Archive of SID



# کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی در فرایند مخلوط‌سازی بنزین تولیدی پالایشگاه تهران

محمدرضا جعفری‌نصر*[۱] و رضا درگاهی[۲]
۱- شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران، شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی
۲- دانشگاه خواجه نصیر طوسی، دانشکده مکانیک
m.jafarinasr@npc-rt.ir

پژوهش نفت
سال نوزدهم
شماره ۶۰
صفحه ۸۳-۶۷، ۱۳۸۸

**چکیده**

**بهینه‌سازی عملیات مخلوط سازی فرآورده‌های پالایشگاه می‌تواند با به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی صورت پذیرد و در نهایت مسئله به‌وسیله یک برنامه نرم‌افزاری حلال با صفحه گسترده (Solver) حل می‌شود.**

**در این مقاله ضمن بیان کاربرد مدل‌سازی خطی در فرایند اختلاط فرآورده‌های تولیدی پالایشگاه، الگوریتم و روش بهینه‌سازی عملیات مخلوط سازی فرآورده‌ها به‌ویژه محصول بنزین با استفاده از مدل‌های خطی نیز ارائه شده است. در پایان به‌عنوان یک مطالعه موردی، بهینه‌سازی فرایند اختلاط اجزای تشکیل‌دهنده بنزین تولیدی پالایشگاه تهران و با هدف حداکثر سازی سود حاصل از این اختلاط و با استفاده از برنامه کامپیوتری «Solver» از نرم‌افزار Excel صورت گرفته است.**

**واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی خطی، فرایند اختلاط، بنزین**

**مقدمه**

دست‌یابی به بهترین نتیجه در شرایط داده شده را بهینه‌سازی گویند که هدف نهایی، کاهش هزینه لازم و یا افزایش سود مورد نظر است. هزینه لازم و یا سود مورد نظر در هر وضعیت عملی را می‌توان به‌صورت تابعی از متغیرهای تصمیم مشخص کرد. بنابراین می‌توان بهینه‌سازی را به‌عنوان فرایند یافتن شرایط مقدار بیشینه یا کمینه یک تابع تعریف کرد. برای حل کارایی همه مسائل بهینه‌سازی روش یگانه‌ای وجود ندارد. به همین دلیل برای حل گونه‌های مختلف مسائل بهینه‌سازی، روش‌های بهینه‌سازی مختلفی توسعه یافته‌اند.

روش‌های جستجوی بهینه را با عنوان روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی نیز می‌شناسند که عموماً به‌صورت بخشی از تحقیق در عملیات مطالعه می‌شوند. بهینه‌سازی در مفهوم گسترده خود می‌تواند در حل هر مسئله مهندسی به‌کار گرفته شود. نمونه‌هایی از کاربردهای بهینه‌سازی در مهندسی عبارتند از: طراحی هواپیما و سازه‌های فضایی با وزن کمینه، طراحی سیستم‌های منابع آب با سود بیشینه،

www.SID.ir

Archive of SID


برنامه‌ریزی، کنترل و زمان‌بندی بهینه تولید، طراحی بهینه تجهیزات واحدهای فرایندی شیمیایی، طراحی بهینه شبکه‌های خطوط لوله برای فرایندهای صنعتی، برنامه‌ریزی تعمیرات و نگهداری برای کاهش هزینه‌های بهره‌برداری، کنترل انبار و طراحی بهینه سیستم‌های کنترل [۲].

یک مسئله بهینه‌سازی یا برنامه‌ریزی ریاضی را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

$X=\begin{Bmatrix} X1 \\ X2 \\ . \\ . \\ Xn \end{Bmatrix}$ را به‌گونه‌ای بیابید که $f(x)$ را به شرط قیدهای زیر کمینه یا بیشینه کند:

$$g_i(x) \le 0, \quad i= 1,2,\ldots,m \qquad (۱)$$

$$l_j(x)=0, \quad j=1,2,...,p \qquad (۲)$$

که در آن x یک بردار n بعدی است و بردار طراحی نامیده می‌شود. $f(x)$ تابع هدف و $g_i(x)$ و $l_j(x)$ به‌ترتیب قیدهای نامساوی و مساوی هستند. مسئله‌ای که به‌صورت رابطه فوق بیان شده باشد یک مسئله بهینه‌سازی مقید نامیده می‌شود. البته برخی از مسائل بهینه‌سازی دارای قید نمی‌باشند [۴].

برنامه‌ریزی خطی در واقع یکی از روش‌های بهینه‌سازی است. این روش برای حل مسائلی که در آنها تابع هدف و قیدها توابعی خطی از متغیرهای طراحی هستند به‌کار می‌رود. در یک مسئله برنامه‌ریزی خطی، معادلات قیدها ممکن است به شکل نامساوی یا مساوی باشند. در برنامه‌ریزی خطی، از یک مدل ریاضی به‌منظور تشریح مسئله موردنظر استفاده می‌شود. خصوصیت بارز مدل‌های برنامه‌ریزی خطی این است که در آنها توابع معرف هدف و قیود، خطی هستند. بنابراین برنامه‌ریزی خطی عبارت است از برنامه‌ریزی فعالیت‌ها به منظور به‌دست آوردن یک نتیجه "بهینه".

خطی بودن بعضی از مدل‌ها می‌تواند بر مبنای خواص فیزیکی مسئله توجیه شود، ضمن آنکه سایر مدل‌ها را که به ظاهر غیرخطی می‌باشند، می‌توان با استفاده مناسب از تبدیل‌های ریاضی به‌صورت خطی درآورد. روش سیمپلکس به دلیل توانایی مدل‌سازی مسائل مهم و پیچیده مدیریتی و نیز توانمندی حل مسائل در مدت زمانی معقول در برنامه‌ریزی خطی، رده‌ای از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی است که به تخصیص کارایی منابع محدود به فعالیت‌های معلوم، به منظور نیل به هدفی مطلوب مانند بیشینه ساختن سود یا کمینه ساختن زیان، مربوط می‌شود.

یکی از کاربردهای اخیر برنامه‌ریزی خطی در صنعت پالایش نفت است. معمولاً یک پالایشگاه نفت، نفت خام را از چند منبع مختلف با ترکیبات و مشخصه‌های مختلف و با قیمت‌های متفاوت خریداری می‌کند. سپس از این نفت خام توسط فرایندهای مختلف، فرآورده‌های گوناگونی مانند بنزین، نفت گاز و سوخت هواپیما در کمیت‌های مختلف تولید می‌کند. قیدها در این حالت ممکن است از محدودیت مقدار نفت خام موجود از یک منبع خاص، ظرفیت پالایشی واحدهای فرایندی برای تولید یک فرآورده مشخص، مشخصات فیزیکی و شیمیایی موردنظر برای فرآورده‌های تولیدی و غیره ناشی شود. در اینجا مسئله عبارتست از یافتن ترکیبی از نفت خام خریداری شده و فرآورده‌های تولیدی، به گونه‌ای که سود بیشینه را حاصل کند [۲و۴].

کاربردهای سیستم‌های مدل‌سازی برنامه‌ریزی خطی (LP) در پالایشگاه عبارتند از: برنامه‌ریزی عملیات پالایشگاه، برنامه‌ریزی کوتاه مدت، برنامه‌ریزی بلند مدت، ارزیابی نفت خام، بررسی فرصت‌های بازار فرآورده‌ها و مطالعات سرمایه‌گذاری. کاربردهای این نوع برنامه‌ریزی در سایر صنایع نفت شامل: مدل‌سازی تأمین و توزیع، بهینه‌سازی مخلوط‌سازی، مطالعات گسترده صنعت، بهینه‌سازی کلی پالایشگاه، ارزیابی کارآیی، آنالیز خرید و فروش، آنالیز تنگناهای موجود، تصمیم‌های راجع به شدت و تأثیر[1] واحدهای عملیاتی (مانند FCC و CRU)، آنالیز حمل و نقل بین واحدهای تولیدی، تخصیص منابع از چند منبع مختلف، آنالیز برنامه‌ریزی موجودی مخازن، آنالیز صادرات و واردات می‌باشد [۸].

اساساً یک مسئله عمومی برنامه‌ریزی خطی را می‌توان به شکل استاندارد زیر بیان کرد:

$$\text{Min. or Max. } f(x_1,x_2,\ldots,x_3)=c_1x_1+c_2x_2+\ldots+c_nx_n \qquad (۳)$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = b_1 \qquad (۴)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n = b_2 \qquad (۵)$$

1. Severity

www.SID.ir

Archive of SID



$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n = b_m \qquad (۶)$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \ldots, x_n \geq 0$$

که در آن $a_{ij}$ , $b_i$ ،$c_i$ ثابت‌های معلوم و xi ها متغیرهای تصمیم هستند [۴].

**مخلوط‌سازی فرآورده‌های نهایی**

واحدهای مختلف عملیاتی نمی‌توانند به‌طور مستقیم فرآورده‌های نهایی را تولید کنند. آنها اجزا و فرآورده‌های میانی یا فرآورده‌های نیمه نهایی را تولید می‌کنند و باید با هم مخلوط شده تا فرآورده‌هایی تولید شوند که مشخصات مطلوب و موردنظر را داشته باشد. مخلوط‌سازی فرآورده‌های بنزین و نفت گاز یک فرایند پیچیده پالایشی است به‌ویژه زمانی که از کارکنان عملیاتی خواسته شود تا محصولی با مشخصات کیفی مطلوب و استاندارد و با حداقل هزینه ممکن تولید کنند. بهترین مثال در این مورد بنزین موتور می‌باشد. تولید این فرآورده در حال پیچیده‌تر شدن است زیرا تعداد خواصی که در مشخصات آن باید کنترل شوند در حال افزایش می‌باشند. برای تأمین اهداف عملیاتی، مشخصه‌هایی که به‌عنوان مثال مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند عبارتند از: عدد اکتان تحقیقاتی (RON)، عدد اکتان موتور (MON)، فشار بخار (RVP)، میزان آروماتیک، بنزن، الفین، نقاط تقطیر منطبق با استاندارد ASTM-D86 و مواد اکسیژنه برای فرآورده بنزین و برای فرآورده نفت گاز مشخصه‌های اندیس ستان، نقطه ابری شدن، نقطه ریزش و نقاط تقطیر منطبق با استاندارد ASTM-D86. نظیر آنچه رایج و مرسوم است این مقادیر به‌وسیله نمونه‌گیری‌های مکرر و توقف عملیات مخلوط‌سازی و ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه و انجام آزمایش بر روی آنها، کنترل و اندازه‌گیری می‌شود که البته این روش منجر به اتلاف کیفی فرآورده‌ها و تحمیل هزینه‌های زیادی می‌شود [۲و۵].

برخی از پالایشگاه‌ها بیش از ۱۰ جزء و برش مختلف برای تولید محصول بنزین استفاده می‌کنند که برخی از آن اجزا نظیر بوتان، ایزومریت، آلکیلیت، ریفورمیت، بنزین واحد شکست کاتالیستی، MTBE و .... می‌باشند. مطابقت فرآورده‌های تولیدی با مشخصات مطلوب بازار از موارد مهم و اساسی می‌باشد ولی این مسئله نیز مهم است که این فرآورده‌ها نباید دارای مشخصاتی بالاتر از آنچه موردنظر بازار است، باشند زیرا چنین اتلاف کیفی[1] به گونه‌ای هدر دادن پول می‌باشد [۲و۵].

سودآوری عملیات اختلاط و تولید محصول بنزین به‌وسیله عناصر زیادی تعیین می‌شوند که عامل‌های اصلی آن شامل: بهینه‌سازی تولید اجزای مخلوط، کنترل موجودی مخازن و حداقل سازی اتلاف کیفی می‌باشد. از سویی باید توجه داشت که پالایشگران با قوانین سختگیرانه دولت‌ها برای مشخصه‌های کیفی بنزین نیز مواجه هستند و در نتیجه موارد اقتصادی، کیفیت سوخت و محدودیت‌های اعمال شده توسط این قوانین، همه منجر به پیچیده شدن فرایند مخلوط‌سازی می‌شوند [۸].

**الگوریتم مورد استفاده**

مسئله کلی بهینه‌سازی عملیات مخلوط‌سازی شامل حداکثر سازی یک مقیاس اقتصادی (معمولاً سود) است ضمن اینکه باید اطمینان یافت که همه خواص و مشخصه‌های کیفی و میزان تقاضای آن فرآورده و نیز محدودیت‌های خوراک در دسترس باید تأمین شود. یعنی: Max. سود (c,x)

به شرط:

مشخصات موردنظر ≥(Q,x) خواص مخلوط

میزان تقاضا برای آن محصول ≤(x) میزان محصول حاصل از اختلاط

که c، یک بردار شامل اطلاعات قیمتی برای اجزای مخلوط و مخلوط‌های نهایی، x بردار مربوط به میزان اجزای مخلوط و Q ماتریس شامل اطلاعات مربوط به خواص اجزای مخلوط می‌باشد [۴].

معادله سود را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\text{سود} = p.x - c.x \qquad (۷)$$

که p قیمت فروش مخلوط بنزین حاصل و c و x به‌ترتیب هزینه (قیمت تمام شده) و میزان جریان هریک از اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط می‌باشند. بهینه‌سازی عملیات مخلوط‌سازی فرآورده‌های پالایشگاه می‌تواند با به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی صورت پذیرد و در نهایت مسئله به‌وسیله یک حلال (Solver) صفحه گسترده نظیر آنچه در نرم‌افزار

1. Give Away

www.SID.ir

Archive of SID


Excel ارائه شده، حل شود [۴].

در مواقعی که ورودی‌های مختلف باید به میزان مشخص با هم مخلوط شده تا یک محصول خاصی را تولید کنند، از تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌شود. چنین مسائلی، مسائل مخلوط سازی یا اختلاط نامیده می‌شوند. مسائل اختلاط را به‌عنوان نمونه می‌توان برای صنعت پالایش نفت بیان کرد که در آن اجزا و فرآورده‌های میانی مختلف و متعدد با هم مخلوط می‌شوند تا محصولات متفاوت و متنوع مانند بنزین و سایر محصولات تولید شوند [۲].

یکی از ابزارهای مناسب و مفید در مواجه شدن با مسائل برنامه‌ریزی خطی آن است که مشخص شود چه نرم‌افزاری مناسب و بهترین است. این نرم‌افزار باید الگوریتم بهینه‌سازی قوی را به‌کار گیرد تا در نهایت به کاهش محسوس زمان حل در فرایند بهینه‌سازی منتهی شود به‌ویژه در مواقعی که با تعداد زیادی از متغیرها و قیود مواجه هستیم [۵].

مخلوط‌سازی فرآورده‌های نفتی با سه دیدگاه مواجه هستند: ۱) کیفیت فرآورده‌های نهایی ۲) اهمیت اقتصادی دست‌یابی به کیفیت مطلوب فرآورده‌ها ۳) سیستم فیزیکی [۵و۶].

در عملیات مخلوط‌سازی، هدف کلیدی و نهایی، تخصیص دادن اجزای قابل اختلاط موجود برای تولید یک فرآورده خاص می‌باشد به‌طوری‌که در اثر این اختلاط هم نیاز بازار و هم مشخصات موردنظر آن فرآورده تأمین و حداقل‌سازی هزینه نیز لحاظ شود. هر محصول نهایی باید کیفیت‌های خاص را دارا باشد که این مشخصات به‌وسیله شرکت تولیدکننده، خریدار و یا دولت تعیین می‌شود. باید توجه داشت که برای یک فرآورده، همه خواص و مشخصات مهم و با اهمیت می‌باشند. بعضی از این مشخصه‌ها به آسانی قابل حصول بوده و برخی نیاز به موازنه دقیق میان فرایند و عملیات مخلوط‌سازی دارند. در واقع عملیات مخلوط‌سازی هم یک هنر و هم یک دانش است. برخی از مشخصه‌های کیفی مخلوط از روابط خطی پیروی می‌کنند ولی اکثر آنها خطی نبوده و برای سهولت کار کیفیت‌های واقعی را به کیفیت‌های تجربی تبدیل می‌کنند که به آنها عدد یا اندیس مخلوط گفته می‌شود. برخی از مشخصه‌های کیفی مهم در جدول ۱ نشان داده شده است [۲،۵و۸].

بیشتر فرآورده‌ها در پالایشگاه در تولید محصولات نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و این مسئله به رعایت مشخصات مورد نظر برای محصول نهایی و به حداقل رساندن اتلاف کیفی که در واقع به حداکثر رساندن سودآوری حاصل از پالایش است، کمک می‌کند. خواص مخلوط سازی از روابط خطی (مانند مشخصه گوگرد) و یا غیرخطی (مانند مشخصه‌های ویسکوزیته و اکتان) تبعیت می‌کنند، در حالتی که یک خاصیت را نتوان به‌صورت خطی مخلوط کرد، می‌توان از جایگزینی اندیس‌ها و اعداد اختلاط و فاکتور برای محاسبه خواص مخلوط استفاده کرد. در جدول ۲ روش‌های مخلوط سازی بیان شده است [۳و۸].

**بهینه‌سازی مخلوط سازی**

روش‌های برنامه‌ریزی خطی به‌طور رایج برای بهینه‌سازی اقتصاد مخلوط سازی به‌کار برده می‌شوند. در این روش ارزش نسبی هر یک از اجزای مخلوط در فرآورده حاصل از اختلاط لحاظ می‌شود [۸].

مراحل زیر به‌طورکلی استراتژی بهینه‌سازی فرایند مخلوط سازی برای فرآورده‌های تولیدی در پالایشگاه را بیان می‌کنند:

۱) تعریف محدودیت‌ها و قیود (به شکل معادلات مساوی یا نامساوی)

۲) اطمینان از انعطاف‌پذیری کافی به‌طوری‌که قیود را بتوان تأمین کرد.

۳) ترکیب کردن تمامی انعطاف‌پذیری‌ها برای اطمینان از جامع بودن بهینه‌سازی بر اساس کیفیت فرآورده‌های میانی، کیفیت محصولات نهایی و قیمت نسبی محصول. به‌طور مثال برش نفتای سنگین هم در تولید محصول بنزین و هم در تولید نفت گاز و نفت کوره قابل استفاده است و باید هر سه مسیر ممکن برای استفاده از این فرآورده میانی در تولید محصولات مختلف و انتخاب بهترین حالت از میان آنها مد نظر قرار گیرند.

۴) مشخص بودن قیمت فرآورده‌های میانی

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول۱**- برخی از مشخصه‌های کیفی مهم

| فرآورده | مشخصه | واحد | نحوه اختلاط |
|---|---|---|---|
| بنزین موتور | کارایی جاده | (عدد اکتان موتور+ عدد اکتان تحقیقاتی)/۲ | غیرخطی، استفاده از اعداد اختلاط |
| بنزین موتور | قفل بخار | فشار بخار رید | خطی مولی، جزء کسری یا استفاده از مقادیر اختلاط |
| بنزین موتور | فراریت | تقطیر(سانتیگراد یا فارنهایت) | غیرخطی، بین نقاط ۵ و ۹۰ درصد به‌صورت درصدی |
| نفت سفید/ سوخت سنگین جت | نقطه دود | درجه سانتیگراد یا فارنهایت | غیرخطی، استفاده از اندیس‌های نقطه دود |
| نفت سفید/ سوخت سنگین جت | نقطه تبخیر ناگهانی | درجه سانتیگراد یا فارنهایت | غیرخطی، استفاده از مقادیر اختلاط |
| نفت سفید/ سوخت سنگین جت | نقطه انجماد | درجه سانتیگراد یا فارنهایت | غیرخطی، استفاده از مقادیر اختلاط |
| نفت سفید/ سوخت سنگین جت | میزان گوگرد | درصد وزنی | خطی |
| نفت گاز | ستان | عدد ستان | غیرخطی |
| نفت گاز | نقطه ریزش/ نقطه ابری | درجه سانتیگراد یا فارنهایت | غیرخطی، استفاده از مقادیر اختلاط |
| نفت گاز | میزان گوگرد | درصد وزنی | خطی |
| نفت کوره | گرانروی | سانتی استوک | غیرخطی، استفاده از مقادیر اختلاط |
| نفت کوره | میزان گوگرد | درصد وزنی | خطی |
| نفت کوره | وزن مخصوص | - | خطی |

**جدول۲**- روش‌های مخلوط سازی

| مشخصه | روش | مبنا |
|---|---|---|
| وزن مخصوص | خطی | حجمی |
| میزان گوگرد | خطی | وزنی |
| کنرادسون | خطی | وزنی |
| ارزش حرارتی | خطی | وزنی |
| تقطیر (درجه سانتیگراد) D86/1160 | خطی | حجمی |
| ستان/ اندیس دیزل | خطی | حجمی |
| تبخیر ناگهانی | اندیس | حجمی |
| فشار بخار | اندیس | حجمی |
| خواص سرد | فاکتور | حجمی |
| عدد اکتان | اندیس | حجمی |
| گرانروی | اندیس | وزنی |

www.SID.ir

Archive of SID


۵) تعیین اینکه آیا خود نفت خام نیز نیاز به تأمین هدف مخلوط سازی دارد یا نه. مثلاً اگر قرار باشد فرآورده‌ای با گوگرد ۱٪ تولید شود، نیاز است که نفت خامی با گوگرد پایین در پالایشگاه فرآورش شود [۲و۸].

**تعریف مسئله**

پالایشگاه تهران فرآورده‌های مختلفی را تولید و به بازار عرضه می‌کند. این فرآورده‌ها حاصل اختلاط برش‌ها و اجزای مختلفی بوده که در واحدهای عملیاتی مختلف پالایشگاه تولید شده و یا از سایر صنایع خارج از پالایشگاه خریداری می‌شوند که تعداد، مقدار و خواص فیزیکی و شیمیایی این اجزا بستگی به نوع نفت خام پالایشی، چگونگی اختلاط اجزا و شرایط عملیاتی دارد.

مسئله‌ای که باید حل شود این است که فرایند اختلاط باید چگونه انجام شود تا محصولات موردنظر و مطلوبی با هدف حداکثرسازی درآمد حاصل از فروش، تولید شوند، ضمن اینکه کیفیت و میزان تقاضای بازار برای آن محصولات نیز حفظ و تأمین شود. در حل مسئله دیدگاه‌هایی داخل می‌شوند که بر روی دستیابی به اهداف تأثیرگذار هستند که عبارتند از:

۱) انواع محصولات موردنیاز بازار ۲) قیمت فرآورده‌های تولیدی در پالایشگاه ۳) حداقل مشخصه‌های کیفی که در مورد فرآورده‌های تولیدی باید رعایت شود ۴) تقاضای بازار ۵) اجزا و برش‌های در دسترس و موجود برای مخلوط‌سازی و تولید محصول نهایی ۶) خواص فیزیکی-شیمیایی همه اجزا و فرآورده‌های میانی که در فرایند اختلاط استفاده می‌شوند ۷) روش‌های ریاضی برای تخمین خواص فیزیکی-شیمیایی محصولات حاصل از اختلاط [۵و۸].

**جمع‌آوری و پردازش اطلاعات**

بعد از شناسایی و تعیین بینش و دیدگاه‌هایی که بر مسئله تأثیرگذار می‌باشند، مرحله بعدی جمع‌آوری اطلاعات لازم برای تخمین همه مقادیر موردنیاز برای توسعه و ارزیابی یک مدل ریاضی برای مسئله به شرح زیر می‌باشد [۲،۵و۸].

- فرآورده‌های اصلی مورد نیاز بازار که در پالایشگاه می‌توانند تولید شوند، عبارتند از: گازمایع، بنزین موتور، سوخت جت، نفت گاز و نفت کوره.
- قیمت فرآورده‌های تولیدی پالایشگاه که معمولاً توسط دولت تعیین می‌شود.
- حداقل مشخصه‌های کیفی فرآورده‌های تولیدی که توسط استاندارد سوخت‌های مایع مشخص شده است.
- وضعیت و الگوی فرآورده‌های پالایشگاهی که باید مطابق با نیاز بازار باشد، به‌وسیله موازنه انرژی کشور میزان مصرف آنها تعیین می‌شود.

تجزیه و تحلیل دیدگاه‌های اصلی که می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد عبارتند از:

- در یک پالایشگاه ساده و با فرایندهای رایج، هشت برش نفتی برای اختلاط وجود دارد:

پروپان، بوتان، نفتای سبک، ریفرمیت، نفت سفید، نفت‌گاز سبک، نفت‌گاز سنگین و ته‌مانده برج اتمسفر. ریفرمیت مهمترین برش نفتی برای استفاده در مخلوط سازی بنزین می‌باشد بنزین‌های بدون سرب نیاز به ریفرمیت با اکتان بالا دارند و در نتیجه در این حالت شرایط عملیاتی واحد ریفورمینگ نسبت به حالتی که بنزین سرب‌دار تولید می‌شود، متفاوت است. بنابراین دو روش عملیاتی مختلف برای واحد ریفورمینگ باید تعریف شود و موازنه جرمی همه واحدهای فرایندی باید به کمیت ریفورمیت مربوط شود.

- خواص فیزیکی-شیمیایی برش‌های نفتی استفاده شده به‌عنوان اجزای مخلوط، یا به‌طور آزمایشگاهی و یا با استفاده از روش‌های تجربی تعیین می‌شوند. خواص فیزیکی-شیمیایی اجزای سازنده مخلوط، برای تخمین خواص فرآورده‌های حاصل از اختلاط به‌کار می‌رود. یکی از مفروضاتی که برای به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی باید لحاظ شود جمع‌پذیری خطی خواص فیزیکی و شیمیایی می‌باشد. خواص جمع‌پذیر مانند دانسیته، فشار بخار واقعی (TVP)، عدد اکتان، میزان گوگرد، عدد ستان، گرمای حاصل از احتراق و تقطیر TBP می‌باشند. برخی از خواص فیزیکی-شیمیایی که به‌صورت خطی جمع‌پذیر نمی‌باشند، می‌توانند با اندیس‌های مخلوط‌سازی که مشخصات جمع‌پذیر دارند، نشان داده شوند. خواص ویسکوزیته سینماتیک،

www.SID.ir

Archive of SID



نقطه فلش (Flash) و نقطه ریزش جمع‌پذیر نیستند.

در مورد تقطیر ASTM، ابتدا باید آن را به تقطیر TBP تبدیل کرد. بعد از تخمین تقطیر TBP، باید مجدداً به تقطیر ASTM برگردانده شود که به‌وسیله استاندارد مشخص می‌شود. رابطه بین تقطیرهای ASTM و TBP به شدت تجربی بوده و روش مشخصی برای اینکه بتوان از قبل نقاط ASTM برای محصول مخلوط شده را (مانند بنزین و نفت‌گاز) تخمین زد، وجود ندارد. بنابراین یک روش حدس و خطا باید به‌کار گرفته شود. این روش را می‌توان برای همه خواص فیزیکی-شیمیایی که تابعی از تقطیر هستند به‌کار برد. به‌طور مثال مشخصه فشار بخار رید (RVP) برای محصول بنزین، که به‌صورت خطی جمع‌پذیر نمی‌باشد باید ابتدا به TVP (فشار بخار واقعی) تبدیل شود. بعد از تخمین TVP مخلوط، می‌توان آن را به RVP تبدیل کرد. رابطه میان RVP و TVP تجربی می‌باشد.

- برای تخمین برخی از خواص فیزیکی- شیمیایی، اندیس‌های مخلوط‌سازی، تبدیلات ASTM-TBP و RVP-TVP و همچنین برای پیش‌بینی پاسخ مخلوط بنزین تولیدی به ترکیب ضد ضربه (تترا اتیل سرب)، روابط ریاضی به‌وسیله تصمیمات و تجزیه و تحلیل رگرسیون تجربی توسعه یافته‌اند [۲،۵و۸].

## فرموله کردن مدل برنامه‌ریزی خطی

مدل خطی باید بتواند آنچه را که مدنظر است به‌طور کامل توصیف کند. یعنی چه میزانی از چه برش و اجزایی و برای تولید چه فرآورده‌ای باید با هم مخلوط شوند تا حداکثر درآمد حاصل از فروش آن فرآورده به‌دست آید، ضمن اینکه نفت‌خام موجود از نظر کمی و کیفی و محدودیت‌های ناشی از استاندارد جاری برای مشخصات سوخت‌های مایع، میزان تقاضای بازار و موازنه جرمی واحدهای فرایندی نیز باید مدنظر قرار گیرند [۵].

متغیرهای تصمیم را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$G_{cij}$، میزان برش i می‌باشد که مخلوط می‌شود. در فرآورده تولیدی j تحت شرایط عملیاتی c برای i=1,2,...,n و j =1,2,...,n و c =1,2 که c =1 یعنی شرایط عملیاتی واحد ریفورمینگ در حالتی که قرار باشد بنزین نهایی با استفاده از مواد افزایش دهنده اکتان مانند سرب و ... تولید شود و c =2 یعنی شرایط عملیاتی آن واحد برای حالتی که قرار باشد تا بنزین بدون مواد افزایش دهنده اکتان تولید شود. با لحاظ کردن طبیعت فرآورده‌هایی که باید مخلوط شوند و نیز تکنولوژی‌های قابل قبول برای تولید، شمای مخلوط سازی را می‌توان در قالب یک ماتریس نشان داد [۵].

هر یک از جریانات و برش‌های موجود در یک پالایشگاه ممکن است در فرایند اختلاط و تولید بیش از یک فرآورده نهایی مورد استفاده قرار گیرد، لذا برای در نظر گرفتن تمام حالت‌های احتمالی اختلاط برای تولید محصولات مختلف و یافتن حالت بهینه، در فرمول‌های بیان شده از اندیس‌های i و j برای هر یک از متغیرها استفاده شده است.

حال می‌توان تابع هدف (درآمد حاصل از فروش) را مطابق فرمول (۸) تعریف کرد:

$$\text{تابع هدف} = \sum c_{cij} G_{cij} \qquad (۸)$$

که $c_{cij}$ قیمت فروش فرآورده به ازای هر واحد وزن (حجم) می‌باشد.

مقادیر متغیرهای تصمیم، باید مجموعه قیود خطی را که نشانگر محدودیت‌های منابع و امکان‌پذیری آنها می‌باشد تأیید و تأمین کند.

اولین مجموعه از قیود به‌وسیله استاندارد رایج مورد نیاز برای حداقل کیفیت محصول حاصل از اختلاط ناشی از خواص فیزیکی-شیمیایی برش‌ها و اجزای تشکیل دهنده موجود، تعریف می‌شود. در شکل ۱، فرمول کلی محاسبه خواص حاصل از مخلوط سازی ارائه شده است [۲و۵].

محصولات مختلف باید در قیود مختلف صدق کنند به عنوان مثال حداکثر فشار بخار مورد نیاز می‌تواند به‌صورت زیر بیان شود [۵-۷]:

- حداکثر فشار بخار رید-RVP (گاز مایع و بنزین):

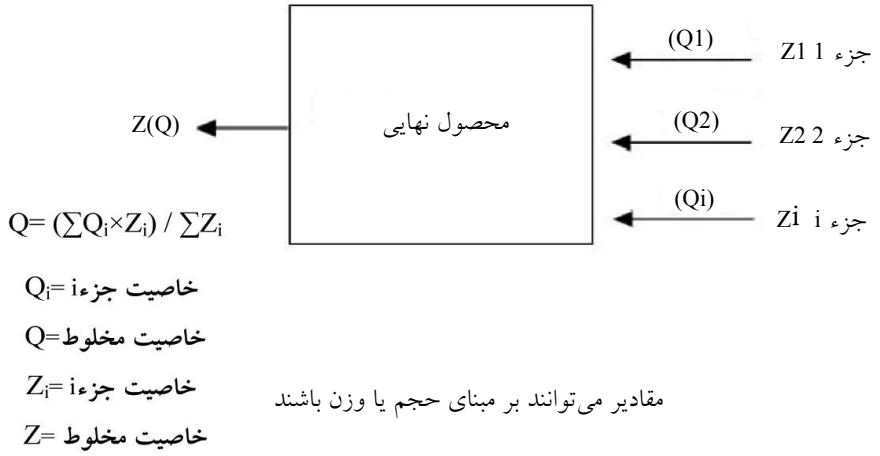
$$\sum m_{cij} (RVP_{ci}) \le RVP_{j,Max} \qquad (۹)$$

که $RVP_{j,Max}$ حداکثر مشخصه مورد نظر (فشار بخار رید) برای مخلوط نهایی مربوط به فرآورده j ام و $RVP_{ci}$ و $m_{cij}$ به‌ترتیب مشخصه مورد نظر و کسر مولی مربوط به جزء i ام در مخلوط نهایی می‌باشند.

به‌طورکلی این فرم نامساوی، غیرخطی می‌باشد اما بعد از مقدار جابه‌جایی و استفاده از اندیس اختلاط فشار بخار

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۱**- فرمول کلی مخلوط سازی خطی

($VPBI_{ci}$) و کسر حجمی می‌توان آن را به یک شکل مناسب خطی زیر تبدیل کرد:

$$\sum v_{cij} (VPBI_{ci}) - RVP_{j,Max} \leq 0 \qquad (۱۰)$$

که $M_{cij}$ مقدار کل مخلوط می‌باشد. ضرایب متغیرهای تصمیم در قیود، ضرایب تکنولوژیکی هستند. در این حالت ضریب تکنولوژیکی برابر است با:

$$(P_{ci}-P_{j,Max})\, M_{ci}$$

به روش مشابه سایر قیود حاصل از کیفیت مورد نیاز را می‌توان تعریف کرد که برخی از آنها به‌صورت زیر می‌باشند:

- حداکثر مقدار موجود از جزء K در مخلوط (گازمایع):

$$\sum (g_{ci,k}-g_{j,k,Max})\, G_{ci} \leq 0$$

- حداقل اندیس عدد اکتان-RONI (بنزین موتور):

$$RONI_{j,min} - \sum v_{cij}(RONI_{ci}) \leq 0 \qquad (۱۱)$$

- حداقل میزان بازیافتی به‌وسیله تقطیر-V (بنزین موتور و نفت گاز):

$$V_{j,min} - \sum v_{cij} (V_{ci}) \leq 0 \qquad (۱۲)$$

- حداقل گراویتی-SG (نفت‌گاز):

$$SG_{j,min} - \sum v_{cij} (SG_{ci}) \leq 0 \qquad (۱۳)$$

- حداکثر گراویتی-SG (نفت‌گاز): حداکثر میزان سولفور-S (محصولات میان تقطیر):

$$\sum v_{cij}(SG_{ci}) - SG_{j,Max} \leq 0 \qquad (۱۴)$$

- حداکثر میزان سولفور-S (محصولات میان تقطیر):

$$\sum w_{cij}(S_{ci}) - S_{j,Max} \leq 0 \qquad (۱۵)$$

- حداقل عدد اندیس ستان-C.I (نفت‌گاز):

$$C.I_{j,min} - \sum v_{cij}(C.I_{ci}) \leq 0 \qquad (۱۶)$$

- حداکثر عدد اندیس نقطه ریزش-$B.I_{PP}$ (نفت‌گاز):

$$\sum v_{cij}(B.I_{PP,ci}) - B.I_{PP,j,Max} \leq 0 \qquad (۱۷)$$

$v_{cij}$ و $w_{cij}$ به‌ترتیب کسر حجمی و وزنی برش i می‌باشد که در فرآورده تولیدی j تحت شرایط عملیاتی c مخلوط می‌شود [۵-۷]. برای تأمین کیفیت مورد نیاز باید تمامی قیود را تعریف کرد.

در مدل‌های واقعی، برهمکنش میان اجزای تشکیل‌دهنده یک مخلوط را نیز می‌بایست در فرمول‌ها لحاظ کرد ولی به‌دلیل پیچیدگی این امر و به منظور ساده‌سازی، مدل‌ها ایده آل فرض می‌شوند [۱].

دومین مجموعه از قیود به‌وسیله تقاضای بازار تعیین می‌شود. محدودیت‌های بازار را می‌توان بر اساس حداقل یا حداکثر میزان مورد نیاز فرآورده و یا حداقل و حداکثر برخی اجزای موجود در فرآورده حاصل از اختلاط بیان کرد [۵].

سومین مجموعه از قیود به‌وسیله موازنه جرم واحدهای فرایندی و یا به‌عبارت دیگر به‌وسیله محدودیت کمی نفت‌خام و اجزای موجود به منظور اختلاط، تعریف می‌شود. میزان نفت خام و اجزای و برش‌های لازم برای مخلوط سازی به میزان ریفورمیت برای هر دو وضعیت و شرایط عملیاتی مختلف یعنی شرایط تولید بنزین سرب‌دار و بدون سرب بستگی دارد.

www.SID.ir

Archive of SID



**ارزیابی و اعتبار مدل**

بعد از توسعه مدل برنامه‌ریزی خطی برای حل مسئله مخلوط سازی، باید میزان اعتبار و کارایی آن برای وضعیت موجود تعیین شود. زیرا مدل تهیه شده باید برای حل مسائل واقعی و پیش‌بینی راه‌حل‌هایی برای سایر مسائل مختلف کاربرد داشته باشد. اگر مقادیر پیش‌بینی شده نزدیک به مقادیر واقعی باشد بدین معنا است که مدل مذکور نمایانگر دقیقی از شرایط واقعی و وضعیت موجود می‌باشد [۵و۸].

تأیید و تصدیق مدل می‌تواند به‌وسیله انجام یک مطالعه موردی برای حداکثرسازی درآمد حاصل از فروش فرآورده‌های تولیدی یک پالایشگاه نفت خام و با مشخصه کیفی مربوطه، انجام‌پذیر باشد و راه‌حل بهینه به‌وسیله نرم‌افزار به‌دست آمده و در ادامه مخلوط سازی فرآورده بنزین به‌طور دقیق‌تر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

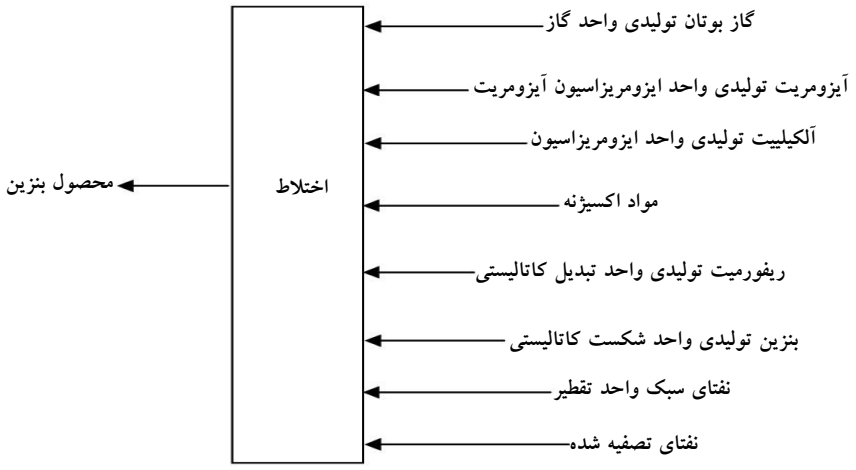
**بنزین**

هیدروکربن‌های بنزین از چهار کربنی‌ها ($C_4$) آغاز و به دوازده کربنی‌ها ($C_{12}$) پایان می‌یابند و نقطه‌های جوش آنها میان ۳۰ تا ۲۱۰ درجه سانتیگراد است. به‌طورکلی در ترکیب شیمیایی بنزین چهار نوع هیدروکربن دیده می‌شود: ۱) هیدروکربن‌های پارافینی ۲) هیدروکربن‌های الفینی ۳) هیدروکربن‌های نفتنی ۴) هیدروکربن‌های آروماتیکی [۸].

مخلوط بنزین که به‌عنوان سوخت موتورهای احتراق داخلی جرقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و تقاضا برای آن در تابستان بسیار زیاد می‌شود، حاصل فرایند ترکیب یک سری از اجزای و فرآورده‌های میانی و چندین محدوده مختلف از برش نفتا، بوتان و در برخی موارد مقداری ماده اکسیژنه می‌باشد که به‌وسیله واحدهای عملیاتی موجود در پالایشگاه تولید شده و ضمن مخلوط شدن با یکدیگر، با اضافه شدن مقداری از مواد افزودنی مخلوطی تهیه می‌شود که دارای یک سری مشخصه‌های کیفی معین و موردنظر می‌باشد [۸].

چنانچه از اجزای تشکیل‌دهنده بنزین در تولید آن استفاده نشود می‌توان بوتان را به گاز مایع، نفتای سنگین را به نفت سفید، و نفتای سنگین واحد شکست کاتالیستی را به نفت گاز یا نفت کوره تزریق کرد و ریفورمیت واحد ریفورمینگ را به‌عنوان خوراک به واحد آروماتیک ارسال کرد. در شکل۲، مخلوط‌سازی بنزین به‌طور شماتیک نشان داده است [۳و۸].

مشخصات مهم بنزین عبارتند از: ۱) عدد اکتان (Min): که خاصیت ضد ضربه یا آرام‌سوزی را نشان می‌دهد. ۲) مواد اکسیژنه (Min/Max): موجب افزایش احتراق کامل می‌شود. ۳) میزان بنزن (Max): که به‌وسیله مقررات زیست‌محیطی تعیین می‌شود. ۴) میزان آروماتیک (Max): که به‌وسیله مقررات زیست‌محیطی تعیین می‌شود. ۵) میزان سولفور (Max): که به‌وسیله مقررات زیست‌محیطی تعیین می‌شود. ۶) فشار بخار (Min/Max): که متناسب با فصل و محل استفاده سوخت، متغیر می‌باشد. ۷) تقطیر ASTM-D86: بر کارایی موتور تأثیرگذار می‌باشد [۸].




**شکل۲**- شمای ساده مخلوط سازی بنزین

www.SID.ir

Archive of SID


**جدول۳-** مشخصات بنزینی هیدروکربن‌ها

| | عدد اکتان تحقیقاتی | عدد اکتان موتور | فشار بخار رید (پوند بر اینچ مربع) | نقطه جوش (سانتیگراد) |
|---|---|---|---|---|
| **پارافین‌ها:** | | | | |
| نرمال هگزان | ۲۴/۸ | ۲۶ | ۴/۹ | ۶۸/۷ |
| ایزو هگزان | ۷۷/۵ | ۷۶/۴ | ۶/۸ | ۶۰/۶ |
| هپتان | ۰ | ۰ | ۱/۶ | ۹۸/۳ |
| ایزو اکتان | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱/۷ | ۹۹/۴ |
| **الفین‌ها:** | | | | |
| ۱- هپتن | ۵۵ | ۵۱ | ۲ | ۹۳/۳ |
| ترشی متیل پنتن | ۱۰۶ | ۸۶ | ۱/۳ | ۱۰۵ |
| **نفتن‌ها:** | | | | |
| متیل سیکلو پنتان | ۹۱ | ۸۰ | ۴/۵ | ۷۱/۷ |
| سیکلو هگزان | ۸۳ | ۷۷ | ۳/۳ | ۸۰/۶ |
| **آروماتیک‌ها:** | | | | |
| بنزن | ۱۱۵ | ۹۸ | ۳/۲ | ۸۰ |
| تولوئن | ۱۲۰ | ۱۰۳ | ۱ | ۱۱۰/۶ |

در جدول۳، خواص بنزینی هیدروکربن‌ها نشان داده شده است [۸].

به‌منظور بهبود و توسعه کیفیت بنزین، تکنیک‌های پیشرفته متعددی ارائه شده است. همه این رویکردها و روش‌ها به مدل‌های مناسب برای عملیات مخلوط سازی نیاز دارند. مدل کردن مخلوط بنزین مسئله اصلی و کلیدی برای عملیات نظارت، کیفیت بنزین و کنترل بهینه آن می‌باشد. به همین علت معمولاً از یک مدل خطی به علاوه یک مدل غیر خطی علیرغم عدم قطعیت[1] آن، استفاده می‌شود [۶و۷].

مدل ریاضی دقیق برای مخلوط سازی بنزین آن قدر پیچیده است که قابل تجزیه و تحلیل نمی‌باشد، تلاش‌های زیادی صورت گرفته تا مدل‌های ساده شده‌ای ارائه شود. یک روش مشترک برای تخمین عملیات مخلوط سازی، استفاده از مدل خطی است ضمن اینکه ارائه یک مدل واقع بینانه بر اساس داده‌های عملیاتی برای مهندسان بسیار مهم می‌باشد [۷-۵].

**مدل‌های ریاضی عملیات مخلوط سازی بنزین**

مخلوط سازی اجزای بنزین یک عملیات مهم در صنعت تولید بنزین است. یک مدل مناسب برای سیستم اختلاط، عملیات نظارت، پیش‌بینی کیفیت بنزین تولیدی و کنترل بهینه آن سودمند است. به منظور مدل‌سازی فرایند مخلوط سازی بنزین به‌وسیله داده‌های ورودی و خروجی، در ابتدا چند مدل ریاضی ساده از اختلاط بنزین مورد بررسی قرار می‌گیرد.

خواص مهمی که بر کارایی موتور اثر می‌گذارند عبارتند از: عدد اکتان، فراریت و محدوده جوشش. عدد اکتان نشان دهنده خواص ضد ضربه یک سوخت می‌باشد. فشار بخار شاخصی از فراریت بنزین را بیان می‌کند که تقریباً فشار بخار بنزین در دمای $38\ ^{o}C$ می‌باشد. مدل‌های ارائه شده برای محاسبه عدد اکتان و فشار بخار مخلوط به شرح زیر است [۵و۷]:

۱) مدل ایده آل برای عدد اکتان (مدل خطی):

1. Uncertainty

www.SID.ir

Archive of SID



$$q_f = \sum_{i=1}^{n} q_i, \quad x_i = \frac{q_i}{q_f} \tag{۱۸}$$

$$RON_1 = \sum_{i=1}^{n} x_i p_i = \frac{1}{q_f} \sum_{i=1}^{n} p_i q_i \tag{۱۹}$$

که $x_i$ و $p_i$ به‌ترتیب جزء حجمی و اندیس عدد اکتان اجزای i، $p_f=RON_1$، $q_i$ مقدار جریان مربوط به اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط و $q_f$ مجموع مقدار جریانات اجزا می‌باشد.

۲) مدل ایده‌آل برای فشار بخار رید (مدل خطی):

$$RVP_1 = \sum_{i=1}^{n} x_i p_i \tag{۲۰}$$

که $x_i$ جزء حجمی مربوط به جزء i، $p_i$ اندیس فشار بخار رید مربوط به اجزای تشکیل دهنده مخلوط و $p_f=RVP_1$ نشانگر فشار بخار کل مخلوط می‌باشد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، روابط فوق از مدل‌های خطی به علاوه تصحیحات غیر خطی استفاده می‌کنند که تنها تحت شرایط خاصی مناسب بوده و پارامترهای آن مدل‌ها به‌وسیله داده‌های آزمایشگاهی تعیین می‌شوند [۷].

## بهینه‌سازی مخلوط سازی بنزین

در دهه اخیر هزینه کنترل بهبود اکتان یکی از اصلی‌ترین ملاحظات در دنیای صنعت پالایش شده است که دلایل آن عبارتند از: افزایش محدودیت‌های قانونی استفاده از مواد ضد ضربه مانند سرب و منگنز، نیاز به افزایش عدد اکتان بنزین موتور و افزایش تقاضای بنزین موتور.

اقتصاد اکتان، استفاده از مواد ضد ضربه مخلوط در بنزین، برای مراعات محدودیت‌های قانونی و استفاده از بوتان به‌عنوان یک جزء اکتان بالا در مخلوط بنزین را برای تأمین حداکثر مشخصه RVP آن، ضروری می‌کند [۸].

## هزینه بهبود اکتان به‌وسیله فرایند

اگر چه همه واحدهای تولید کننده اجزای بنزین بر کیفیت اکتان فرآورده نهایی بنزین اثر گذار هستند ولی پالایشگران به واحدهای ریفورمینگ به‌عنوان واحد کنترل کننده اکتان بنزین، توجه بیشتری دارند. برای تعیین دقیق محصول ریفورمیت تولیدی آن واحد باید برای هر رتبه[1] از محصول نهایی بنزین مورد توجه قرار گیرد. برای محاسبه هزینه فوق به اطلاعات اقتصادی زیر نیاز است: ارزش محصولات جانبی واحد ریفورمینگ، هزینه هر یک از یوتیلیتی‌های مصرف شده، هزینه کاتالیست، قیمت محصول نهایی بنزین در پالایشگاه، قیمت بوتان خریداری شده از خارج پالایشگاه (در صورت خریداری) و هزینه مواد ضدضربه مصرف شده در بعضی از پالایشگاه‌ها ممکن است عوامل دیگری به جز اقتصاد بهبود اکتان بنزین وجود داشته باشد که میزان تأثیر و شدت[2] واحد ریفورمینگ را الزامی می‌کند [۸].

## مراحل بهینه‌سازی مخلوط سازی بنزین

مخلوط سازی بنزین موتور زمانی بهینه می‌شود که از حداکثر حجم اجزای تشکیل دهنده مخلوط با حداقل هزینه استفاده شود. اختلاط‌های بهینه قابل دست‌یابی هستند؛ به‌وسیله: موازنه کردن عملیات واحدهای ریفورمینگ و شکست کاتالیستی با عملیات مخلوط‌سازی، جداسازی برش‌های بنزین تولیدی واحدهای شکست کاتالیستی و هیدروکراکر، ارسال برش سنگین بنزین تولیدی در واحدهای شکست کاتالیستی و هیدروکراکر به عنوان خوراک به واحد ریفورمینگ، حفظ حداکثر انعطاف‌پذیری اجزای مخلوط‌سازی، حداقل کردن مصرف بوتان در مخلوط‌سازی و استفاده از اجزای اکتان بالا در تولید بنزین سوپر [۸].

در شکل ۳ به‌طور شماتیک و ساده الگوریتم مخلوط سازی فرآورده‌ها نشان داده شده است. در این شکل به‌طور خلاصه استراتژی تعیین مبنا و نحوه محاسبات اختلاط و خواص مخلوط حاصله بر اساس اینکه ماهیت خاصیت خطی و غیر خطی باشد، ارائه شده است [۸].

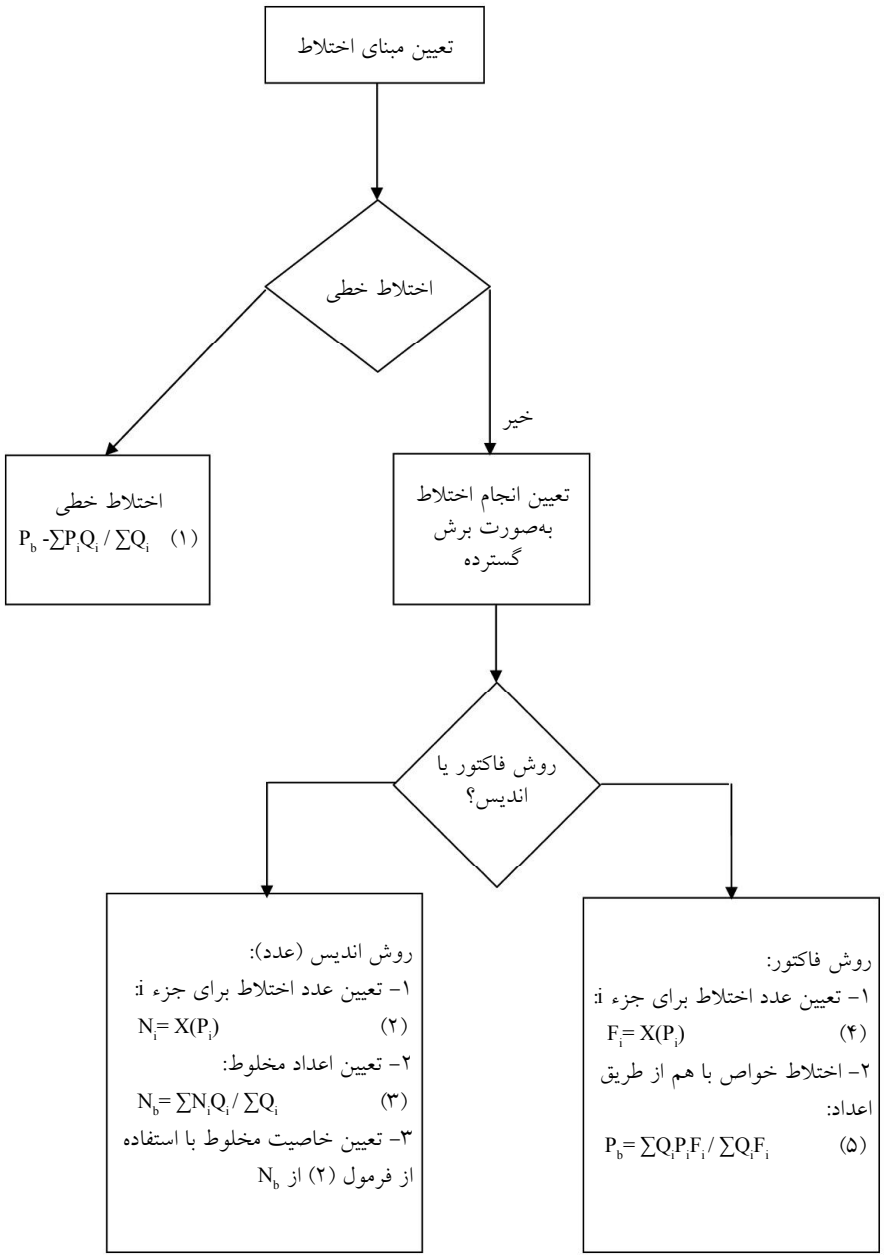
## مطالعه موردی- بحث و نتایج

در این بخش به‌منظور نشان دادن چگونگی استفاده از الگوریتم بیان شده برای بهینه‌سازی اختلاط فرآورده‌ها و کاربرد فرمول‌های ارائه شده برای محاسبه مشخصه‌های کیفی مخلوط، بهینه‌سازی مخلوط سازی فرآورده بنزین موتور در پالایشگاه تهران و صرفاً در مورد سه مشخصه مهم عدد اکتان، فشار بخار و وزن مخصوص مورد بررسی قرار می‌گیرد.

1. Grade
2. Severity

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل۳**- الگوریتم مخلوط سازی فرآورده

این پالایشگاه مشتمل بر دو پالایشگاه جنوبی (شماره ۱) و شمالی (شماره ۲) است و واحدهای فرایندی آن عبارتند از: واحدهای تقطیر در اتمسفر، تقطیر در خلاء، استحصال گاز مایع، کاهش گرانروی، تبدیل کاتالیستی (ریفورمینگ)، هیدروکراکر (آیزوماکس)، هیدروژن‌سازی و سرویس‌های تولید آب، برق و بخار که این واحدها در هر یک از دو پالایشگاه وجود دارند. البته واحدهای روغن‌سازی و قیرسازی نیز در پالایشگاه وجود داشتند که در سال‌های اخیر به بخش خصوصی واگذار شده‌اند.

با توجه به اینکه سیستم اختلاط و مخازن این دو پالایشگاه مشترک می‌باشد، برای سهولت، فرآورده‌های تولیدی هر دو پالایشگاه شماره (۱) و (۲) به‌صورت یکجا و با هم مورد بررسی قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که پالایشگاه تهران برای اصلاح عدد اکتان بنزین تولیدی خود مقداری فرآورده ریفورمیت نیز از پالایشگاه اراک دریافت کرده و در فرایند مخلوط سازی بنزین استفاده می‌کند.

مشخصات استاندارد مورد نظر پالایشگاه تهران به شرح جدول ۴ می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول۴**- مشخصات استاندارد فرآورده بنزین

| | | حدود | | |
|---|---|---|---|---|
| آزمون | واحد | بنزین سوپر | بنزین معمولی | روش آزمون |
| دانسیته در ۱۵ درجه سانتیگراد | کیلوگرم بر مترمکعب | مطابق گزارش | مطابق گزارش | ASTMD1298 |
| تقطیر | | | | ASTM D86 |
| دمای ۱۰٪ تبخیر | درجه سانتیگراد | حداکثر ۶۵ | حداکثر ۶۵ | ASTM D86 |
| دمای ۵۰٪ تبخیر | درجه سانتیگراد | حداکثر ۱۱۵ | حداکثر ۱۱۵ | ASTM D86 |
| دمای ۹۰٪ تبخیر | درجه سانتیگراد | حداکثر ۱۸۰ | حداکثر ۱۸۰ | ASTM D86 |
| نقطه جوش نهایی | درجه سانتیگراد | حداکثر ۲۰۵ | حداکثر ۲۰۵ | ASTM D86 |
| باقیمانده | درصد حجمی | حداکثر ۲ | حداکثر ۲ | ASTM D86 |
| اتلاف | درصد حجمی | مطابق گزارش | مطابق گزارش | ASTM D86 |
| گوگرد کل | درصد وزنی | حداکثر ۰/۱ | حداکثر ۰/۱ | ASTMD1266 |
| فشار بخار رید در ۳۷/۸ درجه سانتیگراد | کیلوپاسکال | توجه ۱ را ببینید | توجه ۱ را ببینید | ASTMD323 |
| عدد اکتان (تحقیقاتی) | – | حداقل ۹۵ | حداقل ۸۷ | ASTM D2699 |
| عدد اکتان (موتور) | – | حداقل ۸۷ | – | ASTM D2700 |

توجه ۱:
از اول فروردین تا پایان اردیبهشت = حداکثر ۶۲
از اول خرداد تا پایان شهریور = حداکثر ۵۵
از اول مهر تا پایان آبان = حداکثر ۶۲
از اول آذر تا پایان اسفند = حداکثر ۶۹

اطلاعات مربوط به مقادیر و هزینه تولید اجزا و جریانات بنزینی و میزان و قیمت فروش بنزین تولیدی حاصل از اختلاط این اجزا در شرایط فعلی پالایشگاه در جدول ۵ نشان داده شده است. هزینه تولید اجزا و قیمت فروش بنزین حاصل از اختلاط در جدول ۵ بر مبنای میانگین قیمت‌های سال ۲۰۰۷ در فوب خلیج فارس محاسبه شده است. همان‌طورکه در جدول ۵ نشان داده شده است در وضعیت موجود، بنزین تولیدی پالایشگاه در مورد مشخصه عدد اکتان دارای انحراف از مقدار استاندارد (مطابق جدول ۴) می‌باشد، زیرا عدد اکتان در مشخصات استاندارد برابر با ۸۷ بوده ولی بنزین تولیدی پالایشگاه دارای عدد اکتان ۸۷/۹ می‌باشد و این به معنای اتلاف کیفی اشاره شده در قبل و یا به‌عبارتی هدر دادن سرمایه است. در این حالت سود حاصل از تولید بنزین (اختلاف درآمد حاصل از فروش

**جدول۵**- اطلاعات مربوط به اجزای بنزین پالایشگاه تهران

| فرآورده میانی | مقدار موجود (متر مکعب در روز) | گراویتی | عدد اکتان | فشار بخار (کیلو پاسکال) | هزینه تولید (دلار در تن) |
|---|---|---|---|---|---|
| پنتان | ۷۹۵ | ۰/۶۲۵ | ۷۵ | ۱۰۰ | ۴۷۵/۳ |
| نفتای سبک | ۱۹۰۸ | ۰/۶۶ | ۶۶ | ۸۰ | ۴۸۲ |
| نفتای سبک آیزوماکس | ۵۲۵ | ۰/۶۹ | ۶۸ | ۵۰ | ۵۷۸/۴ |
| ریفورمیت | ۳۶۵۷ | ۰/۷۸ | ۹۴ | ۴۰ | ۶۴۲/۶ |
| ریفورمیت اراک | ۱۱۶۱ | ۰/۸ | ۹۸ | ۴۰ | ۶۵۵/۵ |
| مخلوط بنزین حاصل | ۸۰۴۵ | ۰/۷۳۳ | ۸۷/۹ | ۵۵/۸ | × ۷۰۶/۹ |

× این رقم قیمت فروش بنزین حاصل از اختلاط اجزاء فوق می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID


**جدول۶**- اطلاعات تکمیلی مربوط به اجزای بنزین پالایشگاه تهران

| فرآورده میانی | عدد اکتان | اندیس اکتان | فشار بخار (کیلو پاسکال) | اندیس فشار بخار |
|---|---|---|---|---|
| پنتان | ۷۵ | ۵۵/۹ | ۱۰۰ | ۲۴۳ |
| نفتای سبک | ۶۶ | ۵۳/۳ | ۸۰ | ۱۸۸ |
| نفتای سبک آیزوماکس | ۶۸ | ۵۳/۹ | ۵۰ | ۱۱۰ |
| ریفورمیت | ۹۴ | ۶۴/۷ | ۴۰ | ۸۵ |
| ریفورمیت اراک | ۹۸ | ۶۴/۸ | ۴۰ | ۷۳ |
| مخلوط بنزین مطلوب | ۸۷ | ۶۰/۵ | ۵۵-۶۲ | ۱۲۲-۱۴۰ |

ردیف انتهایی جدول فوق مشخصات مطلوب و اندیس‌های متناسب با آنها را نشان می‌دهد.

بنزین تولیدی و هزینه تولید اجزای تشکیل دهنده آن) برابر با ۶۷۵،۹۹۱ دلار در روز می‌باشد.

در پالایشگاه تهران، هدف بهینه‌سازی تولید بنزین با استفاده از همان اجزا می‌باشد به شرطی که مشخصات کیفی آن محصول مطابق مشخصات استاندارد بوده ضمن اینکه حداقل هزینه تولید یا حداکثر سود حاصل شود. در واقع در این مسئله تابع هدف حداکثرسازی سود حاصل از تولید بنزین و قیود آن تأمین مشخصات کیفی مطلوب و مطابق با استاندارد ذکر شده در جدول ۴ و نیز حداکثر استفاده از اجزای بنزینی موجود می‌باشد.

با توجه به ماهیت غیرخطی مشخصه‌های عدد اکتان و فشار بخار، از اندیس مخلوط سازی[1] برای محاسبه مشخصه‌های مخلوط حاصل با استفاده از روابطی که قبلاً توضیح داده شد، استفاده می‌شود. اطلاعات تکمیلی برای انجام محاسبات به‌صورت جدول ۶ می‌باشد.

حال با استفاده از برنامه "Solver" نرم‌افزار Excel، ضمن تعریف تابع هدف و قیود در این برنامه می‌توان مسئله را حل کرد. در اینجا می‌توان دو سناریوی مختلف را در نظر گرفت:

**سناریوی ۱**

در سناریوی۱، قید نیاز بازار، لحاظ نشده و بهینه‌سازی با هدف حداکثر سودآوری حاصل از اختلاط و تأمین مشخصه‌های مورد نظر و استاندارد برای آن صورت گرفته است. در این حالت Solver در انتخاب حجم‌های مربوط به اجزای مختلف متناسب با قیود تعریف شده برای آنها آزاد بوده و تعیین حجم مشخص برای مخلوط نهایی را مد نظر قرار نداده و بهینه‌ترین پاسخ را برای دست‌یابی به حداکثر سود به‌دست آورده است. سود حاصل از تولید بنزین در این سناریو برابر با ۷۱۴،۴۲۵ دلار در روز بوده که نسبت به وضعیت موجود ۳۸،۴۳۴ دلار افزایش در روز را نشان می‌دهد. ضمن اینکه در این وضعیت اجزای مازاد نیز وجود داشته که می‌توان از آنها برای استفاده در سایر فرایندها در داخل پالایشگاه یا فروش به سایر صنایع استفاده کرد که این مورد نیاز به بررسی بیشتر و دقیق‌تر داشته و باید به‌صورت انتگراسیون فرایندی با سایر واحدهای عملیاتی پالایشگاه، مورد ارزیابی قرار گیرد.

**سناریوی ۲**

در این سناریو قید نیاز بازار یعنی تولید حجم معینی از بنزین نیز لحاظ شده و بهینه‌سازی با هدف حداکثر سودآوری حاصل از اختلاط و تأمین مشخصه‌های مورد نظر و استاندارد برای آن صورت گرفته است. در این حالت Solver در انتخاب حجم‌های مربوط به اجزای مختلف متناسب با قیود تعریف شده برای آنها آزاد بوده ولی تأمین حجم مشخص برای مخلوط نهایی را هم مد نظر قرار داده است. در این حالت اگرچه پاسخ بهینه‌ای مشابه سناریوی ۱ به‌دست نیامد ولی باز هم سود حاصل از تولید بنزین نسبت به وضعیت موجود به میزان ۱۸۰۲۶ دلار در روز، افزایش را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه Solver فقط در سناریوی ۱ توانسته جواب بهینه را بیابد نتایج و خروجی برنامه برای این حالت به شرح جدول ۷ می‌باشد:

1. Blending Index

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول۷**- جواب به‌دست آمده از سناریوی ۱

| Microsoft Excel 11.0 Answer Report | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Target Cell (Min) | | | | | | |
| Cell | Name | Original Value | Final Value | | | |
| $M$22 | هزینه اجزاء مصرفی مقدار موجود (متر مکعب در روز) | 3494482 | 3494482 | | | |
| Adjustable Cells | | | | | | |
| Cell | Name | Original Value | Final Value | | | |
| $N$13 | پنتان مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 123 | 123 | | | |
| $N$14 | نفتای سبک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1169 | 1169 | | | |
| $N$15 | نفتای سبک آیزوماکس مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 0 | 0 | | | |
| $N$16 | ریفورمیت مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 949 | 949 | | | |
| $N$17 | ریفورمیت اراک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1161 | 1161 | | | |
| Constraints | | | | | | |
| Cell | Name | Cell Value | Formula | Status | Slack | |
| $T$18 | مخلوط بنزین حاصل اندیس فشار بخار | 122 | $T$18>=122 | Binding | 0 | |
| $P$18 | مخلوط بنزین حاصل گراویتی | 0.7400 | $P$18=$P$20 | Not Binding | 0 | |
| $T$18 | مخلوط بنزین حاصل اندیس فشار بخار | 122 | $T$18<=140 | Not Binding | 18 | |
| $R$18 | مخلوط بنزین حاصل اندیس اکتان | 60.5 | $R$18=$R$20 | Not Binding | 0 | |
| $N$13 | پنتان مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 123 | $N$13<=$M$13 | Not Binding | 671.9278566 | |
| $N$14 | نفتای سبک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1169 | $N$14<=$M$14 | Not Binding | 739.4250144 | |
| $N$13 | پنتان مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 123 | $N$13>=0.001 | Not Binding | 123 | |
| $N$15 | نفتای سبک آیزوماکس مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 0 | $N$15<=$M$15 | Not Binding | 524.999 | |
| $N$14 | نفتای سبک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1169 | $N$14>=0.001 | Not Binding | 1169 | |

www.SID.ir

Archive of SID



| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $N$16 | ریفورمیت مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 949 | $N$16<=$M$16 | Not Binding | 2707.576583 | |
| $N$15 | نفتای سبک آیزوماکس مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 0 | $N$15>=0.001 | Binding | 0 | |
| $N$17 | ریفورمیت اراک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1161 | $N$17<=$M$17 | Binding | 0 | |
| $N$16 | ریفورمیت مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 949 | $N$16>=0.001 | Not Binding | 949 | |
| $N$17 | ریفورمیت اراک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1161 | $N$17>=0.001 | Not Binding | 1161 | |

Microsoft Excel 11.0 Sensitivity Report

Adjustable Cells

| | | Final | Reduced |
|---|---|---|---|
| Cell | Name | Value | Gradient |
| $N$13 | پنتان مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 123 | 0 |
| $N$14 | نفتای سبک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1169 | 0 |
| $N$15 | نفتای سبک آیزوماکس مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 0 | 0 |
| $N$16 | ریفورمیت مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 949 | 0 |
| $N$17 | ریفورمیت اراک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1161 | 0 |

Constraints

| | | Final | Lagrange |
|---|---|---|---|
| Cell | Name | Value | Multiplier |
| $T$18 | مخلوط بنزین حاصل اندیس فشار بخار | 122 | 0 |
| $P$18 | مخلوط بنزین حاصل گراویتی | 0.7400 | 0.0000 |
| $T$18 | مخلوط بنزین حاصل اندیس فشار بخار | 122 | 0 |
| $R$18 | مخلوط بنزین حاصل اندیس اکتان | 60.5 | 0 |

Microsoft Excel 11.0 Limits Report

| | Target | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cell | Name | Value | | | | |
| $M$22 | هزینه اجزاء مصرفی مقدار موجود (متر مکعب در روز) | 3494482 | | | | |
| | Adjustable | | Lower | Target | Upper | Target |

www.SID.ir

Archive of SID



| Cell | Name | Value | Limit | Result | Limit | Result |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $N$13 | پنتان مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 123 | 123 | 3494482 | 123 | 3494482 |
| $N$14 | نفتای سبک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1169 | 1169 | 3494482 | 1169 | 3494482 |
| $N$15 | نفتای سبک آیزوماکس مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 0 | 0 | 3494482 | 0 | 3494482 |
| $N$16 | ریفورمیت مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 949 | 949 | 3494482 | 949 | 3494482 |
| $N$17 | ریفورمیت اراک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز) | 1161 | 1161 | 3494482 | 1161 | 3494482 |

## نتیجه‌گیری

در مطالعه موردی انجام شده در رابطه با بهینه‌سازی مخلوط‌سازی فرآورده بنزین پالایشگاه تهران مشخص شد که با استفاده از روش‌ها و ابزارهای موجود بهینه‌سازی می‌توان عملیات تولید فرآورده‌ها به‌ویژه در بخش مخلوط‌سازی یک پالایشگاه را بهبود بخشید که در این مورد خاص با انجام بهینه‌سازی، سود حاصل از تولید مخلوط بنزین در حدود ۵/۷ درصد نسبت به وضعیت موجود افزایش می‌یابد. ضمن اینکه بخشی از فرآورده‌های میانی به‌صورت مازاد وجود خواهند داشت که امکان استفاده از آنها در واحدهای فرایندی دیگر پالایشگاه و یا فروش به سایر صنایع، وجود دارد که این خود نیز منجر به دست‌یابی به ارزش افزوده بیشتر خواهد بود ولی برای ارزیابی دقیق‌تر این مسئله باید کل پالایشگاه به‌صورت یکپارچه مورد بررسی قرار گیرد.

این بررسی نشان می‌دهد که با توجه به رویکرد واگذاری پالایشگاه‌ها به بخش خصوصی، استفاده از برنامه‌هایی به‌منظور تعدیل و در نهایت حذف محدودیت‌هایی که منجر به افزایش سودآوری پالایشگاه شده و خللی در روند تولید محصولات ایجاد نکند، ضروری به‌نظر می‌رسد.

## منابع


[۱] م.ر. جعفری‌نصر، الف. مهدوی، «مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرایند اختلاط بنزین موتور تولیدی پالایشگاه بندرعباس با استفاده از برنامه‌ریزی خطی»، فرایند نو، شماره ۱۹، سال ۱۳۸۸.

[2] Favennec J.P., *"Refinery operation and management",* Vol. 5, Technip. IFP press, 1995.

[3] Center for Process Integration, The University of Manchester, *Refinery processes,* lecture notes, 2005.

[4] Hiller F. & Lieberman G., *Introduction to operation research,* 6th Ed., McGraw-Hill.

[5] Ristic J., Trajkovska L.T., etal., *"Optimization of refinery product blending",* Bulletin of chemists and technologists of Macedonia, Vol. 18, No. 2, pp. 171-178, 1999.

[6] Monder D.S., *Real-time optimization of gasoline blending with uncertain parameters,* M.S Thesis, University of Alberta, 2000.

[7] Yu. W. & Morales. A., *"Gasoline blending system modeling via atatic and dynamic neural networks",* International Journal of Modeling and Simulation, Vol. 24, No. 3, 2004.

[8] KBC Process Technology Limited, *Improving Refinery Profitability,* 2005.


www.SID.ir