

## پودمان ۴

### پدیده احتراق و سوخت‌های جایگزین



آیا می‌دانید سوخت‌های جایگزین بنزین و گازوئیل چیست و عملکرد آنها چه تفاوتی با سوخت‌های اصلی دارد.

سالیان زیادی است که موتورهای درون سوز از بنزین و گازوئیل به عنوان سوخت‌های اصلی استفاده می‌کنند. در انتهای قرن ۲۰ و ابتدای قرن حاضر کاهش شدید منابع فسیلی باعث شد تا توجه ویژه‌ای به سوخت‌های جایگزین شود. این سوخت‌های جایگزین از محصولات پتروشیمی، گازهای حاصل از، زیست توده‌ها و پسماندهای محصولات کشاورزی حاصل می‌شوند. این سوخت‌ها علاوه بر کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی در خودروها آثار مخرب زیست محیطی کمتری دارند.

## استاندارد عملکرد

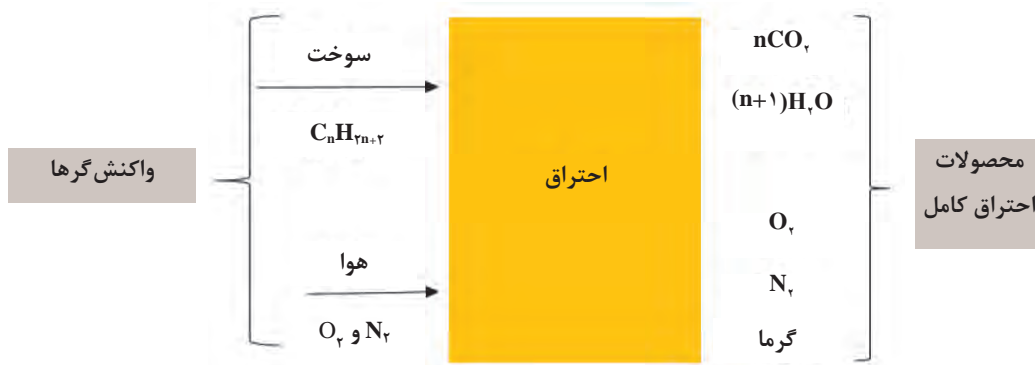
هنرجو باید بتواند پس از پایان این پودمان فرایند احتراق را شناخته، پس از آشنایی با محصولات احتراق کامل و ناقص، انواع سوخت‌های جایگزین بنزین و گازوئیل را شناسایی و مقایسه کند.

## فرایند احتراق

در یک فرایند احتراق، اجزایی که قبل از احتراق وجود دارند، واکنش‌گرها و اجزایی که بعد از واکنش احتراق به وجود می‌آیند، محصولات احتراق نامیده می‌شوند.

### احتراق کامل

هرگاه تمام اجزای قابل احتراق سوخت در یک فرایند احتراق به طور کامل بسوزند، فرایند احتراق کامل است. شکل ۱ فرایند احتراق کامل یا واکنش سوختن سوخت‌هایی مانند بنزین و گازوئیل را بیان می‌کند. محصولات احتراق کامل شامل مقداری کربن دی‌اکسید، بخار آب، نیتروژن، اکسیژن و گرما بوده و کمترین آلاینده‌گی را دارد.



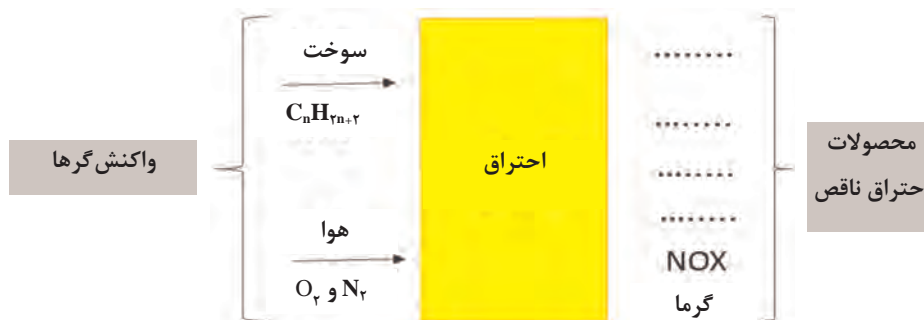
شکل ۱- فرایند احتراق کامل

### احتراق ناقص

هرگاه در محصولات احتراق، اجزایی مثل HC، CO، C، NO<sub>x</sub> و... وجود داشته باشند، همه سوخت نسوخته است و فرایند احتراق ناقص است.

شکل ۲ بیانگر احتراق ناقص می‌باشد، با راهنمایی هنرآموز، محصولات احتراق ناقص را در جای خالی بنویسید.

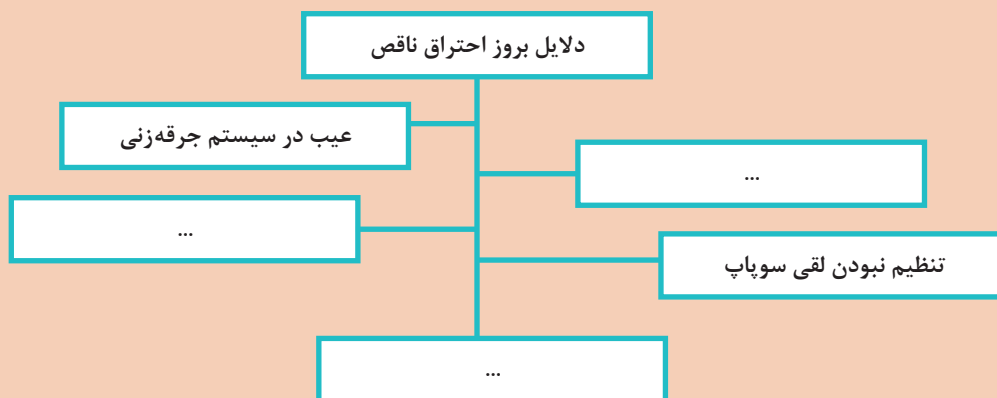
کار کلاسی



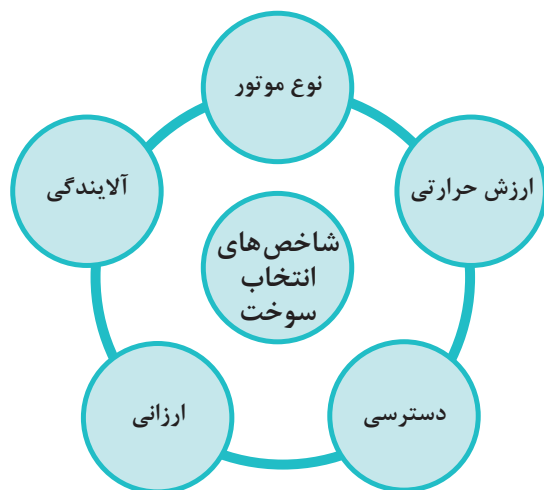
شکل ۲- محصولات احتراق ناقص



با راهنمایی هنرآموز دلایل بروز احتراق ناقص را در نمودار ۱ بنویسید.



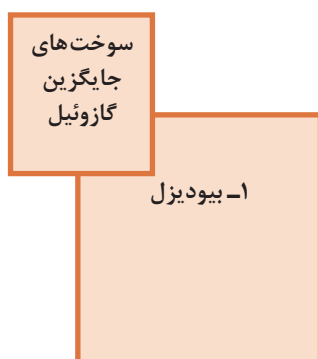
نمودار ۱- دلایل بروز احتراق ناقص



### احتراق استوکیومتریکی

احتراقی که در آن سوخت به طور کامل و با کمترین هوای مورد نیاز برای احتراق کامل می‌سوزد احتراق استوکیومتریکی آن سوخت نامیده می‌شود. در نمودار زیر عوامل مؤثر در انتخاب سوخت‌های موتور احتراقی نوشته شده است.

### سوخت‌های جایگزین بنزین و گازوئیل



## فرایند احتراق انواع سوخت

فرایند احتراق کامل و ناقص سوخت

فیلم



### بنزین

سوختن سوخت‌های فسیلی یا هیدروکربن‌ها (ترکیبات آلی که تنها دارای کربن و هیدروژن هستند مانند متان  $CH_4$ ، پروپان  $C_3H_8$ ، بوتان  $C_4H_{10}$  و ...) نمونه معمول و رایج واکنش سوختن است. به علت نقص سیستم احتراق، همیشه مقداری از کربن‌های سوخت نمی‌توانند اکسیژن لازم را به دست آورند، لذا گاز سمی و خطرناک کربن‌منواکسید (CO) تولید می‌کنند. همچنین در اثر کمبود اکسیژن و یا نقص سیستم احتراق، بخشی از سوخت نمی‌سوزد که به آن هیدروکربن نسوخته (HC) می‌گویند و از آلاینده‌ها است. مقدار کربن‌منواکسید، هیدروکربن نسوخته و نیتروژن‌اکسیدها (نیتروژن‌اکسید، نیتروژن دی‌اکسید و نیتروژن تری‌اکسید) را در محصولات احتراق باید با هر روش ممکن به کمترین مقدار و در حد استانداردهای آلاینده‌گی رساند. سایر مطالب مربوط به بنزین در کتاب تعمیر سیستم سوخت‌رسانی گفته شده است. بخش عمده‌ای از بنزین معمولی شامل هیدروکربن‌هایی است که در هر مولکول بین ۵ تا ۱۲ اتم کربن دارند. در احتراق بنزین که یک فعل و انفعال شیمیایی است، با ترکیب شدن هیدروژن سوخت (H) با اکسیژن، بخار آب ( $H_2O$ ) و با ترکیب شدن کربن سوخت (C) با اکسیژن، گاز کربن‌دی‌اکسید ( $CO_2$ ) تولید می‌شود.

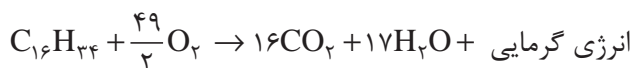
فرایند احتراق کامل اکتان  $C_8H_{18}$  (از ترکیبات بنزین)



### گازوئیل

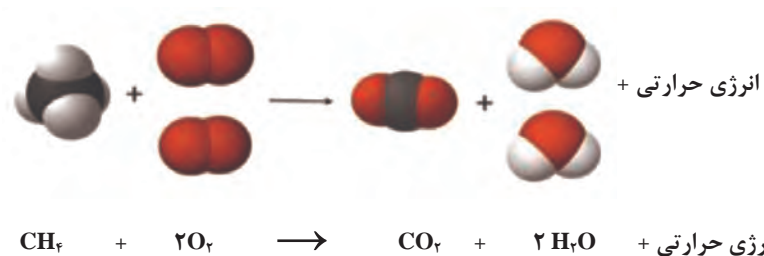
این سوخت از هیدروکربن‌هایی تشکیل شده است که بین ۱۳ تا ۲۲ اتم کربن دارند. همانند بنزین از احتراق کامل گازوئیل نیز بخار آب و کربن‌دی‌اکسید و انرژی گرمایی تولید می‌شود.

فرایند احتراق کامل (نوعی گازوئیل  $C_{16}H_{34}$ )



### گاز طبیعی

۹۰ درصد از اجزای گاز طبیعی را متان ( $CH_4$ ) تشکیل می‌دهد که کوچک‌ترین و ساده‌ترین عضو خانواده هیدروکربن‌ها است. احتراق کامل گاز طبیعی که در خودرو به صورت CNG مصرف می‌شود نیز کربن‌دی‌اکسید و بخار آب تولید می‌کند. (شکل ۳)



شکل ۳- احتراق کامل گاز متان

با مشاهده فیلم احتراق متان، جاهای خالی جدول ۱ را کامل کنید. تفاوت محصولات احتراق به دست آمده از سوختن متان با اکسیژن کم و اکسیژن خیلی کم چیست؟

کار کلاسی

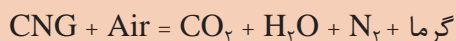


### جدول ۱- احتراق ناقص گاز متان

$\text{CH}_4 + 1/5\text{O}_2 \rightarrow \dots\dots\dots + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Heat}$	واکنش سوختن گاز متان با اکسیژن کم
$\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \dots\dots\dots + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Heat}$	واکنش سوختن گاز متان با اکسیژن خیلی کم

در فرایند احتراق واقعی به جای اکسیژن خالص، هوا به کار برده می شود و هوا نیز حدوداً دارای ۷۸ درصد نیتروژن است. بنابراین در محصولات احتراق در صورت بالا بودن حرارت مقداری نیتروژن اکسیدها نیز تولید می شود.

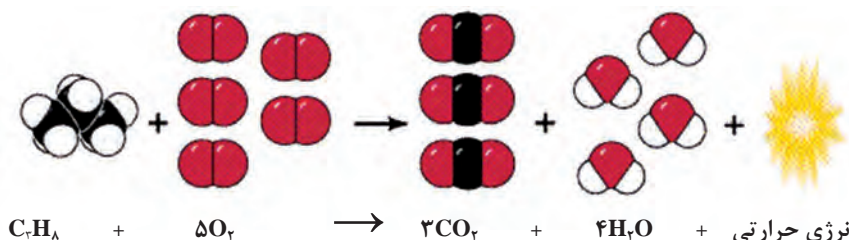
نکته



### گاز مایع LPG

گاز LPG، گازی است که از نفت خام استخراج می شود و تحت فشار مایع است و وقتی فشار از روی آن برداشته شود به حالت گاز درمی آید. این گاز ترکیبی از گاز بوتان و پروپان است در برخی موارد درصد پروپان بیشتر بوده و گاهی نیز درصد بوتان بیشتر می باشد. در شکل ۴ فرایند احتراق کامل گاز نفتی مایع شده (LPG) (با

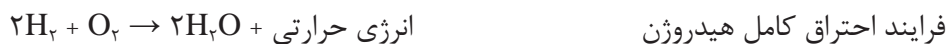
پروپان بیشتر) نوشته شده است. از سوختن LPG نیز کربن‌دی‌اکسید، آب و حرارت تولید می‌شود.



شکل ۴- فرایند احتراق کامل بوتان (سوخت LPG) با پروپان بیشتر

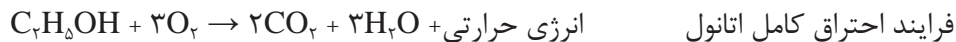
### هیدروژن ( $H_2$ )

در ساختار شیمیایی سوخت هیدروژن، کربن وجود ندارد؛ بنابراین اگر گاز هیدروژن در هوا بسوزد فقط بخار آب تولید می‌شود. در احتراق کامل هیدروژن، نیتروژن موجود در هوا بدون واکنش از آگروز خارج می‌شود؛ اما اگر دمای احتراق بالا باشد در اثر واکنش اکسیژن و نیتروژن موجود در هوا، اکسید نیتروژن تولید می‌شود که آن را باید به حداقل رساند.



### اتانول ( $C_2H_5OH$ )

اتانول یکی از انواع الکل است و آن را می‌توان از مواد گیاهی مانند ذرت و نیشکر، مواد سلولزی مثل چوب یا کاغذ باطله و ... تهیه کرد. از احتراق کامل اتانول مایع با گاز اکسیژن، دی‌اکسید کربن، آب و حرارت تولید می‌شود.



### متانول ( $CH_3OH$ )

متانول ساده‌ترین نوع الکل بوده و مایعی سبک، فرار، بدون رنگ و قابل اشتعال است. از سوختن کامل متانول در هوا، دی‌اکسید کربن، آب و حرارت تولید می‌شود.



فرایند احتراق کامل برخی سوخت‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- محصولات به دست آمده از احتراق کامل برخی سوخت‌ها

$C_8H_{18} + 12/5 O_2 \rightarrow 8 CO_2 + 9 H_2O + \text{انرژی حرارتی}$	بنزین
$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + \text{انرژی حرارتی}$	هیدروژن
$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O + \text{انرژی حرارتی}$	اتانول
$2CH_3OH + 3O_2 \rightarrow 2 CO_2 + 4 H_2O + \text{انرژی حرارتی}$	متانول
$C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + \text{انرژی حرارتی}$	LPG
$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O + \text{انرژی حرارتی}$	گاز طبیعی (متان)
$C_{16}H_{34} + 24/5 O_2 \rightarrow 16CO_2 + 17H_2O + \text{انرژی حرارتی}$	گازوئیل

با توجه به جدول ۲ به سؤالات زیر پاسخ دهید.

۱) کدام سوخت‌ها در فرمول شیمیایی خود اکسیژن دارند؟ اکسیژن موجود در سوخت چه تأثیری در سوختن دارد؟

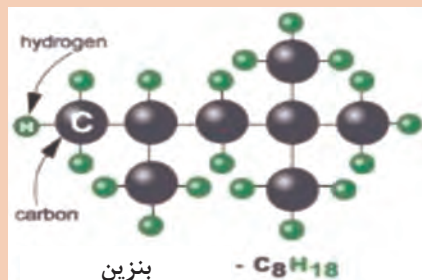
۲) کدام یک از سوخت‌ها در فرمول شیمیایی خود کربن ندارد و کدام یک کمترین کربن را دارد؟

۳) از سوختن کدام یک از سوخت‌ها بیشترین و کمترین مقدار کربن دی‌اکسید تولید می‌شود؟

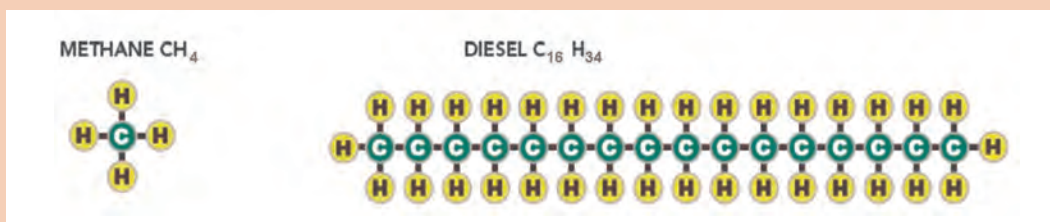
۴) از سوختن ناقص کدام سوخت‌ها، کربن مونواکسید و کربن زیادی تولید خواهد شد؟

۵) با توجه به شکل ۵، بیشترین مقدار هر یک از آلاینده‌های ذرات معلق، کربن (دوده)، کربن مونواکسید و هیدروکربن‌های نسوخته از احتراق ناقص کدام یک از سوخت‌ها ایجاد می‌شود. در جدول بنویسید.

کار کلاسی



سوخت	بیشترین آلاینده از احتراق ناقص
بنزین ( $C_8H_{18}$ )	
گازوئیل ( $C_{16}H_{34}$ )	
متان ( $CH_4$ )	



شکل ۵- فرمول شیمیایی بنزین، گاز متان و گازوئیل



در جدول ۳ برخی تغییرات مورد نیاز موتورهای بنزینی برای به کارگیری سوخت‌های جایگزین اشاره شده است.

جدول ۳- تغییرات مورد نیاز موتورهای بنزینی برای به کارگیری سوخت‌های جایگزین

نوع سوخت	مکانیزم سرسیلندر	سیستم جرقه	رینگ پیستون	سیستم خنک کاری	تجهیزات جانبی
هیدروژن	جنس سرسیلندر و لوازم آن نیاز به تقویت دارد.	جرقه ریتارد شود.	جنس مقاوم‌تر باشد.	انتقال حرارت باید بیشتر باشد.	به کیت سوخت‌رسانی مجزا نیاز است.
LPG و CNG	تقویت سوپاپ و سیت سوپاپ نیاز است.	جرقه باید آوانس شود.	-	-	به کیت سوخت‌رسانی جداگانه نیاز است.
اتانول و متانول	-	زمان‌بندی جرقه باید تغییر کند.	-	-	در درصدهای بالا تغییراتی در موتور نیاز می‌باشد.

## کاربرد سوخت‌های جایگزین در خودروها

### LPG و CNG

آلودگی مواد منتشر شده از احتراق این سوخت‌ها به مراتب کمتر از مقادیر مشابه برای سوخت‌های بنزین و گازوئیل می‌باشد. با توجه به مشکلات ناشی از قیمت، چگونگی تأمین سوخت و تجهیزات سوخت‌رسانی بنزین و گازوئیل، سوخت‌های جایگزین را می‌توان به کار برد. برای استفاده از سوخت‌های جایگزین باید شرایط مختلفی را در نظر گرفت. ماهیت متفاوت احتراق سوخت‌های جایگزین، مستلزم تغییر در سیستم سوخت‌رسانی و زمان‌بندی احتراق است.

پرکاربردترین سوخت جایگزین در ایران، گاز طبیعی فشرده (ترکیبی از مقدار زیادی متان و مقدار کمتری اتان) است. این گاز در شرایط محیطی معمولی، به صورت گاز بوده و برای استفاده در خودروها با فشاری بیش از «۲۰۰ بار» در مخازن مخصوص ذخیره می‌شود. ماده اصلی تشکیل‌دهنده گاز LPG بوتان و پروپان است ولی شامل سایر گازهای هیدروکربنی هم می‌شود. LPG به علت مایع بودن، تراکم انرژی بالایی داشته و برای جایگزینی بنزین در خودروها مناسب است. و کمترین تغییرات را در ساختار موتور نیاز دارد.

LPG در دما و فشار معمولی به صورت گاز است. آن را با فشاری در حدود ۶ تا ۸ بار به مایع تبدیل می‌کنند و سپس در مخازن تحت فشار کمتر از ۱۳ بار ذخیره می‌کنند. برای ذخیره مقدار مشخصی انرژی، حجم مخزن LPG تقریباً دو برابر و وزن آن ۱/۵ برابر مخزن بنزین است. روش استفاده و نصب آن همانند CNG می‌باشد.



CNG نسبت به LPG، بیشتر در دسترس است. چون CNG را به راحتی و فقط با یک مرحله تصفیه می توان استفاده کرد در صورتی که LPG گاز تولیدی در پالایشگاه است و هزینه تولید آن بیشتر است.

نمودار زیر برخی مزایا و معایب CNG و LPG را نسبت به بنزین نشان می دهد.



با توجه به جدول صفحه قبل به سؤالات زیر پاسخ دهید:

- ۱ عدد اکتان سوخت چه تأثیری در عملکرد موتور دارد؟
- ۲ سبک بودن گاز CNG و سنگین بودن گاز LPG نسبت به هوا چه تأثیری در کاربردهای آن دارد؟
- ۳ احتراق کندتر سوخت CNG و LPG نسبت به بنزین را در موتور، چگونه می توان جبران کرد؟

### کاربرد سوخت زیستی (بایوفیول) جایگزین بنزین در خودرو

همان طور که می دانید سوخت های تجدیدپذیر و زیستی مناسب بسیاری برای جایگزینی سوخت خودروهای بنزینی و دیزلی وجود دارند و بسیاری از آنها در حال استفاده بوده و برخی دیگر در حال توسعه هستند.

در نمودار زیر دلایل روی آوردن به سوخت های تجدید پذیر و زیستی را به کمک هنرآموز بنویسید.



افزایش قیمت سوخت های فسیلی

## اتانول

اتانول یک سوخت جایگزین تجدیدپذیر بوده و کاربرد آن در حال گسترش است. اتانول اغلب برای کاهش آلودگی به بنزین و گازوئیل افزوده می‌شود. برخی خودروسازان موتورهای ارائه می‌کنند که می‌توانند هم از بنزین معمولی و هم از اتانول و یا ترکیبی از این دو استفاده کنند. اتانول مانند نفت منبع پایان‌پذیری نیست؛ و نیز برای ساخت اتانول انرژی زیادی مورد نیاز است.

به‌طور کلی برای تولید سوخت‌های الکلی می‌توان از محصولات مختلفی نظیر چغندر قند، سیب‌زمینی، آفتابگردان، اکالیپتوس، نیشکر، جو و ذرت و... استفاده کرد.



شکل ۶- جایگاه سوخت اتانول و بنزین

## اتانول و بنزین

در شکل ۶ درصد‌های مختلفی از اتانول که با بنزین ترکیب شده‌اند در یک جایگاه سوخت‌گیری نشان داده شده است. E۸۵ به معنی ترکیب ۸۵ درصد اتانول با ۱۵ درصد بنزین است. E۳۰ یعنی ۳۰ درصد اتانول با ۷۰ درصد بنزین ترکیب شده است. متناسب با نوع خودرو و قیمت سوخت، مشتری می‌تواند سوخت مورد نظر را انتخاب کند.

## اتانول و گازوئیل

اتانول در ساختار شیمیایی خود اکسیژن دارد و باعث کاهش کربن‌مونواکسید، ازت‌دی‌اکسید و ذرات معلق می‌شود. البته اتانول در دماهای پایین به راحتی با گازوئیل مخلوط نمی‌شود و باید با کمک حلال، قطرات اتانول را درون سوخت معلق نگه داشت. همچنین اتانول عدد ستان پایینی دارد و موجب افت عدد ستان مخلوط اتانول - گازوئیل و کاهش توان موتور می‌شود. شکل ۷ نمایی از یک جایگاه سوخت را نشان می‌دهد.



شکل ۷- جایگاه سوخت (بیودیزل ۹۹ درصد - CNG - اتانول

۸۵ درصد - متانول ۶۰ درصد - بنزین خالص)

## متانول

متانول یا الکل چوب، همانند اتانول یک سوخت مایع با ارزش حرارتی بالا است. همچنین قیمت آن با قیمت بنزین تقریباً یکسان بوده و می‌تواند از زغال سنگ و چوب نیز به دست آید. بیشتر کارخانه‌های بزرگ خودرویی تولید می‌کنند که دارای شاخص M۸۵ هستند؛ بدین معنی که ۸۵ درصد سوخت مصرفی آنها متانول و ۱۵ درصد بنزین است. البته خودروهایی که متانول خالص مصرف می‌کنند یا به عبارتی دارای شاخص M۱۰۰ باشند، از لحاظ زیست‌محیطی ایدئال به نظر می‌آیند. برخی از کارخانه‌ها توانسته‌اند خودرویی با این قابلیت را ارائه دهند.



متانول ماده‌ای است سمی که نوشیدن آن موجب نایبایی و حتی مرگ می‌شود. هنگام استفاده از متانول باید از ماسک و دستکش استفاده کرد؛ چون از طریق تنفس و پوست نیز می‌تواند جذب شود. پس از مسمومیت با متانول باید سریعاً اتانول را به صورت وریدی به بیمار تزریق کرد. دوز کشنده متانول ۱۰۰-۱۲۵ میلی‌لیتر است. نشانه‌های نوشیدن متانول شامل سردرد، سرگیجه، تهوع، عدم تعادل، پریشانی، خواب‌آلودگی و سرانجام بیهوشی و مرگ است.

جدول ۴ مزایا و معایب اتانول و متانول نسبت به بنزین را بیان می‌کند.

جدول ۴- مزایا و معایب اتانول و متانول نسبت به بنزین

معایب اتانول و متانول نسبت به بنزین	مزایای اتانول و متانول نسبت به بنزین
اتانول جاذب رطوبت است و باعث خوردگی سیستم سوخت‌رسانی می‌گردد.	وجود اتم اکسیژن در ترکیبات شیمیایی سوخت‌های اتانول و متانول که باعث بهبود فرایند احتراق و کاهش آلاینده‌گی می‌شود.
در سوخت اتانول و متانول دامنه ارتعاشی موتور نسبت به بنزین بالاتر است. این موضوع به علت سرعت بالای شعله در سوخت‌های الکلی است.	سوخت‌های اتانول و متانول از مواد تجدیدپذیر و از تخمیر کاه، چوب، ذرت، پوشال، ساقه‌های کشت شده و یا مواد دورریز اشتعال‌پذیر به وجود می‌آیند.
متانول نسبت به اتانول سمی می‌باشد.	آلاینده‌گی سوخت اتانول و متانول در ترکیب با بنزین کمتر از بنزین خالص است.
ارزش حرارتی سوخت اتانول و متانول کمتر از بنزین است این موضوع باعث افت توان موتور می‌شود.	عدد اکتان اتانول و متانول بالاست و می‌توان نسبت تراکم و توان موتور را افزایش داد.
قیمت این محصول بالاست. (هزینه تهیه اتانول ۳ تا ۵ برابر بنزین است)	برای استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر الکلی نیاز به تغییرات خاصی در ساختار و طراحی‌های موتور بنزینی نیست.
	سرعت بالای شعله در اتانول ترکیب شده با بنزین، به کامل شدن احتراق در سرعت و بارهای زیاد موتور کمک می‌کند.

## هیدروژن

هیدروژن به‌عنوان انرژی پاک و پایدار به حساب می‌آید و گزینه‌ای مناسب برای جایگزینی کامل سوخت‌های فسیلی است. محصول سوختن هیدروژن تنها آب است و هیچ دودی بر جای نمی‌گذارد. آب خارج شده از موتور قابل مصرف است. با تولید هیدروژن از روش‌های پاک، خودروهای هیدروژنی در مقایسه با نمونه‌های الکتریکی بسیار پاک‌تر هستند.

آیا شما هم می‌توانید از آب هیدروژن تولید کنید و در خودرو استفاده کنید؟ به چه لوازمی نیاز دارید؟



خودروهای تغییر داده شده برای کار با سوخت هیدروژن

فیلم



برای تولید هیدروژن از چه روش‌هایی استفاده می‌کنند؟

پژوهش کنید



با توجه به اشتعال سریع سوخت هیدروژن نسبت به بنزین، برای استفاده بهینه از سوخت هیدروژن در موتور بنزینی چه راهکاری باید به کار برد؟

فکر کنید



جدول زیر نسبت سوخت به هوای برخی سوخت‌ها را نشان می‌دهد.  
■ با توجه به جدول ۵ هیدروژن نسبت به سایر سوخت‌ها به هوای بیشتری نیاز دارد. برای جلوگیری از کمبود هوا در موتور چه راه‌کارهایی را پیشنهاد می‌کنید؟  
■ کدام نوع سوخت نیاز به هوای کمتری دارد؟ چرا؟

کار کلاسی



جدول ۵- نسبت سوخت به هوا در برخی سوخت‌ها

سوخت	هیدروژن	پروپان	بنزین	گاز (CNG)	اتانول خالص	گازوئیل	متانول
نسبت سوخت به هوا	۱:۳۴	۱:۱۵/۶	۱:۱۴/۷	۱:۱۶/۵	۱:۹	۱:۱۴/۶	۱:۶/۵

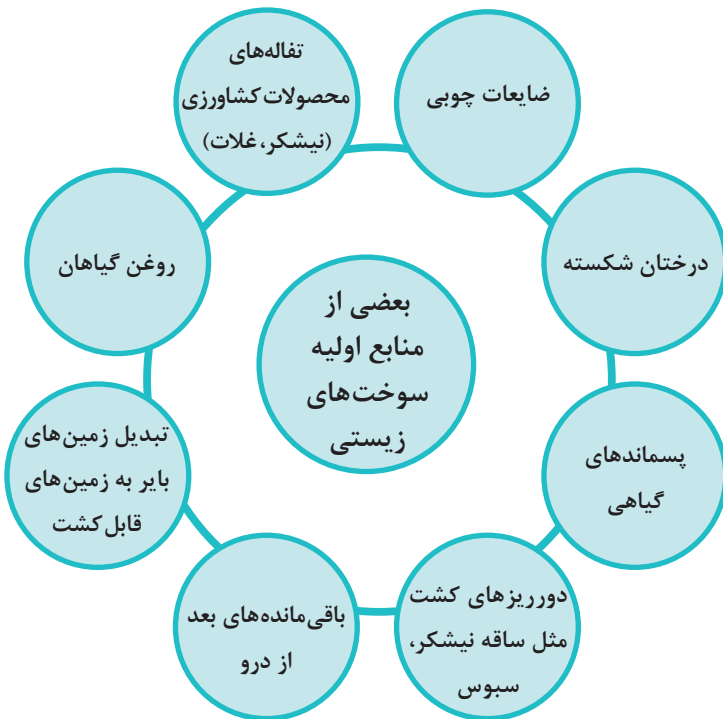
درباره کاربرد سوخت گاز CNG در خودروهای دیزلی تحقیق کنید.  
در صورت وجود موتور دوگانه سوز با مصرف هم‌زمان سوخت گاز طبیعی و گازوئیل، درباره ساختار و کارکرد آنها تحقیق کنید.

پژوهش کنید



### سوخت زیستی

سوخت زیستی یا Biofuel از منابع زیست‌توده یا (Biomass) به‌دست می‌آید و شامل بیودیزل، اتانول، متانول و سوخت‌های دیزل گازی (نظیر بیوگاز و گاز سنتزی یا گاز سنتزی بیو که از منابع زیست‌توده تولید می‌شود) است. در نمودار صفحه بعد روش‌های تولید سوخت زیستی آورده شده است.  
آلاینده‌های منتشر شده از موتورهای دیزلی یکی از منابع مهم آلودگی محیط‌زیست است. یکی از راه‌های کاهش این آلاینده‌ها استفاده از سوخت‌های افزودنی به گازوئیل یا استفاده از سوخت‌های جایگزین به جای گازوئیل است.



بیو دیزل یکی از انواع سوخت‌های زیستی است که از روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی، روغن آشپزی و روغن‌های سنگین به دست می‌آید. ویژگی این مواد اولیه بازیافت و بازگشت آسان آنها به چرخه طبیعت است. این روغن‌ها از طریق کشت و فراوری به دست آمده و به بیودیزل تبدیل می‌شوند؛ و هر خودرویی با موتور دیزل می‌تواند از آن استفاده کند.

با مراجعه به اینترنت و یا به کمک هنرآموز مزایا و معایب سوخت‌های زیستی را در جدول زیر بنویسید.

کار کلاسی



معایب سوخت‌های زیستی	مزایای سوخت‌های زیستی
هزینه تولید سوخت‌های زیستی بالا است.	نقطه اشتعال بالایی دارند و احتمال وقوع آتش‌سوزی را کاهش می‌دهند.
.....	.....
میزان آب مورد نیاز برای تولید سوخت‌های زیستی تهدیدی برای منابع آب باشد.	
.....	

بودمان چهارم: پدیده احتراق و سوخت‌های جایگزین

- ۱ وجود اکسیژن در ساختار شیمیایی بیودیزل چه تأثیری در آلاینده‌گی و فرایند احتراق دارد؟
- ۲ عدد ستان چه تأثیری در احتراق دارد؟

کار کلاسی



تجهیزات و عملکرد خودروهای گازسوز CNG

فیلم



با مشاهده فیلم، تعدادی از قطعات کیت تبدیل موتور بنزینی به گازسوز را با ذکر وظایف آنها بنویسید.

کار کلاسی



نام قطعه	وظیفه
	ذخیره گاز مورد نیاز
شیر کنترل فشار	
انژکتور گاز	

اگر فیلتر هوای موتور بنزینی تبدیل شده به گازسوز کثیف باشد، این موتور روی گاز CNG بد کار می‌کند ولی با بنزین، خوب کار می‌کند، چون سوخت CNG به هوای بیشتری نیاز دارد.

نکته



## موتورهای دوگانه‌سوز (Bifuel)

خودروهای دوگانه‌سوز، به آن دسته از خودروهایی گفته می‌شود که با استفاده از کیت تبدیل، می‌توانند دو نوع سوخت متفاوت (مانند بنزین و گاز طبیعی) استفاده کنند. در واقع طراحی اولیه این خودروها بر مبنای سوخت بنزین بوده است. روش عملکرد این خودروها بدین گونه است که با استفاده از کیت گازسوز می‌توان به هنگام نیاز، سوخت مصرفی را از بنزین به گاز تغییر داد.

### جدول ۶- برخی تغییرات در تبدیل موتور بنزینی به CNG

مقدار	اثر	تغییرات در تبدیل از بنزین سوز به گازسوز
۸ تا ۱۵ درصد	کاهش قدرت و توان	تغییر در نوع سوخت
۴۰ درصد و بیشتر	چگالی انرژی کمتر سوخت و کاهش برد	چگالی انرژی سوخت (مقدار انرژی نسبت به جسم)
زیاد	افزایش حجم مخزن سوخت و کاهش فضای خودرو	حجم ذخیره‌سازی سوخت
قابل توجه	تجهیزات سنگین‌تر، کاهش شتاب، نیاز به تقویت سیستم ترمز و فربندی-افزایش میزان آلاینده‌گی	وزن ذخیره‌سازی
زیاد	کاهش آلاینده‌ها	مقدار آلاینده‌ها
۳۰ درصد یا بیشتر	صرفه جویی در قیمت سوخت	قیمت سوخت

با توجه به جدول ۶ عواملی را که هنگام تغییر نوع سوخت از بنزین به گاز باعث کاهش راندمان و شتاب خودرو می‌شوند بنویسید.



کار کلاسی



با مراجعه به تعمیرکاران مجرب یا اینترنت، تفاوت موتورهای پایه گازسوز و موتورهای تبدیل شده را بنویسید.



پژوهش کنید





در جدول ۷ ویژگی‌های احتراق یک موتور احتراق داخلی گازسوز و پیامدهای آن نوشته شده است. به کمک هنرآموز آن را تکمیل کنید.

جدول ۷- ویژگی‌های احتراق یک موتور گازسوز و پیامدهای آن

پیامد	ویژگی
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ افزایش حجم سوخت و کاهش حجم هوا در مخلوط سوخت و هوا</li> <li>■ .....</li> <li>■ عدم نیاز به تبخیر سوخت در لحظه راه‌اندازی (کاهش آلاینده‌ها)</li> </ul>	گازی شکل بودن سوخت
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ سوختن کامل تر و کاهش گاز کربن مونواکسید (CO) و هیدروکربن‌های نسوخته (HC)</li> <li>■ کاهش سروصدا و کار کردن آرام موتور</li> <li>■ وجود مخلوط یکنواخت</li> </ul>	اختلاط بهتر و یکنواخت‌تر با هوا
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ لزوم افزایش مقاومت حرارتی و سایشی سوپاپ‌ها و نشیمنگاه‌های آنها</li> <li>■ .....</li> </ul>	افزایش دمای محفظه احتراق
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ .....</li> <li>■ کاهش مصرف سوخت - افزایش بازده حرارتی</li> </ul>	بالا بودن عدد اکتان
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ لزوم بهبود روان کاری و مجموعه روغن کاری</li> </ul>	خشک بودن و عدم خاصیت روان کاری و خنک‌کنندگی گاز
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ نداشتن رسوبات کربن و طولانی شدن عمر شمع‌ها</li> </ul>	پایین بودن هیدروکربن نسوخته و کامل‌تر سوختن گاز

## استانداردهای آلاینده‌ی در وسایل نقلیه بنزینی و دیزلی

### استانداردهای آلاینده‌ی

سازمان حفاظت محیط‌زیست کشورهای جهان میزان یا نرخ خروجی آلاینده‌های گوناگون از اگزوز خودروها را برحسب گرم بر ثانیه (gr/sec) یا گرم بر کیلومتر پیموده شده (gr/km) و در شرایط موتور گرم و موتور سرد تعریف کرده‌اند. در بسیاری از موارد این استانداردها برای خودروهای گوناگون در شرایط «روی جک و در کارگاه» تعیین شده است. در اروپا میزان نرخ آلاینده خروجی از اگزوز یا (Emission Rate) و یا به‌طور خلاصه (Q)، در چهار حالت ایستا، آغاز حرکت (شتاب‌گیری)، در حرکت با سرعت ثابت و در توقف برای تأیید خودروهای جدید تعریف و تعیین شده است.

### استانداردهای آلاینده‌های اروپا

میزان حداکثر مجاز انتشار گازهای آلاینده خودروهایی نو را که در کشورهای اتحادیه اروپا فروخته می‌شوند، تعریف می‌کند. این استاندارد، انتشار نیتروژن اکسیدها (NO<sub>x</sub>)، هیدروکربن‌ها (THC)، هیدروکربن‌های بدون متان (NMHC)، کربن مونوکسید (CO) و ذرات معلق (PM) را در بردارد. برای گونه‌های مختلف خودرو استانداردهای گوناگونی در نظر گرفته می‌شود.

در جدول ۸ و ۹ استانداردهای آلاینده‌های خودروهایی سواری بنزینی و دیزلی آورده شده است. البته استاندارد آلاینده‌های تجاری و سنگین‌تر اندکی فرق دارد.

جدول ۸- استاندارد آلاینده‌های خودروهایی سواری بنزینی برحسب g/km

ردیف	تاریخ	CO	THC	NMHC	NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	PM
Euro ۱	ژوئیه ۱۹۹۲	۲/۷۲ (۳/۱۶)	-	-	-	۰/۹۷ (۱/۱۳)	-
Euro ۲	ژانویه ۱۹۹۶	۲/۲	-	-	-	۰/۵	-
Euro ۳	ژانویه ۲۰۰۰	۲/۳	۰/۲۰	-	۰/۱۵	-	-
Euro ۴	ژانویه ۲۰۰۵	۱/۰	۰/۱۰	-	۰/۰۸	-	-
Euro ۵	سپتامبر ۲۰۰۹	۱/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۶۸	۰/۰۶۰	-	۰/۰۰۵**
Euro ۶ (future)	سپتامبر ۲۰۱۴	۱/۰۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۶۸	۰/۰۶۰	-	۰/۰۰۵**

جدول ۹- استاندارد آلاینده‌های خودروهایی سواری دیزلی برحسب g/km

ردیف	تاریخ	CO	THC	NMHC	NO <sub>x</sub>	HC+NO <sub>x</sub>	PM
Euro ۱	ژوئیه ۱۹۹۲	۲/۷۲ (۳/۱۶)	-	-	-	۰/۹۷ (۱/۱۳)	۰/۱۴ (۰/۱۸)
Euro ۲	ژانویه ۱۹۹۶	۱/۰	-	-	-	۰/۷	۰/۰۸
Euro ۳	ژانویه ۲۰۰۰	۰/۶۴	-	-	۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۰۵
Euro ۴	ژانویه ۲۰۰۵	۰/۵۰	-	-	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۰۲۵
Euro ۵	سپتامبر ۲۰۰۹	۰/۵۰۰	-	-	۰/۱۸۰	۰/۲۳۰	۰/۰۰۵
Euro ۶ (future)	سپتامبر ۲۰۱۴	۰/۵۰۰	-	-	۰/۰۸۰	۰/۱۷۰	۰/۰۰۵

میزان کاهش آلاینده‌های CO، HC و NO<sub>x</sub> را در موتورهای بنزینی و دیزلی مربوط به قوانین استاندارد آلاینده‌های یورو ۱ تا یورو ۶ بررسی کنید.



### استاندارد آلاینده‌ها در ایران

جدول ۱۰ بیانگر حداکثر آلاینده‌های مجاز سوخت بنزین در مراکز معاینه فنی کشور برای خودروهای داخلی و خارجی در سال ۱۳۹۷ می‌باشد.

جدول ۱۰- حداکثر آلاینده‌های مجاز در ایران

نوع آلاینده‌ها	CO (%)	Fast CO (%)	HC (PPM)	O <sub>۲</sub> (%)	λ
حداکثر مقدار مجاز خودروهای انژکتوری با مدل ۱۳۸۴ و بالاتر از آن	۰/۷	۰/۶	۲۵۰	۳	۱±۰/۰۵
حداکثر مقدار مجاز خودروهای انژکتوری با عمر پایین‌تر از مدل ۱۳۸۳	۲	۱/۷	۲۵۰	۳	-
حداکثر مقدار مجاز خودروهای کاربراتوری	۴	-	۴۰۰	۳	-

Fast CO میزان آلاینده‌های کربن مونواکسید در دور موتور بالای ۲۵۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد.

توجه



کار کلاسی



با توجه به جدول ۱۰ به سؤالات زیر پاسخ دهید:

۱ در صورتی که میزان آلاینده‌های کربن مونواکسید (CO) و هیدروکربن (HC) یک خودرو بالاتر از حد مجاز باشد برای کاهش آلاینده‌ها و تعمیر آن، چه مواردی باید بررسی و یا اصلاح شود؟ به کمک هنرآموز جاهای خالی جدول را پر کنید.

تنظیم دلکو و بررسی سیستم جرقه‌زنی	.....	بررسی نشتی کمپرس و فشار تراکم
.....	بررسی عملکرد حسگر فشار	...
.....	.....	میزان و زمان پاشش انژکتورها
بررسی خطاهای ECU و برطرف کردن آن	بررسی روغن سوزی	.....

۲ در صورتی که میزان اکسیژن ( $O_2$ ) یک خودرو بالاتر از حد مجاز باشد برای رفع عیب، چه مواردی باید بررسی و اصلاح شوند؟ به کمک هنرآموز جدول را کامل کنید.

تنظیم نبودن یا کم بودن نسبت سوخت به هوا	...	نشستی هوا از واشر مانیفولد و دریچه گاز	....
---	-----	--	------

۱ میزان لاندا ( $\lambda$ ) نشان دهنده نسبت هوا به سوخت در موتور می باشد که باید در محدوده عدد یک و با تolerانس  $\pm 0.05 (1 \pm 0.05)$  باشد.

۲ بالاتر از حد مجاز بودن میزان لاندا ( $\lambda$ ) نشان دهنده هوای زیاد نسبت به سوخت می باشد. در این صورت مواردی که در جواب سؤال دو اشاره شد را برای رفع عیب مدنظر قرار دهید.

۳ پایین تر از حد مجاز بودن میزان لاندا ( $\lambda$ ) نشان دهنده سوخت زیاد نسبت به هوا می باشد. در این صورت مواردی که در جواب سؤال یک اشاره شد را برای رفع عیب مدنظر قرار دهید.

نکته ۱



با اعمال سیاست های سخت گیرانه در تعریف و تعیین استانداردها و به حداقل رساندن آلاینده های خودروها، غلظت و اندازه آلاینده های هابی که وارد هوا و محیط می شود کاهش می یابد؛ و سالم و پاک تر شدن هوا، سلامت بیشتر شهروندان را در پی دارد.

توجه



## مقایسه میزان آلاینده های بنزین و گازوئیل با سوخت های جایگزین

### بررسی آلاینده های سوخت اتانول و متانول ترکیب شده با بنزین

در این بخش به میزان آلاینده های برخی سوخت های جایگزین با سوخت بنزین و گازوئیل که توسط برخی محققین آزمایش و بررسی شده اند پرداخته می شود. جدول ۱۱ میزان آلاینده های بنزین خالص و ترکیب های ۱۰ و ۲۰ درصد سوخت متانول و اتانول با بنزین را در یک نوع خودرو در دور  $1000 \text{ RPM}$  و زیر بار نشان می دهد.

با توجه به شرایط آزمایش، نوع موتور، مقدار بار وارد شده و عوامل دیگر ممکن است میزان آلاینده های تفاوت کند.

توجه



جدول ۱۱- مقایسه آلاینده‌گی بین ترکیب‌های مختلف سوخت متانول و اتانول با بنزین

CO <sub>۲</sub> (%)	NO <sub>x</sub> (ppm)	HC (ppm)	CO (%)	نوع آلاینده‌گی نوع سوخت
۱۱/۴	۱۰۵۰	۲۲۰	۱/۹	بنزین خالص
۱۱/۷	۱۴۸۰	۲۰۰	۱/۵	اتانول ۱۰ درصد
۱۲/۲	۱۴۶۰	۱۸۵	۱/۴	متانول ۱۰ درصد
۱۲	۲۰۴۵	۱۸۲	۰/۹	اتانول ۳۰ درصد
۱۲/۴	۲۰۶۰	۱۸۰	۱	متانول ۳۰ درصد

■ **کربن مونواکسید:** نتایج آزمایش در جدول ۱۱ نشان می‌دهد با افزایش درصد اتانول و متانول ترکیب شده با بنزین، مقدار کربن مونواکسید نسبت به بنزین خالص کاهش می‌یابد. علت کاهش درصد کربن مونواکسید در سوخت‌های ترکیبی این است که اتانول<sup>۱</sup> و متانول<sup>۲</sup> در ساختار اتمی خود کربن کمتری نسبت به بنزین<sup>۳</sup> دارند. علت دیگر آن وجود اکسیژن در ساختار اتمی آنهاست که با افزایش درصد سوخت متانول و اتانول ترکیبی در بنزین باعث احتراق کامل‌تری می‌شود.

■ **نیترژن اکسید:** نتایج آزمایش‌ها در جدول ۱۱ نشان‌دهنده افزایش نیترژن دی‌اکسید در درصد‌های مختلف سوخت اتانول و متانول نسبت به بنزین است. علت موضوع بالا این است که در سوخت‌های اتانول و متانول دمای شعله و سرعت شعله افزایش می‌یابد، بنابراین میزان نیترژن دی‌اکسید افزایش می‌یابد.

■ **کربن دی‌اکسید:** نتایج آزمایش در جدول ۱۱ نشان می‌دهد که درصد کربن دی‌اکسید سوخت‌های اتانول و متانول با افزایش درصد ترکیبی آنها نسبت به بنزین خالص افزایش می‌یابد. بهبود احتراق و بودن اکسیژن در سوخت‌های ترکیبی باعث بالا رفتن میزان دی‌اکسید کربن می‌شود.

■ **هیدروکربن:** هیدروکربن نسوخته محصول احتراق ناقص و عدم تأمین هوای کافی برای سوخت است. جدول ۱۱ کم شدن میزان هیدروکربن نسوخته در سوخت‌های اتانول و متانول نسبت به بنزین را نشان می‌دهد. با افزایش درصد سوخت‌های اتانول و متانول در بنزین مقدار هیدروکربن نسوخته نیز کاهش یافته است. دلیل این موضوع وجود اکسیژن در ساختار شیمیایی سوخت‌های الکلی است و حتی سوخت متانول نسبت به اتانول اکسیژن بیشتری فراهم می‌کند.

۱- C<sub>۲</sub>H<sub>۵</sub>OH

۲- CH<sub>۳</sub>OH

۳- C<sub>۸</sub>H<sub>۱۸</sub>

## مقایسه آلاینده‌گی سوخت‌های بنزین، LPG، CNG و گازوئیل

جدول ۱۲- مقایسه آلاینده‌گی سوخت‌های بنزین، LPG، CNG و گازوئیل

	Gasoline	LPG	CNG	Diesel
CO (g/km)	۱/۱۲	۰/۹۱	۰/۴۵	۰/۶۷
HC (g/km)	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۱۴
NO <sub>x</sub> (g/km)	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۷۴
Particulates (g/km)	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۵	۰/۰۹۴

جدول ۱۲ میزان آلاینده‌گی کربن مونواکسید، هیدروکربن، اکسیدهای نیتروژن و ذرات معلق را در سوخت‌های بنزین، LPG، CNG و گازوئیل در یک موتور مشابه نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۱۲ به سؤالات زیر پاسخ دهید:

- ۱ به ترتیب کدام سوخت‌ها کمترین ذرات معلق (Particulates) را دارند؟ .....
- ۲ به ترتیب کدام سوخت‌ها کمترین کربن مونواکسید تولیدی را دارند؟ .....
- ۳ به ترتیب کدام سوخت‌ها کمترین هیدروکربن تولیدی را دارند؟ .....
- ۴ به ترتیب کدام سوخت‌ها کمترین نیتروژن دی‌اکسید تولیدی را دارند؟ .....

### بررسی آلاینده‌گی و توان موتور دیزل با ۱۰ درصد اتانول مخلوط شده با گازوئیل

تحقیقاتی در دانمارک بر روی یک دستگاه کامیون اسکانیا با ۱۰٪ اتانول ترکیب‌شده با گازوئیل نشان داد که ذرات معلق، کربن مونواکسید و اکسیدهای ازت (NO<sub>x</sub>) نسبت به گازوئیل معمولی به ترتیب ۳۱٪، ۲۹٪ و ۵٪ کاهش پیدا کرده است. مصرف سوخت حدود ۲/۲٪ افزایش یافته و حداکثر توان موتور تقریباً ۷٪ کاهش داشت.

## روش‌های کنترل میزان آلاینده‌گی در خودروهای بنزینی

### کنترل آلاینده‌گی

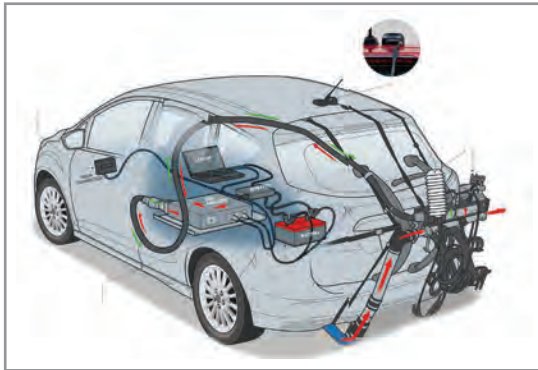
به دلیل تفاوت‌هایی که در خصوص هر یک از سوخت‌های بنزینی، گازی و گازوئیلی برشمرديم برای آزمایش موتورهای بنزینی، گازسوز و گازوئیلی دستگاه آنالیز پنج گاز (HC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> و O<sub>2</sub>) به کار می‌رود. در برخی مراکز، برای آزمایش موتور گازوئیلی از ابزار خاصی استفاده می‌شود که میزان کدري دود را اندازه‌گیری می‌کند.

کار در کلاس



بودمان چهارم: پدیده احتراق و سوخت‌های جایگزین

واحد اندازه‌گیری آلاینده‌گی دودهای خروجی برحسب  $\text{g/km}$ ، ppm، درصد و ... بیان می‌شود. اکثر دستگاه‌های آزمایش دود، حجم دود خروجی اگزوز را برحسب درصد و ppm می‌سنجند. در استاندارد اروپایی، خودروهای تولیدی را بر روی غلتک‌ها و زیر بار (بازرسی‌های جاده‌ای) آزمایش می‌کنند و واحد اندازه‌گیری میزان آلاینده‌گی خودروها برحسب  $\text{g/km}$  سنجیده می‌شود. در شکل ۸ نمونه‌ای از دستگاه‌های آزمایش آلاینده‌گی و روش کاربرد آنها نشان داده شده است.



شکل ۹- آزمایش آلاینده‌گی و بازرسی جاده‌ای برای تأیید اولیه خودرو



شکل ۸- نمونه آنالیزور پنج گاز

با مراجعه به اینترنت یا به کمک هنرآموز اثرات گازهای خروجی اگزوز را در جدول ۱۳ بنویسید.

کار کلاسی



### جدول ۱۳- اثرات گازهای خروجی اگزوز

اثرات گازهای خروجی اگزوز بر انسان و محیط	گازهای خروجی موتور
بدون اثر	اکسیژن ( $\text{O}_2$ )
...	کربن دی‌اکسید ( $\text{CO}_2$ )
...	کربن مونواکسید ( $\text{CO}$ )
در زمان احتراق تولید می‌شود و با وارد شدن در اتمسفر باعث تولید باران اسیدی می‌شود.	نیتروژن اکسیدها ( $\text{NO}_x$ )
...	هیدروکربن نسوخته (HC)
این ذرات معلق به سیستم تنفس بدن آسیب وارد می‌کند.	ذرات معلق (PM)

از روش‌های مهم کاهش و کنترل آلاینده‌های موتور می‌توان به موارد بیان‌شده در نمودار زیر اشاره کرد.



روش‌های مهم کاهش و کنترل آلاینده‌های موتور

### کنترل میزان آلاینده NOx

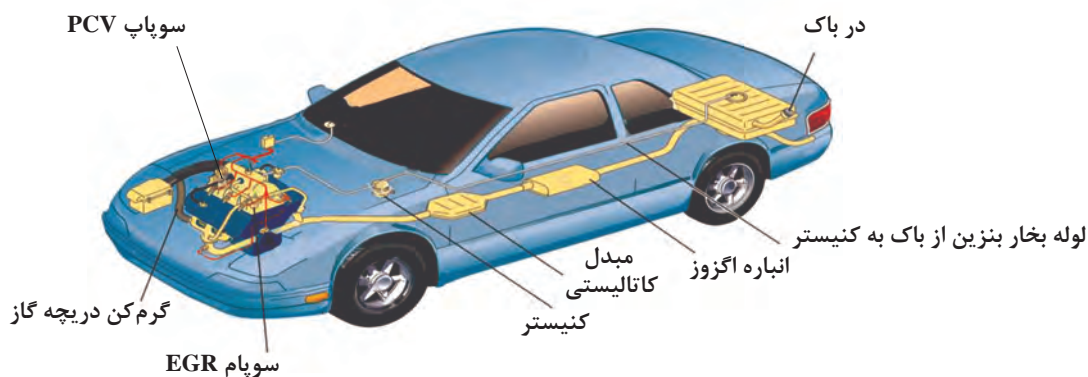
اقداماتی برای کنترل NOx در موتور خودروها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که هدف آنها کاهش دمای احتراق و در نتیجه کاهش NOx می‌باشد.

- تأخیر در زدن جرقه
- باز خورانی گازهای خروجی (EGR)
- استفاده از موتورهای احتراق تراکمی با مخلوط همگن (HCCI)
- پاشش بخار داغ آب به محفظه احتراق

**تأخیر در جرقه:** تأخیر در زمان جرقه‌زنی، NOx را کاهش می‌دهد، زیرا بخش زیادی از فرایند احتراق در حجم در حال انبساط رخ می‌دهد و این باعث کاهش فشار و دمای بیشینه می‌شود. البته این مسئله باعث کاهش بازده حرارتی نیز می‌شود.

**باز خورانی گازهای خروجی:** در این روش مقداری از گاز خروجی وارد مانیفولد ورودی می‌شود. گازهای خروجی به صورت یک رقیق‌کننده در مخلوط هوا و سوخت عمل کرده و دمای احتراق را کاهش می‌دهد. رقیق‌سازی مخلوط با استفاده از EGR باعث کاهش نرخ احتراق نیز خواهد شد؛ بنابراین برای نگه‌داشتن بازده حرارتی در حالت بهینه، جرقه زودتر زده می‌شود. نسبت EGR مورد نیاز، با بار وارد بر موتور و تا حدی با رقیق شدن مخلوط افزایش می‌یابد. محدوده نسبت بازگردانی گازهای خروجی، حدود ۱۵٪ تا ۲۰٪ نرخ جریان سوخت و هواست.

در شکل ۱۰ بخشی از سیستم‌های کنترل آلاینده‌گی در یک خودرو بیان شده است.



شکل ۱۰- روش‌های کنترل آلاینده‌گی خودرو





- دستگاه‌های پس‌پالایش در سیستم‌های اگزوز
- سیستم‌های به‌کار رفته در شکل ۱۰
- موتورهای با فناوری پیشرفته
- موتورهای احتراق تراکمی با مخلوط همگن (HCCI)

## آزمون

- ۱ چند مورد از سوخت‌های جایگزین مورد استفاده در خودروها را بنویسید. کدام یک از آنها کمترین آلاینده‌گی ممکن را دارند؟
- ۲ روش‌های استفاده از گاز طبیعی در موتورهای دیزلی را بنویسید.
- ۳ روش‌های مهم کاهش و کنترل آلاینده‌های موتور را بنویسید.
- ۴ برای کاهش آلاینده‌گی CO، HC و NO<sub>x</sub> در موتور خودرو چه مواردی را باید رعایت کرد؟

پودمان چهارم : پدیده احتراق و تأثیر انواع سوخت‌های جایگزین بر آن

شاخص	نمره شایستگی	استاندارد عملکرد	شایستگی
<p>معیار: یکی از شاخص‌های زیر را علاوه بر شاخص‌های مراحل ۲ انجام دهد.</p> <p>میزان مصرف و مقدار آلاینده‌گی دو نوع سوخت را در یک خودروی دوگانه‌سوز بررسی و با نتایج واقعی مقایسه کند.</p>	۳	<p>انواع سوخت‌های جایگزین بنزین و گازوئیل و تأثیر آنها در فرایند احتراق و میزان آلاینده‌گی را بشناسد.</p>	<p>بررسی پدیده احتراق در موتور خودرو</p>
<p>معیار: تمام موارد زیر را انجام دهد.</p> <p>احتراق کامل و ناقص انواع سوخت را بیان کرده و میزان آلاینده‌گی آنها را مقایسه کند.</p> <p>میزان مصرف انواع سوخت را با یکدیگر مقایسه کند.</p> <p>اکسیژن مورد نیاز سوخت‌های مختلف را با هم مقایسه کند.</p>	۲		<p>بررسی تأثیر نوع سوخت و پدیده احتراق در آلاینده‌گی موتور خودروها</p>
<p>معیار: حتی یک مرحله از مراحل شایستگی ۲ را انجام ندهد.</p>	۱		