



انجمن مهندسی صنایع ایران

بسم خدا

نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع

۱ و ۲ بهمن ماه ۱۳۹۱ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی صنایع

گواهی ارائه مقاله



بدین وسیله گواهی می شود بر اساس تأیید کمیته علمی

نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع

مقاله زیر پذیرفته و بصورت پوستری ارائه شده است.

عنوان:

طراحی یک مدل زنجیره تامین پویا برای محصولات کشاورزی با توجه به کیفیت محصول

نویسندگان:

امیر حاجی میرزاجان، محمد علی پیرایش نقاب، فرید فعال

دکتر رسول شفايي

دبیر علمی کنفرانس

دکتر رضا بشیرزاده

دبیر کنفرانس



طراحی یک مدل زنجیره تامین پویا برای محصولات کشاورزی با توجه به کیفیت محصول

امیر حاجی میرزاجان^۱، محمد علی پیرایش نقاب^۲، فرید فعال^۳

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع؛ amirhajimirza@yahoo.com

استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع؛ pirayesh@um.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع؛ farid.faal88@gmail.com

چکیده

عدم وجود یک سیستم اطلاعاتی جامع و مدلی کاربردی در زنجیره‌ی تامین محصولات کشاورزی سبب شده است این بخش از اقتصاد کشور با وجود استعداد بالقوه، کارایی لازم را نداشته باشد. یکی از بزرگترین مشکلات بخش کشاورزی در کشور عدم آگاهی کشاورزان نسبت به کاشت متعادل محصولات کشاورزی برحسب تقاضا با بهترین کیفیت محصول می‌باشد؛ که برهم خوردن این تعادل از یک سو باعث وفور یک محصول و کاهش چشمگیر قیمت آن در یک سال و متضرر شدن کشاورزان شده، و از سوی دیگر با کاهش سایر محصولات باعث افزایش قیمت و نارضایتی مردم می‌گردد. این امر ضرورت مطالعه مدل‌های لجستیکی را در بخش کشاورزی ایجاد می‌کند. در این مقاله به منظور ایجاد توازن بین کمبود و مازاد محصولات، مدلی ارائه شده است که به کمک آن می‌توان میزان بهینه تولید و انبارش محصولات کشاورزی و همچنین میزان بهینه ارسال آن به بازار با سودآورترین کیفیت ممکن را تعیین نمود. مدل ارائه شده در این مقاله از دسته مسائل NP-Hard می‌باشد.

کلمات کلیدی

سیستم‌های تولید- توزیع، مکانیابی تسهیلات، مدیریت زنجیره تامین، برنامه‌ریزی تولید محصولات کشاورزی.

Introducing dynamic supply chain model for agricultural products with Quality Consideration

Amir haji mirzajan¹, Mohammadali Pirayesh Neghab², Farid Faal³

¹M.Sc student, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

²Assistant Professor, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

³M.Sc student, Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

ABSTRACT

In this paper, a novel model represented in order to make a balance between the shortage and the excess of the products. By the use of this model, the quantity & quality of the optimum production, the storage of agricultural production, and the optimum quantity for sale can be determined. The absence of a general information system and a practical model in the supply chain of agricultural productions have caused this part of the economy of Iran to be incapable however, it has the potential. One of the major problems of the agriculture in Iran, is the unawareness of the farmers. They do not have the knowledge to balance the implantation of agricultural products based on the demand. This unbalance has two side effects. The excess of one product in the market reduce its price and causes the bankruptcy of the farmers. On the other hand, the shortage of one product in the market increases its price and causes the dissatisfaction of people.

^۱نویسنده مسئول: امیر حاجی میرزاجان. آدرس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع تلفن: ۰۵۱۱-۸۸۰۵۰۲۷

فکس: ۰۵۱۱-۸۷۹۶۷۷۸

KEYWORDS

Production-Distribution Systems, Facility Location Problem (FLP), Supply chain management. Production planning of agriculture products.

ماندگاری محصولات و تقاضا که در دوره‌های مختلف زمانی قابل پیش‌بینی است؛ می‌توان برنامه بهینه‌ای را جهت برنامه‌ریزی تولید و تخصیص محصولات به سردخانه‌ها ارائه داد و از گرانی و یا ارزانی غیر منتظره محصولات کشاورزی جلوگیری کرد. در واقع این مقاله با استفاده از یک تابع هدف بیشینه‌سازی خطی سعی بر کاهش هزینه‌ها و افزایش در آمد حاصل از فروش بر پایه محدودیت‌های زمین کشاورزی، نوع محصول در دوره‌های زمانی مختلف، تقاضا در هر دوره و همچنین هزینه‌های حمل‌ونقل دارد. از جمله کارهایی که در زمینه‌ی مسائل برنامه‌ریزی تولید، مکانیابی و زنجیره تامین محصولات کشاورزی انجام شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

آموادما و ویلاابوس [1] با مدیریت هزینه‌های کارگر و با در نظر گرفتن ارزش محصولات و شیوه حمل‌ونقل آنها در قالب یک مدل MIP پویا سعی در یافتن یک تعادل بین کیفیت و قیمت محصولات دارند؛ بویژه که در این مدل کیفیت محصول در طول مراحل حمل و تاخیرات کاهش می‌یابد. هدف این مدل بیشینه کردن دریافتی‌های کشاورز با توجه به کیفیت محصولات است. فر و همکارانش [2] مدلی برای تصمیم‌گیری در مورد مقدار برداشت محصول در هر دوره، نحوه حمل‌ونقل به محل فرآوری محصول نهایی و برنامه‌ریزی فرآوری محصولات در کارخانه و بسته‌بندی را در قالب یک مدل MIP برای انگور قرمز ارائه دادند. همچنین این مدل هزینه برداشت محصول و هزینه کاهش کیفیت محصول به دلیل تاخیر را در تابع هدف در نظر می‌گیرد. مانزینی و گبه نینی [3] چندین مدل برنامه‌ریزی خطی مکانیابی - تخصیص با توجه به برنامه‌ریزی تولید محصولات در کارخانه و نحوه تخصیص محصولات به توزیع کنندگان در قالب یک مدل پویا ارائه دادند. آنها با اضافه کردن محدودیت‌های تاخیر زمانی در مراحل مختلف توزیع سعی در طراحی مدلی منطبق بر واقعیت دارند؛ علاوه بر این با اضافه کردن محدودیت‌هایی، مدل برای شرایطی از جمله توزیع چند کالایی، توزیع سه مرحله‌ای، وجود چند توزیع‌کننده مرکزی و... آماده می‌شود. رانتالا و خووهو [4] یک مدل زنجیره تامین برای نهال‌هایی که در نهالستان تهیه و به سردخانه منتقل می‌شود، ارائه می‌دهد. مشتریان می‌توانند نهال‌ها را مستقیماً از نهالستان و یا سردخانه‌ها تهیه کنند. همچنین این مدل محدودیت‌های ظرفیت را نیز در نظر می‌گیرد. هدف این مدل کمینه‌کردن هزینه‌های تولید و انتقال محصولات در راستای پوشش به تقاضای مشتریان است. رانگ و آکرمن و گرونو [5] یک مدل بهینه‌سازی برای مدیریت کیفیت محصولات فسادپذیر را در طول مراحل مختلف زنجیره تامین ارائه می‌دهد. در واقع در این مدل توجه زیادی

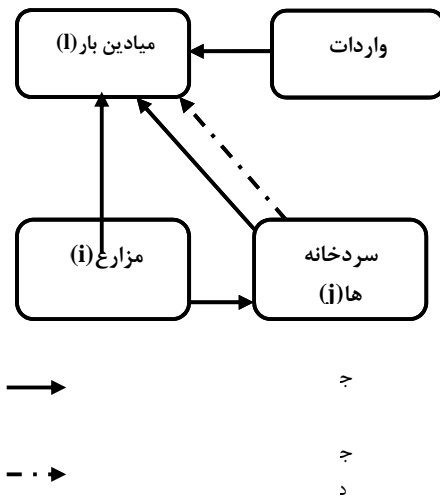
۱- مقدمه

کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های تأثیر گذار در اقتصاد هر کشور است که نقش مهمی در استقلال سیاسی، اقتصادی آن ایفا می‌کند. وجود مواهب طبیعی فراوان و موقعیت خاص اقلیمی، ایران را به سرزمینی چهار فصل تبدیل کرده است که این موضوع بسترهای لازم برای محور قراردادن این بخش در اقتصاد کشور را فراهم می‌کند. با این وجود در سال‌های گذشته به رغم تلاش‌های صورت گرفته برای رونق تولید، خودکفایی، فرآوری و صادرات محصولات کشاورزی هنوز این بخش در اقتصاد کشور نقش واقعی خود را ایفا نکرده است. ضعف مدیریتی در برنامه‌ریزی و زنجیره تامین محصولات کشاورزی و ورود واسطه‌ها و دلالان در این عرصه را می‌توان مشکل اساسی این بخش اقتصاد کشور دانست، که برای حل این موضوع باید به دنبال راهکاری مناسب بود. نمود عینی این موضوع در نوسان قیمت در محصولاتی مانند گوجه فرنگی، پیاز و سیب زمینی در سال‌های گذشته دیده شده است.

با توجه به اینکه در حال حاضر برنامه‌ریزی جامعی برای تولید محصولات زراعی و به طور کلی تر محصولات فسادپذیر کشاورزی (غیر باغی) وجود ندارد؛ این مقاله به ارائه و حل یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی پویا می‌پردازد که علاوه بر تعیین مقدار بهینه میزان تولید محصولات کشاورزی با توجه به کیفیت آنها در مزارع به مکانیابی سردخانه‌های نگهداری محصولات و تخصیص محصولات کشاورزی به آنها با توجه به دوره ماندگاری و کیفیت محصولات می‌پردازد. در این مدل نقاط تقاضا به صورت میداین بار (در نقاط شهری) مشخص می‌باشد و نقاط عرضه به صورت مزارع بزرگ و کوچک هستند که می‌توان آنها را به شکل نقاط متمرکز در هر ناحیه از منطقه مورد بررسی (مثلاً یک استان) در نظر گرفت. جنبه نوآوری این مقاله به تلفیق مدل‌های مکانیابی با مساله برنامه‌ریزی تولید در مورد محصولات کشاورزی مربوط می‌شود. مدل ارائه شده با در نظر گرفتن محدودیت‌های مربوط به سطح کشت در طول دوره‌های مختلف به نوعی برنامه‌ریزی تولید محصولات کشاورزی را در مدل وارد کرده که باعث نزدیک کردن مدل به واقعیت می‌شود، که می‌تواند مشکل نبود برنامه‌ریزی در مورد محصولات کشاورزی را کاهش دهد، تعیین محل احداث سردخانه مربوط به مکانیابی مسئله می‌باشد که انتخاب صحیح مکان‌ها باعث کم شدن ضایعات و هزینه‌های انتقال می‌شود. با توجه به ماهیت پویایی مدل، با در نظر گرفتن دوره‌ی فرآوری و

۲. جریان انتقال محصولات از مزارع به سردخانه‌ها
۳. جریان انتقال محصولات از سردخانه به میادین بار که شامل محصولاتی می‌شود که حداقل یک دوره در سردخانه انبار می‌شوند یا محصولاتی که انبار نمی‌شوند و فقط بواسطه‌ی هزینه کمتر حمل‌ونقل از طریق سردخانه‌ها به میادین بار منتقل می‌شوند.
۴. جریان واردات محصولات به میادین بار

در مورد هزینه‌های حمل‌ونقل می‌توان گفت به طور کلی هزینه‌های انتقال از سردخانه‌ها به میادین بار را کمتر از هزینه انتقال محصولات از مزارع به سردخانه‌ها و از مزارع به میادین بار در نظر می‌گیریم. همچنین انجام عملیات کاشت یا برداشت محصولات زراعی را در ابتدای دوره‌ی زمانی در نظر می‌گیریم؛ برای مثال اگر مدت فرآوری محصولی دو دوره است این محصول در ابتدای دوره اول کاشته شود، در ابتدای دوره سوم برداشت شده و در همان ابتدای دوره سوم زمین زراعی قابل کشت مجدد خواهد بود. یکی دیگر از فرضیات مدل این است که هزینه‌های حمل‌ونقل محصولات وابسته به وزن محصولات است و ظرفیت حمل و نقل در کلیه مسیرها نامحدود است. هزینه نگهداری محصولات نیز وابسته به وزن محصولات است، و بر اساس دوره ترخیص آن از انبار محاسبه می‌شود. در شکل ۱ جریان محصولات نشان داده شده است.



شکل ۱: جریان محصولات در شبکه زنجیره تامین

۳-۱- نمادگذاری

اندیس نقاط تقاضا (میدان بارهای میوه و سبزی) $l: 1, \dots, L$

به حفظ کیفیت محصولات شده است. باتوجه به اینکه کیفیت محصولات کشاورزی با توجه به دما و زمان نگهداری در هر مرحله و شرایط انتقال محصول کم می‌شود. تابع هدف این مقاله به دنبال کمینه‌کردن تمام هزینه‌های زنجیره با حفظ کیفیت قابل قبول محصول است. آهومادا و ویلاپوس [6] در مقاله خود مرور و ارزیابی جامعی از کاربرد و نحوه مدل‌سازی زنجیره تامین محصولات کشاورزی در مقالات مختلف می‌پردازند.

۲- شرح مدل

برای مدل ارائه شده در این مقاله چهار جزء اصلی در نظر گرفته شده است؛ مزارع کاشت محصولات کشاورزی زراعی (غیر باغی) که می‌توان در دوره‌های مختلف محصولات مختلفی در زمین کشاورزی کاشت، سردخانه‌های نگهداری محصولات کشاورزی که این سردخانه‌ها بایستی از میان تعدادی نقاط کاندید اجاره شوند؛ میادین بار که محل عرضه محصولات به مشتری نهایی است، که از قبل مکان و میزان تقاضای آنها در هر دوره مشخص است؛ نهایتاً آخرین جزء مدل واردکنندگان محصولات کشاورزی اند که در صورت نیاز محصولات کشاورزی را به میادین بار شهرها می‌رسانند. حال اگر بخواهیم ضمن دستیابی به یک برنامه ایده‌آل تولید، هزینه‌های کل زنجیره را کاهش دهیم، تابع هدف را با توجه به کمینه‌کردن هزینه‌های تهیه، حمل‌ونقل، اجاره سردخانه‌ها، نگهداری و واردات محصولات در نظر می‌گیریم.

با توجه به شرایط واقعی در کشت و حمل‌ونقل یک محصول زراعی می‌توان محدودیت‌های مناسبی را در مدل بکاربرد. از طرفی خاصیت پویا (چند دوره‌ای) بودن مدل این امکان را فراهم می‌سازد تا در دوره‌های مختلف زمانی بهترین تصمیم را برای کاهش هزینه‌ها گرفت.

مدل ارائه شده به منظور کم کردن هزینه‌ها تعیین می‌کند که چه محصولی، با چه کیفیتی، در چه زمان، به چه مقدار و در چه مزرعه‌ای کاشته شود. همچنین، از محصول برداشت شده در هر دوره چه مقدار مستقیماً به میادین بار و چه مقدار به سردخانه‌ها ارسال شود و چند دوره در سردخانه بماند. علاوه بر این، در هر دوره برای چه محصولی با چه کیفیتی و به چه مقدار واردات انجام شود. از آنجا که هزینه واردات محصولات به طور معمول بالاتر از تولید محصول است؛ مدل سعی در کاهش واردات محصولات دارد.

انواع جریان محصولات در شبکه زنجیره تامین:

۱. جریان انتقال مستقیم محصولات کشاورزی از مزارع به میادین بار بدون انبارش

حداکثر بودجه قابل قبول برای اجاره سردخانه‌ها (B (\$))
 حداقل مقدار قابل قبول سطح زیر کشت محصول m با کیفیت Q در
 مزرعه i در دوره t . L_{it}^{Qm} (kg)
 اگر امکان کاشت محصول m با کیفیت Q در مزرعه i وجود داشته
 باشد مقدار این متغیر ۱ است، در غیر اینصورت صفر است λ_{it}^{Qm}
 سطح قابل کاشت محصولات (به هکتار) در مزرعه i ام در ابتدا
 (مزرعه خالی) K_{i0}

ضریب تبدیل مقدار محصول m ام (کیلوگرم) به سطح اشغالی در
 مزرعه بر حسب هکتار g^m ($\frac{Hectare}{kg}$)

حداکثر مدت ماندگاری محصول m ام q^m
 مدت زمان لازم برای به عمل آمدن محصول m ام n^m
 مقدار کاهش کیفیت در انتقال از مزرعه به میدان بار u^c
 مقدار کاهش کیفیت در انتقال از مزرعه به سردخانه u^a
 مقدار کاهش کیفیت در انتقال از سردخانه به میادین بار u^b
 مقدار کاهش کیفیت در انبارش محصول در هر دوره در سردخانه‌ها
 u^d

۳-۳- متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود
 میزان کل تهیه (برداشت) محصول m ام با کیفیت Q در مزرعه i ی
 ام در زمان t . X_{it}^{Qm} (kg)

میزان کل کاشت محصول m ام با کیفیت Q در مزرعه i ام در
 زمان t . X'_{it}^{Qm} (kg)

میزان محصولات m ام که از مزرعه i ام به سردخانه z ام با کیفیت Q
 در دوره t منتقل می‌شوند. x_{ajt}^{Qm} (kg)

میزان محصولات m ام که از مزرعه i ام به میدان بار l ام با کیفیت
 Q در دوره t منتقل می‌شوند. x_{cilt}^{Qm} (kg)

مقداری از محصول m ام که در دوره t وارد سردخانه z ام شده و پس
 از n دوره ماندن در سرخانه، در دوره $t+n$ از سردخانه با کیفیت Q
 به میدان بار l ام منتقل می‌شود. $x_{jilt}^{Qm} d_n$ (kg)

میزان محصول m ام که از سردخانه z ام به میدان بار l ام با کیفیت
 Q در دوره t منتقل می‌شوند (بدون تاخیر). x_{bjlt}^{Qm} (kg)

میزان واردات محصول m ام با کیفیت Q به میدان بار l ام در دوره t
 Y_{lt}^{Qm} (kg)

اگر سردخانه z ام برای کل افق زمانی Γ اجاره شود برابر ۱ در غیر
 اینصورت صفر $Z_j: 0,1$

مقدار محصول m ام که از سردخانه z ام در دوره t پس از حداقل
 یک دوره انبارش خارج می‌شود. O_{jt}^m (kg)

۳-۴- مدل

در شهرها
 اندیس مزارع و گلخانه‌های کشاورزی
 اندیس مجموعه‌ای از نقاط کاندید اجاره سردخانه
 اندیس دوره‌های زمانی (افق زمان T)
 اندیس محصول
 اندیس تعداد دوره‌های ماندن کالا در سردخانه
 اندیس کیفیت محصول برای محصول m ام
 $i: 1, \dots, I$
 $j: 1, \dots, J$
 $t: 1, \dots, T$
 $m: 1, \dots, M$
 $n: 1, \dots, n^m$
 $Q: 1, \dots, \hat{Q}$

۳-۲- پارامترهای مدل

هزینه تهیه (شامل کلیه هزینه‌های تولید و فرآوری) هر واحد
 محصول m در مزرعه i ام در دوره t از کیفیت Q

$$CP_{it}^{Qm} \left(\frac{\$}{kg} \right)$$

قیمت فروش هر واحد محصول m با کیفیت Q در میدان بار l ام در
 دوره t ام SP_{it}^{Qm}

هزینه نگهداری هر واحد محصول m در سردخانه z ام در دوره t ی

$$CH_{jt}^m \left(\frac{\$}{kg} \right)$$

هزینه انتقال هر واحد محصول m از مزرعه i به سردخانه z (در هر

$$CA_{ij}^m \left(\frac{\$}{kg * km} \right)$$

هزینه انتقال هر واحد محصول m از سردخانه z به میدان بار l در

$$CB_{jl}^m \left(\frac{\$}{kg * km} \right)$$

هزینه انتقال هر واحد محصول m از مزرعه i به میدان بار l در زمان t

$$CC_{it}^m \left(\frac{\$}{kg * km} \right)$$

فاصله مزرعه i تا سردخانه z dA_{ij} (km)

فاصله سردخانه z تا میدان بار l dB_{jl} (km)

فاصله مزرعه i تا میدان بار l dC_{il} (km)

هزینه اجاره سردخانه z ام از میان نقاط کاندید (هزینه ثابت در افق

زمانی T) F_j (\$)

هزینه واردات هر واحد محصول m با کیفیت Q به میدان بار l در

$$W_{lt}^{Qm} \left(\frac{\$}{kg} \right)$$

ظرفیت کاشت محصولات در مزرعه i در زمان t (به هکتار) K_{it}

ضریب مصرف داخلی (یا ضایعات) مزرعه داران i ام در دوره t از

محصول m ام α_{it}^m

تقاضای میدان بار l از محصول m در دوره t D_{lt}^m (kg)

ظرفیت کلی سردخانه محصولات z ام S_j (kg)

$$X_{it}^{Qm} (1 - \alpha_{it}^m) = \sum_l x_{ilt}^{Q-u^c m} + \sum_j x_{jlt-n}^{Q-u^a m} \quad \forall i, t, m, Q \quad (13)$$

$$Q_{jt}^m = \sum_l \sum_Q \sum_n x_{jlt-n}^{Qm} d_n \quad \forall j, t, m \quad (14)$$

$$\sum_i x_{ijt}^{Qm} = \sum_l (x_{jlt}^{Q-u^b m} + \sum_n x_{jlt-n}^{Q-u^d m} d_n) \quad \forall j, t, m \quad (15)$$

$$\sum_Q \sum_j (x_{jlt}^{Qm} + \sum_n x_{jlt-n}^{Qm} d_n) + \sum_Q \sum_i x_{ilt}^{Qm} +$$

$$\sum_Q y_{lt}^{Qm} = D_{lt}^m \quad \forall l, t, m \quad (16)$$

$$\sum_m \sum_t O_{jt}^m \leq S_j Z_j \quad (17)$$

$$\sum_j Z_j F_j \leq B \quad \forall j \quad (18)$$

$$X_{it}^{Qm} \geq I_{it}^{Qm} \quad \forall i, t, m, Q \quad (19)$$

$$x_{ijt}^{Qm} \leq Z_j * M \quad \forall i, j, t, m, Q \quad (20)$$

$$x_{ilt}^{Qm} \geq 0 \quad \forall i, l, t, m, Q \quad (21)$$

$$x_{ijt}^{Qm} \geq 0 \quad \forall i, j, t, m, Q \quad (22)$$

$$x_{jlt}^{Qm} \geq 0 \quad \forall j, l, t, m, Q \quad (23)$$

$$x_{jlt-n}^{Qm} d_n \geq 0 \quad \forall j, l, t, n, m, Q \quad (24)$$

$$Z_j(0,1) \quad \forall j \quad (25)$$

$$y_{lt}^{Qm} \geq 0 \quad \forall l, t, m, Q \quad (26)$$

توضیح در مورد محدودیت‌ها:

فرمول (۹) محدودیت مربوط به قابلیت برداشت یا عدم برداشت محصول با کیفیتی خاص در هر دوره و در هر مزرعه با توجه به نوع محصول است. λ_{it}^{Qm} که بصورت ورودی صفر و یک است، تعیین می‌کند؛ که به لحاظ علم کشاورزی آیا می‌توان محصول m ام با کیفیت

۳-۴-۱- تابع هدف

$$\text{Maximize } Z: Z' - (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7)$$

$$Z' = \sum_i \sum_t \sum_m \sum_Q SP_{it}^{Qm} X_{it}^{Qm} (\sum_i x_{ilt}^{Qm} + \sum_j (x_{jlt}^{Qm} + \sum_n x_{jlt-n}^{Qm} d_n)) \quad (1)$$

$$Z_1 = \sum_i \sum_t \sum_m \sum_Q CP_{it}^{Qm} X_{it}^{Qm} \quad (2)$$

$$Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_m CA_{ij}^m dA_{ij} (\sum_l \sum_Q x_{ijt}^{Qm}) \quad (3)$$

$$Z_3 = \sum_j \sum_l \sum_m CB_{jl}^m dB_{jl} (\sum_l \sum_Q (x_{jlt}^{Qm} + \sum_n x_{jlt-n}^{Qm} d_n)) \quad (4)$$

$$Z_4 = \sum_i \sum_l \sum_m CC_{il}^m dC_{il} \sum_t \sum_Q (x_{ilt}^{Qm}) \quad (5)$$

$$Z_5 = \sum_j F_j z_j \quad (6)$$

$$Z_6 = \sum_j \sum_l \sum_m \sum_t (\sum_Q \sum_n n x_{jlt-n}^{Qm} d_n) CH_{jt}^m \quad (7)$$

$$Z_7 = \sum_l \sum_t \sum_m \sum_Q y_{lt}^{Qm} W_{lt}^{Qm} \quad (8)$$

که در آن فرمول (۱) مربوط به محاسبه در آمد های حاصل از فروش محصولات (با توجه به کیفیت آنها است؛ فرمول (۲) مربوط به هزینه های تولید و تهیه محصول، فرمول (۳) مربوط به هزینه انتقال از مزرعه‌ها به سردخانه‌ها، فرمول (۴) مربوط به هزینه انتقال از سردخانه ها به میادین بار، فرمول (۵) مربوط به هزینه انتقال از مزرعه‌ها به میادین بار، فرمول (۶) مربوط به هزینه اجاره سردخانه‌ها، فرمول (۷) مربوط به هزینه نگهداری محصولات در سردخانه‌ها و فرمول (۸) مربوط به هزینه واردات محصولات می‌باشد.

۳-۴-۲- محدودیت های مساله

$$X_{it}^{Qm} \leq \lambda_{it}^{Qm} * M \quad \forall i, t, m, Q, M \text{ is a big positive number} \quad (9)$$

$$K_{it} = K_{it-1} - \sum_m \sum_Q X_{it-1}^{Qm} g^m \quad \forall i, t \quad (10)$$

$$X_{it}^{Qm} = X_{it-q}^{Qm} \quad \forall i, m, t, Q \quad (11)$$

$$\sum_m \sum_Q X_{it}^{Qm} . g^m \leq K_{it} + \sum_m \sum_Q X_{it}^{Qm} . g^m \quad \forall i, t \quad (12)$$

مواردی میزان بهینه صادرات را هم محاسبه نمود. از طرفی باید توجه داشت که در حالت کلی مدل با توجه به محدودیت (۱۶) ناگزیر به تامین تقاضای میادین بار شهر هاست و از طرفی اگر قیمت فروش یک محصول بالا باشد مدل به دنبال برنامه کاشتی ایده آل خواهد بود که بتواند به کمک آن ضمن تامین محصول مورد نیاز سود را بیشینه کند. همچنین می توان محدودیت ای را برای حداقل هزینه کرد ها برای هر مزرعه در نظر گرفت (که با درآمدها برای هر مزرعه متناسب است). یعنی:

$$\sum_i \sum_m \sum_Q CP_{it}^{Qm} X_{it}^{Qm} \leq \sum_i E_{it} \quad \forall i \quad (27)$$

که در آن E_{it} حدپایین پرداختی های کشاورز مزرعه i در دوره t متناسب با دریافتی های های کشاورز در مزرعه i و t در دوره است. و بر اساس فرمول شماره (۲۷) یک حد پایین برای دریافتی های سالانه کشاورزان در نظر گرفته شده است؛ هرچند اگر دولت به عنوان متولی مدل بالا، این مدل را اجرا کند بواسطه ایجاد تعادل و گران یا ارزان نشدن قیمت ها کشاورزان از یک سود متعادل بهره مند می-شوند (نه کسی بشدت متضرر می شود و نه کسی سودی کلان خواهد برد).

۳- اهمیت پارامتر SP_{it}^{Qm} و CP_{it}^{Qm}

در مدل ارائه شده در این مقاله پارامتر SP_{it}^{Qm} و CP_{it}^{Qm} اهمیت ویژه ای دارد به نحوی که می تواند برای تصمیم گیری بین هزینه های کاشت و کیفیت محصولات نقش تعیین کننده را ایفا کند. این پارامترهای چهار وجهی که از جنس دلار اند بیان کننده ارزش مالی بدست آمده از فروش محصول m با کیفیت Q در میدان بار شهر i و در دوره t و هزینه تهیه و تولید محصول m با کیفیت Q در مزرعه i و در دوره t می باشند؛ اگر قیمت فروش با توجه به هزینه های تولید برای محصولات با کیفیت بالاتر، بیشتر باشد اهمیت فاکتور کیفیت در مدل افزایش یافته و مدل بسوی حفظ کیفیت بیشتر بجای هزینه کمتر می رود ولی در صورتی که کشت کیفیت بالا چندان زیاد نباشد کاهش هزینه ها در مدل نسبت به حفظ کیفیت ارجحیت پیدا می کند. اهمیت این موضوع وقتی روشن می شود که می توان کاربرد های واقعی کشاورزی را در این مدل دید. برای مثال فرض کنید یک مزرعه دار می تواند محصول خود را به سه صورت دیم، نیمه دیم و با آبیاری تهیه کند؛ مسلماً هر یک از این محصولات دارای کیفیت مجزا هستند که به واسطه همین فاکتور کیفیت قیمت فروش آنها نیز متفاوت است. حال با یک پیش بینی اصولی از قیمت فروش هر محصول می توان بهترین تصمیم را برای سود آوری بیشتر کشاورزان گرفت. یکی دیگر از این کاربرد های واقعی، ارجحیتی است که مدل ارائه شده در این مقاله به کاشت

Q را در دوره t در مزرعه i کاشت یا خیر. فرمول (۱۰) محدودیت مربوط به تعیین سطح قابل کشت در مزرعه t ام در هر دوره t است؛ که این مقدار برابر سطح قابل کشت (بر حسب هکتار) منهای سطح کشت در دوره قبل (بر حسب هکتار) است. فرمول (۱۱) بیان می کند که مقدار محصول بدست آمده در دوره t برابر مقدار محصول کاشته شده در دوره $t - q^m$ است. فرمول (۱۲) محدودیت اصلی ظرفیت کاشت بوده و نشان می دهد میزان کاشت از محصولات مختلف (با در نظر گرفتن g^m ضریب تبدیل کیلوگرم به هکتار) در هر دوره بایستی کمتر از ظرفیت سطح قابل کشت بعلاوه فضای آزاد شده از برداشت محصولات قبلی باشد. فرمول (۱۳) محدودیتی است که نشان می دهد که محصول تولید شده پس از کسر ضریب مصرف داخلی (یا درصد ضایعات) می تواند به سردخانه ها یا شهرها تخصیص یابد؛ در واقع تعادل محصول را در مزارع برقرار می کند؛ همچنین در این رابطه به افت کیفیت محصول در صورت انتقال مستقیم به میادین بار یا انتقال به سردخانه اشاره شده است. فرمول (۱۴) محدودیت پنجم میزان خروجی (یا تاخیر) از محصول m ام در دوره t ام از سردخانه t ام را محاسبه می کند. واضح است که فرمول (۱۵) محدودیت مربوط به تعادل در سردخانه ها است؛ که بیان کننده آن است که کل کالاهای وارد شده از تمامی مزارع و از هر محصول و در هر دوره به یک سردخانه برابر با مقداری است که بدون انبار شدن به میادین بار منتقل می گردند؛ به علاوه مقداری که برای نگه داری وارد انبار می شوند. مشابه فرمول (۱۳) محصولات انتقالی از سردخانه به میادین بار بدون تاخیر و یا با تاخیر (با در نظر گرفتن تعداد دوره انبارش) و با توجه به فاکتور u^b و u^d دچار افت کیفیت می شوند

فرمول (۱۶) این محدودیت نیز نشان می دهد که تقاضای (D_{it}^m) به هر صورت ممکن، با هر نوع کیفیت محصول و در هر دوره باید تامین شود. یا با تولید یا با واردات. فرمول (۱۷) این محدودیت نیز بیان می کند میزان ذخیره محصولات در سردخانه t ام در دوره های مختلف و محصولات مختلف باید کمتر از کل مقدار ظرفیت آن سردخانه باشد. فرمول (۱۸) این محدودیت بیان می کند که از بین نقاط متعدد کاندید برای استقرار سردخانه بسته به بودجه، حداکثر چه تعداد اجاره شود. فرمول (۱۹) این محدودیت بیان می کند که میزان تولید از هر محصول با یک کیفیت خاص در هر مزرعه و در هر دوره باید از مقدار مشخص λ_{it}^m باید بیشتر باشد. فرمول (۱۹) این محدودیت بیان می کند که تنها در صورت وجود سردخانه t ام می توان به آن محصول ارسال نمود. فرمولهای (۲۰) تا (۲۵) محدودیت های مربوط به نامنفی بودن متغیرهای تصمیم مساله است که می توان بسته به نیاز یک حد پایین برای آنها نیز در نظر گرفت. همچنین می توان متغیر W_{it}^m آزاد در علامت در نظر گرفت تا بتون به این طریق در

توسط واردات پاسخ داده می‌شود. در دوره دوم محصولات مزرعه ۱ و ۳ برداشت شده و پس از کسر مصرف داخلی به بهترین سردخانه (به لحاظ فاصله و هزینه های انتقال) یعنی سردخانه اول منتقل شده که ۴۹۰ کیلوگرم محصول در آن انبار می شود و ۱۶۲۵ کیلو گرم محصول باقیمانده به شهر می‌رود، علاوه بر آن ۳۷۵ واحد محصول نیز برای پوشش تقاضای شهر در دوره دوم وارد می‌شود. در همان دوره دوم مزرعه ۲ که کمترین هزینه کاشت محصول را دارد، زیر کشت می‌رود که در نتیجه همین مقدار محصول در دوره سوم برداشت شده و پس از کسر ۰۰۶ آن به همراه ۴۹۰ واحد کالای ذخیره شده از دوره دوم تقاضای ۱۹۰۰ واحدی شهر را در دوره سوم پوشش می‌دهند. همانطور که مشاهده می شود محدودیت حد پایین پرداختی های کشاورز نیز ارضا شده است.

۵- نتیجه

مدل ارائه شده تلفیقی از مدل‌های مکانیابی و برنامه‌ریزی تولید است که میزان کاشت محصولات در مزارع و محل احداث انبار (اجاره سردخانه) را با توجه به کیفیت محصول تعیین می‌کند. همچنین، میزان انتقال مستقیم محصولات به میادین و سردخانه‌ها را تعیین می‌کند. با بکارگیری این مدل می توان بطور واقعی و دقیق به حل مشکل تامین تقاضای کلان شهر های بزرگ کشور در زمینه محصولات کشاورزی دست یافت که البته این موضوع می‌تواند ابعاد مساله را بسیار بزرگ کند، برای حل این مشکل می توان مزارع یک ناحیه را بصورت متمرکز در نظر گرفت (درست عکس مسائل زنجیره تامینیه که نقاط تقاضا را به عنوان نقاط متمرکز در نظر می گیرند).

محصولات مختص هر منطقه می دهد؛ برای نمونه فرض کنید برای تامین تقاضای محصول خربزه قصد کاشت آن را در کشور داریم، پارامتر CP_{it}^{Qm} برای ما تعیین می‌کند که مزارع شهر مشهد بهترین گزینه اند چرا که برای تولید محصول خربزه با کیفیت ۸ در مشهد هزینه کمتری را باید پرداخت تا محصولی با همان کیفیت را در شهر کرج برداشت نمود.

یکی دیگر از کاربرد های واقعی مدل ارائه شده می تواند به نوع بذر کاشته شده در زمین بازگردد. مجددا کشاورزی را در نظر بگیرید که بدنبال کاشت بهترین نوع گندم در مزارع خود است؛ با بکارستن این مدل با توجه به دو پارامتر کلیدی CP_{it}^{Qm} و SP_{it}^{Qm} و تخمینی صحیح از کیفیت حاصل از کاشت هر بذر می توان بهترین گزینه را به جهت اخذ بهترین نتیجه برای کشور در اختیار کشاورز قرار داد.

۴- مثال عددی

برای داده‌های جدول ۱ پاسخ‌های حل مساله به کمک نرم افزار لینگو آورده شده است. مدل شامل یک شهر، یک محصول، سه مزرعه، سه دوره‌ی زمانی و دو سردخانه کاندید، بدون در نظر گرفتن کیفیت(با توجه محدودیت تعداد صفحات مقاله) و تابع هدف زیر (تابع هدف کمینه کردن هزینه ها) است.

$$\text{Minimize } Z: Z_1+Z_2+Z_3+Z_4+Z_5+Z_6+Z_7$$

نتایج حل مساله نیز در جدول ۲ آورده شده است. سایر مقادیر برابر صفر هستند. همانطور که قابل مشاهده است؛ در دوره اول در مزارع ۱ و ۳ که هزینه تولید کمتری نسبت به مزرعه ۲ دارند به ترتیب ۱۰۰۰ و ۱۲۵۰ کیلوگرم محصول کاشته می‌شود و چون این محصولات تا ابتدای دوره بعد قابل برداشت نیست تمام تقاضای شهر

جدول ۱- داده‌های مثال عددی

| CP_{it}^m هزینه های تهیه محصول | | | | CH_{jt}^m هزینه نگهداری | | | | CA_{ij}^m هزینه انتقال از مزرعه به سردخانه | | |
|---|-------|-------|-------|---------------------------------------|-------|-------|-------|--|-------|-------|
| $m=1$ | $t=1$ | $t=2$ | $t=3$ | $m=1$ | $t=1$ | $t=2$ | $t=3$ | $m=1$ | $j=1$ | $j=2$ |
| $i=1$ | 5 | 3 | 4 | $j=1$ | 0.4 | 0.3 | 0.5 | $i=1$ | 0.2 | 0.75 |
| $i=2$ | 6 | 4 | 4 | $j=1$ | 0.5 | 0.4 | 0.4 | $i=2$ | 0.1 | 0.2 |
| $i=3$ | 4 | 5 | 6 | | | | | $i=3$ | 0.15 | 0.15 |
| CB_{jt}^m هزینه حمل از سردخانه به شهر | | | | CC_{il}^m هزینه حمل از مزرعه به شهر | | | | dA_{ij} | $j=1$ | $j=2$ |
| $m=1$ | $l=1$ | | | $i=1$ | 130 | | | $i=1$ | 10 | 14 |
| $j=1$ | 0.5 | | | $i=2$ | 125 | | | $i=2$ | 11 | 2 |
| $j=2$ | 1 | | | $i=3$ | 120 | | | $i=3$ | 8 | 6 |
| dB_{jl} | | $l=1$ | | dC_{il} | | $l=1$ | | D_{it}^m | | $l=1$ |
| $j=1$ | 4 | | | $i=1$ | 12 | | | $t=1$ | 1200 | |
| $j=2$ | 7 | | | $i=2$ | 15 | | | $t=2$ | 2000 | |
| | | | | $i=3$ | 4 | | | $t=3$ | 1900 | |



| W_{it}^m | | | | K_{i0} | | | | هکتار | | | |
|------------------|-------|-------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|--|
| $l=1$ | | | | صنایع | | | | نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع | | | |
| 400 | | | | 400 | | | | 400 | | | |
| $t=2$ | | | | $j=1$ | | | | $i=2$ | | | |
| 400 | | | | 500 | | | | 600 | | | |
| $t=3$ | | | | $j=2$ | | | | $i=3$ | | | |
| 1000 | | | | 500 | | | | 500 | | | |
| λ_{it}^m | $t=1$ | $t=2$ | $t=3$ | n^m | q^m | g^m | $\sum_t E_{it}$ | L_{it}^m | F_j | α_{it}^m | |
| $i=1$ | 1 | 0 | 1 | برای تمام مقادیر | برای تمام مقادیر | برای تمام مقادیر | برای تمام مقادیر | برای تمام مقادیر | برای تمام مقادیر | برای تمام مقادیر | |
| $i=2$ | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | |
| $i=3$ | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0.4 | 3000 | 0 | 500 | 0.04 | |

جدول ۲- نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار لینگو

| | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------------|-------|
| X_{12}^1 | X_{23}^1 | X_{32}^1 | X_{11}^1 | X_{31}^1 | X_{22}^1 | xa_{112}^1 | xa_{213}^1 | xa_{312}^1 | Z_1 |
| 1000 | 1500 | 1250 | 1000 | 1250 | 1500 | 940 | 1410 | 1175 | 1 |
| xb_{112}^1 | xb_{113}^1 | y_{11}^1 | y_{12}^1 | K_{11} | K_{21} | K_{31} | K_{22} | $x_{112}^1 d_1$ | |
| 1625 | 1410 | 1200 | 375 | 400 | 500 | 600 | 600 | 490 | |

مراجع

Omar Ahumada, J.ReneVillalobos, 2011.Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products. Int. J. Production Economics 133, 677-687.

[2] Ferrer, Juan C, MacCawley, Alejandro, Maturana, Sergio, Toloza, Sergio, Vera, Jorge, 2007.An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations. International Journal of Production Economics 112 (2), 985-999.

[3] Riccardo Manzini& Elisa Gebennini,2008. Optimization models for the dynamic facility location and allocation problem. International Journal of Production Research, Vol. 46, No. 8, 2061-2086.

[4] Rantala, Juho, 2004.Optimizing the supply chain strategy of a multi-unit finish nursery. Silva Fennica 38 (2), 203-215.

[5] Rong, A, Akkerman, R, Grunow, M,2011 .An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. International Journal of Production Economics 131 (1), 421-429.

[6] Ahumada, Omar, Villalobos, J.Rene, 2009.Application of planning models in the agri-food supply chain: a review. European Journal of Operational Research 195, 1-20.