تأثیر تنظیم تابع جریمه در بهبود الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی فرازآوری مصنوعی با گاز

محمدرضا مهدیانی*، مهسا گودرزی، مسعود رضاقلیپور، مجدیه مطیع
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل در بهینه‌سازی فرازآوری با گاز، توزیع مقدار محدودی گاز بین چند چاه است. معمولاً در این مسئله که یک مسئله‌ی بهینه‌سازی مقید است برای برخورد با محدودیت‌ها از تابع جریمه استفاده می‌شود. انتخاب و تنظیم مناسب تابع جریمه در حل سریع و دقیق مسئله نقشی اساسی دارد. در این مقاله شیوه‌ی تنظیم متغیرهای توابع جریمه‌ی مختلف بررسی و بهترین مقدار به متغیرهای تابع جریمه تخصیص داده شده است. علاوه بر آن تأثیر تنظیم نامناسب تابع جریمه بر عملکرد بهینه‌سازی و تولید پاسخ‌های غیرقابل‌قبول نیز مطالعه شده است. در مطالعه‌ای موردی نیز بهینه‌سازی با دو نوع تابع جریمه‌ی جمع و ضرب و با مقادیر مختلف جریمه انجام شده و نقطه‌ی بهینه در موارد مختلف مقایسه می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد تنظیم مناسب تابع جریمه علاوه بر افزایش کیفیت نقطه‌ی بهینه، زمان بهینه‌سازی مسئله را نیز به مقدار قابل توجهی کاهش داده و باعث می‌شود نقطه‌ی بهینه‌ای که الگوریتم بهینه‌ساز پیدا می‌کند درحدود محدودیت‌های مسئله باشد.

واژگان کلیدی تابع جریمه، بهینه‌سازی مقید، توزیع گاز، سرعت بهینه‌سازی

مقدمه

فرازآوری مصنوعی با گاز یکی از رایج‌ترین روش‌های افزایش تولید از میادین نفتی است. در این روش گاز در چاه تولید نفت تزریق شده، موجب کاهش وزن ستون نفت درون چاه می‌گردد، فشار حاصل از وزن ستون سیال داخل چاه کاهش یافته و در نتیجه تولید نفت افزایش می‌یابد. در این روش معمولاً باید مقدار محدودی گاز بین چند چاه به‌گونه ای توزیع شود که مجموع تولید چاه‌ها بیشینه گردد [۲و۱]. برای یافتن این توزیع روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک است. برای درنظر گرفتن محدودیت نیز از تابع جریمه استفاده می‌شود. تابع جریمه مقدار تابع هدف را کاهش می‌دهد و در نتیجه احتمال اینکه نقطه‌ای که در حدود محدودیت‌های مسئله نیست برای مرحله‌ی بعد انتخاب شود کاهش می‌یابد اما از بین نمی‌رود. دلیل این رویه آن است که نقطه‌ای که شرط را رعایت نکند اما نزدیک نقطه‌ی بهینه باشد اطلاعات بسیار مفیدتری از نقطه‌ای که از نقطه‌ی بهینه دور باشد اما شرط را رعایت کند به‌دست خواهد داد.

معمولاً هر مسئله‌ی بهینه‌سازی با یک یا چند محدودیت همراه است. مثلاً در مسئله‌ی مورد بحث، نباید مجموع کل نرخ تزریق گاز از مقدار بیشینه‌ای تجاوز کند. در این مسئله و البته مسائل دیگر بسیار محتمل است که در حین الگوریتم نقاطی تولید شوند که در شروط مسئله صدق نکنند. راه‌حل مسئله برای این نقاط چیست؟ به‌صورت کلی چهار روش برای این مسئله ارائه شده است. ساده‌ترین راه‌حل حذف این نقاط است. راه‌حل دوم، تعمیر این نقاط و تبدیل آنها به نقاطِ ممکن است. روش دیگر تغییر عملگرهای الگوریتم به‌گونه‌ای است که این نقاط به‌وجود نیایند [۳]. اگرچه این سه روش، روش‌های کارایی هستند اما در این روش‌ها اگر نقطه‌ی بهینه در نزدیکی مرز محدودیت مسئله باشد نقاط خارج از مرز وارد الگوریتم نمی‌شوند. با این حال پیش‌تر بیان شده که نقطه‌ای خارج ولی نزدیک مرز، نسبت به نقطه‌ای داخل ولی دور از مرز اطلاعات بسیار مفیدتری دارد. روش چهارم که تابع جریمه نامیده می‌شود این مشکل را حل کرده است. این تابع نقاط شرط‌شکن را نگه داشته و مقدار تابع هدف آنها را کاهش می‌دهد. کاهش می‌تواند به شیوه‌های مختلف انجام شود؛ رایج‌ترین روش، ضرب مقدار تابع در یک عدد یا جمع آن با یک عدد است. البته عدد باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که اولاً با دورتر شدن نقطه از مرز مقدار جریمه افزایش یابد و ثانیاً مقدار جریمه در حدی باشد که نقاط خارج از مرز نه به‌کلی حذف شوند و نه جایگزین نقاط داخل مرز کردند [۵و۴].

مطالعات زیادی در خصوص تابع جریمه و برخورد با متغیرهای آن انجام شده است. در ۲۰۰۸ اسرینواسان [۶] با هدف افزایش عملکرد، تابع جریمه را با تابع مانع[۴] ترکیب کرد. او عنوان نمود که تابع جریمه‌ی جدید در حل مسائلی با تغییرات اندک کارایی خوبی دارد. در ۲۰۱۱ خو[۵] [۷] از یک تابع جریمه‌ی دینامیک در بهینه‌سازی جریان ترافیک استفاده کرد. او نتیجه گرفت که در مسائلی از بهینه‌سازی که تغییرات اندک است تابع جریمه‌ی دینامیکش مؤثر است. در ۲۰۱۲ لیان[۶] [۸] تابع جریمه را برای مسائلی که محدودیت آنها به‌صورت نامساوی است استفاده کرد. او برای بهبود تابع

*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (mrmahdiani@aut.ac.ir)

جریمه روشی ارائه کرد که آن را ملایم کردن[۷] خواند. در ۲۰۱۳ لین[۸] [۹] تابع جریمه را در نظریه‌ی سختی اعمال کرد و با استفاده از آن تابع جریمه‌ی جدیدی ساخت. او تابع جریمه‌ی جدید را در حل برخی مسائل مهندسی مؤثر دانست. در ۲۰۱۴ ملو[۹] [۱۰] تابع جریمه را با راهبرد تکامل ماتریس، ترکیب و بیان کرد که تابع جریمه‌ی حاصل برای حل مسائل مهندسی مناسب است. در همین سال هود[۱۰] [۱۱] ترکیبی از تابع جریمه و برنامه‌ریزی خطی ارائه کرد که جهت حل مسائل بهینه‌سازی مقید استفاده می‌شود. در همین سال پینتو[۱۱] [۱۲] نیز با استفاده از مفاهیم تصویر ماتریس، تابع جریمه را برای عملکرد بهتر بهینه‌سازی تغییر داد.

همان‌طور که در مطالعات پیشین دیده شد مطالعات مختلفی برای بهبود تابع جریمه انجام شده است. در این مقاله از تنظیم متغیرها و پیدا کردن مقدار مناسب جریمه برای افزایش بهره‌وری بهینه‌ساز استفاده می‌شود. این مسئله در بهینه‌سازی توزیع گاز با مقدار محدود گاز بررسی خواهد شد.

۱-روش کار

در این بخش ۱۰ چاه درنظر گرفته شده است. این تعداد به‌گونه‌ای انتخاب شده تا ضمن ممانعت از طولانی شدن محاسبات، تقریباً انواع مختلف چاه‌ها را شامل شود. حدود متغیرهای چاه در جدول-۱ ارائه شده است. این چاه‌ها از چاه‌های جنوبی ایران انتخاب شده‌اند. این ۱۰ چاه که با لوله‌ی جداری تکمیل شده‌اند تولید شن ندارند و سرعت تولید نفت در آنها به‌قدری کم است که فرازآوری با گاز نمی‌تواند سرعت جریان را به‌حدی برساند که در لوله فرسایش ایجاد شود. به‌طور کلی، حداکثر مقدار گاز تزریقی در دسترس، تنها محدودیت مسئله‌ی بهینه‌سازی این مقاله است. در این مطالعه بنا داریم ۶ میلیون فوت‌مکعب استاندارد گاز را به‌گونه‌ای بین چند چاه تقسیم کنیم که مجموع تولید از همه‌ی چاه‌ها بیشینه شده و مقدار مجموع گازهای تزریقی نیز از مقدار موجود تجاوز نکند. لازم به‌ذکر است که مباحث اقتصادی در این مطالعه اعمال نشده است. در این بخش یکای گاز تزریقی MMSCF/d و یکای گاز تولیدی STB/d است.

جدول ۱ حدود متغیرهای چاه‌های مورد بررسی در ساخت و آزمایش مدل

کمیت	کمینه	بیشینه
درجه‌ی سبکی نفت، API	۲۳/۶۱	۳۴/۱۴
شاخص بهره‌دهی چاه، STB/psi	۱/۶۴	۲/۷۵
فشار مخزن، psi	۲۹۰۰	۴۳۰۰
برش آب، ٪	۱/۵	۱۵
قطر داخلی لوله‌ی مغزی، in	۲/۷۵	۴/۸۷
عمق چاه، ft	۸۳۰۰	۱۰۵۰۰
فشار سرچاهی، psi	۲۰۷	۵۴۰
عمق تزریق، ft	۳۹۰۰	۸۵۰۰
چگالی نسبی گاز تزریقی	۰/۶۸	۰/۹۲
قطر داخلی لوله‌ی جداری، in	۴/۳۷	۹/۸۵
قطر خارجی لوله‌ی مغزی، in	۳	۵/۳۳
کشش سطحی	۵۰	۶۴
جرم مخصوص آب	۱/۰۰	۱/۱۲
دمای سرچاهی، ^{o}F	۱۱۰	۱۸۰
جرم مخصوص گاز	۰/۶۷	۰/۹۵
نسبت گاز به مایع، SCF/STB	۴۱۰	۶۴۰
گرانروی نفت، cp	۱/۹۷	۳/۵۴
دمای مخزن، ^{o}F	۲۰۰	۳۱۵
فشار حباب، psi	۴۳۰	۶۵۰
نرخ گاز تولیدی، MMSCF	۴	۰/۳
عمق لوله‌ی مغزی، ft	۳۴/۶	۹۳۲۰
اندازه‌ی روزنه	۲۰	۵۸

۱-۱- تابع جریمه‌ی جمع

در این قسمت سعی بر یافتن بهترین تابع جریمه با بالاترین کیفیت نقطه‌ی بهینه و کمترین زمان اجرای الگوریتم بهینه‌سازی است. ابتدا حالات مختلف تابع جریمه‌ی جمع بررسی می‌شود. شکل کلی این تابع به‌صورت رابطه‌ی-۱ است.

$$q_{tn}=q_t-(\text{sum}(Qg)-\text{MaximumAvailableGa})\times a \qquad (۱)$$

که در آن:

q_{tn}: نرخ تولید نفت از همه‌ی چاه‌ها بر حسب (STB/day) که البته نرخ واقعی نیست. در حقیقت مقدار واقعی (به‌دلیل رعایت نکردن شرط) توسط تابع جریمه کاهش یافته است. سپس این مقدار به‌جای مقدار اصلی وارد بهینه‌سازی شده تا شانس حضور این راه‌حل در تکرارهای بعدی کاهش یابد (و البته صفر نشود).

q_t: مجموع نرخ تولید نفت از همه‌ی چاه‌ها (STB/day)

Q_g: نرخ تزریق گاز در یک چاه (MMscf/day)

Sum (Qg): مجموع نرخ تزریق گاز در همه‌ی چاه‌های موجود (MMscf/day)

Maximum Available Gas: مقدار کل گاز موجود در روز (MMscf/day)

a: متغیر داخلی تابع جریمه‌ی جمع

رابطه‌ی-۱ به‌خوبی با افزایش فاصله از مرز، مقدار جریمه را افزایش می‌دهد. برای a نیز مقادیر مختلف درنظر گرفته شده و بهینه‌سازی انجام می‌شود. سپس عملکرد الگوریتم بهینه‌ساز از نظر کیفیت نقطه‌ی بهینه و قرار داشتن نقطه در محدوده‌ی شرط مسئله بررسی می‌شود. اگر مقدار a کم باشد مقدار تابع در خارج از مرز به‌اندازه‌ی کافی جریمه نمی‌شود و ممکن است نقطه‌ی بهینه‌ی حاصل در خارج از مرز واقع شده باشد. اگر مقدار a زیاد باشد جریمه‌ی بیش از حد باعث می‌شود نقاط نزدیک مرز در تکرارهای بعدی عملاً حذف شوند. اکنون الگوریتم بهینه‌ساز به‌ازای مقادیر مختلف a برای تابع جریمه اجرا می‌شود. مقادیر نقطه‌ی بهینه، مقدار تجمعی گاز تزریقی و مقدار نفت تولیدی در یک روز (d) برای حالات مختلف تابع جریمه‌ی جمع در جدول-۲ ارائه شده‌اند.

برای محاسبه‌ی نرخ نفت تولیدی از هرچاه به‌ازای تزریق مقدار مشخصی گاز از روش آنالیز گره‌ای و شبیه‌سازی جریان دوفازی نفت-گاز، از رابطه‌ی

بهبود یافته‌ی هاگدورن-براون [۳] که دقت زیادی دارد استفاده شده است. شبیه‌سازی جریان به کمک نرم‌افزار MATLAB و اعتبارسنجی نتایج آن با استفاده از نرم‌افزار Prosper انجام شده است.

در شکل-۱ نیز همگرایی الگوریتم بهینه‌ساز با مقادیر مختلف a در تابع جریمه‌ی جمع دیده می‌شود.

مسئله‌ی دیگر تأثیر تابع جریمه در بهینه‌ساز است. در اینجا به‌عنوان نمونه برای a=۱۰ همگرایی تابع با و بدون استفاده از تابع جریمه‌ی جمع نشان داده شده است. برای سایر مقادیر a نموداری مشابه شکل-۲ به‌دست می‌آید که جهت جلوگیری از تکرار، از نمایش آن خودداری می‌شود. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود در همه‌ی موارد مقدار جریمه به قدار بسیار ناچیزی مقدار تابع هدف را کاهش می‌دهد.

۱-۲- تابع جریمه‌ی ضرب

تابع جریمه‌ی ضرب به‌شکل رابطه‌ی-۲ تعریف می‌شود.

$$q_{tn}=q_t\times\frac{b}{1+\text{sum}(Qg)-\text{Maximum Available Gas}} \qquad (۲)$$

که در آن:

q_{tn}: نرخ تولید نفت از همه‌ی چاه‌ها بر حسب (STB/day) که البته نرخ واقعی نیست. در حقیقت مقدار واقعی (به‌دلیل رعایت نکردن شرط) توسط تابع جریمه کاهش یافته است. سپس این مقدار به‌جای مقدار اصلی وارد بهینه‌سازی شده تا شانس حضور این راه‌حل در تکرارهای بعدی کاهش یابد (والبته صفر نشود).

q_t: مجموع نرخ تولید نفت از همه‌ی چاه‌ها (STB/day)

Q_g: نرخ تزریق گاز در یک چاه (MMscf/day)

Q_g(Sum): مجموع نرخ تزریق گاز در همه‌ی چاه‌های موجود (MMscf/day)

Maximum Available Gas: مقدار کل گاز موجود در روز (MMscf/day)

b: متغیر داخلی تابع جریمه‌ی ضرب

مقدار b قابل تغییر است. نمودارهای کارایی الگوریتم بهینه‌سازی با توجه به مقادیر مختلف b درشکل-۳ دیده می‌شود.

مشابه قبل برای نشان دادن تأثیر تابع جریمه‌ی ضرب در همگرایی به‌ازای b=۰/۵ نمودار همگرایی برای دو حالت با و بدون درنظر گرفتن جریمه رسم می‌شود. به‌ازای سایر مقادیر b نموداری مشابه به‌دست می‌آید. از این نمودار به‌وضوح پیداست که تابع جریمه‌ی ضرب جریمه‌ی بسیار سنگین‌تری بر نقاط نامناسب تحمیل می‌کند.

مقادیر نقطه‌ی بهینه، مقدار تجمعی گاز تزریقی و مقدار نفت تولیدی در یک روز (d) برای حالات مختلف تابع جریمه‌ی ضرب در جدول-۳ قابل مشاهده است.

همگرایی مسئله با توابع جریمه‌ی مختلف نیز در شکل-۳ دیده می‌شود.

۲- نتایج و بحث

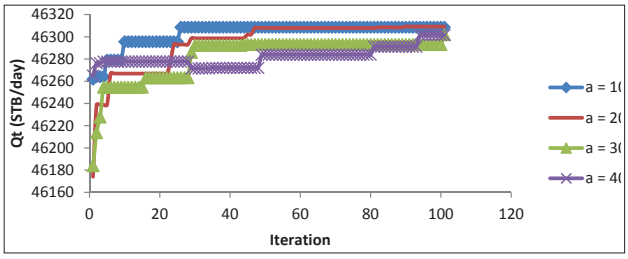
در این قسمت ابتدا در مورد تابع جریمه‌ی جمع، سپس درباره‌ی تابع جریمه‌ی ضرب و در نهایت در خصوص هر دو تابع با هم بحث می‌کنیم.

۱-۲- تابع جریمه‌ی جمع

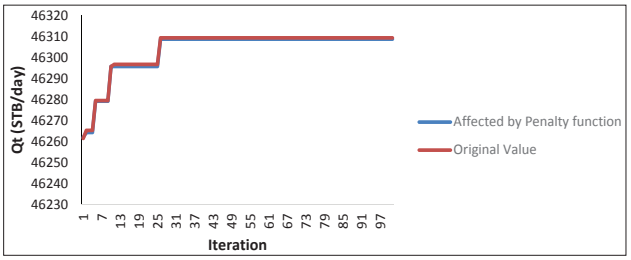
مقادیر نقطه‌ی بهینه، مقدار تجمعی گاز تزریقی و مقدار نفت تولیدی برای حالات مختلف تابع جریمه‌ی جمع در جدول-۲ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود با تغییر مقدار جریمه (a) ترکیب توزیع گاز تغییر می‌کند که قسمتی از این تغییر مربوط به تأثیر تابع جریمه است. البته نباید از تأثیر ساختار درونی الگوریتم نیز غافل شد؛ چراکه حتی اگر مقدار

جدول ۲ | مقادیر نقطه‌ی بهینه، مقدار تجمعی گاز تزریقی و مقدار نفت تولیدی برای حالات مختلف تابع جریمه‌ی جمع

	مقدار a			
	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰
نرخ تزریقی چاه ۱ (MMSCF/d)	۰/۸۴۷	۰/۹۸	۸۲۱/۰	۰/۹۴۲
نرخ تزریقی چاه ۲ (MMSCF/d)	۰/۲۴۵	۰/۳۵۳	۰/۶۸۳	۰/۲۵
نرخ تزریقی چاه ۳ (MMSCF/d)	۰/۰۱	۰/۰۹۶	۰/۰۷۱	۰/۲۳۲
نرخ تزریقی چاه ۴ (MMSCF/d)	۰/۸۸۲	۰/۹۷۵	/۹۴۵	۰/۹۲۵
نرخ تزریقی چاه ۵ (MMSCF/d)	۰/۷۱۷	۲۷۲/۰	/۲۶۲	۰/۵۸۴
نرخ تزریقی چاه ۶ (MMSCF/d)	۰/۷۹	۰/۶۳۸	۰/۵۳۱	۰/۴۳۹
نرخ تزریقی چاه ۷ (MMSCF/d)	۰/۹۵۴	۰/۸۵۱	۰/۹۴۶	۰/۸۱۶
نرخ تزریقی چاه ۸ (MMSCF/d)	۰/۷۸۶	۰/۷۱۳	۰/۵۷۶	۰/۸۳۴
نرخ تزریقی چاه ۹ (MMSCF/d)	۰/۷۶۹	۰/۴۶۲	۰/۷۷۷	۰/۵۰۷
نرخ تزریقی چاه ۱۰ (MMSCF/d)	۰/۲۰۸	۰/۶۹	۰/۳۹۷	۰/۴۱۹
کل گاز تزریقی (MMSCF/d)	۶/۲۰۸	۶/۰۳	۶/۰۰۹	۵/۹۴۸
کل تولید نفت (STB/d)	۴۶۳۰۹	۴۶۳۰۹	۴۶۳۰۲	۴۶۳۰۲



شکل ۱ | همگرایی به نقطه‌ی بهینه با مقادیر مختلف a در تابع جریمه‌ی جمع



شکل ۲ | تأثیر تابع جریمه‌ی جمع بر همگرایی بهینه‌ساز به ازای a=۱۰

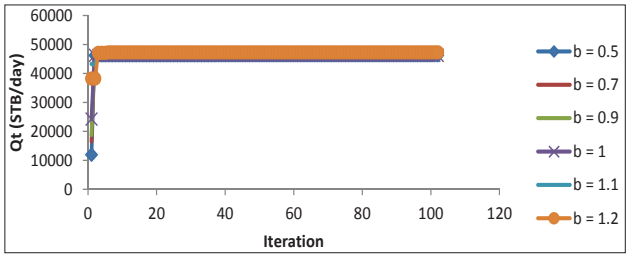
تابع جریمه را نیز تغییر ندهیم اجراهای مختلف الگوریتم بهینه‌ساز منجر به جواب‌هایی با اندکی تفاوت می‌شود. نکته‌ی قابل برداشت دیگر از این جدول آن است که به‌ازای ۳۰و۲۰و۱۰=a مجموع کل گازهای تزریق شده از کل مقدار گاز موجود بیشتر است. بنابراین نقطه‌ی بهینه‌ی این سه مورد برای مسئله ارزشی ندارد. تنها به ازای ۴۰=a نقطه‌ی بهینه در حدود مسئله قرار دارد. طبیعی است که نقطه‌ی بهینه‌ی ۴۰=a منجر به تولید نفت کمتری شود؛ زیرا مقدار کل گاز تزریق شده کمتر از سایر موارد بوده است. شکل-۱ همگرایی الگوریتم بهینه‌ساز به نقطه‌ی بهینه با مقادیر مختلف a در تابع جریمه‌ی جمع را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود صرف‌نظر از مقدار جریمه، همه‌ی الگوریتم‌ها با تعداد تکرار تقریباً برابری به نقطه‌ی بهینه همگرا شده‌اند.

۲-۲- تابع جریمه‌ی ضرب

در جدول-۳ مقادیر نقطه‌ی بهینه، مقدار تجمعی گاز تزریقی و مقدار نفت تولیدی برای حالات مختلف تابع جریمه‌ی ضرب دیده می‌شود. در این جدول مشاهده می‌شود که مقدار متفاوت جریمه منجر به توزیع متفاوت گازها شده است. البته همان‌طور که قبلاً اشاره شد این تفاوت‌ها تا حدی مربوط به ساختار داخلی الگوریتم‌های بهینه‌سازی است. در این مورد نیز مانند

جدول ۳ | مقادیر نقطه‌ی بهینه، مقدار تجمعی گاز تزریقی و مقدار نفت تولیدی برای حالات مختلف تابع جریمه‌ی ضرب

b	۱/۲	۱/۱	۱	۰/۰۹	۰/۷	۰/۵
نرخ تزریقی چاه ۱ (MMSCF/d)	۰/۷۵۴	۰/۹۸۹	۰/۹۵۷	۰/۹۹۷	۰/۸۲۶	۰/۸۳۹
نرخ تزریقی چاه ۲ (MMSCF/d)	۰/۳۷۶	۰/۵۹۲	۰/۶۱۲	۰/۷۳۸	۰/۲۸۷	۰/۸۵۹
نرخ تزریقی چاه ۳ (MMSCF/d)	۰/۰۸	۰/۲۷۶	۰/۰۴۷	۰/۱۰۵	۰/۲۲۷	۰/۰۰۷
نرخ تزریقی چاه ۴ (MMSCF/d)	۰/۹۴۲	۰/۷۲۶	۰/۹۸۷	۰/۷۵۲	۰/۹۰۵	۰/۷۶۸
نرخ تزریقی چاه ۵ (MMSCF/d)	۰/۹۹۳	۰/۶۵۲	۰/۵۹	۰/۷۴۱	۰/۳۲۴	۰/۶۶۲
نرخ تزریقی چاه ۶ (MMSCF/d)	۰/۱۹۶	۰/۳۹	۰/۶۶۷	۰/۷۱۵	۰/۹۲۹	۰/۶۰۳
نرخ تزریقی چاه ۷ (MMSCF/d)	۰/۸۶۵	۰/۴۴۹	۰/۸۷۳	۰/۹۳۶	۰/۹۵۵	۰/۹۱۱
نرخ تزریقی چاه ۸ (MMSCF/d)	۰/۵۷۸	۰/۶۵	۰/۸۶۵	۰/۶۰۸	۰/۳۲۸	۰/۸۴
نرخ تزریقی چاه ۹ (MMSCF/d)	۰/۹۶	۰/۶۸۵	۰/۰۲۹	۰/۲۰۱	۰/۵۵۵	۰/۴۴۴
نرخ تزریقی چاه ۱۰ (MMSCF/d)	۰/۲۶۲	۰/۵۹۲	۰/۳۵۳	۰/۱۹۷	۰/۶۵۳	۰/۰۴۹
کل گاز تزریقی (MMSCF/d)	۶/۰۰۶	۶/۰۰۱	۵/۹۷۱	۵/۹۹	۵/۹۸۹	۵/۹۸۲
کل تولید نفت (STB/day)	۴۷۲۱۷/۵	۴۷۴۷۱/۳	۴۶۳۰۷/۲	۴۶۳۰۰/۴	۴۶۲۹۸/۲	۴۶۲۹۷/۸



شکل ۳ | همگرایی به نقطه‌ی بهینه با مقادیر مختلف b در تابع جریمه‌ی ضرب با صرف‌نظر از پایداری

تابع جریمه‌ی جمع، مقدار کم جریمه منجر به نقاطی شده که در حدود مسئله قرار ندارند. با توجه به جدول-۳ بهترین مقدار b برای آنکه جواب در حدود مسئله باشد (یعنی مجموع گاز تزریقی به چاه‌های مختلف از حداکثر مقدار گاز در دسترس که برابر ۶ میلیون فوت‌مکعب استاندارد است تجاوز نکند)، ۰/۹ خواهد بود.

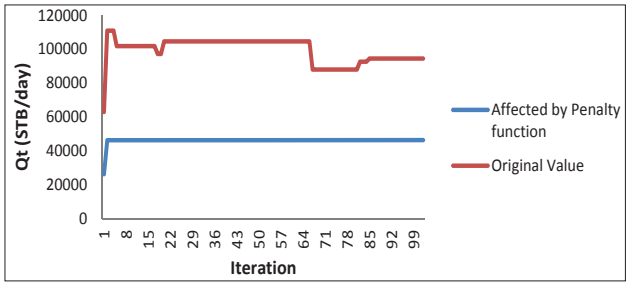
شکل-۳ همگرایی به نقطه‌ی بهینه با مقادیر مختلف b در تابع جریمه‌ی ضرب را نشان می‌دهد. در این شکل نیز دیده می‌شود که الگوریتم بهینه‌ساز در همه‌ی موارد تقریباً به تعداد تکرار برابری برای یافتن نقطه‌ی بهینه نیاز دارد.

۲-۳- مقایسه‌ی تابع جریمه‌ی جمع و تابع جریمه‌ی ضرب

همان‌طور که در شکل-۳ دیده می‌شود نمودارها تقریباً بر هم منطبق هستند. در مقایسه‌ی این شکل با شکل-۱ (تابع جریمه‌ی جمع که مقادیر مختلف جریمه به نمودارهای مختلفی منجر می‌شود) می‌توان نتیجه گرفت که حساسیت تابع جریمه‌ی ضرب به مقدار جریمه، کمتر از حساسیت تابع جریمه‌ی جمع به مقدار جریمه است.

برای مقایسه‌ی آسان کیفیت نقطه‌ی بهینه‌ی تابع جریمه‌ی جمع و تابع جریمه‌ی ضرب باید از هر کدام یک نماینده انتخاب کرد. در هر مورد بهترین پیش‌بینی (بیشترین مقدار تولید نفت و البته نقطه‌ی بهینه‌ی در حدود مسئله، برای تابع جریمه‌ی جمع، ۴۰=a و مقادیر گاز تزریقی و نفت تولیدی از جدول-۲ و برای تابع جریمه‌ی ضرب، ۰/۹=b و مقادیر نرخ نفت تولیدی و گاز تزریقی از جدول-۳) را به‌عنوان نماینده‌ی هر رده انتخاب کرده و دو تابع جریمه را با هم جمع می‌کنیم. شکل-۵ مقدار نهایی نفت تولیدی را برای بهترین حالت مقدار تابع جریمه‌ی جمع و تابع جریمه‌ی ضرب نشان می‌دهد.

همان‌طور که شکل-۵ نشان می‌دهد تابع ضرب، نقطه‌ی بهینه‌ی بهتری پیدا کرده است. البته این مورد اتفاقی نیست؛ با مقایسه‌ی جدول-۲ با جدول-۳ نیز نتایج قابل تأیید هستند. به نقاط بهینه‌ی سایر موارد دقت کنید؛ مثلاً تابع جریمه‌ی جمع با ۳۰=a و تابع جریمه‌ی ضرب با ۱/۲=b تقریباً به مقدار گاز مشابهی نیاز دارند. اما مقدار نفت تولیدی در نقطه‌ی بهینه‌ی تابع جریمه‌ی ضرب حدود ۱۰۰۰ بشکه بیشتر از تابع جریمه‌ی جمع است. با مقایسه‌ی سایر موارد نیز بیشتر بر عمومیت شکل-۵ تأکید می‌شود.

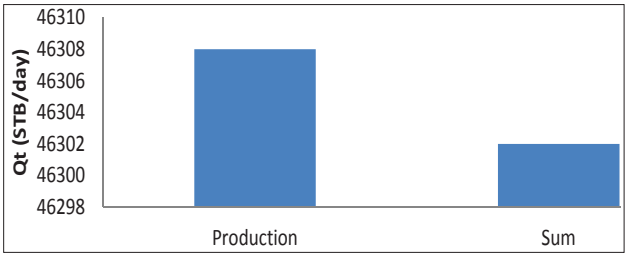


شکل ۴ | تأثیر تابع جریمه‌ی ضرب بر همگرایی بهینه‌ساز به‌ازای ۰/۵=b

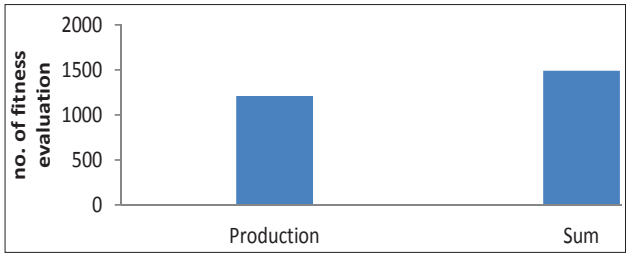
آخرین مورد در این بخش مقایسه‌ی زمان اجرای الگوریتم بهینه‌ساز با تابع جریمه‌ی جمع و تابع جریمه‌ی ضرب است. در شکل-۶ این دو مورد با هم مقایسه شده‌اند. در این شکل به‌وضوح دیده می‌شود که استفاده از تابع جریمه‌ی ضرب سبب شده که الگوریتم بهینه‌ساز برای یافتن نقطه‌ی بهینه به زمان کمتری نیاز داشته باشد. برای مقایسه‌ی سرعت‌ها در این شکل، تعداد محاسبه‌ی تابع هدف، ملاک قرار گرفته که می‌توان به‌جای آن زمان اجرا را درنظر گرفت. البته در این صورت با توجه به نوع رایانه و برنامه‌هایی که به‌صورت موازی (پنهان و آشکار) در حال اجرا هستند خطای بسیار بیشتری نسبت به روش بالا ایجاد خواهد شد.

نتیجه‌گیری

- اگر متغیر مناسب برای تابع جریمه انتخاب نشود علاوه بر اینکه نقطه‌ی بهینه‌ی حاصل منجر به تولید نفت کمتری می‌شود ممکن است در محدوده‌ی شرط مسئله نیز قرار نداشته باشد.
- در هر دو روش (استفاده از تابع جریمه‌ی جمع و استفاده از تابع جریمه‌ی ضرب) اگر مقدار جریمه کم باشد، سرعت و کیفیت نقطه‌ی بهینه (مقدار نفت تولیدی حاصل) کاهش می‌یابد و با افزایش مقدار جریمه، کیفیت نقطه‌ی بهینه و سرعت بهینه‌سازی افزایش می‌یابد.
- اگر مقدار جریمه زیاد باشد سرعت همگرایی الگوریتم افزایش یافته و کیفیت نقطه‌ی بهینه نیز مناسب خواهد بود. اما ممکن است نقطه‌ی بهینه‌ی نهایی محدودیت مسئله را رعایت نکند. به‌عبارتی در این مطالعه نقطه‌ی بهینه‌ی حاصل به مقدار گاز تزریقی بیش از مقدار موجود نیاز دارد.
- صرف‌نظر از نوع تابع جریمه (جمع یا ضرب)، انتخاب مناسب مقدار جریمه موجب می‌شود سرعت بهینه‌سازی خوب بوده، نقطه‌ی بهینه کیفیت مناسبی داشته باشد و محدودیت مسئله نیز رعایت شود. هر دوی این توابع نسبت به مقدار جریمه حساس هستند.
- تابع جریمه‌ی ضرب، در پیش‌بینی نقطه‌ی بهینه، عملکرد بهتری دارد. در این مطالعه نقطه‌ی بهینه‌ی پیش‌بینی شده توسط تابع جریمه‌ی ضرب در مقایسه با نقطه‌ی بهینه‌ی پیش‌بینی شده توسط تابع جریمه‌ی جمع منجر به تولید نفت بیشتری می‌شود.



شکل ۵ | مقایسه‌ی مقدار نهایی نفت تولیدی روش‌های مختلف محدودیت در الگوریتم‌بهینه‌ساز



شکل ۶ | مقایسه‌ی تعداد محاسبه‌ی تابع هدف در روش‌های مختلف محدودیت در الگوریتم بهینه‌ساز

پانویس‌ها

[1] nejati@shahroodut.ac.ir
[2] a_moradzadeh@ut.ac.ir
[3] aiobim@gmail.com
[4] r.ghaedrahmati@yahoo.com
[5] Audio Magnetotelluric (AMT)
[6] Coils
[7] Observed
[8] Calculated
[9] Mel
[10] Hovd
[11] Pinto

منابع

[1] Hamedi, H., Rashidi, F., & Khamehchi, E. (2011). A Novel Approach To The Gas-Lift Allocation Optimization Problem. Petroleum Science And Technology , 418427-.
[2] Mahmudi, M., & Sadeghi, M. (2013). The Optimization Of Continuous Gas Lift Process Using An Integrated Compositional Model. Journal Of Petroleum Science And Engineering , 321–327.
[3] Takács, G. (2005). Gas Lift Manual. Pennwell Books.
[4] Francis, B. (2009). Low-Dimensional Geometry: From Euclidean Surfaces To Hyperbolic Knots. AMS Bookstore.
[5] Lee, K. Y., & Elsharkwi, M. (2008). Modern Heuristic Optimization Technique. Hoboken, New Jersy: John Wiely And Sons.
[6] Srinivasan, B., Biegler, L., & Bonvin, D. (2008). Tracking The Necessary Conditions Of Optimality With Changing Set Of Active Constraints Using A Barrier-Penalty Function. Computers & Chemical Engineering , 572–579.
[7] Khoo, H. (2011). Dynamic Penalty Function Approach For Ramp Metering With Equity Constraints. Journal Of King Saud University - Science , 273–279.
[8] Lian, S. (2012). Smoothing Approximation To L1L1 Exact Penalty Function For Inequality Constrained Optimization. Applied Mathematics And Computation , 3113–3121.
[9] Lin, C. (2013). A Rough Penalty Genetic Algorithm For Constrained Optimization. Information Sciences , 119–137.
[10] Melo, V., & Iacca, G. (2014). A Modified Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy With Adaptive Penalty Function And Restart For Constrained Optimization. Expert Systems With Applications , 7077–7094.
[11] Hovd, M., & Stoican, F. (2014). On The Design Of Exact Penalty Functions For Mpc Using Mixed Integer Programming. Computers & Chemical Engineering , 104–113.
[12] Pinto, R., & Ferreira, R. (2014). An Exact Penalty Function Based On The Projection Matrix. Applied Mathematics And Computation , 66–73.