نشریه علمی‌پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی

سال هشتم، شمارهٔ دوم/ تابستان ۱۳۹۷/ صفحه ۵۸ـ۶۹

ارائهٔ مدلی ریاضی برای قیمت‌گذاری سوخت با در نظر گرفتن تصمیمات طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین

امیرحسین صدیقی[۱*]، علی نعیمی صدیق[۲]

[۱] استادیار پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک)، تهران، ایران

Seddighi@irandoc.ac.ir

[۲] استادیار پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک)، تهران، ایران

Naimi@irandoc.ac.ir

چکیده: قیمت‌گذاری سوخت یکی از موضوعات کلیدی در مدیریت مصرف انرژی است که نقش تعیین‌کننده‌ای در استفادهٔ مناسب از منابع انرژی دارد. تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری صحیح در این حوزه می‌تواند علاوه بر مدیریت مصرف سوخت، از تغییرات شدید قیمتی در بازار انرژی نیز جلوگیری کند. عوامل مختلفی نظیر میزان تولیدات، میزان تقاضا، هزینه‌های تولید، انتقال و نگهداری، ساختار شبکهٔ تأمین سوخت و رقابت بین خرده‌فروشان بر قیمت نهایی سوخت تأثیرگذارند. در این مقاله با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف مسئله، یک مدل ریاضی غیرخطی عدد صحیح مخلوط دو سطحی برای قیمت‌گذاری سوخت در شرایط رقابتی ارائه شده است. مدل پیشنهادی مبتنی بر یک بازی استکلبرگ - نش یک به چند است که در آن، در سطح اول (رهبر) یک مدیریت مرکزی قرار دارد که مسئول مکان‌یابی و برنامه‌ریزی پالایشگاه‌هاست و در سطح دوم (پیروان) خرده‌فروشانی قرار دارند که برای کسب سهم بیشتری از بازار سوخت، در حال رقابت با یکدیگرند. درنهایت رقابت بین قیمت‌های خرده‌فروشی، تقاضای مصرف سوخت را رقم خواهد زد. در ادامه، روش حل مسئله بیان می‌شود و نتایج عددی آن در دو حالت مدل غیرمتمرکز و مدل متمرکز مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در انتها با استفاده از تحلیل حساسیت سعی می‌شود تا ضمن بررسی تأثیر پارامترهای مختلف، پیام‌های مدیریتی مرتبط با مسئلهٔ مورد بحث نیز ارائه گردد.

واژه‌های کلیدی: زنجیرهٔ تأمین سوخت، قیمت‌گذاری سوخت، بازی استکلبرگ، بازی نش، طراحی زنجیرهٔ تأمین.

* نویسنده مسئول

۱. مقدمه

بی‌شک یکی از منابع اصلی انرژی در حال حاضر، سوخت‌های فسیلی هستند. تأثیراتی که این ماده بر پیشرفت صنعتی در قرن اخیر داشته، انکارناپذیر است. وجود منابع محدود نفت خام از یک سو و نیاز روزافزون به فرآورده‌های نفتی از سوی دیگر، اهمیت مدیریت صحیح و علمی بر این منابع انرژی را بیش از پیش روشن می‌سازد.

در این راستا قیمت‌گذاری سوخت به‌عنوان یکی از موضوعات کلیدی در مدیریت مصرف انرژی، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در استفادهٔ مناسب از منابع انرژی داشته باشد. در این بین عوامل مختلفی نظیر میزان تولیدات، میزان تقاضا، هزینه‌های تولید، انتقال و نگهداری، ساختار شبکهٔ تأمین سوخت و رقابت بین خرده‌فروشان بر قیمت نهایی سوخت تأثیرگذارند. ازاین‌رو نیاز به مدلی که بتواند جنبه‌های مختلف این مسئله را در یک محیط رقابتی در نظر بگیرد، به‌شدت احساس می‌گردد.

در پاسخ به این نیاز و با نگاهی به ادبیات موضوع مشاهده می‌شود که حجم چشمگیری از مطالعات، معطوف به طراحی و برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین انرژی در بخش‌های مختلف‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به زنجیرهٔ تأمین سوخت‌های فسیلی [۱ـ۳]، زنجیرهٔ تأمین برق [۴ و ۵]، زنجیرهٔ تأمین سوخت‌های زیستی [۶ـ۹] و زنجیرهٔ تأمین هیدروژن [۱۰] اشاره کرد. از سوی دیگر، به تناسب حوزه‌های مختلف مورد اشاره، در امر قیمت‌گذاری انرژی نیز تحقیقات گوناگونی در ادبیات موضوع صورت گرفته است [۱۱ـ۱۵]. در ادامه، مرور کوتاهی بر مطالعات مرتبط با موضوع مدنظر این مقاله خواهیم داشت.

مرادی‌نسب و همکاران [۱۶] با در نظر گرفتن نقش دولت و بخش‌های خصوصی، یک مدل اقتصادی یکپارچه جهت برنامه‌ریزی انرژی برای سوخت‌های فسیلی ارائه می‌دهند. این مدل بر مبنای نظریهٔ بازی‌ها تلاش دارد مقادیر بهینه برای نرخ تولید و قیمت محصولات را چه در بخش دولتی و چه در بخش خصوصی تعیین کند. در این راستا رقابت بین بخش‌های دولتی و خصوصی در دو حالت همکارانه و غیرهمکارانه (با استفاده از تعادلات نش و استکلبرگ [1]) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت با استفاده از یک مثال عددی سعی شده است تا نتایج حاصل از مدل‌های پیشنهادی مقایسه و تحلیل شوند. با اینکه این مطالعه توجه خود را بر روی بحث قیمت‌گذاری و روابط بین بخش دولتی و خصوصی متمرکز کرده، به تصمیمات طراحی شبکه در آن توجهی نشده و بیشتر بحث برنامه‌ریزی تولید جهت برآورده‌سازی تقاضا در آن مدنظر است.

تانگ و همکاران [۱۷] یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای طراحی و برنامه‌ریزی بهینه زنجیرهٔ تأمین سوخت ارائه می‌دهند. در این زنجیرهٔ تأمین، سوخت فسیلی با سوخت زیستی به‌صورت یکپارچه در نظر گرفته شده است و عدم قطعیت مربوط به تأمین سوخت زیستی، تقاضای سوخت و قیمت نفت خام در مدل‌بندی لحاظ شده‌اند. سپس مدل پیشنهادی در یک مطالعهٔ موردی به کار گرفته شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که سهم بازار سوخت‌های زیستی با افزایش قیمت نفت خام و بالا رفتن دسترسی به زیست‌توده به‌تدریج افزایش می‌یابد. با اینکه این مقاله تصمیمات مربوط به طراحی شبکه را در مدل خود لحاظ کرده، اما عملاً به بحث قیمت‌گذاری توجه چندانی نکرده است و فقط خود را محدود به تغییرات قیمت در نفت خام می‌نماید. لذا مسئله در محیطی فارغ از رقابت مورد بررسی قرار گرفته است.

پیتی و همکاران [۱۸] مدلی پویا برای زنجیرهٔ تأمین پالایشگاه ارائه می‌دهند که فعالیت‌های مختلفی نظیر تأمین نفت خام، انتقال، برنامه‌ریزی تولید و مدیریت عملیات را در بر می‌گیرد. به‌علاوه، تغییرات تصادفی در انتقال، خروجی، قیمت و مشکلات عملیاتی نیز در این مدل لحاظ شده‌اند. سپس مدل پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازی در چندین مطالعهٔ موردی، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

فیورنسیو و همکاران [۱۹] سیستمی تصمیم‌یار مبتنی بر یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط پیشنهاد می‌دهند که امکان ارزیابی سرمایه‌گذاری‌های مختلف در شبکهٔ پایین‌دستی سوخت را فراهم می‌آورد. هر چند که این مطالعه جنبه‌های طراحی زنجیرهٔ تأمین را در نظر گرفته، از حیث قیمت‌گذاری دارای کاستی است.

نعیمی صدیق و همکاران [۲۰] یک زنجیرهٔ تأمین دو سطحی فروشنده – خریدار را با استفاده از یک رویکرد پیوسته و مبتنی بر نظریهٔ بازی مدل می‌نمایند. در این مطالعه از بازی استکلبرگ برای قیمت‌گذاری بهره گرفته شده است. در مطالعهٔ دیگری نعیمی صدیق و همکاران [۲۱] رابطهٔ بین سطوح مختلف زنجیرهٔ تأمین را در یک محیط رقابتی بر مبنای یک بازی نش غیرهمکارانه مورد بررسی قرار می‌دهند. در این راستا از نظریهٔ بازی برای هماهنگ کردن اعضای زنجیره و با تکیه بر تصمیمات قیمت‌گذاری، مدیریت موجودی و سفارش‌دهی بهره گرفته شده است.

فرناندز و همکاران [۲۲] با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط مدلی چندلایه‌ای، چندعاملی و چندمحصولی برای طراحی و برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین سوخت در شرایط قطعی و با در نظر گرفتن تصمیمات مکان‌یابی، ظرفیت و انتقال ارائه می‌دهند. مدل پیشنهادی با استفاده از یک مطالعهٔ موردی واقعی در کشور پرتغال مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج حاصل از آن بحث و بررسی شده است.

الیویرا و هاماچر [۲۳] مسئلهٔ سرمایه‌گذاری بهینه در زیرساخت‌های لجستیکی به‌منظور توزیع محصولات پتروشیمی را تحت شرایط عدم

1. Nash and Stackelberg Equilibriums

قطعیت مورد مطالعه قرار می‌دهند. آن‌ها مسئله را در قالب یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای فرمول‌بندی کرده و از رویکرد تقریب میانگین نمونه برای حل آن استفاده نموده‌اند.

نجمی و همکاران [۲۴] مدلی چندپریودی و تعادلی برای ارزیابی یک زنجیرهٔ تأمین سوخت زیستی و یکپارچه‌سازی آن با زنجیرهٔ تأمین سوخت فسیلی پیشنهاد می‌دهند. در این مطالعه، بازیگران مختلف بازار در شرایط رقابت کامل فرض شده‌اند و به‌طور همزمان در جهت حداکثرسازی منافع خود حرکت می‌کنند. در چنین شرایطی، مدل پیشنهادی سعی دارد تا طراحی بهینهٔ شبکه، مکان‌یابی تسهیلات، سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی و تصمیمات عملیاتی و پشتیبانی را پیش‌بینی کند. با این حال با توجه به فرض رقابت کامل، بحث قیمت‌گذاری چندان جایگاهی در این مدل ندارد.

اسدی و همکاران [۲۵] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مخلوط برای طراحی زنجیرهٔ تأمین سوخت زیستی ارائه می‌دهند. نویسندگان از سری‌های زمانی خود رگرسیون‌برداری میانگین متحرک برای پیش‌بینی تقاضای آتی در این مطالعه بهره گرفته و تأثیر آن را بر روی طراحی زنجیرهٔ تأمین با کمک یک مثال عددی بررسی می‌کنند.

خویشتن‌دار و همکاران [۲۶] طراحی و برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین بیومتان را در نظر گرفته و با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط غیرخطی آن را مدل‌بندی کرده‌اند. سپس الگوریتمی ابتکاری برای حل این مدل پیشنهاد داده و آن را در یک مطالعهٔ موردی در استان خراسان رضوی به کار گرفته‌اند.

خلاصهٔ آنچه گفته شد و وجوه تمایز این مقاله با کارهای پیشین در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱): مرور مقایسه‌ای ادبیات موضوع

مرجع	سطح تصمیم		فضای بازار				تقاضا			قیمت	
	طراحی	برنامه‌ریزی	غیررقابتی	رقابتی: نش	رقابتی: استکلبرگ	رقابتی: همکاری	رقابت کامل	ثابت	متغیر با تصمیم	تصادفی	وابسته به قیمت	عمده فروشی	خرده فروشی
مقاله حاضر	✓	✓		✓	✓	✓					✓	✓	✓
خویشتن‌دار و همکاران [۲۶]	✓	✓	✓					✓					
اسدی و همکاران [۲۵]	✓	✓	✓					✓					
نجمی و همکاران [۲۴]	✓	✓					✓		✓		✓		
الویرا و هاماچر [۲۳]	✓	✓	✓							✓			
فرناندز و همکاران [۲۲]	✓	✓	✓					✓					
نعیمی صادق و همکاران [۲۱]		✓		✓					✓		✓	✓	✓
نعیمی صادق و همکاران [۲۰]		✓			✓	✓			✓		✓	✓	✓
فیورنسیو و همکاران [۱۹]	✓	✓	✓					✓					
پیتی و همکاران [۱۸]		✓	✓						✓				
تانگ و همکاران [۱۷]	✓	✓	✓							✓			
مرادی‌نسب و همکاران [۱۶]		✓		✓	✓	✓			✓		✓	✓	✓

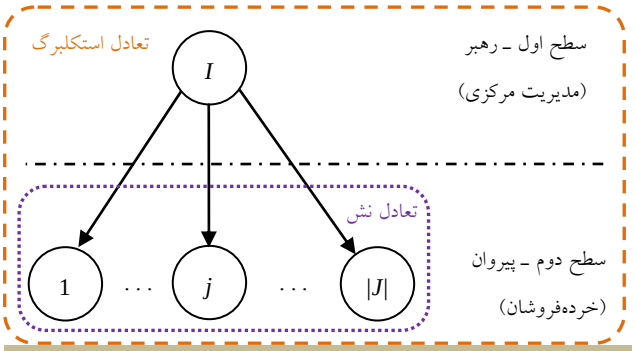
با توجه به شکاف مطالعاتی موجود در ادبیات، هدف این مقاله این است که با کمک مدل‌سازی ریاضی و با استفاده از نظریهٔ بازی‌ها، مدلی برای قیمت‌گذاری سوخت با در نظر گرفتن تصمیمات طراحی زنجیرهٔ تأمین آن ارائه دهیم. در این راستا ابتدا در فصل دوم به بیان دقیق مسئله و مفروضات مربوط به آن خواهیم پرداخت. سپس در فصل سوم مدل‌بندی ریاضی مسئله در قالب یک برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی عدد صحیح مخلوط دو سطحی ارائه خواهد شد. روش حل مسئله در فصل چهارم مورد بحث قرار خواهد گرفت. فصل پنجم نتایج عددی مربوط به مسئله مدنظر را در دو حالت مدل غیرمتمرکز و مدل متمرکز نشان خواهد داد. در فصل ششم به تحلیل حساسیت پارامترهای مدل و بحث دربارهٔ یافته‌های تحقیق خواهد پرداخت. در نهایت، مقاله در فصل آخر جمع‌بندی می‌شود.

۲. بیان مسئله

در این بخش به بیان مسئله و فرضیات مربوط به آن خواهیم پرداخت. زنجیرهٔ تأمین سوخت در نظر گرفته شده در این مقاله متشکل از سه سطح تولیدکنندگان، خرده‌فروشان و مشتریان است. در سطح تولیدکنندگان به‌دنبال مکان‌یابی پالایشگاه‌های نفت خام و تعیین برنامهٔ تولید هریک از آن‌ها برای فراهم آوردن سوخت مورد نیاز خرده‌فروشان هستیم. نیاز خرده‌فروشان نیز بر حسب تقاضای بالقوهٔ بازار و قیمت‌هایی تعیین می‌شود که هریک از خرده‌فروشان باید در یک فضای رقابتی با دیگر خرده‌فروشان پیشنهاد دهند.

فرض می‌شود که یک مدیریت مرکزی مسئول مکان‌یابی و ساخت پالایشگاه‌ها و برنامه‌ریزی آن‌ها برای تولید، نگهداری و انتقال سوخت مورد نیاز خرده‌فروشان است. هدف مدیریت مرکزی در کنار مدیریت هزینه‌های مربوط، تعیین بهینهٔ قیمت عمده‌فروشی برای عرضهٔ سوخت به هریک از خرده‌فروشان است؛ به‌نحوی که مجموع سود نهایی خود را ماکزیمم نماید. لذا این سطح از زنجیره با توجه به نقش و جایگاه آن نسبت به سایر اعضای زنجیرهٔ تأمین به‌عنوان رهبر در بازی استکلبرگ در نظر گرفته می‌شود [۲۷].

در سطح بعدی، خرده‌فروشانی قرار دارند که متأثر از تصمیمات رهبر بوده و باید به رقابت با یکدیگر بپردازند تا سهم بیشتری از بازار را نصیب خود کنند. این سطح از زنجیرهٔ تأمین بیانگر یک بازی نش غیرهمکارانه در یک محیط رقابتی است [۲۸]. بدین ترتیب مسئله به‌صورت یک مدل دو سطحی رهبر ـ پیروان (بازی استکلبرگ ــ نش یک به چند) در نظر گرفته می‌شود. شکل (۱) ساختار مسئله و روابط بین اجزای مختلف زنجیرهٔ تأمین سوخت مدنظر را نشان می‌دهد. در این شکل I و J به‌ترتیب مجموعه پالایشگاه‌ها و خرده‌فروشان هستند.



شکل (۱): ساختار مسئله و روابط بین سطوح مختلف آن

دیگر مفروضات مسئله به شرح زیرند:

- تمامی پارامترهای مسئله قطعی هستند.
- تقاضای بالقوهٔ بازار مقداری ثابت و مشخص است.
- تقاضا به‌صورت خطی با قیمت در ارتباط است.
- ظرفیت تولید هر پالایشگاه میزان محدود و مشخصی است.
- در هر مکان بالقوه می‌توان فقط یک پالایشگاه را و با یک نوع ظرفیت تولید مشخص احداث نمود.
- کمبود سوخت در مسئله مجاز نیست.

۳. مدل ریاضی

در این بخش، ابتدا پارامترها و متغیرهای مورد استفاده تعریف و سپس مدل ریاضی پیشنهادی مسئله ارائه شده است. در ادامه و به‌منظور مقایسه‌های آتی، مدلی متمرکز از مسئله نیز بیان خواهد شد.

جداول (۲) تا (۵) به‌ترتیب مجموعه‌ها، پارامترهای مسئله و در نهایت متغیرهای تصمیم سطح اول و دوم مورد استفاده را نشان می‌دهند.

جدول (۲): مجموعه‌ها

I	مجموعه مکان‌های بالقوه برای احداث پالایشگاه‌ها
C	مجموعه سطوح ظرفیت برای پالایشگاه‌ها
J	مجموعهٔ خرده‌فروشان

جدول (۳): پارامترها

$f_{i,c}$	هزینهٔ احداث پالایشگاه در مکان بالقوه i و با سطح ظرفیت c
pr_i	هزینهٔ تولید سوخت در پالایشگاه i
h_i	هزینهٔ نگهداری سوخت در پالایشگاه i
$tr_{i,j}$	هزینهٔ انتقال سوخت از پالایشگاه i به خرده‌فروش j
cap_c	ظرفیت در دسترس پالایشگاه در سطح c
α_j	ضریب کششی تقاضا نسبت به قیمت خرده‌فروش j
β_j	ضریب کششی تقاضا نسبت به قیمت خرده‌فروش رقیب برای خرده‌فروش j
d_0	تقاضای بالقوهٔ بازار

جدول (۴): متغیرهای تصمیم سطح اول	
$X_{i,c}$	یک متغیر دوتایی [1] که اگر پالایشگاه در مکان بالقوه i و با سطح ظرفیت c احداث شود برابر با یک می‌گردد.
$Q_{i,j}$	میزان انتقال سوخت از پالایشگاه i به خرده‌فروش j
W_j	قیمت عمده‌فروشی سوخت به خرده‌فروش j

جدول (۵): متغیرهای تصمیم سطح دوم	
p_j	قیمت پیشنهادی خرده‌فروش j
d_j	تقاضای خرده‌فروش j

گفتنی است که در سرتاسر این مقاله بردارهای متناظر با پارامترها و متغیرهای تصمیم به‌صورت درشت (bold) نشان داده شده‌اند.

۱.۳. مدل غیرمتمرکز

با توجه به آنچه در بخش قبل بیان شد، مسئلهٔ مدنظر در قالب یک مدل غیرخطی عدد صحیح مخلوط دوسطحی [2] ارائه می‌شود. مسئلهٔ سطح اول بیانگر تصمیمات مربوط به طراحی و برنامه‌ریزی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین سوخت می‌باشد و عبارت است از:

$$\max F(\mathbf{X},\mathbf{Q},\mathbf{W}) = \sum_{j\in J} W_j d_j - \left[\sum_{i\in I}\sum_{c\in C} f_{i,c}X_{i,c} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}(pr_i + h_i + tr_{i,j})Q_{i,j}\right] \quad (۱)$$

s.t.

$$\sum_{c\in C} X_{i,c} \le 1 \qquad \forall i \in I \qquad (۲)$$

$$\sum_{j\in J} Q_{i,j} \le \sum_{c\in C} cap_c X_{i,c} \qquad \forall i \in I \qquad (۳)$$

$$\sum_{i\in I} Q_{i,j} = d_j \qquad \forall j \in J \qquad (۴)$$

$$X_{i,c} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, \forall c \in C \qquad (۵)$$

$$Q_{i,j} \ge 0 \qquad \forall i \in I, \forall j \in J \qquad (۶)$$

$$W_j \ge 0 \qquad \forall j \in J \qquad (۷)$$

تابع هدف (۱) به‌دنبال بیشینه‌سازی سود مدیریت مرکزی پالایشگاه‌ها می‌باشد که برابر است با درآمد ناشی از فروش سوخت به قیمت عمده‌فروشی منهای هزینه‌های مربوط به احداث پالایشگاه‌ها از یک سو و هزینه‌های عملیاتی همچون هزینهٔ تولید، نگهداری و انتقال سوخت از هر پالایشگاه به نقاط تقاضا از سوی دیگر.

محدودیت (۲) نشان می‌دهد که در هر مکان بالقوه حداکثر مجاز به احداث یک پالایشگاه با یک سطح ظرفیت مشخص هستیم. محدودیت (۳) میزان سوخت ارسالی از هر پالایشگاه را محدود به ظرفیت در دسترس آن پالایشگاه می‌کند. محدودیت (۴) اطمینان می‌دهد که تمام تقاضای مورد نیاز خرده‌فروشان تأمین خواهد شد. محدودیت (۵) بیان می‌کند که متغیرهای تصمیم مربوط به مکان‌یابی پالایشگاه‌ها از نوع باینری هستند. محدودیت‌های (۶) و (۷) نیز به‌ترتیب تضمین می‌کنند که میزان سوخت انتقالی و قیمت عمده‌فروشی سوخت نامنفی هستند.

در مدل سطح اول فوق بردار تقاضای $\mathbf{d}$ به‌طور ضمنی به قیمت عمده‌فروشی $\mathbf{W}$ وابسته بوده و از حل مسئلهٔ سطح دوم به دست می‌آید. مسئلهٔ سطح دوم بیانگر رقابت بین خرده‌فروشان برای تعیین قیمت خرده‌فروشی است. این رقابت در قالب بازی $G(J,\mathbf{S},\mathbf{U})$ نشان داده می‌شود که در آن $\mathbf{S} = (S_1,...,S_j,...,S_{|J|})$ مجموعه فضای استراتژی‌ها و S_j معرف فضای متناظر با استراتژی‌های قیمتی خرده‌فروش j است. از طرف دیگر $\mathbf{U} = (\pi_1,...,\pi_j,...,\pi_{|J|})$ مجموعه توابع مطلوبیت و π_j تابع سود خرده‌فروش j می‌باشد.

هر خرده‌فروش به‌دنبال انتخاب بهترین استراتژی برای قیمت‌گذاری است؛ به‌نحوی که سود خود را حداکثر نماید. از آنجا که هریک از خرده‌فروشان فقط به‌دنبال سود خود هستند و نسبت به یکدیگر برتری خاصی ندارند، می‌بایست استراتژی‌های خود را به‌طور همزمان تعیین کنند. نقطه‌ای که در آن تمامی خرده‌فروشان بهترین استراتژی خود را نسبت به دیگر بازیگران به‌صورت همزمان انتخاب می‌کنند، بیانگر نقطهٔ تعادل نش [3] بازی $G(J,\mathbf{S},\mathbf{U})$ می‌باشد. به عبارت دیگر، نقطهٔ تعادل نش نقطه‌ای است که خرده‌فروشان در آن نقطه به استراتژی قیمتی خود رضایت می‌دهند. مسئلهٔ بهینه‌سازی متناظر با خرده‌فروش j در سطح دوم عبارت است از:

$$\max \pi_j = d_j(p_j - W_j) \qquad (۸)$$

s.t.

$$d_j = d_0 - \alpha_j p_j + \sum_{k\in J\setminus\{j\}} \beta_k p_k \qquad (۹)$$

$$p_j \ge 0 \qquad \forall j \in J \qquad (۱۰)$$

تابع هدف (۸) به‌دنبال بیشینه‌سازی سود خرده‌فروش j است که عبارت است از درآمد حاصل از فروش سوخت منهای هزینهٔ خرید سوخت به قیمت عمده‌فروشی.

محدودیت (۹) رابطهٔ تعادل بین تقاضا و قیمت‌های پیشنهادی خرده‌فروشان را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۰) الزام می‌کند که قیمت خرده‌فروشی غیرمنفی باشد.

1. Binary
2. Bilevel Mixed Integer Nonlinear Programming Model
3. Nash Equilibrium

۲.۳. مدل متمرکز

در این بخش، ساختار مسئله را به‌صورت متمرکز در نظر می‌گیریم. به عبارت دیگر در مدل جدید، رابطهٔ بین مدیریت مرکزی و خرده‌فروشان از نوع رهبر- پیروان نبوده، بلکه نوعی همکاری بین آن‌ها وجود خواهد داشت و زنجیرهٔ تأمین در عین حفظ رقابت در سطح خرده‌فروشان به‌صورت یک کل واحد در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب مسئله در قالب یک مدل غیرخطی عدد صحیح مخلوط تک‌سطحی[1] و به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌گردد.

$$\max Z(\mathbf{X},\mathbf{Q},\mathbf{p}) = \sum_{j\in J} p_j d_j - \left[\sum_{i\in I}\sum_{c\in C} f_{i,c}X_{i,c} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}(pr_i + h_i + tr_{i,j})Q_{i,j}\right] \quad (۱۱)$$

s.t.

$$d_j = d_0 - \alpha_j p_j + \sum_{k\in J\setminus\{j\}} \beta_k p_k \qquad \forall j \in J \quad (۱۲)$$

(۲-۶), (۱۰)

تابع هدف (۱۱) به‌دنبال بیشینه‌سازی سود کل زنجیرهٔ تأمین می‌باشد که عبارت است از درآمد ناشی از فروش سوخت در نقاط تقاضا منهای مجموع کل هزینه‌ها شامل هزینهٔ احداث پالایشگاه‌ها، هزینه‌های تولید، نگهداری و انتقال سوخت.

محدودیت (۱۲) رابطهٔ بین قیمت و تقاضا را در تمامی خرده‌فروشان نشان می‌دهد.

۴. روش حل

حل مدل غیرمتمرکز پیشنهادی نیازمند به دست آوردن نقطهٔ تعادل نش بازی $G(J,\mathbf{S},\mathbf{U})$ می‌باشد. بدین منظور باید مسائل بهینه‌سازی متناظر با هریک از خرده‌فروشان را به‌طور همزمان حل کنیم. این امر منجر به دستگاهی از معادلات می‌شود که معادله jام آن متناظر با جواب بهینهٔ مسئله (۸-۱۰) است. جواب بهینهٔ این مسئله به‌صورت زیر قابل محاسبه است.

ابتدا با بازنویسی تابع هدف (۸) و با استفاده از محدودیت (۹)، مسئلهٔ مربوط به خرده‌فروش jرا به یک مسئلهٔ بهینه‌سازی بدون محدودیت تبدیل می‌کنیم. بنابراین:

$$\max \pi_j = d_j(p_j - W_j) = (d_0 - \alpha_j p_j + \sum_{k\in J\setminus\{j\}} \beta_k p_k)(p_j - W_j) \quad (۱۳)$$

s.t.

(۱۰)

حال با توجه به اینکه تابع هدف مسئلهٔ فوق که بیشینه‌سازی است نسبت به قیمت خرده‌فروشی p_j مقعر می‌باشد، جواب بهینهٔ آن با استفاده از مشتق‌گیری نسبت به این متغیر قابل محاسبه است. لذا دستگاه معادلات مدنظر به‌صورت زیر درمی‌آید.

$$\frac{\partial \pi_j}{\partial p_j} = d_0 - 2\alpha_j p_j + \sum_{k\in J\setminus\{j\}} \beta_k p_k + W_j\alpha_j = 0 \qquad \forall j \in J \quad (۱۴)$$

با جایگذاری عبارت فوق در مدل غیرمتمرکز پیشنهادی، مسئله به یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مخلوط تک‌سطحی تبدیل خواهد شد. بنابراین:

$$\max F(\mathbf{X},\mathbf{Q},\mathbf{W},\mathbf{p}) = \sum_{j\in J} W_j(d_0 - \alpha_j p_j + \sum_{k\in J\setminus\{j\}} \beta_k p_k) - \left[\sum_{i\in I}\sum_{c\in C} f_{i,c}X_{i,c} + \sum_{i\in I}\sum_{j\in J}(tr_{i,j} + pr_i + h_i)Q_{i,j}\right] \quad (۱۵)$$

s.t.

$$\sum_{i\in I} Q_{i,j} = d_0 - \alpha_j p_j + \sum_{k\in J\setminus\{j\}} \beta_k p_k \qquad \forall j \in J \quad (۱۶)$$

$$d_0 - 2\alpha_j p_j + \sum_{k\in J\setminus\{j\}} \beta_k p_k + W_j\alpha_j = 0 \quad \forall j \in J \quad (۱۷)$$

(۲), (۳), (۵-۷), (۱۰)

حال می‌توان مدل‌های پیشنهادی را با استفاده از نرم‌افزارهای تجاری در دسترس حل نمود.

۵. نتایج عددی

در این بخش برای تحلیل مدل پیشنهادی از یک مثال عددی کمک خواهیم گرفت. بدین منظور یک مربع ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ را به‌عنوان منطقه تحت مطالعه در نظر می‌گیریم. سپس با استفاده از توزیع یکنواخت، ۵ مکان بالقوه برای پالایشگاه‌ها و همچنین ۴ مکان برای خرده‌فروش‌ها را به‌صورت تصادفی در منطقه مدنظر انتخاب می‌نماییم. فاصله بین پالایشگاه i و خرده‌فروشی jرا به کمک فاصله اقلیدسی[2] محاسبه کرده و در پارامتر $dis_{i,j}$ نگهداری می‌نماییم. سه سطح ظرفیت در دسترس برای هر پالایشگاه در نظر می‌گیریم. سایر پارامترهای مسئله مطابق جدول (۶) تولید می‌گردند که در آن $U(a,b)$ نشانگر توزیع پیوسته یکنواخت[3] در بازه (a,b) است.

برای حل مسئله، ابتدا مدل‌های پیشنهادی در نرم‌افزار GAMS پیاده‌سازی شدند و سپس از حل‌کنندهٔ BARON برای یافتن جواب بهینه کمک گرفته شد. به‌علاوه، محاسبات با استفاده از یک کامپیوتر با

1. Single Level Mixed Integer Nonlinear Programming Model

2. Euclidean Distance

3. Continuous Uniform Distribution

پردازندهٔ ۴ هسته‌ای با سرعت پردازش ۳/۳ گیگاهرتز و ۴ گیگابایت رم انجام شد. شایان ذکر است که حل‌کنندهٔ مورد اشاره، به‌طور خاص قابلیت حل بهینهٔ مسائل غیرخطی عدد صحیح مخلوط را دارد.

جدول (۶): پارامترها

$$f_{i,c} = U(10,30) \times cap_c$$
$$tr_{i,j} = U(0.001,0.004) \times dis_{i,j}$$
$$pr_i = U(7.5,8.5)$$
$$h_i = U(0.75,0.85)$$
$$cap_c = [150,250,500]$$
$$\alpha_j = U(3,4)$$
$$\beta_j = U(0.02,0.03)$$
$$d_0 = 1000$$

جدول (۷) جواب بهینهٔ مربوط به مدل‌های غیرمتمرکز و متمرکز پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول (۷): جواب بهینهٔ مسئله

مدل غیرمتمرکز		مدل متمرکز	
قیمت	۲۲۸/۱۷	قیمت	۱۶۱/۸۸
تقاضا	۲۲۵	تقاضا	۴۵۰
قیمت عمده‌فروشی	۱۶۳/۳۴	سود	۲۴۰۰۸۸/۷
سود رهبر	۱۲۲۴۹۲/۸		
سود خرده‌فروش	۱۴۵۹۹/۶۵		

در حالت بهینه در مدل غیرمتمرکز تنها ۳ پالایشگاه احداث می‌گردد که حجم سوختی بالغ بر ۱۴۷/۲۲ واحد را به‌طور متوسط به نقاط تقاضا انتقال می‌دهند. این در حالی است که در مدل متمرکز در هر ۵ مکان بالقوه پالایشگاه احداث می‌شود و حجم سوخت انتقالی به‌طور متوسط ۲۱۰ واحد است.

لازم به ذکر است که تمامی نتایج عددی گزارش شده در این مقاله به‌صورت میانگین محاسبه شده‌اند. به‌عنوان مثال منظور از قیمت خرده‌فروشی، میانگین قیمت خرده‌فروشی بهینه برای تمامی خرده‌فروشان است.

۶. تحلیل حساسیت

در این بخش تأثیر تغییر در پارامترهای مختلف مسئله بر روی شاخص‌های گوناگون بررسی شده است.

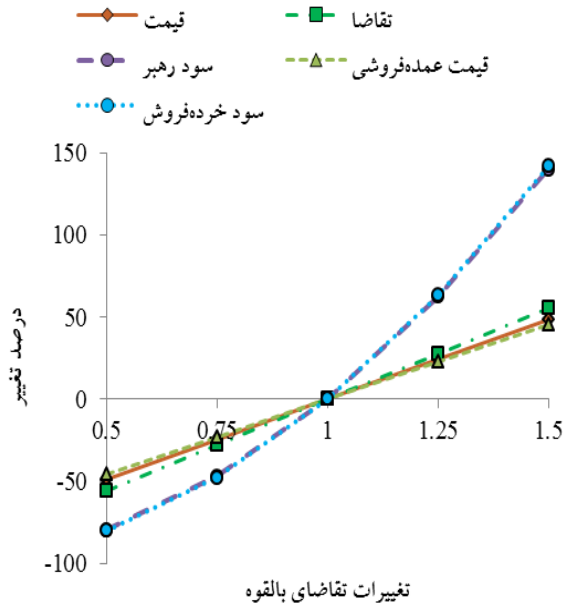
همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد با افزایش میزان تقاضای بالقوه در بازار (d_0) قیمت سوخت افزایش می‌یابد و با توجه به افزایش تقاضا، میزان سود به مراتب بیشتر می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در بازارهای با تقاضای بالقوه بیشتر، سود بیشتری نصیب خرده‌فروشان (پیروان) و مدیریت مرکزی پالایشگاه‌ها (رهبر) خواهد شد. همچنین تفاوت معناداری در افزایش سود بین مدل‌های غیرمتمرکز و متمرکز وجود ندارد. با فرض اینکه مدیریت مرکزی پالایشگاه‌ها بر عهده دولت باشد و خرده‌فروشان به دلیل فضای رقابتی موجود بین آن‌ها بخش خصوصی تلقی گردند، با افزایش تقاضای مشتریان، سود بیشتری نصیب هر دو بخش دولتی و خصوصی می‌گردد.

با توجه به شکل (۳) که بیانگر رقابتی‌تر شدن بازار سوخت است با افزایش α_j در هر دو مدل غیرمتمرکز و متمرکز، قیمت به شدت کاهش پیدا می‌کند، البته تقاضا کاهش ناچیزی دارد. بنابراین میزان سود کاهش خواهد یافت. همان‌طور که مشاهده می‌گردد رقابتی‌تر کردن بازار تأثیر چندانی در میزان تقاضا ندارد. بنابراین بازار رقابتی باعث کاهش قیمت خرده‌فروشی (مصرف‌کننده) می‌گردد. به عبارت دیگر در این حالت دولت با رقابتی‌تر کردن فضای بازار سوخت می‌تواند ضمن برآورده نمودن تقاضای مشتریان، قیمت مصرف‌کننده را کاهش دهد. افزون بر این، بخش خصوصی نسبت به دولت تغییرات سود بیشتری دارد.

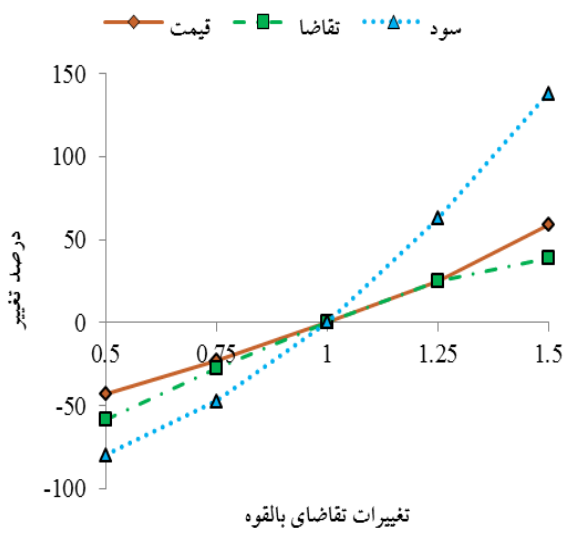
در شکل (۴) افزایش هزینه احداث پالایشگاه، کاهش سود مدیریت مرکزی پالایشگاه‌ها را در پی دارد. در زنجیرهٔ تأمین غیرمتمرکز افزایش هزینه احداث تأثیر چندانی بر قیمت خرده‌فروشی ندارد ولی در مدل زنجیرهٔ تأمین متمرکز تا حدودی منجر به افزایش قیمت خرده‌فروشی می‌گردد که این افزایش با ۱/۵ برابر شدن هزینه احداث پالایشگاه حداکثر ۴ درصد است. همچنین رفتار تقاضا در هر دو مدل عکس قیمت خرده‌فروشی خواهد بود. جالب توجه است که افزایش ۵۰ درصدی هزینه احداث پالایشگاه، بیشینه ۸ درصد از سود زنجیرهٔ تأمین می‌کاهد که این امر به دلیل کاهش تعداد احداث پالایشگاه است. افزون بر این سود خرده‌فروشان با افزایش هزینه‌های احداث کاهش ناچیزی دارد. در نتیجه با افزایش هزینه‌های دولتی احداث پالایشگاه، هم بخش خصوصی و هم دولت متضرر می‌شوند و قیمت نهایی مصرف‌کننده زیاد خواهد شد. بنابراین در این حالت تمام اعضای زنجیره شامل دولت، بخش خصوصی و مردم زیان می‌بینند.

شکل (۵) بیانگر رقابت تعداد خرده‌فروش بیشتر در کسب سهم بیشتری از تقاضای بالقوه سوخت است. با افزایش تعداد خرده‌فروشان میزان تغییرات تقاضا و قیمت در سطح عمده‌فروشی و خرده‌فروشی ناچیز خواهد بود. ولی با توجه به افزایش تعداد خرده‌فروشان، میزان

تقاضای نهایی مدیریت مرکزی پالایشگاه‌ها در هر دو مدل متمرکز و غیرمتمرکز افزایش چشمگیری خواهد یافت، که این افزایش منجر به سود ۶۰ درصدی مدیریت مرکزی پالایشگاه‌ها خواهد شد. بنابراین برای مدیریت مرکزی پالایشگاه‌ها تعداد خرده‌فروشان بیشتری توصیه می‌شود که این مهم می‌تواند در جهت سیاست‌های کلان کشور در صنعت سوخت مورد استفاده قرار گیرد. در نهایت در این حالت هر چقدر فضای رقابتی بین خرده‌فروشان از حالت انحصار به انحصار چندگانه و رقابت کامل میل کند، با حفظ میزان تقاضا و قیمت خرده‌فروشی، دولت افزایش سود قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت، ضمن اینکه سود بخش خصوصی نیز افزایش نسبی می‌یابد.

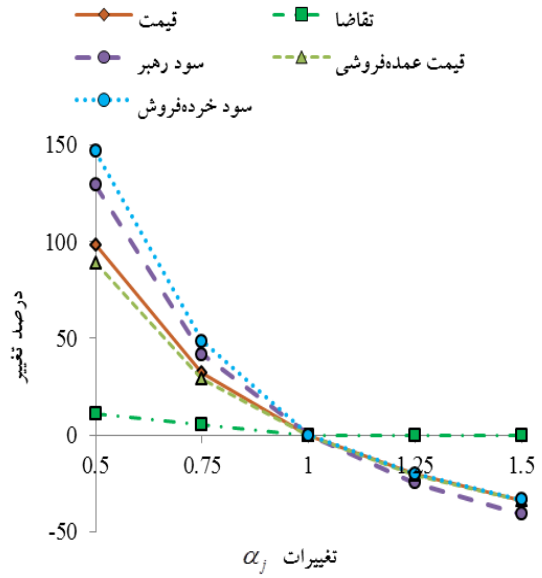


(الف) مدل غیرمتمرکز

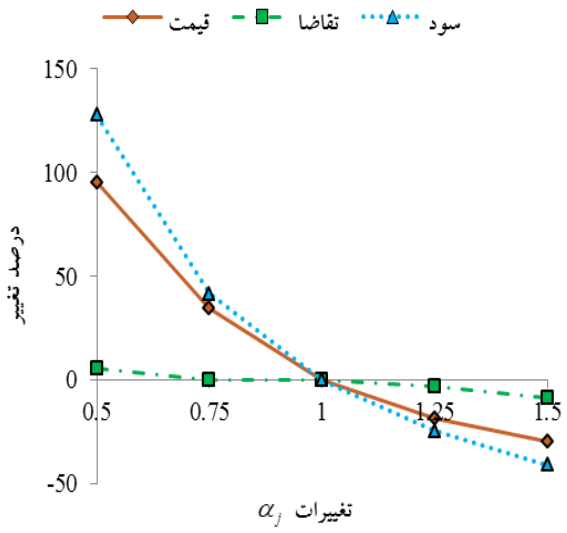


(ب) مدل متمرکز

شکل (۲): تأثیر تغییر در تقاضای بالقوه بازار بر حسب شاخص‌های مختلف

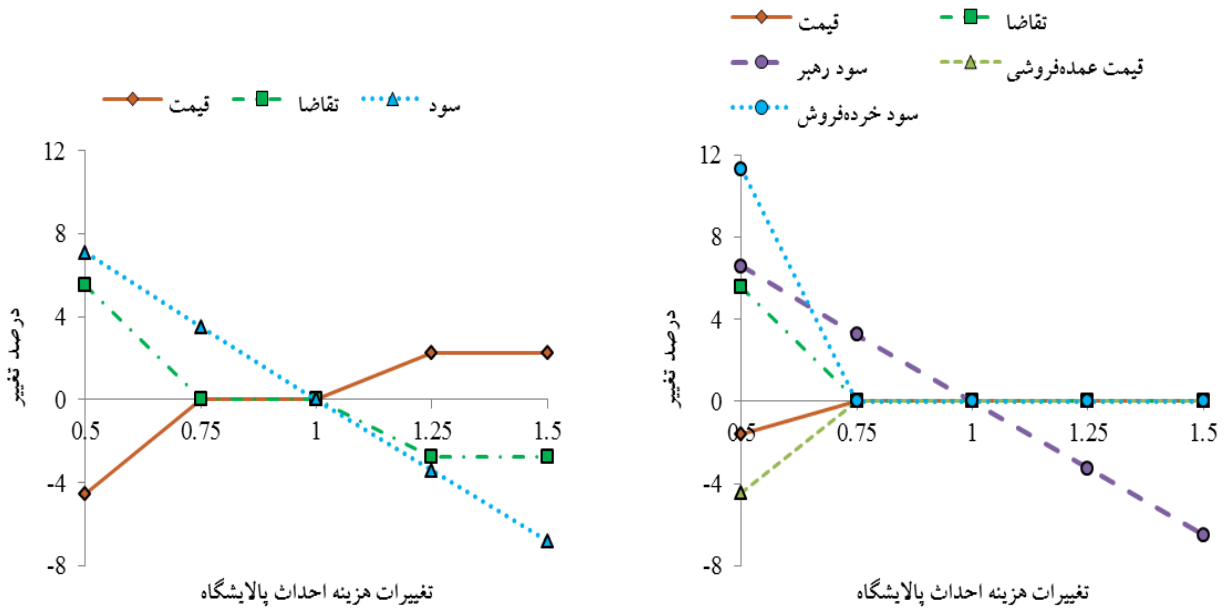


(الف) مدل غیرمتمرکز



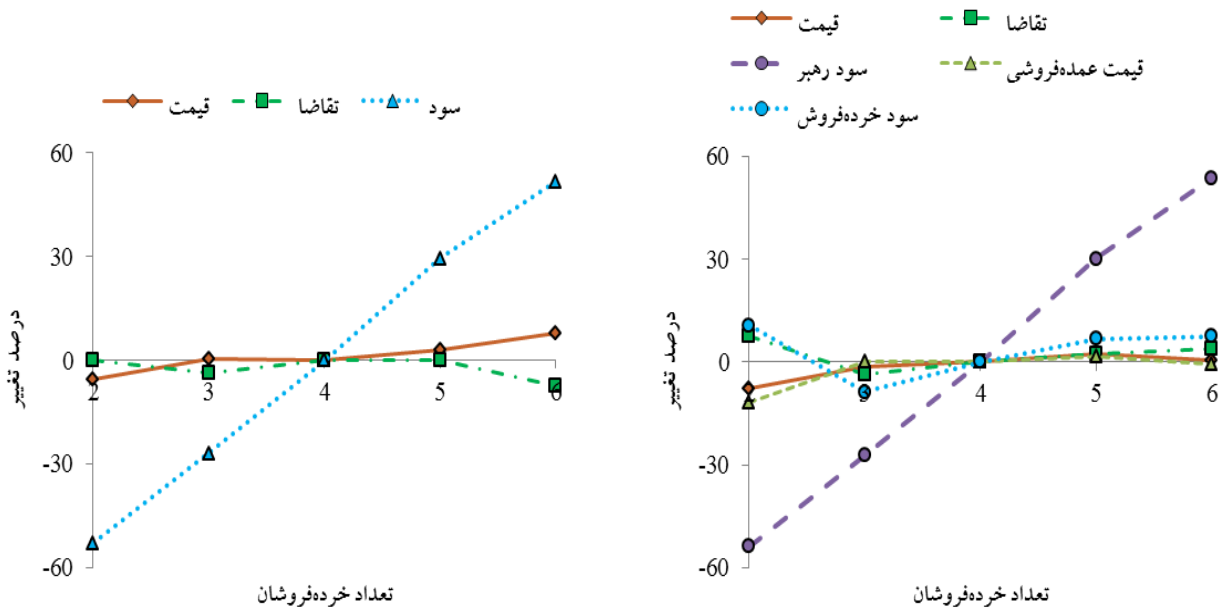
(ب) مدل متمرکز

شکل (۳): تأثیر تغییر در ضریب کششی تقاضا نسبت به قیمت خرده‌فروشی بر حسب شاخص‌های مختلف



(الف) مدل غیرمتمرکز (ب) مدل متمرکز

شکل (۴): تأثیر تغییر در هزینه احداث پالایشگاه بر حسب شاخص‌های مختلف



(الف) مدل غیرمتمرکز (ب) مدل متمرکز

شکل (۵): تأثیر تغییر در تعداد خرده‌فروشان با ثابت ماندن تقاضای بالقوهٔ بازار

شکل (۶) نشانگر بزرگ‌تر شدن بازار برای فعالیت خرده‌فروشان بیشتر است. در این شکل با افزایش تعداد خرده‌فروشان، متوسط تقاضای خرده‌فروشان افزایش نسبی خواهد داشت که این امر بدان دلیل است که تقاضای بالقوه با افزایش تعداد خرده‌فروشان افزایش می‌یابد. همچنین قیمت خرده‌فروشی و عمده‌فروشی نیز بیشینه تا ۱/۵ برابر افزایش خواهند یافت. این افزایش تعداد خرده‌فروشان، سود مدیریت مرکزی پالایشگاه‌ها را بیش از سه برابر خواهد کرد که این امر به‌دلیل افزایش حجم بازار و رقابت است. همچنین در این حالت متوسط سود

خرده‌فروشان نیز تا ۲/۵ برابر افزایش می‌یابد. در این حالت که حالت توسعه‌یافته‌ای نسبت به حالت قبل (به‌دلیل افزایش حجم بازار و رقابت) است، سود بخش خصوصی نیز افزایش چشم‌گیری خواهد داشت.

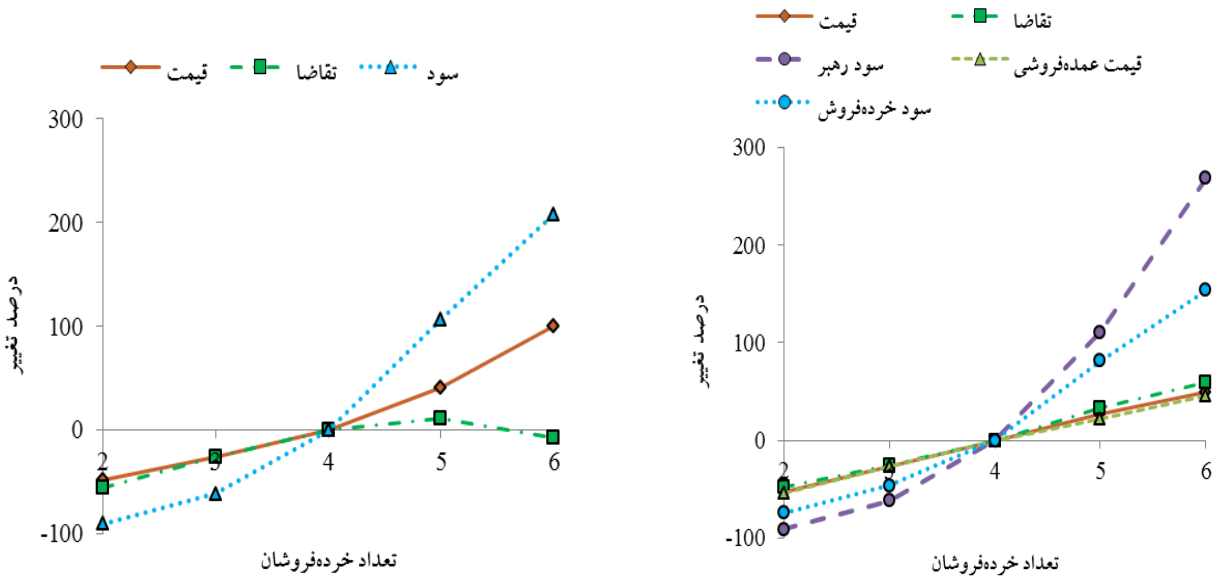
۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله، مدلی ریاضی مبتنی بر نظریهٔ بازی برای قیمت‌گذاری سوخت با مدنظر قرار دادن تصمیمات طراحی و برنامه‌ریزی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین آن ارائه شد. در این راستا مسئله در دو حالت غیرمتمرکز و متمرکز بررسی گردید. در حالت غیرمتمرکز، مسئله با استفاده از یک بازی استکلبرگ – نش یک به چند بین مدیریت مرکزی پالایشگاه‌ها در سطح اول و مجموعهٔ خرده‌فروشان در سطح دوم مدل‌سازی شد. در حالت متمرکز، نوعی همکاری عمودی بین دو سطح مورد اشاره در زنجیرهٔ تأمین سوخت مدنظر قرار گرفت و در عین حال، رقابت افقی در سطح خرده‌فروشان زنجیرهٔ تأمین نیز حفظ شد.

در ادامه و با کمک نتایج محاسباتی سعی شد تا ابعاد مختلف هریک از این رویکردها روشن گردد. بنا بر این نتایج دیده می‌شود که نوعاً مدل غیرمتمرکز در مقایسه با مدل متمرکز تمایل به احداث تعداد پالایشگاه‌های کمتری دارد. با این حال، متوسط قیمت خرده‌فروشی در حالت غیرمتمرکز به‌طور معناداری بیش از مقدار متناظر آن در حالت متمرکز است و به‌تبع آن باعث کاهش متوسط تقاضای بازار شده است. این امر می‌تواند در تعیین سیاست‌های مدیریت مصرف سوخت تأثیرگذار باشد.

بر پایهٔ نتایج حاصل از تحلیل حساسیت پارامترهای مسئله، مشاهده می‌گردد که در بازارهای با تقاضای بالقوهٔ بیشتر، سود بیشتری نصیب سطوح مختلف زنجیرهٔ تأمین خواهد شد. از طرف دیگر افزایش رقابت در بازار باعث کاهش قیمت خرده‌فروشی می‌شود. در نهایت با افزایش همزمان حجم بازار و تعداد خرده‌فروشان، شاهد افزایش متوسط قیمت عمده‌فروشی و خرده‌فروشی خواهیم بود.

در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا افزون بر وابستگی به قیمت، چند دوره‌ای نمودن مسئله، کانال مستقیم خرید از پالایشگاه‌ها توسط کارخانه‌ها به‌عنوان مادهٔ اولیهٔ تولید محصول، و سیاست‌های کاهش تقاضای مصرف‌کننده در جهت مدیریت مصرف انرژی می‌توانند موضوعات مناسبی برای مطالعات آتی باشند.



(الف) مدل غیرمتمرکز (ب) مدل متمرکز

شکل (۶): تأثیر تغییر در تعداد خرده‌فروشان با افزایش متناسب تقاضای بالقوهٔ بازار

مراجع

[۱] بهشتی‌نیا، محمدعلی، خطیبی، سید امیر محمد، «تحلیل سه سناریوی مختلف در بهینه‌سازی مصرف انرژی و زمان‌بندی در زنجیرهٔ تأمین»، نشریه مهندسی و مدیریت انرژی، دوره ۷، شماره ۱، صفحه ۳۶-۴۷، ۱۳۹۶.

[2] Azadeh, A., Shafiee, F., Yazdanparast, R., Heydari, J., Mohammadi Fathabad, A., "*Evolutionary Multi-Objective Optimization of Environmental Indicators of Integrated Crude Oil Supply Chain under Uncertainty*", Journal of Cleaner Production, Vol. 152, No. 1, pp. 295-311, 2017.

[3] Rafique, R., Mun, K. G., Zhao, Y., *Designing Energy Supply Chains: Dynamic Models for Energy Security and Economic Prosperity*", Production and Operations Management Society, Vol. 26, No. 6, pp. 1120-1141, 2017.

[4] Seddighi, A. H., Ahmadi-Javid, A., "*Integrated Multiperiod Power Generation and Transmission Expansion Planning with Sustainability Aspects in a Stochastic Environment*", Energy, Vol. 86, No. 1, pp. 9-18, 2015.

[5] Seddighi, A. H., Ahmadi-Javid, A., "*A Sustainable Risk-Averse Approach to Power Generation Planning with Disruption Risk and Social Responsibility Considerations*", Journal of Cleaner Production, Vol. 105, No. 1, pp. 116-133, 2015.

[6] Babazadeh, R., Razmi, J., Rabbani, M., Pishvaee, M. S., "*An Integrated Data Envelopment Analysis–Mathematical Programming Approach to Strategic Biodiesel Supply Chain Network Design Problem*", Journal of Cleaner Production, Vol. 147, No. 1, pp. 694-707, 2017.

[7] Castillo-Villar, K. K., Eksioglu, S., Taherkhorsandi, M., "*Integrating Biomass Quality Variability in Stochastic Supply Chain Modeling and Optimization for Large-Scale Biofuel Production*", Journal of Cleaner Production, Vol. 149, No. 1, pp. 904-918, 2017.

[8] Ghaderi, H., Pishvaee, M. S., Moini, A., "*Biomass Supply Chain Network Design: An Optimization-Oriented Review and Analysis*", Industrial Crops and Products, Vol. 94, No. 1, pp. 972-1000, 2016.

[9] Santibañez-Aguilar, J. E., Morales-Rodriguez, R., González-Campos, J. B., Ponce-Ortega, J. M., "*Stochastic Design of Biorefinery Supply Chains Considering Economic and Environmental Objectives*", Journal of Cleaner Production, Vol. 136, No. 1, pp. 224-245, 2016.

[10] Almansoori, A., Betancourt-Torcat, A., "*Design of Optimization Model for a Hydrogen Supply Chain under Emission Constraints - A Case Study of Germany*", Energy, Vol. 111, No. 1, pp. 414-429, 2016.

[۱۱] پورکاظمی، محمدحسین، نادری، رسول، حاتمی، مهدی، «**قیمت‌گذاری گاز طبیعی ایران در بخش صنعت با استفاده از مدل رمزی و روش تخمین رگرسیون فازی**»، نشریه مهندسی و مدیریت انرژی، دوره ۶، شماره ۱، صفحه ۵۲-۶۹، ۱۳۹۵.

[12] Gupta, N., Luttrell, G., Noble, A., "*Coal Micro-Pricing: Optimizing the Coal Fuel Supply Chain for Indian Thermal Power Plants*", International Journal of Coal Preparation and Utilization, 2017, DOI: 10.1080/19392699.2016.1277211

[13] Soares, J., Fotouhi Ghazvini, M. A., Borges, N., Vale, Z., "*Dynamic Electricity Pricing for Electric Vehicles using Stochastic Programming*", Energy, Vol. 122, No. 1, pp. 111-127, 2017.

[14] Liu, M.-H., Margaritis, D., Zhang, Y., "*Competition and Petrol Pricing in the Smartphone Era: Evidence from Singapore*", Economic Modelling, Vol. 53, No. 1, pp. 144-155, 2016.

[15] Neto, P. A., Friesz, T. L., Han, K., "*Electric Power Network Oligopoly as a Dynamic Stackelberg Game*", Networks and Spatial Economics, Vol. 16, No. 4, pp. 1211-1241, 2016.

[16] Moradi Nasab, N., Amin-Naseri, M. R., Jafari Behbahani, T., Nakhai Kamal Abadi, I., "*An Integrated Economic Model of Fossil Fuel Energy Planning for Government and Private Sectors*", Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, Vol. 11, No. 7, pp. 651-664, 2016.

[17] Tong, K., Gong, J., Yue, D., You, F., "*Stochastic Programming Approach to Optimal Design and Operations of Integrated Hydrocarbon Biofuel and Petroleum Supply Chains*", ACS Sustainable Chemistry & Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 49-61, 2014.

[18] Pitty, S. S., Li, W., Adhitya, A., Srinivasan, R., Karimi, I. A., "*Decision Support for Integrated Refinery Supply Chains: Part 1. Dynamic Simulation*", Computers & Chemical Engineering, Vol. 32, No. 11, pp. 2767-2786, 2008.

[19] Fiorencio, L., Oliveira, F., Nunes, P., Hamacher, S., "*Investment Planning in the Petroleum Downstream Infrastructure*", International Transactions in Operational Research, Vol. 22, No. 2, pp. 339-362, 2015.

[20] Naimi Sadigh, A., Karimi, B., Zanjirani Farahani, R., "*A Game Theoretic Approach for Two Echelon Supply Chains with Continuous Depletion*", International Journal of Management Science and Engineering Management, Vol. 6, No. 6, pp. 408-412, 2011.

[21] Naimi Sadigh, A., Chaharsooghi, S. K., Sheikhmohammady, M., "*A Game Theoretic Approach to Coordination of Pricing, Advertising, and Inventory Decisions in a Competitive Supply Chain*", Journal of Industrial and Management Optimization, Vol. 12, No. 1, pp. 337-355, 2016.

[22] Fernandes, L. J., Relvas, S., Barbosa-Póvoa, A. P., "*Strategic Network Design of Downstream Petroleum Supply Chains: Single Versus Multi-Entity Participation*", Chemical Engineering Research and Design, Vol. 91, No. 8, pp. 1557-1587, 2013.

[23] Oliveira, F., Hamacher, S., "*Optimization of the Petroleum Product Supply Chain under Uncertainty: A Case Study in Northern Brazil*", Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol. 51, No. 11, pp. 4279-4287, 2012.

[24] Najmi, A., Shakouri G., H., Nazari, S., "*An Integrated Supply Chain: A Large Scale Complementarity Model for the Biofuel Markets*", Biomass and Bioenergy, Vol. 86, No. 1, pp. 88-104, 2016.

[۲۵] اسدی، مونا، قادری، حمید، شوال‌پور، سعید، «**مدل بهینه‌سازی طراحی زنجیرهٔ تأمین سوخت زیستی تحت تقاضای خودرگرسیون برداری میانگین متحرک**»، نشریه مهندسی و مدیریت انرژی، دوره ۷، شماره ۳، صفحه ۵۲-۶۳ ، ۱۳۹۶.

[۲۶] خویشتن‌دار، سهیلا، زندیه، مصطفی، درکی، بهروز، رعنایی سیادت، سید امید، «**ارائهٔ مدل مکان‌یابی- تخصیص زنجیرهٔ تأمین چهارمرحله‌ای بیومتان (موردمطالعه: طراحی زنجیرهٔ تأمین بیومتان**

در استان خراسان رضوی)»، نشریه مهندسی و مدیریت انـرژی، دوره ۷، شماره ۳، صفحه ۶۴-۷۷ ، ۱۳۹۶.

[27] Von Stackelberg, H., "*Market Structure and Equilibrium*", Translated by Bazin, D., Urch, L., Hill, R., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

[28] Nash, J., "*Non-Cooperative Games*", Annals of Mathematics, Vol. 54, No. 2, pp. 286-295, 1951.