نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

ISSN: 2345-2269

سال نهم، شماره هجدهم، بهار و تابستان ۱۴۰۰، صفحه ۱۵۳-۱۷۷

www.ier.basu.ac.ir

مقاله منتخب هفدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع

DOI: 10.22084/IER.2021.24422.2033

مدل‌سازی عامل بنیان پایداری اقتصادی زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی با درنظر گرفتن کشاورزی قراردادی، تنوع اقلیمی و مکانیزم پیشنهاد قیمت

امیر حاجی‌میرزاجان[۱]، محمدعلی وحدت[۲*]، احمد صادقیه[۳]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع ، داتشکدهٔ فنی مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع ، داتشکدهٔ فنی مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۳. استاد گروه مهندسی صنایع ، داتشکدهٔ فنی مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۰/۴/۱۹

پذیرش ۱۴۰۰/۶/۱۷

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی

کشاورزی قراردادی

هماهنگی کشاورزان

شبیه‌سازی

مدل‌سازی عامل بنیان

خلاصه

امروزه مدل‌سازی عامل بنیان باتوجه به ماهیت هوشمندی و استقلال عوامل تشکیل‌دهنده به یک ابزار مؤثر برای مدل‌سازی و ارزیابی سیستم‌های پیچیده تبدیل شده است. این سیستم‌های پیچیده رفتارهایی از خود بروز می‌دهد که از رفتار اجزاء به‌تنهایی قابل استنتاج نیست و هربار تجربه سیستم ممکن است به نتایج متفاوتی منجر شود. در این مطالعه زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی (ASC)، به‌عنوان نمونه‌ای از یک سیستم پیچیده متأثر از الگوهای رفتاری غیرقابل پیش‌بینی فردی عامل‌ها در زنجیره بررسی می‌شود. هدف ما مدل‌سازی این سیستم پیچیده و ارزیابی نقش سیاست‌های هماهنگی کشاورزان (حق بیمه و قیمت کشاورزان قراردادی)، نقش اثرپذیری تصمیمات عامل‌ها از یکدیگر و عدم قطعیت اقلیمی و بر پایداری اقتصادی زنجیره است. عوامل این مطالعه شامل کشاورزان، عمده‌فروشان و فروشندگان هستند که این عوامل به‌طور مستقل به‌دنبال دستیابی به اهداف فردی خود در ارتباط با سایر عوامل هستند و برای تولید، توزیع و تجارت محصولات زراعی بایکدیگر ارتباط و رقابت دارند. قیمت محصولات در یک مکانیزم رقابتی تعیین می‌شود. کشاورزان برای کسب منافع خود می‌توانند برای انتخاب محصول و عمده‌فروشان و کشاورزان برای بهره‌گیری از هماهنگی با سایر کشاورزان تصمیم‌گیری می‌کنند. درنهایت فروشندگان به‌دنبال تأمین تقاضای خود با کمترین هزینه‌اند. نتایج تحلیل آماری نشان داد که با کاهش جذابیت سیاست‌های هماهنگی در زنجیره، کشاورزان به‌تدریج در نوسانات قیمتی ناشی از تأثیر عدم‌قطعیت‌های وجود در بازار، منابع مالی خود را از دست می‌دهند. همچنین این نتایج نشان داد که ایجاد قیمت‌های حمایتی و اثرات الگوهای رفتاری بر پایداری قیمت در ASC مؤثر است.

۱. مقدمه

زنجیره‌های تأمین مواد غذایی کشاورزی (ASC)[۲] باتوجه به تعدد بازیگران، وسعت زمانی و مکانی عملیات زنجیره و عدم‌قطعیت‌های فراوان در دو بخش تولید (از کاشت تا برداشت) و عرضه (قیمت و مؤلفه‌های بازار) در دنیای واقعی نمونه‌ای از سیستم‌های پیچیده[۳] در تعارض منافع، تعاملات و تصمیم‌گیری‌های ذی‌نفعان مختلف هستند. سیستم‌های پیچیده یا غامض در برابر سیستم‌های ساده[۴] و سیستم‌های دشوار[۵] بسیار

* نویسنده مسئول: محمدعلی وحدت

تلفن: ۰۳۵-۳۱۲۳۴۰۶؛ پست الکترونیکی: mvahdat@yazd.ac.ir

2. Agri-food supply chains(ASC)
3. Comlex systems
4. Simple systems
5. Complicated systems

متفاوت‌اند و نتایج آن‌ها از رفتار اجزاء به‌تنهایی قابل استنتاج و قابل برنامه‌ریزی نیست و فهم رفتار سیستم از نگاه کل‌نگرانه در تعاملات اجزاء حاصل می‌شود [۱]. رفتار یک سیستم ساده می‌تواند مشابه حرکت یک پاندول با عناصر محدود و بدون تعامل غیرقابل پیش‌بینی و عدم قطعیت ارزیابی شود. سیستم‌های دشوار مانند یک موتور اتومبیل با افزایش عناصر و تعاملات و تغییرپذیری ویژگی‌های متفاوت عناصر سیستم دارای عدم قطعیت و سطحی از پیچیدگی هستند، اما رفتار آن‌ها قابل پیش‌بینی و برنامه‌ریزی است و می‌توان روند تکرارپذیر از خروجی چنین سیستم‌هایی مشاهده نمود. اما در سیستم‌های پیچیده باتوجه به تعامل‌های تصادفی و درنظر گرفتن تفاوت‌های فردی اجزا و برهمکنش سیستم با محیط اطراف، مدل کردن رفتار این سامانه‌ها مانند مدل‌سازی محیط یک کسب‌وکار تاحد بسیار بالایی پیچیده است و نتایج این سیستم‌ها در شرایط یکسان می‌تواند متفاوت باشد [۱]. منشأ پیچیده بسیار زیاد این سیستم‌ها از حوزه‌های مختلفی مانند غیرخطی بودن، ظهور یافتگی[1] و حلقه‌های بسته تأثیر اجزا برهم در سیستم است؛ که درنظر گرفتن آن‌ها برای مدل‌سازی پیچیدگی این سیستم‌ها بسیار بااهمیت است. با این توضیحات می‌توان مسأله زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی را باتوجه به استقلال، هوشمندی، الگو های رفتاری و تفاوت‌های محیطی و منحصربه‌فرد بازیگران ناهمگن مانند کشاورزان، عمده‌فروشان و مشتریان به‌عنوان یک سیستم پیچیده تحلیل نمود. چنین سیستمی شامل شبکه‌ای از این بازیگران می‌شود که در فرایندها و فعالیت‌های مختلف از مرحله برنامه‌ریزی برای کشت محصول تا ارائه محصولات و خدمات به بازار و تأمین تقاضای مشتریان با هم در تعامل هستند. نقش بازیگران در این زنجیره برخلاف سایر زنجیره‌های تأمین کوچک، یکدست و یکپارچه نیست و این سیستم‌ها باتوجه به تنوع جغرافیایی و اقلیمی و فسادپذیری و ماهیت فصلی بودن سیستم‌های پیچیده‌تری را تشکیل می‌دهند [۲]. درواقع در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی، بازیگران از استقلال بالایی برخوردارند و به لحاظ اهداف و تصمیمات، منافع بازیگران ممکن است با سایر بازیگران در تضاد باشند. در چنین سیستم‌های پیچیده‌ای پیش‌بینی چگونگی تأثیر تصمیمات منفرد بر عملکرد کل زنجیره‌تأمین بسیار دشوار است [۳]. پیچیدگی این سیستم‌ها فقط محدود به این مسأله نبوده و سایر عوامل رفتاری و اجتماعی مانند الگوهای رفتاری، ارزش‌های شخصی، ریسک‌گریزی شخصی [۴-۵]، عوامل اقتصادی [۲,۶] و محیطی و اقلیمی [۶] در آن نقش ایفا می‌کنند و از این جهت هریک از بازیگران برای حفظ منافع باید خود را با آن انطباق دهند. این سیستم‌ها می‌توانند با کمک یادگیری و تجربه و در سیر تعاملات عامل‌ها، زمان آینده را در قالب سیستم‌های پیچیده انطباق‌پذیر[2] مدل‌سازی کنند. مهم‌ترین ابزار مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده انطباق‌پذیر، مدل‌سازی عامل بنیان یا مدل‌سازی مبتنی بر عامل (ABM)[3] است.

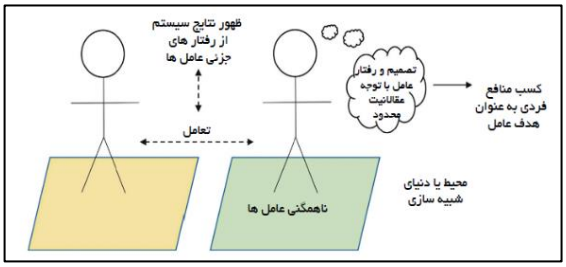
در ادامه باتوجه به لزوم آشنایی با زمینه مدل‌سازی عامل بنیان ابتدا به معرفی آن و سپس به معرفی کارائی آن در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی و مرور تحقیقات گذشته در این زمینه می‌پردازیم.

۱-۱. آشنایی با مدل‌سازی عامل بنیان

براساس تعاریف پایه، مدل‌سازی عامل بنیان یک تکنیک مدل‌سازی به‌منظور تحلیل رفتار و کنش و واکنش میان عوامل مستقل در یک سیستم پیچیده به‌منظور بررسی اثرات آن‌ها در سیستم است [۷]. همچنین براساس تعریف کرکس و هپنستال، ABM به شخص اجازه می‌دهد، اقدامات فردی عوامل مختلف را شبیه‌سازی کرده و رفتار و نتایج حاصل از سیستم را با گذشت زمان اندازه‌گیری کند [۸]. امروزه کاربرد غالب این شیوه در مدل‌سازی تعاملات سیستم‌های پیچیده توسعه‌یافته است. در شبیه‌سازی عامل بنیان، هریک از عامل‌ها، موقعیت خود را در هر دوره در محیط مدل‌سازی ارزیابی کرده و تصمیمات لازم را برمبنای مجموعه‌ای از قواعد رفتاری و منطقی برای دستیابی به منافع مورد انتظار خود اتخاذ می‌کنند. در محیط مدل‌سازی عامل بنیان مجموعه‌ای از بازیگران که می‌توانند منافع مشترک و یا متضادی داشته باشند که در بستر تعاملات تجاری رقابتی و همکاری بایکدیگر درارتباط هستند. هوشمندی عوامل در مواجه با تعاملات و اخذ بهترین تصمیم درارتباط عوامل بایکدیگر باعث شده است که رویکرد عامل بنیان برای مدل‌سازی در بسیاری از مسائل اقتصادی و اجتماعی موردتوجه قرار گیرد. برای این منظور در وهله اول لازم است؛ هریک از عوامل یا بازیگران تأثیرگذار در مدل و نحوه عملکرد آن‌ها در تعامل با سایر اجزای مدل مشخص شود. سپس عملکرد هریک از آن‌ها در مدل در قالب یک زیربرنامه به‌صورت یک شیء، برنامه‌نویسی شده و برهم‌کنش میان انتخاب‌ها و رفتارهای هریک از این اشیا در قالب یک برنامه کلی مورد برنامه‌ریزی می‌شود. به‌همین منظور در شبیه‌سازی مدل عامل بنیان، از برنامه‌نویسی شیءگرا[4] استفاده می‌شود. علت این موضوع این است که در مدل‌سازی عامل بنیان رویکردی برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده متشکل از عامل‌های هوشمند و خودسازماندهی[5] شده است، که بایکدیگر در تعامل هستند [۹]. درواقع می‌توان گفت؛ مدل‌های مبتنی‌بر عامل نوعی مدل ریزمقیاس[6] هستند [۱۰]؛ که به‌منظور بازآفرینی و پیش‌بینی سیستم‌های پیچیده، تعاملات و تصمیم‌گیری‌ها را در مقایس عامل یا عامل‌های فردی مدل‌سازی می‌کنند [۸]. در سیستم‌های پیچیده نتایج و پدیده‌ها در سیستم به‌وسیله ارتباطات متقابل عامل‌ها، "ظهور" پیدا می‌کند [۱۱]. ظهور دراینجا به‌معنی برآمدن نتایج از یک سیستم پیچیده و غامض است. یعنی تغییرات در مقیاس کلان از رفتارهای عامل‌ها در مقیاس خرد پدیدار می‌شود و یا رفتارهای ساده عامل‌ها در سطح خرد (به‌معنای قوانینی که توسط عوامل دنبال می‌شوند) رفتارهای پیچیده‌ای ایجاد می‌کنند (به‌معنای تغییر حالت در کل سیستم). در سیستم‌های عامل بنیان عوامل فردی معمولاً با "عقلانیت محدود[7]" توصیف می‌شوند،

1. Emergence
2. Complex adaptive systems
3. Agent-Base Modeling (ABM)
4. Object oriented programming
5. Smart and Self-adaptive agents
6. Microscale model
7. Bounded rationality

که این فرض کاملاً منطبق بر تعاملات انسانی و سیستم‌های اقتصادی است که از مؤلفه‌های ناهمگنی تشکیل شده‌اند این عامل‌ها بایکدیگر و با محیط تعامل داشته و به‌نحوی به‌یکدیگر وابستگی متقابل دارند که به‌سختی قابل فهم، تخمین و کنترل هستند. عقلانیت محدود را به‌طور ساده می‌توان در قالب محدودیت اطلاعاتی، گستردگی مسأله، محدودیت‌های شناختی ذهن و محدودیت زمانی در هنگام تصمیم‌گیری تعریف نمود که مانع از تصمیم‌گیری کاملاً بهینه و ایده‌آل می‌شود [۱۲]. در نتیجه هر عامل در سیستم مدل‌سازی براساس عقلانیت محدود خود و تصوری که از تأمین منافع خود دارد، تصمیماتی مانند تکثیر، خریدوفروش، جابه‌جایی و یا اقدام به عملی خاص را اتخاذ می‌کند [۱۳]. در این شرایط تصمیمات عامل‌ها می‌تواند بااستفاده از روش‌های ابتکاری یا قوانین تصمیم‌گیری ساده و یادگیری از تجربیات قبلی رقم بخورد [۱۴]. مهم‌ترین اجزای یک مدل عامل بنیان می‌تواند شامل محیط یا دنیای مدل‌سازی، تعدادی عامل (که می‌توانند از نژاد[1]های مختلفی باشند)، طرحی از فرایند تعاملات و ارتباطات بین عوامل، رویه‌های تصمیم‌گیری عامل‌ها (باتوجه به عقلانیت محدود آن‌ها)، قوانین بهبود تصمیم‌های هریک از عوامل (یادگیری یا سازگاری) باشند [۱۵]. با این توصیف ارائه شده الگویی از یک مدل عامل بنیان نوعی و مهم‌ترین اجزای آن می‌تواند مطابق شکل (۱) باشد. در این شکل دو عامل که می‌توانند ناهمگن نیز باشند، با تعامل بایکدیگر برمبنای هوشمندی و خودمختاری برای کسب منافع خود، نتایج کل سیستم را در دنیای مدل‌سازی ظهور دهند [۸].



شکل (۱): نمونه‌ای از یک مدل عامل بنیان و مهم‌ترین اجزای آن برگرفته از مطالعه [۱۵]

در مطالعات اخیر مدل‌های عامل بنیان جایگاه ویژه‌ای را در بین محققان در حوزه‌های مختلف پیدا کرده است. بررسی ادبیات موضوع در سال‌های اخیر در مورد مدل‌های مبتنی‌بر عامل یا سیستم‌های مدل‌سازی چندعاملی (MAS)[2] حاکی از آن است که این رویکرد مدل‌سازی علاوه‌بر توسعه در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی در حوزه‌های علمی غیرمحاسباتی مانند زیست‌شناسی، علوم محیط زیستی، علوم اجتماعی و به‌ویژه در علوم اقتصادی پیشرفت‌های فراوانی داشته است [۱۶]. در این حوزه‌ها باتوجه به پیچیدگی بیشتر قوانین رفتاری و نحوه تعامل عامل‌ها بایکدیگر و محیط ضرورت به‌کارگیری چنین مدل‌هایی بسیار مشهود است [۱۷]. همچنین عقلانیت محدود که در کنار ماهیت استقلال و هوشمندی عامل‌ها قرار می‌گیرد، به‌نوعی مدل‌سازی از ساده‌سازی پارادوکس فضای تصمیم‌گیری هر عامل در دنیای واقعی است. از یک‌سو هر عامل به‌دنبال کسب منافع خود است و در تناقض با آن ممکن است باتوجه به نظریه عقلانیت محدود بهترین تصمیم را الزاماً اتخاذ نکند. این فرضیه که در عمل می‌تواند بسیاری از تعاملات انسانی یا تصادفی دنیای واقعی را پیش‌بینی کند می‌تواند ناشی از هزینه‌های مالی و زمانی جمع آوری اطلاعات [۱۸]، عدم تطابق بین محیط تصمیم‌گیری و انتخاب تصمیم‌گیرنده و محدودیت‌های شناختی تصمیم‌گیرندگان [۱۹-۲۰]، محرک‌های احساسی (تأثیر فرهنگ، عادات، تفکرات و دیدگاه‌ها و حالات روانی) و ناتوانی عامل‌ها به لحاظ توانایی انجام محاسباتی قوی [۲۱] باشد. بحث در مورد ویژگی‌های ساختاری عقلانیت محدود در رویه تصمیم‌گیری عامل‌ها بسیار پیچیده و گسترده است؛ اما به‌طور خلاصه در مدل‌سازی عامل بنیان می‌توان به نقش مهم این مسأله در مدل‌سازی اشاره کرد. براساس نظریه سایمون که این فرضیه را در اقتصاد مطرح کرد، عقلانیت محدود از وجود دو نوع محدودیت درونی و بیرونی در تصمیم‌گیری در عقلانیت کامل ناشی می‌شود. محدودیت‌های برونی می‌تواند شامل هزینه‌های جست‌وجوی اطلاعات و کمبود زمان باشند درحالی‌که محدودیت درونی عبارت است از محدودیت در توانایی‌های فکری و احساسی مانند محدودیت پردازش اطلاعات، تأثیرپذیری‌ها و ناتوانی در به‌کارگیری حافظه که در افراد (درخصوص مدل‌سازی عامل‌ها حتی در یک نژاد) متفاوت است [۲۲]؛ و این دو محدودیت مانند دو تیغه یک قیچی می‌تواند عقلانیت را محدود کنند که این مسأله توسط سایمون بهینه‌یابی در شرایط محدودیت عقلانیت نامیده می‌شود [۱۹]. لذا در این شرایط تجربه فرد با درنظر داشتن فرضیه عقلانیت محدود شکل می‌گیرد. با درنظر داشتن این فرضیه، می‌توان از مدل‌های عامل بنیان بهترین ابزار برای مدل‌سازی روابط انسانی و رویه‌های پیچیده مبتنی بر تجربه و یادگیری نام برد.

۱-۲. کاربرد مدل‌های عامل بنیان در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی

امروزه زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی باتوجه به بهره‌مندی از ویژگی‌های تنوع زیستی، اقلیمی و تغییرات مکانی و زمانی عرضه و تقاضا و رقابت در بازار و قیمت محصولات کشاورزی به‌ویژه در سطح کلان به‌عنوان یک چالش مطرح است [۲۳]. باتوجه به تنوع عامل‌های کشاورزان و نقش تصمیمات آن‌ها بر منافع یکدیگر مانند تصمیم انتخاب محصول عامل‌ها در قیمت بازار، یکی از بهترین ابزار برای مدل‌سازی چنین زنجیره‌هایی مدل‌سازی عامل بنیان است [۲۴]. یکی از مزایای مدل‌سازی عامل بنیان مدل نمودن کشاورزان مستقل به‌عنوان عوامل ناهمگن و خودمختار در تصمیم‌گیری است که نشان‌دهنده تنوع و تصمیمات مستقل کشاورزان در مناطق مختلف در تولید محصولات کشاورزی در دنیای واقعی است [۲۴]. مدل‌سازی عامل بنیان همچنین این امکان را فراهم می‌کند که کشاورزان به‌عنوان عوامل هوشمند مدل شوند. یعنی در تصمیمات عملیات کشاورزی این توانایی را دارند که در

1. Breeds

2. Multi-agent system

طول زمان از محیط خود یاد بگیرند و رفتارهای آن‌ها را مطابق با کسب منافع خود در شرایط پویا تطبیق دهند. درنهایت همان‌طور که در ویژگی‌های مدل‌های عامل بنیان بیان شد، کشاورزان به‌صورت خودمختار می‌توانند در محیط مدل‌سازی بایکدیگر تعامل داشته باشند که این امر مدل‌سازی مبادلات منابع، محصولات و دارایی عامل‌ها را امکان‌پذیر می‌کند [۲۵]. چنین سیستم‌هایی معمولاً مهم‌ترین بازیگران می‌توانند شامل کشاورزان، شرکت‌های سرمایه‌گذاری و عمده‌فروشان محصولات کشاورزی (که می‌توانند اتحادیه‌های محلی از کشاورزان باشند) و خرده‌فروشان باشند [۲۶]. در عمل، تصمیم‌گیری هر کشاورز برای کشت در دوره کاشت محصول همواره تحت تأثیر نتایج زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی و پایداری طولانی‌مدت آن قرار دارد [۶]. به‌طور متقابل تصمیم کشاورز نیز علاوه بر تأثیر بر نتایج زنجیره‌تأمین بر شکل دادن تصمیمات سایر عامل‌ها و حفظ پایداری زنجیره دارد [۲۷]. در این شرایط هماهنگی تصمیم هریک از کشاورزان با سایر اعضای زنجیره و پیامدهای پیچیده تصمیم آن‌ها با ظهور نتایج کلی در زنجیره به‌منظور افزایش سود یا کاهش ریسک و کسب نتایج پایدار اهمیت بسیار زیادی پیدا می‌کند [۲۸]. این موضوع با گسترش وسعت محدوده جغرافیایی مشارکت در ابعاد کلان و اثرپذیری بازیگران زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی پیچیده‌تر می‌شود. مطالعات گذشته نشان داده است که اتخاذ سیاست‌های هماهنگی می‌تواند منجر به کارایی و صرفه اقتصادی زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی شود [۲۳,۲۹].

به‌دلیل ماهیت پیچیدگی و استقلال عوامل مؤثر در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی، در سال‌های اخیر برخی مدل‌های عامل بنیان باهدف بهبود سیاست‌ها یا مدیریت تصمیم‌گیری کشاورزان برای دست‌یافتن به بهترین تعامل در رابطه بین ورودی‌های مزرعه (مانند انتخاب محصول، کود، سموم دفع آفات، مدیریت منابع آب) و نتایج (مانند عملکرد محصول، سود و سلامت و ارگانیک بودن محصول) ایجاد شده‌اند. تصمیمات هماهنگی می‌تواند تأثیرات زیاد بر قیمت و پایداری منابع تولید و نهاده‌های محصولات کشاورزی بگذارد. درصورتی‌که این سیستم به‌لحاظ اقتصادی پایدار نباشد می‌توان انتظار داشت که مشکلات تغییرات شدید و آسیب‌زننده قیمت محصولات کشاورزی و مدیریت منابع کشاورزی به یک چالش ملی تبدیل شود [۳۰-۳۱]. دستیابی به بهترین نتیجه، پایداری این سیستم‌ها صرفاً با ارائه یک برنامه عملیاتی یا استراتژیک عملی نیست؛ بلکه بایستی چنین سیستمی در قالب یک سیستم پیچیده انطباق‌پذیر با پیش‌بینی سیاست‌های پایدار تأمین منافع فردی بازیگران در بلندمدت و در قالب کشاورزی قراردادی و هماهنگی کشاورزان شکل بگیرد. مقاله پیش‌رو سعی در ارائه چنین چارچوبی برای دستیابی به پایداری اقتصادی در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی است.

۲. مروری بر تحقیقات گذشته

تاکنون مطالعات محدودی در مورد مدل‌سازی عامل بنیان مسأله زنجیره‌تأمین صورت گرفته است که ازاین بین مطالعات در حوزه زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی بسیار محدودتر است. در بررسی ادبیات زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی می‌توان به مطالعات مروری مدل‌سازی عامل بنیان در حوزه محصولات کشاورزی، من‌جمله مطالعات مروری اتومو و همکاران [۲۴] با محوریت زنجیره‌تأمین محصولات غذایی، کرمیداس و همکاران [۳۲] با محوریت ارزیابی سیاست‌های حوزه کشاورزی و هوبر و همکاران [۳۳] با محوریت نقش مدل‌های عامل بنیان در مدل‌سازی تصمیم‌گیری کشاورزی اشاره کرد.

یکی از مهم‌ترین مطالعات در بررسی سیستم‌های پیچیده زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی، تحقیقات کرجیسی و بومن است که به مطالعه برخی از چالش‌های مدل‌سازی عامل بنیان زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی پرداخته و سپس بر روی مزایا و محدودیت‌های رویکردهای مختلف مدل‌سازی عامل بنیان در پاسخ به چالش‌ها بحث می‌کنند [۳۴].

آن‌ها همچنین در مقاله دیگری، مدل پیچیده تطبیق‌پذیر عامل بنیان هماهنگی کشاورزان (تشکیل اتحادیه‌های کشاورزی با تفاهم بین اعضا و کشت به‌صورت قراردادی) در سیستم تولید-توزیع دوسطحی (شامل کشاورزان و توزیع‌کنندگان) محصولات کشاورزی ارائه می‌دهند [۶]. آن‌ها در مطالعه خود به‌منظور بررسی تأثیر هماهنگی کشاورزان و بهره‌مندی از اطلاعات مشترک، مدلی بر مبنای هماهنگی گروهی از کشاورزان در چهار منطقه جغرافیایی پیشنهاد می‌دهند [۶]. کرجیسی مطالعه مبسوط‌تر مدل‌سازی هماهنگی قراردادی کشاورزان را تکمیل نمود [۲]. نتایج مدل‌سازی‌های او نشان داد، هماهنگی کشاورزی پایداری مطلوبی بر روی عملکرد زنجیره‌تأمین محصولات زراعی در بلندمدت حتی در برابر ریسک‌های شدیدتر مانند خشکسالی و بلایای طبیعی دارد. او با تحلیل نتایج مدل خود در ارتباط با عواملی مانند سطح زمین زراعی، حق بیمه کشاورزان و سود کشاورزان تأثیر آن‌ها بر رغبت کشاورزان به هماهنگی را بررسی کرد [۲,۶]. در مطالعه‌ای دیگر نگویان و همکاران در مطالعه خود، از مدل‌سازی مبتنی‌بر عامل برای بررسی موانع گسترش کشاورزی قراردادی برنج در زمینه زنجیره‌تأمین برنج دلتا مکونگ در ویتنام استفاده می‌کنند. آن‌ها در مدل کشاورزی قراردادی عامل بنیان خود از دو مؤلفه انگیزه مالی و اعتماد در شرایط نوسانات تکراری واقعی قیمت‌های بازار لحظه‌ای که باعث بی‌میلی کشاورزان و توزیع‌کنندگان به فعالیت قراردادی می‌شود؛ استفاده می‌کنند. آن‌ها در مطالعه خود بر نقش ایجاد اعتماد بین کشاورزان به‌عنوان یک عامل مهم در موفقیت قراردادهای کشاورزی تایید می‌کنند [۳۵]. در مطالعه دیگری نگ به بررسی تغییرات در بازارهای تجاری کشاورزی و سیاست‌های تغییر ساختار آن بااستفاده از مدل‌سازی عامل بنیان می‌پردازند. آن‌ها در مطالعه خود سیاست تغییر بازارهای نقدی به هماهنگی عمودی در یک سیستم زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی را بررسی می‌کنند. اساس ایده آن‌ها بهره‌گیری از نظریه‌های رفتاری و شبکه‌های اجتماعی در حوزه بازاریابی محصولات کشاورزی است [۳۶]. هندیاتی و همکاران در پژوهش خود به مدل‌سازی عامل بنیان اثرات کشاورزی قراردادی و تعهد کشاورزان به آن بر عملکرد زنجیره‌تأمین پرداخته‌اند. نتایج مدل‌سازی

نشان می‌دهد که کشاورزان با کشاورزی قراردادی می‌توانند با عدم قطعیت تقاضا و قیمت مقابله کنند. آن‌ها همچنین با بررسی سطوح مختلف تعهد کشاورزان هنگام اجرای کشاورزی قراردادی نتیجه گرفتند که تعهد کشاورزان برای تحقق الزامات قرارداد و موفقیت زنجیره‌تأمین بسیار مهم است [۲۹].

هی و همکاران یک مدل زنجیره‌تأمین خرده‌فروشی با سه عامل، تأمین‌کنندگان، خرده‌فروشان و مصرف‌کنندگان را در قالب یک سیستم پیچیده تطبیق‌پذیر عامل بنیان پیشنهاد می‌دهند. آن‌ها برای پاسخ به پیچیدگی‌های عدم اطمینان تقاضا و رقابت در زنجیره خرده‌فروشی با تلفیق روش‌های بهینه‌سازی و الگوریتم ژنتیک با مدل‌سازی عامل بنیان رفتار بهینه عامل‌ها را مدل‌سازی می‌کنند [۳۷]. راس و وستگرین با اشاره به پیچدگی‌های ذاتی زنجیره‌تأمین محصولات غذایی کشاورزی و نقش جهانی‌سازی و نوآوری در عدم اطمینان آن با کمک شبیه‌سازی عامل بنیان استفاده از قابلیت‌های کارآفرینی برای ایجاد ثروت با درنظر گرفتن هشیاری، ریسک‌پذیری آن‌ها در زنجیره‌تأمین محصولات غذایی کشاورزی نقش مهمی ایفا می‌کند [۳۸]. راس در مطالعه دیگری تحقیقات خود در این زمینه را تکمیل نمود و با کمک مدل‌سازی عامل بنیان نتیجه گرفت نقش تشکیل زنجیره‌تأمین در سودآوری و موفقیت بازیگران مهم است [۳۹]. در بخش بعد به تشریح آن‌ها و مکانیزم تعیین پایداری اقتصادی زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی می‌پردازیم.

۳. مدل‌سازی عامل بنیان پایداری زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی در ابعاد کلان

امروزه در مواجه با چالش‌های رشد جمعیت و تأمین غذایی پایدار، بهره‌گیری از مزایای تنوع آب‌وهوایی و افزایش هماهنگی کشاورزان در سطح کلان (ابعاد جغرافیایی گسترده) به‌ویژه در تأمین تقاضای مواد غذایی و برنامه‌ریزی برای کشت محصولات بسیار مهم است. از منظر کلان، این امر برای اتحادیه‌های کشاورزی و برنامه‌ریزان دولتی از دو جنبه دستیابی به تعادل بازار و سودآوری پایدار کشاورزان و همچنین مدیریت نهاده‌ها و حفظ منابعی مانند ذخایر آب کشاورزی بسیار مهم است [۲۳]. در این مطالعه با کمک مدل‌سازی عامل بنیان به شبیه‌سازی هماهنگی و و مدیریت منابع و پایداری اقتصادی زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی می‌پردازیم. منظور از پایداری اقتصادی در این مطالعه بررسی حفظ منافع اقتصادی هر دسته عامل در برابر سیاست‌ها و تصمیمات در درازمدت است که می‌تواند جذابیت اقتصادی هر بخش را در قالب شبیه‌سازی پیش‌بینی کند.

در بحث هماهنگی کشاورزان می‌توانند براساس شرایط خود با سایر کشاورزان و با عمده‌فروشان مشارکت راهبردی می‌کنند تا منافع بیشتری کسب کنند و به‌صورت کشاورزی قراردادی و پرداخت حق عضویت[1] فعالیت کنند. چنین هماهنگی برای سودآوری کشاورزان کوچک و متوسط به‌طور فزاینده‌ای مهم است و آن‌ها را قادر می‌سازد به بازارهایی با حجم زیادی از مشتریان به‌صورت پایدار وارد شوند [۶,۳۵]. کشاورزان برای دستیابی به هماهنگی و انطباق با سایر بازیگران می‌توانند از طریق یادگیری به توزیع بهتر منابع و سرمایه‌ها به‌ویژه در مرحله انتخاب محصول، تصمیات توزیع و فروش محصول، هزینه‌ها و پایداری سودآوری و نهایتاً پایداری زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی دست یابند [۶,۴۰]. بااین‌حال، کشاورزان باید در پارادوکس اختیارات و استقلال خود با هماهنگی با سایر بازیگران زنجیره، مدیریت هزینه‌های هماهنگی، قیمت محصول نهایی و سود حاصل از کشت محصول خود تصمیم‌گیری کنند. باتوجه به این‌که در حال حاضر مشکلات زیادی در بخش پایداری اقتصادی بسیاری از کشاورزان خرد برای تولید محصولات کشاورزی در ایران وجود دارد؛ این پژوهش سعی در تحلیل رویکردها و سیاست‌های هماهنگی زنجیره‌تأمین محصولات زارعی با درنظر داشتن ملاحظات تولید محصولات کشاورزی در سطح کلان در قالب بستر مدل‌سازی شیءگرا عامل بنیان است. نوآوری این مطالعه مدل‌سازی زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی در قالب یک سیستم پیچیده انطباق‌پذیر به‌منظور ارزیابی اعمال سیاست‌های مشوق هماهنگی در زنجیره از طریق فعالیت کشاورزان به‌صورت قراردادی (کشاورزی قراردادی) و عدم قطعیت تنوع اقلیمی بر روی پایداری زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی است. همچنین سایر جنبه‌های نوآوری این مطالعه شامل پیشنهاد الگوهای یادگیری فردی عامل‌ها (برای کشاورزان و عمده‌فروشان) در انتخاب محصول و استفاده از یک مدل کشف قیمت و مقایسه سود و زیان در تجارت بین عامل‌ها می‌شود.

همچنین مدل پیشنهادی این مطالعه در مقایسه با مطالعات کرجیسی و بومن [۱] و همچنین مطالعه نگویان و همکاران [۲] باتوجه به مدل‌سازی تصمیم انتخاب محصول و قراردادی شدن براساس تأثیر مقایسه سود محصول در دوره‌های قبل و همچنین کاربرد شیوه پیشنهاد قیمت برای کشف قیمت از برتری برخوردار است.

۳-۱. معرفی مدل

محیط مدل‌سازی زنجیره‌تأمین یک محصول کشاورزی زراعی در این مطالعه مطابق شکل (۲) این زنجیره شامل سه عامل کشاورزان، عمده‌فروشان (که می‌توانند به‌صورت اتحادیه کشاورزی و یا شرکت‌های سرمایه‌گذار در بخش کشاورزی مطرح شوند) و مشتریان (مانند فروشگاه‌های زنجیره‌ای یا فروشندگان محلی و میادین‌بار فروش محصولات کشاورزی مطرح شوند) می‌شود. از هریک از این عوامل به تعداد مشخص در جهان مدل‌سازی وجود دارند و سعی دارند در ارتباط با عوامل هم‌نوع و غیر هم‌نوع منافع خود را کسب کنند. درواقع این عوامل به‌طور مستقل به‌دنبال دستیابی به اهداف فردی خود باتوجه به تجربه کسب شده در ارتباط با سایر عوامل هستند و برای تولید، توزیع و تجارت محصولات زراعی بایکدیگر ارتباط و رقابت دارند. به‌منظور تطابق با شرایط واقعی فرض می‌شود که محیط مدل‌سازی از مناطق جغرافیایی مختلفی تشکیل شده است که هر منطقه جغرافیایی با عملکرد زراعی، زمین زراعی و تقاضای خاص خود، باعث تغییرپذیری در محیط مدل‌سازی مدل می‌شود؛ به‌عنوان مثال، کشت برخی محصولات

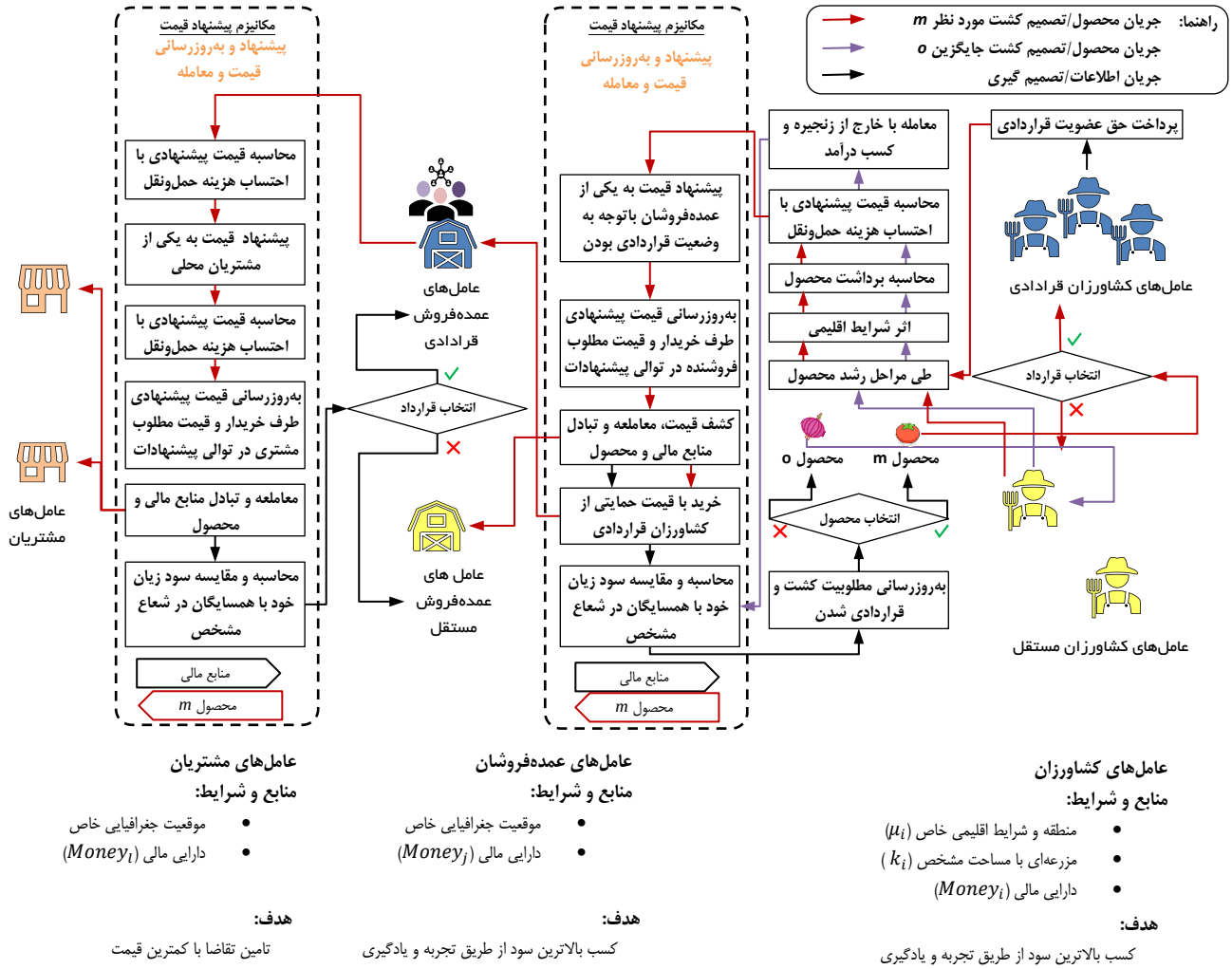
1. Autonomy premium

زراعی در مناطقی خاص باتوجه شرایط آب‌وهوا و نوع خاک و مهارت کشاورزان منطقه مناسب‌تر است. البته علاوه‌بر عوامل ذکر شده عامل تصادفی پیش‌بینی نشده باتوجه به عدم قطعیت شرایط اقلیمی در عملکرد نهایی مؤثر است و لذا کشاورز در زمان تصمیم‌گیری به کشت از مقدار قطعی محصول نهایی خود مطلع نیست و فقط می‌تواند پیش‌بینی از مقدار کاشت محصول خود داشته باشد. در این مطالعه هدف بررسی زنجیره‌تأمین محصول زراعی خاصی است که آن را محصول m نام‌گذاری می‌کنیم. کشاورزان می‌توانند براساس منافع خود به کشت محصول m و یا انتخاب بهترین محصول مشابه جایگزین (محصول o) با مشخصات دوره زمانی کشت مشابه اقدام نمایند و تا دوره تصمیم به کشت بعدی و پس از طی مراحل دوره‌های رشد محصول از زنجیره‌تأمین محصول m خارج شوند. آن‌ها همچنین می‌تواند برای هماهنگی خود با سایر کشاورزان از طریق قرارداد همکاری با یک عمده‌فروش تصمیم‌گیری کند و در قبال پرداخت حق عضویت در هنگام برداشت و فروش محصول از حداقل قیمت حمایتی خرید محصول خود توسط عمده‌فروش طرف قرارداد خود منتفع شوند. فعالیت قراردادی آن‌ها می‌تواند اثرات مخرب عدم قطعیت‌های زنجیره محصولات کشاورزی مانند نوسانات قیمت و یا عدم قطعیت‌های تولید و برداشت محصول خود را کاهش دهند. آن‌ها در صورت فعالیت قراردادی تنها مجاز به کشت محصول موردنظر m به مقدار تعیین شده توسط عمده‌فروش طرف قرارداد خود خواهد بود. عمده‌فروشان نیز در مکانیزمی مشابه برای قراردادی عمل‌کردن خود تصمیم‌گیری می‌کنند و درنهایت فروشندگان نیز سعی دارند تقاضای خود را با کمترین هزینه تأمین کنند. تبادل محصول و منابع مالی با یک قیمت نامشخص که در کشش عرضه و تقاضا باتوجه به تصمیم سایر اجزاء زنجیره و در طی مکانیزم پیشنهاد قیمت انجام می‌شود. به بیان دیگر، قیمت محصولات در یک مکانیزم رقابتی پیشنهاد قیمت از طریق کشف قیمت باتوجه به پیشنهاد و به‌روزرسانی قیمت در پیشنهادات متوالی قیمت بین عامل‌ها که با تأثیرپذیری از کشش عرضه و تقاضا شکل می‌گیرد؛ تعیین می‌شود. هر دسته عامل با سایر عوامل در تبادل منابع مالی و محصول بوده و در مدل دارای موقعیت جغرافیایی مشخصی (مختصات x و y) هستند. فرض می‌کنیم، محصول m از نظر تقاضای مشتریان، مستقل و غیر قابل جایگزینی است. همچنین مسافت بین عوامل در به‌صورت فاصله مستقیم اقلیدسی محاسبه می‌شود. هدف ما در این مطالعه مدل‌سازی زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی در قالب یک سیستم پیچیده انطباق‌پذیر به‌منظور ارزیابی اعمال سیاست‌های مشوق هماهنگی در زنجیره از طریق فعالیت کشاورزان به‌صورت قراردادی (کشاورزی قراردادی) و عدم قطعیت تنوع اقلیمی بر روی پایداری زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی است. به‌عنوان سایر جنبه‌های نوآوری این مطالعه شامل پیشنهاد الگوهای یادگیری فردی عامل‌ها (برای کشاورزان و عمده‌فروشان) در انتخاب محصول و استفاده از یک مدل کشف قیمت و مقایسه سود و زیان در تجارت بین عامل‌ها می‌شود.

مدل‌ها با کمک ابزار شبیه‌سازی عامل بنیان و تکرار اجرای آن تحت مقادیر مختلفی از ورودی‌ها به‌عنوان سیاست‌های اعمال شده در سیستم پیچیده، با کمک تحلیل آماری نقش این سیاست‌های ارزیابی می‌شوند. باتوجه به آنچه اشاره شد، طرح کلی منابع، شرایط، اهداف و تصمیم‌های بین هریک از تصمیم‌گیری‌های مدل به‌صورت شکل (۲) تعریف شد. جزئیات تصمیمات هریک از عامل‌ها و نقش آن‌ها در به‌طور مفصل در بخش ۲-۳ تا ۳-۵ تشریح می‌شود.

۳-۲. عامل کشاورز

کشاورزان عامل‌های تولیدکننده محصولات زراعی هستند. فعالیت‌های کشاورز اولیه شامل انتخاب نوع محصول، تولید و فروش آن به عمده‌فروشان و انتخاب فعالیت کشاورزی قراردادی (قرارداد با عمده‌فروشان برای کشت محصول یا به تعبیر دیگر تشکیل اتحادیه از کشاورزان با همکاری یک عمده‌فروش) است. به‌علاوه موقعیت جغرافیایی خاص هر کشاورز، به هر کشاورز مزرعه‌ای با اندازه مشخص (k_i) در اختیار دارد. اندازه مزرعه هر کشاورز در طول دوره مدل ثابت فرض می‌شود؛ یعنی کشاورزان نمی‌توانند زمین بخرند یا بفروشند. هریک از کشاورزان یک مقدار مشخص از دارایی مالی ($Money_i$) در اختیار دارند و هدف آن‌ها کسب بیشترین سود است. درصورتی‌که کشاورز دارایی مالی و محصول خود را در طول فرایند تولید و تجارت خود از دست بدهد و ورشکسته شود؛ از مدل حذف می‌گردد. هدف مدل‌سازی در این مطالعه بررسی پایداری زنجیره‌تأمین محصول موردنظر m است و زنجیره‌تأمین سایر محصولات o مدنظر نیست و لذا بهترین محصول جایگزین o با یک قیمت تصادفی توسط کشاورز در خارج از مدل فروش‌رفته و سطح دارایی و منابع کشاورز را تغییر می‌دهند. فرض می‌کنیم کشت محصول مورد نظر m، یا بهترین محصول جایگزین o دارای چند دوره زمانی مشخص رشد هستند و پس از کشت محصول سپری شدن این دوره‌های رشد برای برداشت محصول الزامی است. فرض بر این است که هر کشاورز در تمام زمین زراعی خود محصول کشت می‌کند. در هر دوره، هر کشاورز محدود به تولید یک نوع محصول در زمین زراعی خود است، اگرچه ممکن است یک کشاورز محصولات متفاوتی را در در دوره‌های بعدی کشت براساس تغییر تصمیم انتخاب محصول خود کشت کند. براین اساس کشاورز پس از انتخاب محصول خود در اولین دوره کشت، تا پایان برداشت محصول قادر به تغییر محصول خود نیست و تصمیم به تغییر کشت باتوجه به پارامتر تمایل کشت کشاورز به کشت محصول m و ارزیابی تفاوت سود محصول m و محصول جایگزین o و صرفاً در دوره برداشت بعدی انجام می‌شود. کشاورزان می‌توانند به‌منظور هماهنگی تصمیمات خود برای کاهش اثرات مخرب در افت قیمت‌های بازار و باتوجه به تجربیات خود نسبت عقد قرارداد در هر دوره کشت با عمده‌فروشان اقدام کنند.

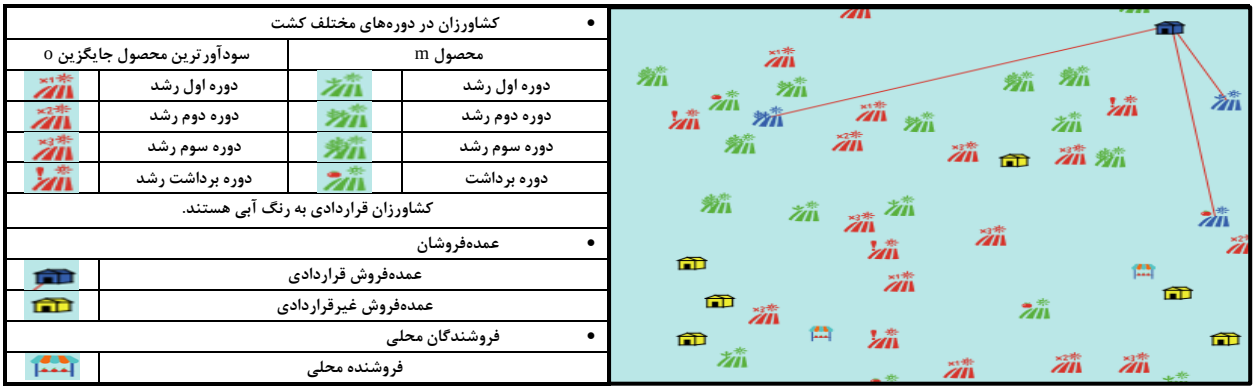


شکل (۲): نمایی از عامل‌ها، تصمیم‌های بین هریک از عامل‌ها، منابع، شرایط و اهداف در سیستم پیچیده زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی

در صورت عقد قرارداد همکاری کشاورزان به‌ازای هر قرارداد همکاری و تشکیل اتحادیه‌های محلی هزینه مشخص ap تحت عنوان حق عضویت یا حق بیمه فعالیت قراردادی پرداخت می‌کنند. در این صورت اگر قیمت فروش محصولات زراعی در کشش عرضه و تقاضا کمتر از قیمت حمایتی ($price.ctr$) باشد، عمده‌فروش طرف قرارداد حداقل به مقدار قیمت حمایتی محصول کشاورز را می‌خرد. درصورتی‌که کشاورز قراردادی نباشد (طرف قرارداد با عمده‌فروشی نباشد) از چنین شرایطی برخوردار نخواهد بود.

همچنین فرض می‌شود صرفاً کشاورزانی که به کشت محصول موردنظر m اقدام می‌کنند می‌توانند به صورت قراردادی فعالیت کنند و کشت سایر محصولات (محصول o) به‌صورت قراردادی امکان‌پذیر نیست. سود هر کشاورز در هر دوره به تفاوت درآمد باتوجه به قیمت مقدار محصول برداشت شده و هزینه‌ها (شامل هزینه‌های تولید، حمل‌ونقل و هزینه حق عضویت در صورت مشارکت قراردادی با عمده‌فروشان) محاسبه می‌شود. در این مدل قیمت محصول نیز از طریق مکانیزم پیشنهاد قیمت تعیین می‌شود. البته همان‌طور که اشاره شد، درصورتی‌که قیمت محصول کشاورز قراردادی در مکانیزم پیشنهاد و کشف قیمت کمتر از قیمت حمایتی باشد، عمده‌فروش موظف به خرید آن محصول با قیمت حمایتی خواهد بود. کشاورزان راغب‌اند تا از طریق یادگیری و تجربه خود و همسایگان با درنظر داشتن شعاع تجربه‌پذیری هریک از عامل‌ها از یکدیگر(r) خود سود بیشتری کسب کنند. هریک از کشاورزان دارای یک تابع سود شخصی است که به انتخاب نوع محصول کشت شده، عوامل اقلیمی و جغرافیایی تأثیرگذار بر روی هزینه‌ها و درآمدهای وی و وضعیت قراردادی بودن او بستگی دارد. تنها هدف کشاورز انتخاب، کاشت و فروش محصولات زراعی برای سود هرچه بیشتر در هر دوره کشت محصول و در نتیجه کسب بیشترین منفعت ممکن است. ازآنجاکه قیمت فروش کشاورز در بازار به میزان عرضه و تقاضا در مکانیزم پیشنهاد قیمت بستگی دارد؛ کشاورز برای فروش محصولات خود پس از برداشت یک دوره‌فروش، فرصت برای تعامل با عمده‌فروشان برای مکانیزم پیشنهاد و به‌روزرسانی قیمت خود دارد. برای این منظور فرض می‌شود که در انتهای هر دوره اجرای مدل درصورتی‌که کشاورزان محصول برداشت کنند، فرصت کافی وجود دارد که کشاورزان محصول خود و سایر کشاورزان را برای فروش عرضه کنند و قیمت خود را پیشنهاد و به‌روز نمایند. به‌طور مشابه عمده‌فروشان تقاضا و قیمت پیشنهادی خود را در مکانیزم پیشنهاد قیمت ارائه و به‌روزرسانی می‌کنند. بدیهی است که در این شرایط اگر تقاضا بیشتر باشد قیمت محصول افزایش می‌یابد.

همچنین اگر میزان عرضه به‌اندازه زیادی بیش از تقاضا باشد و خریداری برای محصول یافت نشود طبیعتاً یا قیمت معامله کاهش می‌یابد. همان‌طور که اشاره شد دررابطه با مکانیزم پیشنهاد و به‌روزرسانی قیمت محصول در بخش ۰ بحث خواهیم نمود. باتوجه به توضیحات ارائه شده، شکل (۳) نمایی از عامل‌های مسأله موردمطالعه را به نمایش می‌گذارد. تشریح جزئیات بیشتری از عملکرد عامل‌ها در بخش‌های بعدی تشریح خواهد شد.



شکل (۳): تصویری از قسمتی جهان مدل و هریک از عامل‌ها کشاورزان، عمده‌فروشان و فروشندگان

برای هر کشاورز i یک مقدار آستانه تمایل به کشت محصول مورد نظر m در دوره t (T_{it}) اختصاص داده می‌شود که مقدار رغبت وی را برای کاشت آن محصول (محصول m) را در مقایسه با بهترین محصول جایگزین (محصول o) باتوجه به تجربه خود و کشاورزان همسایه را تعیین می‌کند. کاهش تمایل کشاورز ممکن است باعث تغییر در رفتار او مانند تصمیم‌گیری برای کشت سایر محصولات یا تصمیم به پیوستن یا ترک فعالیت کشاورزی قراردادی شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، هر کشاورز (k_i) هکتار زمین‌اش را زیر کشت می‌برد. اگر کشاورز قراردادی باشد یعنی با عمده‌فروش در ابتدای دوره کشت قرارداد بسته باشد منحصراً به کشت محصول m می‌پردازد. مقدار کشت در این صورت برابر درخواست عمده‌فروشان و حداکثر به مقدار ظرفیت منابع زمین زراعی او خواهد بود. فرض ما این است که کشاورزان اطلاع دقیقی از پیش‌بینی نتایج نهایی و ریسک‌هایی که ممکن است در آینده بر تصمیمات کشاورز اثر گذارد؛ در ابتدای مدل‌سازی ندارند. هرچند با یادگیری و کسب تجربه در ادامه روند مدل‌سازی توانایی خود را برای مقابله با این ریسک‌ها افزایش می‌دهند. از این جهت ما فرض می‌کنیم تمایل کشاورز i به کشت محصول موردنظر در دوره $t+1$ (T_{it+1}) به تمایل او در دوره قبلی (t) (T_{it}) و تجربه‌های خود و سایر کشاورزان همسایه باتوجه به ضرایب تأثیر تجربه مثبت و منفی[1] بر تصمیمات آینده او و عوامل تصادفی به‌عنوان عوامل عدم قطعیت در تصمیم‌گیری او بستگی دارد. در واقع تمایل او در هر دوره برای کشت محصول به تمایل پیش‌فرض (تمایل دوره قبل) و تجربه فعلی او بستگی دارد؛ پس (به‌ازای هر تجربه) رخ داده برای کشاورز مقدار تمایل او تغییر می‌کند. براساس این فرض اگر کشاورز و یا یکی از همسایگان در شعاع همسایگی معین (r)، تجربه منفی داشته باشند، این تجربه منفی بروی تصمیمات وی تأثیر خواهد گذاشت. منظور از تجربه منفی به‌معنی ضرر کشاورز در طول یک دوره کشت است و لذا درصورتی‌که یکی از کشاورزان با کشت محصول موردنظر دچار زیان شود این تجربه بر روی برای او و همسایگانش در شعاعی مشخص (r) مؤثر خواهد بود. باتوجه به فرض‌های اشاره شده مقدار تمایل کشاورز i به کشت محصول موردنظر m در دوره t باتوجه به تجربه کسب شده او از طریق دو رابطه (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

$$T_{it+1} = (1 - e^{-})T_{it} + e^{-}\,T_{min}^{m} \qquad \forall i,t \qquad (۱)$$

در صورت مشاهده تجربه منفی کشاورز i از محصول موردنظر m

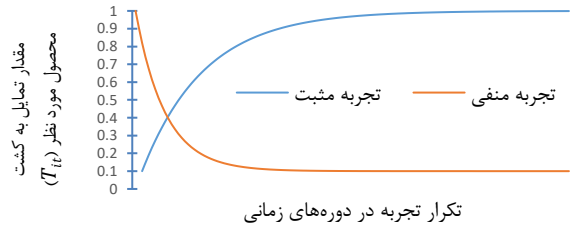
$$T_{it+1} = (1 - e^{+})T_{it} + e^{+} \qquad \forall i,t \qquad (۲)$$

در صورت مشاهده تجربه مثبت کشاورز i از محصول موردنظر

که در آن پارامترهای e^{+} و e^{-} هردو در بازه (۰،۱) و به‌ترتیب تأثیر مثبت و منفی بر روی تمایل کشاورز که تأثیر تجربه منفی بیشتر از تجربه مثبت بیشتر است. یعنی رابطه $(1 > e^{-} > e^{+} > 0)$ برقرار است. همچنین T_{min}^{m} مقدار ثابت کمتر از یک و برابر حداقل تمایل برای کشت محصول موردنظر است. باتوجه به این‌که کلیه پارامترها و متغیرهای معادله بالا بین صفر و یک درنظر گرفته می‌شوند، تمایل کشاورز بین صفر و یک خواهد بود. هر مقدار که تمایل کشاورز به صفر نزدیک‌تر باشد احتمال کشت محصول برای آن کشاورز کمتر می‌شود و احتمال کشت بهترین گزینه جایگزین از میان محصولات افزایش می‌یابد. در صورت افزایش این شاخص احتمال کشت محصول m توسط او افزایش می‌یابد. شکل (۴) روند تغییرات تمایل به کشت محصول موردنظر (T_{it}) را مطابق روابط (۱) و (۲) با مقادیر ۰/۲، ۰/۱ و ۰/۱ به‌ترتیب برای پارامترهای e^{-}، e^{+} و T_{min}^{m} نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار تمایل

۱. تجربه مثبت و منفی می‌تواند بسته به مفروضات مساله به اشکال متفاوتی تفسیر شود، ولی ما در این مطالعه تجربه منفی را در مقایسه با درآمد سایر کشاورزان تفسیر می‌کنیم. یعنی اگر درآمد کشاورز متأثر از قیمت محصول در بازار پیشنهاد قیمت کمتر از سایر کشاورزان همسایه در آن دوره باشد و دارایی کشاورز در شرایط کاشت محصول موردنظر کمتر شود؛ علاوه‌بر ثبت کشاورز تجربه منفی برای کشاورز زیان دیده، این تجربه به کشاورزان همسایه منتقل می‌شود.

هیچ وقت کمتر از ۰/۱ نخواهد بود.



شکل (۴): روند تغییرات تمایل به کشت محصول موردنظر T_{it} در توالی مشاهده تجارب مثبت و منفی

پس از به‌روز شدن مقادیر تمایل برای کشت محصول، کشاورز درصورتی‌که غیرقراردادی باشد (عضو اتحادیه کشاورزی و طرف قرارداد با عمده‌فروش نباشد) نسبت به تصمیم‌گیری برای کشت اقدام می‌کند. این تصمیم به چهار بخش تمایل کشاورز، ارزیابی اقتصادی او از تفاوت سود محصول موردنظر m نسبت به سایر محصولات o در دوره گذشته، یک ضریب تصادفی و همچنین الگوی رفتاری کشاورز به‌عنوان نماینده عوامل رفتاری و اجتماعی تأثیرگذار بر تصمیم او بستگی دارد. در این شرایط اگر نامعادله زیر معتبر باشد کشاورز نسبت به کشت محصول برای کل زمین زراعی خود اقدام خواهد کرد.

$$(\alpha)expect_t + (1-\alpha)\varepsilon \geq T_{it} \quad if\ true \rightarrow \zeta_{it} = 1 \qquad (۳)$$

برای شرایط کشت محصول (m)

$$(\alpha)expect_t + (1-\alpha)\varepsilon < T_{it} \quad if\ true \rightarrow \zeta_{it} = 0 \qquad (۴)$$

برای شرایط کشت بهترین محصول جایگزین (o)

که در آن α یک ضریب بین صفر و یک و برابر میزان تأثیر عدم قطعیت در رابطه و وابسته به اهمیت الگوهای رفتاری و اجتماعی کشاورز در تصمیم‌گیری (مانند ریسک‌پذیری، میزان عقلانیت محدود او و اعتنا به تجربیات گذشته و ...) است و ε (در بازه صفر و یک) یک مقدار تصادفی است. همچنین $expect_t$ تابع مطلوبیت کشت سایر محصولات یا به‌عبارت دیگر مقدار تفاوت سود محصول موردنظر و سایر محصولات از دیدگاه کشاورز در دوره t است. این مقدار یک عدد بین صفر و یک خواهد بود. ζ_{it} یک متغیر باینری است که مشخص‌کننده وضعیت تولید محصول موردنظر m توسط کشاورز i در دوره t است. تابع مطلوبیت کشت سایر محصولات در هر دوره براساس اطلاعات دوره قبل با کمک یک تابع نمایی در محدوده صفر و یک مطابق رابطه (۵) تعیین می‌شود که خود باتوجه به نسبت تفاوت سود مورد انتظار کاشت محصول موردنظر m و محصول جایگزین o برای هر واحد تولید محصول یعنی (z_t) براساس رابطه (۶) محاسبه می‌شود. فرض می‌شود که حد بالا (z_{max}) و حد پایین (z_{min}) این نسبت مشخص است. این حد بالا و حد پایین حداکثر و حداقل نسبت تفاوت سود مورد انتظار کشاورز در صورت متفاوت بودن محصول کشت شده است.

$$expect_t = \frac{1 - e^{-(z_{t-1} - z_{min})}}{1 - e^{-(z_{max} - z_{min})}} \qquad (۵)$$

تابع مطلوبیت کشت بهترین محصول جایگزین (o)

$$z_{t-1} = \frac{\varphi^o_{t-1}}{\left(\frac{\varphi^m_{t-1} c_{t-1} + \pi^m_{t-1} n_{t-1}}{f_{t-1}}\right)} \qquad (۶)$$

محاسبه تفاوت سود مورد انتظار کاشت محصول موردنظر m و بهترین محصول جایگزین o برای هر واحد تولید محصول

همان‌طور که اشاره شد در رابطه بالا z_{t-1} نسبت تفاوت مورد انتظار سود کاشت محصول موردنظر و سایر محصولات براساس تجربه و قیمت‌های تعیین شده دوره قبلی $t-1$ برای هر واحد تولید محصول است. φ^m_{it-1} و π^m_{it-1} سود مورد انتظار از محصول موردنظر m در دوره قبلی به‌ترتیب در شرایط قراردادی بودن و یا غیرآن برای کشاورز i است. مقادیر c_{t-1}، n_{t-1} و f_{t-1} نیز به‌ترتیب حجم فروش محصول موردنظر توسط کشاورزان قراردادی، غیرقراردادی و کل کشاورزان در دوره قبل می باشند. فرض می‌کنیم که کشاورز براساس اطلاعات سال قبل برآوردی از تعداد کشاورزانی که محصول موردنظر را کاشته‌اند، دارند. سود مورد انتظار از کشت هر واحد محصول براساس روابط (۷) تا (۱۰) قابل محاسبه است. البته باید توجه داشت که در رابطه با کشاورزان قراردادی معادله (۱۰) درصورتی قیمت بازار کمتر از قیمت حمایتی $(price.ctr^m)$ باشد؛ قیمت فروش برابر قیمت حمایتی خواهد بود. لذا براین اساس سود هر کشاورز برای هر واحد تولید محصول بسته به نوع انتخاب محصول و وضعیت قراردادی یا غیرقراردادی بودن به شیوه‌های متفاوتی مطابق روابط (۷) تا (۱۰) محاسبه می‌شود. بدیهی است که محاسبات در هر دوره برای ارزیابی اقتصادی کشاورزان در دوره بعد کارایی دارد.

$$\varphi^o_{it} = pn^o_{it} - \frac{c^o_{it} + w_i}{y_i} \qquad (۷)$$

تابع سود کشاورز غیرقراردادی با کشت بهترین محصولات جایگزین (o) برای هر واحد تولید محصول

$$\varphi^m_{it} = pn^m_{it} - \frac{c^m_{it} + w_i}{y_i} \qquad (۸)$$

تابع سود کشاورز غیرقراردادی با کشت محصول موردنظر (m) برای هر واحد تولید محصول

$$\pi^m_{it} = pc^m_{it} - \frac{c^m_{it} + w_i}{y_i} - ap \qquad (۹)$$

تابع سود کشاورز قراردادی با کشت محصول موردنظر (m) برای هر واحد تولید محصول

$$\pi^m_{it} = price.ctr^m_{it} - \frac{c^m_{it} + w_i}{y_i} - ap \qquad (۱۰)$$

تابع سود کشاورز قراردادی با کشت محصول موردنظر (m) برای هر واحد تولید محصول درصورتی‌که قیمت محصول مساوی و کمتر از قیمت حمایتی $(price.ctr^m_{it})$ باشد.

در روابط بالا همان‌طور که اشاره شد، نمادهای π و φ مربوط به وضعیت قراردادی بودن یا نبودن کشاورز است. pn^o_{it} و c^o_{it} مقادیر قیمت هر واحد محصول و هزینه کاشت در واحد سطح سودده‌ترین محصول از میان سایر محصولات زراعی جایگزین محصول موردنظر o در هر دوره نوعی t هستند. همچنین pc^m_{it} و c^m_{it} به‌ترتیب قیمت و هزینه کاشت هر واحد محصول موردنظر m در دوره t برای کشاورزان قراردادی

هستند. $price.ctr_{it}^{m}$ همچنان که اشاره شد قیمت حمایتی خرید (یا قیمت خرید تضمینی) کشاورزان قراردادی است. نهایتاً pn_{it}^{m} مقدار قیمت هر واحد کشت غیرقراردادی محصول موردنظر m برای کشاورز i در دوره t برای کشت محصول موردنظر می باشد. مقادیر w_i، y_i و ap نیز به‌ترتیب کل هزینه آبیاری در واحد سطح، عملکرد زراعی (برحسب تن بر هکتار) و حق عضویت (یا حق بیمه خرید تضمینی در اتحادیه کشاورزی) کشاورزان قراردادی است. البته باید درنظر داشت سود واقعی کشاورز i در هر دوره t ($profit_{it}$) باتوجه به محاسبه هزینه حمل‌ونقل به‌شیوه اقتباس شده از مطالعه جانسون به‌صورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود [۴۱]؛ چراکه عمده‌فروشان خریدار محصولات از کشاورزان در دوره‌های مختلف متفاوت‌اند و لذا هزینه حمل‌ونقل باتوجه به بعد مسافت کشاورز- عمده‌فروش متغیر است.

$$profit.f_{it} = (\pi_{it}^{m} \vee \varphi_{it}^{m} \vee \varphi_{it}^{o}) \left(\omega \times x_{ijt}\right)^{\xi} \times {d_{ij}}^{\theta} \quad (۱۱)$$

تابع سود کشاورزان باتوجه به وضعیت قراردادی و درنظر گرفتن هزینه حمل‌ونقل

که در آن $(\pi_{t}^{m} \vee \varphi_{t}^{m} \vee \varphi_{t}^{o})$ یکی از مقادیر سود کشاورزان باتوجه به کشت محصول و وضعیت قراردادی بودن و x_{it} مقدار محصول تولید شده توسط کشاورز i در دوره t و d_{ij} فاصله او از عمده‌فروش j است. مطابق روش جانسون در محاسبه هزینه حمل‌ونقل ω و ξ مقادیر ضریب حجمی هزینه و θ ضریب فاصله‌ای هزینه است. این تابع باتوجه به وابستگی غیرخطی به حجم و فاصله حمل‌ونقل در برخی از مدل‌های مدل‌سازی زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی عامل بنیان استفاده شده است [۲,۶].

مقدار تولید محصول نیز درصورتی‌که باتوجه به تصمیم کشاورز انتخاب شود، یعنی کشاورز قراردادی نباشد و کشت محصول موردنظر را خود انتخاب کند؛ در صورت داشتن زمین زراعی باتوجه به عملکرد زراعی (y_i) و یک ضریب نامعین متأثر از شرایط غیرقابل پیش‌بینی آب‌وهوایی به‌صورت رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$x_{it} = k_{it} \times y_i \times \mu_i^{Climate} \quad (۱۲)$$

که در آن همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شد، k_i مقدار زمین زراعی و μ_i یک متغیر تصادفی تأثیر عوامل آب‌وهوایی بر روی عملکرد زراعی محصول مزرعه i با توزیع نرمال با میانگین وانحراف معیار خاص خود است. فرض براین است باتوجه به تصمیم کشاورز بر روی تمام زمین زراعی در دسترس کشت می‌شود و پس از طی مراحل رشد محصول و رسیدن به مرحله برداشت محصول مجدداً برای کشت مجدد در دسترس خواهد بود. درصورتی‌که کشاورز قراردادی باشد علاوه‌بر تابع تولید معادله (۱۲) مقدار کشت باید مطابق مقدار تعیین شده عمده‌فروش طرف قرارداد باشد. حداکثر این مقدار مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود. براساس این تابع کشاورزان قراردادی نباید بیشتر از مقدار رابطه (۱۳) محصول تولید کنند.

$$x_{ijt} = \sum_{l} want.to.buy_{lt}/nf_{t}^{m} \quad (۱۳)$$

که در آن $want.to.buy_{lt}$ مقدار تقاضای مشتری l در دوره t است و nf_{t}^{m} تعداد کشاورزانی است که در حال کشت محصول موردنظر در کل مدل است. درواقع باتوجه به پیچیدگی مدل و قیمت‌ها و نامشخص بودن حجم خرید هریک از عمده‌فروشان، عمده‌فروش قراردادی به‌منظور کاهش ریسک خود به‌طور ساده مقدار تأمین محصول موردنظر خود را در صورت وجود منابع برابر سهم هر کشاورز از تقاضای کل مشتریان تعیین می‌کند. درحالی‌که عمده‌فروشان غیرقراردادی براساس تقاضای تصادفی خود نسبت به خرید محصولات از کشاورزان اقدام می‌کنند.

فرض براین است که کشاورزان پیش‌داوری درخصوص فعالیت قراردادی یا غیرقراردادی ندارند و در جریان اجرای مدل و بررسی منافع تصمیم خود را اتخاذ می‌کنند. درواقع باتوجه به این‌که کشاورزان قراردادی برای هر قرارداد همکاری به مقدار ap حق بیمه خرید تضمینی در اتحادیه کشاورزی یا حق عضویت پرداخت می‌کنند هزینه‌های آن‌ها بیشتر خواهد بود و درصورتی‌که براساس تجربه منافع قراردادی بودن یعنی بهره‌مندی از قیمت حمایتی درصورت ریزش قیمت‌های بازار برای سایر کشاورزان همسایه یا خود او اثبات شود، کشاورز متمایل به کشت قراردادی خواهد شد، البته درصورتی‌که عمده‌فروش قراردادی در مدل وجود داشته باشد؛ که این مسأله نیز به تأمین منافع عمده‌فروش در وضعیت قراردادی بودن بستگی دارد. بدیهی است که حق بیمه یا حق عضویت همیشه یک مقدار غیرمنفی فرض می‌شود. ازآنجاکه هم کشاورز و هم عمده‌فروش یک آستانه برای اندازه‌گیری تمایل خود به قراردادی شدن دارند درصورتی‌که این مقدار آستانه باتوجه به تجربیات خود و همسایگان آن‌ها کاهش یابد از وضعیت قراردادی خارج می‌شوند. دراین صورت اگر عمده‌فروش قراردادی به وضعیت غیرقراردادی تغییر وضعیت دهد از ابتدای دوره کشت بعد کشاورزان طرف قرارداد او غیرقراردادی می‌شوند مگر این‌که براساس مقدار آستانه تمایل خود به قراردادی بودن درصورتی‌که به دوره تصمیم‌گیری به کشت محصول رسیده باشد، با عمده‌فروش دیگری عقد قرارداد کنند.

مشابه تصمیم‌گیری در مورد تمایل کشاورز با درنظرگرفتن یادگیری در مدل، کشاورزان می‌توانند از با کسب تجربه از همسایگان مقدار آستانه تمایل کشاورز برای قراردادی شدن (G_{it}) خود را در هر دوره تغییر دهند، اگر درآمد یک کشاورز غیرقراردادی، از متوسط درآمد سایر کشاورزان همسایه خود که قراردادی هستند کمتر شود (مشاهده تجربه منفی)، با درنظر گرفتن شرایطی او تصمیم به تغییر وضعیت عضویت خود خواهد گرفت. به‌عبارت دیگر اگر متوسط سود کشاورزان غیرقراردادی بیشتر باشد درصورتی‌که آستانه به‌اندازه کافی کم باشد تغییر وضعیت به قراردادی رخ می‌دهد در غیر این صورت مقدار آستانه افزایش می‌یابد و احتمال تغییر وضعیت او کمتر می‌شود. در این شرایط کشاورز با مقایسه سود خود و مقایسه متوسط نسبت سود همسایگان قراردادی‌اش ($\pi_{it}^{\acute{m}}$) برای تغییر وضعیت قراردادی یا غیرقراردادی بودن خود مطابق معادله (۱۴-۱۶) تصمیم‌گیری می‌کند.

$$if\ \pi_{it}^{\acute{m}} > (\varphi_{it}^{m} \vee \varphi_{it}^{o}) \ \Rightarrow (\alpha)\frac{\left(\pi_{it}^{\acute{m}} - (\varphi_{it}^{m} \vee \varphi_{it}^{o})\right)}{\pi_{it}^{\acute{m}}} + (1-\alpha)\varepsilon > G_{it}\ if\ true \rightarrow v_{it} = 1 \quad (۱۴)$$

شرایط تغییر وضعیت به قراردادی

$$if\ \pi_{it}^{\acute{m}} > (\varphi_{it}^{m} \vee \varphi_{it}^{o})\ \Rightarrow (\alpha)\frac{\left(\pi_{it}^{\acute{m}} - (\varphi_{it}^{m} \vee \varphi_{it}^{o})\right)}{\pi_{it}^{\acute{m}}} + (1-\alpha)\varepsilon \le G_{it}\ if\ true \rightarrow \nu_{it} = 0 \quad (۱۵)$$

شرایط عدم تغییر وضعیت به قراردادی

$$if\ \pi_{it}^{\acute{m}} \le (\varphi_{it}^{m} \vee \varphi_{it}^{o})\ \Rightarrow (\alpha)\frac{\left(\pi_{it}^{\acute{m}} - (\varphi_{it}^{m} \vee \varphi_{it}^{o})\right)}{\pi_{it}^{\acute{m}}} + (1-\alpha)\varepsilon > G_{it}\ if\ true \rightarrow \nu_{it} = 0 \quad (۱۶)$$

شرایط عدم تغییر وضعیت به قراردادی

که در آن π_i درآمد کشاورز i و π'_i متوسط درآمد کشاورزان همسایه کشاورز i است. مشابه تصمیم‌گیری کشاورز برای انتخاب محصول، α پارامتر میزان تأثیر عدم قطعیت در رابطه و وابسته به اهمیت الگوهای رفتاری و اجتماعی کشاورز در تصمیم‌گیری است و ε (در بازه صفر و یک) یک مقدار تصادفی است. آستانه تغییر وضعیت قراردادی شدن (G_i) در هر کشاورز متفاوت است و مقدار آن در هر دوره مطابق معادله (۱۷ و ۱۸) به‌روز می‌شود. در این رابطه منظور از تجربه منفی، مشاهده متوسط سود بیشتر از وضعیت قراردادی است و عکس این موضوع تجربه مثبت است.

$$G_{it+1} = (1 - S_1^{+})G_{it} \quad (۱۷)$$

اگر کشاورز غیرقراردادی و تجربه مثبت مشاهده کند.

$$G_{it+1} = (1 - S_1^{-})G_{it} + S_1^{-} \quad (۱۸)$$

اگر کشاورز غیرقراردادی و تجربه منفی مشاهده کند.

که در آن S_1^{+} تأثیر تجربه مثبت است و S_1^{-} تأثیر تجربه منفی بر روی آستانه کشاورز است که مقدار تجربه منفی بیشتر از تجربه مثبت است. مقدار آستانه هربار برای تصمیم‌گیری با نسبت تفاوت سود قراردادی و غیرقراردادی مقایسه می‌شود. به‌طور مشابه برای کشاورزان قراردادی آستانه تغییر وضعیت G_{it} مطابق روابط (۱۹-۲۳) مکانیزم تصمیم‌گیری درخصوص تغییر وضعیت به غیرقراردادی قابل مشاهده است و همچنین رابطه ($1 > S_2^{-} > S_1^{-} > S_1^{+} > S_2^{+} > 0$) برقرار است.

$$if\ \left(\varphi_{it}^{\acute{m}} \vee \varphi_{it}^{\acute{o}}\right) > \pi_{it}^{m}\ \Rightarrow (\alpha)\frac{\left(\varphi_{it}^{\acute{m}} \vee \varphi_{it}^{\acute{o}}\right) - \pi_{it}^{m}}{\left(\varphi_{it}^{\acute{m}} \vee \varphi_{it}^{\acute{o}}\right)} + (1-\alpha)\varepsilon > G_{it}\ if\ true \rightarrow \tau_{it} = 1 \quad (۱۹)$$

شرایط تغییر وضعیت به قراردادی

$$if\ \left(\varphi_{it}^{\acute{m}} \vee \varphi_{it}^{\acute{o}}\right) > \pi_{it}^{m}\ \Rightarrow (\alpha)\frac{\left(\varphi_{it}^{\acute{m}} \vee \varphi_{it}^{\acute{o}}\right) - \pi_{it}^{m}}{\left(\varphi_{it}^{\acute{m}} \vee \varphi_{it}^{\acute{o}}\right)} + (1-\alpha)\varepsilon \le G_{it}\ if\ true \rightarrow \tau_{it} = 0 \quad (۲۰)$$

شرایط عدم تغییر وضعیت به قراردادی

$$if\ \left(\varphi_{it}^{\acute{m}} \vee \varphi_{it}^{\acute{o}}\right) > \pi_{it}^{m}\ \Rightarrow (\alpha)\frac{\left(\varphi_{it}^{\acute{m}} \vee \varphi_{it}^{\acute{o}}\right) - \pi_{it}^{m}}{\left(\varphi_{it}^{\acute{m}} \vee \varphi_{it}^{\acute{o}}\right)} + (1-\alpha)\varepsilon > G_{it}\ if\ true \rightarrow \tau_{it} = 0 \quad (۲۱)$$

شرایط عدم تغییر وضعیت به قراردادی

$$G_{it+1} = (1 - S_2^{+})G_{it} \quad (۲۲)$$

اگر کشاورز قراردادی تجربه مثبت مشاهده کند.

$$G_{it+1} = (1 - S_2^{-})G_{it} + S_2^{-} \quad (۲۳)$$

اگر کشاورز قراردادی تجربه منفی مشاهده کند.

۳-۳. عامل‌های عمده‌فروش

یکی دیگر از عامل‌های مدل عمده‌فروشان هستند که به‌عنوان واسطه بین کشاورزان و مشتریان محصول را به‌صورت قراردادی و یا غیرقراردادی خریداری می‌کند و از سوی دیگر به مشتریان می‌فروشد. این عامل‌ها در صورت فعالیت قراردادی می‌توانند معادل اتحادیه‌های کشاورزی یا شرکت‌های سرمایه‌گذار در بخش کشاورزی برای تأمین منافع مشترک کشاورزان تحت قرارداد خود باشد و در غیر این صورت می‌توانند به‌صورت عمده‌فروشان یا سرمایه‌گذاران در بخش توزیع محصولات کشاورزی درنظر گرفته شود. عامل‌های عمده‌فروش باتوجه به در اختیار داشتن تجهیزات حمل‌ونقل و نگه‌داری محصولات واسطه‌های مهم و اثرگذاری در تأمین محصولات کشاورزی و زراعی هستند. در دنیای واقعی نیز در بسیاری از مواقع عامل‌های عمده‌فروش باتوجه به سرمایه خود می‌توانند به کشاورزان پیشنهاد کشت قراردادی بدهند. باتوجه به توضیحات اشاره شده اهمیت این عامل‌ها در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی کلیدی است.

مشابه کشاورزان عمده‌فروشان نیز یک مقدار مشخص از دارایی مالی ($Money_j$) در اختیار دارند و هدف آن‌ها کسب بیشترین سود و کسب منافع است. ازآنجاکه در بخش قبل فرض کردیم که مدل ارائه شده به بررسی زنجیره‌تأمین یک محصول خاص محدود می‌شود فرض می‌کنیم، عمده‌فروشان صرفاً به تجارت محصول موردنظر m اقدام می‌کنند. حوزه تصمیم عمده‌فروشان شامل تصمیم‌گیری در مورد قیمت خرید از کشاورزان و فروش به مشتریان و تعیین استراتژی عملکرد خود به‌صورت عمده‌فروش قراردادی و یا غیرقراردادی است.

در مورد تصمیم‌گیری برای قیمت خریدوفروش در بخش مکانیزم پیشنهاد قیمت بحث خواهد شد. تصمیم‌گیری عمده‌فروش برای وضعیت قراردادی بودن و غیرقراردادی بودن مشابه کشاورزان بستگی به متوسط تفاوت سوددهی عمده‌فروشان در شعاع همسایگی مشخص (r) و آستانه تغییر وضعیت عمده‌فروش (R_{jt}) در دوره t دارد. برای برآورد این آستانه عمده‌فروشان در هربار اجرا با به‌روزرسانی این آستانه تغییر وضعیت و مقایسه آن با نسبت سود عمده‌فروشان با وضعیت مخالف خود تصمیم‌گیری می‌کنند. برای برآورد این آستانه محاسبه سود مورد انتظار عمده‌فروشان در هر واحد محصول مطابق رابطه‌های (۲۴-۲۶) ضروری است.

$$\eta_{jt}^{n} = ps_{jt}^{n} - pn_{it}^{m} \quad (۲۴)$$

تابع سود عمده‌فروش غیرقراردادی برای هر واحد تأمین محصول

$$\eta_{jt}^{c} = ps_{jt}^{c} - pc_{it}^{m} + \frac{ap}{x_{ijt}} \quad (۲۵)$$

تابع سود عمده‌فروش قراردادی برای هر واحد تأمین محصول درصورتی‌که قیمت خرید از کشاورز (pc_{it}^{m}) بیشتر از قیمت حمایتی ($price.ctr^{m}$) باشد.

$$\eta_{jt}^{c} = ps_{jt}^{c} - price.ctr^{m} + \frac{ap}{x_{ijt}} \quad (۲۶)$$

تابع سود عمده‌فروش قراردادی برای هر واحد تأمین محصول درصورتی‌که قیمت خرید از کشاورز (pc_{it}^{m}) کمتر از قیمت حمایتی ($price.ctr^{m}$) باشد.

مشابه وضعیت کشاورزان باتوجه به این سود واقعی کشاورزان به

مقدار خریدوفروش و هزینه‌های حمل‌ونقل وابسته است مقدار آن مطابق روابط (۲۷) و (۲۸) محاسبه می‌شود.

$$profit.s_{jt} = \left(xs_{jlt} \times ps_{jt}^{c}\right) - \left(x_{ijt} \times pn_{it}^{m}\right) - \left(\omega^{s} \times xs_{jlt}\right)^{\xi} \times d_{jl}{}^{\theta} \quad (۲۷)$$

تابع سود عمده‌فروش غیرقراردادی

$$profit.s_{jt} = \left(xs_{jlt} \times ps_{jt}^{c}\right) - \left(x_{ijt} \times pc_{it}^{m} \vee price.ctr^{m} - ap\right) - \left(\omega^{s} \times xs_{jlt}\right)^{\xi} \times d_{jl}{}^{\theta} \quad (۲۸)$$

تابع سود عمده‌فروش قراردادی

همچنین کشاورزان آستانه عمده‌فروشان برای تغییر وضعیت به‌صورت روابط (۲۹) تا (۳۳) مکانیزم تصمیم‌گیری درخصوص تغییر وضعیت برای نمونه برای عمده‌فروش غیرقراردادی قابل‌مشاهده است.

$$if\ \eta_{jt}^{\acute{c}} > \eta_{jt}^{n} \Rightarrow (\alpha)\frac{\eta_{jt}^{\acute{c}} - \eta_{jt}^{n}}{\eta_{jt}^{\acute{c}}} + (1-\alpha)\varepsilon > R_{jt}\ if\ true \rightarrow \tau_{jt} = 1 \quad (۲۹)$$

تغییر وضعیت به قراردادی

$$if\ \eta_{jt}^{\acute{c}} > \eta_{jt}^{n} \Rightarrow (\alpha)\frac{\eta_{jt}^{\acute{c}} - \eta_{jt}^{n}}{\eta_{jt}^{\acute{c}}} + (1-\alpha)\varepsilon \leq R_{jt}\ if\ true \rightarrow \tau_{jt} = 0 \quad (۳۰)$$

عدم تغییر وضعیت به قراردادی

$$if\ \eta_{jt}^{\acute{c}} \leq \eta_{jt}^{n} \Rightarrow (\alpha)\frac{\eta_{jt}^{\acute{c}} - \eta_{jt}^{n}}{\eta_{jt}^{\acute{c}}} + (1-\alpha)\varepsilon > R_{jt}\ if\ true \rightarrow \tau_{jt} = 0 \quad (۳۱)$$

عدم تغییر وضعیت به قراردادی

به‌طور مشابه فرض رابطه ($1 > q^{-} > q^{+} > 0$) برقرار است و داریم.

$$R_{jt} = (1-q^{+})R_{jt} \quad (۳۲)$$

اگر عمده‌فروش تجربه مثبت مشاهده کند.

$$R_{jt} = (1-q^{-})R_{jt} + q^{-} \quad (۳۳)$$

اگر عمده‌فروش تجربه منفی مشاهده کند.

۳-۴. عامل‌های مشتریان

عامل‌ها مشتری در نقاط مختلف جهان مدل پراکنده شده‌اند و به‌دنبال کسب منافع خود از طریق خرید محصول موردنظر با کمترین قیمت طی مکانیزم پیشنهاد قیمت هستند و در هر دوره اگر تقاضا و دارایی مالی یا پول ($Money_{l}$) کافی داشته باشند به‌دنبال خرید محصول با کمترین قیمت هستند. این مشتریان می‌توانند در دنیای واقعی مانند میادین بار یا فروشگاه‌های زنجیره‌ای بزرگ یا کارخانه‌های فرآوری محصولات کشاورزی باشند. در ادامه به شرح مکانیزم پیشنهاد و کشف قیمت می‌پردازیم.

۳-۵. مکانیزم پیشنهاد قیمت

برای کشف قیمت و انجام معامله بین سه عامل کشاورزان و عمده‌فروشان و مشتریان از مکانیزم پیشنهاد قیمت استفاده می‌کنیم. باتوجه به این‌که روش اجرائی این مکانیزم مشابه است به ذکر یک نمونه آن می‌پردازیم. این مکانیزم بین کشاورز قراردادی با عمده‌فروش طرف قرارداد، بین کشاورزان غیرقراردادی و عمده‌فروشان غیرقراردادی و نهایتاً بین هریک از عمده‌فروشان فارغ از وضعیت قراردادی بودن یا غیرآن با مشتریان رخ می‌دهد. به‌عنوان نمونه در این بخش تجارت بین عمده‌فروشان و مشتریان بررسی می‌شود. در این مکانیزم عمده‌فروشان در نقش فروشنده و مشتریان در نقش خریدار هستند. مشتریان یک مقدار تقاضای مشخص ($want.to.buy_{l}$) و دارایی مالی ($Money_{l}$)، قیمت مطلوب برای خرید ($willing.to.pay_{l}$) دارند، و فروشندگان نیز دارای مقدار مشخصی محصول آماده فروش به مشتریان ($crops_{j}$) (که در مکانیزم پیشنهاد قیمت از کشاورزان خریده‌اند)، و قیمت پیشنهادی خود برای فروش ($asking.price_{j}$) به‌علاوه هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول ($\omega^{s+\xi} \times d_{jl}{}^{\theta}$) به مقصد مشتری موردنظر هستند که جمع این دو هزینه را قیمت تحویل محصول ($asking_{j}$) نام‌گذاری می‌کنیم. برای سادگی ما مقدار خرید در هر تیک اجرای مکانیزم را برابر مقدار مشخص و ثابت (مثلاً یک واحد محصول در هر معامله موفق) درنظر می‌گیریم. درصورتی‌که هریک از پارامترهای بالا به‌اندازه کافی بزرگ باشند که واجد شرایط چهارگانه معامله مطابق روابط (۳۳-۳۷) باشند؛ یعنی طرف فروشنده محصول و طرف خریدار پول آن هم به‌مقدار مبلغ موردنیاز برای پیشنهاد داشته باشد و قیمت پیشنهاد شده خریدارکمتر از قیمت پیشنهاد شده فروشنده باشد، معامله رخ می‌دهد. در هر دوره زمانی معامله مجموعه‌ای از مشتریان به‌صورت تصادفی به یکی از عمده‌فروشان پیشنهاد قیمت می‌کند و باتوجه به شرط رابطه (۳۷) دو قیمت پیشنهادی عمده‌فروش برای تحویل و قیمت مطلوب مشتری یعنی ($asking_{j}$) و ($willing.to.pay_{l}$) با هم مقایسه می‌شود.

$$crops_{j} > 0 \quad (۳۴)$$

$$want.to.buy_{l} > 0 \quad (۳۵)$$

$$asking_{j} > Money_{l} \quad (۳۶)$$

$$asking_{j} > willing.to.pay_{l} \quad (۳۷)$$

در این شرایط دو وضعیت می‌تواند رخ دهد. اول این‌که شروط چهارگانه بالا محقق شود که در این صورت معامله انجام می‌شود. متعاقب انجام معامله دارایی مالی و مقدار محصول و تقاضای طرفین معامله باتوجه به قیمت انجام معامله که برابر ($asking_{j}$) است انجام می‌شود. سپس عمده‌فروش طرف قرارداد و مشتری هر دو مقادیر ($asking.price_{j}$) و ($willing.to.pay_{l}$) خود را تغییر می‌دهند. براساس مفروضات مدل، اگر معامله انجام شود مشتری طرف معامله باتوجه به موفقیت در خرید قبلی خود مقدار قیمت مطلوب خود را ($willing.to.pay_{l}$) ۰/۲ واحد کاهش می‌دهد تا از این طریق به خرید به‌صرفه‌تری در دوره بعد دست یابد و منافع خود را تأمین کند. از سوی دیگر فروشنده نیز که به‌دنبال کسب بیشترین منافع برای خود است، برای افزایش دارایی مالی خود و حسی که از فروش موفق معامله دوره قبل خود دارد، قیمت پیشنهادی ($asking.price_{j}$) خود را ۰/۲۵ واحد افزایش می‌دهد. در نقطه مقابل درصورتی‌که معامله رخ ندهد به‌طور مشابه هر دو طرف معامله براساس تأثیر عدم موفقیت در معامله قبلی قیمت پیشنهادی خود را به‌روز می‌کنند. طرف فروشنده باتوجه به عدم موفقیت در فروش قیمت

پیشنهادی ($asking.price_j$) خود را ۰/۲- واحد کاهش می‌دهد؛ از طرف دیگر خریدار به امید موفقیت در معامله بعدی و کسب محصول موردنیاز خود قیمت مطلوب ($willing.to.pay_l$) خود را ۰/۲۵ واحد افزایش می‌دهد. به‌طور مشابه همین مکانیزم برای تجارت کشاورزان و عمده‌فروشان قراردادی و غیرقراردادی حاکم است.

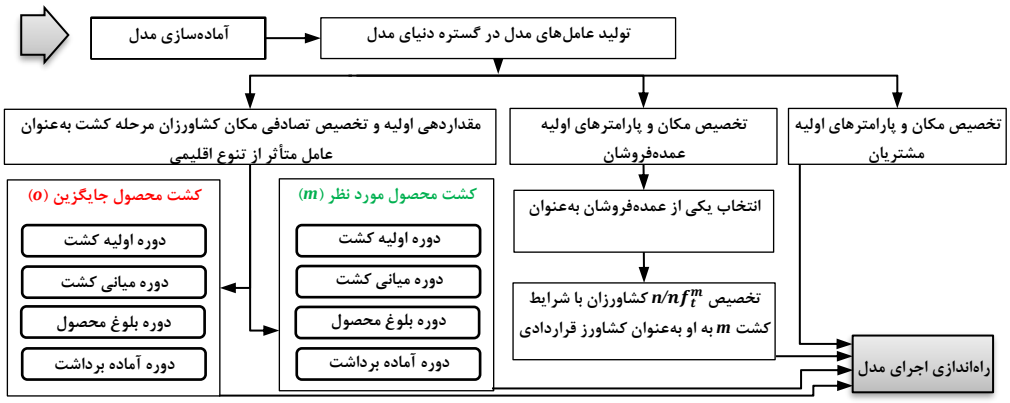
همان‌طور که اشاره شد در قسمت بالا به‌عنوان نمونه مکانیزم پیشنهاد قیمت برای معامله بین عمده‌فروشان و مشتریان شرح داده شد. به‌طور مشابه همین مکانیزم برای تجارت کشاورزان و عمده‌فروشان قراردادی و غیرقراردادی حاکم است. جدول (۱) جمع‌بندی طرف‌های معامله در مکانیزم پیشنهاد قیمت را تشریح می‌کند.

جدول (۱): طرف‌های معامله در مکانیزم پیشنهاد قیمت

طرف خریدار	طرف فروشنده	طرفین مکانیزم پیشنهاد قیمت
هریک از عمده‌فروشان غیرقراردادی	کشاورزان غیرقراردادی	کشاورزان غیرقراردادی و عمده‌فروشان غیرقراردادی
عمده‌فروش طرف قرارداد	کشاورزان قراردادی طرف قرارداد	کشاورزان قراردادی و عمده‌فروشان قراردادی
هریک از مشتریان	عمده‌فروشان قراردادی و غیرقراردادی	عمده‌فروشان و مشتریان

۳-۶. تکرارهای اجرای برنامه

باتوجه به ماهیت چنددوره‌ای بودن مدل و تفاوت بازه‌های زمانی دوره‌های زمانی کشت و پیشنهاد قیمت دوره‌های اجرای برنامه برای تمامی مراحل یکسان نیست و در این مطالعه مکانیزم پیشنهاد قیمت بعد از هر دوره زمانی رشد محصول و درصورت وجود محصول برداشت شده به‌مقدار کافی تکرار می‌شود تا محصولات برداشت شده در هر دوره در مکانیزم پیشنهاد قیمت، تعیین قیمت و فروخته شوند. سپس مدل مجدداً وارد مرحله دوره کشت بعد می‌شود. این فرایند تکرار می‌شود تا بتوان از نتایج ظهور یافته خروجی سیستم و به‌کمک تحلیل‌های آماری سیستم پیچیده موردنظر را تحلیل نمود. در این مطالعه به‌منظور پیاده‌سازی مدل در نرم‌افزار Netlogo6.2 [۴۲]، در ابتدا آماده‌سازی مدل مطابق فرایند شکل (۵) که بخش قبل به الزامات آن اشاره شد انجام می‌شود و سپس فرایند اجرای مدل مطابق شکل (۶) و مکانیزم پیشنهاد قیمت مطابق فرایند شکل (۷) عملیاتی می‌شوند. فرایند مکانیزم پیشنهاد قیمت برای نمونه عمده‌فروشان و مشتریان ترسیم شده است.

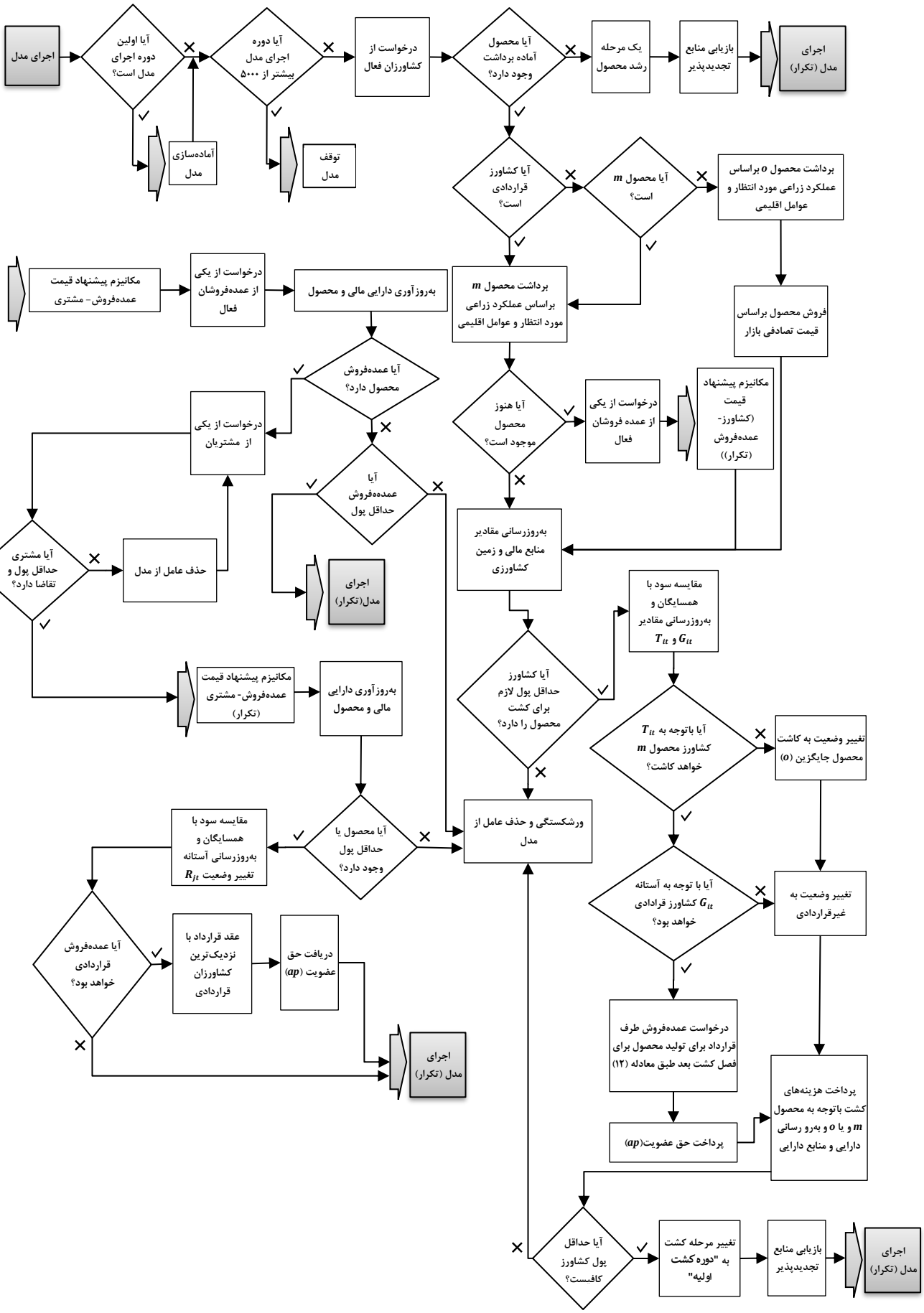


شکل (۵): نمودار فرایند راه‌اندازی مدل

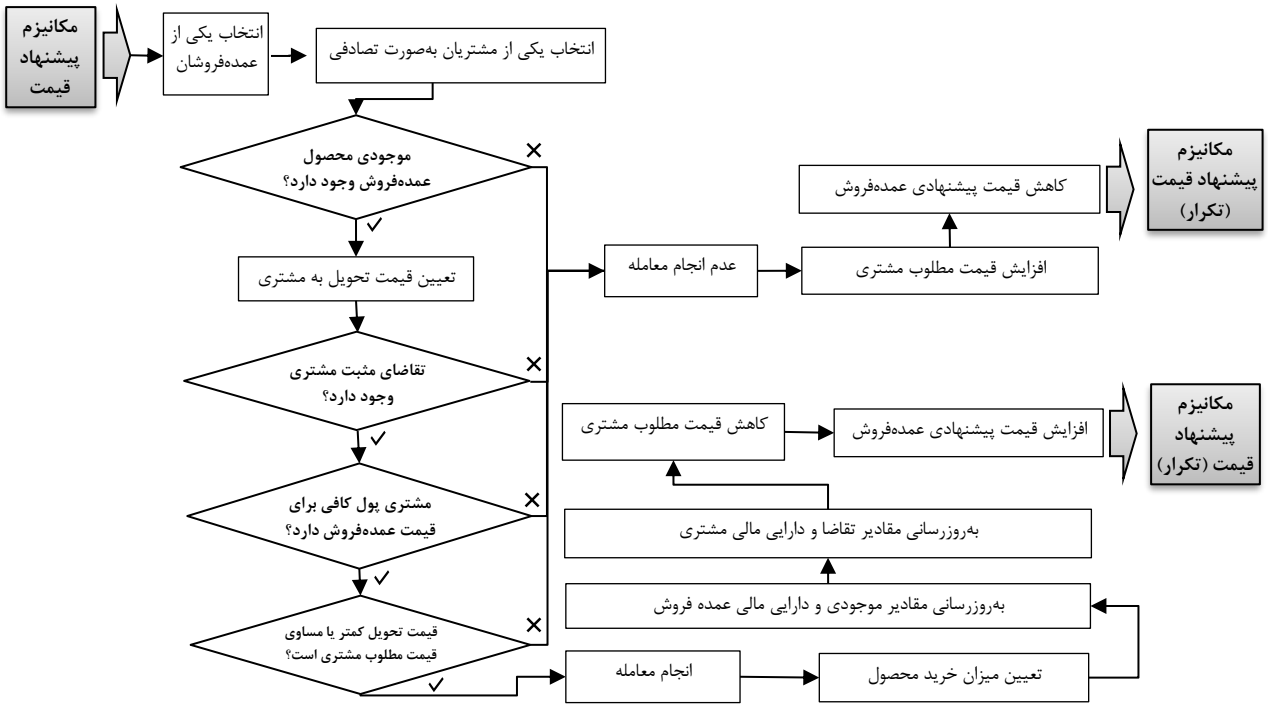
۴. نمونه محاسباتی

در بخش قبل یک مدل عامل بنیان برای سیستم پیچیده انطباق‌پذیر زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی پیشنهاد دادیم. به‌منظور بررسی پایداری اقتصادی کشت محصول موردنظر و ارزیابی اثر سیاست‌های هماهنگی، نقش عدم‌قطعیت‌های بازار و تولید برای نشان‌دادن کارائی مدل ارائه شده در این پژوهش در این بخش به ارائه یک نمونه محاسباتی و بررسی نتایج آن می‌پردازیم. برای این منظور ابتدا نتیجه یک نمونه از خروجی مدل را نشان می‌دهیم. مقادیر اولیه داده‌های ورودی مطابق جدول (۲) درنظر گرفته می‌شوند که برای نشان‌دادن کارائی مدل ارائه شده و ارزیابی نتایج نمونه محاسباتی به بررسی تأثیر ترکیبات مختلف برخی متغیرهای ورودی بر روی شاخص‌های پایداری مدل بررسی می‌کنیم.

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود تمامی داده‌های ورودی‌های مسأله نمونه با توزیع مشخص برای هریک از عامل‌ها تشریح شده‌اند، در این میان برخی از عامل‌ها مانند هزینه‌های تولید و عملکرد زراعی و تأثیرات اقلیمی بر روی کشت محصول با توزیع نرمال میان عامل‌ها مقداردهی می‌شوند. نمونه‌ای از خروجی‌های اجرای مدل ارائه شده در این مطالعه با درنظرگرفتن مقادیر ورودی جدول (۲) را می‌توانید در شکل (۸) مشاهده نمایید.



شکل (۶): فرایند اجرای مدل



شکل (۷): نمودار فرایند جریان مکانیزم پیشنهاد قیمت (به‌عنوان نمونه بین مشتریان و عمده‌فروشان)

براساس خروجی‌های اجرای مدل پیشنهادی در شکل (۸)، در بخش a تغییرات تعداد کشاورزان قراردادی و غیرقراردادی قابل مشاهده است. در این نمودار باتوجه به این‌که آستانه تغییر وضعیت کشاورزان و عمده‌فروشان باتوجه به تجربیات و سایر پارامترهای مؤثر بر تصمیم آن‌ها مانند موقعیت مکانی، متغییرهای تصادفی و شعاع تجربه‌پذیری کشاورزان از یکدیگر، دارای نوسان است، همان‌طور که مشاهده می‌شود تعداد کشاورزان قراردادی در ادامه اجرای مدل افزایش می‌یابد. در بخش b شکل (۸) نیز تغییرات تعداد کشاورزانی که به کشت محصول m اقدام نموده‌اند مشاهده می‌شود.

جدول (۲): داده‌های ورودی مدل پیشنهادی در نمونه محاسباتی مورد بررسی

پارامتر	شرح	توزیع	مقدار اولیه
nf	تعداد کل کشاورزان اولیه	-	۷۰
ns	تعداد کل عمده‌فروشان اولیه	-	۱۰
nb	تعداد کل مشتریان اولیه	-	۳۰
k_i^{start}	سطح زراعی در اختیار هر کشاورز (هکتار)	یکنواخت	۳۰
T_{it}^{start}	آستانه تمایل اولیه کشاورزان به کشت محصول موردنظر m	یکنواخت	۰/۵
e^-	نرخ تأثیر تجربه منفی از کشت موردنظر m	یکنواخت	۰/۲
e^+	نرخ تأثیر تجربه مثبت از کشت موردنظر m	یکنواخت	۰/۱
T_{min}^m	حداقل تمایل کشاورزان به کشت محصول موردنظر m	یکنواخت	۰/۱
$asking.price_i$	قیمت فروش مطلوب اولیه کشاورزان (کشاورز i) در معامله با عمده‌فروشان (م ریال برای هر تن)	یکنواخت	۴
$willing.to.pay_j$	قیمت خرید مطلوب اولیه عمده‌فروشان (عمده‌فروش j) در معامله با کشاورزان (م ریال برای هر تن)	یکنواخت	۲
$asking.price_j$	قیمت فروش مطلوب اولیه عمده‌فروشان (عمده‌فروش j) در معامله با مشتریان (م ریال برای هر تن)	یکنواخت	۶
$willing.to.pay_l$	قیمت خرید مطلوب اولیه مشتریان (مشتری l) در معامله با عمده‌فروشان (م ریال برای هر تن)	یکنواخت	۴
$want.to.buy_l$	تقاضای مشتریان (مشتری l) در معامله با عمده‌فروشان (تن)	یکنواخت	۲۱۰۰
c_{it}^m	هزینه تولید محصول m توسط کشاورز i در دوره t (م ریال بر هکتار)	نرمال	$N(0.4,0.1)$
w_i	کل هزینه آبیاری در واحد سطح محصول موردنظر m یا محصول جایگزین o (م ریال بر هکتار)	نرمال	$N(0.1,0.1)$
y_i	عملکرد زراعی محصول موردنظر m یا محصول جایگزین o (تن بر هکتار)	نرمال	$N(35,5)$
ap	حق عضویت کشاورزی قراردادی یا حق بیمه خرید محصول توسط عمده‌فروش (که می‌تواند اتحادیه کشاورزی باشد)	یکنواخت با دو مقدار	۹۰,۲۰
c_{it}^o	هزینه تولید محصول o توسط کشاورز i در دوره t (م ریال بر هکتار)	نرمال	$N(0.4,0.1)$
$Money_i^{start}$	منابع مالی اولیه کشاورز i (م ریال بر هکتار)	یکنواخت	۴۰
$Money_j^{start}$	منابع مالی اولیه عمده‌فروش j (م ریال)	یکنواخت	۲۰۰۰۰
$Money_l^{start}$	منابع مالی اولیه مشتری l (م ریال)	یکنواخت	۴۰۰۰۰

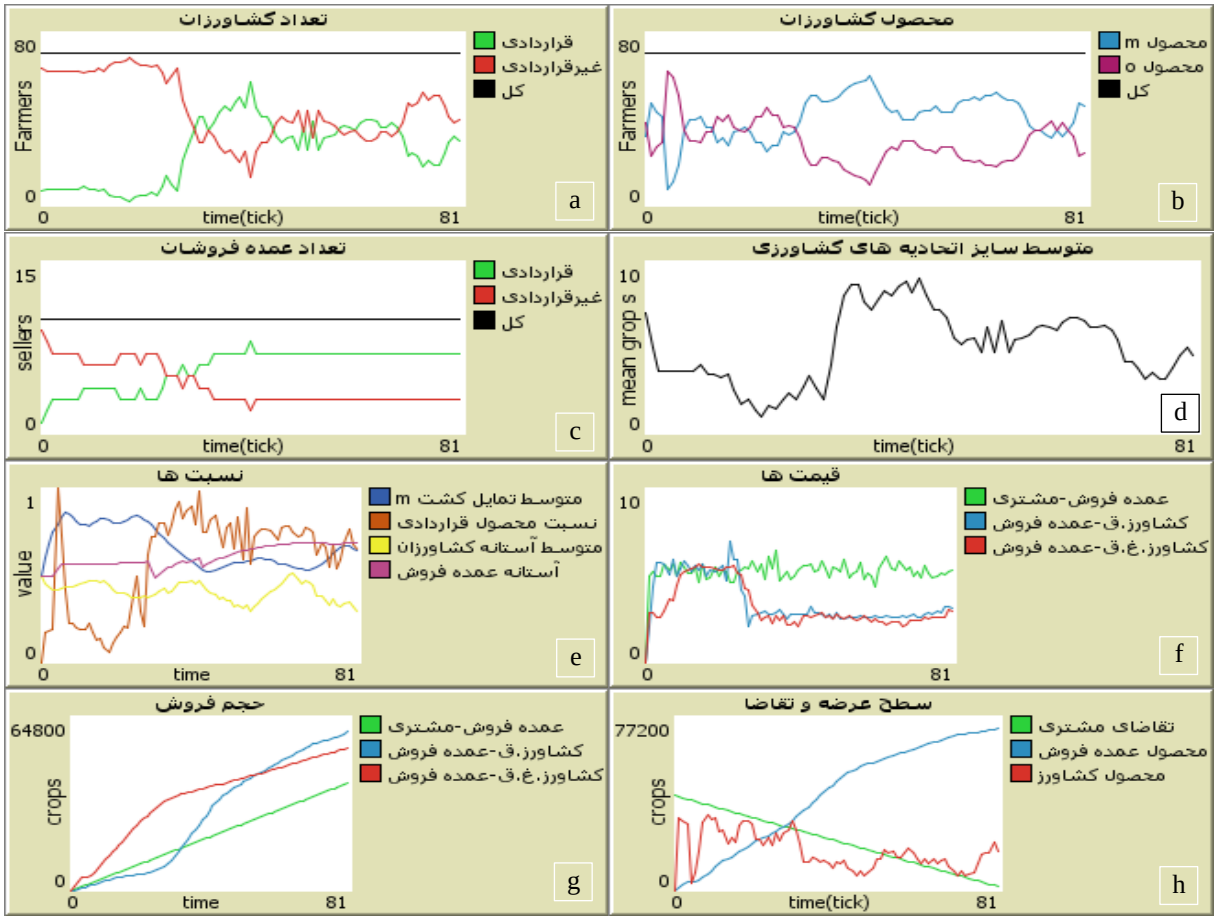
S_1^-	نرخ تأثیر تجربه منفی از کشاورزی قراردادی برای کشاورز قراردادی	یکنواخت	۰/۱۵
S_1^+	نرخ تأثیر تجربه مثبت از کشاورزی قراردادی برای کشاورز قراردادی	یکنواخت	۰/۱
S_2^-	نرخ تأثیر تجربه منفی از کشاورزی قراردادی برای کشاورز غیرقراردادی	یکنواخت	۰/۱۵
S_2^+	نرخ تأثیر تجربه مثبت از کشاورزی قراردادی برای کشاورز غیرقراردادی	یکنواخت	۰/۱
G_i	آستانه تمایل اولیه کشاورزان به کشت قراردادی محصول موردنظر m	یکنواخت	۰/۵
q^-	نرخ تأثیر تجربه منفی از کشاورزی قراردادی برای عمده‌فروش	یکنواخت	۰/۱۵
q^+	نرخ تأثیر تجربه مثبت از کشاورزی قراردادی برای عمده‌فروش	یکنواخت	۰/۱
R_{jt}	آستانه تمایل اولیه عمده‌فروشان به کشت قراردادی محصول موردنظر m	یکنواخت	۰/۵
z_{min}	کمینه نسبت تفاوت سود مورد انتظار کاشت محصول موردنظر m و محصول جایگزین o	یکنواخت	۰
z_{max}	بیشینه نسبت تفاوت سود مورد انتظار کاشت محصول موردنظر m و محصول جایگزین o	یکنواخت	۳
$\alpha\ (alfa)$	ضریب اهمیت تأثیر عدم قطعیت تصمیم‌گیری عامل‌ها واثرگذاری عوامل رفتاری و اجتماعی مؤثر بر تصمیم‌گیری عامل‌ها	یکنواخت با دو مقدار	۱،۰/۷
ε	یک ضریب به‌عنوان نماینده کلیه عوامل رفتاری و اجتماعی مؤثر بر تصمیم‌گیری عامل‌ها	تصادفی	بازه (۰و۱)
$price.ctr_{it}^m$	حداقل قیمت خرید محصول توسط عمده‌فروش از کشاورز قراردادی	یکنواخت با دو مقدار	۳/۵،۲/۵
$\mu_i^{Climate}$	اثر تغییر آب‌وهوا بر عملکرد زراعی کشت محصول	نرمال	$N(1,0.2)$
ω	ضریب حجمی هزینه در محاسبه هزینه حمل‌ونقل	یکنواخت	۱
ξ	توان ضریب حجمی هزینه در محاسبه هزینه حمل‌ونقل	یکنواخت	۰/۳
θ	ضریب فاصله‌ای هزینه در محاسبه هزینه حمل‌ونقل	یکنواخت	۱/۰۵
r	شعاع تجربه‌پذیری هریک از عامل‌ها از یکدیگر	یکنواخت با دو مقدار	۳۵،۳۰

هریک از کشاورزان باتوجه به تجربیات خود و همسایگان این تصمیم را اتخاذ نموده‌اند. در این نمونه متوسط کشاورزانی که به کشت محصول موردنظر می‌پردازند نسبت به کشاورزان کشت کننده محصول o به‌ویژه در انتهای مدل افزایش می‌یابند. واضح است که این موضوع با افزایش کشاورزان قراردادی که منحصراً به کشت محصول m اقدام می‌کنند، براساس اطلاعات بخش a مرتبط است. همچنین مطابق اطلاعات بخش c تعداد عمده‌فروشان قراردادی باتوجه به افزایش آستانه وضعیت قراردادی شدن در عمده‌فروشان افزایش می‌یابد. بخش d نیز متوسط تعداد کشاورزان طرف قرارداد با یکی از عمده‌فروشان را که تشکیل اتحادیه کشاورزی داده‌اند را نشان می‌دهد. این شاخص را که می‌توان متوسط سایز اتحادیه‌های کشاورزی نامید. این شاخص منطبق با اطلاعات بخش a و c افزایش‌یافته است. به‌طورکلی باتوجه به افزایش آستانه تغییر وضعیت کشاورزان مقدار آن در انتهای تکرارهای مدل مقداری افزایش یافته است. بخش e متوسط نسبت‌های تمایل کشاورزان به کشت محصول m، آستانه تغییر وضعیت کشاورزان و عمده‌فروشان و نسبت محصول برداشت شده قراردادی را نشان می‌دهد. اطلاعات این بخش کاملاً توجیه‌کننده وضعیت زنجیره در بخش‌های قبل است. به‌عنوان نمونه افزایش کشت محصول m و افزایش نسبت قراردادی شدن کشاورزان را می‌توان در افزایش اولیه تمایل کشاورزان به مشت محصول m و تغییرات آستانه قراردادی شدن آن‌ها جستجو کرد. بخش f متوسط قیمت‌های معامله برای سطوح عمده‌فروش-مشتری، کشاورزان قراردادی و غیرقراردادی و عمده‌فروش دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود قیمت معامله کشاورزان غیرقراردادی بعد از گذشت زمان اولیه و پایداری در مدل، کمتر از قیمت کشاورزان قراردادی است اما این موضوع باتوجه به هزینه حق عضویت کشاورزان قراردادی و محدودیت آن‌ها در سطح تولید محصول الزاماً به‌معنی زیان تمامی کشاورزان غیرقراردادی در مقایسه با کشاورزان قراردادی نیست. در این نمودار باتوجه به این‌که عمده‌فروشان در ابتدا باتوجه به این‌که محصولی در اختیار ندارند و به‌دنبال تأمین تقاضای مشتریان خود هستند؛ در مکانیزم پیشنهاد قیمت یک‌روند افزایش قیمت را در ابتدای اجرای مدل به‌وجود می‌آورند. در این شرایط همان‌طور که مشاهده می‌شود قیمت‌ها در انتهای اجرای مدل در سطوح مشخصی پایدار می‌شوند. دو نمودار پایانی g و h در شکل (۸) به‌ترتیب حجم کل محصول فروش رفته به‌تفکیک مبدأ فروش و حجم محصول عمده‌فروشان و کشاورزان و تقاضای مشتریان در مدل را نشان می‌دهند. همان‌طور که در بخش g مشاهده می‌شود ابتدا محصول فروش رفته کشاورزان قراردادی بیشتر است و سپس این مقدار باتوجه به افزایش تمایل به قراردادی شدن افزایش می‌یابد. نمونه بالا یک خروجی از مدل پیشنهادی در این مطالعه بود که باتوجه به تأثیر پارامترهای تصادفی و موقعیت مکانی هریک از عامل‌ها که به‌صورت تصادفی در دنیای مدل قرار می‌گیرند؛ متفاوت باشد. در بخش بعد با کمک‌گرفتن از روش‌های آماری می‌توانیم به بررسی و تحلیل نتایج مدل ارائه شده در این مطالعه بپردازیم.

۴-۱. اجرای نمونه محاسباتی

در این بخش به‌منظور بررسی اثرات سیاست‌های ایجاد اتحادیه‌های کشاورزی برای بررسی نقش هماهنگی در زنجیره‌تأمین در مقابله با نوسانات قیمت و عدم‌قطعیت‌های کشت تا برداشت محصول (مانند شرایط اقلیمی و تأثیر آن بر عملکرد محصول) برخی از پارامترهای ورودی مقادیر آن‌ها در چند حالت درنظر گرفته می‌شود تا بتوان به آنالیز آماری تأثیرگذاری آن‌ها بر روی نتایج پی برد. برای این منظور در این مطالعه، مشابه مطالعه کرجیسی و بومن [۶] برخی از ورودی های کلیدی را در سطوح مختلف به‌صورت متغیر درنظر گرفته و باتوجه به نتایج خروجی، اثرگذاری هریک را با کمک تحلیل آماری (ANOVA در سطح اطمینان ۹۵٪) بررسی می‌کنیم.

در این مطالعه برخی شاخصه‌های پایداری در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی را در برخی از تحقیقات گذشته مورد توجه واقع شده است و ما در این مطالعه بررسی می‌کنیم را می‌توان در چهار متوسط تعداد عامل‌های فعال در انتهای اجرای مدل (به‌منظور درک پایداری اقتصادی مدل در شرایط حذف عامل‌های ورشکست شده) [۴۳]، نسبت کشت محصول m (به‌منظور درک پایداری زنجیره‌تأمین محصول مورد نظر) [۴۴]، تعداد کشاورزان قراردادی (به‌منظور درک اهمیت سیاست هماهنگی در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی) [۶] و میانگین و انحراف معیار قیمت‌های معامله بین عوامل (به‌منظور درک پایداری اقتصادی زنجیره به‌جهت حفظ ثبات قیمت محصولات) [۴۵-۴۶] تعریف نمود.



شکل (۸): نمونه از نتایج مدل رائه شده در این مطالعه با پارامترهای ورودی $(ap = 20, \alpha = 0.7, r = 30, price.ctr = 2.5)$

ورودی‌های این شاخصه‌ها را می‌توان در عدم قطعیت تصمیمات هماهنگی کشاورزان (کشاورزی قراردادی)، عدم قطعیت در تصمیمات عامل‌ها متأثر از عوامل رفتاری و اجتماعی، عدم قطعیت در یادگیری عامل‌ها و نهایتاً عدم قطعیت در سیاست‌های قیمت‌گذاری طی مکانیزم پیشنهاد قیمت خلاصه نمود. بررسی تمامی جوانب این عدم‌قطعیت‌ها باتوجه به گستردگی مفروضات در آن‌ها بسیار پیچیده است و لذا ما در این مطالعه به‌طور مختصر به بررسی چند نمونه از آن‌ها در این بخش می‌پردازیم. برای بررسی نمونه‌ای از اثرات این عدم‌قطعیت‌ها، ترکیبات عامل‌های ورودی شامل حق عضویت کشاورزی قراردادی (ap)، ضریب تأثیر اهمیت عوامل رفتاری و اجتماعی عامل‌ها در تصمیم‌گیری (α)، شعاع تجربه‌پذیری هریک از عامل‌ها از یکدیگر (r) و حداقل قیمت خرید محصول توسط عمده‌فروش از کشاورز قراردادی (ps_{it}^{m}) را به‌عنوان نمایندگان چهار دسته عدم قطعیت اشاره شده بررسی می‌کنیم. لذا در این بخش با تکرار اجرای مدل برای ترکیبات مختلف پارامترهای ورودی، نتایج مدل را به‌لحاظ آماری و با کمک تحلیل واریانس بررسی می‌کنیم. به هریک از ورودی‌های چهارگانه اشاره شده، دو مقدار ورودی تخصیص داده می‌شود. لذا ۱۶ حالت برای مسأله درنظر می‌گیریم. برای هر دسته مقادیر ورودی بااستفاده از مفروضات ورودی جدول (۲)، تعداد ۸۰ تکرار اجرای فرایند مدل (تیک[۱]) با درنظر گرفتن شرایط توقف مدل درنظر گرفته شده که هریک از این ۱۶ حالت با ۸۰ تکرار اجرای فرایند مدل برای تحلیل نتایج ۳۰ بار تکرار می‌شود. درواقع به‌منظور تحلیل عملکرد عامل‌ها تحلیل آماری بر روی ۴۸۰ نتایج خروجی بررسی می‌شود. این تعداد مسأله پس از کدنویسی در قالب نرم‌افزاری Netlogo6.2 با بهره‌گیری از سیستم پردازنده Intel Core i5-6200U CPU with 2.30 GHz and 8.0 GB RAM در زمان 10894.11 ثانیه حل شد. هر مرحله زمانی یک مرحله رشد محصول رخ می‌دهد که می‌تواند معادل و معامله آن توسط عامل‌ها است.

۱. این دوره زمانی یک اجرای مدل و درواقع یک تیک (یک دوره زمانی در مدل‌سازی) در شبیه‌سازی مدل است. در مساله این مطالعه یک تیک شامل یک مرحله رشد محصول

بازه زمانی یک ماه درنظر گرفته شود. در طی این دوره چرخه تولید و توزیع محصول (کاشت، طی مراحل رشد و برداشت و حمل‌ونقل) و تصمیمات کشاورز (مانند فعالیت قراردادی و انتخاب محصول) انجام شده و درصورت برداشت محصول مکانیزم پیشنهاد قیمت و فروش محصول انجام می‌شود. همان‌طور که اشاره شد محصول در دوره چهارم برداشت می‌شود و سپس فرایندهای پیشنهاد قیمت و معامله رخ می‌دهد که در هر دوره زمانی تعداد زیادی "پیشنهاد" بین بازیگران انجام می‌شود. درواقع فرض می‌شود، تعداد زیادی پیشنهاد قیمت در انتهای یک دوره محصول رخ می‌دهد. پس از طی تکرار تعداد مشخصی از مکانیزم پیشنهاد این فرایند بسته و مجدداً تکرارهای مسأله وارد مرحله رشد بعدی محصول می‌شوند. در این مسأله ۱۵۰۰ اجرای مکانیزم پیشنهاد قیمت در هر دوره زمانی درنظر گرفته شده است. باتوجه به تعدد تکرارهای مسأله در بخش پیشنهاد قیمت مقدار ۱۵۰۰ اجرا برای تعدد تکرار مکانیزم پیشنهاد قیمت انتخاب شد تا زمان کافی برای رسیدن به قیمت تعادل بازار تضمین شود. جزئیات ترکیبات مختلف پارامترهای ورودی در بخش ذیل آورده شده است:

- **حق عضویت کشاورز (ap):**

حق عضویت کشاورز یا حق بیمه برای فعالیت قراردادی و عقد قرارداد با یک عمده‌فروش را دارای دو سطح کم (۲۰)، و زیاد (۹۰) درنظر می‌گیریم. این مقدار در طول اجرای تکرارهای مدل برای همه کشاورزان ثابت است. واضح است که مقادیر پایین این حق بیمه منجربه تمایل بیشتر کشاورزان به هماهنگی و مقادیر بالاتر آن منجر به افزایش تمایل کشاورزان به فعالیت مستقل می‌شود. از طریق تحلیل نتایج می‌توان نقش هماهنگی بر خروجی‌ها را بررسی نمود.

- **ضریب اهمیت اثرگذاری عوامل رفتاری و اجتماعی مؤثر بر تصمیم‌گیری عامل‌ها (α):**

باتوجه به تفاوت‌های شخصیتی و رفتاری عامل‌ها درخصوص تصمیم تغییر کشت محصول و تبدیل وضعیت به قرادادی در این بخش دو مقدار برای ضریب اهمیت اثرگذاری عوامل رفتاری و اجتماعی مؤثر بر تصمیم‌گیری عامل‌ها درنظر می‌گیریم. ترکیبات این عامل می‌تواند نماینده اثرات تصمیمات عامل‌ها براساس الگوهای غیرقابل پیش‌بینی رفتاری و اجتماعی باشد [۴۷]. برای بررسی ترکیبات این پارامتر در حال اول (۱) مقدار ۰/۷ و در حالت دوم (۲) ۱ را برای اهمیت این عوامل درنظر می‌گیریم. در حالت اول ۷۰٪ تصمیم‌گیری کشت و تغییر وضعیت قراردادی توسط عامل‌ها وابسته به برآورد اقتصادی آن‌ها خواهد بود و ۳۰٪ باقی‌مانده براساس نقش الگوهای غیرقابل پیش‌بینی رفتاری و اجتماعی عامل‌ها به‌صورت تصادفی درنظر گرفته می‌شود. اما در حالت دوم تصمیم عامل صرفاً (۱۰۰٪) براساس ارزیابی اقتصادی او خواهد بود.

- **شعاع تجربه‌پذیری هریک از عامل‌ها از یکدیگر (r):**

یادگیری عامل‌ها براساس کسب تجربه و به‌روزرسانی شاخص‌های تصمیم متأثر از آن یکی از مسائل مهم در تصمیم‌گیری عامل‌ها در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی است. برای بررسی اثر یادگیری در این مطالعه، با تغییر شعاع تجربه‌پذیری هریک از عامل‌ها از یکدیگر نتایج شبیه‌سازی بررسی می‌شود. مقدار این شاخص در حالت اول (۱) برابر ۳۰ و در حالت دوم (۲) ۳۵ درنظر گرفته شود. با افزایش این شعاع تأثیر یادگیری عامل‌ها از تجربیات عامل‌های مجاور بیشتر می‌شود.

- **حداقل قیمت خرید محصول توسط عمده‌فروش از کشاورز قراردادی ($ps_{it}^{m}price.ctr$):**

این پارامتر به‌عنوان یک سیاست در حمایت از کشاورزی قراردادی در مکانیزم پیشنهاد قیمت و تجارت بین عامل‌ها به‌صورت حداقل قیمت خرید تضمینی درنظر گرفته خواهد شد. برای این منظور در حالت اول این مقدار ۲/۵ و در حالت دوم مقدار ۳/۵ درنظر گرفته خواهد شد.

حال در ادامه برای بررسی نتایج حاصل از تغییرات در ترکیبات اشاره شده در بخش قبل چهار پارامتر معرف پایداری زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی را بررسی می‌کنیم. این چهار پارامتر خروجی شامل متوسط عامل‌های فعال در انتهای اجرای مدل (ac)، نسبت کشت محصول موردنظر نسبت به محصول جایگزین ($m\%$)، تعداد کشاورزان قراردادی (عضو اتحادیه‌های محلی کشاورزی) (cf)، میانگین قیمت و انحراف معیار قیمت‌های معامله ($price$) و ($s.dev$) بین عوامل اشاره شده در جدول (۳) مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بخش به معرفی و بررسی اهیمت هریک از این خروجی می‌پردازیم:

- **متوسط عامل‌های فعال در انتهای اجرای مدل (ac):**

براساس مفروضات مسأله که در بخش قبل ارائه شد، عامل‌ها در صورت ازدست دادن منابع و محصول خود برشکسته و از مدل حذف می‌شوند؛ در مورد این شاخص خروجی مدل؛ می‌توان ادعا کرد مدل پیشنهادی درصورت ازدست ندادن تعداد قابل توجه‌ای از عامل‌ها پس از طی دوره‌های متعدد کشت از پایداری برخوردار خواهد بود. بدیهی است ازآنجاکه مدل پیشنهادی یک زنجیره تشکیل می‌دهد در صورت عدم موفقیت یک نژاد از عامل‌ها، شرایط مطلوب برای سایر عامل‌ها نیز در ادامه مطلوب نخواهد ماند. به‌طور کلی عوامل مختلفی می‌تواند بر پایداری زنجیره دخیل باشد. اما می‌توانیم تحلیل آماری پارامترهای ورودی نقش آن‌ها را در پایداری زنجیره‌تأمین بسنجیم. به‌عنوان مثال می‌توان با تغییر در حق عضویت کشاورزی قراردادی (ap) و تغییر تمایل عامل‌ها در هماهنگی تصمیمات بایکدیگر، به اهمیت کشاورزی قراردادی در پایداری زنجیره پی برد.

- **نسبت کشت محصول موردنظر ($m\%$):**

این شاخص مبین نسبت کشاورزانی است که در انتهای اجرای مدل (افق زمانی بلندمدت در شکل‌گیری رفتار سیستم) به کشت محصول موردنظر m اقدام می‌کنند. در ابتدای اجرای مدل، این نسبت باتوجه به توزیع نرمال نوع محصول کشت شده در دوره‌های مختلف کشت ۵۰٪ (مطابق فرضیات جدول ۲) است. اما افزایش خروجی این شاخص تا مقدار ۱۰۰٪ می‌تواند مبین پایداری و ارزشمندی کشت محصول موردنظر باشد و بالعکس. براساس خروجی‌های این شاخص نقش یادگیری و هماهنگی‌های شکل گرفته از طریق کشاورزی قراردادی در پایداری زنجیره مشخص می‌شود. می‌توان انتظار داشت که هریک از عامل‌ها از طریق یادگیری برای افزایش تاب‌آوری و حفظ سودآوری خود در مقابله

با نوسانات قیمت و عدم قطعیت‌های کشت تا برداشت محصول اقدام به تغییر رویکردهای خود من‌جمله هماهنگی و تشکیل اتحادیه‌های محلی کشاورزی قراردادی و حمایت از تولید محصول m بدهند.

- **تعداد کشاورزان قراردادی (cf):**

این شاخص نشان‌دهنده تعداد کشاورزان قراردادی در انتهای اجرای مدل است. مقدار بیشتر این شاخص نشان‌دهنده تأمین بیشتر منافع عامل‌های کشاورز و عمده‌فروش در وضعیت قراردادی (ایجاد اتحادیه‌های محلی کشاورزی) است. این مقدار در ابتدای اجرای برنامه برابر ۱۰٪ جمعیت کشاورزان یعنی هفت کشاورز (مطابق فرضیات جدول (۲)) که با یکی از عمده‌فروشان تشکیل یک گروه کشاورزی قراردادی داده‌اند؛ می‌شود. همان‌طور که در بخش‌های قبل اشاره شده، کشاورزان و عمده‌فروشان از طریق یادگیری می‌توانند تصمیمات خود را در طی دوره‌های بعدی بهبود دهند و درنتیجه سودآوری بیشتر عامل‌های قراردادی، افزایش تعداد کشاورزان قراردادی رخ می‌دهد.

- **میانگین و انحراف معیار قیمت‌های معامله بین عوامل ($price$)، ($s.dev$):**

این شاخص مشخص‌کننده پایداری قیمت محصولات کشاورزی در تکرارهای مدل خواهد بود و نشان می‌دهد که درنهایت مدل در چه قیمت‌هایی به تعادل رسیده و منافع عامل‌ها را تأمین می‌کند. همچنین میزان انحراف معیار کمتر قیمت‌ها در اجراهای متعدد مدل مبین پایداری هرچه بیشتر زنجیره‌تأمین در برابر تغییرات مختلف غیرثابت و نامشخص مانند تغییرات فصلی آب‌وهوا و هزینه‌های تولید، نوسانات مخرب بازار و ... خواهد بود.

۴-۲. تحلیل نتایج نمونه محاسباتی

باتوجه به موارد اشاره شده، در این بخش به تحلیل نتایج خروجی نمونه مکانیزم مدل‌سازی پیشنهادی اجرا شده در نرم‌افزار Netlogo6.2 [۴۲] می‌پردازیم. برای این منظور برای شاخص‌های متوسط عامل‌های فعال، نسبت کشت محصول موردنظر و تعداد کشاورزان قراردادی خروجی آخرین دوره (تیک) مدل و برای شاخص‌های میانگین و انحراف معیار قیمت‌های معامله متوسط مقادیر خروجی مدل در ۳۰ بار اجرای مدل محاسبه شده است. مقادیر خروجی نهایی برای هر آزمایش از نظر آماری (بااستفاده از ANOVA و ارزیابی معناداری آماری در سطح اطمینان ۹۵٪) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، اطلاعات آنالیز واریانس هریک از پارامترها مطابق اطلاعات جدول (۳) ارائه شده است. همچنین نمودارهای تأثیرات متقابل پارامترهای ورودی و میانگین نتایج خروجی در آن تحلیل شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، تنها حق عضویت (ap) در سطح اطمینان ۹۵٪ بر روی تعداد عامل‌های فعال موثر است (p-value = 0.0). همچنین می‌توان گفت این عامل مهم‌ترین تأثیر را بر روی تعداد عامل‌های فعال دارد (F-value = 2508.98). علت این موضوع این است این پارامتر تأثیر مستقیم بر روی هزینه‌های قراردادی شدن کشاورزان دارد. در نمودار تقابل پارامترها نیز نتیجه قبلی مشخص است به‌طوری‌که تعداد عامل‌های فعال را از حدود ۸۰ (مقدار اولیه این شاخص مطابق داده‌های اولیه جدول (۲) در ابتدای هر اجرا ۸۰ عامل شامل ۱۰ عمده‌فروش و ۷۰ کشاورز است.) به‌طور متوسط به سطح ۶۰ عامل فعال می‌رساند. همچنین حق عضویت (ap) (p-value = 0.0) و شعاع تجربه‌پذیری عامل‌ها از یکدیگر (r) (p-value = 0.01) براساس نتایج آنالیز واریانس بر روی نسبت کشت محصول موردنظر ($m\%$) موثراند. در این پارامتر هم تأثیر زیادی از افزایش حق عضویت (ap) می‌پذیرد (F-value = 90.48) و مطابق نمودار تقابل پارامترها با افزایش آن نسبت کشت محصول m از حدود ۰/۸ به حدود ۰/۶ کاهش می‌یابد. باید درنظر داشت در حالت پیش‌فرض و اولیه باتوجه به تصادفی بودن تصمیم کشاورزان برای انتخاب محصول این نسبت برابر ۰/۵ است؛ و افزایش حق عضویت قراردادی با افزایش هزینه هماهنگی بین کشاورزان و افزایش شعاع تجربه‌پذیری جذابیت کشت محصول m را کاهش می‌دهند، هرچند به‌طور توسط جذابیت کشت محصول غالب می‌ماند. در مورد شاخص خروجی تعداد کشاورزان قراردادی (cf) نتایج براساس تحلیل آماری جدول (۳) به سه شاخص حق عضویت (ap) (p-value = 0.0)، شعاع تجربه‌پذیری عامل‌ها از یکدیگر (r) (p-value = 0. 005) و ضریب اهمیت اثرگذاری عوامل رفتاری و اجتماعی مؤثر بر تصمیم‌گیری عامل‌ها (α) (p-value = 0.047) وابسته است.

یکی دیگر از شاخص‌های مهم مورد تحلیل میانگین قیمت‌های معامله بین عامل‌ها ($price$) است. همان‌طور که اطلاعات آنالیز واریانس در جدول (۳) نشان می‌دهد، هر چهار عامل ($ap, \alpha, r, price.ctr$) در این شاخص اثر گذاراند و بیشترین تأثیر هم مربوط به پارامتر حق عضویت (ap) و حداقل قیمت تضمینی ($price.ctr$) میان عمده‌فروشان و کشاورزان قراردادی است. درواقع براساس اطلاعات نمودار تقابل پارامترها بر روی میانگین قیمت در جدول (۳) تغییرات میانگین قیمت‌های معامله با تغییرات هر چهار پارامتر ورودی ($ap, \alpha, r, price.ctr$) رابطه مستقیم دارد و میانگین قیمت را از حوالی ۳/۶ به ۴/۲ افزایش می‌دهد.

درنهایت یافته‌های تحلیل آماری مؤید تأثیر پارامترهای ورودی سه عامل $ap, \alpha, price.ctr$ بر روی شاخص میانگین انحراف معیار قیمت‌های معامله بین عامل‌ها ($s.dev$) هستند. در این شاخص پارامتر شعاع تجربه‌پذیری عامل‌ها از یکدیگر (r) با مقدار p (p-value = 0.056) کمترین اثرگذاری را دارد که تأثیر آن در سطح اطمینان ۹۰٪ می‌تواند پذیرفته شود. همان‌طور که در نمودار تقابل پارامترها بر روی میانگین انحراف معیار قیمت‌های معامله بین عامل‌ها ($s.dev$) دیده می‌شود، افزایش پارامتر حق عضویت (ap) و درواقع بالابردن هزینه هماهنگی کشاورزان ازآنجاکه منجربه کاهش نسبت کشت محصول m، کاهش تعداد کشاورزان قراردادی، افزایش میانگین قیمت معامله و کاهش انحراف معیار در قیمت کشاورزان قراردادی می‌شود. لذا براساس نمودار تقابل پارامترها بر روی میانگین و انحراف معیار قیمت معامله، افزایش پارامتر حق عضویت (ap) قیمت محصول را افزایش می‌دهد اما از انحراف معیار قیمت می‌کاهد. در این مورد قیمت حمایتی ($price.ctr$) با انحراف معیار قیمت معامله رابطه عکس و با شعاع

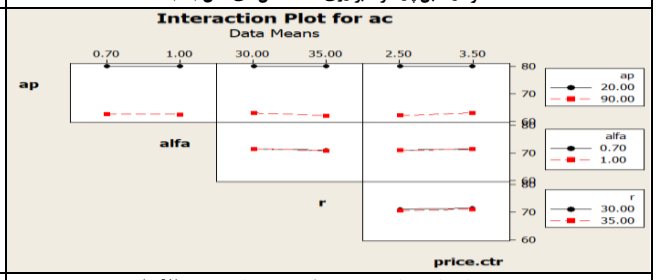
تجربه‌پذیری (r) و ضریب اهمیت اثرگذاری عوامل رفتاری و اجتماعی مؤثر بر تصمیم‌گیری عامل‌ها (α) رابطه مستقیم دارد.

جدول (۳): آنالیز واریانس نتایج خروجی مدل ارائه شده

آنالیز واریانس تعداد عامل‌های فعال (ac)

Source	DF	SS	MS	F	P
ap	1	36837.6	36837.6	2508.98	0.000
alfa	1	0.4	0.4	0.02	0.877
r	1	25.7	25.7	1.75	0.187
price.ctr	1	24.8	24.8	1.69	0.195
Error	475	6974.1	14.7		
Total	479	43862.4			

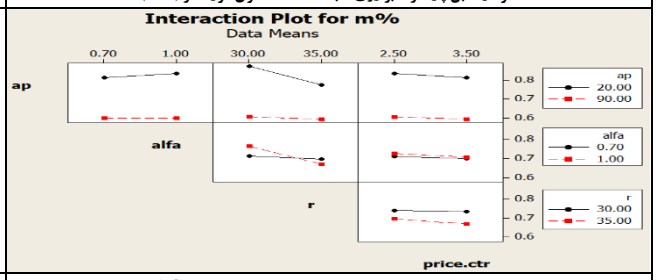
نمودار تقابل پارامترها بر روی تعداد عامل‌های فعال (ac)



آنالیز واریانس نسبت کشت محصول موردنظر ($m\%$)

Source	DF	SS	MS	F	P
ap	1	5.9949	5.9949	90.48	0.000
alfa	1	0.0172	0.0172	0.26	0.611
r	1	0.3701	0.3701	5.59	0.019
price.ctr	1	0.0308	0.0308	0.46	0.496
Error	475	31.4728	0.0663		
Total	479	37.8857			

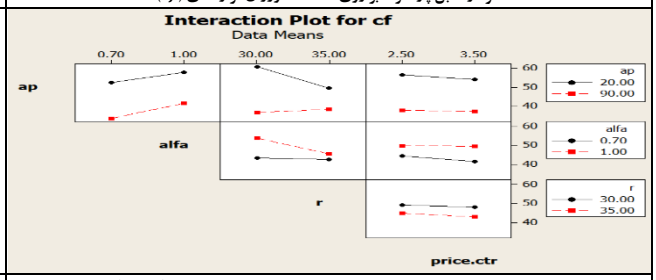
نمودار تقابل پارامترها بر روی نسبت کشت محصول موردنظر ($m\%$)



آنالیز واریانس تعداد کشاورزان قراردادی (cf)

Source	DF	SS	MS	F	P
ap	1	37648	37648	56.26	0.000
alfa	1	5434	5434	8.12	0.005
r	1	2656	2656	3.97	0.047
price.ctr	1	287	287	0.43	0.513
Error	475	317852	669		
Total	479	363876			

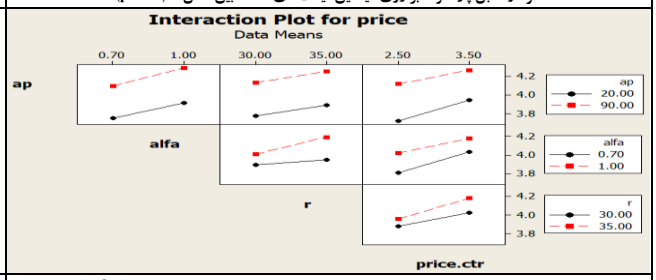
نمودار تقابل پارامترها بر روی تعداد کشاورزان قراردادی (cf)



آنالیز واریانس میانگین قیمت‌های معامله بین عامل‌ها ($price$)

Source	DF	SS	MS	F	P
ap	1	15.4645	15.4645	84.93	0.000
alfa	1	3.8177	3.8177	20.97	0.000
r	1	1.6871	1.6871	9.27	0.002
price.ctr	1	4.3004	4.3004	23.62	0.000
Error	475	86.4873	0.1821		
Total	479	111.7571			

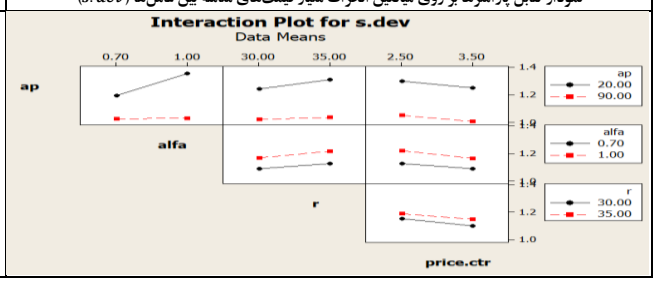
نمودار تقابل پارامترها بر روی میانگین قیمت‌های معامله بین عامل‌ها ($price$)



آنالیز واریانس میانگین انحراف معیار قیمت‌های معامله بین عامل‌ها ($s.dev$)

Source	DF	SS	MS	F	P
ap	1	7.426	7.426	132.57	0.000
alfa	1	0.8442	0.8442	15.07	0.000
r	1	0.2052	0.2052	3.66	0.056
price.ctr	1	0.2689	0.2689	4.8	0.029
Error	475	26.6076	0.056		
Total	479	35.3519			

نمودار تقابل پارامترها بر روی میانگین انحراف معیار قیمت‌های معامله بین عامل‌ها ($s.dev$)



۵. نتیجه و جمع‌بندی

در این مطالعه یک مدل عامل بنیان زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی با درنظرگرفتن کشاورزی قراردادی، تنوع اقلیمی و مکانیزم پیشنهاد قیمت بررسی گردید. عوامل این مطالعه شامل کشاورزان، عمده‌فروشان و فروشندگان درنظر گرفته شدند. این عوامل به‌طور مستقل به‌دنبال دستیابی به اهداف فردی خود باتوجه به تجربه کسب شده در ارتباط با سایر عوامل هستند و برای تولید، توزیع و خرید محصولات کشاورزی بایکدیگر ارتباط و رقابت دارند. در این مطالعه قیمت محصولات در یک مکانیزم رقابتی پیشنهاد قیمت تعیین (کشف قیمت باتوجه به پیشنهاد و به‌روزرسانی قیمت در پیشنهادات متوالی قیمت بین عامل‌ها که با تأثیرپذیری از کشش عرضه و تقاضا شکل می‌گیرد) و برای انتقال آن بین عوامل هزینه حمل‌ونقل به آن اضافه می‌شود.

هریک از کشاورزان برای کسب منافع خود می‌تواند منابع خود را براساس تجربه خود و سایر کشاورزان همسایه به کشت محصول تخصیص دهد. کشاورزان همچنین می‌تواند با نزدیک‌ترین عمده‌فروش وارد قرارداد همکاری شود، در مقابل عمده‌فروش متعهد به خرید محصول با حداقل قیمت حمایتی خواهد بود. عمده‌فروشان نیز در مکانیزمی مشابه برای قراردادی عمل‌کردن خود تصمیم‌گیری می‌کنند و درنهایت فروشندگان نیز سعی دارند تقاضای خود را با کمترین هزینه تأمین کنند.

براساس آنچه در این مطالعه بیان شد، باتوجه به ماهیت خودمختاری و استقلال بازیگران در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی، نتایج سیستم از برآیند رفتارهای فردی عامل‌ها ظهور می‌کند. در مدل ارائه شده در این مطالعه با کمک ابزار شبیه‌سازی عامل بنیان و تکرار اجرای آن تحت مقادیر مختلفی از ورودی‌ها به‌عنوان سیاست‌های اعمال شده در سیستم پیچیده و تحلیل آماری نقش این سیاست‌های ارزیابی می‌شوند.

براساس تحلیل آماری صورت گرفته در این مطالعه، می‌توان اثر کشش تقاضا و قیمت را بر روی سطوح مختلف زنجیره مشاهده نمود که مؤید اهمیت سودآوری کشاورزان در تأمین پایدار محصولات کشاورزی در زنجیره است. همچنین نتایج تحلیل آماری نشان داد که با کاهش جذابیت کشاورزی قراردادی و کاهش جذابیت اتحادیه محلی کشاورزی (افزایش هزینه فعالیت قراردادی بودن با افزایش حق عضویت قراردادی) در تجارت کشاورزان و عمده‌فروشان، به‌تدریج در نوسانات قیمتی مقطعی ناشی از تأثیر عدم‌قطعیت‌های وجود در بازار و محیط مانند تغییرات فصلی آب‌وهوایی و قیمت، منابع مالی خود را ازدست می‌دهند و ورشکسته می‌شوند. همچنین این نتایج نشان داد که ایجاد قیمت‌های حمایتی تحت عنوان خرید تضمینی و عوامل رفتاری و اجتماعی مؤثر بر تصمیم‌گیری عامل‌ها نقش مهمی در پایداری قیمت و کنترل نوسانات آن در زنجیره‌تأمین محصولات کشاورزی دارد. به‌علاوه شعاع تجربه‌پذیری عامل‌ها براساس نتایج آنالیز واریانس خروجی مدل می‌تواند بر روی میانگین قیمت محصولات اثر داشته باشد.

به‌کارگیری چنین الگوهایی در برنامه‌ریزی محصولات کشاورزی می‌تواند راهکارهای مناسبی برای پایداری اقتصادی سیستم اقتصادی در این بخش پیشنهاد دهد و ارزیابی دقیق‌تری از سیاست‌های کلان اعمال شده در این حوزه را تحلیل نماید. کاربرد این مطالعه می‌تواند برای سیاست‌گذاری ایجاد اتحادیه‌های کشاورزی (برای بررسی نقش هماهنگی در زنجیره‌تأمین در مقابله با نوسانات قیمت و عدم‌قطعیت‌های کشت تا برداشت محصول مانند شرایط اقلیمی و تأثیر آن بر عملکرد محصول) و در وزارت جهاد کشاورزی برای اتخاذ رویکردها و سیاست‌های حفظ پایداری اقتصادی زنجیره‌های تأمین کشاورزی در سطح کلان مانند ترویج کشاورزی قراردادی و توسعه تجربه کشاورزان قراردادی موفق برای پایداری بیشتر و جلوگیری از زیان کشاورزان کوچک در نوسانات قیمت و یا توسعه سیاست بیمه کشاورزی (مشابه برخورداری از قیمت خرید تضمینی و تأثیر آن بر تصمیم کشاورزان خرد و تأمین امینت غذایی بسیار مؤثر باشد. تحقیقات آتی می‌تواند در این راستا با افزایش فرضیات در تصمیم‌گیری‌های پیشنهاد قیمت و افزودن مفروضات تخصصی کشاورزی و اقلیمی مانند میزان دسترسی به منابع کشاورزی (مانند آب و تخصص عامل‌ها و ...) توسعه یابد.

مراجع

[1] Grösser, S. N. (2017). Complexity management and system dynamics thinking *Dynamics of Long-Life Assets* (pp. 69-92): Springer, Cham.

[2] Krejci, C. C. (2014). *Complex Adaptive Food Supply Systems*.

[3] Higgins, A., Miller, C., Archer, A., Ton, T., Fletcher, C., & McAllister, R. Challenges of operations research practice in agricultural value chains. *Journal of the Operational Research Society, 61*(6), 964-973. (2010)

[4] Chebolu-Subramanian, V., & Gaukler, G. M. Product contamination in a multi-stage food supply chain. *European Journal of Operational Research, 244*(1), 164-175. (2015)

[5] Busby, J. S., Onggo, B. S., & Liu, Y. Agent-based computational modelling of social risk responses. *European Journal of Operational Research, 251*(3), 1029-1042. (2016)

[6] Krejci, C., & Beamon, B. Impacts of farmer coordination decisions on food supply chain structure. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 18*(2), 19. (2015)

[7] Macal, C. M., & North, M. J. (2005). *Tutorial on agent-based modeling and simulation.* Paper presented at the Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005.

[8] Crooks, A. T., & Heppenstall, A. J. (2012). Introduction to agent-based modelling *Agent-based models of geographical systems* (pp. 85-105): Springer.

[9] Luna, F., & Stefansson, B. (2000). *Economic Simulations in Swarm: Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming: Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming* (Vol. 14): Springer Science & Business Media.

[10] Gustafsson, L., & Sternad, M. Consistent micro, macro and state-based population modelling. *Mathematical biosciences, 225*(2), 94-107. (2010)

[11] Gómez-Cruz, N. A., Saa, I. L., & Hurtado, F. F. O. Agent-based simulation in management and organizational studies: a survey. *European Journal of Management and Business Economics*. (2017)

[12] Thunem, A.-J. (2009). A survey of organization studies relevant to safety and dependability *Reliability, Risk, and Safety, Three Volume Set* (pp. 789-794): CRC Press.

[13] Bichraoui, N., Guillaume, B., & Halog, A. Agent-based modelling simulation for the development of an industrial symbiosis-preliminary results.

[30] Hajimirzajan, A., Pirayesh, M., & Dehghanian, F. Developing a Supply Chain Planning Model for Perishable Crops. *Journal of Production and Operations Management, 6*(1), 35-60. (2015)
[31] Haji-Mirzajan, A., Pirayesh-Neghab, M., & Faal, F. (2013). *Introducing dynamic supply chain model for agricultural products with quality consideration*. Paper presented at the Proceeding of the Nineth International Conference on Industrial Engineering, Khajeh Nasir al-Din Tusi University of Technology, Faculty of Industrial Engineering, Tehran, Iran.
[32] Kremmydas, D., Athanasiadis, I. N., & Rozakis, S. A review of agent based modeling for agricultural policy evaluation. *Agricultural Systems, 164*, 95-106. (2018)
[33] Huber, R., Bakker, M., Balmann, A., et al. Representation of decision-making in European agricultural agent-based models. *Agricultural Systems, 167*, 143-160. (2018)
[34] Krejci, C. C., & Beamon, B. M. (2012). *Modeling food supply chains using multi-agent simulation.* Paper presented at the Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC).
[35] Nguyen, H. K., Chiong, R., Chica, M., Middleton, R., & Pham, D. T. K. Contract Farming in the Mekong Delta's Rice Supply Chain: Insights from an Agent-Based Modeling Study. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 22*(3). (2019)
[36] Ng, D. W. Structural change in a food supply chain. *International Food and Agribusiness Management Review, 11*(1030-2016-82711), 17-48. (2008)
[37] He, Z., Wang, S., & Cheng, T. Competition and evolution in multi-product supply chains: An agent-based retailer model. *International Journal of Production Economics, 146*(1), 325-336. (2013)
[38] Ross, R. B., & Westgren, R. E. An agent-based model of entrepreneurial behavior in agri-food markets. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie, 57*(4), 459-480. (2009)
[39] Ross, R. B. Entrepreneurial behavior in agri-food supply chains: the role of supply chain partners. *Journal on Chain and Network Science, 11*(1), 19-30. (2011)
[40] Krejci, C. C., Stone, R. T., Dorneich, M. C., & Gilbert, S. B. Analysis of food hub commerce and participation using agent-based modeling: integrating financial and social drivers. *Human factors, 58*(1), 58-79. (2016)
[41] Jansson, J. O. (2013). *The economics of services: Microfoundations, development and policy*: Edward Elgar Publishing.
[42] Wilensky, U. (1999). NetLogo (Version 6.2). Evanston, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. Retrieved from http://ccl.northwestern.edu/netlogo/
[43] Alfi, V., Cristelli, M., Pietronero, L., & Zaccaria, A. Minimal agent based model for financial markets II. *The European Physical Journal B, 67*(3), 399-417. (2009)
Procedia Environmental Sciences, 17, 195-204. (2013)
[14] Macal, C. M. Agent-based modeling and artificial life. *Complex Social and Behavioral Systems: Game Theory and Agent-Based Models*, 725-745. (2020)
[15] Crooks, A., Heppenstall, A., & Malleson, N. Agent-based modeling. (2018)
[16] Niazi, M., & Hussain, A. Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based models: a visual survey. *Scientometrics, 89*(2), 479-499. (2011)
[17] Long, Q. Data-driven decision making for supply chain networks with agent-based computational experiment. *Knowledge-Based Systems, 141*, 55-66. (2018)
[18] Rubinstein, A., & Dalgaard, C.-j. (1998). *Modeling bounded rationality*: MIT press.
[19] Simon, H. A. Bounded rationality and organizational learning. *Organization science, 2*(1), 125-134. (1991)
[20] Simon, H. A. (1997). *Models of bounded rationality: Empirically grounded economic reason* (Vol. 3): MIT press.
[21] Gigerenzer, G., & Selten, R. (2002). *Bounded rationality: The adaptive toolbox*: MIT press.
[22] Todd, P. M., & Gigerenzer, G. Bounding rationality to the world. *Journal of Economic Psychology, 24*(2), 143-165. (2003)
[23] Hajimirzajan, A., Vahdat, M., Sadegheih, A., Shadkam, E., & El Bilali, H. An integrated strategic framework for large-scale crop planning: sustainable climate-smart crop planning and agri-food supply chain management. *Sustainable Production and Consumption, 26*, 709-732. (2021)
[24] Utomo, D. S., Onggo, B. S., & Eldridge, S. Applications of agent-based modelling and simulation in the agri-food supply chains. *European Journal of Operational Research, 269*(3), 794-805. (2018)
[25] Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo*: Mit Press.
[26] Borodin, V., Bourtembourg, J., Hnaien, F., & Labadie, N. Handling uncertainty in agricultural supply chain management: A state of the art. *European Journal of Operational Research, 254*(2), 348-359. (2016)
[27] Jagustović, R., Zougmoré, R. B., Kessler, A., Ritsema, C. J., Keesstra, S., & Reynolds, M. Contribution of systems thinking and complex adaptive system attributes to sustainable food production: Example from a climate-smart village. *Agricultural Systems, 171*, 65-75. (2019)
[28] Key, N. How much do farmers value their independence? *Agricultural Economics, 33*(1), 117-126. (2005)
[29] Handayati, Y., Simatupang, T. M., & Perdana, T. Agri-food supply chain coordination: the state-of-the-art and recent developments. *Logistics Research, 8*(1), 1-15. (2015)

[44] HE, Y.-b., & CAI, W.-m. Linking a farmer crop selection model (FCS) with an agronomic model (EPIC) to simulate cropping pattern in Northeast China. *Journal of integrative agriculture, 15*(10), 2417-2425. (2016)

[45] Chang, X., Li, J., Rodriguez, D., & Su, Q. Agent-based simulation of pricing strategy for agri-products considering customer preference. *International Journal of Production Research, 54*(13), 3777-3795. (2016)

[46] Handayati, Y., Simatupang, T. M., Perdana, T., & Siallagan, M. A simulation of contract farming using agent based modeling. *Journal of Operations and Supply Chain Management, 9*(2), 28-48. (2016)

[47] Vattam, S. S., Goel, A. K., & Rugaber, S. (2011). *Behavior patterns: Bridging conceptual models and agent-based simulations in interactive learning environments.* Paper presented at the 2011 IEEE 11th International Conference on Advanced Learning Technologies.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2021, Volume 9., No. 18., pp. 153-177
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/IER.2021.24422.2033

Selected Paper of the 17th International Conference on Industrial Engineering

Assessing the Economic Sustainability of the Agricultural Supply Chain by Considering Contract Farming, Climatic Diversity, and Price Bidding Mechanism; An Agent-based Modeling

A. Hajimirzajan[1], M. Vahdat [2*], A. Sadegheih [3]

1. PhD student in Industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

2. Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

3. Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 10 July 2021
Accepted 08 September 2021

***Keywords*:**

Agri-Food Supply Chain
Contract Farming
Farmers coordination
Simulation
Agent-Based modeling

ABSTRACT

Today, due to the intelligent nature of each agent, agent-based simulation has become an effective tool for predicting many complex systems between independent agents. These complex systems exhibit behaviors that cannot be inferred from the behavior of the components alone, and each experience of the system may lead to different results.In this study, the Agricultural Supply Chain (ASC) is examined as one of these systems in which agents try to make the best decisions to maximize their benefits through learning from the environment. Agents of this study include farmers, wholesalers, and sellers who independently seek to achieve their individual goals in competing with other agents. The price of crops is determined in a competitive bidding price mechanism. Each farmer can allocate his resources to cultivate a particular crop based on his own and other neighboring farmers experience. They can also become a contract farmer with the nearest wholesaler. Wholesalers decide on a similar mechanism for their contract operation. Eventually, sellers try to meet their demand at the lowest cost. The statistical analysis results showed that as the attractiveness of conventional agriculture in the supply chain decreases, they gradually lose their financial resources and go bankrupt in price fluctuations due to the impact of uncertainties in the market and the environment. These results also showed that the creation of supportive prices and the effects of behavioral and social patterns of agents play an important role in price stability and control of fluctuations in ASC.

[*] Corresponding author. M. Vahdat

Tel.:035-3123406; E-mail address: mvahdat@yazd.ac.ir