

## امکان‌سنجی احداث واحد استخراج آسفالتین توسط حلال طرح ارتقای محصولات سنگین نفتی

سید مهدی شریعتمدار مرتضوی\*

کارشناس ارشد فناوری، شرکت پالایش نفت بندرعباس، بندر عباس، ایران

دریافت: ۹۳/۶/۲۸ پذیرش: ۹۴/۵/۲۱

### چکیده

دیدگاه ارتقای محصولات سنگین حاصل از پالایش نفت خام، چالش انتخاب از میان طیف گسترده‌ای از فناوری‌ها را در پی داشته است. در این مطالعه یکی از این فناوری‌ها با عنوان استخراج آسفالتین توسط حلال به منظور ارتقای وکیوم باتوم ( $API=6/1$ ) حاصل از تقطیر نفت خام سنگین ایران مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه با تمرکز بر موضوعاتی نظیر انتخاب فناوری، تنوع در سبد محصولات، شبیه‌سازی فرایند و محاسبات مالی اقتصادی، احداث یک واحد ۳۰ هزار بشکه در روز را مورد امکان‌سنجی قرار داده که محصولات آن برش آسفالت‌زدایی شده، قیر و آسفالت گرانولی است. با لحاظ نمودن محدودیت‌های کمی و کیفی محصولات و استفاده از حلال گاز مایع به عنوان استخراج‌کننده، میزان ۳۵٪ از حجم خوراک به عنوان محصول آسفالت‌زدایی شده ( $API=30$ ) استخراج می‌گردد. همچنین هزینه کل سرمایه‌گذاری ۱۰۵ میلیون دلار برآورد می‌گردد که نرخ و مدت زمان برگشت سرمایه، به ترتیب ۵۴٪ و ۴ سال را به همراه دارد.

### کلمات کلیدی

ارتقای محصولات سنگین، استخراج توسط حلال، وکیوم باتوم، مطالعه امکان‌سنجی

### مقدمه

فرایند SDA به عنوان یک فناوری توسعه‌ای در زمینه حذف یا به حداقل رساندن تولید نفت کوره محسوب می‌گردد. همچنین استفاده از این فناوری به واسطه حذف محصولات سنگین باقیمانده تقطیری از جمله وکیوم باتوم طی فرایند اختلاط، ضمن به حداقل رساندن برش‌های میان تقطیری افزودنی (کاتر) از جمله نفت سفید منتج به تولید نفت کوره با کیفیت بالا می‌گردد. در ترکیب‌بندی و طراحی فرایندهای پالایش، این واحد عملیاتی در پایین دست واحدهای تقطیر قرار می‌گیرد که در نتیجه آن جریان ته مانده برج

\*s.mehdi.shariatmadar@gmail.com

اتمسفریک یا خلأ به عنوان خوراک ورودی دریافت می‌گردد. اساس عملکرد این فناوری بر میزان حلالیت اجزاء تشکیل دهنده خوراک در حلال‌های پارافینی سبک استوار می‌باشد. به طور کلی فرایند استخراج توسط حلال شامل مراحل استخراج ترکیباتی نظیر آسفالتن و رزین و سپس بازیافت حلال می‌باشد. واحدهای استخراج توسط حلال در قالب دو ترکیب‌بندی جهت تولید ۲ یا ۳ محصول قابل طراحی می‌باشند. البته در کلیه ترکیب‌بندی‌های موجود، محصول اصلی همان برش آسفالتن زدایی شده (DAO) می‌باشد. در ترکیب‌بندی سه محصوله، علاوه بر جداسازی آسفالت، با استفاده از یک مرحله پیش‌تر استخراج توسط حلال، رزین نیز استخراج می‌گردد.

واحد استخراج توسط حلال در حالتی که برای دو محصول طراحی گردد تحت لیسانس مشترک UOP/FW USA و در حالت طراحی برای سه محصول تحت لیسانس Kellogg Brown & Root (KBR) می‌باشد. تفاوت عمده این دو لیسانس به نحوه طراحی برج استخراج و تجهیزات داخلی آن بر می‌گردد. برای لیسانس UOP/FW USA فناوری مورد استفاده در فرایند استخراج Rotating Disc Contactor (RCD) و برای لیسانس KBR فناوری مورد استفاده در جداسازی حلال ROSE MAX است. لازم به ذکر است که جداسازی حلال از فازهای استخراج شده برای هر دو لیسانس تجاری مورد اشاره تحت شرایط فوق بحرانی صورت می‌گیرد.

در فناوری SDA، حلال در طیف گسترده‌ای از پروپان تا پنتان انتخاب می‌گردد. البته حلال انتخابی می‌تواند مخلوطی از هیدروکربن‌های آلکانی نزدیک به هم را نیز شامل گردد. مواردی از قبیل سهولت در تأمین حلال و همچنین تثبیت محصولات نهایی واحد SDA بر اساس الزامات مشتری در انتخاب حلال مؤثر می‌باشند. [۳،۲،۱]

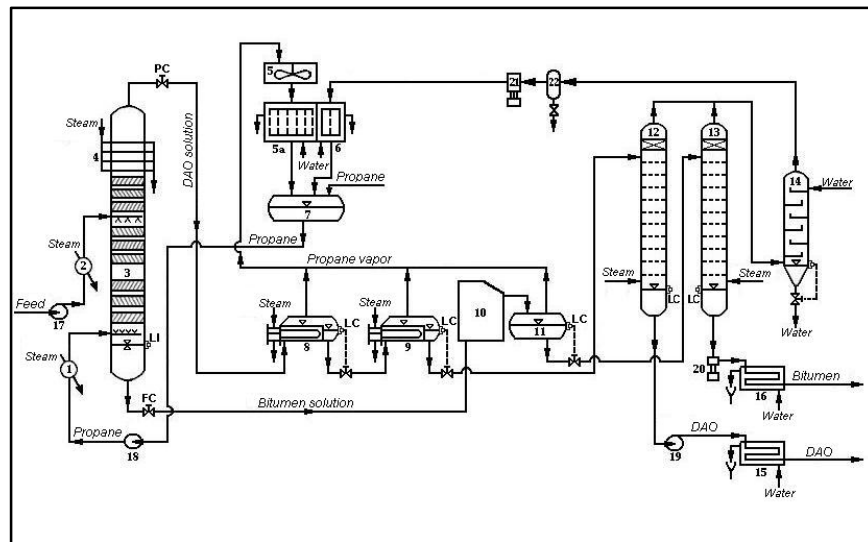
### فناوری‌های متداول در صنعت

از دیدگاه اعمال شرایط عملیاتی حول نقطه بحرانی حلال به منظور بازیافت آن از فازهای استخراج‌شده، دو نوع فناوری وجود دارد:

#### الف) بازیافت حلال تحت شرایط عملیاتی زیر نقطه بحرانی [۴،۵]

در این نوع طراحی که تا حدی قدیمی نیز محسوب می‌گردد، پروپان به عنوان حلال انتخاب می‌شود. مطابق شکل ۱، خوراک که عمدتاً باقیمانده برج خلأ است به صورت غیر همسو با جریان حلال پروپان مایع در یک برج استخراج حاوی پرکن‌های ویژه‌ای عبور داده می‌شود. با توجه به ضرایب حلالیت اجزاء تشکیل دهنده فاز خوراک، ترکیبات پارافینی در فاز حلال وارد می‌شوند و همراه آن به سمت بالا حرکت می‌کنند. در حالی که ترکیبات رزینی و آسفالتنی به صورت ذرات به هم چسبیده به آهستگی در اثر نیروی وزن خود به سمت پایین مسیر خود را طی می‌کنند. به منظور تأمین جریان ریفلاکس در برج استخراج که در حقیقت عاملی جهت خالص‌سازی جریان حلال و ترکیبات حل شده در آن به شمار می‌رود قبل از خروج DAO یک بخش گرمادهی در نظر گرفته می‌شود. این بخش در حکم غنی‌سازی جریان DAO می‌باشد که با تنظیم دمای

جریان بالاسری برج امکان حضور ترکیبات سنگین را که همراه حلال آورده شده‌اند نمی‌دهد.

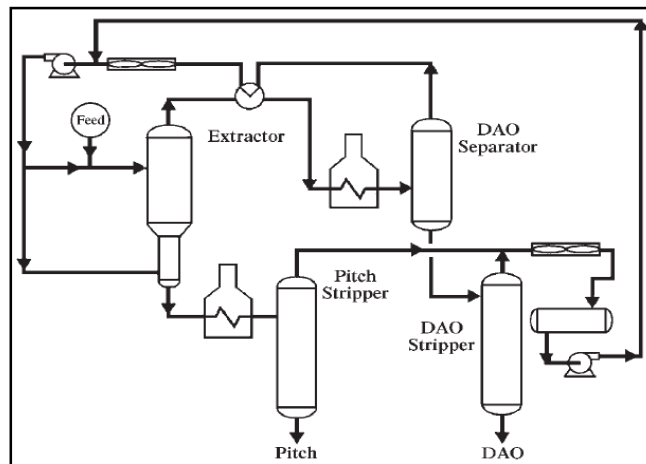


شکل ۱. نمودار فرایندی استخراج آسفالتن توسط پروپان به عنوان حلال

پس از مرحله استخراج، به منظور بازیافت حلال و تخلیص محصولات لازم است هر دو محصول وارد فرایند عریان‌سازی شوند. به همین منظور از آن جایی که بخش اعظم حلال همراه با محصول DAO است ابتدا این جریان وارد تبخیرساز می‌شود که در آنجا طی گرمادهی تا حد زیادی جداسازی صورت می‌پذیرد. پس از این مرحله DAO در برج عریان‌ساز با بخار تماس داده می‌شود که در اثر آن بخش دیگری از حلال همراه با بخار آب از فاز DAO جدا می‌گردد. مشابه همین فرایند برای عریان‌سازی فاز آسفالت صورت می‌گیرد. در نهایت مجموع بخار آب و حلال خروجی از برج‌های عریان‌ساز وارد برج شستشو با آب می‌شوند که در نهایت گاز پروپان از بالای برج شستشو و آب ترش از پایین آن خارج می‌گردد. گاز پروپان خروجی در این مرحله با افت فشار زیادی روبرو شده که برای تزریق مجدد در فرایند استخراج نیاز به تقویت فشار دارد. این کار با کمپرسوری که به این منظور در نظر گرفته شده است صورت می‌گیرد. مجموع این گاز و مابقی جریان پروپان جمع‌آوری شده در مراحل قبلی وارد کندانسور می‌شوند که در نهایت پروپان مایع جهت استفاده در فرایند استخراج مجدداً آماده می‌گردد.

#### بازیافت حلال تحت شرایط عملیاتی فوق بحرانی [۷،۶،۴]

در این نوع طراحی که استخراج ۲ یا ۳ محصول را فراهم می‌آورد، دامنه وسیعی از حلال‌ها (پروپان تا پنتان) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۲ نمای کلی این واحد برای ارائه دو محصول DAO و آسفالت طبق لایسنس UOP/FW USA ارائه شده است. قابل ذکر است، در صورت نیاز امکان اصلاح فرایند به منظور دریافت محصول سوم یعنی رزین و ترکیب آن با بخشی از جریان آسفالت و تولید قیر با درجه مطلوب وجود دارد.



شکل ۲. نمودار فرایندی واحد SDA در حالت دو محصوله

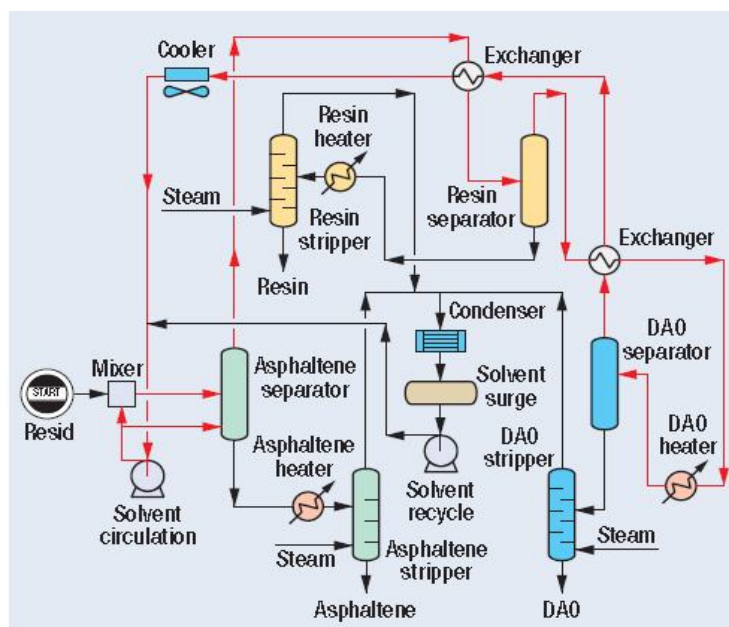
همانطور که قبلاً نیز ذکر شد مشخصه اصلی لایسنس UOP/FW USA طراحی ویژه برج استخراج با نام RCD می‌باشد. در این برج خوراک از بالا وارد و پس از عبور از روی یک سری از دیسک‌های چرخان در نهایت از پایین در قالب فاز آسفالت خارج می‌شود. جریان حلال نیز از پایین به صورت فاز پیوسته و ناهمسو با جریان آسفالتن به سمت بالای برج حرکت می‌کند. با توجه به نحوه طراحی ویژه برج استخراج، امکان استحصال حداکثر محصول DAO بدون تأثیر عمده روی کیفیت آن وجود دارد.

در واحد SDA با ارائه سه محصول، که مشخصاً تحت لیسانس KBR قرار دارد (شکل ۳)، خوراک با بخشی از حلال مخلوط می‌شود و از قسمت بالایی مرحله استخراج که در حقیقت یک جداساز است با مابقی حلال که از قسمت پایین ظرف وارد می‌شود تماس می‌یابد. جریان DAO خروجی از جداساز وارد یک مرحله جداسازی دیگر می‌شود. این مرحله با نام انحصاری ROSEMAX و بهره‌مندی از طراحی خاص تحت شرایط فوق بحرانی، امکان استحصال دو محصول رزین و DAO به همراه جداسازی بخش عظیمی از حلال را فراهم می‌آورد. پس از جداسازی DAO و رزین در مرحله فوق بحرانی، به منظور تخلیص آن‌ها، هرکدام وارد برج عریان‌ساز مربوطه می‌گردد. مشابه همین حالت برای فاز آسفالتن انجام می‌گیرد. در نهایت مجموع حلال‌های بازیافتی از مراحل عریان‌سازی پس از خنک‌سازی به همراه حلال جداسازی شده از مرحله فوق بحرانی به مرحله جداسازی اولیه برگشت داده می‌شوند. در اینجا فشار حاکم بر فرایند به گونه‌ای تعیین می‌گردد که با تغییر در دامنه دمایی حلال، جداسازی DAO و رزین در شرایط فوق بحرانی و جداسازی آسفالتین در شرایط زیر نقطه بحرانی صورت گیرد.

با توجه به موارد فوق به طور کلی مزایای فرایند استخراج توسط حلال در شرایط فوق بحرانی نسبت به فرایند معمولی استخراج (زیر نقطه بحرانی) به شرح زیر است:

- افزایش مقدار و کیفیت محصول DAO
- انعطاف‌پذیری بالا در پذیرفتن خوراک‌های متنوع باقیمانده فرایند تقطیر اتمسفریک و خلأ در اثر تغییرات کیفیت نفت خام ورودی

- پایین تر بودن هزینه عملیات با اتکا بر فناوری بازیافت حلال با بیش از ۹۰ درصد (هزینه یوتیلیتی فرایند ROSE، ۴۰ تا ۷۰ درصد هزینه در فرایند استخراج معمولی است).
- در فرایند ROSE با ایجاد شرایط فوق بحرانی برای حلال و تغییر شرایط دمایی فرایند عمل جداسازی حلال از DAO در ظرف جداساز ROSEMAX صورت می‌گیرد؛ همین شرایط در فرایند UOP/FW USA SDA با توجه به شرایط فوق بحرانی حاکم است، در حالی که در فرایند استخراج معمولی، حلال در جداساز با اعمال کاهش فشار جدا می‌شود و این کاهش فشار تا حدی است که به منظور استفاده مجدد نیاز به متراکم کردن و کندانس نمودن آن می‌باشد. بدین ترتیب میزان مصرف انرژی برای بازیافت حلال در فرایند ROSE، ۳۴٪ مقدار انرژی در فرایندهای معمولی جداسازی می‌باشد.
- پایین تر بودن هزینه سرمایه‌گذاری
- امکان جداسازی محصول رزین و ترکیب آن با بخشی از جریان آسفالت و در نهایت تولید قیر



شکل ۳. نمودار فرایندی واحد SDA در حالت دو محصوله

### بررسی جذابیت‌ها و محدودیت‌های فناوری [۱۱،۱۰،۹،۸]

جذابیت واحد SDA با توجه به موارد زیر بیش تر نمایان می‌گردد:

- امکان ارتقای محصول سبک شده DAO به وسیله فرایندهای پایین دستی به ویژه شکست کاتالیستی
- آزادسازی نفت سفید به عنوان برش افزودنی در فرایند اختلاط و تولید نفت کوره
- امکان مصرف محصول آسفالت در موارد زیر

- ✓ فرایندهای تولید همزمان بخار و برق
  - ✓ امکان صادرات یا فروش مستقیم در بازارهای محلی در قالب آسفالت گرانولی (ارزش حرارتی آسفالت گرانولی ۲۵٪ بیش تر از کک سوختی است)
  - ✓ تولید قیر
  - ✓ استفاده به عنوان خوراک واحد کک‌سازی تأخیری
  - ✓ استفاده در فرایند اکسیداسیون جزئی برای تولید هیدروژن
  - ✓ امکان استفاده در صنعت نوین آسفالت کپسوله (آسفالت پوششی جدید)
- از جمله محدودیت‌های عمده واحد SDA که با بدتر شدن کیفیت خوراک، بیشتر جلوه می‌کنند، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

#### کیفیت DAO مورد نیاز برای واحدهای پایین‌دستی کاتالیستی

با توجه به این که واحد استخراج توسط حلال از توان ارائه DAO در محدوده کیفی گسترده برخوردار است، لذا می‌توان محدودیت کیفیت دریافت خوراک توسط واحدهای پایین‌دستی را مرتفع نمود ولی از طرفی می‌بایست به هزینه عملیات نیز توجه شود و نقطه بهینه برای این منظور به دست آید. بدین ترتیب، هرچه حلال سبک‌تر باشد، مقدار کم‌تری از ترکیبات فلزی، آروماتیکی، آسفالتن‌ها و رزین‌ها وارد جریان DAO می‌شود و بدین ترتیب کیفیت این محصول بالاتر می‌باشد. بدیهی است با سنگین‌تر شدن حلال این موضوع عکس می‌شود.

#### تمهید نهایی جهت مصرف آسفالت با در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی

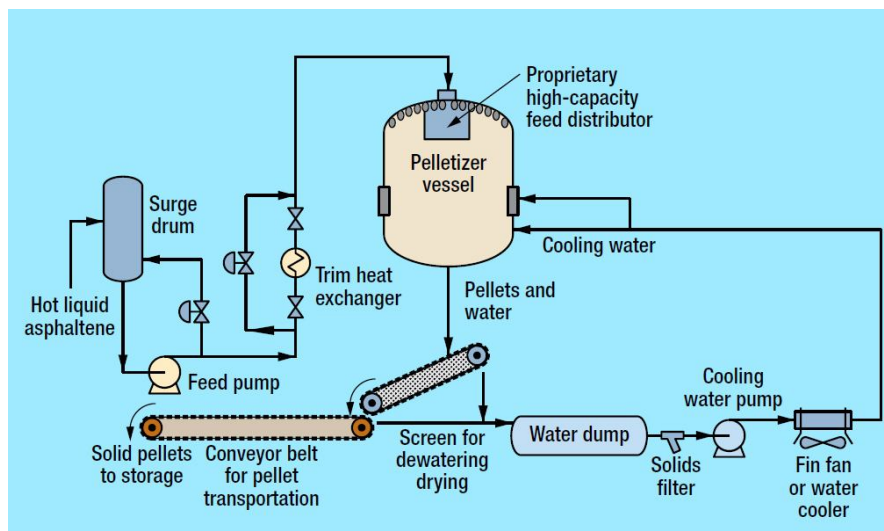
فاز آسفالت به دلیل در بر داشتن مواد آسفالتنی و فلزی یک جنبه زیست‌محیطی محسوب می‌گردد. البته امکان مصرف محصول آسفالت به عنوان محصول نهایی و حتی در صنایع پایین‌دستی به عنوان خوراک و در نتیجه کنترل ریسک آلاینده‌گی محیط زیست وجود دارد.

به طور کلی فناوری SDA یک فرایند ارتباط‌دهنده بین فرایندهای بالادستی و پایین‌دستی پالایشی است. بنابراین اغلب محصولات خروجی از این واحد به منظور افزایش حاشیه سود پالایشگاه‌ها، لازم است وارد فرایندهای دیگر شوند. در بین محصولات تولیدی واحد SDA، آسفالتن به عنوان محصول جانبی چه از لحاظ زیست‌محیطی و تحمیل هزینه‌های نگهداری و چه از لحاظ نحوه فروش و ایجاد سهم در بازار مصرف حائز اهمیت ویژه‌ای است. یکی از فرایندهای پایین‌دستی که می‌تواند این موارد را تا حد زیادی برآورده سازد، فناوری گرانول‌سازی آسفالتن یا آکوآفرم (AQUAFORM) تحت لیسانس KBR می‌باشد. فناوری آکوآفرم یک مجموعه متمرکز، انعطاف‌پذیر و توانا را در پذیرفتن ظرفیت‌های بالای خوراک همراه با هزینه سرمایه‌گذاری پایین در اختیار سرمایه‌گذار قرار می‌دهد. اساس کار این واحد تبدیل جریان‌های هیدروکربنی باقیمانده به سوخت جامد می‌باشد. از مزایای سوخت‌های جامد تولیدی می‌توان به تسهیل در انبارش و حمل و نقل این محصول اشاره داشت. ارزش حرارتی خیلی خوب این نوع سوخت، آن را به عنوان جایگزین

زغال سنگ و کک سوختی مطرح نموده است. شمای کلی این واحد مطابق شکل ۴ می باشد. از جمله مزایای واحد آکوافرم نسبت به دیگر فناوری های مشابه می توان به موارد زیر اشاره نمود:

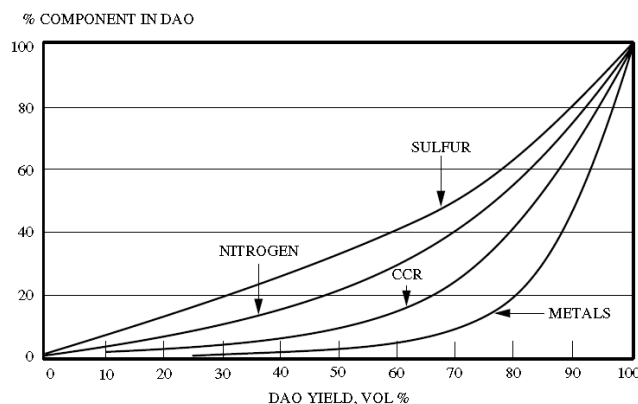
- ظرفیت بالای دریافت خوراک نسبت به فناوری های مشابه (حداقل هزار تن در روز)
- ایجاد گرانول های منظم کروی با سطح صاف
- حداقل تولید گرد و غبار حین انتقال و انبارش
- توانایی دریافت خوراک های متنوع و تولید اندازه های متنوع گرانول
- توانایی شستشوی خودکار حین تعمیرات اساسی

نحوه کار این واحد این گونه است که جریان آسفالتن داغ در ابتدا وارد نوسان گیر می شود. این خوراک می بایست قبل از ورود به ظرف گرانول ساز با عبور از یک بخش تبادل حرارتی به دمای مطلوب جهت تولید اندازه ذرات مورد نظر برسد. بخش مهم واحد گرانول سازی آسفالتن، توزیع کننده ظرف گرانول ساز می باشد. این بخش که تحت لیسانس انحصاری می باشد گزینه تمایز نسبت به سایر فناوری ها محسوب می گردد. این بخش با فراهم آوردن امکان تنظیماتی خاص فرصت ایجاد گرانول با اندازه های دلخواه را در اختیار پالایشگر قرار می دهد. جریان آسفالتن با عبور از بخش توزیع، به صورت قطراتی در حمام آب موجود در ظرف گرانول ساز به صورت فاز ناپیوسته پخش می شوند و در اثر نیروی وزن خود به سمت پایین حرکت می کنند. جریان آب نیز به صورت فاز پیوسته از پایین ظرف تأمین می گردد. نحوه ورود آب به ظرف به گونه ای است که در اثر ایجاد تلاطم امکان تبادل حرارت بهتر و جلوگیری از چسبیدن گرانول ها به یکدیگر را فراهم آورد. مجموعه آب و گرانول های تولیدی از قسمت ته ظرف خارج و روی یک صفحه لرزان مشبک ریخته می شوند. در این قسمت گرانول ها از آب جداسازی می شوند. پس از آن گرانول تولیدی توسط تسمه نقاله به بخش انبارش یا حمل و نقل تحویل داده می شود. آب جداسازی شده نیز با عبور از مرحله تصفیه و تنظیم دما جهت خنک سازی برای استفاده مجدد در فرایند آماده می گردد.



شکل ۴. نمودار فرایندی واحد گرانول سازی آسفالت

میزان انتخاب پذیری پایین فرایند SDA نسبت به ترکیبات گوگردی و نیتروژن به طور کلی کیفیت DAO تولید شده توسط فرایند SDA ضمن در نظر گرفتن چهار مشخصه مطابق شکل ۵ قابل بررسی است. این مشخصه‌ها عبارت‌اند از: میزان گوگرد، ترکیبات فلزی، کربن کنرادسون و نیتروژن.



شکل ۵: کمیت محصول DAO و اثرپذیری آن از پارامترهای کاهنده کیفیت آن

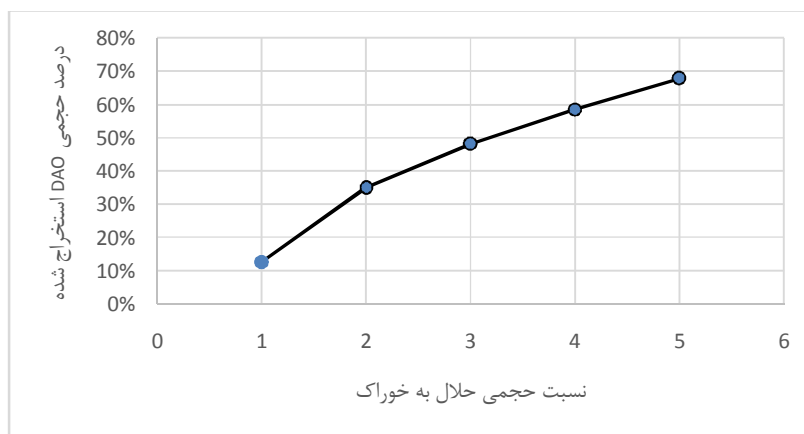
قابلیت بالای فرایند SDA با توجه به ممانعت ورود مواد آسفالتنی، فلزات و کربن باقیمانده به محصول DAO تا حد زیادی مسأله کیفی‌سازی را حل می‌کند. بدین ترتیب احتمال تشکیل کک و غیرفعال شدن کاتالیست مخصوصاً بخش پیش تصفیه خوراک در فرایندهای پایین‌دستی کاتالیستی تا حد زیادی کاهش می‌یابد. در طرف مقابل فرایند استخراج توسط حلال نمی‌تواند از راهیابی ترکیبات گوگردی به محصول DAO جلوگیری کند. بنابراین محصول آسفالت‌زدایی شده همچنان حاوی درصد بالایی از گوگرد می‌باشد. البته فرایندهای کاتالیستی پایین‌دست همگی به بخش سولفورزدایی و نیتروژن‌زدایی مجهز می‌باشند ولی در نهایت نوع فرایند کاتالیستی نحوه خوراک‌دهی DAO را یعنی به صورت مستقیم و استفاده از ظرفیت موجود یا استفاده از یک مرحله اضافی تصفیه کاتالیستی مشخص خواهد کرد.

#### انتخاب حلال و مقدار آن [۱۳،۱۲،۴]

با توجه به مشخصه‌های مؤثر در کیفیت DAO تولیدی مورد اشاره در بخش قبل، انتخاب حلال می‌بایست از دو دیدگاه یکی نسبت حجمی حلال به خوراک و دیگری ترکیب اجزای تشکیل‌دهنده، در نهایت الزامات مرتبط با محدودیت‌های کیفی محصولات را برآورده سازد. بدین منظور با افزایش نسبت حجمی حلال به خوراک، بازه تولیدی DAO افزایش می‌یابد. از طرفی افزایش حجم حلال هزینه عملیات و سرمایه‌گذاری اولیه را افزایش می‌دهد و بدین ترتیب می‌بایست در نهایت نسبت حجمی مناسب انتخاب گردد. شکل ۶ تأثیر نسبت حجمی حلال به خوراک را بر درصد استخراج DAO در دمای  $125^{\circ}\text{C}$  و فشار ۴۵ بار نشان می‌دهد. افزایش دما اثر معکوس روی مقدار DAO استخراج شده دارد ولی به جهت مشکلات سیالاتی ناشی از ویسکوزیته بالای خوراک لازم است حتی‌المقدور دما بالا انتخاب گردد. یکی دیگر از مواردی که با افزایش



نسبت حجمی حلال به خوراک می‌بایست به آن توجه داشت، مقدار حلال جبرانی است. به طور متوسط ۱۰ درصد از حجم حلال چرخشی در فرایند استخراج می‌بایست از طریق جریان جبران‌ساز تأمین گردد که این خود می‌تواند یک محدودیت به شمار رود.



شکل ۶: تأثیر نسبت حجمی حلال را بر درصد استخراج DAO در دمای  $125^{\circ}\text{C}$  و فشار ۴۵ بار

از طرفی دیگر حلال یک ترکیب آلکانی است که می‌تواند از پروپان تا پنتان یا ترکیبی از این‌ها انتخاب گردد. در این میان هرچه وزن مولکولی حلال پایین‌تر باشد، کیفیت DAO استخراج‌شده به دلیل پایین بودن میزان کربن کنرادسون بالاتر است ولی در عوض بازه تولیدی این محصول مطلوب کاهش خواهد یافت. با توجه به این‌که محصولات پروپان و بوتان در پالایشگاه‌ها به طور معمول تولید می‌شوند و در دسترس می‌باشند و با توجه به حجم تولیدی این محصولات که چندان هم زیاد نمی‌باشد، لذا نسبت حجمی حلال به خوراک و ترکیب درصد اجزای تشکیل دهنده حلال به ترتیب ۲ و ۶۰٪ پروپان به ۴۰٪ بوتان در شبیه‌سازی استفاده شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرایند با استفاده از نرم‌افزار ASPEN PLUS در قالب جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرایند استخراج توسط حلال

مقدار	نام جریان		مشخصه
۳۰۰۰۰	خوراک (وکیوم باتوم)		شدت جریان (بشکه در روز در دمای ۶۰ درجه فارنهایت)
۱۴۴۶۰	محصول DAO		
۹۹۰۸	قیر	محصول آسفالت	
۱۱۶۳۲	گرانول		
۶۰۰۰	حلال جبرانی		
۶/۱	خوراک (وکیوم باتوم)		درجه API
۲۹/۳	محصول DAO		
۱۱/۴۳	قیر	محصول آسفالت	
۸/۶	گرانول		

۲	---	نسبت حجمی حلال به خوراک
٪۴۰ به ٪۶۰	بوتان به پروپان	ترکیب درصد حلال
٪۳۵	محصول DAO	درصد استخراج
٪۶۶	محصول DAO	درصد توزیع حلال جبرانی در محصولات
٪۳۴	محصول آسفالت	

ادامه جدول ۱. نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرایند استخراج توسط حلال

### محاسبات مالی و اقتصادی [۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷]

گزینه‌های مالی-اقتصادی احداث واحد SDA و گرانول‌سازی آسفالت به منظور محاسبه فاکتورهای مقایسه‌ای مالی-اقتصادی در جدول ۲ آورده شده است.

### جدول ۲. گزینه‌های مالی و اقتصادی در مورد احداث واحد SDA و گرانول‌سازی آسفالت

مقدار	گزینه مالی - اقتصادی
۱۰۵ میلیون دلار	کل هزینه سرمایه‌گذاری (TCI)
۹۵ میلیون دلار	کل هزینه‌گذاری ثابت (FCI)
۸ میلیون دلار	سرمایه در گردش (WC)
۱۰/۵ میلیون دلار در سال	هزینه یوتیلیتی
۶ میلیون دلار در سال	هزینه تعمیرات و نگهداری، پالایش‌گرو غیره
۲ سال	مدت زمان اجرای پروژه
۲۰ سال	مدت زمان بهره‌برداری
٪۲۱	حداقل نرخ بهره جذب کننده
خطی - ۱۰ ساله	نرخ و الگوی استهلاك
٪۸	نرخ مالیات

قیمت فروش محصولات تولیدی و همچنین تغییرات اعمال شده در سبد توزیع محصولات مطابق جدول ۳ می‌باشد.

### جدول ۳. قیمت فروش محصولات مطابق با FOB خلیج فارس، ۱۳۹۲

قیمت واحد (دلار بر تن متریک)	مقدار (تن در ساعت)	نام جریان
۵۰۰	۴۱۱	خوراک و کیوم باتوم (VB)
۷۵۷	۴۶	حلال جبرانی (LPG)
۶۵۰	۱۷۰	محصول آسفالت زدایی شده (DAO)
۵۸۰	۱۳۰	محصول قیر
۲۵۰	۱۵۷	محصول آسفالت گرانولی
۲۹۲ (مابه‌التفاوت قیمت نفت سفید و نفت کوره)	۱۵۲	نفت سفید آزاد شده از فرایند اختلاط نفت کوره

نتایج حاصل از بررسی مالی - اقتصادی توسط نرم افزار کامفار (CAMFAR III) در قالب جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. پارامترهای محاسبه شده مالی و اقتصادی برای سرمایه‌گذاری و احداث واحد SDA و گرانول‌سازی

مقدار	گزینه مالی - اقتصادی محاسبه شده
٪ ۵۴	نرخ برگشت سرمایه داخلی (IRR)
۲۰۵ میلیون دلار	ارزش خالص فعلی (NPV)
۸۵ میلیون دلار	سود خالص سالانه (NP)
۴ سال	مدت زمان برگشت سرمایه (PBP)

### نتیجه‌گیری

- فناوری استخراج آسفالتن توسط حلال (SDA) با اعمال حداقل هزینه سرمایه‌گذاری نسبت به دیگر فناوری‌های موجود در زمینه ارتقای محصولات سنگین، ریسک پایین‌تری را به سرمایه‌گذار تحمیل خواهد کرد. ضمن این‌که استفاده از فرایندهای تکمیلی از جمله آکوافرم (AQUAFORM)، تمهیدی برای کنترل جنبه‌های زیست‌محیطی موجود به شمار می‌رود. از جمله مزایای استفاده از این فناوری می‌توان به کاهش تولید نفت کوره، آزادسازی نفت سفید (مصرفی در فرایند اختلاط)، تسهیل در کنترل جنبه‌های زیست‌محیطی و راهکار مناسب جهت فروش محصول باقیمانده (آسفالت) اشاره نمود.
- استخراج آسفالتن توسط حلال یک فناوری انعطاف‌پذیر در زمینه تولید کمی و کیفی محصولات نظیر برش آسفالت‌زدایی شده (DAO) و قیر می‌باشد. بدین معنی که نسبت حلال به خوراک و همچنین خواص فیزیکی حلال برش آسفالت‌زدایی شده را در گستره‌ای از گازوئیل مدیوم تا برش سنگین روغنی در اختیار پالایشگر قرار می‌دهد.
- با استفاده از فرایندهای تکمیلی مانند آکوافرم (AQUAFORM) و اتخاذ طراحی سه محصوله برای فرایند SDA و استحصال رزین، می‌توان علاوه بر محصول اصلی DAO، قیر مناسب برای عرضه به بازار و مابقی جریان آسفالت را به عنوان آسفالت گرانولی (مصارف سوختی مشابه کک) تولید نمود. با توجه به بالا بودن میزان گوگرد، ترکیبات فلزی و کربن کنرادسون در وکیوم باتوم، استفاده از فناوری SDA تا حد زیادی مقادیر ترکیبات فلزی و آسفالتنی را که عمدتاً در فرایندهای کاتالیستی مشکل‌آفرین هستند برای محصول DAO در حد مطلوب کاهش می‌دهد. از آنجایی که DAO تقریباً تمام مواد آسفالتنی و رزینی خود را از دست داده است، لذا درجه API آن بسته به شرایط طراحی می‌تواند تا ۳/۸ برابر افزایش یابد.
- تنها در خصوص ترکیبات گوگردی این فرایند قادر به تعدیل مقدار گوگرد در حد مطلوب برای محصول DAO نیست. به همین منظور این محصول به صورت مستقیم قابل استفاده در فرایندهای پایین‌دستی کاتالیستی نمی‌باشد و حتماً نیاز است از فرایند سولفورزدایی (HDS) استفاده گردد.
- کل هزینه سرمایه‌گذاری در سال ۱۳۹۲ برای واحدهای SDA و گرانول‌سازی آسفالت با طول دوره ۲ ساله طراحی، ساخت و نصب، ۱۰۵ میلیون دلار تخمین زده می‌شود. با احتساب نرخ بهره ۲۱٪ گزینه‌های



اقتصادی نرخ برگشت سرمایه ۵۴، ارزش خالص فعلی ۲۰۵ میلیون دلار و دوره برگشت سرمایه ۴ سال محاسبه می‌گردد.

## فهرست علائم و اختصارات

VB: Vacuum Bottom  
 LPG: Liquefied Natural Gas  
 SDA: Solvent Deasphalting  
 DAO: Deasphalted Oil  
 ROSE: Residuum Oil Supercritical Extraction  
 HDS: Hydro Desulfurization  
 TCI: Total Capital Investment  
 FCI: Fixed Capital Investment  
 WC: Working Capital  
 IRR: Internal Rate of Return  
 NPV: Net Present Value  
 PBP: Payback Period  
 NP: Net Profit

## مراجع

1. Refining Processes Handbook, Hydrocarbon Processing, 2008.
2. Motaghi M., Shree K., Krishnamurthy S., Consider New Methods for Bottom of Barrel Processing, Hydrocarbon Processing, 2010, pgs 35-38.
3. Iqbal R., Khan A., Floyd R., Unlocking Current Refinery Constraints, PTQ Q2, 2008.
4. Robert A. Meyers, Handbook of Petroleum Refining Processes (Third Edition), MacGraw-Hill Handbooks.
5. Mendes M. F., Ferreira C. Z., Pessoa F., Deasphaltation of Petroleum Using Supercritical Propane, 4th Mercosur Congress on Process Systems Engineering, Brazil.
6. Daniel B. Gillis, Fred Van Tine, What's New in Solvent Deasphalting, Heavy Oil Conference, 1998.
7. www.edl.poerner.de, Solvent Deasphalting (SDA), 2002.
8. Michael J. McGrath, Solvent Deasphalting, an Economic Residue Upgrading Technology, 3rd Russia & CIS Bottom of the Barrel Technology Conference, Moscow, 2008.
9. Patel V., Iqbal R., Subramanian A., Economic Bottom of the Barrel Processing To Minimize Fuel Oil Production, Petroleum#5, 2008.
10. Asphalt Paving Design Guide, Published by the Asphalt Paving Association of Iowa.
11. Subramanian M., Moretta J., Bloom R., and Martin M., An advanced asphaltene pelletisation process, PTQ Q3 2000.
12. User Guide and Manual Documents, ASPEN PLUS User Interface Software.
13. Elsevier, Fundamentals of Petroleum Refining, 2010
14. Chemical Engineering Magazine - September 2014.
15. www.Argusmedia.com, Argus Asphalt Report, 2014.
16. www.platts.com, Asia-Pacific/Persian Gulf Marketscan, 2014.
17. User Guide and Manual Documents, COMFAR Software, UNIDO.