

مدیریت تولید و عملیات، دوره ششم، شماره (۱)، پیاپی (۱۰)، بهار و تابستان ۱۳۹۴

دریافت: ۹۲/۸/۲۹ پذیرش: ۹۳/۴/۳۱

صص: ۶۰-۳۵

ارائه یک مدل برنامه‌ریزی زنجیره تأمین برای محصولات زراعی فسادپذیر

امیرحاجی میرزاجان^۱، محمدعلی پیرایش^{۲*}، فرزاد دهقانین^۳

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد

۲- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی، مشهد

چکیده

در این مقاله یک مدل زنجیره تأمین برای تولید و توزیع محصولات زراعی فسادپذیر ارائه می‌گردد. حلقه‌های این زنجیره شامل: مزارع، سردخانه‌ها و میادین بار است و در صورت نیاز تقاضای محصولات را می‌توان از طریق واردات نیز پاسخ داد. مدل در نظر گرفته شده در این مقاله چند دوره‌ای است. هر محصول را بعد از برداشت حداکثر چند دوره معین می‌توان نگهداری کرد و پس از آن فاسد می‌شود. هدف از این مدل تعیین برنامه بهینه تولید، انبارش و ارسال به میادین بار برای هر محصول در هر دوره است؛ به طوری که هزینه کل زنجیره کمینه گردد. مدل ارائه شده در این مقاله به صورت یک مطالعه موردی برای سه محصول سیب‌زمینی، پیاز و گوجه فرنگی استفاده می‌شود. نتایج عددی نشان می‌دهد استفاده از این مدل به کاهش هزینه کل و نتیجتاً کاهش قیمت تمام شده محصولات منجر می‌گردد. آثار مطلوب دیگر این مدل صرفه‌جویی در منابع آب است. همچنین، با انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای کلیدی مدل، اثر این پارامترها بر قیمت تمام شده و میزان واردات بررسی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تولید، حمل و نقل، زنجیره تأمین، محصولات زراعی فسادپذیر، مکانیابی

۱- مقدمه

متوالی بدون کشت مجدد، محصول برداشت نمود. تعریف دیگری که لازم است به آن پردازیم، کشت آبی^۲ و دیم^۳ است. کشت آبی به نوعی از تولید محصول کشاورزی گفته می‌شود که در آن کشاورزان آب مورد نیاز گیاه را به موقع تأمین می‌کنند؛ در حالی که در کشت دیم کشاورزان در طی مراحل کاشت، داشت و برداشت، امیدوار به تأمین آب مورد نیاز گیاه از نزولات جوی هستند.

با توجه به اینکه در حال حاضر برنامه‌ریزی جامعی برای تولید محصولات زراعی فسادپذیر وجود ندارد؛ این مقاله به ارائه و حل یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند دوره‌ای می‌پردازد که علاوه بر تعیین مقدار بهینه میزان تولید محصولات کشاورزی در مزارع به مکانیابی سردخانه‌های نگهداری محصولات و تخصیص محصولات کشاورزی به آنها با توجه به دوره ماندگاری محصولات می‌پردازد. در این مدل نقاط تقاضا به صورت میادین بار (در نقاط شهری) مشخص است 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 در نظر گرفت.

جنبه نوآوری این مقاله به استفاده از روشی جدید در پایش فسادپذیری محصولات و تلفیق مدل‌های مکانیابی با مسأله برنامه‌ریزی تولید در مورد محصولات زراعی و همچنین، استفاده از ضریب عملکرد^۴ که در صرفه‌جویی مصرف زمین زراعی و آب مؤثر است، مربوط می‌شود. تعیین محل سردخانه مربوط به مکانیابی مسأله است که انتخاب صحیح مکان‌ها باعث کم شدن ضایعات و هزینه‌های انتقال

کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های تأثیرگذار در اقتصاد هر کشور است که نقش مهمی در استقلال سیاسی و اقتصادی آن ایفا می‌کند. وجود مواهب طبیعی فراوان و موقعیت خاص اقلیمی، ایران را به سرزمینی چهارفصل تبدیل کرده است که این موضوع بسترهای لازم برای محور قرار دادن این بخش در اقتصاد کشور را فراهم می‌کند. با وجود این، این بخش از اقتصاد کشور با وجود استعداد بالقوه، کارایی لازم را نداشته است. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات بخش کشاورزی در کشور، عدم آگاهی کشاورزان نسبت به کاشت متعادل محصولات کشاورزی بر حسب تقاضاست؛ 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. ضعف مدیریتی در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی و ورود واسطه‌ها در این عرصه را می‌توان مشکل اساسی این بخش از اقتصاد کشور دانست. این امر ضرورت مطالعه مدل‌های زنجیره تأمین در بخش کشاورزی و به طور خاص تولید و توزیع محصولات زراعی را ایجاب می‌کند.

محصولات زراعی^۱ به بخشی از محصولات کشاورزی اطلاق می‌شوند که مدت زمان کاشت تا گل‌دهی (پایان عمر محصول) در آنها کمتر از یک سال است. در واقع، چرخه زندگی آنها کمتر از یک سال طول می‌کشد؛ در حالی که محصولات باغی چرخه زندگی طولانی دارند و پس از گل‌دهی گیاه عمر آنها به پایان نمی‌رسد و می‌توان در دوره‌های

محصولات از نظر مدت ماندگاری به دو دسته فسادپذیر و فاسدنشدنی (مانند محصولات دانه‌ای و خشکبار) و از نظر چرخه عمر به دو دسته زراعی و باغی تقسیم‌بندی می‌شوند. این مقاله در حیطه زنجیره تأمین محصولات زراعی فسادپذیر قرار می‌گیرد.

برای آشنایی با گستره مسائل زنجیره تأمین محصولات کشاورزی می‌توان به سه مقاله مروری که گلن (۱۹۸۷)، لو و پرسکل (۲۰۰۴) و آهومادا و ویلاباس (۲۰۰۹) تهیه کرده‌اند، اشاره کرد. گلن (۱۹۸۷) به جمع‌آوری و دسته‌بندی مقالات مربوط به مسائل زنجیره تأمین محصولات زراعی و دامی و نحوه مدل‌سازی آنها می‌پردازد. لو و پرسکل (۲۰۰۴) کار گلن (۱۹۸۷) را در زمینه دسته‌بندی مقالات حوزه مسائل زنجیره تأمین محصولات کشاورزی تجاری تا سال ۲۰۰۴ تکمیل می‌کند. آنها در مقاله خود به حوزه‌های تحقیقات آبی و لزوم توجه به پارامترهای نامعین و اهمیت ماهیت عمر کوتاه محصولات با توجه به مدت تولید طولانی اشاره می‌کنند. آهومادا و ویلاباس (۲۰۰۹) به مرور و ارزیابی جامعی از کاربرد و نحوه مدل‌سازی زنجیره تأمین محصولات کشاورزی در مقالات مختلف می‌پردازند و تحقیقات انجام شده در این حوزه را از دیدگاه‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌کنند. از دیدگاه انبارش محصولات، آنها بین مقالاتی که تمرکزشان بر روی محصولات فسادپذیر است، با مقالاتی که عمده تمرکزشان بر روی محصولات فاسدنشدنی است، تمایز قایل می‌شوند. از دیدگاه سطح تصمیم‌گیری، مقالات را به سه دسته راهبردی، تاکتیکی و عملیاتی تقسیم‌بندی می‌کنند. از دیدگاه ماهیت پارامترها، مقالات را به دو

می‌شود. مدل ارائه شده به شکلی دقیق و نوین محدودیت‌های مربوط به سطح کشت و محدودیت آب را در طول دوره‌های مختلف در نظر می‌گیرد که باعث نزدیک شدن مدل به واقعیت می‌شود. در واقع مدل ارائه شده در این مقاله با استفاده از یک تابع هدف کمینه‌سازی خطی سعی دارد هزینه‌های دولت را به عنوان متصدی مدل بر پایه محدودیت‌های زمین کشاورزی، منابع آب، تقاضای هر محصول در دوره‌های زمانی مختلف و ظرفیت سردخانه‌ها کاهش دهد.

در ادامه مقاله و در بخش دوم مروری بر ادبیات مدل‌های زنجیره تأمین در حوزه محصولات کشاورزی ارائه می‌شود و شکاف تحقیقاتی که مقاله حاضر بدان می‌پردازد، بیان می‌گردد. بخش سوم به تعریف مسأله و ارائه مدل ریاضی تخصیص داده شده است. در بخش چهارم مدل ارائه شده برای سه محصول پیاز، سیب زمینی و گوجه فرنگی به عنوان یک مطالعه موردی پیاده‌سازی می‌شود. تحلیل نتایج حاصل از حل مدل و تحلیل حساسیت پارامترهای مسأله موضوع بخش پنجم است. در نهایت، در بخش ششم، نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

۲- مرور ادبیات

زنجیره تأمین محصولات کشاورزی امروزه به خاطر داشتن ویژگی‌های منحصر به فردی مثل اهمیت کیفیت غذا، اهمیت تأمین تقاضا، تغییرات آب و هوا و تغییرات قیمت نقش بسیار مهمی در مسائل زنجیره تأمین کسب نموده است. در دسته‌بندی این مباحث

مختلط هر تعداد محصول را نسبت به کاشت منفرد آنها تعیین می‌کند؛ حال آنکه در عمل تعیین این ضریب عملی نیست.

آلن و شوستر (۲۰۰۴) در مقاله‌ای به برآورد میزان سرمایه‌گذاری و نرخ برداشت در جهت کاهش میزان ضایعات محصول ناشی از آب و هوا یا ماندن در انبار با استفاده از یک مدل غیر خطی در تاکستان‌ها می‌پردازند. در واقع، مدل آنها تمرکز بر روی ظرفیت‌های برداشت و نگهداری دارد و از ارزیابی ریسک مربوط به شرایط آب و هوا استفاده می‌کند.

رانتالا (۲۰۰۴) یک مدل زنجیره تأمین برای نهال‌هایی که در نهالستان تهیه و به سردخانه منتقل می‌شوند، ارائه می‌دهد. مشتریان می‌توانند نهال‌ها را مستقیماً از نهالستان و یا سردخانه‌ها تهیه کنند. همچنین، این مدل محدودیت‌های ظرفیت و فسادپذیری را نیز در نظر می‌گیرد. هدف این مدل کمینه کردن هزینه‌های تولید و انتقال محصولات در راستای پوشش تقاضای مشتریان است.

آپیا و هندریکس (۲۰۰۵) در مقاله خود که درباره طراحی شبکه زنجیره تأمین غذاهای پروتئینی بر پایه نخود است، به ارائه یک مدل زنجیره تأمین متشکل از تولیدکنندگان نخود، کارخانه‌های خشک کردن نخود، کارخانه‌های پوست‌کنی و فرآوری، توزیع‌کنندگان محصول و خرده‌فروشان می‌پردازد. تابع هدف به کمینه‌کردن هزینه‌های زنجیره با توجه به محدودیت‌های تعادل در زنجیره، پوشش تقاضا و ظرفیت هر یک از کارخانجات می‌پردازد. این مدل نیز غیرپویا و با در نظر گرفتن نحوه‌های مختلف حمل‌ونقل در زنجیره است.

دسته قطعی و احتمالی تقسیم می‌کنند. از نظر رویکرد مدل‌سازی، مقالات قطعی به دو دسته برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی پویا و مقالات احتمالی به دو دسته برنامه‌ریزی احتمالی و برنامه‌ریزی پویای احتمالی تقسیم‌بندی می‌شوند.

در ادامه، تعدادی از تحقیقات انجام شده در حوزه زنجیره تأمین محصولات کشاورزی را با جزئیات بیشتر مرور می‌کنیم. ون برلو (۱۹۹۳) عملیات زنجیره تأمین فرآوری سبزیجات شامل: مراحل کاشت، برداشت، فرآوری صنعتی و ارائه به بازار را در قالب یک مدل ریاضی با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی ارائه می‌نماید. مدل آنها تصمیم‌های کشاورز در راستای کاهش هزینه‌های زنجیره را شامل می‌شود و فاقد تصمیم‌های مکانیابی است.

جولایمی (۱۹۹۶) در مقاله‌ای با در نظر گرفتن یک دوره مشخص کاشت به دنبال یافتن مقدار و محل کاشت محصولات با هدف حداکثر کردن سود است. در مدلی که او ارائه می‌دهد، مدل از بین تعداد پرشماری محصول، پرسودترین محصول را به شرط پوشش تقاضا انتخاب می‌کند. انتقادات مهمی به مدل او وارد است؛ از جمله این که چون مدل او چند دوره‌ای نیست، لذا توجهی به قابلیت کاشت در زمان کشت و مدت زمان کاشت تا برداشت متفاوت محصولات مختلف نشده است؛ یا این که در آن مدل محدودیت منابع آب منظور نشده و توجهی به فسادپذیری محصولات نشده است. همچنین، در آن ضریبی به نام تأثیرپذیری کشت مختلط^۵ تعریف شده که مقدار افزایش یا کاهش سود حاصل از کاشت

آهوماتا و ویلاباس (۲۰۱۱b) با مدیریت هزینه‌های کارگر و با در نظر گرفتن ارزش محصولات و شیوه حمل‌ونقل آنها در قالب یک مدل MIP در چند دوره محدود زمانی (چند هفته) سعی در یافتن یک تعادل بین کیفیت و قیمت محصولات دارند؛ مهم‌ترین ویژگی مسأله آنها در نظر گرفتن چند مزرعه در مکان‌هایی مشخص است؛ به ویژه که در این مدل کیفیت محصول در طول مراحل حمل و تأخیرات کاهش می‌یابد. هدف این مدل، بیشینه کردن دریافتی‌های کشاورز با توجه به کیفیت محصولات است. در مدل آنها نوع و محدوده زمانی کشت مشخص است.

رونژ و همکارانش (۲۰۱۱) یک مدل بهینه‌سازی برای مدیریت کیفیت محصولات فسادپذیر را در طول مراحل مختلف زنجیره تأمین ارائه می‌دهند. در واقع، در این مدل توجه زیادی به حفظ کیفیت محصولات شده است. در این مدل 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 کمینه کردن تمام هزینه‌های زنجیره با حفظ کیفیت قابل قبول محصول است.

تیموری و همکاران (۲۰۱۳) یک زنجیره تأمین محصولات کشاورزی شامل تولیدکنندگان، عمده‌فروشان و خرده‌فروشان را بررسی می‌کنند. آنها یک مدل شبیه‌سازی با رویکرد تحلیل سیستم‌ها پیشنهاد می‌کنند تا رفتار زنجیره را بررسی کرده و اثر سه عامل عرضه، تقاضا و قیمت را بر همدیگر تعیین نمایند. هدف اصلی آنان از این مطالعه، تعیین بهترین

فر و همکارانش (۲۰۰۸) مدلی برای تصمیم‌گیری در مورد مقدار برداشت محصول در هر دوره، نحوه حمل‌ونقل به محل فرآوری، برنامه‌ریزی فرآوری محصولات در کارخانه و بسته‌بندی را در قالب یک مدل MIP^۱ برای انگور قرمز ارائه می‌دهند. همچنین، این مدل هزینه برداشت محصول و هزینه کاهش کیفیت محصول را در تابع هدف در نظر می‌گیرد. مدلی که آنها ارائه می‌دهند، فقط به ارائه برنامه‌ریزی پس از برداشت تا تأمین تقاضای مشتریان می‌پردازد.

مانزینی و گبنینی (۲۰۰۸) چندین مدل برنامه‌ریزی خطی مکانیابی - تخصیص را با توجه به برنامه‌ریزی تولید محصولات در کارخانه و نحوه تخصیص محصولات به توزیع‌کنندگان در قالب یک مدل پویا ارائه می‌دهند. آنها با اضافه کردن محدودیت‌های تأخیر 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، و وجود چند توزیع‌کننده مرکزی آماده می‌شود.

آهوماتا و ویلاباس (۲۰۱۱a و ۲۰۱۲) به برنامه‌ریزی در مورد کشت دو محصول گوجه‌فرنگی و فلفل قرمز در ایالت سینالوا^۲ (واقع در شمال شرق مکزیک) در مزارعی با موقعیت‌های مکانی متفاوت با تمرکز بر روی برنامه‌ریزی استخدام نیروی انسانی موقت و دائم برای مراحل کاشت، داشت و برداشت و همچنین، محدودیت آب محصولات به دو صورت قطعی و تصادفی می‌پردازند.

سیاست واردات برای کاهش تغییرات قیمت در سناریوهای مختلف عرضه و تقاضاست.

سلطانی و اسدی (۱۳۷۹) در مقاله‌ای با وارد کردن شکل بسیار ساده‌ای از برنامه‌ریزی خطی در مسأله الگوی کشت به بررسی دشت قزوین پرداخته‌اند. آنها با تقسیم کل دشت به پنج ناحیه همگن از نظر منابع آب و در نظر گرفتن ۹ محصول و همچنین، دانستن حاشیه سود فروش محصولات به تعیین مقدار کشت محصولات پرداخته‌اند. آنها با توجه به نمونه‌گیری‌هایی که انجام دادند، متوجه شدند که از بین عوامل مؤثر بر درآمد کشاورزان بر اساس آزمون دانکن تنها اندازه مزرعه تأثیر معناداری داشته و با وارد کردن آن به صورت تک دوره‌ای در مدل به جواب‌های بهینه در مدل دست یافته‌اند. آنها در مقاله خود توجهی به تقاضا در دوره‌های مختلف، ذخیره محصولات در سردخانه‌ها و محل آنها و فسادپذیری محصولات نداشته‌اند. در این مقاله به دولت پیشنهاد شده است با تعیین قیمت آب برای هر محصول در هر ناحیه به اجرای سیاست الگوی کشت اقدام نماید.

اگر چه هدف از مدل ارائه شده در این مقاله توسعه یک مدل زنجیره تأمین برای محصولات زراعی فسادپذیر به منظور ایجاد تعادل بین تولید و تقاضا و در نتیجه تثبیت قیمت محصولات زراعی در کشور بوده است؛ اما با توجه به پیشینه تحقیق، شکاف‌های تحقیقاتی که مدل ارائه شده در این مقاله پوشش می‌دهد، به شرح زیر است:

۱- توسعه زنجیره تأمین سه مرحله‌ای برای محصولات زراعی فسادپذیر؛

۲- چند دوره‌ای بودن زنجیره تأمین؛

۳- قابلیت کشت مجدد بر روی زمین زراعی پس از برداشت محصولات؛

۴- استفاده از ضریب عملکرد زراعی و نیاز آبی محصول در مدل‌سازی.

۳- تعریف مسأله و مدل‌سازی

۳-۱- شرح مدل

شبکه زنجیره تأمین ارائه شده در این مقاله شامل چهار جزء اصلی است: مزارع کاشت محصولات کشاورزی که می‌توان در دوره‌های مختلف محصولات مختلفی را در زمین کشاورزی کاشت، سردخانه‌های نگهداری محصولات کشاورزی که این سردخانه‌ها باید از میان تعدادی نقاط کاندید انتخاب شوند؛ میادین بار (نقاط تقاضا) 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 کشاورزی‌اند که در صورت نیاز محصولات کشاورزی را از خارج کشور وارد کرده، مستقیماً به میادین بار می‌رسانند. در واقع، فرض بر این است که واردات در هر دوره زمانی امکان‌پذیر بوده، به نگهداری محصولات وارداتی در سردخانه‌ها نیازی نیست.

انواع جریان محصولات در شبکه زنجیره تأمین عبارتند از (شکل ۱):

- جریان انتقال مستقیم محصولات از مزارع به میادین بار بدون انبارش (مسیر C)؛

در قالب خرید تضمینی در هنگام برداشت محصول به کشاورز می‌پردازد و این به عنوان هزینه تولید محصول برای دولت در نظر گرفته می‌شود.

مدل ارائه شده به منظور کم کردن هزینه‌ها تعیین می‌کند که چه محصولی 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 و به چه مقدار واردات انجام شود. از آنجا که هزینه واردات محصولات به طور معمول بالاتر از تولید محصول است؛ مدل سعی دارد واردات محصولات را کاهش دهد.

مدل ارائه شده در این مقاله درحالی که به برنامه‌ریزی کشت و حمل و نقل محصولات می‌پردازد، سایر الزامات فنی زراعی را نیز در نظر می‌گیرد؛ که در این قسمت به آنها اشاره می‌کنیم:

- اصل فسادپذیری: بر اساس این اصل مدت ماندگاری محصول از زمان برداشت تا زمان رسیدن به نقاط تقاضا باید کمتر از حد فساد محصول باشد.

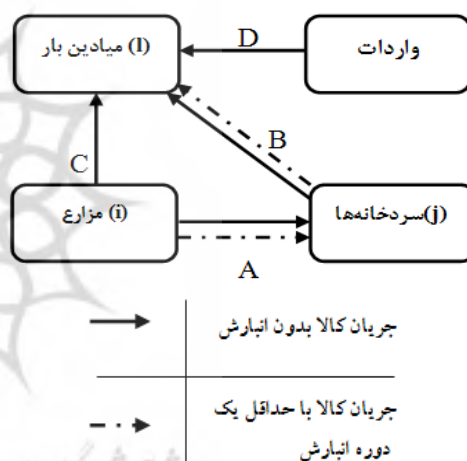
- مدت فرآوری: مدت زمان از کاشت تا برداشت محصول، مدت فرآوری محصول نامیده می‌شود؛ لذا محصولات پس از کاشت باید مدت فرآوری لازم را تا برداشت سپری کنند.

- امکان استفاده مجدد از زمین: از ویژگی‌های کشت محصولات زراعی امکان استفاده مجدد از زمین است که بر اساس آن می‌توان پس از برداشت محصول از زمین، مجدداً به کشت بر روی آن اقدام کرد. تمام مقالاتی که در رابطه با

- جریان انتقال محصولات از مزارع به سردخانه‌ها (مسیر A)؛

- 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 به واسطه هزینه کمتر حمل و نقل از طریق سردخانه‌ها به میادین بار منتقل می‌شوند (مسیر B)؛

- جریان واردات محصولات به میادین بار (مسیر D).



شکل (۱): جریان محصولات در شبکه زنجیره تأمین

در این مدل قصد داریم ضمن دستیابی به یک برنامه ایده‌آل تولید، هزینه‌های کل زنجیره را کاهش دهیم، لذا تابع هدف را با توجه به کمینه کردن هزینه‌های تولید، حمل و نقل، اجاره سردخانه‌ها، نگهداری و واردات محصولات در نظر می‌گیریم. دولت به عنوان متصدی کلیه مراحل زنجیره در نظر گرفته می‌شود. البته تولید محصول به عهده کشاورزان است، اما فرض بر این است که دولت هزینه تولید و سود کشاورزان را

۲-۳- مفروضات

مدل ارائه شده مبتنی بر مفروضات زیر است:

۱- محصولات زراعی و کاشت آنها به صورت آبی است.

۲- از هر محصول، هر مقدار که کاشت می‌شود پس از دوره فرآوری به همان مقدار نیز برداشت می‌شود.

۳- پس از برداشت محصول و قبل از ارسال به میادین بار یا سردخانه، ضایعات از محصول برداشت شده کم می‌شود.

۴- افق برنامه‌ریزی شامل تعدادی دوره زمانی مشخص است.

۵- محصولات پس از اتمام مدت ماندگاری کاملاً فاسد و غیر قابل استفاده می‌شوند.

۶- در صورتی که در یک دوره عملیات کاشت یا برداشت وجود داشته باشد، این عملیات در ابتدای دوره انجام می‌گیرد؛ برای مثال، اگر مدت فرآوری محصولی چهار دوره است و این محصول در ابتدای دوره اول کاشته شود، در ابتدای دوره پنجم برداشت شده و در همان ابتدای دوره پنجم زمین زراعی قابل کشت مجدد خواهد بود.

۷- زمان لازم برای حمل و نقل محصولات ناچیز فرض می‌شود.

۸- هزینه‌های حمل و نقل محصولات وابسته به وزن آن است.

۹- هزینه نگهداری محصولات وابسته به وزن و مدت زمان انبارش آن است.

زنجیره تأمین محصولات زراعی فسادپذیر تا کنون ارائه شده‌اند، به خاطر برنامه‌ریزی برای یک دوره کاشت، این ویژگی را نادیده گرفته‌اند.

- قابلیت کشت: کشت محصولات در هر ناحیه در دوره‌های خاصی مجاز است؛ برای مثال، برای محصول پیاز در استان کرمان در طول فصل پاییز قابلیت کشت وجود دارد و در سایر فصول قابلیت کشت وجود ندارد.

- زمین زراعی: زمین زراعی که برای کشت محصولات در دسترس است، محدود است.

- منابع آب: در این مقاله برنامه‌ریزی برای محصولات زراعی با کشت آبی انجام می‌شود؛ با توجه به منابع محدود آب در برخی از نواحی، محدودیت منابع آب در مدل در نظر گرفته می‌شود.

- سردخانه: در این مدل تعداد مشخصی سردخانه وجود دارد که قرار است از بین آنها تعدادی انتخاب شوند. ظرفیت هر سردخانه محدود است. هر سردخانه دارای یک هزینه ثابت با عنوان اجاره سردخانه در طول افق برنامه‌ریزی است.

- بودجه در دسترس: بودجه در دسترس برای اجاره سردخانه‌ها محدود است.

- حداقل درآمد کشاورزان: به منظور ایجاد انگیزه در کشاورزان برای تبعیت از برنامه ارائه شده از طریق این مدل، کسب حداقل درآمد برای کشاورزان در نظر گرفته می‌شود.

- حداقل مقدار قابل قبول کاشت: بر اساس این محدودیت کاشت محصول در هر دوره کمتر از یک حدّ پایین غیرمجاز خواهد بود.

F_j : هزینه اجاره سردخانه j (هزینه ثابت در افق زمانی T) (۱۰ ریال)؛	۳-۳- اندیس‌ها و پارامترهای مدل اندیس‌ها:
W_{mit} : هزینه واردات هر واحد محصول m به میدان بار l در زمان t (۱۰ ریال بر تن)؛	اندیس میادین بار (نقاط تقاضا) $l: 1, \dots, L$
K_{i0} : حداکثر زمین در دسترس در مزرعه i در ابتدای افق برنامه‌ریزی (هکتار)؛	اندیس مزارع کشاورزی $i: 1, \dots, I$
α_{mit} : درصد ضایعات محصول برداشت شده از مزرعه i در دوره t از محصول m	اندیس نقاط کاندید سردخانه $j: 1, \dots, J$
D_{mit} : تقاضای میدان بار l از محصول m در دوره t (تن)؛	اندیس دوره‌های زمانی (افق زمان T) $t: 1, \dots, T$
S_j : ظرفیت سردخانه j (تن)؛	اندیس محصول $m: 1, \dots, M$
B : حداکثر بودجه در دسترس برای اجاره سردخانه‌ها (۱۰ ریال)؛	اندیس تعداد دوره‌های ماندن کالا در سردخانه $n: 1, \dots, n_m$
L_{mit} : حداقل مقدار قابل قبول کشت محصول m در مزرعه i در دوره t (تن)؛	پارامترها: CP_{mit} : هزینه تولید (قیمت خرید تضمینی) به ازای هر واحد محصول m در مزرعه i در دوره t (۱۰ ریال بر تن)؛
λ_{mit} : اگر قابلیت کاشت محصول m در مزرعه i در دوره t وجود داشته باشد، مقدار این پارامتر ۱ است؛ در غیر این صورت صفر است؛	CV_{mit} : هزینه ثابت اقدام برای کاشت (راه‌اندازی کاشت) محصول m در مزرعه i در دوره t (۱۰ ریال)؛
g_{mi} : ضریب تبدیل مقدار محصول m (تن) به سطح اشغالی در مزرعه i بر حسب هکتار (هکتار بر تن) (این پارامتر عکس ضریب عملکرد است)؛	CH_{mit} : هزینه نگهداری هر واحد محصول m در سردخانه j در دوره t (۱۰ ریال بر تن)؛
n_m : حداکثر مدت مجاز ماندگاری محصول m در سردخانه‌ها (ماه)؛	CA_{mit} : هزینه انتقال هر واحد محصول m از مزرعه i به سردخانه j به ازای هر واحد مسافت (۱۰ ریال بر تن بر کیلومتر)؛
q_m : مدت زمان لازم برای به عمل آمدن (از کاشت تا برداشت) محصول m (ماه)؛	CB_{mit} : هزینه انتقال هر واحد محصول m از سردخانه j به میدان بار l به ازای هر واحد مسافت (۱۰ ریال بر تن بر کیلومتر)؛
w_m : مقدار آب لازم برای به عمل آمدن محصول m (مقدار نیاز آبی محصول m) در هکتار (متر مکعب بر هکتار)؛	CC_{mit} : هزینه انتقال هر واحد محصول m از مزرعه i به میدان بار l به ازای هر واحد مسافت (۱۰ ریال بر تن بر کیلومتر)؛
TW_i : مقدار کل منابع آب در دسترس برای کاشت محصولات مورد نظر در مزرعه i در کل افق برنامه-	dA_{ij} : فاصله مزرعه i تا سردخانه j (کیلومتر)؛
	dB_{jl} : فاصله سردخانه j تا میدان بار l (کیلومتر)؛
	dC_{il} : فاصله مزرعه i تا میدان بار l (کیلومتر)؛

ریزی (متر مکعب)؛

انتهای دوره t (تن)؛

$MinP_i$: حداقل درآمد قابل قبول برای کشاورزان مزرعه

K_{it} : میزان زمین در دسترس از مزرعه i ام در ابتدای

i (۱۰ ریال)؛

دوره t (هکتار).

M : یک عدد مثبت بسیار بزرگ.

۳-۴- متغیرهای تصمیم

۳-۵- مدل سازی

متغیرهای تصمیم به صورت زیر در نظر گرفته

۳-۵-۱- تابع هدف

می شود:

$$Min Z: (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7)$$

X_{mit} : میزان کل تولید (برداشت) محصول m در مزرعه i

$$Z_1 = \sum_i \sum_t \sum_m (CP_{mit} X_{mit} + CV_{mit} V_{mit}) \quad (1)$$

در زمان t (تن)؛

$$Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_m CA_{mij} dA_{ij} \left(\sum_t xa_{mijt} \right) \quad (2)$$

X'_{mit} : میزان کل کاشت محصول m در مزرعه i در

زمان t (تن)؛

$$Z_3 = \sum_j \sum_l \sum_m CB_{mjl} dB_{jl} \quad (3)$$

xa_{mijt} مقداری از محصول m که از مزرعه i به سردخانه

j در دوره t منتقل می شود (تن)؛

$$\left(\sum_t \left(xb_{mijt} + \sum_n xbd_{mjl(t-n)} \right) \right)$$

xc_{milt} مقداری از محصول m که از مزرعه i به میدان

بار l در دوره t منتقل می شود (تن)؛

$$Z_4 = \sum_i \sum_l \sum_m CC_{mit} dC_{il} \left(\sum_t xc_{milt} \right) \quad (4)$$

xbd_{mjltn} مقداری از محصول m که در دوره t وارد

سردخانه j شده و پس از n دوره ماندن در سردخانه،

$$Z_5 = \sum_j F_j R_j \quad (5)$$

در دوره $t+n$ از سردخانه به میدان بار l منتقل

می شود (تن)؛

$$Z_6 = \sum_j \sum_t \sum_m I_{mjt} CH_{mjt} \quad (6)$$

xbd_{mijt} مقداری از محصول m که بدون تأخیر از

سردخانه j به میدان بار l در دوره t منتقل می شود (تن)؛

$$Z_7 = \sum_l \sum_t \sum_m y_{mlt} W_{mlt} \quad (7)$$

y_{mlt} : میزان واردات محصول m به میدان بار l در دوره

t (تن)؛

رابطه (۱) شامل هزینه های متغیر و ثابت تولید

محصول، رابطه (۲) مربوط به هزینه انتقال از مزرعه

ها به سردخانه ها، رابطه (۳) مربوط به هزینه انتقال از

سردخانه ها به میادین بار، رابطه (۴) مربوط به هزینه

انتقال از مزرعه ها به میادین بار، رابطه (۵) مربوط به

هزینه اجاره سردخانه ها، رابطه (۶) مربوط به هزینه

نگهداری محصولات در سردخانه ها و رابطه (۷)

مربوط به هزینه واردات محصولات است. از آنجا که

R_j : اگر سردخانه j برای کل افق زمانی T اجاره شود

برابر ۱ در غیر این صورت صفر؛

V_{mit} : اگر برای کشت محصول m در مزرعه i در دوره t

اقدام شود برابر ۱ در غیر این صورت صفر؛

I_{mjt} : مقدار موجودی محصول m در سردخانه j در

$$L_{mit} V_{mit} \lambda_{mit} \leq X'_{mit} \leq V_{mit} \lambda_{mit} M \quad \forall i, t, m \quad (20)$$

$$R_j : 0,1 \quad \forall j \quad (21)$$

$$V_{mit} : 0,1 \quad \forall i, t, m \quad (22)$$

$$xa_{mijt} \geq 0 \quad \forall i, j, t, m \quad (23)$$

$$xb_{mjlt} \geq 0 \quad \forall j, l, t, m \quad (24)$$

$$xbd_{mjltm} \geq 0 \quad \forall j, l, t, n, m \quad (25)$$

$$xc_{milt} \geq 0 \quad \forall i, l, t, m \quad (26)$$

$$y_{mlt} \geq 0 \quad \forall l, t, m \quad (27)$$

$$X_{mit} \geq 0 \quad \forall i, t, m \quad (28)$$

$$X'_{mit} \geq 0 \quad \forall i, t, m \quad (29)$$

رابطه (۸) محدودیت مربوط به تعیین سطح قابل کشت در مزرعه i در دوره t است؛ که این مقدار برابر سطح قابل کشت در دوره قبل منهای سطح اشغال شده به واسطه کشت در دوره قبل، بعلاوه سطح آزاد شده از محصولات برداشت شده در ابتدای همان دوره است. رابطه (۹) بیان می‌کند که مقدار محصول به‌دست آمده در دوره t برابر مقدار محصول کاشته شده در دوره $t-q_m$ است. رابطه (۱۰) محدودیت ظرفیت کاشت بوده و نشان می‌دهد میزان کاشت از محصولات مختلف در هر مزرعه در هر دوره باید کمتر از ظرفیت سطح قابل کشت باشد. رابطه (۱۱) محدودیت مربوط به مقدار آب در دسترس در هر مزرعه است. رابطه (۱۲) محدودیتی است که نشان می‌دهد محصول تولید شده پس از کسر درصد ضایعات به سردخانه‌ها یا میادین بار تخصیص می‌یابد؛ در واقع تعادل محصول را در مزارع برقرار می‌کند. رابطه (۱۳) مقدار موجودی هر سردخانه، در

در بخش‌های بعدی هزینه‌های مختلف مدل با هم مقایسه می‌شوند؛ مقدار رابطه (۱) را هزینه‌های تولید، مجموع مقادیر رابطه‌های (۲) تا (۶) را هزینه‌های لجستیک و مقدار رابطه (۷) را هزینه واردات می‌نامیم.

۳-۵-۲- محدودیت‌ها

$$K_{it} = K_{i(t-1)} - \sum_m X'_{mi(t-1)} g_{mi} \quad (8)$$

$$+ \sum_m X_{mit} g_{mi} \quad \forall i, t$$

$$X_{mit} = X'_{mi(t-q_m)} \quad \forall i, m, t \quad (9)$$

$$\sum_m X'_{mit} g_{mi} \leq K_{it} \quad \forall i, t \quad (10)$$

$$\sum_t \sum_m X'_{mit} w_m g_{mi} \leq TW_i \quad \forall i \quad (11)$$

$$X_{mit} (1 - \alpha_{mit}) = \sum_l xc_{milt} + \sum_j xa_{mijt} \quad \forall i, t, m \quad (12)$$

$$I_{mit} = I_{mi(t-1)} \sum_i xa_{mijt} - \left(\sum_l \left(xb_{mjlt} + \sum_n xbd_{mjlt(n)} \right) \right) \quad \forall j, t, m \quad (13)$$

$$\sum_i xa_{mijt} = \sum_l \left(xb_{mjlt} + \sum_n xbd_{mjlt(n)} \right) \quad \forall j, t, m \quad (14)$$

$$\sum_j \left(xb_{mjlt} + \sum_n xbd_{mjlt(n)} \right) + \sum_i xc_{milt} + y_{mlt} \geq D_{mlt} \quad \forall j, t, m \quad (15)$$

$$\sum_t \sum_m (CP_{mit} X_{mit} + CV_{mit} V_{mit}) \geq \text{Min}P_i \quad \forall i \quad (16)$$

$$\sum_m I_{mjt} \leq S_j R_j \quad \forall j, t \quad (17)$$

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

$$xa_{mijt} \leq R_j M \quad \forall i, j, t, m \quad (19)$$

هر دوره و از هر محصول را تعیین می‌کند. این مقدار برابر با موجودی دوره قبل بعلاوه کل ورودی محصول در آن دوره منهای کل خروجی محصول در آن دوره است. رابطه (۱۴) محدودیت مربوط به تعادل در سردخانه‌هاست. این رابطه بیان‌کننده آن است که در هر دوره کل محصول وارد شده از تمامی مزارع به یک سردخانه برابر با مقداری است که بدون انبار شدن به میادین بار منتقل می‌گردند؛ به علاوه مقداری که برای نگهداری وارد سردخانه می‌شوند.

یکی از ویژگی‌های متمایز این مقاله با تحقیقات مشابه که در مرور ادبیات به آنها اشاره شد، تعریف متغیر xbd_{miltm} است. برخلاف مدل‌های قبلی که برای مدت ماندن در سردخانه و اعمال محدودیت فسادپذیری، متغیر و محدودیت‌های جداگانه‌ای تعریف می‌شود؛ این متغیر میزان ارسال به سردخانه و مدت ماندن در سردخانه را توأمان در نظر می‌گیرد. وجود این متغیر به کاهش تعداد متغیرها و محدودیت‌ها منجر شده و در نتیجه زمان حل مسأله کاهش می‌یابد.

محدودیت (۱۵) نیز نشان می‌دهد که تقاضای هر میدان بار از هر محصول در هر دوره باید از طریق واردات یا مستقیماً از مزارع یا از طریق سردخانه‌ها چه پس از انبارش یا بدون انبارش تأمین شود. رابطه (۱۶) بیان‌کننده حداقل درآمد کشاورزان است. محدودیت (۱۷) نیز بیان می‌کند میزان ذخیره کلیه محصولات در سردخانه زرد هر دوره باید کمتر از مقدار ظرفیت آن سردخانه باشد؛ البته، در صورتی که متغیر R_j مقدار یک گرفته و آن سردخانه برای کل افق زمانی اجاره شده باشد. محدودیت (۱۸) بیان

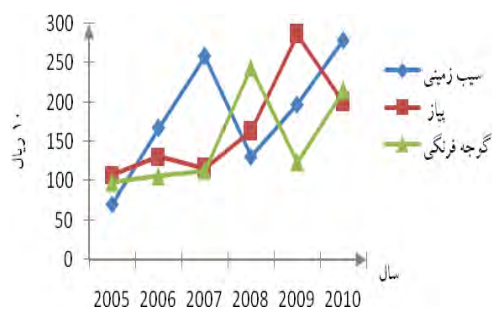
می‌کند که هزینه اجاره سردخانه‌های انتخابی نباید از حداکثر بودجه در دسترس بیشتر شود. محدودیت (۱۹) بیان می‌کند که تنها در صورت انتخاب سردخانه z می‌توان به آن محصول ارسال نمود. محدودیت (۲۰) نیز بیان می‌کند کاشت محصول در هر مزرعه و در هر دوره وقتی صورت می‌گیرد که راه اندازی کاشت انجام شده و قابلیت کاشت محصول در آن دوره و مزرعه وجود داشته باشد و در صورتی که کاشت محصول انجام شود، مقدار آن باید از حداقل مقدار تعیین شده بیشتر باشد.

رابطه‌های (۲۱) و (۲۲) باینری بودن دو متغیر تصمیم اجاره سردخانه و اقدام به کشت را نشان می‌دهند و نهایتاً رابطه‌های (۲۳) تا (۲۹) محدودیت‌های مربوط به نامنفی بودن سایر متغیرهای تصمیم مسأله هستند.

۴- مطالعه موردی

مدل ارائه شده در این مقاله را به صورت موردی بر روی سه محصول سیب زمینی، پیاز و گوجه فرنگی با هدف تأمین تقاضای کشور پیاده می‌کنیم. دلایل انتخاب این سه محصول به شرح زیر است:

- قابلیت تولید در کشور: با توجه به داده‌های آماری سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO^۱) در سال ۲۰۱۰ ایران رتبه پنجم تولید پیاز، رتبه هفتم تولید گوجه‌فرنگی و رتبه دوازدهم تولید سیب‌زمینی را در جهان دارد. با وجود این، به علت عدم برنامه‌ریزی مناسب عرضه و تقاضای این سه محصول راهبردی و مورد توجه مردم، در کشور



شکل (۲): قیمت فروش کشاورزان برای سه محصول سیب زمینی، پیاز و گوجه فرنگی در ایران

• **کشت سه محصول به صورت آبی:** یکی دیگر از مسائل قابل توجه این است که مدل برای محصولات زراعی آبی ارائه شده است. بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی ۹۹/۷۳٪ محصولات سیب زمینی، پیاز و گوجه فرنگی به صورت آبی کاشت شده‌اند و سهم مقدار کاشت دیم این سه محصول کمتر از ۱ است. با توجه به این موضوع به کارگیری این مدل برای برنامه‌ریزی این سه محصول کاملاً مناسب است.

در حل مسأله مطالعه موردی، هدف ارائه برنامه‌ای اجرایی برای استان‌های کشور در سال ۲۰۱۲ (۱۳۹۱) است. لذا افق برنامه‌ریزی ۱۲ ماه است. داده‌های ورودی مسأله براساس اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی^{۱۰} و سازمان حمل و نقل^{۱۱} تهیه شده است. تعداد مزارع برای کشت محصولات به تعداد استان‌های کشور؛ یعنی ۳۰ استان در نظر گرفته شده است (استان البرز و تهران با هم در نظر گرفته شده‌اند). در واقع، کلیه مزارع واقع در یک استان به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده‌اند. فرض می‌کنیم تمام محصولات برداشت شده از هر استان از مرکز آن استان توزیع می‌شوند. شش محل کاندید در شهرهای مشهد، کرمان، تهران، اصفهان، شیراز و همدان برای اجاره سردخانه‌ها در نظر گرفته شده‌اند.

همواره نامتعادل بوده و باعث ایجاد مشکلات فراوانی برای کشاورزان و مصرف کنندگان شده است.

• **نوسان تولید و قیمت:** هم‌اکنون غالب کشاورزانی که به کاشت سه محصول فوق می‌پردازند، بدون هیچ برنامه‌ای اقدام به انتخاب و تعیین مقدار کشت سه محصول می‌کنند، که همین امر را می‌توان به عنوان علت اصلی نوسان قیمت این محصولات در سال‌های اخیر در کشورمان بر شمرد. در واقع، کشاورزان یک ناحیه با توجه به قیمت یک محصول اقدام به کشت آن می‌کنند؛ غافل از این که تعداد زیادی از کشاورزان دیگر هم اقدام به کشت همان محصول کرده‌اند و مشکل وقتی ایجاد می‌شود که موقع برداشت قیمت فروش آن محصول به علت وفور آن مقداری نیست که کشاورز انتظار آن را داشته باشد و از طرف دیگر، با توجه به کاهش مقدار محصولات دیگر باید انتظار داشت که قیمت آنها افزایش یابد. شکل ۲ قیمت هر کیلوگرم محصول برای خرید در مزرعه را در بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودارهای قیمت شاهد نوسان‌های زیادی بوده‌اند؛ برای مثال، در سال ۲۰۰۷ قیمت سیب زمینی نسبت به پیاز و گوجه فرنگی بالاتر است و در سال ۲۰۰۸ عکس آن اتفاق افتاده است. باید توجه شود که قیمت‌های ارائه شده در شکل ۲ بیش از اینکه نشأت گرفته از هزینه‌های نهاده‌های زراعی باشد به شرایط کمبود یا وفور محصول در بازار وابسته بوده است؛ که این شرایط نیز ناشی از عدم وجود برنامه مناسب برای ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضاست.

رایانه‌ای با پردازنده Intel Core i7 2.93GHz و با حافظه داخلی 3.49GB اجرا شد که زمان حل آن برابر ۳۷/۴۱ ثانیه بوده است.

یکی از نتایج بااهمیت مدل، زمان حل آن است. در مقاله‌ای که آهوما و ویلاباس (۲۰۱۱b) برای طراحی زنجیره تأمین محصولات زراعی فسادپذیر ارائه کردند، زمان حل مطالعه موردی حل شده در آن مقاله که دارای ابعاد تقریباً مشابه با مطالعه موردی حل شده در این مقاله دارد، با استفاده از نرم افزارهای مشابه، ۳۶۰۰ ثانیه است. علت عمده کاهش زمان حل از ۳۶۰۰ ثانیه به ۳۷/۴۱ ثانیه نحوه مدل سازی فسادپذیری در این مقاله است که توضیحات آن در شرح محدودیت (۱۴) آمده است.

۱-۱-۵- سهم هزینه‌ها

مقدار تابع هدف برابر ۶۴،۱۳۸،۲۸۴،۲۹۷،۳۳۰ ریال است که به تفکیک میزان هزینه هر بخش در جدول ۱ آورده شده است. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که میزان واردات صفر است؛ به عبارت دیگر، از طریق تولید داخلی تقاضای هر سه محصول برآورده می‌شود.

جدول (۱): تفکیک هزینه هر یک از بخش‌ها

هزینه	مقدار هزینه (ریال)	درصد از کل (%)
هزینه اجاره سردخانه	۷۶۲،۵۴۵،۴۱۸	۰/۰۰۱
هزینه حمل و نقل مسیر A	۱،۴۷۶،۵۱۲،۳۴۲،۰۸۷	۲/۳۰۲
هزینه حمل و نقل مسیر B	۱،۱۶۴،۳۹۳،۶۶۵،۶۷۵	۱/۸۱۵
هزینه حمل و نقل مسیر C	۷۱۷،۴۴۳،۹۹۲،۱۷۶	۱/۱۱۹
هزینه نگهداری	۶۵۲،۷۰۶،۱۶۰،۰۰۹	۱/۰۱۸
هزینه واردات	-	۰
هزینه تولید محصول	۶۰،۱۲۶،۴۶۵،۵۹۱،۹۶۵	۹۳/۷۴۵
جمع کل	۶۴،۱۳۸،۲۸۴،۲۹۷،۳۳۰	۱۰۰

در میان شهرهای مختلف کشور هر یک از شش شهر بالا به علت خاصی انتخاب شده‌اند. شهر مشهد به علت جمعیت زیاد و برای پوشش تقاضای منطقه شمال شرق کشور، شهر کرمان به عنوان تولید کننده مهم سه محصول و به واسطه نزدیکی به جنوب و جنوب شرقی کشور برای پوشش تقاضای آن منطقه انتخاب شده است. شهر تهران نیز به عنوان مهم‌ترین نقطه تقاضای کشور و به دلیل اهمیت امنیت غذایی آن انتخاب شده است. شهرهای اصفهان و شیراز به عنوان تولیدکنندگان مهم سه محصول و موقعیت راهبرد آنها در مرکزی بودن انتخاب شده‌اند. شهر همدان نیز برای پوشش منطقه غرب و شمال غرب کشور انتخاب شده است. میادین بار به عنوان نقاط تقاضا در این مدل همان مراکز استان‌های سی‌گانه تعریف شده‌اند. این به این معناست که تقاضای تمام شهرهای یک استان در مرکز آن استان در نظر گرفته می‌شود.

۵- تحلیل نتایج

تعداد متغیرهای مطالعه موردی برابر ۱۱۷۰۸۵ عدد است که از این تعداد ۱۵۳۶ مورد از آنها باینری است؛ تعداد محدودیت‌ها ۲۰۵۵۹ عدد است. مدل ارائه شده با استفاده از نرم افزار CPLEX 12.3

منطقی است که میزان تولید هر محصول نزدیک به تقاضای آن باشد. جدول ۲ میزان تقاضای هر محصول و میزان تولید از طریق مدل را دربردارد. نزدیکی این دو عدد نشان دهنده وجود تعادل بین عرضه و تقاضا برای هر محصول است. میزان تقاضای هر محصول که یکی از داده‌های ورودی مطالعه موردی است، از طریق سرانه مصرف و پیش‌بینی میزان صادرات برآورد شده است. جزئیات محاسبه برآورد تقاضا در جدول ۲ آمده است.

با توجه به جدول ۱ می‌توان ملاحظه نمود که ۹۳/۷۴٪ هزینه کل مربوط به هزینه تولید محصولات می‌شود، حدود ۱/۰۲٪ برای هزینه‌های نگهداری و کرایه سردخانه و ۵/۲۳٪ باقیمانده به هزینه‌های حمل‌ونقل مربوط هستند.

۵-۱-۲- تعادل بین عرضه و تقاضا

همان‌طور که در مقدمه مقاله اشاره شد، هدف از ارائه این مدل تعادل بین عرضه و تقاضاست. از آنجا که تابع هدف مدل به صورت کمینه کردن هزینه‌ها است و برآوردن تقاضا در محدودیت‌ها قرار گرفته است؛

جدول (۲): مقایسه مقدار تقاضا با میزان تولید

محصول	سیب‌زمینی	پیاز	گوجه‌فرنگی
سرانه مصرف سالانه (کیلوگرم)	۵۱/۰۰	۲۲/۳۰	۶۳/۶۹
جمعیت کشور (نفر)		۷۵,۱۴۹,۶۶۹	
تقاضای سالانه کشور (تن)	۳,۸۳۲,۶۳۳	۱,۶۷۵,۸۳۷	۴,۷۸۶,۲۸۳
پیش‌بینی صادرات (تن)	۲۹۴,۹۱۳	۱۳۳,۶۸۵	۲۸۷,۶۸۷
کل تقاضای سالانه (تن)	۴,۱۲۷,۵۴۶	۱,۸۰۹,۵۲۲	۵,۰۷۳,۹۷۰
کل تولید با برنامه‌ریزی مدل (تن)	۵,۲۹۱,۷۲۳	۲,۳۱۹,۹۰۸	۶,۵۰۵,۱۰۸
خالص تولید پس از کسر ضایعات* (تن)	۴,۱۲۷,۵۴۶	۱,۸۰۹,۵۲۸	۵,۰۷۳,۹۸۴

* میزان ضایعات یکی از داده‌های ورودی مسأله است که برای مطالعه موردی ۲۲٪ در نظر گرفته شده است.

می‌شود. مقایسه قیمت نهایی با میانگین قیمت واقعی در بازار (ردیف ۳) نشان می‌دهد که با بهره‌گیری از برنامه ارائه شده در این مقاله می‌توان قیمت محصولات سیب‌زمینی، پیاز و گوجه‌فرنگی را به یک سوم قیمت واقعی رساند.

۵-۱-۳- قیمت محصول

با توجه به هزینه کل زنجیره و میزان تولید هر محصول، قیمت تمام شده هر کیلوگرم محصول مطابق ردیف ۱ از جدول ۳ خواهد بود. اگر فرض کنیم دولت به عنوان متصدی این زنجیره محصولات حاصل از برنامه‌ریزی این مدل را با ۲۰٪ سود به فروش برساند، قیمت نهایی مطابق ردیف ۲ محاسبه

جدول (۳): مقایسه قیمت هر کیلوگرم محصول بر اساس نتایج مدل و بازار

محصول	سیب زمینی	پیاز	گوجه فرنگی
قیمت مدل (کیلوگرم/ریال)	۴,۷۹۴	۴,۸۰۴	۴,۲۴۵
قیمت نهایی مدل با احتساب ۲۰٪ سود (کیلوگرم/ریال)	۵,۷۵۳	۵,۷۶۵	۵,۰۹۴
میانگین قیمت واقعی (کیلوگرم/ریال)	۱۵,۲۰۰	۱۲,۰۰۰	۱۷,۰۰۰

تولید سیب زمینی در کشور هستند. برای پیاز نیز استان‌های کرمان و بوشهر به قطب‌های عمده تولید این محصول در کشور تبدیل می‌شوند؛ و در مورد گوجه‌فرنگی هم استان‌های فارس و آذربایجان شرقی باید به کشت عمده آن پردازند. در واقع، مدل ارائه شده در این مقاله ما را به کاشت تخصصی محصولات هر استان در ابعاد وسیع تشویق می‌کند؛ به طوری که هم هزینه‌های تولید آن محصول کمتر است و هم ضریب عملکرد محصول بالاتر و در نتیجه، هزینه‌های کل زنجیره کاهش می‌یابد.

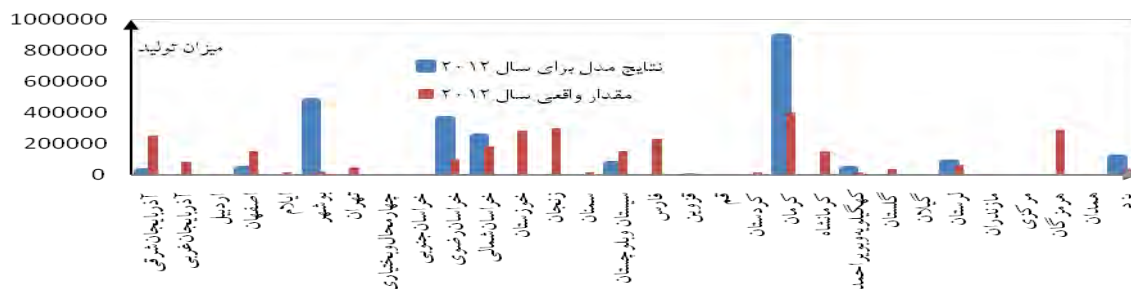
۵-۱-۴- کشت محصول

در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ میزان تولید سالانه هر محصول در استان‌های مختلف کشور که از طریق حل مدل به دست آمده، با میزان واقعی تولید مقایسه شده‌اند. این نمودارها نشان می‌دهند که الگوی کشت در بعضی استان‌ها باید تغییر کند؛ برای مثال، استان فارس که قبلاً مقادیری کشت سیب‌زمینی و پیاز داشت؛ بر اساس الگوی جدید باید مزارع خود را به طور عمده به زیر کشت گوجه‌فرنگی ببرد. با دقت در این نمودارها و بر اساس نتایج مدل می‌توان نتیجه گرفت که استان‌های همدان و اصفهان قطب‌های عمده

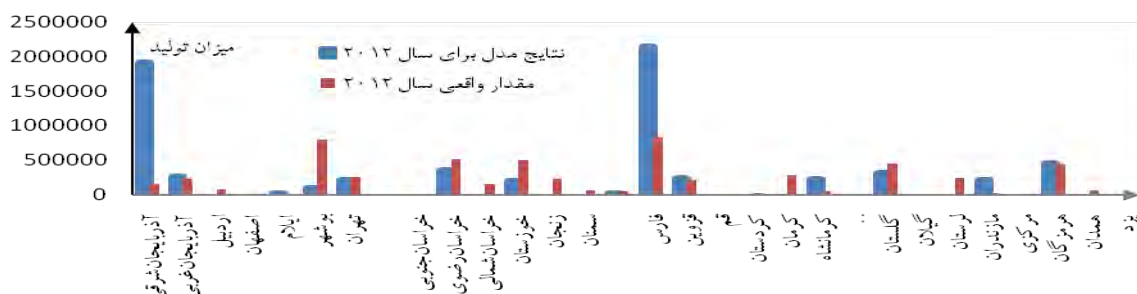


شکل (۳): مقایسه نتایج مدل با میزان واقعی تولید

سیب زمینی



شکل (۴): مقایسه نتایج مدل با میزان واقعی تولید پیاز



شکل (۵): مقایسه نتایج مدل با میزان واقعی تولید گوجه فرنگی

حساسیت بر روی منابع شامل بودجه کرایه سردخانه، منابع آب، و زمین زراعی انجام می‌شود.

۲-۵- تحلیل حساسیت

در این بخش تحلیل حساسیت بر روی پارامترهایی انجام می‌شود که نتایج آن رهنمودهایی برای مدیریت تولید و توزیع این محصولات داشته باشد. به‌طور کلی، هدف از تحلیل حساسیت بررسی اثرهای تغییر هر یک از پارامترها بر مقدار تابع هدف، قیمت تمام شده محصول و واردات است. در بخش ۲-۵-۱ نتایج تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای هزینه‌ای، شامل هزینه تولید هر واحد محصول و هزینه حمل و نقل ارائه می‌شود و در بخش ۲-۵-۲ تحلیل

۲-۵-۱- تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای هزینه‌ای

۲-۵-۱-۱- هزینه تولید هر واحد محصول

در جدول ۴ نتیجه تغییر هزینه تولید هر واحد محصول بر روی هزینه‌های مختلف زنجیره آورده شده است. برای تهیه این جدول با ثابت ماندن سایر پارامترهای ورودی هزینه تولید هر واحد محصول در هر استان و در هر دوره از ۲۰ تا ۱۲۰۰ درصد افزایش یافته است.

جدول (۴): تحلیل حساسیت هزینه‌های زنجیره تأمین نسبت به تغییرات هزینه تولید هر واحد محصول

نسبت افزایش	مقدار تولید سه محصول (تن)	تابع هدف (ریال)	هزینه تولید (ریال)	هزینه واردات (ریال)	هزینه‌های لجستیکی و نگهداری (ریال)	میانگین قیمت تمام شده هر کیلوگرم محصول (ریال)
۱	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۶/۴۱۳۸×۱۰ ^{۱۳}	۶/۰۱۲۶×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۴/۰۱۱۸×۱۰ ^{۱۲}	۴,۵۴۳
۱/۲	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۷/۶۱۱۶×۱۰ ^{۱۳}	۷/۱۹۹۱×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۴/۱۲۴۹×۱۰ ^{۱۲}	۵,۳۹۱
۱/۴	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۸/۸۰۹۳×۱۰ ^{۱۳}	۸/۳۹۲۹×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۴/۱۶۴۴×۱۰ ^{۱۲}	۶,۲۴۰
۱/۶	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱/۰۰۰۸×۱۰ ^{۱۴}	۹/۵۸۸۷×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۴/۱۹۳۸×۱۰ ^{۱۲}	۷,۰۸۹
۱/۸	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱/۱۲۰۷×۱۰ ^{۱۴}	۱/۰۷۸۶×۱۰ ^{۱۴}	۰/۰۰۰۰	۴/۲۰۶۸×۱۰ ^{۱۲}	۷,۹۳۸
۲	۱۴,۰۰۵,۵۹۳	۱/۲۴۰۱×۱۰ ^{۱۴}	۱/۱۷۸۳×۱۰ ^{۱۴}	۱/۹۹۴۰×۱۰ ^{۱۲}	۴/۱۹۳۱×۱۰ ^{۱۲}	۸,۷۸۴
۳	۱۳,۸۳۶,۱۶۶	۱/۸۲۲۲×۱۰ ^{۱۴}	۱/۷۲۹۰×۱۰ ^{۱۴}	۵/۰۳۳۷×۱۰ ^{۱۲}	۴/۲۸۳۵×۱۰ ^{۱۲}	۱۲,۹۰۷
۴	۱۰,۹۹۶,۹۹۳	۲/۳۷۲۰×۱۰ ^{۱۴}	۱/۷۷۹۵×۱۰ ^{۱۴}	۵/۵۹۷۱×۱۰ ^{۱۳}	۳/۲۷۲۲×۱۰ ^{۱۲}	۱۶,۸۰۲
۶	۵۱۶,۱۴۳	۲/۵۷۵۹×۱۰ ^{۱۴}	۱/۲۷۴۲×۱۰ ^{۱۳}	۲/۴۴۸۳×۱۰ ^{۱۴}	۱/۸۶۲۱×۱۰ ^{۱۰}	۱۸,۲۴۷
۸	۳۸۶,۲۵۵	۲/۵۹۹۳×۱۰ ^{۱۴}	۱/۲۷۴۲×۱۰ ^{۱۳}	۲/۴۷۱۷×۱۰ ^{۱۴}	۱/۰۱۳۴×۱۰ ^{۱۰}	۱۸,۴۱۲
۱۰	۳۰۹,۶۹۸	۲/۶۱۳۱×۱۰ ^{۱۴}	۱/۲۷۴۲×۱۰ ^{۱۳}	۲/۴۸۵۶×۱۰ ^{۱۴}	۵/۹۶۴۹×۱۰ ^۹	۱۸,۵۱۰
۱۲	۲۵۸,۰۸۵	۲/۶۲۲۵×۱۰ ^{۱۴}	۱/۲۷۴۲×۱۰ ^{۱۳}	۲/۴۹۵۰×۱۰ ^{۱۴}	۷/۳۲۴۹×۱۰ ^۹	۱۸,۵۷۶

۵-۲-۱-۲-هزینه حمل و نقل

در این بخش هزینه کرایه حمل و نقل بر مقدار تابع هدف و قیمت تمام شده محصول بررسی می‌شود. در جدول ۵ نتایج تحلیل حساسیت آورده شده است. برای تهیه این جدول با ثابت ماندن سایر پارامترهای ورودی هزینه انتقال هر واحد محصول در کلیه مسیرها از ۱۰ تا ۱۰۰۰ افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که مدل نسبت به تغییرات هزینه حمل و نقل حساس نیست؛ به طوری که با ۱۰ برابر شدن هزینه انتقال هر واحد محصول مقدار تولید تغییر نمی‌کند و میزان واردات در سطح صفر باقی می‌ماند. قاعدتا با افزایش هزینه حمل و نقل مقدار تابع هدف و هزینه‌های لجستیک افزایش می‌یابد، اما نکته قابل توجه این است که با ۱۰ برابر شدن هزینه حمل و نقل متوسط قیمت تمام شده محصول از ۴۵۴۳ ریال به ۶۳۶۹ ریال افزایش می‌یابد؛ یعنی تنها ۴۰٪ افزایش می‌یابد.

تولید تنها به مقداری انجام پذیرد که محدودیت حداقل درآمد کل کشاورزان هر استان (محدودیت ۱۶) را برآورده سازد و باقیمانده تقاضا با واردات پاسخ داده می‌شود.

از آنجا که واردات هر محصول در فصل مصرف آن انجام می‌شود، نیاز به سردخانه‌ها و حمل و نقل -های مربوط به آن نیست و هزینه‌های این بخش به -طور درخور توجهی کاهش می‌یابد. بیان دیگر این موضوع این است که آن هزینه‌ای که قرار است به کشاورزان و عوامل درگیر در حوزه لجستیک و نگهداری محصولات کشاورزی پرداخت شود، صرف واردات می‌گردد.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد از ۲۰ تا ۸۰ افزایش نتیجه‌ای جز تغییرات جزئی هزینه‌های لجستیک و افزایش خطی هزینه‌های تولید ندارد، اما با دو برابر شدن آن برای اولین بار واردات اقتصادی شده و مقدار تولید سه محصول ۱۱۰ هزار تن کاهش می‌یابد و این مقدار به صورت واردات تأمین می‌شود. واضح است که با ادامه این روند از مقدار تولید کاسته شده و واردات افزایش می‌یابد تا در نهایت تولید تنها به مقداری انجام پذیرد که محدودیت حداقل درآمد کل کشاورزان هر استان (محدودیت ۱۶) را برآورده و باقیمانده تقاضا با واردات پاسخ داده می‌شود. از آنجا که واردات هر محصول در فصل مصرف آن انجام می‌شود لذا نیاز به سردخانه‌ها و حمل و نقل‌های مربوط به آن نیست و هزینه‌های این بخش به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، هزینه‌ای که قرار است به کشاورزان و عوامل درگیر در حوزه لجستیک و نگهداری محصولات کشاورزی پرداخت شود صرف واردات می‌گردد. نکته پر اهمیتی که از این بخش می‌توان نتیجه گرفت این است که افزایش هزینه تولید هر واحد محصول تا ۳ برابر مقدار فعلی به واردات انبوه منجر نخواهد؛ در حالی که اگر این پارامتر با ثابت ماندن سایر شرایط ۴ برابر یا بیشتر شود میزان واردات به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. با انجام واردات اولاً قیمت تمام شده هر واحد محصول به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد ثانیاً ضمن بیکاری کشاورزان، اشتغال‌های موجود در حوزه لجستیک و نگهداری نیز از بین می‌رود. لذا ضروریست مدیران و تصمیم‌گیران حوزه کشاورزی با کنترل هزینه‌ها و قیمت نهاده‌های فعالیت‌های زراعی زمینه را برای تولید محصول در داخل کشور افزایش دهند.

جدول (۵): تحلیل حساسیت هزینه‌های زنجیره تأمین نسبت به تغییرات هزینه حمل و نقل

میانگین قیمت تمام شده هر کیلوگرم محصول (ریال)	هزینه لجستیک و نگهداری (ریال)	هزینه واردات (ریال)	هزینه تولید (ریال)	تابع هدف (ریال)	مقدار تولید سه محصول (تن)	نسبت افزایش هزینه‌های حمل و نقل
۴,۵۴۳	۴/۰۱۱۸×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱۲۶×۱۰ ^{۱۳}	۶/۴۱۳۸×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱
۴,۵۶۷	۴/۲۶۲۳×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۲۰۸×۱۰ ^{۱۳}	۶/۴۴۷۱×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱/۱
۴,۵۹۰	۴/۵۹۱۳×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۲۱۰×۱۰ ^{۱۳}	۶/۴۸۰۲×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱/۲
۴,۶۱۴	۴/۹۰۳۳×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۲۲۵×۱۰ ^{۱۳}	۶/۵۱۲۹×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱/۳
۴,۶۳۷	۵/۲۱۱۰×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۲۴۵×۱۰ ^{۱۳}	۶/۵۴۵۶×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱/۴
۴,۶۸۳	۵/۷۷۷۸×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۳۲۵×۱۰ ^{۱۳}	۶/۶۱۰۳×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱/۶
۴,۷۲۸	۶/۳۶۸۰×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۳۷۳×۱۰ ^{۱۳}	۶/۶۷۴۱×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱/۸
۴,۷۷۲	۶/۹۳۵۴×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۴۳۶×۱۰ ^{۱۳}	۶/۷۳۷۱×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۲
۴,۹۸۹	۹/۵۲۴۱×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۹۰۵×۱۰ ^{۱۳}	۷/۰۴۲۹×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۳
۵,۳۹۷	۱/۴۶۵۸×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۶/۱۵۳۳×۱۰ ^{۱۳}	۷/۶۱۹۱×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۵
۶,۳۶۹	۲/۷۷۶۶×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۶/۲۱۴۹×۱۰ ^{۱۳}	۸/۹۹۱۶×۱۰ ^{۱۳}	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	۱۰

زمینه را برای تولید محصول در داخل کشور افزایش دهند.

۵-۲-۲- تحلیل حساسیت بر روی منابع

۵-۲-۲-۱- بودجه اجاره سردخانه

یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار و مهم در این مدل، بودجه در دسترس برای اجاره سردخانه است که به نوعی تعداد سردخانه‌های قابل اجاره را کنترل می‌کند. مقدار اولیه این پارامتر ۱۰۰۰ میلیون ریال در نظر گرفته شده است. جدول ۶ نتایج تحلیل حساسیت بر روی این پارامتر را دربردارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کاهش مقدار بودجه تا ۸۰٪ مقدار اولیه هیچ تغییری در میزان تولید،

نکته پر اهمیتی که از این بخش می‌توان نتیجه گرفت، این است که افزایش هزینه تولید هر واحد محصول تا سه برابر مقدار فعلی به واردات انبوه منجر نخواهد شد، در حالی که اگر این پارامتر با ثابت ماندن سایر شرایط چهار برابر یا بیشتر شود میزان واردات به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. با انجام واردات اولاً قیمت تمام شده هر واحد محصول به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد؛ ثانیاً ضمن بیکاری کشاوران، اشتغال‌های موجود در حوزه لجستیک و نگهداری نیز از بین می‌رود. لذا ضروری است مدیران و تصمیم‌گیران حوزه کشاورزی با کنترل هزینه‌ها و قیمت نهاده‌های فعالیت‌های زراعی

بسیار بالاست و این امر ضرورت برنامه‌ریزی در خصوص افزایش بودجه برای اجاره و حتی احداث سردخانه را ایجاب می‌نماید.

۵-۲-۲- منابع آب

با توجه به این که آب از ضروری‌ترین الزامات کشاورزی محسوب می‌شود، توجه به اهمیت آن در برنامه‌ریزی کاشت محصولات زراعی بسیار کلیدی است. جدول ۷ نتایج تحلیل حساسیت روی منابع آب در دسترس را شامل می‌شود. ستون اول این جدول، کاهش نسبت منابع آب از شرایط اولیه را در بردارد. اگر مقدار منابع آب به کمتر از ۳۰٪ مقدار اولیه برسد، در این شرایط مسأله نشدنی خواهد بود، چرا که کمبود منابع آب به حدی است که حتی نمی‌توان تولید را به حداقل مقدار کسب کمینه درآمد

قیمت تمام شده محصول و تعداد سردخانه‌های انتخابی نمی‌دهد. با کاهش بودجه در دسترس به کمتر از ۸۰٪ تعداد سردخانه‌های انتخابی کاهش یافته و قیمت تمام شده هر واحد محصول اندکی افزایش می‌یابد؛ به طوری که وقتی این بودجه به ۰/۲۶ مقدار اولیه خود می‌رسد، تنها می‌توان یک سردخانه اجاره کرد و به علت محدودیت ظرفیت سردخانه نمی‌توان تمام کالای مورد نیاز برای تأمین تقاضا، در فصول کمبود محصول را، از طریق تولید جبران نمود و واردات صورت می‌گیرد.

به عبارت دیگر، برای تأمین تقاضای کشور از طریق تولید داخل، حداقل به دو سردخانه نیاز است. در شرایطی که ۵ ؛ یعنی به اندازه ۵۰ میلیون ریال، به مقدار بودجه اضافه شود، امکان انتخاب ۴ سردخانه و کاهش معادل ۱۶۴ میلیارد ریال را در مقدار تابع هدف شاهد خواهیم بود. لذا ارزش سایه این منبع

جدول (۶): تحلیل حساسیت هزینه‌های زنجیره تأمین نسبت به بودجه در دسترس اجاره سردخانه

تعداد سردخانه‌های انتخابی	میانگین قیمت تمام شده هر کیلوگرم محصول (ریال)	هزینه لجستیک و نگهداری (ریال)	هزینه واردات (ریال)	هزینه تولید (ریال)	تابع هدف (ریال)	تغییر بودجه در دسترس	نسبت
۱	۵,۳۶۰	۴/۰۶۱۶×۱۰ ^{۱۲}	۱/۴۵۷۵×۱۰ ^{۱۳}	۵/۷۰۲۷×۱۰ ^{۱۳}	۷/۵۶۶۴×۱۰ ^{۱۳}	۰/۲۶	
۲	۴,۵۸۲	۴/۵۲۳۴×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱۶۱×۱۰ ^{۱۳}	۶/۴۶۸۵×۱۰ ^{۱۳}	۰/۵	
۳	۴,۵۵۶	۴/۱۷۸۶×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱۳۵×۱۰ ^{۱۳}	۶/۴۳۱۳×۱۰ ^{۱۳}	۰/۷۵	
۳	۴,۵۴۳	۴/۰۱۱۴×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱۲۷×۱۰ ^{۱۳}	۶/۴۱۳۸×۱۰ ^{۱۳}	۰/۸	
۳	۴,۵۴۳	۴/۰۱۱۸×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱۲۶×۱۰ ^{۱۳}	۶/۴۱۳۸×۱۰ ^{۱۳}	۰/۹	
۳	۴,۵۴۳	۴/۰۱۱۸×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱۲۶×۱۰ ^{۱۳}	۶/۴۱۳۸×۱۰ ^{۱۳}	۱	
۴	۴,۵۳۲	۳/۸۲۹۶×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱۴۴×۱۰ ^{۱۳}	۶/۳۹۷۴×۱۰ ^{۱۳}	۱/۰۵	
۵	۴,۵۳۰	۳/۷۸۱۰×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱۶۵×۱۰ ^{۱۳}	۶/۳۹۴۶×۱۰ ^{۱۳}	۱/۲۶	
۶	۴,۵۱۸	۳/۶۱۴۲×۱۰ ^{۱۲}	۰/۰۰۰۰	۶/۰۱۶۱×۱۰ ^{۱۳}	۶/۳۷۷۵×۱۰ ^{۱۳}	۱/۵۵	

جدول (۷): تحلیل حساسیت هزینه‌های زنجیره تأمین نسبت به کاهش منابع آب

نسبت آب در دسترس	تابع هدف (ریال)	هزینه تولید (ریال)	هزینه واردات (ریال)	هزینه لجستیک و نگهداری (ریال)	میانگین قیمت تمام شده هر کیلوگرم محصول (ریال)
۰	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی
۰/۱	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی
۰/۲	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی
۰/۳	۹/۴۱۷۳×۱۰ ^{۱۳}	۵/۰۵۷۹×۱۰ ^{۱۳}	۴/۰۹۰۲×۱۰ ^{۱۳}	۲/۶۹۱۳×۱۰ ^{۱۲}	۶,۶۷۱
۰/۴	۷/۰۵۵۳×۱۰ ^{۱۳}	۵/۹۳۸۴×۱۰ ^{۱۳}	۷/۲۳۷۶×۱۰ ^{۱۲}	۳/۹۳۱۵×۱۰ ^{۱۲}	۴,۹۹۷
۰/۵	۶/۵۱۰۱×۱۰ ^{۱۳}	۶/۰۹۷۴×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۴/۱۲۶۸×۱۰ ^{۱۲}	۴,۶۱۱
۰/۶	۶/۴۳۰۵×۱۰ ^{۱۳}	۶/۰۳۰۶×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۳/۹۹۹۶×۱۰ ^{۱۲}	۴,۵۵۵
۰/۷	۶/۴۱۹۰×۱۰ ^{۱۳}	۶/۰۱۷۲×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۴/۰۱۷۹×۱۰ ^{۱۲}	۴,۵۴۷
۰/۸	۶/۴۱۳۸×۱۰ ^{۱۳}	۶/۰۱۲۷×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۴/۰۱۰۵×۱۰ ^{۱۲}	۴,۵۴۳
۰/۹	۶/۴۱۳۸×۱۰ ^{۱۳}	۶/۰۱۲۷×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۴/۰۱۱۳×۱۰ ^{۱۲}	۴,۵۴۳
۱	۶/۴۱۳۸×۱۰ ^{۱۳}	۶/۰۱۲۶×۱۰ ^{۱۳}	۰/۰۰۰۰	۴/۰۱۱۸×۱۰ ^{۱۲}	۴,۵۴۳

و مصرف آب هر تن محصول با توجه به نتایج مدل از رابطه (۳۱) پرداخته‌ایم در واقع، این دو مقدار برابر میزان آبی است که برای تولید یک تن محصول در دو حالت واقعی و مدل مصرف می‌شود. نتایج به‌دست آمده حاکی از کاهش مصرف آب به میزان ۱/۶٪ در سیب زمینی، ۱۴٪ در پیاز و ۱۴/۹٪ در گوجه فرنگی است؛ یعنی به طور متوسط ۱۰/۲٪. این مقدار صرفه‌جویی معادل ۱/۵۲ میلیارد متر مکعب آب است.

کشاورزان رساند و عملاً در این شرایط نمی‌توان محدودیت شماره ۱۶ مدل را برآورده کرد. همچنین، با استفاده از مدل ارائه شده در این مقاله، با کاهش منابع آب تا ۵۰٪ مقدار اولیه، می‌توان تمام تقاضا را از طریق تولید داخل تأمین کرد و به واردات نیازی نیست. قیمت تمام شده هر کیلوگرم محصول نیز تنها ۶۸ ریال افزایش می‌یابد.

برای درک بهتر نقش مؤثر مدل این مقاله در جهت کاهش مصرف آب، در جدول ۸ به محاسبه میزان واقعی مصرف آب هر تن محصول با استفاده از اطلاعات تولید سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ از رابطه (۳۰)

$$\left(\frac{m^3}{\text{ton}}\right) \text{ مصرف آب واقعی یک تن محصول} = \frac{\text{مقدار تولید هر محصول در استان} \times g_{mi} \times w_m}{\text{جمع تولید آن محصول}} \quad (30)$$

$$\left(\frac{m^3}{\text{ton}}\right) \text{ مصرف آب یک تن محصول از مدل} = \frac{\sum_t x'_{mit} \times g_{mi} \times w_m}{\sum_t \sum_i x'_{mit}} \quad (31)$$

جدول (۸): محاسبه میزان کاهش مصرف آب

محصول	سیب زمینی	پیاز	گوجه فرنگی	میانگین
مصرف آب واقعی سال ۲۰۱۰ (متر مکعب بر تن)	۳۵۷/۲۲۷	۲۸۶/۲۷۵	۲۶۳/۶۸۳	۳۰۲/۳۹۵
مصرف آب مدل (متر مکعب بر تن)	۳۵۱/۴۹۷	۲۴۶/۱۷۸	۲۲۴/۲۹۴	۲۷۳/۹۸۹
درصد کاهش مصرف آب	%۱/۶	%۱۴/۰	%۱۴/۹	%۱۰/۲

۵-۲-۳- زمین زراعی

محدودیت زمین زراعی نیز یکی از حساس ترین و تأثیرگذارترین ورودی های مدل ارائه شده در این مقاله است. جدول ۹ به بررسی تأثیر تغییرات زمین زراعی در دسترس بر هزینه های زنجیره تأمین می پردازد. برای این تحلیل فرض می شود که سطح زمین زراعی در هر استان با درصدی از تغییرات کاهش می یابد. داده های جدول ۹ نشان می دهد، با کاهش بیش از ۵٪ در سطح زمین زراعی، مدل دیگر قادر به تولید کل محصول مورد نیاز نبوده، برای تأمین تقاضا واردات صورت می گیرد. در این شرایط مقدار تابع هدف به مقدار قابل توجه ۲۲۲۳۰ میلیارد ریال افزایش می یابد. این افزایش مقدار تابع هدف عمدتاً مربوط به افزایش هزینه های تولید و هزینه های حمل و نقل است؛ چرا که با کمبود زمین در استان هایی که هزینه تولید کمتری برای هر تن محصول دارند، مدل مجبور به تولید محصول در استان هایی با هزینه تولید و هزینه های حمل و نقل بیشتر خواهد شد. در نهایت، اگر سطح زمین زراعی بیشتر از ۸ کاهش پیدا کند؛ مسأله بدون جواب و

نشدنی خواهد بود. لذا ضروری است حفظ زمین های کشاورزی و عدم تغییر کاربری آنها نیز یکی از اولویت های مدیران حوزه کشاورزی قرار گیرد. یکی از ویژگی های با اهمیت این مدل صرفه جویی در سطح زمین زراعی است. مقدار سطح زمین زراعی استفاده شده به عنوان ورودی مدل برابر میانگین سطح زیر کشت رفته سه محصول سیب زمینی، پیاز و گوجه فرنگی در طول پنج سال اخیر (سال های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰) در کشور بوده است. نتایج جدول ۹ نشان می دهد نه تنها افزایش تولید محصول در سال ۲۰۱۲ که مدل برای آن برنامه ریزی می کند، به مقدار ۸۰۶ هزار تن نسبت به میزان تولید در سال ۲۰۱۰، باعث کمبود زمین نشده است؛ بلکه اگر سطح زمین زراعی ۴ دیگر کاهش یابد، باز هم مشکلی در تأمین محصولات مورد نیاز کشور رخ نخواهد داد به عبارت دیگر، مدل ارائه شده در این مقاله به خاطر بهره بردن از ضریب عملکرد زراعی محصول ($1/g_{mi}$) باعث افزایش بهره وری استفاده از زمین زراعی می شود.

جدول (۹): تحلیل حساسیت هزینه‌های زنجیره تأمین نسبت به کاهش زمین زراعی

نسبت تغییر در زمین زراعی	مقدار تولید سه محصول (تن)	تابع هدف (ریال)	هزینه تولید (ریال)	هزینه واردات (ریال)	هزینه لجستیک ونگهداری (ریال)	میانگین قیمت تمام شده هر کیلوگرم محصول (ریال)
۰/۹	-	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی
۰/۹۱	-	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی
۰/۹۲	۱۳,۷۸۰,۹۷۴	$۷/۰۱۱۲ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۰۱۱۰ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۰۲۳۹ \times ۱۰^{۱۲}$	$۳/۹۷۸۳ \times ۱۰^{۱۲}$	۴,۹۶۷
۰/۹۳	۱۳,۸۸۵,۴۳۱	$۶/۸۷۲۹ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۰۴۷۸ \times ۱۰^{۱۳}$	$۴/۱۴۹۹ \times ۱۰^{۱۲}$	$۴/۱۰۰۷ \times ۱۰^{۱۲}$	۴,۸۶۹
۰/۹۴	۱۴,۰۰۲,۶۶۹	$۶/۷۴۲۵ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۱۲۶۴ \times ۱۰^{۱۳}$	$۲/۰۴۶۵ \times ۱۰^{۱۲}$	$۴/۱۱۴۹ \times ۱۰^{۱۲}$	۴,۷۷۶
۰/۹۵	۱۴,۰۸۸,۱۸۲	$۶/۶۳۶۱ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۱۷۲۸ \times ۱۰^{۱۳}$	$۵/۱۲۳۲ \times ۱۰^{۱۱}$	$۴/۱۲۰۲ \times ۱۰^{۱۲}$	۴,۷۰۱
۰/۹۶	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	$۶/۵۵۵۶ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۱۴۳۹ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۰۰۰	$۴/۱۱۶۸ \times ۱۰^{۱۲}$	۴,۶۴۴
۰/۹۷	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	$۶/۵۰۸۵ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۰۹۳۲ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۰۰۰	$۴/۱۵۳۱ \times ۱۰^{۱۲}$	۴,۶۱۰
۰/۹۸	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	$۶/۴۷۲۵ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۰۶۲۱ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۰۰۰	$۴/۱۰۴۵ \times ۱۰^{۱۲}$	۴,۵۸۵
۰/۹۹	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	$۶/۴۴۱۳ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۰۳۶۵ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۰۰۰	$۴/۰۴۷۹ \times ۱۰^{۱۲}$	۴,۵۶۳
۱	۱۴,۱۱۶,۷۳۸	$۶/۴۱۳۸ \times ۱۰^{۱۳}$	$۶/۰۱۲۶ \times ۱۰^{۱۳}$	۰/۰۰۰۰	$۴/۰۱۱۸ \times ۱۰^{۱۲}$	۴,۵۴۳

۶- نتایج و پیشنهادها

مطالعه موردی که در این مقاله بررسی شد، به ارائه یک برنامه کشت، برداشت، حمل و نقل و نگهداری سه محصول سیب‌زمینی، پیاز و گوجه‌فرنگی می‌پردازد. نتایج عددی نشان می‌دهد که با بهره‌گیری از این مدل قیمت تمام شده هر واحد محصول تا یک سوم مقدار واقعی کاهش می‌یابد. علت عمده کاهش قیمت این است که مدل در ارائه برنامه کاشت محصول در هر استان علاوه بر عوامل هزینه‌ای ضریب عملکرد محصول در آن استان را نیز در نظر می‌گیرد؛ از این رو، کل هزینه تولید کاهش می‌یابد و همان طور که نتایج نشان داد، سهم هزینه تولید حدود ۹۴٪ کل هزینه‌های زنجیره تأمین است. هزینه‌های حمل و نقل حدود ۵٪ از هزینه‌های کل را شامل می‌شود و نتایج عددی نشان داد که جواب بهینه نسبت به هزینه حمل و نقل حساس نیست؛ اما

مدل ارائه شده تلفیقی از مدل‌های مکانیابی و برنامه‌ریزی تولید است که میزان و زمان کاشت محصولات در مزارع و محل اجاره سردخانه را با توجه به قابلیت‌های کاشت، محدودیت‌های زمین زراعی و منابع آب تعیین می‌کند. همچنین، میزان انتقال محصولات به میادین و سردخانه‌ها را در دوره‌های زمانی مختلف تعیین می‌کند. یکی از وجه تمایزات این مدل نسبت به مدل‌های مشابه شیوه اعمال محدودیت فسادپذیری محصول به جهت تعداد دوره‌های ماندگاری آن در سردخانه‌هاست که بدون استفاده از متغیرهای گسسته انجام شده است. همین امر به کاهش زمان حل مسأله در مقایسه با مدل‌های مشابه منجر می‌شود.

روی سطح زمین زراعی نشان می‌دهد با کاهش این پارامتر قیمت تمام شده محصولات افزایش یافته و کاهش بیش از ۸ درصدی آن، تأمین این سه محصول نیازمند واردات می‌شود. در این خصوص به مدیران و تصمیم‌گیران حوزه کشاورزی می‌توان پیشنهاد داد که با افزایش سطح زمین زراعی در استان‌هایی که هزینه تولید کمتری دارند، می‌توان ضمن جلوگیری از واردات، هزینه کل زنجیره تأمین را کاهش داد و در نتیجه قیمت تمام شده محصولات کاهش می‌یابد.

اگرچه استفاده از این مدل برای کل کشور نیازمند فرضیات و اطلاعات زیادی است، اما به دلیل تنوع آب و هوایی و قابلیت کشت متنوع در کل کشور با استفاده از نتایج این مدل استان‌ها می‌توانند نیاز یکدیگر را در فصول مختلف پاسخ دهند و از واردات محصول تا حد ممکن جلوگیری کنند. همچنین، تعادل بین عرضه و تقاضا که نتیجه آن ثبات قیمت‌هاست، ایجاد می‌شود. اگر از این مدل به صورت منطقه‌ای استفاده می‌شود، پیشنهاد می‌گردد منطقه مورد مطالعه طوری انتخاب شود که در آن امکان کشت محصولات در دوره‌های زمانی مختلف وجود داشته باشد.

به عنوان تحقیقات آتی می‌توان با در نظر گرفتن افت تدریجی کیفیت محصولات بر اثر نگهداری و قیمت‌گذاری آن مدل را توسعه داد. همچنین، توسعه این مدل به صورت یک مسأله تصمیم‌گیری چند هدفه به طوری که علاوه بر کاهش هزینه‌ها، کاهش میزان آب مصرفی و کاهش میزان واردات نیز به عنوان توابع هدف قرار گیرند، پیشنهاد می‌شود.

توجه به این نکته ضروری است که حمل و نقل جزئی از عوامل زنجیره تأمین است و بدون آن این نتایج حاصل نمی‌شود. لذا علی‌رغم سهم اندک حمل و نقل در هزینه‌ها و قیمت تمام شده محصول، توجه به برنامه‌ریزی و تدارک تسهیلات حمل و نقل در حوزه کشاورزی ضروری است. تحلیل‌های انجام شده در این مقاله حاکی از نیاز کشور به حداقل دو سردخانه است؛ به نحوی که در صورت نبود این تعداد، تأمین تقاضای کل کشور عملی نیست. این در حالی است که با افزایش تعداد سردخانه‌ها هزینه‌های زنجیره به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد، لذا افزایش تعداد سردخانه‌های اختصاصی نگهداری این سه محصول به مدیران حوزه کشاورزی توصیه می‌شود. نتایج تحلیل حساسیت بر روی منابع آب اهمیت صرفه‌جویی در مصرف و استفاده بهینه آن را روشن می‌سازد، به طوری که اگر منابع آب به کمتر از ۳۰٪ مقدار فعلی برسد، پاسخ به تقاضای محصولات از طریق تولید داخل نشدنی است. نتایج عددی نشان می‌دهند علی‌رغم این که کاهش مصرف آب به عنوان هدف مدل نبوده اما برنامه ارائه شده به صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی منجر می‌شود. اهمیت صرفه‌جویی در مصرف آب کشاورزی بر اساس مدل ارائه شده در این مقاله به دو جهت قابل ملاحظه است: اول اهمیت حفظ منابع آبی که به عنوان با ارزش‌ترین سرمایه ملی کشورمان مطرح‌اند؛ و دوم اینکه با توجه به کاهش مقدار مصرف آب برای تولید هر تن محصول، قیمت تمام شده محصولات کاهش می‌یابد. نتایج تحلیل حساسیت بر

- for Brussels sprouts", *Computers and Electronics in Agriculture*, 11, 97° 115.
- Jolayemi J.K. (1996). "An integrated model for planning and managing multi-regional mixed-crop farming schemes", *Ecological Modelling*, 84, 63° 74.
- Lowe, T.J., and Preckel, P.V. (2004). "Decision technologies for agribusiness problems: a brief review of selected literature and a call for research", *Manufacturing & Service Operations Management*, 6(3), 201° 208.
- Manzini, R., and Gebennini, E. (2008). "Optimization models for the dynamic facility location and allocation problem", *International Journal of Production Research*, 46(8), 2061° 2086.
- Rantala, J. (2004). "Optimizing the supply chain strategy of a multi-unit finish nursery company", *Silva Fennica*, 38 (2), 203° 215.
- Rong, A., Akkerman, R., and Grunow, M. (2011). "An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain", *International Journal of Production Economics*, 131 (1), 421° 429.
- Teimoury, E., Nedaei, H., Ansari, S., and Sabbaghi, M. (2013). "A multi-objective analysis for import quota policy making in a perishable fruit and vegetable supply chain: a system dynamics approach", *Computers and Electronics in Agriculture*, 93, 37-45.
- Van Berlo, J.M. (1993). "A decision support tool for the vegetable processing industry; an integrative approach of market, industry and agriculture", *Agricultural Systems*, 43 (1), 91° 109.
- اسدی، هرمز و سلطانی، غلامرضا. (۱۳۷۹). بررسی حاشیه ایمنی و تعیین الگوی بهینه کشت فعالیت‌های زراعی با بهره‌گیری از مدل‌سازی برنامه‌ریزی خطی، *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۸ (۳۱)، ۷۱-۸۶.
- Ahumada, O., and Villalobos, J.R. (2009). "Application of planning models in the agri-food supply chain: a review", *European Journal of Operational Research*, 195(1), 1° 20.
- Ahumada, O., and Villalobos, J.R. (2011a). "A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce", *Annals of Operations Research*, 190, 339° 358.
- Ahumada, O., and Villalobos, J.R. (2011b). "Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products", *International Journal of Production Economics*, 133(2), 677° 687.
- Ahumada, O., and Villalobos, J.R., and Mason, A.N. (2012). "Tactical planning of the production and distribution of fresh agricultural products under uncertainty", *Agricultural Systems*, 112, 17° 26.
- Allen, S.J., and Schuster, E.W. (2004). "Controlling the risk for an agricultural harvest", *Manufacturing & Service Operations Management*, 6 (3), 225° 236.
- Apaiiah, R.K., and Hendrix, E.M.T. (2005). "Design of supply chain network for a pea-based novel protein food", *Journal of Food Engineering*, 70, 383° 391.
- Ferrer, J.C., Cawley, A.M., Maturana, S., Toloza, S., and Jorge, V. (2008). "An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations", *International Journal of Production Economics*, 112 (2), 985° 999.
- Glen, J.J. (1987). "Mathematical models in farm planning: a survey", *Operations Research*, 35 (5), 641° 666.
- Hamer, P.J.C. (1994). "A decision support system for the provision of planting plans

پی‌نوشت

- 1 -Crops
- 2 -Irrigated farming
- 3- Dry farming
- 4- Yield Factor
- 5- Effect of mixed-cropping
- 6- Mixed Integer Programming
- 7- Sinalova State

8- Food and Agriculture Organization of The United Nation, available at www.fao.org.

۹- معاونت امور برنامه‌ریزی، اقتصادی و بین‌المللی دفتر آمار و فناوری اطلاعات، آمارنامه کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی

۱۰- معاونت امور برنامه‌ریزی، اقتصادی و بین‌المللی دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، هزینه محصولات کشاورزی، جلد اول: محصولات زراعی

۱۱- دفتر آمار و برنامه‌ریزی سازمان حمل و نقل، آمارنامه سالانه حمل و نقل.

