

حذف اثرات نامطلوب رطوبت بر قابلیت آشکارسازی گازهای الکی با استفاده از حسگر گاز اکسید فلزی

حنانه مهدوی^۱، سعیده رهبرپور^۲، سید محسن حسینی گلگو^۳ و حمیدرضا جماعتی^۴

^۱دانشگاه شاهد، hn.mahdavi@shahed.ac.ir

^۲دانشگاه شاهد، s.rahbarpour@shahed.ac.ir

^۳دانشگاه گیلان، smhosseini@guilan.ac.ir

^۴دانشگاه شهید بهشتی، hamidjamaati@sbmu.ac.ir

چکیده- رطوبت نسبی گاز هدف تأثیرات مخربی بر پاسخ حسگرهای گاز اکسید فلزی دارد تا جاییکه اگر از این حسگرها در دستگاه‌های آشکار ساز یا بینی الکترونیکی استفاده شود ممکن است تشخیص گاز به درستی انجام نشود. به منظور بررسی تأثیر رطوبت بر رفتار یک حسگر گازی مدوله شده دمایی، هدایت حسگر در پاسخ به گازهای هدف مختلف شامل استون، اتانول، ۱-پروپانول و ۱-بوتانول در شرایط مختلف رطوبتی شامل رطوبت نسبی ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ اندازه گیری شد. نتایج استخراج ویژگی از داده‌های مربوط به ترکیب گاز و یکی از رطوبت‌ها (مثلا رطوبت نسبی ۷۰٪) نشان داد که اگرچه این داده‌ها در فضای ویژگی از هم جدا هستند لیکن چنانچه از همان الگوریتم برای استخراج ویژگی از داده‌های مربوط به سایر رطوبت‌ها استفاده شود، ویژگی‌های جدید بدست آمده تفکیک پذیر نیستند. بار دیگر همین آزمایش‌ها با قرار دادن جاذب کلسیم کلراید در مسیر عبور گاز به محفظه حسگر تکرار شد تا مقدار رطوبت گازهای هدف در حین ثبت پاسخ، صرف نظر از مقدار رطوبت اولیه آن در مقدار مشخصی تثبیت شده باشد. نشان داده شد که با این روش برخلاف حالت قبل، با اضافه کردن داده‌های مربوط به سایر رطوبت‌ها نیز همچنان ویژگی‌های استخراج شده از هم مجزا هستند. کلید واژه- آشکار سازی گاز، حسگر گاز اکسید فلزی، رطوبت نسبی، کلسیم کلراید.

یون هیدروکسید (OH) تبدیل می‌شوند. حضور یون‌های هیدروکسید (OH) جذب شیمیایی شده پایدار در سطح حسگر، باعث کاهش جذب گازهایی چون CH₄، CO و O₂ شده و در نتیجه موجب کاهش حساسیت حسگر می‌شود [۳]. بنابر این در رقابت بین مولکول‌های بخار آب و مولکول‌های آلاینده هدف، بخشی از سایت‌های فعال اکسید توسط مولکول آب در جذب سطحی یا توسط یون‌های هیدروکسید در جذب شیمیایی اشغال شده، سطح موثر در دسترس برای آلاینده‌های هدف کاهش می‌یابد و جذب آنها در سطح حسگر کمتر شده و در نتیجه موجب کاهش حساسیت حسگر می‌شود [۴]. در استفاده‌های طولانی مدت از حسگر در رطوبت‌های بالا، یون‌های هیدروکسیل پایدار بیشتری در سطح حسگر ایجاد می‌شود و موجب ایجاد دریفت در حسگر می‌شود [۲].

اثر رطوبت اگرچه ممکن است جزئی باشد اما حذف اثر آن دشوار است زیرا شدت و نوع تاثیر آن بر پاسخ حسگرها به طور دقیق مشخص نیست و به فاکتورهای زیادی چون میزان رطوبت، نوع حسگر، نوع گاز، غلظت گاز وابسته است. محققان مطالعات زیادی بر روی حذف اثر مخرب رطوبت بر تغییر پاسخ حسگرها انجام داده‌اند. در یک کار تحقیقاتی، گرم کردن مکرر سطح حسگر تا دمای بالای ۴۰۰ درجه

۱- مقدمه

امروزه استفاده از حسگرهای گاز اکسید فلزی به خاطر داشتن فاکتورهای کیفیت برجسته ای چون حساسیت بالا، طول عمر زیاد، و قیمت کم رواج زیادی پیدا کرده است [۱]. اگرچه این حسگرها از عدم انتخابگری رنج می‌برند، اما راهکارهایی جهت افزایش انتخابگری این حسگرها ارائه شده است. ولی با این وجود رطوبت محیط همانند یک عامل گازی مخرب، منجر به تغییراتی در پاسخ حسگر به آلاینده هدف و در نتیجه عدم شناسایی صحیح گاز هدف می‌شود. برای حذف اثر رطوبت بر پاسخ حسگرها لازم است مکانیزم اثر آن بر لایه حساس حسگر معرفی شود. به طور کلی مولکول‌های آب به دو صورت فیزیکی و شیمیایی جذب سطح حسگر می‌شوند. در جذب فیزیکی، مولکول‌های بخار آب که به صورت میعان در حفره‌های اکسید فلزی قرار می‌گیرند به عنوان دونه عمل کرده، مقاومت بیس لاین اکسید را کم نموده و باعث کاهش حساسیت حسگر می‌شوند [۲]. در جذب شیمیایی مولکول‌های آب در سطح حسگر، از آنجا که دمای سطح حسگر خیلی بالاست، مولکول‌های آب به یون هیدروژن (H⁺) و

از آنجا که عملکرد بینی الکترونیکی مبتنی بر استخراج الگو از پاسخ حسگرها است، به تغییرات ناخواسته ایجاد شده در پاسخ حسگر بسیار حساس است و رطوبت محیط با تاثیر بر روی پاسخ تک تک حسگرهای موجود در آرایه، باعث بروز تفاوت در الگوی بدست آمده از گاز در حین تشخیص نسبت به الگوی بدست آمده در فرایند آموزش و در نتیجه ایجاد خطا در پاسخ بینی الکترونیکی می شود [۶]. با توجه به افزایش کاربرد بینی الکترونیکی، خصوصا روش های مدولاسیون دمای کاری حسگرها برای افزایش انتخابگری [۱۷] و با در نظر گرفتن اینکه رطوبت محیط بعنوان یک مزاحم همیشگی می تواند در تک تک حسگرهای موجود در بینی الکترونیکی تاثیر بگذارد، لازم است تاثیر رطوبت محیط در قابلیت شناسایی گاز توسط بینی الکترونیکی بررسی شود.

در این مقاله تاثیر تغییرات رطوبت بر فضای ویژگی چهار نوع گاز فرار در غلظت های کم با استفاده از بینی الکترونیکی تک حسگر مبتنی بر مدولاسیون دمایی بررسی شده است. بعنوان یک راهکار برای حذف اثر رطوبت از کلسیم کلراید استفاده شد. تشخیص گازها در نتایج به دست آمده با و بدون استفاده از کلسیم کلراید نیز بررسی شد و نتایج موفقیت آمیز استفاده از کلسیم کلراید به عنوان یک روش عمومی در حذف رطوبت، در بهبود کلاس بندی در فضای ویژگی دو بعدی دیده شد. از آنجا که آموزش بینی الکترونیکی در همه رطوبت ها کار بسیار سخت و زمان بری است، استفاده از کلسیم کلراید و حذف رطوبت در کاربردهای بینی الکترونیکی پیشنهاد می شود.

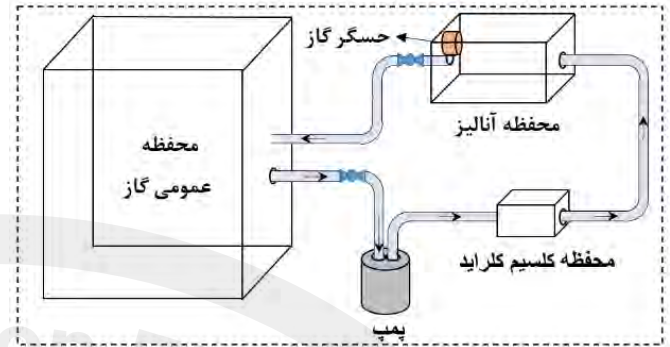
۲- مراحل انجام آزمایش ها

۲-۱- اندازه گیری و جمع آوری داده ها

در کار حاضر از یک بینی الکترونیکی تک حسگر با آرایه مجازی استفاده شد. در این نوع بینی الکترونیکی بر خلاف بسیاری از سامانه های بینی الکترونیکی رایج، به جای استفاده از ولتاژ ثابت برای تحریک هیتر حسگر از مدولاسیون دمای کاری حسگر برای افزایش انتخابگری حسگر استفاده شد. تولید شکل موج هیتر و ثبت پاسخ حسگر توسط مدار واسط شامل کارت جمع آوری داده انجام شد. حسگر گاز، رطوبت و دمای مورد استفاده در این بینی الکترونیکی بترتیب حسگرهای تجاری FIS SP-53، HIH-4000 و LM35 بودند. هدایت حسگر گاز، رطوبت و دما با نرخ نمونه برداری ۱۰ داده در ثانیه قرائت و در کامپیوتر ذخیره می شد. سیستم اندازه گیری سامانه در شکل ۱ نمایش داده شده است:

گزارش شده است. از آنجا که گروه های هیدروکسید تا دمای ۴۰۰ درجه پایدار هستند، اینکار باعث واجذب آن ها و حذف اثر دریافت ناشی از رطوبت می شود [۴]. عیب این روش این است که حتی پس از پاکسازی سطح حسگر، مساله رقابت گاز هدف و رطوبت موجود در آن همچنان پابرجاست. در گزارش های دیگری متریال های مقاوم در برابر جذب آب در لایه حساس حسگر استفاده کرده اند [۵، ۶]. اگرچه این لایه بر عملکرد حسگری گاز تاثیر منفی دارد. در مطالعات دیگری برای حذف تغییرات رطوبت در محیط از یک ستاپ آزمایشگاهی برای کنترل رطوبت و دمای محفظه گاز استفاده شده است به طوری که پس از ورود نمونه گازی به داخل محفظه، رطوبت و دمای داخل محفظه به مقدار معینی تغییر داده شود [۷]. اما این روش نیازمند ساختار پیچیده ی سیستم و صرف زمان طولانی است. اگرچه بسیاری از نتایج گزارش شده بر روی بینی های الکترونیکی در شرایط کنترل شده ثابت محیطی بوده اند. در مواردی نیز حذف سیستماتیک و محاسباتی رطوبت از پاسخ ها گزارش شده است به طوری که با استفاده از روش های کالیبراسیون، جبران سازی پاسخ حسگر در برابر تغییرات رطوبت نسبی ایجاد گردد [۱، ۲، ۸، ۹]. این روش جبران سازی در سنجش گازهای فرار و در کارهای مختلفی گزارش شده است [۱۰-۱۳]. از آنجا که پارامترهای به دست آمده در این روش به شدت به شکل پاسخ حسگر وابسته است و از حسگری به حسگر دیگر و از گازی به گاز دیگر تغییر می کند، لازم است جبران سازی رطوبت به طور ویژه برای هر حسگر و هر ترکیب گازی انجام شود که کار دشوار و زمان بری است. در روش دیگری از خشک کننده ها قبل از ورود گاز هدف به داخل محفظه آنالیز گاز استفاده شده است [۱۴]. استفاده از خشک کننده رطوبت نمونه گاز را به مقدار مشخصی کاهش می دهد. از آنجا که رطوبت گاز در خروجی خشک کننده همواره مقدار ثابتی است، می توان امیدوار بود که پاسخ حسگر مستقل از رطوبت گاز هدف باشد و فقط به غلظت گاز مورد آنالیز وابسته باشد. از این رو به نظر می رسد این روش یکی از بهترین روش های حذف رطوبت باشد. اگرچه استفاده از جاذب های رطوبت در صنایع مختلف کاربرد دارد، اما به دلیل احتمال حذف گازهای هدف علاوه بر رطوبت، کاربردشان در حسگرهای گاز محدود تر است. زیرا علاوه بر قابلیت جذب مولکول های آب، احتمال جذب فیزیکی یا شیمیایی گاز هدف توسط ماده خشک کننده وجود دارد. به همین دلیل این روش کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در [۱۵] از جاذب کلسیم کلراید برای مانیتور هیدروکربن های خاک با استفاده از بینی الکترونیکی استفاده شده است. در مطالعه دیگری از کلسیم کلراید جهت تزریق گاز H_2S خشک به دستگاه کروماتوگرافی استفاده کرده اند و گزارش داده اند که کلسیم کلراید گاز H_2S را جذب نمی کند [۱۶].

بر عملکرد حسگر را بررسی نمود. برای اطمینان از عملکرد یکسان جاذب در آزمایش‌های مختلف، پس از هر بار آزمایش محفظه جاذب با جاذب تمیز پر شد.

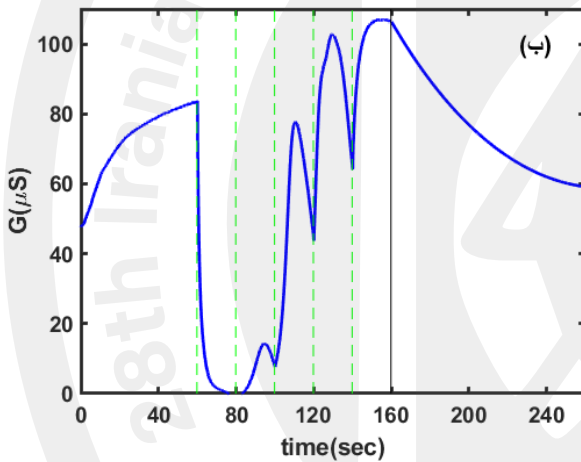
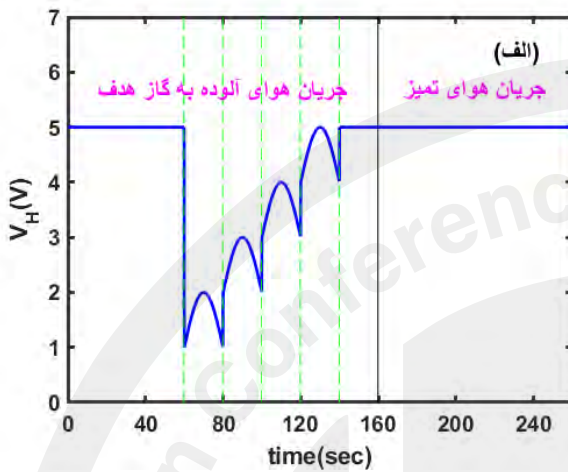


شکل ۱: سیستم اندازه گیری سامانه

اجزاء سیستم اندازه گیری نمونه‌های گاز عبارتند از، یک محفظه عمومی گاز (شامل حسگرهای دما و رطوبت)، یک محفظه آنالیز گاز (شامل حسگرهای گاز، دما و رطوبت)، یک پمپ خلا، یک محفظه جاذب، یک برد PCB جهت کنترل و اندازه گیری ولتاژ، یک کارت جمع آوری داده متصل به کامپیوتر و شیرهای برقی و اتصالات و لوله‌ها.

به منظور بررسی تاثیر رطوبت بر عملکرد بینی الکترونیکی، پاسخ این حسگر به چند گاز احیایی استون، اتانول، ۱-پروپانول و ۱-بوتانول در رطوبت‌های مختلف ثبت شد. از آنجا که پیش بینی می‌شد تاثیر مخرب رطوبت در عملکرد بینی الکترونیکی در غلظت‌های اندک گازها بیشتر باشد، پاسخ این حسگر به غلظت‌های ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲، ۱/۸، ۲/۴، ۳/۰ و ۳/۵ ppm از هر یک از گازهای فوق در رطوبت‌های مختلف (۷۰٪، ۵۰٪ و ۳۰٪) بررسی شد. پس از تثبیت گاز هدف در محفظه عمومی گاز با استفاده از تزریق و همسان سازی توسط فن (پس از ۲حدود دقیقه)، رطوبت ساز مقدار مشخصی بخار آب را وارد محفظه می‌نمود. یک رطوبت‌سنج به طور مداوم رطوبت محفظه را قرائت میکرد و در صورت رسیدن هوای محفظه به رطوبت دلخواه، رطوبت ساز غیر فعال می‌شد. قبل از انجام آزمایش‌ها، پیش گرمایش حسگر به مدت حداقل یک ساعت با ولتاژ ۵ ولت ثابت انجام می‌شد. در هر آزمایش پس از دو دقیقه گردش هوای تمیز در کل مسیر، یک پمپ آلاینده هدف تولید شده را با فلوی ۴۰ میلی لیتر بر ثانیه در سامانه به گردش در می‌آورد. دقیقاً همان زمان با انتقال گاز به محفظه آنالیز، شکل موج شامل پنج پله سینوسی به هیتر حسگر اعمال شده و پاسخ حسگر به گاز مورد نظر بررسی و ثبت می‌شد. در شکل ۲ شکل موج اعمالی به هیتر حسگر گاز در هر آزمایش و پاسخ حسگر به یک نمونه گاز هدف بر حسب زمان رسم شده است.

برای حذف اثر رطوبت در بعضی از آزمایش‌ها از کلسیم کلراید بی آب برای خشک کردن استفاده شد. در این آزمایش‌ها محفظه جاذب بین محفظه عمومی گاز و محفظه آنالیز قرار داده شد تا مخلوط گاز و رطوبت قبل از رسیدن به حسگر خشک شود و بتوان تاثیر جاذب



شکل ۲: الف) شکل موج اعمالی به هیتر حسگر گاز در هر آزمایش بر حسب زمان و ب) هدایت حسگر به یک گاز هدف نمونه بر حسب زمان.

۲-۲- تحلیل داده‌ها

برای هر غلظت از هر گاز، در مرحله داده‌گیری از حسگر، ۱۰۰۰ داده مربوط به ثانیه‌های ۶۰ تا ۱۶۰ که زمان اعمال پالس دمایی بود ثبت شد و از این به بعد هر جا از یک نمونه گاز صحبت می‌شود منظور ماتریسی شامل ۱۰۰۰ داده است. پیش پردازش داده‌ها به این صورت انجام شد که برای کاهش اثر تغییرات بیس لاین بر روی حسگر و حذف اثر غلظت گازها، پاسخ حسگر، S_t ، از نرمالیزاسیون هدایت با روش مینیمم-ماکزیموم با استفاده از رابطه ۱ به دست آمد [۱۸].

$$S_t = \frac{G_t - \min(G_t)}{\max(G_t) - \min(G_t)} \quad (1)$$

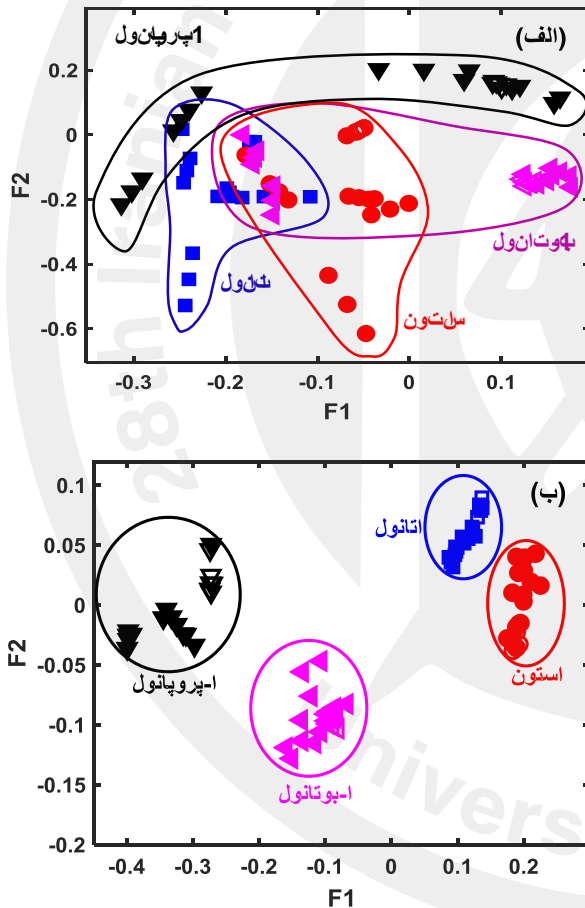
که در آن G_t مقدار هدایت حسگر در زمان t است.

برای نمایش اثرگذاری رطوبت بر الگو و ویژگی پاسخ گازها روش استخراج ویژگی LDA (Linear Discriminant Analysis) بر روی

آزمایش‌هایی که با رطوبت‌های ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ برای تمام گازها گرفته شد، دیده شد کلسیم کلراید رطوبت موجود در نمونه گازهای آزمایش را به خود جذب کرده و رطوبت نسبی داخل محفظه در کمتر از ۱۰ ثانیه تا حدود 2 ± 6 درصد افت می‌نمود.

۳-۳- اثر کلسیم کلراید بر جدایش گازها

در شکل ۳ (ب) دیده می‌شود بر خلاف حالت بدون جاذب (شکل ۳ (الف)) جدایش مطلوبی بین گازها ایجاد می‌شود و سیستم قادر خواهد بود داده‌های تست را از هر رطوبتی انتخاب نماید، چه آموزش داده شده باشد و چه با آن رطوبت آموزش داده نشده باشد. بنابراین با این روش نیاز به آموزش‌های بسیار در رطوبت‌های مختلف و استفاده از جبران‌سازی رطوبت از بین رفته است.



شکل ۳: انتقال بردارهای ویژگی پاسخ‌های حسگر به فضای ویژگی دو بعدی با روش LDA در آزمایش‌های انجام شده (الف) بدون جاذب و (ب) با حضور کلسیم کلراید به گازهای استون، اتانول، ۱-پروپانول و ۱-بوتانول در شرایطی که داده‌های آموزش متعلق به رطوبت ۷۰٪ و داده‌های تست مربوط به رطوبت‌های ۳۰٪ و ۵۰٪ هستند. مارکرهای پر و خالی به ترتیب مربوط به داده‌های تست و آموزش هستند.

داده‌های آموزش اعمال گردید و ویژگی‌های دو بعدی گازها استخراج شد. سپس ماتریس تبدیل LDA به دست آمده، بر روی داده‌های تست اعمال شد و ویژگی‌های دو بعدی آنها نیز استخراج گردید و مشابهت ویژگی‌های دو بعدی آن‌ها به دست آمده از داده‌های آموزش و تست در فضای ویژگی بررسی شد. همچنین برای نشان دادن نحوه حذف این اثرات مخرب توسط کلسیم کلراید، همین روند برای داده اندازه‌گیری شده در حضور کلسیم کلراید نیز انجام شد و نتایج مقایسه گردید.

۳- نتایج

برای بررسی تاثیر رطوبت بر عملکرد سامانه تشخیص گاز، الگوی پاسخ‌ها در حضور چند گاز احیایی استون، اتانول، ۱-پروپانول و ۱-بوتانول و در رطوبت‌های مختلف ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ ثبت شد و داده‌های ۱۰۰۰ تایی پیش پردازش شده هر ۴ گاز به دست آمد. سپس مطابق الگوریتم آنالیز داده ذکر شده در بخش قبل، تعداد ویژگی‌ها از ۱۰۰۰ ویژگی به دو ویژگی کاهش یافت. بعلاوه جهت بررسی نحوه اثرگذاری جاذب کلسیم کلراید در کاهش رطوبت نمونه‌ها، با قرار دادن محفظه جاذب بر سر راه هوای آلوده به گاز، آزمایش‌ها و مراحل تحلیل داده‌ها تکرار شد.

۳-۱- اثر مخرب رطوبت بر جدایش گازها

برای بررسی اثر حضور بخار آب در محفظه حسگر بر پاسخ حسگر به گاز هدف، داده‌های آزمایش شده بدون حضور جاذب مورد تحلیل قرار گرفت. روش استخراج ویژگی LDA بر روی داده‌های آموزش که داده‌های دو بعدی آن‌ها به دست آمده در رطوبت ۷۰٪ بود اعمال گردید و ویژگی‌های دو بعدی گازها استخراج شد. سپس ماتریس تبدیل LDA به دست آمده، بر روی داده‌های تست (پاسخ گازها در رطوبت‌های ۳۰٪ و ۵۰٪) اعمال شد و ویژگی‌های دو بعدی آنها نیز استخراج گردید. نتایج حاصل از انتقال داده‌ها به فضای دسته بندی دو بعدی در شکل ۳ (الف) نشان داده شده است. در این شکل نقاط تو خالی مربوط به داده‌های آموزش و داده‌های تو پر مربوط به داده‌های تست می‌باشند. در شکل ۳ (الف) دیده می‌شود کلاس‌ها در دو بعد به صورت بصری از هم جدا نشده‌اند. در نتیجه رطوبت نمونه‌ها به حدی ویژگی گازها را تغییر می‌دهد که ویژگی‌های رطوبت‌های مختلف اصلاً مشابه هم نبوده و به یک ناحیه منتقل نمی‌شوند.

۳-۲- اثر کلسیم کلراید بر کاهش رطوبت محفظه آنالیز

برای حل مشکل اثرات مخرب رطوبت، کلسیم کلراید در مسیر ورود گاز مرطوب به محفظه حسگر قرار داده شد. در کلیه

- [7] V. Papapostolou, H. Zhang, B. J. Feenstra, and A. Polidori, "Development of an environmental chamber for evaluating the performance of low-cost air quality sensors under controlled conditions," *Atmospheric environment*, vol. 171, pp. 82-90, 2017.
- [8] R. Huerta, T. Mosqueiro, J. Fonollosa, N. F. Rulkov, and I. Rodriguez-Lujan, "Online decorrelation of humidity and temperature in chemical sensors for continuous monitoring," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 157, pp. 169-176, 2016.
- [9] M. Hajmirzaheydarali and V. Ghafarinia, "A smart gas sensor insensitive to humidity and temperature variations," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2011, vol. 17, no. 1, p. 012047: IOP Publishing.
- [10] K. Yan, D. Zhang, D. Wu, H. Wei, and G. Lu, "Design of a breath analysis system for diabetes screening and blood glucose level prediction," *IEEE transactions on biomedical engineering*, vol. 61, no. 11, pp. 2787-2795, 2014.
- [11] T. Lin, S. B. Shah, L. Wang-Li, E. O. Oviedo-Rondón, and J. Post, "Development of MOS sensor-based NH₃ monitor for use in poultry houses," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 127, pp. 708-715, 2016.
- [12] Y. Wang, Y. Yin, F. Ge, and H. Yu, "A drift correction method of E-nose data based on wavelet packet decomposition and no-load data: case study on the robust identification of Chinese spirits," *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2019.
- [13] J.-Y. Kim, C.-H. Chu, and S.-M. Shin, "ISSAQ: An integrated sensing systems for real-time indoor air quality monitoring," *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 12, pp. 4230-4244, 2014.
- [14] R. Xing et al., "Au-modified three-dimensional In₂O₃ inverse opals: synthesis and improved performance for acetone sensing toward diagnosis of diabetes," *Nanoscale*, vol. 7, no. 30, pp. 13051-13060, 2015.
- [15] F. Bu, X. Wen, M. Wan, R. Liu, L. Chen, and Y. Zhang, "Implementation of a pretreatment device for an electronic nose," *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, vol. 33, no. 6, pp. 2083-2089, 2012.
- [16] T. Wondimu, R. Wang, and B. M. Ross, "A Comparison of Moisture Removing Strategies for Breath Samples Spiked with Trace Concentrations of Hydrogen Sulphide," *Current Analytical Chemistry*, vol. 9, no. 2, pp. 312-318, 2013.
- [17] S. Hosseini-Golgo, H. Bozorgi, and A. Saberhari, "Comparing success levels of different neural network structures in extracting discriminative information from the response patterns of a temperature-modulated resistive gas sensor," *Measurement Science and Technology*, vol. 26, no. 6, p. 065103, 2015.
- [18] Y.-J. Liu, Q.-H. Meng, and X.-N. Zhang, "Data Processing for Multiple Electronic Noses Using Sensor Response Visualization," *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 22, pp. 9360-9369, 2018.

۴- نتیجه گیری

نشان داده شد اگر سامانه در رطوبت مشخصی آموزش داده شود اما در سایر رطوبت‌ها تست شود، جدایش ویژگی‌های گازها به درستی انجام نمی‌شود که ناشی از تأثیر رطوبت در پاسخ حسگر است که به نوبه خود منجر به تولید ویژگی‌های مختلف در داده‌های با رطوبت‌های مختلف می‌شود.

برای ایجاد ویژگی‌های مشابه تر در شرایط آموزش و تست، لازم است تغییرات پاسخ حسگر که در اثر تغییرات رطوبت ایجاد شده است حذف شود. برای این منظور، رطوبت گازهای مختلف با استفاده از کلرید کلسیم به مقدار مشخصی تقلیل داده شد. پس از خشک شدن هر گاز، گاز مورد نظر به محفظه آنالیز شامل حسگر گاز هدایت شد. از آنجا که صرف نظر از میزان رطوبت اولیه گاز، رطوبت نسبی گاز در این محفظه تقریباً ثابت بود کلاس‌ها به خوبی قابل تفکیک بودند. با استفاده از این روش می‌توان اطمینان حاصل کرد که در صورتی که جدایش گازهای مختلف با استفاده از بینی الکترونیکی امکان پذیر باشد، تغییرات رطوبت در محیط‌های با شرایط رطوبتی متفاوت باعث ایجاد اختلال در تشخیص گاز نمی‌شود مگر اینکه گاز پس زمینه پیش بینی نشده‌ای به محیط اضافه شود. بنابراین استفاده از این روش تعداد آزمایش‌های مورد نیاز برای آموزش سیستم را کاهش می‌دهد و نیازی به آموزش سیستم در همه شرایط محیطی نیست. لازم به ذکر است که موفقیت این روش برای گازهای مورد مطالعه و جاذب کلسیم کلراید نشان داده شده است و با تغییر گاز مورد نظر، باید جذب همزمان گاز و رطوبت توسط جاذب بررسی شود. زیرا اگر جاذب گاز هدف را همانند بخار آب جذب کند، ممکن است گاز به حسگر نرسد و تشخیص آن کامل نباشد. به همین دلیل انتخاب جاذب مناسب بسیار مهم است.

مراجع

- [1] F. Hossein-Babaei and V. Ghafarinia, "Compensation for the drift-like terms caused by environmental fluctuations in the responses of chemoresistive gas sensors," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 143, no. 2, pp. 641-648, 2010.
- [2] J. H. Sohn, M. Atzeni, L. Zeller, and G. Pioggia, "Characterisation of humidity dependence of a metal oxide semiconductor sensor array using partial least squares," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 131, no. 1, pp. 230-235, 2008.
- [3] C. Wang, L. Yin, L. Zhang, D. Xiang, and R. Gao, "Metal oxide gas sensors: sensitivity and influencing factors," *Sensors*, vol. 10, no. 3, pp. 2088-2106, 2010.
- [4] N. Yamazoe, J. Fuchigami, M. Kishikawa, and T. Seiyama, "Interactions of tin oxide surface with O₂, H₂O and H₂," *Surface Science*, vol. 86, pp. 335-344, 1979.
- [5] A. Vasiliev et al., "Reducing Humidity Response of Gas Sensors for Medical Applications: Use of Spark Discharge Synthesis of Metal Oxide Nanoparticles," *Sensors*, vol. 18, no. 8, p. 2600, 2018.
- [6] N. Gupta, H. M. Fahad, M. Amani, X. Song, M. Scott, and A. Javey, "Elimination of Response to Relative Humidity Changes in Chemical-Sensitive Field Effect Transistors." *ACS sensors*. 2019.