

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

پژوهش‌نفت

سال نوزدهم  
شماره ۶۰  
صفحه ۸۳-۶۷، ۱۳۸۸

محمدرضا جعفری نصر<sup>۱\*</sup> و رضا درگاهی<sup>۲</sup>

۱- شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران، شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی

۲- دانشگاه خواجه نصیر طوسی، دانشکده مکانیک

m.jafarinasr@npc-rt.ir

## 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 به صورت تابعی از متغیرهای تصمیم مشخص کرد. بنابراین می‌توان بهینه‌سازی را به عنوان 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 به صورت بخشی از تحقیق در عملیات مطالعه می‌شوند. بهینه‌سازی در مفهوم گسترده خود می‌تواند در حل هر مسئله مهندسی به کار 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،

## چکیده

بهینه‌سازی عملیات مخلوط‌سازی فرآورده‌های پالایشگاه می‌تواند با به کارگیری برنامه‌ریزی خطی صورت پذیرد و در نهایت مسئله به وسیله 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 مخلوط‌سازی فرآورده‌ها به ویژه محصول بنزین با استفاده از مدل‌های خطی نیز ارائه شده است. در پایان به عنوان 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

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 [۲ و ۴].

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 کارایی، آنالیز خرید و فروش، آنالیز تنگناهای موجود، تصمیم‌های راجع به شدت و تأثیر 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:

$$\text{Min. or Max. } f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (۳)$$

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

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

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 به صورت زیر بیان کرد:

$$X = \begin{cases} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{cases} \text{ را به گونه‌ای بیابید که } f(x) \text{ را به شرط قیدهای زیر کمینه یا بیشینه کند:}$$

$$g_i(x) \leq 0, \quad i=1,2,\dots,m \quad (۱)$$

$$I_j(x)=0, \quad j=1,2,\dots,p \quad (۲)$$

که در آن  $x$  یک بردار  $n$  بعدی است و بردار طراحی نامیده می‌شود.  $f(x)$  تابع هدف و  $g_i(x)$  و  $I_j(x)$  به ترتیب قیدهای نامساوی و مساوی هستند. مسئله‌ای که به صورت 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 تابعی خطی از متغیرهای طراحی هستند به کار می‌رود. در یک مسئله برنامه‌ریزی خطی، معادلات قیدها ممکن است به شکل نامساوی یا مساوی باشند. در برنامه‌ریزی خطی، از یک مدل ریاضی به منظور 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 به دست 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 به صورت 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

مهم و اساسی می‌باشد ولی این مسئله نیز مهم است که این فرآورده‌ها نباید دارای مشخصاتی بالاتر از آنچه مورد نظر بازار است، باشند زیرا چنین اتلاف کیفی<sup>۱</sup> به گونه‌ای هدر دادن پول می‌باشد [۵ و ۲].

سودآوری عملیات اختلاط و تولید محصول بنزین به وسیله 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: سود  $(c, x)$  Max. به شرط:

مشخصات مورد نظر  $(Q, x) \geq$  خواص مخلوط

میزان تقاضا برای آن محصول  $(x) \geq$  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 به صورت زیر بیان کرد:

$$\text{سود} = p.x - c.x \quad (V)$$

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

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

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

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

#### مخلوط‌سازی فرآورده‌های نهایی

واحدهای مختلف عملیاتی نمی‌توانند به طور 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 مورد نظر را داشته باشد. مخلوط‌سازی فرآورده‌های بنزین و نفت گاز یک فرایند پیچیده پالایشی است به ویژه 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 به عنوان 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 به وسیله 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 [۵ و ۲].

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

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 مواجهه 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 [۶و۵].

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 [۷و۵،۲].

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 [۸و۳].

### 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 به‌طور کلی 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

جدول ۱- برخی از مشخصه‌های کیفی مهم

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

جدول ۲- روش‌های مخلوط سازی

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

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، نفت گاز سبک، نفت گاز 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 اجرای 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،

(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 فرآوری شود [۸و۲].

### 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 [۸و۵].

### 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 [۸و۵].

- فرآورده‌های اصلی مورد نیاز بازار که در پالایشگاه

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 جریان‌ها 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:

$$(۸) \quad \text{تابع هدف} = \sum_{cij} c_{cij} G_{cij}$$

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 [۵ و ۲]. محصولات مختلف باید در قیود مختلف صدق کنند به عنوان مثال حداکثر فشار بخار مورد نیاز می‌تواند به صورت زیر بیان شود [۷-۵]:

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

$$(۹) \quad \sum m_{cij} (RVP_{ci}) \leq RVP_{j,Max}$$

که  $RVP_{j,Max}$  حداکثر مشخصه مورد نظر (فشار بخار رید) برای مخلوط نهایی مربوط به فرآورده  $j$  ام و  $RVP_{ci}$  و  $m_{cij}$  به ترتیب 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

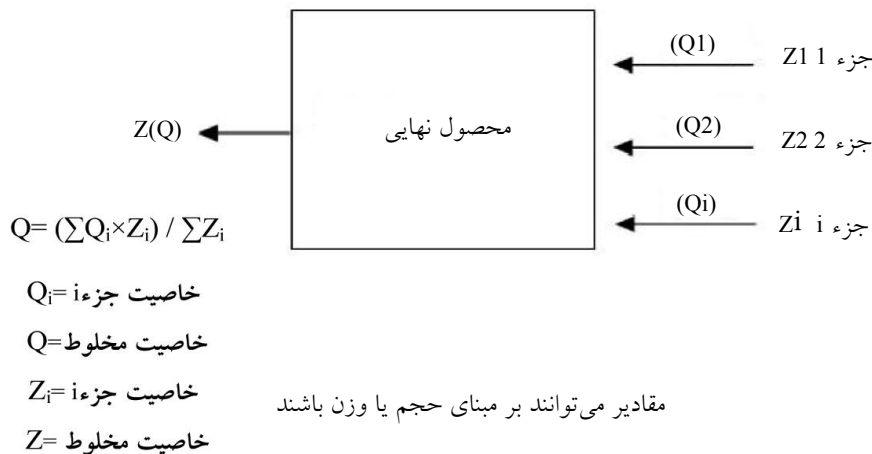
نقطه فلش (Flash) و نقطه ریزش جمع‌پذیر نیستند.

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، ۵ و ۸].

### 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: میزان برش  $i$  می‌باشد که مخلوط می‌شود. در فرآورده تولیدی  $j$  تحت شرایط عملیاتی  $c$  برای  $i=1,2,\dots,n$  و  $j=1,2,\dots,n$  که  $c=1,2$  یعنی شرایط عملیاتی واحد ریفورمینگ در حالتی که قرار باشد بنزین نهایی با استفاده



شکل ۱- فرمول کلی مخلوط سازی خطی

- حداقل عدد اندیس ستان  $C.I$ - (نفت گاز):

$$C.I_{j,\min} - \sum v_{cij} (C.I_{ci}) \leq 0 \quad (16)$$

- حداکثر عدد اندیس نقطه ریزش  $B.I_{pp}$ - (نفت گاز):

$$\sum v_{cij} (B.I_{pp,ci}) - B.I_{pp,j,\max} \leq 0 \quad (17)$$

که در فرآورده تولیدی  $j$  تحت شرایط عملیاتی  $c$  مخلوط می شود [۷-۵]. برای تأمین کیفیت مورد نیاز باید تمامی قیود را تعریف کرد.

در مدل های واقعی، برهمکنش میان اجزای تشکیل دهنده یک مخلوط را نیز می بایست در فرمول ها لحاظ کرد ولی به دلیل پیچیدگی این امر و به منظور ساده سازی، مدل ها ایده آل فرض می شوند [۱].

دومین مجموعه از قیود به وسیله تقاضای بازار تعیین می شود. محدودیت های بازار را می توان 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 به وسیله موازنه جرم واحدهای فرایندی و یا به عبارت دیگر به وسیله محدودیت کمی نفت خام و اجزای موجود به منظور اختلاط، تعریف می شود. میزان نفت خام و اجزای و برش های لازم برای مخلوط سازی به میزان ریفورمیت برای هر دو وضعیت و شرایط عملیاتی مختلف یعنی شرایط تولید بنزین سرب دار و بدون سرب بستگی دارد.

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

$$\sum v_{cij} (VPBI_{ci}) - RVP_{j,\max} \leq 0 \quad (10)$$

که مقدار کل مخلوط می باشد. 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 می توان تعریف کرد که برخی از آنها به صورت زیر می باشند:

- حداکثر مقدار موجود از جزء  $K$  در مخلوط (گاز مایع):

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

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

$$RONI_{j,\min} - \sum v_{cij} (RONI_{ci}) \leq 0 \quad (11)$$

- حداقل میزان بازیافتی به وسیله تقطیر  $V$ - (بنزین موتور و نفت گاز):

$$V_{j,\min} - \sum v_{cij} (V_{ci}) \leq 0 \quad (12)$$

- حداقل گراویتی  $SG$ - (نفت گاز):

$$SG_{j,\min} - \sum v_{cij} (SG_{ci}) \leq 0 \quad (13)$$

- حداکثر گراویتی  $SG$ - (نفت گاز): حداکثر میزان سولفور  $S$ - (محصولات میان تقطیر):

$$\sum v_{cij} (SG_{ci}) - SG_{j,\max} \leq 0 \quad (14)$$

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

$$\sum w_{cij} (S_{ci}) - S_{j,\max} \leq 0 \quad (15)$$



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 به وسیله 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 مورد نظر می‌باشد [۸].

چنانچه از اجزای تشکیل دهنده 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 ریفرمیت واحد ریفرمینگ را به عنوان خوراک به واحد آروماتیک ارسال کرد. در شکل ۲، مخلوط‌سازی بنزین به طور شماتیک نشان داده است [۸۳].

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 به وسیله مقررات زیست‌محیطی تعیین می‌شود. (۴) میزان آروماتیک (Max): که به وسیله مقررات زیست‌محیطی تعیین می‌شود. (۵) میزان سولفور (Max): که به وسیله 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].

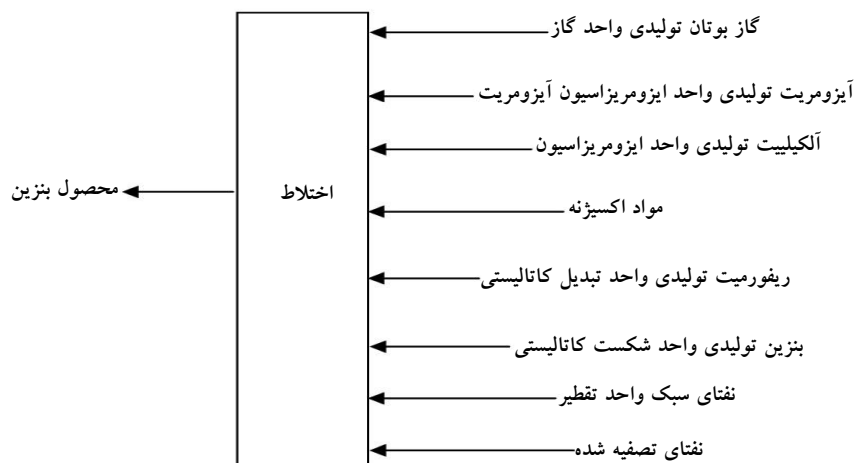
## ارزیابی و اعتبار مدل

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 [۸۵].

تأیید و تصدیق مدل می‌تواند به وسیله 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 به وسیله نرم‌افزار به دست آمده و در ادامه مخلوط سازی فرآورده بنزین به طور 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. به‌طور کلی 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 به عنوان سوخت موتورهای احتراق داخلی جرقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و تقاضا برای



شکل ۲- شمای ساده مخلوط سازی بنزین

جدول ۳- مشخصات بنزینی هیدروکربن‌ها

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

### 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 به وسیله 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 °C ۳۸ می‌باشد. مدل‌های ارائه شده برای محاسبه عدد اکتان و فشار بخار مخلوط به شرح زیر است [۷۵]:

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

در جدول ۳، خواص بنزینی هیدروکربن‌ها نشان داده شده است [۸].

به منظور 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<sup>۱</sup> آن، استفاده می‌شود [۷۶].

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].

1. Uncertainty

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<sup>۲</sup> 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؛ به وسیله: 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 مینا 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.

$$q_f = \sum_{i=1}^n q_i, \quad x_i = \frac{q_i}{q_f} \quad (18)$$

$$RON_1 = \sum_{i=1}^n x_i p_i = \frac{1}{q_f} \sum_{i=1}^n p_i q_i \quad (19)$$

که  $x_i$  و  $p_i$  به ترتیب جزء حجمی و اندیس عدد اکتان اجزای  $i$ ،  $p_i = RON_1$ ، مقدار جریان مربوط به اجزای تشکیل دهنده مخلوط و  $q_f$  مجموع مقدار جریانات اجزا می‌باشد. مدل ایده‌آل برای فشار بخار رید (مدل خطی):

$$RVP_1 = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (20)$$

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. همان‌طور که 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].

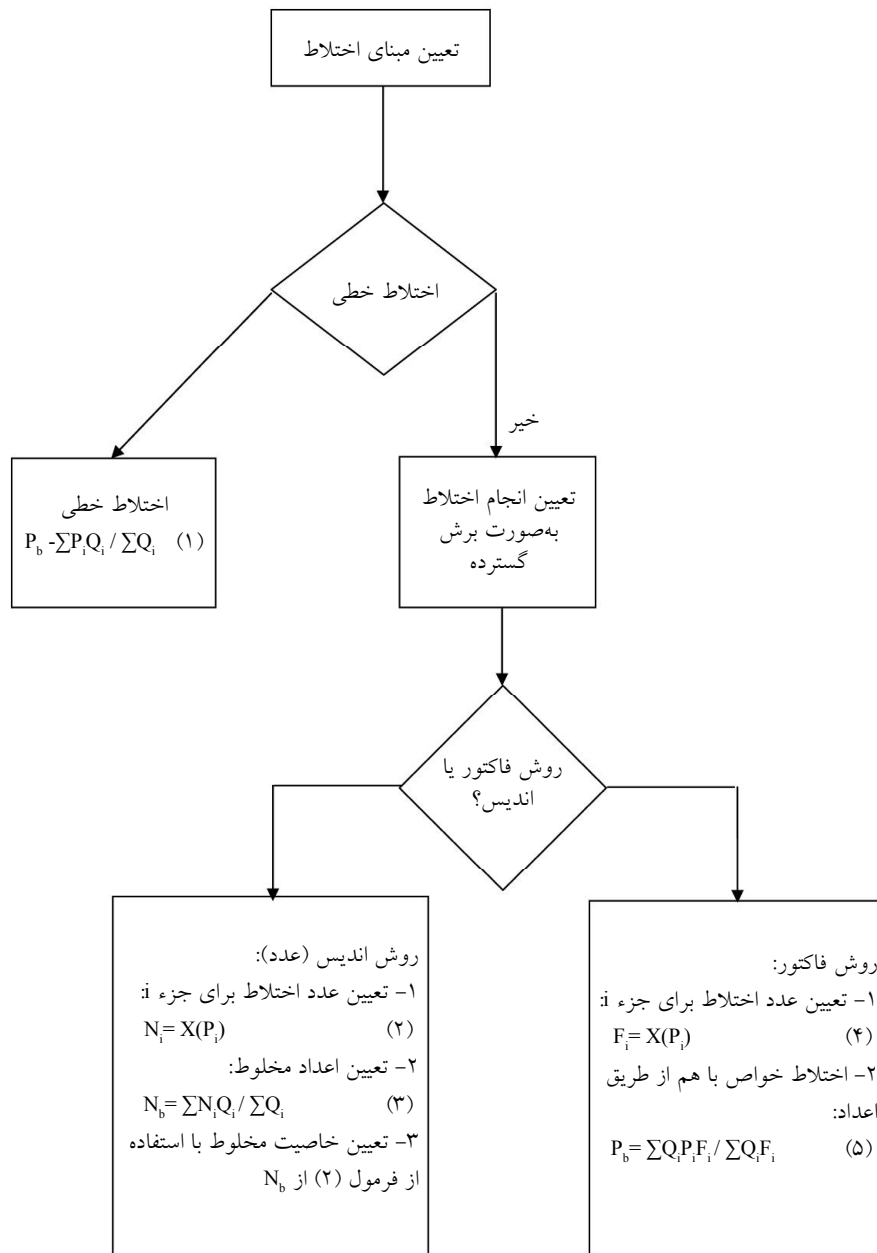
### بهینه‌سازی مخلوط سازی بنزین

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<sup>۱</sup> از محصول نهایی بنزین مورد توجه قرار گیرد. برای

1. Grade  
2. Severity



شکل ۳- الگوریتم مخلوط سازی فرآورده

با توجه به اینکه سیستم اختلاط و مخازن این دو پالایشگاه مشترک می‌باشد، برای سهولت، فرآورده‌های تولیدی هر دو پالایشگاه شماره (۱) و (۲) به صورت 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.

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.

جدول ۴- مشخصات استاندارد فرآورده بنزین

آزمون	واحد	حدود		روش آزمون
		بنزین سوپر	بنزین معمولی	
دانسپته 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

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 به عبارتی هدر دادن سرمایه است. در این حالت سود حاصل از تولید بنزین (اختلاف درآمد حاصل از فروش

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. همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است در وضعیت

جدول ۵- 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.

جدول ۶- 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.

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:

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<sup>۱</sup> 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 سناریوی ۱، 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

جدول ۷- جواب به دست 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

\$N\$16	ریفورمیت مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز)	949	$\$N\$16 \leq \$M\$16$	Not Binding	2707.576583	
\$N\$15	نفتای سبک آیزوماکس مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز)	0	$\$N\$15 \geq 0.001$	Binding	0	
\$N\$17	ریفورمیت اراک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز)	1161	$\$N\$17 \leq \$M\$17$	Binding	0	
\$N\$16	ریفورمیت مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز)	949	$\$N\$16 \geq 0.001$	Not Binding	949	
\$N\$17	ریفورمیت اراک مقدار مصرف شده در مخلوط (متر مکعب در روز)	1161	$\$N\$17 \geq 0.001$	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



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

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.

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

### منابع

[۱] م.ر. جعفری نصر، 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*, 6<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill.

[5] Ristic J., Trajkovska L.T., et al., "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.