



## طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری ذرات موتور دیزل

محسن رودپیما

دانشجوی دکتری گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران

علیرضا کیهانی

استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران

محمود امید

استادیار گروه مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه تهران

### چکیده

در میان آلاینده‌های حاصل از فرآیند احتراق ناقص در موتورهای دیزلی (شامل هیدروکربورها، اکسیدهای نیتروژن، دی اکسید کربن و ذرات) سهم ذرات حدود ۲۵ درصد کل آلاینده‌ها می‌باشد. اثرات نامطلوب دوده بر محیط زیست و سلامتی انسان سبب شده است که ذرات در زمره آلاینده‌های مضر قرار گرفته و محققان در صدد کاهش این آلاینده محیط زیست باشند. دستگاه سنجش دوده، ابزاری جهت اندازه‌گیری دود موتورهای دیزلی است. عملکرد دستگاه بر اساس قانون جذب نور بیر - لامبرت بوده و طراحی دستگاه شامل انتخاب حسگر مناسب و یافتن بهترین فاصله بین منبع نور و حسگر می‌باشد. جهت ساخت دستگاه از یک تیوب شیشه‌ای استفاده شد که در آن دو مجرای ورود و خروج دود و نیز دو محل جهت استقرار و نصب حسگر و منبع نور تعبیه گردید. در ارتباط با انتخاب نوع حسگر دو آزمایش انجام گرفت که آزمایش اول با ۴ حسگر، سه فاصله مختلف ۱۰، ۱۲ و ۱۴ سانتی‌متری حسگر تا منبع نور و با ۵ تکرار انجام شد. به دلیل آنکه منحنی‌های مربوط به آزمایش اول برای فاصله ۱۴ سانتی‌متر مناسب بود، این فاصله برای آزمایش دوم (آزمایش حساسیت) جهت یافتن بهترین حسگر در بین چهار حسگر، ثابت در نظر گرفته شد. نتایج نهایی نشان داد که حسگر L14G1 بهترین حساسیت را داشته و جهت ساخت دستگاه دوده سنج انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: کدریت سنجی، حسگر، دوده، موتور دیزل، آلاینده‌گی

### مقدمه

موتورهای دیزل به عنوان منابع تولید قدرت در کاربردهای وسیعی به کار گرفته می‌شوند و به دلیل نسبت تراکم بالا، بازده حرارتی خوبی داشته و با قابلیت تولید گشتاور بالا دارای توان مناسب برای کارهای سخت کشاورزی می‌باشند. از این رو تجهیز تراکتور با موتورهای دیزل امری رایج محسوب می‌گردد. هنگامی که سخن از کاهش آلاینده‌گی موتور به میان می‌آید، این مقوله عمومیت داشته

و تمام موتورها را شامل می‌گردد. با قبول این منطق که آلاینده‌گی موتور برای سلامتی انسان و محیط زیست مضر است، باید پذیرفت که موتور تراکتور نیز از سایر موتورها مستثنی نبوده و نباید رانندگان تراکتور در معرض خطر قرار گیرند. بعلاوه در حال حاضر تراکتورها در سطح شهر نیز جهت امور عمرانی، مصارف شهرداری‌ها و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین در کاربردهای داخل مزرعه‌ای نیز در بسیاری از موارد، تراکتورها به صورت ثابت و یا در محل‌های سر پوشیده مانند داخل هانگار، بکار گرفته می‌شوند.

با توجه به موارد فوق که موید عمومیت مساله و نیز کاربرد موضوع در امر کشاورزی می‌باشد و مضاف بر این، امروزه سطح آلاینده‌گی موتورها از مواردی است که توسط خریداران هر وسیله موتوری چه در امر صادرات و چه در مصارف درون کشور مورد توجه قرار می‌گیرد، مطالعات و تحقیقات انجام شده در این مقوله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لازم به ذکر است که گازهای خروجی از موتورهای دیزل حاوی آلاینده‌هایی است که مهمترین آنها ذرات، هیدروکربورها، اکسیدهای نیتروژن و دی اکسید کربن می‌باشند که سهم ذرات در بین آنها حدود ۲۵٪ است. [۴] ذرات اگزوز و همچنین ذرات معلق در هوا با دو استاندارد  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  از نظر اندازه، شناسایی و اندازه‌گیری می‌شوند. استاندارد اول ذرات کوچکتر از  $2.5/5$  میکرون و استاندارد دوم ذرات کوچکتر از  $10$  میکرون را شامل می‌شود. اهمیت کاهش ذرات به دلیل اثر نامطلوبی که ذرات بر سلامتی انسان و بروز بیماری‌های ریوی و سرطان ریه دارند مد نظر قرار گرفته است [۲]. اندازه‌گیری قطر ذرات و دوده تکنیک‌های مختلفی دارد که از آن جمله روش شمارش ذرات کندانسه، روش‌های شیمیایی، آیرودینامیکی، لیزری، کدریت سنجی و پویایی انتشار می‌باشند [۶]. اهمیت قطر ذرات در انتخاب روش اندازه‌گیری مقدار آن است. در اندازه‌گیری مقدار ذرات روش‌های مختلفی وجود دارند که روش‌های فیلتر کاغذی موسوم به روش بوش<sup>۱</sup> و روش نوری موسوم به روش هارتریج<sup>۲</sup> و روش ون‌برند<sup>۳</sup> از انواع مهم می‌باشد [۳]. کلیه روش‌ها دانسیته دود را بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و با استفاده از قانون جذب نور توسط ذرات موسوم به قانون بیر - لامبرت<sup>۴</sup> اندازه‌گیری می‌کنند در فرمول بیر - لامبرت، طول مسیر و انتخاب حسگری با حساسیت مناسب به نحوی که قادر به حس نمودن دود داخل تیوب باشد، فاکتورهای موثر در طراحی دستگاه می‌باشند [۶]. دستگاه سنجش دوده پس از ساخت با دستگاه Opecimeter Delta 1600 کالیبره گردید.

ویژگی روش هارتریج در این است که قادر است هر دو نوع دود سیاه و سفید را اندازه‌گیری نماید [۵]. در ساخت دستگاه دوده سنج از روش نوری هارتریج استفاده شده است و عملکرد دستگاه بر مبنای میزان کدریت گاز خروجی از اگزوز است. شکل ۱ نمای کلی دستگاه و اجزای آن را نمایش می‌دهد. دستگاه‌های اندازه‌گیری همواره به عنوان یکی از ارکان تحقیقات محسوب شده و همچنین هزینه زیادی را به خود اختصاص می‌دهند. مقاله حاضر بخشی از تحقیقات انجام شده در رساله دکتری بوده که جهت ساخت دستگاه سنجش دوده انجام گرفته تا به عنوان ابزار اندازه‌گیری در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در یک دستگاه اندازه‌گیری مواردی چون قابلیت اعتماد، قابلیت تکرار، قابلیت ردیابی و دقت حائز اهمیت‌اند. دلایل ساخت دستگاه عمدتاً عبارتند از:

- هزینه زیاد دستگاه مشابه خارجی (حدود ۴۰ میلیون ریال)

- دستیابی به فناوری ساخت این گونه دستگاه‌ها که معمولاً در انحصار شرکت‌های سازنده می‌باشند.

جهت تشخیص میزان کدریت از قابلیت عناصر الکترونیکی حساس به نور استفاده شده است. عناصری چون فوتورزیستور، فوتودیود، فوتوترانزیستور و... این امکان را می‌دهد که عمل سنجش نور (عکس آن کدریت سنجی) صورت پذیرد و چنانچه این عناصر در مدار مربوطه قرار گیرند، رابطه‌ای میان میزان نور تابیده شده به عنصر و مقدار جریان عبوری از آن برقرار خواهد شد. هر مقدار از شدت نور تابیده شده به حسگر کاسته شود، مقاومت حسگر در مدار افزایش یافته و جریان عبوری از آن کمتر می‌شود و بالعکس.

1. Bosch
2. Hartridge
3. Von brand
4. Beer - Lambert Law

## مواد و روش‌ها

جهت انجام آزمایش‌ها مداری مطابق شکل ۲ آماده گردید. سپس محل قرارگیری حسگرها بر روی یک تیوب شیشه‌ای پیرکس مطابق شکل ۳ پیش‌بینی شد. در تیوب مورد نظر دو لوله با اتصال عرضی به تیوب، جهت ورود و خروج دود و دو لوله با اتصال طولی، جهت استقرار منبع نور و حسگر تعبیه شده است. از یک آداپتور ۹ ولت (۸۵۰ میلی آمپر) به عنوان منبع تغذیه مدار، و از یک لامپ ۶ ولت به عنوان منبع نور استفاده گردید. کلیه آزمایش‌ها در دمای ۲۵-۲۷ درجه سانتیگراد انجام شد تا تاثیر دمای محیط بر عملکرد حسگرها حذف گردد. همچنین موقعیت قرارگیری حسگر بر روی تیوب با نوار مشکی رنگ پوشانده شده تا حسگر از نور محیط تاثیر نپذیرد.

شکل ۴ چهار نوع حسگر L14G1، TPS603، TLN103 و PR را نشان می‌دهد. در آزمایش اول اثر فاصله منبع نور تا حسگر بر روی عملکرد حسگر با پنج تکرار مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر ارائه شده در جداول ۱ تا ۳ بیانگر ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط دستگاه مولتی‌متر دیجیتال Hioki مدل ۱۰۲۰ می‌باشد. در انجام آزمایش‌ها از دود گیاه اسپند استفاده شد و جهت یکنواخت‌تر بودن دود، یک دودکش با مسیر لوله‌ای تعبیه گردید و مجدداً به جهت اطمینان از حذف تاثیر عدم یکنواختی دود، مبنای شروع آزمایش پس از ورود دود به تیوب، تراکم دود بوده تا حدی که ولت‌متر عدد ۰/۵ ولت را نمایش دهد.

همچنین جهت اندازه‌گیری حساسیت حسگرها، دو مجرا جهت ورود و خروج دود بر روی تیوب تعبیه گردید. دود توسط یک پمپ مکشی ۲۲۰ ولت مدل RENA ۱۱۰ به مدت ۱ دقیقه به داخل تیوب کشیده شد. در همین زمان لوله ورودی از مسیر دود خارج شده و هوا به داخل تیوب راه پیدا نمود. مقدار ولتاژ خروجی در هر ۵ ثانیه قرائت گردید و حسگرها در شرایط کارکرد یکسان از نظر دمایی و ولتاژ تغذیه قرار داشتند.

## نتایج

جدول ۱ نتایج مربوط به بررسی تاثیر فاصله منبع نور تا حسگر را بر روی ولتاژ خروجی حسگر نشان می‌دهد. تحلیل نتایج توسط نرم افزار S-Plus ۲۰۰۰ انجام گرفته است. به جهت معنی‌دار بودن نتایج تحلیل آماری جدول ۱، از ارائه نتایج آنالیز واریانس داده‌های مربوطه خودداری شده است. مقادیر به دست آمده از قرائت ولتاژ حسگرها در جدول ۲ ارائه شده است و نتایج آنالیز واریانس داده‌های جدول ۲، در جدول ۳ نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که حسگرها در تکرارهای مختلف و در زمان‌های مختلف در سطح ۵٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند. برهمکنش حسگر در تکرار و تکرار در زمان اختلاف معنی‌داری ندارند که منطقی به نظر می‌رسد. اما برهمکنش حسگر در زمان، اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد که نشان از رفتار مختلف حسگرها با یکدیگر در طول زمان اندازه‌گیری‌هاست. با مشاهده اختلاف بین حسگرها مشاهده شد، جهت انتخاب بهترین حسگر، فاکتور حساسیت حسگرها در طول زمان اندازه‌گیری به همراه پایداری و منطقی بودن قرائت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و به عنوان یک شاخص تعیین کننده در نظر گرفته شد.

چنین کاری با رسم نمودار حساسیت حسگرها در طول زمان آزمایش انجام گرفت و به دلیل اینکه نمودار دارای نوسانات شدید بود از تکنیک میانگین متحرک<sup>۱</sup> (میانگین‌گیری هر سه مقدار متوالی) جهت بررسی نتایج استفاده گردید.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که حسگر L14G1 نسبت به سایر حسگرها حساسیت بهتری داشته و روند نزولی مناسب‌تری از خود نشان داده است (شکل شماره ۵). با توجه به دمای مجاز کار حسگرها که در مشخصات ارائه شده از طریق سازنده درج شده است، کارکرد حسگر در شرایط دمایی ۲۰- تا ۱۳۰+ درجه سانتیگراد با پایداری مناسبی پیش‌بینی می‌گردد.

ضمناً با توجه به هزینه پایین ساخت دستگاه که حدود سیصد هزار تومان میباشد صرفه جویی ارزی - ریالی مناسبی را به همراه خواهد داشت.

## بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده و انتخاب حسگر مناسب از نظر عملکرد و حساسیت، فاصله بین منبع نور و حسگر ۱۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و از حسگر L14G1 استفاده گردید. تیوب شیشه‌ای که ابعاد آن به صورت عمومی برای کلیه آزمایش‌ها در نظر گرفته شده بود قابل بهینه‌سازی و کاهش ابعاد برای فاصله ذکر شده می‌باشد. شکل ۶ دستگاه سنجش دوده ساخته شده را نمایش می‌دهد.

جدول ۱: اثر فاصله منبع نور تا حسگر بر هدایت سنسور (مقادیر بر حسب ولت)

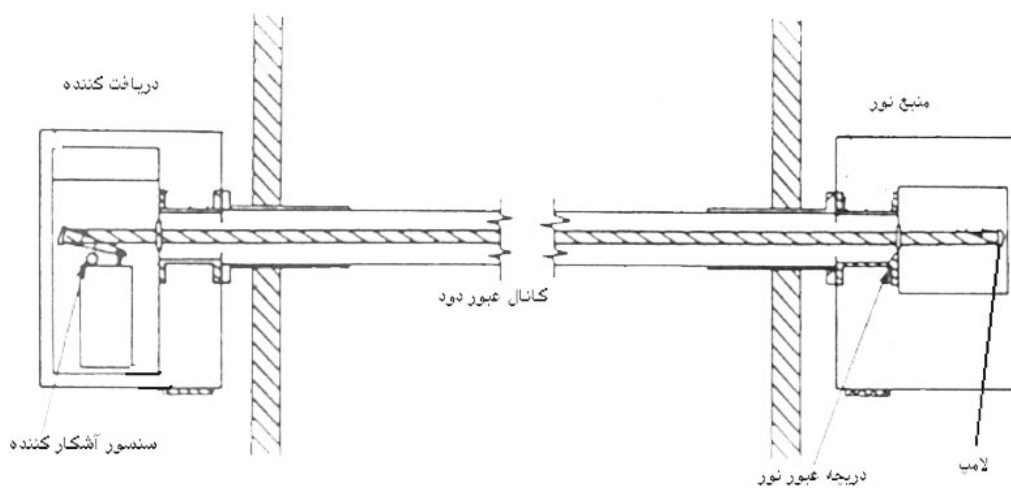
	TPS603	L14 G1	PR	L14 N1
	۱/۰۰۵	۵/۵۵	۴/۹۵	۳/۵۴۲
	۰/۷۵۵	۵/۶۱	۴/۷۵	۴/۲۳
فاصله ۱۰ (سانمیتتر)	۰/۹۲۵	۵/۶۱	۴/۹۱	۳/۱۵۸
	۱/۶۸۳	۵/۱۴	۴/۷	۳/۸۰۷
	۰/۹۶۴	۵/۰۴	۵/۰۱	۳/۹۲۶
	۰/۵۴۵	۷/۹۱۴	۵/۷۱	۴/۶۷۷
	۰/۷۸۴	۷/۹۴	۶	۴/۱۵
فاصله ۱۲ (سانمیتتر)	۰/۸۴۵	۸/۰۷	۵/۹۸	۴/۵۸۲
	۰/۸۸	۷/۹۸	۵/۶۳	۴/۱۰۶
	۰/۸۸۷	۷/۱۸	۶/۰۳	۴/۷۷۸
	۰/۴۱۸	۵/۷۳	۵/۴۲	۶/۹۷
	۰/۵۶۵	۵/۸۳	۵/۷۹	۶/۲
فاصله ۱۴ (سانمیتتر)	۰/۵۸۴	۵/۹۱	۵/۲۲	۶/۵۵
	۰/۶۲۳	۶/۱۴	۵/۲۲	۶/۰۴
	۰/۵۷۹	۵/۶۷	۵/۲۲	۶/۸۱

جدول ۲: اثر زمان بر هدایت حسگر با بررسی خروج تدریجی دود از تیوب (مقادیر بر حسب ولت)

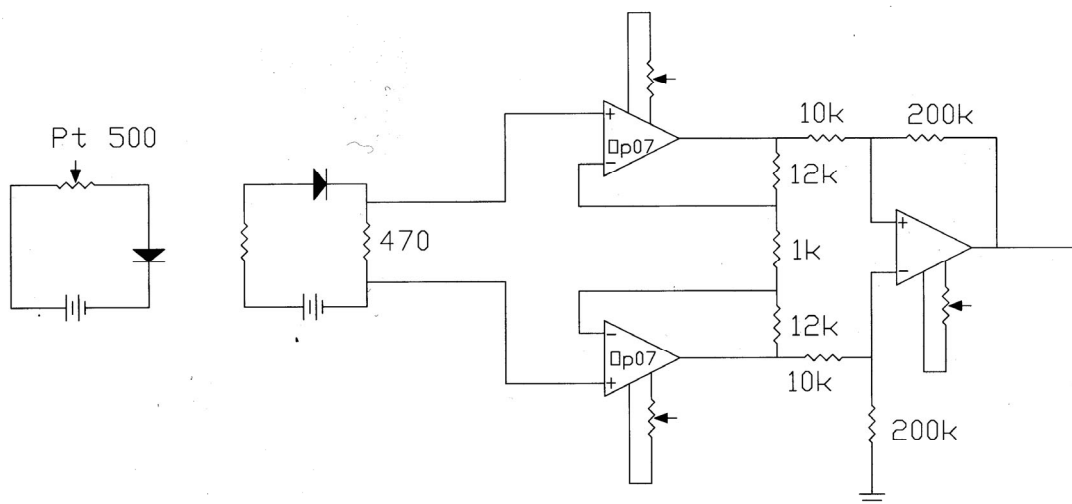
L14 G1			PR			L14 N1			زمان (ثانیه)
۰/۶۴	۰/۷۱	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۴۵	۰/۳۷	۰/۵۱	۰/۶۹	۰/۴۱	۰
۱/۳۷	۱/۵	۱/۰۹	۳/۲۶	۲/۰۴	۱/۹۴	۱/۷۸	۱/۹۷	۱/۶۷	۵
۲/۴۹	۲/۶۲	۲/۴۸	۳/۵۲	۲/۸۹	۲/۸۱	۲/۸۱	۲/۹۳	۲/۶۴	۱۰
۲/۹۷	۳/۱	۳/۷۴	۳/۳۴	۳/۵۹	۳/۵۷	۳/۳۵	۳/۵۶	۳/۴	۱۵
۳/۸۵	۳/۹۷	۴/۳۶	۴/۶۲	۳/۲۴	۳/۱۶	۳/۹۶	۴/۲	۴	۲۰
۴/۳۳	۴/۴۴	۳/۹۷	۴/۲۳	۵/۳۱	۵/۲۳	۴/۲۳	۴/۵	۴/۳۲	۲۵
۴/۵۸	۴/۷۱	۴/۳۹	۵/۳۸	۵/۵۳	۵/۴۵	۵/۷	۵/۸۳	۵/۵۱	۳۰
۴/۶۲	۴/۷۵	۴/۷۳	۵/۸۱	۵/۳۶	۵/۲۸	۶/۳۱	۶/۱۴	۵/۵۹	۳۵
۴/۷۵	۴/۸۸	۴/۸۶	۵/۸	۵/۴۷	۵/۳۹	۶/۴۱	۶/۴۹	۶/۱۲	۴۰
۴/۹	۵/۰۶	۴/۸۹	۵/۸۲	۵/۵۵	۵/۴۷	۶/۴۳	۶/۵۷	۶/۲۷	۴۵
۵/۲۵	۵/۳۶	۴/۴۹	۵/۹۱	۵/۳۷	۵/۲۹	۶/۴۲	۶/۵۸	۶/۲۹	۵۰
۵/۶۹	۵/۷۸	۵/۷	۵/۸۳	۶/۱	۶/۰۲	۶/۴۳	۶/۵۸	۶/۲۸	۵۵

جدول ۳: آنالیز واریانس حساسیت حسگرها

Pr	F value	MS	SS	DF	
۰/۰۱۰۴۷	۵/۰۶۵۸	۰/۳۵۴۹۱	۰/۷۰۹۸	۲	تکرار
.	۳۹۶/۲	۲۷/۸	۳۰۵/۳	۱۱	زمان
۰/۰۵۵۴۳	۲/۵۰۸	۰/۱۷۵۷	۰/۷۰۹۲	۴	حسگر × تکرار
۰/۰۰۰۰۰۳	۵/۹۳۷۴	۰/۴۱۵۹۷	۱۵۱۴/۹	۲۲	حسگر × زمان
۰/۴۲۵۷۱	۱/۰۵۵۷	۰/۷۳۹۶	۱/۶۲۷۲	۲۲	تکرار × زمان
		۰/۰۷۰۰۶	۳/۰۸۲۷	۴۴	باقیمانده



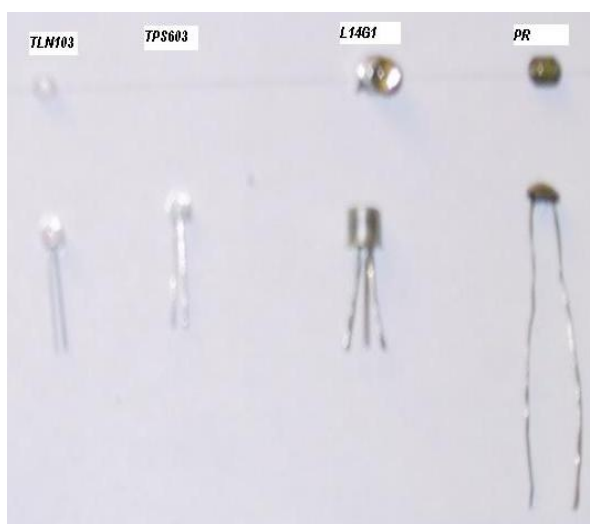
شکل ۱: طرحواره دستگاه سنجش دود



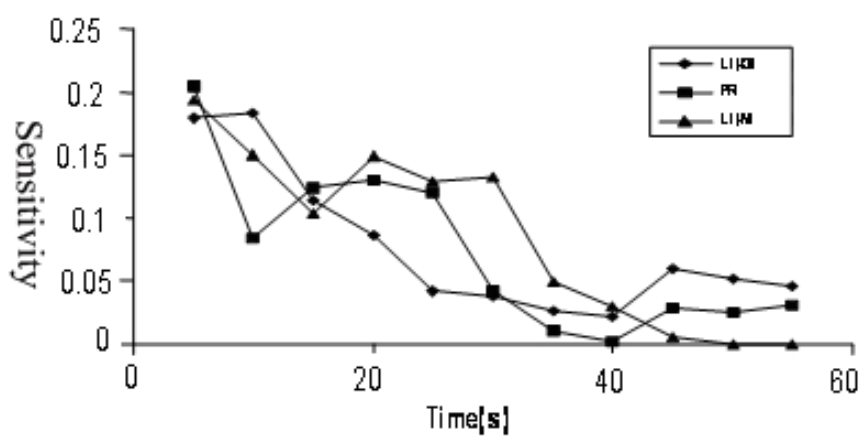
شکل ۲ - مدار الکترونیکی آزمون حسگرها



شکل ۳ - تیوب با چهار مجرا: دو مجرا برای قرارگیری حسگرها و دو مجرا برای ورود و خروج دود



شکل ۴ - حسگرهای مورد آزمایش



شکل ۵ - نمودار حساسیت نسبت به زمان



شکل ۶ - دستگاه سنجش دوده

## منابع و مآخذ:

- 1- Bosch robert. 2000. Automotive Hand Book.969p. SAE Pub.
- 2- Davidson, J.H.,a.d McKinney , P.J., 1990 .Electrostatic Precipitator, Aerosol Science and Technology,12(2): 319-334.
- 3- Kittelson D.and F.Watts and M.Arnold.1998. Review of Diesel Particulate Matter Sampling Methods, [http://www. Itdean.umn.edu](http://www.Itdean.umn.edu)
- 4- Kittelson, D. B. 1990.“ Particulate Emissions from Diesel Engines: Influence of In-Cylinder Surface”. SAE Paper No. 900645.
- 5- Mathur M.L and Sharam R.P. 2003. Internal Combustion Engines chapter18. Dhanpat Rae Pub.
- 6- Noltingk b.e. 1996. Instrumentation Reference Book, chapter 3.Butter Worths pub.

# Design and construction of diesel opacimeter

**M. Roodpeyma**

*student of phd. agricultural machines dept.in Tehran university.*

**A. R. Keyhani**

*assistant professor of agricultural machines dept.in Tehran university.*

**M. Omid**

*assistant professor of agricultural machines dept.in Tehran university.*

## Abstract

Among air pollutants of diesel engines (including HC, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> and Particulate Matter-PM) the share of PM is about 25 percent. Harmful effects of PM on the environment and human health have put this pollutant to be in a dangerous emission category. Hence, many researchers have been seeking to reduce this type of emission. The opacimeter is a device which measures and monitors the amount of PM and soot in a diesel engine exhaust. A glass tube with four gate was developed and used in the device. The opacimeter is made using optical electronic logic and circuits. Four sensors were tested in three distances (10-12-14 cm) between the sensor and the light source with five replications. Since the sensitivity curves showed good results for the 14 cm distance, this distance was fixed and the test was carried out to find the best sensor among the four. Final results showed that the L14G1 sensor had the best sensitivity and trend among the other sensors.

**Keywords:** Opacimeter, Sensor, Soot, Diesel Engine, Emission