

# رفتار Low-High سنسور پایه $\text{SnO}_2$ در حضور گازهای قابل احتراق و هوا در حدود ناحیه استوکیومتری

سهیلا خاقانی کاوکانی

آزمایشگاه کاتالیست و مهندسی واکنشها - گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

عباسعلی خدادادی

دانشیار گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

شمس الدین مهاجرزاده

دانشیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

افسانه صدر

مربی گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۹/۷/۳۰، تاریخ تصویب ۸۲/۳/۳۱)

## چکیده

در این مقاله اثر نسبت هوا به گازهای قابل احتراق، شبیه گاز اگزوز خودروهای بنزینی، روی عملکرد اکسید فلزی نیمه هادی پایه دی‌اکسید قلع در دماهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. گازهای قابل احتراق ترکیبات مختلفی از گاز مونوکسیدکربن و اتان در هلیوم بوده و با هوا مخلوط گردیده است. این بررسیها برای گاز مونوکسیدکربن در هوا در محدوده دمایی  $300-400^\circ\text{C}$  و برای اتان در هوا در محدوده دمایی بالاتر  $460-400^\circ\text{C}$  انجام شد. با تغییر نسبت هوا به گاز قابل احتراق مقاومت سنسور بصورت منحنی‌های بشکل S تغییر می‌کند که دارای سه ناحیه مقاومت کم، انتقالی و مقاومت زیاد می‌باشد. محدوده تغییرات مقاومت انتقالی (از مقاومت کم به زیاد) بسته به دما و نوع گاز از ده تا هزار مرتبه می‌باشد. همچنین ناحیه انتقالی این منحنی‌ها، برای ترکیب گاز CO در هوا بالاتر و برای ترکیب گاز  $\text{C}_2\text{H}_6$  در هوا پائین‌تر از نسبت استوکیومتری مربوطه اتفاق می‌افتد. با افزایش دما تغییرات مقاومت شدیدتر می‌شود. همچنین با قرار دادن یک محفظه احتراق کاتالیستی قبل از سنسور شیب منحنی S شکل در ناحیه انتقالی زیاد تر شده و این انتقال در حدود نسبت استوکیومتری رخ می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** سنسور، نیمه‌هادی، اکسید فلزی، گازهای قابل احتراق، ناحیه انتقالی، مقاومت الکتریکی، محفظه

احتراق کاتالیستی، جای خالی اکسیژن

## مقدمه

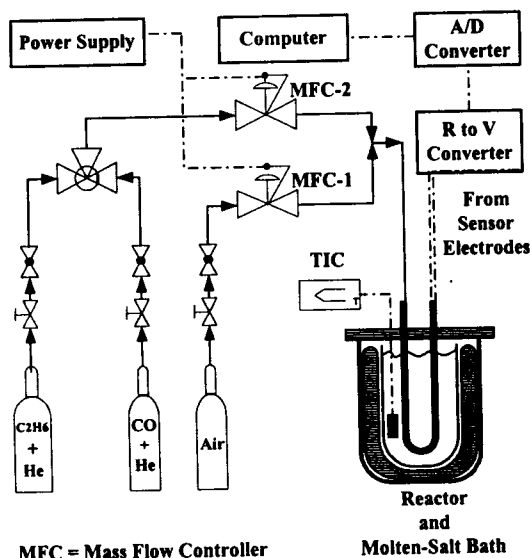
آشکارساز گازهای قابل احتراق، آلاینده و سمی در محیط بکار می‌روند. حسگرهای پایه اکسید قلع در واقع نیمه هادی‌هایی از نوع دهنده می‌باشند که در دمای بالا تعداد قابل ملاحظه ای الکترون توسط جای خالی اتمهای اکسیژن به شبکه تزریق می‌گردد. این عمل باعث کاهش مقاومت افزاره در دماهای بالاتر خواهد شد. حضور برخی گازهای احیا کننده مانند مونوکسید کربن در سطح سنسور سبب کاهش بیشتر اکسیژنهای شبکه شده و جای خالی بیشتری به شبکه تزریق می‌گردد و در نتیجه مقاومت افزاره کاهش پیدا می‌کند. میزان این کاهش به

اکسیدهای فلزی مثل اکسید آهن ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )، اکسید روی ( $\text{ZnO}$ ) و اکسید قلع ( $\text{SnO}_2$ )، در محیط‌های گازی حساسیت زیادی نشان می‌دهند [۱]. هدایت الکتریکی آنها در هوای معمولی پائین است ولی زمانی که در معرض گازهای احیاء کننده قرار می‌گیرند بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در ابتدا این پدیده برای آشکار سازی گاز CO بکار می‌رفت و بعدها بطور وسیعی برای تعیین نشت گاز شهری یا LPG و تعیین گاز های آلاینده و سمی مورد استفاده قرار گرفت [۲]. حسگرهای پایه دی‌اکسید قلع بعنوان متداولترین

$$R_s = \frac{R_r \cdot V_s}{3.94 - V_s} \quad (1)$$

که در آن  $V_s$  ولتاژ دو سر سنسور می باشد.

جهت بررسی رفتار سنسور، آنرا در داخل راکتور، روی بستر خرده شیشه، قرار داده و الکترود های پلاتینی آنرا به مدار الکتریکی فوق وصل می کنیم، با تغییر دما و جریان هوا و گاز های قابل احتراق در نواحی استوکیومتری، مقاومت سنسور و در نتیجه ولتاژ ( $V_s$ ) تغییر می کند که بطور لحظه ای نمایش داده می شود.

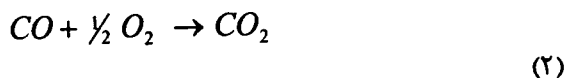


MFC = Mass Flow Controller  
TIC = Temperature Indicator Controller

شکل ۱: شماتیک سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده برای تست سنسور.

### روش های آزمایش

برای هر گاز قابل احتراق، با استفاده از رابطه استوکیومتری سوختن کامل گاز، نسبت وزنی هوا به سوخت (ATF) استوکیومتری بدست می آید. بعنوان مثال برای گاز CO داریم:



$$ATF = \frac{AIR}{CO} = \frac{0.5(29/0.21)}{1 \times 28} = 2.46 \quad (3)$$

نسبت ATF برای اتان ۱۶/۱۱ می باشد.

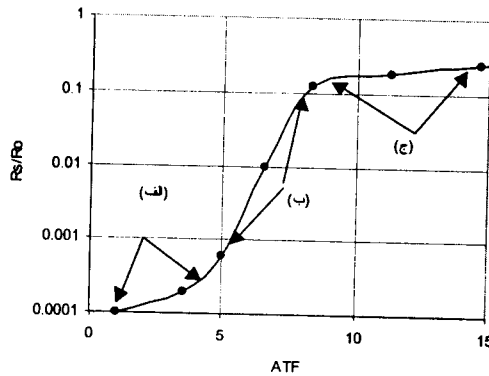
دما، نوع گاز و مواد افزودنی در حسگر بستگی دارد [۳-۸]. حضور فلزاتی مانند  $P_t$  و  $P_d$  بعنوان کاتالیست تا حدود زیادی پدیده اکسیداسیون گازهای محیط را تسهیل کرده و در حساسیت حسگر به این گازها تأثیر بسزایی خواهد داشت [۹].

حسگرهای گاز پایه اکسید قلع معمولاً برای آشکار سازی غلظتهای کمی از گازهای آلاینده مانند CO بکار می روند. در این مقاله، برای اولین بار، رفتار این حسگرها در حضور گازی شبیه گاز اگزوز خودروهای بنزینی که شامل CO و هیدروکربنها با غلظت های نسبتاً بالا ولی مقدار هوای کم (در حدود نسبت استوکیومتری) می باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. در چنین شرایطی، تغییر نسبت هوا به گاز های قابل احتراق در نواحی نسبت استوکیومتری، باعث تغییرات بسیار شدیدی در مقاومت حسگر می گردد. این رفتار که انتقال بالا-پایین<sup>۱</sup> نامیده شده، در صنایع خودرو سازی برای تعیین نسبت هوا به سوخت و کنترل آن مورد استفاده قرار می گیرد [۱۰].

### سیستم آزمایشگاهی

سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل (۱) نشان داده شده است. این سیستم از بخشهای اصلی تزریق گاز، راکتور و پردازش دادهها تشکیل شده است. تزریق جریان کنترل شده ای از گازها با نسبت مشخص، توسط دو عدد کنترل کننده جریان جرمی (MFC) انجام می شود. راکتور به شکل U بوده و قسمت تحتانی آن با خرده شیشه پر شده تا جریان گاز، با عبور از روی آن، به دمای حمام نمک مذاب برسد. دمای حمام با استفاده از یک حلقه بسته کنترل دما شامل ترموکوپل، دستگاه کنترل دما و منبع تغذیه، کنترل می شود. سیستم پردازش دادهها از یک مدار الکتریکی، یک مبدل A/D، کامپیوتر و نرم افزار Peak-Simple II تشکیل شده است. مدار الکتریکی اندازه گیری مقاومت سنسور شامل مقاومت معلوم ( $R_r$ ) است که قابل تغییر بوده و بطور سری با مقاومت سنسور ( $R_s$ ) در مدار قرار گرفته است. ولتاژ مرجع ( $V_0$ ) برابر ۳/۹۴ ولت می باشد، در نتیجه:

در ناحیه سوم (ج) مقداری اکسیژن اضافی در مخلوط وجود دارد که مقاومت سنسور را افزایش داده و به مقدار اولیه آن در هوا نزدیک می‌کند. در ناحیه میانی یعنی ناحیه انتقال (ب) تغییرات مقاومت در نواحی نسبت استوکیومتری رخ می‌دهد و شیب تغییرات مقاومت بر حسب (ATF) بسیار بیشتر از دو ناحیه دیگر می‌باشد.



شکل ۲: نمایش تغییرات منحنی‌های به شکل S گاز CO در دمای ۳۵۰°C (الف) ناحیه پایین (ب) ناحیه انتقالی (ج) ناحیه بالا.

### نتایج آزمایشات و بحث

جهت نشان دادن خاصیت نیمه هادی نوع n سنسور SnO<sub>2</sub>، ابتدا سنسور در معرض مخلوط گازمونواکسید کربن در هلیوم قرار می‌گیرد (شکل ۳). با توجه به عدم حضور اکسیژن مقاومت سنسور به مقادیر بسیار کمی افت می‌کند. سپس با تزریق پالسهای هوا در جریان گاز (CO+He)، مقاومت سنسور افزایش می‌یابد و پس از مصرف و عبور پالس هوا از روی سنسور دوباره مقاومت افت پیدا می‌کند. جریان هوای تزریق شده به ترتیب ۰/۱، ۰/۳ و ۰/۵ میلی‌لیتر می‌باشد که متناسب با هوای تزریق شده ارتفاع قله‌ها زیاد شده است. همان Y1 پاسخ Y2 می‌باشد که بزرگنمایی شده است.

در آزمایش‌های بعدی، ابتدا راکتور تا دمای مشخصی در جریان هوا گرم می‌شود و سپس گاز قابل احتراق (مونواکسید کربن و یا اتان در هلیوم) همراه با میزان جریان‌های مختلف هوا از روی سنسور عبور داده می‌شود. با تغییر میزان جریان هوا، نسبت ATF تغییر کرده و باعث تغییر مقاومت الکتریکی سنسور می‌شود.

در این تحقیق گازهای ۸/۴٪ مونواکسید کربن در هلیوم و ۱/۲٪ اتان در هلیوم و در مخلوط آن دو با ترکیب ۳/۲۶٪ مونواکسید کربن و ۰/۸۵٪ اتان در هلیوم مورد استفاده قرار گرفت. خلوص گازهای مورد استفاده در تهیه مخلوط گازهای فوق، برای مونواکسید کربن ۹۹/۹۵٪، برای اتان ۹۹/۹۸٪ و برای هلیوم ۹۹/۹۹۹٪ بود. ترکیب مخلوط گازها توسط دستگاه کروماتوگرافی AGC400 از شرکت Carle تایید گردید.

در شروع آزمایش دمای راکتور (حاوی سنسور) را در جریان هوا بالا برده و در این دما نگه می‌داریم تا پاسخ سنسور (مقاومت R<sub>0</sub>) به حالت پایدار برسد. سپس جریان هوا قطع و گاز قابل احتراق (مونواکسید کربن و یا اتان در هلیوم) در راکتور از روی سنسور جریان می‌یابد که باعث افت شدیدی در مقاومت سنسور می‌گردد. مقدار این افت مقاومت به ترکیب گاز و دما بستگی دارد. زمانی که مقاومت سنسور به حداقل رسید، جریان هوا مرحله به مرحله اضافه می‌شود. در هر مرحله افزایش هوا مقاومت بصورت پله‌ای و متناسب با میزان افزایش هوا بالا می‌رود. افزایش هوا تا رسیدن مقاومت سنسور (R<sub>s</sub>) به مقاومت اولیه (R<sub>0</sub>) ادامه پیدا می‌کند.

تغییرات نسبت مقاومت سنسور به مقاومت اولیه در هوا (R<sub>s</sub>/R<sub>0</sub>) بر حسب نسبت هوا به سوخت (ATF) بصورت منحنی‌هایی بشکل S حاصل می‌شود که یک نمونه آن در شکل (۲) نشان داده شده است. این منحنی‌ها از سه ناحیه تشکیل شده‌اند:

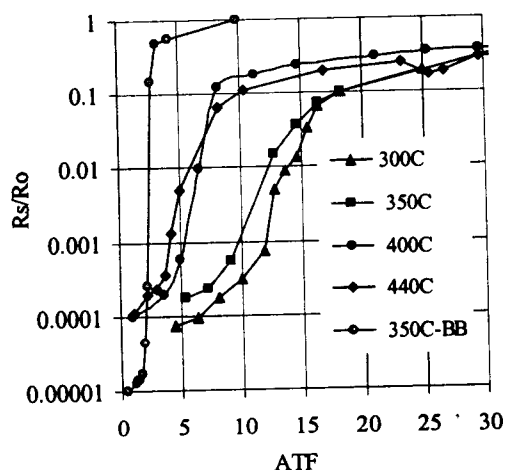
الف- ناحیه پایین<sup>۲</sup>: در نسبت هوا به گاز قابل احتراق کم، یعنی غلظت بالای<sup>۲</sup> سوخت

ب- ناحیه انتقالی: در نسبت هوا به گاز قابل احتراق در نواحی نسبت استوکیومتری می‌باشد.

ج- ناحیه بالا<sup>۴</sup>: در نسبت هوا به گاز قابل احتراق بالا، یعنی غلظت پایین<sup>۵</sup> سوخت

در ناحیه پایین، مقاومت الکتریکی سنسور بسیار کم است، چون هوایی که گاز قابل احتراق اضافه می‌شود کمتر از نسبت استوکیومتری بوده و کمبود اکسیژن از سطح و شبکه سنسور تامین می‌شود و با ایجاد فضای خالی اکسیژن هدایت الکتریکی سنسور بالا می‌رود.

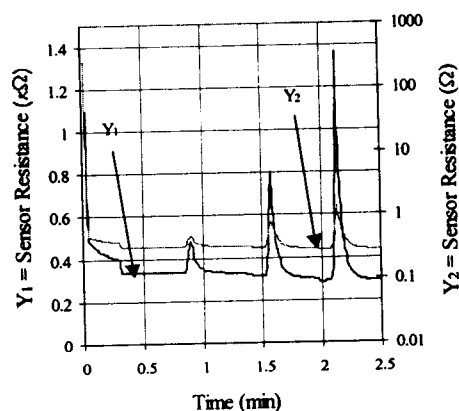
همچنین دما بعنوان یک پارامتر اساسی در تعیین رفتار سنسور مورد بررسی قرار گرفته است. دماهای مورد آزمایش ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۴۰ درجه سانتیگراد بود. در دماهای پایین تر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد سنسور حساسیت قابل ملاحظه ای به CO نشان نمی دهد. همچنین در برخی آزمایشات از یک محفظه احتراق کاتالیستی قبل از سنسور استفاده شده است تا گاز های قابل احتراق تا حد امکان سوخته و پاسخ سنسور به گاز قابل احتراق یا اکسیژن تنها بدست آید.



شکل ۴: اثر تغییرات نسبت وزنی هوا به CO (ATF) روی مقاومت نسبی ( $R_s/R_0$ ) سنسور پایه  $SnO_2$  در دماهای مختلف و با استفاده از محفظه احتراق کاتالیستی (BB) قبل از سنسور در دمای  $350^\circ C$ .

منحنی های بشکل S در سمت راست منحنی BB قرار می گیرند یعنی ناحیه انتقال در مقادیر بزرگتر از نسبت استوکیومتری ATF اتفاق می افتد. بعلاوه با افزایش دمای سنسور، ناحیه انتقال به نسبت استوکیومتری نزدیک می شود. در عین حال، منحنی های مربوط به دماهای  $300^\circ C$  و  $350^\circ C$  و همچنین دماهای  $400^\circ C$  و  $440^\circ C$  بهم نزدیک هستند و فاصله زیادی بین منحنی های  $350^\circ C$  تا  $400^\circ C$  می باشد. اگر چه علت این پدیده مشخص نیست اما احتمالاً دلیل این رفتار رامی توان به تغییر مکانیسم عمل سنسور از دمای  $350^\circ C$  به دمای  $400^\circ C$  ربط داد. در دماهای پایین تر از  $350^\circ C$ ، عمدتاً جذب قوی CO اتفاق می افتد ولی در دمای بالاتر از  $400^\circ C$  جذب ضعیف تر داشته و نیز می سوزد. سوختن پدیده ای است که به دما بستگی شدیدی دارد و لذا سرعت سوختن CO از دمای  $350^\circ C$

نتایج آزمایشات با گاز مونواکسید کربن در هلیوم در شکل (۴) نشان داده شده است. نسبت هوا به CO (ATF) استوکیومتری برای سوختن کامل CO در هوا  $2/5$  می باشد. زمانی که محفظه احتراق کاتالیستی قبل از سنسور قرار گیرد، مخلوط گاز CO و هوا قبل از رسیدن به سنسور می سوزد و آنچه که به سنسور می رسد باقیمانده اکسیژن هوا و یا CO به تنهایی خواهد بود. در حالتی ATF بالاتر از مقدار استوکیومتری ( $2/5$ ) باشد، پس از عبور از محفظه احتراق کاتالیستی، باقیمانده گاز فقط هوا می باشد و مقاومت سنسور بالا بوده و در منحنی به شکل S در قسمت بالا قرار دارد و در حالت دیگر که ATF کمتر از مقدار استوکیومتری ( $2/5$ ) باشد، CO در هلیوم به سنسور می رسد و مقاومت سنسور در میزان حداقل خود می باشد. در این حالت منحنی به شکل S در

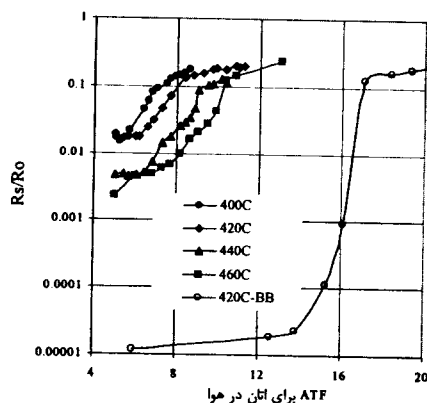


شکل ۳: تزریق هوا در جریان مخلوط گاز CO در He در دمای  $350^\circ C$ . جریان هوای تزریق شده به ترتیب  $0/1$ ،  $0/3$  و  $0/5$  میلی لیتر می باشد.  $Y_1$  همان پاسخ  $Y_2$  است که بزرگنمایی شده است.

نتایج آزمایشات با گاز مونواکسید کربن در هلیوم در شکل (۴) نشان داده شده است. نسبت هوا به CO (ATF) استوکیومتری برای سوختن کامل CO در هوا  $2/5$  می باشد. زمانی که محفظه احتراق کاتالیستی قبل از سنسور قرار گیرد، مخلوط گاز CO و هوا قبل از رسیدن به سنسور می سوزد و آنچه که به سنسور می رسد باقیمانده اکسیژن هوا و یا CO به تنهایی خواهد بود. در حالتی ATF بالاتر از مقدار استوکیومتری ( $2/5$ ) باشد، پس از عبور از محفظه احتراق کاتالیستی، باقیمانده گاز فقط هوا می باشد و مقاومت سنسور بالا بوده و در منحنی به شکل S در قسمت بالا قرار دارد و در حالت دیگر که ATF کمتر از مقدار استوکیومتری ( $2/5$ ) باشد، CO در هلیوم به سنسور می رسد و مقاومت سنسور در میزان حداقل خود می باشد. در این حالت منحنی به شکل S در

داده شد. دماهای مورد آزمایش ۴۰۰ و ۴۲۰ و ۴۴۰ و ۴۶۰°C بود (شکل ۶). در دماهای پایین تر از ۴۰۰°C حساسیت سنسور پایین است. در دمای ۴۲۰°C محفظه احتراق کاتالیستی (BB) قبل از سنسور قرار گرفت. نسبت استوکیومتری ATF گاز اتان معادل ۱۶/۱۱ می‌باشد و زمانی که BB قبل از سنسور قرار گیرد، ATF ناحیه انتقال در همین حدود می‌باشد. در مقادیر هوای کمتر از نسبت استوکیومتری، باقیمانده اتان به سنسور می‌رسد و منجر به کاهش مقاومت الکتریکی آن می‌شود، در حالیکه در مقادیر هوای بالاتر از نسبت استوکیومتری باقیمانده هوا به سنسور می‌رسد و مقاومت الکتریکی سنسور مقادیر بالا، نزدیک مقدار اولیه آن در هوا ( $R_0$ ) را نشان خواهد داد. در حالتیکه نسبت هوا به اتان در حدود نسبت استوکیومتری باشد ناحیه انتقال مشاهده می‌شود و مقاومت سنسور از ناحیه پایین به ناحیه بالا می‌رسد در حضور محفظه کاتالیستی تغییرات مقاومت الکتریکی سنسور در حدود صد هزار برابر و ناحیه انتقال دارای تندترین شیب می‌باشد (شکل ۶).

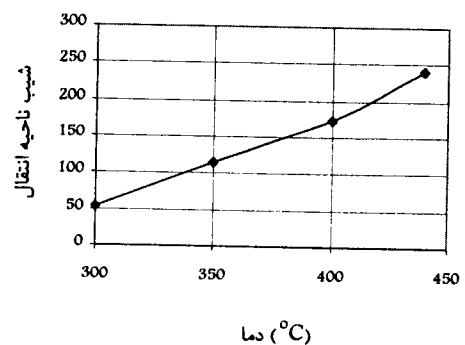
وقتی سنسور به تنهایی (بدون محفظه احتراق کاتالیستی) استفاده شود، ناحیه انتقال دور از نسبت استوکیومتری قرار می‌گیرد. ولی بر خلاف گاز CO، ناحیه انتقال در نسبتهای کمتر از نسبت استوکیومتری اتفاق می‌افتد و با افزایش دما به آن نزدیک تر می‌شود. در این حالت شیب ناحیه انتقال کمتر از حالتیکه محفظه احتراق کاتالیستی قبل از سنسور قرار گیرد، می‌باشد. همچنین شیب این ناحیه با افزایش دما زیاد می‌شود.



شکل ۶: اثر تغییرات نسبت وزنی هوا به اتان (ATF) بر مقاومت نسبی سنسور پایه  $\text{SnO}_2$  در دماهای مختلف و با استفاده از BB قبل از سنسور در دمای ۴۲۰°C.

تا دمای ۴۰۰°C بصورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. در دماهای بالاتر از ۴۰۰°C احتمالاً پدیده‌های دیگری همچون انتقال جرم عامل کنترل کننده می‌شود.

ATF ناحیه انتقال در منحنی‌های بشکل S در دماهای ۳۰۰ و ۳۵۰°C در حدود ۱۲-۱۵ بوده و در دماهای ۴۰۰ و ۴۴۰°C در حدود ۵-۸ می‌باشد. این در حالی است که ATF ناحیه انتقال، وقتی محفظه کاتالیستی قبل از سنسور قرار گیرد، در حدود مقدار استوکیومتری یعنی ۲/۵ می‌باشد. همچنین محدوده تغییرات مقاومت در دماهای زیر ۳۵۰°C حدود صد برابر و در دمای ۴۰۰°C حدود هزار برابر و برای منحنی با محفظه احتراق کاتالیستی در حدود صد هزار برابر می‌باشد.



شکل ۵: تغییرات شیب ناحیه انتقال منحنی‌های به شکل S گاز CO بر حسب تغییرات دما. همانطور که دیده می‌شود شیب منحنی‌ها در دمای بالاتر افزوده می‌شود.

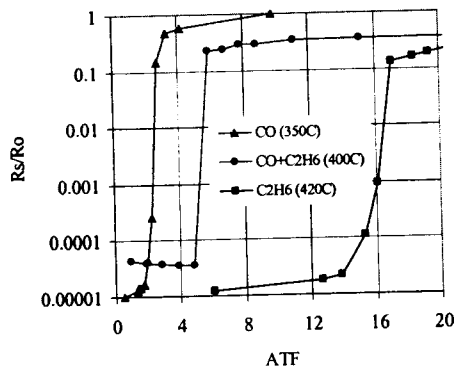
به نظر می‌رسد با افزایش دما قدرت جذب CO کمتر شده و سرعت واکنش افزایش می‌یابد، در نتیجه میزان مصرف اکسیژن بیشتر شده و ناحیه انتقال به طرف نسبت ATF استوکیومتری نزدیک تر می‌شود. همچنین شکل (۴) نشان می‌دهد که با افزایش دما شیب نواحی انتقال افزایش پیدا می‌کند و علاوه بر آن محدوده تغییرات مقاومت هم زیادتر می‌شود. شکل (۵) تغییرات شیب ناحیه انتقال منحنی‌های به شکل S را بر حسب تغییرات دما نشان می‌دهد.

### بررسی رفتار سنسور پایه $\text{SnO}_2$ در حضور نسبت‌های مختلف گاز $\text{C}_2\text{H}_6$ و هوا

در این آزمایش‌ها نسبت های مختلف گاز اتان (در هلیوم) به هوا در دماهای معین از روی سنسور عبور

شکل (۷) نشان می دهد که ناحیه انتقالی منحنی های بشکل S در کمتر از نسبت استوکیومتری ۵/۴۴ اتفاق می افتد.

در شکل (۸) نمودارهای بالا- پایین این سه گاز،  $C_2H_6$ ، CO و مخلوط آنها برای وقتی که محفظه احتراق کاتالیستی قبل از سنسور قرار گرفته مقایسه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود ناحیه انتقالی مخلوط دو گاز بین گازهای تنها قرار گرفته است.



شکل ۸: مقایسه ناحیه انتقالی تغییرات مقاومت نسبی سنسور بر حسب نسبت وزنی هوا به سوخت (ATF) برای CO،  $C_2H_6$  و مخلوط آنها، با وجود محفظه احتراق کاتالیستی قبل از سنسور.

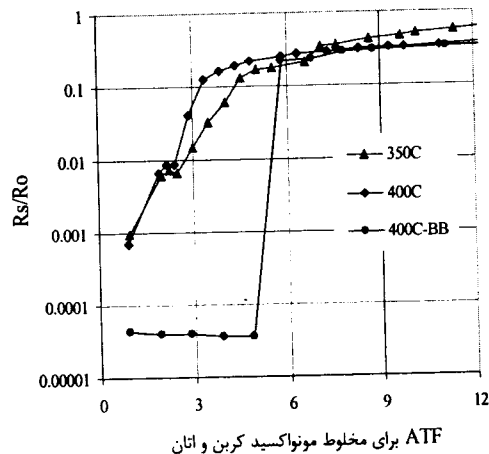
### نتیجه گیری

با افزایش نسبت هوا به گازهای قابل احتراق (ATF) منواسید کربن، اتان و مخلوط آنها، تغییر مقاومت سنسورهای پایه  $SnO_2$  به صورت منحنی های به شکل S، دارای سه ناحیه مقاومت کم، ناحیه انتقالی<sup>۶</sup> و ناحیه مقاومت زیاد می باشد. ناحیه انتقالی که اهمیت بسیاری در تعیین نسبت هوا به گازهای قابل احتراق دارد بسته به نوع گاز و دمای کار سنسور تغییر می کند. برای گاز CO ناحیه انتقالی در مقادیر بیشتر از ATF استوکیومتری ولی برای گاز اتان در مقادیر کمتر از آن اتفاق می افتد. با افزایش دمای کار سنسور ناحیه انتقالی به ATF استوکیومتری برای سوختن کامل گازهای قابل احتراق در هوا نزدیک می گردد. با قرار دادن یک محفظه احتراق کاتالیستی قبل از سنسور این انتقال در محل استوکیومتری اتفاق می افتد.

همانطور که در شکل (۶) مشاهده می شود دو منحنی به شکل S در  $400^\circ C$  و  $420^\circ C$  دمای ناحیه انتقال بهم نزدیک هستند و محدوده تغییرات مقاومت الکتریکی آنها در حدود ده برابر بوده و ناحیه انتقال در مقادیر ATF بین ۶ الی ۸ قرار می گیرد. ولی در دمای بالای  $440^\circ C$  محدوده تغییرات مقاومت صد برابر شده و ناحیه انتقال بین نسبت ATF بین ۷ الی ۱۰ قرار می گیرد. بنظر می رسد مکانیسم عملکرد سنسور در فاصله دمای  $420^\circ C$  و  $440^\circ C$  عوض شده باشد، احتمالاً سوختن اتان در دماهای بالاتر از  $420^\circ C$  انجام می شود.

### رفتار سنسور پایه پایه $SnO_2$ در حضور نسبت های مختلف دو گاز CO و $C_2H_6$ و هلیوم و هوا

در این آزمایش ها مخلوط گازهای CO ۳/۲۶٪ و گاز  $C_2H_6$  ۰/۸۵٪ در هلیوم استفاده شد که نسبت هوا به سوخت (ATF) استوکیومتری آن ۵/۴۴ می باشد. آزمایش ها در دماهای  $350^\circ C$  و  $400^\circ C$  و یک آزمایش نیز با قرار دادن محفظه احتراق کاتالیستی قبل از سنسور در دمای  $400^\circ C$  انجام گردید. اثر تغییر دما روی مقاومت الکتریکی سنسور پایه  $SnO_2$  در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷: اثر تغییر نسبت وزنی هوا به مخلوط ۳/۲۶ در صد مونواکسید کربن و ۰/۸۵ در صد اتان در هلیوم بر مقاومت سنسور پایه  $SnO_2$  در دماهای مختلف و با استفاده از محفظه احتراق کاتالیستی (BB) قبل از سنسور در دمای  $400^\circ C$ .

## مراجع

- 1 - Simone, D. O., Kennelly, T., Brungard, N. L. and Farrauto, R. J. (1991). "Reversible poisoning of palladium catalysts for methane oxidation." *Appl. Catal.*, Vol. 70, PP. 87- 100.
- 2 - Yamazoe, N., Kurokawa, Y. and Seiyama, T. (1983). *Proc. Intern. Mtg. Chem. Sensors*, PP. 35.
- 3 - Wada, K. and Egashira, M. (2000). "Hydrogen sensing properties of SnO<sub>2</sub> subjected to surface chemical modification with ethoxysilanes." *Sensors and Actuators B* 62, PP. 211-219.
- 4 - Dieguez, A. et. al. (2000). "Influence on the gas sensor performances of the metal chemical states introduced by impregnation of calcined SnO<sub>2</sub> sol-gel nanocrystals." *Sensors and Actuators B*, Vol. 68, PP. 94 -99.
- 5 - Takada, T., Fukunaga, T. and Maekawa, T. (2000). "New method for gas identification using a single semiconductor sensor." *Sensors and Actuators B* 66, PP. 22-24.
- 6 - Barsan, N., Stetter, J. R., Findlay, M. and Gopel, W. (2000). "High performance gas sensing of CO: comparative tests for (SnO<sub>2</sub>-based) semiconducting and for electrochemical sensors." *Sensors and Actuators B* 66, PP. 31-33.
- 7 - Pan, Q. et. al. (2000). "Gas-sensitive properties of nanometer-sized SnO<sub>2</sub>." *Sensors and Actuators B* 66, PP. 237-239.
- 8 - Xiaohua Zhou et. al. (1997). "Tin oxide – based methane gas sensor promoted by alumina – supported pd catalyst." *Sensors and Actuators B* 45, PP. 271- 277.
- 9 - Vlachos, D. S., et. al. (1997). "Charcterisation of the Catalyst – semiconductor interaction mechanism in metal – Oxide gas." *Sensors and Actuators B* 44, PP. 458- 461.
- ۱۰ - خاقانی کاوکانی، س. بررسی اثر نسبت اکسیژن در گازهای قابل سوختن بر روی عملکرد نیمه هادیهای پایه دی اکسید قلع. تز کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران.

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Transition Low-High
- 2 - Low
- 3 - Rich
- 4 - High
- 5 - Lean
- 6 - Transition