



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.  
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۱-۲۵۱۱-۱۰-A

## شبیه سازی سلول حسگرهای گاز اپتیکی

محمد مهدی شمسی گوشکی، سید محمدرضا دربانی و ابولحسن مبشری

دانشگاه مالک اشتر اصفهان- پژوهشکده اپتیک و لیزر

چکیده - در این مقاله با توجه به اهمیت شبیه سازی حسگرهای اپتیکی گاز در ساخت این حسگرها، شبیه سازی دو حسگر غیر پاشنده مادون قرمز و مرئی-فرابنفش که به ترتیب برای شناسایی دو گاز NO و NO<sub>2</sub> به کار می‌روند، انجام شده است. به دلیل اینکه گاز NO<sub>2</sub> در ناحیه مادون قرمز با بخار آب همپوشانی دارد، این حسگر در ناحیه مرئی-فرابنفش مورد بررسی قرار گرفته است. پس از شبیه سازی اطلاعات بدست آمده از شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته است و تاثیر طول سلول در حالتی که سلول لوله بازتابی ساده است بر تعداد پرتوهای رسیده به آشکارساز، طول مسیر نوری و زاویه فرود نور بر روی سطح فیلترهای تداخلی آشکارساز بررسی شده است.

کلید واژه- حسگرهای اپتیکی، غیرپاشنده مادون قرمز، غیر پاشنده مرئی، شبیه سازی سلول گاز، زمکس.

### Cell Simulation Of Optical Gas Sensors

Mohammad Mahdi ShamsiGoshki, Seyed Mohammad Reza Darbani And Abolhasan Mobasheri

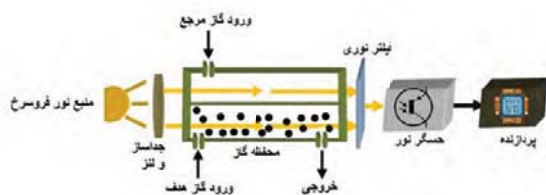
Malek Ashtar University of Isfahan-Optics and Laser Research Institute

**Abstract-** In this paper, due to the importance of simulating gas optical sensors in the construction of these sensors, two non-dispersive infrared and visible-ultraviolet sensors have been simulated, which are used to detect NO and NO<sub>2</sub> gases, respectively. Because NO<sub>2</sub> gas overlaps with water vapor in the infrared region, the sensor has been examined in the visible-ultraviolet region. After simulation, the information obtained from the simulation is investigated and the effect of cell length in the case of a simple reflection tube cell on the number of rays reaching the detector, the length of the optical path and the angle of light on the surface of the detector interference filters is investigated.

Keywords: Optical sensors, infrared non-scattering, visible non-scattering, gas cell simulation, Zemax.

## شبیه سازی لوله بازتابی ساده

شبیه سازی سلول حسگر سبب می شود که میزان آزمون و خطا در حالت تجربی کمتر شود و سریعتر بتوان به هدف ساخت نمونه آزمایشگاهی حسگر مورد نظر رسید. در رابطه بیرلامبرت با افزایش طول مسیر متوسط نور از میان گاز، کمترین حد تشخیص حسگر کاهش پیدا می کند. در نتیجه برای افزایش طول مسیر نوری باید طول سلول را افزایش داد که این افزایش به سادگی انجام نمی شود زیرا که افزایش طول سلول باعث افزایش جذب نور در دیواره لوله بازتابی می شود و میزان پرتوهای رسیده به آشکارسازها در نتیجه میزان شدت آشکار شده توسط آنها کاهش می یابد. با استفاده از بخش غیرترتیبی نرم افزار Zemax2013 که نرم افزار طراحی اپتیک است، سعی است که به یک هندسه مناسب برای سلول بازتابی ساده رسیده شود. استفاده از نرم افزار در اینجا صرفاً برای بدست آوردن هندسه مناسب سلول گاز، طول مسیر متوسط نوری از میان گاز نمونه (I) استفاده شده در رابطه لامبرت)، زاویه پرتوها روی سطح آشکارساز و اطلاعات مورد نیاز مشابه است. شکل ۱ طرحواره یک حسگر غیرپاشنده با سلول بازتابی ساده است.



شکل ۱: طرحواره یک حسگر نوری غیرپاشنده [1]

شبیه سازی برای حسگرهای غیرپاشنده شناسایی NO و NO<sub>2</sub> انجام داده می شود. در حسگر NO<sub>2</sub> از منابعیبا سطح مقطع مربع با ابعاد ۳ در ۳ و ۶/۵ در ۶/۵ میلی متر به ترتیب برای دو LED توان پایین (۵ میلی متر) و POWER (۸ میلی متر) استفاده شده است. همچنین از یک منبع IR به نام OIR-800 Fxx ساخت شرکت OST[2] برای سلول گاز NO با ناحیه فعال ۱/۸ در ۱/۸ میلی متر که در

## مقدمه

حسگرهای گاز اپتیکی، حسگرهایی هستند که در آنها از الامان های اپتیکی برای شناسایی گاز استفاده شده است. معمولاً یک حسگر گاز دارای سه بخش اصلی منبع اپتیکی، سلول گاز و آشکارساز اپتیکی است. در این مقاله از بین روش های اپتیکی گوناگون برای شناسایی گازها، روش جذبی مبتنی بر قانون بیر لامبرت مدنظر است که به عنوان روش غیر پاشنده شناخته می شود. در این روش با استفاده از نسبت شدت جذب شده در گاز مورد نظر به شدت کل منبع اپتیکی، غلظت گاز را از رابطه ۱ بدست می آید.

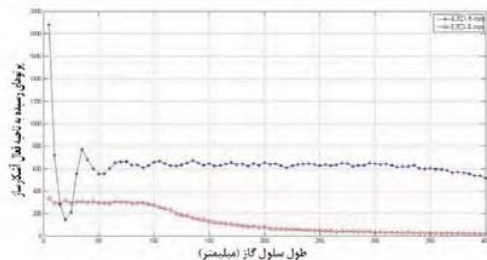
$$I = I_0 e^{-\epsilon C l} \quad (1)$$

در این رابطه I شدت عبوری از گاز، I<sub>0</sub> شدت اولیه منبع اپتیکی، ε ضریب جذب، C غلظت گاز و l طول مسیر نور از میان گاز است. همانطور که از این رابطه مشخص است طول مسیر نوری به عنوان یک ثابت در نظر گرفته می شود که باید محاسبه و در این رابطه قرار گیرد، در سلول هایی با هندسه پیچیده محاسبه این طول کار دشواری است و نیاز به استفاده از یک نرم افزار شبیه ساز است. در این مقاله شبیه سازی و بررسی هندسه حسگر غیرپاشنده مادون قرمز (NDIR) و فرابنفش-مرئی (NDUV) به ترتیب برای گازهای NO و NO<sub>2</sub> آورده شده است. به دلیل اینکه گاز NO<sub>2</sub> در ناحیه مادون قرمز با بخار آب همپوشانی دارد، این گاز در ناحیه مرئی-فرابنفش مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به این که این شبیه سازی برای هر حسگر مشابه با هر هندسه ای برای سلول قابل انجام است به بررسی اجمالی انواع سلول های گاز پرداخته شده است. طول مسیر نور در طیف سنجی حساسیت بالا مهم است زیرا نسبت سیگنال به نوفه با افزایش طول مسیر جذب افزایش می یابد.

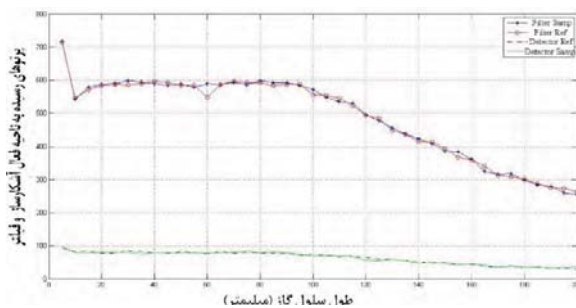
از سلول های بررسی شده مناسب ترین و در دسترس ترین سلول از لحاظ قیمت و ساخت جهت انجام کارهای آزمایشگاهی، لوله بازتابی ساده است.

شبه سازی و پرتویابی هندسه حسگر  $\text{NO}_2$  به ازای  $80^\circ$  پیکربندی برای سلول‌های با طول بین ۵ تا  $400$  میلی‌متر قطر داخلی  $8/8$  میلی‌متر انجام شد. منحنی پرتوهای رسیده به آشکارساز نسبت به طول سلول برای LED  $5$  میلی‌متر و LED  $8$  میلی‌متر بدست آورده شد. نمودار تعداد پرتوهای رسیده به آشکارساز نسبت به طول سلول در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳: نمودار پرتوهای رسیده به آشکارسازها نسبت به طول سلول برای LED  $8$  میلی‌متر و LED  $5$  میلی‌متر

هم چنین شبهه سازی و پرتویابی برای حسگر  $\text{NO}$  به ازای  $40^\circ$  پیکربندی برای لوله بازتابی ساده با طول متفاوت بین  $5$  میلی‌متر تا  $200$  میلی‌متر و قطر داخلی  $7.3$  میلی‌متر انجام شده است. پرتوهای رسیده به فیلترها و آشکارسازهای نمونه و مرجع بدست آورده شد. در شکل ۴ نمودار پرتوهای رسیده به فیلتر و آشکارسازهای نمونه و مرجع نسبت به طول سلول دیده می‌شود.

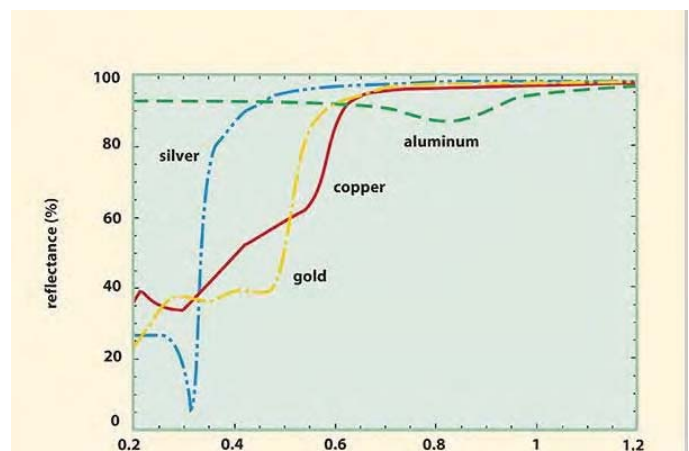


شکل ۴: نمودار پرتوهای رسیده به آشکارسازها و فیلترها نسبت به طول سلول مربوط حسگر گاز  $\text{NO}$

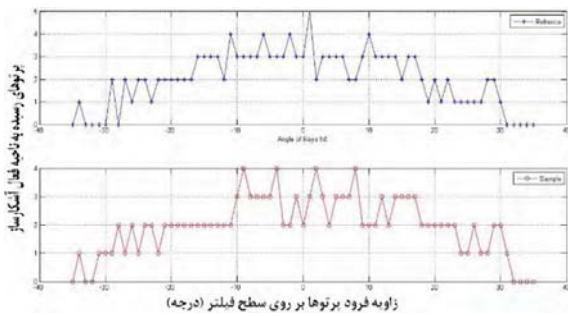
شکل ۳ و ۴ نشان دهنده نمودار تعداد پرتوهای رسیده به ناحیه فعال آشکارساز نسبت به طول سلول است. این دو نمودار برای مشخص کردن مناسب‌ترین طول سلول است که علاوه بر تعداد پرتوهای بالای رسیده در آن‌ها به ناحیه

فاصله  $2/23$  میلی‌متری از یک پنجره دایره شکل به قطر  $2/5$  میلی‌متر قرار دارد، استفاده شده است. در این شبهه سازی از آشکارساز فوتودیود BPX65 ساخت شرکت OSRAM[3] برای حسگر  $\text{NO}_2$  استفاده شده و همچنین از آشکارساز PY0304 شرکت PYREOS[4] برای حسگر  $\text{NO}$  استفاده شده است.

تمام اندازه‌های استفاده شده در نرم افزار میلی‌متر است. هم چنین تعداد پرتو در نظر گرفته شده برای منبع نوری،  $10000$  پرتو است. برای افزایش دقت کار و جلوگیری از خطا تعداد محاسبات در هر پیکربندی برابر  $10$  محاسبه است که از این  $10$  محاسبه میانگین‌گیری شده است. با توجه به اینکه لوله بازتابی ساده در نرم افزار MIRROR در نظر گرفته شده، قابلیت کوئینگ ندارد. بنابراین برای شبهه سازی این مورد تعداد ماکزیمم بازتاب‌ها از دیواره داخلی سلول  $14$  بازتاب برای سلول هر دو حسگر در نظر گرفته شده است. این عدد به دلیل تضعیف  $0.7\%$  شدت هر پرتو در بازتاب از سطح دیواره آلومینیومی است. مقدار بازتاب برای آلومینیوم حدود  $0.93$  است. با توجه به نمودار شکل ۲ به علت بازتاب خوب آلومینیوم در طول موج  $1$  میکرون تا  $20$  میکرون از این فلز برای شبهه سازی بدنه سلول استفاده شده است.



شکل ۲: بازتاب چهار فلز طلا، نقره، مس، آلومینیوم نسبت به طول موج [۵].



شکل ۵: منحنی پرتوهای رسیده به ناحیه فعال آشکارساز نسبت به زاویه فرود پرتو روی سطح فیلتر (بالا Reference، پایین Sample) برای حسگر NO

معمولا برای فیلترهای اپتیکی تداخلی تا زاویه ۲۰ درجه، فرود پرتوها تاثیری بر طول موج مرکزی آن‌ها ندارد. با توجه به نمودار شکل ۵ می‌توان گفت که برای هندسه طراحی شده برای حسگر NO، خطای ناشی از تغییر طول موج مرکزی فیلترهای تداخلی بر اثر پرتوهای غیر عمود ناچیز است.

### نتیجه گیری

همانطور که از نتایج شبیه سازی مشخص است، می‌توان با استفاده از نرم افزار زیمکس هندسه یک حسگر گاز را با در نظر گرفتن مختصات و اطلاعات منابع نوری، سلول گاز و آشکارساز شبیه سازی کرد و با بررسی اطلاعات خروجی از نرم افزار به نتایج مهمی رسید. از این نتایج مهم می‌توان به تاثیر جنس، طول و قطر سلول لوله بازتابی در پرتوهای رسیده به آشکارساز، تاثیر هندسه منبع نوری و آشکارساز در پرتوهای رسیده از منبع به آشکارساز و هم چنین بررسی زاویه پرتوهای رسیده به فیلترهای تداخلی که زاویه نور فرودی در آن‌ها بسیار مهم است، اشاره کرد.

### مرجع ها

- [1] F. Hosein Babaei, **Gas sensors: Fundamentals, applications, and scope**, Journal of Control 8-3 (2014) 1-25.
- [2] <https://www.orisystech.com>
- [3] <https://www.osram.com>
- [4] <https://www.pyreos.com>
- [5] [www.seng.libretexts.org/BookshelvesMaterials\\_ScienceSupplemental\\_Modules\\_\(Materials\\_Science\)](http://www.seng.libretexts.org/BookshelvesMaterials_ScienceSupplemental_Modules_(Materials_Science))

فعال آشکارساز، بلندترین طول ممکن را داشته باشد. در شکل ۳ منحنی مربوط به ۸ LED میلیمتر که دارای توان بالاتری نسبت به ۵ LED میلیمتر است اما تعداد پرتوهای رسیده به آشکارساز کمتر است. دلیل آن زاویه واگرایی بالای ۸ LED میلیمتر و در نتیجه تلفات بالاتر پرتو در آن است و دلیل دیگر اینکه برای ناحیه فعال هر دو LED تعداد برابر پرتو در نظر گرفته شده است. در هر دو نمودار ۳ و ۴ با افزایش طول سلول پرتوهای رسیده به آشکارساز کاهش پیدا کرده است. در نمودار ۴ پرتوهای رسیده به ناحیه فعال آشکارساز بسیار کمتر از پرتوهای رسیده به فیلترها هستند که به علت سطح مقطع کوچک ناحیه فعال آشکارساز است. در حالت ۵ LED میلیمتر برای طول ۳۵۰ میلیمتر که میزان پرتوهای رسیده به ناحیه فعال آشکارساز مناسب است همچنین طول سلول بالاترین اندازه است، طول متوسط سلول ۳۵۵ میلیمتر به دست آورده شده است.

طول متوسط مسیر نور از میان گاز در یک طول مشخص از سلول لوله بازتابی بوسیله تحلیل اطلاعات تمامی پرتوهای ترسیم شده توسط نرم افزار بدست می‌آید. در شبیه سازی مربوط به سلول حسگر NO، طول موج مرکزی عبور فیلترهای میانگذر اپتیکی به زاویه فرود بر روی سطح فیلتر وابسته است. یعنی اینکه با تغییر زاویه فرود از حالت عمود طول موج مرکزی باند عبوری فیلتر از مقدار تعریف شده برای فیلتر تغییر می‌کند.

به علت اهمیت موضوع نمودار شکل ۵ تعداد پرتوهای رسیده به سطح فعال آشکارساز را نسبت به زوایای مختلف پرتوهای فرودی بر روی سطح فیلترها ترسیم می‌کند. بعد از ترسیم منحنی دیده می‌شود که تعدادی از پرتوها با زاویه غیر صفر به سطح فیلترها برخورد می‌کنند. در آشکارساز حسگر NO فاصله فیلتر تا سطح فعال را به گونه‌ای انتخاب کرده اند که سبب ورود پرتوهایی با زاویه نزدیک به خط عمود می‌شود. نمودار زیر به ازای ۱۰ مرتبه پرتوبایی و میانگین گیری از آن‌ها بدست آمده است.