد استاندارد ۸۹ سازمان OSHA<sup>۲۹</sup> با برنامه دمایی (۲۰۰°C) برای اینجکتور و (۳۰۰°C) برای دتکتور و (۱۰۰°C) برای ستون استفاده شد. گاز حامل مورد استفاده گاز نیتروژن (۳۳ ml.min<sup>-1</sup>) بود.

### یافته‌ها

متوسط غلظت تولید شده در بازه زمانی ۳۰۰ دقیقه و میزان تغییرات غلظت در سیستم غلظت‌ساز با بلر در

<sup>26</sup> Phocheck

<sup>27</sup> Photo Ionisation Detector

<sup>28</sup> Packed

<sup>29</sup> Occupational Safety And Health Administration

جدول ۱- فشار و غلظت بخار اشباع استاین در دماهای مختلف

دما (°C)	۲۰	۲۵	۳۰
فشار بخار اشباع Bar	$6/466 \times 10^{-3}$	$8/715 \times 10^{-3}$	$11/63 \times 10^{-3}$
فشار بخار اشباع (mmHg)	۴/۸۳	۶/۵۳	۸/۷۲
بخار اشباع ۱ لیتر هوا (ppm)	۶۳۶۲	۹۵۳۳	۱۱۴۸۰

$$\log P = A - \frac{B}{C+T}$$

رابطه ۳

بر اساس این معادله در صورتی که دمای مایع استاین تغییر نماید فشار بخار آن بر اساس رابطه فوق تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در صورت تغییر فشار بخار، غلظت اشباع استاین نیز تحت تأثیر قرار گرفته و لذا تغییرات محسوس در غلظت خروجی احساس می‌شود. به منظور بررسی میزان وابستگی فشار بخار استاین به دما فشار بخار اشباع استاین و همچنین غلظت بخار اشباع بر حسب (ppm) در سه دمای مختلف محاسبه شده و در جدول ۱ نشان داده شده است. به این منظور پارامترهای رابطه آنتونی A, B, C از مطالعه چایاویچ<sup>۳۲</sup> برداشت شده است [۱۷].

همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیرپذیری فشار بخار از دما بسیار زیاد است و تنها با افزایش ۵k دما، از ۲۰ به ۲۵ فشار بخار ۱/۷ mmHg تغییر می‌کند و با افزایش دما از ۲۵ به ۳۰ فشار بخار ۲/۱۹ mmHg افزایش می‌یابد. این تأثیرپذیری نشان‌دهنده لزوم رعایت کنترل دمایی در مراحل غلظت‌سازی می‌باشد. به همین دلیل در این مطالعه با استفاده از سیستم کنترل دمایی، دمای سیستم تحت کنترل قرار گرفت.

شکل ۶ تغییرات غلظت‌های ساخته شده در سیستم بابلر را در دو وضعیت قرارگیری نازل نشان می‌دهد. در وضعیت اول نازل در فاصله کمی از سطح مایع قرار گرفته و در حالت دوم نازل در داخل مایع می‌باشد. نتایج بررسی‌های انجام شده در سیستم بابلر نشان داد در صورتی که نازل در داخل مایع قرار گیرد، غلظت‌های یکنواخت‌تری ایجاد می‌شود. اما در حالتی که جریان هوا

که سیستم غلظت‌سازی تبخیری بابلر در ۱۰۵ دقیقه به ثبات رسید که نشان‌دهنده کوتاه‌تر بودن زمان ایجاد تعادل در سیستم غلظت‌ساز تزریقی می‌باشد. علت این پدیده ممکن است مدت زمان لازم برای ایجاد تعادل دمایی در ظرف استاین و همچنین عدم وابستگی پمپ سرنگی به تعادل دمایی محفظه باشد.

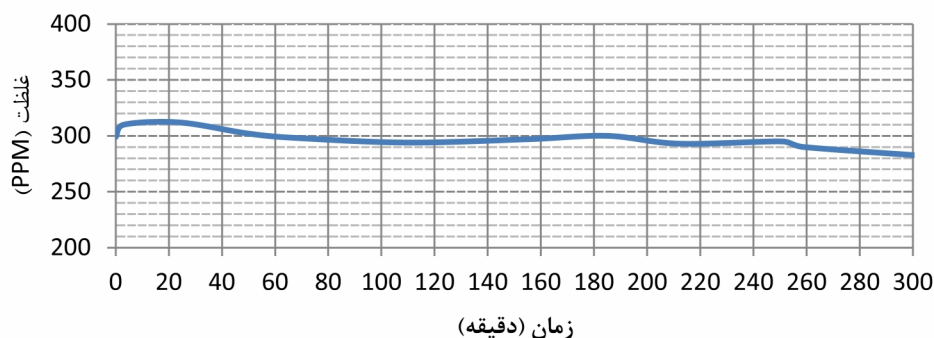
از آنجا که یکی از مهم‌ترین مواردی که در غلظت‌سازی باید مورد توجه قرار گیرد ثبات دما می‌باشد، در این مطالعه به منظور تثبیت غلظت، دما با استفاده از سیستم کنترل دمایی مورد استفاده قرار گرفت. چرا که فشار بخار یک مایع به دو فاکتور دما و نوع مایع بستگی دارد و با افزایش دما، افزایش می‌یابد. به تمایل یک ماده برای تبخیر شدن فراریت<sup>۳۰</sup> گفته می‌شود. نرخ تبخیر مایعات به فراریت وابسته است که رابطه مستقیمی با فشار بخار دارد. منظور از فشار بخار فشار جزئی اعمال شده توسط بخار موجود در سطح مایع می‌باشد که در هر دمایی از مایع به تعادل می‌رسد. هرچه فشار بخار یک مایع در دمای مشخص بالاتر باشد، تمایل آن برای تبدیل شدن به بخار بیشتر بوده و در نتیجه فراریت آن بالاتر می‌باشد [۵].

فشار بخار اشباع مایعات را می‌توان از طریق معادله آنتونی<sup>۳۱</sup> محاسبه نمود و یا به مراجع معتبر مراجعه نمود [۳]. معادله آنتونی [رابطه-۳] یک معادله فشار بخار به حساب می‌آید که در آن رابطه بین فشار بخار و دمای یک ماده خالص بیان می‌شود. این معادله از رابطه سلسیوس کلاپیرون مشتق شده است و دارای سه پارامتر ثابت A، B و C است [۱۶]:

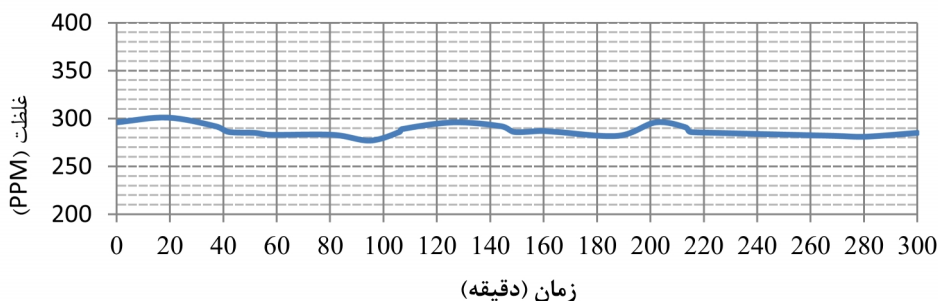
<sup>30</sup>. Volatility

<sup>31</sup>. Antoine Equation

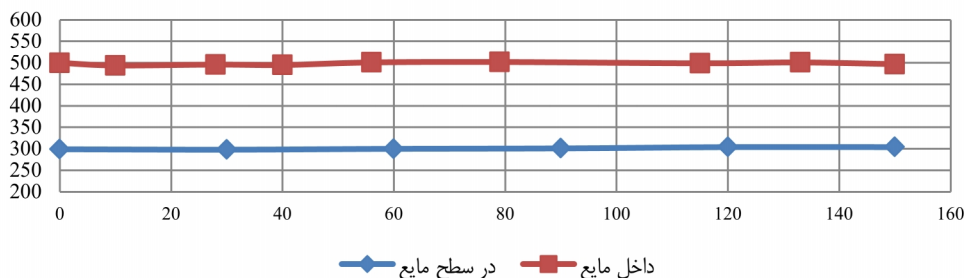
<sup>32</sup>. Chaiyavech



شکل ۴- میزان نوسانات غلظت در سیستم غلظت ساز تبخیری ( بابلر ) در مدت زمان ۳۰۰ دقیقه



شکل ۵- میزان نوسانات غلظت در سیستم غلظت ساز تزریقی در مدت زمان ۳۰۰ دقیقه



شکل ۶- تغییرات غلظت دو وضعیت قرارگیری نازل در سیستم غلظت‌سازی بابلر

دلایل بزرگ‌تر بودن ضریب تغییرات در حالتی که جریان هوا از سطح مایع عبور نماید، تأثیرپذیری بالایی سیستم از تغییرات دما است. از آنجا که نرخ تبخیر به شدت تحت تأثیر فشار بخار و دمای مایع است، کنترل این حالت نسبت به حالتی که نازل در داخل مایع قرار گرفته دشوارتر است. روش‌های غلظت‌سازی ارایه شده در این مطالعه، برای مصارف آزمایشگاهی بسیار مفید و کاربردی

به سطح مایع برخورد می‌کند غلظت‌های تولید شده نوسان بیشتری خواهند داشت. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، در آزمایشی که بیش از ۱۵۰ دقیقه به طول انجامید، ضریب تغییرات در حالتی که نازل در سطح مایع قرار داشت ۲/۵۲ درصد محاسبه شد و در شرایطی که نازل درون مایع قرار می‌گرفت به ۱/۹۷ درصد کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش نوسانات غلظت در حالت دوم است. به نظر می‌رسد یکی از

هوا و نحوه برخورد هوا و مایع در غلظت‌های تولید شده تأثیرگذار می‌باشد. بررسی تأثیر شکل نازل بر غلظت‌های تولید شده نشان داد شکل و قطر منافذ نازل تعیین کننده اندازه حباب‌های هوایی است که از نازل خارج می‌شوند. هرچه اندازه حباب‌ها کوچک‌تر باشد سطح تماس گاز و مایع بیشتر می‌شود و تعداد مولکول‌های آلاینده بیشتری هوابرد می‌شوند و غلظت افزایش می‌یابد.

سرعت هوایی که در سیستم بابلر به مایع برخورد می‌کند تعیین کننده زمان ماند و میزان اختلاط می‌باشد. افزایش سرعت هوایی که بر سطح مایع برخورد می‌کند باعث افزایش غلظت می‌شود اما در صورتی که سرعت جریان هوا افزایش یابد، تلاطم و افزایش نوسانات غلظت نیز افزایش می‌یابد.

نتایج استفاده از الیاف پشم شیشه در خروجی سر سرنگ سیستم غلظت‌سازی با پمپ سرنگی نشان داد این کار باعث می‌شود که غلظت‌های تولید شده نوسان کمتری داشته باشند. با پخش قطرات خارج شده بر روی الیاف سطح تماس هوا و آلاینده افزایش یافته و اختلاط بهتری صورت می‌پذیرد. در صورتی که از الیاف استفاده نشود بزرگ و کوچک شدن مداوم قطره ایجاد شده در سرسرنگ، می‌تواند باعث نوسان غلظت شود. همچنین نتایج نشان داد در این مرحله لازم است جریان هوا عبوری از روی الیاف تا حد ممکن آهسته باشد تا یک جریان یکنواخت لایه‌ای از روی الیاف عبور نماید.

همچنین محل قرارگیری نازل در پمپ سرنگی از اهمیت زیادی برخوردار است. در صورتی که محل قرارگیری سوزن باعث ایجاد جریان آشفته شود تغییرات نامنظم غلظت را خواهیم داشت. از این رو بهتر است سرسرنگ در مسیر جریان هوا قرار گیرد، به گونه‌ای که حداقل آشفته‌گی جریان ایجاد شود. زمان ایجاد تعادل در دو سیستم نزدیک به هم بود، ولی سیستم غلظت‌سازی تزریقی کمی سریع‌تر عمل می‌کرد. یکی از دلایل کند بودن سیستم غلظت‌سازی بابلر را می‌توان به زمانبر بودن تخلیه بخارات جمع شده در سطح مایع نسبت داد. همچنین زمان مورد نیاز برای ایجاد ثبات دمایی ظرف

می‌باشد. در این روش‌ها با وسایلی ساده و در دسترس می‌توان طیف وسیعی از غلظت‌های مختلف را تولید نمود. مهم‌ترین اصل در دستیابی به غلظت ثابت، کنترل فاکتورهای تأثیرگذار در تغییرات غلظت هر یک از سیستم‌ها است، که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به دما، میزان جریان و نرخ تزریق اشاره کرد. مکانیزیم غلظت‌سازی در سیستم بابلر بر اساس تبخیر سطحی ترکیبات آلی فرار است که روشی ارزان و در دسترس برای غلظت‌سازی به حساب می‌آید. از جمله مزایای این سیستم تولید پیوسته غلظت‌های مشخصی از گاز می‌باشد. ثبات غلظت‌های تولید شده در این روش به عوامل مختلفی بستگی دارد که باید به‌طور دقیق تنظیم و کنترل شوند. دستیابی به غلظت ثابت تنها در شرایطی میسر است که این پارامترها به‌طور دقیق کنترل شوند. یکی از مشکلات سیستم بابلر کاهش سطح مایع درون آن می‌باشد. تغییرات غلظت بسته به اینکه لوله هوا در داخل مایع قرار گرفته و یا در سطح مایع باشد، نتایج متفاوتی خواهد داشت. در صورتی که نازل در داخل مایع قرار گیرد، با کاهش ارتفاع مایع فشار هیدرواستاتیکی<sup>33</sup> کاهش یافته و هوای بیشتری از طریق نازل‌ها وارد مایع می‌شود و غلظت افزایش می‌یابد. اما در حالتی که نازل بر روی سطح مایع قرار دارد با کاهش سطح مایع فاصله از نازل افزایش یافته و تبخیر سطحی و در نهایت غلظت کاهش می‌یابد.

با توجه به کاهش تدریجی سطح مایع در سیستم غلظت‌سازی تبخیری، احتمال ثبات غلظت در زمان‌های طولانی دور از انتظار است، چرا که کاهش سطح مایع درون بابلر بر روی غلظت نهایی تأثیرگذار خواهد بود. این مسئله نیاز به استفاده از یک مخزن خود تأمین، که بتواند سطح مایع را همواره در محدوده خاص ثابت نگه دارد را بیشتر روشن می‌کند. این در حالی است که در سیستم غلظت‌سازی با پمپ سرنگی این مشکل وجود نداشته و تا زمانی که در سرنگ مایع وجود داشته باشد، غلظت‌سازی انجام می‌شود. در سیستم بابلر شکل نازل

<sup>33</sup> - Hydrostatic Pressure

Styrene. Water. 1993.

11. European Union. Directive 2004/42/Ce of the european parliament and of the council of 21 april 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products eur-lex. 2010.

12. Dingu Xu, Yangquan Chen Ad. Linear feedback control, pid controller design [Internet]. In: Response. 2007. P. 183-184. Available from: Www.Siam.Org/Catalog

13. Cherrie Jw, Howie Rm, P Gi, Hyg Do, Semple S, Cherrie Jw, Et Al. Monitoring For Health Hazards Fourth Edition. Health (San Francisco). 2010.

14. Barratt R.S. The Preparation of standard gas mixtures: a review. analyst. 1981; 106 (1265): 817-849.

15. Hori Yy H. A New vapor generator of multicomponent organic solvents using capillary effect. Environmental Science and Technology. 1993;27(10):2023-2030.

16. Theodore L, Weiss Kn. Perry's chemical engineer's handbook. United States of America: Mcgraw-Hill Companies; 2008.

17. Chaiyavech P, Winkle Mv. Selection of vapor pressure data. 1959;4(1):53-56.

مایع نیز می‌تواند بر روی این زمان تأثیرگذار باشد. البته لازم به ذکر است که نسبت هوا به گازی که در سیستم‌ها با یکدیگر اختلاط پیدا می‌کنند نیز در زمان ایجاد تعادل تأثیرگذار می‌باشد.

### تقدیر و تشکر

در پایان بر خود واجب می‌دانیم، از شرکت ملی پالایش پخش که از این پروژه حمایت کردند، صمیمانه تشکر و قدردانی نماییم.

### منابع

- Thepanondh S, Varoonphan J. Airborne volatile organic compounds and their potential health impact on the vicinity of petrochemical industrial complex. Water Air Soil Pollut (2011) 214:83-92.
- Nelson G.O, and Griggs K.S. "Precision dynamic method for producing known concentrations of gas and solvent vapor in air," Review of Scientific Instruments, 1968;39(6): 927-928.
- Li Y, Taffner T, Bischoff M, Niemeyer B. Test gas generation from pure liquids: an application-oriented overview of methods in a nutshell. Adsorption Journal of the International Adsorption Society. 2012.
- Arthur F. Patty's Industrial Hygiene And Toxicology. 2000.
- Maloney Jo. Perry's Chemical Engineers Handbook. 8th. Mcgraw-Hill Companies; 2008.
- Namies'Nik J. Generation of Standard Gaseous Mixtures [Internet]. Journal of Chromatography A. 1984; 30079-108. Available From: Http://Dx.Doi.Org/10.1016/S0021-9673(01)87581-6
- Temperature Bv. Coefficient of friction of ptfе-impregnated porous bronze versus temperature. Notes. 1977.
- Boer Hj. Mass flow controlled evaporation system. Journal De Physique Iv. 1995 ;5.
- E. E. Campbell M.F, Milligan Ah. Evaluation Of Methods For The Determination Of Halogenated Hydrocarbons In Air. American Industrial Hygiene Association Journal. 1959 ;20(2):138-141.
- Primary N, Water D, Standards Dw, Summary He, Patterns U, Patterns R. Technical Factsheet On :

## Vapors generation of volatile organic compounds (VOCs) from pure liquids

A. Mofidi<sup>1</sup>, H. Asilian<sup>2</sup>, A. Jonydi Jafari<sup>3</sup>

Received: 2012/10/10

Revised: 2012/12/21

Accepted: 2013/01/01

### Abstract

**Background and aims:** Production of fixed concentration of vapors from pure liquid has many applications in laboratory and field studies of occupational health and toxicological research and also in calibration of air pollutant measurement devices of the workplaces. In this study, the advantages and disadvantages of different concentration generation methods were discussed. In addition two selected methods were compared and the factors that influence the generated concentration were identified.

**Methods:** In order to make certain concentrations of styrene, evaporation and injection methods were used. In evaporation system air was blown in a 250ml midjet impinger in two modes (close to the liquid surface and inside the liquid). For injection system a syringe pump (3100 Graseby, Smiths Co) was used. Affecting factors on concentration stability like temperature, flow rate, position of nozzles have been investigated.

**Results:** To produce 300(ppm) of styrene vapor concentrations in RH=19%, coefficient of variation (C.V) of the concentrations generated in bubbler and syringe pump systems were 2.86 and 2.01 percent respectively. Syringe pump system reached to the equilibrium approximately in 60 (min), while for the evaporative system it took 105 (min). When the nozzle of the bubbler was placed close to the liquid surface, the coefficient of variation was 1.97% , however, when it was placed inside the liquid, the C.V was 2.52% .

**Conclusion:** Controlling the influencing factors like temperature and flow rate are most important points for the generation of constant concentrations. The low coefficient of variation in the syringe pump system proved the better capability and functionality of this system compared to bubbler system. One advantage of the syringe pump system is that it is not dependent on liquid level of the container.

**Keywords:** Vapors Generation, Dynamics Method, Static Method, Temperature, Flow, VOC, Midget Impinger, Syringe Pump.

1. Msc student in Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.

2. (**Corresponding author**) Associate Professor of Occupational Health Engineering, Department of Occupational Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. [asilia\\_h@modares.ac.ir](mailto:asilia_h@modares.ac.ir)

3. Associate Professor of Occupational Health Engineering, Department of environmental Health, faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.