-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران-------
سال نهم، شماره ۳۳، زمستان ۱۳۹۸، ۶۹-۴۳

Jiee.atu.ac.ir
Dol: 10.22054/Jiee.2021.54389.1772

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۳۱
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

مدل‌سازی جریان نقدی حاصل از تولید زودهنگام در بهینه‌سازی توسعه، تولید و انتقال نفت و گاز کشور

زهره جلالی | دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه یزد

مجید شخصی نیائی * | استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه یزد

چکیده

کمبود منابع مالی، یکی از معضلات رایج در انواع مختلف پروژه‌ها است که می‌تواند تکمیل آنها را به تأخیر انداخته و در مواردی نیز به واسطه طولانی شدن پروژه، در توجیه‌پذیری پروژه ایجاد تردید نماید. یکی از راهکاری مواجهه با این معضل، راه‌اندازی زودهنگام بخشی از پروژه با هدف کسب درآمد و استفاده از منابع مالی حاصل برای تکمیل پروژه است. در این مطالعه مدل بهینه‌سازی توسعه، تولید و انتقال میادین نفت و گاز به گونه‌ای توسعه داده شده است تا جریان نقدی حاصل از تولید زودهنگام مدل‌سازی گردد و اثرات حاصل از این راهکار در یک نمونه موردی ارزیابی شده که نمایانگر امکان تکمیل سریع‌تر پروژه‌ها و همچنین بهبود چشمگیر در ارزش خالص فعلی بوده است. تحقیق انجام‌شده کاربردی، آزمایشی، میدانی و بلندمدت است. رویکرد مورد استفاده، مدل‌سازی ریاضی خطی است که تحت نرم‌افزار GAMS پیاده‌سازی و با استفاده الگوریتم CPLEX حل شده است.

کلیدواژه‌ها: توسعه میدان، برنامه‌ریزی تولید، انتقال، مدل‌سازی ریاضی، تولید زودهنگام

طبقه‌بندی JEL: O21 , L71 , C61

* نویسنده مسئول: m.niaei@yazd.ac.ir

۱. مقدمه

کشور ایران دارای ۲۸ میدان مشترک با همسایگان خود می‌باشد که از مهم‌ترین آنها، میدان گازی فوق عظیم پارس جنوبی و میدان عظیم نفتی آزادگان هستند که به ترتیب بزرگترین میدان گازی جهان و یکی از بزرگترین میادین نفتی جهان محسوب می‌شوند.[۱] با توجه به محدود بودن ذخایر نفت و گاز و عدم وجود توافقات در مورد میزان برداشت از این میادین و رویکرد فعلی کشورهای همسایه مبنی بر استخراج بدون وقفه از میادین مشترک، تصمیماتی در مورد اکتشاف، توسعه و بهره‌برداری میادین مشترک و غیر مشترک شامل اولویت‌بندی و زمان‌بندی آنها بسیار حساس است و به طور مستقیم بر روی مقدار استخراج، صادرات و درآمد حاصل و در نهایت میزان سرمایه‌گذاری بر روی میادین نفت و گاز تأثیر می‌گذارد. به عنوان نمونه‌ای از اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری، ۵۶ درصد منابع سرمایه‌گذاری سال ۱۳۹۶ به توسعه میادین مشترک نفت و گاز، ۳۳ درصد به پروژه‌های نگهداشت توان تولید نفت و گاز، ۲ درصد به طرح‌های عمرانی مناطق نفت‌خیز و ۹ درصد به سایر طرح‌ها و پروژه‌های سرمایه‌ای شرکت ملی نفت ایران اختصاص یافته است.[۲]

در این مطالعه راهکار تولید زودهنگام و گردش‌های مالی آن، در یکی از مدل‌های جامع موجود در ادبیات موضوع، توسعه داده شده و دستاوردهای حاصل از آن در یک نمونه موردی ارزیابی شده است.

در ادامه مطالعه، بخش دوم به تعریف مسئله و بخش سوم به هدف از انجام تحقیق می‌پردازد. روش تحقیق در بخش چهارم ارائه شده و بررسی پیشینه و شکاف‌های تحقیقاتی در بخش پنجم ارائه شده است. در بخش ششم مدل پیشنهادی مطرح و در بخش هفتم نتایج اجرای آن در یک نمونه موردی تحلیل شده است. در انتها، بخش هشتم به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات آتی می‌پردازد.

۲. تعریف مسئله

توسعه دادن تمامی میادین و بهره‌برداری از آنها نیازمند منابع مالی هنگفتی است که عمدتاً محدودیت کلیدی در انتخاب و انجام طرح‌های توسعه قلمداد می‌شود. یکی از دلایل

---

۱. زاهدی‌وفا و فتح‌زاد، (۱۳۹۶)

۲. خبرگزاری ایلنا، ۱۳۹۶

کمبود این منابع، متکی بودن اقتصاد ایران به فروش نفت و گاز می‌باشد. در عمل، درصدی از درآمد حاصل از فروش نفت و گاز صرف توسعه میادین می‌شود و سهم هر میدان توسط مدیریت برنامه‌ریزی تلفیقی شرکت ملی نفت ایران تعیین می‌گردد.

یک راهکار برای مواجهه با محدودیت بودجه، استفاده از ظرفیت‌های موجود در میادین و کاهش اتکا به بودجه مرکزی است. نمونه‌هایی در کشور وجود داشته‌اند که به میدان‌هایی اجازه داده شده است که از محل فروش محصولات اولیه خود، بودجه لازم برای توسعه سایر بخش‌های میدان تأمین گردد. یک نمونه از این تجارب موفق، پالایشگاه ستاره خلیج فارس است که با همین راهکار توسعه داده شده و هم‌اکنون سهم بسیار بالایی از تقاضای بنزین کشور را تأمین می‌نماید. با این توضیح، یکی از خروجی‌های مدل ارائه‌شده، تعیین میزان تأمین بودجه توسعه میادین و بهره‌برداری از آنها از طریق فروش محصولات اولیه است.

۳. هدف تحقیق

هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی کمی تأثیر استفاده از تولید زودهنگام بر روی پورتفولیوی پروژه‌های نفت و گاز است که در تحقیقات مشابه مغفول مانده است. هدف جنبی این بررسی را می‌توان در قالب افزایش توان توسعه میادین نفت و گاز و به طور خاص میادین مشترک قید نمود. برخی از تصمیمات توسعه‌ای به صورت سعی و خطا گرفته می‌شوند اما تحلیل کمی تصمیمات کمک خواهد نمود که دست‌کم با اطمینان خاطر نسبت به تصمیم‌گیری اقدام شود. از طرفی، تحلیل جریانات مالی کمک می‌کند که اعداد قابل اتکاتری به عنوان بودجه سالیانه توسعه در انتخاب پروژه‌های مختلف مورد استناد قرار گیرند و نتایج قابل اتکاتری در تحلیل سبد پروژه‌های توسعه‌ای حاصل شوند. علاوه بر این، با استفاده از تحقیق حاضر و با انجام تحلیل حساسیت می‌توان به مدیران در تصمیم‌گیری کمک شایانی نمود.

٤. روش تحقیق

این تحقیق از منظر هدف، کاربردی و از نظر گردآوری اطلاعات، آزمایشی و از نظر موضوع، میدانی و از نظر زمانی، بلندمدت می‌باشد. دامنه تصمیمات شامل سه حوزه توسعه، تولید و انتقال بالادستی می‌باشد. رویکرد اصلی بررسی مسئله، مدل‌سازی ریاضی خطی

است که تحت نرم‌افزار GAMS 24.1.2 پیاده‌سازی و با استفاده الگوریتم CPLEX حل شده است.

به منظور بررسی تحقیقات مشابه، از الگوی جستجوی سیستماتیک پیشینه[1] استفاده شده است و یکی از مرتبط‌ترین تحقیقات شناسایی شده به عنوان مدل پایه قرار گرفته و سپس به گونه‌ای توسعه داده شده است تا بتواند جریانات مالی حاصل از تولید زودهنگام را نیز در تصمیم‌گیری انتخاب و زمانبندی پروژه‌های توسعه‌ای نفت و گاز لحاظ نماید.

در این مطالعه، با تعریف مفروضاتی مشخص که برگرفته از دنیای واقعی است، مدل بهینه‌سازی ریاضی ارائه شده و نتایج آن به عنوان توصیه‌هایی برای تصمیم‌گیری توسط مدیریت ارائه خواهد شد.

۵. پیشینه پژوهشی

با توجه به دسته‌بندی ارائه شده توسط شخصی نیائی و همکاران (۲۰۱۳)، مسئله مورد بررسی در این مطالعه، در حوزه تصمیمات استراتژیک (بلندمدت) قرار می‌گیرد. در ادامه به توضیح مهم‌ترین تحقیقات مشابه می‌پردازیم.

ابوودی و همکاران[2] (۱۹۸۹)، یک مدل برنامه‌ریزی یکپارچه ریاضی را برای انتخاب و توسعه میدان‌های نفتی و سیستم‌های حمل‌ونقل پیشنهاد کردند. مدل آن‌ها اولین مدل یکپارچه بود که برنامه‌های توسعه، تولید و حمل‌ونقل را در سطح استراتژیک پوشش می‌داد. آنها تنها یک محصول و پروفایل تولیدی ثابت را برای میدان‌های بالقوه در نظر گرفتند و سپس این ملاحظات را به چندین محصول و پروفایل‌های تولید متغیر توسعه دادند. شایان ذکر است که مدل ریاضی آنها دارای جزئیات نبوده و صرفاً کلیات آن ارائه شده است.

جورنستن[3] (۱۹۹۲)، مدلی برای تصمیم‌گیری توسعه میدان و شبکه انتقال ارائه داده است. تابع هدف این مدل، ماکزیمم‌سازی سود کل است. همچنین از تحلیل سناریو برای بررسی عدم قطعیت در مدل استفاده شده و به هر سناریو احتمالی نسبت داده شده است. گرچه عدم قطعیت در این مدل بررسی شده است اما بیشتر به تحلیل تأثیر عدم قطعیت در مدل و تکنیک‌های حل مسئله پرداخته شده است.

1. Systematic Literature Search
2. Aboudi et al.
3. Jørnsten

هاگن[1] (۱۹۹۱) و (۱۹۹۶) از برنامه‌ریزی پویای تصادفی به عنوان رویکرد حل برای مسئله توسعه و انتقال میدان‌ها استفاده نموده است. مدل پیشنهادی دارای یک بازار بوده و ظرفیت‌های حمل‌ونقل نامحدود فرض شده است. مدل دارای دو تابع هدف شامل: ۱) حداقل رساندن انحراف بین تقاضای بازار و مقادیر عرضه شده و ۲) حداکثرسازی ارزش فعلی خالص مورد انتظار است. برای تست مدل از داده‌های ساختگی استفاده شده است.

توهانسن[2] (۲۰۱۱)، مدلی برای توسعه مطلوب یک میدان نفتی در دریای خزر ارائه نموده که تابع هدف آن، حداکثرسازی ارزش خالص کل است. این مدل به صورت عدد صحیح و غیر خطی بوده و از خطی‌سازی قطعه‌ای برای حل بهینه آن استفاده شده است. مدل ارائه شده فقط برای یک میدان گازی دریایی در نظر گرفته شده است.

نیگرین و همکاران[3] (۱۹۹۸)، یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح خطی برای برنامه‌ریزی توسعه زیرساخت‌های نفت و گاز ارائه داده‌اند که در آن کاربر یکی از دو تابع هدف پیشنهادی را انتخاب می‌کند. این دو تابع هدف شامل: ۱) حداکثر کردن مجموع ارزش فعلی خالص و ۲) حداقل کردن انحرافات موزون نسبت به یک هدف مشخص در تولید یا منابع می‌باشند. مدل ارائه شده به طور قطعی فرموله شده و بیش از پانزده سال توسط وزارت نفت نروژ و دیگر شرکت‌های عمده نفتی نروژی استفاده شده است. از آنجایی که تنها بخش‌های اساسی مدل در مطالعه مذکور توصیف شده است، مخاطب امکان پیاده‌سازی آن را نخواهد داشت.

شخصی نیایی و همکاران (۲۰۱۴)، یک مدل یکپارچه برای ایجاد گروهی از تصمیمات استراتژیک درخصوص توسعه پروژه‌های نفت و گاز برای یک افق برنامه‌ریزی بلندمدت پیشنهاد کرده‌اند. این تصمیمات عبارتند از: انتخاب پروژه‌های توسعه میدان و خط لوله، زمان‌بندی پروژه‌های انتخاب‌شده، برنامه‌ریزی تولید و برنامه‌ریزی انتقال محصولات بالادستی. بعضی از ملاحظات دیگر در این مدل، شامل مبادله نفت، تزریق گاز، امکان تعریف گزینه‌های مختلف برای توسعه یک میدان، تابع هدف مبتنی بر خطر و محاسبه سود بوده است. یک مطالعه موردی برای نشان دادن سودمندی و کاربرد این مدل ارائه شده است.

1. Haugen
2. Johansen
3. Nygreen et al.

آزاده و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی مختلط عدد صحیح پیشنهاد دادند تا به طور هم‌زمان دو بخش (بالادستی و پایین‌دستی) زنجیره تأمین نفت خام را بررسی کند. مدل پیشنهادی چند دوره‌ای، چند محصولی و شامل چندین تصمیم (به عنوان مثال، توسعه میدان نفتی، تبدیل، حمل‌ونقل و توزیع) است. تابع هدف این مدل، حداکثرسازی ارزش خالص فعلی به ازای مجموع جریانات نقدی در کل دوره‌های زمانی است. در این مطالعه زنجیره تأمین نفت خام در یک شرکت نفتی در خلیج فارس بررسی شده است.

هِلِمو و همکاران[1] (۲۰۱۳)، یک مدل تصادفی چند مرحله‌ای برای تحلیل سرمایه‌گذاری در میادین و زیرساخت‌های گاز طبیعی در نروژ ارائه داده‌اند که ترکیبی از عدم قطعیت بلندمدت و کوتاه‌مدت است و با رویکرد درخت سناریو تحلیل شده است که درخت سناریو شامل دو سناریو استراتژیک و عملیاتی بوده است. تابع هدف مدل مذکور، حداکثرسازی ارزش خالص فعلی از جمله جریان نقدی و جریمه تولید ناکافی است. برای هر پروژه زمان شروع، توقف و هزینه توقف در نظر گرفته شده است. همچنین ظرفیت‌های تولید در قالب دو دسته ظرفیت‌های وابسته به تاریخ شروع پروژه و ظرفیت‌هایی که مستقل از تاریخ شروع پروژه هستند در نظر گرفته شده‌اند. مطالعه‌ای موردی با استفاده ترکیبی از داده‌های واقعی و ساختگی نیز انجام شده است.

همان‌گونه که در بررسی تحقیقات مذکور مشخص است، عمده تحقیقات صرفاً بخشی از زنجیره توسعه، تولید و انتقال را مورد بررسی قرار داده‌اند. علاوه بر این، در هیچ کدام از آنها راهکار تولید زودهنگام مورد بررسی قرار نگرفته است که در این مطالعه به نحوه مدل نمودن این راهکار و ارزیابی اثر آن خواهیم پرداخت و دامنه تصمیمات نیز شامل سه حوزه توسعه، تولید و انتقال بالادستی خواهد بود.

٦. مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی در این مطالعه، توسعه‌ای بر مدل ارائه شده توسط شخصی نیائی و همکاران (۲۰۱۴) است که جریانات مالی حاصل از تولید زودهنگام را نیز مدل‌سازی و تحلیل می‌کند. به طور مشخص، رابطه‌های (۸) الی (۱۴)، (۳۳)، (۳۵)، (۳۹) الی (۴۰) و (۴۴) الی (۵۰) ارائه شده در این مطالعه به مدل شخصی نیائی و همکاران اضافه شده یا به گونه‌ای اصلاح شده‌اند تا بتوانند پروژه‌های تولید زودهنگام و جریانات مالی حاصل از آنها را

1. Hellemo et al.

مدل‌سازی نمایند.ارکان مدل شامل محدودیت‌ها و تابع هدف، در زیربندهای جداگانه‌ای که در ادامه آمده‌اند، تشریح شده‌اند. مفاهیم و مکانیزم‌های موجود در فضای عملکردی هر رکن نیز، در ابتدای زیربند مربوطه شرح داده شده است.لازم به ذکر است که برخی از داده‌های مدل مانند پروفایل تولید، از طرح توسعه میدان[1] استخراج می‌شوند.

۱-٦. علائم و نشانه‌های مدل

علائم و نشانه‌های به کار رفته در مدل شامل اندیس‌ها، مجموعه‌ها، داده‌ها و متغیرها می‌باشند که در این بند معرفی گردیده‌اند. متغیرها، اندیس‌ها و مجموعه‌ها با حروف کوچک و صرفاً داده‌ها با حروف بزرگ نمایش داده شده‌اند.

مجموعه نقاط عرضه و تقاضا و همچنین خطوط انتقال شبکه‌ای را شکل می‌دهند که شبکه تولید و انتقال نامیده می‌شود. در ادامه مطالعه، نقاط عرضه و تقاضا و تلمبه‌خانه‌های بین‌راهی گره‌های شبکه و خطوط لوله انتقال، کمان‌های شبکه نامیده می‌شوند.

اندیس‌ها

h, i, j, l	گره‌های شبکه
p	پروژه‌ها
s	محصولات بالادستی
t, t'	سال‌های افق برنامه‌ریزی
r	منابع مختلف مورد نیاز برای اجرای پروژه‌ها

مجموعه‌ها

Exp_s	گره‌های صادرکننده محصول s
$IntMark_s$	گره‌های بازار داخلی محصول s
$Supp_s$	گره‌های تامین‌کننده محصول s
Dem_s	گره‌های متقاضی محصول s
$Pump$	گره‌های ارتباطی بین‌راهی شامل تلمبه‌خانه
$PrjNod_i$	پروژه‌های توسعه‌ای مرتبط با گره i با توجه به حالات توسعه گره i

1. Master Development Plan (MDP)

$PrjArc_{ij}$	پروژه‌های توسعه‌ای مرتبط با کمان ij
V	خطوط لوله جریانی موجود/ قابل‌توسعه در شبکه انتقال محصولات بالادستی
$PreSetL$	زوج پروژه‌های دارای روابط پیش‌نیازی با فاصله زمانی مشخص بین شروع آنها
$PreSetNl$	زوج پروژه‌های دارای روابط پیش‌نیازی بدون فاصله زمانی مشخص بین شروع آنها
$SimSet$	زوج پروژه‌های دارای روابط هم‌نیازی (انتخاب/ عدم انتخاب توامان)
$OblSetT$	مجموعه پروژه‌های الزامی دارای زمان شروع مشخص
$OblSetNt$	مجموعه پروژه‌های الزامی فاقد زمان شروع مشخص
$OblSetB$	مجموعه پروژه‌های الزامی دارای سقف زمانی مشخص برای شروع
$ProjectTypes$	نوع توسعه پروژه‌ها
$NodeTypes$	نوع توسعه گره‌ها

داده‌ها

B_{ist}	مقدار تولید/ تقاضای برنامه‌ریزی شده محصول s در گره i در سال t (بدون اجرای هیچ‌یک از پروژه‌های توسعه‌ای میدان)
$NB_{pst'nt}$	مقدار محصول s تولیدی/ مورد نیاز در t امین سال افق برنامه‌ریزی توسط پروژه p با حالت توسعه n در صورتی که در سال t' شروع شود.
AI_s	نسبت مجاز برای افزایش تولید محصول s نسبت به پروفایل نرمال
AD_s	نسبت مجاز برای کاهش تولید محصول s نسبت به پروفایل نرمال
TP_{is}	کل مقدار قابل برداشت محصول s از میدان i
U_{ijs}	ظرفیت موجود برای انتقال محصول s بین دو گره i و j در زمان شروع برنامه‌ریزی (بدون اجرای هیچ‌یک از پروژه‌های توسعه خطوط)
$PU_{pst'nt}$	ظرفیتی که به واسطه شروع پروژه p در سال t' به ظرفیت انتقال محصول s در سال t بین دو گره مرتبط با پروژه p با حالت توسعه n اضافه می‌شود.
$L_{p,p'}$	حداقل فاصله زمانی لازم برای شروع پروژه p' بعد از شروع پروژه p

$PK_{prt'nt}$ مقدار مورد نیاز از منبع r در سال t برای اجرای پروژه p با حالت توسعه n در صورتی که این پروژه در سال t' شروع شده باشد.

TK_{rt} حداکثر مقدار قابل تخصیص از منبع r در t اُمین سال افق برنامه‌ریزی

MC_{ijs} هزینه انتقال یک واحد محصول s از گره i به گره j به قیمت سال شروع برنامه‌ریزی

$UCCI_t$ شاخص هزینه‌های سرمایه‌ای بخش بالادستی در سال t

$UOCI_t$ شاخص هزینه‌های تولیدی بخش بالادستی در سال t

$MARR$ حداقل نرخ جذب سرمایه‌گذاری

PR_{st} قیمت مبنای فروش محصول s در سال t

RPR_{is} نسبت قیمت فروش محصول s در گره i به قیمت مبنای آن

VC_{is} هزینه متغیر تولید هر واحد محصول s در گره i

FC_{is} هزینه ثابت سالانه تولید محصول s در گره i (صرف نظر از تولید بیشتر از پروفایل نرمال)

AFC_{is} هزینه بالاسری تحمیلی به سبب تولید بیش از پروفایل نرمال محصول s در گره i

M عددی بزرگ

متغیرها

y_{pnt} متغیر صفر و یک بیانگر زمان شروع پروژه با حالت توسعه n (۱: شروع پروژه p در سال t و ۰: در غیر این صورت)

yy_{pn} متغیر صفر و یک بیانگر انتخاب/ عدم انتخاب پروژه p با حالت توسعه n در پورتفولیوی انتخابی

e_p سال شروع پروژه p

a_{isnt} مقدار افزایش/کاهش تولید محصول s در گره i در سال t نسبت به پروفایل نرمال (آزاد در علامت) با حالت توسعه n

q_{isnt} مقدار تجمعی کل تولید محصول s در گره i طی سال‌های اول الی t با حالت توسعه n

b'_{isnt} مقدار نهایی تولید/ تقاضای محصول s در سال t و در گره i پس از اجرای پروژه‌های توسعه‌ای انتخاب شده در پورتفولیو با حالت توسعه n

u'_{ijst} ظرفیت انتقال محصول s بین دو گره i و j در t اُمین سال افق برنامه‌ریزی پس از اجرای پروژه‌های توسعه خط انتخاب شده در پورتفولیو

f_{ijsnlt} مقدار محصول s انتقالی در سال t از گره i به گره j حاصل از تولید میدان l با حالت توسعه n

k_{rt} مقدار مورد نیاز از منبع r برای تمامی پروژه‌های فعال در سال t

z_{isnt} متغیر صفر و یک بیانگر وجود/ عدم وجود تولید اضافه بر پروفایل نرمال محصول s در گره i در t اُمین سال برنامه‌ریزی در حالت توسعه n

fz_{isnt} متغیر صفر و یک بیانگر وقوع اولین دوره افزایش تولید نسبت به پروفایل نرمال محصول s در گره i حالت توسعه n

tc_t مجموع تمامی هزینه‌های سالانه مربوط به پورتفولیوی پروژه‌های انتخاب شده

tb_t مجموع تمامی درآمدهای سالانه حاصل از پورتفولیوی پروژه‌های انتخاب شده

$tb1_{t1pt'r}$ منبع r حاصل در سال t به واسطه پروژه p به صورت تولید زودهنگام پس از اتمام ساخت در صورتی که پروژه در سال 't آغاز گردد.

$toc_{pt'1t}$ هزینه‌های تولید در سال t مربوط به پروژه زودهنگام p پس از اتمام ساخت آن در صورتی که پروژه در سال 't آغاز شده باشد.

$tccs_t$ مجموع هزینه‌های اساسی ساخت میادین در سال t

npw ارزش خالص فعلی پورتفولیوی پروژه‌های انتخاب شده

$pk'_{prt'nt}$ مازاد هزینه‌ها نسبت به درآمد پروژه p در زمان t اگر پروژه به صورت زودهنگام و در زمان 't شروع شود.

$pk''_{prt'nt}$ مازاد درآمدها نسبت به هزینه پروژه p در زمان t اگر پروژه به صورت زودهنگام و در زمان 't شروع شود.

$h1_{pntt'}$ متغیر صفر و یک که اگر پروژه‌ای از نوع تولید زودهنگام انتخاب و هزینه‌ها از درآمدها در زمان t بیشتر باشد، برابر با یک و در غیر این صورت صفر می‌شود.

$h2_{pntt'}$ متغیر صفر و یک که اگر پروژه‌ای از نوع تولید زودهنگام انتخاب و درآمدها از هزینه‌ها در زمان t بیشتر باشد، یک و در غیر این صورت صفر می‌شود.

$h3_{Pt'nt}$ متغیر صفر و یک که اگر پروژه در سال 't به صورت زودهنگام شروع شود و در زمان t هزینه‌های ساخت آن صفر باشد، مقدار یک در غیر این صورت صفر می‌گیرد.

$l1_{pnt}$ متغیر صفر و یک که اگر هزینه پروژه از نوع حالت توسعه تولید زودهنگام در سال t از درآمد آن بیشتر باشد، مقدار یک و در غیر این صورت صفر می‌گیرد.

$l2_{pnt}$ متغیر صفر و یک که اگر درآمد پروژه از نوع حالت توسعه تولید زودهنگام در سال t از هزینه آن بیشتر باشد، مقدار یک و در غیر این صورت صفر می‌گیرد.

۲-۶. روابط مدل

$$b'_{isnt} = B_{ist} + \sum_{t'} y_{pnt'}.NB_{pst'nt} + a_{isnt} \qquad (۱)$$
$$\forall i \in Supp_s, \forall s, \forall t, \forall (p,n) \in PrjNod_i$$

$$b'_{isnt} = -B_{isnt} - \sum_{t'} y_{pnt'}.NB_{pst'nt} \qquad (۲)$$
$$\forall i \in Dem_s, \forall s, \forall t, \forall (p,n) \in PrjNod_i$$

$$b'_{isnt} = 0 \qquad \forall i \in Pump, \forall s, \forall t, \forall n \qquad (۳)$$

$$\sum_t y_{pnt} \le 1 \qquad \forall p, \forall n \qquad (۴)$$

$$yy_{pn} = \sum_t y_{pnt} \qquad \forall p \qquad (۵)$$

$$e_p = \sum_t \sum_n t.y_{pnt} \qquad \forall p \qquad (۶)$$

$$yy_{pn} = \sum_t y_{pnt} \qquad (۷)$$

$$yy_{pn} = l1_{pnt} + l2_{pnt} \qquad \forall (p,n) \in ProjectTypes \qquad (۸)$$

$$h1_{pntt'} = -1 + l1_{pnt} + y_{pnt'} \qquad \forall (p,n) \in ProjectTypes, \forall t, \forall t' \qquad (۹)$$

$$h1_{pntt'} \le y_{pnt'} \qquad \forall (p,n) \in ProjectTypes, \forall t, \forall t' \qquad (۱۰)$$

$$h2_{pntt'} = -1 + l2_{pnt} + y_{pnt'} \qquad \forall (p,n) \in ProjectTypes, \forall t, \forall t' \qquad (۱۱)$$

$$h2_{pntt'} \le y_{pnt'} \qquad \forall (p,n) \in ProjectTypes, \forall t, \forall t' \qquad (۱۲)$$

$$h3_{pt'1t} = y_{p1t'} \qquad \forall (p,n) \in ProjectTypes, \forall t' \le t \qquad (۱۳)$$

$$h3_{pt'1t} = 0 \qquad \forall (p,n) \in ProjectTypes, \forall t' \le t \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{t'} y_{pnt'}.NB_{pst'nt} + a_{isnt} \le AI_s.\sum_{t'} y_{pnt'}.NB_{pst'nt} \qquad (۱۵)$$
$$\forall i \in Supp_s, \forall s, \forall t, \forall (p,n) \in PrjNod_i$$

$$\sum_{t'} y_{pnt'}.NB_{pst'nt} + a_{isnt} \ge AD_s.\sum_{t'} y_{pnt'}.NB_{pst'nt} \qquad (۱۶)$$
$$\forall i \in Supp_s, \forall t, \forall (p,n) \in PrjNod_i$$

$$a_{isnt} \le M.yy_{pn} \qquad \forall i \in Supp_s, \forall s, \forall t, \forall (p,n) \in PrjNod_i \qquad (۱۷)$$

$$q_{isn1} = b'_{isn1} \qquad \forall i \in Supp_s, \forall s, \forall (p,n) \in PrjNod_i \qquad (۱۸)$$

$$q_{isnt} = b'_{isnt} + q_{isn,t-1} \qquad \forall i \in Supp_s, \forall s, \forall t \ge 2, \forall p \in PrjNod_i \qquad (۱۹)$$

$$q_{isnt} \le TP_{is} \qquad \forall i \in Supp_s, \forall s, \forall t \qquad (۲۰)$$

$$u'_{ijst} = U_{ijs} + \sum_{t'}\sum_{n} y_{pnt'}.PU_{pst'nt} \qquad \forall i, \forall j, \forall s, \forall t, \forall (p,n) \in PrjArc_{ij} \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{n}\sum_{l} f_{ijsnlt} \le u'_{ijst} \qquad \forall i, \forall j, \forall s, \forall t \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{l}\sum_{n}\sum_{h:hi\in V} f_{hisnlt} + b'_{isnt} - \sum_{n}\sum_{l}\sum_{j:ij\in V} f_{ijsnlt} \ge 0 \qquad \forall i \in Exp_s, \forall s, \forall t \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{l}\sum_{n}\sum_{h:hi\in V} f_{hisnlt} + b'_{isnt} - \sum_{n}\sum_{l}\sum_{j:ij\in V} f_{ijsnlt} = 0 \qquad \forall i \notin Exp_s, \forall s, \forall t \qquad (۲۴)$$

$$f_{ijsnlt} \ge 0 \qquad \forall i, \forall j, \forall s, \forall t, \forall n, \forall l \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{n} yy_{p'n} \le \sum_{n} yy_{pn} \qquad \forall Pre_set_nl \qquad (۲۶)$$

$$e_{p'} \ge e_p + L_{p,p'} \qquad \forall Pre_set_l \qquad (۲۷)$$

$$\sum_{n} yy_{pn} \le \frac{1}{|Sim_set|}\sum_{n}\sum_{p'\in Sim_set} yy_{p'n} \qquad \forall p \in Sim_set \qquad (۲۸)$$

$$yy_{3,1} + yy_{3,2} \le 0.5\left(yy_{3,1} + yy_{3,2} + yy_{5,1} + yy_{5,2}\right) \qquad (۲۹)$$

$$yy_{5,1} + yy_{5,2} \le 0.5\left(yy_{3,1} + yy_{3,2} + yy_{5,1} + yy_{5,2}\right) \quad (۳۰)$$

$$\sum_{n} \sum_{p \in Alt_set_p} yy_{pn} \le 1 \qquad \forall ProjectTypes \quad (۳۱)$$

$$k_{rt} = \sum_{p} \sum_{t'} \sum_{n} y_{pt'} PK_{prt'nt} \qquad \forall r \ne devbudg, \forall t \quad (۳۲)$$

$$k_{devbudg\ t} = \sum_{p} \sum_{t' \le t} \sum_{n=1} pk'_{p\ devbudg\ t'1\ t} + \sum_{p} \sum_{t' \le t} \sum_{n=2} y_{pnt'} . PK_{p\ devbudg\ t'2\ t} \quad (۳۳)$$

$$k_{rt} \le TK_{rt} \qquad \forall r \ne devbudg, \forall t \quad (۳۴)$$

$$k_{devbudg\ t} \le TK_{devbudg\ t} + \sum_{p} \sum_{n=1} \sum_{t'} pk''_{p\ devbudg\ t'1\ t} \qquad \forall t \quad (۳۵)$$

$$yy_{pn} = 1 \qquad \forall (p,n) \in OblSetNt \quad (۳۶)$$

$$y_{ptn} = 1 \qquad \forall (p,n) \in OblSet T \quad (۳۷)$$

$$\sum_{t=1}^{t'} y_{p'nt} = 1 \qquad \forall (p,n) \in OblSetB \quad (۳۸)$$

$$pk'_{p\ devbudg\ t'1t} = PK_{p\ devbudg\ t'1t} - \sum_{j|(i,j)\in related_trans\ \&(j,s)\in dem_nodes} \sum_{s} \sum_{i|(i,s)\in node_projects} f_{ijs1it} . RPR_{js} . PR_{st} \quad (۳۹)$$

$$- \sum_{j|(i,j)\in related_trans\ \&(j,s)\in dem_nodes} \sum_{s} \sum_{i\in dem_nodes\ \&\ (i,s)\in node_projects} \sum_{h\ne i} f_{hjs1it} . RPR_{js} . PR_{st}$$

$$+ \sum_{i\in dem_nodes\ \&\ (i,s)\in node_projects} \sum_{j|(i,j)\in related_trans} \sum_{h} \sum_{s} MC_{ijs} . F_{hjs1it} + \sum_{i|(i,s)\in node_projects} \sum_{s} b'_{is1t} . vc_{is}$$

$$+ \sum_{i|(i,s)\in node_projects} \sum_{s} FC_{is} . y_{p1t'} \qquad \forall r, \forall t' \le t, \forall p \,|\, (p,n) \in ProjectTypes$$

$$pk''_{p\ devbudg\ t'1t} = PK_{p\ devbudg\ t'1t} - \sum_{j|(i,j)\in related_trans\ \&(j,s)\in dem_nodes} \sum_{s} \sum_{i|(i,s)\in node_projects} f_{ijs1it} . RPR_{js} . PR_{st} \quad (۴۰)$$

$$- \sum_{j|(i,j)\in related_trans\ \&(j,s)\in dem_nodes} \sum_{s} \sum_{i\in dem_nodes\ \&\ (i,s)\in node_projects} \sum_{h\ne i} f_{hjs1it} . RPR_{js} . PR_{st}$$

$$+ \sum_{i\in dem_nodes\ \&\ (i,s)\in node_projects} \sum_{j|(i,j)\in related_trans} \sum_{h} \sum_{s} MC_{ijs} . F_{hjs1it} + \sum_{i|(i,s)\in node_projects} \sum_{s} b'_{is1t} . vc_{is}$$

$$+ \sum_{i|(i,s)\in node_projects} \sum_{s} FC_{is} . y_{p1t'} \qquad \forall r, \forall t' \le t, \forall p \,|\, (p,n) \in ProjectTypes$$

$$\sum_{h|related_trans} f_{ihsnlt} \le \sum_{j|related_trans} f_{jisnlt} \quad (۴۱)$$

$$\forall (i,s) \in export_nodes,\ \forall (l,n) \in ProjectTypes,\ \forall n|n \ne l,\ \forall t$$

$$\sum_{j|(j,i)\in \text{related_trans}} f_{jisnlt} \le \sum_{h|(i,h)\in \text{related_trans}} f_{ihsnlt} \mid l \ne i \qquad (۴۲)$$

$$\forall (i,s)\in export_nodes,\ \ \forall (l,n)\in ProjectTypes,\ \ \forall \text{n}|\text{n}\ne \text{l},\ \ \forall t$$

$$b'_{isnt} = \sum_{h|(i,h)\in \text{related_trans}} f_{ihsnit} \qquad (۴۳)$$

$$\forall (i,s)\in supp_nodes,\ \forall (i,n)\in ProjectTypes,\ \forall t,\ \forall l$$

$$tb1_{t1pt}' devbudg = \sum_{i\ |\ (\text{i,s})\in \text{dem_nodes}\ s} \sum (RPR_{is}.PR_{st}(\sum_{h\,(\text{h,j})\in \text{related_trans}\ j} \sum f_{his1jt})) \qquad (۴۴)$$

$$\forall p\,|\,(p,n)\in ProjectTypes,\ \ \forall \text{t}'\le \text{t}$$

$$toc_{pt'1t} = \sum_{i|(i,n)\in NodeTypes}\ \sum_{j|(i,j)\in \text{related_trans}}\ \sum_{s} MC_{ijs}.f_{ijs1it} \qquad (۴۵)$$

$$+\sum_{l\ne i}\ \sum_{j|(i,j)\in \text{related_trans}}\ \sum_{\substack{i|\text{i}\in \text{supp_nodes}\ \&\\ i\in \text{node_projects}}}\ \sum_{s} MC_{ijs}.f_{ljs1it}$$

$$+\sum_{\substack{i|\text{i}\in \text{supp_nodes}\ \&\\ i\in \text{node_projects}}}\ \sum_{s} FC_{is}.Y_{p1t'} + \sum_{\substack{i|\text{i}\in \text{supp_nodes}\ \&\\ i\in \text{node_projects}}}\ \sum_{s} vc_{is}.b'_{is1t}$$

$$\forall p\,|\,(\text{p,n})\in ProjectTypes,\ \ \forall \text{t}'\le \text{t}$$

$$tc(t) = UOCI_t / UOCI_1.(\sum_{\substack{i|(i,j)\in \text{related_trans}\\ \&\ (\text{i,n})\in NodeTypes\\ \&\ i\in \text{supp_nodes}}}\ \sum_{j}\sum_{s}\sum_{n=2} MC_{ijs}.f_{ijs2it} \qquad (۴۶)$$

$$+\sum_{\substack{i|(i,j)\in \text{related_trans}\\ \&\ (\text{i,n})\in NodeTypes\\ \&\ i\in \text{supp_nodes}}}\ \sum_{j}\sum_{l}\sum_{s}\sum_{n=2} MC_{ijs}.f_{ljs2it}$$

$$+\sum_{\substack{i|(\text{i,n})\in NodeTypes\\ \&\ i\in \text{supp_nodes}}}\ \sum_{s}\ \sum_{p|(\text{p,n})\in ProjectTypes}\ \sum_{n=2}\ \sum_{t'|t'\le t} FC_{is}.Y_{pnt'}$$

$$+\sum_{i|i\in \text{supp_nodes}}\ \sum_{s}\sum_{n=2} vc_{is}.q_{is21} + \sum_{i|i\in \text{supp_nodes}}\ \sum_{s}\sum_{n=2} vc_{is}.(q_{is2t} - q_{is2t-1})\,|\,t\ge 2$$

$$+\sum_{n}\ \sum_{p|(\text{p,n})\in ProjectTypes}\ \sum_{t'} toc_{pt'1t}) \qquad \forall \text{t}$$

$$tccs_t = UCCI_t / UCCI_1.(\sum_{p|(p,n)\in ProjectTyps}\ \sum_{t'}\sum_{n} y_{p2t'}.PK_{pdevbudgt'2t} \qquad (۴۷)$$

$$+\sum_{p|(p,n)\in ProjectTyps}\ \sum_{t'}\sum_{n} PK'_{pdevbudgt'1t} + \sum_{i|(\text{i,n})\in NodeTypes}\ \sum_{s}\sum_{n} fz_{isnt}.AFC_{is})$$

$$\forall t\ge t'$$

$$tb1_{t1ptdevbudg} = \sum_{i|(\text{i,s})\in \text{dem_nodes}}\ \sum_{s}(RPR_{is}.PR_{st}.(\sum_{h|(i,h)\in \text{related_trans}}\ \sum_{s} f_{his1jt})) \qquad (۴۸)$$

$$\forall \text{t}'\le t,\ \ \forall (p,n)\in ProjectTypes$$

$$tb_t = \sum_{i|(i,s)\in \text{dem_nodes}} \sum_s \sum_n RPR_{is}.PR_{st}.\Big(\sum_{h|(h,i)\in \text{related_trans}} \sum_j f_{his2jt}\Big) + \sum_{n=1} \sum_{p|(p,n)\in ProjectTypes} \sum_{t'} tb1_{t1pt'devbudg} \qquad \forall t \tag{۴۹}$$

$$npw = \sum_t tb_t (1+MARR)^{-t} - \sum_t (tocs_t + tccs_t)(1+MARR)^{-t} \tag{۵۰}$$

۳-۶. شرح روابط مدل و مفروضات آنها

برای مدل‌سازی تولید در یک گره تولیدی رابطه (۱) نوشته شده است که در آن $i \in Supp_s$ تأکیدی بر تأمین محصول s توسط گره مربوطه است. عبارت $p \in PrjNod_i$ نیز سبب می‌شود که تنها پروژه‌های توسعه‌ای گره مربوطه در رابطه اعمال شوند.

متغیر b'_{ist} میزان کل عرضه محصول s در گره i در سال t را پس از اجرای پروژه توسعه‌ای p ـ البته در صورت وجود پروژه توسعه‌ای ـ محاسبه می‌نماید. همان‌گونه که از رابطه برمی‌آید، میزان کل عرضه از جمع نمودن: ۱) مقادیر تولید فعلی، ۲) افزایش تولید حاصل از اجرای پروژه‌های توسعه‌ای و ۳) میزان افزایش/ کاهش تولید به دست می‌آید.

برای مدل‌سازی تولید در یک گره تولیدی رابطه (۲) نوشته شده است که در آن $i \in Dem_s$ تأکیدی بر تقاضای محصول s در گره مربوطه است. عبارت $p \in PrjNod_i$ نیز سبب می‌شود که تنها پروژه‌های توسعه‌ای گره مربوطه در رابطه اعمال شوند. متغیر b'_{ist} میزان کل تقاضای محصول s در گره i در سال t را پس از اجرای پروژه توسعه‌ای p محاسبه می‌نماید. همان‌گونه که از این رابطه برمی‌آید، میزان کل تقاضا از جمع نمودن مقادیر تقاضای فعلی و افزایش تقاضای حاصل از اجرای پروژه توسعه‌ای به دست می‌آید.

برای گره‌های دارای عرضه و تقاضای هم‌زمان ـ مانند میدان نفتی که خود به گاز برای تزریق نیاز دارد ـ هر دو رابطه (۱) و (۲) نوشته می‌شود به صورتی که برای محصول عرضه شده، رابطه (۱) و برای محصول تقاضا شده رابطه (۲) نوشته می‌شود.

گره‌های ارتباطی ـ مانند تلمبه‌خانه‌های بین‌راهی ـ به صورت رابطه (۳) مدل شده‌اند تا فاقد عرضه و تقاضا باشند.

رابطه (۴) سبب می‌شود که برای هر پروژه حداکثر یک سال به عنوان سال شروع در نظر گرفته شود.

رابطه (۵) متغیر yy_p را محاسبه می‌نماید. این متغیر انتخاب/ عدم انتخاب پروژه p در پورتفولیو را نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر y_{pt}، برابر با صفر یا یک خواهد شد.

رابطه (۶) سال شروع هر پروژه را با توجه به مقادیر متغیرهای y_{pt} گزارش می‌نماید که در رابطه‌های بعدی نقش‌آفرینی خواهد کرد.

رابطه (۷) کمک می‌کند که هرگاه پروژه‌ای از نوع n انتخاب شد، الزاماً باید دارای یک زمان مشخص شروع باشد.

زمانی که یک پروژه از نوع زودهنگام (n =۱) انتخاب شد در هر دوره زمانی می‌تواند یکی از دو حالت سود یا زیان داشته باشد. این موضوع توسط رابطه (۸) اعمال شده است تا دقیقا یکی از این دو حالت انتخاب شود.

پروژه‌هایی که به صورت زودهنگام انتخاب نشوند، سود و زیان آنها در سال‌های ساخت پروژه برابر با صفر می‌باشد. اگر پروژه از نوع زودهنگام (n=۱) و دارای زیان باشد، $(l1_{pnt}=1)$ و پروژه در دوره‌های قبل و یا در همان دوره $(t' \le t)$ انتخاب شده باشد $(y_{pnt'}=1)$ در این صورت رابطه‌های (۹) و (۱۰) را خواهیم داشت.

اگر پروژه از نوع زودهنگام $(n=1)$ و دارای سود باشد $(l2_{pnt}=1)$ و پروژه در دوره‌های قبل و یا در همان دوره $(t' \le t)$ انتخاب شده باشد $(y_{pnt'}=1)$ در این صورت رابطه‌های (۱۱) و (۱۲) را داریم.

سود و زیان هر پروژه‌ای به غیر از پروژه‌های زودهنگام، در زمان ساخت پروژه برابر صفر می‌باشد به دلیل اینکه مستقیماً در بودجه کشوری دیده می‌شود.

اگر مقدار مورد نیاز از منبع مالی در سال t پروژه از نوع زودهنگام $(n=1)$ که در سال t' شروع شود، مخالف صفر باشد $(pk_{prtnt'} \neq 0)$، رابطه (۱۳) برقرار است و در غیر این صورت رابطه (۱۴) برقرار خواهد بود.

نوع و حجم بهره‌برداری از میادین مشترک با کشورهای دیگر، یکی از تصمیمات چالشی در برنامه‌ریزی بهره‌برداری از منابع هیدورکربوری کشور می‌باشد. در سال‌های اخیر به واسطه ایجاد شرایط تحریم برای ایران و عملکرد ناهماهنگ برخی از همسایگان، میزان برداشت آنها به طور چشمگیری افزایش داشته است. در حال حاضر، تأکید فراوانی برای بهره‌برداری هرچه سریع‌تر و بیشتر از میدان گازی پارس جنوبی وجود دارد. حال اینکه اقتصادی بودن توسعه این میدان با توجه به حجم برداشت کشور قطر جای سؤال دارد. نتیجه اجرای مدل توسعه داده شده در این مطالعه کمکی در اخذ چنین تصمیماتی نیز محسوب می‌شود. برای مدل‌سازی میادین مشترک، از آنجایی که حجم انباشت باقیمانده در مخزن به مرور در حال کاهش است، پروفایل تولید به سادگی و با لغزاندن آن روی سال

شروع پروژه قابل تعیین نیست بلکه بایستی پروفایل تولید به ازای هریک از سال‌های شروع پروژه را با در نظرگیری حجم انباشت باقیمانده ـ بسته به مقدار استحصال توسط کشور همسایه ـ شبیه‌سازی کرد و به ازای سال شروع متناظر (t')، در پارامتر $NB_{pst'nt}$ ثبت نمود. اگر تولید از تمامی میادین ملزم به پیروی محض از پروفایل تخمینی تولید گردد، ممکن است به سبب ظرفیت خطوط لوله و مقادیر تقاضای گره‌های بازار، جواب شدنی حاصل نشود (نیگرین و همکاران، ۱۹۹۸). برای ایجاد انعطاف در این راستا، گره‌های تولیدی مجازند در سقف مشخصی نسبت به پروفایل نرمال تغییر نمایند. البته مجموع تولید پروفایل نرمال و میزان تغییر در آن نبایستی از کسر مشخصی از پروفایل نرمال بیشتر یا کمتر باشد. این موضوع از طریق رابطه‌های (۱۵) و (۱۶) کنترل می‌شود. نسبت مجاز کاهش توسط پارامتر AD_s و نسبت مجاز افزایش با پارامتر AI_s تعیین می‌شود.

رابطه (۱۷) نیز این کنترل را بر عهده دارد که اگر برای پروژه‌ای تولید متغیر در نظر گرفته شد، پروژه توسعه‌ای مرتبط بایستی الزاماً انتخاب شده باشد.

در انتها لازم است محاسبات مخزن را نیز برای تولید متغیر وارد مدل نماییم. این محاسبات تضمین می‌کنند که از کل محصول قابل برداشت تخطی نشود. برای این منظور، ابتدا مقدار تولید تجمعی گره i در انتهای سال اول و انتهای سایر سال‌ها به ترتیب توسط روابط (۱۸) و (۱۹) محاسبه شده و سپس با اعمال رابطه (۲۰)، به سقف میزان قابل برداشت یعنی TP_{is} محدود می‌شود.

در حوزه بالادستی، برای انتقال هر محصول از خطوط لوله منحصر به فردی استفاده می‌شود. با این توضیح، هر خط لوله بین دو نقطه i و j تنها برای انتقال یک نوع محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد. این در حالی است که در سطح پایین‌دستی این امکان وجود دارد که با فاصله زمانی، از یک خط لوله برای انتقال چند نوع محصول استفاده شود. البته ممکن است بین دو نقطه i و j چند خط لوله احداث شود که هریک برای انتقال محصول جداگانه‌ای استفاده شود و حتی در صورت حجم زیاد انتقال، دو یا چند خط لوله به موازات هم به انتقال یک نوع محصول بپردازند. ظرفیت انتقال بین دو نقطه i و j توسط متغیر u'_{ijst} در رابطه (۲۱) به تفکیک محصول s و برای سال‌های مختلف t در نظر گرفته شده است که ممکن است با اجرای پروژه‌ای توسعه‌ای ـ افزودن خط لوله موازی یا تعویض خط لوله ـ ظرفیت انتقال از سال مشخصی به بعد تغییر یابد. این رابطه، مقادیر ظرفیت نهایی انتقال را مشخص می‌کند که در آن پارامتر U_{ijs} بیانگر ظرفیت موجود برای انتقال محصول

s بین دو گره i و j در زمان شروع برنامه‌ریزی ـ بدون اجرای هیچ‌یک از پروژه‌های توسعه خطوط ـ می‌باشد که اگر در حال حاضر خط لوله‌ای برای انتقال محصول s بین دو نقطه i و j موجود نباشد، مقدار U_{ijs} صفر لحاظ می‌شود. $PU_{pst't}$ نیز ظرفیت افزوده شده را به شرطی که پروژه p در سال t' شروع شود، به سال‌های متناظر t می‌افزاید. لازم به توضیح است که پارامتر $PU_{pst't}$ برداری پله‌ای و شامل دو بخش است که مقدار عددی عنصرهای واقع در بخش اول صفر بوده و مقدار عددی تمامی عنصرهای واقع در بخش دوم برابر با ظرفیت خط لوله توسعه‌ای مرتبط با پروژه p می‌باشد. مشخص است که مرز بین این دو بخش، سال تحویل پروژه است که سال مشخصی برابر یا بزرگتر از سال شروع پروژه یعنی t' می‌باشد.

مقدار انتقال محصول s در سال t از طریق خط لوله $(i\ ,\ j)$ توسط متغیر f_{ijsnlt} در محدودیت (۲۲) مدل شده است که نبایستی از ظرفیت نهایی انتقال خط لوله (u'_{ijst}) فراتر رود.

در شبکه بالادستی با دو نوع گره بازار مواجه هستیم: بازارهای داخلی و پایانه‌های صادراتی. معادله توازن در گره‌های صادراتی با گره‌های بازار داخلی و همچنین سایر گره‌ها متفاوت است. علت این امر در آن است که در گره‌های صادراتی می‌توانیم علاوه بر میزان صادرات تعهد شده که از قبل مشخص است، مقدار اضافه‌ای را پس از انجام فعالیت‌های بازاریابی به فروش برسانیم. از این رو، علامت رابطه (۲۳) برای ترمینال‌های صادراتی به صورت $\geq$ لحاظ شده تا بتواند با تصمیم مدل، بیش از مقدار صادرات تعهد شده نیز برای صادرات آتی تأمین شود.

این در حالی است که در گره‌های غیر صادراتی بایستی ورودی و خروجی هر نوع محصول دقیقاً متعادل باشند (رابطه ۲۴).

جریان‌های ورودی به گره i (f_{hisnlt}) با ضریب مثبت یک و جریان‌های خروجی از آن (f_{ijsnlt}) با ضریب منفی یک لحاظ می‌شوند. از آنجایی که متغیر b'_{ist} پیش از این دارای علامت منفی، مثبت و یا مقدار صفر طراحی شده است، نیازی به تفکیک محدودیت‌های تعادل برای گره‌های مختلف از نظر نوع فعالیت نمی‌باشد. علاوه بر این، رابطه (۲۵) مثبت بودن متغیر جریان را در تمامی کمان‌های شبکه تضمین می‌کند.

انواع مختلفی از روابط پیش‌نیازی بین پروژه‌های مختلف قابل تعریف می‌باشند که در اینجا به سه نوع رابطه پیش‌نیازی که کاربرد بیشتری دارند، اشاره نموده و خواننده محترم

برای آشنایی با سایر روابط پیش‌نیازی به دِمولی‌میسترِ و هِرولین[1] (۲۰۰۲) ارجاع داده می‌شود. اگر بخواهیم پروژه p' تنها در صورتی انتخاب شود که پروژه p نیز انتخاب شده باشد و فاصله زمانی این دو اهمیتی نداشته باشد، رابطه (۲۶) را اعمال می‌کنیم که در آن منظور از pre_set_nl تمامی زوج پروژه‌هایی است که بین آنها این نوع از پیش‌نیازی وجود دارد. به عنوان مثال، منطقی این است که توسعه خط لوله یک میدان جدید، صرفاً در صورتی انتخاب شود که میدان مربوطه نیز برای توسعه انتخاب شده باشد و در غیر این صورت، توسعه خط لوله به تنهایی توجیه نخواهد داشت. اگر بخواهیم علاوه بر الزام به انتخاب، پروژه p' دست کم $L_{p,p'}$ واحد زمانی بعد از شروع پروژه p شروع شود، علاوه بر محدودیت بالا، رابطه (۲۷) را نیز اعمال می‌کنیم. منظور از pre_set_l تمامی زوج پروژه‌هایی است که بین آنها روابط پیش‌نیازی با فاصله زمانی وجود دارد. اگر بخواهیم دو یا چند پروژه به صورت هم‌نیاز تعریف شوند یعنی انتخاب یکی تنها در صورت انتخاب همهٔ آنها صورت پذیرد، از محدودیت (۲۸) استفاده می‌نماییم که در آن $|Sim_set|$ به معنی اندازه مجموعه پروژه‌های هم‌نیاز است. به عنوان مثال، اگر در طرح توسعه یک میدان، چندین پروژه (حفاری، یوتیلیتی، خط لوله و ...) تعریف شده باشند و بخواهیم همه یا هیچ‌یک انتخاب شوند، این نوع رابطه پیش‌نیازی تعریف می‌شود. به عنوان مثال اگر دو پروژه ۳ و ۵ (صرف نظر از نوع توسعه آنها) به صورت هم‌نیاز باشند، دو رابطه (۲۹) و (۳۰) برای آنها نوشته می‌شوند.

ممکن است پروژه p را بتوان به دو یا چند حالت مختلف توسعه داد که بایستی حداکثر یکی از این موارد انتخاب شود. به عنوان مثال میدان خاصی را می‌توان با تعداد $n1$ چاه و یا $n2$ چاه توسعه داد. در این صورت پروفایل تولید در دو حالت مذکور کاملاً متفاوت خواهد بود. برای تعریف این موضوع، دو یا چند پروژه جداگانه تعریف می‌نماییم که هریک نماینده یک گزینه اجرای پروژه مربوطه است و با رابطه (۳۱)، انتخاب حداکثر یکی از این حالات ممکن را مجاز می‌نماییم.

برای اجرای پروژه‌های توسعه‌ای نیازمند منابع مختلفی می‌باشیم که می‌توانند دارای محدودیت موجودی در سال‌های مختلف افق برنامه‌ریزی باشند. به غیر از بودجه توسعه ($devbudg$)، برای تعیین مقدار سایر منبع‌های مورد نیاز تمامی پروژه‌ها در هر سال، محدودیت (۳۲) دیده شده است. متغیر k_{rt} بیانگر مقدار مورد نیاز از منبع r برای تمامی پروژه‌ها در سال t

1. Demeulemeester, E.L. and Herroelen, W. S.

می‌باشد که خود براساس میزان نیاز پروژه‌های انتخاب شده ($PK_{prt't}$) تعیین می‌شود و برای منبع بودجه توسعه، با توجه به تولید زودهنگام، به صورت رابطه (۳۳) درمی‌آید.

با اعمال محدودیت (۳۴) مقدار مصرف منابع غیر بودجه‌ای در هر سال به سقف موجودشان محدود می‌شود. سقف موجودی منبع بودجه توسعه در هر سال به دلیل توسعه میدان به صورت زودهنگام و اینکه درآمد مازاد بر هزینه به منبع مالی اضافه می‌شود، به صورت رابطه (۳۵) است.

در موارد خاص ممکن است انتخاب پروژه p' به دلایل سیاسی، امنیتی و ... بدون قید سال مشخصی برای شروع آن الزام گردد که در این صورت رابطه (۳۶) را برای آن می‌نویسیم.

اگر افزون بر الزام به انتخاب، سال شروع خاصی مثل t' نیز تعیین شده باشد، محدودیت (۳۷) را استفاده می‌کنیم.

در موارد خاصی هم اگر شروع پروژه حداکثر تا سال t' الزام شده باشد، محدودیت (۳۸) اعمال می‌گردد.

در مدل ارائه‌شده، اگر پروژه‌ای به صورت زودهنگام توسعه داده شود، تا قبل از تکمیل توسعه آن، منابع حاصل از این توسعه، به ترتیب با علامت مثبت با بودجه کشوری جمع می‌شود و بدهی حاصل به تابع هزینه اضافه و به طور مستقیم در تابع هدف تأثیرگذار است. اما پس از تکمیل توسعه میدان، جریان نقدی حاصل به تابع هدف npw اضافه می‌شود. برای شناسایی زمان تکمیل و همچنین سودده بودن یا نبودن در هر سال، از متغیرهای pk' و pk'' استفاده شده است. به بیان دیگر، اگر پروژه زیان‌ده باشد یعنی درآمدهای حاصل از فروش محصولات بیش از هزینه‌های اساسی ساخت پروژه و تولید محصول باشد ($h1_{pntt'}=1$) در نتیجه مابقی هزینه باید از بودجه کشوری تأمین شود. پس اگر هزینه‌های اساسی ساخت پروژه برابر با صفر نباشد ($pk_{prt'nt}\neq 0$) رابطه (۳۹) را خواهیم داشت.

اگر پروژه سودده باشد یعنی درآمدهای حاصل از فروش محصولات بیش از هزینه‌های ساخت و تولید محصول باشد ($h2_{pntt'}=1$)، درنتیجه مابقی هزینه باید از بودجه کشوری تأمین شود. پس اگر هزینه‌های اساسی ساخت پروژه برابر با صفر نباشد ($pk_{prt'nt}\neq 0$) رابطه (۴۰) را خواهیم داشت.

سود و زیان برای پروژه‌هایی به غیر از پروژه‌های تولید زودهنگام برابر با صفر اعمال می‌شود چون در حین تکمیل پروژه جریان نقدی به وجود نمی‌آورند.

برای نقاط صادرات، جمع جریان خروجی محصول s که از نقطه i به نقطه h (که از میدان l و از طریق پروژه نوع n تولید شده است) باید کوچکتر از جریان ورودی همان نوع محصول تولیدی از میدان l باشد. به بیان دیگر، بیش از تولید صادرات تخصیص داده نشود. این موضوع در رابطه (۴۱) کنترل می‌شود.

برای گره‌هایی به غیر از گره‌های صادراتی، جمع جریانی محصول s که از نقطهٔ i به نقطهٔ h که از میدان l از نوع پروژه n تولید شده است، باید کوچک‌تر از جریان ورودی همان نوع محصول تولیدی از میدان l باشد. این موضوع با استفاده از رابطه (۴۲) تضمین می‌شود.

برای گره‌های تولیدکننده میزان تولیدشان باید دقیقاً برابر با خروجی آن‌ها باشد که رابطه (۴۳) آن را تضمین می‌کند.

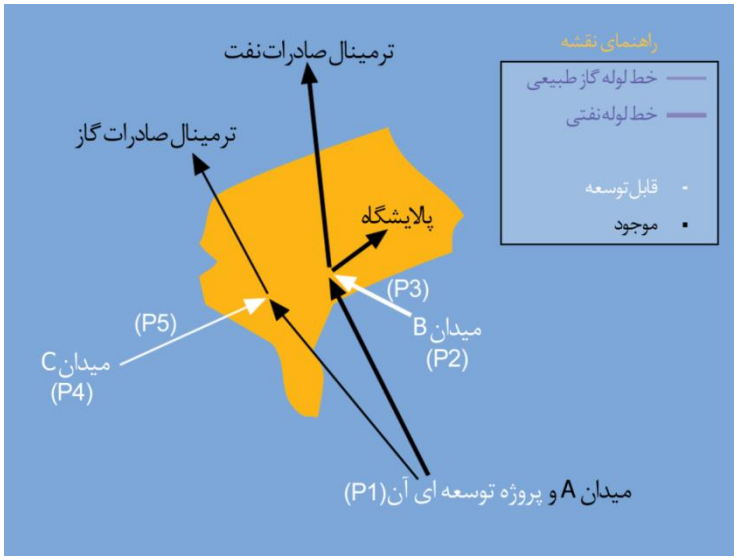
درآمد حاصل از فروش محصولات پروژه‌های تولید زودهنگام پس از اتمام ساخت ($h3_{Pt'nt}=1$) توسط رابطه (۴۴) تعیین می‌شود و اگر $h3_{Pt'nt}=0$ باشد، برابر با صفر می‌باشد.

هزینه حاصل از تولید محصولات پروژه‌های زودهنگام پس از اتمام ساخت ($h3_{Pt'nt}=1$) توسط رابطه (۴۵) تعیین می‌شود. درنتیجه جمع هزینه‌های تولید در هر سال برابر با هزینه‌های پروژه‌های انتخاب شده معمولی و زودهنگام است که در رابطه (۴۶) محاسبه می‌شود. هزینه‌های ساخت در هر سال نیر توسط رابطه (۴۷) تعیین می‌شوند. درآمد پروژه‌هایی که از نوع تولید زودهنگام هستند و دیگر هزینه‌های اساسی ساخت ندارند ($h3_{Pt'nt}=1$) در رابطه (۴۸) و سپس سود حاصل در هر سال توسط رابطه (۴۹) محاسبه گردیده و در نهایت، تابع هدف توسط رابطه (۵۰) محاسبه می‌شود.

۷. اجرای مدل

نمونه موردی حل شده، توسعه‌ای بر نمونه موردی ارائه شده توسط شخص نیائی و همکاران (۲۰۱۴) است که شامل ۳ میدان است که از میان آنها میدان شماره ۲، در دوحالت عادی و تولید زودهنگام قابل توسعه است. سه گره تقاضا نیز وجود دارند که شامل دو گره صادرکننده و یک پالایشگاه و یک گره پمپ بین‌راهی می‌باشند.

شکل زیر گره‌های عرضه و تقاضا و شبکه خطوط لوله نمونه موردی را به تصویر می‌کشد که گره‌ها و کمان‌های موجود با خطوط مشکی و موارد قابل توسعه با خطوط سفیدرنگ نمایش داده شده‌اند.



شکل (۱): شبکه بالادستی موجود و قابل توسعه در نمونه موردی
منبع: شخصی‌نیائی و همکاران (۲۰۱٤)

پنج پروژه توسعه‌ای در این نمونه موردی قابل انتخاب بوده‌اند که با عناوین P1 الی P5 مشخص شده‌اند که شامل سه پروژه توسعه میادین و دو پروژه توسعه خطوط لوله‌اند. زمان لازم برای تکمیل هریک از این پروژه‌ها به ترتیب ۵، ۶، ۱، ۵ و ۱ سال است. دو پروژه P4 و P5 دارای ماهیت هم‌نیازی هستند و در صورت انتخاب یکی از آنها، انتخاب دیگری نیز الزامی خواهد بود. رابطه مشابهی بین دو پروژه P2 و P3 وجود دارد.

در نمونه موردی، منبع مالی متمرکز (کشوری) در هر سال برابر با ۳۵۰ میلیون واحد پولی و افق برنامه‌ریزی ۲۰ ساله در نظر گرفته شده و دو محصول گاز و نفت بررسی شده‌اند. حداقل نرخ جذب سرمایه‌گذار ۱۸ درصد در نظر گرفته شده است و مقدار تولید/ تقاضای برنامه‌ریزی شده محصول s در گره i در سال t (بدون اجرای هیچ‌یک از پروژه‌های توسعه‌ای میدان) برابر با صفر می‌باشد.

در جدول (۱) بودجه مورد نیاز هریک از پروژه‌ها را در صورت شروع در اولین سال افق برنامه‌ریزی نمایش می‌دهد که از آنجایی که بودجه مورد نیاز از سال هفتم به بعد برای همه آنها برابر با صفر بوده است، سال‌های هفتم به بعد در این جدول نمایش داده نشده‌اند. بدیهی است در صورت تصمیم مدل به شروع پروژه‌ها در سال‌های دیگر، هزینه‌ها به سال مورد نظر لغزانده شده و متورم نیز می‌شوند.

جدول (۲) اطلاعات خطوط لوله موجود و قابل توسعه را نمایش می‌دهد که شامل ظرفیت انتقال آنها و هزینه‌های انتقال در هر مسیر نیز می‌باشد.

جدول (۱): بودجه مورد نیاز پروژه‌ها در صورت شروع در سال اول (هزار واحد پولی)

پروژه	نوع پروژه	سال					
		۱	۲	۳	۴	۵	۶
P1	۲	۴۴۷۹۸	۷۹۳۵۹	۶۴۲۸۰	۳۴۷۵۷	۲۲۸۰۴	–
P2	۱	۳۸۷۰۲	۹۰۳۰۴	۱۲۹۰۰۶	۱۱۶۱۰۶	۷۶۱۷۷	۶۱۷۰۳
	۲	۳۸۷۰۲	۹۰۳۰۴	۱۲۹۰۰۶	۱۱۶۱۰۶	۷۶۱۷۷	۶۱۷۰۳
P3	۲	۳۷۸۰۰	–	–	–	–	–
P4	۲	۳۷۸۸۶	۷۵۷۷۳	۴۹۷۱۴	۴۰۲۶۹	۲۹۳۵۶	۰
P5	۲	۸۱۰۰۰	–	–	–	–	–

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (۲): ظرفیت و هزینه انتقال در خطوط لوله موجود و آتی

مبدا	مقصد	ظرفیت انتقال		هزینه انتقال	
		نفت (بشکه در سال)	گاز طبیعی (هزار فوت مکعب در سال)	نفت (دلار به ازای یک بشکه)	گاز طبیعی (دلار به ازای هزار فوت مکعب)
میدان A	جزیره	۶۲۱۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰۰۰	۵۵/۹۳۸۵	۰/۰۸۱۱
میدان B	جزیره	۲۰۰۰۰۰۰۰	–	۲۳/۳۰۷۷	–
میدان C	جزیره	–	۶۲۰۰۰۰۰۰	–	۰/۰۵۰۷
جزیره	پالایشگاه	۴۵۶۲۵۰۰۰	–	۰/۳۸۸۵	–
جزیره	ترمینال صادرات نفت	۴۵۶۲۵۰۰۰	–	۱/۹۴۲۳	–
جزیره	ترمینال صادرات گاز	–	۲۳۷۵۰۰۰۰۰	–	۰/۰۰۲۳

منبع: یافته‌های پژوهش

۸. تحلیل نتایج

نتیجه اجرای مدل به شرح جدول (۳) بوده است. در نمونه موردی بررسی شده، پروژه (۲) برای تولید زودهنگام انتخاب شده است. در حالت فعال بودن تولید زودهنگام زمان شروع پروژه‌ها ۲، ۱، ۲، ۲، ۲ شده و در حالت غیر فعال بودن تولید زودهنگام، زمان شروع پروژه‌ها ۵، ۲، ۵، ۱ و ۵ شده است که شروع آنها نسبت به حالت تولید زودهنگام بسیار

دیرتر خواهد بود. به این دلیل که در حالت اول تأمین زودتر منابع مالی حاصل از تولید زودهنگام به تکمیل پروژه‌ها اختصاص یافته است. با این راهکار قادر خواهیم بود پروژه‌ها را سریع‌تر تکمیل نماییم که درخصوص میدان‌های مشترک اهمیت دوچندانی می‌یابد. افزایش تولید و بهره‌برداری زودهنگام به ویژه میادین مشترک، تصاحب سهم بیشتر از ذخایر موجود در میدان و بهره‌برداری بیشتر از آن نسبت به کشورهای همسایه شده و همچنین باعث ایجاد بستری برای سرمایه‌گذاری مناسب‌تر در اکتشاف، توسعه میادین نفتی جدید و افزایش تولید می‌شود.

جدول (۳): مقادیر بهینه تابع هدف با / بدون اعمال تولید زودهنگام

ملاحظات	ارزش خالص فعلی
با در نظر گرفتن تولید زودهنگام	۱۷۹۱۰۰۰۰۰۰۰
بدون در نظر گرفتن تولید زودهنگام	۳۳۶۸۰۰۰۰۰۰

منبع: یافته‌های پژوهش

۹. نتیجه‌گیری

در این مطالعه یک مدل بهینه‌سازی برای بهبود معضل کمبود منابع مالی در پروژه‌های توسعه میادین نفت و گاز کشور با در نظر گرفتن تولید زودهنگام ارائه شده است که در تحقیقات قبلی مورد توجه قرار نگرفته است. این در حالی است که جریان مالی تولید زودهنگام می‌تواند بخشی از هزینه‌های توسعه میدان را تأمین نموده و در شرایط فعلی کشور، کمک شایانی به توسعه میادین خواهد نمود. علاوه بر توسعه سریع‌تر میدان‌ها، سودآوری کل نیز به واسطه تسریع بهره‌برداری میدان‌ها افزایش خواهد داشت به طوری که در نمونه موردی، مقدار سود کل نیز بهبود بسیار قابل توجهی داشته است.

به منظور تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد عدم قطعیت‌های موجود در فضای تصمیم با یکی از رویکردهای موجود و ترجیحاً با رویکردهای بررسی عدم قطعیت ترکیبی مورد تحلیل قرار گیرد. علاوه بر این، پیاده‌سازی این رویکرد روی پروژه‌های متعدد شرکت ملی نفت ایران و بررسی منفعت حاصل نیز پیشنهاد دیگری برای تحقیقات آتی می‌باشد.

۱۰. تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

۱۱. منابع

خبرگزاری ایلنا، (۱۳۹۶). https://www.ilnanews.com/fa/tiny/news-602430.

زاهدی وفا، م. م.، فتح‌زاد، ف. (۱۳۹۶)، «همکاری و مشارکت در بهره‌برداری از میادین مشترک»، *دو فصلنامه علمی پژوهشی جستارهای اقتصادی ایران*، شماره ۱۴(۲۸)، صفحات ۱۷۲-۱۵۳.

References

Aboudi, R. and Hallefjord, A. and Helgesen, C. and Helming, R. and Jørnsten, K. and Pettersen, A. S. and Raum, T. and Spence, P. (1989), "A mathematical programming model for the development of petroleum fields and transport systems.", *European journal of operational research*, No. 43(1), pp. 13-25.

Azadeh, A. and Shafiee, F. and Yazdanparast, R. and Heydari, J. and Keshvarparast, A. (2017), "Optimum integrated design of crude oil supply chain by a unique mixed integer nonlinear programming model", *Industrial & engineering chemistry research*, No. 56(19), pp. 5734-5746.

Demeulemeester, E. L. Herroelen, W. S. (2002), "Project scheduling: A research handbook*",* Kluwer academic publishers, USA.

Haugen, K. K. (1991), "Possible computational improvements in a stochastic dynamic programming model for scheduling of off-shore petroleum fields", PhD thesis, Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway.

Haugen, K. K. (1996), "A Stochastic Dynamic Programming model for scheduling of offshore petroleum fields with resource uncertainty", *European journal of operational research*, No. 88(1), pp. 88-100.

Hellemo, L. and Midthun, M. and Tomasgard, A. and Werner, A. (2013), "multi-stage stochastic programming for natural gas infrastructure design with a production perspective. In: stochastic programming: applications in finance, energy, planning and logistic, edited by Gassmann", H.I. & Ziemba, W.T., World scientific series in finance, 259-288.

Johansen, G. R. (2011), "Optimization of offshore natural gas field development, MSc Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Norway.

Jørnsten, K. O. (1992), "Sequencing offshore oil and gas fields under uncertainty", *European journal of operational research*, No. 58(2), pp. 191-201.

Nygreen, B. and Christiansen, M. and Haugen, K. and Bjørkvoll, T. and Kristiansen, Ø. (1998), "Modeling Norwegian petroleum production and transportation, *Annals of operations research*, No. 82(1), pp. 251-268.

Shakhsi-Niaei, M. and Iranmanesh, S.H. and Torabi, S.A. (2013), "A review of mathematical optimization applications in oil-and-gas upstream & midstream management", *International journal of energy and statistics,* No. 1(2), pp. 143-154.

Shakhsi-Niaei, M. and Iranmanesh, S.H. and Torabi, S.A. (2014), "Optimal planning of oil and gas development projects considering long-term production and transmission", *Computers and chemical engineering,* No. 65, pp. 67-80.

-- Iranian Energy Economics------
9(33), 3
Jiee.atu.ac.ir
Dol: 10.22054/Jiee.2021.54389.1772

ATU PRESS

Modeling Cash Flow of Early Production in Optimization of Oil and Gas Development, Production, and Transmission

Zohreh Jalali M.A. Student in Industrial Engineering, Yazd University, Iran

Majid Shakhsi-Niaei* Corresponding Author, Assistant Professor, Faculty of Industrial Engineering, Yazd University, Iran

Abstract

Lack of financial resources is a common dilemma in various types of projects which can result in project delays and, in some cases, can threaten project feasibility. One of the remedies for these situations is early production where a part of the project will be completed and commissioned. In this paper, a development, production, and transmission optimization model for oil and gas fields is extended to consider early production cash flows. A case study is analyzed which showed sooner completion of projects and also a significant improvement in the total net present value of considered projects. This research is applied, experimental, field, and long-term. A linear mathematical model is developed which is solved in GAMS software using the CPLEX algorithm.

Keywords: Oil and gas field development, Production planning, Transmission planning, Mathematical modeling, Early production

JEL Classification: C61, L71, O21

* m.niaei@yazd.ac.ir

Original Reserch Accepted: 20/Apr/2021 Received: 8/Aug/2020 ISSN: 2423-5954 eISSN: 2476-6437