مدیریت زنجیره‌ی عرضه‌ی فرآوری شده محصولات غذایی
مطالعه موردی: صنعت تولید رب گوجه فرنگی در استان خراسان شمالی

عصمت مجرد*[۱]، ماشااله سالار پور[۱]، محمود صبوحی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۷/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۲۷

چکیده

گسترش روز افزون شبکه‌های تولید محصولات صنایع غذایی و همچنین تنوع تولیدکنندگان و شیوه‌های متنوع تامین محصولات صنایع غذایی و از سوی دیگر وجود عدم حتمیت‌های مختلف نظیر عدم حتمیت در عرضه‌ی نهاده‌های اصلی تولید، تقاضای بازار و قیمت‌ها موجب پیچیدگی در مدیریت زنجیره‌ی تامین صنایع تولید محصولات غذایی گشته است. در مطالعه‌ی حاضر با استفاده از برنامه‌ریزی خطی تصادفی چند مرحله‌ای به بررسی مساله‌یبرنامه‌ریزی تولید در صنعت تولید رب گوجه‌فرنگی پرداخته شد. صنعت تولید محصولات غذایی با عدم حتمیت در عرضه‌ی نهاده‌ی اصلی تولید مواجه بوده که به‌علت عوامل متعددی نظیر عوامل طبیعی، نوسانات قیمت نهاده‌های تولید می‌باشد. بدین منظور این عدم حتمیت در عرضه‌ی نهاده(گوجه‌فرنگی) در برنامه‌ریزی فروش یک صنعت تولید رب گوجه‌فرنگی در استان خراسان شمالی مورد توجه قرار گرفت. برای توصیف زنجیره عرضه واحد تولیدی و ارائه‌ی الگویی برای عرضه‌ی نامعین گوجه‌فرنگی از مدل برنامه‌ریزی خطی تصادفیچند مرحله‌ای و یک الگوریتم تجزیه جهت محاسبه‌ی سیاست‌های بهینه‌ی فروش استفاده شد. بدین منظور میزان بهینه‌ی تولید، فروش و میزان موجودی انبار در دوره‌های مختلف تولید تعیین شد. بنابراین توصیه می‌شود که مدیران واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن عدم حتمیت عرضه‌ی نهاده‌های اصلی در برنامه‌ریزی تولید با کاهش فروش و در نتیجه هزینه‌ی ناشی از دست دادن جایگاه خود در بازار مواجه نشود.

طبقه‌بندی *JEL*: *C61, M21, M31*

واژه‌های کلیدی: زنجیره عرضه، عدم حتمیت، برنامه‌ریزی خطی تصادفی چند مرحله‌ای.

۱- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و دانشیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل.

*نویسنده‌ی مسئول مقاله:sm_mojarad@yahoo.com

پیشگفتار

با توجه به اینکه بازار بین‌المللی و داخلی برای محصولات غذایی رقابتی است، صنایع تولید محصولات غذایی برای حصول اطمینان جهت حفظ خود در بازار نیازمند بهینه‌سازی سود حاصل از تولید و فروش می‌باشند. صنعت تولید رب گوجه فرنگی در استان خراسان شمالی جایگاه مناسبی را به‌خود اختصاص داده است. از این میان کارخانه رب گوجه فرنگی گلریز یک واحد تولید محصولات غذایی در استان خراسان شمالی می‌باشد که بیش از ۲۰ سال سابقه فعالیت دارد. این کارخانه در برنامه‌ریزی تولید با عدم حتمیت عرضه‌ی گوجه فرنگی مواجه است که به‌علت عوامل متعددی از قبیل عوامل طبیعی و نوسانات قیمت نهاده‌های تولید می‌باشد. عدم حتمیت در عرضه‌ی نهاده‌ی اصلی تولید می‌تواند ضرر و زیان‌های بزرگی را منجر شود. مگر اینکه این چنین عدم حتمیتی را در برنامه‌ریزی تولید در نظر گرفت. اثر عدم حتمیت عرضه‌یگوجه فرنگی برای کارخانه‌ی تولید رب گوجه فرنگی بسیار مهم است. بدین علت که ممکن است عرضه‌ی گوجه‌فرنگی در زمان تولید ازآنچه پیش‌بینی شده است، کمتر باشد. اگر چنین سناریویی در نظر گرفته نشود، واحد تولیدی ممکن است با موجودی ناکافی در برآورد تقاضای بازار و تحویل قراردادهای خود مواجه شده و هزینه‌ی زیادی را به‌خاطر از دست دادن جایگاه خود در بازار متحمل شود. از این رو، برای واحد تولیدی ارزش قابل ملاحظه‌ای وجود دارد که به‌دنبال ابزاری برای کاهش اثر این عدم حتمیت در برنامه‌ریزی تولید باشد. هدف اصلی این مطالعهتوسعه‌ی مدل برنامه‌ریزی خطی تصادفی چند مرحله‌ای است که می‌تواند برایتصمیم‌گیری بهتر واحد تولیدی در مواجهه با عدم حتمیت عرضه گوجه فرنگی به‌کار رود.

توسعه‌یصنایع تولید محصولات غذایی همواره یکیازاهدافمهمکشورهای عمده‌ی تولیدکننده‌ی محصولات کشاورزی به‌ویژه ایران بودهودستیابیبهاینهدفمستلزممدیریت زنجیره‌ی تامین صنایع تولید محصولات غذاییاست. تحققاینهدفزمانیامکان‌پذیراستکهقدرترقابتتولیدکنندگانبا در نظر گرفتن عدم حتمیت در تامین مواد اولیه افزایش یابد. بدیهیاستکهلازمه‌یاینامرشناختوضعموجودواحدهای تولیدی در زمینه‌ی مواجهه با عدم حتمیت در عرضه‌ی نهاده‌ی اصلی تولید، اعمالسیاست-هایمناسبوپالایشدقیقنتایجسیاست‌هایمذکوراست. بنابرایندرصورتیکهمدیران واحدهای تولیدیبتوانندباینگونهعواملتاثیرگذار از جمله عدم حتمیت در عرضه‌ی نهاده‌ی اصلی تولید و تقاضای بازاررا بربرنامه‌ریزی تولید محصولات غذاییشناساییومیزانتاثیرگذاریآنرادرکاهش ضررو زیان‌هایناشی از کاهش سود و از دست دادن جایگاه خود در بازار تعیینکنند،اطلاعاتبسیارمفیدیبرایبرنامه-ریزیفراهمخواهدشد. بنابراین شناخت عدم حتمیت‌های موجود در مدیریت زنجیره‌ی تامین صنایع

تولید محصولات غذایی در برنامه‌ریزی‌های آینده به مدیران واحدهای تولیدی در زمینه‌ی توسعه تولید، افزایش سود و حفظ جایگاه خود در بازار کمک می‌کند.

گسترش روز افزون شبکه‌های تولید محصولات صنایع غذایی و همچنین تنوع تولیدکنندگان و شیوه‌های متنوع تامین محصولات صنایع غذایی و از سوی دیگر وجود عدم حتمیت‌های مختلف نظیر عدم حتمیت در عرضه نهاده‌های اصلی تولید، تقاضای بازار و قیمت‌ها موجب پیچیدگی در فرآیند تامین محصول گشته و مدیریت زنجیره‌ی تامین صنایع تولید محصولات غذایی را ضروری می‌نماید. از این رو در فرآیند تامین محصولات صنایع غذایی باید به همپوشانی دقیق عوامل مخاطره‌آمیز توجه کامل شود. از سوی دیگر نگهداری و انبارداری محصولات صنایع غذایی و مدیریت بر انبارها به‌منظور کنترل ورود و خروج کالا و محاسبه‌ی موجودی پسته و کاهش هزینه-های نگهداری مواد غذایی از دیگر نیازها و دغدغه‌های اصلی تولیدکنندگان محصولات صنایع غذایی تلقی می‌گردد.

پیاده‌سازی فرآیند مدیریت زنجیره‌ی تامین صنایع تولید محصولات غذایی بر اساس مدل‌های علمی ریاضی در راستای تامین تقاضا در بازار و توسعه‌ی تولید محصولات صنایع غذایی از طریق برنامه‌ریزی تولید و همچنین عملیات خرید نهاده‌های تولید، خدمات نگهداری و انبارداری و فروش محصول سبب روانسازی چرخه‌ی تولید محصولات غذایی می‌گردد.

در این مطالعه تلاش شده است تا به این سوال اصلی پاسخ داده شود که نقش برنامه‌ریزی تولید با در نظر گرفتن عدم حتمیت عرضه نهاده‌ی اصلی تولید(گوجه فرنگی) در مدیریت زنجیره‌ی تامین صنعت تولید رب گوجه فرنگی در برآورد تقاضای بازارهای هدف خود برای تحقق منافع بیشتر، در چه حدی است؟

برخی از مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی مدل‌سازی برنامه‌ریزی تولید در زنجیره عرضه را می-توان در مطالعه‌ی گنشن و همکاران(۱۹۹۹)، مول و همکاران(۲۰۰۶) یافت. چن و پاول(۱۹۹۹) برای حل مسائل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای از الگوریتم تجزیه CUPPS استفاده نمودند. در تحقیق حاضر برای حل مساله‌ی مدیریت زنجیره‌ی عرضه در شرایط عدم حتمیت عرضه از الگوریتم بررسی شده توسط چن و پاول(۱۹۹۹) استفاده شد. برگر و همکاران(۱۹۹۵) به حل مساله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با استفاده از درخت تصمیم پرداخت. پریرا و پینتو (۱۹۹۱) به معرفی الگوریتم تجزیه مبنی بر روش برنامه‌ریزی تصادفی پویای دوگان(SDDP) برای حل مسائل تصادفی در برنامه‌ریزی انرژی پرداختند. فیلپات و گان(۲۰۰۸) و دونوهو و بریج(۲۰۰۶) در حل مساله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای از الگوریتم(SDDP) استفاده نمودند.

گان و فیلپات(۲۰۱۱) به حل مساله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای برای صنعت لبنیات نیوزلند پرداخت. بدین منظور از الگوریتم نمونه‌گیری پویا با تقریب بیرونی(DOASA) برای حل مساله‌ی تصادفی درجه دوم استفاده نمود. ونتوسا و همکاران(۲۰۰۵) در مطالعه‌ای بر روی مدل-سازی بازار برق از مدل‌های بهینه‌سازی تصادفی با تقاضای خطی کمک گرفتند. همچنین لمبرت و همکاران(۱۹۹۵)در بخش کشاورزی، بویچاک و مارتل(۱۹۹۶) در بخش جنگل از برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای برای مدل‌سازی استفاده نمودند.

توپالوگو و همکاران(۲۰۰۸) به بررسی مدیریت سهام بین‌المللی با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی پویا پرداختند. عدم حتمیت در نرخ ارز و قیمت دارایی‌ها در بازار وجود دارد. تصمیمات تعدیل سهام در چند دوره به‌صورت سناریو در درخت تصمیم مشخص شد. در این تحقیق به حل بهینه‌ی تخصیص سرمایه در بازارهای بین‌المللی و انتخاب دارایی‌ها در هر بازار می‌پردازد. نتایج نشان داد که برنامه‌ریزی تصادفی ریسک قراردادهای ارزی آتی را در بازار جهانی سهام کاهش می‌دهد و برنامه‌ریزی تصادفی ابزار مناسبی جهت مدیریت سهام بین‌المللی می‌باشد.

صادقی و همکاران(۱۳۸۸) در مطالعه‌ای بر روی برنامه‌ریزی یکپارچه‌ی تامین، تولید و توزیع زنجیره تامین با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک، پس از بررسی مدل‌های گوناگون ارایه شده در خصوص جریان مواد در زنجیره‌ی تامین، با رویکردی یکپارچه به مدل‌سازی جریان مواد در طول زنجیره‌ی تامین در بخش‌های تامین، تولید و توزیع در کارخانه کاچیران پرداخته است. در این تحقیق پس از حل مدل با الگوریتم ژنتیک بهترین جواب رضایت بخش که کمترین میزان هزینه را دارا می‌باشد، انتخاب شده است.

زند حسامی و ساوجی(۱۳۹۱) ضمن تشریح مفهوم عدم قطعیت در زنجیره‌یتامین، همچنین شناسایی ریسک‌های زنجیره تامین و تعیین شدت اثرشان، مدیریت ریسک در زنجیره‌ی تامین به-عنوان یکی از وظایف اصلی مدیران بیان گردیده است. در ادامه بر اساس مدل پیشنهادی، مهم‌ترین ریسک‌های زنجیره‌ی تامین شناسایی شده و بر اساس آن پرسشنامه‌ای طراحی شده است که در آن شدت تاثیر ریسک‌ها را نسبت به هم سنجیده و در نهایت با تکنیک دیماتل، نتایج تحلیل شد و بر اساسآن شدت تاثیر مهم‌ترین ریسک‌های زنجیره‌ی تامین به‌ترتیب اولویت مشخص شد که عبارت ازمحیطی، منابع مالی، استراتژی، فنآوری اطلاعات و ارتباطات و تجهیزات و تکنولوژی می‌باشند.

محمودی و مینایی(۱۳۹۲) با استفاده از روش پویایی سیستم به بررسی و تحلیل رفتار بازار میلگرد پرداختند. به‌طوری‌که ضمن بررسی عرضه، تقاضا و قیمت میلگرد و انتخاب یک مدل دینامیکی برای بررسی رفتار متغیرهای موجود در بازار میلگرد با تغییر متغیرهای موجود در مدل، رفتار آنها

مورد تحلیل حساسیت قرار گرفته و با استفاده از این نتایج، اثرات سیاست‌های وزارت بازرگانی جهت تحقق تنظیم بازار مورد تحلیل قرار گرفته است.

سوالات اصلی این مطالعه در برنامه‌ریزی تولید در هر ماه با توجه به عدم حتمیت عرضه گوجه‌فرنگی بدین صورت می‌باشد که چقدر تولید کند؟ چه میزانی از محصول را در همان ماه بفروش برساند؟و چه میزان از محصول را ذخیره نماید؟

مواد و روش‌ها

در این بخش، ابتدا مبانی نظری مربوط به پیش‌بینی و شبیه‌سازی مدل به روش مونت کارلو با استفاده از نرم‌افزار Simetar مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در ادامه به بررسی مبانی نظری مربوط به برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت به مدل‌سازی ریاضی مدیریت ریسک زنجیره‌ی عرضه‌ی صنعت تولید رب گوجه فرنگی بر مبانی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای پرداخته شد.

پیش‌بینی و شبیه‌سازی عدم حتمیت در عرضه‌ی گوجه فرنگی

در شبیه‌سازی مدل نه تنها ضرایب رگرسیون مفید هستند، بلکه جزء خطا برای تعیین ریسک‌های غیر منتظره در مدل ضروری است. برای پیش‌بینی داده‌های سری زمانی از الگوهای سری زمانی استفاده می‌شود. الگوهای سری زمانی سعی می‌کنند تا رفتار یک متغیر را بر اساس مقادیر گذشته آن متغیر توضیح دهند. این الگوها این امکان را فراهم می‌کنند که حتی در مواردی که الگوهای اقتصادی زیرساخت نامشخصی دارد، پیش‌بینی‌های دقیقی را از متغیر مورد نظر ارائه کنند. در راستای معرفی الگوی سری زمانی مورد مطالعه در این تحقیق، به شرح مختصر فرآیند خودتوضیحی میانگین متحرک((ARMA(p,q) پرداخته شد. اگر لازم باشد که سری زمانی با d بار تفاضل‌گیری ایستا شود آنرا در قالبARMA(p,q) آورده و سری زمانی اولیه یک فرآیند خودتوضیحی جمعی میانگین متحرک به‌صورتARIMA(p,d,q) است.

به‌منظور پیش‌بینی عرضه‌ی گوجه فرنگی در ماه‌های مختلف، از مدل اتورگرسیو میانگین متحرک استفاده شد. مدل اتورگرسیو میانگین متحرک به‌صورتARMA(p,q) مشخص شد. عرضه‌ی گوجه فرنگی در هر ماه در سال‌های مختلف به‌صورت زیر پیش‌بینی شد.

$$s_t = \sigma_0 + \lambda_0 h + \sigma_1 s_{t-1} + \sigma_2 s_{t-2} + \cdots + \sigma_p s_{t-p} + \lambda_1 \varepsilon_{t-1} + \lambda_2 \varepsilon_{t-2} + \cdots + \lambda_q \varepsilon_{t-q} \quad (۱)$$

در رابطه‌ی ۱، σ و λ پارامترهای مدل و ε_t جزء اخلال تصادفی است(جانستون،۱۹۶۳).

بنابراین پارامترهای مساله برای دستیابی به بهترین پیش‌بینی تخمین زده می‌شود. سپس جزء تصادفی$\tilde{\varepsilon}_t$و توزیع‌های احتمالی برای متغیرهای تصادفیبه‌دست آورده می‌شود. سپس بهترین پیش-بینی از طریق روش‌های اقتصادسنجی برای متغیری که تحت تاثیر ریسک است؛ صورت می‌گیرد و

جزء تصادفی متغیر ریسکی با تابع توزیع مشخص به‌دست آمده و مقادیر تصادفیشبیه‌سازی شده از تابع توزیع مشخص برای جزء تصادفی ایجاد می‌گردد. اعتبار مقادیر تصادفی شبیه‌سازی شده بدین صورت است که توزیع احتمال مقادیر شبیه‌سازی شده با توزیع احتمال اصلی(منشاء) یکسان باشد.
شبیه‌سازی یک مدل تصادفی با رسم مقادیر تصادفی برای هر یک از متغیرهای تصادفی صورت می‌گیرد. تکرار این فرآیند به مقدار زیاد(تکرار) سبب می‌شود که مدل برای دامنه‌ی گسترده‌ای از ترکیبات ممکن از متغیرهای تصادفی شبیه‌سازی شود. آرایه‌ی حاصل از ۱۰۰ یا بیشتر از ۱۰۰ بار تکرار مقادیر شبیه‌سازی شده، برای تعریف یک توزیع احتمال تجربی برای متغیرهای تصادفی به‌دست می‌آید. توزیع‌های احتمال برای متغیرهای تصادفی برای تعیین درک بهتری از دامنه‌ی نتایج ممکن مورد توجه قرار می‌گیرد. آنالیز حساسیت بر روی متغیرهای تصادفی ورودی و تجزیه و تحلیل سناریوها بر روی متغیرهای کنترل مدیریتی، قابلیت های مورد نیاز را برای یک شبیه‌سازی فراهم می‌کند. نرم‌افزار Simetar امکان شبیه‌سازی یک مدل تصادفی و همچنین انجام آنالیز حساسیت، تجزیه و تحلیل سناریوهای متعدد و رتبه‌بندی گزینه‌های ریسکی را فراهم می‌کند.

مدل برنامه‌ریزی خطی تصادفی چند مرحله‌ای

در حالت کلی یک مساله برنامه‌ریزی خطی تصادفی چند مرحله‌ای به‌صورت زیر فرموله می‌شود(فیلپات و گان،۲۰۰۸):

$$[LP_1]\Delta_1 = minc_1^T x_1 + \Theta_2(x_1) \quad (۲)$$

$$s.t. \;\; A_1 x_1 = b_1 \quad (۳)$$
$$x_1 \geq 0, \mathrm{t} = 1$$

مساله برای مراحل $t = 2, \dots, T$، به‌صورت زیر فرموله می‌شود:

$$[LP_t]\Delta_t = minc_t^T x_t + \Theta_{t+1}(x_t) \quad (۴)$$
$$s.t. \;\; A_t x_t = s_t - B_{t-1} x_{t-1} \quad (۵)$$
$$x_t \geq 0, \mathrm{t} = 2, \dots, \mathrm{T}$$

جایی که:

$$\Theta_{t+1}(x_t) = \sum_{i=1}^{S} p_{ti}\, \Delta_{t+1}(x_t, s_{t+1,r}) = \mathrm{E}_{s_t}\left[minc_{t+1}^T x_{t+1} + \cdots + E_{s_t}[minc_T^T x_T]\right] \quad (۶)$$
$$\Theta_{T+1} \equiv 0\,, t = T \quad (۷)$$

در این مطالعه برای حل مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای از الگوریتم نمونه‌گیری جزئی و صفحه برش(CUPPS)استفاده شد(چن و پاول،۱۹۹۹). در ادامه کاربرد الگوریتمCUPPS در مساله‌ی فوق توصیف می‌شود.

الگوریتمCUPPS در هر مرحله به‌طور متوالی، به تخمین تقریبی تابع هزینه‌ی آینده مورد انتظار$(\mathrm{x_t})\Theta_{t+1}$ توسط حداکثر مجموعه‌ای از ترکیب‌های خطی می‌پردازد. این ترکیب‌های خطی بر مبنای زیر مجموعه‌ی مشخصی از نقاط حدی دوگانه در مرحله‌ی بعدی (t+1)به‌دست می‌آید. بدین منظور مساله‌ی$[\mathrm{AP_t^k}]$ جایگزین مساله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای اولیه می‌شود. در مرحله‌یt=1، مساله‌ی$[\mathrm{AP_t^k}]$برای هر تکرار ,... $\mathrm{k}=1,2,$ به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$[AP_1]\hat{\Delta}_1^{\mathrm{k}}= minc_1^T x_1 + \theta_2(x_1) \quad (۸)$$

$$s.t.\ \ A_1 x_1 = b_1 \quad (۹)$$

$$\theta_2 \geq \alpha_{2,k-1} - \left(\beta_2^{k-1}\right)^T x_1 \quad (۱۰)$$

$$x_1 \geq 0\,, \mathrm{t}=1$$

همچنین در مرحله‌ی$t = 2, \dots, T-1$، مساله به‌صورت زیر فرموله می‌شود.

$$[AP_t]\hat{\Delta}_{\mathrm{t}}^{\mathrm{k}}= minc_t^T x_t + \theta_{t+1}(x_t) \quad (۱۱)$$

$$s.t.\ \ A_t x_t = s_t - B_{t-1}x_{t-1}^k \quad (۱۲)$$

$$\theta_{t+1} \geq \alpha_{t+1,k} - \left(\beta_{t+1}^k\right)^T x_t \quad (۱۳)$$

$$x_t \geq 0, \mathrm{t}=2,\dots,\mathrm{T}$$

در نهایت برای مرحله‌ی آخر t=T مساله $[\mathrm{LP_T}] = [\mathrm{AP_T}]$ می‌باشد.

مساله‌ی$[\mathrm{AP_t^k}]$ توسط مجموعه‌ای از ترکیب‌های خطی، تخمین تقریبی از تابع هزینه‌ی آینده $\Theta_{t+1}(x_t)$ را به‌صورت زیر به‌دست می‌آورد.

$$max\left\{\alpha_{t+1,k} - \left(\beta_{t+1}^k\right)^T x_t\right\} \mathrm{k}=1,\dots,\mathrm{n} \quad (۱۴)$$

که در رابطه‌ی فوق پارامترهای β_t^k و $\alpha_{t,k}$ به‌صورت زیر فرموله می‌شوند.

$$\beta_t^k = \sum_{i=1}^{\mathrm{q}} \mathrm{p_{ti}}\, B_{t-1}^T \pi_t^i\left(x_{t-1}^{k-1}, s_{ti}\right), \qquad \mathrm{t}=2,\dots,\mathrm{T} \quad (۱۵)$$

$$\alpha_{\mathrm{t,k}} = \sum_{i=1}^{q} \mathrm{p_{ti}}\left[s_{tr}^T \pi_t^i(x_{t-1}^{k-1}, s_{tr}) + \left(\alpha_{\mathrm{t+1}}^{\mathrm{k-1}}\right)^{\mathrm{T}} \rho_{\mathrm{t}}^{\mathrm{i}}(x_{t-1}^{k-1}, s_{ti})\right], \mathrm{t}=2,\dots,\mathrm{T}-1 \quad (۱۶)$$

جایی که ضرایب لاگرانژ π_tوρ_t به‌ترتیب متناظر با محدودیت‌های ۱۲ و ۱۳ به‌صورت زیر می باشند.

$$\left(\pi_t(x_{t-1}^k, s_{Ti}), \rho_t(x_{t-1}^k, s_{Ti})\right) = argmax\{\pi_t^T(s_t - B_{t-1}x_{t-1}^k) + \rho_t^T \alpha_{t+1}^k\} \quad (۱۷)$$

و برای $t = 2, \dots, T$، بردار α_{t+1}^k به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\alpha_{t+1}^k = \left(\alpha_{t+1,1}, \dots, \alpha_{t+1,k}\right) \quad (۱۸)$$

در مرحله‌ی آخر، t=T:

$$\alpha_{T,k} = \sum_{i=1}^{q} p_{Ti}\, s_{Ti}^T \pi_T^i\left(x_{T-1}^{k-1}, s_{Ti}\right), \qquad t = T \quad (۱۹)$$

$$\pi_T\left(x_{T-1}^k, s_{Ti}\right) = argmax\left\{\pi_T^T\left(s_T - B_{T-1}x_{T-1}^k\right)\right\} \quad (۲۰)$$

در هر تکرار $k = 1,2, \dots,$ الگوریتم CUPPS مجموعه‌ای از جواب‌های ممکن $\left(\pi_t^k, \rho_t^k\right)$و$\left(x_t^k, \theta_t^k\right)$ همچنین مجموعه‌ای از ترکیب‌های خطی را برای تابع هزینه‌ی آینده در هر مرحله محاسبه می‌کند. در مساله‌یAP_1، مقادیر ρ_1^kوπ_1^k به‌ترتیب جواب‌های بهینه‌ی دوگان متناظر با محدودیت‌های ۱۲ و۱۳ می‌باشند. در هر یک از مراحل $t = 2, \dots, T-1$ ، مقادیر ρ_t^kوπ_t^k به‌ترتیب جواب‌های بهینه‌ی دوگان متناظر با محدودیت‌های ۱۲ و ۱۳ می‌باشند(در مرحله‌ی آخر $t = T$ ، تنها مقدار بهینه‌ی دوگان π_T^kمتناظر با محدودیت ۵ وجود دارد). الگوریتم مجموعه‌ای از ترکیب‌های خطی را برای تابع هزینه‌ی آینده در هر مرحله تولید می‌کند که این ترکیب‌های خطی به مساله افزوده می‌شود. برای تمامی مراحل، الگوریتم در شروع ترکیب خطی زیر را برای تابع هزینه‌ی آینده استفاده می‌کند.

$$\theta_{t+1} \geq -\infty \quad (۲۱)$$

در مرحله‌ی آخر T، $[LP_T] = \left[AP_T^k\right]$ می‌باشد و بنابراین برای هر متغیر حالت x_{T-1} و w_T رابطه‌ی زیر برقرار است.

$$C_T^k(x_{T-1}, w_T) = \Delta_T(x_{T-1}, w_T) \quad (۲۲)$$

ارزش بهینه‌ی$\left[AP_t^k\right]$ در تکرارهای مختلف، زمانی تعیین می‌گردد که مقدار آن از یک تکرار به تکرار بعدی افزایش یابد.

$$C_t^{k+1}(x_{t-1}, w_t) \geq C_t^k(x_{t-1}, w_t) \quad t = 2,3, \dots, T \quad (۲۳)$$

الگوریتم CUPPS مراحل زیر را دنبال می‌کند.

مرحله‌ی۱: در شروع، شمارشگر تکرار برابرk=1 قرار گرفت و در هر مرحله، مساله با ترکیب خطی اولیه(محدودیت ۲۱) محاسبه می‌شود.

مرحله‌ی ۲: با تخمین مساله‌ی AP_1 جواب‌های بهینه‌ی (x_t^k, θ_t^k)و مقدار بهینه‌ی تابع $\hat{\Delta}_1^{\mathrm{k}}$ تعیین می‌شود. برای هر یک از مراحل $t = 2, \dots T-1$ به‌ترتیب یک نمونه‌ی تصادفی عرضه‌ی گوجه فرنگی s_t^kاز سناریوهای شبیه‌سازی شده‌ی عرضه نمونه‌گیری می‌شود و با توجه به مقدار معلوم $x_{t-1} = x_{t-1}^k$و s_t^k، مساله‌ی AP_t حل می‌شود. جواب‌های بهینه‌ی اولیه (x_t^k, θ_t^k)، جواب‌های بهینه‌ی دوگان مساله‌ی اولیه (π_t^k, ρ_t^k) و همچنین مقدار بهینه‌ی تابع $\hat{\Delta}_t^{\mathrm{k}}(x_{t-1}^k, s_t^k)$ به‌دست می‌آید. سپس مقادیر بهینه‌ی دوگان (π_t^k, ρ_t^k) در مساله‌ی AP_t، ترکیب خطی جدیدی را (محدودیت ۱۲ و ۱۳) ایجاد می‌کند که به مساله‌ی AP_{t-1} در تکرار بعدی (k+1) افزوده می‌شود.

مرحله‌ی ۳: در مرحله‌ی $t = T$ ، یک نمونه‌ی تصادفی عرضه‌ی گوجه فرنگی s_T^kاز سناریوهای شبیه‌سازی شده‌ی عرضه‌ی گوجه فرنگی نمونه‌گیری شده و با توجه به مقدار معلوم $x_{T-1} = x_{T-1}^k$ و s_T^k، مساله‌ی AP_T حل می‌شود. جواب بهینه‌ی اولیه‌ی x_T^k، جواب‌های بهینه‌ی دوگان مساله‌ی اولیه‌ی π_t^kوهمچنین مقدار بهینه‌ی تابع $\hat{\Delta}_T^{\mathrm{k}}(x_{T-1}^k, s_T^k)$ به‌دست می‌آید. سپس مقدار بهینه‌ی دوگان π_T^k ، ترکیب خطی جدیدی را (محدودیت ۱۲ و ۱۳) ایجاد می‌کند که به مساله‌ی AP_{T-1} در تکرار بعدی (k+1) افزوده می‌شود.

مرحله‌ی ۴: شمارشگر تکرار برابر k=k+1 قرار می‌گیرد و الگوریتم مجددا به مرحله‌ی ۲ می‌رود.

کاربرد برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای در مدیریت زنجیره‌ی عرضه‌ی صنعت تولید رب گوجه فرنگی

در این بخش مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای برای کارخانه‌ی مورد مطالعه معرفی شد. این مدل شامل مجموعه‌ای از مسائل مرحله‌ای می‌باشد که هزینه‌ی آینده را در نظر می‌گیرد. قبل از ارائه‌ی مدل، پارامترها، متغیرها و شاخص‌های مدل معرفی شد.

شاخص‌ها، پارامترها و متغیرها:

h شش ماهه اول تولید در سال، افق برنامه ریزی شش ماهه.

$\mathrm{t}\epsilon\mathrm{T}$ تعداد ماه های تولید در سال.

$\hat{t}$ اولین ماه در سال فروش h.

$\check{t}$ آخرین ماه در سال فروش h.

Ω_{t} مجموعه‌ای از عرضه‌ی شبیه‌سازی شده برای ماه t.

$\mathrm{Pr}_{\Omega_{\mathrm{t}}}$ احتمال وقوع سناریوهای مختلف عرضه s_{t} .

s_t عرضه‌ی نهاده‌ی اولیه برای تولید گوجه فرنگی در ماه t .

x_{t} میزان فروش محصول در ماه t .

a_{t} قیمت فروش محصول در ماه t .

$\check{x}_t$ حداقل تقاضا برای محصول در بازار در ماه t .

$\hat{x}_t$ حداکثر فروش محصولدر ماه t .

ν_t میزان موجودی محصول در انبار در انتهای ماهt .

$\hat{v}$ میزان ظرفیت انبار برای محصول.

$\nu_{\hat{t}}$ میزان موجودی محصول در انبار در ابتدای سال.

$\nu_{\check{t}}$ میزان موجودی محصول در انبار در انتهای سال.

u_t میزان تولید در ماه t .

κ هزینه‌ی نهایی انبارداری محصول.

τ هزینه‌ی نهایی محصول.

γ هزینه‌ی حمل و نقل پسته با فرض ثابت بودن در طول ماه‌های مختلف.

c_j میزان عملکرد به ازای هر واحد عرضه.

r_tمیزان عرضه روزانه در هر ماه t .

d_t تعداد روزهای تولید در ماه t .

$\varepsilon_{\hat{t}}$ جزء تصادفی شروع سال.

ε_t جزء تصادفی در ماه t .

Θ_{t+1} هزینه‌ی آینده در مساله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای در ماه t .

Δ_t حداقل هزینه در مساله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای در ماه t .

سناریوهای مختلف عرضه‌ی گوجه فرنگی($\mathbf{s}_t$) به‌عنوان یک فرآیند تصادفی معرفی شد که $\boldsymbol{s}_t = (s_{t1}, \dots, s_{tS})$ یک بردار تصادفی از عرضه‌ی شبیه‌سازی شده‌ی گوجه فرنگی برای تولید در هر تکرار می باشد.

تابع هدف مساله

تابع هدف مساله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای در مرحله‌یt به‌صورت زیر بیان شد.

$$[\mathrm{LP_t}]\ \Delta_t = -a_t x_t + \tau u_t + \kappa \nu_t + \gamma x_t + \Theta_{t+1}(\nu_t, x_t, u_t) \quad (۲۴)$$

مقادیر بهینه‌ی تابع هدف $\Delta_t(\nu_{t-1}, x_{t-1}, u_{t-1}; s_t)$ با توجه به موجودی انبار محصول در دوره‌ی قبلν_{t-1}، میزان تولید و فروش در دوره‌ی قبل در شرایط عدم حتمیت عرضه‌ی نهاده‌یs_t مشخص می‌گردد. تابع هدف در هر مرحله‌ی هزینه‌ی آینده $\Theta_{t+1}(\nu_t, x_t, u_t)$ یا تابع مرجع مرحله‌ی$t+1$ را مشخص می‌کند که شامل نتایج تصادفی می‌شود. هزینه‌ی آینده در مرحله‌ی$t+1$ به موجودی انبار در انتهای این دوره و جزء خطای جاری و دوره‌ی قبل مربوط می‌باشد و به‌صورت زیر بیان شد.

$$\Theta_{t+1}(\nu_t, x_t, u_t) = \sum_{s_{t+1}\in\Omega_{t+1}} Pr_{\Omega_{t+1}}(s_{t+1}) \times \Delta_{t+1}(\nu_t, x_t, u_t; s_{t+1}) \quad (۲۵)$$

محدودیت‌های مساله

محدودیت ۲۶ حالتی است که مقدار عرضه‌ی روزانه‌ی گوجه بایستی حداکثر برابر ظرفیت فرآوری روزانه‌ی گوجه در کارخانه باشد. محدودیت ۲۸ نشان می‌دهد که میزان تولید کل محصول در دوره‌یt از حاصلضرب میزان عرضه‌ی گوجه فرنگی در دوره‌ی t در عملکرد محصول به ازای هر واحد عرضه‌ی گوجه فرنگی تعیین می‌شود.

$$r_t \le \hat{r} \quad (۲۶)$$

$$s_t = d_t r_t \quad (۲۷)$$

$$u_t = d_t c_j r_t \quad (۲۸)$$

محدودیت ۲۹ تعادل جریان تولید را نشان می‌دهد که میزان موجودی و فروش کل محصول در دوره‌یt با میزان تولید کل در دوره‌ی جاری و موجودی دوره‌ی قبل برابر است.

$$\nu_t + x_t = u_t + \nu_{t-1} \quad (۲۹)$$

محدودیت ۳۰ حالتی را بیان می‌کند که کل موجودی در آخرین دوره‌ی$\check{t}$ بایستی حداقل برابر موجودی هدف در شروع سال باشد. همچنین محدودیت ۳۱ نشان می‌دهد که میزان موجودی محصول در دوره‌یt نباید از ظرفیت انبار بیشتر باشد.

$$\nu_{\check{t}} \ge \nu_{\hat{t}} \quad (۳۰)$$

$$\nu_t \le \hat{\nu} \quad (۳۱)$$

محدودیت ۳۲ و ۳۳ حداکثر فروش و حداقل تقاضا محصول را در بازار نشان می‌دهد. محدودیت ۳۲ حالتی را بیان می‌کند که کل فروش محصول در ماه t نمی‌تواند از ظرفیت بازار بیشتر باشد. بنابراین محدودیت فوق حداکثر فروش در بازار را نشان می‌دهد. محدودیت ۳۳ حالتی را بیان می‌کند که کل فروش بایستی حداقل تقاضای بازار در ماه مورد نظر را برآورده نماید.

$$x_t \le \hat{x}_t \quad (۳۲)$$

$$x_t \ge \check{x}_t \quad (۳۳)$$

به‌منظور حل مساله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای توسط الگوریتم CUPPS بایستی θ جایگزین تابع هزینه‌ی آینده Θ شود. متغیرهای حالت متغیرهای حالت در محدودیت‌های مدل متغیر موجودی انبار، میزان فروش و میزان تولید در دوره‌ی قبل می‌باشد. به‌منظور محاسبه‌ی این ترکیب‌های خطی، ضرایب لاگرانژ محدودیت‌های موجودی انبار، میزان فروش و میزان تولید رب گوجه فرنگی نیاز است. برای متغیر موجودی انبار در دوره‌ی قبل ν_{t-1}، از ضریب لاگرانژ μ_t^k استفاده می‌شود. همچنین برای میزان تولید رب گوجه فرنگی در دوره‌ی قبل u_{t-1} از ضریب

لاگرانژ $\Psi_{\mathrm{t}}^{\mathrm{k}}$ استفاده می‌شود. میزان فروش در دوره‌ی قبل $x_{\mathrm{t}-1}$ به‌ترتیب از ضریب لاگرانژ π_t^k استفاده می‌شود که ضریب $\mathrm{B}_{\mathrm{t}-1}$ در آنها برابر ۱- است. بنابراین ترکیب خطی ایجاد شده برای مرحله‌ی $\mathrm{t}-1$ به‌صورت زیر فرموله می‌شود(گان و فیلپات،۲۰۱۱).

$$\theta_t \geq \sum_{s_t \epsilon \Omega_{\mathrm{t}}} Pr\,(s_t)\Delta_{\mathrm{t}}\left(\nu_{\mathrm{t}-1}^{\mathrm{k}}, \mathrm{x}_{\mathrm{t}-1}^{\mathrm{k}}, \mathrm{u}_{\mathrm{t}-2}^{\mathrm{k}}; \mathrm{s_t}\right) + \sum_{s_t \epsilon \Omega_{\mathrm{t}}} \mathrm{Pr}(\mathrm{s_t})\, \mu_{\mathrm{t}}^{\mathrm{k}}(\mathrm{s_t})\left(\nu_{t-1} - \nu_{\mathrm{t}-1}^{\mathrm{k}}\right) \quad (۳۴)$$
$$+ \sum_{s_t \epsilon \Omega_{\mathrm{t}}} \mathrm{Pr}(\mathrm{s_t})\, \pi_{\mathrm{t}}^{\mathrm{k}}(\mathrm{s_t})\left(\mathrm{x}_{\,t-1} - \mathrm{x}_{\mathrm{t}-1}^{\mathrm{k}}\right) + \sum_{s_t \epsilon \Omega_{\mathrm{t}}} \mathrm{Pr}(\mathrm{s_t})\, \psi_{\mathrm{t}}^{\mathrm{k}}(\mathrm{s_t})\left(\mathrm{u}_{\,t-2} - \mathrm{u}_{\mathrm{t}-2}^{\mathrm{k}}\right)$$

داده‌ها: برنامه‌ریزی تولید در کارخانه‌ی مورد مطالعه به‌صورت ماهانه با افق برنامه‌ریزی یک‌ساله می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز مطالعه شامل عرضه‌ی ماهانه‌ی گوجه فرنگی در طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۷۶می‌باشد. برای مدل‌سازی زنجیره‌ی عرضه‌ی کارخانه‌ی مورد مطالعه فرض شد که هزینه‌ی نهایی تولید، ذخیره‌سازی و حمل و نقل آن به بازار در طول زمان ثابت است. قابل ذکر است که موجودی ذخیره شده‌ی محصول در ابتدای سال از محل تصمیم‌گیری‌های صورت گرفته در سال گذشته است. همچنین تمامی محصول به بازار داخلی صادر می‌شود و بازار خارجی برای محصول وجود ندارد. در مساله‌ی برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای فوق ۴ متغیر، ۹محدودیت و ۳ سناریو در هر مرحله برای هر تکرار وجود دارد.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی عدم حتمیت در مدیریت زنجیره‌ی تامین صنعت تولید رب گوجه فرنگی در گام نخست به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی عرضه‌ی گوجه فرنگی(نهاده‌ی اصلی تولید) با استفاده از نرم‌افزار Simetar پرداخته شد. در ادامه نتایج حاصل از شبیه‌سازی عرضه‌ی گوجه فرنگی تحت سه سناریو مختلف عرضه وارد مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای شد. در نهایت به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از مدل‌سازی ریاضی مدیریت ریسک زنجیره تامین صنعت تولید رب گوجه فرنگی بر مبنای برنامه‌ریزی خطی تصادفی چند مرحله‌ای پرداخته شد.

پیش‌بینی و شبیه‌سازی عرضه‌ی گوجه فرنگی

با توجه به اطلاعات گذشته عرضه‌ی ماهانه‌ی گوجه فرنگی به کارخانه، عرضه‌ی گوجه فرنگی برای هر ماه در سال ۱۳۹۳با استفاده از روش ARMA پیش‌بینی شد. در این حالت عرضه‌ی گوجه فرنگی توسط ARMA(۲و۲) پیش‌بینی شد. قبل از تخمین مدل ایستایی داده‌ها و همچنین سایر آزمون‌های مورد نیاز نظیر آزمون خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی بررسی شد که برای جلوگیری از پراکندگی و طولانی شدن مطلب، از بیان آن خودداری شد.

$$s_t = 24.71h + 0.95s_{t-1} - 0.91s_{t-2} - 0.62\varepsilon_{t-1} + 0.84\varepsilon_{\mathrm{t}-2} + \varepsilon_{\mathrm{t}}$$

t	11.24	16.47	-16.09	-9.15	12.93
std	2.19	0.05	0.05	0.06	0.06

نرم افزار Simetar امکان شبیه‌سازی یک مدل تصادفی و همچنین انجام آنالیز حساسیت، تجزیه و تحلیل سناریوهای متعدد و رتبه‌بندی گزینه‌های ریسکی را فراهم می‌کند. پس از پیش‌بینی عرضه-ی گوجه فرنگی بر اساس مدل سری زمانی تخمینی، عرضه‌ی گوجه فرنگی برای ۵ ماه آینده و تابع توزیع احتمال جزءتصادفیمدل تخمینی مشخص شد. شبیه‌سازی عرضه‌ی گوجه فرنگی از مدل پیش‌بینی شده بر مبنای تابع توزیع احتمال مشخص صورت گرفت. تکرار این فرآیند به مقدار زیاد(تکرار) سبب شد که مدل برای دامنه‌ی گسترده‌ای از ترکیبات ممکن از عرضه‌ی گوجه فرنگی شبیه‌سازی شود. بنابراین با توجه به نتایج پیش‌بینی شده، ۵۰۰ سناریوی عرضه‌ی گوجه فرنگی شبیه‌سازی شد. بدین منظور از نرم‌افزار Simetar جهت شبیه‌سازی استفاده شد. با توجه به عرضه‌ی مشخص گوجه فرنگی در شروع سال(فروردینماه)، عرضه‌ی گوجه فرنگی در سایر ماه‌ها از اردیبهشت تا شهریور شبیه‌سازی شد. قابل ذکر است که عرضه‌ی گوجه فرنگی به کارخانه در ۶ ماهه‌ی دوم سال صفر می‌باشد. از بین عرضه‌ی شبیه‌سازی شده،۳ سناریو تصادفی عرضه‌یگوجه فرنگی برای هر ماه و در هر تکرار نمونه‌گیری شد. سه سناریوی تصادفی عرضه‌ی گوجه فرنگی برای نیمسال اول و احتمال وقوع آن در تکرار اول در جدول ۱ آمده است. با توجه به حجم بالای جداول، از ذکر عرضه‌ی شبیه‌سازی شده‌ی گوجه فرنگی در تکرارهای بعدی صرف‌نظر شد.

حل مدل برنامه‌ریزی خطی تصادفی چند مرحله‌ای

به منظور حل مساله‌ی برنامه‌ریزی خطی تصادفی چند مرحله‌ای با وجود عدم حتمیت در عرضه‌ی نهاده‌ی تولید از برنامه‌نویسی Gams استفاده شد. بدین منظور سه سناریوی شبیه‌سازی شده‌ی عرضه‌ی گوجه فرنگی در ماه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. به‌طور خلاصه می‌توان بیان نمود که در شروع، شمارشگر تکرار برابر$k=1$ قرار گرفت و در هر مرحله، مساله با ترکیب خطی اولیه(محدودیت ۲۱) محاسبه می‌شود. با تخمین مساله ی AP_1 جواب‌های بهینه $\left(\nu_1^k, x_1^k, u_1^k, \theta_2^k\right)$و مقدار بهینه‌ی تابع هدف تعیین می‌شود. برای هر یک از مراحل $t = 2, \dots, 6$ ، یک نمونه‌ی تصادفی عرضه‌ی گوجه فرنگی s_t^kاز سناریوهای شبیه‌سازی شده‌ی عرضه نمونه‌گیری شده و با توجه به مقدار معلوم ν_1^k, x_1^k, u_1^k و s_t^k مساله‌ی AP_t برای ماه‌های مختلف حل می‌شود. جواب‌های بهینه‌ی اولیه $\left(\nu_t^k, x_t^k, u_t^k, \theta_{t+1}^k\right)$، جواب‌های بهینه‌ی دوگان مساله‌ی اولیه $\left(\Psi_t^k, \mu_t^k, \pi_t^k\right)$ و همچنین مقدار بهینه‌ی تابع هدف به‌دست می‌آید. سپس مقادیر بهینه‌ی دوگان در مساله‌ی AP_t، ترکیب خطی جدیدی را ایجاد می‌کند(محدودیت ۳۴) که به مساله‌ی AP_{t-1} در تکرار بعدی $(k+1)$ افزوده می‌شود و این تکرار ادامه می‌یابد تا ارزش تابع هدف (هزینه) نسبت به تکرار قبلی کمترین مقدار را داشته باشد. در هر مرحله با توجه به سناریوهای

مختلف میزان تولید بهینه، فروش بهینه و میزان موجودی انبار بهینه در مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای تعیین شد.

جدول۲ نتایج حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای را در برنامه‌ریزی تولید رب گوجه فرنگی در شرایط عدم حتمیت عرضه نشان می‌دهد. با توجه به اینکه میزان تولید، فروش و میزان ذخیره‌ی محصول در هر دوره به میزان موجودی انبار در دوره‌ی قبل، عرضه‌ی گوجه فرنگی در دوره‌ی قبل و همچنین سایر عوامل پیش‌بینی نشده در دوره‌ی قبل(جزء خطای تصادفی) ارتباط دارد. مدیریت بهینه‌ی عدم حتمیت عرضه‌ی گوجه فرنگی در برنامه‌ریزی تولید تحت ۳ سناریو تصادفی عرضه در هر دوره و در هر تکرار بررسی شد. بدین منظور میزانبهینه‌ی تولید، فروش و موجودی انبار و همچنین هزینه‌ی کل تولید در شش ماهه اول سال تعیین شد. با توجه به اینکه میزان عرضه‌ی گوجه فرنگی در شروع سال مشخص می‌باشد، عدم حتمیت عرضه‌ی گوجه فرنگی در ماه‌های اردیبهشت تا شهریور در برنامه‌ریزی تولید بررسی شد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حالتی که میزان عرضه‌ی گوجه فرنگی متوسط یا زیاد می‌باشد؛ میزان تولید، میزان فروش و میزان موجودی انبار به تدریج افزایش می‌یابد. علاوه بر این، میزان کمبود عرضه‌ی‌گوجه فرنگی منجر به کاهش میزان تولید، میزان فروش و میزان موجودی انبار شد. به‌طوری‌که در تمامی سناریوها میزان تولید و میزان محصول ذخیره شده از ماه فروردین تا شهریور در حال افزایش است. این در حالی است که میزان فروش با سرعت کمتری در حال افزایش است و به عبارتی میزان فروش نسبت به میزان موجودی انبار کمتر افزایش یافته است. بنابراین مدیر بایستی میزان تولید و میزان موجودی انبار خود را از ماه فروردین تا شهریور به تدریج افزایش و میزان فروش خود را کاهش دهد.

طبق جدول ۲ مشاهده می‌شود که میزان تولید در ماه اول به کمترین حد خود می‌رسد. بدین معنا که مدیر بایستی در عرضه‌ی گوجه فرنگی به‌صورت محافظه کارانه عمل کند. در حالی که میزان تولید(۷۱۹ تن در سناریوی عرضه‌ی زیاد) و میزان موجودی انبار(۱۶۹۸ تن در سناریوی عرضه‌ی زیاد) در ماه شهریور به بالاترین حد خود می‌رسد. در صورتی که میزان فروش(۷۱۹ تن در سناریوی عرضه‌ی زیاد) در ماه شهریور به حداکثر مقدار خود می‌رسد. همچنین ارزش تابع هدف و به عبارتی میزان هزینه‌ی تولید از ماه فروردین تا شهریور در حال افزایش است که به‌علت افزایش عرضه‌ی گوجه فرنگی در سه ماه تیر، خرداد و شهریور می‌باشد. با توجه به اینکه عرضه‌یگوجه فرنگی در ۶ ماهه‌ی دوم سال صفرمی‌باشد، میزان تولید در نیم سال دوم سال صفر می‌باشد. همچنین میزان موجودی انبار از ماه مهر تا بهمن به میزان حداقل تقاضای بازار(حداقل میزان فروش) در این ماه‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین مدیر حداکثر میزان فروش خود را در ماه اسفند

خواهد داشت؛ به‌نحوی که میزان محصول ذخیره شده در این ماه به میزان موجودی انبار در ابتدای سال می‌رسد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در ماه شهریور هزینه‌ی تولید از سناریو کم به میزان۲۶۳۶/۵ میلیون ریال با افزایش عرضه‌ی گوجه فرنگی و به تبع آن افزایش تولید، هزینه‌ی تولید تحت سناریو زیاد به میزان۱۲۴۵۸/۷ میلیون ریال افزایش یافته است که مدیر واحد تولیدی بایستی این هزینه‌ی اضافی تحمیل شده در این ماه و سایر ماه‌های نیمه اول سال را با برنامه‌ریزی و فروش محصول با سیاست‌های مناسب بازاریابی در نیمه دوم سال جبران نماید و با برنامه‌ریزی دقیق میزان هزینه‌ی تحمیلی در ماه مرداد و بالاخص شهریور با مشکل عدم تامین بودجه کافی برای خرید نهاده‌ی اولیه مواجه نگردد و میزان هزینه‌ی تولید را در صورت مواجه شدن با هر یک از سناریوهای عرضه‌ی گوجه فرنگی به‌طور دقیق محاسبه نماید.

بنابراین کارخانه‌ی مورد نظر می‌تواند با سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌های بهینه‌ی تولید، زیان‌های ناشی از عدم حتمیت عرضه‌ی گوجه فرنگی راکاهش دهد. به عبارتی با در نظر گرفتن عدم حتمیت عرضه در برنامه‌ریزی تولید با مشکل موجودی ناکافی در برآورد تقاضای بازار و تحویل قراردادها و در نتیجه از دست دادن جایگاه خود در بازار مواجه نشود.

نتیجه‌گیری

اغلب واحدهای تولیدی در برنامه‌ریزی تولید با عدم حتمیت عرضه‌ی نهاده‌های اصلی تولید مواجه هستند که به‌علت عوامل متعددی از قبیل عوامل طبیعی و نوسانات قیمت نهاده‌های تولید می‌باشد. مطالعه‌ی حاضر به‌دنبال آن است که به سوالات اصلی زیر در برنامه‌ریزی تولید کارخانه‌ی رب گوجه فرنگی با توجه به عدم حتمیت عرضه‌ی گوجه فرنگی پاسخ دهد. بدین صورت که کارخانه‌ی مورد نظر در هر ماه چقدر تولید کند؟ چه میزانی از محصول را در همان ماه به فروش برساند؟ چه میزان از محصول را ذخیره نماید؟ بدین منظور از مدل برنامه‌ریزی تصادفیچند مرحله‌ای و یک الگوریتم تجزیه جهت محاسبه‌ی سیاست‌های بهینه‌ی تولید در شرایط عدم حتمیت عرضه‌ی گوجه فرنگی استفاده شد. بنابراین میزان بهینه‌ی تولید، فروش و میزان موجودی انبار تحت ۳ سناریو تصادفی عرضه در هر دوره تعیین شد. با توجه به نتایج مطالعه توصیه می‌شود که مدیران واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن عدم حتمیت عرضه‌ی نهاده‌های اصلی در برنامه‌ریزی تولید با کاهش فروش و در نتیجه هزینه‌ی ناشی از دست دادن جایگاه خود در بازار مواجه نشود.

فهرست منابع

۱. زندحسامی ح. ساوجی آ.۱۳۹۱ . مدیریت ریسک در مدیریت زنجیره تامین. مدیریت توسعه و تحول. ۴(۹):۳۷-۴۴
۲. صادقی مقدم م. مومنی م. نالچیگر س. ۱۳۸۸. برنامه ریزی یکپارچه تامین، تولید و توزیع زنجیره تامین با بکارگیری الگوریتم ژنتیک. مدیریت صنعتی. ۱(۲):۷۱-۸۸
۳. محمودی ج. مینایی م. ۱۳۹۲. بررسی و تحلیل حساسیت سیستم پویای زنجیره تامین فولاد (مطالعه موردی: بازار میلگرد). پژوهشنامه بازرگانی. ۱۷(۶۶):۱۲۹-۱۶۰

4. Berger A.J, Mulvey J.M, Rothberg E, Vanderbei R.J. 1995. Solving multistage stochastic programs using tree dissection. Princeton University. School of Engineering and Applied science. Statistics and Operations Research. Technical Report SOR-95-07.
5. Boychuk D, Martell D.L. 1996. A multistage stochastic programming model for sustainable forest-level timber supply under risk of fire. Forest Science. 42 (1):10–26.
6. Chen Z.L, Powell W.B. 1999. Convergent cutting plane and partial-sampling algorithm for multistage stochastic linear programs with recourse. Journal of Optimization Theory and Applications. 102:497–524.
7. Donohue C.J, Birge J.R. 2006. The abridged nested decomposition method for multistage stochastic linear programs with relatively complete recourse. Algorithmic Operations Research. 1:20- 30.
8. Ganeshan R, Jack E, Magazine M.J, Stephens P. 1999. A taxonomic review of supply chain management research. In: Tayur S, Ganeshan R, Magazine, M. (Eds.). Quantitative Models for Supply Chain Management. Kluwer Academic Publishers. Boston, MA:840–879.
9. GuanZ, Philpott A.B. 2011. A multistage stochastic programming model for the New Zealand dairy industry. Production Economics. Contents lists available at Science Direct.
10. Johnston J. 1963. Econometric Methods. McGraw-Hill Book company Inc, New York.
11. Lambert D, McCarl B, He Q, Kaylen M, Rosenthal W, Chang C, Nayda W. 1995. Uncertain yields in sectoral welfare analysis: an

application to global warming. J.Agricultural and Applied Economics. 27:423–436.

12. Mula J, Poler R, Garcı´a-Sabater J.P, Lario F.C. 2006. Models for production planning under uncertainty: a review. International J.Production Economics. 103:271–285.
13. Pereira M.V.F, Pinto L.M.V.G. 1991. Multi-stage stochastic optimization applied to Energy Planning. Mathematical Programming. 52:359–375.
14. Philpott A.B, Guan Z. 2008. On the convergence of stochastic dual dynamic programming and related methods. Operations Research Letters. 36:450–455.
15. Topaloglou N, Vladimirou H, Zenios S.A. 2008. A dynamic stochastic programming model for international portfolio management. European J.Operational Research. 185:1501–1524.
16. Ventosa M, Baı´llo A´, Ramos A, Rivier M. 2005. Electricity market modeling trends. Energy Policy. 33:897–913.

پیوست‌ها

جدول ۱- نتایج حاصل از برآورد مدل پویای ARDL(1,1,2,2)

متغیر	ضریب	خطای معیار	آماره t
LXP(-1)	-0/232	0/179	-1/29
LXT	0/114	0/217	0/52
LXT(-1)	*۷۹۰/3-	0/200	-1/88
LPR	0/301	0/192	1/56
LPR(-1)	-0/036	0/272	-0/14
LPR(-2)	*۵۹۰/3	0/208	1/72
LER	***۲/۹۲-	0/942	-3/10
LER(-1)	0/975	1/69	0/57
LER(-2)	**۲/۳۴	1/182	1/97
U	***-۶/۷۷	2/282	-2/96
DUM_1	***۲/۳۴	0/682	3/43
آماره R^2=٪۶۷	آماره $\bar{R}^2$= ٪۵۴		آمارهF=[00/0] ۵/۳۹
آزمون های تشخیص			
Serial Correlation	1/03[0/308]	Normality	4/73[0/094]
Functional Form	8/79[0/003]	Heteroscedasticity	25/07[0/000]

جدول ۲- نتایج حاصل از رابطه بلند مدت ARDL(1,1,2,2)

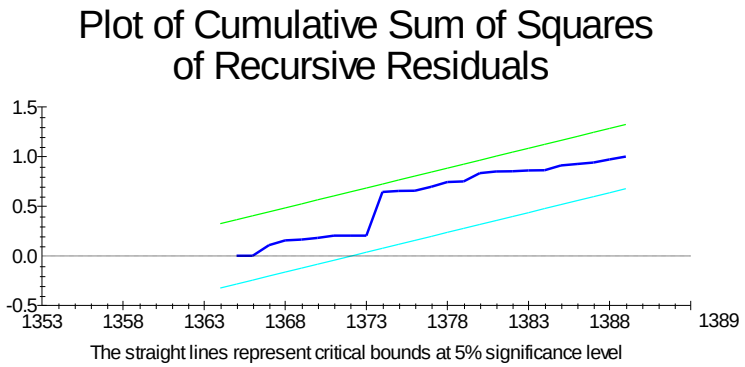
متغیرها	ضریب	آماره t	خطای معیار
LXT	-0/214**	-2/42	۰/۰۸۸
LPR	0/505**	2/10	۰/۲۴۰
LER	0/313*	1/85	۰/۱۶۹
U	-5/49***	-3/12	۱/۷۶
DUM_1	1/90***	3/61	۰/۵۲۵

ماخذ: یافته‌های تحقیق.*و ** و *** به ترتیب بیانگر معنی داری ضرایب در سطوح ۱۰و۵ و۱درصد است

جدول ۳- نتایج حاصل از برآورد مدل تصحیح خطا (ECM)

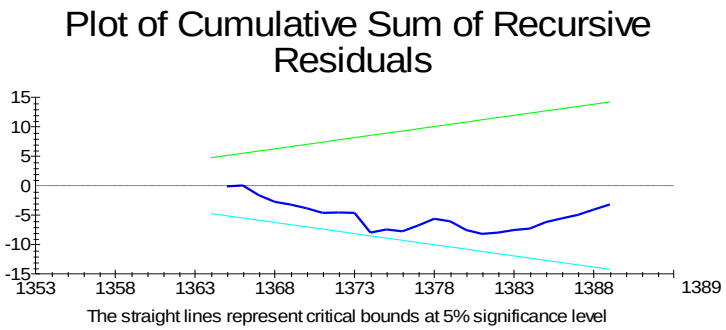
متغیرها	ضرایب	آماره t	خطای معیار
dLXT	0/114	0/52	۰/۲۱۷
dLPR	0/301	1/56	۰/۱۹۲
$dLPR_1$	*۳۵۹-0/	-1/72	۰/۲۰۸
dLER	***۲/۹۲-	-3/10	۰/۹۴۲
$dLER_1$	**۲/۳۴-	-1/97	۱/۱۸
du	***۶/۷۷-	-2/96	۲/۲۸
$dDUM_1$	***۲/۳۴	3/43	۰/۶۸۲
ecm(-1)	-1/23***	-6/86	۰/۱۷۹

ماخذ: یافته‌های تحقیق.*و ** و *** به ترتیب بیانگر معنی داری ضرایب در سطوح ۱۰و۵ و۱درصد است



خطوط راست معنی داری سطح ۵٪ را نشان می دهد.

نمودار ۱- آزمون ضرایب پایداری (CUSUM)



خطوط راست معنی داری سطح ۵٪ را نشان می دهد.

نمودار ۲- آزمون ضرایب پایداری (CUSUM)