

# بهینه‌سازی طراحی تأسیسات جمع‌آوری، فرآورش و انتقال نفت خام

محمدرضا اسدی | شرکت مهندسی و توسعه نفت

## مقدمه

توسعه میداین نفتی مستلزم سرمایه‌گذاری قابل توجه در حوزه‌های تحت‌الارضی (عملیات حفاری چاهها، سرویسهای حفاری، تعمیر و تکمیل چاهها و ...) و سطح‌الارضی (احداث شبکه‌های جمع‌آوری، تأسیسات فرآورش و انتقال نفت خام) می‌باشد. بیش از ۵۰٪ هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه<sup>۲</sup> (CAPEX) در توسعه یک میدان نفتی و حجم قابل توجهی از هزینه‌های عملیاتی<sup>۳</sup> (OPEX) تولید، مرتبط با تأسیسات سطح‌الارضی تولید مشتمل بر شبکه‌های جمع‌آوری<sup>۴</sup>، تسهیلات فرآورش نفت خام و جمع‌آوری گازهای همراه نفت<sup>۵</sup> و سیستم انتقال نفت به محل مورد نظر<sup>۶</sup> می‌باشد.

بدیهی است در مراحل انجام مطالعات مفهومی و طراحی پایه<sup>۷</sup> (FEED) تأسیسات سطح‌الارضی تولید (شامل سیستم جمع‌آوری نفت، تأسیسات فرآورش نفت و گاز و سیستم انتقال نفت)، تعریف

گزینه‌های مختلف و انجام مطالعات حساسیت‌سنجی، آنالیز اقتصادی گزینه‌های موجود و در خاتمه انتخاب بهترین گزینه، از جمله الزامات طراحی مناسب جهت تأسیسات تولید می‌باشد. در این راستا، انجام مطالعات بهینه‌سازی در مراحل طراحی مفهومی و تهیه و نهائی سازی برنامه جامع توسعه یک میدان نفتی<sup>۸</sup> (MDP) و FEED به منظور حداقل‌سازی هزینه‌ها در عین حصول اطمینان از استمرار تولید در طول دوره ۳۰ ساله عمر تأسیسات، مدنظر و پر اهمیت می‌باشد.

## ۱- پارامترهای مؤثر بر طراحی تأسیسات بالادستی نفت

طراحی تأسیسات جمع‌آوری، فرآورش و انتقال نفت خام در بالادست به عوامل و پارامترهای مختلفی بستگی دارد که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

الف- شرایط دما و فشار مخزن، به علاوه خصوصیات ذاتی سیال مخزن از قبیل

آنالیز هیدروکربوری سیال، درجه API، ویسکوزیته، نسبت گاز حل شده در نفت<sup>۹</sup> و میزان ترکیبات گوگردی به ویژه سولفید هیدروژن (H<sub>2</sub>S).

ب- استراتژی و نحوه تولید از مخزن از قبیل تولید طبیعی<sup>۱۰</sup>، تولید با استفاده از روش‌های فرازآوری مصنوعی نظیر به‌کارگیری تلمبه‌های درون‌چاهی<sup>۱۱</sup> و استفاده از سیستم‌گازرانی<sup>۱۲</sup>، محدودیتهای تولید بهینه از مخزن در درازمدت<sup>۱۳</sup> (MER) از قبیل حداکثر میزان تولید آب و گاز همراه نفت تولیدی.

ج- شرایط آب و هوایی منطقه شامل حداکثر و حداقل دمای محیط، میزان رطوبت، سرعت و جهت وزش باد، میزان بارندگی، الزامات استانداردهای مبنای الزامات زیست محیطی، مشخصات نفت خام تولیدی و سایر نیازمندیها و الزامات مورد نظر کارفرما (مالک میدان) که به عنوان مبانی طراحی بایستی مدنظر قرار گیرند.



## ۲- مبانی طراحی تأسیسات بالادستی نفت

در بررسی گزینه‌های مختلف و انتخاب فرآیندهای بهینه برای تأسیسات جمع‌آوری، فرآورش و انتقال نفت، برآورده شدن الزامات و نیازمندیهای سازمان کارفرما در چارچوب مبانی طراحی<sup>۱۴</sup> و با توجه به موارد زیر تعریف و مشخص می‌گردد.

الف- با توجه به پراکنندگی و موقعیت چاهها و محل تحویل نفت تولیدی (و گازهای همراه)، نگاه یکپارچه به کلیه تأسیسات بعد از محدوده حصار چاهها تا نقطه تحویل نفت با هدف تعیین محل احداث چند راه‌ها و تأسیسات اصلی فرآورش نفت ضروری است.

ب- با توجه به عوامل اثرگذار بر طراحی تأسیسات که در بخش ۱ به آنها اشاره شد، طراحی تأسیسات بایستی به گونه‌ای صورت پذیرد که در کل دوره تولید از میدان (یک دوره سی ساله)، این تأسیسات قابلیت و توانائی تولید یکنواخت و پیوسته از میدان را داشته باشند.

ج- در طول دوره تولید، رعایت کلیه الزامات و قوانین زیست محیطی مطابق با دستورالعمل‌های کشوری و استانداردهای بین‌المللی شامل هرگونه منع تخلیه مایع/جامد/گاز به محیط زیست ضروری است.

د- شاخص‌های تعریف شده و مورد نظر کارفرما در خصوص مشخصات نفت فرآورش شده در محل تحویل، به عنوان مبانی طراحی تأسیسات فرآورش نفت بایستی مدنظر قرار گیرد. معمولاً پارامترهای قابل کنترل در تأسیسات بالادستی و قبل از ارسال به پالایشگاههای نفت مواردی از قبیل حداکثر میزان  $H_2S$ ، نمک، BS&W و محدوده مجاز RVP می‌باشد که به عنوان مشخصات نفت تولیدی تعریف شده و دستیابی به آنها ضروری است.

به عنوان مثال شاخص‌های تعریف شده

در یکی از پروژه‌های توسعه‌ای شرکت ملی نفت ایران ذیل به شرح زیر می‌باشند:

Max.  $H_2S$  Cont. = 15 PPM (By Weight)

Max. Salt Cont. = 10 PTB

Max. BS&W = 0.1 % (by vol.)

Max. RVP = 10 Psi

بدیهی است مقادیر فوق فقط به صورت نمونه ارائه گردیده است و با توجه به نفت خام میادین مختلف و مقاصد مختلف ارسال (با توجه به نیازمندیهای خریدار و یا پالایشگاه مقصد) می‌تواند متفاوت باشد.

ه- رعایت استانداردهای مبنا و مورد نظر سازمان کارفرما و تأمین کلیه الزامات مورد نظر. در این ارتباط مبنای طراحی کلیه تأسیسات بالادستی در سطح شرکت ملی نفت ایران استاندارد<sup>۱۵</sup> IPS می‌باشد. چنانچه در مورد (و یا مواردی خاص) این استاندارد پوشش لازم را فراهم ننماید، مهندسین مشاور طراح و پیمانکاران مربوطه بایستی قبل از استفاده از هرگونه استاندارد بین‌المللی، تأییدیه شرکت ملی نفت ایران را اخذ نمایند.

## ۳- بهینه‌سازی طراحی تأسیسات

در مرحله انجام مطالعات و طراحی مفهومی و تهیه MDP و همچنین در مرحله انجام FEED تأسیسات، انجام مطالعات جامع بهینه‌سازی و انتخاب سناریوهای بهینه به گونه‌ای که ضمن دستیابی به اهداف طرح توسعه و رعایت کلیه الزامات تعریف شده در مبانی طراحی (بند ۲)، حجم سرمایه‌گذاری اولیه (CAPEX) و هزینه‌های تولید (OPEX) نیز حداقل گردد ضروری است. این مطالعات به تفکیک در حوزه‌های شبکه جمع‌آوری نفت خام از چاهها و ارسال به تأسیسات فرآورش، کارخانه فرآورش نفت و گاز و سیستم

انتقال نفت و گاز مدنظر قرار می‌گیرند.

## ۱-۳- شبکه جمع‌آوری نفت خام از چاهها و ارسال به تأسیسات فرآورشی در محدوده میدان

نظر به اینکه هزینه اصلی در این حوزه مربوط به حجم و ضخامت لوله‌ها و شیرآلات می‌باشد، بررسی کلیه گزینه‌های قابل انجام به منظور تعیین بهترین گزینه با توجه به موارد ذیل ضروری است.

## ۱-۱-۳- مجموع اینچ-کیلومتر لوله‌ها در شبکه جمع‌آوری

انتخاب موقعیت مکانی کارخانه فرآورش نفت و گاز<sup>۱۶</sup> (CTEP) بایستی به گونه‌ای صورت پذیرد تا با توجه به پراکنندگی چاهها در سطح میدان و مدنظر داشتن موانع جغرافیایی متعدد، مجموع طول خطوط لوله جمع‌آوری و احیاناً گازرانی (در صورت تولید با استفاده از سیستم گازرانی) حداقل گردد. همچنین مقایسه گزینه‌های ارسال سیال چند فاز از هر یک از چاه‌ها به صورت منفرد به محل کارخانه فرآورش نفت و گاز و یا در نظر گرفتن چند راهه در سطح میدان و ارسال سیال تولیدی از چند چاه با یک خط لوله به محل کارخانه فرآورش با توجه به حداقل فشار مورد نیاز در ورودی تأسیسات در راستای حداقل سازی مجموع اینچ-کیلومتر خطوط لوله شبکه جمع‌آوری ضروری است.

## ۲-۱-۳- ضخامت لوله‌ها در سطح شبکه جمع‌آوری

علاوه بر طول و سایز خطوط لوله جمع‌آوری، ضخامت آنها نیز از نظر اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد. از دیدگاه الزامات طراحی فرآیندی/ایمنی و مطالعات

HAZOP<sup>۱۶</sup>، ضخامت لوله‌ها در سطح شبکه جمع‌آوری بایستی به گونه‌ای در نظر گرفته شود تا توانائی تحمل فشار استاتیکی سرچاه را داشته باشند، مگر اینکه تمهیدات خاص ایمنی در طراحی و اجرا از قبیل تعبیه سیستم HIPPS<sup>۱۸</sup> مد نظر قرار گیرد.

بدیهی است در نظر گرفتن ضخامت بالا برای خطوط لوله جمع‌آوری در سطح میدان متناسب با فشار طراحی تأسیسات سرچاهی (wellhead) و یا استفاده از سیستم HIPPS و کاهش فشار طراحی (و در نتیجه کاهش ضخامت لوله‌ها) و همچنین محل نصب شیرهای سیستم HIPPS، مستلزم انجام مطالعات بهینه‌سازی و انتخاب بهترین گزینه از نظر اقتصادی می‌باشد.

شایان ذکر است در حال حاضر در تأسیسات نفتی متعلق به شرکت ملی نفت ایران در حوزه‌های خشکی و دریا هر دو روش فوق‌مورد استفاده قرار گرفته و تجارب آنها موجود است.

### ۳-۲- تأسیسات فرآورش نفت و جمع‌آوری گازهای همراه

هدف از فرآورش نفت در بالادست، جداسازی گازهای محلول در نفت به منظور تنظیم RVP، جداسازی آب، نمک و H<sub>2</sub>S موجود در نفت می‌باشد. این اهداف طی عملیات تفکیک گاز/آب از نفت (در چند مرحله)، نمک‌زدائی و تثبیت (و یا جریان‌سازی) در فرآیند طراحی تأسیسات فرآورش نفت و جمع‌آوری گازهای همراه

و در ضمن رعایت کلیه استانداردهای مبنا و مبانی طراحی محقق می‌گردند.

در این ارتباط انجام مطالعات بهینه‌سازی در راستای دستیابی به فرآیند فرآورش بهینه و یکپارچه<sup>۱۹</sup> الزامی می‌باشد. بدین منظور ضروری است موارد ذیل مشخص گردند.

الف- تعداد مراحل تفکیک و فشار هر مرحله تفکیک بایستی به گونه‌ای تعیین گردند که میزان بازیافت نفت در تأسیسات فرآورش که به شکل ذیل تعریف می‌شود حداکثر گردد.

میزان بازیافت نفت خام =  $\frac{\text{دبی نفت تولیدی}}{\text{دبی سیال ورودی}}$  در تأسیسات فرآورش

لازم به ذکر است که انجام این مطالعات با استفاده از نرم‌افزارهای فرآیندی موجود امکان‌پذیر می‌باشد.

ب- میزان مجموع توان<sup>۲۰</sup> (HP) مورد نیاز جهت جمع‌آوری و فشار افزایی گازهای همراه از مراحل مختلف تفکیک تا فشار ابتدای خط لوله انتقال گاز حداقل باشد.

ج- طراحی نحوه تبادل حرارتی جریانهای گرم و سرد به گونه‌ای باشد تا حداکثر استفاده از انرژی جریانهای گرم صورت پذیرفته و مصرف انرژی در عملیات فرآورش حداقل گردد.

۳-۳- سیستم پمپاژ و انتقال نفت خام تولیدی  
پس از طی مرحله فرآورش، نفت خام تولیدی آماده ارسال به پالایشگاههای نفت

و یا مبادی صادرات می‌باشد. برای انتقال دبی مشخصی از نفت تولیدی به نقطه تحویل (Delivery Point)، سناریوهای مختلفی از سیستم انتقال شامل تلفیق میزان پمپاژ در ابتدای خط لوله و ساینز خط لوله انتقال مدنظر قرار می‌گیرند. بهینه‌سازی میزان توان (HP) مورد نیاز سیستم پمپاژ و ساینز خط لوله با توجه به طول خط لوله انتقال و حداقل فشار مورد نیاز در مقصد ضروری می‌باشد. بدیهی است در سناریوی بهینه، ضمن رعایت الزامات استانداردهای مبنا (از جمله محدوده سرعت سیال در خط لوله انتقال)، حجم سرمایه‌گذاری اولیه و هزینه‌های عملیاتی نیز حداقل خواهد گردید.

### نتیجه‌گیری

در طراحی تأسیسات جمع‌آوری، فرآورش و انتقال نفت خام در بالادست ضروری است علاوه بر داشتن نگاه یکپارچه به موضوع و تعریف مبانی طراحی با در نظر داشتن کلیه استانداردهای مبنا و الزامات کارفرما، مطالعات لازم به منظور بهینه‌سازی و انتخاب مطلوب‌ترین گزینه در هر یک از بخش‌های تأسیسات جمع‌آوری، فرآورش و انتقال نفت خام صورت پذیرد. انجام مطالعات فوق‌علاوه بر کاهش هزینه‌های به عمل آمده در سرمایه‌گذاری اولیه منجر به کاهش هزینه‌های عملیاتی در طول سال‌های تولید نیز خواهد گردید.

### پانویس‌ها

<sup>1</sup> massadi@pedec.net

<sup>2</sup> Capital Expenditure

<sup>3</sup> Operating Expenditure

<sup>4</sup> Flow Lines and Manifold network

<sup>5</sup> Oil and Gas Processing Facilities

<sup>6</sup> Oil Export System to Delivery Point

<sup>7</sup> Front End Engineering Design

<sup>8</sup> Master Development Plan

<sup>10</sup> Natural Lifting

<sup>11</sup> Electrical Submersible Pump

<sup>12</sup> Gas Lifting

<sup>13</sup> Most Efficient Rate

<sup>14</sup> Basis of Design

<sup>15</sup> Iranian petroleum standard

<sup>16</sup> Central Treatment and Export Plant

<sup>17</sup> Hazard and Operability (study)

<sup>18</sup> High Integrity Pressure Protection System

<sup>19</sup> Integrated and Optimum Process Scheme

<sup>20</sup> Horse Power