



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۳، صفحه ۵۷ تا ۶۵  
Vol. 46, No. 1, Summer 2014, pp. 57- 65



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی مکانیک)  
Amirkabir Journal of Science & Research (Mechanical Engineering)  
(AJSR - ME)

## تأثیر افزودنی‌های سوختی بر فراریت بنزین

سهیل بابازاده شایان<sup>۱</sup>، سید مرتضی سیدپور<sup>۲</sup>، فتح اله امی<sup>۳\*</sup>

- ۱- کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس  
۲- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران  
۳- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت ۱۳۹۰/۴/۲، پذیرش ۱۳۹۱/۲/۳)

### چکیده

افزودنی‌های اکسیژن‌دار برای اهدافی مانند افزایش عدد اکتان، بهبود عوامل عملکردی موتور و کاهش آلاینده‌های خروجی، به بنزین پایه افزوده می‌شوند. در ایران از متیل ترشیاری بوتیل اتر به عنوان افزودنی بنزین پایه استفاده شده که بدلیل آثار مخرب زیست محیطی، کشور ما نیز مانند دیگر کشورهای پیشرفته، باید به دنبال جایگزینی برای این افزودنی باشد. ترکیب بنزین پایه و افزودنی‌های سوختی بیش تر شامل محدودیت‌هایی از قبیل افزایش میزان فراریت، فشاربخار بنزین و کاهش ارزش حرارتی سوخت حاصله است. در این تحقیق اتانول، ترشیاری بوتیل الکل و متیل ترشیاری بوتیل اتر در نسبت‌های حجمی ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ با بنزین پایه پالایشگاه تهران ترکیب شده و رفتار فراریت سوخت حاصله بر اساس استانداردهای ASTM مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر آن است که در صورت استفاده از اتانول به عنوان افزودنی سوختی، باید تغییراتی در فرمول بنزین پایه انجام شود که خود اثر نامطلوبی بر مشخصه‌های دیگر سوخت از جمله عدد اکتان دارد، حال آنکه افزودن ترشیاری بوتیل الکل به بنزین، فشار بخار بنزین را به میزان ناچیزی افزایش داده و نیازی به جایگزینی ترکیبات سبک بنزین پایه با ترکیبات سنگین تر برای کاهش فشار بخار بنزین ندارد.

### کلمات کلیدی

بنزین، افزودنی اکسیژن‌دار، متیل ترشیاری بوتیل اتر، اتانول، ترشیاری بوتیل الکل، فشار بخار.

\* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: fommi@modares.ac.ir

## ۱- مقدمه

می‌نمایند. زیرا در این حالت سوخت‌ها دارای چابکی کافی نبوده و موتور با شتاب مناسب گرم نمی‌شود. در مقابل سوخت‌هایی که بیش از حد تبخیر می‌شوند، به دلیل تبخیر بالا سبب غنی شدن مخلوط شده و سبب ایجاد قفل گازی یا قفل بخار می‌شوند [۱۳]. با تغییر خواص فراریت سوخت، از راه افزودن افزودنی‌ها می‌توان بر این مشکلات فائق آمد. از سویی دیگر افزایش افزودنی‌ها به ترکیب بنزین، موجب افزایش فشار بخار از مقدار تعیین شده خواهد شد و آثار نامطلوبی بر اختلاط اجزاء پالایشگاهی تشکیل‌دهنده بنزین بر جای می‌گذارد. بدلیل افزایش فشار بخار بنزین از حد مجاز، به ناچار اجزاء سبک که فشار بخار بالایی دارند، از فرمولاسیون بنزین حذف شده و اجزاء سنگین جایگزین آنها می‌شوند.

در سال‌های اخیر محققان، پژوهش‌های گسترده‌ای را بر روی مشخصه‌های فراریت سوخت انجام دادند. بارکر و همکارانش شاخص چابکی سوخت را که بر اساس دمایی که در آن ۱۰٪، ۵۰٪ و ۹۰٪ از سوخت تبخیر می‌شود، تدوین نمودند [۱۴]. سیلوا و همکارانش بیان نمودند که افزودن اتانول و متیل ترشیاری بوتیل اتر به بنزین، سبب افزایش فشار بخار شود. همچنین در تحقیقات آنها مشخص شد که افزودن اتانول سبب تغییر بارزی در نمودار تقطیر می‌شود [۱۵]. در تحقیقات منزس و همکارانش مشخص شد که افزودن آروتروپ<sup>۵</sup> به بنزین پایه، هیچگونه تغییری در نمودار تقطیر ایجاد نمی‌نماید و نمودار بدست آمده مشابه نمودار بنزین پایه خواهد بود. همچنین این گروه بیان نمود که کم‌ترین میزان فشار بخار در ترکیب بنزین پایه با اتانول، اتیل ترشیاری بوتیل اتر<sup>۶</sup> و آروتروپ مربوط به اتیل ترشیاری بوتیل اتر است [۱۶]. تاکشیتا و همکارانش افزودن حلال‌ها بر دو نوع بنزین پایه برزیل را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی مشخص شد که افزودن اتانول سبب کاهش دمای تقطیر بنزین می‌شود [۱۷].

در این مقاله، اثر افزودن اتانول، ترشیاری بوتیل الکل و متیل ترشیاری بوتیل اتر بر مشخصه‌های فراریت سوخت در درصد‌های حجمی ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مورد بررسی قرار گرفته و نمودارهای فشار بخار رید و تقطیر ارائه شده‌اند.

## ۲- مواد مورد استفاده و روش‌های آزمایش

برای انجام آزمایش‌های موردنظر بر خواص فراریت بنزین، بنزین پایه از پالایشگاه تندگویان تهران و افزودنی‌های متیل ترشیاری بوتیل اتر، ترشیاری بوتیل الکل و اتانول، از شرکت مرک آلمان با درجه خلوص بالاتر از ۹۹٪ تهیه شدند. سپس افزودنی‌های گفته شده در نسبت‌های حجمی ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ با بنزین پایه ترکیب شده و مشخصه‌های فراریت

در دهه‌های اخیر با پیشرفت جوامع بشری و نیاز روز افزودن به سوخت‌های فسیلی، اثرات مخرب این سوخت‌ها در پدیده‌های زیست محیطی بیش از پیش مشخص شده است. امروزه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از مهم‌ترین سیاست‌های انرژی در سراسر جهان است. دلیل عمده علاقه محققان به انرژی‌های تجدیدپذیر، کاهش گازهای گلخانه‌ای است که توسط سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود [۱]. علاوه بر انرژی‌های تجدیدپذیر، استفاده از سوخت‌های جایگزین برای بهبود کیفیت سوخت‌های موجود از راه افزایش افزودنی‌ها، بسیار مورد توجه است. به همین دلیل سازمان‌های جهانی، قوانین بسیار محکمی را در این زمینه وضع نموده‌اند [۲]. از جمله این سوخت‌های جایگزین می‌توان به هیدروژن، گاز طبیعی، سوخت‌های بایو و سوخت‌های حاوی افزودنی‌های اکسیژن‌دار به عنوان انتخاب‌هایی در سامانه حمل و نقل اشاره نمود. اولین افزودنی اکسیژن‌داری که به طور عمده در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار گرفت، متیل ترشیاری بوتیل اتر<sup>۱</sup> بود که به دلیل نفوذ در منابع آب زیرزمینی و انحلال‌پذیری بالای این ماده در آب، سبب سمی شدن این منابع شد. از این‌رو امروزه در بسیاری از کشورها استفاده از این ماده به عنوان افزودنی ممنوع شده است [۱۱-۳]. در کنار این افزودنی می‌توان به اتانول و ترشیاری بوتیل الکل<sup>۲</sup> به عنوان جایگزین اشاره نمود. هر یک از این افزودنی‌ها سبب تغییر در ویژگی‌های سوخت می‌شوند. ویژگی‌های سوخت که در شرکت‌های تولید کننده و پالایشگاه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد بسیار متنوع بوده و بیش از دهها ویژگی سوخت همواره مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعدادی از ویژگی‌های سوختی محدودیت‌هایی را برای تولیدکنندگان بنزین ایجاد می‌نمایند و به همین دلیل همه ویژگی‌های سوخت موردنظر باید در محدوده استانداردهای تعیین شده باشند. یکی از ویژگی‌هایی که در این زمینه بسیار اهمیت دارد، فراریت سوخت است. فراریت یک سوخت را می‌توان توسط فشار بخار رید<sup>۳</sup> و تفسیر منحنی تقطیر آن بیان نمود. این دو مشخصه به-خصوص زمانی که الکل‌ها به بنزین افزوده می‌شوند، از نظر تاثیر بر چابکی سوخت<sup>۴</sup> اهمیت دارند. برای آشکار نمودن اهمیت فشار بخار سوخت می‌توان به تعیین محدوده مجاز برای فشار بخار در فصول مختلف در کشورهای مختلف اشاره نمود. به عنوان مثال در بعضی از ایالات کشور آمریکا در صورت افزودن اتانول به بنزین، اجازه داده می‌شود فشاربخار مخلوط تا یک واحد از بنزین پایه بیشتر باشد [۱۲]. در ایران محدوده فشار بخار بنزین برای فصول گرم سال در حدود ۸ Psi، فصول معتدل ۹ Psi و در فصول سرد سال ۱۰ Psi است. سوخت‌هایی که به راحتی تبخیر نمی‌شوند، روشن شدن موتور را در هوای سرد با مشکل مواجه

دمای جوش مشخصی دارند. از این رو بنزین در یک محدوده دمایی می‌جوشد و تمایل آن برای تبخیر به صورت دمایی که در آن درصد مشخصی از سوخت تبخیر شده است، شناخته می‌شود. منحنی که بیانگر درصد تبخیر بر اساس دما است، به عنوان منحنی تقطیر شناخته می‌شود. برای اندازه‌گیری خواص تقطیر از دستگاه آزمایش تقطیر مدل AD-6 شرکت تاناکا<sup>۷</sup> که بر پایه استاندارد ASTM D86 انجمن آزمون و مواد آمریکا (ASTM) طراحی شده، استفاده شده است. مبنای کار دستگاه گفته شده تعیین فراریت سوخت بر مبنای نقطه جوش هیدروکربن‌های موجود در بنزین است [۱۸]. دقت اندازه‌گیری این دستگاه  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  است. در این استاندارد به سوخت گرما داده شده و هیدروکربن‌های با فراریت بالاتر سریع‌تر تبخیر می‌شوند.

## ۲-۲- روش اندازه‌گیری فشار بخار رید

متداول‌ترین روش اندازه‌گیری فشار بخار سوخت، استفاده از استاندارد ASTM D323 انجمن آزمون و مواد آمریکا بوده که در آن فشار بخار سوخت در دمای  $37/8$  سانتی‌گراد اندازه‌گیری می‌شود [۱۹].

استاندارد دیگری که برای اندازه‌گیری فشار بخار سوخت شامل افزودنی‌های اکسیژن‌دار طراحی شده است، استاندارد ASTM D4953 است که در آن نمونه‌ای از سوخت موردنظر در یک محفظه بسته با دمای ثابت قرار داده شده و فشار بخار آنها اندازه‌گیری می‌شود [۲۰]. اندازه‌گیری فشاربخار رید توسط دستگاه آزمایش فشار بخار مدل AVP-30D شرکت تاناکا<sup>۸</sup> که بر پایه استاندارد ASTM D323 انجمن آزمون و مواد آمریکا استوار است، انجام شده است. دقت اندازه‌گیری این دستگاه  $\pm 0.1$  Psi است. در این دستگاه فشار نمونه‌ای از سوخت در دمای  $37/8^\circ\text{C}$  اندازه‌گیری می‌شود.

## ۲-۳- روش اندازه‌گیری نسبت جرمی بخار به مایع

در این روش دمایی از سوخت که در آن نسبت بخار به مایع برابر با ۲۰ است، بعنوان خاصیتی از سوخت نامبرده می‌شود. این روش بر پایه استاندارد ASTM D5188 انجمن آزمون و مواد آمریکا استوار است [۲۱].

## ۲-۴- روش اندازه‌گیری شاخص چابکی

فرآیند آغاز، گرمایش و کارکرد موتور مربوط به نقاط خاصی از منحنی تقطیر است که با شاخص چابکی موتور مشخص می‌شود [۱۳، ۲۲، ۲۳].

شاخص چابکی از فرمول (۱) محاسبه می‌شود:

$$\text{Driveability Index} = 1/5(T_{10}) + 3(T_{50}) \quad (1)$$

سوخت با توجه به استانداردهای انجمن آزمون و مواد آمریکا (ASTM) اندازه‌گیری شد. جداول (۱) و (۲) به ترتیب نمایانگر خواص فیزیکی و شیمیایی بنزین پایه و افزودنی‌های سوختی مورد استفاده است.

جدول (۱): خواص فیزیکی و شیمیایی بنزین پایه مورد استفاده

استاندارد ASTM مورد استفاده	مقدار	خاصیت شیمیایی
D 4052	0.7682	چگالی ( $16^\circ\text{C}; \text{g}/\text{cm}^3$ )
D 4809	43313	ارزش حرارتی (kJ/kg)
D 323	59/2	فشاربخار رید ( $37/8^\circ\text{C}; \text{kPa}$ )
D 4294	0.067	درصد وزنی گوگرد
D 2700	81/6	عدد اکتان موتوری (MON)
D 2699	85/3	عدد اکتان تحقیقاتی (RON)
-	83/45	عدد ضدکوبش (MON+RON)/2
-	0	اکسیژن موجود در سوخت
D 86	-	دمای تقطیر ( $^\circ\text{C}$ )
	44/4	دمای جوش ابتدایی ( $^\circ\text{C}$ )
	68/4	دمای معادل تبخیر ۱۰ درصد ( $^\circ\text{C}$ )
	125	دمای معادل تبخیر ۵۰ درصد ( $^\circ\text{C}$ )
	170	دمای معادل تبخیر ۹۰ درصد ( $^\circ\text{C}$ )
	207	دمای جوش نهایی ( $^\circ\text{C}$ )

جدول (۲): خواص فیزیکی و شیمیایی بنزین پایه مورد استفاده

خاصیت شیمیایی	EtOH	TBA	MTBE
فرمول شیمیایی	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$
درجه خلوص (%)	99/9	99	99
درصد جرمی اکسیژن	34/7	21/6	18/2
وزن مولکولی (g/mol)	46/07	74/12	88/15
چگالی ( $16^\circ\text{C}; \text{g}/\text{cm}^3$ )	0.793	0.788	0.744
نقطه اشتعال ( $^\circ\text{C}$ )	12/8	14	-25/6
نقطه جوش ( $^\circ\text{C}$ )	78	82	55
دمای احتراق ( $^\circ\text{C}$ )	363	490	460
فشاربخار رید ( $37/8^\circ\text{C}; \text{kPa}$ )	16	5/5	52/8
عدد اکتان موتوری (MON)	92	100	101
عدد اکتان تحقیقاتی (RON)	108	130	116

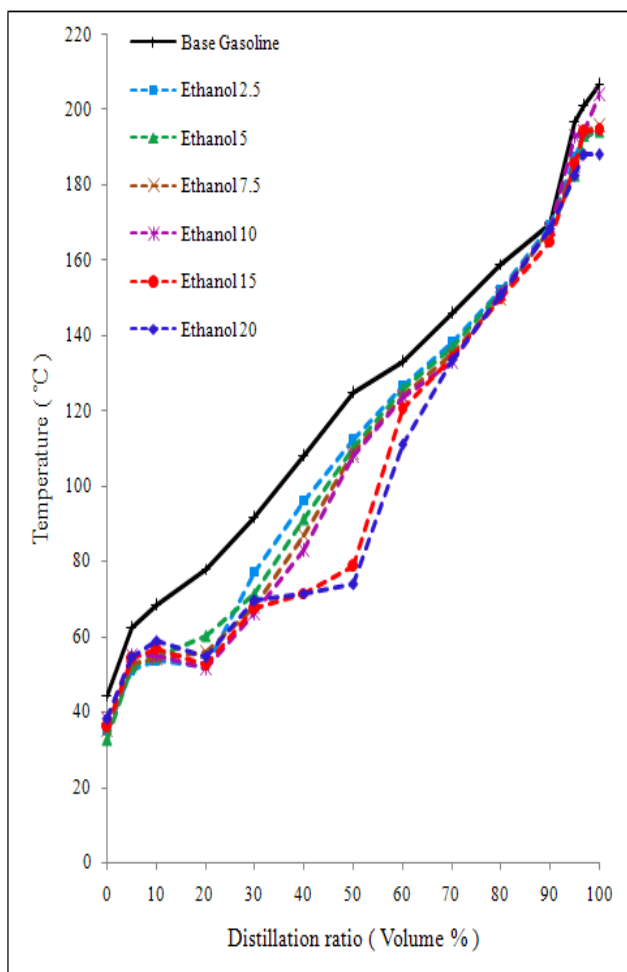
## ۲-۱- روش اندازه‌گیری خواص تقطیر

بنزین ترکیبی از صدها ترکیب هیدروکربنی است که هر یک

جدول (۵): خواص تقطیر مخلوطهای MTBE و بنزین برحسب (°C)

MTBE (%)	۰	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰
جوش اولیه	۴۴/۴	۳۷	۳۲	۴۱	۳۹	۳۸	۳۳
%۵ تقطیر	۶۲/۳	۵۳/۵	۵۳	۵۳	۵۶	۵۲/۵	۵۲
%۱۰ تقطیر	۶۸/۴	۶۲	۶۲	۶۰/۵	۶۱	۵۸/۵	۵۶/۵
%۲۰ تقطیر	۷۸	۷۴	۷۲	۷۱/۵	۷۱	۶۷	۶۳
%۳۰ تقطیر	۹۱/۵	۸۴	۸۴	۸۳/۵	۸۰/۵	۷۵	۶۹/۵
%۴۰ تقطیر	۱۰۸	۱۰۰	۹۷	۱۰۱	۹۴/۵	۸۶/۵	۷۷/۵
%۵۰ تقطیر	۱۲۵	۱۱۷	۱۱۱	۱۲۰	۱۱۳	۱۰۴	۹۲/۵
%۶۰ تقطیر	۱۳۳	۱۳۳	۱۳۲	۱۳۶	۱۲۹	۱۲۵	۱۱۷
%۷۰ تقطیر	۱۴۶	۱۴۷	۱۴۵	۱۵۳	۱۴۴	۱۴۳	۱۳۸
%۸۰ تقطیر	۱۵۹	۱۶۳	۱۶۰	۱۶۶	۱۵۹	۱۶۰	۱۵۲
%۹۰ تقطیر	۱۷۰	۱۷۸	۱۷۵	۱۹۴	۱۷۶	۱۷۶	۱۷۲
%۹۵ تقطیر	۱۹۷	۲۰۴	۱۹۷	۲۰۱	۱۹۶	۱۹۷	۱۹۴
%۹۷ تقطیر	۲۰۱	۲۰۷	۲۰۰	۲۰۴	۱۹۹	۲۰۰	۱۹۷
جوش نهایی	۲۰۷	۲۰۸	۲۰۱	۲۰۵	۱۹۹	۲۰۰	۱۹۹

نمودارهای تقطیر مخلوطهای بنزین با افزودنیهای اتانول، ترشیاری بوتیل الکل و متیل ترشیاری بوتیل اتر، به ترتیب در شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) آورده شده است.



شکل (۱): منحنی تقطیر مخلوطهای اتانول و بنزین

 $+T_{90}$ 

که در آن  $T_{10}$ ،  $T_{50}$  و  $T_{90}$  به ترتیب دمای سوخت در حالتی که ۱۰٪، ۵۰٪ و ۹۰٪ از سوخت مورد نظر تبخیر شده است هستند. پایین‌تر بودن شاخص چابکی، موجب گرم شدن سریع‌تر موتور در هوای سرد می‌شود [۲۴].

### ۳- نتایج

افزودن ترکیبات اکسیژن‌دار بر اساس خواص و میزان ماده ترکیب شده با بنزین، تغییراتی را در نمودار تقطیر بنزین ترکیبی به وجود می‌آورد. جداول (۳)، (۴) و (۵) به ترتیب نمایانگر مقادیر منحنی تقطیر مخلوط بنزین و اتانول، ترشیاری بوتیل الکل و متیل ترشیاری بوتیل اتر هستند.

جدول (۳): خواص تقطیر مخلوطهای اتانول و بنزین برحسب (°C)

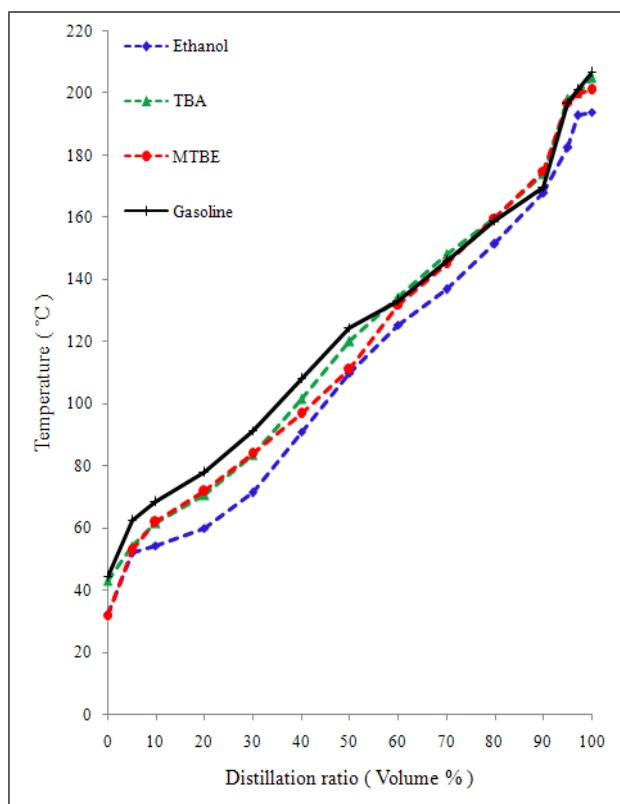
اتانول (%)	۰	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰
جوش اولیه	۴۴/۴	۳۵	۳۲/۵	۳۵	۳۸	۳۶	۳۸
%۵ تقطیر	۳۶/۳	۵۱	۵۲	۵۳	۵۵	۵۴	۵۴/۵
%۱۰ تقطیر	۶۸/۴	۵۳/۵	۵۴/۵	۵۴	۵۵	۵۶/۵	۵۹
%۲۰ تقطیر	۷۸	۵۲	۶۰	۵۶	۵۱/۵	۵۲/۵	۵۴/۵
%۳۰ تقطیر	۹۱/۵	۷۷	۷۱/۵	۶۸	۶۶	۶۷/۵	۶۹/۷
%۴۰ تقطیر	۱۰۸	۹۶	۹۱	۸۷	۸۳	۷۱/۵	۷۱/۵
%۵۰ تقطیر	۱۲۵	۱۱۳	۱۱۰	۱۰۹	۱۰۸	۷۸/۵	۷۴
%۶۰ تقطیر	۱۳۳	۱۲۷	۱۲۶	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۱	۱۱۱
%۷۰ تقطیر	۱۴۶	۱۳۸	۱۳۷	۱۳۵	۱۳۳	۱۳۵	۱۳۴
%۸۰ تقطیر	۱۵۹	۱۵۲	۱۵۲	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۵۱
%۹۰ تقطیر	۱۷۰	۱۶۹	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۵	۱۶۹
%۹۵ تقطیر	۱۹۷	۱۸۸	۱۸۳	۱۸۵	۱۹۳	۱۸۶	۱۸۳
%۹۷ تقطیر	۲۰۱	۱۹۴	۱۹۳	۱۹۴	۱۹۴	۱۹۴	۱۸۸
جوش نهایی	۲۰۷	۱۹۴	۱۹۴	۱۹۶	۱۹۶	۱۹۵	۱۸۸

جدول (۴): خواص تقطیر مخلوطهای TBA و بنزین برحسب (°C)

TBA (%)	۰	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰
جوش اولیه	۴۴/۴	۴۲	۴۳	۴۳/۵	۴۳/۵	۴۶	۴۸/۵
%۵ تقطیر	۶۲/۳	۵۳/۵	۵۴/۵	۵۴	۵۳/۷	۵۷/۵	۶۰
%۱۰ تقطیر	۶۸/۴	۶۰	۶۱/۵	۶۰/۵	۶۰	۶۱	۶۳/۵
%۲۰ تقطیر	۷۸	۷۰	۷۰/۵	۶۹/۳	۶۹	۶۹	۶۹/۵
%۳۰ تقطیر	۹۱/۵	۸۳	۸۳/۵	۷۹/۵	۷۶	۷۵/۵	۷۵
%۴۰ تقطیر	۱۰۸	۱۰۲	۱۰۲	۹۵	۸۸/۵	۸۳	۸۲
%۵۰ تقطیر	۱۲۵	۱۱۹	۱۲۰	۱۱۵	۱۱۲	۹۹	۹۳
%۶۰ تقطیر	۱۳۳	۱۳۴	۱۳۵	۱۳۳	۱۳۰	۱۲۵	۱۲۱
%۷۰ تقطیر	۱۴۶	۱۴۹	۱۴۸	۱۴۸	۱۴۷	۱۴۲	۱۴۲
%۸۰ تقطیر	۱۵۹	۱۶۳	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۱	۱۵۶	۱۵۹
%۹۰ تقطیر	۱۷۰	۱۷۶	۱۷۴	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۳	۱۷۴
%۹۵ تقطیر	۱۹۷	۲۰۰	۱۹۸	۲۰۲	۲۰۰	۱۹۷	۱۹۸
%۹۷ تقطیر	۲۰۱	۲۰۱	۲۰۱	۲۰۰	۲۰۳	۱۹۹	۲۰۰
جوش نهایی	۲۰۷	۲۰۳	۲۰۵	۲۰۵	۲۰۱	۲۰۳	۲۰۰

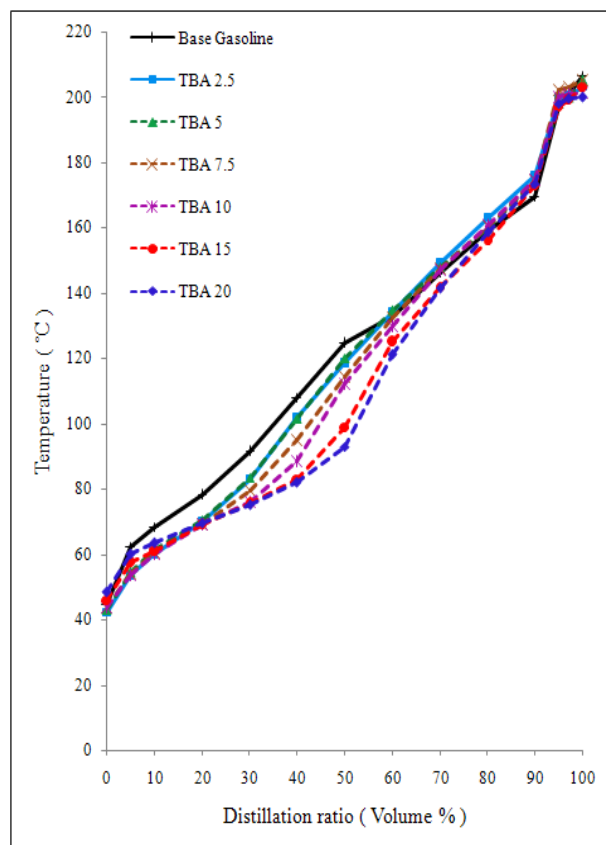
با توجه به شکل‌های (۱)، (۲) و (۳)، اتانول در دماهای بسیار پایین‌تری نسبت به متیل ترشیاری بوتیل اتر و ترشیاری بوتیل الکل شروع به جوشیدن می‌کند و از این نظر بسیار فرارتر است در حالی که در مقیاسه بین متیل ترشیاری بوتیل اتر و ترشیاری بوتیل الکل دیده می‌شود که دماهای جوشیدن ترکیب هر دو ماده با بنزین، بسیار نزدیک به یکدیگر بوده و در برخی موارد ترشیاری بوتیل الکل از این نظر حتی بهتر از متیل ترشیاری بوتیل اتر عمل می‌نماید.

شکل (۴) بیانگر منحنی تقطیر حاصل از ترکیب ۵ درصد حجمی از این افزودنی‌ها با ۹۵٪ بنزین پایه است.

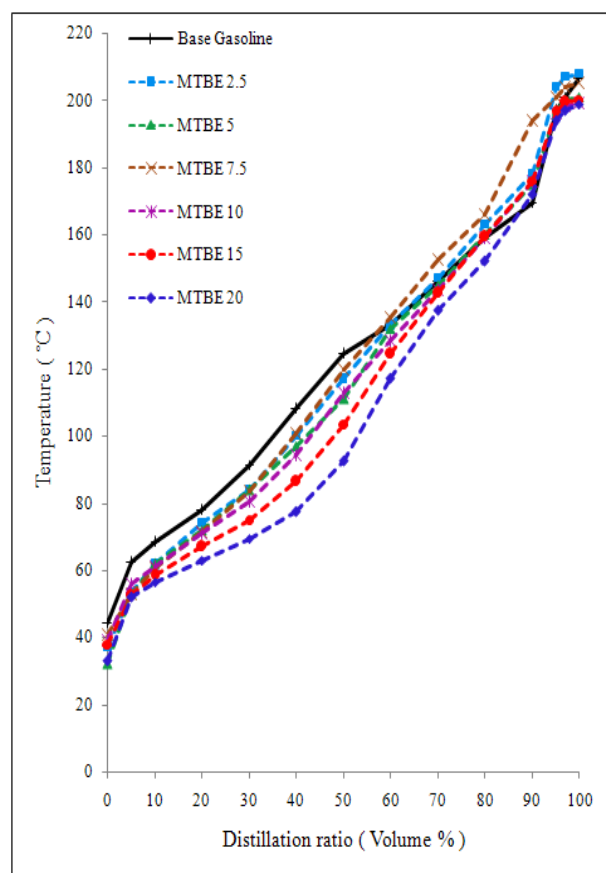


شکل (۴): منحنی تقطیر ۵ درصد حجمی افزودنی‌های سوختی در ترکیب با بنزین

با توجه به منحنی گفته‌شده، در ترکیب حاوی ۵٪ حجمی، ترشیاری بوتیل الکل در دماهای بالاتری شروع به جوشیدن می‌نماید. دمایی که در آن ۱۰٪ از سوخت تبخیر شده است، برای اتانول  $54/5^{\circ}\text{C}$ ، برای متیل ترشیاری بوتیل اتر  $62^{\circ}\text{C}$  و برای ترشیاری بوتیل الکل  $61/5^{\circ}\text{C}$  است. دمایی که در آن ۵۰٪ از سوخت تبخیر شده است، برای اتانول  $110^{\circ}\text{C}$ ، برای متیل ترشیاری بوتیل اتر  $111^{\circ}\text{C}$  و برای ترشیاری بوتیل الکل  $120^{\circ}\text{C}$  است. دمایی که در آن ۹۰٪ از سوخت تبخیر شده است، برای اتانول  $168^{\circ}\text{C}$ ، برای متیل ترشیاری بوتیل اتر  $175^{\circ}\text{C}$  و برای ترشیاری بوتیل الکل  $174^{\circ}\text{C}$  است.



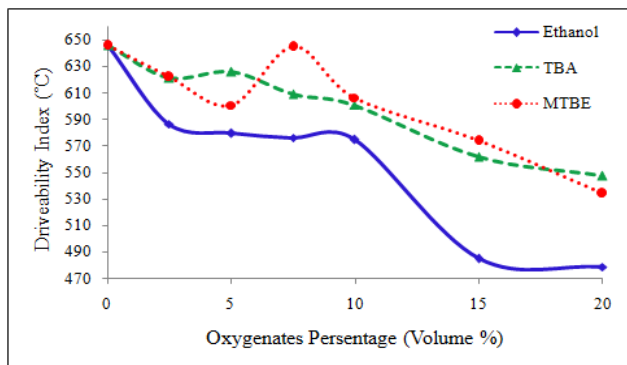
شکل (۲): منحنی تقطیر مخلوط‌های TBA و بنزین



شکل (۳): منحنی تقطیر مخلوط‌های MTBE و بنزین

جدول (۶): شاخص چابکی بنزین حاوی افزودنی‌های مختلف

افزودنی (%)	۰	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰
TBA	۶۴۶	۶۲۲	۶۲۶	۶۰۹	۶۰۱	۵۶۲	۵۴۸
MTBE	۶۴۶	۶۲۲	۶۰۱	۶۴۵	۶۰۷	۵۷۴	۵۳۴
اتانول	۶۴۶	۵۸۷	۵۸۰	۵۷۷	۵۷۵	۴۸۶	۴۷۹

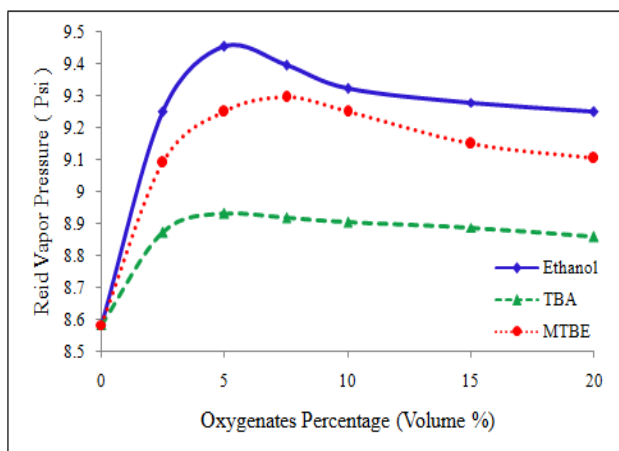


شکل (۶): شاخص چابکی بنزین حاوی افزودنی‌های مختلف

افزودن ترکیبات اکسیژن‌دار هم‌چنین باعث تغییر قابل توجهی در فشار بخار بنزین شده و می‌تواند آن را از محدوده مجاز تعیین شده بر اساس استانداردهای هر کشور خارج نماید. اثر افزایش اتانول، متیل ترشیاری بوتیل اتر و ترشیاری بوتیل الکل بر فشار بخار بنزین پایه در جدول (۷) و شکل (۷) آورده شده است.

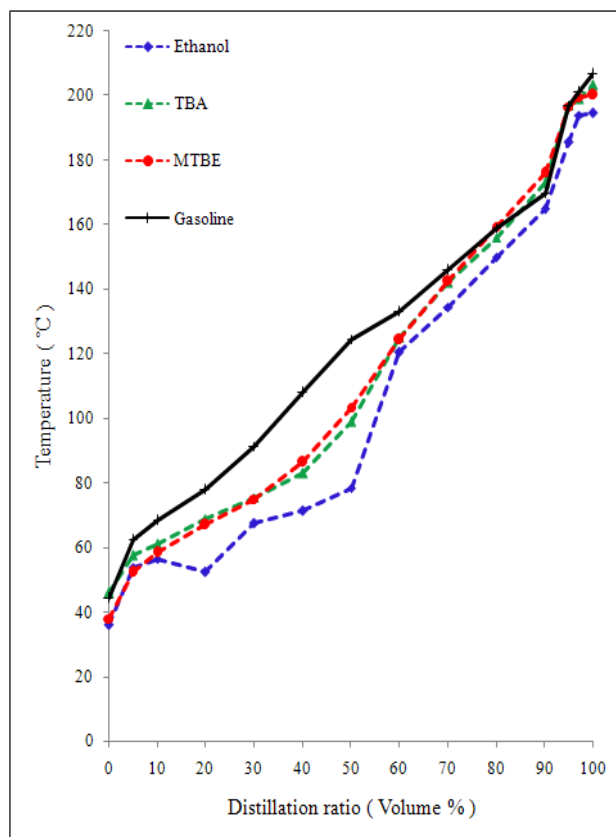
جدول (۷): فشاربخار بنزین حاوی افزودنی‌های مختلف بر حسب Psi

افزودنی (%)	۰	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰	۱۵	۲۰
TBA	۸/۵۸	۸/۸۷	۸/۹۳	۸/۹۲	۸/۹	۸/۸۹	۸/۸۶
MTBE	۸/۵۸	۹/۰۹	۹/۲۵	۹/۳	۹/۲۵	۹/۱۵	۹/۱۱
اتانول	۸/۵۸	۹/۲۵	۹/۴۵	۹/۴	۹/۳۲	۹/۲۸	۹/۲۵



شکل (۷): فشار بخار بنزین حاوی افزودنی‌های مختلف

شکل (۵) بیانگر منحنی تقطیر حاصل از ترکیب ۱۵ درصد حجمی از این افزودنی‌ها با ۸۵٪ بنزین پایه است.



شکل (۵): منحنی تقطیر ۱۵ درصد حجمی افزودنی‌های سوختی در ترکیب با بنزین

توجه به منحنی گفته‌شده، در ترکیب حاوی ۵٪ حجمی، متیل ترشیاری بوتیل اتر در دماهای بالاتری شروع به جوشیدن می‌نماید. دمایی که در آن ۱۰٪ از سوخت تبخیر شده است، برای اتانول  $56/5^{\circ}\text{C}$ ، برای متیل ترشیاری بوتیل اتر  $58/5^{\circ}\text{C}$  و برای ترشیاری بوتیل الکل  $61^{\circ}\text{C}$  است. دمایی که در آن ۵۰٪ از سوخت تبخیر شده است، برای اتانول  $78/5^{\circ}\text{C}$ ، برای متیل ترشیاری بوتیل اتر  $104^{\circ}\text{C}$  و برای ترشیاری بوتیل الکل  $99^{\circ}\text{C}$  است. دمایی که در آن ۹۰٪ از سوخت تبخیر شده است، برای اتانول  $165^{\circ}\text{C}$ ، برای متیل ترشیاری بوتیل اتر  $176^{\circ}\text{C}$  و برای ترشیاری بوتیل الکل  $173^{\circ}\text{C}$  است.

با این تفاسیر می‌توان بیان نمود که در ترکیب حاوی ۵ درصد حجمی از افزودنی‌های گفته‌شده، چابکی سوخت ترشیاری بوتیل الکل بالاتر و در ترکیب حاوی ۱۵ درصد حجمی از افزودنی‌های گفته‌شده، چابکی متیل ترشیاری بوتیل اتر بالاتر از دو افزودنی دیگر است.

جدول (۶) و شکل (۶)، نشان‌دهنده شاخص چابکی ترکیب افزودنی‌های گفته‌شده با بنزین پایه هستند.

بدون تغییر در فرمولاسیون بنزین پایه می‌توان سوخت مصرفی کشور را تامین نمود.

#### ۴- نتیجه گیری

افزودن ترکیبات اکسیژن دار به بنزین، موجب تغییر در نمودار تقطیر بنزین حاصله می‌شود و هر چقدر میزان ماده افزودنی موجود در سوخت افزایش یابد، سوخت حاصله در دماهایی پایین‌تر شروع به تبخیر شدن می‌نماید و به عبارت دیگر فراریت آن افزایش می‌یابد.

دمای جوشیدن بنزین در نمودار تقطیر در حالتی که از ترشیاری بوتیل الکل استفاده شود، بالاتر از حالتی است که از اتانول و متیل ترشیاری بوتیل اتر استفاده شود و یا به عبارت دیگر بنزین حاوی ترشیاری بوتیل الکل، دیرتر از بنزین‌های حاوی متیل ترشیاری بوتیل اتر و اتانول تبخیر می‌شود.

بیش‌ترین کاهش دمای تقطیر و در نتیجه افزایش فراریت برای تمامی افزودنی‌های مورد استفاده در ترکیب‌های حاوی ۵۰٪ حجمی، رخ داده است که مقدار آن برای اتانول ۴۰/۸٪، برای ترشیاری بوتیل الکل ۲۵/۶٪ و برای متیل ترشیاری بوتیل اتر ۲۶٪ است. همان‌طور که دیده می‌شود بیشینه افزایش فراریت در ترکیبات حاوی ۵۰٪ حجمی، از افزودنی‌های موردنظر، مربوط به سوخت حاوی اتانول است.

افزودن افزودنی‌های سوختی به ترکیب بنزین در مقادیر حجمی پایین، منجر به افزایش فشار بخار بنزین شده و با افزایش درصد حجمی افزودنی موردنظر به ترکیب بنزین، فشار بخار سوخت کاهش می‌یابد و به‌طورمعمول مقدار بیشینه فشاربخار سوخت در حالتی دیده می‌شود که درصد حجمی افزودنی ترکیب شده با بنزین در بازه ۵ تا ۱۰ درصد حجمی ترکیب حاصله باشد.

بیش‌ترین افزایش در فشار بخار سوخت برای سوخت‌های حاوی افزودنی‌های اتانول و ترشیاری بوتیل الکل در مخلوط-های حاوی ۵٪ حجمی از مواد موردنظر رخ داده است و به ترتیب مقادیر آن ۱۰/۱٪ و ۴٪ است در حالی که برای سوخت‌های حاوی متیل ترشیاری بوتیل اتر بیش‌ترین افزایش فشار بخار سوخت در ترکیبات حاوی ۷/۵ درصد حجمی از ماده موردنظر بوده و این تغییر معادل ۸/۴٪ است.

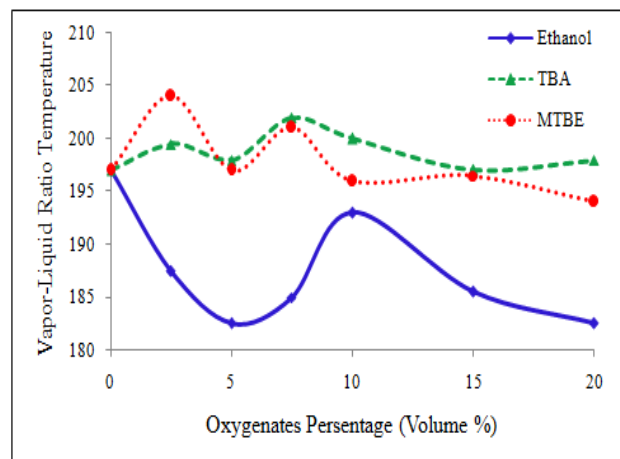
فشار بخار سوخت در صورت استفاده از ترشیاری بوتیل الکل، بسیار پایین‌تر از اتانول و متیل ترشیاری بوتیل اتر بوده و به بیان دیگر در صورت استفاده از ترشیاری بوتیل الکل از نظر افزایش فشار بخار سوخت حاصله، با مشکل خاصی مشاهده نمی‌شود.

شاخص چابکی سوختی که از ترکیب متیل ترشیاری بوتیل اتر با بنزین بدست می‌آید از حالتی که سوخت از ترکیب

همان‌طور که دیده می‌شود، افزایش اتانول به جای متیل ترشیاری بوتیل اتر در بنزین مصرفی، با نسبت ۱۰ درصد حجمی، نسبت به بنزین پایه ۸/۶۲٪ فشار بخار بنزین را افزایش می‌دهد حال آنکه این مقدار برای بنزینی با ۱۰ درصد حجمی متیل ترشیاری بوتیل اتر ۷/۷۷٪ و برای بنزینی با ۱۰ درصد حجمی ترشیاری بوتیل الکل ۳/۷۷٪ است.

نکته قابل توجه این است که اگر محدوده مجاز فشار بخار بنزین برای فصول معتدل و سرد سال ۹ و ۱۰ Psi باشد، متیل ترشیاری بوتیل اتر و اتانول برای استفاده در فصول معتدل سال از محدوده مجاز خارج شده و برای اینکه بتوانیم از افزودنی‌های گفته شده استفاده نماییم، ناچار به تغییراتی در فرمولاسیون بنزین پایه و جایگزینی ترکیبات سبک بنزین مانند بنزین مستقیم سبک<sup>۹</sup>، پنتان، نفتای سبک ایزوماکس<sup>۱۰</sup> با ترکیبات سنگین‌تری مانند نفتای سنگین ایزوماکس<sup>۱۱</sup> خواهیم بود که این عمل روی خواص دیگر بنزین از قبیل عدد اکتان اثرگذار بوده و مشکلاتی را در زمینه بهسوزی بنزین به بار می‌آورد.

افزودن افزودنی‌های سوختی به ترکیب بنزین پایه، همچنین موجب اعمال تغییراتی در نسبت بخار به مایع (دمایی که در آن نسبت بخار به مایع برابر ۲۰ باشد) می‌شود. در شکل (۸) اثر افزودن مقادیر متفاوتی از افزودنی‌های مختلف بر روی نسبت بخار به مایع سوخت موردنظر مشهود است.



شکل (۸): نسبت بخار به مایع بنزین حاوی افزودنی‌های مختلف

همان‌طور که در شکل (۸) دیده می‌شود، افزودن اتانول به بنزین موجب سریع‌تر بخار شدن آن شده ولی در مورد متیل ترشیاری بوتیل اتر و ترشیاری بوتیل الکل، سوخت موردنظر در دمایی بالاتر تبدیل به بخار می‌شود.

با این تفاسیر با استفاده از ترشیاری بوتیل الکل به جای متیل ترشیاری بوتیل اتر، به طور تقریب در بیش‌تر فصول سال

برای بهبود خواص احتراقی بنزین حاصله و رفع مشکلات مرتبط با محدودیت‌های ناشی از فراریت بنزین در فصول مختلف سال مورد توجه قرارگیرد.

#### ۵- تقدیر و تشکر

محققان این پژوهش وظیفه خود می‌دانند که از آزمایشگاه موتور و پیشران‌های دانشگاه تربیت مدرس و همچنین از پالایشگاه نفت شهید تندگویان تهران، به‌دلیل همکاری‌ها و حمایت‌هایی که داشته‌اند، تشکر نمایند.

ترشیاری بوتیل الکل و یا اتانول با بنزین پایه حاصل شده باشد، بالاتر است و اتانول بیش‌ترین کاهش چابکی سوخت را به همراه دارد. در نتیجه ترکیبات بنزینی که اتانول را بعنوان افزودنی در ترکیب خود جای داده‌اند، در هوای سردتر سریع‌تر منجر به گرم شدن موتور می‌شوند.

نسبت بخار به مایع اتانول بسیار پایین‌تر از ترشیاری بوتیل الکل و متیل ترشیاری بوتیل اتر بوده و دلیل آن تبخیر سریعتر اتانول در دماهای پایین‌تر است.

به نظر می‌رسد با توجه به نتایج، استفاده از ترشیاری بوتیل الکل می‌تواند به عنوان بهترین جایگزین متیل ترشیاری بوتیل اتر

#### ۶- مراجع

- P.J. Squillace, J.S. Zogorski, W.G. Wilbur, C.V. Price, "Preliminary assessment of the occurrence and possible sources of MTBE in groundwater in the United States", *Environmental Science & Technology*, No. 30, pp. 1721– 1730, 1996. [۸]
- M. Kharoune, A. Pauss, J.M. Lebeault, "Aerobic biodegradation of an oxygenates mixture: ETBE, MTBE and TAME in an upflow fixed-bed reactor", *Water Research*, No. 35, pp. 1665– 1674, 2001. [۹]
- A.D. Uhler, S.A. Stout, R.M. Uhler, S.D. E-Mattingly, K.J. McCarthy, "Accurate chemical analysis of MTBE in environmental media", *Environmental Forensics*, No. 2, pp. 17– 19, 2001. [۱۰]
- T. Shih, Y. Rong, T. Harmon, M. Suffet, "Evaluation of the impact of fuel hydrocarbons and oxygenates on groundwater resources", *Environmental Science & Technology*, No. 38, pp. 42– 48, 2004. [۱۱]
- United States Environmental Protection Agency, "Transportation and Regional Programs Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency (2008), Guide on Federal and State Summer RVP Standards for Conventional Gasoline Only", EPA, No. 420-B-08-009, April 2008. [۱۲]
- Society of Automotive Engineers (SAE), "Engines, Fuels, Lubricants, Emissions, and Noise", ISBN: 0898838894, SAE International, 1990. [۱۳]
- D.A. Barker, L.M. Gibbs, E.D. Steinke, "The development and proposed implementation of the ASTM Drivability Index for motor gasoline", SAE 881668, 1988. [۱۴]
- Y.H. Huang, J.H. Wu, "Analysis of biodiesel promotion in Taiwan", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 12, pp. 1176– 1186, 2008. [۱]
- F. Nadim, P. Zack, G.E. Hoag, S. Liu, "United States experience with gasoline additives", *Energy Policy*, No. 29, pp. 1– 5, 2001. [۲]
- J.F. Izquierdo, F. Cunill, M. Vila, M. Iborra, J. Tejero, "Equilibrium constants for methyl tert-butyl ether and ethyl tert-butyl ether liquid-phase syntheses using C4 olefinic cut", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, No. 33, pp. 2830– 2835, 1994. [۳]
- C. Gomez, F. Cunill, M. Iborra, F. Izquierdo, J. Tejero, "Experimental study of the simultaneous synthesis of methyl tert-butyl ether and ethyl tert-butyl ether in liquid phase", *Ind Eng Chem Res*, No. 36, pp. 4756– 4762, 1997. [۴]
- L. Caprino, G.I. Togna, "Potential health effects of gasoline and its constituents: a review of current literature (1990 – 1997) on toxicological data", *Environmental Health Perspectives*, No. 106, pp. 115– 125, 1998. [۵]
- D.P. Lince, L.R. Wilson, G.A. Carlson, "Methyl tert-butyl ether (MTBE) contamination in private wells near gasoline station in upstate New York", *Environmental Pollution*, No. 61, pp. 484– 488, 1998. [۶]
- T.J. Lopes, D.A. Bender, "Nonpoint sources of volatile organic compounds in urban areas-relative importance of land surfaces and air", *Environmental Pollution*, No. 101, pp. 221– 230. [۷]



- Oxygenate Blends (Dry Method)".
- American Society of Testing and Material, "ASTM D5188- 04a Standard Test Method for Vapor-Liquid Ratio Temperature Determination of Fuels (Evacuated Chamber Method)".
- Downstream Alternatives Inc., "Driveability and Performance Of Reformulated and Oxygenated Gasolines", DAI Informational Document, No. 970302, March 1997.
- American Society of Testing and Material, "ASTM D4814- 10b Standard Specification for Automotive Spark-Ignition Engine Fuel".
- R.G. Montemayor, "Distillation and Vapor Pressure Measurement in Petroleum Products", ASTM International, West Conshohocken, PA 19428- 2959, 2008.
- R.D. Silva, R. Cataluña, E.W.D. Menezes, D. Samios, C.M.S. Piatnicki, "Effect of additives on the antiknock properties and Reid vapor pressure of gasoline", Fuel, No. 84, pp. 951- 959, 2005.
- E.W.D. Menezes, R. Cataluña, D. Samios, R.D. Silva, "Addition of azeotropic ETBE/ethanol mixture in eurosuper-type gasolines", Fuel, No. 85, pp. 2567- 2577, 2006.
- E.V. Takeshita, R.V.P. Rezende, S.M.de souza, A.A.U. de Souza, "Influence of solvent addition on the physicochemical properties of Brazilian gasoline", Fuel, No. 87, pp. 2168- 2177, 2008.
- American Society of Testing and Material "ASTM D86- 10a Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure".
- American Society of Testing and Material, "ASTM D323- 06 Standard Test Method for Vapor Pressure of Petroleum Products (Reid Method)".
- American Society of Testing and Material, "ASTM D4953 Standard Test Method for Vapor Pressure of Gasoline and Gasoline-

## ۷- زیر نویس ها

<sup>۱</sup> Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE)<sup>۲</sup> Tertiary Butyl Alcohol (TBA)<sup>۳</sup> Reid Vapor Pressure (RVP)<sup>۴</sup> Driveability Index<sup>۵</sup> Azeotrope<sup>۶</sup> Ethyl Tertiary Butyl Ether (ETBE)<sup>۷</sup> TANAKA Automated Distillation Tester AD-6<sup>۸</sup> TANAKA Automated Vapor Pressure Tester AVP-30D<sup>۹</sup> Light Straight Run Gasoline (LSRG)<sup>۱۰</sup> Light Isomax Naphtha (LIN)<sup>۱۱</sup> Heavy Isomax Naphtha (HIN)