



طراحی شبکه تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت

مطالعه موردی: کالاهای اساسی

حامد پورعلیخانی^{۱*}، بهمن نادری^{۲**} و علیرضا ارشدی خمسه^{*}

^{*}گروه مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، تهران

^{**}گروه مهندسی صنایع، دانشگاه وینسور، کانادا

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱

چکیده: در این مقاله یک زنجیره تأمین حلقه بسته دوهدفه با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی استوار امکانی بر اساس مطالعه موردی تحت بررسی قرار گرفته است. هدف این مقاله کمینه سازی هزینه و زمان تحویل محصولات به مشتری است. مطالعه موردی در یک هلدینگ روغن نباتی به‌عنوان تحلیلی از صنعت روغن نباتی کشور ایران و با ارائه چالش‌های داخل کشور انجام شده و سعی شده است که با مدلی با ارائه راهکارهای مناسب توسعه یابد. بزرگ‌ترین چالش این صنعت وابستگی بالا به سایر کشورها در تأمین مواد اولیه و دانه‌های روغنی است. بر این اساس عوامل زیادی ناشی از نوسانات نرخ ارز، تحریم‌ها، قوانین و بخشنامه‌های دولتی، تعرفه گمرکی، روند عرضه و تقاضا و غیره در تصمیم‌گیری قطعی نتایج آن، تأثیر دارند. از این رو داده‌ها در این مقاله به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند و از رویکرد برنامه‌ریزی استوار امکانی جهت حل مدل مسئله استفاده شده است. رویکرد حلی نیز جهت تصمیم‌گیری در مورد دو هدفه بودن تابع هدف ارائه شده که در آن مدیران بتوانند به‌راحتی در مورد فرایندهای پیچیده این صنعت تصمیم‌گیری کنند. در نهایت نتایج مدل و آنالیز حساسیتی برای صحت‌گذارند بر مدل ارائه شده است و به‌صورت مثال‌ها و تحلیل‌های کاربردی بر اساس شرایط کشور ایران بومی‌سازی شده است.

واژه‌های کلیدی: کالای اساسی، زنجیره تأمین حلقه بسته، چند هدفه، برنامه‌ریزی استوار امکانی.

رده‌بندی ریاضی (۲۰۱۰): ۹۰C۷۰، ۹۰C۹۰، ۹۰C۲۹، ۹۰C۱۵، ۴۹M۳۰.

۱- مقدمه

شرکت‌های تولیدکننده کالاهای اساسی یک زنجیره پیچیده‌ای از تنوع تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان (بنکداران) و مشتریان نهایی است. مطالعه بر روی این کالاها از آن جهت اهمیت دوچندان می‌یابد که این کالاها چندین ویژگی منحصربه‌فرد دارند. اول آن که سود (سود ناویژه) پایین، تقاضای بالای آن‌ها و حساسیت شدید آن به قیمت از ویژگی‌های اصلی آن‌ها است. این دو ویژگی برخی نتایجی در پی خود دارد که تمایز آن را از بین سایر کالاها مشخص می‌نماید. در این نوع کالاها کمبود مواد اولیه و تولید، زمان تحویل به مشتری از یک‌سو، و هزینه‌های بالاسری، هزینه‌های عملیاتی، هزینه خرید مواد اولیه از سوی دیگر در نگاه‌داشت یا از دست دادن مشتری نقش پررنگی دارد. بدین منظور که اگر یک کالای اساسی که مخصوص یک شرکت است در یک‌زمان خاص به هر یک از دلایل فوق وجود نداشته باشد و یا با قیمت بالا عرضه شود، مشتری به‌راحتی محصول آن شرکت را با محصول رقبا جایگزین می‌کند. کالاهای اساسی معمولاً به کالاهایی از جمله لبنیات، شوینده، روغن نباتی، غلات، شکر اطلاق می‌شود. بنابراین نیازمند آن است که تمامی مواد ارائه‌شده که ناشی از واحدهای خرید، تولید، توزیع و پشتیبانی است در قالب یک زنجیره تأمین طراحی گردد. بنابراین لازم است کارایی و اثربخشی آن از مطالعه موردی به زنجیره تأمین سوق پیدا کند. در این مقاله سعی شده است تا با رویکرد استراتژیک در کنار برنامه‌های تاکتیکی در مورد اهداف غایی صنعت کالاهای اساسی تصمیم‌سازی شود. کالاهای اساسی معمولاً به کالاهایی از جمله لبنیات، شوینده، روغن نباتی، غلات، شکر اطلاق می‌شود. تاکنون مقالات بسیاری عموماً با طرح موضوعات قیمت‌گذاری، بازاریابی، تبلیغات و تولید منتشر شده است. به‌عنوان مثال چالش‌ها و ارائه متدولوژی در زنجیره تأمین کالای اساسی توسط برخی محققان مطالعه شده است [۱] و [۲]. کومار [۳] کارایی زنجیره تأمین‌های صنعت کالاهای اساسی را بررسی نموده است. در این مطالعه سه مدل عملیاتی زنجیره تأمین با هم مقایسه شده است و با تعریف یک شاخص SCOR برای کالاهای اساسی در دو گروه محصول، کارایی و مقبولیت هر کدام را به تصویر می‌کشد. یک ارزیابی تجربی شامل معیارهای تأثیرگذار برای خلق ارزش و تحلیل داده‌های ده پیرو صنعت کالاهای اساسی توسط برندنبورگ [۴] تحقیق گردید. این مطالعه رویکرد معیار سنجی و یک جریان نقدی تخفیفی را بر پایه مدلی مبتنی بر کوانتینیزه کردن ارزش‌ها ارائه نمود. دیهل و اسپینلر [۵] مدیریت ریسک را در زنجیره تأمین کالاهای اساسی وارد نمودند و به تفسیر آن مبادرت ورزیدند. همچنین لازم است ذکر گردد تاکنون مطالعات گسترده‌ای نیز بر روی تأثیر فناوری شناسایی فرکانس رادیویی بر فرایندهای اصلی زنجیره تأمین کالاهای اساسی

انجام شده است [۶. ۷]. بوتانی تأثیر اثر شلاقی تقاضا را بر چنین زنجیره‌ای مورد مطالعه قرار داده است. تاکنون این مقالات عمدتاً در زمینه کالاهای اساسی غیر خوراکی بیان شده است در حالی که مقالات دیگری نیز وجود دارند که صنایع کالای اساسی را از منظر مواد خوراکی مورد آنالیز قرار داده‌اند [۸. ۹]. مقاله گیمنز فرایند ادغامی لجستیکی را در صنعت مواد غذایی آنالیز نموده است. نتایج نشان می‌دهند که شرکت‌ها قبل از شروع کردن هر ادغامی با بیرون سازمان می‌بایست به یک حد بالایی از همکاری میان عملکردهای داخلی برسند [۱۰]. والنسلندر زنجیره تأمین کالاهای اساسی را با تمرکز بر اقلام خوراکی بر کانال‌های فروش اینترنتی پیشنهاد داد. نتایج در قالب هزینه‌های توزیع بر کانال‌های مختلف توزیع آنالیز شده است. به علاوه، فشارهای رقابتی در بازار منجر با این شده است که سازمان‌ها بر طراحی شبکه لجستیک‌شان در قالب یک شبکه روبه‌جلو بازگشتی تمرکز داشته باشند. از این رو، زنجیره معکوس از مشتریان نهایی شروع شده است و توسط کانال‌های جمع‌آوری، تصمیم‌گیری راجع به فروش اقلام بازگشتی و یا بازتولید آن انجام می‌شود [۱۱]. اگرچه تحقیقات نسبتاً کمی در این زمینه انجام گرفته است ولی تفاوت اغلب آن‌ها در کاربرد صنعت‌شان می‌باشد. از آنجایی که همیشه مشتری برای کالاهای اساسی وجود دارد، نقش تأمین‌کننده و توزیع‌کننده در این زنجیره بیش‌ازپیش مهم تلقی می‌شود. در واقع ریسک‌هایی که به تأمین‌کننده وارد می‌شود در مقالات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است [۱۲]. کریستوفر [۱۳] و مانوج [۱۴] ریسک‌هایی را که در زنجیره تأمین به تولیدکننده از طریق تأمین‌کننده وارد می‌شود شامل زمان تحویل، کیفیت، درصد خرابی و زمان حمل‌ونقل وارد می‌شود، تحلیل نمودند. لازم است اضافه گردد که تاکنون هیچ‌کدام از مقالات پیشین ریسک تأمین‌کننده و توزیع‌کننده را به صورت توأمان در مدل قالب یک مدل زنجیره تأمین روبه‌جلو بازگشتی در نظر نگرفته است.

روغن نباتی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین کالاهای اساسی در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. به‌علاوه بر اساس آمار منتشر شده از انجمن روغن نباتی جمهوری اسلامی ایران حدود ۱.۵ میلیون تن روغن نباتی با سرانه مصرف ۱۹ کیلوگرم در سال به‌عنوان یکی از کالاهای اساسی مهم در کشور ایران در نظر گرفته می‌شود. این نکته اشاره می‌شود که با وجود این حجم تولید، تنها ۵ درصد از مواد اولیه در داخل کشور تأمین می‌گردد و مابقی در قالب روغن خام یا دانه روغنی وارد می‌شوند. به‌عبارت‌دیگر، سرانه مصرف سالانه آن حدود ۱۹ کیلوگرم است (معادل سالانه ۵۰ بیلیون ریال) که تنها کم‌تر از یک کیلوگرم آن در کشور تولید می‌شود و مابقی آن از طریق کانال‌های واردات به کشور تأمین می‌گردد. در حالی که سهم تولید دانه‌های روغنی در ۵۰ سال گذشته بیش از ۹۰٪ بوده است. در حال حاضر تولیدکنندگان به‌دلایلی از جمله قیمت، کیفیت، زمان تحویل، تأمین‌کنندگان و ... مواد اولیه خود را از داخل یا خارج از کشور تأمین می‌کنند. علی‌رغم این که تمامی زیرساخت‌ها اعم از شرایط آب‌وهوایی کشت،

نیروی انسانی، منابع طبیعی و ظرفیت بالای کارخانه‌های روغن‌کشی و بسته‌بندی در کشور وجود دارد ولی متأسفانه یک سیستم یک‌پارچه و نظام‌مند تعریف‌شده، که هزینه زنجیره را به‌صورت توأمان بهینه سازد، وجود ندارد.

ابتدا به بررسی اولیه صنعت پرداخته و مباحث چالشی و راهکارهای پیشنهادی آن در ادامه مطرح می‌شود. عدم تولید داخلی دانه‌های روغنی در کشور به عدم تمایل کشاورزان به کشت آن‌ها به دلایل نامساعد بودن وضع دانه‌های روغنی، پایین بودن قیمت محصول، هزینه‌های بالای کارگری، کاشت دیگر محصولات، جایگزینی واردات دانه با ریسک کم‌تر، و عدم حمایت دولت از تولید ملی مربوط می‌شود. در چنین شرایطی معمولاً واسطه‌گران صنعت در دو قسمت شروع و پایان زنجیره تأمین روبه‌جلو سود قابل‌توجهی کسب می‌کنند که شامل تأمین دانه‌های روغنی از طریق واردات و فروش روغن نباتی است. در صورتی که اگر زنجیره به‌صورت یک‌پارچه و از منظر کارخانه‌ها مورد ملاحظه قرار بگیرد، بخش اعظم مشکلات ناشی از عدم تولید داخلی حل خواهد شد. لذا در این قسمت مدل‌سازی علاوه بر نگرش سایر اهداف مسئله از جمله بهینه‌سازی هزینه، کوتاه‌شدن زمان تحویل برای مشتری نهایی جهت تأمین بخشی از دانه روغنی، رویکرد تعیین قیمت تضمینی برای کشاورزان پیشنهاد می‌شود و همچنین جهت حذف واسطه‌گری‌های فروش نیز از احداث مراکز توزیع توسط کارخانه در قالب یک زنجیره تأمین کلی ملاحظه می‌گردد. علاوه بر آن بر اساس ماهیت روغن نباتی که قابلیت بازیافت دارد، وجود بخش اعظم کالاهای بازگشتی که می‌تواند در مراکز بهبود و بازیافت مجدداً وارد چرخه فروش گردد، نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. همان‌طور که در بالا ذکر شد، نظر به این که مورد مطالعه کالاهای اساسی است و یکی از ویژگی‌های بارز آن حضور مداوم محصولات در بازار است، لذا کارخانه‌ها در دو مرکز توزیع و تأمین می‌بایست با حداقل زمان تحویل مواجه شوند. پس نیاز به حضور توابع هدفی برای انتخاب تأمین‌کنندگان از بین واردات مستقیم، یا خرید از واسطه‌گران داخلی و یا خرید از کشاورزان از یک‌سو، و کمینه کردن زمان تحویل به مشتریان از سوی دیگر اجتناب‌ناپذیر است که در مدل مسئله با توجه به در نظر گرفتن شرایط و پارامترهای خاص بازار کشور مورد ملاحظه قرار گرفته است. همچنین اضافه می‌گردد که با بررسی سایت گوگل اسکولار و سیویلیکا طی سالیان گذشته، در نظر داشتن مورد کالای اساسی با مفروضات این مسئله مطالعه نشده است و موردی تنها به رابطه متغیرهای کالای اساسی با روش‌های حل رگرسیون و همبستگی متغیرها ملاحظه شده است. ضمناً در مورد خاص صنعت روغن نباتی کشور در قالب زنجیره تأمین نیز تاکنون مطالعه‌ای انجام نشده است.

با توجه به شرایط مسئله حاضر، تصمیم‌گیری‌ها راجع به برآورد داده‌هایی از جمله میزان عرضه، تقاضا، ظرفیت‌ها، قیمت‌های تضمینی پیشنهادی به کشاورزان و فروش محصولات نهایی، و هزینه‌های ثابت و متغیر مرتبط با مراکز، در شرایط قطعی امکان‌پذیر نیست؛ چراکه نادیده

گرفتن آن ممکن است به ارائه جواب‌های نادقیق منجر شود. نکته آنجا است که در شرایط واقعی، داده‌های سری زمانی کافی برای مدل‌سازی پارامترهای عدم قطعیتی به صورت تصادفی مقدور نیست و همچنین با وجود شرایط تحریم در کشور ایران و همچنین این که مواد روغن خام اولیه و تجهیزات و ماشین‌آلات به شدت به سایر کشورها وابسته است. لذا به ناچار مجبور می‌شویم که داده‌های مسئله را به صورت عدم قطعیت تعریف کنیم و به سمت روش حل‌های غیرقطعیتی برویم. با توجه به تجربه کافی نویسندگان مقاله حاضر در صنعت روغن نباتی کشور و همچنین ارتباط سازنده با مدیران ارشد شرکت‌های مطرح روغن نباتی ایران (از جمله دبیر انجمن روغن نباتی، دبیر انجمن مارگارین، شرکت بهشهر، مارگارین، کشت و صنعت شمال و ماهیدشت و کوروش)، یک تخمین معقول برای این چنین پارامترهای عدم قطعیتی اغلب بر اساس نظر خبرگان تهیه و تدارک می‌شود. در حقیقت، این نظرات اغلب بر اساس تجربه، عقیده حرفه‌ای و احساسات آن‌ها اخذ می‌شود. بر این اساس، این پارامترها را می‌توان از طریق تئوری امکان به عنوان مکمل تئوری احتمال فرموله کرد. لذا، یک توزیع امکان مناسب می‌تواند برای مدل‌سازی هر داده‌ی استوار، در قالب یک عدد فازی مثلثی یا دوزنقه‌ای در نظر گرفته شود. بنابراین در این مقاله از رویکرد برنامه‌ریزی استوار امکانی جهت حل مسئله‌ای با این اعداد غیرقطعیتی استفاده شده است. برنامه‌ریزی استوار امکانی از چند جهت اهمیت ویژه‌ای می‌یابد که هم ویژگی‌های استوار را دارا است و هم برای شرایطی که در داده‌ها عدم قطعیت وجود دارد کارا است. در واقع برنامه‌ریزی استوار یک روش ریسک‌گریز جهت رویارویی با عدم قطعیت در بهینه‌سازی مسئله ارائه می‌کند که هم بهینگی و هم شدنی بودن آن را به صورت هم‌زمان ارضا می‌کند. از آنجایی که تغییرات امکانی پارامترهای غیرقطعیتی در طول افق بلندمدت جهت اخذ تصمیمات استراتژیک وجود دارد، رویکرد برنامه‌ریزی استوار نقش حیاتی در این گونه مسائل بازی می‌کند. به دلیل ماهیت غیرقطعیتی داده‌ها در دنیای واقعی، ارائه رویکردهای مناسب جهت توسعه مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، بر اساس داده‌های غیرقطعیتی ضروری است؛ زیرا در مسائل دنیای واقعی تغییر ناگهانی یکی از داده‌ها، هزینه‌های بالایی بر سیستم وارد می‌کند و راه حل به دست آمده را غیرموجه و غیربهینه می‌سازد. با توجه به ماهیت عدم قطعیتی داده‌ها، رویکردهای مختلفی برای برخورد با این عدم قطعیت‌ها وجود دارد. رویکرد برنامه‌ریزی استوار، که رویکرد جدیدی جهت مواجهه با عدم قطعیت است به دنبال ارائه راه حلی است که در مقابل عدم قطعیت داده‌ها استوار باشد. یک جواب استوار، به‌ازای تمامی پارامترهای دارای عدم قطعیت، موجه است و مقدار تابع هدف آن، حداقل انحراف را از مقدار بهینه خود دارد.

از بین بسیاری از روش‌های برنامه‌ریزی استوار مختلف، در این مقاله از برنامه‌ریزی محدودیت‌های تصادفی استوار برای توسعه مدل استوار استفاده شده است. در این روش تصمیم‌گیرندگان قادرند یک حداقل سطوح اطمینانی برای محدودیت‌های استوار مسئله جهت

نیل به جواب‌های قابل‌اتکای استوار تعیین کنند. جهت تطبیق مدل پیشنهادی در مطالعه موردی صنعت روغن نباتی این نکته حائز اهمیت است که با توجه به ریسک‌گریز بودن مدل و داشتن حداقل سطوح اطمینان کاربرد بسیاری در تضمین سودآوری کالاهای اساسی پیدا می‌کند. رویکردهای مختلف بهینه‌سازی استوار، سطوح متفاوتی از محافظه‌کاری را تأمین می‌کنند که این رویکردها به سه دسته رویکرد بدبینانه سخت، رویکرد بدبینانه نرم و رویکرد واقع‌گرایانه تقسیم می‌شود. هرچه سطح محافظه‌کاری بالاتر (بدبینانه سخت) باشد، مقدار تابع هدف، از مقدار بهینه فاصله بیش‌تری می‌گیرد. انتخاب از میان این مدل‌ها باید بر اساس حساسیت مبحث موردنظر صورت گیرد. ترکیب روش‌های بهینه‌سازی، منجر به بهره‌مندی از مزایای روش‌های مختلف می‌شود. ترکیب مدل‌های بهینه‌سازی استوار با سایر رویکردهای مقابله با عدم قطعیت منجر به بهره‌مندی از نقاط قوت رویکردهای مختلف می‌شود. در این مقاله به جهت کاربرد، از رویکرد استوار واقع‌گرایانه استفاده شده است.

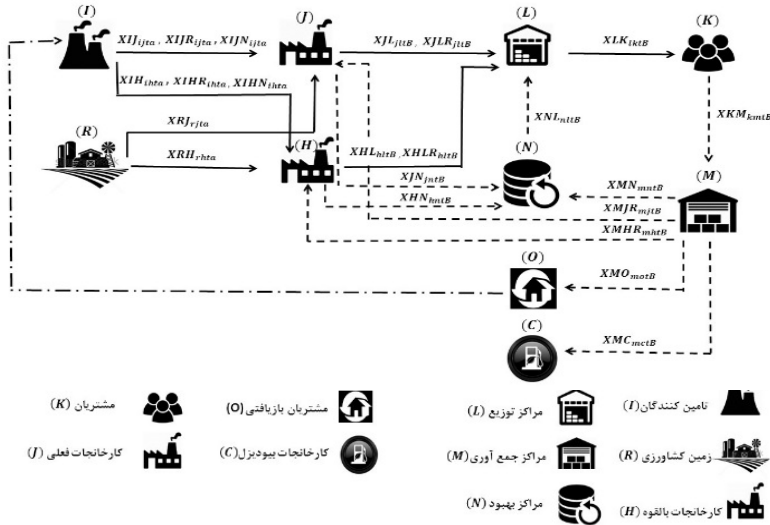
مقالاتی از روش برنامه‌ریزی فوق در مواجهه با مطالعات موردی درزمینه‌ی اهدا پیوند عضو و جمع‌آوری خون [۱۵، ۱۶]، یک شرکت بافندگی اروپایی [۱۷]، زنجیره تأمین گوشت در انگلستان [۱۸]، زنجیره تأمین اقلام دارویی و بیمارستانی [۱۹، ۲۰]، و سیستم تأمین برق شهری [۲۱] مطالعه نمودند. این مقالات از روش برنامه‌ریزی محدودیت‌های تصادفی استوار بر اساس پارامترهای غیرقطعی موجود در ذات مسئله بهره جستند. تمامی این مقالات مطالعه خود را بر روی زنجیره تأمین روبه‌جلو انجام دادند و تاکنون این روش برنامه‌ریزی برای زنجیره حلقه بسته توسعه داده نشده است. با توجه به پیچیدگی ذاتی مقاله حاضر، توسعه مدل به صورت دو هدفه و در قالب یک زنجیره تأمین حلقه بسته، و این که در شرایط واقعی قرار دارد، مدل‌سازی مسئله را پیچیده‌تر ساخته است. همچنین مدل‌سازی با در نظر گرفتن ابزارهای بازاریابی و تحلیل کاربردی کلان آن، دیدگاه دیگری در دنیای واقعی به مخاطب خواهد داد. ضمناً بررسی بازار روغن نباتی به‌عنوان یکی از کالاهای اساسی در دنیا است که با توجه به ویژگی‌های ذاتی این نوع محصولات، تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است. در نهایت هدف این مسئله بهینه‌سازی هزینه و کمینه‌سازی زمان تحویل کالا به مشتری، در یک زنجیره تأمین حلقه بسته است که با کمک مدل‌سازی بر اساس شرایط واقعی مسئله و یک رویکرد استوار پیشنهادی حل شده است. بر اساس ویژگی‌های مسئله حاضر که پارامترهای غیرقطعی با اعداد فازی دارند یک رویکرد استوار امکانی برای رویارویی با عدم قطعیت در شبکه تأمین دوهدفه حلقه بسته کالاهای اساسی پیشنهاد شده است که قادر است در یک طراحی شبکه روبه‌جلو و بازگشتی ادغام شود، ریسک زمان تحویل مشتریان را کاهش دهد و عدم قطعیت را در

این‌گونه زنجیره تأمین‌ها وقتی که داده‌های سری زمانی کافی وجود ندارد، مدیریت کند. به-علاوه، یک عدم قطعیتی در ارزش‌های واقعی در پارامترهای کلیدی شامل تقاضا، هزینه‌های ثابت و متغیر، ظرفیت‌ها و هزینه‌های حمل‌ونقل وجود دارد که در دسترس نبودن آن‌ها به واسطه‌ی ذات غیرقطعی بودنشان می‌بایست توسط نظرات خبرگان تخمین زده شود. این مقاله همچنین تصمیمات استراتژیک و راهبردی شرکت را در یک مدل چندمحصولی چندزمانه در نظر دارد. ادامه این مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است. تعریف مدل و ارائه مدل ریاضی آن در بخش دوم ارائه می‌گردد. مدل برنامه‌ریزی استوار امکانی پیشنهادی در بخش سوم گردآوری شده است. در بخش چهارم روش‌های حل مدل پیشنهادی در صنعت روغن نباتی در کشور ایران آمده است و در بخش پنجم تحلیل‌های حساسیت کاربردی این صنعت با لحاظ-کردن شرایط کشور ایران ارائه می‌گردد. نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیقات آتی در بخش ششم بررسی خواهد شد.

۲- تعریف مسئله و مدل‌سازی

در این مقاله صنعت روغن نباتی به‌عنوان یکی از کالاهای اساسی برای یک هلدینگ تولیدکننده روغن نباتی در کشور ایران مورد چالش قرار گرفته است. این مقاله سعی دارد راه‌حل‌های بهینه‌ای بر اساس نوع و شرایط مسئله شامل تولید مواد اولیه در داخل کشور، کوتاه کردن زنجیره تأمین، و کمینه‌سازی هزینه‌های مرتبط با صنعت ارائه کند. همان‌طور که قبلاً ذکر گردید، کالاهای اساسی ویژگی منحصر به فردی شامل قیمت مناسب و حضور پایدار دارند. به‌عبارت‌دیگر مشتریان این کالاها به راحتی می‌توانند کالاهای موردنیاز خود را از طریق محصولات رقبا جایگزین کنند. لذا حضور پایدار در این بازار از این جهت اهمیت پیدا می‌کند که نداشتن آن موجب از دست دادن مشتریان و کاهش سهم بازار می‌شود. یکی از راه‌کارها برای داشتن بازاری پایدار بهره‌جستن از کانال‌های توزیع موی‌رگی است که در حال حاضر در این هلدینگ از ارسال مستقیم استفاده می‌شود. مورد دوم در نظر داشتن مراکز کاشت دانه روغنی است که تا حد امکان ریسک وابستگی به کشورهای تولیدکننده آن کاهش پیدا کند. کارخانه‌ها می‌توانند مواد اولیه روغن خود را از زمین‌های کشاورزی، واسطه‌ها و یا مستقیماً از خارج تأمین کنند. سایر ملزومات بسته‌بندی موردنیاز شامل قوطی، پلاستیک و کارتن به صورت داخلی تأمین می‌گردد. فقدان تولید داخلی دانه‌های روغنی به عدم تمایل کشاورزان به دلیل قیمت فروش آن است. لذا در این بخش با تعیین قیمت تضمین‌شده از خریدار سعی شده است که به رشد و احیای این صنعت کمک شود. در این شرایط تصمیم‌گیری راجع به تخمین داده‌های تأمین، تقاضا، ظرفیت، هزینه‌های ثابت و متغیر امکان‌پذیر نیست؛ چون در نظر نداشتن آن‌ها

موجب نتایج نادقیق مسئله می‌شود. نکته آنجا است که در شرایط واقعی داده‌های سری زمانی کافی برای طراحی مدل پارامترهای نامشخص وجود ندارد. بنابراین یک تخمین معقولانه برای این چنین پارامترهایی بر اساس نظر خبرگان و رویکرد برنامه‌ریزی استوار امکانی استفاده شده است.



شکل (۱): زنجیره تأمین صنعت روغن نباتی

در جریان روبه‌جلو، مواد اولیه‌ای که توسط تأمین‌کننده تأمین می‌گردد، به کارخانه‌های فعلی و کارخانه بالقوه و از آن‌پس به مراکز توزیع ارسال می‌گردد. سپس به مشتریان نهایی که در استان‌های کشور ایران حضور دارند بر اساس تقاضایشان ارسال می‌گردد. در جریان معکوس کالاهای برگشتی توسط مراکز جمع‌آوری شده، انبار می‌شود و پس از بازرسی یکی از تصمیمات زیر اتخاذ می‌گردد: (۱) کالاهایی که دچار دفرمه شدن کارتن، بطری، برچسب و یا نشستی جزئی باشند به مراکز بهبود و پس از بهبود به مراکز توزیع ارسال می‌شوند. (۲) کالاهایی که ساخت آن‌ها دچار مشکل بوده و استانداردها را رعایت نمودند و یا آن‌هایی که تاریخ مصرفشان به اتمام رسیده است برای بازیافت به کارخانه و سپس به مراکز توزیع ارسال می‌شوند. (۳) روغن در کالاهایی که قابلیت بازیافت ندارند به مراکز بیودیزل جهت ساخت سوخت پاک ارسال می‌گردند. (۴) تمامی قوطی‌ها و بطری‌های این محصولات که از پلاستیک، کارتن و یا فلز تشکیل شده‌اند به مراکز بازیافت مخصوص خود ارسال می‌شوند. در این رساله به‌جز محصولات روغنی که در کارخانه بازیافت می‌شود، سایر محصولات بازیافتی نیز به مراکز بازیافت خارج از

زنجیره تأمین به فروش می‌رسد. البته نکته آنجا است که این محصولات دوباره به صورت غیرمستقیم از طریق این مراکز بازیافت و تأمین‌کنندگان به زنجیره مسئله وارد می‌گردد که با خط نقطه‌چین نمایش داده شده است. در این بخش یک مدل دو هدفه که تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی شرکت را در زنجیره تأمین حلقه بسته با هدف کمینه‌سازی تابع هدف و زمان تحویل به مشتری نهایی طراحی شده است. در ادامه به نشانه‌گذاری شاخص‌ها، متغیرها و پارامترهای مدل می‌پردازیم.

	هزینه ثابت احداث مراکز
FL_i	مراکز توزیع
FM_m	مراکز جمع‌آوری
FN_n	مراکز بهبود
FJ_{jg}	کارخانه‌های فعلی با ظرفیت جدید g
FH_{he}	کارخانه‌های بالقوه با ظرفیت e

	هزینه‌های حمل‌ونقل محصول B (یا a) در دوره t
TIJ_{ijta}	از تأمین‌کننده به کارخانه موجود
TIH_{ihta}	از تأمین‌کننده به کارخانه بالقوه
TJL_{jltB}	از کارخانه به مراکز توزیع
TLK_{iktB}	از مراکز توزیع به مشتریان
TKM_{kmtB}	از مشتریان به مراکز جمع‌آوری
TMN_{mntB}	از مراکز جمع‌آوری به بهبود
TNL_{nltB}	از مراکز بهبود به مراکز توزیع
TMH_{mhtB}	از مراکز جمع‌آوری به کارخانه‌ها
TJN_{jntB}	از کارخانه موجود به بهبود
THN_{hntB}	از کارخانه بالقوه به مراکز بهبود
THL_{hltB}	از کارخانه‌های بالقوه به توزیع
TRJ_{rjta}	از زمین کشاورزی به ک موجود
TRH_{rhta}	از زمین کشاورزی به ک بالقوه
TMJ_{mjtB}	از مراکز جمع‌آوری به کم‌وجود

	پارامترها: بیشترین ظرفیت مراکز
$CAPAJ_{jBg}$	کارخانه موجود با ظرفیت جدید
$CAPJ_{jBg}$	ظرفیت کارخانه‌های موجود
$CAPL_{lB}$	ظرفیت مراکز توزیع
$CAPM_{mB}$	ظرفیت مراکز جمع‌آوری
$CAPH_{hBe}$	ظرفیت کارخانه بالقوه
$CAPN_{nB}$	ظرفیت مرکز بهبود

	متغیرهای °، ۱، اگر مرکز بالقوه باز بود ۱ و غیر °.
XH_{he}	کارخانه بالقوه با ظرفیت e

	شاخص‌های کاندید به‌ازای $\pi \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$	
m	مراکز جمع‌آوری	i تأمین‌کنندگان
n	مراکز بهبود	j کارخانه‌های فعلی
o	مراکز بازیافت	h کارخانه‌های بالقوه
r	زمین کشاورزی	l مراکز توزیع
B	محصولات	g ظرفیت فعلی کارخانه‌ها
t	دوره زمانی	e ظرفیت بالقوه کارخانه
k	مشتریان محصول	a انواع مواد اولیه
		c مشتریان بی‌دیزل

	پارامترها: هزینه‌های متغیر B (یا مواد اولیه a) در دوره t	
CI_{ita}	هزینه‌های خرید از تأمین‌کنندگان	
CJ_{jtB}	هزینه تولید در کارخانه فعلی	
CL_{ltB}	هزینه‌های توزیع	
CIR_{ita}	هزینه خرید از تأمین‌کننده جهت بازیافت	
CJR_{jtB}	هزینه بازیافت در کارخانه فعلی	
CHR_{htB}	هزینه بازیافت کارخانه بالقوه	
CMF_{mtB}	هزینه مرکز جمع‌آوری برای کارخانه بالقوه	
CMJ_{mtB}	هزینه مرکز جمع‌آوری برای کارخانه موجود	
CM_{mtB}	هزینه جمع‌آوری	
CH_{htB}	هزینه تولید کارخانه بالقوه	
CR_{rta}	قیمت تضمینی خرید از کشاورز	
CN_{itB}	هزینه بهبود	
CIN_{ita}	هزینه خرید از تأمین‌کننده بابت بهبود	
CHN_{htB}	هزینه تولید کارخانه بالقوه برای مراکز بهبود	
CJN_{jtB}	هزینه تولید کارخانه موجود مراکز بهبود	

	متغیرها: مقدار مواد اولیه a یا محصول B که حمل می‌شود	
XLK_{iktB}	از مراکز توزیع به مشتریان	

XJ_{jg}	کارخانه موجود با افزایش ظرفیت g	$XMHR_{mhtB}$	از جمع آوری به کارخانه‌های بالقوه بازیافتی
XL_l	مراکز توزیع	XRH_{rhta}	از زمین کشاورزی به کارخانه بالقوه
XM_m	مراکز جمع آوری	XMC_{mctB}	از مراکز جمع آوری به مشتری بیودیزل
XN_n	مراکز بهبود	XMO_{motB}	از مراکز جمع آوری به مشتری بازیافتی
پارامترها: سایر			
γ_{aB}	در صد مواد اولیه a در محصول B	XJN_{jntB}	از کارخانه موجود به مراکز بهبود
LBB_{tB}	حدافل میزان سفارش B جهت ارسال	XHN_{hntB}	از کارخانه بالقوه به مراکز بهبود
$\lambda_{(t-1)B}$	درصد کالاهای بازگشتی	$XIJN_{ijta}$	از تأمین کنندگان به ک موجود کالابهبودی
τ_{jtB}	متوسط زمان تحویل محصول پس از خرید دانه یا روغن خام	$XIHN_{ihnta}$	از تأمین کنندگان به ک بالقوه کالا بهبودی
ρ_a	درصد وجود روغن در دانه روغنی a	$XIJR_{ijta}$	از تأمین کننده به کارخانه موجود بازیافتی
DK_{ktB}	مشتری k برای کالای B دوره (t)	XRJ_{rjta}	از زمین کشاورزی به کارخانه موجود
$DK_{k(t-1)B}$	تقاضای مشتری k برای کالای B در دوره $(t-1)$	XIJ_{ijta}	از تأمین کننده به کارخانه موجود
φ_1	درصد کالای برگشتی به مراکز بهبود	XJL_{jltB}	از کارخانه موجود به مراکز توزیع
φ_2	درصد کالا برگشتی به بیودیزل	XKM_{kmtB}	از مشتری به مراکز جمع آوری
φ_3	درصد کالای برگشتی به کارخانه‌های	XMN_{mntB}	از مراکز جمع آوری به بهبود
		XNL_{nltB}	از مراکز بهبود به مراکز توزیع
		$XHLR_{hltB}$	از ک بالقوه به مراکز توزیع کالاها بازیافتی
		XHL_{hltB}	از کارخانه بالقوه به مراکز توزیع
		$XJLR_{jltB}$	از ک موجود به مراکز توزیع کالا بازیافتی
		XIH_{ihnta}	از تأمین کنندگان به کارخانه‌های بالقوه
		$XIHR_{ihnta}$	از تأمین کنندگان به ک بالقوه (بازیافتی)
		$XMJR_{mjtB}$	از مراکز جمع آوری به ک موجود ازیافتی

با نشانه‌گذاری‌های فوق، مدل پیشنهادی به صورت زیر فرموله شده است. همان‌طور که مشخص است تابع دو هدفه است که هدف اول و دوم به ترتیب کمینه‌سازی هزینه و زمان تحویل به مشتری است. هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت استقرار کارخانه‌های مراکز بهبود، توزیع، جمع آوری و هزینه‌های متغیر و حمل‌ونقل آن‌ها است.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z_1 = & \sum_r FR_r * XR_r + \sum_m FM_m * XM_m + \sum_l FL_l * XL_l + \sum_n FN_n \\
 & * XN_n \\
 & + \sum_h \sum_e FH_{he} * XH_{he} + \sum_j \sum_g FJ_{jg} * XJ_{jg} + \\
 & \sum_i \sum_j \sum_t \sum_a (CI_{iat} + TIJ_{ijta}) * XIJ_{ijta} + \\
 & \sum_i \sum_h \sum_t \sum_a (CI_{iat} + TIH_{ihnta}) * XIH_{ihnta} +
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_r \sum_j \sum_t \sum_a (CR_{rta} + TRJ_{rjta}) * XRJ_{rjta} + \\
 & \sum_r \sum_h \sum_t \sum_a (CR_{rta} + TRH_{rhta}) * XRH_{rhta} + \\
 & \sum_j \sum_l \sum_t \sum_B (CJ_{jtB} + TJL_{jltB}) * XJL_{jltB} + \\
 & \sum_h \sum_l \sum_t \sum_B (CH_{htB} + THL_{hltB}) * XHL_{hltB} + \\
 & \sum_l \sum_k \sum_t \sum_B (CL_{ltB} + TLK_{lktB}) * XLK_{lktB} + \\
 & \sum_l \sum_K \sum_m \sum_t \sum_B (TKM_{kmtB} + SPLK_{lktB}) * XKM_{kmtB} + \\
 & \sum_m \sum_n \sum_t \sum_a (CM_{mtB} + TMN_{mntB}) * XMN_{mntB} + \\
 & \sum_m \sum_o \sum_t \sum_B CM_{mtB} * XMO_{motB} + \\
 & \sum_m \sum_c \sum_t \sum_a (CM_{mtB} * XMC_{mctB}) + \\
 & \sum_n \sum_l \sum_t \sum_B (CN_{ntB} + TNL_{nltB}) * XNL_{nltB} + \\
 & \sum_i \sum_j \sum_t \sum_a (CIR_{ita} + TIJ_{ijta}) * XIJR_{ijta} + \\
 & \sum_i \sum_h \sum_t \sum_a (CIR_{ita} + TIH_{ihata}) * XIHR_{ihata} + \\
 & \sum_j \sum_l \sum_t \sum_B (CJR_{jtB} + TJL_{jltB}) * XJLR_{jltB} + \\
 & \sum_h \sum_l \sum_t \sum_B (CHR_{htB} + THL_{hltB}) * XHLR_{hltB} + \\
 & \sum_m \sum_j \sum_t \sum_B (CMJ_{mtB} + TMJ_{mjtB}) * XMJR_{mjtB} + \\
 & \sum_m \sum_h \sum_t \sum_B (CMH_{mtB} + TMH_{mhtB}) * XMHR_{mhtB} + \\
 & \sum_i \sum_j \sum_t \sum_a (CIN_{ita} + TIJ_{ijta}) * XIJN_{ijta} +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_i \sum_h \sum_t \sum_a (CIN_{ita} + TIH_{ihta}) * XIHN_{ihta} + \\ & \sum_j \sum_n \sum_t \sum_B (CJN_{jntB} + TJN_{jntB}) * XJN_{jntB} + \\ & \sum_h \sum_n \sum_t \sum_B (CHN_{htB} + THN_{hntB}) * XHN_{hntB} \end{aligned}$$

در مدل‌های کالاهای اساسی زمان تحویل محموله به مشتری از طریق کانال توزیع‌کننده از آن جهت اهمیت می‌یابد که مشتری ممکن نیست منتظر بماند و به راحتی کالا را با برندهای دیگر موجود در بازار جایگزین می‌کند. این موضوع در زنجیره تأمین موجب ازدست‌دادن مشتری و متعاقباً کاهش تقاضا می‌گردد. بنابراین بخش دوم تابع هدف کمینه‌سازی زمان تحویل کالای نهایی است که به صورت زیر فرموله شده است.

$$\text{Min } Z_2 = \sum_l \sum_k \sum_t \sum_B XLK_{lktB} * \tau_{lktB} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sum_i XIJ_{ijat} + \rho_a * \sum_r XRJ_{rjt} = \gamma_{aB} * \sum_l XJL_{jlBt} \quad \forall j, a \\ = 1, 2, 3, 4) \text{ و } B, t \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sum_i XIH_{ihat} + \rho_a * \sum_r XRH_{rht} = \gamma_{aB} * \sum_l XHL_{hlBt} \quad \forall j, a \\ = 1, 2, 3, 4) \text{ و } B, t \end{aligned} \quad (4)$$

$$\sum_i XIJ_{ijta} = \gamma_{aB} * \sum_l XJL_{jlBt} \quad \forall j, a = 5 \text{ و } B, t \quad (5)$$

$$\sum_i XIH_{ihta} = \gamma_{aB} * \sum_l XHL_{hlBt} \quad \forall j, a = 5 \text{ و } B, t \quad (6)$$

$$\sum_i XIJR_{ijta} = \sum_l XJLR_{jlBt} \quad \forall j, a = 5, t, B \quad (7)$$

$$\sum_i XIHR_{ihta} = \sum_l XHLR_{hlBt} \quad \forall h, a = 5, t, B \quad (8)$$

معادلات (۳-۸) تضمین می‌کند مقدار تولید هر یک از محصولات برابر درصدی از مواد اولیه مورد استفاده در آن است. معادلات (۳) و (۴) بیان می‌کنند که روغن نباتی خام یا دانه‌های روغنی شامل سویا، آفتابگردان، کانولا و پالم مصرفی در کارخانه‌های برابر مقدار خرید از زمین‌های کشاورزی یا سایر تأمین‌کنندگان است. معادلات (۵-۸) نیز به ترتیب بالانس جریان را

شامل سایر مواد اولیه (شامل ورق فلزی، پلاستیک، کارتن و برچسب) و مراکز توزیع در زنجیره روبه جلو و بازگشتی (برای کالاهای بازیافتی) ارائه می‌دهد.

$$\sum_l \sum_j XJL_{jltB} + \sum_l \sum_h XHL_{hltB} \geq LBB_{Bt} \quad \forall B, t \quad (9)$$

یکی دیگر از ویژگی شرکت‌های تولیدکننده کالاهای اساسی، داشتن سبد کامل محصولات برای ارائه به تمامی مشتریان است. از این رو شرکت علی‌رغم این که سبد کاملی از محصولات دارد ولی هزینه‌های تولید برخی از محصولات بسیار بالا است، به طوری که سودآوری آن را تحت الشعاع قرار می‌دهد. لذا شرکت به ناچار باید محصولات ضررده و سودده را در قالب یک سبد سودآور به مشتری ارائه کند. معادله فوق میزان حداقلی از هر محصول در سبد را تضمین می‌کند.

$$\sum_l XLK_{lktB} \geq DK_{ktB} \quad \forall k \text{ و } t \text{ و } B \quad (10)$$

$$\sum_m XKM_{kmtB} \geq \lambda_{(t-1)B} * DK_{k(t-1)B} \quad \forall k \text{ و } t \text{ و } B \quad (11)$$

محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که تمامی تقاضاهای مشتریان ارضا شود و محدودیت (۱۱) بیان می‌کند که کالاهای برگشتی از مشتری بزرگ‌تر و مساوی نسبتی از تقاضای دوره قبل مشتریان است.

$$\varphi_1 * \sum_k XKM_{kmtB} = \sum_n XMN_{mntB} \quad \forall m \text{ و } t \text{ و } B \quad (12)$$

$$\varphi_2 * \sum_k XKM_{kmtB} = \sum_c XMC_{mctB} \quad \forall m \text{ و } t \text{ و } B \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \varphi_3 * \sum_k XKM_{kmtB} \\ = \sum_j XMJ_{mjtB} + \sum_h XMH_{mhtB} \quad \forall m \text{ و } t \text{ و } B \end{aligned} \quad (14)$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 1 \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \sum_n XMN_{mntB} + \sum_c XMC_{mctB} + \sum_j XMJ_{mjtB} \\ + \sum_h XMH_{mhtB} \end{aligned} \quad (16)$$

$$= \sum_o XMO_{motB} \quad \forall m, t_o B$$

$$\sum_m XMN_{mntB} = \sum_l XNL_{nltB} \quad \forall n, t_o B \quad (17)$$

$$\sum_n XJN_{jntB} + \sum_h XHN_{hntB} = \sum_l XNL_{nltB} \quad \forall n, t_o B \quad (18)$$

$$\sum_j XJL_{jltB} + \sum_h XHL_{hltB} + \sum_j XJLR_{jltB} + \sum_n XHLR_{hltB} \quad (19)$$

$$\sum_n XNL_{nltB} = \sum_k XLK_{lktB} \quad \forall l, t_o B$$

$$\sum_n XMJ_{mjtB} = \sum_k XJLR_{jltB} \quad \forall j, t_o B \quad (20)$$

$$\sum_m XMH_{mhtB} = \sum_l XHLR_{hltB} \quad \forall h, t_o B \quad (21)$$

$$\sum_m XIJN_{ijtB} = \sum_j XJN_{jntB} \quad \forall j, t_o B \quad (22)$$

$$\sum_i XIHN_{ihtB} = \sum_n XHN_{hntB} \quad \forall h, t_o B \quad (23)$$

معادلات (۱۲-۲۳) به ترتیب بالانس جریان در مراکز جمع‌آوری، بهبود، توزیع و کارخانه‌های موجود و بالقوه است. معادلات (۱۲-۱۶) بیان می‌دارند که روغن‌های برگشتی که توسط مراکز جمع‌آوری انباشته شده است تنها به کارخانه‌ها، مراکز بهبود و مشتریان بیودیزل ارسال می‌شود و اقلام قابل بازیافت به‌جز روغن شامل قوطی، بطری، برچسب و کارتن به مشتریان بازیافتی برای فروش ارسال می‌گردد. معادلات (۱۷-۱۹) به ترتیب بالانس جریان را در مراکز توزیع و بهبود کنترل می‌کنند. در نهایت معادلات (۲۰-۲۳) بالانس جریان را برای محصولات بازتولیدی که از کارخانه به توزیع‌کننده و مراکز بهبود ارسال می‌شود، نشان می‌دهد

$$\sum_k XLK_{lktB} \leq CAPL_{lB} * XL_l \quad \forall l, B, t \quad (24)$$

$$\sum_k XKM_{kmtB} \leq CAPM_{mB} * XM_m \quad \forall m, B, t \quad (25)$$

$$\sum_m XMN_{mntB} \leq CAPN_{nB} * XN_n \quad \forall n, B, t \quad (26)$$

$$\sum_l XHL_{hlBt} \leq \left(\sum_e CAPH_{hBe} \right) * XH_{he} \quad \forall h, B, t \quad (27)$$

$$\sum_l XJL_{jtB} \leq \sum_g CAPJ_{jBg} * XJ_{jg} + \sum_g CAPAJ_{jBg} * (1 - XJ_{jg}) \quad \forall j, B, t \quad (28)$$

$$\sum_e XH_{he} \leq 1 \quad \forall h \quad (29)$$

$$\sum_g XJ_{jg} \leq 1 \quad \forall j \quad (30)$$

محدودیت‌های نامعادلات (۲۴-۲۸) به حداکثر ظرفیت موجود مراکز اختصاص دارد. این محدودیت جریان را زمانی بر کالاهای نهایی، جمع‌آوری شده، بازگشتی، بهبود یافته و بازیافتی اعمال می‌کند که آن مرکز احداث شود. به‌عنوان مثال نامعادله (۲۴) نشان می‌دهد که مقدار کل محصولاتی که از توزیع‌کننده به مشتری ارسال می‌گردد، نمی‌تواند از ظرفیت آن مرکز توزیع در آن دوره خاص بیش‌تر باشد.

$$XM_m, XL_l, XN_n, XJ_{jg}, XH_{he} \in \{0, 1\}$$

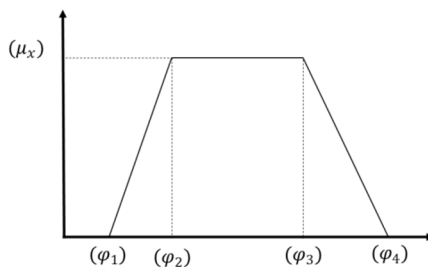
محدودیت‌های (۲۹) و (۳۰) منفی نبودن متغیرهای تصمیم را تضمین می‌کند.

حال سؤال اینجا است که چرا برخی از ملاحظات مسئله از جمله حلقه بسته بودن مدل و یک سری ملاحظات بازاریابی به‌صورت یکجا در این مسئله آورده شده و تاندازه‌ای آنرا پیچیده ساخته است؟ در زمینه کالاهای اساسی روغن نباتی در کشور ایران، از آنجایی که گردش نقدینگی روزانه این صنعت بسیار بالا است (روزانه حدود سیصد میلیارد ریال) و علی‌رغم این که در کشور ایران غالب صنایع به‌صورت حلقه بسته نیستند، نشان داده‌شده که این صنعت قابلیت آن را دارد که به‌صورت زنجیره تأمین حلقه بسته مدل‌سازی شده و از جنبه کاربردی، صنایع وابسته زیادی را تولید نماید. در مورد قسمت دوم نیز ابزارهای بازاریابی مختلفی مطرح است که توسط شرکت‌های مطرح داخلی پیاده‌سازی می‌گردد که بیش‌تر جنبه تضمین سودآوری و ورود به بخش‌های مختلف بازار را دارد. در این مقاله نیز پیرو سیاست‌های شرکت مورد بررسی، جنبه تضمین سودآوری از اهمیت بالاتری برخوردار بوده که در مدل لحاظ شده است. همچنین در کشور ایران معمولاً تأمین ملزومات و مواد خام کالای اساسی به‌صورت واردات مستقیم، یا خرید از بورس و یا سهمیه‌بندی که معمولاً با هماهنگی انجمن روغن نباتی کشور انجام می‌شود، به عهده تولیدکننده بوده و در نظر داشتن زنجیره تأمین و تولید در یک مدل اجتناب‌ناپذیر است. پیرو در نظر داشتن سیستم توزیع نیز ذکر می‌گردد واسطه‌گری در صنایع کالای اساسی از جمله

روغن نباتی در کشور بالا است؛ لذا در نظر گرفتن بهینه آن در مدل، کمک شایانی به کاهش قیمت تمام شده برای مصرف کنندگان نهایی، حذف واسطه‌ها و در دیدگاه کلان سوق نقدینگی به صنعت می‌گردد.

۳- رویکرد برنامه‌ریزی استوار امکانی

برای تقابل به عدم قطعیت ناشی از نداشتن اطلاعات کافی در رابطه با ارزش دقیق پارامترها تعداد متنوعی از رویکردهای برنامه‌ریزی ریاضی استوار (فازی) توسعه یافته است. برنامه‌ریزی ریاضی فازی می‌تواند به دو گروه اصلی شامل استوار و انعطاف‌پذیر طبقه‌بندی شود که در این مقاله با توجه به رویارویی با ضرایب نامشخص از تابع هدف و محدودیت‌ها به گروه اول تعلق دارد که با ملاحظه به داده‌های هدف و دانش و تجربه تصمیم‌گیرندگان مدل‌سازی می‌گردد. توزیع فازی دوزنقه‌ای یا مثلثی می‌تواند برای مواجهه با پارامترهای نامشخص کاربرد داشته باشند. عدد فازی دوزنقه‌ای در این مثال‌ها استفاده می‌شود؛ به این علت که عدد فازی دوزنقه‌ای، فضایی بیش از عدد فازی مثلثی را تشکیل می‌دهد، زیرا آن‌ها یک شکل عمومی‌ترند. همچنین رفتار حسی عدد فازی دوزنقه‌ای بهتر از عدد فازی مثلثی است و علاوه بر تصمیم درست‌تر خبرگان، برای مسائل مهندسی و علمی مناسب‌تر است [۲۲]. بنابراین ویژگی‌های مسئله، در این مقاله عدد فازی دوزنقه‌ای برای داده‌های نامعین به صورت شکل (۲) تطبیق داده شده است که به صورت $\varphi = (\varphi(1), \varphi(2), \varphi(3), \varphi(4))$ تعریف شده است که در آن زمانی که $\varphi(2) = \varphi(4)$ عدد فازی دوزنقه‌ای به مثلثی کاهش می‌یابد. به علاوه، برنامه‌ریزی محدودیت تصادفی استوار (PCCP) برای توسعه یک مدل استوار جهت حل مدل مسئله از میان رویکردهای برنامه‌ریزی استوار مختلف استفاده شده است. برنامه‌ریزی محدودیت تصادفی یک رویکرد برنامه‌ریزی قابل اطمینان است که این امکان را به تصمیم‌گیرندگان می‌دهد که جهت نیل به جواب‌های مناسب، یک حداقل سطوح اطمینان برای محدودیت‌های استوار تعیین کنند.



شکل (۲): نمودار اعداد دوزنقه‌ای فازی

برنامه‌ریزی استوار یک رویکرد بهینه‌سازی ریاضی است که یک روش ریسک‌گریز برای تقابل با مسئله بهینه‌سازی تحت شرایط عدم قطعیت ارائه می‌کند. رویکرد برنامه‌ریزی استوار نیاز به تأمین شدنی بودن و بهینه‌سازی مسئله را به صورت هم‌زمان دارد. لازم به ذکر است که جواب مسئله می‌بایست شدنی باشد و ارزش تابع هدف نیز می‌بایست برای تقریباً همه پارامترهای عدم قطعیت، نزدیک به بهینه باقی بماند. این رویکرد اولین بار توسط پیشوایی [۲۳] ارائه شد که در آن روش‌های حل به سه گروه سخت‌گیرانه، نیمه سخت‌گیرانه و واقع‌گرایانه تقسیم‌بندی شده است. برای اطلاعات بیشتر به مقالات [۱۵، ۲۰، ۲۴-۲۶] رجوع شود. بنابراین در این مقاله رویکرد RPP-II در گروه واقع بینانه بر اساس توانای آن در رعایت یک تعادل بین اجزای استوار و تصمیم‌گیری بر اساس ارزش‌ها و ترجیحات تصمیم‌گیرندگان در مدل‌های زنجیره تأمین حلقه بسته پیشنهادی انتخاب شده است. با توجه به تابع هدف پیشنهادی، این مدل در تلاش است که ارزش مورد انتظار تابع هدف را کمینه سازد. بنابراین مدل کامپکت به منظور برنامه‌ریزی محدودیت تصادفی استوار به صورت زیر مدل‌سازی شده است:

$$\text{Min } Z = fy + cx$$

s. t.

$$Lx \geq b$$

$$Ax \geq d$$

$$Sx \leq Ny$$

$$Bx = 0$$

$$My \leq 1$$

$$y \in \{0, 1\} \text{ و } x \geq 0$$

جایی که بردارهای f, c, d و b مربوط به هزینه‌های ثابت، متغیر، حداقل سبد محصولات و تقاضا می‌شود. به علاوه، ماتریس‌های ضرایب L, A, S, N, B و M به تقاضا، سبد محصولات، ظرفیت و بالانس جریان مراکز مربوط است و بردارهای y و x به ترتیب متغیرهای باینری و عدد صحیح‌اند. در این قسمت فرض می‌شود که بردارهای f, c, d و b و همچنین ضرایب ماتریس N به عنوان پارامترهای غیرقطعی در مدل کامپکت زنجیره تأمین حلقه بسته در نظر گرفته شده است. حال سؤال آنجا است که چرا علاوه بر تقاضا، ظرفیت‌ها نیز به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است؟ از آنجایی که صنعت کالای اساسی، ویژگی منحصر به فردی دارد که به قیمت، میزان عرضه شرکت‌های تولیدکننده (یا ورودکننده‌های جدید به بازار) و تقاضا بسیار حساس‌اند، لذا ظرفیت‌های بنگاه‌های مدل فوق در بازه‌های مختلف بسیار متغیر می‌گردند و

داشتن حداقل سطوح اطمینان برای آن‌ها، نتایج خروجی مدل را دقیق‌تر و نزدیک به بهینه می‌کند. در ادامه ارزش مورد انتظار فازی و محدودیت‌های لازم به صورت زیر فرموله شده است:

$$\text{Min } E[Z] = E[\tilde{f}]y + E[\tilde{c}]x$$

$$\text{s. t. } \text{Nec} \{Lx \geq \tilde{b}\} \geq \alpha$$

$$\text{Nec} \{Ax \geq \tilde{d}\} \geq \beta$$

$$\text{Nec} \{Sx \leq \tilde{N} y\} \geq \gamma$$

$$Bx = 0$$

$$My \leq 1$$

$$y \in \{0, 1\}, x \geq 0$$

در این قسمت محدودیت‌هایی که دارای عدم قطعیت‌اند، آورده شده است و مابقی محدودیت‌ها به صورت قبل تکرار می‌شوند. α و β و γ بیان می‌کنند که یک حداقل سطح اطمینانی برای محدودیت‌های تصادفی در نظر دارد. مدل معادل اولیه عبارت بالا بر اساس اعداد فازی دوزنقه-ای می‌تواند به صورت زیر ارائه شود.

$$\text{Min } E[Z] = \left(\frac{f_1 + f_2 + f_3 + f_4}{4} \right) y + \left(\frac{c_1 + c_2 + c_3 + c_4}{4} \right) x$$

s. t.

$$Lx \geq (1 - \alpha)b_{(3)} + \alpha b_{(4)}$$

$$Ax \geq (1 - \beta)d_{(3)} + \beta d_{(4)}$$

$$Sx \leq [(1 - \gamma)N_{(2)} + \gamma N_{(1)}]y$$

$$Bx = 0$$

$$My \leq 1$$

$$y \in \{0, 1\}, x \geq 0, 0.5 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 1$$

برنامه‌ریزی استوار امکانی برای مدل پیشنهادی به صورت زیر پیشنهاد شده است. با توجه به در نظر داشتن ضریب تکنولوژیکی N به صورت غیرقطعی، خطی بودن مدل ذیل تحت تأثیر قرار می‌گیرد که با فرض تعریف متغیر کمی $v = \gamma \cdot \gamma$ و عدد بزرگ M به صورت زیر فرموله شده است:

$$\text{Min } E[Z] + \omega * (Z_{max} - E[Z]) + \rho * (b_{(4)} - (1 - \alpha)b_{(3)} - \alpha b_{(4)}) \\ + \varphi * (d_{(4)} - (1 - \beta)d_{(3)} - \beta b_{(4)}) + \pi * (vN_{(1)} + (y - v)N_{(2)} - N_{(1)}y)$$

$$s. t. \quad Lx \geq (1 - \alpha)b_{(3)} + \alpha b_{(4)}$$

$$Ax \geq (1 - \beta)d_{(3)} + \beta d_{(4)}$$

$$Sx \leq vN_{(1)} + (y - v)N_{(2)}$$

$$v \leq My$$

$$v \geq M(y - 1) + \gamma$$

$$v \leq \gamma$$

$$Bx = 0$$

$$My \leq 1, y \in \{0, 1\} \text{ و } xv \geq 0 \text{ و } 0.5 < \alpha, \beta, \gamma \leq 1$$

اولین عبارت تابع هدف متوسط ارزش مورد انتظار Z بر اساس کمیته‌سازی هزینه‌ها در مدل پیشنهادی است. عبارت دوم $(Z_{max} - E[Z]) * \omega$ ، بهینگی حل را کنترل کرده و اختلاف بین میانگین ارزش تابع هدف و بیش‌ترین مقدار این تابع است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد و ω وزن این عبارت را به نسبت سایر عبارات تابع هدف، نشان می‌دهد. عبارات سوم، چهارم و پنجم تابع هدف شدنی بودن مسئله را کنترل می‌کند. این عبارات اختلاف بین بدترین ارزش متغیرهای غیرقطععی و آن که در محدودیت‌های تصادفی به کاررفته نشان می‌دهد و φ و π وزن این عبارات را در تقابل با یکدیگر نشان می‌دهند.

$$Z_{max} = f_4 y + c_4 z$$

از آنجایی که محدودیت فضا وجود دارد، جایگزینی نشانه‌گذاری مسئله اصلی در فرمول‌بندی فشرده نادیده گرفته شده است.

۴- تشریح مثال عددی و نتایج مدل

در این بخش، به جهت حصول مدل استوار کاربردی و عملکردی به تشریح مثال موردی پرداخته می‌شود. داده‌ها از یک هلدینگ روغن نباتی که از دو کارخانه در استان مازندران و کرمانشاه واقع در شمال و غرب کشور ایران، مشتق شده‌اند. این کارخانه‌ها در حال حاضر فعال‌اند و یک کارخانه دیگر در استان کرمان به عنوان کاندید بالقوه برای احداث در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل (۳) به تصویر کشیده شده است مراکز فعال در استان‌های مربوطه به-نمایش در آمده است و مراکز بالقوه نیز با خط‌چین دایره مشخص است. به علاوه کارخانه‌های مذکور جهت پوشش ۲۲ مشتری (جمعیت استان بالای ۱.۲ میلیون نفر)، ۱۵ مرکز توزیع و جمع‌آوری، ۵ زمین کشاورزی بر اساس نظر خبرگان شناسایی شده‌اند.

دسترسی به اطلاعات و همچنین نحوه تخمین پارامترهای مدل از دو جنبه حائز اهمیت است: مورد اول شناخت زیرساخت‌های صنعت، تولیداتشان و تقاضای مشتریان است، که این امر نیازمند تحلیل و بررسی شناخت تمامی فعالان صنعت و همچنین سرانه مصرف روغن نباتی در کشور است که باز هم در استان‌های مختلف متغیر است.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، ورود و خروج فعالان تولیدکننده در این صنعت بسیار متغیر است ولی تقاضای بازار تقریباً ثابت داشته است و تنها گرایش‌های مصرف‌کنندگان از مصرف یک نوع روغن نباتی به دیگری تمایل داشته است. ارتباطات تنگاتنگ نویسندگان این مقاله با انجمن روغن نباتی ایران و دسترسی به اطلاعات انجمن که ماهانه در سایت رسمی آن منتشر می‌شود، این نیاز را در تخمین پارامترهای مقاله مرتفع ساخته است. مورد دوم در رابطه با وضعیت آتی، هدف‌گذاری‌ها و ظرفیت واقعی (بهبود، بازیافت، توزیع و ...) کارخانه‌های روغن نباتی و بالطبع هزینه‌های درگیر آن‌ها برای شرکت خاص مورد مطالعه است، که در این قسمت تیمی شامل خبرگان صنعت و مدیران کارخانه‌ها جهت تخمین اعداد فازی پارامترهای غیرقطعی، در چهار نقطه هر اعداد فازی دوزنقه‌ای بر اساس داده‌های موجود و دانش آن‌ها تشکیل گردید. $(\varphi(1), \varphi(2), \varphi(3), \varphi(4))$ ظرفیت مراکز و تقاضای مشتری به‌شدت به زمان بستگی دارد. کشت و برداشت دانه‌های روغنی، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های سربار، سیاست‌های دولتی شامل تعرفه‌های گمرکی، تحریم‌ها و جنگ در متغیر بودن برآورد هزینه‌ها در زمان تأثیرگذار است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد تقاضای روغن خوراکی در ایران حدود ۱.۵ میلیون تن در سال است که طی چند سال گذشته تقریباً ثابت داشته است. نکته آنجا است که سال رسمی کشور ایران از فروردین ماه آغاز و به اسفند ختم می‌شود و هرچه به انتهای سال نزدیک شویم، تقاضای روغن بالا می‌رود. بنابراین در این مقاله هر دوره زمانی تقاضای خود را داشته و به‌صورت یک بازه ۶ ماهه در نظر گرفته شده است. در جداول زیر شش ماه اول و دوم هر سال به‌صورت t_1 و t_2 نمایش داده شده است. به‌عنوان مثال t_7 به‌معنای شش ماهه اول سال چهارم است که برابر است با t_1 .

جدول (۱) تقاضای مشتریان هر استان در هر دوره زمانی نشان می‌دهد و ظرفیت هر کدام از کارخانه‌ها، مراکز توزیع، جمع‌آوری و بهبود در جداول (۲-۵) نمایش داده شده است. بر اساس تقاضای مشتریان، چهار نوع محصول تعریف شده است که شامل روغن آفتاب‌گردان، کلزا، جامد و مایع مخلوط (سویا و کلزا) است که تقاضا و ظرفیت تخصیص داده شده بر اساس سابقه مصرف آن‌ها در کشور به‌صورت ضرایب به‌ترتیب ۲۹.۱۷% ، ۱۵.۷۸% ، ۴۱.۸۳% ، و ۱۳.۲۲% در محاسبات در نظر گرفته شده است که برای تقاضا یا ظرفیت تخصیصی هر محصول هر کدام از جداول در این اعداد ضرب می‌شوند که به‌جهت فضای محدود مقاله از آوردن آن صرف‌نظر شده است. همچنین هزینه‌های ثابت و متغیر مسئله در جداول ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل (۳): مراکز فعال و بالقوه احداث، توزیع، بهبود و بازیافت

از آنجایی که هزینه‌های حمل و نقل در تمامی مراکز وجود دارد و وابستگی بالایی به مسافت دارند، این مسافت‌ها از وبسایت گوگل‌مپ اخذ شده است. برای تبدیل مسافت کیلومتر به مبلغ ریالی-کیلوگرم-محصول به‌ازای در نظر داشتن عدد فازی دوزنقه‌ای، این اعداد در ضرایب (۱،۲۷۵، ۱،۱۴۸، ۰،۹۷۸، ۰،۷۲) ضرب شده است. لازم است ذکر گردد که کلیه داده‌های هزینه‌ای بر اساس واحد ریال جمهوری اسلامی ایران محاسبه شده است.

این هلدینگ صاحب دو کارخانه واقع در استان مازندران و کرمانشاه است که در ۲۰ سال گذشته حدود ۳۳٪ از سهم بازار را به خود اختصاص داده بودند در حالی که در حال حاضر این سهم بازار به کمتر از نصف کاهش پیدا کرده است. بر اساس برنامه استراتژیک شرکت این هلدینگ انتظار دارد که سهم بازار از دست‌رفته را طی ۵ سال آتی جبران کند. بنابراین هدف‌گذاری ۵ ساله این هلدینگ جهت نیل به اهداف سالانه به‌صورت (۳۳٪، ۲۸٪، ۲۴٪، ۱۷٪) هدف‌گذاری شده است. بنابراین کلیه جداول زیر در ظرفیت کامل تولید نشان داده شده است ولی درصدهای افزایش سهم بازار فوق برای هر سال (سالهای اول تا چهارم) لحاظ شده است.

جدول (۱): تقاضای مشتریان در هر استان در هر دوره در ظرفیت کامل (تن)

استان	t_1	t_2
۱ البرز	(۳۳۹۳، ۴۲۴۲، ۶۳۶۳، ۷۲۱۱)	(۵۹۳۸، ۶۷۸۷، ۷۶۳۵، ۸۴۸۴)
۲ فارس	(۷۵۲۵، ۹۴۰۶، ۱۴۱۰۹، ۱۵۹۹۱)	(۱۳۱۶۹، ۱۵۰۵۰، ۱۶۹۳۱، ۱۸۸۱۳)
۳ گیلان	(۳۱۶۶، ۳۹۵۷، ۵۹۳۶، ۶۷۲۸)	(۵۵۴۱، ۶۳۳۲، ۷۱۲۴، ۷۹۱۵)
۴ هرمزگان	(۲۲۲۲، ۲۷۷۸، ۴۱۶۷، ۴۷۲۲)	(۳۸۸۹، ۴۴۴۵، ۵۰۰۰، ۵۵۵۶)
۵ لرستان	(۲۲۰۲، ۲۷۵۳، ۴۱۳۰، ۴۶۸۱)	(۳۸۵۴، ۴۴۰۵، ۴۹۵۶، ۵۵۰۷)
۶ مرکزی	(۱۷۸۸، ۲۲۳۵، ۳۳۵۳، ۳۸۰۰)	(۳۱۲۹، ۳۵۷۶، ۴۰۲۴، ۴۴۷۱)
۷ قزوین	(۲۹۱۶، ۳۶۴۵، ۵۴۶۸، ۶۱۹۸)	(۵۱۰۴، ۵۸۳۳، ۶۵۶۲، ۷۲۹۱)
۸ سیستان و بلوچستان	(۳۴۷۱، ۴۳۳۹، ۶۵۰۹، ۷۳۷۷)	(۶۰۷۵، ۶۹۴۳، ۷۸۱۱، ۸۶۷۹)
۹ آذربایجان شرقی	(۱۱۳۴۱، ۱۲۹۶۲، ۱۵۳۹۲، ۱۷۸۲۲)	(۲۱۰۶۳، ۲۲۶۸۳، ۲۴۳۰۳، ۲۵۹۲۴)
۱۰ آذربایجان غربی	(۷۱۴۹، ۸۱۷۰، ۹۷۰۲، ۱۱۲۳۴)	(۱۳۲۷۷، ۱۴۲۹۸، ۱۵۳۱۹، ۱۶۳۴۱)
۱۱ گلستان	(۴۰۹۱، ۴۶۷۶، ۵۵۵۳، ۶۴۲۹)	(۷۵۹۹، ۸۱۸۳، ۸۷۶۸، ۹۳۵۲)
۱۲ همدان	(۳۸۰۵، ۴۳۴۹، ۵۱۶۵، ۵۹۸۰)	(۷۰۶۸، ۷۶۱۱، ۸۱۵۵، ۸۶۹۹)
۱۳ اصفهان	(۱۴۸۴۸، ۱۶۹۶۹، ۲۰۱۵۱، ۲۳۳۳۳)	(۲۷۵۷۵، ۲۹۶۹۷، ۳۱۸۱۸، ۳۳۹۳۹)
۱۴ خراسان	(۱۷۶۶۱، ۲۰۱۸۴، ۲۳۹۶۹، ۲۷۷۵۴)	(۳۲۸۰۰، ۳۵۳۲۳، ۳۷۸۴۶، ۴۰۳۶۹)
۱۵ خوزستان	(۱۰۳۱۳، ۱۱۷۸۷، ۱۳۹۹۷، ۱۶۲۰۷)	(۱۹۱۵۴، ۲۰۶۲۷، ۲۲۱۰۰، ۲۳۵۷۴)
۱۶ کردستان	(۳۵۰۹، ۴۰۱۱، ۴۷۶۳، ۵۵۱۵)	(۶۵۱۸، ۷۰۱۹، ۷۵۲۱، ۸۰۲۲)
۱۷ مازندران	(۸۷۲۷، ۹۹۷۴، ۱۱۸۴۴، ۱۳۷۱۴)	(۱۶۲۰۷، ۱۷۴۵۴، ۱۸۷۰۱،

۱۹۹۴۸)			
(۵۲۵۴, ۵۶۵۸, ۶۰۶۳, ۶۴۶۷)	(۲۸۲۹, ۳۲۳۳, ۳۸۴۰, ۴۴۴۶)	قم	۱۸
(۱۰۸۸۸, ۱۱۸۷۸, ۱۲۸۶۸, ۱۳۸۵۸)	(۴۹۴۹, ۵۹۳۹, ۷۴۲۴, ۸۴۱۴)	کرمان	۱۹
(۸۷۱۳, ۹۵۰۵, ۱۰۲۹۸, ۱۱۰۹۰)	(۳۹۶۰, ۴۷۵۲, ۵۹۴۱, ۶۷۳۳)	کرمانشاه	۲۰
(۴۵۶۴۹, ۴۹۷۹۹, ۵۳۹۴۹, ۵۸۰۹۹)	(۲۰۷۴۹, ۲۴۸۹۹, ۳۱۱۲۴, ۳۵۲۷۴)	تهران	۲۱
(۳۹۱۷, ۴۲۷۳, ۴۶۲۹, ۴۹۸۵)	(۱۷۸۰, ۲۱۳۶, ۲۶۷۰, ۳۰۲۷)	یزد	۲۲

جدول (۲): بیشترین ظرفیت کارخانه‌ها در هر دوره (تن)

t_2	t_1		
با افزایش ظرفیت کارخانه‌های موجود			
(۱۵۲۴۸۵, ۱۶۶۴۸۰, ۱۸۰۴۷۵, ۱۹۴۴۷۰)	(۷۹۷۱۹, ۹۳۷۱۴, ۱۱۸۴۴۲, ۱۳۵۸۰۷)	مازندران	
(۱۱۹۹۰۶, ۱۳۰۹۱۱, ۱۴۱۹۱۶, ۱۵۲۹۲۱)	(۶۲۶۸۷, ۷۳۶۹۲, ۹۳۱۳۷, ۱۰۶۷۹۲)	کرمانشاه	
با احداث کارخانه جدید و ظرفیت فعلی کارخانه‌های موجود			
(۱۰۰۵۳۹, ۱۰۹۷۶۷, ۱۱۸۹۹۴, ۱۲۸۲۲۲)	(۵۲۵۶۲, ۶۱۷۹۰, ۷۸۰۹۴, ۸۹۵۴۳)	مازندران	
(۸۰۲۳۵, ۸۷۵۹۹, ۹۴۹۶۳, ۱۰۲۳۲۷)	(۴۱۹۴۷, ۴۹۳۱۱, ۶۲۳۲۲, ۷۱۴۶۰)	کرمانشاه	
(۹۱۶۱۶, ۱۰۰۰۲۴, ۱۰۸۴۳۳, ۱۱۶۸۴۱)	(۴۷۸۹۷, ۵۶۳۰۵, ۷۱۱۶۲, ۸۱۵۹۶)	کرمان (مرکز بالقوه)	

جدول (۳): بیشترین ظرفیت مراکز توزیع در هر استان هر دوره (تن)

استان	t_1	t_2
تهران	(۲۷۰۶۰، ۳۲۷۸۷، ۴۲۹۵۶، ۴۸۶۸۴)	(۵۶۶۹۲، ۶۲۴۲۰، ۶۸۱۴۷، ۷۳۸۷۵)
خراسان	(۱۷۶۶۱، ۲۰۱۸۴، ۲۳۹۶۹، ۲۷۷۵۴)	(۳۲۸۰۰، ۳۵۳۲۳، ۳۷۸۴۶، ۴۰۳۶۹)
اصفهان	(۱۶۶۲۹، ۱۹۱۰۶، ۲۲۸۲۲، ۲۶۳۶۰)	(۳۱۴۹۳، ۳۳۹۷۰، ۳۶۴۴۷، ۳۸۹۲۵)
همدان	(۱۰۶۲۶، ۱۲۵۷۲، ۱۶۴۸۸، ۱۸۹۰۸)	(۱۹۳۰۷، ۲۱۲۵۳، ۲۳۱۹۹، ۲۵۱۴۴)
فارس	(۹۷۴۷، ۱۲۱۸۴، ۱۸۲۷۷، ۲۰۷۱۴)	(۱۷۰۵۸، ۱۹۴۹۵، ۲۱۹۳۲، ۲۴۳۶۹)
کرمان	(۸۴۲۱، ۱۰۲۷۹، ۱۳۹۳۴، ۱۵۷۹۱)	(۱۶۹۶۴، ۱۸۸۲۲، ۲۰۶۸۰، ۲۲۵۳۸)
آذربایجان شرقی	(۱۸۴۹۱، ۲۱۱۳۲، ۲۵۰۹۵، ۲۹۰۵۷)	(۳۴۳۴۰، ۳۶۹۸۲، ۳۹۶۲۳، ۴۲۲۶۵)
خوزستان	(۱۰۳۱۳، ۱۱۷۸۷، ۱۳۹۹۷، ۱۶۲۰۷)	(۱۹۱۵۴، ۲۰۶۲۷، ۲۲۱۰۰، ۲۳۵۷۴)
کرمانشاه	(۷۴۷۰، ۸۷۶۴، ۱۰۷۰۴، ۱۲۲۴۸)	(۱۵۲۳۲، ۱۶۵۲۵، ۱۷۸۱۹، ۱۹۱۱۲)
مازندران	(۱۵۹۸۵، ۱۸۶۰۸، ۲۳۳۳۴، ۲۶۸۷۲)	(۲۹۳۴۷، ۳۱۹۷۰، ۳۴۵۹۳، ۳۷۲۱۶)
آذربایجان غربی	(۷۱۴۹، ۸۱۷۰، ۹۷۰۲، ۱۱۲۳۴)	(۱۳۲۷۷، ۱۴۲۹۸، ۱۵۳۱۹، ۱۶۳۴۱)
گیلان	(۳۱۶۶، ۳۹۵۷، ۵۹۳۶، ۶۷۲۸)	(۵۵۴۱، ۶۳۳۲، ۷۱۲۴، ۷۹۱۵)
قزوین	(۲۹۱۶، ۳۶۴۵، ۵۴۶۸، ۶۱۹۸)	(۵۱۰۴، ۵۸۳۳، ۶۵۶۲، ۷۲۹۱)
گلستان	(۴۰۹۱، ۴۶۷۶، ۵۵۵۳، ۶۴۲۹)	(۷۵۹۹، ۸۱۸۳، ۸۷۶۸، ۹۳۵۲)
هرمزگان	(۲۲۲۲، ۲۷۷۸، ۴۱۶۷، ۴۷۲۲)	(۳۸۸۹، ۴۴۴۵، ۵۰۰۰، ۵۵۵۶)

جدول (۴): بیشترین ظرفیت مراکز توزیع در هر استان هر دوره (تن)

استان	t_1	t_2
تهران	(۱۶۹۰، ۲۰۳۹، ۲۶۲۴، ۲۹۷۴)	(۳۶۱۱، ۳۹۶۱، ۴۳۱۰، ۴۶۶۰)
خراسان	(۱۲۳۶، ۱۴۱۲، ۱۶۷۷، ۱۹۴۲)	(۲۲۹۶، ۲۴۷۲، ۲۶۴۹، ۲۸۲۵)
اصفهان	(۱۱۶۴، ۱۳۳۷، ۱۵۹۷، ۱۸۴۵)	(۲۲۰۴، ۲۳۷۷، ۲۵۵۱، ۲۷۲۴)
همدان	(۷۴۳، ۸۸۰، ۱۱۵۴، ۱۳۲۳)	(۱۳۵۱، ۱۴۸۷، ۱۶۲۳، ۱۷۶۰)
فارس	(۵۲۶، ۶۵۸، ۹۸۷، ۱۱۱۹)	(۹۲۱، ۱۰۵۳، ۱۱۸۵، ۱۳۱۶)

طراحی شبکه تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت مطالعه موردی: کالاهای اساسی ۱۴۸

(۱۱۸۷, ۱۳۱۷, ۱۴۴۷, ۱۵۷۷)	(۵۸۹, ۷۱۹, ۹۷۵, ۱۱۰۵)	کرمان
(۱۴۷۴, ۱۵۸۷, ۱۷۰۱, ۱۸۱۴)	(۷۹۳, ۹۰۷, ۱۰۷۷, ۱۲۴۷)	آذربایجان شرقی
(۱۳۴۰, ۱۴۴۳, ۱۵۴۷, ۱۶۵۰)	(۷۲۱, ۸۲۵, ۹۷۹, ۱۱۳۴)	خوزستان
(۱۰۶۶, ۱۱۵۶, ۱۲۴۷, ۱۳۳۷)	(۵۲۲, ۶۱۳, ۷۴۹, ۸۵۷)	کرمانشاه
(۱۱۳۴, ۱۲۲۱, ۱۳۰۹, ۱۳۹۶)	(۶۱۰, ۶۹۸, ۸۲۹, ۹۶۰)	مازندران
(۹۲۹, ۱۰۰۰, ۱۰۷۲, ۱۱۴۳)	(۵۰۰, ۵۷۱, ۶۷۹, ۷۸۶)	آذربایجان غربی
(۳۸۷, ۴۴۳, ۴۹۸, ۵۵۴)	(۲۲۱, ۲۷۷, ۴۱۵, ۴۷۰)	گیلان
(۳۵۷, ۴۰۸, ۴۵۹, ۵۱۰)	(۲۰۴, ۲۵۵, ۳۸۲, ۴۳۳)	قزوین
(۵۳۱, ۵۷۲, ۶۱۳, ۶۵۴)	(۲۸۶, ۳۲۷, ۳۸۸, ۴۵۰)	گلستان
(۲۷۲, ۳۱۱, ۳۵۰, ۳۸۸)	(۱۵۵, ۱۹۴, ۲۹۱, ۳۳۰)	هرمزگان

جدول (۵): بیشترین ظرفیت مراکز بهبود در هر استان هر دوره (تن)

t_2	t_1	استان
(۲۹۷۶, ۳۲۷۷, ۳۵۷۷, ۳۸۷۸)	(۱۴۲۰, ۱۷۲۱, ۲۲۵۵, ۲۵۵۵)	تهران
(۱۸۱۳, ۱۹۸۳, ۲۱۵۳, ۲۳۲۳)	(۹۵۰, ۱۱۲۰, ۱۴۲۷, ۱۶۳۵)	کرمانشاه
(۱۸۰۲, ۱۹۴۱, ۲۰۸۰, ۲۲۱۸)	(۹۷۰, ۱۱۰۹, ۱۳۱۷, ۱۵۲۵)	آذربایجان
(۱۵۴۰, ۱۶۷۸, ۱۸۱۶, ۱۹۵۳)	(۸۳۹, ۹۷۶, ۱۲۲۵, ۱۴۱۰)	مازندران
(۱۷۲۲, ۱۸۵۴, ۱۹۸۶, ۲۱۱۹)	(۹۲۷, ۱۰۵۹, ۱۲۵۸, ۱۴۵۷)	خراسان
(۱۶۵۳, ۱۷۸۳, ۱۹۱۳, ۲۰۴۳)	(۸۷۳, ۱۰۰۳, ۱۱۹۸, ۱۳۸۳)	اصفهان
(۱۰۹۴, ۱۲۲۱, ۱۳۴۸, ۱۴۷۴)	(۵۵۸, ۶۸۵, ۹۵۰, ۱۰۷۷)	کرمان
(۶۹۱, ۷۹۰, ۸۸۸, ۹۸۷)	(۳۹۵, ۴۹۳, ۷۴۰, ۸۳۹)	فارس
(۱۰۰۵, ۱۰۸۲, ۱۱۶۰, ۱۲۳۷)	(۵۴۱, ۶۱۸, ۷۳۴, ۸۵۰)	خوزستان

جدول (۶): هزینه‌های متغیر بر اساس کیلوگرم (ریال)

هزینه‌های توزیع	هزینه‌های روغن خام
آفتابگردان (۱۱۸۷, ۱۲۵۰, ۱۳۱۲)	آفتابگردان (۳۴۰۲۴, ۳۴۷۱۸, ۳۵۴۱۳)

۳۵۷۶۰)		۱۳۷۵)	
(۳۵۰۲۴، ۳۵۷۱۸، ۳۶۴۱۳، ۳۶۷۶۰)	کلزا	(۱۲۳۵، ۱۳۰۰، ۱۳۶۵، ۱۴۳۰)	کانولا
(۳۲۹۷۶، ۳۳۶۴۹، ۳۴۳۲۲، ۳۴۶۵۸)	پالم	(۳۹۹، ۴۲۰، ۴۴۱، ۴۶۲)	جامد
(۳۲۶۲۵، ۳۳۲۹۰، ۳۳۹۵۶، ۳۴۲۸۹)	سویا	(۱۱۴۰، ۱۲۰۰، ۱۲۶۰، ۱۳۲۰)	مخلوط (سویا و کلزا)
هزینه‌های جمع‌آوری		هزینه‌های تولید	
(۳۱۳، ۳۳۰، ۳۴۶، ۳۶۳)	آفتابگردان	(۱۴۵۹، ۱۵۱۰، ۱۵۶۰، ۱۵۸۵)	آفتابگردان
(۲۹۴، ۳۱۰، ۳۲۵، ۳۴۱)	کانولا	(۱۴۹۹، ۱۵۵۰، ۱۶۰۱، ۱۶۲۶)	کانولا
(۲۴۷، ۲۶۰، ۲۷۳، ۲۸۶)	جامد	(۱۸۸۱، ۱۹۴۰، ۱۹۹۸، ۱۰۲۸)	جامد
(۲۸۵، ۳۰۰، ۳۱۵، ۳۳۰)	مخلوط (سویا و کلزا)	(۱۳۵۲، ۱۴۰۰، ۱۴۴۸، ۱۴۷۲)	مخلوط (سویا و کلزا)
هزینه‌های بازیافت روغن		هزینه‌های بهبود	
(۱۳۶۸، ۱۴۴۰، ۱۵۱۲، ۱۵۸۴)	آفتابگردان	(۲۷۳۶، ۲۸۸۰، ۳۰۲۴، ۳۱۶۸)	آفتابگردان
(۱۴۳۴، ۱۵۱۰، ۱۵۸۵، ۱۶۶۱)	کانولا	(۲۸۳۱، ۲۹۸۰، ۳۱۲۹، ۳۲۷۸)	کانولا
(۱۴۵۵، ۱۵۳۲، ۱۶۰۸، ۱۶۸۵)	جامد	(۱۶۰۵، ۱۶۹۰، ۱۷۷۴، ۱۸۵۹)	جامد
(۱۱۴۷، ۱۲۰۸، ۱۲۶۸، ۱۳۲۸)	مخلوط (سویا و کلزا)	(۲۶۳۱، ۲۷۷۰، ۲۹۰۸، ۳۰۴۷)	مخلوط (سویا و کلزا)
قیمت تضمینی دانه روغنی		هزینه‌های بسته‌بندی	
(۲۵۱۰۷، ۲۵۶۴۰، ۲۶۱۷۲، ۲۶۴۳۹)	آفتابگردان	(۳۵۷۶، ۳۷۶۴، ۳۹۵۲، ۴۱۴۱)	آفتابگردان

طراحی شبکه تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت مطالعه موردی: کالاهای اساسی ۱۵۰

(۲۶۲۷۳, ۲۶۸۳۰, ۲۷۳۸۶, ۲۷۶۶۴)	کلزا	(۳۶۱۹, ۳۸۱۰, ۴۰۰۰, ۴۱۹۱)	کانولا
(۲۳۱۹۶, ۲۳۶۹۰, ۲۴۱۸۳, ۲۴۴۳۰)	سویا	(۴۳۹۵, ۴۶۲۶, ۴۸۵۸, ۵۰۸۹)	جامد
		(۳۴۲۹, ۳۶۰۹, ۳۷۹۰, ۳۹۷۰)	مخلوط (سویا و کلزا)
هزینه‌های روغن‌کشی			
		(۱۵۲۸, ۱۶۰۰, ۱۶۷۲, ۱۷۰۸)	آفتابگردان
		(۱۵۵۷, ۱۶۳۰, ۱۷۰۲, ۱۷۳۸)	کانولا
		(۵۵۳, ۵۳۰, ۵۰۶, ۵۴۴)	جامد
		(۹۵۹, ۱۰۲۰, ۱۰۸۰, ۱۱۱۰)	مخلوط (سویا و کلزا)

جدول (۷): هزینه‌های ثابت احداث در هر استان (میلیارد ریال)

احداث کارخانه جدید یا افزایش ظرفیت کارخانه‌های موجود	مراکز جمع‌آوری و توزیع
(۱۵۲, ۱۸۴, ۲۱۶, ۲۹۲)	مازندران
(۸۶, ۱۱۲, ۲۱۸, ۲۶۶)	کرمانشاه
(۴۴۰, ۶۶۰, ۷۴۰, ۹۸۰)	کرمان (مرکز بالقوه)
مراکز بهبود	(۶, ۸, ۱۱, ۱۴)
(۱۱, ۱۵, ۱۹, ۲۵)	تهران
(۶, ۸, ۱۱, ۱۴)	کرمانشاه

		(۲۵)	
(۸, ۱۱, ۱۴, ۱۸)	آذربایجان	(۱۲, ۱۷, ۲۲, ۲۸)	آذربایجان شرقی
(۸, ۱۱, ۱۴, ۱۸)	مازندران	(۱۲, ۱۷, ۲۲, ۲۸)	خوزستان
(۸, ۱۲, ۱۵, ۲۰)	خراسان	(۶, ۸, ۱۱, ۱۴)	کرمانشاه
(۹, ۱۳, ۱۶, ۲۱)	اصفهان	(۱۶, ۲۲, ۲۸, ۳۶)	مازندران
(۸, ۱۱, ۱۴, ۱۸)	کرمان	(۱۴, ۱۹, ۲۵, ۳۲)	آذربایجان غربی
(۱, ۲, ۳, ۳)	فارس	(۹, ۱۳, ۱۶, ۲۱)	گیلان
(۱, ۱, ۲, ۳)	خوزستان	(۹, ۱۳, ۱۶, ۲۱)	قزوین
		(۱۲, ۱۷, ۲۲, ۲۸)	گلستان
		(۶, ۸, ۱۱, ۱۴)	هرمزگان

مدل استوار امکانی پیشنهادی توسط نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز ۲۴.۱.۲ با استفاده از سیمپلکس با لپ‌تاپی با مشخصات Core i3 2.53 GHz و رم ۴ گیگابایت حل می‌گردد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، رویکرد حل محدودیت تصادفی ϵ -constraint برای دو هدفه بودن مدل که قادر است یک تقریب پارتو برای تصمیم‌گیرندگان ارائه دهد، پیشنهاد شده است. رویکرد محدودیت تصادفی یک تابع هدف بهینه می‌گردد در حالی که تابع هدف دیگر را به‌عنوان محدودیت در نظر می‌گیرد. با رجوع به مقاله [۲۷-۳۰]، مدل به‌صورت جداگانه با حذف هدف دیگر و قرار دادن در محدودیت با رویکرد لکسیکوگراف حل می‌گردد که در زیر نشان داده شده است:

$$\text{Min } Z_1$$

s. t.

$$Z_2 \geq \epsilon_1, x \in F(x)$$

که در آن Z_1 و Z_2 به ترتیب توابع هدف مدل هستند و $F(x)$ نشان دهنده‌ی ناحیه شدنی شامل محدودیت‌های مدل اولیه است. سپس جواب‌های بهینه با جای‌گذاری (x^*, y^*) در مدل کامپکت به‌صورت مدل‌سازی زیر محاسبه می‌گردد:

$$\min Z = fy^* + cx^* + \rho R^b + \varphi R^d + \pi R^c$$

s. t.

$$Z_2 \geq \varepsilon_1$$

$$Lx^* + R^b \geq b_{real}$$

$$Ax^* + R^d \geq d_{real}$$

$$Sx^* \leq N_{real} y^* + R^c$$

$$Bx^* = 0$$

$$My^* \leq 1$$

$$R^b, R^d, R^c \geq 0$$

که در آن R^b, R^d, R^c تنها متغیرهای تصمیم‌اند که میزان تخلف محدودیت‌های تصادفی را تعیین می‌کنند و پارامترهای φ و ρ ، و π ارزش‌های جریمه‌ای‌اند که می‌توانند مشابه ارزش‌های جریمه مدل استوار تخمین زده شوند. جهت ارزیابی مدل استوار امکانی، میانگین و انحراف معیار توابع هدف جهت قابل اجرا بودن مدل بیان شده است. نتایج مربوط به ارزیابی مدل استوار امکانی در مقایسه با مدل PCCP در جدول شماره ۸ نشان داده شده است:

جدول (۸): نمایش مدل PCCP

PCCP α و β و $\gamma=0.7$		ردیف
Z_2	Z_1	
۱.۱۹۵۹	۷۳۸۸۱	۱
۱.۲۶۷۹	۶۹۰۱۷	۲
۶.۱۴۵۸	۷۵۹۵۴	۳
۷.۶۶۹	۷۹۳۳۹	۴
۶.۱۸۱۳	۷۴۱۱۷	۵
۸.۲۳۳۹	۷۱۳۵۶	۶
۳.۱۱۲۵	۷۶۸۸۲	۷
۵.۲۱۱۲	۷۳۰۸۰	۸
۳.۸۱۲	۷۸۹۴۴	۹
۶.۲۵۹۷	۷۰۸۲۲	۱۰
۷۳.۱۷۵۶	۲.۷۴۳۳۹	میانگین
۲.۷۱۷	۴.۳۴۴۳	انحراف معیار

در ادامه مدل PCCP با ضرایب بالاتر نمایش داده شده است که می‌تواند تفاوت تأثیرگذاری توابع هدف را با ضرایب جدول فوق مقایسه کند. همان‌طور که از جدول مشخص است با افزایش هزینه، زمان تحویل ساخته‌شده به مشتری کاهش می‌یابد.

جدول(۹): نمایش مدل PCCP

PCCP α و β و $\gamma=0.9$		ردیف
Z_2	Z_1	
۴.۱۹۲۰	۶۸۴۸۶	۱
۰.۲۶۶۶	۶۶۷۱۸	۲
۵.۱۳۲۲	۷۲۶۴۸	۳
۲.۶۱۹	۷۵۸۸۷	۴
۰.۱۷۸۸	۷۱۲۹۷	۵
۹.۲۲۸۷	۶۷۷۵۵	۶
۰.۱۰۲۶	۷۳۵۵۹	۷
۷.۲۰۲۰	۶۸۲۶۵	۸
۱.۷۷۵	۷۴۱۱۹	۹
۳.۲۴۳۰	۶۷۴۸۵	۱۰
۶۱.۱۶۸۵	۹.۷۰۶۲۱	میانگین
۱.۷۱۴	۴.۳۲۷۵	انحراف معیار

با مقایسه جداول فوق مشخص است که هرچه از سخت‌گیرانه تعریف‌کردن مسئله کاسته شود، نتایج بهتری به‌دست می‌آید.

جدول ۱۰ نشان می‌دهد که رویکرد حل استوار به‌نسبت PCCP در سطوح مختلف عدم‌قطعیت (جدول α و β و $\gamma=0.7$ و α و β و $\gamma=0.9$) مزیت دارد. بر اساس کمینه‌سازی مدل مسئله ارزش کم‌تر تابع هدف و انحراف معیار تأیید می‌کند که مدل استوار توانایی بهتری در شرایط عدم‌قطعیت دارد.

جدول (۱۰): نمایش مدل RPP در مقایسه با PCCP

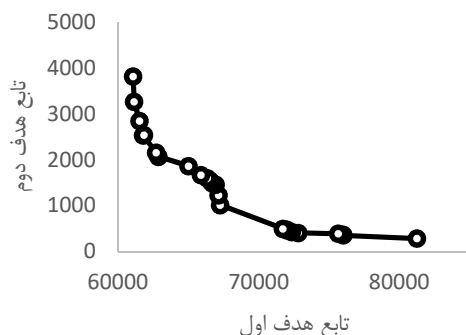
RPP		ردیف
Z_2	Z_1	
۲.۱۷۰۲	۶۵۸۲۰	۱
۳.۲۳۶۳	۶۲۰۷۷	۲
۱.۱۲۱۱	۶۷۷۴۰	۳
۱.۵۸۷	۷۰۴۹۲	۴
۷.۱۴۱۹	۶۷۳۴۶	۵
۶.۱۹۸۸	۶۳۹۰۵	۶
۲.۹۴۵	۶۸۰۰۸	۷
۱.۱۸۲۷	۶۴۲۱۹	۸
۶.۶۴۹	۶۹۳۷۸	۹
۵.۲۱۷۰	۶۲۳۱۸	۱۰
۳۸.۱۴۸۶	۳.۶۶۱۳۰	میانگین
۷.۶۲۶	۷.۲۹۲۱	انحراف معیار

۵- نتایج عددی مدل و آنالیز حساسیت:

هدف این بخش تشریح نتایج عددی مدل و تحلیل حساسیت بر پارامترهای بحرانی در چهارچوب مثال پیشنهادی است. جدول زیر ارزش‌های توابع هدف در احداث مکان‌های بالقوه شامل کارخانه‌ها، زمین کشاورزی، مراکز توزیع، مراکز بهبود و جمع‌آوری را نشان می‌دهد. اولین و دومین تابع هدف به ترتیب هزینه بهینه و کم‌ترین زمان تحویل به مشتری مدل را نشان می‌دهد. واحدهای تابع هدف اول و دوم میلیارد ریال و کیلوگرم ساعت است. همان‌طور که از جدول و شکل زیر مشخص است، یک شکاف بین بهترین جواب تابع هدف دوم و بدترین جواب آن وجود دارد؛ با تقسیم کردن این شکاف به ۲۴ قسمت و انتقال آن به‌عنوان یکی از محدودیت‌ها، مدل پیشنهادی تنها با تابع هدف اول حل می‌گردد [۱۹]. اگرچه این شکاف می‌تواند به نقاط بیشتری تقسیم شود، ولی رسیدن به تمام نقاط بهینه پارتو در اینجا نیاز نیست و تنها داشتن احساسی در مورد ساختار تابع هدف اهمیت دارد. در این مقاله تنها ۲۴ نقطه از خطوط پارتو استخراج شده است که در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول (۱۱): برخی از نتایج حل بهینه پارتو

ردیف	Z_1	Z_2	کارخانه‌های احداث شده	زمین کشاورزی	مراکز توزیع احداث شده	مراکز بهبود احداث شده	مراکز جمع‌آوری احداث شده
۱	۸۱۲۵۸	۲۸۵	۳	۵	۱۵	۷	۱۵
۲	۷۶۰۱۴	۳۵۶	۳	۳	۱۵	۷	۱۵
۳	۷۵۹۸۸	۳۷۴	۳	۳	۱۰	۶	۱۰
۴	۷۵۶۶۰	۳۹۰	۳	۳	۷	۵	۷
۵	۶۵۰۲۵	۱۸۶۶	۳	۰	۷	۲	۷
۶	۷۲۸۲۲	۴۰۸	۲	۵	۱۵	۷	۱۵
۷	۷۲۳۵۷	۴۲۶	۲	۵	۱۲	۶	۱۲
۸	۷۲۰۶۹	۴۶۴	۲	۵	۱۰	۵	۱۰
۹	۷۱۹۵۱	۴۸۳	۲	۵	۸	۴	۸
۱۰	۷۱۷۱۸	۴۹۹	۲	۵	۶	۳	۶
۱۱	۶۷۲۵۵	۱۰۱۳	۲	۲	۱۵	۷	۱۵
۱۲	۶۷۱۵۹	۱۲۲۶	۲	۲	۱۲	۶	۱۲
۱۳	۶۶۹۵۵	۱۴۵۶	۲	۲	۱۰	۵	۱۰
۱۴	۶۶۷۱۲	۱۴۹۰	۲	۲	۸	۴	۸
۱۵	۶۶۵۷۷	۱۵۳۸	۲	۲	۶	۳	۶
۱۶	۶۶۳۴۷	۱۵۹۷	۲	۲	۴	۲	۴
۱۷	۶۵۹۰۸	۱۶۷۱	۲	۲	۲	۲	۲
۱۸	۶۲۸۸۶	۲۰۶۸	۲	۰	۱۵	۷	۱۵
۱۹	۶۲۷۱۸	۲۱۵۴	۲	۰	۱۰	۵	۱۰
۲۰	۶۱۸۴۹	۲۵۴۱	۲	۰	۷	۳	۷
۲۱	۶۱۷۸۶	۲۵۳۳	۲	۰	۷	۲	۷
۲۲	۶۱۵۲۸	۲۸۴۶	۲	۰	۵	۲	۵
۲۳	۶۱۱۵۰	۳۲۷۰	۲	۰	۲	۲	۲
۲۴	۶۱۰۷۴	۳۸۱۵	۲	۰	۲	۰	۰



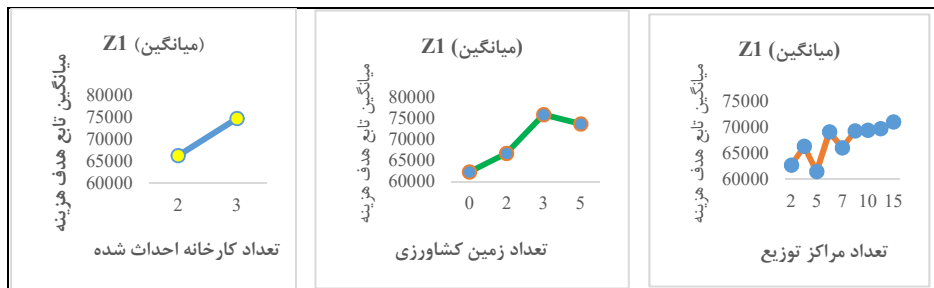
شکل (۴): تعیین حدود و مقادیر پارتو

با توجه به هدف‌های مسئله، شبکه در تلاش است که هزینه و پاسخ‌گویی شبکه را ارتقا دهد. بنابراین، تحلیل‌هایی در مفاهیم کمینه‌شدن هزینه و زمان تحویل مطرح است که به آن‌ها پرداخته می‌شود.

همان‌طور که از جدول و شکل فوق مشخص است، تابع هدف دوم که کمینه‌سازی زمان تحویل به مشتری نهایی است می‌تواند از ۲۸۵ واحد به ۳۸۱۵ واحد افزایش یابد در حالی که تابع هدف اول که کمینه‌سازی هزینه است از ۸۱۲۵۸ به ۶۱۰۷۴ واحد کاهش می‌یابد. از آنجایی که در جدول (۱۱) تعداد کارخانجات احداث شده، زمین‌های کشاورزی، مراکز توزیع، بهبود و جمع‌آوری مشخص شده است، این رفتار برای هر نقطه پارتو بهتر نمایان است. به‌عنوان مثال در نقطه پارتو (۲۸۵، ۸۱۲۵۸)، تعداد ۳ کارخانه، ۵ زمین کشاورزی، ۱۵ مراکز توزیع، ۷ مراکز بهبود، و ۱۵ مراکز جمع‌آوری فعال‌اند و در این نقطه است که تابع هدف دوم بهترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد. با تغییر اندک تابع هدف دوم از ۲۸۵ به ۳۵۶ واحد، اگرچه تعداد کارخانه‌ها، مراکز توزیع، جمع‌آوری و بهبود تغییری نمی‌کنند ولی تعداد زمین‌های زیر کشت از ۵ به ۳ کاهش می‌یابد و مقدار تابع هدف اول نیز متناسب با آن کاهش می‌یابد. این تکرار به همین ترتیب تا شماره ۲۴ کاهش می‌یابد تا نهایتاً بدترین مقدار ممکن تابع هدف دوم و بهترین مقدار تابع هدف اول را نتیجه می‌دهد. در این نقطه پارتو تنها دو کارخانه و ۲ مرکز توزیع احداث می‌گردد. نتایج کلی این تحلیل نشان می‌دهد که مورد شماره ۱۴ با مقادیر (۱۴۹۰، ۶۶۷۱۲) می‌تواند نقطه پارتو مناسبی برای هر دو تابع هدف باشد؛ آنجایی که تعداد ۲ کارخانه، ۲ زمین کشاورزی، ۸ مرکز توزیع، ۴ مرکز بهبود و ۸ مرکز جمع‌آوری فعال است.

۵-۱- هزینه

در این مطالعه زمانی که هزینه‌ها کاهش می‌یابد ریسک ارضای سایر فاکتورها شامل نگه‌داشت مشتری، زمان تحویل، کیفیت محصول نهایی و آلودگی هوا افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال در مورد ردیف (۲۴) که هزینه شرکت در کم‌ترین مقدار خودش است بدین معنی است که تابع هدف دوم بیش‌ترین مقدار را به خود می‌گیرد و در این حالت کلیه مواد خام اولیه شامل دانه روغنی و روغن خام با کم‌ترین هزینه از خارج از کشور تأمین می‌شود که در این شرایط، تابع هدف دوم ارضا نمی‌شود. بنابر تعریف مسئله مینی بر افزایش تولید با احداث کارخانه جدید یا افزایش ظرفیت کارخانه‌های موجود ردیف‌های (۱) الی (۵) علی‌رغم آن که دارای زمان تحویل مناسب‌تری نسبت به سایر ردیف‌ها است، هزینه کل سیستم را بالا می‌برد. بنابراین احداث کارخانه جدید در مقایسه با افزایش ظرفیت کارخانه‌های موجود توجیه اقتصادی ندارد. البته نقاط بالقوه ممکن است در دوره‌های بالاتر زمانی توجیه‌پذیر باشد، ولی در افق برنامه‌ریزی ۵ ساله شرکت، احداث کارخانه جدید پیشنهاد نمی‌شود. همچنین هزینه‌ها (زمان تحویل) با احداث زمین کشاورزی و مراکز توزیع بیش‌تر، افزایش (کاهش) می‌یابد.



شکل (۵): تحلیل حساسیت مراکز توزیع، زمین کشاورزی و تعداد کارخانه بر هزینه

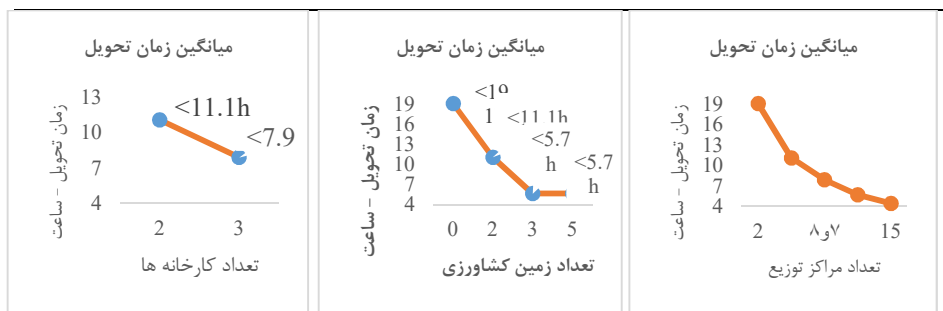
همان‌طور که مشخص است تعداد دو کارخانه موجود و یک کارخانه بالقوه برای احداث در نظر گرفته شده است و متناسب با شکل شماره (۵) با تحلیل حساسیت هزینه بر احداث کارخانه جدید، تابع هدف هزینه‌ها افزایش چشم‌گیری می‌یابد. متناسب با شکل فوق حداکثر ۵ زمین کشاورزی جهت احداث در مکان‌های بالقوه در نظر گرفته شده است. افزایش تعداد زمین‌های کشاورزی علاوه بر نزدیکی منابع تأمین به کارخانه‌های بالفعل، موجب کوتاه‌تر شدن زنجیره تأمین و کاهش هزینه‌های واردات می‌گردد. شکل شماره (۵) نشان می‌دهد که تعداد ۱۵ مرکز توزیع بالقوه در نظر گرفته شده است. با افزایش تعداد مراکز توزیع که به‌منظور سیاست کوتاه‌تر نمودن زنجیره توزیع و متعاقباً کیفیت محصولات نهایی احداث می‌گردند، هزینه تابع هدف افزایش می‌یابد در حالی که با احداث بیش از ۷ مرکز توزیع، شیب آن کاهش می‌یابد.

۵-۲- زمان تحویل

این تابع هدف مسئله پاسخ‌گویی شبکه زنجیره تأمین را ارزیابی می‌کند. نکته آنجا است که کالاهای اساسی ویژگی‌های منحصربه‌فردی دارد که گاهی می‌تواند به صورت غیرمستقیم بر هزینه‌ها تأثیر بگذارد. قیمت مناسب فروش و حضور پایدار در بازار از ویژگی‌های اصلی این محصولات‌اند. به‌عنوان مثال زمانی که خریدار به مغازه‌های خرده‌فروشی مراجعه می‌کند در صورت عدم وجود روغن (یا دیرکرد در زمان تحویل محصولات شرکت) ممکن است به راحتی محصولات شرکت را با برندهای دیگر جای‌گزین کند. در این حالت می‌تواند توجیه اقتصادی کل زنجیره تأمین و تولید محصولات را زیر سؤال ببرد. بنابراین تابع هدف دوم که کمینه‌کردن زمان تحویل به مشتری است نیز به‌اندازه کمینه‌سازی هزینه اهمیت دارد. بنابراین با وجود این که این دو کارخانه در حال حاضر به صورت مستقیم به مشتریان بار ارسال می‌کند، علاوه بر پیشنهاد ترغیب کشاورزان به کشت دانه‌های روغنی با پیشنهاد قیمت تضمینی خرید، در نظر گرفتن مراکز توزیع بالقوه پیشنهاد شده است. در اینجا ۱۵ مرکز بالقوه توزیع در شکل ۳ پیشنهاد شده است که نشان دهنده چشم‌انداز شرکت در ایجاد یک بازار پایدار است. با رجوع به جدول ۱۱ واضح است که زمانی که تعداد مراکز توزیع و زمین‌های کشاورزی بیشینه است مقدار تابع هدف کمینه است. (ردیف‌های (۱)، (۲) و (۶) را ملاحظه فرمایید). بنابراین برای اتخاذ یک تصمیم نهایی می‌بایست یک تعادلی میان اهداف تابع هدف برقرار شود. لذا جدول ۱۲ یک شرح ساده‌سازی شده برای تصمیم‌گیرندگان است که بتوانند بهترین تصمیم ممکن از بین ۲۴ حالت فوق اختیار کنند. همان‌طور که مشاهده می‌شود علاوه بر هزینه، فاکتورهای دیگری برای تصمیم‌گیری اهمیت دارد. در ادامه شاخص‌های کمی دیگری از جمله متوسط زمان تحویل محصولات، نیروی لازم جهت استخدام، سهم نوع تأمین مواد اولیه، صرفه‌جویی در مصرف سوخت (کاهش آلودگی و افزایش محیط‌زیست جهت کشت دانه‌های روغنی) که برای تصمیم‌گیرندگان ملموس‌تر است که از جدول ۱۱ استخراج شده است.

از آنجایی که این شاخص‌ها به راحتی قابل فهم‌اند، به مدیران جهت اتخاذ تصمیم بهینه کمک می‌کنند. در ادامه هر کدام از این شاخص‌ها به صورت جداگانه با در نظر داشتن احداث مراکز تحلیل شده است.

کوتاه‌تر کردن زمان تحویل به دلایل ذکر شده، به‌عنوان تابع هدف دوم این مقاله در نظر گرفته شده است. این زمان می‌تواند در دو قسمت تأمین و تولید محصولات در زمین‌های کشاورزی و کارخانه‌های بالقوه و یا در بخش توزیع محصولات نهایی در مراکز توزیع کاهش یابد. بدیهی است با افزایش تعدادی این مکان‌های بالقوه (شکل شماره ۶)، مدت زمان تحویل محصولات نهایی به مشتریان کاهش می‌یابد و نهایتاً منجر به کوتاه‌تر شدن زنجیره تأمین می‌گردد.



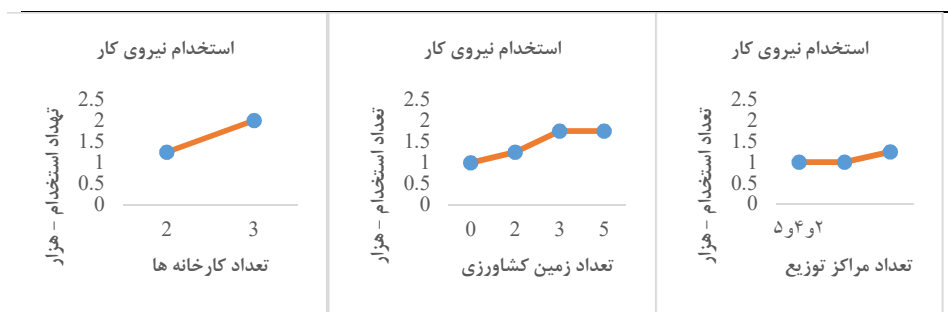
شکل (۶): تحلیل حساسیت مراکز توزیع، زمین کشاورزی و تعداد کارخانه‌ها بر زمان تحویل

جدول (۱۲): رویکرد کاربردی به نتایج حل بهینه پارتو

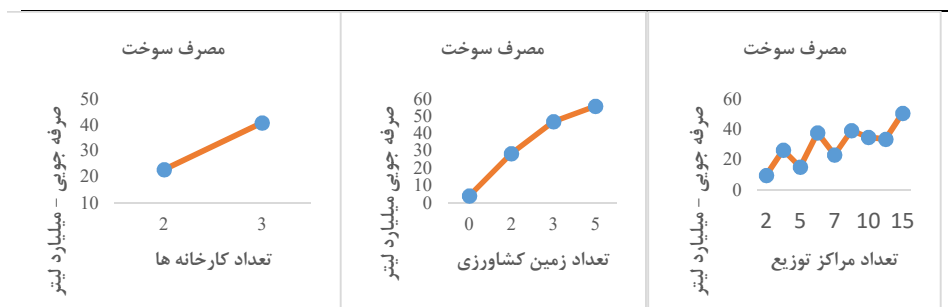
ردیف	درصد سهم تأمین مواد اولیه روغن	متوسط زمان تحویل	تعداد نیروی انسانی موردنیاز جهت استخدام	صرفه‌جویی در مصرف سوخت (میلیون لیتر)	درصد سهم تأمین مواد اولیه روغن		ردیف
					زمین کشاورزی	باز یافت روغن	
۱	٪۶۷	٪۹	٪۲۴	>۲۰۰۰	۵۹.۳	۱	۱
۲	٪۴۹	٪۹	٪۴۲	>۲۰۰۰	۴۹.۷	۲	۲
۳	٪۴۹	٪۷	٪۴۴	>۲۰۰۰	۴۶.۳	۳	۳
۴	٪۴۹	٪۵	٪۴۶	۱۵۰۰ < X < ۲۰۰۰	۴۴.۶	۴	۴
۵	٪۰	٪۵	٪۹۵	۱۵۰۰ < X < ۲۰۰۰	۳.۷	۵	۵
۶	٪۶۷	٪۹	٪۲۴	۱۵۰۰ < X < ۲۰۰۰	۵۸.۹	۶	۶
۷	٪۶۷	٪۷	٪۲۶	۱۰۰۰ < X < ۱۵۰۰	۵۶.۵	۷	۷
۸	٪۶۷	٪۵	٪۲۸	۱۰۰۰ < X < ۱۵۰۰	۵۱.۱	۸	۸
۹	٪۶۷	٪۳	٪۳۰	۱۰۰۰ < X < ۱۵۰۰	۵۰.۶	۹	۹
۱۰	٪۶۷	٪۳	٪۳۰	۱۰۰۰ < X < ۱۵۰۰	۴۸.۳	۱۰	۱۰
۱۱	٪۳۳	٪۹	٪۵۸	۱۵۰۰ < X < ۲۰۰۰	۳۳.۵	۱۱	۱۱
۱۲	٪۳۳	٪۹	٪۵۸	۱۵۰۰ < X < ۲۰۰۰	۳۲.۷	۱۲	۱۲
۱۳	٪۳۳	٪۷	٪۶۰	۱۰۰۰ < X < ۱۵۰۰	۳۱.۱	۱۳	۱۳
۱۴	٪۳۳	٪۵	٪۶۲	۱۰۰۰ < X < ۱۵۰۰	۲۷.۴	۱۴	۱۴
۱۵	٪۳۳	٪۵	٪۶۲	۱۰۰۰ < X < ۱۵۰۰	۲۷	۱۵	۱۵
۱۶	٪۳۳	٪۴	٪۶۳	< ۱۰۰۰	۲۶.۳	۱۶	۱۶
۱۷	٪۳۳	٪۲	٪۶۵	< ۱۰۰۰	۲۴.۸	۱۷	۱۷
۱۸	٪۰	٪۹	٪۹۱	۱۵۰۰ < X < ۲۰۰۰	۶.۴	۱۸	۱۸

طراحی شبکه تأمین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت مطالعه موردی: کالاهای اساسی ۱۶۰

۵	$1000 < X < 1500$	$< 5.7h$	٪۹۳	٪۷	٪۰	۱۹
۴.۲	< 1000	$< 7.9h$	٪۹۵	٪۵	٪۰	۲۰
۴	< 1000	$< 7.9h$	٪۹۵	٪۵	٪۰	۲۱
۳.۸	< 1000	$< 11.1h$	٪۹۵	٪۵	٪۰	۲۲
۳.۵	< 1000	$< 19.1h$	٪۹۵	٪۵	٪۰	۲۳
۰.۵	< 1000	$< 19.1h$	٪۱۰۰	٪۰	٪۰	۲۴



شکل (۷): تحلیل حساسیت مراکز توزیع، زمین کشاورزی و تعداد کارخانه بر استخدام نیروی کار



شکل (۸): تحلیل حساسیت مراکز توزیع، زمین کشاورزی و تعداد کارخانه بر مصرف سوخت

به عبارت دیگر، نمودارهای فوق تأثیرات هر کدام از مراکز بالقوه، کارخانه و زمین کشاورزی را برای تحویل به موقع کالاها نشان می‌دهند. همان‌طور که مشخص است زمانی که تعداد این مراکز افزایش بیابد، میانگین زمان تحویل کاهش پیدا می‌کند.

شکل (۷) بیان می‌کند که متوسط نیروی استخدامی با افزایش کارخانه‌ها، زمین‌های کشاورزی و مراکز توزیع افزایش می‌یابد.

شکل (۸) مقدار صرفه‌جویی در مصرف سوخت را از سه جنبه مورد بررسی قرار می‌دهد. اول آن که با توجه به افزایش احداث زمین‌های کشاورزی نزدیک کارخانه‌ها، در سوخت مازداد ناشی از

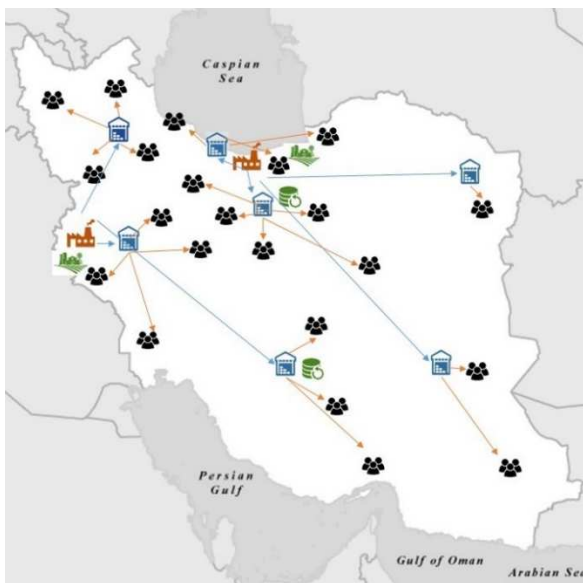
حمل و نقل از بندرها تا کارخانه‌های موجود صرفه‌جویی می‌شود. جنبه دوم، با احداث بیش‌تر مراکز توزیع، علی‌رغم کاهش زمان تحویل، کارخانه‌ها می‌توانند در محموله‌های بالاتری محصولات را به مراکز توزیع حمل کنند و مورد آخر با افزایش کارخانه‌ها، مراکز توزیع و زمین‌های کشاورزی، میانگین مسافت کل زنجیره تامین کاهش و دسترسی به مشتری نهایی بیش‌تر می‌شود. این صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌تواند تا اندازه زیادی به کاهش آلودگی هوا کمک کند.

۵-۳- تصمیم‌گیری

تیم تصمیم‌گیرنده متشکل از سهامداران، مدیران کارخانه‌ها (شامل: تأمین، برنامه‌ریزی، فروش، بازاریابی، منابع انسانی و مالی) و اعضای انجمن روغن نباتی کشور ایران به‌عنوان مشاور می‌باشند. تصمیم نهایی در مورد استراتژی ۵ ساله شرکت بر اساس نظر هر یک از این افراد به‌صورت جداگانه متفاوت می‌باشد. به‌عنوان مثال سهام‌داران فارغ از نوع و آماده‌سازی محصول، تمایل بالاتری به سودآوری و کاهش هزینه دارند، مدیران مالی تمایل بیشتری به کاهش هزینه به‌واسطه خرید از خارج کشور دارند. مدیران فروش تمایل به بالا بردن کیفیت و تحویل به‌موقع محصولات دارند و مدیران بازاریابی تمایل به ایجاد یک بازار پایدار و کم‌ریسک به‌واسطه توسعه تولیدات داخلی دارند و درنهایت مشاوران انجمن روغن نباتی تمایل به احیای زمین‌های کشاورزی و توسعه منابع زیست‌محیطی دارند که با ملاحظه هر کدام از تصمیم‌گیرندگان به‌صورت مجزا ریسک زنجیره تأمین را بالا می‌برد. بنابراین می‌بایست یک تعادلی بین تمامی تصمیمات اتخاذ نمایند تا بتوانند تمامی تصمیم‌گیرندگان ارضا شوند. لذا شکل شماره (۳) یک شمای کلی از مکان‌های بالقوه مورد مطالعه مقاله حاضر را نشان می‌دهد که در آن مکان‌های بالقوه برای زمین کشاورزی، احداث کارخانه موجود و جدید، مراکز توزیع، مراکز بهبود و مشتریان نهایی را جهت تصمیم به احداث و یا حذف با توجه به پارامترهای تعریف‌شده و شرایط غیرقطعی، مورد ملاحظه قرار می‌دهد.

در میان ۵ زمین کشاورزی بالقوه، زمین‌های کشاورزی واقع در استان‌های شمالی و غربی با در نظر داشتن مدیریت هزینه و منابع موجود، به‌عنوان کاندید برنامه‌ریزی قرار گرفتند. همچنین از میان ۱۵ و ۷ مراکز توزیع و بهبود موجود به‌ترتیب ۸ و ۴ مرکز پیرو ملاحظات پیش‌فرض مدیریتی احداث گردیدند. خروجی این مطالعات در شکل شماره (۹) به تصویر کشیده شده است. نتایج بر اساس تراکم جمعیتی استان‌های کشور ایران و نزدیک‌ترین مسافت به کارخانه استنباط شده است. بر اساس هزینه ثابت مراکز جمع‌آوری، این مراکز با مراکز توزیع ادغام شده‌اند؛ تصمیم در مورد مراکز توزیع که به زمان تحویل محصولات مربوط است بر اساس ساعت کاری کشور ایران که ۸ ساعت در روز است و برای مشتری مطلوب است که سفارش‌ها خود را کم‌تر از این ساعت تحویل بگیرد. علی‌رغم این که با افزایش مراکز توزیع زمان تحویل

به شدت کاهش می‌یابد (بر اساس جدول شماره (۱۱)) ولی تأثیر مستقیم بر افزایش هزینه دارد. لازم به ذکر است سایر فاکتورها از جمله صرفه‌جویی در مصرف سوخت، استخدام نیروی انسانی و حفظ و احیای محیط‌زیست که نقش مهمی در اهداف شرکت دنبال می‌کنند نیز در این تصمیم‌گیری تأثیرگذارند.



شکل (۹): مکان‌های احداث شده نهایی

لازم به توضیح است که با توجه به نوسانات بازار کالای اساسی در کشور و تغییرات نرخ ارز، قیمت مصرف‌کننده این کالاها مدام توسط سازمان حمایت از مصرف‌کننده کنترل و تعیین می‌گردد. کارخانه‌های مختلف پیرو تولید محصولات موجود و جدید، اسناد و مدارک خود را دال بر قیمت تمام‌شده محصولات با تأیید انجمن روغن نباتی ایران به این سازمان ارائه می‌نمایند تا بتوانند یک قیمت مصرف‌کننده معقول برای محصول خود وضع کنند که این موضوع حداقل سودآوری محصولات تولیدکننده را تضمین می‌نماید. داشتن سهم بازار ارتباط تنگاتنگی با سودآوری دارد؛ به عبارت دیگر داشتن سهم بازار بالاتر می‌تواند سودآوری بیشتری برای تولیدکننده به همراه داشته باشد. بنابراین کوتاه‌تر نمودن زمان تحویل اقلام به مشتری، در این مسئله مدل‌سازی شده که سودآوری سبد محصولات شرکت را تضمین می‌کند.

در ادامه توصیه‌های کاربردی و مدیریتی اشاره شده است که می‌تواند به پایداری بخش تولید مواد اولیه روغن نباتی در کشور، در راستای یک برنامه استراتژیک کمک شایانی کند.

- پیرو جدول نتایج کاربردی حل بهینه پارتو (جدول شماره ۱۲)، هلدینگ مورد بررسی می‌تواند (طی برنامه عملیاتی ۵ ساله) حداکثر تا ۶۷٪ از منابع تامین مواد اولیه خود را از طریق کشت در زمین‌های کشاورزی در مکان‌های بالقوه و حداکثر ۹٪ آن را از طریق بازیافت (براساس در نظر داشتن زنجیره تامین معکوس) تامین نماید. این تصمیم نیاز به حمایت دولت از کشت دانه‌های روغنی اعم از سویا، کلزا و آفتاب-گردان، با سیاست‌های خرید تضمینی از کشاورزان دارد که در مدل مسئله دیده شده است. علاوه بر خرید تضمینی از کشاورز، مدل‌های دیگری همچون اختصاص زمین-های رایگان به کشاورزان، دادن یارانه تولید و مشاوره دولت در زمینه کشت بهینه، کود و بذر و سایر سیاست‌های تشویقی می‌تواند به مدل فوق اضافه گردد. همان‌طور که مشخص است براساس جدول نتایج حل پارتو (جدول (۱۱))، ردیف شماره ۱۴ حالت مناسبی برای هلدینگ مورد مطالعه را نتیجه داده است که علیرغم دسترسی کارخانه‌ها به زمین‌های کشاورزی نزدیک آن‌ها، تنها دو زمین کشاورزی از ۵ زمین-های کشاورزی بالقوه (شکل شماره (۳)) انتخاب شده است و با توجه به در نظر داشتن توابع هدف هزینه و زمان تحویل در این مقاله، هلدینگ مورد بررسی ۳۳٪ منابع مواد اولیه خود را از طریق کشت دانه‌های روغنی و ۵٪ از طریق بازیافت تامین می‌نماید.
- تابع هدف دوم مدل به بهینه‌سازی زمان تحویل کالاها به مشتری نهایی مرتبط است؛ به دلایل واردات در تامین مواد اولیه، فرایند ترخیص گمرکی و توزیع نابهمینه و همچنین نبود مراکز توزیع و بهبود مناسب، زنجیره تامین روغن نباتی بسیار طولانی است. این طولانی‌بودن از آنجا مورد مناقشه است که دانه روغنی کالایی فسادپذیر است و هرچه چرخه آن کوتاه‌تر باشد کیفیت محصولات در آن بالاتر می‌رود. لذا ردیف شماره‌ی ۱۴ جدول (۱۱) و (۱۲) از آن جهت مطلوب تصمیم‌گیرندگان است که با فعال شدن ۸ مرکز توزیع و ۴ مرکز بهبود، متوسط زمان تحویل کالاهای تولید شده از ۱۹۰۱ ساعت به ۷۰۹ ساعت تقلیل پیدا خواهد کرد.
- از آنجایی که این مطالعه تنها زنجیره تامین دو کارخانه تصفیه روغن (دارای یک مالکیت) در کشور را بهینه‌سازی کرده‌است، لذا زمین‌های کشاورزی، تعداد کارخانه بسته‌بندی، مراکز توزیع، و مراکز بهبود تنها برای این شرکت بهینه شده است. همان-

طور که اشاره گردید زمین‌های کشاورزی زیر کشت، کارخانجای روغن‌کشی، کارخانجات تصفیه روغن و مراکز توزیع و بهبود آن‌ها می‌بایست پس از مطالعه ظرفیت‌های موجود هر کدام، برای مطالعه جامع‌تر برای کل کشور بررسی شوند. ولی چالش‌های این صنعت برای کلیه زنجیره تأمین آن، چه در مقیاس خرد و چه کلان مشابه است.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی دهدفه برای مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته کالاهای اساسی توسعه داده شد. کالاهای اساسی همواره از مهم‌ترین کالاهای حوزه کسب کار است و ویژگی‌های منحصر به فرد خود را در هر کشور دارد. از این رو این مقاله با ملاحظه نمودن کالای اساسی روغن نباتی در کشور ایران، به چالش‌های این صنعت در یک هلدینگ تولیدکننده آن پرداخته و راه‌کارهای بهینه جهت رویارویی با آن به کار گرفته شد. همان‌طور که قبلاً اشاره گردید بیش از ۹۵٪ روغن خام مصرفی کشور توسط سایر کشورها تأمین می‌گردد که این موضوع نقش پررنگی در وابستگی کشور در تأمین کالاهای اساسی کشور از جمله روغن نباتی، شکر، غلات و ... از یک سو و بی‌کیفیتی و تراریخته بودن انواع دانه‌های روغنی که تأثیرات آن‌ها به صورت انواع بیماری‌ها که در آینده گریبان‌گیر جامعه می‌شود، دارد. لذا با ارائه مدل بهینه فوق از تأمین مواد اولیه با استفاده از کشت انواع دانه‌های روغنی در استان‌های بالقوه و پیاده‌سازی مدل فوق در زنجیره تأمین روغن نباتی در هلدینگ مورد نظر، می‌تواند تا ۵ سال آینده حداقل ۳۳٪ از منابع روغن نباتی خودکفا شود. این مطالعه تنها برای دو شرکت کشت و صنعت شمال و ماهیدشت کرمانشاه با مدیریت خصوصی است که با تعمیم این مدل برای شرکت‌های فعال خصوصی و دولتی در این حوزه به راحتی می‌توان با برنامه‌ریزی بهینه استراتژیک، همانند سال ۱۳۴۷ در تولید روغن نباتی و مشتقات آن در کشور ایران خودکفا شد. علاوه بر موارد فوق‌الذکر، سایر سیاست‌های بازیافت روغن نباتی، احداث مراکز توزیع و پخش موی‌رگی، قیمت تضمینی خرید از کشاورزان و توسعه کشت دانه‌های روغنی بنا بر چالش‌های روبه‌رو، به عنوان راه‌کار پیشنهاد شدند. از آنجایی که تولید و عرضه در این صنعت وابستگی بالایی به خارج از کشور دارد، ریسک زیادی را به زنجیره متحمل می‌کند و بسیاری از پارامترهای مسئله را با شرایط عدم قطعیت روبه‌رو می‌کند. لذا جهت حل مسئله، رویکرد برنامه‌ریزی استوار امکانی به دلیل مواجه شدن با عدم قطعیت ذاتی مسئله به کار گرفته شد. ضمناً به منظور حل دو هدفه بودن تابع هدف (کمینه‌سازی تابع هدف و زمان تحویل به مشتری)، از یک روش تصمیم‌گیری چند هدفه استفاده شده است. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد مقاله آن است که به دلیل

آن که اعداد و ارقام ورودی مسئله تحت تأثیر نظرات خبرگان است، نتایج این مقاله نیز این امکان را به تصمیم‌گیران می‌دهد که یک چهارچوب تصمیم‌گیری کاربردی و اعداد و ارقام پیچیده، نتایج را با تحلیل‌های ساده‌سازی شده، مدیریت کنند.

مطالعات آتی در ادامه تحقیقات این مقاله علاوه بر تعمیم بر کل کشور، می‌تواند در دو محوریت صنعت روغن نباتی و رویکرد حل پیشنهاد شود. در مورد اول، سیاست‌های قیمت‌گذاری برای بخش‌بندی مشتریان می‌تواند پیشنهاد گردد. به‌عنوان مثال به‌دلیل وجود بسیاری از کانال‌های فروش توزیع موی‌رگی، عمده‌فروشی، فروشگاه‌های زنجیره‌ای، سازمانی و صادرات که هر کدام بازار و مشتریان خاص خود را دارد و جهت کسب سهم بیش‌تر بازار می‌بایست منطبق بر آن‌ها برنامه‌ریزی تولید و قیمت‌گذاری صورت بگیرد. بنابراین سیاست قیمت‌گذاری بهینه با ملاحظه عدم قطعیت پارامترهای مسئله برای هر کدام از کانال‌های عرضه فروش می‌تواند به‌عنوان تحقیقات آتی پیشنهاد گردد. همچنین زمانی که کالاهای اساسی مورد ملاحظه قرار می‌گیرد، تبلیغات می‌تواند نقش بسیار مهمی در تقاضای محصولات داشته باشد. تأمین پیشنهادهای تبلیغاتی و تحلیل تأثیرات هر کدام بر کانال‌های فروش می‌تواند به جذابیت مطالعات آتی این حوزه نقش داشته باشد. ضمناً در نظر داشتن تأثیرات جانبی این کالاهای اساسی شامل تأثیرات بر سلامتی، زیست‌محیطی، ملاحظات اجتماعی و اقتصادی با تعریف شاخص‌های کاربردی صنعت می‌تواند به احیای تولید داخلی این صنعت در کشور ایران منجر شود. در تقابل با مورد دوم درباره روش‌های حل آن در اندازه‌های بزرگ مسئله است که روش‌های حل هیوریستیک یا متاهیوریستیک که می‌تواند منجر به جواب‌های بهتر مسئله در کیفیت و زمان حل آن گردد، پیشنهاد می‌گردد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از انجمن روغن نباتی ایران، معاونت محترم شرکت کشت و صنعت شمال و ماهیدشت، و تیم داوری عزیز که ما را جهت انجام و ارتقاء کیفی این مقاله یاری نمودند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

منابع

- [1] Seo, Y.-J., Et Al. (2017). *The Enablers To Achieve Supply Chain Agility In Fmcg Industry*, Empirical Evidence From Germany, In Symposium On Logistics (Isl 2017) Data Driven Supply Chains.
- [2] Wang, L., Fan H., and Gong T. (2017). *The Sales Behavior Analysis and Precise Marketing Recommendations of FMCG Retails Based on Geography Methods*.

- [3] Bala, M. and Kumar D. (2011). *Supply chain performance attributes for the fast moving consumer goods industry*, Journal of transport and supply chain management, **5**(1), 23-38.
- [4] Brandenburg, M. and Seuring, S. (2011). *Impacts of supply chain management on company value: benchmarking companies from the fast moving consumer goods industry*, Logistics Research, **3**(4), 233-248.
- [5] Diehl, D. and Spinler, S. (2013). *Defining a common ground for supply chain risk management—A case study in the fast-moving consumer goods industry*, International Journal of Logistics Research and Applications, **16**(4), 311-327.
- [6] Bottani, E., R. Montanari, and Volpi, A. (2010). *The impact of RFID and EPC network on the bullwhip effect in the Italian FMCG supply chain*, International Journal of Production Economics, **124**(2), 426-432.
- [7] Bottani, E. and Rizzi, A. (2008). *Economical assessment of the impact of RFID technology and EPC system on the fast-moving consumer goods supply chain*, International Journal of Production Economics, **112**(2), 548-569.
- [8] Fearne, A. and Hughes, D. (1999). *Success factors in the fresh produce supply chain: insights from the UK*, Supply Chain Management: An International Journal, **3**(4), 120-131.
- [9] Hughes, D. and Merton, I. (1996). *“Partnership in produce”: the J Sainsbury approach to managing the fresh produce supply chain*, Supply Chain Management: An International Journal, **1**(2), 4-6.
- [10] Gimenez, C. (2006). *Logistics integration processes in the food industry*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, **36**(3), 231-249.
- [11] Vanelslander, T., Deketele, L. and Van Hove, D. (2013). *Commonly used e-commerce supply chains for fast moving consumer goods: comparison and suggestions for improvement*, International Journal of Logistics Research and Applications, **16**(3), 243-256.
- [12] Diabat, A., Govindan, K., and Panicker, V.V. (2012). *Supply chain risk management and its mitigation in a food industry*, International Journal of Production Research, **50**(11), 3039-3050.
- [13] Christopher, M., et al. (2011). *Approaches to managing global sourcing risk*, Supply Chain Management: An International Journal, **16**(2), 67-81.
- [14] Manuj, I. and Mentzer, J.T. (2008). *Global supply chain risk management*, Journal of Business Logistics, **29**(1), 133-155.

- [15] Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., and Pishvae, M.S. (2014). *A robust possibilistic programming approach to multi-period location-allocation of organ transplant centers under uncertainty*, Computers & Industrial Engineering, **74**, 139-148.
- [16] Zahiri, B., et al., (2015). *Blood collection management: a robust possibilistic programming approach*, Appl. Math. Model, **39**, 7680-7696.
- [17] Bouzembrak, Y., et al., (2012). *A possibilistic linear programming model for supply chain network design under uncertainty*, IMA Journal of Management Mathematics, **24**(2), 209-229.
- [18] Mohammed, A. and Wang, Q. (2017). *Developing a meat supply chain network design using a multi-objective possibilistic programming approach*, British Food Journal, **119**(3), 690-706.
- [19] Mousazadeh, M., Torabi, S.A., and Zahiri, B. (2015). *A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design*, Computers & Chemical Engineering, **82**, 115-128.
- [20] Rabbani, M., Zhalechian, M., and Farshbaf-Geranmayeh, A. (2018). *A robust possibilistic programming approach to multiperiod hospital evacuation planning problem under uncertainty*, International Transactions in Operational Research, **25**(1), 157-189.
- [21] Zhu, Y., and Huang, G. (2015). *A robust possibilistic mixed-integer programming method for planning municipal electric power systems*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, **73**, 757-772.
- [22] Bansal, A. (2011). *Trapezoidal fuzzy numbers (a, b, c, d): arithmetic behavior*, International Journal of Physical and Mathematical Sciences, **2**(1), 39-44.
- [23] Pishvae, M.S. and Torabi, S.A. (2010). *A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty*, Fuzzy Sets and Systems, **161**(20), 2668-2683.
- [24] Pishvae, M.S., Razmi, J., and Torabi, S.A. (2012). *Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach*, Fuzzy Sets and Systems, **206**, 1-20.
- [25] Mousazadeh, M., et al., (2018). *Health service network design: a robust possibilistic approach*. International Transactions in Operational Research, **25**(1), 337-373.
- [26] Saffari, H., et al., (2015). *Multi-objective robust optimization model for social responsible closed-loop supply chain solved by non-dominated*

sorting genetic algorithm, Journal of Industrial and Systems Engineering, **8**(3), 42-58.

[27] Mavrotas, G. (2009). *Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems*. Applied Mathematics and Computation, **213**(2), 455-465.

[28] طهمورث سهرابی، محسن اعتماد، محمد رضا فتاحی، (۱۳۹۶). مدل سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک تأمین: مطالعه موردی، مجله مدل سازی پیشرفته ریاضی، ۷(۲)، ۱۲۳-۱۳۲.

[29] شایان محسنی، میرسامان پیشوایی، (۱۳۹۶). توسعه مدل های برنامه ریزی استوار به منظور طراحی و بهینه سازی زنجیره تأمین تولید سوخت سبز از جلبک ها در شرایط عدم قطعیت، مجله مدل سازی پیشرفته ریاضی، ۷(۱)، ۵۹-۸۸.

[30] نسترن کاظمی، زهرا بادری، علی بزرگی امیری، (۱۳۹۴). ارائه مدل چند هدفه قابل اطمینان مکان یابی-تخصیص برای سیستم های تأمین خون تحت شرایط اختلال، مجله مدل سازی پیشرفته ریاضی، ۴(۲)، ۱-۲۵.



Supply Chain Network Design Under Uncertainty: A Case Study Research in Fast Moving Consumer Goods

Hamed Pouralikhani^{*}, Bahman Naderi^{**}, Alireza Arshadikhamseh^{*}

^{*}Department of Industrial Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran

^{**}Department of Engineering, University of Windsor, Canada

Received: 1398/01/11

Accepted for publication: 1399/11/17

Corresponding author: Hamed_pouralikhani@aut.ac.ir

© 2021 Published by Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Abstract

In this paper, a bi-objective closed-loop supply chain has been studied by Robust Possibilistic Programming (RPP) approach. This paper aims to minimize the cost and product shipping time (delivery) to the customers. The KVSS and MK company are considered a case study of Iran's vegetable oil industry. This paper addresses -and models- some challenges of this industry and provides the RPP solution approach with appropriate solutions. The main challenge of this industry is that the supply of raw materials and oilseeds is highly dependent on other countries. Accordingly, many other factors such as the exchange rate, sanctions, governmental rules and regulations, custom tariffs, and the supply and demand process, etc., have an impact on the definitive decision-making. Hence, the data are considered uncertain and the RPP approach is used to solve the model. The solving approach is also used to decide on the bi-objective function, in which managers can easily decide on the complex processes of this industry. Finally, the results of the model and the sensitivity analysis are presented to validate the model. The validation process uses examples and practical analyses that have been localized based on Iran's conditions.

Keywords: Fast moving consumer goods, Robust Possibilistic programming, Closed loop supply chain network design, bi-objective optimization.

Mathematics Subject Classification (2010): 49M30, 90c15, 90c29, 90c70, 90c90.



© 2021 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).