



فصلنامه علوم محیطی، دوره هفدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸

۳۱-۴۲

بررسی اثرهای اقتصادی و محیط زیستی بهینه‌سازی شبکه توزیع چغندر قند در زنجیره تامین شکر ایران

بریچهر نجفی^۱، مسعود فهرستی ثانی^{۱*}، محمدرضا نظری^۲ و اکرم نشاط^۱

^۱ گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، یزد، ایران
^۲ گروه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳

نجفی، پ.، م. فهرستی ثانی، م. نظری و ا. نشاط. ۱۳۹۸. بررسی اثرهای اقتصادی و محیط زیستی بهینه‌سازی شبکه توزیع چغندر قند در زنجیره تامین شکر ایران. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۲): ۳۱-۴۲.

سابقه و هدف: با توجه به هزینه‌های بالا حمل و نقل در بخش شکر تولیدی از چغندر قند مدیریت منطقی زنجیره تامین آن از اهمیت خاصی برخوردار است که می‌تواند در کاهش هزینه، کاهش آلاینده‌های هوا، مکان‌یابی تسهیلات، تحویل به موقع خدمات به نقاط تقاضا و رضایت مشتری را به همراه داشته باشند. بررسی مطالعه‌های گذشته نشان می‌دهد که بررسی‌های اندکی در زمینه بهینه‌یابی شبکه توزیع محصول‌های کشاورزی در زنجیره تامین با در نظر گرفتن تاثیر اقتصادی و محیط زیستی انجام شده است. بنابراین تحقیق حاضر به بهینه‌سازی شبکه توزیع چغندر قند از منطقه‌های تولیدی به کارخانه‌های بهره‌برداری و تصفیه چغندر قند در زنجیره تامین شکر ایران و تعیین تاثیر اقتصادی و محیط زیستی آن می‌پردازد. در این پژوهش افزون بر مقایسه هزینه‌های حمل و نقل در وضعیت توزیع موجود و بهینه، تغییرات در مصرف سوخت به ازای تغییر در توزیع چغندر قند، کاهش انتشار ناشی از اصلاح شبکه حمل و نقل و منافع اقتصادی آن در کشور نیز محاسبه شد.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر با استفاده از آمار و اطلاعات مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۳ برای ۱۰ استان تولیدکننده چغندر قند شامل آذربایجان غربی، کرمانشاه، خوزستان، فارس، یاسوج، لرستان، سمنان، قزوین، خراسان رضوی و خراسان شمالی و ۲۴ مرکز تقاضا انجام شد. این مطالعه با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی و مدل‌سازی حمل و نقل به تجزیه و تحلیل داده‌ها با بکارگیری نرم افزار GAMS پرداخت.

نتایج و بحث: نتایج اجرای برنامه بهینه حمل و نقل نشان داد اجرای برنامه پیشنهادی سبب صرفه‌جویی در هزینه‌ها به میزان ۴۳/۷ میلیارد ریال معادل ۳/۸۴ درصد شد. همچنین، نتایج اجرای برنامه بهینه حمل و نقل با در نظر گرفتن اثرهای محیط زیستی، نشان‌دهنده کاهش مصرف سوخت به میزان ۲ میلیون و ۱۷۷ هزار لیتر گازوئیل و منافع محیط زیستی حدود ۵/۷ میلیارد ریال است.

نتیجه‌گیری: بنابراین می‌توان نتیجه گرفت اجرای برنامه بهینه حمل و نقل سبب کاهش هزینه‌های حمل و نقل و کاهش مصرف سوخت شده است. بنابراین اجرای برنامه بهینه افزون بر کاهش هزینه‌های حمل و نقل و قیمت تمام شده شکر سبب کاهش آلودگی و مصرف سوخت در کشور نیز می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده، پیشنهاد می‌شود، در جریان برنامه‌ریزی حمل و نقل در زنجیره تامین شکر، از الگوی پیشنهادی در این مطالعه برای حمل و نقل چغندر قند استفاده شود، زیرا اجرای برنامه بهینه بر کاهش هزینه‌های حمل و نقل و

*Corresponding Author: *Email Address.* mfehrest@ardakan.ac.ir

کاهش مصرف سوخت فسیلی و در نتیجه بر قیمت تمام شده شکر تاثیر می‌گذارد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی حمل و نقل، برنامه‌ریزی ریاضی، مصرف سوخت، زنجیره تامین شکر

مقدمه

مهمترین بخش‌های تامین کننده ورودی‌های صنعت قند و شکر، بخش کشاورزی (مواد اولیه چغندر قند، نیشکر)، بخش صنعت (تجهیزات سرمایه‌ای)، بخش نفت (تامین انرژی)، حمل و نقل و بارزگانی (خدمات حمل) است (Behrami et al., 2015). کشاورزی به عنوان مهمترین بخش در تامین مواد غذایی دارای تاثیر اولیه و ثانویه بر محیط زیست بوده است (Keramaty Asl et al., 2013). افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان، ناشی از مصرف بی‌رویه انواع مختلف حامل‌های انرژی است. این مسئله سبب بروز پیامدهای منفی برای محیط زیست از جمله گرمایش جهانی شده و اثرهای محیط زیستی زیادی بر منطقه‌های مختلف داشته است (Ah-madi moghadam et al., 2013). شدت انرژی و میزان مصرف انرژی در کارخانه‌های قند و شکر در یک وضعیت بحرانی قرار دارد. این صنعت بدلیل زیرساخت‌های ضعیف تکنولوژی و فرسودگی این صنایع یکی از صنایع پر مصرف انرژی است. از آن جایی که تولید انرژی و استفاده از سوخت‌های فسیلی در مسئله‌های محیط زیستی از اهمیت زیادی برخوردار است، بنابراین مسئله‌های اقتصادی و محیط زیستی و تعهدات این صنعت می‌تواند حرکتی به سوی شرایط بهتر را به همراه داشته باشد. بنابراین، نیاز به پیگیری یک سیاست جدید برای تولیدکنندگان و انجام شیوه‌های انرژی نو و کارآمد برای ایجاد نظام‌های تولید پایدار و بدون اخلال در منابع طبیعی وجود دارد (Talabi and Goshaiishi, 2015). با توجه به هزینه‌های حمل و نقل بالا در بخش شکر تولیدی از چغندر قند مدیریت منطقی زنجیره تامین آن از اهمیت خاصی برخوردار است چراکه می‌تواند در کاهش هزینه، کاهش آلاینده‌های هوا، مکان‌یابی تسهیلات، تحویل به موقع سرویس به نقاط تقاضا و رضایت مشتری را به همراه داشته باشد (Hemati and Zarei, 2017). عرضه یک الگوی اقتصادی برای بهینه‌سازی حمل و نقل شکر چغندر قندی در جهت کاهش هزینه‌های مربوط، بر قیمت تمام شده این

محصول‌ها تاثیر گذار خواهد بود (Moghiseh et al., 2010). بنابراین تحقیق حاضر به تعیین وضعیت سیستم بهینه توزیع حمل و نقل زنجیره تامین شکر چغندر قندی ایران با در نظر گرفتن اثرات محیط زیست خواهد پرداخت. شناخت دقیق این زنجیره و ارزیابی شبکه حمل و نقل موجود در زنجیره چغندر قند می‌تواند سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان اقتصادی را در راستای افزایش کارایی کل سیستم یاری رساند. با توجه به اهمیت موضوع از مطالعه‌های صورت گرفته می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد. (Salaeh et al., 2009) به بهینه‌سازی پویای حمل و نقل دانه روغنی سویا در ایران پرداختند. این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهانه سال ۱۳۸۳ بمنظور تعیین برنامه بهینه حمل و نقل دانه روغنی سویا با استفاده از نرم افزار LINGO انجام شده است. نتایج نشان داد، اجرای برنامه پیشنهادی سبب ۸۷/۶۷ میلیارد ریال صرفه‌جویی اقتصادی در هزینه حمل و نقل دانه سویا شده است. (Fatahi and Hajipoor, 2017) به طراحی و بهینه‌سازی مسئله مکان‌یابی تسهیلات چند لایه‌ای چندهدفه با ملاحظه‌های محیط زیستی پرداختند. این مطالعه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح با هدف حداقل‌سازی تاثیر روی محیط زیست انجام شده است. نتایج با استفاده از حل مدل ریاضی با استفاده از رویکردهای شبیه‌سازی به دست آمده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. (Manzoor and safakish, 2011) به بررسی تاثیر سیاست‌های محیط‌زیستی و اقتصادی بر رفتار حمل و نقل شهری با رویکرد استقرایی پرداختند. این مطالعه با استفاده از تکمیل ۲۵۰ پرسش نامه از شهروندان تهرانی با استفاده از مدل تلفیقی قیاسی- استقرایی انجام شده است. نتایج نشان داد اعمال سیاست‌های فناوری محور تأثیر به‌سزایی در تغییر سهم بازار فناوری حمل و نقل، به سمت فناوری‌های آلاینده‌های پاک و کاهش انتشار دارد. (Ramezanzadeh et al., 2014) به بررسی حمل و نقل شهری، تاثیرها و راهکارهای محیط زیستی آن پرداختند. این پژوهش با استفاده از روش اسنادی- تحلیلی و با

برداشت و تعداد وسایل حمل و نقل را تعیین می‌کند تا هزینه کل را به کمترین میزان ممکن برساند. نتایج به دست آمده می‌تواند به تولیدکننده شکر و کشاورز کمک کند تا مزایای سامانه‌های طراحی مجدد را درک کنند و برای بهبود کارایی منطقی شکر و هزینه هر تن برداشت مکانیکی در تایلند از آن استفاده کنند. بررسی پژوهش‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌ها به موضوع بهینه‌یابی توزیع کالا بدون توجه به محاسبه اثرهای محیط زیستی آن پرداخته‌اند و تاکنون مطالعه‌ای در زمینه بهینه‌یابی شبکه توزیع چغندر قند در زنجیره تامین شکر ایران صورت نگرفته است. بنابراین با توجه به مصرف زیاد انرژی و وجود هزینه‌های حمل و نقل بالا در صنعت قند و شکر، مقاله حاضر به بررسی تاثیر محیط زیستی و هزینه‌ای بهینه‌سازی شبکه توزیع چغندر قند در زنجیره تامین شکر ایران با تاکید بر ملاحظه‌های محیط زیستی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی که در آن تابع هدف کمینه کردن هزینه‌های حمل و نقل چغندر قند در شبکه توزیع با در نظر گرفتن محدودیت مرکزهای ارائه و تقاضا است، می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

نحوه حمل و نقل کالا و در نظر گرفتن هزینه‌های مرتبط با آن یکی از مسئله‌های مهم در اقتصاد به شمار می‌رود. شرکت تولیدکننده‌ی چندین نوع کالا را در نظر بگیرد. کالاهای تولید شده توسط این شرکت‌ها باید در بازار مصرف توزیع شود. توزیع باید به گونه‌ای باشد که اول هزینه حمل و نقل کمترین مقدار ممکن را اختیار کند. دوم کالاها به موقع به دست مشتریان برسد. سوم به هر یک از محل‌های توزیع مقداری مناسب با نیاز آن محل توزیع، حمل شود. در عمل برنامه‌ریزی برای چنین مسئله‌ای بسیار مشکل و پیچیده است. بنابراین ضرورت طرح و مطالعه مدل ریاضی که بتوان بوسیله‌ی آن چنین مسئله‌ای را در حالت کلی مدل‌سازی کرد بطور کامل واضح است (Memariyani and Parvinroohani, 2000). در چرخه‌ی اقتصاد یک کشور، حمل و نقل عاملی است که تمامی ارکان اقتصادی از ابتدای امر تولید تا رساندن کالا به بازارهای مصرف نهایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Afsharpoor et al., 2014). حمل و نقل یکی از جزیهای

هدف بیان آثار اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی حمل و نقل در راستای اهداف توسعه پایدار و رابطه بین نظام‌های حمل و نقل و اثرهای محیط زیستی آن انجام شده است. نتایج بصورت بیان راه حل‌های منطقی و قابل استفاده در شهرها بیان شد. Hemati and Zarei (2017) به شناسایی و اولویت بندی مولفه های موثر مدیریت منطقی زنجیره تامین در شبکه‌های حمل و نقل با رویکرد تحلیل شبکه فازی (مطالعه موردی: شرکت پخش فرآورده های نفتی منطقه فارس) پرداختند. این مطالعه با استفاده از روش نظری فازی به شناسایی عامل‌های موثر و باروش TOPSIS فازی به اولویت بندی مولفه‌های موثر مدیریت منطقی زنجیره تامین در شبکه‌های حمل و نقل با محوریت شرکت پخش فرآورده‌های نفتی انجام شد. نتایج نشان داد، در میان مولفه های هشتگانه، زمان پاسخ‌گویی و خدمت رسانی بیشترین اهمیت را دارا بوده است و بکارگیری مدیریت اصولی منطقی زنجیره تامین توانسته کمک شایانی در صنعت حمل و نقل ایفا کند. همچنین مدیریت موثر زنجیره تامین در شبکه‌های حمل و نقل و تبیین ارتباطات باعث کاهش هزینه و آلاینده‌های هوا می‌شود. Fioroni et al. (2013) به مدل‌یابی منطقی شکر نیشکری از مزرعه تا کارخانه پرداختند. این مطالعه با ۳۲ متغیر ورودی، ۳۹ متغیر خروجی، ۹۲ متغیر کمکی، ۱۹ جدول ورودی و ۲۴۰ روز با استفاده از ابزار شبیه‌سازی SIMIO با هدف بیان الگوریتم‌ها و روش‌های مدل‌سازی مرحله‌های مختلف حمل و نقل شکر، از مزرعه‌های نیشکر تا ورود به آسیاب انجام شده است.

Sahfi and Elhedhli (2015) به طراحی زنجیره تامین سرد با در نظر گرفتن ملاحظه‌های محیط زیستی (رهیافت بهینه‌سازی شبیه‌سازی) پرداختند. این مطالعه با استفاده از مدل دوگان عدد صحیح مخلوط با هدف کاهش هزینه‌های حمل و نقل، موجودی، انبار و کاهش گرمای جهانی انجام شد. نتایج نشان داد اجرای برنامه پیشنهادی سبب کاهش هزینه‌ها و کاهش گرمای جهانی شده است.

Vorasayan and Pathumnakul (2016) به بررسی سیستم منطقی بهینه، ساز و کار برداشت شکر نیشکری، تایلند پرداختند. این مطالعه با استفاده از داده‌های سال ۲۰۱۲-۲۰۱۱ با هدف کمینه کردن هزینه‌ها انجام شده است. مدل بهینه‌سازی پیشنهادی تعداد کامیون‌های مورد نیاز در هر

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} = \bar{S}_i \quad i = 1, 2, \dots, I \quad (۴) \quad \text{محدودیت عرضه}$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} = \bar{D}_j \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (۵) \quad \text{محدودیت تقاضا}$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (۶) \quad \text{محدودیت نامنفی بودن}$$

که در این روابط:

i : نشانگر منطقه عرضه چغندر قند که شامل منطقه‌های تولیدی و مبادی ورودی می‌شود. J : نشانگر منطقه تقاضاکننده چغندر قند است X_{ij} : مقدار چغندر قند حمل شده از منطقه عرضه i ام به منطقه مصرفی j ام (برحسب تن) C_{ij} : هزینه حمل یک تن چغندر قند از منطقه عرضه i ام به منطقه مصرفی j ام (برحسب ریال) \bar{S}_i : مقدار تولید و عرضه چغندر قند منطقه i ام (برحسب تن) \bar{D}_j : مقدار تقاضای چغندر قند منطقه مصرفی j ام (برحسب تن) F : کرایه حمل هر تن محصول (ریال). c : هزینه بارگیری، تخلیه و ضایعات پسمان‌های محصول (ریال). f : کرایه حمل هر تن محصول - کیلومتر (ریال). d : مسافت (کیلومتر).

همان طور که از تابع هدف پیداست هدف حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل از مراکزهای تولیدی چغندر قند به مقصدهای مصرفی خواهد بود، جهت رسیدن به چنین هدفی الگو با محدودیت‌های عرضه، تقاضا و نامنفی بودن مقدار چغندر قند قابل حمل همراه است (Enger et al., 2014).
 بمنظور محاسبه‌ی تفاوت هزینه‌ها حمل و نقل در حالت وضعیت موجود و حالت بهینه از رابطه (۷) استفاده می‌شود.

مهم اقتصاد ملی محسوب می‌شود و به دلیل داشتن نقش زیربنایی، تاثیر فراوانی بر فرآیند رشد اقتصادی کشور دارد (www.rmta.ir). مسئله‌ی شبکه توزیع را می‌توان با استفاده از الگوی حمل و نقل برنامه‌ریزی خطی مدل بندی کرد. مطالعه شبکه حمل و نقل شامل شبکه انتقال محصول از مراکزهای تولید به مراکزهای توزیع و مصرف است (Ghezel Jahromi et al., 2008). در سال ۱۹۴۱ اولین بار هیچکاک^۱، مدل حمل و نقل را توسعه داد. سپس دانتریگ^۲ در سال (۱۹۶۳) از شیوه‌ی حمل و نقل ساده، بعنوان نخستین شیوه‌ی حمل و نقل ساده استفاده کرد (Enger et al., 2014). یکی از ابتدایی‌ترین و سودمندترین برنامه کاربردهای روش برنامه‌ریزی خطی، تنظیم مدل و حل مسئله حمل و نقل در قالب یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی است (Salaeh et al., 2009). هدف اصلی در این مطالعه یافتن یک سیستم مناسب توزیع کالا می‌باشد به نحوی که هزینه حمل و نقل ارسال مقادیر مختلف کالا از نقاط مبدا به نقاط مقصد به کمترین مقدار ممکن کاهش یابد. جهت کمینه کردن هزینه حمل و نقل چغندر قند در کشور در سال ۱۳۹۳، مدل ریاضی زیر پیشنهاد می‌شود.

تابع هدف:

$$Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{ij} X_{ij} \quad \text{Min} \quad (۱)$$

$$C = c + F \quad (۲)$$

$$F = f.d \quad (۳)$$

Subject to:

جدول ۱- ضریب انتشار CO₂ از مصرف سوخت فسیلی (دستور کار تجدید نظر شده IPCC سال ۱۹۹۶ سال)
 Table 1. CO₂ emission factor from fossil fuel consumption (revised IPCC guidelines 1996)

نوع سوخت Fuel type	CO ₂ (g/Liter)	CO ₂ (Kg/Gj = Gg/Pj =Kton/Pj)
گاز طبیعی Natural gas	1897.9	55.820
گاز مایع LPG	1624.6	62.436
بنزین Gasoline	2289.8	68.607
نفت سفید Kerosene	2610.8	71.148
گازوئیل Gas oil	2684.7	73.326
روغن سنگین Heavy oil	3001.3	76.539

بر حسب مگاژول از داده‌های تهیه شده در گزارش‌های IPCC سال ۱۹۹۶ استفاده شده است. بر اساس این اطلاعات مقدار انتشار معادل CO₂ به دست آمده از مصرف هر لیتر گازوئیل معادل ۲۶۸۴/۷ گرم تعیین شده است (جدول ۱).

۲- ارزش‌گذاری منافع به دست آمده از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای: در مرحله دوم، پس از محاسبه کاهش میزان انتشار ناشی از صرفه جویی در مصرف سوخت (بر اساس برآورد مرحله اول)، منافع اقتصادی کاهش انتشار برآورد شده است. به عبارتی دیگر تعیین شده است که هر تن کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای چقدر منفعت اقتصادی دارد. ارزش اقتصادی کاهش انتشار هر تن دی اکسید کربن دست کم می‌تواند معادل قیمت مبادله‌ای کربن در بازار جهانی باشد. قیمت جهانی هر تن دی اکسید کربن در سال ۲۰۱۴ حدود ۳۰ دلار گزارش شده است. با ضرب این قیمت در میزان کل کاهش انتشار دی اکسید کربن، کل منافع محیط‌زیستی ناشی از اصلاح و بهینه‌سازی شبکه حمل و نقل چغندر قند محاسبه شده است.

مطالعه حاضر با استفاده از آمار و اطلاعات مرکز آمار ایران و دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهادکشاورزی در سال ۱۳۹۳ برای ۱۰ استان تولیدکننده آذربایجان غربی، کرمانشاه، خوزستان، فارس، یاسوج، لرستان، سمنان، قزوین، خراسان رضوی و خراسان شمالی و ۲۴ مرکز تقاضای چغندر قند (کارخانه‌های بهره برداری و تصفیه قند و شکر)، انجام شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار GAMS صورت گرفته است.

نتایج و بحث

در این مطالعه بمنظور به تعیین نظام توزیع بهینه حمل و نقل در زنجیره تامین شکر چغندر قندی ایران ابتدا به بررسی هزینه حمل، بارگیری و تخلیه شکر، بررسی وضعیت موجود این صنعت، سپس به بررسی وضعیت بهینه پرداخته خواهد شد. هر منطقه تولیدکننده چغندر قند بعنوان یک نقطه‌ی عرضه و کارخانه‌های قند و شکر چغندر قندی بعنوان نقاط تقاضا کننده مطرح است. برای بررسی وضعیت حمل و نقل چغندر قند و بهینه‌سازی هزینه‌های مربوط به

$$\Delta C = \sum C_{ij} X_{ij} - \sum C_{ij}^* X_{ij}^* \quad (7)$$

که در آن:

ΔC : تغییر در هزینه حمل و نقل به ازای تغییر در شبکه توزیع از وضع موجود به حالت بهینه

X_{ij} : میزان توزیع چغندر قند از منطقه عرضه I ام به منطقه مصرفی J ام (بر حسب تن) در وضعیت موجود.

X_{ij}^* : میزان توزیع چغندر قند از منطقه عرضه I ام به منطقه مصرفی J ام (بر حسب تن) در وضعیت بهینه.

C_{ij} : هزینه حمل یک تن چغندر قند از منطقه عرضه I ام به منطقه مصرفی J ام (بر حسب ریال) در وضعیت موجود.

بمنظور محاسبه‌ی تغییر در مقدار مصرف سوخت، در بخش حمل و نقل چغندر قند در وضعیت‌های موجود و بهینه از رابطه (۸) استفاده می‌شود.

$$\Delta K = \sum p[X_{ij} \times d_{ij}] - \sum p[X_{ij}^* \times d_{ij}] \quad (8)$$

که در آن:

ΔK : تغییر در سوخت مصرفی به ازای تغییر در شبکه توزیع از وضع موجود به حالت بهینه.

p : متوسط میزان لیتر مصرف یک تن - کیلومتر بار جاده‌ای است.

X_{ij} : میزان توزیع چغندر قندی از منطقه عرضه I ام به منطقه مصرفی J ام (بر حسب تن) در وضعیت موجود.

X_{ij}^* : میزان توزیع چغندر قندی از منطقه عرضه I ام به منطقه مصرفی J ام (بر حسب تن) در وضعیت بهینه.

d_{ij} : مسافت (کیلومتر) بین منطقه عرضه I ام و منطقه تقاضای J ام.

پس از محاسبه میزان صرفه جویی در سوخت ناشی از بهینه‌سازی شبکه حمل و نقل، برای بررسی اثرهای محیط زیستی و ارزش‌گذاری اقتصادی این منافع دو مرحله به شرح زیر طی شده است.

۱- محاسبه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای: میزان کاهش انتشار ناشی از کاهش مصرف سوخت (گازوئیل) در مدل بهینه حمل و نقل نسبت به شرایط فعلی، ابتدا ارزش حرارتی سوخت گازوئیل بر حسب مگاژول بر تن تعیین و در مقدار انتشار معادل CO₂ ضرب شده است. ارزش حرارتی سوخت گازوئیل

جدول ۲- توزیع چغندر قند از مراکزهای عرضه داخلی به کارخانه‌های چغندر قندی در وضعیت موجود (هزار تن)
Table 2. Distribution of beet from domestic supply centers to sugar beet factories in existing condition
 (thousand tons)

R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1	
									304.541	P1
									312.232	P2
									239.129	P3
				33.296	39.372	354.610	293.819	544.518	665.363	P4
									332.602	P5
								65.254		P6
								15.227		P7
							15.227			P8
						155.000				P9
						149.392				P10
					11.628					P11
				137.000						P12
			84.358							P13
	55.427	82.067	8.148	89.704						P14
		0.3								P15
	175.018									P16
	43.315									P17
	66.313									P18
	95.159									P19
	225.313									P20
	73.525									P21
	53.088									P22
	95.159									P23
84.500	33.590									P24

اساس استان مبدأ منتشر شده است، ضرب کرده و بعنوان میانگین کرایه حمل هر تن چغندر قند منطقه‌های عرضه به منطقه‌های تقاضا در نظر گرفته شد. سپس هزینه بارگیری، تخلیه و پسماندهای محصول معادل ۲۰۳۰ ریال به ازای هر تن به هزینه‌های حمل محاسبه شده اضافه شد. در نتیجه هزینه‌های حمل، بارگیری و تخلیه یک تن چغندر قند تصفیه شده از منطقه‌های تولید چغندر قند تا کارخانه‌های تصفیه چغندر قندی به دست آمد. جدول (۲) توزیع چغندر قند از

آن از آمار و اطلاعات مربوطه در سال ۱۳۹۳ استفاده شده است. برای تدوین مدل ابتدا، هزینه‌های حمل، بارگیری و تخلیه یک تن چغندر قند تصفیه شده از کارخانجات قند و شکر چغندر قندی تا مراکزهای مصرف (ریال) محاسبه شد. برای محاسبه هزینه‌های حمل و نقل از مراکزهای عرضه تا مراکزهای تقاضا، فاصله مناطق مورد نظر را در کرایه هر تن کیلومتر به ریال که در سالنامه آماری سازمان راه‌داری حمل و نقل جاده‌ای وزارت راه و شهرسازی برای سال ۱۳۹۳، بر

جدول ۳- توزیع چغندر قند از استان تولید کننده و وارد کننده به کارخانجات شکر چغندر قندی در حالت بهینه (هزار تن)
Table 3. Distribution of sugar beet from the producer and importer province to sugar beet mills in optimal state
 (thousand tons)

R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1
			63.574		51	189.703	0.263		P1
				260			52.231		P2
							104.324	134.805	P3
								409.713	1521.265 P4
									332.602 P5
								65.254	P6
								15.227	P7
							15.227		P8
						155			P9
						149.392			P10
						11.627			P11
							137		P12
	55.426		28.931						P13
		82.367				152.979			P14
						0.3			P15
175.018									P16
43.315									P17
66.313									P18
95.159									P19
225.313									P20
73.525									P21
53.088									P22
95.159									P23
84.500	33.590								P24

۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳ تامین کرده‌اند. استان فارس، نیاز خود را از کارخانجات ۹ و ۱۰ و استان کرمانشاه، نیاز خود را از کارخانجات ۶ و ۷ تامین کرده است. بمنظور کاهش هزینه‌های حمل و نقل و افزایش کارایی کل زنجیره و با در نظر گرفتن مرکزهای تقاضاکننده و عرضه کننده جدول (۳) توزیع چغندر قند از استان تولید کننده و وارد کننده به کارخانجات در حالت بهینه (تن) را نشان می‌دهد. بر اساس جدول (۳) نتایج تعیین توزیع بهینه چغندر قند از

مرکزهای عرضه داخلی به کارخانجات در وضعیت موجود (تن) را نشان می‌دهد.

ردیف‌ها در جدول (۲) کارخانجات قند و شکر چغندر قندی و ستون‌ها نیز مرکزهای تولید چغندر قند در سال ۱۳۹۳ است. استان‌های آذربایجان غربی، خراسان رضوی، فارس، کرمانشاه عمده‌ترین تولیدکننده‌ها هستند. بر این استان آذربایجان غربی، نیاز خود را از کارخانجات ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ تامین کرده است. خراسان رضوی نیاز خود را از کارخانجات

جدول ۴- مقایسه هزینه‌های حمل و نقل، بارگیری تخلیه و انبارداری چغندر قند توزیع شده از مراکزهای عرضه به مراکزهای در وضعیت‌های موجود و بهینه تقاضا

Table 4. Transportation costs, loading and unloading of beet distributed from supply centers to demand centers between existing and optimal situations

میزان کاهش (درصد) Reduction rate (percent)	حالت بهینه (میلیون ریال) Optimum mode (million rails)	وضع موجود (میلیون ریال) Current situation (million rails)	هزینه Cost
3/84	1131107.401206	1174750.630670	

جدول ۵- مقایسه مصرف سوخت مورد نیاز برای توزیع چغندر قند در کشور در دو حالت وضعیت موجود و بهینه
Table 5. Comparison of fuel consumption for distribution of sugar beet in the country between existing and optimal conditions

میزان کاهش (درصد) Reduction rate (percent)	حالت بهینه (لیتر) Optimum mode (liters)	وضع موجود (لیتر) Current situation (liters)	هزینه Cost
2.4	89818780	91995745	

جدول ۶- محاسبه منافع محیط زیستی ناشی از بهینه سازی شبکه حمل و نقل چغندر قند
Table 6. Calculation of the environmental benefits of optimizing the sugar beet transportation network

منفعت زیست محیطی (ریال) Environmental benefit (rials)	کاهش انتشار CO ₂ (تن) Reduction of CO ₂ emissions (tons)	مصرف گازوئیل کاهش یافته (لیتر) Reduced gasoline consumption (liters)	هزینه Cost
5733452475	5844	2176965	

تن - کیلومتر بار جاده‌ای در نظر گرفته شد. در جدول (۶) نتایج محاسبه منافع محیط زیستی ناشی از کاهش انتشار کربن بر اساس روش بیان شده در بخش مواد و روش‌ها نشان داده شده است. در واقع اصلاح و بهینه‌سازی شبکه حمل و نقل چغندر قند در زنجیره تامین شکر، از جنبه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ارزشی حدود ۵/۷ میلیارد ریال منافع محیط زیستی دارد. بنابراین در کل منافع محیط زیستی ناشی از کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و منفعت به‌دست آمده از کاهش هزینه حمل و نقل حدود ۴۹/۴ میلیارد ریال محاسبه می‌شود.

نتیجه‌گیری

تلاش در جهت کاهش هزینه‌های حمل و نقل در بخش شکر تولیدی از چغندر قند و مدیریت منطقی زنجیره تامین آن از اهمیت خاصی برخوردار است، چرا که توزیع غیر بهینه سبب

مراکزهای عرضه به کارخانجات قند و شکر چغندر قندی در حالت بهینه گزارش شده است. در این حالت توزیع به شکلی صورت می‌گیرد که کم‌ترین هزینه ممکن برای تامین نهاد توسط کارخانجات قند و شکر چغندر قندی صورت بگیرد. جدول (۴) مقایسه هزینه‌های حمل و نقل، بارگیری تخلیه و انبارداری چغندر قند توزیع شده از مراکزهای عرضه به مراکزهای تقاضا در وضعیت‌های موجود و بهینه (ریال) بیان شده است. با توجه به نتایج جدول (۴) اجرای برنامه پیشنهادی سبب صرفه جویی در هزینه‌ها به میزان ۴۳/۷ میلیارد ریال برابر ۳/۸۴ درصد شده است. نتایج محاسبه تاثیر کاهش مصرف سوخت در وضعیت‌های موجود و بهینه در جدول (۵) نشان شده است. براساس نتایج جدول (۵) اجرای برنامه پیشنهادی سبب کاهش مصرف سوخت به میزان حدود ۲ میلیون و ۱۷۷ هزار لیتر گازوئیل برابر با ۲/۴ درصد شده است. برای محاسبه اثرات کاهش مصرف سوخت، میزان ۶۹ لیتر به ازای یک هزار

موثر زنجیره تامین در شبکه‌های حمل و نقل و تبیین ارتباطات سبب کاهش هزینه و آلاینده‌های هوا می‌شود. Manzoor and Safakish (2011) در پژوهش خود اشاره کردند که اجرای سیاست‌های فناوری محور تأثیر به‌سزایی در تغییر سهم بازار فناوری‌های حمل و نقل، به سمت فناوری‌های پاک و کاهش انتشار آلاینده‌ها دارد. Sahfi and Elhedhli (2015) در بررسی که انجام دادند، به این نتیجه دست‌یافتند که اجرای برنامه پیشنهادی سبب کاهش هزینه‌ها و کاهش گرمای جهانی شده است. Salaeh *et al.* (2009) به این نکته اشاره کردند که اجرای برنامه پیشنهادی سبب ۸۷/۶۷ میلیارد ریال صرفه‌جویی اقتصادی در هزینه حمل و نقل دانه سویا شده است. بنابراین اجرای برنامه بهینه‌سازی حمل و نقل بر کاهش هزینه‌ی حمل و نقل و قیمت تمام شده محصول چغندر قند و در نتیجه قیمت تمام شده شکر به جهت محیط زیستی نیز منجر به افزایش رفاه عموم جامعه می‌شود. بنابراین دولت می‌تواند سیاست‌های حمایتی در جهت بهینه‌سازی توزیع محصول‌ها در کشور وضع و اجرا کند. اجرای این سیاست‌ها در ابتدا ممکن است بار مالی بلحاظ برقراری ضوابط اجرایی داشته باشد، ولی بدلیل صرفه‌جویی‌های ناشی از کاهش مصرف سوخت و کاهش هزینه‌های حمل و نقل، انجام این اقدام‌ها را توجیه می‌کند.

پی‌نوشت‌ها

¹Hitchcock

²Dantzig

افزایش تاثیرهای جانبی اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی می‌شود. حرکت به سمت ایجاد شبکه توزیع بهینه در زنجیره تامین، افزون بر کاهش هزینه‌های حمل و نقل (تاثیرهای جانبی اقتصادی برای تولیدکننده و مصرف‌کننده ناشی از کاهش هزینه و در نتیجه قیمت تمام شده محصول) کاهش مصرف سوخت (کاهش انتشار آلودگی و تاثیرهای جانبی محیط زیستی) را هم به دنبال دارد. همچنین بهینه‌سازی سامانه حمل و نقل، تحویل به موقع خدمات به نقاط تقاضا و در نتیجه رضایت مصرف‌کننده را به نیز همراه دارد. بنابراین در تحقیق حاضر، ابتدا ارزیابی وضعیت موجود توزیع چغندر قند در زنجیره تامین شکر و شرایط بهینه آن پرداخته شد، سپس افزون بر محاسبه تاثیر اقتصادی ناشی از بهینه‌سازی شبکه حمل و نقل (کاهش هزینه‌های حمل و نقل)، تاثیرات محیط زیستی (کاهش مصرف سوخت) نیز اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده از اجرای برنامه بهینه، سبب کاهش هزینه‌های حمل و نقل به میزان حدود ۴۳/۷ میلیارد ریال معادل ۳/۸۴ درصد شده است. همچنین با اجرای این برنامه مصرف سوخت به میزان ۲ میلیون و ۱۷۷ هزار لیتر گازوئیل معادل ۲/۴ درصد کاهش می‌یابد که حدود ۵/۷ میلیارد ریال منافع محیط زیستی دارد. بنابراین در کل منافع محیط زیستی ناشی از کاهش انتشار دی‌اکسید کربن و منفعت به‌دست آمده از کاهش هزینه حمل و نقل حدود ۴۹/۴ میلیارد ریال محاسبه می‌شود. Hemati and Zarei (2017) در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند، مدیریت منطقی زنجیره تامین می‌تواند کمک شایانی در صنعت حمل و نقل ایفا کند. همچنین مدیریت

منابع

Afsharpoor, M., Mehrabi Bashar Abadi, H. and Pahlavani, M., 2014. The effect of development of transport infrastructure on agricultural sector value. *Journal of Agricultural Economics Research*. 6(2), 115-134. (In Persian with English abstract).

Ahmadi Moghadam, M., Ghodrati, S. and Jaafarzadeh Haghighi Fard, N., 2013. CO₂ and CH₄ emission estimation using emission factors from sugarcane development company. *Journal of Health Research*. 55, 12-20. (In Persian with English abstract).

Behrami, M., Ensari, K. and Honarvar, M., 2015. Determination of the color coordinates of imported sugarcane samples by spectrophotography and their correlation with some qualitative characteristics. *Journal of Food Science and Technology*. 13(55), 69-79. (In Persian with English abstract).

Dantzig, G.B., 1963. *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press. New Jersey, USA.

Engr. D., Uzorh, A.C. and Nnanna, I., 2014. Supply chain

- management optimization problem. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. 3(6), 2319-1813.
- Fatahi, P. and Hajipoor, V., 2009. Designing and optimizing the problem of locating multi-layered multidimensional multifunctional objects with environmental considerations. *Journal of Industrial Engineering and Production Management*. 28(2), 207-218. (In Persian with English abstract).
- Fioroni, M.M., Silva, D.J. and Franzese, L., A. 2013. Modeling the sugar cane logistics from farm to mill. In *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 8th-11th December, Washington, USA.
- Ghezel Jahromi, S., Mohammadi, H. and Sadeghi, H., 2008. Application of transportation programming model in sugar industries in Fars Province. *Journal of Sugar Beet*. 24(2), 109-127. (In Persian with English abstract).
- Hemati, M.A. and Zarei, M., 2017. Identification and prioritization of factors effecting the supply chain logistics management in transportation networks using fuzzy network analysis approach (A case study: National Iranian Oil Refining and Distribution-Fars zone). *International Conference on 4th Environmental Planning and Management*, 23th – 24th May, Tehran.
- Keramaty asl, M.S., Marzban, A. and Kazemi, N., 2013. Study of some environmental impacts of sugar production system in Khuzestan. *First Conferences on New Finding in Environment and Agricultural Ecosystems*, 11th September, Tehran.
- Manzoor, D. and Safakish, K., 2011. The impacts of environmental and economic policies on urban transportation behavior with the inductant approach of the case study of Tehran. *Journal of Economic Modeling Research*. 1(4), 171-187. (In Persian with English abstract).
- Memariyani, A. and parvinroohani, M.A., 2000. Commodity scheduling model with fuzzy parameters. *Management Knowledge*. 13(49), 3-11. (In Persian with English abstract).
- Moghiseh, S., Peykani, Gh.R. and Saleh, A., 2010. Dynamic optimization of sunflower oil transportation in Iran. *Agricultural Economics*. 3(4), 121-137. (In Persian with English abstract).
- Paiva, R. and Morabito, R., 2009. An optimization model for the aggregate production planning of a Brazilian sugar and ethanol milling company. *Annals of Operations Research*. 169, 117–130.
- Ramezanzadeh, H.A., Molaei, A.R. and Molaei, A.M., 2014. Urban transport, its environmental impacts and impacts. In *Proceedings First National Conference on Urban Planning Urban Mangement and Sustainable Development*, 26th February, Tehran.
- Saifi, A. and Elhedhli, S., 2015. Cold supply chain design with environmental considerations: A simulation-optimization approach. *European Journal of Operational Research*. 251(1), 274-287.
- Salaeh, A., Peykani, Gh.R. and Moghiseh, S., 2009. Dynamic optimization of the transportation of soybean seeds in Iran. *Agricultural Economics and Development*. 18(70), 1-18 (In Persian with English abstract).
- Talabi, S.A. and Goshaishi, H.R., 2015. Analysis of the problems of sugar industry in Iran and comparison of production and imports in Iran and the world. *Second National Conference on Science and Technology*. 15th December, Tehran.
- Vorasayan, J. and Pathumnakul, S., 2016. Optimal logistics system for sugarcane mechanical harvesting in Thailand. *Journal of Applied Science and Agriculture*. 9(15), 28-35.





Environmental Sciences Vol.17/ No.2 / Summer 2019

31-42

Investigation of economic and environmental impacts of optimization of sugar beet distribution network in Iran's sugar supply chain

Parichehr Najafi,¹ Masoud Fehrest-Sani,^{1*} Mohammad Reza Nazari² and Akram Neshat¹

¹Agricultural Economics Department, Agriculture and Natural Resource Faculty, Ardakan University, Ardakan, Yazd, Iran

²Environment and Natural Resources Economics Department, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2017.12.23 Accepted: 2018.03.04

Najafi, P., Fehrest-Sani, M., Nazari, M. and Neshat, A., 2019. Investigation of economic and environmental impacts of optimization of sugar beet distribution network in Iran's sugar supply chain. *Environmental Sciences*. 17(2): 31-42.

Introduction: Considering the high transportation costs of sugar market (produced by sugar beet), the logistic management of its supply chain is of particular importance, which can reduce costs as well as air pollutants, and help with locating facilities, on-time delivery of services and customer satisfaction. Up until now, few studies have been conducted on the optimization of the distribution network of agricultural products in the supply chain, taking into account the economic and environmental impacts. Therefore, the present study aimed to optimize the sugar beet's distribution network from production areas to refineries in Iran's sugar supply chain and determine its economic and environmental impacts. In this study, in addition to comparing transport costs in the current and optimal distribution situation, changes in fuel consumption per shift in sugar beet's distribution, reduced emissions due to the reform of the transportation network and its economic benefits in the country were also evaluated.

Material and methods: The present study was carried out using data obtained from Iran's statistics center in 2014 for 10 provinces producing sugar beet's sugar, including Western Azerbaijan, Kermanshah, Khuzestan, Fars, Yasuj, Lorestan, Semnan, Qazvin, Khorasan Razavi, and northern Khorasan and 24 demand centers. This study used a linear programming model to consider the simple transport model to analyze the data using GAMS software.

Results and discussion: The implementation results of optimal transportation plan showed that the implementation of the proposed program decreased the costs of about 4.5 billion USD, equivalent to 3.84%. Also, the implementation results of the

*Corresponding Author: *Email Address*. mfehrest@ardakan.ac.ir

optimal transportation plan considering the environmental impacts indicated two million and 177 thousand liters reduction of gasoline and 5.7 billion rials increase in environmental benefits.

Conclusion: It can be concluded that implementing an optimal transportation plan may reduce transportation costs as well as environmental pollution. Therefore, implementation of an optimal plan resulted in the reduction of transportation costs and consequently, on the final price of sugar. Based on results, it is suggested that, during transportation planning in the sugar supply chain, the proposed model in this study should be used for sugar beet transport.

Keywords: Transport modeling, Mathematical programming, Fuel consumption, Sugar supply chain..