



شرکت ملی نفت ایران  
شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

---

سوخت‌های جایگزین

---



## قسمت اول

مصرف گسترده و کلان انرژی حاصل از سوخت های فسیلی اگرچه رشد سریع اقتصادی جوامع پیشرفته صنعتی را به همراه داشته است، اما به واسطه انتشار مواد آلاینده حاصل از احتراق و افزایش دی اکسید کربن در جو و پیامدهای آن، جهان را با تغییرات فزاینده ای رو به رو کرده است که افزایش دمای زمین، تغییرات آب و هوایی، بالا آمدن سطح آب دریاها و تشدید منازعات بین المللی از جمله این پیامدهاست. از سوی دیگر، پایان زود هنگام منابع فسیلی و پیش بینی افزایش قیمت ها، لزوم جانشینی انرژی های فسیلی با انرژی های تجدید پذیر و اهمیت آن را آشکارتر می کند.

امروزه بیشتر کشورها در بخش انرژی، نیاز و تقاضای خود را به سوی استفاده از انرژی های تجدید پذیر سوق می دهند، زیرا معضلاتی نظیر آلاینده تر بودن سوخت های فسیلی (که سبب برهم خوردن شرایط اکولوژیک و سایر خطرات زیست محیطی می گردند)، همچنین محدود بودن ذخایر این سوخت ها، سبب شده است تا به این نوع انرژی ها بیش از پیش توجه شود.

### ۱- اتانول :

#### خواص سوخت

اتانول یا الکل اتیلیک با ترکیب شیمیایی  $C_2H_5OH$  مایعی روشن ، بی رنگ و با بوی قابل تحمل است . در حال حاضر این ماده بصورت تقریباً خالص و یا مخلوط آن با بنزین بعنوان سوخت مورد استفاده قرار می گیرد. این ماده با عدد اکتان ۱۱۳ سوختی مرغوب محسوب شده و بعنوان یک ترکیب اکسیژن دار با اضافه شدن به بنزین می تواند عدد اکتان را افزایش داده و انتشار آلاینده هایی نظیر CO را کاهش دهد. اتانول می تواند در موتورهای جدید بنزین سوز ، بدون هیچ تغییری در سیستم موتور از ۳ تا ۲۴ درصد در اختلاط با بنزین مصرف شود ، اما استفاده از این ماده با درصدهای بالاتر نیازمند استفاده از موتورهای اختصاصی و یا دو منظوره است.

امروزه استفاده از ترکیب ۱۰٪ اتانول و ۹۰٪ بنزین در بسیاری از کشورهای تولید کننده این فراورده رایج می باشد که به نام سوخت E10 معروف گردیده است . در برزیل ، این ترکیب شامل ۲۲ تا ۲۴ درصد

اتانول است. اتانول به شکل تقریباً خالص نیز بعنوان جایگزین بنزین مصرف می شود. مخلوطی از ۸۵٪ اتانول و ۱۵٪ بنزین و یا ۹۵٪ اتانول و ۵٪ بنزین به عنوان سوخت های جایگزین مورد استفاده قرار می گیرند. افزودن مقدار کمی بنزین به اتانول، از خوردگی قسمتهای مختلف موتور جلوگیری نموده و به احتراق در هوای سرد کمک می کند.

مدیریت بهینه سازی انرژی در بخش حمل و نقل	<b>سوخت‌های جایگزین</b>	 شرکت بهینه سازی مصرف سوخت
--	-------------------------	--

مقایسه خواص اتانول سوختی با بنزین در جدول ذیل ملاحظه می‌گردد.

بنزین	اتانول	
۰	۳۴/۸	درصد وزنی اکسیژن
۳۵-۲۱۰	۷۸	نقطه جوش (°C)
۴۲/۷	۲۶/۸	ارزش حرارتی خالص (MJ/kg)
۰/۱۸	۰/۹۳	حرارت حاصل از تبخیر (MJ/kg)
۱۴/۷ : ۱	۹:۱	نسبت استوکیومتری هوا/سوخت
۸۲	۹۶	عدد اکتان موتور (MON)

### ارزش حرارتی

۷۶۳۳۰ Btu/gal for E100	ارزش حرارتی پایین
۸۴۵۳۰ Btu/gal for E100	ارزش حرارتی بالا
محتوای انرژی E100 معادل ۶۶٪ و محتوای انرژی E85 معادل ۷۲ تا ۷۷٪ انرژی gal ۱ بنزین می باشد	محتوای انرژی (درصد از محتوای انرژی بنزین)

### نحوه تولید

اتانول از زمانهای قدیم توسط تخمیرشکر تهیه می شده است . در حال حاضر حدود ۹۱ درصد تولید اتانول از طریق تخمیر منابع کربنی (فرمانتاسیون) و ۹ درصد به روشهای سنتزی تولید می شود . از جمله منابع کربنی متعددی که در کشورهای مختلف یافت می شود می توان به نیشکر ، چغندر قند، ملاس، ذرت ، گندم و دیگر ترکیبات نشاسته دار و کلیه ترکیبات لیگنوسلولزی مانند ضایعات چوب ، ضایعات کشاورزی ، کاغذ زباله و حتی خود زباله اشاره نمود.

### انتقال و توزیع

برای توزیع سوخت‌های حاوی اتانول تا ۲۴ درصد از تجهیزات توزیع بنزین استفاده می شود . سیستم های توزیع سوخت E85 شباهت بسیاری با سیستم های توزیع بنزین دارند فقط در آنها تمام قسمت های فلزی از فولاد معمولی ، آهن سیاه یا برنز تهیه شده و از فلزات ضعیفی نظیر روی ، سرب ، برنج و آلومینیوم در تهیه



قطعات مربوط به آنها استفاده نمی شود مضاف بر اینکه بعلت حلالیت بالای اتانول قطعات پلاستیکی مورد استفاده نیز باید از جنس پلیمرهای مقاوم تر ساخته شوند. انتقال اتانول از طریق تانکر ، خطوط راه آهن یا بوسیله کشتی از روش های رایج انتقال این فراورده می باشد. هر چند که انتقال فراورده ها از طریق خطوط لوله از متداول ترین و باصرفه ترین روش ها می باشد لیکن از انتقال اتانول با این روش تا حد ممکن اجتناب می گردد، زیرا بدلیل حلالیت بسیار زیاد اتانول در آب انتقال این فراورده در لوله موجب می گردد که هر مقدار آبی که به درون لوله ها نفوذ می کند وارد جریان سوخت شود. علاوه بر این هزینه حفاظت از لوله ها در مقابل نفوذ آب نیز افزایش می یابد. همچنین بدلیل حلالیت بسیار بالای اتانول همواره اولین محموله های حمل شده در خطوط لوله حاوی مقدار بسیار زیادی از الاینده ها خواهد بود که توسط فراورده های دیگر حل نشده و در سیستم باقیمانده اند.

### میزان مصرف انرژی در طول چرخه سوخت

چاه تا چرخ		خودرو		توزیع سوخت		تولید سوخت		حمل ماده خام		تولید ماده خام		سوخت
HDV	LDV	HDV	LDV	نسبت به بنزین	MJ/GJ	نسبت به بنزین	MJ/GJ	نسبت به بنزین	MJ/GJ	نسبت به بنزین	MJ/GJ	واحد
۲۸۳ تا ۲۲۴	۲۶۹ تا ۱۷۶	۱۰۵ تا ۹۸	۱۰۳ تا ۸۵	۴۰۰ تا ۶۷	۱۰ تا ۸	۱۳۹۳ تا ۹۱۷	۱۸۸۰ تا ۱۰۶۰	۴۲۹ تا ۲۱۴	*۳۰ تا ۱۵	۶۰۰ تا ۱۸۰	۱۸۰ تا ۵۴	سلولز
۲۰۷ تا ۱۴۳	۱۵۱ تا ۱۱۷	۱۰۵ تا ۹۸	۱۰۳ تا ۸۵	۴۰۰ تا ۶۷	۱۰ تا ۸	۸۰۹ تا ۳۱۷	۸۷۰ تا ۳۰۵	۴۲۹ تا ۱۸۳	**۱۵	۱۲۰۰ تا ۴۳۴	۳۶۰ تا ۲۷۱	قند و نشاسته

\* حمل چوب به مسافت ۵۰ کیلومتر

xx حمل گندم به مسافت ۲۶۰ کیلومتر

### استانداردهای مرتبط

اتانول سوختی به شکل درصد های مختلف ترکیب با بنزین باید قادر به رعایت استانداردهای ASTM D 4806 و ASTM D 5798 باشد .



جدول ذیل پاره ای از شرایط استانداردهای مذکور را نشان می دهد:

روش تست	نوع سوخت			مشخصه
N/A	۳	۲	۱	کلاس تبخیر بر اساس استاندارد ASTM
ASTM D5501	۷۰	۷۴	۷۹	اتانول و سایر الکل ها ( حداقل درصد حجمی)
ASTM D4815	۱۷-۳۰	۱۷-۲۶	۱۷-۲۱	هیدروکربن ها (شامل هیدروکربن های مصنوعی)(درصد حجمی)
ASTM D4953, D5190, D5191	۹/۵-۱۲	۷/۰-۹/۵	۵/۵-۸/۵	فشار بخار در $37.8^{\circ}\text{C}$ (psi)
ASTM D5059	۳/۹	۲/۶	۲/۶	حداکثر میزان سرب (mg/l)
ASTM D3231	۰/۴	۰/۳	۰/۳	حداکثر میزان فسفر (mg/l)
ASTM D3120, D1266, D2622	۳۰۰	۲۶۰	۲۱۰	حداکثر میزان گوگرد (mg/kg)
-----	N/A	۰/۵	-----	حداکثر میزان متانول (درصد حجمی)
N/A	-----	۲	-----	الکل های آلیفاتیک سنگین تر C3-C8 (حداکثر درصد حجمی)
ASTM E230	-----	۱/۰	-----	آب (حداکثر درصد وزنی)
ASTM D1613	-----	۵۰	-----	حداکثر اسیدیته بشکل اسید استیک (mg/kg)
ASTM D512, D7988	-----	۱	-----	حداکثر کلراید غیر آلی (mg/kg)
ASTM D4929	-----	۲	-----	حداکثر کل کلر بشکل کلراید ها (mg/kg)
ASTM D381	-----	۲۰	-----	حداکثر رسوبات (شسته نشده) (mg/100ml)
ASTM D381	-----	۵/۰	-----	حداکثر رسوبات (شسته شده با حلال) (mg/100ml)
ASTM D1688	-----	۰/۰۷	-----	حداکثر مس (mg/100ml)
شکل ظاهری در دمای محیط یا دمای $21^{\circ}\text{C}$ سنجیده می شود (هر کدام که بالاتر باشد)	-----	محصول باید شفاف ، روشن و عاری از هر گونه ذرات معلق یا ته نشین شده باشد	-----	شکل ظاهری

## ۲- بیودیزل :

### خواص سوخت

بیودیزل عبارت است از استرهای منوالکیل اسیدهای چرب با زنجیر طویل که از منابع طبیعی تجدید پذیر مانند روغنهای گیاهی و چربیهای حیوانی (مانند سویا ، بادام زمینی ، پنبه دانه ، گل آفتاب گردان و کنولا ) گونه ای از دانه شلغم روغنی ) و چربیهای حیوانی و روغن مصرف شده در آشپزی ( که به عنوان شبیه گریس شناخته می شود ) تهیه می شود. این ترکیب سمی نبوده ، در محیط زیست تجزیه پذیر بوده و خواص فیزیکی مشابه سوخت گازوئیل دارد :

## مشخصات فیزیکی سوخت بیودیزل

۰/۸۷ تا ۰/۸۹	وزن مخصوص
۵/۸ تا ۳/۷	ویسکوزیته کینماتیکی در ۴۰°C
۷۰ تا ۴۶	عدد ستان
۰/۰ تا ۰/۰۲۴	میزان گوگرد wt%
۱۱- تا ۱۶	نقطه ابری شدن
۱۳ تا ۱۵	نقطه ریزش

مشابه گازوئیل ، بیودیزل نیز سوختی است که در موتورهای دیزلی بکار گرفته می شود. ترکیب بیودیزل با گازوئیل در درصدهای مختلف نیز می تواند موجب مزایایی نظیر کاهش واردات گازوئیل و کاهش انتشار آلاینده ها گردد.

مخلوطهایی تا ۲۰٪ بیودیزل و مابقی گازوئیل (B2 , B5 & B20) به راحتی می توانند در تجهیزات مربوط به سوخت دیزل مورد استفاده قرار بگیرند. مخلوطهایی با نسبتهای بالاتر بیودیزل تا صد درصد بیودیزل خالص در موتورهای ساخته شده از سال ۱۹۹۴ به بعد ، با اندک تغییرات و یا حتی بدون نیاز به آنها ، می توانند مورد استفاده قرار بگیرند.

مهمترین تفاوت اساسی در ترکیبات بیودیزل و دیزل ، محتوای اکسیژن می باشد. میزان اکسیژن موجود در دیزل صفر است در حالیکه بیودیزل حاوی ۱۲-۱۰ درصد وزنی اکسیژن می باشد که باعث کاهش دانسیته انرژی و انتشار ذرات معلق می گردد. بعلاوه بیودیزل عاری از گوگرد می باشد. در حالیکه در دیزل گوگرد وجود دارد که در سیستم اگزوز موتور به اکسیدهای گوگرد و سپس بخشی از آن به اسید سولفوریک تبدیل می گردد. این اسید خود منجر به تولیدات ریز می شود. گازوئیل معمولاً ۴۰-۲۰ درصد حجمی آروماتیک دارد که باعث افزایش انتشار آلاینده هایی نظیر Nox و ذرات معلق می گردد. بیودیزل اساساً عاری از آروماتیکها می باشد. در گازوئیل هیچ پیوند دوگانه ( الفینی ) وجود ندارد در حالیکه در بیودیزل بواسطه حضور قابل ملاحظه محلهای غیر اشباع پایداری در مقابل اکسیداسیون کم می باشد.

مدیریت بهینه سازی انرژی در بخش حمل و نقل	<b>سوخت‌های جایگزین</b>	 شرکت بهینه سازی مصرف سوخت
--	-------------------------	--

## ارزش حرارتی

۱۱۹۵۵۰ Btu/gal for B100	ارزش حرارتی پایین
۱۲۷۹۶۰ Btu/gal for B100	ارزش حرارتی بالا
محتوای انرژی B100 معادل ۱۰۳٪ بنزین و ۹۷٪ گازوئیل بوده و محتوای انرژی B20 معادل ۱۰۹٪ بنزین و ۹۹٪ گازوئیل می باشد.	محتوای انرژی (درصد از محتوای انرژی بنزین)

## نحوه تولید

برای تهیه بیودیزل، از روغنهای گیاهی و چربیهای حیوانی استفاده می شود. چربیها و روغنها با الکی نظیر متانول واکنش کرده و ترکیبات شیمیایی به نام استرهای متیل اسید چرب را به وجود می آورند. گلسیرول، که در صنایع بهداشتی و آرایشی کاربرد دارد، نیز به عنوان محصول فرعی تولید می شود.

بیودیزل را می توان توسط تکنولوژیهای مختلف استریفیکاسیون تولید نمود. در این تکنولوژیها، چربیها و روغن فیلتر شده و جهت جداسازی آب و آلودگیها فرآورش می گردند. در صورتیکه اسیدهای چرب آزاد موجود باشند، می توان آنها را جدا نموده و یا با استفاده از تکنولوژیهای Pretreatment به بیودیزل تبدیل نمود. این روغنها و چربیها سپس با الکی نظیر متانول و کاتالیست (معمولاً هیدروکسید پتاسیم یا سدیم) مخلوط می گردد. مولکولهای روغن (تری گلسیریدها) سپس شکسته شده و به استرها و گلسیرول تفکیک شده و نهایتاً عمل خالص سازی انجام می پذیرد.

## انتقال و توزیع

سوخت بیودیزل به شکل خالص (B100) یا ترکیب های مختلف آن با گازوئیل مستقیماً توسط تانکرها و کامیون ها به جایگاههای عرضه کننده منتقل می گردد. انتقال این سوخت از طریق خط لوله (که اقتصادی ترین گزینه در حمل و نقل آن می باشد) در حال حاضر در دست بررسی است. جهت توزیع این سوخت در جایگاهها، از پمپ های گازوئیل استفاده می شود.

## هزینه در طول چرخه سوخت

سوخت واحد	تولید ماده خام		حمل ماده خام		تولید سوخت		توزیع سوخت		خودرو		چاه تا چرخ	
	MJ/GJ	نسبت به بنزین	MJ/GJ	نسبت به بنزین	MJ/GJ	نسبت به بنزین	MJ/GJ	نسبت به بنزین	LDV	HDV	LDV	HDV
بیودیزل	۴۱۵ تا ۳۰۰	۱۰۰۰ تا ۶۶۵	۲۰ تا ۱۰	۲۸۶ تا ۱۲۲	۴۷۰ تا ۸۹	۴۰۶ تا ۹۲	۱۰ تا ۵	۲۵۰ تا ۶۷	۹۶ تا ۷۸	۱۰۵ تا ۹۵	۱۱۶ تا ۱۰۰	۱۳۸ تا ۱۱۹



### استانداردهای مرتبط

ترکیب های مختلف بیودیزل با گازوئیل ( تا کمتر از ۲۰٪) مشمول استانداردهای گازوئیل می گردد . در مورد بیو دیزل خالص (سوخت B100)، جهت اجتناب از آسیب دیدگی موتورهای دیزل ، این سوخت باید محدودیت های تعیین شده در استاندارد ASTM D6751-07a را رعایت نماید . خلاصه ای از این محدودیت ها در جدول ذیل مشخص گردیده است :

مشخصه	روش آزمون	محدوده	واحد
نقطه اشتعال	D93	130 min	°C
آب و ذرات جامد	D2709	0.050 max	% Volume
ویسکوزیته کینماتیکی	D445	1.9-6	mm <sup>2</sup> /s
خاکستر سولفاته	D874	0.020 max	% mass
گوگرد	D5453	0.05 max	% mass
خوردگی نوار مس	D130	No.3 max	
عدد ستان	D613	47 min	
نقطه ابری شدن	D2500	To be reported	°C
باقیمانده کربن	D4530	0.050 max	% mass
عدد اسیدی	D664	0.80 max	Mg KOH/g
گلیسرین آزاد	D6584	0.020	% mass
کل گلیسرین	D6584	0.240	% mass
مقدار فسفر	D4951	0.001max	% mass
دمای تبخیر ۹۰٪	D1160	360 max	°C