ارائه یک مدل تصمیم‌گیری جهت تعیین برنامه بهینه تامین قیر در شرکت‌های پیمانکاری راهسازی

مقاله علمی – پژوهشی

مهدی دزفولی نژاد*، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
محسن آخوند، گروه مهندسی عمران، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mehdi-dezfulinezhad@iauahvaz.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
صفحه ۲۶۸-۲۴۹

چکیده

پروژه‌های راهسازی اغلب پروژه‌هایی با مدت زمان چند ساله بوده و اجرای آسفالت جزءِ آخرین مراحل اجرای پروژه می باشد. در حال حاضر اکثر شرکت‌های راهسازی، قیر مورد نیاز خود را بدون استفاده از ابزارهای برنامه‌ریزی و عمدتاً به روش خرید مستقیم در انتهای پروژه تامین می‌نمایند. با توجه به نوسانات قیمت قیر در ایران و عدم رشد متناسب شاخص‌های تعدیل، این شیوه تامین قیر یک روش بهینه محسوب نشده و موجب زیان پیمانکار می‌شود. در این مقاله با هدف کاهش زیان ناشی از نوسانات قیمت قیر، مسئله تامین قیر به روش ذخیره‌سازی مطرح شده که در حال حاضر در شرکت‌های پیمانکاری راهسازی رایج نمی‌باشد. تامین قیر به روش ذخیره‌سازی در انبار یک اقدام پیشگیرانه در برابر زیان ناشی از افزایش قیمت محسوب شده اما هزینه‌های انبارداری و حمل مجدد را به شرکت‌های پیمانکاری تحمیل خواهد کرد. بنابراین این چالش مطرح می‌شود که چه درصدی از قیر مورد نیاز به روش خرید مستقیم تامین شده و چه میزان آن از طریق ذخیره‌سازی تامین شود. پاسخ به این سوال نیازمند استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر بهینه‌سازی است. در این مقاله یک مدل تصمیم‌گیری جهت تعیین برنامه بهینه تامین قیر در شرکت‌های پیمانکاری راهسازی ارائه شده است. جهت بیان اهمیت استفاده از این مدل یک مثال کاربردی مورد بررسی قرار گرفت . در این مثال ۹ شرایط مختلف برای تامین قیر مورد نیاز در یک شرکت پیمانکاری تعریف و سپس برنامه بهینه به دست آمده برای این ۹ حالت با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج حاصل نشان داد که کاهش زیان حاصل از بهره‌گیری از مدل تصمیم‌گیری، حداقل ۱۸٪ درصد و حداکثر ۹۳٪ امکان پذیر است. این موضوع اهمیت بکارگیری این مدل در کاهش زیان شرکت را نمایان می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: قیر، راهسازی، آسفالت، مدیریت، برنامه‌ریزی، بهینه‌سازی

۱-مقدمه

قیمت قیر تحت اثر محرک‌های مختلفی از قبیل تغییرات قیمت نفت خام، تغییرات نرخ ارز، تغییر تعرفه‌های صادارت، افزایش تقاضا فصلی، تحولات سیاسی داخلی و خارجی و غیره، دارای نواسانات متعارف و بعضاً نامتعارف می‌باشد (سلمانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ اتانسی، ۲۰۱۶). بررسی قیمت قیر در سنوات گذشته نشان‌دهنده عدم ثبات قیمت قیر در طول یکسال می‌باشد (اتانسی، ۲۰۰۸). با توجه به اینکه درصد بالایی از هزینه اجرای پروژه‌های راهسازی به نرخ تهیه قیر وابسته بوده، نوسانات آن تاثیر مستقیم و بسزایی بر سود یا زیان شرکت پیمانکاری خواهد داشت. اگرچه بخشنامه‌های مختلف اعم از تعدیل ومابه‌تفاوت‌ها تا حدودی

جبران کننده زیان ناشی از این گونه نوسانات می‌باشند، اما فرضیات موثر در محاسبات این بخشنامه‌ها از قبیل میزان رشد شاخص‌ها، به نحوی است که بطور کامل جبران کننده زیان ناشی از نوسانات قیمت‌ها نبوده در نتیجه ادعای عدم تکافوی تعدیل همواره از سوی شرکت‌های پیمانکاری فعال در حوزه راهسازی مطرح می‌شود. اما مطابق نشریات نظام فنی و اجرای کشور از جمله شرایط عمومی حاکم بر پیمان، پیمانکار می‌بایست در زمان پیشنهاد قیمت کلیه عوامل موثر در هزینه اجرای کار را در ضریب پیشنهادی خود لحاظ نماید، لذا مطابق نظام فنی و اجرای کشور، ادعای عدم تکافوی تعدیل از سوی پیمانکاران مسموع نمی‌باشد.

با توجه به این محدودیت‌ها در نظام پیمانکاری ایران، منطقی است که شرکت‌های پیمانکاری راهکارهایی را مورد بررسی قرار دهند که بتواند با اتخاذ رویکرد پیشگیرانه، زیان ناشی از این نواسانات را تا حد ممکن کاهش دهند. یکی از این راهکارها، استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی جهت برنامه‌ریزی تامین قیر است. شرکت‌های پیمانکاری می‌توانند با استفاده از این ابزارها برنامه تامین قیر سالانه خود را به نحوی مدیریت نماید که زیان ناشی از این نوسانات کاهش یابد (ابوطالبی و همکاران، ۱۳۹۶) در این مقاله یک مدل تصمیم‌گیری ارائه شده که با استفاده از آن می‌توان برنامه بهینه تامین قیر در شرکت‌های پیمانکاری راهسازی را تعیین نمود.

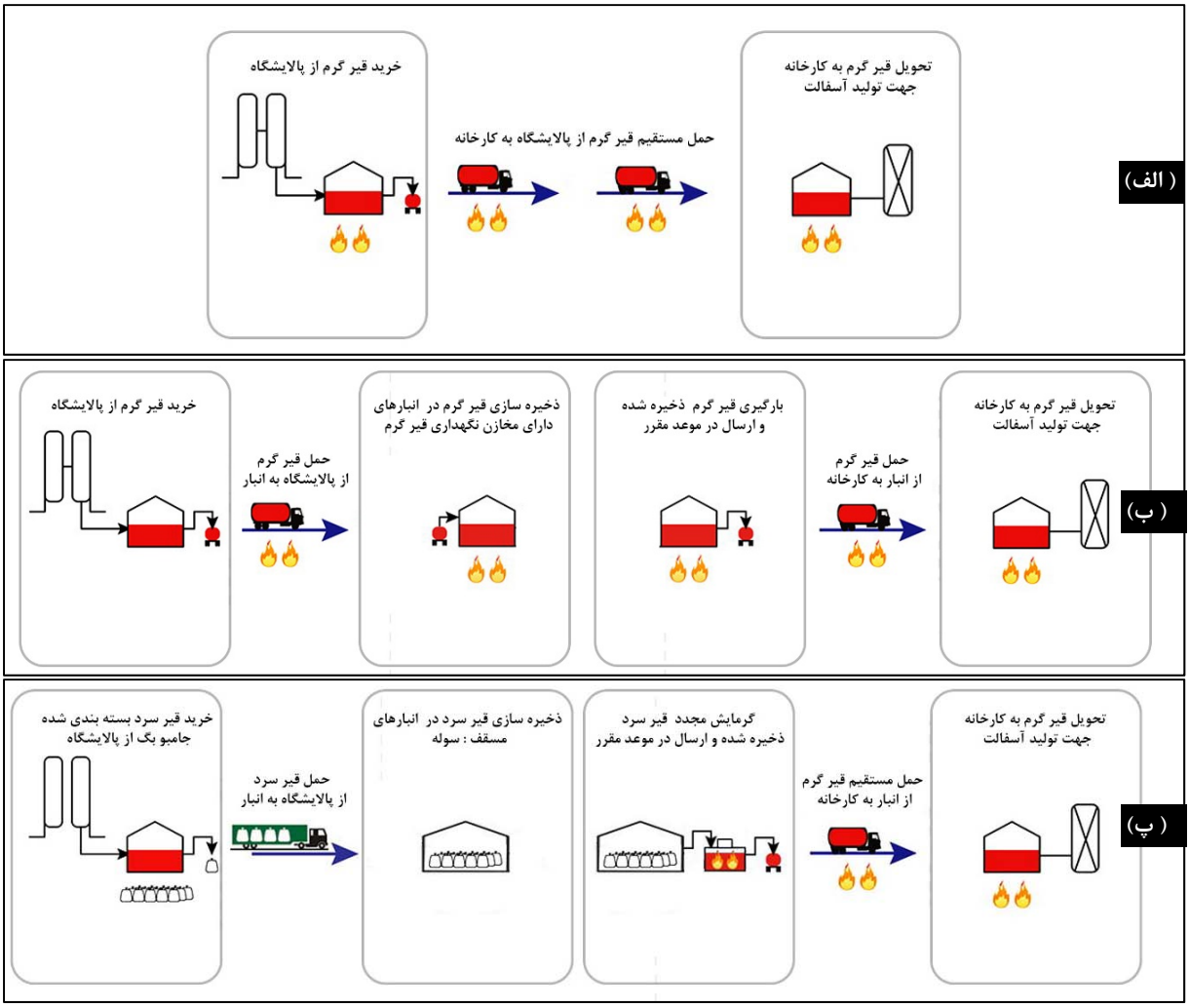
این مدل در ادامه معرفی خواهد شد. باقیمانده این مقاله شامل بخش‌های زیر می‌باشد : ابتدا در بخش مواد و روش‌ها، انواع مختلف روش‌های ممکن برای تامین قیر مورد نیاز یک شرکت راهسازی معرفی شده و سپس مدل تصمیم‌گیری ارائه شده در این مقاله معرفی می‌شود. در بخش سوم جهت بیان نحوه استفاده از این مدل یک مثال کاربردی ارائه شده و در بخش چهارم نتایج به دست آمده از کاربرد مدل ارائه شده در این مثال مورد بحث و تحلیل قرار می‌گیرد. در نهایت در بخش پنجم نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- روش‌های مختلف تامین قیر

در این مقاله سه روش مختلف برای تامین قیر بررسی می‌شود. روش اول : تامین قیر به روش خرید مستقیم، روش دوم : تامین قیر به روش ذخیره‌سازی گرم و روش سوم : تامین قیر به روش ذخیره‌سازی سرد. در ادامه هر یک از این روش‌ها به اختصار معرفی می‌شوند (ووندر و همکاران، ۲۰۱۲). در روش اول قیر به صورت فله و گرم از پالایشگاه تامین کننده خریداری شده و با استفاده از تانکرهای دوجداره مخصوص حمل قیر به طور مستقیم از پالایشگاه به محل کارخانه تولیده کننده آسفالت ارسال می‌شود. این روش در ادامه به اختصار "روش خرید مستقیم" نامیده می‌شود. شکل (۱-الف) به صورت شماتیک مراحل این روش را نمایش می‌دهد. در حال حاضر اکثر شرکت‌های پیمانکاری فعال در حوزه راهسازی قیر مورد نیاز خود را به این روش تامین می‌کنند، که همانگونه که ذکر شد این روش تامین در اثر نوسانات قیمت قیر موجب زیان این شرکت‌ها می‌شود (دزفولی‌نژاد و همکاران،۱۳۹۷؛ دزفولی‌نژاد و همکاران، ۱٤۰۰). در "روش ذخیره‌سازی گرم" پیمانکار می‌تواند جهت کاهش زیان ناشی از نوسانات قیمت، درصدی از قیر مورد نیاز خود را پیش از افزایش قیمت‌ها و در موعدهای که قیمت قیر ارزان است خریداری نموده و در انبارهای دارای مخازن نگهداری قیر گرم ذخیره‌سازی کند تا بر حسب نیاز پروژه‌ها در موعدهای زمانی مقرر به محل کارخانه‌های آسفالت ارسال نماید. شکل (۱-ب) به صورت شماتیک مراحل این روش را نمایش می‌دهد (الشوکامی و همکاران، ۲۰۱٤).

روش سوم مشابه روش دوم است با این تفاوت که در این روش پیمانکار، بخشی از قیر مورد نیاز خود را به صورت قیر سرد بسته‌بندی (جامبوبگ) خریداری نموده و در انبارهای مسقف ذخیره‌سازی می‌کند. شکل (۱-پ) مراحل این روش را بطور خلاصه نمایش می‌دهد. در این مقاله این روش به اختصار "روش ذخیره‌سازی سرد" نامیده می‌شود (کووالسکی و همکاران، ۲۰۰۷).



شکل ۱. روش مختلف برای تامین قیر مورد نیاز الف) تامین قیر به روش خرید مستقیم ب) تامین قیر به روش ذخیره‌سازی گرم پ) تامین قیر به روش ذخیره‌سازی سرد

۲-۲-مدل تصمیم‌گیری تعیین برنامه بهینه تامین قیر

رابطه (۱) و محدودیت‌های (۲) الی (۱٤)، مدل تصمیم‌گیری ارائه شده جهت تعیین برنامه بهینه تامین قیر را بیان می‌کنند(ووندر و همکاران، ۲۰۱۲). این مدل برنامه بهینه تامین قیر از طریق هر سه روش‌خرید مستقیم، ذخیره‌سازی گرم و سرد را به نحوی تعیین می‌نماید که مجموع هزینه خرید و حمل قیر تامین شده کمینه شود. پارامترهای مورد استفاده در این مدل بطور کامل در جدول (۱) معرفی شده‌اند. رابطه (۱) به عنوان تابع هدف بیانگر مجموع هزینه خرید و حمل قیر مورد نیاز یک شرکت در کل دوره برنامه‌ریزی می‌باشد. این رابطه حاصل جمع ۵ بخش اصلی می‌باشد. بخش اول این رابطه مربوط به هزینه تمام شده تامین قیر به روش خرید مستقیم، بخش دوم مربوط به هزینه تمام شده تامین قیر به روش ذخیره‌سازی گرم و بخش سوم مربوط به هزینه تمام شده تامین قیر به روش ذخیره‌سازی سرد می‌باشد. با توجه به این‌که قیر ذخیره شده درانبارها (به روش سرد یا گرم) در نهایت با تانکره دو جداره از انبار به کارخانه ارسال می‌شود، هزینه حمل قیر از انبار به کارخانه در هر دو روش مشابه بوده و با استفاده از بخش چهارم محاسبه می‌شود. در نهایت بخش پنجم بیانگر هزینه ذخیره‌سازی قیر سرد در انبار می‌باشد. لازم به ذکر است هزینه نگهداری قیر در مخازن گرم به ازاء هر تن به صورت مقطوع در بخش دوم رابطه لحاظ شده و نیازی به محاسبه مجدد آن به صورت یک عبارت جداگانه نمی‌باشد.

Minimize

$$z = fm \cdot \left(\begin{array}{c} \sum_r \sum_a \sum_t \overbrace{(p_{rt} + c\square_{ra}) \cdot x_{rat}}^{\text{خرید مستقیم}} + \sum_r \sum_s \sum_t \overbrace{(p_{rt} + c\square 1_{rs} + sc\square_s) \cdot x\square_{rst}}^{\text{ذخیره‌سازی گرم}} \\ + \sum_r \sum_s \sum_t \overbrace{(p_{rt} + cc_{rs} + g_s) \cdot xc_{rst}}^{\text{ذخیره‌سازی سرد}} \\ + \sum_s \sum_a \sum_t \overbrace{(x\square\square_{sat} + xc\square_{sat}) \cdot c\square 2_{sa}}^{\text{هزینه حمل قیر از انبار به کارخانه}} + \sum_s \sum_t \overbrace{(scc_{st} \cdot smc_{st})}^{\text{هزینه انبارداری قیر سرد}} \end{array} \right) \quad (۱)$$

Subject to

$$\sum_a x_{rat} + \sum_s (x\square_{rst} + xc_{rst}) \leq \frac{q_{rt}}{fm} \qquad \forall r \in \text{refinery}, \forall t \in \text{periods} \qquad (۲)$$

$$\sum_r x_{rat} + \sum_s xc\square_{sat} + \sum_s x\square\square_{sat} \geq \frac{d_{at}}{fm} \qquad \forall a \in \text{asphalt-mixing-plant}, \forall t \in \text{periods} \qquad (۳)$$

$$\sum_r \sum_a \sum_t x_{ra_t} + \sum_r \sum_s \sum_t x\square_{rs_t} + \sum_r \sum_s \sum_t xc_{rs_t} \geq \sum_a \sum_t \frac{d_{at}}{fm} \qquad for\ all\ plant\ and\ periods \qquad (٤)$$

$$\text{smh}_{st} = \text{smh}_{s,t-1} + \sum_r x\square_{rst} - \sum_a x\square\square_{sat} \qquad \forall s \in \text{storage}, \forall t \in \text{periods} \qquad (۵)$$

$$\text{smc}_{st} = \text{smc}_{s,t-1} + \sum_r xc_{rst} - \sum_a xc\square_{sat} \qquad \forall s \in \text{storage}, \forall t \in \text{periods} \qquad (٦)$$

$$\text{smh}_{st} \leq (\frac{O\square_s}{fm}) \qquad \forall s \in \text{storage}, \forall t \in \text{periods} \qquad (۷)$$

$$\text{smc}_{st} \leq (\frac{Oc_s}{fm}) \qquad \forall s \in \text{storage}, \forall t \in \text{periods} \qquad (۸)$$

$$\sum_t x\square_{rst} \leq 0.4 \cdot \sum_t \text{smh}_{st} \qquad \forall s \in \text{storage}, \forall r \in \text{refinery} \qquad (۹)$$

$$\sum_t x\square_{rst} \leq 0.4 \cdot \sum_t \text{smh}_{st} \qquad \forall s \in \text{storage}, \forall r \in \text{refinery} \qquad (۱۰)$$

$$\sum_s \sum_t \text{smh}_{st} = 0 \qquad \text{in a case without hot storage} \qquad (۱۱)$$

$$\sum_s \sum_t \text{smc}_{st} = 0 \qquad \text{in a case without cold storage} \qquad (۱۲)$$

$$\sum_s \sum_t \text{smh}_{st} \geq f\square \cdot \sum_a \sum_t d_{a_t} \qquad \text{in a case with hot storage} \qquad (۱۳)$$

$$\sum_s \sum_t \text{smc}_{st} \geq fc \cdot \sum_a \sum_t d_{a_t} \qquad \text{in a case with cold storage} \qquad (۱٤)$$

جدول۱. معرفی پارامترهای مورد استفاده در روابط

نمایه	شرح
r	مجموعه پالایشگاه‌های تامین کننده قیر
a	مجموعه کارخانه‌های آسفالت نیازمند قیر
t	دوره‌های زمانی برنامه‌ریزی
s	مجموعه انبارهای در اختیار برای ذخیره‌سازی قیر
q_{rt}	ظرفیت تولید پالایشگاه r در دوره زمانی t
d_{at}	تناژ قیر مورد نیاز کارخانه آسفالت a در دوره زمانی t
Oh_s	ظرفیت تناژ مخازن ذخیره‌سازی قیر گرم در انبار s
Oc_s	ظرفیت تناژ سوله‌های ذخیره‌سازی قیر سرد در انبار s
p_{rt}	قیمت خرید قیر از پالایشگاه r در دوره زمانی t مطابق سناریوی پیش‌بینی نوسانات قیمت
ch_{ra}	هزینه حمل مستقیم قیر گرم از پالایشگاه r به کارخانه آسفالت a
$ch1_{rs}$	هزینه حمل قیر گرم از پالایشگاه r به مخازن ذخیره‌سازی انبار s
$ch2_{sa}$	هزینه حمل قیر گرم خارج شده از انبار s به کارخانه آسفالت a
cc_{rs}	هزینه حمل قیر سرد بسته بندی شده از پالایشگاه r به سوله‌های ذخیره‌سازی انبار s
sch_s	هزینه نگهداری قیر در مخازن ذخیره‌سازی انبار s
scc_{st}	هزینه نگهداری قیر سرد در سوله‌های ذخیره‌سازی انبار s در دوره زمانی t
g_s	هزینه‌های جانبی نگهداری روش ذخیره‌سازی قیر سرد شامل بسته‌بندی و گرمایش مجدد
x_{rat}	میزان قیر تامین شده از پالایشگاه r به کارخانه آسفالت a در دوره زمانی t به روش خرید مستقیم بر مبنای تعداد کامیون
xh_{rst}	میزان قیر تامین شده از پالایشگاه r به مخازن انبار s در دوره زمانی t به روش ذخیره‌سازی گرم بر مبنای تعداد کامیون
xc_{rst}	میزان قیر تامین شده از پالایشگاه r به سوله‌های انبار s در دوره زمانی t به روش ذخیره‌سازی سرد بر مبنای تعداد کامیون
xhh_{sat}	میزان قیر گرم خارج شده از مخازن ذخیره‌سازی انبار s به کارخانه آسفالت a در دوره زمانی t بر مبنای تعداد کامیون
xch_{sat}	میزان قیر گرم خارج شده از سوله‌های ذخیره‌سازی انبار s به کارخانه آسفالت a در دوره زمانی t بر مبنای تعداد کامیون
fm	ظرفیت تناژ در کامیون‌های حمل قیر
fh	مقدار کمینه قیری که می‌بایست به روش ذخیره‌سازی گرم تامین شود
fc	مقدار کمینه قیری که می‌بایست به روش ذخیره‌سازی سرد تامین شود
smh_{st}	میزان قیر موجود در مخازن ذخیره‌سازی انبار s در دوره زمانی t بر مبنای تعداد کامیون
$\mathrm{smh}_{s,t-1}$	میزان قیر باقیمانده در مخازن ذخیره‌سازی انبار s از یک دوره زمانی قبل از t بر مبنای تعداد کامیون
smc_{st}	میزان قیر موجود در سوله‌های ذخیره‌سازی انبار s در دوره زمانی t بر مبنای تعداد کامیون
$\mathrm{smc}_{s,t-1}$	میزان قیر باقیمانده در سوله‌های ذخیره‌سازی انبار s از یک دوره زمانی قبل از t بر مبنای تعداد کامیون
$\lambda(\phi)$	زیان ناشی از نوسانات قیمت در شرایط سناریوی ϕ
$VC(\phi)$	هزینه تمام شده تامین قیر در شرایط سناریوی ϕ
BC	هزینه تمام شده (تهیه و حمل) تامین قیر تحت شرایط ثبات قیمت

مدل تصمیم‌گیری مورد استفاده در این مقاله، یک مسئله بهنیه‌سازی مقید بوده و ۱۲ قید در آن پیش‌بینی شده است (سیدی و همکاران، ۱۴۰۱). روابط مرتبط با این قیود در ادامه معرفی می‌شوند. محدودیت (۲) ظرفیت تولید پالایشگاه‌ها را به عنوان قید در نظر گرفته و کنترل می‌نماید تا به ازاء هر پالایشگاه و در هیچ دوره زمانی، مجموع قیر تامین شده (از هر سه روش مستقیم، ذخیره‌سازی گرم و سرد)، از ظرفیت و توان تولید آن پالایشگاه بیشتر نشود. از سوی دیگر محدودیت‌های (۳) و (٤) نیز جهت اطمینان از اینکه قیر تخصیص یافته به هر یک از کارخانه‌های آسفالت به صورت دوره‌ای و تجمعی از میزان تقاضای قیر آن کارخانه کمتر نباشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد (حسن‌پور و همکاران، ۱٤۰۱).

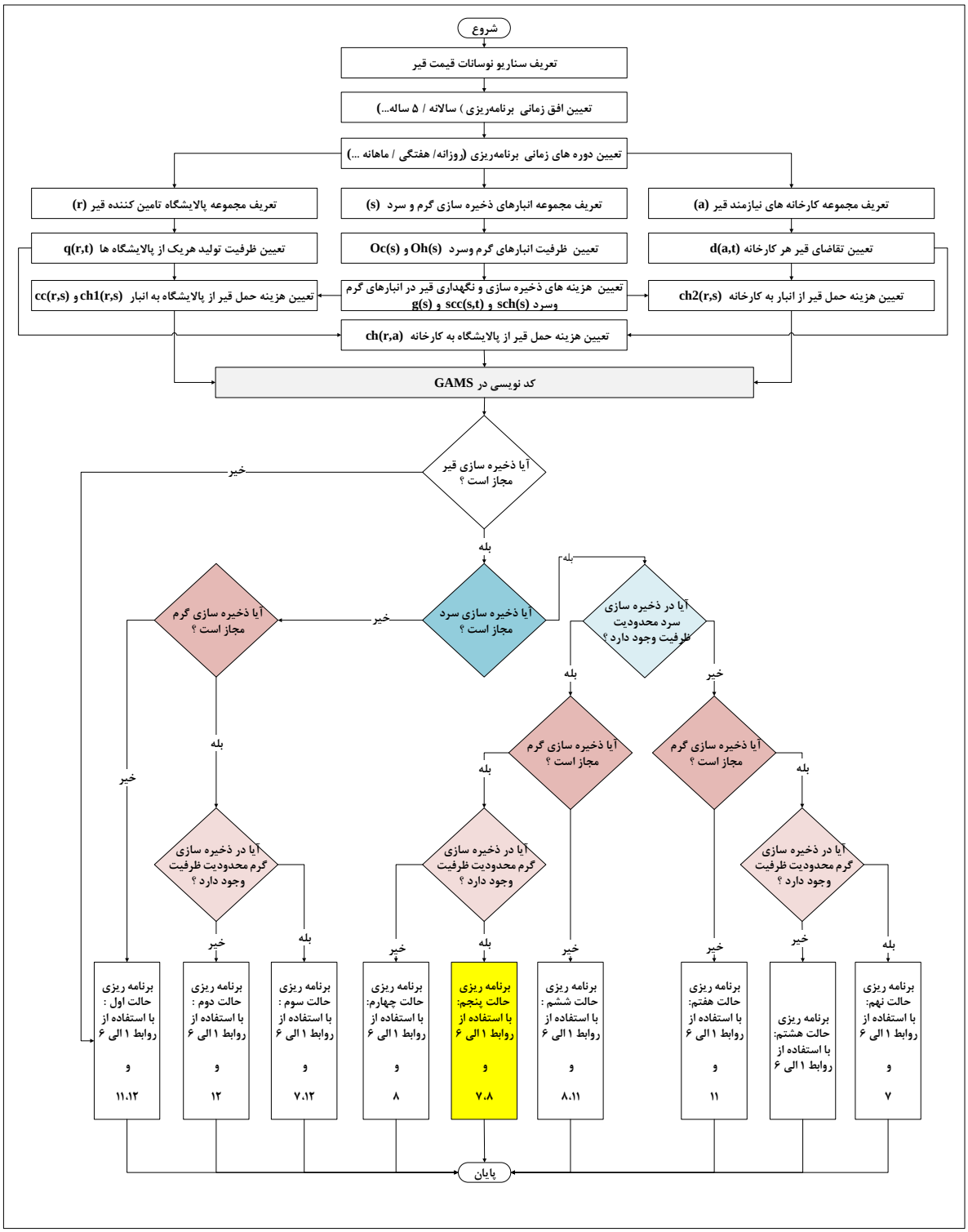
برای کنترل ظرفیت انبارهای پیمانکار به عنوان یک محدودیت برای ذخیره‌سازی قیر، ابتدا با استفاده از روابط (۵) و (٦) موجودی قیر گرم و سرد ذخیره‌سازی شده در هر انبار در یک دوره زمانی محاسبه شده (که برابر است با تفاضل میزان قیر وارده و خارج شده به آن انبار به علاوه میزان قیر موجود از دوره قبل) و سپس با استفاده از محدودیت‌های (۷) و (۸) موجودی قیر ذخیره‌سازی شده در انبارها در هر دوره زمانی کنترل شده تا بیشتر از ظرفیت آن انبار نباشد.

در طی فرآیند بهینه‌سازی این امکان وجود دارد که مدل با هدف کمینه‌سازی هزینه‌ها، تامین کل قیر مورد نیاز از یک پالایشگاه را پیشنهاد دهد. اما وابستگی مطلق به یک تامین کننده قیر می‌توانند ضمانت تحقق برنامه بهینه پیشنهاد شده را با تردید مواجه سازد (سیدی و همکاران، ۱٤۰۱). بنابراین پیشنهاد می‌شود پیمانکار متقاضی قیر با استفاده از محدودیت‌های (۹) و (۱۰) برای میزان قیر تامین شده از یک پالایشگاه سقف مشخص نموده تا با ایجاد تنوع در تامین کننده‌های خود از وابستگی مطلق به یک تامین کننده اجتناب نماید. عدد ۰/٤ در این روابط بیانگر این موضوع است که پیمانکار متقاضی قیر انتظار دارد که در برنامه بهینه تامین قیر تهیه شده توسط این مدل، هر یک از پالایشگاه‌ها حداکثر ٤۰ درصد کل قیر مورد نیاز را تامین نماید. بدیهی است این درصد مطابق نظر مدیریت هر شرکت قابل تغییر بوده و یا حتی پیمانکار متقاضی قیر می‌توانند با تمایل به کاهش بیشتر هزینه‌ها، ریسک عدم تنوع در برنامه‌ریزی را پذیرش کرده و از محدودیت‌های (۹) و (۱۰) صرف نظر نماید (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹٦؛ جوانفر و همکاران، ۱۳۹٦).

اگر تامین قیر از انبارهای ذخیره‌سازی گرم مجاز نبوده و یا پیمانکار متقاضی قیر، مخازن ذخیرسازی قیر گرم را در اختیار نداشته باشد، از محدودیت (۱۱) در برنامه‌ریزی استفاده می‌شود (ووندر و همکاران، ۲۰۱۲). در شرایط عدم تمایل تامین قیر به روش ذخیره‌سازی سرد نیز، محدودیت (۱۲) بطور مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدودیت (۱۳) و (۱٤) نیز در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرند که پیمانکار متقاضی قیر قصد داشته باشد، حداقل درصد مشخصی از قیر مورد نیاز خود را به روش ذخیره‌سازی سرد یا گرم تامین نمایند. بطور مثال اگر پیمانکار متقاضی قیر قصد داشته باشد که برنامه بهینه تامین قیر به نحوی تعیین شود که تامین حداقل ۱۵ درصد قیر مورد نیاز به روش ذخیره‌سازی گرم اختصاص یابد، می‌بایست در رابطه (۱۲)، مقدار fh را با ۰/۱۵ جایگزین نموده و بطور مشابه جهت تامین حداقل ۵ درصد قیر مورد نیاز به روش ذخیره‌سازی سرد می‌بایست در رابطه (۱۳) مقدار fc را با ۰/۰۵ جایگزین نماید.

شکل (۲) مدل تصمیم‌گیری ارائه شده جهت تعیین برنامه بهینه تامین قیر را نمایش می‌دهد(ونگ و همکاران، ۲۰۰۳). همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود با ایجاد ترکیبات مختلف از محدودیت‌های (۲) الی (۱٤) می‌توان آزمون‌های مختلف برنامه‌ریزی تامین قیر را مدل‌سازی نمود. بطور مثال در صورت استفاده از روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲)، برنامه‌ریزی تامین قیر فقط بر اساس روش خرید مستقیم انجام خواهد شد و ذخیره‌سازی قیر اعم از سرد یا گرم مجاز نخواهد بود. در حالی اگر روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت‌های (۷) و (۸) مورد استفاده قرار گیرند، علاوه بر روش خرید مستقیم، ذخیره‌سازی سرد و گرم تا حد ظرفیت انبارهای موجود نیز مجاز خواهد بود. همچنین در صورت کاربرد روابط (۱) تا (٦) به تنهایی، خرید مستقیم به همراه کلیه روش‌های ذخیره‌سازی بدون محدودیت ظرفیت مجاز خواهد بود. لازم به ذکر است عدم استفاده از روابط (۱۳) و (۱٤) سبب می‌شود تا هیچ الزامی برای تامین قیر از یک روش خاص ذخیره‌سازی (حتی در شرایط مجاز بودن آن روش) ایجاد نشود (بوشاف، ۲۰۱۵؛ توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). جدول (۲) آزمون‌های مختلف برنامه‌ریزی را بصورت خلاصه نشان می‌دهد. جهت محاسبه و مقایسه میزان زیان شرکت در حالات مختلف برنامه‌ریزی از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود. در این رابطه از سناریو ثبات قیمت به عنوان معیار کنترل استفاده شده و هرگونه افزایش هزینه تامین قیر تحت حالات مختلف برنامه‌ریزی نسبت به این سناریو به عنوان زیان شرکت محاسبه می‌گردد (صبوحی و همکاران، ۱۳۹٦).

$$\lambda(\phi) = VC(\phi) - BC \qquad (۱۵)$$



شکل ۲. مدل تصمیم‌گیری جهت تعیین برنامه بهینه تامین قیر

جدول۲. آزمون‌های مختلف برنامه‌ریزی

انواع مدل	روابط مورد استفاده	روش‌های تامین و ذخیره‌سازی مجاز در حالات مختلف				
		خرید مستقیم	گرم محدود	گرم نامحدود	سرد محدود	سرد نامحدود
آزمون اول	روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲)	✓	×	×	×	×
آزمون دوم	روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت (۱۲)	✓	×	✓	×	×
آزمون سوم	روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت‌های (۷) و (۱۲)	✓	✓	×	×	×
آزمون چهارم	روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت‌های (۸)	✓	×	✓	✓	×
آزمون پنجم	روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت‌های (۷) و (۸)	✓	✓	×	✓	×
آزمون ششم	روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت‌های (۸) و (۱۱)	✓	×	×	✓	×
آزمون هفتم	روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت‌های ۱(۱۱)	✓	×	×	×	✓
آزمون هشتم	روابط (۱) تا (٦)	✓	×	✓	×	✓
آزمون نهم	روابط (۱) تا (٦) به همراه محدودیت‌های (۷)	✓	✓	×	×	✓

۳- مثال عددی

در این بخش جهت بیان نحوه استفاده از مدل، یک مثال کاربردی در خصوص انتخاب روش بهینه تامین قیر سالانه مورد نیاز یک شرکت پیمانکاری فعال در حوزه راهسازی، ارائه شده است که در ادامه به اختصار "شرکت پایلوت" نامگذاری می‌شود. در این مثال افق برنامه‌ریزی یکساله و دوره‌های زمانی تامین قیر بصورت ماهانه در نظر گرفته می‌شود. جدول (۳) نمایه‌های مرتبط با دوره‌های زمانی مورد بررسی را نمایش می‌دهد. این شرکت دارای ۱۳ پروژه نیازمند آسفالت در سراسر کشور بوده و طی قراردادهایی برای خرید آسفالت از نزدیکترین کارخانه‌های آسفالت به محل هر پروژه، متعهد به تامین کل قیر مورد نیاز این کارخانه‌ها جهت تولید سفارش آسفالت خود شده است. جدول (٤) موقعیت پروژه‌ها و کارخانه‌های نزدیک به آن‌ها و جدول (۵) تقاضای قیر ماهانه در هر محل را نشان می‌دهد.

در این مثال فرض شده که شرکت پایلوت در انتخاب پالایشگاه تامین کننده قیر مخیر نبوده و به دلیل محدودیت‌های تعیین شده از سوی کارفرما، صرفاً مجاز به تامین قیر از طریق ٤ پالایشگاه بوده که در جدول (٦) به آن‌ها اشاره شده است. با توجه به ظرفیت بالای تولید قیر در پالایشگاه‌ها نسبت به تقاضای قیر سالانه، در این مثال جهت ساده‌سازی ظرفیت کلیه پالایشگاه‌ها ۱۰۰،۰۰۰ تن در ماه در نظر گرفته شده است. مطابق این فرض هر یک از ٤ پالایشگاه به تنهایی و فقط طی یک ماه می‌تواند کل قیر سالانه مورد نیاز هر ۱۳ پروژه را تامین نماید. شرکت پایلوت دارای ٤ انبار ذخیرسازی قیر سرد و گرم در اطراف شهرهای تهران، اراک، اصفهان و اهواز بوده که در جدول (۷) به مشخصات، ظرفیت‌های ذخیره‌سازی گرم و سرد و هزینه‌های انبارداری هر یک از آن‌ها اشاره شده است.

جدول۳. دوره‌های برنامه‌ریزی

عنوان	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
نمایه	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12

جدول٤. کارخانه‌های نیازمند قیر (a)

پروژه‌ها	آبادان	اهواز	تهران	تهران	زرندیه	خرم‌آباد	ساوه	همدان	آمل	شهرکرد	ریاط‌کریم	الیگودرز	قزوین
نزدیکترین کارخانه	مبارک صنعت۲	(سهام عمران)	تکین راه آسیا	ماکادام شرق ۱	محمدیان ۱	آباد راهان پارس	ساوه شن ۲	عایق ریل	آسفالت البرز	زرین استحکام	زرگام۲	ره دژ زاگرس	راه دشت میعاد
نمایه	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13

جدول۵. قیر ماهانه مورد نیاز هر کارخانه جهت تولید آسفالت سفارش داده شده در هر پروژه (تن در ماه)

	m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12
a1	۲۵۰	۳۰۰	۲۰۰	۲۲۵	۲۰۰	۳۲۵	۳۷۵	۳۵۰	۲۷۵	۲۰۰	۲۲۵	۲۷۵
a2	۲۲۵	۳۵۰	۳۲۵	۲۰۰	۳۲۵	۳۷۵	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۳۵۰
a3	۳۷۵	۲۷۵	۳۵۰	۲۲۵	۳۲۵	۳۲۵	۳۰۰	۲۵۰	۳۲۵	۲۵۰	۲۰۰	۲۰۰
a4	۳۰۰	۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۳۲۵	۳۵۰	۲۷۵	۲۷۵	۲۰۰	۲۰۰	۳۲۵
a5	۳۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۵۰	۲۵۰	۳۲۵	۲۲۵	۳۵۰	۲۰۰	۳۲۵	۲۲۵	۲۰۰
a6	۲۰۰	۲۲۵	۳۵۰	۲۵۰	۳۰۰	۲۷۵	۳۲۵	۳۰۰	۲۲۵	۲۰۰	۳۰۰	۳۵۰
a7	۳۵۰	۲۵۰	۳۲۵	۳۷۵	۲۲۵	۲۵۰	۳۲۵	۳۰۰	۳۵۰	۳۰۰	۳۲۵	۲۲۵
a8	۳۵۰	۲۷۵	۳۰۰	۳۷۵	۳۷۵	۳۷۵	۲۷۵	۳۲۵	۳۵۰	۲۵۰	۳۵۰	۳۷۵
a9	۲۷۵	۳۰۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۰۰	۲۷۵	۳۵۰	۲۵۰	۲۲۵	۳۲۵	۲۷۵	۳۰۰
a10	۳۷۵	۳۰۰	۲۲۵	۳۰۰	۲۵۰	۲۲۵	۲۰۰	۳۲۵	۲۰۰	۳۵۰	۲۲۵	۲۵۰
a11	۲۷۵	۳۲۵	۳۰۰	۳۲۵	۲۲۵	۳۲۵	۳۰۰	۳۲۵	۲۷۵	۲۷۵	۲۲۵	۳۰۰
a12	۳۵۰	۲۰۰	۲۰۰	۳۵۰	۳۷۵	۲۷۵	۲۰۰	۲۷۵	۲۷۵	۳۵۰	۲۰۰	۳۷۵
a13	۲۰۰	۳۵۰	۳۲۵	۳۰۰	۲۲۵	۳۰۰	۲۰۰	۲۲۵	۲۵۰	۲۵۰	۲۲۵	۲۲۵
جمع ماهانه (تن)	۳۸۷۵	۳۷۰۰	۳۷۰۰	۳۷۷۵	۳۵۲۵	۳۹۷۵	۳۶۲۵	۳۸۰۰	۳۵۲۵	۳۵۷۵	۳۱۷۵	۳۷۵۰
کل (تن)	٤٤۰۰۰											

جدول ٦. تعریف مجموعه پالایشگاه تامین کننده قیر (r)

عنوان	پاسارگاد	پاسارگاد	پاسارگاد	نفت جی
مکان	(تهران)	(آبادان)	(اراک) شازند	(اصفهان)
کد	r1	r2	r3	r4

جدول۷. تعریف مجموعه انبارهای ذخیره‌سازی گرم و سرد (s)

عنوان انبار	انبار شماره ۱	انبار شماره ۲	انبار شماره ۳	انبار شماره ٤
مکان انبار	حاشیه تهران	حاشیه اصفهان	حاشیه آبادان	حاشیه اراک
کد نمایه انبار	s1	s2	s3	s4
مساحت انبار (مترمربع)	۱۲۰۰۰	۷۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰
مساحت سوله (مترمربع)	۲۵۰۰	۱۲۰۰	۸۰۰	۲۰۰۰
ظرفیت ذخیره‌سازی گرم (تن)	۳۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
ظرفیت ذخیره‌سازی سرد (تن)	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۵۰۰
هزینه نگهداری هر تن قیر گرم (تومان)	۱۵،۰۰۰	۱۳،۵۰۰	۱۳،۰۰۰	۱٤،۰۰۰
هزینه نگهداری هر تن قیر سرد (تومان)	۱۵،٦۰۰	۸،۷۰۰	۵،۷۰۰	۸،۷۰۰
هزینه‌های جانبی ذخیره‌سازی هر تن قیر سرد (تومان) (شامل بسته‌بندی، بارگیری تخلیه و گرمایش مجدد)	۱۷۰،۰۰۰	۱۷۰،۰۰۰	۱۷۰،۰۰۰	۱۷۰،۰۰۰

جداول (۸) الی (۱۰) هزینه حمل هر تن قیر به روش‌های مختلف تامین قیر را نشان می‌دهند. اگرچه در این جداول هزینه حمل هر تن قیر از کلیه مبادی به تمامی مقصدها درج شده، اما در جواب بهینه پیشنهاد شده توسط مدل بهینه‌سازی همواره تامین قیر مورد نیاز از کوتاه‌ترین مسیر برنامه‌ریزی خواهد کرد.

در صورتی که پیمانکار صرفاً از روش خرید مستقیم استفاده نماید، برای محاسبه هزینه حمل قیر فقط از جدول (۸) استفاده می‌شود و در صورت تمایل پیمانکار به بهره‌گیری از روش‌های ذخیره‌سازی گرم یا سرد، هزینه حمل از پالایشگاه به انبار و سپس از انبار به کارخانه نیز به هزینه حمل قیر اضافه شده و جداول (۹) و (۱۰) نیز در برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همانگونه که در جدول (۹) مشاهده می‌شود، به دلیل اینکه حمل قیرهای بسته‌بندی شده در روش ذخیره‌سازی سرد، به وسلیه تریلی کفی صورت می‌پذیرد، هزینه حمل آن‌ها در مسافت‌های مشابه در مقایسه با روش ذخیره‌سازی گرم که حمل آن با تانکر دو جداره انجام می‌شود کمتر است.

جدول (۱۰) هزینه حمل قیر ذخیره‌سازی شده در انبار به محل تقاضا کننده قیر را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه قیرهای ذخیره‌سازی شده به صورت فله یا بسته بندی شده، در نهایت با استفاده از تانکر دو جداره از انبار به کارخانه ارسال می‌شوند، هزینه هر دو روش در این جدول یکسان است. همچنین چون در این مثال انبارهای پیمانکار برای ذخیره‌سازی قیر در نزدیکی پالایشگاها قرار دارند، هزینه حمل از پالایشگاه به پروژه با هزینه حمل از انبار به پروژه تفاوت اندکی دارد.

شرکت پایلوت برای اجرای ۱۳ پروژه فعال خود نیازمند تامین ٤٤۰۰۰ تن قیر در طول یک سال می‌باشد. با توجه به تناژ بالای تقاضای قیر این شرکت، هرگونه نوسان قیمت در طول سال اثر زیادی بر سود یا زیان این شرکت خواهد داشت. در این بخش ابتدا چند سناریو مختلف نوسان قیمت قیر در طول یکسال ساخته می‌شود، سپس میزان زیان شرکت پایلوت در اثر این نوسانات قیمت در شرایطی که فقط از روش خرید مستقیم استفاده نماید، محاسبه می‌شود. جهت محاسبه زیان ناشی از سناریوهای مختلف از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود.

شکل‌های (۱۱) سناریوهای مختلف مورد بررسی در این مقاله را نشان می‌دهد. قمیت ۳،٤۷۰،۰۰۰ تومان برای هر خرید هر تن قیر به عنوان قیمت پایه ابتدای برنامه‌ریزی در تمامی‌سناریوهای زیر نظر گرفته شده است. نمودار (a) نشان دهنده سناریو ثبات قمیت می‌باشد. در این سناریو پیش بینی می‌شود که قیمت قیر از ابتدای برنامه‌ریزی تا انتهای آن ثابت بماند. بر این اساس هزینه تمام شده تامین ٤٤۰۰۰ تن قیر (تهیه و حمل) تحت شرایط ثبات برابر ۱۵۵،۰٤۲،۲٤۸،۵۰۰ تومان خواهد بود. این هزینه به عنوان معیار کنترل (BC) در رابطه (۱۵) مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمودار (b) نیز نشان دهنده سناریو کاهش متعارف بوده و بر اساس آن پیش بینی می‌شود قیمت قیر در انتهای برنامه‌ریزی نسبت به ابتدای آن در حدود ۲۷ درصد کاهش یابد. الگوی این سناریو تا حدودی از الگوی کاهش قیمت قیر در سال‌های ۹۳ و ۹٤ پیروی می‌نماید.

جدول ۸. هزینه حمل هر تن قیر بصورت مستقیم از پالایشگاه به کارخانه (هزار تومان)

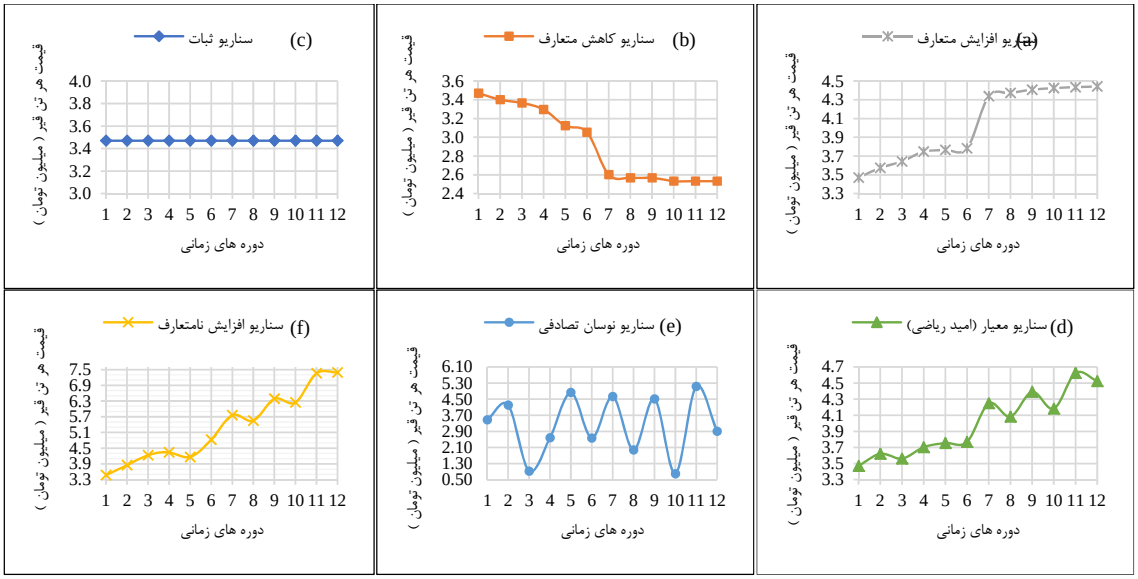
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13
r1	٤٢٥	٣٨٣	٢٥	٢٥	٤٨	٢١٤	٥٨	١٤٥	٨٥	٢٨٢	٢٥	١٧١	٧٦
r2	٢٥	٦٠	٤٢٩	٤٣٩	٣٩٧	٢٠٢	٣٧٨	٣٣٢	٥٠٢	٢٦٥	٤٣٣	٢٨٥	٤٣١
r3	٣٠٨	٢٥١	١٣٣	١٥٤	١٠٣	٨٥	٨٥	٧٨	٢٢٢	١٣٨	١٣٨	٥١	١٦١
r4	٣١٢	٢٤٨	١٩٨	٢١٥	١٥٦	١٧٦	١٣٨	٢٣٩	٢٨١	٥٥	٢٠٥	١٠٦	٢١٤

جدول۹. هزینه حمل هرتن قیر گرم/سرد از پالایشگاه به انبار (هزار تومان)

	s1		s2		s3		s4	
	حمل گرم	حمل سرد	حمل گرم	حمل سرد	حمل گرم	حمل سرد	حمل گرم	حمل سرد
r1	٢٥	١٥	٢٠٧	١٨٦	٤٣٢	٦١	١٣٣	٨٩
r2	٤٣٥	٩٠	٣١١	١٣٥	٢٥	٥٨	٣٠٨	١٥
r3	١٤٠	١٨٥	١٣٣	١٥	٣١٢	١٣٦	٢٥	١٣٦
r4	٢٠٥	٥٨	١٣٤	٢٥	٣١٢	١٥	١٣٨	٦٠

جدول۱۰. هزینه حمل هر تن قیر از انبار به کارخانه (هزار تومان)

	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9	a10	a11	a12	a13
s1	٤٢١	٣٧٩	٢٥	٢٥	٤٥	٢١٠	٥٤	١٤١	٨١	٢٧٨	٢٥	١٦٧	٧٢
s2	٣١٥	٢٥٥	٢٠٥	٢٢٢	١٦٣	١٨٣	١٤٥	٢٤٦	٢٨٨	٦٢	٢١٢	١١٣	٢٢١
s3	٢٥	٦٨	٤٣٦	٤٤٧	٤٠٥	٢١٠	٣٨٥	٣٣٩	٥١٠	٢٧٣	٤٤٠	٢٩٣	٤٣٨
s4	٣١١	٢٥٤	١٣٧	١٥٧	١٠٦	٨٨	٨٨	٨١	٢٢٥	١٤١	١٤١	٥٤	١٦٤



شکل۳. سناریوهای نوسان قیمت

نمودار (c) سناریو افزایش متعارف قیمت قیر را نشان می‌دهد و الگوی آن تقریبا مشابه الگوی افزایش قیمت قیر در سال‌های ۹۵ و ۹۶ بوده و بر اساس آن پیش بینی می‌شود که قیمت قیر در پایان برنامه‌ریزی در حدود ۲۸ درصد افزایش یابد. سناریو (d) نیز بر مبنای افزایش نامتعارف قمیت قیر در سال ۹۷ طراحی شده و بر اساس آن پیش بینی می‌شود که قیمت قیر طی یک افزایش نامتعارف در حدود ۱۱۳ درصد افزایش یابد. نمودار (e) نمایانگر رفتار غیر منطقی و غیر قابل پیش بینی در نوسانات قیمت قیر می‌باشد. این نمودار بر اساس اعداد تصافی تولید شده با استفاده از تابع توزیع یکنواخت رسم شده و حداکثر افزایش و کاهش قیمت در آن به ترتیب ۴۸ و ۴۳ درصد می‌باشد.

در نهایت با استفاده از مفهوم ارزش مورد انتظار و با در نظر گرفتن یک احتمال وقوع برای هر یک از سناریوهای تعریف شده مطابق جدول (۱۱)، یک سناریو معیار (d) تولید شده است. مقادیر سناریو معیار برابر با مجموع حاصل‌ضرب احتمال وقوع هر یک از سناریوها در مقدار آن می‌باشد. بنابراین رفتار سناریو معیار ترکیبی از رفتار ۵ سناریو قبلی است. اما با توجه به در نظر گرفتن احتمال وقوع ۵۰ درصدی برای سناریو افزایش متعارف، الگوی سناریو معیار با الگوی این سناریو تطابق بیشتری دارد.

با استفاده از اطلاعات داده شده و با در نظر گرفتن معیار کنترل در رابطه (۱۵)، می‌توان میزان زیان شرکت پایلوت را در اثر نوسانات مختلف قیمت محاسبه کرد. در جدول (۱۲) زیان این شرکت در شرایط سناریوهای افزایش متعارف، نامتعارف و معیار محاسبه شده است. سناریوهای کاهش متعارف، نوسان تصادفی و ثبات موجب زیان شرکت نمی‌شوند، بنابراین از این سناریوها صرفاً جهت ساخت سناریو معیار استفاده شده است. با توجه به زیان محاسبه شده پیمانکار می‌تواند به کمک مدل بهینه‌سازی ارائه شده در این مقاله و با بهره‌گیری از روش‌های ذخیره‌سازی سرد و گرم، زیان ناشی از نوسانات قیمت را کاهش دهد. برای استفاده از مدل بهینه‌سازی در این مقاله در این مثال، ابتدا رابطه (۱) و محدودیت‌های (۲) الی (۱۴)، در نرم افزار بهینه‌سازی GAMS نسخه ۲۵ کد نویسی شده و پارامترهای، قیمت خرید قیر (p_{rt})، هزینه حمل از پالایشگاه به کارخانه (ch_{ra})، هزینه حمل از پالایشگاه به انبار گرم $(ch1_{rs})$، هزینه حمل از انبارها به کارخانه‌ها $(ch2_{sa})$، هزینه حمل قیر سرد بسته بندی شده از پالایشگاه به انبار (cc_{rs})، هزینه ذخیره‌سازی در مخازن (sch_s)، هزینه ذخیره‌سازی قیر سرد در سوله (scc_{st}) و هزینه‌های جانبی بسته‌بندی و گرمایش مجدد قیر سرد (g_s)، به عنوان ورودی‌های این مدل در نرم افزار تعریف می‌شوند.

جدول ۱۱. احتمال وقوع برای هر یک از سناریوهای تعریف

سناریو	ثبات	کاهش متعارف	افزایش متعارف	افزایش نامتعارف	نوسان تصادفی
احتمال وقوع	۵٪	۲۰٪	۵۰٪	۲۰٪	۵٪

جدول۱۲. زیان شرکت پایلوت

سناریو	معیار کنترل (BC) (تومان)	هزینه تامین قیر با در نظرگرفتن نوسانات ناشی از سناریو $VC(\phi)$ (تومان)	زیان شرکت پایلوت $\lambda(\phi)$ (تومان)
افزایش متعارف		۱۷۹،۳۹۰،۱۸۰،۱۵۰	۲۴،۳۴۷،۹۳۱،۶۵۰
افزایش نامتعارف	۱۵۵،۰۴۲،۲۴۸،۵۰۰	۲۳۶،۹۹۳،۳۹۴،۶۵۰	۸۱،۹۵۱،۱۴۶،۱۵۰
معیار		۱۷۷،۵۶۳،۷۲۵،۷۱۸	۲۲،۵۲۱،۴۷۷،۲۱۸

پس از کدنویسی مدل و تعریف ورودی‌ها در GAMS، جواب بهنیه مسئله مورد بررسی با استفاده از Solver CPLEX موجود در نرم‌افزار GAMS جستجو شده و در نهایت، متغیرهای میزان قیر تامین شده به روش مستقیم (x_{rat})، میزان قیر تامین شده به روش ذخیره‌سازی گرم (xh_{rst}) و میزان قیر تامین شده به روش ذخیره‌سازی سرد (xc_{rst}) به عنوان خروجی‌های مدل و جواب بهینه مسئله محاسبه می‌شوند. مسئله مورد بررسی در این مقاله بر اساس ۹ آزمون برنامه‌ریزی (جدول ۲)، در ۹ حالت مختلف حل شده و نتایج آن با یکدیگر مقایسه می‌شوند تا از بین حالات مختلف تامین و ذخیره‌سازی، مناسب‌ترین حالت در این مثال برای پیمانکار مشخص شود. در بخش بعد نتایج به دست آمده از حل مسئله در چارچوب شرایط این ۹ آزمون مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

٤- نتایج و بحث

در جدول (۱۳) نتایج آزمون‌های مختلف برنامه‌ریزی شامل درصد بهینه تامین قیر از هر روش و درصد کاهش زیان شرکت، ارائه شده است. در این جدول نتایج مربوط به هر ۹ آزمون تعریف شده در این مقاله ارائه شده است. اما باید دقت نمود، در عمل ظرفیت انبارهایی که یک شرکت برای ذخیره‌سازی قیر از آن‌ها استفاده می‌کنند دارای محدودیت می‌باشند.

بنابراین نتایج آزمون‌های برنامه‌ریزی در حالات دوم، چهارم، هفتم، هشتم و نهم که درآن‌های ظرفیت انبارها برای ذخیره‌سازی قیر به روش سرد یا گرم بصورت نامحدود در نظر گرفته شده است، با شرایط واقعیت تطابق کمتری دارند. در واقع این روش‌ها برای بررسی توجیه اقتصادی افزایش ظرفیت انبارهای موجود قابل استفاده می‌باشند. بطور مثال جهت تصمیم‌گیری در خصوص افزایش ظرفیت انبارها برای ذخیره‌سازی سرد می‌توان نتایج آزمون‌های حالات پنجم و نهم و برای افزایش ظرفیت انبارها برای ذخیره‌سازی گرم می‌توان نتایج آزمون‌های چهارم و پنجم را با یکدیگر مقایسه نمود. این مقایسه نشان خواهد داد حداکثر ظرفیت انبار مورد نیاز برای کمینه کردن زیان شرکت چه ظرفیتی خواهد بود.

از سوی دیگر نتایج آزمون‌های سوم، پنجم و ششم که در آن‌ها ظرفیت انبارها برای ذخیره‌سازی قیر به روش سرد یا گرم به چه به صورت منفرد و یا همزمان و بصورت محدود مورد استفاده قرار می‌گیرند، با شرایط واقعی یک شرکت جهت برنامه‌ریزی تامین قیر تطابق بیشتری داشته و متناسب می‌باشند.

در مثال مورد بررسی در این مقاله شرکت پایلوت دارای انبارهای با قابلیت ذخیره‌سازی هر دو روش سرد و گرم بوده اما ظرفیت انبارها محدود می‌باشند (حالت پنجم)، بنابراین در ادامه فقط تحلیل نتایج آزمون برنامه‌ریزی در حالت پنجم برای این شرکت مورد بررسی بیشتری قرار می‌گیرد.

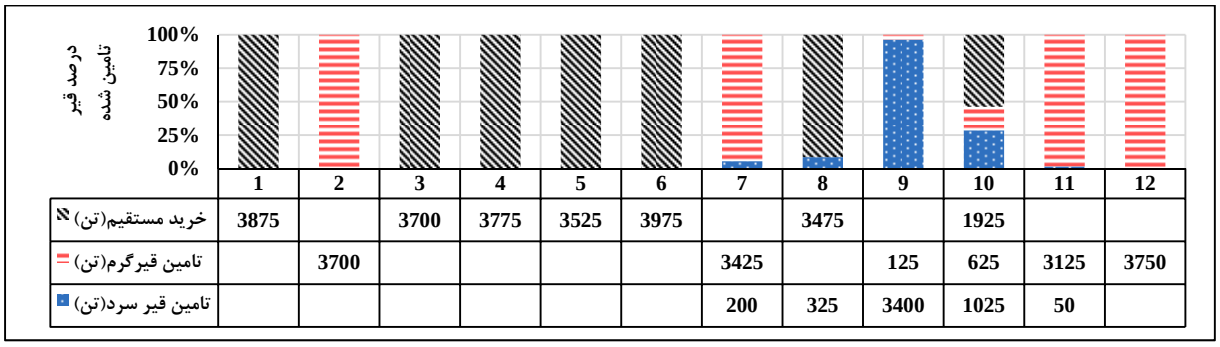
شکل (٤) کلیات برنامه‌ریزی مطابق حالت پنجم برای تامین قیر مورزد نیاز شرکت پایلوت در طول یک سال را به تفکیک روش‌های مختلف تامین قیر نشان می‌دهد. جداول (١٤) الی (١٦) نیز همین برنامه‌ریزی را با جزئیات دقیق نشان می‌دهند.

در شکل (٤) مشاهده می‌شود که در جواب برنامه‌ریزی بهینه به دست آمده مطابق حالت پنجم، در ماه‌های ابتدایی که هنوز قیمت قیر افزایش نیافته با هدف کاهش زیان شرکت ، بیشتر تاکید به تامین قیر از طریق روش خرید مستقیم بوده ولی در ماه‌های انتهایی قیر مورد نیاز از طریق ذخیره‌های موجود در انبارهای سرد و گرم تامین می‌شود. به عنوان مثال در ماه نهم بخش عمده از قیر مورد نیاز این شرکت از طریق ذخیره سرد و در ماههای دوم، هفتم، یازدهم و دوازهم نیز از طریق ذخیره گرم برای تامین قیر برنامه‌ریزی شده است. همچنین مطابق جواب بهینه، قیر مورد نیاز شرکت در ماه دهم می‌بایست بطور همزمان از طریق هر سه روش با سهم مشخص تامین شود.

بدیهی است که میزان قیر پیش بینی شده برای تامین از طریق روش‌های مختلف ذخیره‌سازی می‌بایست، پیش‌تر خریداری و به انبار منتقل و ذخیره‌سازی شود. جدول (۱۷) برنامه خرید قیر مورد نیاز جهت ذخیره‌سازی در انبارهای مختلف را نمایش می‌دهد، ملاحضه می‌شود که خرید قیر سرد در کلیه انبارها فقط یک نوبت و در ماه‌های و تا حداکثر ظرفیت انبارها برنامه‌ریزی شده است، اما خرید ذخیره قیر گرم در چهار نوبت و در ماه‌های اول، سوم، هشتم و دهم پیش بینی شده است. شکل‌های (٥) و (٦) موجودی انبارهای گرم و سرد شرکت را در هر ماه نشان می‌دهند. ملاحظه می‌شود علیرغم اینکه ظرفیت ذخیره‌سازی انبارهای مختلف متفاوت بوده اما برنامه‌ریزی‌به نحوی صورت گرفته که در تمامی‌انبار در ماه اول کل ظرفیت انبار پر شده و در نهایت تمامی‌انبارها در ماه دوازهم خالی می‌شوند.

جدول۱۳. نتایج آزمون‌های مختلف برنامه‌ریزی

انواع مدل	درصد بهنیه تامین قیر از هر روش			زیان شرکت	درصد کاهش زیان
	خرید مستقیم	ذخیره‌سازی گرم	ذخیره‌سازی سرد		
آزمون اول	٪ ۱۰۰	٪ ۰	٪ ۰	۲۲،۵۲۱،۴۷۷،۲۱۸	-
آزمون دوم	٪ ۹	٪ ۹۱	٪ ۰	۱،۶۰۶،۰۷۲،۵۰۰	٪ ۹۲/۸۷
آزمون سوم	٪ ۵۹	٪ ۴۱	٪ ۰	۱۳،۷۰۲،۶۱۱،۱۶۸	٪ ۳۹/۱۶
آزمون چهارم	٪ ۹	٪ ۹۱	٪ ۰	۱،۶۰۶،۰۷۲،۵۰۰	٪ ۹۲/۸۷
آزمون پنجم	٪ ۵۵	٪ ۳۴	٪ ۱۱	۱۱،۴۷۹،۱۷۲،۱۶۳	٪ ۴۹/۰۳
آزمون ششم	٪ ۷۸	٪ ۰	٪ ۲۲	۱۸،۳۴۱،۵۱۵،۴۸۸	٪ ۱۸/۵۶
آزمون هفتم	٪ ۲۶	٪ ۰	٪ ۷۴	۹،۶۱۴،۴۲۰،۴۲۳	٪ ۵۷/۳۱
آزمون هشتم	٪ ۹	٪ ۹۱	٪ ۰	۱،۶۰۶،۰۷۲،۵۰۰	٪ ۹۲/۸۷
آزمون نهم	٪ ۱۷	٪ ۲۶	٪ ۵۷	۷،۶۰۲،۵۵۰،۹۲۱	٪ ۶۶/۲۴



شکل۴. برنامه‌ریزی تامین قیر برای شرکت پایلوت (در حالت پنجم)

جدول۱۴. برنامه‌ریزی تامین قیر به روش خرید مستقیم

از پالایشگاه	r1	r1	r1	r1	r1	r2	r3	r4
به کارخانه	a3	a5	a7	a9	a11	a1	a6	a10
ماه اول	۳۷۵	۳۵۰	۳۵۰	۲۷۵	۲۷۵	۲۵۰	۲۰۰	۳۷۵
ماه سوم	۳۵۰	۲۵۰	۳۲۵	۲۵۰	۳۰۰	۲۰۰	۳۵۰	۲۲۵
ماه چهارم	۲۲۵	۳۵۰	۳۷۵	۲۵۰	۳۲۵	۲۲۵	۲۵۰	۳۰۰
ماه پنجم	۳۲۵	۲۵۰	۲۲۵	۲۰۰	۲۲۵	۲۰۰	۳۰۰	۲۵۰
ماه ششم	۳۲۵	۳۲۵	۲۵۰	۲۷۵	۳۲۵	۳۲۵	۲۷۵	۲۲۵
ماه هشتم	۲۵۰	۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰	۳۲۵	۳۵۰	۳۰۰	
ماه دهم	۲۵۰	۳۲۵		۲۲۵	۲۷۵	۲۰۰		

جدول۱۵. برنامه‌ریزی تامین قیر از انبارهای ذخیره کننده قیر گرم

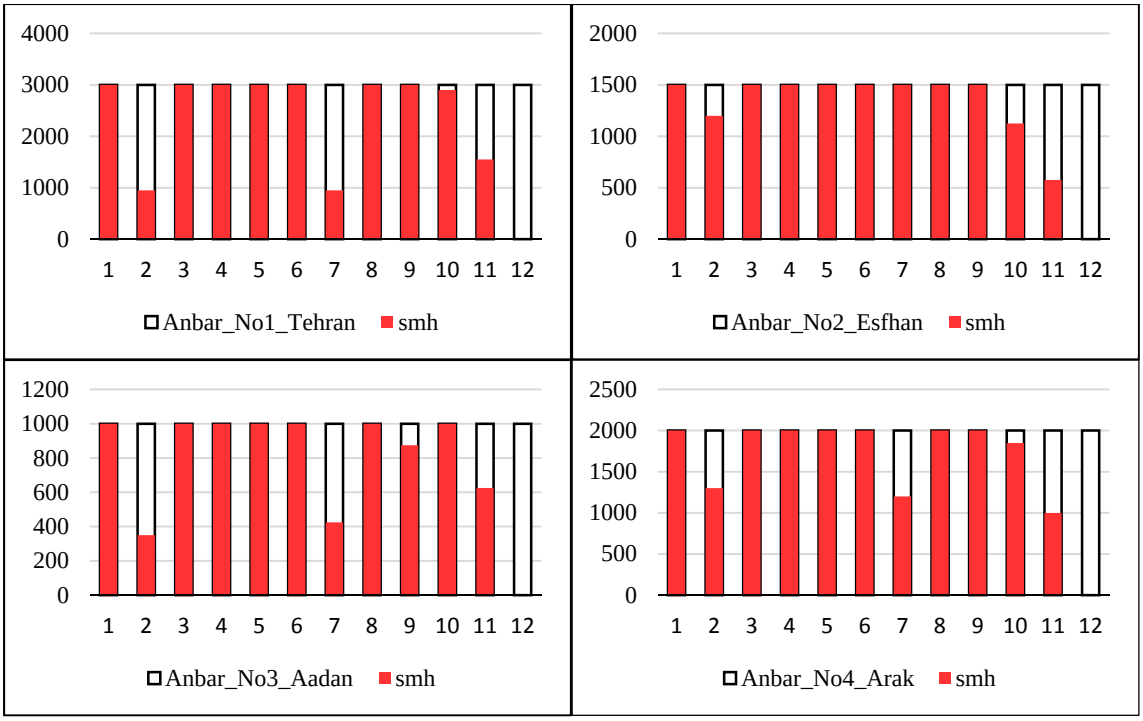
از انبار	S1							S2			S3			S4	
به کارخانه	a3	a4	a5	a7	a9	a11	a13	a7	a10	a12	a1	a2	a6	a8	a12
ماه دوم	۲۷۵	۳۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۲۵	۳۵۰	۰	۳۰۰	۰	۳۰۰	۳۵۰	۲۲۵	۲۷۵	۲۰۰
ماه هفتم	۳۰۰	۳۵۰	۲۲۵	۳۲۵	۳۵۰	۳۰۰	۲۰۰	۰	۰	۰	۳۷۵	۲۰۰	۳۲۵	۲۷۵	۲۰۰
ماه نهم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲۵	۰	۰	۰	۰
ماه دهم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۳۰۰	۷۵	۰	۰	۰	۰	۱۵۰	۰
ماه یازدهم	۲۰۰	۲۰۰	۲۲۵	۰	۲۷۵	۲۲۵	۲۲۵	۳۲۵	۲۲۵	۰	۲۲۵	۱۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۲۰۰
ماه دوازدهم	۲۰۰	۳۲۵	۲۰۰	۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۲۵	۲۲۵	۲۵۰	۱۰۰	۲۷۵	۳۵۰	۳۵۰	۳۷۵	۲۷۵

جدول ۱۶. برنامه‌ریزی تامین قیر از انبارهای ذخیره کننده قیر سرد

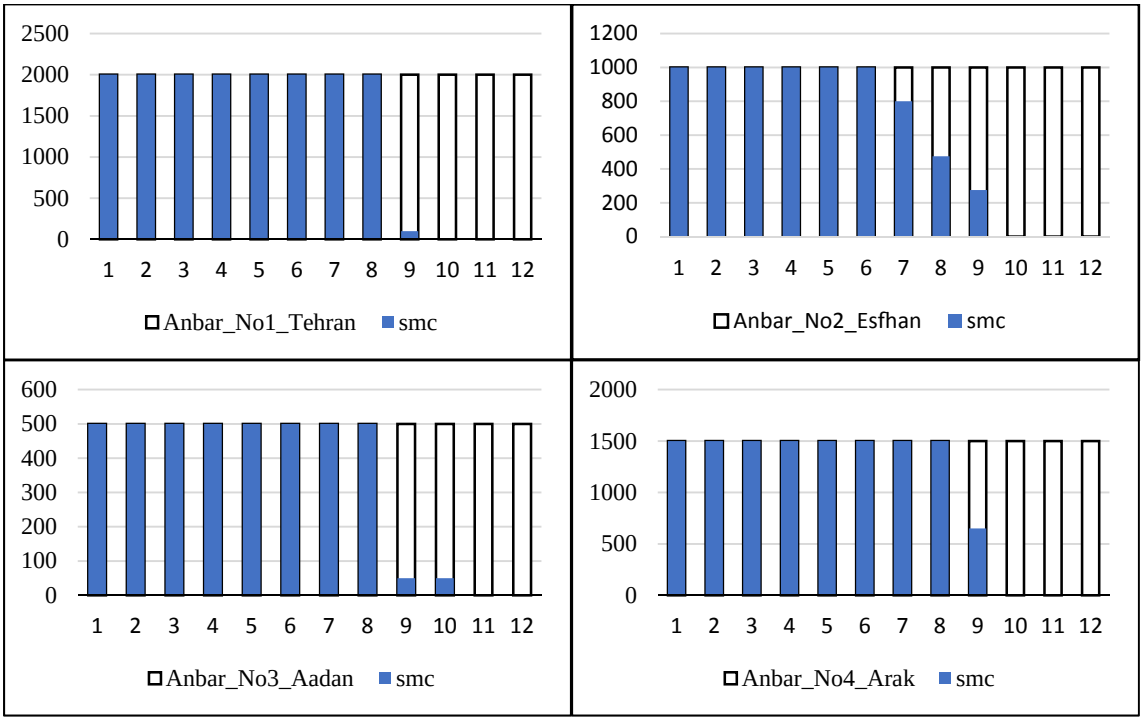
از انبار	s1							s2		s3			s4	
به کارخانه	a3	a4	a5	a7	a9	a11	a13	a10	a1	a2	a6	a8	a12
ماه هفتم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰۰	۰	۰	۰	۰	۰
ماه هشتم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۲۵	۰	۰	۰	۰	۰
ماه نهم	۳۲۵	۲۷۵	۲۰۰	۳۵۰	۲۲۵	۲۷۵	۲۵۰	۲۰۰	۱۵۰	۳۰۰	۲۲۵	۳۵۰	۲۷۵
ماه دهم	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۲۷۵	۰	۰	۲۰۰	۱۰۰	۳۵۰
ماه یازدهم	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۰	۰	۰	۰

جدول۱۷. برنامه‌ریزی خرید قیر به منظور ذخیره‌سازی برای شرکت پایلوت (در حالت پنجم)

از پالایشگاه	به انبار	نوع خرید	ماه اول	ماه سوم	ماه هشتم	ماه دهم
r1	s1	خرید قیر گرم	۳۰۰۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰	۰
		خرید قیر سرد	۲۰۰۰	۰	۰	۰
r4	s2	خرید قیر گرم	۱۵۰۰	۳۰۰	۰	۰
		خرید قیر سرد	۱۰۰۰	۰	۰	۰
r2	s3	خرید قیر گرم	۱۰۰۰	۶۵۰	۵۷۵	۱۲۵
		خرید قیر سرد	۵۰۰	۰	۰	۰
r3	s4	خرید قیر گرم	۲۰۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۰
		خرید قیر سرد	۱۵۰۰	۰	۰	۰



شکل۵. کنترل ظرفیت مخازن نگهداری قیر گرم در انبارهای شرکت پایلوت (در حالت پنجم)



شکل٦. کنترل ظرفیت سوله‌های نگهداری قیر بسته بندی شده در انبارهای شرکت پایلوت (در حالت پنجم)

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک ابزار مدیریتی برای کاهش هزینه‌های تامین قیر شرکت های پیمانکاری راهسازی ارائه شده است. همانگونه که در متن این مقاله اشاره شد، در حال حاضر اکثر شرکت‌های راهسازی عمده قیر مورد نیاز خود را بدون استفاده از ابزارهای مدیریتی و برنامه‌ریزی و عمدتاً به روش خرید مستقیم انجام می‌دهد که با توجه به نوسانات قیمت قیر در کشور این شیوه تامین قیر یک روش بهینه محسوب نمی‌شود.

پروژه‌های راهسازی اغلب پروژه‌هایی با مدت زمان چند ساله بوده و اجرای آسفالت جز آخرین مراحل اجرای پروژه می‌باشد. در صورت عدم استفاده از ابزارهای برنامه‌ریزی تامین، قیر مورد نیاز بطور معمول در انتهای پروژه و به روش خرید مستقیم تامین می‌شود. بنابراین، همانگونه که در متن مقاله اشاره گردید، اگر شرکت‌های پیمانکاری از روش خرید مستقیم برای تامین قیر مورد نیاز خود استفاده نمایند، به دلیل افزایش قیمت قیر و عدم رشد متناسب شاخص های تعدیل، دچار زیان خواهند شد.

در این مقاله با هدف کاهش زیان ناشی از نوسانات قیمت قیر، مسئله تامین بخشی از قیر مورد نیاز از طریق انبار نمودن قیر مطرح شده که در حال حاضر در شرکت های پیمانکاری راهسازی رایج نمی‌باشد. باید دقت نمود که اگر چه تامین قیر به روش ذخیره‌سازی در انبار یک اقدام پیشگیرانه محسوب شده و می‌تواند شرکت‌های پیمانکاری را در برابر زیان ناشی از افزایش قیمت قیر مصون نگه دارد، اما ذخیره‌سازی هزینه‌های دیگری را از قبیل هزینه انبارداری و نگهداری قیر، حمل قیر به انبار و مجدداً از انبار به کارخانه را به شرکت‌های پیمانکاری تحمیل خواهد کرد. اگر شرکت‌های راهسازی که برای فرار از زیان مالی ناشی از نوسانات قیمت قیر به سمت انبارداری و ذخیرسازی قیر رفته اما از ابزارهای برنامه‌ریزی برای تامین قیر مورد نیاز خود استفاده نکند ممکن به دلیل اضافه شده هزینه‌های انبارداری دچار خطای محاسباتی شده و نه تنها زیان ناشی از نوسانات را کاهش نداده بلکه زیان بیشتری به آن‌ها تحمیل شود.

بنابراین این چالش مطرح می‌شود که چه درصدی از قیر مورد نیاز به روش خرید مستقیم تامین شده و چه میزان آن از طریق انبار داری تامین شود تا زیان شرکت‌های راهسازی حداقل شود. پاسخ به این سوال نیازمند استفاده از یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر بهنیه‌سازی است که در این مقاله گردید و جهت بیان اهمیت استفاده از این مدل یک مثال کاربردی مورد بررسی قرار گرفت که در آن ۹ شرایط مختلف برای تامین قیر مورد نیاز در یک شرکت پیمانکاری تعریف و برنامه بهنیه به دست آمده برای این ۹ حالت با یکدیگر مقایسه شدند.

مطابق نتایج حاصل، در حالت اول به دلیل اینکه هیچ‌گونه روش ذخیره‌سازی اعم از سرد یا گرم مجاز نبود، ٪۱۰۰ قیر مورد نیاز به روش خرید مستقیم پیشنهاد گردید. همچنین مشاهده شد که در این حالت شرکت پیمانکاری به دلیل نوسانات قیمت قیر تحت شرایط سناریو معیار در حدود ۲۲ میلیارد تومان نسبت به شرایط ثبات قیمت متضرر خواهد شد.

اما نتایج حاصل از آزمون‌های برنامه‌ریزی در حالت‌های دوم الی نهم نشان داد که این امکان وجود دارد تا با تامین بخشی از قیر مورد نیاز از طریق ذخیره‌سازی، زیان شرکت را کاهش داد. همانگونه که در جدول (۱۳) مشاهده گردید، کاهش زیان حاصل از بهره‌گیری از مدل تصمیم‌گیری از حداقل ٪۱۸ درصد تا حداکثر ٪۹۳ امکان پذیر است. این موضوع اهمیت بکارگیری این مدل در کاهش زیان شرکت را نمایان می‌سازد.

مقایسه نتایج حاصل از آزمون‌های برنامه‌ریزی در حالات دوم، چهارم و هشتم نشان می‌دهد، در صورتی که روش ذخیره‌سازی گرم مجاز باشد و محدودیت ظرفیتی نیز برای آن وجود نداشته باشد، صرف نظر از اینکه ذخیره‌سازی سرد ممنوع (حالت دوم)، مجاز-محدود (حالت چهارم) و یا مجاز-نامحدود باشد (حالت هشتم)، الگوریتم بهینه‌سازی همواره اولویت را به روش ذخیره‌سازی گرم داده و در تمامی‌این حالات بطور مشابه، تامین ٪۹۱ از کل قیر مورد نیاز به روش ذخیره‌سازی گرم را پیشنهاد داده است که در اثر آن زیان شرکت در حدود ٪۹۳ قابل کاهش است. در بین این سه آزمون (دوم، چهارم و هشتم) نکته قابل توجه مربوط به حالت هشتم می‌باشد که در آن علیرغم مجاز بودن به استفاده از روش ذخیره‌سازی سرد و در نظر نگرفتن محدودیت برای آن، هیچ درصدی از تامین قیر مطابق این روش پیشنهاد نشده است. علت این موضوع مربوط به کمتر بودن هزینه تمام شده تامین قیر در روش گرم نسبت به روش سرد است. زیرا همانگونه که پیش‌تر اشاره شده علیرغم اینکه هزینه حمل از

پالایشگاه به انبار و هزینه‌های نگهداری در انبار در روش سرد کمتر از روش گرم می‌باشد، اما هزینه‌های جانبی تحمیل به روش سرد شامل بسته‌بندی، بارگیری و تخلیه با لیفتراک و به خصوص هزینه گرمایش مجدد سبب می‌شود که تامین قیر به این روش نسبت به روش گرم گران‌تر باشد.

در واقع الگوریتم در این حالات با رویکرد کاهش زیان شرکت در ماه‌های ابتدایی برنامه‌ریزی که قیمت قیر پایین است، در شروع ٪۹ از قیر مورد نیاز را از طریق خرید مستقیم تامین نموده، سپس برای جلوگیری از افزایش قیمت ناشی از سناریوی در نظر گرفته شده به سمت ذخیره‌سازی قیر به روش گرم حرکت می‌کند و چون در این حالات هیچ گونه محدودیت ظرفیتی برای تامین قیر به روش گرم در نظر گرفته نشده است، این روند ادامه پیدا می‌کند و کل ٪۹۱ قیر مورد نیاز باقیمانده از این طریق تامین می‌شود. نتایج آزمون برنامه‌ریزی در حالات سوم، پنجم و نهم نشان می‌دهد که در این حالات به دلیل در نظر گرفتن محدودیت تامین قیر به روش گرم، الگوریتم در جواب بهینه به ترتیب فقط، ٪۴۱، ٪۳۴ و ٪۲۶ تامین قیر مورد نیاز را از طریق ذخیره‌سازی گرم پیشنهاد داده است.

در مقایسه جواب بهینه این سه آزمون (سوم، پنجم و نهم) دیده می‌شود که در حالت سوم، الگوریتم طی یک روند منطقی و به دلیل وجود محدودیت ظرفیت فقط ٪۴۱ از قیر مورد نیاز را برای تامین از طریق ذخیره گرم برنامه‌ریزی نموده است و به دلیل غیر مجاز بودن روش سرد در این آزمون، تامین ٪۵۹ باقیمانده را به اجبار از طریق خرید مستقیم برنامه‌ریزی می‌کند.

اما نکته قابل توجه مربوط به مقایسه حالات پنجم و نهم با حالت سوم می‌باشد. در این حالات (پنجم و نهم) چون امکان ذخیره‌سازی سرد فراهم می‌شود و هزینه روش سرد نیز از روش گرم بیشتر است، ممکن است این گونه به تصور شود که الگوریتم درصد ذخیره‌سازی گرم را روی سقف ٪۴۱ حفظ کرده و با کاهش درصد روش خرید مستقیم از ٪۵۹، شروع به افزایش درصد ذخیره‌سازی سرد نماید.

اما بر خلاف این تصور نتایج آزمون برنامه‌ریزی در این حالات نشان می‌دهد که علاوه بر کاهش درصد خرید مستقیم در حالت پنجم از ٪۵۹ به ٪۵۵ و در حالت نهم به ٪۱۷، به طور همزمان درصد ذخیره‌سازی گرم نیز در حالت پنجم از ٪۴۱ به ٪۳۴ و در حالت نهم به ٪۲۶ کاهش می‌یابد و نشان می‌دهد با استفاده از ذخیره‌سازی سرد می‌توان ٪۴۰ کاهش زیان قابل حصول در حالت سوم را به ٪۶۶ درصد رساند. در این مثال به خوبی دیده می‌شود که علیرغم گران‌تر بودن ذخیره‌سازی سرد نسبت به ذخیره‌سازی گرم، در یک جواب بهینه خاص می‌تواند ذخیره‌سازی سرد بر گرم ارجح باشد. این موضوع اهیمت و مزیت استفاده از مدل های بهینه‌سازی را نشان می‌دهد. چرا که الگوریتم بهینه‌سازی در مدت زمان کوتاهی ترکیبات مختلف با درصدهای مختلف برای هر روش را محاسبه و مقایسه کرده و در نهایت ترکیب بهینه را با هدف کمینه‌سازی زیان پیدا می‌کند. در نهایت در مقایسه نتایج حاصل از آزمون برنامه‌ریزی در حالات ششم و هفتم که در آن‌ها فرض بر این است که امکان ذخیره‌سازی گرم وجود ندارد، اهمیت کاربرد روش ذخیره‌سازی سرد به تنهایی نیز دیده می‌شود. به طور مثال مطابق نتایج آزمون حالت ششم، حتی اگر به صورت محدود فقط ٪۲۲ قیر مورد نیاز از طریق ذخیره‌سازی سرد تامین شود، زیان ناشی از نوسانات تا حدود ٪۱۹ قابل کاهش است. همچنین نتایج آزمون برنامه‌ریزی در حالت نهم به خوبی حداکثر سقف بهینه تامین قیر به روش سرد را نشان می‌دهد. در این حالت مشاهده می‌شود که بر خلاف حالت دوم که در آن آزادسازی ظرفیت تامین قیر به روش ذخیره‌سازی گرم منجر به تامین ٪۹۱ از کل قیر مورد نیاز به این روش گردید، اما در این حالت حتی اگر ظرفیت ذخیره‌سازی سرد نامحدود باشد، حداکثر ٪۵۷ استفاده از این روش بهینه خواهد بود.

٦-مراجع

-ابوطالبی اصفهانی، م. غنی زاده، ع. و حیدرآبادی زاده، ن. (۱۳۹٦). ارزیابی روش‌های فرا ابتکاری به‌منظور بهینه‌سازی خط پروژه مسیرهای راه. *مهندسی زیر ساخت‌های حمل و نقل*، شماره ۳(٤)، ۹٤.-۷۷

-توکلی مقدم، ر. سلطانی، ف. و محمودآبادی، ع. (۱۳۹۲). توسعه مدل ریاضی مسأله مسیریابی حمل‌ونقل مواد سوختی تحت شرایط فازی – مطالعه موردی. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، شماره ٤(۳)، ۲۲۰-۲۰۹.

-جوانفر، ا، رضائیان، ج، شکوفی، ک، و مهدوی، ا. (۱۳۹٦). مسئله مکانیابی مسیریابی انبارهای عبوری چند محصولی با در نظرگرفتن وسایل نقلیه ناهمگن ظرفیت دار و قابلیت برداشت و تحویل در چند بار در یک شبکه زنجیره تامین چند سطحی. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، شماره ۸(٤)، ٦۲۷-٦۰۳.

-حسن‌پور، م. و دبیری، ن. (۱۳۹٦). مدل‌سازی و حل ابتکاری مسئله برنامه‌ریزی موجودی با ملاحظه تنوع در روش‌های حمل‌ونقل. *پژوهشنامه حمل و نقل*، شماره ۱٤(۲)، ۲۹۰-۲۷۵.

-دزفولی نژاد، م. و آخوند، م. (۱٤۰۰). استفاده از برنامه‌ریزی خطی جهت توزیع بهینه آسفالت از کارخانه‌ها به پروژه‌های متعدد (مطالعه موردی: پروژه‌های استان خوزستان). *پژوهشنامه حمل و نقل*، شماره ۱۸(٤)، ۱۹٤-۱۷۵.

-دزفولی نژاد، م، و شفیعیان، م. (۱۳۹۷). طراحی یک مدل تصمیم‌گیری در مورد خرید یا اجاره کارخانه آسفالت. *پژوهشنامه حمل و نقل*، شماره ۱۵(۲)، ۳۲۲-۳۰۹.

-سلمانی بی شک، م. اسدزاده، ا. و جمالی فرد، ف.، (۱۳۹۸). تأثیر تغییرات قیمت نفت و حجم کالاهای کانتینری بر هزینه حمل‌ونقل دریایی. *پژوهشنامه حمل و نقل*، شماره ۱٦(۱)، ۱۳٦-۱۲۵.

-سیدی، ا، حامدی، م، و توکلی مقدم، ر. (۱٤۰۱). بهینه سازی مسئله زمانبندی کامیون‌ها در انبار متقاطع چنددربی با در نظر گرفتن اثر یادگیری و زوال پذیری کارها. *پژوهشنامه حمل و نقل*، شماره ۱۹(۲)، ۲۰٦-۱۸۳.

-صبوحی، ف، و بزرگی امیری، ع. (۱۳۹٦). مسیریابی و زمان‌بندی وسایل حمل و نقل برای توزیع کمک‌های امدادی با در نظر گرفتن تحویل جزئی و انبار چندگانه. *فصلنامه مهندسی حمل و نقل*، شماره ۹(۱)، ۱۳۸-۱۲۵.

-Attanasi, E. D. (2008). Volatility of bitumen prices and implications for the industry. *Natural resources research,* 17(4), 205-213.

-Attanasi, E. D. (2016). Bitumen Prices and Structural Changes in North American Crude Oil Markets. *Natural Resources Research,* 25(4), 487-496.

-Boshoff, W. H. (2015). Illegal Cartel Overcharges in Markets with a Legal Cartel History: Bitumen Prices in S outh A frica. *South African Journal of Economics,* 83(2), 220-239.

-Elsholkami, M., & Elkamel, A. (2014). Design and operation of a sulfur supply chain for sour gas processing and bitumen upgrading operations. *Energy & fuels,* 28(11), 7252-7267.

-Kowalski, T. E., & Starry Jr, D. W. (2007). Cold Recycling Using Foamed Bitumen. In 2007 Annual Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada: Transportation-An Economic Enabler (Les Transports: Un Levier Economique) *Transportation Association of Canada* (TAC).

-Wang, F., Zhang, Z., & Machemehl, R. B. (2003). Decision-making problem for managing pavement maintenance and rehabilitation projects. *Transportation Research Record,* 1853(1), 21-28.

-Wunder, M., Hiete, M., Stengel, J., Schultmann, F., & Simmleit, N. (2012). Potential supply chain cost savings from innovative cold bitumen handling. *International Journal of Logistics Research and Applications,* 15(5), 337-350.

Developing a Decision-Making Model to Determine the Optimal Bitumen Supply Plan for Road Construction Companies

Mehdi Dezfuli Nezhad, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Mohesn Akhond, Department of Civil Engineering, Shushtar Branch, Islamic Azad University, Shushtar, Iran.

E-mail: mehdi-dezfulinezhad@iauahvaz.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTRACT

Typically, road construction projects can span over multiple years, with the application of asphalt being one of the final stages. In the past, road construction companies have purchased the required bitumen at the end of the project without utilizing any planning tools. However, due to price fluctuations and insufficient adjustment indices in Iran, this method can result in losses for the contractors. To address this issue, we propose a storage method for bitumen supply, which is currently uncommon in the contracting industry. While storing bitumen can prevent losses due to price increases, it also incurs additional storage and transportation costs for the contractors. Therefore, the challenge is to determine the optimal amount of bitumen to be supplied through direct purchase and storage. To achieve this, we present a decision-making model based on optimization. We provide a practical example of this model, where we define nine different conditions for bitumen supply in a contracting company and compare the optimal program obtained for each condition. The results show that using the decision-making model can reduce losses by at least 18% and up to 93%, highlighting the significance of this model in reducing a company's losses.

Keywords: Bitumen, Road Construction, Asphalt, Planning, Optimization