





دانشکده فیزیک و مهندسی هسته ای

پایان نامه کارشناسی ارشد نانو فیزیک

بررسی مکانیزم عملکرد بینی های الکترونیکی برای هوشمندسازی

سیستم حسگرهای گازی نانو ساختار در آشکارسازی ترکیبی از

گازهای حاوی CO_2

سارا شاهینی

استاد راهنما: دکتر حمید هراتی زاده

شهریور ماه ۱۳۹۷

دانشگاه صنعتی شاهرود

شماره:

تاریخ:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سارا شاهینی با شماره دانشجویی ۹۴۱۰۱۰۴ رشته فیزیک گرایش علوم و فناوری نانو تحت عنوان بررسی مکانیزم عملکرد بینی های الکترونیکی برای هوشمندسازی سیستم حسگرهای گازی نانوساختار در آشکارسازی ترکیبی از گازهای حاوی CO₂ که در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: حسن...سید...) مردود

نوع تحقیق: نظری عملی

اعضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استاد	دکتر حمید هراتی زاده	۱- استاد راهنمای اول
			۲- استاد راهنمای دوم
			۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر محشی هاشم زاده	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	دکتر محمد ابراهیم قاضی	۵- استاد ممتحن اول
	دانشیار	دکتر علیرضا احمدی فرد	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تصوه: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).



تقدیم بہ

مادر و پدرم

♦

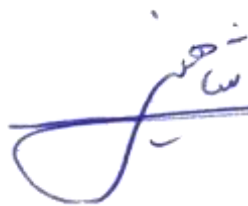
تقدیر و تشکر

از همه کسانی که در انجام این پژوهش مرا یاری نمودند به ویژه استاد ارجمندم جناب آقای دکتر
هراتی زاده و همچنین جناب آقای دکتر *علیرضا احمدی فرد* و سرکار خانم *سمیه مهدیزاده*
کمال تشکر را دارم.

تعمیرنامه

اینجانب سارا شاهینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد (دکتری) رشته فیزیک-علوم و فناوری نانو دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "بررسی مکانیزم عملکرد بینی های الکترونیکی برای هوشمندسازی سیستم حسگرهای گازی نانوساختار در آشکارسازی ترکیبی از گازهای حاوی CO₂" تحت راهنمایی دکتر حمید هراتی زاده متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .



تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

یکی از پارامترهای مهم برای انتخاب یک حسگر گازی خوب، گزینش گری آن نسبت به یک گاز خاص می باشد؛ بدین معنا که بتواند یک گاز مشخص را در محیطی که از چندین گاز پر شده است به خوبی تشخیص دهد. به علت همپوشانی پاسخ یک حسگر نسبت به گازهای مختلف، اطلاع از اینکه دقیقا کدام گاز در محیط وجود دارد تقریبا غیر ممکن است. برای حل این مشکل راه های مختلفی پیشنهاد شده است که یکی از آن ها استفاده از یک آرایه حسگری است که در آن همه قطعات استفاده شده کاملا گزینش گر نبوده و به چند نوع گاز متفاوت پاسخ می دهند. در نهایت برای تشخیص نوع گاز های موجود، که داده های مربوط به پاسخ آن ها توسط یک حسگر یا آرایه ای از حسگرها جمع آوری شده است می توان از روش های مختلف دسته بندی داده ها استفاده کرد. در این پژوهش، یکی از این روش ها به نام ماشین بردار پشتیبان برای این منظور استفاده شده است. آرایه حسگری برای دو گاز اتانول و دی اکسید کربن آموزش داده شده و سپس برای داده های حاصل از مخلوط دو گاز تست شده است. این کار برای حالت های مختلف آنقدر تکرار شده تا بالاترین دقت ممکن به دست آید.

کلمات کلیدی: بینی الکترونیکی، حسگر گازی، تجزیه و تحلیل داده، آرایه حسگری، گزینش گری، تفکیک گازها

فهرست مطالب

ک	فهرست جداول	.....
ل	فهرست اشکال	.....
۱	فصل اول : مقدمه	.....
۴	۱-۱ حسگر	.....
۴	۱-۲ تفاوت حسگرهای نانو مقیاس با میکرو و ماکرو حسگرها	.....
۵	۱-۳ مشخصات و پارامترهای حسگری	.....
۸	۱-۴ انواع حسگرها	.....
۱۰	۱-۴-۱ حسگرهای رسانایی سنجی	.....
۱۰	۱-۴-۲ حسگرهای مقاومتی	.....
۱۳	فصل دوم : دی اکسید کربن، حسگری و کاربردها	.....
۱۵	۲-۱ کاربردهای حسگرهای گاز دی اکسید کربن	.....
۱۶	۲-۲ منابع تولید CO ₂	.....
۱۷	۲-۳ تکنیک های حسگری گاز CO ₂	.....
۱۸	۱-۲-۳ حسگرهای مادون قرمز غیر پاشنده	.....
۱۹	۲-۲-۳ حسگرهای فیبر نوری رنگ سنجی و انکسارسنجی	.....
۲۰	۲-۳-۳ حسگرهای تشدید پلاسمون سطحی	.....
۲۲	۲-۳-۴ حسگر SAW	.....
۲۳	۲-۳-۵ حسگر QCM	.....
۲۵	۲-۳-۶ حسگر شیمیایی مقاومتی و خازنی	.....

فصل سوم : مکانیزم هوشمندسازی سیستم ها و کاربرد آن در بینی الکترونیکی..... ۳۳

۳-۱ هوشمندسازی ۳۴

۳-۲ فرآیند یادگیری ماشینی ۳۵

۳-۳ انتخاب و استخراج ویژگی ۳۷

۳-۳-۱ تفاوت انتخاب و استخراج ویژگی ۳۹

۳-۴ ماشین بردار پشتیبان (SVM) ۴۰

۳-۵ بینی الکترونیکی ۴۲

۳-۶ حسگرهای به کار رفته در سیستم بینی های الکترونیکی ۴۳

۳-۶-۱ حسگرهای رسانا: ۴۳

۳-۶-۲ حسگرهای کامپوزیت پلیمر رسانا ۴۴

۳-۶-۳ پلیمرهای رسانای ذاتی ۴۴

۳-۶-۴ حسگرهای اکسید فلزی ۴۴

۳-۷ مکانیزم عملکرد بینی های الکترونیکی ۴۵

فصل چهارم : مروری بر مقالات و کارهای انجام شده..... ۵۱

۴-۱ توسعه بینی الکترونیکی قابل حمل و کاربرد برای مانیتورینگ بوی زیر بغل ۵۲

۴-۲ بینی الکترونیکی ریز آرایه بر پایه ی رشد عناصر حسگری نانو سیم SnO_2 ۵۳

۴-۳ معماری بینی الکترونیکی همراه برای آشکارسازی کیفیت گوشت گاو بر پایه اینترنت اشیا

..... ۵۸

۴-۴ دسته بندی داده های بینی الکترونیکی قابل حمل با روش SVM-RFE: کاربرد در تعیین

ترشیدگی شیر ۶۲

۴-۵ تکنولوژی انتقال بوی دیجیتال تحت وب ۶۵

فصل پنجم : لایه نشانی نانومیله های اکسید قلع به روش CVD برای کاربرد حسگری گاز

۶۹.....

۷۰..... ۵-۱ مقدمه

۷۰..... ۵-۲ لایه نشانی به روش رسوب دهی شیمیایی از فاز بخار

۷۲..... ۵-۳ مشخصه یابی ساختاری (پراش پرتو ایکس : (XRD)

۷۴..... ۵-۴ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

۷۷..... ۵-۵ سنتز و لایه نشانی نانومیله های اکسید قلع به روش CVD

۸۰..... ۵-۶ بحث و نتیجه گیری

۸۰..... ۵-۶-۱ مطالعه خواص ساختاری

۸۰..... ۵-۶-۲ مطالعه مورفولوژی سطح

۸۱..... ۵-۶-۳ نتایج انجام تست حسگری

فصل ششم : تفکیک و دسته بندی داده های حاصل از حسگر گازی برای آشکارسازی

۸۵..... گازهای موجود در یک ترکیب (جداسازی اتانول از دی اکسید کربن)

۸۶..... ۶-۱ استفاده از روش SVM برای جداسازی اتانول از CO₂

۸۶..... ۶-۱-۱ سیستم تست و ذخیره داده های حاصل از حسگرهای گازی

۸۸..... ۶-۱-۲ انجام آزمایش برای گازهای اتانول و دی اکسید کربن

۹۲..... ۶-۱-۳ نوشتن برنامه کامپیوتری و آموزش سیستم

۹۳..... ۶-۲ نتایج حاصل از آموزش سیستم و دقت های اندازه گیری شده

۹۵..... ۶-۳ بحث و نتیجه گیری

۹۷..... پیوست ۱: مکانیزم دسته بندی ماشین های بردار پشتیبان

۱۰۴..... مراجع

فهرست جداول

- جدول (۱-۱) دسته بندی نانو مواد بر اساس ابعاد آن ها ۳
- جدول (۱-۲) دسته بندی حسگرها ۱۰
- جدول (۱-۲) خلاصه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی گاز CO₂ ۱۶
- جدول (۲-۲) خلاصه ای از حسگرهای رنگ سنجی (C) و انکسارسنجی (R) برای تشخیص گاز CO₂ در دمای اتاق ۲۰
- جدول (۳-۲) مثال هایی از حسگرهای تشدید پلاسمون سطحی برای آشکارسازی دی اکسید کربن ۲۱
- جدول (۴-۲) حسگرهای گازی saw برای آشکارسازی دی اکسید کربن در دمای اتاق ۲۳
- جدول (۱-۳) روش های معمول پیش پردازش داده های به دست آمده از حسگرهای گازی ۴۸

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۱) فواید نانو حسگرها..... ۵
- شکل (۲-۱) مکانیزم عملکرد حسگرهای کریستال کوارتز..... ۲۴
- شکل (۲-۲) مکانیزم عملکرد حسگرهای ریزترازوی کریستال کوارتز..... ۲۴
- شکل (۲-۳) نمای شماتیک از اثر اندازه بلور بر حساسیت حسگرهای گازی اکسید فلزی..... ۲۹
- شکل (۱-۳) تعداد ویژگی بهینه..... ۳۸
- شکل (۳-۲) دسته بندی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان..... ۴۲
- شکل (۳-۳) پاسخ مشخصه ی یک حسگر گازی..... ۴۸
- شکل (۴-۱) سمت راست: سیستم بینی الکترونیکی طراحی شده؛ سمت چپ: برنامه PCA برای دسته بندی داده ها..... ۵۲
- شکل (۲-۴) نمودار 2D-PCA از چهار شخص مختلف..... ۵۳
- شکل (۳-۴) (الف) XRD (log scale) (ب) طیف XPS گرفته شده از لایه نانوسیم SnO₂ روی ویفر Si/SiO₂-..... ۵۶
- شکل (۴-۴) پاسخ میکروآرایه..... ۵۷
- شکل (۵-۴) آنالیز LDA الگوهای رسانندگی از میکروآرایه ی گرادیانی نانوسیم SnO₂ تحت محدوده غلظت های 2-10ppm از گازهای نمونه..... ۵۸
- شکل (۶-۴) معماری بینی الکترونیکی همراه (MoLen)..... ۶۱
- شکل (۴-۷) شماتیک از سیستم ارتباطی بینی الکترونیکی همراه..... ۶۲
- شکل (۴-۸) نمایی از سیستم بینی الکترونیکی قابل حمل..... ۶۳
- شکل (۴-۹) پاسخ زمانی آرایه ای از شش حسگر در سه روز ذخیره سازی..... ۶۳

- شکل (۴-۱۰) نمودار PCA شیر در روزهای مختلف ۶۴
- شکل (۴-۱۱) درصد موفقیت و تعداد متغیرها برای سه روش SVM با استفاده از روش RFE .. ۶۴
- شکل (۴-۱۲) نمودار آشفستگی برای Mc-SVM-RFE ۶۵
- شکل (۴-۱۳) مدل ارتباطی تکنولوژی بوی دیجیتال ۶۶
- شکل (۵-۱) نمای کلی از عملکرد دستگاه لایه نشانی شیمیایی فاز بخار (CVD) ۷۱
- شکل (۵-۲) طرح کلی دستگاه پراش پرتو ایکس ۷۳
- شکل (۵-۳) تصویر دستگاه پراش اشعه ایکس مدل D8-Advance Bruker در دانشگاه دامغان ۷۴
- شکل (۵-۴) برهمکنش پرتوی الکترونی و نمونه ۷۶
- شکل (۵-۵) تصویری از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل ۷۶
- VEGA\\TESCAN-XMU در دانشگاه علم و صنعت ۷۶
- شکل (۵-۶) پیش ماده: مخلوط پودر قلع و گرافیت با نسبت یکسان، زیرلایه های سیلیکون با ۲۰ نانومتر لایه طلا- ۷۷
- شکل (۵-۷) دستگاه لایه نشانی CVD در حال کار ۷۸
- شکل (۵-۸) زیرلایه ها و ماده داخل دستگاه CVD در دمای ۱۱۰۰ درجه سلسیوس ۷۹
- شکل (۵-۹) نمونه لایه نشانی شده اکسید قلع روی زیرلایه سیلیکون به روش CVD که با چسب نقره الکتروگذاری شده و سیم های مسی به آن متصل شده اند ۷۹
- شکل (۵-۱۰) طیف XRD نمونه های تحت بررسی ۸۰
- شکل (۵-۱۱) تصویر SEM نمونه ی مورد بررسی از بالا در دو مقیاس ۱ μm و ۵۰۰ nm و همچنین مقطع عرضی نمونه SnO2 ۸۱
- شکل (۵-۱۲) سیستم تست حسگر گازی مورد استفاده در آزمایشگاه شرکت نانوشات ۸۱
- شکل (۵-۱۳) تست حسگر برای گاز اتانول در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس و غلظت ۵۰۰ ppm ۸۲

- شکل (۵-۱۴) تست حسگر برای گاز اتانول در دمای ۲۲۰ درجه سلسیوس و غلظت ۵۰۰ ppm ۸۲.
- شکل (۵-۱۵) تست حسگر برای گاز اتانول در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس و غلظت ۵۰۰ ppm ۸۲..
- شکل (۶-۱) دستگاه تست حسگر گازی ۸۷.....
- شکل (۶-۲) دستگاه تست حسگر گازی در حال کار ۸۷.....
- شکل (۶-۳) پاسخ سیستم حسگری به گاز دی اکسید کربن ۸۹.....
- شکل (۶-۴) پاسخ سیستم حسگری به گاز اتانول ۹۰.....
- شکل (۶-۵) نمایش تفکیک دو کلاس گاز مورد آزمایش به روش SVM با دقت ۵۸٪ ۹۳.....
- شکل (۶-۶) نمایش تفکیک دو کلاس گاز مورد آزمایش به روش SVM با دقت ۵۰٪ ۹۴.....
- شکل (۶-۷) نمایش تفکیک دو کلاس گاز مورد آزمایش به روش SVM با دقت ۶۶٪ ۹۴.....
- شکل (۸-۶) نمایش تفکیک دو کلاس گاز مورد آزمایش به روش SVM با دقت ۷۵٪ ۹۵.....

فصل اول

مقدمه

ریچارد فاینمن، در سخنرانی رویایی اش در سال ۱۹۵۹ در Caltech، توانایی دستکاری ماده در مقیاس اتمی را پیش بینی می کند.

علم نانو، علم مواد نزدیک یا کمی بالاتر از سطح اتمی و مولکولی است که در ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر بر خواص فیزیکی و شیمیایی ماده تاثیرگذار است.

تکنولوژی نانو، شاخه ای از علم یا مهندسی به کار برده شده برای طراحی، ترکیب، مشخصه یابی، کنترل، دستکاری کردن و کاربرد مواد، قطعات و سیستم های در مقیاس نانو یا حداقل دارای یک بعد فیزیکی در اندازه ۱۰۰ نانومتر یا کوچکتر، می باشد. از آن جا که خواص مواد نانو مقیاس با حالت حجمی آن ها تفاوت دارد، نانو تکنولوژی به مطالعه آثار غیر معمول و خواصی از ماده که به علت اندازه کوچک آن ظاهر می شوند مشغول شده است.

همانطور که می دانیم همه مواد از ذرات تشکیل شده اند که به نوبه خود از اتم ها و مولکول ها ساخته شده اند. نانومواد آن هایی هستند که اندازه هایی در محدوده نانومتری دارند، شامل نانوتیوب های کربنی، نانو سیم ها، لایه های نازک نانو مقیاس و غیره. نانو مواد با توجه به ابعادشان به چهار دسته اصلی تقسیم می شوند:

۱- نانو ذرات یا نانو مواد صفر بعدی (0D) مثل خوشه های اتمی با قطر ذره زیر ۱۰۰ نانومتر.

۲- نانو مواد یک بعدی (1D) مثل نانو سیم ها، نانو تیوب ها و نانوکابل ها با عرض کمتر از ۱۰۰ نانومتر.

۳- نانومواد دو بعدی (2D) مانند نانوفیلم ها و ابر شبکه های با ضخامت لایه ی در محدوده ی

نانو[۱]

۴- نانو مواد سه بعدی (3D) مانند فیلم های نانوبلور حجمی و نانوکامپوزیت ها[۲]

ویژگی های غیر معمول نانو مواد عبارتند از : واکنش پذیری بیشتر، میزان جذب اپتیکی بزرگتر، بازده کاتالیزوری بالاتر، انعطاف پذیری بهتر^۱(توانایی غیر معمول برخی فلزها و آلیاژها برای تغییر شکل تا هزاران درصد در دماهای خاص) و مشخصه ابرمغناطیسی، جنبه های مهم و منحصر بفرد مغناطیسی در نانو ذرات.

نانو ذرات، رسانایی الکتریکی، سختی، مقاومت پوششی، کشش و دوام بالاتری از خود نشان می دهند. به عنوان مثال نانو ذرات طلا به عنوان برچسب های حسگر زیستی استفاده می شوند. نانو ذرات پلاتین کاتالیزست های قوی تری هستند. نانو ذرات پلیمری به عنوان حامل های دارویی برای هدف قرار دادن سلول های سرطانی استفاده می شوند. نانو ذرات مغناطیسی به عنوان نسل جدیدی از عوامل تقابل نوسان مغناطیسی هسته ای به کار برده می شوند.

Zhu و همکارانش در سال ۲۰۰۹ دریافتند که نانو سیم های سیلیکونی در یک مسیر کاملاً متفاوت با سیلیکون حجمی تغییر شکل پیدا می کنند. سیلیکون حجمی خیلی سخت است و به مقدار محدودی توانایی تغییر شکل دارد و به این معنی که نمی تواند به میزان زیادی کشیده شده یا خم شود بدون اینکه بشکند. ولی نانو سیم های سیلیکونی تحمل خیلی بیشتری در برابر تغییر شکل از خود نشان می دهند.

جدول (۱-۱) یکی از انواع دسته بندی نانو مواد بر اساس ابعاد آن ها [۱]

تعداد ابعاد	نام نانو ماده	مثال ها
۰	نانو ذره	باکی بال، نانو ذرات فلزی مثل طلا، نقره و آهن
۱	نانو سیم	نانو لوله های کربنی، نانو سیم های سیلیکونی
۲	لایه نازک	فیلم های فلزی، نیمرسانا یا عایق مثل طلا، سیلیکون و اکسید سیلیکون
۳	مواد حجمی نانوساختار	بلور، بس بلور، آمورف ها در محدوده نانو و نانوکامپوزیت ها

¹ super plasticit

۱-۱ حسگر

حسگر قطعه ای است که می تواند یک تحریک فیزیکی مثل حرکات مکانیکی، گرمایی، نوری، صوتی یا اثر الکتریکی یا مغناطیسی یا رادیویی را به سیگنال الکتریکی تبدیل کند که توسط یک مشاهده گر قابل اندازه گیری و ثبت می باشد. [۱]

حسگر گازی وسیله است که می تواند تغییر غلظت یک گاز را به یک سیگنال الکتریکی یا الکترونیکی تبدیل کند که یک عضو مهم از سیستم هایی است که تحت عنوان بینی الکترونیکی شناخته می شوند. یک حسگر گازی حداقل دارای دو بخش است: (۱) تشخیص یک گاز خاص و (۲) تبدیل خروجی به سیگنال قابل اندازه گیری. وقتی این ماده حسگری در معرض گاز قرار می گیرد با آن برهمکنش می کند، این برهمکنش ممکن است از نوع جذب سطحی، واجذبی یا واکنش های شیمیایی روی سطح یا حجم ماده باشد. برهمکنش ها برخی خصوصیات فیزیکی ماده حسگری مثل رسانایی الکتریکی یا جرم را تغییر می دهد. تغییر در رسانندگی با افت ولتاژ در مقاومت های سری و تغییر جرم با جابجایی فرکانس یک نوسانگر آشکار می شود.

۲-۱ تفاوت حسگرهای نانو مقیاس با میکرو و ماکرو حسگرها

۱- حسگرهای کوچک و سبک به ما در ساخت دستگاه های قابل حمل که برای کاربردهای نظامی و فضایی در کنار موبایل و سایر دستگاه های قابل حمل ضروری می باشند، کمک شایانی می نمایند. به عنوان مثال، یکی از کاربردهای پیش بینی شده برای نانوحسگرها آشکارسازی سلول های سرطانی در بدن انسان با تزریق نقاط کوانتومی می باشد. چنین کاربردهایی بدون استفاده از نانوحسگرها قابل تصور نیستند زیرا ماکرو یا میکرو حسگرها نمی توانند بدون تخریب بافت های بدن و آسیب رساندن به آن در بدن انسان جاگذاری شوند.

۲- متاسفانه بیشتر انرژی که برای گرم کردن حسگرها مصرف می شود به هدر می رود. این در حالی است که حسگرگازی نیازی به حجم زیاد از ماده ندارد و فقط یک لایه سطحی از ماده حسگری مفید می باشد. جلوگیری از هدر رفت این مقدار انرژی با کم کردن جرم حسگر ممکن خواهد شد.

۳- حسگرهای کوچکتر به زمان کمتری برای رسیدن به تعادل پس از حس کردن گاز مورد مطالعه نیاز دارند زیرا سیگنال ها در این حالت مسیر کوتاه تری را می پیمایند. کوتاه تر شدن زمان پاسخ کمک می کند که اندازه گیری و در نتیجه آنالیز داده ها برای کاربردهای حیاتی فوراً انجام گیرد. [۱]



شکل (۱-۱) فواید نانو حسگرها [۱]

۳-۱ مشخصات و پارامترهای حسگری

۱- حساسیت: نسبت تغییر در مقدار خروجی به تغییر یک واحد از متغیر ورودی. حساسیت که با حرف S نشان داده می شود در یک حسگر مقاومتی به صورت نسبت تغییر مقدار مقاومت در حضور گاز تست، $\Delta R = R_a - R_g$ ، به مقدار مقاومت در هوا R_a ، تعریف می شود که در آن R_g مقاومت حسگر در حضور گاز تست می باشد.

$$S = \Delta R / R_a = |R_a - R_g| / R_a \quad (1-1)$$

در برخی موارد حساسیت به صورت نسبت تغییر مقاومت به بیشینه مقاومت در حضور گاز یا نسبت مقاومت در هوا به مقاومت در معرض گاز تست نیز محاسبه می گردد.

در مقادیر کوچک غلظت گاز تست، حساسیت حسگر با افزایش غلظت به شدت افزایش می یابد. در یک مساحت سطح ثابت برای هر ماده حسگری، غلظت پایین تر گاز به معنی پوشش کمتر مولکول های گاز روی سطح حسگر می باشد، و در نتیجه، برهمکنش سطحی کمتری اتفاق خواهد افتاد. با افزایش غلظت گاز تست، به علت پوشش بیشتر سطح، برهم کنش های سطحی افزایش می یابد. باید توجه داشته باشیم که افزایش در مقدار غلظت گاز، تا حدی که حسگر اشباع نشده باشد، افزایش حساسیت را به دنبال خواهد داشت. در حالتی که مولکول های سطحی کاملاً پوشش داده شده و به نقطه اشباع رسیده باشند، افزایش غلظت دیگر تاثیری بر سطح نخواهد داشت.

حساسیت همچنین به دمای عنصر حسگری وابسته است. بیشتر حسگرهای اکسید فلزی در دماهایی بالاتر از دمای اتاق شروع به کار می کنند و شناسایی این دمای کار از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در مورد حسگرهای اکسید فلزی، حساسیت با دما به آهستگی افزایش می یابد و در دماهای بالاتر آهسته تر می شود. برای وابستگی خطی، حساسیت در یک نقطه به مقدار بیشینه رسیده و پس از آن به سرعت افت می کند. [۲]

۲- گزینش گری: توانایی آشکارسازی یک نمونه خاص وقتی که حسگر در معرض مخلوطی از چند نمونه قرار داده می شود. در حقیقت گزینش گری برآوردی از توانایی حسگر در تشخیص گاز حس شونده می باشد وقتی که گازهای دیگری نیز در محیط وجود دارند. گزینش گری یک حسگر منفرد معمولاً به صورت حساسیت وابسته به غلظت گاز، که در ناحیه ی خطی محاسبه شده است، به بیشینه ی حساسیت در حضور تمام گازهای موجود دیگر تعریف می شود.

$$E = S_{\text{gas}} / \max (S)_{\text{all other gases}} \quad (۲-۱)$$

۳- رزولوشن (وضوح): کوچکترین تغییر قابل اندازه گیری که می تواند توسط ماده حسگری آشکارسازی شود.

۴- زمان پاسخ دهی^۲: زمانی که سپری می شود تا مقدار خروجی حسگر پس از قرارگیری در معرض گاز، به ۹۰٪ مقدار بیشینه اش برسد. در کاربردهای حسگرهای گازی واکنش سریع نسبت به تغییرات ناگهانی گاز بسیار مهم است. به همین علت کوتاه شدن زمان پاسخ حسگر یکی از مزیت های هر عنصر حسگری به شمار می رود. در برخی موارد از ۶۳٪ یا ۸۰٪ مقدار بیشینه نیز برای تعریف زمان پاسخ دهی استفاده شده است.

۵- زمان بازگشت^۳: پس از خروج نمونه مورد مطالعه، زمانی که طول می کشد تا حسگر به پاسخ حالت پایدار اولیه^۴ برگردد را زمان بازگشت گویند. هر چه این زمان کوتاه تر باشد خطای حسگر کمتر خواهد بود.

۶- دمای کار: دمایی است که بالاترین میزان حساسیت حسگر را در آن شاهد خواهیم بود. دمای کار پایین در حد دمای اتاق، علاوه بر مصرف انرژی کم، حسگرها را برای استفاده در محیط هایی که خطر انفجار و اشتعال دارند توانا می سازد.

۷- مشخصه کالیبراسیون: منحنی به دست آمده از رسم خروجی حسگر در محور افقی و مقدار ماده مورد اندازه گیری در محور قائم.

۸- خطی بودن: حسگرهای ایده آل در منحنی خروجی رفتاری خطی و در برخی موارد خاص، لگاریتمی از خود نشان می دهند. انحراف نسبی رفتار حسگر از بهترین خط راست ممکن، یکی از پارامترهای با اهمیت در بررسی حسگرها می باشد.

² Response Time

³ Recovery Time

⁴ baseline

۹- تکرار پذیری: قابلیت بازتولید خروجی یکسان توسط حسگر در مقادیر ماده مشخص.

۱۰- پایداری: توانایی حسگر برای ثابت ماندن منحنی کالیبراسیون در طول زمان، به طوری که نیاز به کالیبراسیون مجدد نداشته باشد. هر حسگر توانایی تولید نتایج یکسان (مثل زمان پاسخ، زمان بازگشت و حساسیت) تحت شرایط یکسان را در یک دوره زمانی خاص دارد. هر چه این دوره زمانی طولانی تر باشد حسگر کارایی بهتری خواهد داشت و به صرفه تر است چون نیاز به کالیبراسیون کمتری دارد.

۱۱- رانش: میزان انتقال منحنی کالیبراسیون حسگر در طول زمان

۱۲- پارامترهای محدودکننده ی مجاز: مقدار بیشینه پارامترهایی مانند دما، فشار، رطوبت نسبی و تابش که حسگر در کمتر از آن مقدار، کارایی رضایت بخشی دارد.

۱۳- حد آشکارسازی: پایین ترین غلظتی از گاز که تحت شرایط خاص (مخصوصا دمای معین) توسط حسگر قابل آشکارسازی است.

۱۴- محدوده فعالیت: تفاوت غلظت بین حد آشکارسازی و بالاترین مقدار قابل شناسایی.

۱۵- چرخه عمر: مدت زمانی که حسگر به طور پیوسته می تواند کار کند. [۱]

۴-۱ انواع حسگر ها

حسگر ها می توانند بر اساس کاربردها، سیگنال ورودی، مکانیزم تبدیل، ماده حسگری، تکنولوژی تولید یا مشخصه هایی مثل قیمت، دقت یا محدوده ی کاری به انواع مختلفی دسته بندی شوند.

- دسته بندی بر اساس ویژگی آشکار سازی:

الکتریکی، مغناطیسی، الکترومغناطیسی، صوتی، شیمیایی، اپتیکی، دما و گرما، مکانیکی، تابشی و زیستی.

- دسته بندی بر اساس کاربرد:

- کنترل، اندازه گیری و هدایت خودکار فرآیندهای صنعتی
- محصولات پزشکی، اتومبیل ها، قطعات الکتریکی

- دسته بندی بر اساس انرژی مورد نیاز:

• حسگر فعال (سنسورهایی که به تامین کننده انرژی نیاز دارند سنسور فعال نامیده می شوند. مثل: سلول های فتو رسانایی، مقاومت گرمایی، حسگر خازنی).

• حسگر غیر فعال (حسگرهای که به تامین کننده انرژی نیاز ندارند حسگر غیر فعال نامیده می شوند. مثل: تابش سنج ها، ترموکوپل، پیزوالکتریک و غیره).

- دسته بندی بر اساس اتصال:

• حسگرهای اتصالی: حسگری که به اتصال فیزیکی با محرک نیاز دارد مثل: اندازه گیرهای کرنش، اکثر حسگر های گرمایی

• حسگر های غیر اتصالی: به هیچ اتصال فیزیکی نیاز ندارند مثل: بیشتر حسگرهای اپتیکی و مغناطیسی، گرما سنج های مادون قرمز و غیره

دسته بندی بر اساس مشخصات: دقت، حساسیت، پایداری، زمان پاسخ دهی، پاسخ فرکانسی، گستره ی محرک ورودی، رزولوشن، خطی بودن، استحکام(به شرایط محیطی)، قیمت، اندازه و وزن، مواد

مورد استفاده در ساختار، دمای کار و پسماند.[۳]

نوع	ویژگی های آشکار سازی
حسگر گرمایی	دما، گرمای ویژه، شار گرمایی، ...
حسگر الکتریکی	بار الکتریکی، جریان، ولتاژ، مقاومت، ...
حسگر مغناطیسی	چگالی شار مغناطیسی، تکانه، ...
حسگر اپتیکی	شدت نور، طول موج، قطبش، ...
حسگر مکانیکی	طول، شتاب، شار، نیرو، فشار، ...
حسگر شیمیایی	ترکیب، غلظت، pH، ...

در اینجا به عنوان نمونه حسگرهای رسانایی سنجی و شیمیایی را بررسی می کنیم:

۱-۴-۱ حسگرهای رسانایی سنجی:

حسگرهای رسانا سیستم های حسگری هستند که تغییر در رسانندگی به علت برهم کنش بین یک ماده رسانا و مولکول نمونه را اندازه گیری می کنند. کامپوزیت های پلیمری رسانا و اکسیدهای فلزی (غالباً نیمه رسانا ها) مواد رایج استفاده شده در این حسگرها می باشند.

کامپوزیت های پلیمری، شامل ذرات رسانای معلق در یک ماتریس پلیمری عایق می باشند. مولکول های گاز، داخل پلیمر پخش شده باعث انبساط پلیمر می شوند. این انبساط موجب کوچک شدن گذرگاه رسانش برای حامل های بار می شود و افزایشی در مقاومت الکتریکی کامپوزیت اتفاق می افتد. اشکال کامپوزیت ها طول عمر و گستره آشکار سازی محدودشان برای یک گاز خاص است و مزیتشان نیاز نداشتن به هیتر برای کار کردن.

۱-۴-۲ حسگرهای مقاومتی

جذب یا درآشامی انواع گاز، مقاومت الکتریکی اکسید های فلزی را تغییر می دهد. تغییر در چگالی حامل های بار بر خروجی حسگر، یعنی مقاومت تاثیر می گذارد. اکسید های فلزی معمولاً به صورت مقاومت لایه نازک یا حجمی استفاده شده اند. ابعاد عناصر حسگری می تواند تا کمتر از یک میلی متر

کاهش یابد. پاسخ حسگر های مقاومتی با مکانیزم های انتقال بار صورت گرفته در محل های مختلف قطعه تعیین می شود. در کنار سهم های حجم و سطح، مرز دانه ها، و به طور بالقوه، اتصالات الکتریکی، مقاومت کل را تعیین می کنند.

محدودیت های کاربرد حسگر مقاومتی:

محدودیت ها و دقت حسگرهای مقاومتی از موارد زیر نتیجه می شوند:

۱. کاهش و تبخیر ماده فعال حسگری: کاهش اکسید های فلزی می تواند یک تهدید جدی در محیط های بسته باشد. به عنوان مثال گالیم در حالت عادی تمایل به تبخیر شدن دارد. این اتفاق، طول عمر سنسور را محدود می کند.

۲. وابستگی دمایی مقاومت: وابستگی دمایی مقاومت معمولا با گرم شدن کنترل م شود و بنابراین در اکثر موارد، تاثیر دما روی مقاومت اندازه گیری شده، بیشتر از اثر تماس با گاز می باشد. موادی که مقاومت مستقل از دما از خود نشان دهند، بسیار نادر می باشند.

۳. حساسیت به گونه های دیگر گاز: چند حساسیتی معمولا در مواد مشاهده می شود. برای مثال، مواد حسگری پایه اکسیدی ممکن است با هر فرآیند اکسایش-کاهش ایجاد شده با گاز هایی مثل H_2 ، CO ، NO_2 کاهش یابند، در نتیجه هر اندازه گیری، اطلاعاتی درباره همه گونه های گازی درگیر، تولید می کند. در موارد بسیاری، آرایه های حسگری با مواد حسگری متفاوت به منظور دستیابی به گزینش گری مورد نیاز به کار برده می شوند. چند حساسیتی می تواند با گرادیان دمایی، به کارگیری لایه های متخلخل و فیلتر کردن کاتالیزوری کاهش یابد.

۴. اثرات بار فضایی در محل اتصال الکتروود-اکسید

۵. کهنه شدن ماده حسگری

۶. تخریب سطح حسگر [۴]

فصل دوم

دی اکسید کربن، حسگری و

کاربردها

دی اکسید کربن یکی از گازهای مهم در چرخه حیات موجودات زنده است. با این وجود انتشار بیش از حد این گاز در محیط زیست اثرات مخربی به جا گذاشته است. با توجه به استفاده فراوان از سوخت های فسیلی در دنیا، انتشار بیش از حد دی اکسید کربن، باعث افزایش دمای کره زمین و عوارض ناشی از آن شده است. از این گذشته گاز دی اکسید کربن اثراتی را نیز بر بدن موجودات زنده می گذارد. تشخیص دی اکسید کربن در محیط، به علت بی رنگ و بی بو بودن آن، دشوار است؛ همچنین مسمومیت با آن علائم اختصاصی ندارد و به سختی قابل تشخیص است. این گاز یک ترکیب خفگی آور بوده و مشخص شده است که می تواند نیروی انقباضی در قلب را کاهش دهد. اندازه گیری دی اکسید کربن جهت نظارت بر کیفیت هوا و بررسی عملکرد ریه ها، در بسیاری از فرآیندهای صنعتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. علاوه بر این، با توجه به انتشار آن در هنگام سوختن ترکیبات مختلف، یکی دیگر از مهم ترین کاربردهای اندازه گیری CO_2 ، توسعه سیستم های تشخیص آتش سوزی است. حسگرها اصلی ترین ابزار اندازه گیری این گاز هستند. در این راستا، حسگرهای مادون قرمز غیر پاشنده (غیر پاشنده بودن اشاره به عدم پراکندگی امواج مادون قرمز، به واسطه عدم وجود اجزای نوری مثل عدسی، آینه و غیره در ساختار حسگر دارد) متداول ترین نوع حسگرها هستند. این حسگرها که بر پایه تکنیک طیف سنجی عمل می کنند، از طیف جذبی مشخصه دی اکسید کربن، برای شناسایی آن در محیط های گازی استفاده می نمایند. بهترین نوع از این حسگرها، سیستم های میکرو الکترو مکانیکی هستند که حساسیتی بین ۲۰ تا ۵۰ قسمت در میلیون دارند. دسته دیگر از حسگرهای دی اکسید کربن حسگرهای شیمیایی هستند که عموماً دارای یک لایه فعال پلیمری می باشند. این لایه می تواند به صورت گزینش گر، دی اکسید کربن را بر روی خود جذب نماید. این عمل موجب تغییراتی در مشخصات الکتریکی حسگر (مقاومت، رسانش و غیره) می شود که مبنای تشخیص گاز خواهد بود؛ اما این حسگرها حساسیت کمتری نسبت به حسگرهای مادون قرمز دارند.

۱-۲ کاربردهای حسگرهای گازی دی اکسید کربن

- اتمسفرهای اصلاح شده
- کیفیت هوای داخل ساختمان
- آشکارسازی قاچاق
- انبارها و مخازن گاز
- کشتی ها
- گلخانه ها
- محیط های بستری
- تشخیص برودت
- مدیریت سیستم تهویه هوا
- معادن
- سیستم های اکسیژن مدار بسته

دی اکسید کربن، از یک اتم کربن تشکیل شده که با دو اتم اکسیژن پیوند کوالانسی برقرار کرده اند و یک ترکیب بی بو، اسیدی و سمی با تکانه دو قطبی صفر و چگالی حدود یک و نیم برابر هوا تشکیل داده اند. گاز دی اکسید کربن در اتمسفر زمین و در سطح دریا غلظتی در حدود ۴۰۰ قسمت در میلیون دارد. CO₂ در فشارهای زیر ۵/۱۱ اتمسفر حالت مایع ندارد و به شدت در استون و اتانول حل می شود. CO₂ گازی، به فرم کربنیک اسید در آب حل می شود و به طور مشابه با قلیاها در دما و فشار عادی واکنش داده و کربنات و بی کربنات تولید می کند. [۵]

جدول (۱-۲) خلاصه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی گاز CO₂ [۵]

ویژگی ها	مقادیر
جرم مولی	44.0095 g/mol
چگالی	1600 g/lit (solid), 771 g/lit (liquid), 1.98 g/lit (gas)
دمای تصعید	-56.6 °C (at 5.185 bar)
قابلیت حل در آب	1.45 g/lit at 25 °C, 100 kPa
اسیدیته	6.35 and 10.33
چسبندگی	0.07 cP at -77 °C

۲-۲ منابع تولید CO₂

برطبق آمار سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده، بزرگترین منابع تولید گاز CO₂ در طبیعت، اقیانوس، خاک، گیاهان و آتشفشان ها هستند. اما این گازهای منتشر شده مجددا توسط گیاهان و فرآیندهای طبیعی به تعادل می رسند و سطح دی اکسید کربن در طبیعت همواره در محدوده امنی باقی می ماند.

انقلاب صنعتی، تکنولوژی های نوین و استانداردهای جدیدی به زندگی بشری وارد کرد اما در کنار آن اثرات مخربی بر طبیعت به جا گذاشت. CO₂ یکی از گازهای گلخانه ای می باشد و انتشارش از منابع بشری، مثل سوختن سوخت های فسیلی، زغال سنگ و گاز، حدود ۸۷ درصد یعنی چیزی بیش از ۳۳/۲ میلیارد تن در سال تخمین زده شده است. قطع درختان (۰.۹٪، ۳/۳ میلیارد تن در سال) و فرآیندهای صنعتی دیگر (۰.۴٪، ۱.۷ میلیارد تن در سال) به باقی ماندن این گازهای منتشر شده در محیط

کمک می کنند. فرآیندهای صنعتی مثل سیمان، پتروشیمی، فولاد و معدن، مقادیر قابل توجهی گاز CO₂ را به واسطه ی واکنش های شیمیایی اجتناب ناپذیر، به طور مستقیم و غیر مستقیم، منتشر می کنند. CO₂ جو، منبع اصلی کربن در حفظ زندگی گیاهان می باشد که این نقش، در چرخه طبیعی کربن بسیار هوشمندانه اجرا شده است. قرار گرفتن در معرض غلظت زیاد CO₂، اثرات جدی مثل افزایش جزئی سرعت تنفس (۰.۱٪)، سردرد و سرگیجه (۰.۲٪)، سستی (۰.۳٪)، خفگی (۴-۵٪)، افت هشیاری (۱۰-۵٪)، بیهوشی کوتاه مدت (۱۵٪) و مرگ (۳۰-۱۷٪) را باعث می شود. CO₂ یک سم استنشاقی و خفه کننده قوی می باشد (O₂ < 16%). حضور در غلظت های بالای آن موجب سردرد، سرگیجه، ضعف حافظه و تمرکز، اختلال در خواب، وز وز گوش، دوبینی، ترس از نور، کاهش حرکت چشم، کم شدن میدان دید، ایجاد نقاط تاریک دید و کم شدن قدرت تشخیص تاریکی و روشنایی می گردد. بنابراین، اداره کل ایمنی و سلامت، موسسه ملی ایمنی و سلامت حرفه ای، انجمن پیشبرد سلامت حرفه ای و محیطی، استاندارد های کاری CO₂، معادل ۰.۵٪ (5000ppm) در طول ۴۰ ساعت کار هفتگی، ۳٪ (30000ppm) برای یک زمان کوتاه (۱۵ دقیقه) و ۴٪ (40000ppm) را، بیشینه ی حد خطر در معرض گاز دی اکسید کربن اعلام کرده اند.

۲-۳ تکنیک های حسگری گاز CO₂

خطراتی که در بالا گفته شد با کنترل مقدار انتشار CO₂ در اتمسفر، کمتر می شوند. بنابراین برای کاربردهای صنعتی و حتی خانگی به دستگاه های آشکار ساز و مانیتورینگ گاز CO₂ با حساسیت و گزینش گری بالا نیاز است که بتوانند غلظت های پایین را شناسایی کرده و پایداری دراز مدت و مصرف انرژی کم داشته باشند. اندازه گیری های برخط چنین آلاینده های سمی، از منظر تجاری سازی بسیار مطلوب هستند. در اینجا تعدادی روش های مورد استفاده در محدوده تحقیقات آزمایشگاهی، مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۳-۲ حسگرهای مادون قرمز غیر پاشنده^۵

حسگرهای فرو سرخ غیر پاشنده، تکنولوژی تجاری سازی شده مورد استفاده برای مانیتورینگ غلظت های پایین CO₂ در دمای اتاق می باشند. عناصر کلیدی این حسگر، منبع مادون قرمز، محفظه نمونه یا لوله نور، فیلتر اپتیکی و آشکار ساز مادون قرمز می باشند. اساس کار حسگر به این صورت است: یک لامپ مادون قرمز، برای هدایت کردن دسته ای از امواج نوری، در طول یک لوله محصور که با هوا پر شده به کار می رود. در برابر آن یک آشکارساز مادون قرمز قرار دارد و طول موج های تضعیف شده ای که از یک فیلتر اپتیکی به آن می رسند، را اندازه می گیرد. تقریباً تمام مولکول های گازی، نور مادون قرمز در طول موج های مشخصه را، بسته به نوع پیوند جذب می کند. در طول انجام این فرآیند، یک مقدار مشخص از نور مادون قرمز، متناسب با غلظت گاز، جذب می شود. این تغییر در نور مادون قرمز، توسط حسگر اندازه گیری می شود. CO₂، جذبی قوی در طول موج های ۴/۲۶، ۲/۷ و ۱۳ میکرومتر دارد و به همین سبب می تواند به آسانی از گازهای رایج دیگر مثل SO₂ (۷/۳۵) و ۱۹/۲۵ میکرومتر)، NO₂ (۶/۶-۱۷/۴۳، ۴/۳-۱۵/۱۶ میکرومتر و ۴۹۶ نانومتر)، N₂O (۷/۷۳) میکرومتر)، و CO (۴/۶ میکرومتر) تشخیص داده شود.

حسگرهای تجاری دی اکسید کربن، اکثراً از منابع نوری پیروالکترونیک یا پیل گرمایی استفاده می کنند. اگرچه این حسگرها دقت بالا و اندازه نسبتاً کوچک دارند اما هنوز مضرات زیادی دارند که فرصت پیشرفت در حسگرهای جدید CO₂ را از آن ها سلب می کند. حساسیت و حد آشکار سازی قویا به شدت نور مادون قرمز، طراحی مسیر اپتیکی و آشکار ساز وابسته هستند. برای این نوع حسگرها، تست های گزینش گری به ندرت گزارش شده اند. [۵]

⁵ Nondispersive Infrared Sensor (NDIR)

۲-۳-۲ حسگرهای فیبر نوری رنگ سنجی و انکسار سنجی^۶

در طول دهه های گذشته، گزارش های زیادی پیرامون حسگرهای فیبر نوری رنگ سنجی و انکسار سنجی برای گاز CO₂ مشاهده شده اند و این، به دلیل سهولت آشکار سازی با چشم غیر مسلح و اخیرا با طیف سنج های نوری ساده است. آنالیزهای رنگ سنجی، به تغییر شدت در یک طول موج، که تابعی از تغییر رنگ می باشد، وابسته هستند. حسگر های رنگ سنجی CO₂ به طور گسترده در کاپنوگرافی (تکنیکی برای مانیتورینگ غیر تهاجمی است که در کاربردهایی مثل تهویه هوا، جریان خون و سوخت و ساز توانایی آشکار سازی دارد) استفاده شده اند. آنالیز های انکسار سنجی به اصول فیزیکی شکست نور وابسته هستند (قانون اسنل). این تکنیک، غلظت را تابعی از تغییر شاخص شکست (RI) در نظر گرفته و بنابر این تعریف، انتقال فرکانس نوسانگرهای اپتیکی را ثبت می کند. به علت اندازه کوچک نور متمرکز شده، حسگرها به تغییرات کوچک RI حساس هستند.

جدول (۲-۲) تعدادی از نتایج اخیر گزارش شده برای حسگرهای رنگ سنجی و انکسارسنجی CO₂ در دمای اتاق را نشان می دهد. البته، محدودیت های بزرگ این فیبرهای نوری شامل آلودگی، گزینش گری ضعیف و غیر قابل اعتمادی می باشند. [۵]

⁶ Colorimetric

⁷ Refractometric

جدول (۲-۲) خلاصه ای از حسگرهای رنگ سنجی (C) و انکسارسنجی (R) برای تشخیص گاز CO₂ در دمای اتاق [۵]

ماده حسگری	نوع حسگر	زمان پاسخ (s)	حد آشکارسازی (ppm)	گزینش گری
α-naphtholphthalein	C	۵	گزارش نشده	در حضور O ₂ ، CO و N ₂ هست
tetraphenylporphyrin	C	گزارش نشده	۳۰	در اسیدهای HCl نیست
Tetrapropyl Benzo Bisimidazolium	C	گزارش نشده	۳۰	گزارش نشده
Polydiaacetylene	C	۶۰	۴۰۰	گزارش نشده
Amino & Thiol Functionalized Silica	C	گزارش نشده	۱۲۰	گزارش نشده
Tertiary Amino Alcohols	C	گزارش نشده	۵۰۰	در حضور رطوبت هست
Phenol & p-nitro Phenol derivatives	R	۱۸۰	۱۰۰۰۰	در اسیدها نیست
Phenol & p-nitro Phenol derivatives	R	۵۱	۲۷۸۰	گزارش نشده

۲-۳-۳ حسگرهای تشدید پلاسمون سطحی

نوسان دسته جمعی الکترون های آزاد در سطح پلاسمای، باعث انتشار موج الکترومغناطیسی عرضی، به موازات مرز مشترک فلز-دی الکتریک، به نام موج پلاسمون سطحی می شود. موج پلاسمون سطحی توسط باریکه نور پلاریزه p (بردار میدان الکتریکی موازی صفحه فرودی) برانگیخته می شود. وقتی ثابت انتشار نور تابشی و موج پلاسمون سطحی با هم برابر باشند، تشدید اتفاق می افتد. شرایط تشدید بستگی به زاویه تابش و طول موج نور تابشی و همچنین ضرایب شکست محیط های فلز و دی الکتریک دارد. معمولا حسگرهای این دسته ترکیبی هستند از یک زیر لایه شیشه ای که نور از آن

عبور می کند تا به یک لایه نازک از فلز نجیبی (فلزاتی هستند که در برابر خوردگی و اکسیداسیون در هوای مرطوب مقاوم می باشند) که در طرف دیگر زیر لایه نشانده شده است برخورد کند و دوباره به داخل شیشه بازتاب شود. تحت زاویه های برخورد خاص، بخشی از نور با لایه فلز نجیب جفت شده و در حد فاصل نمونه و فلز، تشدید پلاسمون سطحی ایجاد می کند. این زاویه برخورد، به شدت به تغییرات شاخص بازتاب در هر دو سطح، که برای مانیتورینگ پیوستگی و جدایی مولکول های گاز استفاده شده اند، حساس می باشد. تنها موادی که قسمت حقیقی ثابت دی الکتریکشان منفی و قسمت موهومی مثبت و کوچک است (نقره، طلا، مس، آلومینیوم و غیره) قابلیت نمایش پلاسمون های سطحی را دارا می باشند. همین ویژگی های ساده اجازه می دهد که قطعات بر پایه تشدید پلاسمون سطحی، به عنوان حسگرهای اپتیکی بسیار حساس و انعطاف پذیر استفاده شوند. با این وجود چالش هایی مانند حد آشکارسازی، گزینش گری و وابستگی به چندین قاعده و قانون، استفاده گسترده از آن ها را محدود می کند. [۵]

جدول (۲-۳) مثال هایی از حسگرهای تشدید پلاسمون سطحی برای آشکارسازی دی اکسید کربن [۵]

ماده حسگری	زمان پاسخ (s)	حد آشکارسازی (ppm)	گزینش گری
Ti/ Au layer on CaF₂ prism	گزارش نشده	۲۰۰۰۰	گزارش نشده
Tributypentanamidine	گزارش نشده	۱۰	برای HCl، NH ₃ و آمین ها هست
SiO₂/ Au/ ZnS-SiO₂	گزارش نشده	گزارش نشده	گزارش نشده
1-Ethyl-3Methylimidazolium	گزارش نشده	۷۰۰	گزارش نشده
Pt/ Carbon Nanotube	گزارش نشده	۱۵۰	گزارش نشده
ZnO/ Au/ BK-7 prism	۱۰	گزارش نشده	گزارش نشده

۴-۳-۲ حسگر SAW^۸

پاسخ این حسگرها از اثر فیزیکی مدولاسیون امواج صوتی سطحی نتیجه می شود. حسگر، سیگنال الکتریکی ورودی، که به وسیله مبدل برانگیخته شده را به یک موج مکانیکی در یک زیرلایه تک کریستال تبدیل می کند، که در خروجی مجدداً به یک سیگنال الکتریکی تغییر پیدا می کند. زیرلایه تک بلور بر اساس ضریب جفت شدگی پیزوالکتریک و حساسیت های دمایی انتخاب شده است و استفاده از اکسید روی، لیتیوم نیوبات، لیتیوم تانتالات، پتاسیم نیوبات، بیسموت ژرمانیوم اکسید و کوارتز برای آن ها رایج است. برخی از حسگرهای SAW به منبع تغذیه نیاز ندارند که این خصوصیت آن ها را برای استفاده در کاربردهای بی سیم و مانیتورینگ دائمی محیط های در خطر، مناسب می سازد. مزیت این حسگرها، استحکام، حساسیت و پایداری بالا، وزن کم و زمان پاسخ سریع می باشد. جدول (۲-۴) خصوصیات تعدادی از این حسگرها را نمایش می دهد. هرچند حسگرهای دی اکسید کربن SAW حد آشکارسازی استثنائی از خود نشان داده اند، اما ویژگی های بسیار مهمی از قبیل گزینش گری، حساسیت، پایداری و زمان پاسخ و بازگشت آن ها دقیقاً گزارش نشده است. [۵]

⁸ Surface Acoustic Wave Sensor (SAW)

جدول (۲-۴) حسگرهای گازی saw برای آشکارسازی دی اکسید کربن در دمای اتاق [۵]

گزینه‌های گری	حساسیت (η) و حد آشکارسازی (ppm)	لایه حسگری	جزئیات مبدل
گزارش نشده	η -2° /ppm, LoD-50	Teflon AF 2400	440MHz 41° YX LiNbO₃ Reflective Delay Line
گزارش نشده	η -4.17 HZ/ ppm	Spin-Coated Polymer	250 MHz ST-Quartz 2-port Resonator
گزارش نشده	η -6mV/ % (attenuation) LoD-35000	Single walled carbon nanotubes	286 MHz 128° YX LiNbO₃ Reflective Delay Line
گزارش نشده	η -2.51 MHz/ppm.m ² LoD-200	Graphene-nickel-L- alanine	434 MHz ST-X Quartz
گزارش نشده	η -2.12° /ppm, LoD-75	Teflon AF 2400	440 MHz 41° YX LiNbO₃

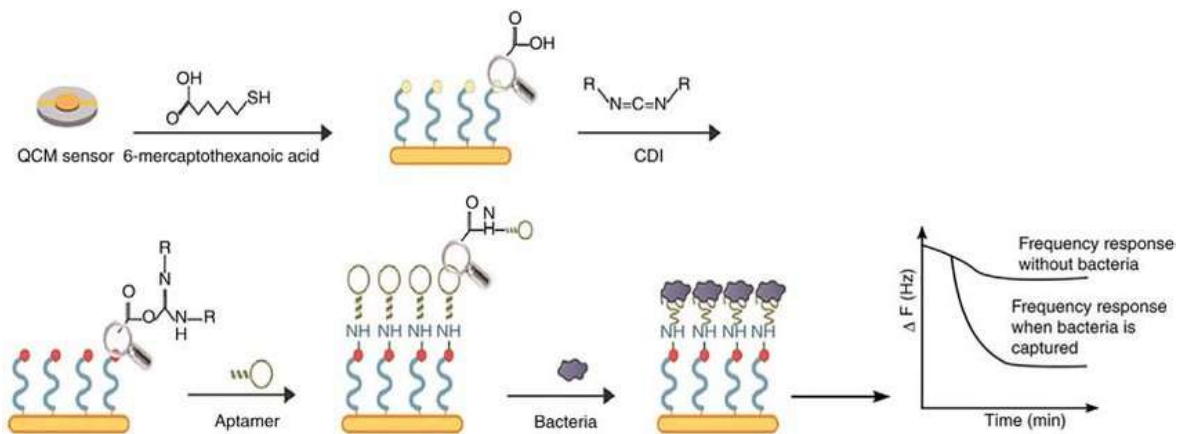
۵-۳-۲ حسگر QCM^۹

حسگرهای کریستال کوارتز بر پایه تغییر جرم روی سطح یک تشدید کننده ی بلوری نوسانی کار می کنند که خروجی آن ها یک سیگنال الکترونیکی خواهد بود. به طور خلاصه، پیکربندی یک QCM شامل یک ویفر بلوری نازک کوارتز با الکترودهایی در هر طرف، برای اعمال پتانسیل الکتریکی در طول بلور می باشد. با اعمال یک ولتاژ الکتریکی به ماده، بلور در یک فرکانس خاص نوسان می کند، که قویا به ضخامت زیرلایه استفاده شده وابسته است.

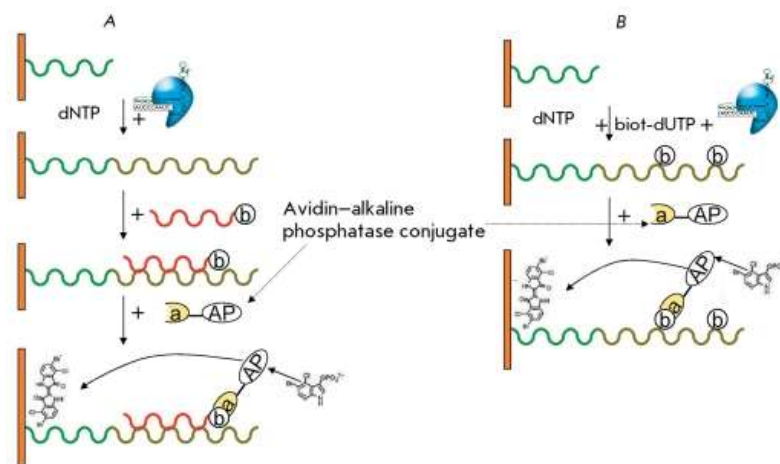
تغییرات جرم با رصد کردن فرکانس QCM مشخص می شود که همان پاسخ حسگر می باشد. Tai و

^۹ Quartz Crystal Microbalance (QCM)

همکارانش حسگر QCM ای با لایه Polyetherimide را برای حسگری CO₂ در دو حالت هوای خشک و مرطوب و در غلظت ۱۰۰۰-۱۰۰۰۰ قسمت در میلیون بررسی کرده اند. حسگر در حالت مرطوب پاسخ بهتری نسبت به هوای خشک نشان داد؛ با حساسیتی در حدود ۰/۸٪. اما این تحقیق در گزارش گزینش گری، تکرارپذیری و حد آشکارسازی ناکام ماند. [۵]



شکل (۱-۲) مکانیزم عملکرد حسگرهای کریستال کوارتز [۶]



شکل (۲-۲) مکانیزم عملکرد حسگرهای ریزترازوی کریستال کوارتز [۷]

۲-۳-۶ حسگرهای گازی شیمیایی مقاومتی و خازنی

حسگرهای گازی شیمیایی بسته به نوع پارامتر الکتریکی متغیر، یعنی تغییر در مقاومت یا ظرفیت در حضور گاز هدف، می توانند از نوع مقاومتی یا خازنی باشند. در اینجا پاسخ حسگر به طور مستقیم بر حسب مقاومت یا ظرفیت خازن، که متناسب با غلظت گاز هستند، اندازه گیری شده است. حسگرهای گازی شیمیایی اولین بار در سال ۱۹۶۲ توسط Seiyama و Taguchi گزارش شدند. آنها نشان دادند که وقتی SnO_2 در هوا تا دمای بالا ($>300^\circ\text{C}$) گرم شد، نسبت به گازهایی مثل تولوئن، بنزن، اتیل اتر، پروپان و CO_2 حساسیت بزرگی نشان می دهد. با توجه به این موفقیت، حسگرهای گازی نیمه رسانا به طور گسترده برای هشدار نشت گاز، رصد هوای داخل/خارج، کنترل فرآیندهای صنعتی، کنترل آلودگی و غیره استفاده شده اند. نیمه رساناهای اکسید فلزی دیگر، در مقایسه با مواد آلی، برای استفاده در حسگری گازهای سمی، قابل اشتعال و غیر قابل اشتعال موفق تر بوده اند. هر دو نوع نیمه رسانای اکسید فلزی n-type و p-type می توانند به عنوان لایه حساس استفاده شوند. ماده حسگری بسیار رایج در حسگر گازی مقاومتی، SnO_2 می باشد، اما دیگر اکسیدهای فلزی مثل ZnO ، In_2O_3 ، WO_3 ، TiO_2 نیز استفاده می شوند. معمولاً ماده اکسیدی به شکل دانه های در اندازه نانو می باشد که به یکدیگر چسبیده اند. این ساختار متخلخل، اجازه می دهد که مولکول های گاز به داخل حجم ماده نفوذ کنند. اکسید قلع Nonstoichiometric، $(\text{SnO}_{2-x}; x \ll 1)$ ، به علت تهی جاهای اکسیژن در ساختار بلوری، مثل یک نیمه رسانای نوع n رفتار می کند.

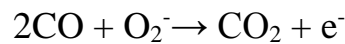
حضور یک تهی جا سبب می شود دو الکترون در یک اتم قلع آزاد شوند. اگر اکسید قلع در معرض اکسیژن قرار گیرد، مولکول های اکسیژن در سطح جذب می شوند و هر مولکول یک الکترون را می گیرد، به فرم گونه های اکسیژن آنیونی جذب شده مثل O_2^- ، O^- و O^{2-} . گیراندازی الکترون توسط اکسیژن، سطح را از حامل های بار خالی می کند و میزان تهی شدن در محل اتصال بین دو ذره به بیشینه خود می رسد. الکترون برای انتقال بین دانه های مجاور با یک سد پتانسیل مواجه می شود.

مقاومت الکتریکی حسگر (R_a) با در نظر گرفتن این سد به طور تخمینی با معادله زیر مشخص می‌شود:

$$R_a = R_0 \exp eV_a / K_B T \quad (1-2)$$

که R_0 ثابت، e بار الکتریکی، V_a ارتفاع سد در هوای خالص، K_B ثابت بولتزمن و T دمای مطلق می‌باشند. بر اساس این قانون، حسگرهای اکسیژن با استفاده از TiO_2 یا $BaTiO_3$ به عنوان ماده حسگری توسعه یافته‌اند. [۸]

اگر گاز کاهنده (مثل CO) به حسگر برسد، با اکسیژن جذب شده اینگونه واکنش می‌کند:



در این مسیر، الکترون‌های آزاد به داخل نوار رسانش منتشر می‌شوند. در نتیجه، سد انرژی داخل دانه کاهش می‌یابد و مقاومت حسگر می‌شود:

$$R_g = R_0 \exp eV_g / K_B T \quad (2-2)$$

که V_g ارتفاع سد در حضور گاز کاهنده است. هرگاه $V_g < V_a$ مقاومت در حضور گاز کاهنده کوچکتر می‌شود. حساسیت ماده به گاز کاهنده (S) به این صورت تعریف می‌شود:

$$S = \frac{R_g}{R_a} = \exp \frac{eV_a - eV_g}{K_B T} \quad (3-2)$$

گازهای اکسیدکننده (مثل NO_2 یا کلر) نیز می‌توانند با حسگرهای اکسید فلزی خاص، آشکار سازی شوند. در این مورد، گاز باعث می‌شود تهی‌جای الکترون افزایش یابد که نتیجه آن مقاومت بزرگتر خواهد بود. رابطه بین مقاومت حسگر (R) و غلظت گاز (C) به صورت تئوری استخراج شده است. در موارد زیادی تابع زیر زمان پاسخ را به ما می‌دهد:

$$\text{Log} \frac{R}{R_{ref}} = A + \alpha \text{Log} C \quad (4-2)$$

α و A پارامترهای تجربی و R_{ref} مقاومت اندازه گیری شده در گاز مرجع می باشند. تابع پاسخ، خطی می باشد. این نوع پاسخ می تواند برای گستره ی وسیعی از غلظت ها بسط داده شود، از چند ppb تا چند هزار ppm. حسگرهای شیمیایی اکسید فلزی برای کار باید به دماهای بالا برسند ($200-800\text{ }^{\circ}\text{C}$). دما بوسیله ی یک گرمکن الکتریکی تعبیه شده در ساختار حسگر، تنظیم می شود. اساس کار اکسیدهای نیمه رسانا، بر پایه جذب و واکنش شیمیایی در سطوح دانه اکسید استوار است. در نتیجه دمای کار به سبب اثرگذاری بر نرخ انجام واکنش ها، بر حساسیت موثر خواهد بود. به همین علت، یک مدار برای جبران تغییرات دمایی باید در دستگاه اندازه گیری تعبیه شود. [۸]

پاسخ به رطوبت

بخارهای آب در سطح جذب شده و باعث یک تغییر محسوس در مقاومت حسگر می شوند. این خصوصیت در حسگرهای رطوبت مقاومتی مفید است. بهترین مواد در این رابطه اکسیدهای ترکیبی پروسکایتی هستند که شامل فلزات زمین قلیایی مانند SrSnO_3 و CaTiO_3 می باشند. [۸]

پیکربندی حسگر

در ابتدا، حسگرهای شیمیایی گازی با لایه نشانی یک لایه نازک اکسیدی، روی تیوب سرامیکی ساخته می شوند. اتصال الکتریکی به لایه اکسیدی، با دو الکتروود فلزی در انتهای تیوب برقرار می گردد. گرمکن نیز با یک سیم پیچ مقاومتی درون تیوب ایجاد می شود. برای اندازه گیری مقاومت، یک ولتاژ ثابت DC (V_s) به مدار ساخته شده از حسگر و مقاومت الکتریکی (R_L) اعمال می شود. با توجه به قانون اهم، ولتاژی که در مقاومت بار افت می کند (V_{out})، با عکس مقاومت حسگر متناسب است. این ولتاژ، سیگنال خروجی پاسخ حسگر است. همانطور که می بینیم قاعده اندازه گیری بسیار ساده و فقط نیازمند مدارهای DC می باشد. اگرچه پیکربندی تیوبی مدت های زیادی استفاده می شده اما

اکنون جای خود را به پیکربندی تخت داده است که از نقطه نظر تکنولوژی ساخت با صرفه تر می باشد. در طراحی سطحی، لایه اکسید فلزی روی تمام دی الکتریک تخت لایه نشانی شده و گرمکن در پایین آن قرار گرفته است. الکترودها ساختاری متصل به هم دارند که استفاده از مواد حساس به گاز با مقاومت ویژه خیلی بزرگ را ممکن می سازند. پیکربندی سطحی که اجازه مینیاتوریزه کردن را می دهد، با تکنولوژی های میکروساخت مثل screenprinting و micromachining سازگار هستند. micromachining، تولید قطعات خیلی کوچک با مصرف انرژی پایین و در تعداد بالا را ممکن می سازد. پیکربندی های توضیح داده شده مستلزم دو مدار الکتریکی متفاوت می باشند: مدار گرمکن و مدار اندازه گیری. [۸]

سنتز و لایه نشانی اکسیدهای فلزی

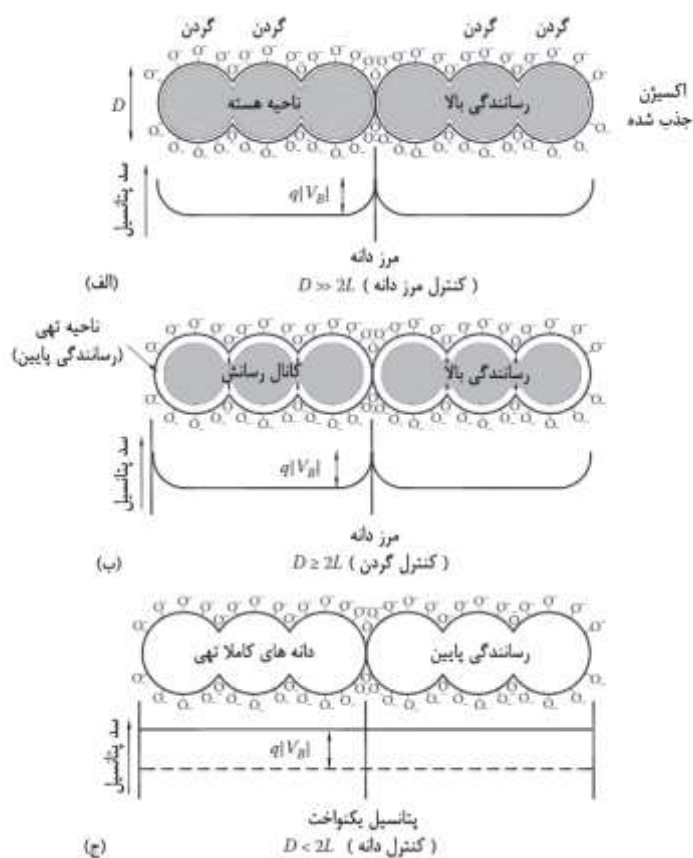
اکسیدهای فلزی برای کاربری در حسگر شیمیایی با روش های سنتز خشک و تر به دست می آیند. نمونه ای از سنتز خشک روش سل-ژل می باشد. بر اساس شرایط برهمکنش، سنتز سل-ژل، ذرات آمورف یا بلوری تولید می کند. اندازه آن ها به پارامترهای سنتز مثل غلظت پیش ماده یا دمای واکنش وابسته است. سنتز خشک، امکانات وسیعی برای تولید لایه های اکسید فلزی با موفقولوژی، درجه تخلخل و ضخامت متفاوت عرضه می کند.

گروهی از روش های سنتز خشک بر پایه لایه نشانی بخار شیمیایی کار می کنند. در این روش پیش ماده گازی به ناحیه واکنش که دمای آن معمولاً خیلی بالاست وارد می شود. سنتز اکسید فلز به طور مستقیم روی زیر لایه هدف انجام می گیرد. [۸]

گزینش گری و حساسیت

پارامتری که قطعاً حساسیت را تعیین می کند اندازه دانه های اکسیدی است. اثر اندازه دانه می تواند توجیه کند که اگر لایه حسگری به عنوان یک شبکه سه بعدی از دانه ها و گردن ها دیده شود، هر

ذره ترکیبی از یک جفت دانه به هم چسبیده خواهد بود. مقاومت کل لایه حسگری با مقاومت دانه ها، گردن ها و نواحی اتصال ذرات کنترل می شود. در اصل، با کاهش اندازه دانه (D) تا حد نانومتر، افزایش بزرگی در حساسیت به دست می آید. پارامتر بحرانی در این مورد طول دبای (L) می باشد؛ فاصله ای که در آن جدایی بار قابل توجهی در نیمه رسانا اتفاق می افتد. اگر اندازه ذره در مقابل طول دبای خیلی بزرگ باشد لایه تهی یک منطقه ی خیلی باریک می شود و بر شار جریان در طول دانه و گردن ها اثر می گذارد. [۸]



شکل (۲-۳) نمای شماتیک از اثر اندازه بلور بر حساسیت حسگرهای گازی اکسید فلزی [۲]

برای توضیح اثر اندازه ی دانه بر حساسیت حسگرهای گازی اکسید فلزی، با توجه به شکل بالا می توان گفت وقتی D خیلی بزرگتر از $2L$ باشد، حجم بلورها به علت برهمکنش های سطحی قابل اغماض است. در این مورد، اثر غالب محیط گازی روی رسانایی حسگر، با سدهای مرز دانه

برای انتقال بار درون بلوری از یک دانه به دیگر دانه ها تعیین شده است. رسانایی الکتریکی σ به طور نمایی به ارتفاع سد، $q|V_B|:\sigma \propto \exp(-q|V_B|/kT)$ بستگی دارد، که q بار الکترون اولیه، V_B پتانسیل مرز دانه، k ثابت بولتزمن و T دما هستند. مطابق تخمین $q|V_B| \propto (N_i^-)^2$ ، که N_i^- چگالی بار محصور شده در سطح بلور ها می باشد، N_i^- می تواند با برهمکنش های انتقال بار با گازهای واکنش گر، مثل O_2 ، NO_x و CO تغییر کند و رسانندگی ها به ترکیب گاز حساس هستند. بنابراین برای دانه های بزرگ ($D \gg 2L$)، مکانیزم حسگری گاز توسط سدهای مرز دانه کنترل می شود. سدهای مرز دانه از اندازه دانه مستقل هستند، بنابراین حساسیت از مقدار D مستقل می باشد. با کاهش اندازه دانه، ناحیه تهی به داخل دانه ها بسط پیدا کرده و در نتیجه ناحیه هسته که با توجه به ناحیه ی تهی، نزدیک سطح نسبتا رسانا است، کوچکتر می شود. وقتی D به مقدار $2L$ نزدیک می شود، در حالی که هنوز بزرگتر از آن است، رسانایی نه تنها به مرز های سد دانه بلکه به مساحت عرضی کانال های آن ها وابسته است. وقتی $D < 2L$ ، ناحیه تهی به سراسر دانه کشیده می شود و بلورها تقریبا از حامل های بار متحرک خالی می گردند. در نتیجه رسانایی به سرعت کاهش می یابد تا اینکه کانال های رسانش بین دانه ها ناپدید شوند. نوارهای انرژی در تمام ساختار دانه های متصل به هم تقریبا تخت هستند و چون سدهای بزرگی برای انتقال درون بلوری وجود ندارد، رسانندگی الزاما با رسانندگی درون بلوری کنترل می شود. به طور تجربی دیده شده است بزرگترین مقدار حساسیت گاز در این مورد، $D < 2L$ ، به دست می آید. [۲]

با $D > 2L$ ، تقریبا تمام الکترون ها در سطح ذره گیر افتاده اند و بیشینه مقاومت رخ خواهد داد. تحت این شرایط، تغییرات بسیار کوچکی در چگالی الکترون های محصور شده هنگام برهمکنش های گازی، سبب تغییر قابل توجهی در مقاومت می گردد. به همین علت است که در اندازه های کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر، حساسیت بالایی به دست می آید. [۸]

حساسیت به یک گاز خاص از فعل و انفعالات تعداد زیادی عوامل هندسی (اندازه دانه، تخلخل، مساحت محل اتصال داخل دانه و جهت بلورها) و پارامترهای فیزیکی شیمیایی (ترکیب فازی و شیمیایی، چگالی سطحی و حجمی تهی جاهای اکسیژن و خواص ناخالصی های افزوده شده) نتیجه می شود. بعضی پارامترها می توانند با انتخاب روش سنتز مناسب و همچنین پس سنتز ماده اکسیدی تنظیم شوند.

به طور معمول، حسگرهای گازی اکسید فلزی گزینش گر نیستند. به منظور افزایش پاسخ به یک گاز خاص یا یک دسته از گازهای مشخص، افزودنی های خاصی به ماده نیمه رسانا اضافه می شوند. فلزات نجیب که خواص کاتالیزوری از خود نشان می دهند، از افزودنی های رایجی هستند که یا به صورت یک لایه سطحی به کار برده می شوند یا با لایه حساس ترکیب می شوند.

در برخی موارد نیز یک فیلتر، که اجزای گاز اضافی را حذف می کند، باعث افزایش گزینش گری حسگر می گردد. برای مثال با استفاده از یک فیلتر زغال چوب، می توان هیدروکربن ها را در شناسایی مونوکسید کربن حذف کرد. [۸]

فصل سوم

مکانیزم هوشمندسازی سیستم‌ها و کاربرد

آن در بین الکترونیکی

۳-۱ هوشمند سازی

امروزه ضریب نفوذ اشیا متصل و هوشمند در زندگی شخصی و محیط کاری انسان ها با چند سال قبل قابل مقایسه نیست. سازمان های مدرن امروزی، حجم بسیار گسترده ای از داده ها را جمع آوری می کنند؛ داده هایی که دارایی های سازمانی شناخته می شوند. اما سازمان ها تنها با تجزیه و تحلیل این داده ها به بینش لازم در زمینه اخذ تصمیم های روشن دست خواهند یافت. سازمان ها ابتدا داده ها را از منبع داده ای خود استخراج می کنند و سپس به تجزیه و تحلیل آن ها می پردازند. تجزیه و تحلیل این داده ها منجر به شکل گیری بینش می شود. در ادامه، بینش به دست آمده در اختیار مدیران ارشد سازمان قرار می گیرد و تصمیم نهایی اخذ می شود. این فرآیند، استخراج بینش از داده ها،^۱ نامیده می شود. به فرآیند حرکت از داده ها به سمت بینش و در نهایت تصمیم گیری، تجزیه و تحلیل پیشگویانه داده ها گفته می شود. تجزیه و تحلیل پیشگویانه، هنر ساخت و به کارگیری مدل هایی است که می توانند پیش بینی هایی را بر مبنای الگوهای استخراج شده از داده های تاریخی، ارائه کنند. برنامه های کاربردی از تجزیه و تحلیل های پیشگویانه، در مواردی همچون پیش بینی قیمت ها در کسب و کارهای مرتبط با هتل های زنجیره ای، خطوط هوایی و مانند این ها، ارزیابی ریسک که یکی از تاثیرگذارترین نکات کلیدی در تصمیم گیری سازمانی است، مدل سازی احتمالات (پیش بینی تمایلات فردی)، تشخیص در حوزه پزشکی، مهندسی و نظایر آن، طبقه بندی اسناد در گروه های مختلف و مانند این ها استفاده می کنند. زمانی از اصطلاح یادگیری ماشین^۱ استفاده می کنیم که مدل های طراحی شده آموزش دیده باشند. یادگیری ماشینی، در قالب فرآیند خودکاری که الگوها را از داده ها استخراج می کند، تعریف می شود. برای اینکه بتوان مدل هایی را ایجاد کرد که در برنامه های تجزیه و تحلیل پیشگویانه داده ها استفاده شوند، روش های مختلفی وجود دارد.

¹ Data Analytics	0
¹ Machine learning	1

یادگیری با نظارت^۲ رایج ترین روشی است که در این زمینه استفاده می شود. در این روش ارتباط میان مجموعه ای از ویژگی های توصیفی و ویژگی هدف بر مبنای مجموعه ای از نمونه های تاریخی یا موارد مشابه، به مدل آموزش داده می شود. بعد از این آموزش است که مدل، آمادگی پیش بینی رخدادهای جدید را خواهد داشت. امروزه یادگیری ماشینی، در بسیاری از حوزه ها و سرویس ها استفاده می شود که شاید بسیاری کاربران بدون اطلاع از ماهیت آن از آن استفاده می کنند. نرم افزارهای تشخیص چهره رایج ترین مثالی است که در این زمینه می توان به آن اشاره کرد.

۳-۲ فرآیند یادگیری ماشینی

یادگیری ماشین، یک زیر مجموعه از هوش مصنوعی است. با استفاده از تکنیک های یادگیری ماشین، کامپیوتر، الگوهای موجود در داده ها (اطلاعات پردازش شده) را یادگرفته و می تواند از آن استفاده کند. فرآیند کلی یادگیری ماشین را می توان به این شکل خلاصه کرد. داده های آموزشی، به الگوریتم های یادگیری ماشین تزریق می شوند. این الگوریتم ها، وظیفه یادگیری و تولید الگوهای مختلف از داده ها را بر عهده دارند. بعد از به دست آوردن الگوها توسط الگوریتم ها، یک مدل ساخته می شود. این مدل می تواند در حافظه ذخیره شود. بعد از ذخیره مدل، سیستم توانایی پیش بینی رفتار یک سیستم را خواهد داشت.

ویژگی^۳، در واقع پایه بسیاری از عملیات یادگیری ماشین است. در یک مجموعه داده، برای تفکیک داده ها از هم، چند ویژگی مشخص را در نظر می گیریم. هر ویژگی، یک بعد^۴ از فضای ویژگی های ما خواهد بود.

1 Supervised learning	2
1 Feature	3
1 dimension	4

مثلا اگر دو ویژگی در نظر بگیریم تعداد ابعاد فضای ویژگی دو خواهد بود و جداسازی در یک نمودار دو بعدی انجام می شود. ویژگی ها و بُعد ها در یادگیری ماشین بسیار مهم هستند و در واقع پایه بسیاری از عملیات تجزیه و تحلیل داده ها به حساب می آیند. در فرآیند های یادگیری ماشین دو نوع یادگیری مهم وجود دارد: یادگیری نظارت شده و یادگیری غیرنظارت شده^{۱۵}.

در اینجا چند الگوریتم یادگیری ماشینی را معرفی می کنیم:

- درخت های تصمیم: درختان تصمیم یکی از روش های ساده اما کاربردی در حوزه یادگیری ماشین هستند. این درخت ها با ایجاد شاخه ها و برگ ها، یادگیری را انجام می دهند و می توانند در طیف وسیعی از داده ها، کاربرد داشته باشند. درختان تصمیم، معمولا برای داده هایی با ابعاد کم کاربرد دارند. اگر ابعاد داده زیادتر شود، این الگوریتم ها معمولا Overfit شده و شاید نتوانند دقت خوبی داشته باشند.
- پرسپترون ها: پرسپترون می تواند یک حد آستانه خوب را پیدا کند و با این حد آستانه، تفاوت نمونه های مختلف را درک کند.
- شبکه های عصبی: در واقع شبکه های عصبی یک شبکه ای از پرسپترون ها هستند. شبکه ای بدون دور^{۱۶} که لایه های مختلف دارد. خروجی هر لایه می تواند ورودی لایه بعدی باشد تا به لایه ی آخر یا همان لایه ی خروجی برسیم.
- یادگیری بر اساس نمونه: داده جدید را با موارد قبلی مقایسه کرده و به هر موردی که شبیه بود در دسته همان مورد قرار می دهد.
- ماشین بردار پشتیبان

¹ Unsupervised learning	5
¹ Threshold	6
¹ Acyclic	7

الگوریتم های گفته شده در بالا یک سری از الگوریتم های معروف یادگیری ماشین هستند. تعداد بسیار زیاد دیگری از الگوریتم ها و روش ها وجود دارد که برای داده های مختلف می تواند مورد استفاده قرار گیرد. البته اینکه کدام الگوریتم را باید برای کدام یک از داده ها استفاده کرد، هم نیاز به تجربه و هم نیاز به آزمایش بر روی داده های واقعی دارد.

۳-۳ انتخاب و استخراج ویژگی

انتخاب ویژگی زیرمجموعه کاهش ابعاد است. در مقایسه با بسترهای داده ای قدیمی و کوچک تر، بسترهای داده ای امروزی چالش های جدیدی در تحلیل داده ها به وجود آورده اند. روش های آماری سنتی به دو دلیل امروزه کارایی خود را از دست داده اند. علت اول، افزایش تعداد مشاهدات است، و علت دوم که از اهمیت بالاتری برخوردار است، افزایش تعداد متغیرهای مربوط به یک مشاهده می باشد.

تعداد متغیرهایی که برای هر مشاهده باید اندازه گیری شود ابعاد داده نامیده می شود. عبارت "متغیر"، بیشتر در آمار استفاده می شود در حالی که در علوم کامپیوتر و یادگیری ماشین، بیشتر از عبارات "ویژگی" و یا "صفت" استفاده می گردد.

روش های کاهش ابعاد داده به دو دسته تقسیم می شوند:

- **روش های مبتنی بر استخراج ویژگی:** این روش ها یک فضای چند بعدی را به یک فضای با ابعاد کمتر نگاشت می کنند. در واقع با ترکیب مقادیر ویژگی های موجود، تعداد کمتری ویژگی به وجود می آورند بطوریکه این ویژگی ها دارای تمام (یا بخش بزرگی) از اطلاعات موجود در ویژگی های اولیه باشند. این روش ها به دو دسته ی خطی و غیر خطی تقسیم می شوند.

• روش های مبتنی بر انتخاب ویژگی: این روش ها سعی می کنند با انتخاب زیرمجموعه‌ای

از ویژگی های اولیه، ابعاد داده ها را کاهش دهند. در پاره‌ای از اوقات تحلیل های داده‌ای نظیر طبقه-

بندی، بر روی فضای کاسته شده نسبت به فضای اصلی، بهتر عمل می کند.

در یک مسئله دسته بندی واقعی، x ویژگی است و می خواهیم کلاسیفایری طراحی کنیم که از روی

x ، خروجی y را بدهد. y در یک مسئله دو کلاسه دو مقدار، مثلا صفر یا یک دارد. ممکن است ما p

ویژگی داشته باشیم.

$$X \rightarrow \boxed{} \rightarrow y \in \{0, 1\} \quad X = (x_1, x_2, \dots, x_p) \quad (1-3)$$

در برخی مسائل p عدد بزرگی است.

دلایل انتخاب نکردن تمام ویژگی های موجود در داده ها:

۱- Picking phenomena: با افزایش n ، که تعداد ویژگی هاست، خطای طبقه بندی کننده تا یک

نقطه کاهش و به بعد از آن افزایش می یابد. به علت وجود چنین پدیده ای ما می خواهیم از تعداد

ویژگی بهینه استفاده کنیم.



شکل (۱-۳) تعداد ویژگی بهینه

۲- فرض کنیم این پدیده را نداشته باشیم و خطا همواره با افزایش ویژگی کاهش یابد. حتی در چنین حالتی استفاده از تعداد زیادی ویژگی، پیچیدگی محاسبات و در نتیجه زمان انجام پردازش را افزایش می دهد. همچنین، ذخیره سازی این تعداد ویژگی به عنوان الگو، کاری بسیار دشوار می باشد.

۳- در بسیاری مسائل تنها چند ویژگی، بیشترین اثر را در جداسازی کلاس های داده ها دارند.

به همین دلایل، هدف، رسیدن به دسته ای d عددی از ویژگی هاست که $d < p$ باشد. این d ویژگی، بیشترین نقش را در جداسازی کلاس ها دارند.

۱-۳-۳ تفاوت انتخاب با استخراج ویژگی

اگر ما p ویژگی داشته باشیم و x' نگاشتی از ویژگی x تحت T باشد. داریم:

$$X' = T(x) = (x_1', x_2', \dots, x_d') \longrightarrow T: R^p \rightarrow R^d \quad (2-3)$$

به طور کلی این نگاشت، کاهش ویژگی است؛ یعنی از فضایی با p بعد، به فضایی با d بعد رفته ایم. انتخاب ویژگی، حالت خاصی از استخراج ویژگی است. در استخراج ویژگی می توانیم عملیاتی بر روی ویژگی های اولیه انجام داده و خروجی را به عنوان ویژگی های اصلی خود در نظر بگیریم. اما در انتخاب ویژگی همان ویژگی های اولیه را بدون اعمال هیچ گونه تغییر یا فیلتری، به عنوان ویژگی های نهایی استفاده می کنیم.

استخراج ویژگی با اعمال نگاشت روی ویژگی های اولیه، این امکان را می دهد که تعداد ویژگی ها را خیلی کم کرده و فقط چند ویژگی مهم را در نظر بگیریم. اما انتخاب ویژگی، این امکان را می دهد که به ویژگی ها اصلا دست نزنیم. پس اگر بخواهیم جنس و ماهیت ویژگی های اولیه را حفظ کنیم، از انتخاب ویژگی استفاده خواهیم کرد.

۳-۴ ماشین بردار پشتیبان^{۱۸}

SVM، قویا بر نظریه یادگیری آماری تکیه دارد. ایده اصلی دسته بندی، بر پایه یافتن ابر رویه ی جداکننده ی دو مجموعه نقطه در فضای نمونه استوار است. ماشین بردار پشتیبان، یک مجموعه از روش های آموزش نظارت شده مرتبط، برای دسته بندی می باشد. آنها به یک خانواده از طبقه بندی کننده های خطی عمومی تعلق دارند. این خانواده از طبقه بندی کننده ها، هم توانایی کمینه کردن خطای طبقه بندی تجربی و هم بیشینه کردن حاشیه هندسی را دارند. در واقع یک SVM، کلاسیفایر بیشترین حاشیه نیز شناخته می شود. به طور هندسی، ابر صفحه ی جدا کننده بهینه برای دو مجموعه نقطه، می تواند با ساختن پوسته های محدب حول دو کلاس پیدا شود. سپس با تقسیم کردن کوتاهترین فاصله بین پوسته ها به دو قسمت مساوی، پوسته عمود بر نقطه وسط، ابر صفحه بهینه ای است که دو کلاس را جدا می کند و در حالت دو بعدی همانطور که در شکل (۲-۳) مشاهده می کنید، این پوسته به یک خط تبدیل می شود. معادله این ابر صفحه به این صورت است:

$$f(\mathbf{x}) = \mathbf{w}^T \mathbf{x} + b = 0 \quad (۳-۳)$$

و برای یک نرمالیزاسیون مناسب، حاشیه برابر است با $\|\mathbf{W}\|^{-1}$.

بنابراین، بیشینه کردن حاشیه، معادل کمینه کردن $\|\mathbf{W}\|$ است. فایده این حاشیه بیشینه، مقاوم شدن در برابر نویز و ایجاد حل واحد برای مسائل قابل جدا سازی خطی می باشد. در بیشتر موارد آزمایشگاهی، داده ها به طور خطی قابل جدا سازی نیستند، پس ابر صفحه به طور همزمان برای بیشینه کردن حاشیه و کمینه کردن مجموع خطاهای دسته بندی تلاش می کند.

خطای ξ_i از یک نقطه (x_i, y_i) و $y_i \in \{-1, 1\}$ (با مراجعه به حاشیه هدف γ و برای یک ابر صفحه f)

¹ Support Vector Machine (SVM)⁸

به این صورت تعریف شده است:

$$\xi_i = \xi((\mathbf{x}_i, y_i), f(\mathbf{x}_i), \gamma) = \max(0, \gamma - y_i f(\mathbf{x}_i)) \quad (4-3)$$

ξ_i خطای ضعیف حاشیه نامیده شده که تعیین می کند چه مقدار نقطه برای داشتن حاشیه γ باید شکسته شود. اگر y_i و $f(\mathbf{x}_i)$ علامت های مختلف داشته باشند، نقطه \mathbf{x}_i دسته بندی نشده است و:

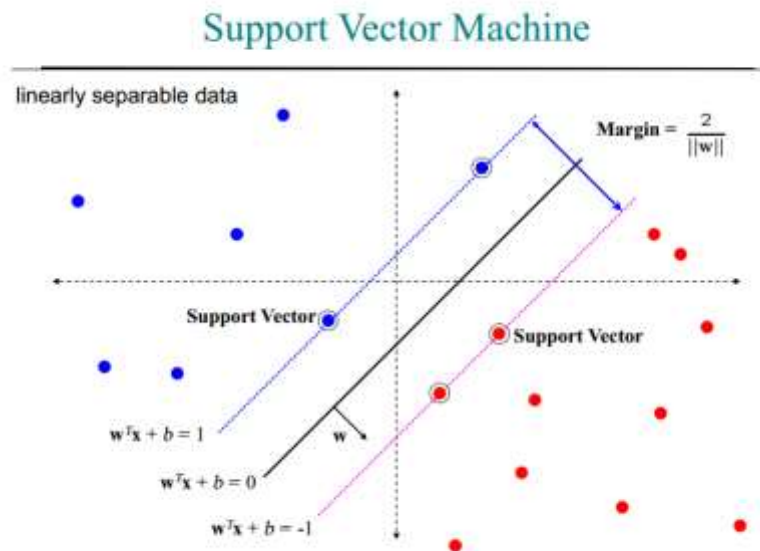
$$\xi_i = \max(0, \gamma - y_i f(\mathbf{x}_i)) > \gamma > 0. \quad (5-3)$$

اگر نقطه \mathbf{x}_i به درستی دسته بندی شده باشد اما حاشیه کوچکتر از γ باشد، خطای ξ_i بزرگتر از صفر است. در نهایت وجود تعداد \mathbf{x}_i های بیشتر در منطقه نادرست، خطای بزرگتر را ناشی می شود. تابع ارزش باید کمینه باشد و داریم:

$$\frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 + C \sum_i \xi_i \quad (6-3)$$

که C یک ثابت مثبت است و دقت روی مجموعه آموزشی و عرض حاشیه را نشان می دهد. بنابراین این ثابت می تواند به عنوان یک پارامتر تنظیم نگریسته شود. وقتی C مقدار کوچکی دارد، ابر صفحه جدا کننده بهینه، به بیشینه کردن فاصله، با توجه به خارجی ترین نقطه می پردازد، در حالی که برای مقدار بزرگ C ، ابر صفحه بهینه، به کمینه کردن نقاط دسته بندی شده به طور ناصحیح، اقدام می کند. اگر الگوهای اصلی به طور خطی قابل تفکیک نباشند، باید به کمک توابع کرنل مناسب به یک فضای با ابعاد بالاتر، به نام فضای ویژگی، نگاشت شوند. یک جداسازی خطی در فضای ویژگی، مربوط به یک جدا سازی غیر خطی در فضای ورودی اصلی می باشد. کرنل ها یک دسته خاص از توابع هستند که اجازه می دهند ضرب داخلی مستقیماً در فضای ویژگی محاسبه شود. خانواده توابع کرنل در یادگیری ماشینی، از نگاشت های خطی ساده

و چند جمله ای، تا سیگموئید (حلقوی) و توابع پایه شعاعی بهره می برند. یک کرنل تابع بنیادین شعاعی، داده آموزشی را به یک فضای بی نهایت بعدی نگاشت می کند.



شکل (۲-۳) دسته بندی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان

در اعتبار سنجی K تایی، داده ها به K زیر مجموعه تقسیم شده اند. (که K برابر اندازه ی مجموعه داده است). سپس برنامه K مرتبه آموزش داده می شود، هر بار با خروج یکی از زیر مجموعه ها از مجموعه آموزشی، و در نظر گرفتن این نمونه حذف شده به عنوان یک نمونه تست، دقت مدل آموزش داده شده مشخص می شود. [۹]

۳-۵ بینی الکترونیکی

بینی انسان به عنوان یک ابزار تحلیل گر در بسیاری صنایع از جمله غذا و نوشیدنی، عطر و صنایع آرایشی و شیمیایی، برای ارزیابی کیفیت محصولات مورد استفاده قرار گرفته است. [۱۰]

در یک انسان، آرایه ای از صد میلیون حسگر بویایی وجود دارد. در این آرایه، چندین نوع حسگر متفاوت، انواع مختلف رایحه ها را از هم تمیز می دهند. بوها از مولکول های شیمیایی معلق در هوا

تولید می شوند. گیرنده های ماشین بویایی خیلی گزینش گر نیستند، اما گزینش گری در بینی با الگوهای یکتای حاصل از پاسخ های بدست آمده از همان گیرنده ها حاصل شده است. وقتی مواد شیمیایی به وسیله سلول های خاص بینی آشکار شدند، رشته عصبی برانگیخته شده نتیجه را برای تفسیر به مغز می فرستد. مغز سیگنال دریافتی را با الگوهای موجود پیشین مقایسه کرده و نتیجه ی آن تشخیص یک رایحه ی خاص خواهد بود. در طول دهه های گذشته فناوری بینی مصنوعی کاربردی های صنعتی موفقی را به نمایش گذاشته است. [۵]

سیستم های بینی الکترونیکی شامل یک آرایه از حسگرها به منظور دریافت پاسخ از گاز و یک نرم افزار شناخت الگو می باشند. آرایه حسگری می تواند پاسخ های سیستم بویایی پستانداران را شبیه سازی کند. اولین مرحله در آنالیز بو، وارد کردن یک گاز مرجع به محیط حسگر برای به دست آوردن پاسخ حالت پایه می باشد. در نتیجه تغییراتی در سیگنال خروجی حسگر حاصل می شود و حالت پایداری پدید می آید. سپس رایحه مورد بررسی، با جریان گاز مرجع از محیط خارج می شود و حسگر به حالت پایه باز می گردد. مرحله بعدی در آنالیز بو، دستکاری پاسخ حسگر با توجه به پاسخ پایه است. پاسخ حسگر با استفاده از روش های پیش پردازش داده ها، برای ارائه به یک الگوریتم دسته بندی، پردازش می شود. پس از انجام عملیات پیش پردازش و یافتن ویژگی های مناسب برای تمایز دسته ها، این ویژگی ها به الگوریتم مناسب عرضه می شوند تا نتیجه دسته بندی داده ها به دست آید. همانطور که مشاهده می شود این عملکرد، مشابه ساز و کار سیستم بویایی پستانداران در تشخیص بوهای مختلف است.

۳-۶ حسگرهای به کار رفته در سیستم های بینی الکترونیکی

۳-۶-۱ حسگرهای رسانا: کامپوزیت های پلیمری رسانا، پلیمر های رسانای ذاتی و اکسید های فلزی، سه دسته از مواد حسگری رایج در حسگرهای رسانا می باشند. بر اثر تغییر خصوصیت ماده،

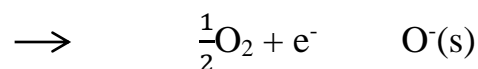
تغییری در مقاومت الکتریکی این مواد ایجاد می شود. عملکردی که باعث این تغییر مقاومت می شود بر اساس نوع ماده حسگری متفاوت است.

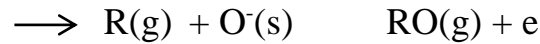
۲-۶-۳ حسگرهای کامپوزیت پلیمر رسانا: این حسگر ها، از ذرات رسانایی مثل پلی پیرول و کربن شناور در یک پلیمر عایق تشکیل شده اند. در معرض گاز نمونه، این مواد به سبب اثرات نفوذی یا مکانیزم های پیچیده دیگر، تغییر مقاومت می دهند.

۳-۶-۳ پلیمرهای رسانای ذاتی: اساس کار حسگر های پلیمر رسانای ذاتی بر پایه ی جذب مولکول های بو در پلیمر و تغییر رسانش پلیمر استوار است.

۴-۶-۳ حسگرهای اکسید فلزی: تغییر رسانش اکسید فلز به واسطه ی برهم کنش با یک گاز، اساس کار این دسته از حسگرها می باشد. این تغییرات، معمولاً متناسب با غلظت گاز صورت می گیرد. دو نوع حسگر گازی اکسید فلزی وجود دارد؛ n-type (اکسید روی، دی اکسید قلع، دی اکسید تیتانیوم و اکسید آهن (III)) که به گازهای کاهنده پاسخ می دهد و p-type (اکسید نیکل، اکسید کبالت) که به گازهای اکسید کننده پاسخ می دهد. حسگرهای نوع n به این صورت کار می کنند: اکسیژن در هوا با سطح حسگر واکنش می دهد و همه ی الکترون های آزاد سطح یا مرزخانه ها را گیر می اندازد. این فرایند به علت کمبود حامل ها (یا در مرزخانه ها سدهای پتانسیل تولید شده بین دانه ها مانع تحرک حامل ها می شوند) باعث افزایش مقاومت می گردد. اگر حسگر در برابر گاز کاهنده ای مثل H_2 ، CH_4 ، CO ، C_2H_5 یا H_2S قرار گیرد، مقاومت افت می کند زیرا گاز با اکسیژن واکنش داده و یک الکترون آزاد می کند. این عمل، سد پتانسیل را کاهش داده و به الکترون ها اجازه می دهد که جریان یابند و به موجب آن رسانندگی افزایش می یابد.

حسگرهای نوع p، به گازهای اکسیدکننده مثل O_2 ، NO_2 و Cl_2 که الکترون ها را از بین برده و حفره ایجاد می کنند، پاسخ می دهند. روابط زیر برهم کنش های ایجاد شده در سطح را توصیف می کنند:





که e الکترون اکسیدی است. R(g) گاز کاهنده و g و s مخفف گاز و سطح هستند.

روش های ساخت لایه های نازک، برای تولید حسگرهای گازی اکسید فلزی به کار برده می شوند. لایه های اکسید فلزی، با استفاده از screenprinting، spincoating، کندوپاش RF یا لایه نشانی تبخیر حرارتی، روی یک زیرلایه تخت یا لوله ای از آلومینا، شیشه، سیلیکون یا سرامیک های دیگر، لایه نشانی می شوند. طلا، پلاتین، نقره یا آلومینیوم نیز با روش های مشابه به عنوان الکتروود روی زیرلایه نشانداده می شود. گرمکن، برای تولید دمای کار مورد نیاز حسگر اکسید فلزی، در پشت زیرلایه لایه نشانی می گردد. محدوده ضخامت لایه ها از ۱۰ تا ۳۰۰ میکرومتر برای لایه ضخیم، و از ۶ تا ۱۰۰۰ نانومتر برای لایه نازک متغیر است. در برخی موارد، برای افزایش حساسیت حسگر به یک گاز خاص، فلزات کاتالیزوری در بالای اکسیدها به کار می روند. [۱۰]

۳-۷ مکانیزم عملکرد بینی های الکترونیکی

امروزه فناوری نانو در کنار فناوری های زیستی، شناختی و فناوری اطلاعات به عنوان فناوری های همگرا شناخته می شوند. برای ایجاد همگرایی، این فناوری ها باید در کنار یکدیگر و به صورت متحد به رفع نیاز یا نیازهایی از جامعه بشری بپردازند که هر کدام به تنهایی قادر به انجام آن نیستند. در این میان، فناوری نانو با ایجاد بستر سخت افزاری در کوچکترین مقیاس ممکن برای تمامی مسائل مهندسی، سه فناوری دیگر را توانمند ساخته و به عنوان یکی از مهم ترین فناوری های حال حاضر دنیا شناخته می شود.

حسگرها را می توان یک نقطه تقاطع بسیار مهم از فناوری های همگرا دانست. نقطه ای که باعث پیدایش مفاهیم جدیدی همچون نانو حسگرها گردیده است و همگرایی این فناوری ها را به خوبی تبیین می کند. نانو حسگرهایی که از همگرایی حداقل دو فناوری از فناوری های چهارگانه توسعه می

یابند می توانند با حساسیت، دقت و کارایی بالا تغییرات صورت گرفته در محیط را در مقیاس نانو شناسایی نموده و به دنیای ماکروسکوپی بیرون انتقال دهند.

بهبود گزینش گری حسگر نسبت به مواد گازی خاص و توانایی تفکیک، هر دو هدف بسیاری از کارهای سال های اخیر بوده است. یک استراتژی، استفاده از آرایه های حسگری غیر گزینش گر و یک سیستم شناسایی الگوی مناسب و توانا در شناسایی گازهای ساده یا مخلوط، بر پایه جریان الکتریکی در نقطه اشباع هر پاسخ گذرا می باشد. بیشترین اطلاعات مفید می توانند از پاسخ گذرا به دست آیند. یکی از مهم ترین قسمت های بخش پردازشی یک سیستم هوشمند، توانایی استخراج اطلاعات مفید، برای دسته بندی الگو و پردازش سریع اولیه می باشد. به بیان دیگر هر ویژگی انتخاب شده:

۱- باید بین دو کلاس اشیا یا بیشتر را تمییز دهد.

۲- نباید با ویژگی دیگر در هیچ مقدار هم بستگی داشته باشد.

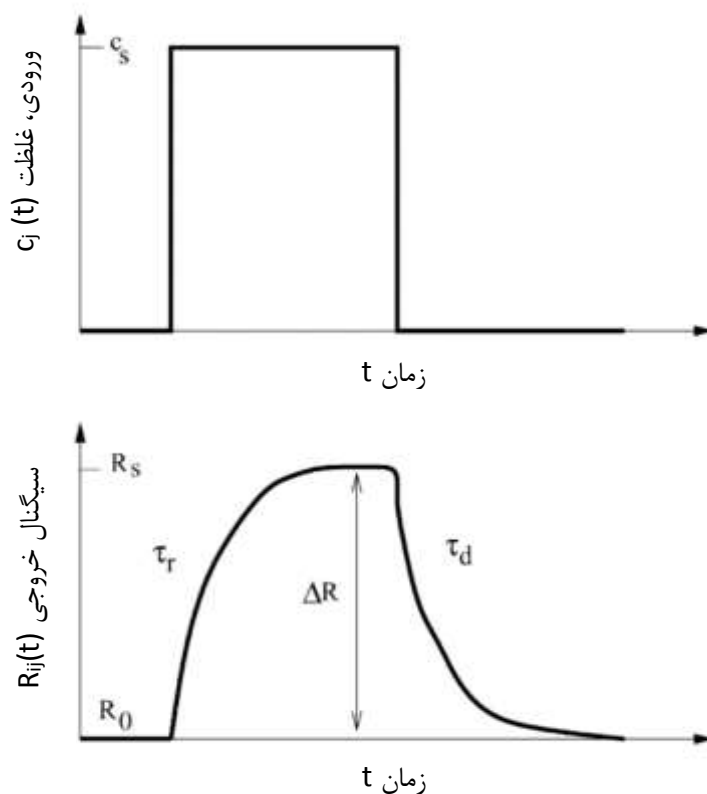
۳- باید برای آزمایش گر مفهوم باشد.

اولین قدم به سوی پیش پردازش داده بینی الکترونیکی، بر پایه روش های استخراج اطلاعات از پاسخ گذرا، نسبت به پاسخ حالت پایه می باشد. هرچند، این روش ها فقط اطلاعات حالت پایای پاسخ را در نظر می گیرند و همه اطلاعات مرتبط با زمان پاسخ و بازگشت از بین می رود. هر سنسور رفتار خودش را در پاسخ به یک رایحه دارد، که در پاسخ آن ذخیره شده است. برای مثال، با در نظر گرفتن این واقعیت که مولکول های سبک (مثل الکل) بیشتر از سنگین ها پراکنده می شوند، آنالیز زمان بازگشت پاسخ، برای شناختن این نوع مولکول ها امکان پذیر است. درمورد حسگر های با زمان پاسخ طولانی (بیش از چند دقیقه)، آنالیز زمان بالا رفتن پاسخ گذرا، امکان پذیر می باشد.

برخی روش ها، از محاسبه شیب پاسخ، برای آشکار سازی ویژگی های وابسته به گاز استفاده می کنند. چندین روش استخراج ویژگی، مانند پارامترهای استخراج شده از مشتقات و انتگرال های منحنی، با استفاده از فقط یک حسگر، تا کنون مورد استفاده قرار گرفته اند. در مواردی نیز، پاسخ

گذرا به صورت مجموع توابع نمایی مدل شده است، که پردازش تزریق گاز به محفظه تست را در مدت جذب رایحه در حسگر، مدل می کند. اما، نتیجه استخراج ویژگی ها پیچیده تر از دو روش اولیه خواهد بود. در جایی دیگر، تازگی گوشت با استفاده از حسگرهای اکسید قلع بررسی شده است، که پاسخ ها با استفاده از تبدیل فوریه و با توابع متعامد، مدل شده اند. سپس ویژگی های استخراج شده برای شناسایی الگو به یک شبکه عصبی داده شده اند. روش پردازش داده، شامل تحلیل پاسخ گذرای منحنی از طریق یک مجموعه جدید از توصیف گرهای شکل، برای تشخیص با یک بینی الکترونیکی مناسب می باشند.

پاسخ گذرای حسگرها به ترکیبات گازی، اطلاعاتی را شامل می شود که به انواع گاز موجود در ترکیب وابسته هستند. حسگرها معمولاً یک منحنی پاسخ وابسته به بو، که مربوط به واکنش شیمیایی آن با حسگر می باشد، ارائه می دهند. یک بینی الکترونیکی، آرایه ای از حسگرهای شیمیایی است که پاسخش الگوی یک بو را تولید می کند. هر تک سنسور در این آرایه نباید خیلی گزینش گر باشد اما باید بتواند به یک محدوده گسترده از ترکیبات پاسخ دهد به طوری که الگوهای مختلف مربوط به بوهای مختلف، متفاوت باشند. یک بوی ساده (تک گاز) یا یک مخلوط، به صورت یک بردار غلظت z کلاسه $C_j(t) = (C_{1j}, C_{2j}, \dots, C_{pj})$ نشان داده شده که $p \geq 1$ تعداد ترکیبات معطر است. در حالت تساوی، یک گاز ساده و در مقابل برای $p > 1$ ، یک بوی پیچیده (مرکب) داریم. اولین مرحله توصیف سیستم، تماس یا برخورد بو با سطح حسگر است. خروجی رایج تر، مقاومت الکتریکی می باشد اما در موارد دیگر می تواند تغییر در جرم (برای حسگرهای SAW) یا پتانسیل الکتریکی (برای حسگرهای Pd-gate MOSFET) باشد. سیگنال تولید شده از ماده حسگری، سپس به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می گردد. سیگنال تبدیل شده به صورت بردار $y_j(t) = [y_{1j} \ y_{2j} \ \dots \ y_{nj}]$ می باشد و پاسخ آرایه ممکن است برای کاهش نویز و پیچیدگی ها، پیش پردازش شود. پاسخ یک حسگر گازی نوعی در حالت ایده آل در شکل (۳-۳) نشان داده شده است. [۱۱]



شکل (۳-۳) پاسخ مشخصه ی یک حسگر گازی. رایحه در یک غلظت خاص $C(t)$ داده شده است و سیستم از یک حسگر و مبدل الکترونیکی برای تبدیل به یک سیگنال الکتریکی، تشکیل شده است که در اینجا مقاومت $R(t)$ سیگنال پردازش شده است. [۱۱]

معمولا زمان پاسخ و زمان بازگشت حسگر با هم متفاوت هستند. روش های زیر در پیش پردازش داده های حسگر های اکسید فلزی، وقتی که مقاومت مبنای محاسبه ی سیگنال X_{ij} خروجی باشد، مورد استفاده قرار می گیرند.

جدول (۱-۳) روش های معمول پیش پردازش داده های به دست آمده از حسگرهای گازی [۱۱]

متد (روش)	فرمول
اختلاف	$X_{ij} = R_s - R_0$
نسبت	$X_{ij} = R_s / R_0$
نسبت تغییرات	$X_{ij} = (R_s - R_0) / R_0$
لگاریتم نسبت	$X_{ij} = \text{Ln} (R_s / R_0)$

سه روش رایج که تا کنون مورد استفاده قرار گرفته اند در زیر آمده است:

(۱) دیفرانسیل: پاسخ پایه $x_s(0)$ (پیش از ورود گاز) از پاسخ حسگر $x_s(t)$ کم شده است تا هر گونه

اختلال (یا رانش δ_A) حذف شود. پاسخ دستکاری شده نهایی $y_s(t)$ به این صورت تعیین شده است:

$$y_s(t) = (x_s(t) + \delta_A) - (x_s(0) + \delta_A) = x_s(t) - x_s(0)$$

(۲) نسبت: پاسخ حسگر به پاسخ پایه تقسیم شده است. این فرآیند رانش δ_M را حذف می کند و

پاسخ بدون بعد $y_s(t)$ به دست می آید.

$$y_s(t) = x_s(t)(1+\delta_M) / x_s(0)(1+\delta_M) = x_s(t) / x_s(0)$$

(۳) کسری: پاسخ پایه از پاسخ $x_s(t)$ کم شده و سپس بر $x_s(0)$ تقسیم شده که یک پاسخ بدون بعد و

نرمال شده $y_s(t)$ را تولید می کند و می تواند سیگنال های کوچک یا بزرگ اصلی را نمایان کند. [۱۰]

$$y_s(t) = x_s(t) - x_s(0) / x_s(0)$$

چندین ورودی مداخله گر مانند دما و رطوبت نیز باعث ایجاد تغییرات در خروجی می گردند که

گاهی میزان تاثیرشان بزرگ و قابل مقایسه با اثر خود حسگر می باشد. معمولاً گرمکن یک

حسگر مقاومتی، دمای ثابتی را تولید می کند اما در واقعیت، هر تغییر در دمای پیرامون، باعث

تغییر دمای کار می گردد.

همچنین، رطوبت نیز معمولاً تاثیری چشمگیر بر عملکرد حسگرها دارد. مقاومت پایه معمولاً با

افزایش رطوبت کاهش می یابد، هرچند که در نهایت، شیب واقعی، وابسته به دمای کار حسگر است.

مشکل اساسی حسگر های شیمیایی، عدم پایداری آنها در دراز مدت می باشد؛ تغییرات فیزیکی و

شیمیایی ایجاد شده در سطح حسگر، باعث تولید یک سیگنال ناپایدار در طول زمان می گردد.

روش اختلاف خروجی ها معمولاً وقتی به کار می رود که یک خطای کوچک افزایشی در پاسخ حالت

پایه y_0 و پاسخ پایدار نهایی y_s وجود داشته باشد. در حالتی که خطا مضربی از حالت پایه است،

بهتر است روش نسبت به کار رود. پارامتر نسبت به علت حساسیت بالای حسگر های گازی اکسید

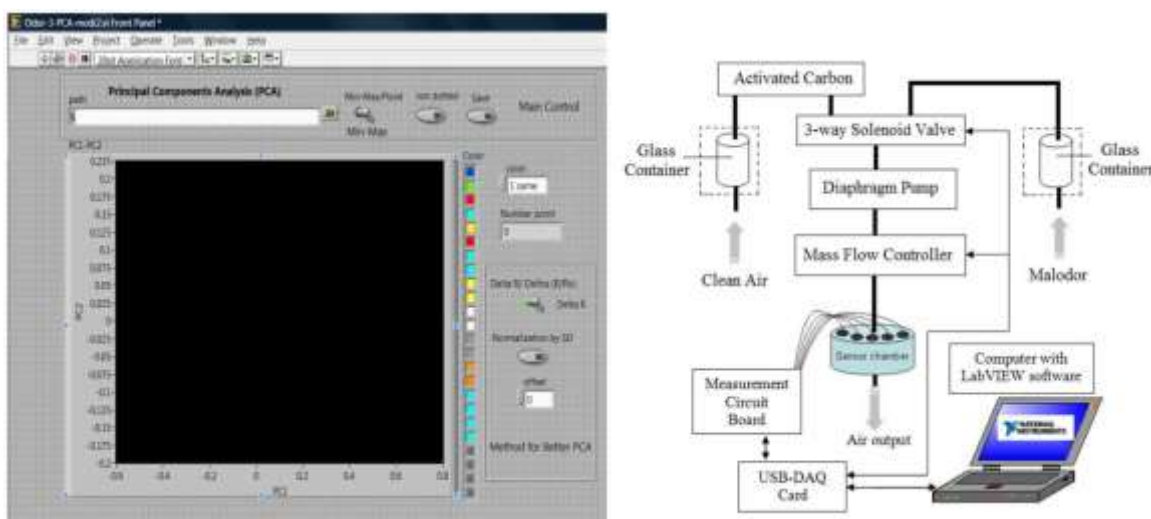
فلزی به غلظت، اغلب برای این نوع حسگرها به کار می رود. این روش های پیش پردازش به علت محدوده غلظتی محدود، اشکالاتی دارد که برای چیره شدن بر آن ها روش تغییر کسری پیشنهاد شده است. این شیوه ها در شناسایی بو، برای تفکیک چندین نوع قهوه از یکدیگر با استفاده از شبکه های عصبی، نتایج خوبی نشان داده اند. در نهایت، استفاده از لگاریتم زمانی مناسب تر است که تنوع غلظت گونه ها خیلی زیاد باشد. [۸]

فصل چهارم

مروری بر مقالات و کارهای انجام شده

۴-۱ توسعه بینی الکترونیکی قابل حمل و کاربرد برای بررسی بوی زیر بغل

در این پژوهش یک آرایه از حسگرهای اکسید فلزی برای آشکارسازی گازها به کار برده شده که از یک مدار برای اندازه گیری حساسیت هر حسگر استفاده می کند. این بینی الکترونیکی از یک برد USB همراه برای جمع آوری داده و الگوریتم PCA^۹ برای شناخت الگو و دسته بندی بهره می برد. نتایج نشان داد که این دستگاه قادر است بوی بدن انسان را شناسایی کرده و یک الگوی بوی خاص به هر فرد نسبت دهد. در ترکیب با PCA بینی الکترونیکی موفق به تفکیک بوی بدن چهار فرد شد. سیستم ما برای تشخیص بوی بدن افراد به طور مستقیم یا غیر مستقیم (استفاده از پدهای نخی که برای مدت معینی روی بدن قرار گرفتند تا بوی بدن را به خود بگیرند) طراحی شده بود. محفظه شامل ۵ حسگر Figaro می باشد از لایه های نازک نیمه رساناهای اکسید فلزی SnO₂ و WO₃ ساخته شده اند.



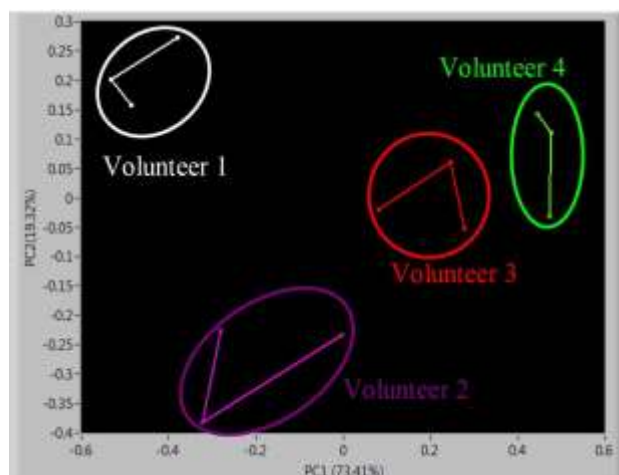
شکل (۴-۱) سمت راست: سیستم بینی الکترونیکی طراحی شده؛ سمت چپ: برنامه PCA برای دسته بندی داده

ها [۱۲]

نتایج دسته بندی داده های حسگرها با استفاده از برنامه PCA نشان داد که این سیستم قادر است با دقت بالا افراد را شناسایی کند. همچنین سیستم نشان می دهد که هر فرد دارای یک

⁹ تحلیل مولفه اساسی: Principal Component Analysis

نقشه منحصر بفرد از بوی بدنش می باشد که به نوع خوراک، نوشیدنی، فعالیت های بدنی، سلامت و ویژگی های هورمونی او بستگی دارد. این بینی الکترونیکی به همراه نرم افزار PCA برای تولید یک "الگوی رایحه" از هر شخص و در نتیجه تشخیص فوری بیماری فرد از روی تغییرات ایجاد شده در این الگو مفید خواهد بود. [۱۲]



شکل (۲-۴) نمودار 2 D-PCA از چهار شخص مختلف [۱۲]

۲-۴ بینی الکترونیکی ریز آرایه بر پایه ی رشد عناصر حسگری نانو سیم

SnO₂

یکی از نیازهای سیستم های حسگری گازی برای صنعت، پزشکی، امنیت و حتی کاربردهای خانگی، توانایی آن ها در آشکار سازی و شناخت سریع و قابل اعتماد یک محدوده ی وسیع از گازها حتی در غلظت های پایین می باشد. به خوبی می دانیم که مواد و فرآیند های شیمیایی، ترکیبات گازی مشخصه (که در صورت شناسایی توسط انسان بو نامیده می شوند) آزاد می کنند، که می تواند در پایش محیط، مانند یک اثر انگشت باشد.

زیست شناسی، برای طراحی سیستم های حسگرگازی مناسب، از اصول اکتساب و پردازش داده در سیستم بویایی پستانداران تقلید می کند، که اجازه می دهد شخص، گازهای منفرد و مجموعه گازها را، با ساختن و پردازش یک الگوی چند بعدی از سیگنال های تولید شده از یک آرایه ی گیرنده

(حسگر)، تمییز دهد. قطعات به کار رفته برای این شناسایی الگو، بینی های الکترونیکی نامیده می شوند.

پیشرفت های اخیر در میکرو و نانو تکنولوژی، مواد جدید، روش ساخت قطعه و مفاهیم حسگری جدید را برای بهبود حساسیت، اعتماد پذیری، مصرف انرژی و زمان پاسخ دهی نسل بعدی حسگرها در دسترس قرار داده است.

در حالت خاص، نانو ساختارهای اکسید فلزی شبه یک بعدی ساخته شده در سال های اخیر، برای چنین کاربردهایی مناسب تر به نظر می رسند زیرا بسیاری خواص حسگری به طور قابل توجهی در مقایسه با اکسیدهای فلزی فشرده بهبود یافته اند. نسبت بزرگ سطح به حجم، تبدیل برهمکنش های گاز/ سطح (جذب یا اکسیداسیون کاتالیزوری) را، به تغییری در رسانندگی الکتریکی، ممکن می سازد. شعاع این نانو ساختارها به طول دبای ماده نزدیک شده و تقریباً تمام نانوسیم در پاسخ به واکنش های اکسایش/کاهش سطحی، یک ناحیه تهی از حامل های بار می گردد و در نتیجه حساسیت بی نهایتی در اثر برهم کنش های مولکول های گاز در سطح ایجاد می شود. بعلاوه، قابلیت پذیرش و ساختارهای مختلف در اتصال به سطح و حجم ناخالصی، امکانات وسیعی برای تنظیم خواص حسگری پیش رو می گذارد.

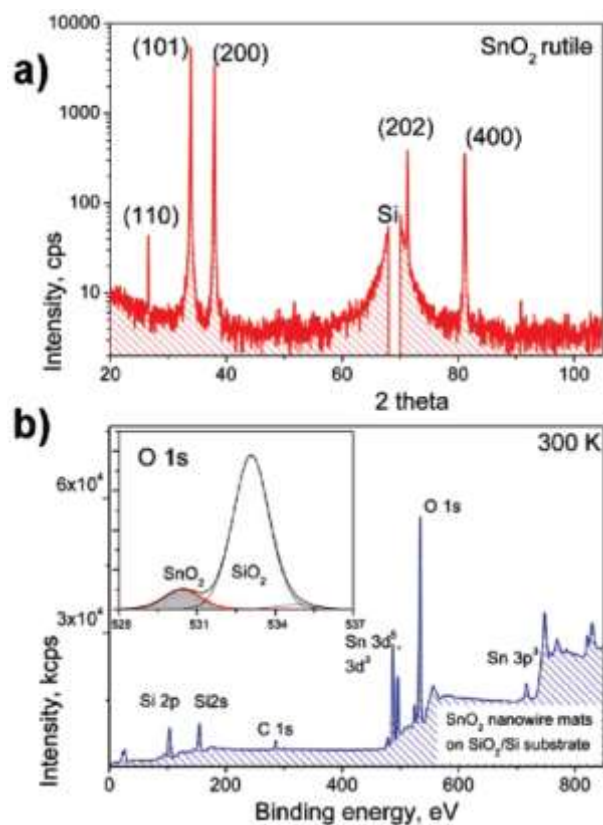
در حال حاضر، این ساختارها به عنوان چشم انداز آینده برای نسل بعدی بینی های الکترونیکی مطرح شده اند. علی رغم به کارگیری یک آرایه از نانوسیم های اکسید فلزی منفرد، هنوز هم یک شکاف تکنولوژیکی، بین مطالعه کتابخانه ای، و ساخت میکرو قطعه ی بینی الکترونیکی مناسب برای استفاده در محیط های واقعی، وجود دارد. بنابراین هدف ما ایجاد پلی برای رفع این شکاف بود تا کارایی عالی از قطعه کاربردی ساخته شده با ترکیب پایین-بالای نانوسیم/ نانوبلت SnO_2 عرضه کنیم.

ویژگی منحصر بفرد تکنولوژی مورد استفاده ما، جایگزینی یک مجموعه از حسگرهای مجزا (به طور قراردادی)، با تکنیک گرادیان به کار رفته در یک لایه اکسید فلزی منفرد می باشد. برای این منظور،

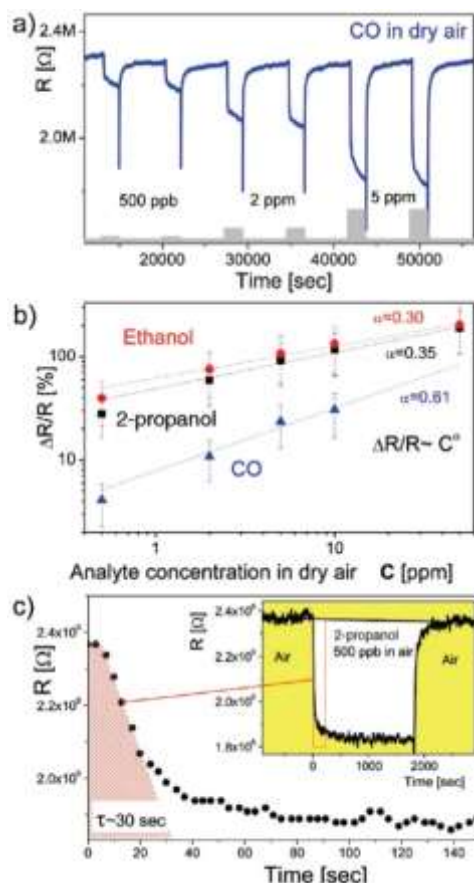
ماده حساس معمولاً روی یک آرایه از نوارهای پلاتینی لایه نشانی شده تا تعداد زیادی قطعات حسگر بین آن‌ها شکل گیرند. برای متفاوت شدن پاسخ عناصر حسگری، دو گرادیان، معمولاً در میکروآرایه به کار برده می‌شوند: (۱) اختلاف جانبی دمای سطح لایه و (۲) تغییر ضخامت تدریجی پوشش نفوذ پذیر نسبت به گاز، در بالای لایه اکسید فلزی. در این گزارش نشان داده شده است که تغییر چگالی نانوسیم به تنهایی، می‌تواند تفاوت‌های اساسی در الگوهای رسانایی میکروآرایه‌ی گرادیانی به وجود آورد و رفتار متفاوتی از آرایه بروز خواهد کرد. بنابراین می‌بینیم که عناصر حسگری جدید بر پایه نانوسیم‌ها، با تغییر چگالی هایشان با یک گرادیان دمایی جفت شده‌اند که به مکانیزم تفکیک جدیدی در بینی‌های الکترونیکی چند الکترونی منجر می‌شوند.

نانوسیم‌های SnO_2 در دمای 1280°C کلوین تحت فشار 200°C تور از گاز حامل آرگون سنتز شدند. به طور خلاصه، نانوسیم‌ها (و محصولات فرعی آن‌ها، نانوبلت‌ها) روی صفحات آلومینا رشد داده شده بودند و تحت پرس خشک مکانیکی روی زیر لایه‌ی $\text{SiO}_2/\text{Si}/\text{SiO}_2$ ، به مساحت $4 \times 8 \text{ mm}^2$ که مجهز به 39°C الکتروود پلاتینی هم صفحه می‌باشد، قرار گرفتند.

الکتروودها، به ضخامت $1 \mu\text{m}$ میکرون، با کند و پاش مگنترون rf در راستای یک ماسک ساخته شده بودند. برای حفاظت سطح نانوسیم‌ها از آلودگی، هیچ‌گونه فرآیند مرطوبی در هیچ مرحله از ساخت یا مشخصه‌یابی، به کار نرفته است.



شکل (۳-۴) (الف) XRD (log scale) (ب) طیف XPS گرفته شده از لایه نانوسیم SnO₂ روی ویفر SiO₂/Si، همگنی ساختاری و خلوص سطح عناصر حسگری نانوسیم ساخته شده را نشان می دهد. به علت جهت رشد ترجیحی نانوسیم ها و نانوبلت ها، شدت پاسخ XRD از سطوح شبکه (101)، (200)، (202) و (400) بر (110)، که معمولا یک بیشینه اصلی در طیف پودر SnO₂ می باشد، غالب می شود. [۱۳]



شکل (۴-۴) پاسخ میکروآرایه: (الف) میانه مقاومت های لایه ی نانوسیم در حضور غلظت های متفاوت CO (2ppm و 500ppb) (ب) میانگین نسبت تغییر مقاومت قطعات نانوسیم به غلظت سه مدل گاز. همه منحنی ها از قانون نیرو با توان $\alpha=0.3$ تا 0.6 پیروی می کنند. (ج) تکامل زمانی مقاومت قطعه بینی الکترونیکی میانی تحت 500ppm از 2-propanol در هوا. ثابت زمانی به صورت نقطه برخورد شیب ابتدایی پاسخ با مقدار اشباع شده آن تعریف می شود. [۱۳]

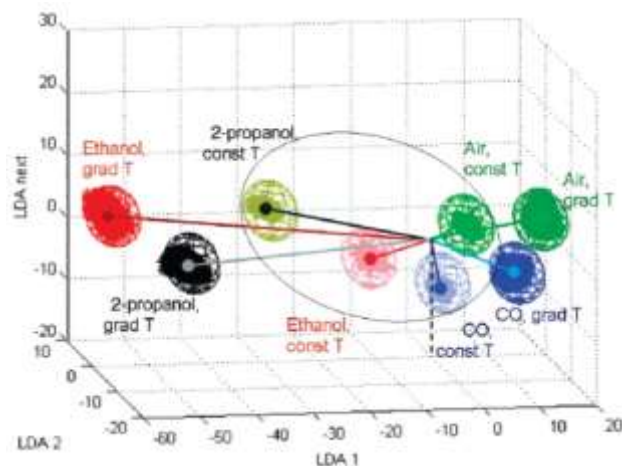
پاسخ مشابه از ۱۱۸ کانال جمع شده، دسته بندی شده و با نرم افزار پردازش شده تا تصاویری از آنالیت را در الگوهای رسانندگی، بسته به نوع آنالیت و غلظت آن بسازند. برای تست قدرت تفکیک این الگوهای رسانندگی، آنالیز جداساز خطی (LDA) به کار برده شده است. این روش تشخیص الگو، سیگنال های حسگر را، به یک سیستم مختصات بهینه با ابعاد کمتر یعنی برابر با تعداد گازهای آموزش منهای یک منتقل می کند.

در چنین سیستم مختصاتی، پاسخ آرایه حسگری به یک گاز، از گاز دیگر فاصله می گیرد.

دو ویژگی خیلی مهم از این LDA استخراج می شود:

(الف) الگوی رسانش هم دما (بدون گرادیان دمایی) از آرایه حسگری نانوسیم، برای دستیابی به الگوهای سیگنال مختلف برای گازهای مختلف کافی هستند.

(ب) اگر گرادیان دمایی در طول میکروآرایه به کار گرفته شود، قدرت تفکیک به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد و فاصله جدا کننده ی محدوده گازهای مختلف، بیش از دو برابر حالت هم دما می گردد. (افزایشی از ۱۵/۳ به ۳۴/۲) [۱۳]



شکل (۴-۵) آنالیز LDA الگوهای رسانندگی از میکروآرایه ی گرادیانی نانوسیم SnO_2 تحت محدوده غلظت های 2-10ppm از گازهای نمونه. [۱۳]

۳-۴ معماری بینی الکترونیکی همراه برای آشکارسازی کیفیت گوشت گاو

بر پایه اینترنت اشیا

سالانه افراد زیادی بر اثر مسمومیت غذایی راهی بیمارستان شده یا حتی جان خود را از دست می دهند. به همین دلیل محققان زیادی در تلاشند تا روش هایی برای تعیین کیفیت غذاها ارائه کنند. گوشت گاو یکی از مهم ترین مواد خوراکی برای انسان هاست. این گوشت اگر مدت مشخصی در دمای اتاق قرار گیرد به آسانی بیات می شود و این به سبب آن است که گوشت گاو بهترین واسطه برای رشد میکروب می باشد. میزان آلودگی میکروبی، کیفیت گوشت و مدت زمان مناسب برای نگهداری در قفسه فروشگاه را تعیین می کند. راه های معمول برای اطمینان از کیفیت گوشت، بررسی ساختار

(بافت، نرمی، طعم، آبداری و رنگ)، یافتن مقادیر میکروارگانیزم و گاز یا ترکیبات آلی فرار^۲ که از میکروارگانیزم ها تولید می شوند، می باشد. استفاده از حس بویایی انسان برای بررسی شرایط گوشت به علت ذهنی بودن، خستگی سریع یا عادت کردن اصلا مناسب نیست. مطالعات این مقاله یک وسیله اندازه گیری کیفیت، برپایه ترکیبات آلی فرار گوشت پیشنهاد می دهد. این وسیله بینی الکترونیکی نامیده شده است که از حسگرهای گازی ساخته شده است. همچنین معماری تکنولوژی بینی الکترونیکی موبایلی که از شبکه حسگری بی سیم استفاده می کند و با سرویس های پردازش ابری کامل می شود را معرفی می کند.

مفهوم بینی الکترونیکی

عبارت بینی الکترونیکی از سال ۱۹۸۰ شناخته شده که به دستگاهی اشاره دارد شامل مجموعه حسگرهای گازی الکتروشیمیایی همگن. مکانیزم بینی الکترونیکی از حس بویایی انسان اقتباس شده است. این دستگاه توانایی آشکارسازی و اندازه گیری ترکیبات در یک نمونه مرکب را با استفاده از یک سیستم پردازش داده دارا می باشد.

بینی الکترونیکی همراه برای تشخیص کیفیت گوشت گاو

بر اساس مطالعات اخیر، حسگر مورد استفاده از نوع حسگر گازی اکسید فلزی^۱ می باشد. داده ها از حسگر برای تحلیل بیشتر به یک کامپیوتر شخصی منتقل می شوند. سیستم پیشنهادی برپایه تکنولوژی اینترنت اشیا و محاسبات ابری که از حسگرهای مجهز به واسط ارتباطی بی سیم استفاده می کنند، بنا شده است. این سیستم توانایی دارد که داده نمونه را بلادرنگ به یک سیستم محاسباتی قوی روی پردازش ابری تحویل دهد. سپس داده پردازش شده و نتایج در زمانی نسبتا کوتاه به دست می آید.

معماری سیستم

شکل (۴-۶) معماری بینی الکترونیکی موبایلی را نشان می دهد. سیستم شامل ۴ لایه: لایه حسگری، لایه شبکه، لایه ابری و لایه کاربردی می باشد. هر لایه یک دستورالعمل مجزا دارد اما به دیگری نیز متصل است.

² Volatile Organic Compounds (VOC)

² Internet of Things (IoT) ¹

۱. لایه حسگری: لایه حسگری لایه ای است که به طور مستقیم با نمونه های گوشت برهم کنش دارد. این لایه شامل یک مجموع از حسگر های گازی برای آشکار سازی VOC هاست. MOS^۲ها با اضافه کردن یک واحد ارتباطی بی سیم بهبود پیدا می کنند. دستگاه حسگر گازی برای بینی الکترونیکی به صورت یک وسیله دستی برای مصرف خانگی یا شخصی طراحی شده است. به عنوان سیستم پایش فضای ذخیره سازی گوشت، می توان دستگاه های به فرم نیمه ساکن در نظر گرفت. محفظه های حسگری به راحتی در فضای ذخیره سازی گوشت نصب شده و کیفیت گوشت های نزدیک به خود را رصد می کنند. چالش دیگر انتخاب آرایه های حسگری می باشد. دقت دسته بندی انواع گوشت از لحاظ کیفیت، به انتخاب آرایه حسگری بستگی دارد. در موارد بسیاری، آرایه حسگری یک مجموعه داده مبهم و نادقیق، ناقص، زائد و متناقض تولید می کند و بنابراین دقت دسته بندی به سبب این آرایه نامناسب تنزل می یابد.

۲. لایه شبکه: داده های نمونه VOC بدست آمده از حسگرهای گازی لایه حسگری، فوراً به یک شبکه شخصی^۳ مثل Zigbee، Bluetooth و WiFi فرستاده می شوند. داده ها می توانند مستقیماً به لایه ابری فرستاده شوند یا ابتدا در یک گره مرکزی جمع آوری شده و سپس منتقل شوند. در یک بینی الکترونیکی دستی، ابتدا داده ها توسط بلوتوث یا وای فای در یک گوشی هوشمند یا تبلت جمع آوری شده سپس به لایه ابری فرستاده می شود.

۳. لایه ابری: مسئله اصلی داده های نمونه، پردازش آنهاست. خروجی باید به سرعت پردازش شده و دقت بالایی داشته باشد. سرعت اندازه گیری کیفیت گوشت بسیار مهم می باشد. مسئله دیگر چگونگی تولید پردازش برای پیشگویی کردن کیفیت گوشت گاو به طور کارآمد می باشد. تکنیک های پردازش داده زیادی وجود دارند مثل: تحلیل مولفه اساسی، تحلیل مشخصه ی خطی^۴، مربعات حداقل جزئی^۵، تحلیل مشخصه تابعی^۶، آنالیز خوشه^۷، منطق فازی، شبکه عصبی مصنوعی^۸، شبکه عصبی احتمالی^۹ و غیره. انتخاب نوع الگوریتم پردازش خیلی مهم است زیرا بیشتر عملکرد دستگاه در لایه ابری، محاسباتی می باشد.

² Metal Oxide gas Sensors (MOS)

³ Personal Area Network (PAN)

⁴ Linear Discriminant Analysis (LDA)

⁵ Partial Least Squares (PLS)

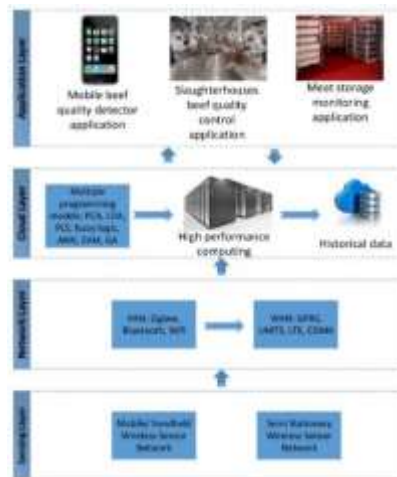
⁶ Functional Data Analysis (FDA)

⁷ Cluster Analysis (CA)

⁸ Artificial Neural Network (ANN)

⁹ Probabilistic Neural Network (PNN)

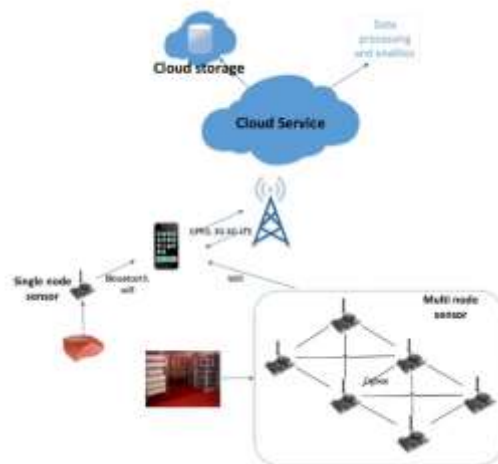
۴. لایه کاربرد: لایه کاربردی یک واسط مستقیم کاربر با سرویس حسگرهای Molen^۳ می باشد. برنامه ی کاربردی روی دستگاه های همراه مثل گوشی های هوشمند و تبلت اجرا می شود. این برنامه کاربردی بینی الکترونیکی می تواند در خانه، فروشگاه های صنایع غذایی و حتی سازمان بهداشت برای کنترل کیفیت گوشت گاو مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۴-۶) معماری بینی الکترونیکی همراه (MoLen) [۱۴]

دستگاه بینی الکترونیکی به دو نوع مختلف تقسیم می شود: حسگر تک گره و چند گره. حالت تک گره برای نیازهای شخصی و خانگی مناسب است در حالیکه حسگر چند گره برای فضای ذخیره سازی گوشت در سوپر مارکت ها و همچنین کشتارگاه ها مناسب می باشد. داده های به دست آمده از تک گره حسگری می توانند مستقیماً به تلفن هوشمند یا تبلت فرستاده شوند. بلوتوث و وای فای به عنوان ابزار ارتباطی برای داده ها استفاده می شوند. همچنین برای ارتباط داده ای در حسگر چند گره، Zigbee یا وای فای می توانند استفاده شوند. پارامترهای گاز می توانند توسط کاربران مشاهده شده و سپس برای پردازش بیشتر به سرویس ابری فرستاده شوند. نتایج پردازش داده ها مجدداً به تلفن هوشمند یا تبلت فرستاده می شود تا کاربر اطلاعات درباره کیفیت گوشت را به دست آورد. مصرف کنندگان همچنین می توانند تاریخچه داده هایی که قبلاً تست شده اند را مشاهده کنند. [۱۴]

³ Mobile e-nose (Molen)



شکل (۷-۴) شماتیکی از سیستم ارتباطی بینی الکترونیکی همراه [۱۴]

۴-۴ دسته بندی داده های بینی الکترونیکی قابل حمل با روش SVM-RFE

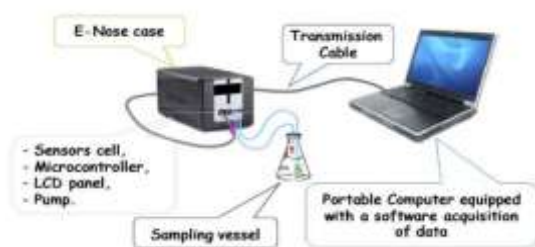
!کاربرد در تعیین ترشیدگی شیر

در این مقاله روش نوینی برای انتخاب ویژگی بر پایه ماشین های بردار پشتیبان استفاده شده است تا تفکیک شیرها بر مبنای درجات مختلف فساد صورت گیرد. حذف ویژگی بازگشتی روش انتخاب ویژگی است که جدیدا پیشنهاد شده است. این روش بهترین m ویژگی که منجر به بزرگترین حاشیه جداسازی کلاس ها در SVM می شوند را برمی گزیند. مجموعه داده با یک بینی الکترونیکی پرتابل بر پایه آرایه حسگر گازی نیمه رسانا تولید شده است.

ماشین بردار پشتیبان بر پایه حذف ویژگی بازگشتی، یک پردازش انتخاب/فیلتر ریاضی است که کم اهمیت ترین ویژگی ها از تعداد زیادی ویژگی را، حذف می کند و تمام ویژگی های مهم باقیمانده برای استفاده همزمان در دسته بندی با SVM را درجه بندی می کند. [۱۵]

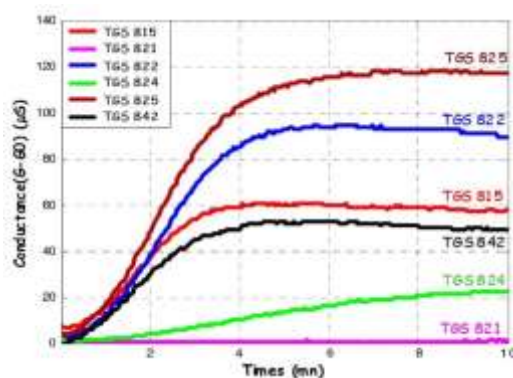
تهیه نمونه ها

نمونه های شیر تازه بلافاصله در کیسه های پلاستیکی بسته بندی شده و در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱، ۲، ۳ و ۴ روز در فریزر نگهداری شدند.



شکل (۴-۸) نمایی از سیستم بینی الکترونیکی قابل حمل [۱۵]

مجموعه داده ها شامل ۲۰ اندازه گیری در طول ۴ روز نگهداری شیرها می باشد. ۱۰ پارامتر استخراج شد که تعداد متغیرها در هر بار اندازه گیری را به ۶۰ تا می رساند.



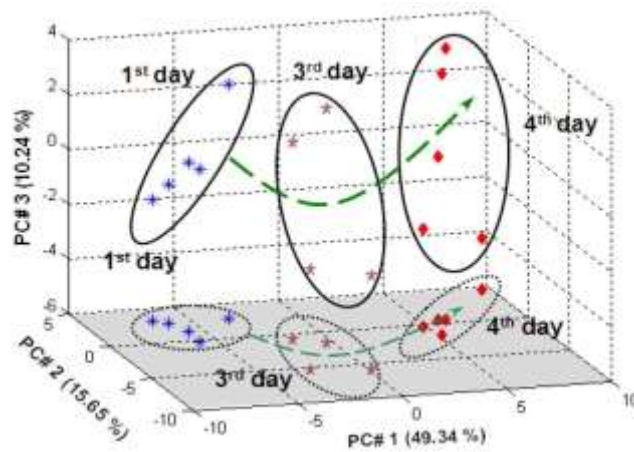
شکل (۴-۹) پاسخ زمانی آرایه ای از شش حسگر در سه روز ذخیره سازی [۱۵]

لیست ویژگی های استخراج شده از هر حسگر در آرایه:

- رسانندگی اولیه (baseline), G_i
- رسانندگی نهایی, G_f
- بیشترین مقدار رسانندگی, G_m
- بیشترین تغییر در رسانندگی, $\Delta G_m = G_m - G_i$

- بیشینه تغییر رسانش نرمال شده، $\Delta G_{m,n} = (G_m - G_i) / G_i$
- شیب دینامیکی بیشینه تغییر رسانش، dG/dt . این مربوط به جایی است که یک افزایش سریع در رسانش حسگر مشاهده می شود.
- زمان افزایش رسانندگی به علت حضور در معرض ترکیبات فرار شیر، که به صورت ۹۰٪-۱۰ مقدار بیشینه تغییر تعریف می شود، t_{10-90} .

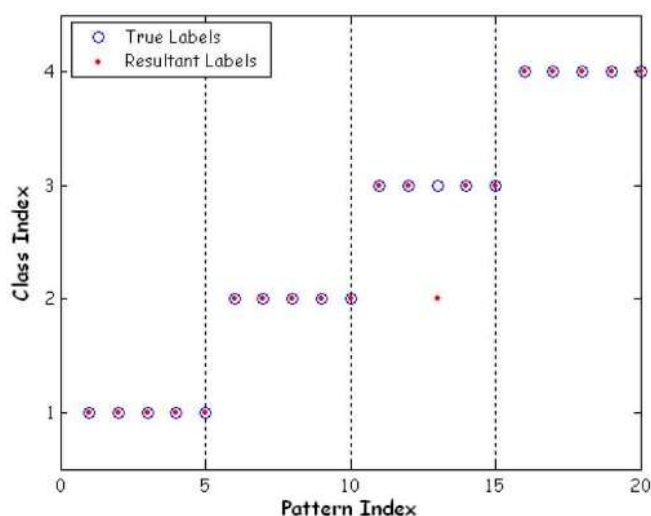
- t_{20-80}
- t_{30-70}
- t_{40-60} [۱۵]



شکل (۴-۱۰) نمودار PCA شیر در روزهای مختلف [۱۵]

SVM-RFE Methods	Success Rate (%)			
	Without FS	# variables	After FS	# variables
One-vs.-rest	95	60	100	10
One-vs.-one	100	60	100	10
Mc-SVM	95	60	95	10

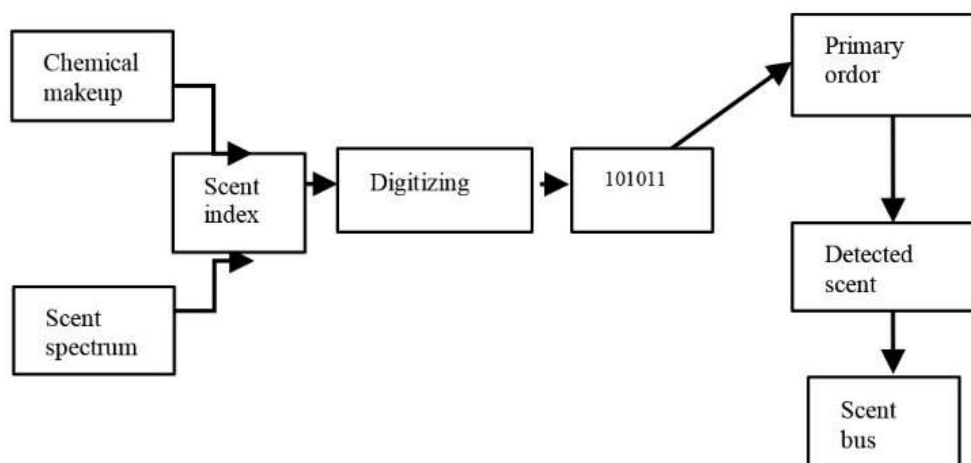
شکل (۴-۱۱) درصد موفقیت و تعداد متغیرها برای سه روش SVM با استفاده از روش RFE [۱۵]



شکل (۴-۱۲) نمودار آشفته‌گی برای Mc-SVM-RFE [۱۵]

۴-۵ تکنولوژی انتقال بوی دیجیتال تحت وب

با تکنولوژی بوی دیجیتال ما قادر خواهیم بود رایحه‌ها را به صورت دیجیتال و در اینترنت حس کنیم، انتقال دهیم، بازتولید کنیم و مجدداً دریافت کنیم. مثلاً در هنگام بازی بوی سوختن لاستیک را حس کنیم، یک عطر را قبل از خرید به صورت آنلاین ببوییم و رایحه مناسب توسط یک دستگاه USB در زمان مناسب پخش می‌شود. بوها در این سیستم توسط یک بینی الکترونیکی که به عنوان یک گیرنده عمل می‌کند شناسایی می‌شوند. مانند طیف رنگ، یک طیف بو نیز وجود دارد که هر بو یکی از بوهای فهرست شده در این طیف خواهد بود. در شکل (۴-۱۵) مدل ارتباطی تکنولوژی بوی دیجیتال نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۳) مدل ارتباطی تکنولوژی بوی دیجیتال [۱۶]

به کمک این دو پارامتر بو، آرایش شیمیایی و مکان آن در طیف بو، بینی الکترونیکی هزاران بو را آشکار می کند. با توجه به این دو فاکتور هر بو فهرست می شود. سپس هر بوی پیوست شده، کد شده و با پردازش سیگنال بویایی به یک فایل کوچک دیجیتال تبدیل می شود. این بسته دیجیتالی به محتوای وب یا ایمیل ضمیمه شده و به کامپیوتر گیرنده می رسد. iSmell یک قطعه سخت افزاری است که توسط کمپانی Digiscent پیشنهاد داده شده است. این قطعه یک سازنده بوی شخصی است که می تواند به کامپیوتر متصل شده و یک مجموعه ای از بوها را تولید کند. ScentStream نرم افزاری است که درایوری تولید می کند و توسط یک پورت سریال یا USB به کامپیوتر شخصی یا لپ تاپ متصل می شود.


موارد به کارگیری این تکنولوژی:


خرید و فروش آنلاین


فیلم های آنلاین

سینمای چهار بعدی

رایحه درمانی

انتقال بو با تلویزیون یا تلفن همراه 

بازی آنلاین 

انتقال بوی غذاها [۱۶] 

فصل پنجم

لایه نشانی نانوسیم اکسید قلع به روش CVD برای
کاربرد حسگری گاز

۱-۵ مقدمه

امروزه دستگاه‌ها و روش‌های گوناگونی جهت آنالیز مواد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. تصاویر بدست آمده از سطح و ساختار داخلی نمونه‌ها اطلاعات مهمی نظیر فازها و ساختار کلی تشکیل دهنده ماده، توپوگرافی، توزیع عناصر در ماده و ... را به ما می‌دهد. در ادامه به معرفی آنالیزها، دستگاه‌ها و روش‌هایی که در این پروژه جهت مشخصه‌یابی لایه‌های نازک نانو ساختار اکسید قلع به کار گرفته شده‌اند، می‌پردازیم.

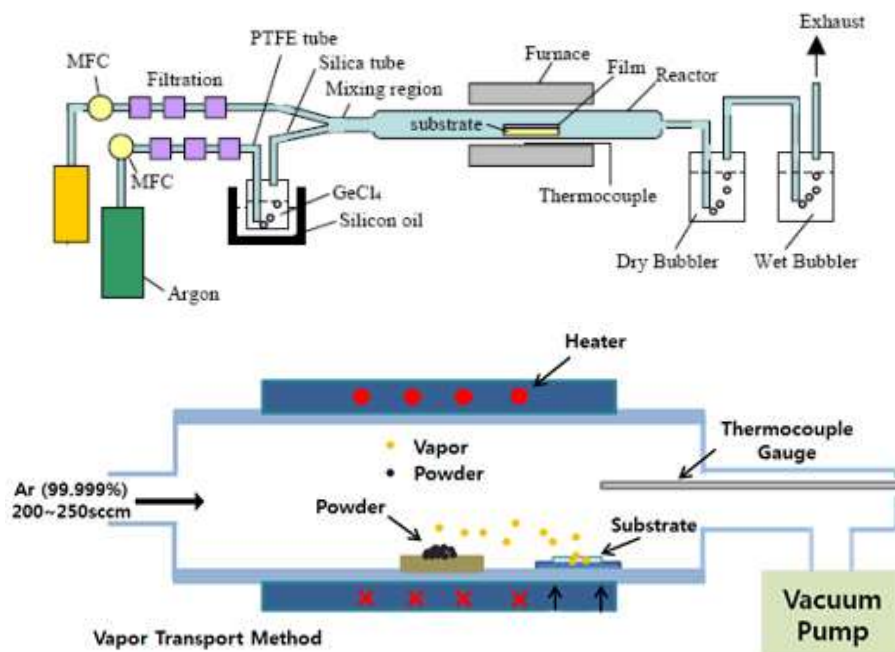
۲-۵ لایه نشانی به روش رسوب دهی شیمیایی از فاز بخار^۳

اساس کار این روش بر پایه عبور جریان گازهای پیش ماده از داخل یک محفظه می‌باشد. درون محفظه زیرلایه‌ها در دمای مورد نیاز برای واکنش مورد نظر قرار داده می‌شوند. از آنجا که واکنش‌ها در نزدیکی سطوح دمای بالا اتفاق می‌افتند رسوب به صورت یک لایه نازک روی سطح زیرلایه ایجاد می‌شود. مواد زائد تولید شده در چنین واکنشی، همراه با گازهای پیش ماده و حامل توسط یک پمپ خلا که دائماً در حال کار است از محفظه خارج می‌گردند. مزایای لایه نشانی به این روش شامل موارد زیر می‌باشند:

- لایه تولید شده در تمام مناطق دارای ضخامت تقریباً یکسان می‌باشد.
- سرعت لایه نشانی با این روش نسبتاً بالاست.
- گستره وسیعی از مواد می‌توانند به این روش لایه نشانی شوند.
- کنترل ساختار کریستال، مورفولوژی سطح، استوکیومتری و جهت‌گیری بلوری رسوب امکان پذیر است.

³ Chemical Vapor Deposition (CVD)

CVD بر اساس فاز پیش ماده به سه روش پیش ماده گازی، مایع و جامد انجام می گیرد. برای استفاده از پیش ماده جامد لازم است که پیش ماده تا دمای تبخیرش حرارت داده شود که این دما معمولاً بالاست. سنتز در محل (in situ) به این صورت انجام می گیرد که مواد جامد اولیه به صورت جداگانه در مسیر گازهای حامل قرار می گیرند و پس از تبخیر با یکدیگر ترکیب شده و در همین حیت روی زیرلایه می نشینند.



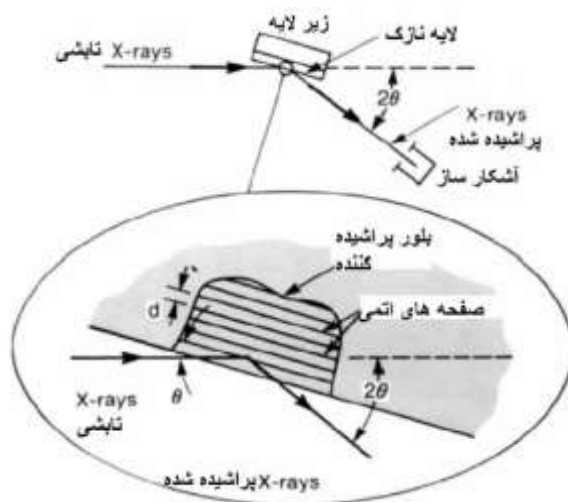
شکل (۵-۱) نمای کلی از عملکرد دستگاه لایه نشانی شیمیایی فاز بخار

۳-۵ مشخصه یابی ساختاری (پراش پرتو ایکس) : (XRD)

XRD (پراش پرتو ایکس) روشی بسیار پرکاربرد می باشد که از قدیم برای بررسی خصوصیات کریستال‌ها و مطالعه ساختار مواد بلوری استفاده می شده است. این تکنیک در سال ۱۹۱۲ میلادی توسط فون لاهه کشف شد و توسط ویلیام هنری براگ و ویلیام لورنس براگ برای بررسی بلورها بکار گرفته شد. پرتوهای ایکسی که برای پراش استفاده می‌شوند، معمولاً طول موجی در حدود ۰/۵ الی ۲/۵ آنگستروم دارند. در این روش برای بررسی خصوصیات، از پراش پرتو ایکس استفاده می شود. XRD برای تعیین کمیت‌های زیر به کار می رود:

ثابت شبکه، هندسه شبکه، تعیین کیفی مواد ناشناس، تعیین فاز کریستال‌ها، تعیین اندازه کریستال‌ها، جهت‌گیری تک کریستال، استرس، تنش، عیوب شبکه و غیره.

شکل (۲-۵) نمایی از یک دستگاه پراش پرتو ایکس می باشد. XRD بسته به کاربرد دارای پیکربندی و اجزای متفاوتی است. به طور کلی اجزای یک دستگاه XRD شامل منبع پرتو ایکس، نمونه، آشکارساز و اپتیک پرتو ایکس (فیلترهای پرتو ایکس) می‌باشد. در XRD معمولاً به یک منبع پرتو ایکس تکفام نیاز می باشد که در شیوه‌های متداول از لوله پرتو ایکس استفاده می‌شود. پرتو ایکس توسط برخورد الکترون‌های پرارژی که در یک پتانسیل الکتریکی شتاب می‌گیرند، با هدفی معین تولید می‌شود. از پراش یک کریستال، اطلاعاتی از قبیل زاویه قله بیشینه، شدت نسبی بیشینه‌ها و همچنین پهنای هر قله به دست می‌آید. این دستگاه مطابق قانون براگ کار می‌کند.



شکل (۵-۲) طرح کلی دستگاه پراش پرتو ایکس

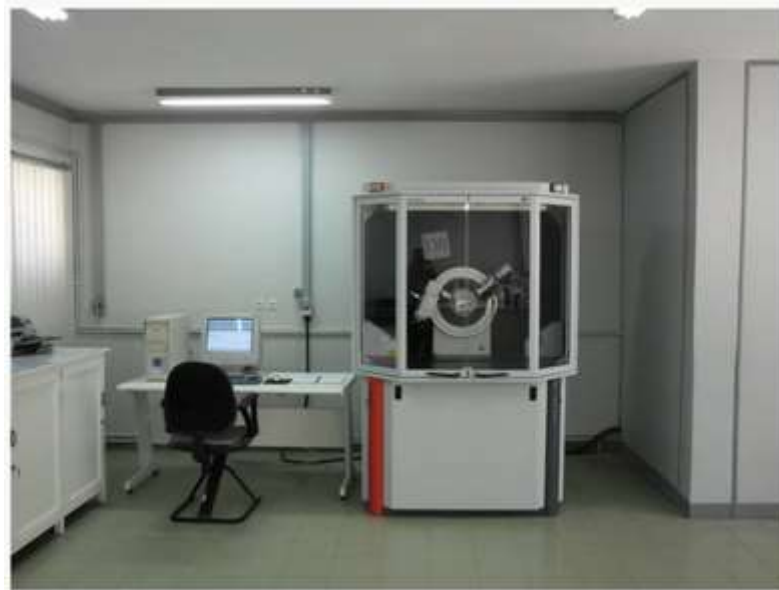
به علت سادگی اصول فیزیکی این دستگاه، XRD تکنیکی کم هزینه و پرکاربرد می باشد. اطلاعات به دست آمده از پراش پرتو ایکس که شامل زاویه ماکزیموم شدت پرتو پراشیده شده، شدت پرتو پراشیده شده در هر زاویه و پهنای هر ماکزیموم می باشد، وابسته به طیف وسیعی از خصوصیات و کمیات کریستال ها می باشد. این امر باعث کاربرد فراوان XRD می شود. عدم نیاز به خلاء از جمله محاسن XRD می باشد که باعث کاهش هزینه ساخت می شود. آماده سازی نمونه برای XRD آسان است و تکنیکی غیرتماسی و غیرمخرب می باشد.

تفکیک پایین و شدت کم پرتو پراشیده شده نسبت به پراش الکترونی از معایب XRD است. شدت پرتو الکترونی پراشیده شده در حدود ۱۰۸ بار بزرگتر از پرتو XRD می باشد. نتیجه این امر نیاز به استفاده از نمونه بزرگتر و در نتیجه تعیین اطلاعات به صورت میانگین در XRD می باشد.

شدت پرتو پراشیده شده در XRD وابسته به عدد اتمی است، به همین دلیل برای عناصر سبک تر این شدت کمتر می شود و نتیجه آن اختلال در عملکرد XRD خواهد بود. به عنوان مثال هنگامی که نمونه از یک اتم سبک در کنار اتمی سنگین تشکیل شده باشد، XRD به خوبی توان تفکیک این دو را ندارد. XRD برای عناصر سنگین تر کارایی بهتری دارد در حالی که تکنیک پراش نوترونی برای ترکیبات مواد از هر عنصری قابل استفاده است.

شکل (۳-۵) تصویر دستگاه پراش پرتو ایکس مدل D8-Advance Bruker که از آن برای مشخصه یابی ساختاری استفاده کرده ایم را نشان می دهد.

این دستگاه از پرتو $\text{CuK}\alpha$ با طول موج $1/5406 \text{ \AA}$ در محدوده‌ی زاویه‌ی $2\theta = 20^\circ - 60^\circ$ استفاده می کند.



شکل (۳-۵) تصویر دستگاه پراش اشعه ایکس مدل D8-Advance Bruker در دانشگاه دامغان

۴-۵ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۳۳

یکی از معمول ترین روش های میکروسکوپی، میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM است. در حالت عادی این میکروسکوپ برای بزرگنمایی و تهیه ی تصویر به کار می رود، اما با اضافه کردن تجهیزات خاصی می تواند برای آنالیز شیمیایی و دیگر بررسی ها نیز به کار گرفته شود. برهم کنش پرتوی الکترونی با ماده، مبنای عملکرد این میکروسکوپ است. پرتوهای گسیل شده از این برهم کنش برای تجزیه و تحلیل ساختار سطح مورد استفاده قرار می گیرد.

میکروسکوپ الکترونی کاربردهای بسیاری در فناوری نانو دارد. ساخت دستگاه SEM سبب شد تا محققان بتوانند نمونه‌ها را به سادگی و با وضوح بیشتر مطالعه کنند. استفاده از SEM برای مطالعه‌ی نمونه‌های ضخیم غیرشفاف اولین بار در سال ۱۹۴۲ توسط ژورکین و همکارانش در ایالات متحده‌ی آمریکا انجام شد. [۱۷ و ۱۸]

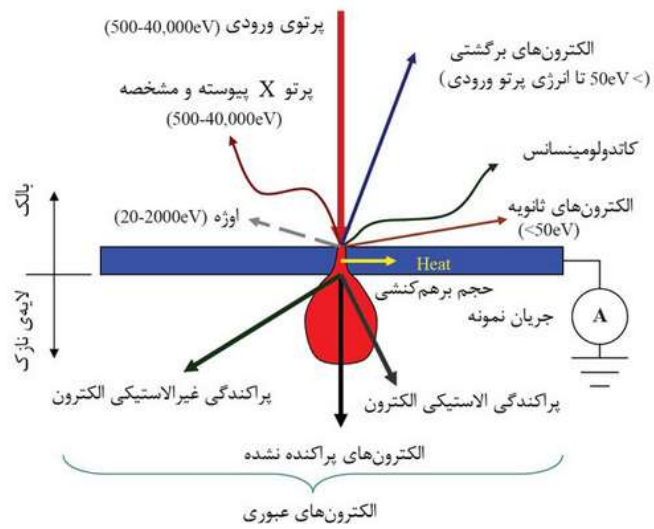
به واسطه بمباران نمونه با پرتوی الکترونی الکترون‌ها و فوتون‌هایی از نمونه خارج و به سمت آشکارسازها رها می‌شوند و در آن جا تبدیل به سیگنال می‌شوند. عملکرد SEM بر سه اصل استوار است: [۱۹]

۱- برهم کنش پرتو الکترونی با نمونه؛

۲- امکان تولید و کنترل مشخصه‌های پرتوی الکترونی روبشگر در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی؛

۳- امکان آشکارسازی پرتوهای گسیل شده از سوی نمونه در اثر برهم کنش آن با پرتوی الکترونی ورودی.

در اثر برخورد پرتوی الکترونی روبشی با نمونه، بین آنها برهمکنش اتفاق می‌افتد. نتیجه آن، گسیل پرتوهایی است که با کمک آشکارسازها دریافت و شناسایی می‌شوند و مشخصات ماده را آشکار می‌سازند. شکل (۴-۵) نمایی ساده از پرتوهایی است که از نمونه گسیل می‌شوند. [۱۹] اطلاعات به دست آمده از میکروسکوپ، به برهمکنش‌های پرتو و نمونه وابسته است. پرتوهای الکترونی ورودی به نمونه در SEM معمولاً حاوی الکترون‌هایی با انرژی ۱ تا ۵۰ eV هستند. تصویری از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد استفاده را در شکل (۵-۵) می‌بینیم که نیازمند سطحی رسانا برای تصویر برداری است و معمولاً با لایه نازکی از طلا پوشش داده می‌شود.



شکل (۴-۵) برهمکنش پرتوی الکترونی و نمونه [۱۷]



شکل (۵-۵) تصویری از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل VEGA\TESCAN-XMU در دانشگاه علم و صنعت

۵-۵ سنتز و لایه نشانی نانومیله های اکسید قلع به روش CVD [۲۰]

برای ساخت نانومیله های SnO_2 جهت استفاده در حسگری گاز، ما از روش CVD با پیش ماده جامد استفاده کردیم. پودر خالص Sn به نسبت برابر با گرافیت به عنوان کاتالیزور ترکیب شد و پس از اختلاط کامل در بوتله آلومینا قرار گرفت.

برای به دست آوردن نانومیله از تکنیک دانه گذاری استفاده کردیم. به همین منظور زیرلایه های سیلیکون کاملا تمیز شده و به وسیله اسپاترینگ حدود 20 nm طلا روی آن ها لایه نشانی شد. شکل (۵-۶) نمایی از پودر Sn مخلوط شده با گرافیت در بوتله آلومینا و زیرلایه های سیلیکون آماده لایه نشانی را نشان می دهد.



شکل (۵-۶) پیش ماده: مخلوط پودر قلع و گرافیت با نسبت یکسان،

زیرلایه های سیلیکون با 20 nm نانومتر لایه طلا

زیر لایه ها در فواصل متفاوت از 1 تا 7 سانتی متر نسبت به پیش ماده جامد روی تیوب آلومینا قرار گرفتند.

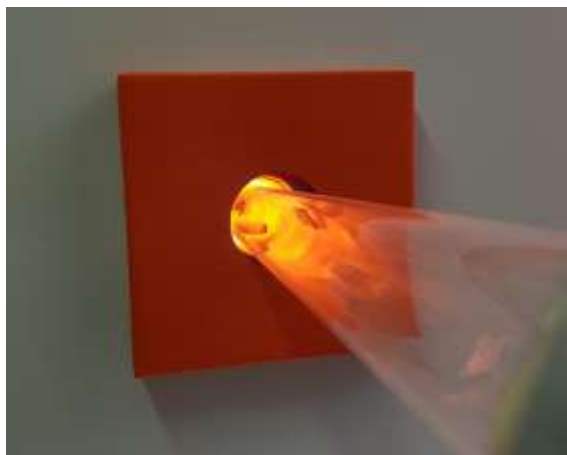
برای انجام لایه نشانی از دستگاه CVD ریلی شرکت نانوشات که در شکل (۵-۷) نشان داده شده، استفاده کردیم. این دستگاه به صورت ریلی طراحی شده تا در صورت نیاز به سرد کردن سریع، بتوان کوره را از محل زیر لایه دور کرد. همچنین برای ایجاد خلا از یک پمپ توربومولکولار بهره می برد. به

عنوان گاز حامل، آرگون با خلوص بالا در دستگاه جریان می یابد. پس از قرار دادن بوته حاوی پیش ماده و زیر لایه ها داخل لوله کوارتز، خلا سازی سیستم آغاز شد و در همین حین گاز حامل با شار ۷۰ sccm در لوله جریان یافت.



شکل (۷-۵) دستگاه لایه نشانی CVD در حال کار

با رسیدن به خلا از مرتبه 10^{-2} تور، هیتر دستگاه روشن شد تا تقریباً به دمای 1100 درجه سیلسیوس رسید. در این هنگام جریان گاز اکسیژن (برای ترکیب با Sn و تولید اکسید قلع) با شار ۲ sccm آغاز شد. پس از رسیدن به دمای مورد نظر خلا دستگاه برابر $9/5 \times 10^{-1}$ تور بود. انتظار داشتیم که پودر پیش ماده شروع به تبخیر شدن کرده، با اکسیژن موجود ترکیب شود و همزمان توسط گاز حامل حرکت کرده و روی زیر لایه ها بنشینند. با گذشت ۶۰ دقیقه از انجام واکنش، دستگاه خاموش شد تا در دمای اتاق و به آرامی سرد شود.



شکل (۸-۵) زیرلایه ها و ماده داخل دستگاه CVD در دمای ۱۱۰۰ درجه سلسیوس

اکنون نمونه های ما برای انجام آنالیزهای ساختاری و تست حسگری آماده می باشند. در ابتدا تست های حسگری انجام شد و نمونه هایی که پاسخ روشن داشتند برای آنالیز XRD فرستاده شدند. پس از مشخص شدن ساختار لایه تشکیل شده، تصاویری از سطح و ضخامت نمونه ها به وسیله SEM گرفته شد تا تشکیل درست نانومیله ها بررسی گردد. مجموعه تست ها و آنالیزهای انجام شده نشان داد نمونه هایی که در نزدیکترین فاصله (حدود ۱ سانتی متری) نسبت به پیش ماده و مابین پیش ماده و خروجی لوله کوارتز قرار داشتند بهترین پاسخ ها را تولید کردند. شکل (۹-۵) نمونه لایه نشانی شده را که برای انجام تست حسگری استفاده کردیم نمایش می دهد. در اینجا یک جفت سیم مسی به وسیله چسب نقره (به عنوان الکتروود) به دو انتهای زیرلایه متصل شده اند.

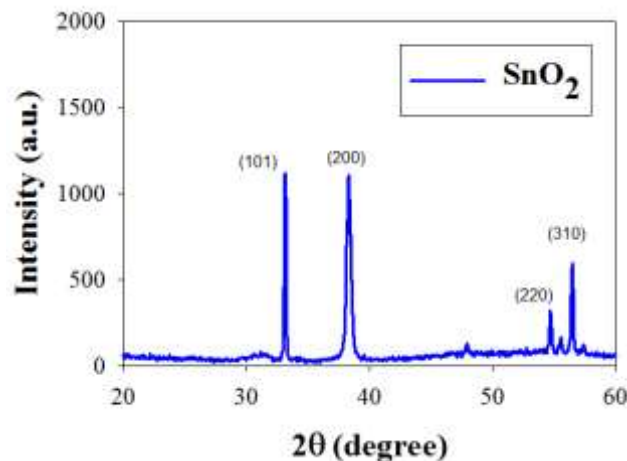


شکل (۹-۵) نمونه لایه نشانی شده اکسید قلع روی زیرلایه سیلیکون به روش CVD که با چسب نقره الکتروودگذاری شده و سیم های مسی به آن متصل شده اند.

۵-۶ بحث و نتیجه گیری

۵-۶-۱ مطالعه خواص ساختاری

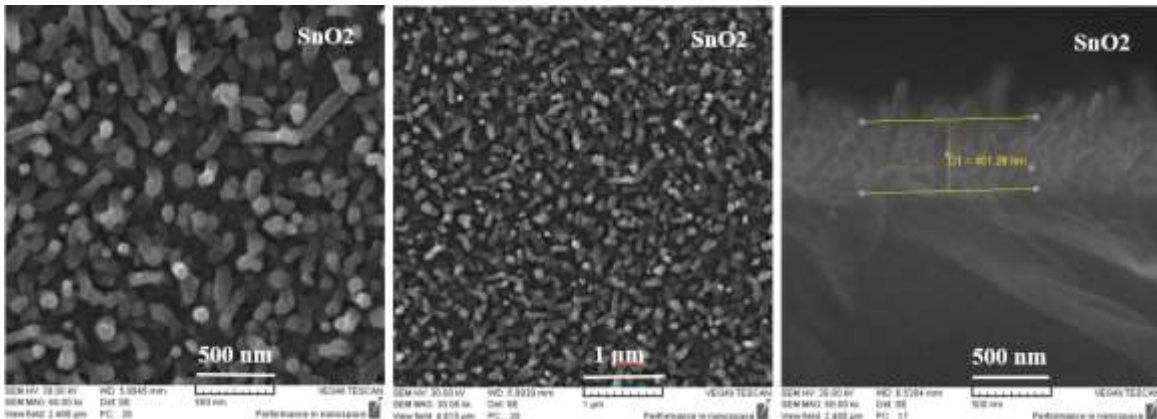
برای بررسی ویژگی های ساختاری نمونه ها، از الگوهای پراش پرتو X استفاده شده است. شکل (۵-۱۰) طیف های XRD یکی از نمونه های رشد یافته را نشان می دهد. نتایج بدست آمده از این الگوها نشان دهنده ساختار بس بلوری SnO_2 در فاز تتراگونال است. صفحات (۱۰۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰) و (۳۱۰) به ترتیب مربوط به موقعیت زاویه ای $33/8^\circ$ ، $38/328^\circ$ ، $54/576^\circ$ و $56/408^\circ$ می باشد. قله مربوط به تلا شدتی بسیار بالاتر از قله های مربوط به صفحات بلوری SnO_2 داشت و به همین علت بازه را آنقدر محدود کرده ایم تا قله طلا خارج از بازه نمودار قرار گیرد و قله های اکسید قلع نمایان شوند.



شکل (۵-۱۰) طیف XRD نمونه ی تحت بررسی.

۵-۶-۲ مطالعه مورفولوژی سطح

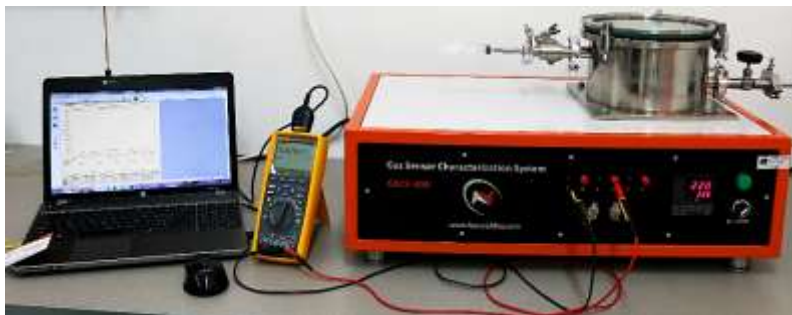
شکل (۵-۱۱) تصویر SEM لایه ی SnO_2 مورد بررسی را در دو مقیاس $1\ \mu\text{m}$ و $500\ \text{nm}$ نشان می دهد. این تصویر نشانگر آن است که سطح لایه از نانومیله ها تشکیل شده است به طوری که قطر آنها در حدود $45\ \text{nm}$ است. همچنین تصویر مقطع عرضی حاکی از آن است که ضخامت لایه در حدود $450\ \text{nm}$ می باشد.



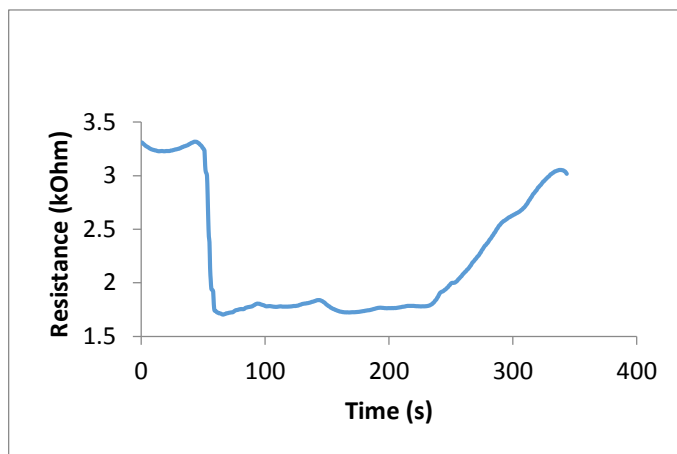
شکل (۱۱-۵) تصویر SEM نمونه‌ی مورد بررسی از بالا در دو مقیاس $1\ \mu\text{m}$ و $500\ \text{nm}$. و همچنین مقطع عرضی نمونه SnO_2

۳-۶-۵ نتایج انجام تست حسگری

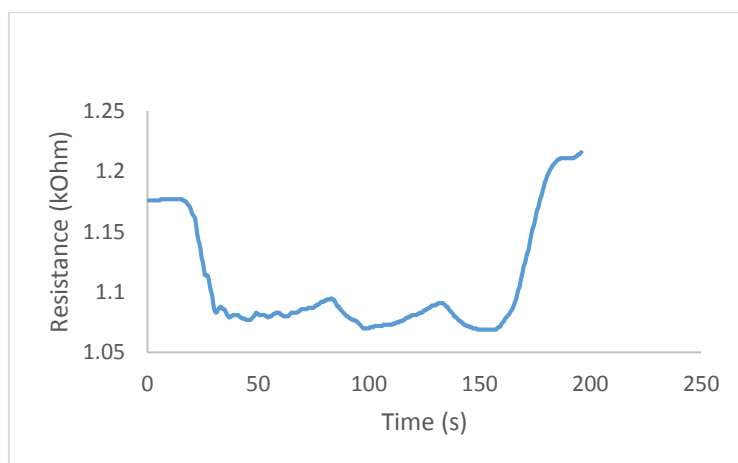
تست‌ها به صورت استاتیک و در راکتور تست حسگر گازی شرکت نانوشات انجام گرفته‌اند. در حالت استاتیک ابتدا الکل مایع در یک محفظه جداگانه تبخیر می‌گردد (اصطلاحاً رقیق‌سازی می‌شود). سپس با توجه به حجم راکتور دستگاه تست، مقدار مورد نیاز از اتانول تبخیر شده برای رسیدن به غلظت مورد نظر محاسبه می‌گردد. برای برداشتن گاز از محفظه رقیق‌سازی، ما از سرنگ استفاده کردیم. برای گاز اتانول در دماهای 70°C ، 100°C ، 150°C ، 200°C ، 250°C ، 300°C و 350°C درجه سلسیوس و غلظت‌های 100 ، 200 ، 300 ، 400 و 500 قسمت در میلیون، از قطعه حسگری ساخته شده تست گرفتیم که بهترین نتایج در دماهای 200°C و 250°C درجه سلسیوس و غلظت $500\ \text{ppm}$ حاصل شد. در شکل‌های (۱۳-۵)، (۱۴-۵) و (۱۵-۵) بهترین نتایج به دست آمده را مشاهده می‌کنید.



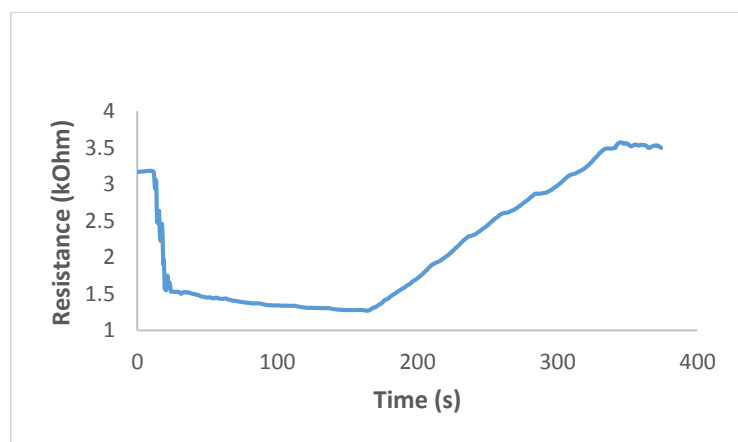
شکل (۱۲-۵) سیستم تست حسگر گازی مورد استفاده در آزمایشگاه شرکت نانوشات



شکل (۵-۱۳) تست حسگر برای گاز اتانول در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس و غلظت ۵۰۰ ppm



شکل (۵-۱۴) تست حسگر برای گاز اتانول در دمای ۲۲۰ درجه سلسیوس و غلظت ۵۰۰ ppm



شکل (۵-۱۵) تست حسگر برای گاز اتانول در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس و غلظت ۵۰۰ ppm

متاسفانه قطعات حسگری ساخته شده در حسگری گاز دی اکسید کربن موفق نبودند. علت این عدم موفقیت، نویزی است که در مقاومت خروجی از حسگری این گاز با حسگرهای مقاومتی پدیدار می شود. البته این نویز در پاسخ اکثر حسگرهای مقاومتی، حتی حسگرهای تجاری، در هنگام آشکارسازی دی اکسید کربن مشاهده می شود اما در حسگرهایی که در این پروژه سنتز شدند دامنه نویز ایجاد شده به حدی بود که پاسخ واقعی حسگر به گاز را به شدت تحت تاثیر قرار می داد و امکان تفکیک پاسخ را سلب می کرد.

همچنین برای اینکه بتوانیم از یک حسگر در سیستم تشخیص گاز استفاده کنیم نیاز داریم تا پاسخ حسگر به اندازه کافی تکرارپذیر باشد تا بتوان ویژگی هایی برای پاسخ در نظر گرفت که در طول زمان بدون تغییر باقی بمانند. در این صورت سیستم تشخیص گاز قابل اعتماد خواهد بود. اما قطعات حسگری ساخته شده توسط ما از تکرارپذیری لازم برای دستیابی به این هدف برخوردار نبودند و بعد از انجام تعداد معدودی تست اشباع می شدند.

به دلایل ذکر شده، برای ادامه مسیر و ساخت دستگاه تشخیص مخلوط گاز، به ناچار از تعدادی حسگر تجاری موجود در بازار که تکرارپذیری مورد نیاز را برآورده می ساختند استفاده کرده ایم.

فصل ششم

تفکیک و دسته بندی داده های حاصل از حسگر گازی
برای آشکارسازی گازهای موجود در یک ترکیب
(جداسازی اتانول از دی اکسید کربن)

۱-۶ استفاده از روش SVM برای جداسازی اتانول از CO₂

مراحل انجام گرفته به منظور هوشمندسازی سیستم حسگری به ترتیب به صورت زیر می باشد:

✓ انتخاب حسگرهای مورد نیاز و ساخت سیستم تستی که توانای ذخیره داده های خروجی را داشته باشد.

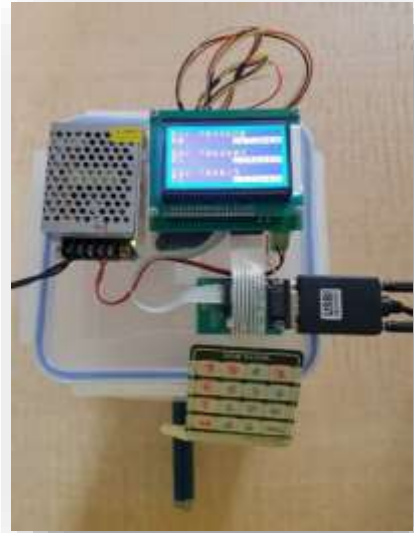
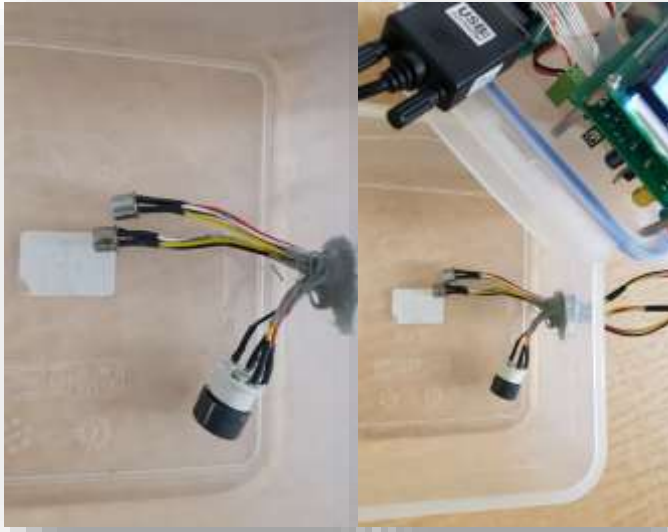
✓ انجام تست برای گازهایی که قصد تفکیک آن ها را داریم

✓ طراحی برنامه کامپیوتری برای تشخیص نوع گاز موجود در داده های سیستم تست که این خود شامل دو قسمت است:

- انتخاب یا استخراج تعدادی ویژگی از نمودار و داده های خروجی از حسگرها
- ارائه ویژگی های گاز به برنامه به منظور تشخیص حضور یا عدم حضور آن گاز در ترکیب

۱-۱-۶ سیستم تست و ذخیره داده های حاصل از حسگرهای گازی

برای انجام تست های مورد نیاز از سیستم حسگری طراحی شده در شرکت نانوشات استفاده شده است. دستگاه شامل یک محفظه با حجم ۲۰۰۰ سانتی متر مکعب می باشد که یک لوله برای ورود گاز در آن تعبیه شده است. سه حسگر TGS813 و TGS2602 و TGS2620 که هیچکدام کاملاً گزینش گر نیستند از شرکت FIGARO انتخاب شده اند. یک برد الکترونیکی برای ثبت تغییرات ولتاژ سه حسگر روی محفظه تست قرار دارد که داده های دریافتی را در لحظه در کامپیوتر ثبت و برای پردازش های بعدی ذخیره می نماید. می توان همزمان هر سه حسگر را به کار انداخت یا بسته به نیاز هر کدام را از مدار خارج کرد. شکل (۱-۶) دستگاه مورد استفاده ما را نشان می دهد.



شکل (۱-۶) دستگاه تست حسگر گازی



شکل (۲-۶) دستگاه تست حسگر گازی در حال کار

۲-۱-۶ انجام آزمایش برای گازهای اتانول و دی اکسید کربن

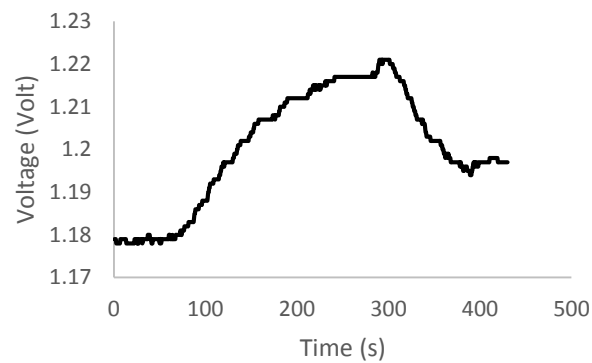
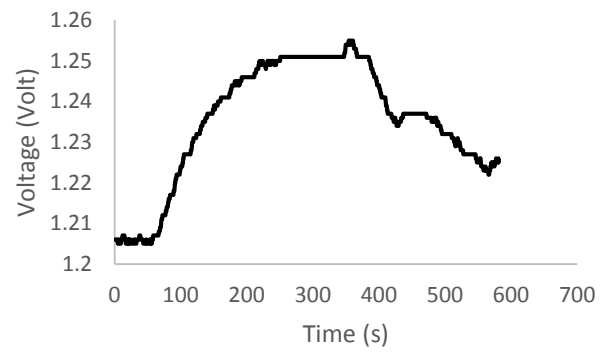
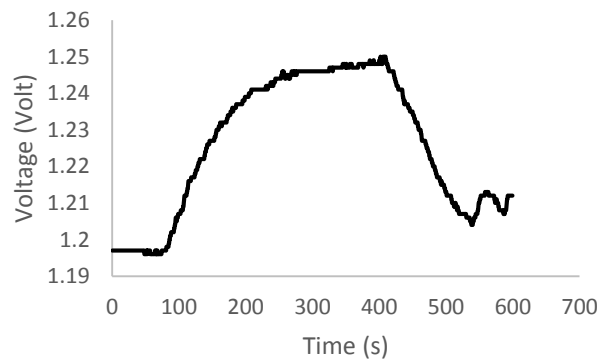
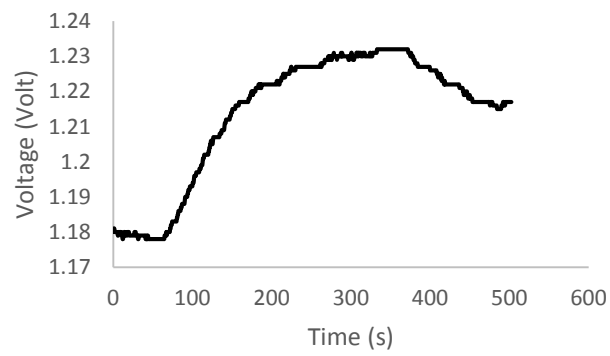
آزمایشات ما با این دستگاه تست به صورت استاتیک انجام شد. برای تست دی اکسید کربن که به صورت گاز بود با توجه به حجم محفظه تست، مقدار مشخصی از گاز تزریق شد. اما برای اتانول ابتدا مایع را داخل یک ارلن هوابندی شده ریختیم تا کاملاً تبخیر شود. سپس با استفاده از جرم مولی اتانول و حجم محفظه ارلن و تست، مقدار مورد نیاز از گاز داخل ارلن را برای رسیدن به غلظت مورد نیاز آزمایش، محاسبه و به محفظه تست تزریق کردیم.

داده های حاصل از تست حسگرها برای 2000 ppm از بخار اتانول و گاز دی اکسید کربن جمع آوری شد. نموداری که از پاسخ هر حسگر به دست می آید در واقع پاسخ آن حسگر به تمام گازهای موجود در محیط است و نمی توان دقیقاً مشخص کرد که کدام گازها موجود و کدام ناموجودند. برای این منظور ما از یک روش دسته بندی اطلاعات استفاده کردیم تا بتوانیم تشخیص دهیم که یک گاز خاص (در اینجا اتانول یا دی اکسید کربن) در ترکیب شناسایی شده توسط سیستم وجود دارد یا خیر. به عبارت دیگر روش دسته بندی ماشین بردار پشتیبان را به کار بردیم تا سیستم تست حسگری را با دقت خوبی نسبت به گاز اتانول گزینش گر کنیم.

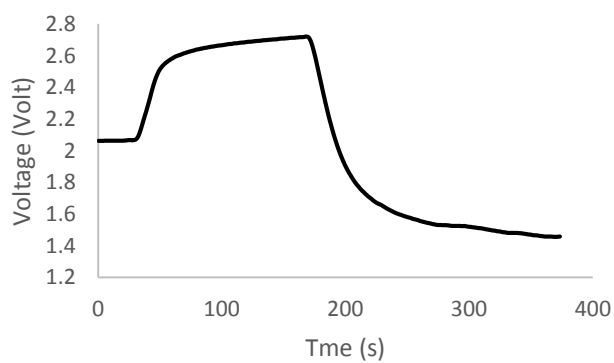
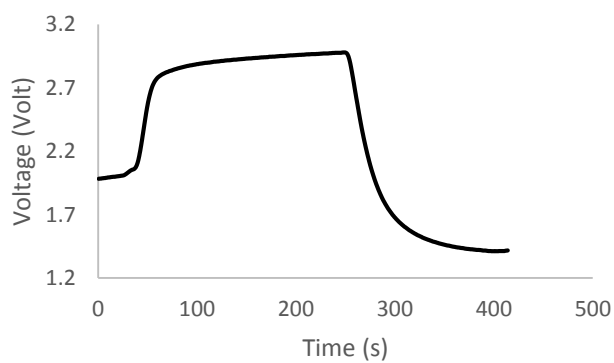
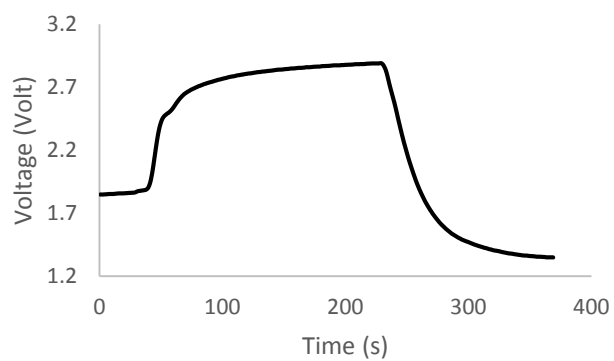
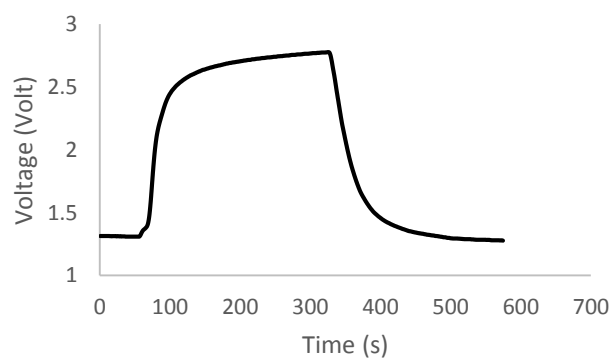
برای استفاده از این روش ابتدا نیاز داریم تا سیستم را با یک سری داده های گرفته شده برای هر گاز آموزش دهیم.

برای گاز اتانول از بین تست های انجام شده ۱۱ نتیجه مناسب، که با احتساب سه حسگر مجموعاً ۳۳ دسته داده می شود برای آموزش سیستم انتخاب شد. برای گاز دی اکسید کربن هم ۱۰ نتیجه برابر ۳۰ دسته داده برگزیده شد. تفاوت تعداد تست های منتخب دلیل خاصی نداشت و تفاوت تعداد تست ها در روند کار مشکلی ایجاد نمی کند.

چند نمونه از نتایج تست حسگری برای دو گاز دی اکسید کربن و اتانول در شکل های (۳-۶) و (۴-۶) قابل مشاهده اند.



شکل (۳-۶) پاسخ سیستم حسگری به گاز دی اکسید کربن



شکل (۴-۶) پاسخ سیستم حسگری به گاز اتانول

همانطور که در این شکل ها می بینیم، شکل نمودارهای حاصل از گاز اتانول با اکسید کربن تفاوت های مشخصی دارد. می توانیم از این تفاوت های موجود، به عنوان ویژگی برای تشخیص دو نوع گاز از یکدیگر بهره ببریم. اما مهم است که از داده های کدام قسمت برای این منظور استفاده خواهیم کرد. به عنوان مثال در هر بار تست، ممکن است بازه زمانی متفاوتی منتظر بمانیم تا سیستم پایدار شود و گاز تزریق شود. این بازه زمانی، به گاز و واکنش آن با حسگرها بستگی ندارد. به همین علت داده های مربوط به این قسمت مفید نخواهند بود. به همین صورت، بعد از تزریق گاز و رسیدن به بیشینه پاسخ، در هر بار تست زمان متفاوتی را صبر می کنیم و سپس تخلیه را انجام می دهیم. این بازه زمانی نیز در کنترل فرد آزمایش گر می باشد و به خصوصیات گاز وابسته نیست. با توجه به این موارد، می توانیم نتیجه بگیریم که بهترین داده ها، در هنگام تزریق گاز تا رسیدن به بیشینه پاسخ و همچنین از تخلیه گاز تا بازگشت به پاسخ پایه به دست می آیند. داده های حاصل در این بازه های زمانی به واکنش گاز با حسگر وابسته هستند و می توانند مشخصه نوع گازی باشند که در محیط وجود دارد. از داده های این دو بازه زمانی برای استخراج ویژگی های مورد نظرمان استفاده کردیم. مجموعاً چهار ویژگی استخراج شد. شامل:

- ✓ زمان رسیدن از پاسخ حالت پایه به ۹۰٪ مقدار بیشینه
- ✓ زمان رسیدن از مقدار بیشینه به ۱۰٪ پاسخ حالت پایه
- ✓ شیب نمودار در هنگام صعود از حالت پایه به بیشینه
- ✓ سطح زیر منحنی پاسخ حسگر

از چار ویژگی بالا، دو تا را در روند کار حذف کردیم.

سطح زیر منحنی پاسخ حذف شد چون همانطور که گفتیم در هر تست، بین رسیدن به بیشینه پاسخ تا تخلیه، مقدار متفاوتی زمان صرف کردیم و این عامل انسانی، باعث تغییر سطح زیر منحنی می

گردد. اگر این زمان انتظار برای هم تست ها دقیقا یکسان می بود، این پارامتر می توانست ویژگی مناسبی برای هر گاز باشد.

علت حذف شیب نمودار پاسخ نیز ساده سازی نرم افزار نوشته شده بود، چون داشتن سه ویژگی در تولید نمودار تفکیک پیچیدگی هایی ایجاد نمود.

۳-۱-۶ نوشتن برنامه کامپیوتری و آموزش سیستم

در این مرحله به کمک نرم افزار MATLAB برنامه ای نوشتیم تا از داده های موجود برای هر گاز، ویژگی های مورد نظر ما را استخراج کند. این ویژگی ها در یک ماتریس ویژگی که سطرهایش برابر تعداد تست ها و ستون هایش برابر تعداد ویژگی هاست ذخیره شدند. ماتریس دیگری نیز با تعداد سطر برابر ماتریس ویژگی و یک ستون برای برچسب گذاری هر سطر ماتریس ویژگی تعریف می شود. به این صورت که تا سطری که داده ها مربوط به گاز اتانول هستند مقدار یک و برای سطرهای مربوط به دی اکسید کربن مقدار منفی یک در آن قرار می گیرد. ماتریس ویژگی و برچسب تولید شده به ماشین بردار پشتیبان که یک دسته بند می باشد ارائه می گردد. داده های اولیه که اکنون به صورت یک ماتریس ویژگی ظاهر شده اند در توابعی به نام کرنل پردازش می شوند و معادله خط یا صفحه ای که بین دو کلاس گاز و با توجه به برچسب های هر کلاس بهترین جدایش را ایجاد می کند، به دست می آید. برای استفاده از SVM، کار را با نوشتن برنامه ای با زبان Python ادامه دادیم. برنامه ما ماتریس ویژگی ها و ماتریس برچسب را به عنوان ورودی دریافت می کند. ترتیب داده ها را به هم ریخته و آن ها را مخلوط می کند. سپس با استفاده از برچسب همراه هر داده و تابع کرنل، جداسازی دو کلاس گاز را انجام می دهد. همچنین برای هر بار اجرا دقت جداکننده را مشخص می کند. اکنون سیستم ما با داده های تست آموزش دیده و الگویی برای جدا کردن این دو نوع گاز تولید شده است. از این پس برای هر داده ای که به عنوان تست به برنامه ارائه می کنیم ویژگی ها توسط برنامه استخراج شده، مقایسه با الگو انجام گرفته و برچسب داده ورودی مشخص می گردد؛ به عبارت بهتر

نوع گاز ورودی معین می گردد. البته این آموزش فقط برای دو نوع گاز اتانول و دی اکسید کربن انجام شده و سیستم فقط قادر به تفکیک همین گازهاست اما با استفاده از این روش می توان هر ترکیب گازی دیگر را تفکیک کرد.

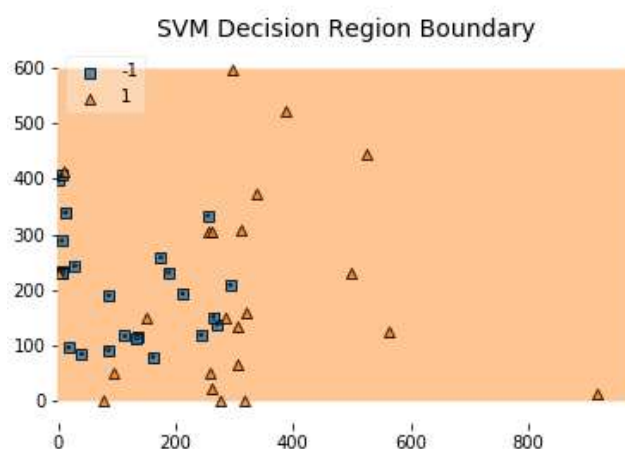
در اینجا فقط از کرنل خطی برای دسته بندی داده ها با روش ماشین بردار پشتیبان که پیشتر توضیح داده شد استفاده کردیم. در هر مرحله آموزش سیستم سه نتیجه (حدود ۲۰٪) داده ها را به عنوان داده تست نگه داشتیم و با بقیه داده ها سیستم را آموزش دادیم. در نهایت بهترین دقت کسب شده برای سیستم آموزش دیده ما، ۷۵٪ به دست آمد. در ادامه تعدادی از دقت ها و نمودارهای تفکیک داده ها را می توانید مشاهده کنید. همچنین برچسب داده های تستی که به سیستم دادیم برگردانده شده است که مشخص می کند داده های تست مربوط به گاز اول بوده اند یا گاز دوم.

۶-۲ نتایج حاصل از آموزش سیستم و دقت های اندازه گیری شده

Accuracy= 58%

.۱

Label: [1 1 1]

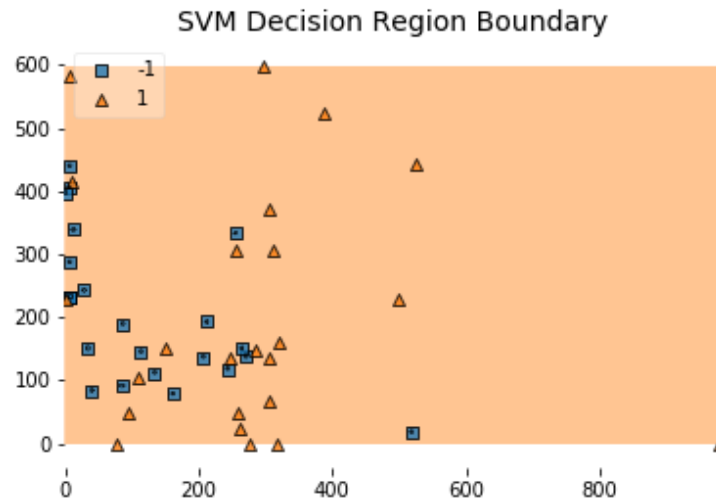


شکل (۶-۵) نمایش تفکیک دو کلاس گاز مورد آزمایش به روش SVM با دقت ۵۸٪

Accuracy= 50%

.۲

Label: [1 1 1]

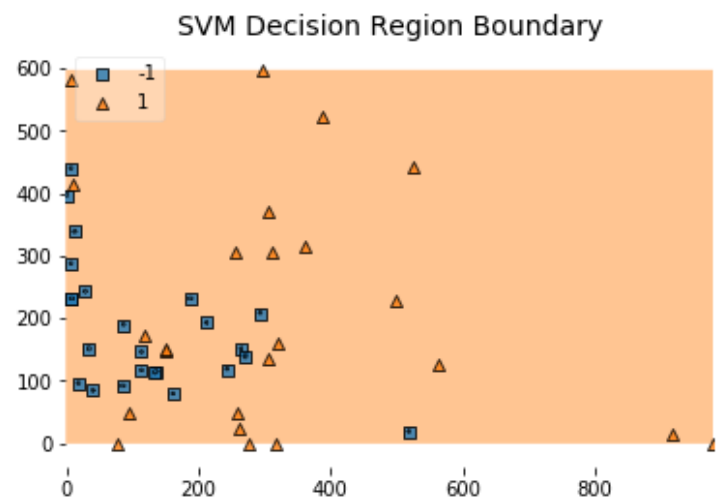


شکل (۶-۶) نمایش تفکیک دو کلاس گاز مورد آزمایش به روش SVM با دقت ۵۰٪

Accuracy= 66%

.۳

Label: [1 1 1]

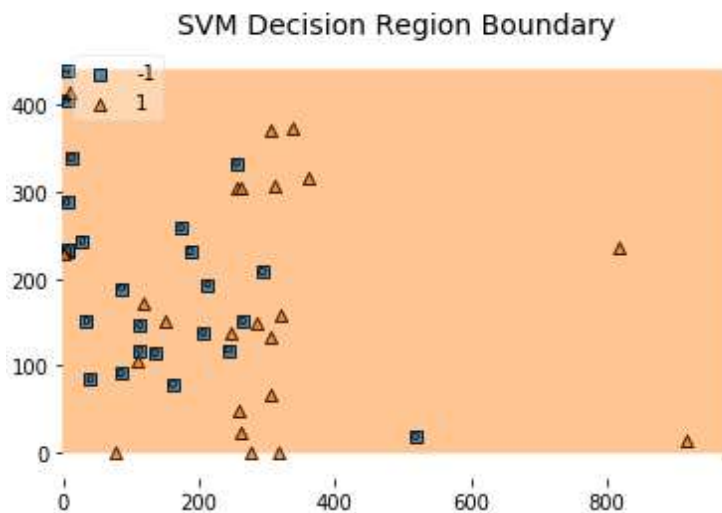


شکل (۷-۶) نمایش تفکیک دو کلاس گاز مورد آزمایش به روش SVM با دقت ۶۶٪

Accuracy= 75%

.۴

Label: [1 1 1]



شکل (۶-۸) نمایش تفکیک دو کلاس گاز مورد آزمایش به روش SVM با دقت ۷۵٪

در این نمودارها، برچسب ۱ مربوط به گاز اتانول و برچسب ۱- مربوط به گاز دی اکسید کربن می باشد که به ترتیب با مثلث و مربع نمایش داده شده اند. محور افقی و عمودی هر کدام معرف یک ویژگی از گازها می باشند. با افزایش تعداد ویژگی ها ابعاد نمودار خروجی نیز افزایش می یابد.

۳-۶ بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از دسته بندی داده ها و تفکیک کلاس های مربوط به دو گاز، می توان از این روش برای بهبود گزینش گری انواع حسگرهای گازی استفاده کرد. باید توجه داشت که نکته کلیدی در استفاده از این روش انتخاب ویژگی های درست و کرنل مناسب برای داده های موجود می باشد. برای انتخاب ویژگی ها دو راه پیش رو داریم. می توانیم به داده ها به صورت اعداد اسکالر نگاه کنیم و استخراج ویژگی را با روش های معمول انجام داده و تست کنیم. راه دیگر این است که با توجه

به اینکه داده ها مربوط به چه حوزه ای هستند ویژگی هایی قابل توجیه برای همان نوع داده ها برگزیده شوند. در اینجا داده های خام اولیه ما دارای ارزش برای استفاده در دسته بندی نبودند ولی چون از خروجی حسگرها می توان نموداری به دست آورد که شکل نمودار خصوصیات مشخصی دارد، تعدادی از خصوصیات نمودارها را که با توجه به نوع گاز تغییر می کردند، استخراج کردیم. در اینجا گاز دی اکسید کربن وقتی با حسگر مقاومتی آشکار می شود نویز شدیدی در خروجی تولید می کند که تا کنون پژوهش هایی بر مبنای تحلیل همین نویز برای تشخیص این گاز انجام شده است. یعنی از نویز به عنوان خصوصیت مشخصه گاز دی اکسید کربن بهره برده اند. برای هر گاز دیگر به همین صورت امکان تحلیل پاسخ ها و استخراج ویژگی وجود دارد که می تواند موضوع کارهای آتی قرار گیرد.

پیوست ۱: مکانیزم دسته بندی ماشین های بردار پشتیبان

در این بخش به معرفی ایده پایه ی ماشین های بردار پشتیبان می پردازیم. برای مسئله تشخیص الگوی دو کلاسه، مکانیزم دسته بندی SVM را در سه حالت به طور خطی جدایی پذیر، غیر قابل جدایی به طور خطی و غیر خطی بررسی می کنیم. در نهایت برای حالت غیر خطی یک تکنیک نگاشت جدید ارائه می دهیم: با انتخاب یک تابع کرنل مناسب، SVM ها می توانند فضای ورودی را به فضای ویژگی با بعد بالا نگاشت کنند و یک ابر صفحه جدا کننده با بیشینه حاشیه در فضای ویژگی بسازند. [۲۱]

معرفی

برای انجام یادگیری با مقدار مشخص داده آموزشی بهترین تعمیم وقتی به دست می آید که توازن بین دقت به دست آمده روی مجموعه ی آموزشی مشخص و ظرفیت ماشین، که به صورت توانایی ماشین در یادگیری هر مجموعه آموزشی بدون خطا تعریف می شود، برقرار گردد. در کاربرد خاص، شبکه عصبی معمول برای تعمیم خصوصاً داده های کوچک به مشکل بر می خورد. Vapnik در اواخر قرن نوزدهم الگوریتم SVM را پیشنهاد داد که از چندین تکنیک آماری ترکیب شده بود، یادگیری ماشینی و شبکه های عصبی. فرمولاسیون آن، قانون کمینه کردن ریسک ساختاری را تضمین می کند. با استفاده از تکنیک نگاشت تابع کرنل، SVM به توانایی مناسب دسته بندی در طول یادگیری داده های کوچک خواهد رسید. برای مورد شناخت الگو، SVM برای تشخیص دست خط، شناسایی اشیاء، تعیین گوینده صدا، تشخیص چهره در تصاویر و دسته بندی متون مورد استفاده قرار گرفته است.

مکانیزم دسته بندی SVM

الگوریتم SVM بر پایه تئوری یادگیری آماری استوار است. در ابتدا قانون SRM (کمینه کردن ریسک ساختاری) را توضیح می دهیم. ایده این قانون ساخت یک ساختار است که S_h در آن فضای فرضی VC بعدی h می باشد، که VC بعد یک مقدار اسکالر برای اندازه گیری ظرفیت یک مجموعه توابع می باشد،

$$S_1 \subset S_2 \subset \dots \subset S_l \subset \dots$$

SRM مسئله زیر را حل می کند:

$$\min_{S_h} \left[R_{emp}[f] + \sqrt{\frac{h(\ln(2l/h)+1) - \ln(\delta/4)}{l}} \right]$$

جایی که $R_{em}[f]$ ریسک تجربی، l داده آموزشی و $1-\delta$ اعتمادپذیری می باشند. معادله (۴-۴) ایده ساختمان SVM را نشان می دهد. برای بهینه سازی ساختار با ثابت نگه داشتن قسمت اول رابطه، بخش دوم کمینه می شود.

دسته بندی مکانیزم SVM

- مثال به طور خطی جدایی پذیر

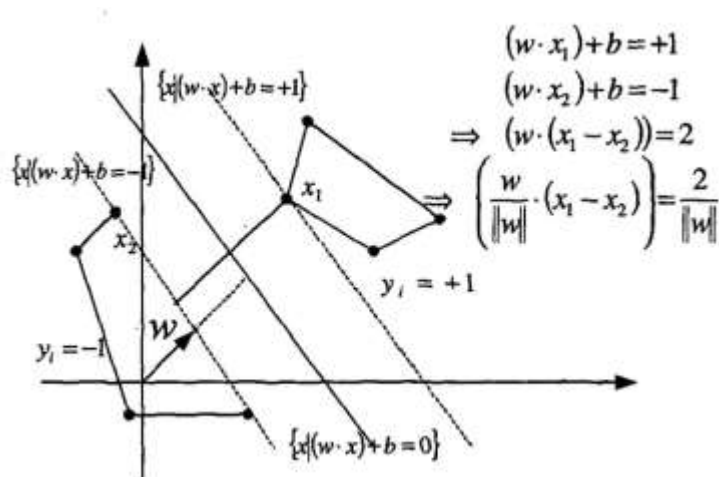
فرض کنید مجموعه ای از داده آموزشی داریم که به دو کلاس جدا از هم تعلق دارند.

$$(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m), \quad x \in \mathbb{R}^N, \quad y \in \{-1, +1\}$$

هدف، یافتن تابع تصمیم $g(x) = \text{sgn}(f(x))$ می باشد که برچسب های داده $(x$ و $y)$ را با دقت پیش بینی و خطای طبقه بندی را کمینه می کند. اگر $f(x)$ یک تابع خطی باشد،

$$f(x) = (x \cdot w) + b, \quad \text{for } w \in \mathbb{R}^N, b \in \mathbb{R}$$

این یک قانون طبقه بندی را می دهد که مرز تصمیم گیری آن $\{x | f(x) = 0\}$ یک ابر صفحه N-1 بعدی جداکننده کلاس های -1 و $+1$ از یکدیگر می باشد. شکل (۸-۴) چنین موقعیتی را شرح می دهد. مسئله یادگیری از داده ها می تواند به صورت یافتن یک مجموعه پارامترهای (w, b) به طوری که برای همه $1 \leq i \leq m$ فرمول بندی شود.



یک مثال از دسته بندی دو کلاسه [۲۱]

شکل بالا نشان می دهد که حاشیه $\rho(w, b)$ برابر مقدار زیر است:

$$\rho(w, b) = \frac{2}{\|w\|}$$

ابرفصله جداکننده بهینه با بیشینه کردن حاشیه به دست می آید، زیرا حاشیه بزرگ در مجموعه آموزشی قابل اطمینان ارزیابی می شود. بنابراین می توانیم مسئله بهینه سازی زیر را حل کنیم:

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \Phi = \frac{1}{2} \|w\|^2 \\ \text{Subject to} \quad & y_i((w \cdot x_i) + b) \geq 1, i = 1, \dots, m \end{aligned}$$

این مسئله بهینه سازی با معرفی ضریب لاگرانژ $\alpha_i \geq 0$ و یک لاگرانژین به صورت

$$L(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^m \alpha_i (y_i ((x_i \cdot w) + b) - 1)$$

سر و کار دارد.

لاگرانژین L با توجه به w و b کمینه شده و با α_i بیشینه می شود. لاگرانژین کلاسیک دوگانه مسئله اولیه، رابطه بالا را به دو مسئله تبدیل می کند که حل آن ها ساده تر است. مسئله دو بخشی به این صورت می شود:

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \max_{\alpha} \left\{ \min_{w, b} L(w, b, \alpha) \right\}$$

کمینه با توجه به w و b و لاگرانژی L به این صورت می شود:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial b} = 0 &\Rightarrow \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i \\ \frac{\partial L}{\partial w} = 0 &\Rightarrow w = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_i y_i \end{aligned}$$

از روابط بالا داریم:

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \max_{\alpha} -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j (x_i \cdot x_j) + \sum_{i=1}^m \alpha_i$$

با قیدهای

$$\begin{cases} \alpha_i \geq 0, i = 1, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i = 0 \end{cases}$$

شرط دوم کمینه کردن نشان می دهد که بردار پاسخ یک بسط بر حسب یک زیر مجموعه از الگوهای آموزشی دارد، آن الگوهایی که ضریب لاگرانژ α_i آن ها غیر صفر است. این الگوهای آموزشی با شرایط Karush-Kuhn-Tucker، آن هایی هستند که

$$\alpha_i (y_i ((x_i \cdot w) + b) - 1) = 0, \quad i = 1, \dots, m$$

و بنابراین آن‌ها دقیقاً مطابق با بردارهای پشتیبان هستند.

اگر داده‌ها به طور خطی جدایی پذیر باشند، همه بردارهای پشتیبان در حاشیه واقع خواهند شد و در نتیجه تعداد بردار پشتیبان می‌تواند خیلی کوچک باشد. بنابراین ابرصفحه با یک زیرمجموعه کوچک از مجموعه داده آموزشی مشخص شده است. نقاط دیگر می‌توانند از مجموعه آموزشی حذف شوند و محاسبه مجدد ابرصفحه پاسخ مشابه تولید خواهد کرد. تابع تصمیم می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$f(x) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^m y_i \alpha_i (x \cdot x_i) + b\right) \quad \text{که } b \text{ با استفاده از (۴-۱۲) محاسبه شده است.}$$

• مثال به طور خطی جدایی ناپذیر

برای این مثال، یک متغیر ضعیف $\zeta \geq 0$ معرفی می‌شود. قید حالت قبل به این شکل اصلاح می‌گردد:

$$y_i((w \cdot x_i) + b) \geq 1 - \xi_i, i = 1, \dots, m$$

ابرفصله جداکننده بهینه تعمیم داده شده با بردار w مشخص شده است که تابع زیر را با توجه

به قید اصلاح شده کمینه می‌کند:

$$\Phi(w, \xi) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l \xi_i$$

حل مسئله بهینه سازی بالا تحت قیود مشخص شده با تحمیل نقطه لاگرانژین داده شده است:

$$L(w, b, \xi, \alpha, \beta) = \frac{1}{2}(w \cdot w) + C \sum_{i=1}^m \xi_i - \sum_{i=1}^m \alpha_i \{[(x_i \cdot w) + b] y_i - 1 + \xi_i\} - \sum_{i=1}^m \beta_i \xi_i$$

که α_i و β_i ضرایب لاگرانژ هستند. مانند قبل، مسئله اصلی به دو قسمت شکسته می‌شود.

$$\max_{\alpha, \beta} W(\alpha, \beta) = \max_{\alpha, \beta} \left\{ \min_{w, b, \xi} L(w, b, \xi, \alpha, \beta) \right\}$$

با کمینه مرتبط با w و b و γ_i و لاگرانژین L ، مسئله دوگانه می شود:

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \max_{\alpha} -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j (x_i \cdot x_j) + \sum_{i=1}^m \alpha_i$$

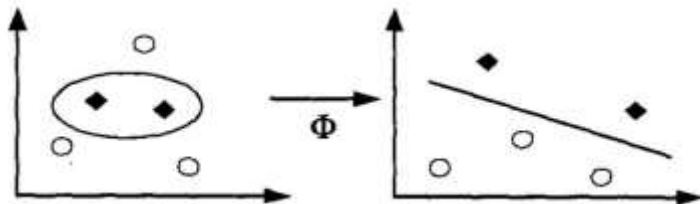
با قیدهای

$$\begin{cases} 0 \leq \alpha_i \leq C, i = 1, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i = 0 \end{cases}$$

حل مسئله کمینه سازی مشابه حالت جدایی پذیر است به جز در مورد حدود ضرایب لاگرانژ. پارامتر C کنترل ظرفیت اضافی داخل دسته بند را نشان می دهد. در برخی موارد C می تواند مستقیماً با پارامتر تنظیم مرتبط باشد.

• مثال غیرخطی

در این حالت، وقتی که مرز خطی نامناسب باشد، SVM می تواند بردار ورودی را به یک فضای ویژگی با بعد بیشتر نگاشت کند. با انتخاب یک نگاشت غیر خطی، SVM ابرصفحه جداکننده بهینه را در این فضای ابعاد بالا می سازد. $K(x, y)$ تابع کرنلی است که نگاشت غیرخطی را در فضای ویژگی ایجاد می کند.



مکانیزم نگاشت غیر خطی [۲۱]

مسئله بهینه سازی حالت قبل، می شود:

$$\max_{\alpha} W(\alpha) = \max_{\alpha} -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \alpha_j y_i y_j (x_i \cdot x_j) + \sum_{i=1}^m \alpha_i$$

و قیود بدون تغییر می مانند. حل رابطه بالا تحت قیدهای مطرح شده ضرایب لاگرانژ را می دهد و یک دسته بند ایجادکننده ابرصفحه جداساز در فضای ویژگی به این صورت داده می شود:

$$f(x) = \text{sgn} \left(\sum_{SVs} \alpha_i y_i K(x_i, x) + b \right)$$

فضای ویژگی و مکانیزم نگاشت تابع کرنل

با استفاده از بازتولید کرنل ها، می توانیم یک نگاشت به فضای ویژگی با ابعاد بالا ایجاد کنیم.

اگر K تابعی مثبت و متقارن و محدود باشد، که شرایط Mercer را برآورده می کند،

$$K(x, y) = \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_m \Psi_m(x) \Psi_m(y), \alpha_m \geq 0$$

$$\iint K(x, y) g(x) g(y) dx dy > 0, \int g^2(x) dx < \infty$$

کرنل یک ضرب داخلی در فضای ویژگی را نشان می دهد. توابع صحیحی که شرط Mercer را برآورده می کنند به حالت های زیر می باشند:

① Polynomial $K(x, y) = [(x \bullet y) + 1]^d, d = 1, \dots$

② Gaussian Radial basis function

$$K(x, y) = \exp \left(-\frac{(x - y)^2}{2\sigma^2} \right)$$

③ Exponential Radial basis function

$$K(x, y) = \exp \left(-\frac{|x - y|}{2\sigma^2} \right)$$

④ B splines $K(x, y) = B_{2n+1}(x - y)$

هر چند در حال حاضر روش تئوری قوی و محکمی برای برگزیدن کرنل وجود ندارد، روشی مثل

اعتبارسنجی برای انتخاب کرنل پیشنهاد می شود. [۲۱]

1. Vinod Komar Khanna, (2011) “**Nanosensors: Physical, Chemical, and Biological**”, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, New York
2. G. Eranna,(2011) “**METAL OXIDE NANOSTRUCTURES AS GAS SENSING DEVICES**”, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, New York
3. Himanshu K. Patel, (2014) “**The Electronic Nose: Artificial Olfaction Technology**”,Springer, India
4. Claus-Dieter Kohl, Thorsten Wagner, (2014) “**Gas Sensing Fundamentals**”, Springer, Verlag Berlin
5. Joshi S. S., (2017), PhD. thesis, “Thailored Nanostructures for Co₂ Gas Sensing Applications”college of Science, Engineering and Health, RMIT university
6. Holban A. M., Grumezescu A. M., (2018), “**Food Control and Biosecurity**”, Academic Press is an imprint of Elsevier, United Kingdom, 296
7. Skvortsov D. A., M. Zvereva E., Shpanchenko O.V., Dontsova O. A., (2011), “Assays for Detection of Telomerase Activity”, ACTA NATURAE, 3, 1, 58
8. Florinel-Gabrial Banica (2012) “**Chemical Sensors And Biosensors**”, John Wiley & Sons,Ltd, United Kingdom
9. Gaudioso M., Kalaf W., (2007), “On the use of the SVM Approach in analyzing an electronic nose”, Seventh International Conference on Hybrid Intelligent Systems
10. Arshak K., Moore E., Lyons G.M., Harris J., Clifford S., (2004) “A review of gas sensors employed in electronic nose applications”, **sensor review,24,2**

11. Distante C., Leo M., Siciliano P., Persaud K., (2002) "On the study of feature extraction methods for an electronic nose", **Sensors and Actuators B**, **87**, 274

12. Kerdcharoen T., Wongchoosuk C., (2010) "DEVELOPMENT OF PORTABLE ELECTRONIC NOSE AND APPLICATIONS FOR MONITORING ARMPIT ODOR", **The 3rd Biomedical Engineering International Conference 2010**

13. Sisoiev V., Goschnic J., Schneider T., Strelcov E., Kolmakov A., (2007) "A Gradient Microarray Electronic Nose Based On Percolating SnO₂ Nanowire Sensing Elements", **NANO LETTERS**, **vol.7, NO.10, 3182**

14. Wijaya D. R., Sarno R., (2015) "Mobile Electronic Nose Architecture for Beef Quality Detection Based on Internet of Things Technology", **GlobalIlluminators Publishing**, **vol.2, 655**

15. Amari A., Bouchikhi B., El Bari N., (2008) "*Classification of a Portable Electronic Nose Data with SVM-RFE Method: Application to Milk Rancidity*", **IEEE Sensors 2008 Conference**

16. Jain S., Bhargava D., Chandra R., Kumar B., (2015) "Role of web enabled Digital Scent Technology", **International Journal of Converging Technologies and Management**, **vol.1, 44**

17. <http://academic.uprm.edu/pcaceres/Courses/CHAMINA/HO5.pdf>

18. C.A. Papadopoulos, D.S. Vlachos, J.N. Avaritsiotis, (1996), A new planar device based on Seebeck effect for gas sensing applications, **Sensors and Actuators**, B 34, 524-527.

۱۹. م. کرباسی، میکروسکوپ الکترونی روبشی و کاربردهای آن در علوم مختلف و فناوری

نانو، چاپ اول، اصفهان: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، (۱۳۸۸)

20. Liu X., Tang D., Zeng C., Hai K., Xie S., (2007) "Preparation of Tin Oxide Self-assembly Nanostructures by Chemical Vapor Deposition", **ScienceDirect**, **vol.23**

21. Junli C., Licheng J., (2000) “Classification Mechanism of Support Vector Machines”, Key Lab. For Radar Signal Processing, Xidian Univ., China
22. Wang X. R., Lizier J. T., Berna A. Z., Barvo F. G., Trowell S. C., (2014), “Human breath-print identification by E-nose, using information-theoretic feature selection prior to classification”, **Sensors and Actuators B: Chemical**, **10**
23. C. V. Raman, K. S. Krishnan, (1928), **Nature**, 122 , 12.
24. C. V. Raman, K. S. Krishnan, (1928), The Optical Analogue of the Compton Effect, **Nature**, 121, 711.
25. H. O. Abd-Elkader, A. A. Shaltout, (2015), Characterization and antibacterial capabilities of nanocrystalline CdS thin films prepared by chemical bath deposition, **Materials Science in Semiconductor Processing**, 35, 132–138.
26. Macias M., Agudo J. E., Manso A. G., Orellana C., Velaso., Caballero R., (2013) “ A Compact Low Cost Electronic Nose for Aroma Detection”, **sensors**,
27. Chueh H., Hatfield J., (2002) “ A real-time data acquisition system for a hand-held electronic nose (H²EN)”, **sensors and actuators B**, **83**
28. Pardo M., Sberveglieri G., (2004) “ Classification of electronic nose data with support vector machines”, **sensors and actuators B**, **107**
29. Korotsencov G., (2013) “ **Handbook of Gas Sensor Materials**”, Springer, New York
30. Buettner A., (2017) “**Handbook of odor**”, Springer, New York

Abstract

One of the important parameters for choosing a good gas sensor, is its selectivity over a particular gas; This means that it can detect a specific gas in an environment filled with several gases. Due to the overlapping of sensor responses to different gases, it is almost impossible to know exactly what gas is in the environment. Several ways have been proposed to solve this problem, one of them is using of a sensor array in which all the components used are not completely selective so it responds to several types of gas. Finally, different methods of data classification can be used to identify the type of gas available, whose response data is collected by a sensor or an array of sensors. In this research, one of these methods has been used as a support vector machine for this purpose. The sensor array was trained for ethanol and carbon dioxide and then tested for the data from the mixture of these gases. This has been repeated in different condition untill the best possible accuracy was reached.

keywords: electronic-nose; gas sensor; data analysis; sensor array; selectivity; gas separating



Shahrood University of Technology

Faculty of Physics and Nuclear Engineering

M.Sc. Thesis in Nano Physics

**Investigation of functional electronic-nose mechanism for
making smart the nano-structured gas sensors in detecting
combines of gases including CO₂**

By: Sara Shahini

Supervisor:

Dr. Hamid Haratizadeh

September 2018