شبیه‌سازی تغییرات پوشش کاربری اراضی کشاورزی با استفاده از سامانه‌های چندعامله مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی (MP-MAS) در شهرستان بابلسر

کمال عطایی سلوط[۱]، احمدعلی کیخا[۱*]، محمود احمدپور[۱]، سامان ضیائی[۱] و فرهاد حسینعلی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۲۰

چکیده

با توجه به نگرانی‌ها در مورد تغییرات زیست‌محیطی، تغییرات پوشش کاربری اراضی در دهه‌های اخیر مورد توجه جدی قرار گرفته است. یکی از رویکردهای مشهور در زمینه شبیه‌سازی، الگوسازی مبتنی بر عامل (ABM) است. ABM مجموعه‌ای از الگوهای محاسباتی برای شبیه‌سازی کنش و واکنش‌های عامل‌های خودمختار است. هدف از این پژوهش در سال ۱۳۹۵، شبیه‌سازی وضعیت تغییرات پوشش کاربری اراضی کشاورزی شهرستان بابلسر در ۳۰ سال آتی با استفاده از سامانه‌های چندعامله مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی (MP-MAS) است. نتایج نشان دادند که محصولات دیم منطقه از الگوی کشت منطقه حذف خواهد شد و توسعه کشت مکانیزه محصول شلتوک رخ خواهد داد. سطح زیر کشت محصولات باغی منطقه از ۳۱۹۵ هکتار کنونی به بیش از ۵۵۸۵ هکتار رشد خواهد کرد. نتایج، کمکی شایان به مدیرانِ دارای نگاه استراتژیک به آینده تغییرات پوشش کاربری اراضی کشاورزی، خواهند کرد چراکه بازخورد سیاست‌ها و تصمیم‌های اقتصادی خود را می‌توانند شبیه‌سازی کنند.

طبقه‌بندی JEL: C53، C63، H32، Q12.

واژه‌های کلیدی: الگوسازی مبتنی بر عامل (ABM)، بابلسر، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)، تغییر پوشش کاربری اراضی(LUCC)، سامانه‌های چندعامله مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی (MP-MAS).

---

[۱]- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استادیار و استادیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل.

[۲]- استادیار عمران دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران.

*- نویسنده مسئول مقاله: a.keikha67@gmail.com

پیش‌گفتار

بهره‌برداری بی‌رویه، نابخردانه و ناپایدار از منابع، بشر را در سده ۲۱ با چالش‌هایی گوناگون در مورد ۳ منبع زمین، آب و هوا، از جمله تغییرات آب‌وهوایی و زیست‌محیطی، کاهش بهره‌وری محصولات کشاورزی و افزایش گرسنگی، سوء تغذیه و بیماری روبه‌رو کرده است. این موضوع، با توجه به چشم‌انداز افزایش جمعیت جهان به ۹ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰، همچنان ادامه خواهد داشت و در صورت نبود چاره‌اندیشی، بشر را با چالشی گسترده‌تر رویارو خواهد کرد (بانک جهانی، ۲۰۱۰؛ فائو، ۲۰۱۳). اراضی کشاورزی موجود با تبدیل منابع طبیعی دیگر مانند جنگل و مرتع در سالیان دراز و با صرف منابع فراوان همچون نیروی انسانی، هزینه و وقت بوجود آمده‌اند. شکل‌گیری این اراضی با هدف ایجاد فضای کشت و کار، مستلزم در فرآیندی چند صدساله و زمان‌بر است، بر این اساس، اراضی کشاورزی منابع بسیار با ارزش و محدودی هستند و نیاز به این اراضی برای تأمین نیازمندی‌های جمعیت در حال رشد، اهمیت آن را بیش از پیش نمایان می‌سازد. در این راستا، لزوم حفظ و نگهداری از این گونه اراضی به دلیل اهمیت محصولات کشاورزی، از نظر اقتصادی و برطرف کردن نیازهای معیشتی جمعیت، امری طبیعی و البته، ضروری است (احمدپور و علوی، ۱۳۹۳).

پوشش کاربری اراضی[1] و کاربری اراضی[2] دو عنصر کلیدی هستند که وضع محیط را در ارتباط با فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های بشر نشان می‌دهند. پوشش کاربری LUCC اراضی به پوشش گیاهی (طبیعی یا مصنوعی) یا سازه‌های ساخته بشر که روی سطح زمین قرار دارند اشاره دارد (فائو، ۱۹۹۴)؛ در حالی که کاربری اراضی به وضعیت خصوصیات بیوفیزیکی زمین دستکاری‌شده و نیز هدف از به‌کارگیری زمین اشاره دارد (ترنر و همکاران، ۱۹۹۵). با توجه به تغییرات روزافزون در پوشش و کاربری اراضی و ضرورت آگاهی مدیران و کارشناسان از چگونگی تغییر و تحولات رخ داده برای سیاست‌گذاری و چاره‌اندیشی برای رفع مشکل موجود، مشخص کردن روند تغییرات در طول زمان ضروری به نظر می‌رسد (پارکر و همکاران، ۲۰۰۳). آگاهی از نوع و درصد کاربری و پوشش‌های گوناگون، نیازی بنیادی جهت شناخت و مدیریت یک منطقه است (اسلمی و همکاران، ۱۳۹۳). از سوی دیگر، پیش‌بینی و الگوسازی تغییرات آینده نیز برای آگاهی از کمیت و کیفیت تغییرات احتمالی آینده اهمیت دارد؛ بنابراین پیش‌بینی تغییرات، لازمه مراقبت از یک اکوسیستم بویژه در مناطقی با تغییرات سریع و اغلب بدون برنامه‌ریزی در کشورهای در حال توسعه است (لمبین، ۱۹۹۷؛ استفان و لمبین، ۲۰۰۱). روش‌های بسیار متنوعی برای الگوسازی تغییرات پوشش

---

[1]- Land Use Cover
[2]- Land-Use

و کاربری اراضی نظیر ABSTRACT، CATHSCAPE، IMT، SIM، ECECMOD، LUDAS، PALM، SAM و MP-MAS وجود دارد که توضیح آن‌ها خارج از بحث این مطالعه است. سیستم‌های چندعامله مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی (MP-MAS) (شرینماکرز و برگر، ۲۰۱۱) یک بسته‌ی نرم‌افزاری برای الگوسازی مبتنی بر عامل (ABM)[1] است که بر مناسبات اقتصاد کشاورزی در الگوسازی بازگشتی مزرعه و انطباق سیستم‌های خرد استوار است. در پی نخستین کاربرد آن در تجزیه و تحلیل تجارت آزاد در شیلی (برگر، ۲۰۰۱)، MPMAS در مطالعاتی متنوع در جهان نظیر گسترش نوآوری (شرینماکرز و همکاران، ۲۰۱۰)، حفاظت خاک (مارون و همکاران، ۲۰۱۳؛ گوانگ و همکاران، ۲۰۱۴) مصرف آب آبیاری (آرنولد و همکاران، ۲۰۱۵)، استفاده از حشره‌کش‌ها (بن وارس و همکاران، ۲۰۱۶)، اثرات اقلیم (ووسن و همکاران، ۲۰۱۴؛ تروست و همکاران، ۲۰۱۵) و تجزیه و تحلیل سیاستی (تروست و همکاران، ۲۰۱۵) بکار گرفته شده است که به مرور برخی مطالعات بهره گرفته از این روش پرداخته می‌شود. شرینماکر و همکاران در سال ۲۰۰۹ تغییرات کاربری اراضی را در ۱۴۰ کیلومتر مربع از نواحی شمالی آبخیز کوهستانی تایلند با استفاده ترکیبی از الگوهای MP-MAS و اقتصادسنجی مورد بررسی قرار دادند. MP-MAS در این منطقه با هدف بررسی اثرات نوآوری‌های گوناگون بر سودآوری درختان لیتچی[2] و طراحی گسترش گلخانه‌های کشاورزی در شرایط گوناگون بکار رفت. اهداف این مطالعه هم روش‌شناختی و هم تجربی بوده است. از جنبه روش‌شناختی، نشان داد که الگوی اقتصادسنجی برآوردشده برای رفتار خانوار کشاورز برای طراحی و پارامترسازی الگوی مبتنی بر عامل مفید است. از جنبه تجربی، شبیه‌سازی نشان داد که اگر سپردن وثیقه نیاز نبود، پذیرش گلخانه در بخش بالایی حوضه آبخیز، تا ۷۷ درصد خانوارهای کشاورز در سال ۲۰۲۰ می‌رسید، اما در شرایط کنونی ۳۶ درصد خواهد بود. برگر و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود با مدل‌سازی بیولوژیکی تصادفی در منطقه مورد مطالعه اتیوپی، سوالی مطرح کردند مبنی بر این‌که آیا کشاورزان خرده‌پا می‌توانند خود را تغییرات آب و هوایی تطبیق دهند و چه مداخلات سیاستی می‌تواند در این امر مؤثر واقع شود. در این مطالعه از سیستم‌های چندعامله مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی (MPMAS) بمنظور بررسی تصمیم‌های پیوسته تولید و مصرف در سطح خانوار، با در نظر گرفتن فروش دام و اکالیپتوس برای پرداخت هزینه‌های مصرفی و نیز واکنش‌های کشاورزان به مداخلات سیاستی استفاده شده است.

والبوئنا و همکاران (۲۰۱۰)، از الگوسازی مبتنی بر عامل برای تعیین منظر زمین در سطح منطقه‌ای استفاده کردند. در گام نخست، در این مطالعه، چارچوب مفهومی الگوسازی مبتنی بر

---

[1]- Agent-Based Modeling (ABM)
[2]- Litchi

عامل برای تجزیه و تحلیل و کاوش در فرآیندهای تغییرات پوشش کاربری زمین (LUCC)[1] تشریح شد. در گام دوم، چارچوب مفهومی با استفاده از ترکیب مفاهیم گوناگونی نظیر توپولوژی عامل، خط سیر (مسیر) مزرعه[2] و احتمال‌های فرآیندهای تصمیم‌گیری ارائه شد. در نهایت، این چارچوب در قالب یک مثال در هلند، ارائه شد که خط سیر مزرعه، گسترش مزرعه و گوناگونی مزرعه به عنوان ساختار منظر در آن ترسیم شده است. شرینماکر و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از MPMAS کاهش حاصلخیزی خاک و پویایی فقر را در ۱۲ کیلومتر مربع (شامل ۵۲۰ خانوار) جنوب شرقی کشور اوگاندا مورد بررسی قرار دادند. الگوی MP-MAS بمنظور شبیه‌سازی ترکیبی گسترش بهبود واریته‌های ذرت و وام‌های کوتاه‌مدت و بررسی اثرات آن بر فقر و حاصلخیزی خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که لازم است تا یک کاهش اساسی در فقر به وجود آید هر چند که شیوع فقر در سطح بالایی باقی می‌ماند و این نوآوری معرفی شده به تنهایی، اثر کمی بر پایداری اکولوژیکی بلندمدت سامانه (سیستم)[3] دارد. در بررسی مطالعات داخلی مشخص شد که الگوی MP-MAS تا به حال مورد استفاده قرار نگرفته است. تنها مطالعه داخلی شبیه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از الگوسازی مبتنی بر عامل، پژوهش حسینعلی و همکاران (۱۳۹۱) بوده که در آن به توسعه الگویی مبتنی بر عامل برای شبیه‌سازی گسترش کاربری اراضی شهری در شهرستان قزوین پرداخته شده است. در این الگو، توسعه‌دهندگان زمین به صورت عامل‌هایی در نظر گرفته شدند که در منطقه به صورت مشخص به حرکت و کاوش می‌پردازند و شرایط نقاط گوناگون را برای توسعه سنجیده، مطلوب‌ترین نقاط را توسعه می‌دهند.

روند سریع تغییر پوشش کاربری اراضی کشاورزی می‌تواند افزون بر خلل در روند و مقدار تولیدات کشاورزی مورد نیاز در کشور، آثار منفی طبیعی، اقتصادی، سیاسی، علمی یا فرهنگی نیز به دنبال داشته باشد. روند فزاینده تغییر پوشش کاربری اراضی و اثرات حاصل از آن، زمانی حادتر می‌شود که گریبان‌گیر مناطق مستعد کشاورزی از جمله مناطق شمالی ایران شود. تبدیل اراضی کشت برنج به اراضی باغی چند سالی است که در استان مازندران روند رو به رشدی گرفته و بر اساس آمار هرساله درصدی شایان توجه از اراضی استان مازندران به باغات تبدیل می‌شود و تدبیر اصولی برای کنترل این روند نگران‌کننده وجود ندارد به گونه‌ای که برای مثال، به استناد آمار اداره کل جهاد کشاورزی، سطح زیرکشت محصولات زراعی (اعم از آبی و دیم) در شهرستان بابلسر واقع در استان مازندران از ۲۵۶۸۲/۷ هکتار در سال ۱۳۸۴ به ۱۴۹۳۶/۱ هکتار در سال ۱۳۹۲ کاهش یافته است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵). بنابراین بررسی و پیش‌بینی روند این تغییرات به

[1]- Land-Use/Cover Change (LUCC)
[2]- Farm trajectory
[3]- System

وسیله پژوهشگران، می‌تواند کمک شایانی به سیاست‌گذاران برای برنامه‌ریزی‌های آتی پیرامون مبحث کاربری اراضی کند. به دلیل پیچیدگی فوق‌العاده رفتارهای انسانی، گستردگی و گوناگونی محیط و هم‌چنین، تعدد روش‌های ارتباطی بعضاً ناشناخته بین انسان‌ها یا بین انسان و محیط، می‌توان گفت که الگوسازی کامل این فرآیند در عمل ناممکن به نظر می‌رسد. به همین دلیل در نبود یک الگوی جامع و فراگیر، پژوهشگران همواره سعی کردند مهم‌ترین جنبه‌های تأثیرگذار بر تغییر پوشش کاربری اراضی را شناسایی کرده و با الگوسازی آن‌ها به بهترین پاسخ‌های ممکن دست یابند. تنوع پارامترهای قابل استفاده به همراه انعطاف فوق‌العاده الگوسازی مبتنی بر عامل (ABM) سبب شده است که این میدان بسیار پویا بوده و شاهد عرضه الگوهایی نوین باشد. در این پژوهش از سامانه‌های چندعامله‌ی مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی (MP-MAS) با هدف شبیه‌سازی تغییرات پوشش کاربری اراضی کشاورزی و تعیین وسعت پوشش‌های گوناگون در کاربری کشاورزی در ۳ دهه آتی در شهرستان بابلسر واقع در استان مازندران، استفاده شده است.

مواد و روش بررسی

الگوسازی مبتنی بر عامل (ABM) که به وسیله مؤسسه سِنتِفه[1] در ایالت نیو مکزیکو آمریکا توسعه داده شده، رویکردی نوین به الگوسازی سامانه‌هایی است که از عامل‌های مستقل در تعامل با هم تشکیل شده‌اند. الگوسازی مبتنی بر عامل یک رویکرد جدید الگوسازی است و یکی از جذاب‌ترین پیشرفت‌ها در الگوسازی از زمان پیدایش پایگاههای داده بشمار می‌رود؛ تا جایی که ادعا می‌شود ABM می‌تواند دیدگاه ما را نسبت به تبیین پدیده‌های اجتماعی تغییر دهد (اپستین و اکستل، ۱۹۹۶). ABM بر این فرض بنا شده است که رفتار عامل‌های در تعامل با یکدیگر را که در مقابل یک واقعه یا تصمیم قرار گرفته‌اند، می‌توان به وسیله مجموعه‌ای از قوانین شبیه‌سازی کرد (اکسلرود، ۱۹۹۷). هدف از ABM تحلیل رفتارهای به شدت غیرقابل پیش‌بینی و غیر شهودی برای مشاهده رفتارهای جمعی عامل‌ها و تحلیل چگونگی تأثیر قرار دادن یا تغییر دادن آن‌هاست. در ABM یک سامانه به صورت مجموعه‌ای از نهادهای تصمیم‌گیرنده مستقل به نام عامل الگوسازی می‌شود. هر عامل موقعیت خود را ارزیابی می‌کند و بر اساس مجموعه‌ای از قوانین تصمیم‌گیری می‌کند. عامل‌ها می‌توانند رفتارهای متناسب با سامانه‌ای که جزئی از آن هستند (برای مثال، تولید کردن، مصرف کردن یا فروختن) را داشته باشند (بونابئو، ۲۰۰۲).

[1]- Santa Fe

عامل‌ها و ویژگی‌های آن‌ها

عنوان عامل، به مؤلفه‌هایی از سامانه گفته می‌شود که بتوانند به صورتی از محیط خود بیاموزند و در پاسخ به محیط، رفتارهای خود را تغییر دهند. عامل‌ها هم باید برای رفتار خود، دارای قوانین پایه‌ای باشند و هم در یک سطح بالاتر مجموعه‌ای از قوانین برای تغییر در قوانین موجود داشته باشند. عامل‌ها می‌توانند در نقش افراد، گروهی از افراد، موجودات زنده و در شرایطی در نقش موجودات بی‌جان نظیر خانه و خودرو بکار گرفته شوند (مالستون و همکاران، ۲۰۱۰؛ کستی، ۱۹۹۷؛ مائیس، ۱۹۹۴). ویژگی اساسی عامل‌ها، قابلیت تصمیم‌گیری مستقل آن‌هاست و این امر مستلزم این است که عامل به جای منفعل بودن، فعال باشد (جنینگز، ۲۰۰۰).

ویژگی‌های اساسی الگوهای مبتنی بر عامل

آنچه موجب جذابیت الگوهای مبتنی بر عامل می‌شود آن است که نتیجه سطح تجمعی اغلب نه شفاف است و نه قابل انتظار؛ حتی در بسیاری موارد، وقتی فرض‌های اولیه در مورد ویژگی‌های عامل‌های منفرد بسیار ساده است نیز این موضوع صحت دارد (سجونویک و سونکا، ۲۰۰۴). الگوی مبتنی بر عامل، الگویی شامل یک یا چند عامل به همراه محیطی است که عامل‌ها در آن قرار گرفته‌اند به گونه‌ای که امکان تعامل، ارتباط و تصمیم‌گیری برای عامل‌ها فراهم است (کانت و همکاران، ۱۹۹۷). در حقیقت الگوی مبتنی بر عامل، دارای یک ساختار پویا و پایین به بالاست (لیقمان و جانکوسکی، ۲۰۱۰)؛ به این معنی که از فعالیت اجزای آن که عامل‌ها هستند یک نتیجه مجموع و کلی بدست می‌آید که نتیجه، برآیند نامیده می‌شود. این الگوها معمولاً با سامانه‌ها و مسایل پیچیده سروکار داشته و دارای قابلیت‌های نوآورانه و خلاقانه هستند (کروکس و همکاران، ۲۰۰۸).

سامانه‌های چندعامله مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی (MP-MAS)

در این مطالعه، از شبیه‌ساز سامانه‌های چندعامله مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی (MP-MAS) در بررسی تغییرات پوشش کاربری اراضی استفاده می‌شود چرا که با مقایسه دیگر شبیه‌سازها مانند ABSTRACT، CATHSCAPE، IMT، SIM، ECECMOD، LUDAS، PALM و SAM، منحصر به فرد است که منحصر به فرد بودن شبیه‌ساز در ساختار قوی رویکرد مبتنی بر عامل در تئوری اقتصاد خرد و مدیریت مزرعه و نیز طرح‌های انتخابی[1] برای شبیه‌سازی پویایی‌های زیستی-

[1]- Optional Modules

فیزیکی[1] نهفته است (ون اول و همکاران، ۲۰۱۰؛ بکو و همکاران، ۲۰۰۳؛ لیتچر و همکاران، ۲۰۰۶؛ کرول و برونسترت، ۲۰۰۷؛ ون و همکاران، ۲۰۰۶، لی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ماتیو، ۲۰۰۶؛ بلچر و همکاران، ۲۰۰۴). به همین خاطر، این الگو قادر به شناسایی برنامه‌ریزی شده چگونگی تطبیق خانوارهای کشاورز با تغییر در مشوق‌های اقتصادی (نظیر مداخلات سیاستی، پویایی‌های بازار و تحلیل منابع اقتصادی) است. دلیل دیگر برای منحصر به فرد بودن MP-MAS، توانایی آن در شبیه‌سازی گسترش نوآوری کشاورزی با ترکیب کردن اثر ارتباطات وابسته به تغییرات در سطح جامعه و ارزیابی اقتصادی هزینه‌ها، منافع و محدودیت منابع در سطح خانوار کشاورز است. این الگو، پویایی‌های زیستی فیزیکی درونی[2] را لحاظ می‌کند و مناسب ارزیابی تغییرات کشاورزی به همراه بسیاری از کاربردها در کشورهای در حال توسعه است (شرینماکر و برگر، ۲۰۱۱).

گسترش MP-MAS به الگوسازی اقتصادی-زیستی[3]

MP-MAS از خصوصیات الگوسازی اقتصادی-زیستی خانوارهای کشاورز که به وسیله پژوهش شولر و ساتلر (۲۰۱۰)، روئیتر و همکاران (۲۰۰۷)، هولدن و شیفرئو (۲۰۰۴) و کویونحوون و همکاران (۱۹۹۸) نیز گسترش یافته، بهره برده است. پیرامون این الگوهای اقتصادی-زیستی، MP-MAS از برنامه‌ریزی ریاضی کل مزارع[4] استفاده می‌کند که با استفاده از بهنگام‌سازی ضرایب محصول در ماتریس تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی ریاضی، واکنش‌های انسانی محیطی را مدنظر قرار می‌دهد و نیز قدرت بسیاری در ارزیابی اثرات دارد. با این حال، MP-MAS قراردادهای الگوهای اقتصادی-زیستی را با ارائه ۳ خصوصیت مهم گسترش داد:

۱) عامل و ناهمگنی منظر[5]: این الگو به خوبی درک می‌کند که اثرات توزیعی تغییرات به مهمی کمیت و جهت تغییرات است (ریدسما و همکاران، ۲۰۱۰؛ هاپ و همکاران، ۲۰۰۹؛ هنشر و همکاران، ۲۰۰۹). از آن‌جایی که الگوهای مرسوم اقتصادی-زیستی بر پایه تعداد محدودی از کشتزارهای نماینده (معمولاً ۴ تا ۵ عدد) استوار هستند، MP-MAS تنوعی بیش‌تر را در شرایط اقتصادی و زیستی-فیزیکی با نمایش منحصر به فرد کل نقشه‌ها و کشتزارها در نظر می‌گیرد.

1- Biophysical Dynamics
2- Endogenous Biophysical Dynamics
3- Bio-Economic Modeling
4- Whole-Farms
5- Landscape Heterogeneity

۲) تعاملات فضایی (فاصله‌ای)[1]: با نمایش جنبه‌های فضایی تولیدات کشاورزی، MP-MAS اجازه پیوند الگوهای تصمیم‌گیری را با الگوهای زیستی-فیزیکی ساده فضایی می‌دهد.
۳) تعاملات اجتماعی: با نمایش تک تک خانوارها، تعاملات مستقیم بین خانوارها می‌تواند الگوسازی شود. این می‌تواند اشتراک داده‌ها در مورد فناوری‌های نوین، مبادلات دو سویه منابع کمیاب و یا فرم‌های معین فعالیتی خاص (نظیر نوع مصرف آب آبیاری) را شامل باشد.

نرم‌افزار MP-MAS

متناسب با الگوی MP-MAS، نرم‌افزار کامپیوتری MP-MAS در دانشگاه Hohenheim آلمان طراحی شده است. MP-MAS با یک دسته از فایل‌های ورودی کار می‌کند که در کارپوشه‌های نرم‌افزار مایکروسافت اکسل سازماندهی شده است که در زمره‌ی الگوهای معروف به الگوهای مبتنی بر عامل تغییرات پوشش و کاربری زمین (ABM/LUCC)[2] جای می‌گیرد. این الگوها اجزاء سلولی را که نشان‌دهنده منظر[3] هستند با اجزاء مبتنی بر عامل که نشان‌دهنده تصمیم‌گیری انسان‌ها هستند، پیوند می‌زند (پارکر و همکاران، ۲۰۰۲). به گونه پیش فرض در MP-MAS، ۱۴ فایل اکسل برای ورود داده‌ها تعریف شده که برخی از آن‌ها اختیاری است و در جدول ۱ نشان داده شده است. ScenarioManager.xls برای اجرای سناریو و تبدیل فایل‌های ورودی به فرمت ASCII[4] استفاده می‌شود. هر فایل داده شامل داده‌هایی برای اجزایی مشخص از الگو است به استثنای BasicData.xls که شامل پارامترهایی است که در اجزا گوناگونی استفاده می‌شود. تعداد فایل‌های ورودی می‌تواند بسته به مورد استفاده، گوناگون باشد. الگوهای مبتنی بر عامل تغییرات پوشش کاربری زمین (ABM/LUCC)، در دامنه‌ای گسترده از زمینه‌ها به کار می‌روند، اما آنچه در همه آن‌ها مشترک است این است که عامل‌ها، تصمیم‌گیرندگان مستقلی هستند که هم اثرات متقابل و هم ارتباطات و قدرت تصمیم‌گیری دارند که می‌توانند محیطی را که در آن قرار دارند را تغییر دهد (شرینماکر و همکاران، ۲۰۰۹).

متغیرهای توضیحی و مقیاس آن

با توجه به اجزای مبتنی بر عامل، MAS دارای ۴ سطح سلسله مراتبی است (شرینماکر و برگر، ۲۰۱۱):

---

[1]- Spatial Interaction
[2]- Agent-Based models of land use and land cover change (ABM/LUCC)
[3]- Landscape
[4]- American Standard Code for Information Interchange (ASCII)

- ✓ عامل‌ها نشان‌دهنده خانوارهای کشاورز هستند.
- ✓ خوشه‌های جمعیتی گروه‌هایی از عامل‌های دارای منابع مشابه هستند که برای گروه‌بندی الگوی مبتنی بر عامل استفاده می‌شود.
- ✓ بخش‌های (قطعه‌های) نوآور[1]، نشان‌دهنده گروههایی از عامل‌ها هستند که در زمان پذیرش نوآوری در مزارع خود، رفتارهای ارتباطی مشابه هستند.
- ✓ جامعه نشان‌دهنده مرزهای ارتباط اجتماعی است. عامل‌ها تنها در تعامل با دیگر عامل‌هایی هستند که در یک جامعه مشابه قرار دارند.

با توجه به اجزاء سلولی، MAS دارای دو سطح سلسله مراتبی است:

- ✓ پیکسل (سلول تصویری) نشان‌دهنده کوچک‌ترین واحد منظر است. اندازه پیکسل بستگی به تفکیک‌پذیری فضایی طرح زیستی-اقتصادی بکارگرفته شده در MP-MAS دارد. اندازه ایده‌آل پیکسل باید به اندازه‌ای باشد که هر مزرعه به درستی در MAS نشان داده شده باشد.
- ✓ نوع خاک گروه‌های پیکسلی هستند که حاصلخیزی مشابهی در خاک آن‌ها وجود دارد.

بررسی اجمالی روند و زمان‌بندی الگو

روند MAS در گام‌های یک ساله است. در هر گام زمانی، طرح تصمیم‌گیری عامل، به ۳ مرحله سرمایه‌گذاری، تولید و مصرف می‌رود که در شکل ۱ نشان داده شده است. طرح زیستی-فیزیکی در بین مراحل تولید و مصرف اجرا می‌شود و می‌تواند از بازه‌های روزانه تا سالانه را بسته به خصیصه زیستی-فیزیکی مشخص پیروی کند. سرمایه‌گذاری مربوط به استفاده از دارایی‌هایی است که بازه‌ای فراتر از یکساله دارند. تصمیم‌های سرمایه‌گذاری بر مبنای بازده انتظاری بلندمدت و قیمت‌ها و نیز عرضه انتظاری منابع در آینده است. پس از سرمایه‌گذاری، نقدینگی و دارایی‌های به دست آمده هر عامل، به روزرسانی می‌شود. هرچند عایدات MAS به صورت یکساله است، اما محدودیت‌های فصلی یا ماهانه عرضه‌ی نیروی کار و آب با استفاده از لحاظ کردن آن‌ها به عنوان محدودیت‌ها در طرح تصمیم‌گیری عامل، در نظر گرفته می‌شود.

در گام زمانی کنونی، عامل با توجه به قیمت‌های انتظاری کوتاه مدت و بازده، منابع موجود را به تولید تخصیص می‌دهد. بازده واقعی محصول، بر اساس تصمیم‌های تولید (انتخاب محصول و سطح متغیر نهاده) و شرایط منابع (به صورت اختیاری، تحت تأثیر سرمایه‌گذاری در دام، خاک و حفاظت

[1]- Innovation segments

آب) برای هر قطعه شبیه‌سازی می‌شود. در نهایت، بر اساس بازده واقعی شبیه‌سازی شده، MAS سود هر عامل خانوار را محاسبه می‌کند. بخشی از سود مصرف می‌شود و یا برای بازپرداخت بدهی بکار می‌رود و مابقی به پس انداز افزوده می‌شود که می‌تواند برای سرمایه‌گذاری و یا تولید در گام زمانی بعدی بکار رود.

طرح تصمیم‌گیری عامل[1]

نتیجه اعمال یک سیاست در بخش کشاورزی و اثرگذاری آن تا حد زیادی وابسته به چگونگی واکنش بهره‌برداران نسبت به سیاست اعمال شده می‌باشد. واکنش بهره‌برداران نیز وابسته به شرایط مزرعه، نگرش و ویژگی‌های فردی آن‌ها می‌باشد. با توجه به این‌که امکان آزمون سیاست‌های گوناگون در محیط آزمایشگاه وجود ندارد و هر فرد سیاست‌گذار در بخش کشاورزی در پی آن است که بتواند با اطمینان بالایی از نتایج اجرای سیاست‌های مورد نظر و واکنش بهره‌برداران نسبت به آن‌ها آگاه شود، امروزه این امر از راه برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[2] (PMP) فراهم شده است؛ به بیانی دیگر پیش از آنکه تصمیم به سیاست‌گذاری گرفته شود، شبیه‌سازی واکنش احتمالی کشاورزان از راه برنامه‌ریزی ریاضی مثبت می‌تواند کمک مؤثری در راستای اتخاذ تصمیم‌های صحیح‌تر قلمداد شود.

روش مرسوم برای شبیه‌سازی تصمیم‌های تولیدکنندگان به این صورت است که الگویی را که محدودیت‌ها، فرصت‌ها و اهداف را منعکس می‌کند، ایجاد کرده و سپس بایستی آن را در فروض در حال تغییر در مورد تولیدکنندگانی که از محیط سیاست‌گذاری اثر می‌پذیرند، حل کرد. در این روش که به برنامه‌ریزیدستوری[3] (NMP) معروف است، وضعیت بهینه بررسی می‌شود و اثر سیاست‌های مورد نظر بر وضعیت بهینه بررسی می‌شود. حال آنکه در روش PMP وضعیت کنونی و الگوی کشت کنونی بهره برداران مد نظر قرار گرفته و اثر سیاست‌های مورد نظر بر وضعیت کنونی و نه وضعیت بهینه بررسی می‌شود (بخشی و همکاران، ۱۳۹۰). MP-MAS نیز بر اساس رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت پایه‌گذاری شده است. در هسته سامانه‌های چند عامله (MAS)، یک ماتریس برنامه‌ریزی ریاضی قرار دارد که تصمیم‌گیری خانوارهای کشاورز را با حل تکراری مسئله محدودشده بهینه‌سازی، شبیه‌سازی می‌کند. MP-MAS، از یک الگویبرنامه‌ریزی ریاضی بازگشتی برای متناسب کردن ماتریس برای هر عامل بهره می‌برد و این کار از راه به روزرسانی منابع عامل نظیر زمین، نیروی کار، نقدینگی و ماشین‌آلات و نیز انتظاراتش نسبت به آب در دسترس، بازدهی

[1]- Agent decision module
[2]- Positive Mathematical Programming
[3]- Normative Mathematical Programming

محصول و قیمت‌های بازار در هر مرحله زمانی صورت می‌گیرد. MP-MAS بهینه‌سازی را به صورت مثبت (توصیفی)[1] (PMP) و نه دستوری (NMP) بکار می‌برد. جریان عادی بهینه‌سازی، تصمیم‌های واقعی کشاورزان را شبیه‌سازیمی‌کند، به بیانی دیگر، برای کشاورزان تجویز نمی‌کند که چگونه تولیدات‌شان را با توجه به منابع مشابه افزایش دهند (شرینماکر و برگر، ۲۰۱۱). بر اساس ادبیات موضوع در هازل و نورتن (۱۹۸۶)، مسئله عمومی بهینه‌سازی به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\text{Max } Z = \sum c_j X_j \quad j=1, 2, ..., n \qquad (۱)$$

Subject to:

$$\sum a_{ij} X_j \leq b_i \qquad i= 1, 2, .., m \text{ and } j= 1, 2, ..., n$$

$$X_j \geq 0 \qquad j= 1, 2, ...,n$$

که Z هدف خانوار کشاورز، تابعی خطی از فعالیت‌های جایگزین کشاورزی (X_j) نظیر کاشت گیاهان، پرورش حیوانات، اجاره نیروی کار، مصرف غذا و پذیرش فناوری‌های نوین بوده و c_j نیز بازده انتظاری هر واحد از فعالیت j می‌باشد. ضرائب فنی a_{ij} مقادیر مورد نیاز برای منبع b_i هستند تا بتوان یک واحد از فعالیت X_j را تولید کرد. محدودیت‌های منابع می‌تواند شامل محدودیت‌های قوی (زمین، عرضه نیروی کار و نقدینگی) و نیز محدودیت‌های نرم (محدودیت در داده‌ها و دسترسی به بازار) باشد. در این مطالعه، تابع هدف به صورت رابطه (۲)، تبیین شده است (شرینماکر و برگر، ۲۰۱۱):

$$\text{Max } Z= a\times Out - b\times INP + c\times AUT + e\times FUT - FIX \qquad (۲)$$

در این رابطه، OUT بردار مقدار محصول تولید و فروخته شده به قیمت a، INP بردار مقدار نهاده مورد نیاز مصرفی به قیمت b است. اختلاف بین این دو عبارت، مقدار درآمد ناخالص نقدی را نشان می‌دهد. افزون بر این، AUT بردار مقدار محصول خودمصرفی کشاورز از بخشی از تولید با قیمت بازاری c و FUT عایدی انتظاری یکنواخت سالیانه کشاورز از سرمایه‌گذاری‌هایش با قیمت e و FIX هزینه‌های ثابت است.

حال اگر PUR مقدار محصولات غذایی خریداری شده با قیمت بازاری d باشد، انتظار می‌رود که مبلغ هزینه‌های خرید مواد غذایی از کسر هزینه‌های نهاده‌های ثابت و متغیر از درآمد کشاورز (عامل) بیش‌تر نباشد:

$$a\times Out - b\times INP + c\times AUT + e\times FUT - FIX \geq 0 \qquad (۳)$$

با توجه به این‌که PUR در تابع هدف ظاهر نخواهد شد می‌توان در قالب یک محدودیت، به این صورت که هزینه‌های نقدی از درآمدهای نقدی بیش‌تر نشود، تعریف کرد.

[1]- Descriptive

اگر *ACT* را مجموعه‌ای از فعالیت‌های تولیدی جایگزین و *YLD* ماتریسی از سطوح بازدهی هر واحد باشد، کل مقدار محصول تولیدشده (Out) و خودمصرفی (AUT) نمی‌تواند از دامنه امکانات تولید که به صورت ماتریس بازدهی تولید و مجموعه فعالیت‌های ممکن تولیدی تعریف شده بزرگ‌تر باشد که در رابطه (۴) نشان داده شده است:

$$OUT + AUT - YLD \times ACT \geq 0 \qquad (۴)$$

هم‌چنین با توجه به رابطه (۴)، سطوح نهاده مصرفی نمی‌تواند از ماتریس موجودی نهاده‌ها (AVI) بیش‌تر باشد:

$$ACT \times INP \leq AVI \qquad (۵)$$

و در نهایت، تمامی متغیرهای تصمیم بایستی مثبت باشند که در رابطه (۶) نشان داده شده است:

$$OUT, INP, AUT, YLD, FUT, FIX, ACT, PUR, AVI \geq 0 \qquad (۶)$$

الگوریتم بهینه‌سازی، مقادیری برای X_j می‌یابد که بیش‌ترین مقدار برای Z بدون نقض محدودیت‌های منابع بدست آید.

عامل و منظر

در MP-MAS، هر خانوار کشاورز در منطقه مورد مطالعه، نشان‌دهنده یک عامل محاسبه‌گر منفرد در الگو است، بنابراین، عامل‌های زیادی در الگو وجود دارد چرا که در واقع خانوارهای کشاورز زیادی وجود دارد. عامل‌ها صاحبان نهاده‌هایی نظیر نیروی کار خانوادگی، زمین کشاورزی و باغ‌های میوه هستند. منابع در دسترس هر عامل از طریق پیمایش تصادفی در بین خانوارهای کشاورز در منطقه مورد مطالعه بدست می‌آید. تصمیم‌گیری هر عامل خانوار کشاورز با حل یک تابلوی برنامه‌ریزی ریاضی (MP) شبیه‌سازی می‌شود. یک تابلوی کلی MP، برای تمامی عامل‌ها مشخص می‌شود حال آنکه نرم‌افزار MP-MAS مقدار نهاده‌های موجود (یعنی مقادیر سمت راست)، ضرائب فنی و سایر ضرائب ماتریس را برای هر عامل منفرد تعدیل و تنظیم می‌کند. تابلوی MP، تمامی تصمیمات جایگزین را در طول دوره یک ساله کنترل می‌کند. تصمیم‌های کاربری اراضی در ابتدای یک دوره اتخاذ می‌شود در طول همان سال نمی‌تواند دوباره تعدیل شود (شرینماکرز و همکاران، ۲۰۰۹[b]).

نیاز آبی گیاه و بازدهی محصول

بازدهی محصول با استفاده از نرم‌افزار *CropWat 8* طراحی شده توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (*FAO*) الگوسازی خواهد شد که تمامی داده‌ها از پایگاه داده‌های *FAO*، نرم‌افزار *CLIWAT2* و نیز وزارت جهاد کشاورزی، قابل دسترس است (اسمیت، ۱۹۹۲؛ کلارک و همکاران، ۱۹۹۸). نیاز آبی گیاه (CWR) برای محصول c در ماه m، از ضریب محصول (Kc)، پتانسیل تبخیر و تعرق (ETO) و منطقه کشت (Area) بدست می‌آید:

$$CWR_{cm} = Kc_{cm} \times ETO_{m} \times Area_{cm} \qquad (۷)$$

CWR هم‌چنین، از مقدار آبیاری (IRR) و بارندگی می‌تواند برآورد شود که بسته به مرحله رشد گیاه، برای تعیین سهم بارندگی واقعی در دسترس محصول، تبدیل به بارندگی مؤثر (ER) می‌شود. ETO تابعی از شرایط آب و هوایی محلی و مقادیر ماهانه است که از نرم‌افزار *CLIMWAT2* طراحی شده توسط مرکز مدیریت و توسعه (AGLW) و نیز منابع طبیعی و محیط زیست (SDRN) سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) قابل استخراج است. مقدار Kc از داده‌های وزارت جهاد کشاورزی و نیز مقادیر استاندارد نرم‌افزار *CropWat* قابل برآورد است. مقدار واقعی عرضه آب (CWS) برابر است با:

$$CWS_{cm} = ER_{cm} + IRR_{cm} \qquad (۸)$$

اگر از خارج قسمت نسبت عرضه آب محصول به نیاز آبی آن در طول تمام ماهها میانگین گرفته شود، رابطه (۹) بدست می‌آید:

$$Kr_{c} = (1/m \times \sum(CWS_{cm}/CWR_{cm}) \quad | CWR_{cm} > 0 \qquad (۹)$$

الگوی رشد گیاه فرض می‌کند که اگر Kr از ۰/۵ کمتر باشد، بازدهی گیاه از بین می‌رود و اگر Kr بیش‌تر یا مساوی ۰/۵ باشد، برای شبیه‌سازی بازدهی واقعی محصول (Y_c)، مقدار Kr ضرب در پتانسیل بازدهی محصول (YPOT) می‌شود:

$$\begin{cases} Y_c = Kr_c \times YPOT_c & \text{if} \quad Kr_c \geq 0.5 \\ 0 & \text{if} \quad Kr_c \geq 0.5 \end{cases} \qquad (۱۰)$$

شمای کلی نرم‌افزار MP-MAS

رویکرد سامانه‌های چند عامله، رویکری مناسب برای تبیین ناهماهنگی‌ها، اثرات متقابل و پویایی‌های بین منظر و عامل‌ها هستند. ترکیب این سامانه با برنامه‌ریزی ریاضی، یک ابزار مستحکم برای شبیه‌سازی تصمیم‌گیری خانوار کشاورز در زمان تغییرات محیطی را ارائه می‌کند. در شکل ۲، مراحل انجام اینکار به همراه نرم‌افزارهای مورد استفاده در هر بخش نشان داده شده است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، شهرستان بابلسر واقع در استان مازندران در ایران است. بابلسر با پهنه ۱۳۵۰ هکتار در مصب رودخانه بابل‌رود و در کرانه جنوبی دریای خزر و در ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض جغرافیایی قرار دارد. در سال زراعی ۱۳۹۳ مقدار آب مصرفی بخش کشاورزی شهرستان بابلسر حدود ۳۰۰ میلیون مترمکعب بوده است. وسعت سطح زیر کشت محصولات زراعی این شهرستان ۲۲۳۸۱ و سطح زیر کشت محصولات باغی ۳۳۷۰ هکتار است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵).

نتایج

نمونه‌های مورد بررسی در گردآوری داده‌های مورد نیاز در این پژوهش شامل بهره‌برداران محصولات کشاورزی فعال در شهرستان بابلسر است که با استفاده از فرمول کوکران تعداد مورد نیاز آن ۳۴۲ نفر شامل ۲۴۰ نفر زارع و ۱۰۲ نفر باغدار تعیین شده است که به گونه تصادفی از سطح مزارع و نیز مراکز خدمات کشاورزی شهرستان انتخاب شده است. داده‌های توصیفی بهره‌برداران شامل سن، تجربه، سطح زیر کشت، تحصیلات، شرکت در کلاس‌های ترویجی، دریافت تسهیلات بانکی و استفاده از روش‌های نوین آبیاری در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین تمامی این متغیرها بجز تحصیلات در بین باغداران نسبت به بهره‌برداران بیش‌تر بوده است. متیغرهای دریافت تسهیلات و استفاده از روش‌های نوین آبیاری بیشترین ضریب تغییرات را چه در بین نمونه‌های باغدار و چه در بین زارعین و حتی در کل نمونه‌ها داشته که نشان از ناهمگنی بیش‌تر این دو متغیر در بین بهره‌برداران دارد. در شهرستان بابلسر، کشت محصولات گندم، سویا و کلزا به صورت دیم است. محصولات آبی منطقه شامل شلتوک، مرکبات و توت‌فرنگی است.

جدول ۳ نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی تغییر پوشش کاربری اراضی کشاورزی شهرستان با استفاده از الگوسازی تغییرات پوشش کاربری اراضی کشاورزی با استفاده از سامانه‌های چندعامله مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی (MP-MAS) تا ۳۰ سال آینده را در شهرستان بابلسر نشان می‌دهد. سال پایه در این مطالعه، سال ۱۳۹۵ بوده و انتخاب دوره ۳۰ سال به دلیل انطباق با بیش‌ترین طول دوره محصولات باغی کشت شده یعنی مرکبات است. با توجه به نتایج پژوهش، پیش‌بینی می‌شود که محصولات شلتوک محلی با نشاء سنتی، شلتوک پرمحصول با نشاء سنتی، سویا، کلزا و گندم از الگوی کشت خارج می‌شوند. سطح زیر کشت محصول شلتوک محلی با نشاء مکانیزه از ۳۱۵۰ هکتار به ۹۷۱۵ هکتار خواهد رسید و با رشد ۲۰۸/۴۱ درصد روبرو خواهد شد. هم‌چنین،

سطح زیر کشت محصول شلتوک پرمحصول با نشاء مکانیزه ۸۹۰ هکتار به ۴۴۰۰ هکتار افزایش خواهد یافت، به بیانی دیگر، ۳۹۴/۳۸ درصد رشد خواهد داشت.

نتایج پژوهش نشان دادند که مقدار سطح زیر کشت محصول توت‌فرنگی با رشدی معادل ۱۱۱/۷۳ درصدی از ۷۵۰ هکتار به ۱۵۸۸ هکتار خواهد رسید. هم‌چنین سطح زیر کشت محصول مرکبات از ۲۴۴۵ هکتار به ۳۹۹۵ هکتار خواهد رسید و رشدی ۶۳/۳۹ درصدی را تجربه خواهد کرد. وسعت اراضی کشاورزی زراعی و باغی شهرستان بابلسر در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به ترتیب ۱۶۵۰۳ و ۳۱۹۵ هکتار بوده است که با توجه به نتایج شبیه‌سازی در پژوهش، وسعت اراضی زراعی و باغی به ترتیب به ۱۴۱۱۵ و ۵۵۸۳ هکتار خواهد رسید. به این ترتیب، وسعت اراضی زراعی ۱۴/۴۷ درصد کاهش و اراضی باغی ۷۴/۷۴ درصد افزایش خواهند داشت. جدول ۴ نتایج بدست آمده از برآورد تأثیر تغییرات پوشش کاربری اراضی کشاورزی بر اشتغال نیروی کار در بخش کشاورزی در شهرستان بابلسر طی ۳ دهه آتی را نشان می‌دهد. با توجه به یافته‌های پژوهش، تعداد فعالین نیروی کار در کشت ارقام محصول برنج، از ۵۴۰۶۹۲ نفرروز به ۳۶۷۸۳۱ نفر کاهش می‌یابد. هم‌چنین، ۴۲۲۸۳ نفرروز نیروی کار فعال در کشت محصولات دیم سویا، کلزا و گندم خارج خواهند شد. بنابراین، نیروی کار فعال در زیربخش زراعی از ۵۸۲۹۷۵ نفرروز به ۳۶۷۸۳۱ نفروز تقلیل می‌یابد و اشتغال در زیربخش زراعی شهرستان ۳۶/۹ درصد کاهش خواهد یافت.

با توجه به جدول ۴ در زیربخش باغی، مقدار نیروی کار فعال در تولید محصول مرکبات از ۲۰۰۴۹۰ نفرروز نیروی کار به ۳۲۷۵۹۰ نفرروز افزایش خواهد یافت. هم‌چنین، در تولید محصول توت‌فرنگی، مقدار نیروی کار فعال از ۵۰۱۰۰۰ نفرروز نیروی کار به ۱۰۶۰۷۸۴ نفرروز افزایش خواهد یافت. بنابراین، برآورد تعداد نیروی کار شاغل در تولید محصولات باغی از ۷۰۱۴۹۰ نفرروز به ۱۳۸۸۳۷۴ نفرروز افزایش خواهد یافت، به بیانی دیگر، اشتغال در بخش تولید محصولات باغی ۹۷/۹۱ درصد رشد خواهد داشت. هم‌چنین، اشتغال در بخش محصولات زراعی و باغی شهرستان بابلسر از ۱۲۸۴۴۶۵ نفرروز به ۱۷۵۶۲۰۵ نفر روز خواهد رسید و در مجموع ۴۷۱۷۴۰ نفرروز و یا ۳۶/۷۲ درصد تعداد نیروی کار فعال در بخش کشاورزی منطقه افزایش خواهد یافت. جدول ۵ تغییرات ارزش افزوده در طول دوره‌ی شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج پژوهش در جدول ۵ با وجود حذف محصولات زراعی گندم، سویا و کلزا، به دلیل توسعه کشت مکانیزه‌ی ارقام برنج، ارزش افزوده ناشی از تولیدات بخش زراعی در اثر تغییر پوشش کاربری اراضی طی ۳ دهه‌ی پیش رو در شهرستان بابلسر، تغییری محسوس نداشته و نزدیک به ۱۶۸ میلیارد تومان خواهد بود، اما در بخش باغبانی، برآورد ارزش افزوده ایجادشده از تولید توت‌فرنگی از ۱۵/۲۸۲ میلیارد تومان به ۳۲/۳۵۶ میلیارد تومان خواهد رسید. هم‌چنین،

برآورد ارزش افزوده تولید مرکبات نیز با رشدی ۲۳/۴۷ میلیارد تومانی از ۳۷/۰۲۲ به ۶۰/۴۹۲ میلیارد تومان خواهد رسید. در ضمن پیش‌بینی می‌شود تا برآورد مجموع ارزش افزوده فعالیت باغداری از ۵۲/۳۰۴ به ۹۲/۸۴۸ میلیارد تومان خواهد رسید.

پیشنهادها

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که کشت محصول زراعی گندم از منطقه حذف خواهد شد و اراضی آن به اراضی باغی تبدیل خواهد شد. بنابراین، اگر دولت می‌خواهد هدف خودکفایی در محصولات استراتژیک را همچنان ادامه دهد پیشنهاد می‌شود تا دولت با اتخاذ سیاست‌های حمایتی کارآمد از زیربخش زراعت بویژه محصول گندم و برنج؛ نظیر قیمت‌های تضمینی، تسویه مطالبات گندم‌کاران و یا کنترل واردات این محصولات در زمان عرضه این محصولات، بر انگیزه‌های کشاورز برای ادامه تولید این محصولات و عدم تغییر پوشش اراضی از زراعی به باغی تأثیرگذار باشد چراکه اعلام نشدن نرخ خرید تضمینی محصولات کشاورزی باعث می‌شود کشاورزان در انتخاب نوع کشت با بلاتکلیفی مواجه باشند، ضمن این‌که ممکن است بنا بر قانون عرضه و تقاضا، به سمت کشت‌های جایگزین مانند کشت یونجه بروند که این محصول در هر هکتار ۱۶ هزار مترمکعب آب مصرف می‌کند در حالی که گندم در همین مقدار مساحت ۶ هزار مترمکعب آب نیاز دارد که این تصمیم هم کشاورز و هم محیط زیست را متضرر می‌سازد.

با توجه به یافته‌های این پژوهش، با وجود آنکه به دلیل تغییرات الگوی کشت در محصولات زراعی و حذف برخی محصولات تعداد اشتغال نیروی کار در این زیربخش به مقدار ۲۱۵۱۴۴ نفرروز کاهش می‌یابد، اما به دلیل گسترش باغات مرکبات اشتغال افراد به مقدار ۱۲۷۱۰۰ نفرروز و به دلیل گسترش باغات توت‌فرنگی اشتغال افراد به مقدار ۵۵۹۷۸۴ نفرروز افزایش می‌یابد، به بیانی دیگر، خالص تغییرات اشتغال طی ۳ دهه‌ی آتی برابر با ۴۷۱۷۴۰ نفرروز خواهد بود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود تا دولت با افزایش تسهیلات اعطایی به زیر بخش باغبانی در اراضی کم‌بازده، برای افزایش تولید این نوع از محصولات گام مؤثرتری بردارد چراکه کشت محصولی مانند توت‌فرنگی به شدت به استفاده از نیروی کار وابسته است به گونه‌ای که نزدیک به ۶۵۰ تا ۷۰۰ نفر روز در هر هکتار نیاز به نیروی کار دارد و به لحاظ فنی نیز عملیات کشت، نگهداری و بهره‌برداری آن از شهریور تا تیر سال بعد بوده و می‌تواند ۱۰ ماه نیروی کار را فعال نگه دارد، بنابراین فرصت بسیار مناسبی برای ایجاد اشتغال پایدار مخصوصاً برای بانوان ایجاد می‌کند. افزون بر این، با توسعه اراضی برای کشت توت‌فرنگی، امکان صادرات به بازارهای هدف محصولات باغی نظیر کشورهای روسیه، آسیای میانه، عراق و قطر را ایجاد می‌کند که می‌تواند عرضه‌ی پایدار و ارزآوری بسیار خوبی را

داشته باشد. البته، مشکل اصلی در صادرات این محصولات به کشورهای روسیه، آسیای میانه و قطر فقدان بسته‌بندی مناسب و سیستم حمل و نقل به هنگام است چرا که محصول توت‌فرنگی بیشینه یک هفته پس از برداشت بایستی به مصرف برسد. این در حالی است که سیستم حمل و نقل زمینی این پتانسیل را برای صادرات محصول توت‌فرنگی ندارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود دولت ضمن امضای اسناد راهبردی تجارت محصولات کشاورزی بین ایران و کشورهای بازارهای هدف نظیر روسیه، قطر، آسیای میانه، در درجه اول خطوط هوایی مناسب به کشورهای فوق را ایجاد کند و در درجه دوم صنعت بسته‌بندی محصولات کشاورزی ایران را متحول کند. چراکه چندین دهه است صادرات محصولات کشاورزی ایران از نبود صنعت بسته‌بندی برای محصولاتی نظیر خرما، پسته، زعفران، آبزیان و غیره ضررهای جبران‌ناپذیری را متحمل شده و بازار هدف خود را به کشورهایی نظیر ترکیه و آمریکای لاتین واگذار کرده است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل که هزینه‌ی چاپ مقاله را از محل کد پژوهانه UOZ-GR-9618-103 پرداخت شد، قدردانی می‌شود.

منابع

- احمدپور، ا. و علوی، ا. (۱۳۹۳). شناسایی و تحلیل مؤثر در تغییر کاربری اراضی کشاورزی روستایی (مطالعه موردی: شهرستان ساری)، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی روستایی، ۳ (۵): ۱۲۰-۱۰۹.

- وزارت جهاد کشاورزی، (۱۳۹۵). معاونت برنامه‌ریزی و امور اقتصادی.

- اسلمی، ف.، قربانی، ا.، صبحانی، ب. و پناهنده، م. (۱۳۹۳). مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبانی و شی‌گرا در استخراج کاربری و پوشش اراضی از تصاویر لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶ (۳): ۱۴-۱.

- حسینعلی، ف.، آل شیخ، ع. ا. و نوریان، ف. (۱۳۹۱). توسعه مدلی عامل-مبنا برای شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری (مطالعه موردی: قزوین). مجله مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، ۱۴: ۲۲-۱.

- بخشی، ع.، مقدسی، ر. و دانشور کاخکی، م. و. (۱۳۹۰). کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به منظور تحلیل اثرات سیاست‌های جایگزین قیمت‌گذاری آب در دشت مشهد. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۳): ۲۹۴-۲۸۴.

- وکیلی فرد، ح. ر.، خوشنود، م. و فروغ‌نژاد، ح. (۱۳۹۳). مدلسازی مبتنی بر عامل در بازارهای مالی. فصلنامه علمی-پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری، ۳ (۱۲): ۱۵۸-۱۳۹.

Refrences

- Arnold, R. T., Troost, C. & Berger, T. (2015). Quantifying the economic importance of irrigation water reuse in a Chilean watershed using an integrated agent-based model, Water Resources Research, 51: 648-66.
- Axelrod, R. (1997). The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration. Princeton University Press, Princeton, 248p.
- Bannwarth, M., Grovermann, C., Schreinemachers, P., Ingwersen, J., Lamers, M., Berger, T. & Streck, T. (2016). Non-hazardous pesticide concentrations in surface waters: An integrated approach simulating application thresholds and resulting farm income effects. Journal of Environmental Management, 165: 298 - 312.
- Becu, N., Perez, P., Walker, B., Barreteau, O. & Page, C. L. (2003). Agent-based simulation of a small catchment water management in northern Thailand. Description of the Cath scape model, Ecological Modeling, 170: 319-331.
- Belcher, K. W., Boehm, M. M. & Fulton, M. E. (2004). Agro-ecosystem sustainability: a system simulation model approach. Agricultural Systems, 79 (2): 225-241.
- Berger, T., (2001). Agent-based Spatial Models Applied to Agriculture: A simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis. Agricultural Economics 25: 245-260.
- Berger, T., Troost, C., Wossen, T., Latynskiy, E., Tesfaye, K., & Gbegbelegbe, S., (2017). Can smallholder farmers adapt to climate variability, and how effective are policy interventions? Agent-based simulation results for Ethiopia. Agricultural Economics, 48: 693-706.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems, National Academy of Science, 99: 7280-7287.
- Casti, J. L. (1997). Would-be worlds: How Simulation is Changing the Frontiers of Science. John Wiley and Sons Inc., New York, 242p.
- Clarke, D., Smith, M., & El-Askari, K. (1998). CropWat for Windows: User Guide, Southampton University Press, Cairo, 43p.
- Conte, R., Hegselmann, R., & Terna, P. (1997). Simulation Social Phenomena. American Behavioral Scientist, 42 (10): 1485-1487.
- Crooks, A., Castle, C. and Batty, M. (2008). Key challenges in agent-based modeling for geo-spatial Simulation. Computers, Environment and Urban Systems, 32: 417-430.
- Epstein, J. M. & Axtell, R. L. (1996). Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up, MIT Press, Cambridge, 208p.

- FAO, (1994). Integrated Approach to the planning and management of Land Resources. Report of the UN Secretary-General on the Implementation of chapter 10 of Agenda 21 (UNCED) to the Commission on Sustainable Development, Third edition, FAO/AGL, 28 November 1994, Rome.
- FAO, (2013). Statistical Yearbook 2012, Rome: FAO.
- Happe, K., Schnicke, H., Sahrbacher, C. & Kellermann, K. (2009). Will they stay or will they go? Simulating the dynamics of single-holder farms in a dualistic farm structure in Slovakia, Agricultural Economics, 57 (4): 497-511.
- Hazell, P. B. R. & Norton, R. D., (1986). Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. MacMillan Publishing Company, New York, 600p.
- Henseler, M., Wirsig, A., Herrmann, S., Krimly, T. & Dabbert, S. (2009). Modeling the impact of global change on regional agricultural land use through an activity-based nonlinear programming approach, Agricultural Systems, 100 (13): 31-42.
- Holden, S. & Shiferaw, B. (2004). Land degradation, drought and food security in a less favored area in the Ethiopian highlands: a bio-economic model with market imperfections, Agricultural Economics, 30 (1): 31-49.
- Jennings, N. R. (2000). On agent-based software engineering. Artificial Intelligence, 117: 277-296.
- Krol, M. S. & Bronstert, A. (2007). Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil, Environmental Modeling and Software, 22 (2): 259-268.
- Kuyvenhoven, A., Ruben, R. & Kruseman, G. (1998). Technology, market policies and institutional reform for sustainable land use in southern Mali. Agricultural Economics, 19: 53-62.
- Lambin, E. F. (1997). Modeling and monitoring land-cover change processes in tropical regions, Progress in Physical Geography, 21(3): 375-393.
- Le, Q. B., Park, S. J., Vlek, P. L. G. & Cremers, A. B. (2008). Land-Use Dynamic Simulator (LUDAS): a multi-agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human-landscape system. I. Structure and theoretical specification, Ecological Informatics, 3 (2): 135-153.
- Letcher, R. A., Croke, B. F. W., Merritt, W. S. & Jakeman, A. J. (2006). An integrated modeling toolbox for water resources assessment and management in highland catchments: sensitivity analysis and testing. Agricultural Systems, 89 (1): 132-164.
- Lighmann-Zielinska, A. & Jankowski, P. (2010). Exploring normative scenarios of land use development decision with an agent-based simulation laboratory, Computers, Environment and Urban Systems, 34: 409-423.
- Maes, P. (1994). Modeling adaptive autonomous agents. Artificial Life, 1: 135-162.

- Malleson, N., Heppenstall A., & See, L. (2010). Crime reduction through simulation: An agent-based model of burglary, Computers, Environment and Urban Systems, 34: 236-250.
- Marohn, C., Schreinemachers, P., Quang, D. V., Berger, T., Siripalangkanont, P., Nguyen, T. T. & Cadisch, G. (2013). A software coupling approach to assess low-cost soil conservation strategies for highland agriculture in Vietnam, Environmental Modelling & Software, 45: 116 – 128.
- Matthews, R. (2006). The People and Landscape Model (PALM): towards full integration of human decision-making and biophysical simulation models, Ecological Modeling, 194 (4): 329-343.
- Parker D.C., Manson S. M., Janssen M. A., Hoffmann M. J. & Deadman P., (2003). Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review, Annals of the association of American Geographers, 93(2): 314-337.
- Quang, D. V., Schreinemachers, P., & Berger, T., (2014). Ex-ante assessment of soil conservation methods in the uplands of Vietnam: An agent-based modeling approach, Agricultural Systems, 123: 108 – 119.
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A.O. & Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses, Agronomy, 32 (1): 91-102.
- Roetter, R.P., Berg, M.M., Laborte, A.G., Hengsdijk, H., Wolf, J., Ittersum, M.K. van, Keulen, H., Agustin, E.O., Son, T.T., Lai, N.X. & Guanghuo, W. (2007). Combining farm and regional level modeling for integrated resource management in East and South-east Asia, Environmental Modeling and Software, 22 (2): 149-157.
- Schreinemachers, P. & Berger, T. (2011). An agent-based simulation model of human environment interactions in agricultural systems, Environmental Modeling and Software, 26: 845-859.
- Schreinemachers, P., Berger, T. & Aune, J.B. (2007). Simulating soil fertility and poverty dynamics in Uganda: A bio-economic multi-agent systems approach, Ecological Economics, 64(2): 387-401.
- Schreinemachers, P., Berger, T., Sirijinda, A., & Praneetvatakul, S. (2009). The diffusion of greenhouse agriculture in northern Thailand: Combining econometrics and agent-based modeling, Agricultural Economics, 57(4): 513-536.
- Schreinemachers, P., Potchanasin, C., Berger, T. & Roygrong, S., (2010). Agent-based modeling for ex ante assessment of tree crop innovations: Litchis in northern Thailand, Agricultural Economics, 41: 519-536.
- Schreinemachers, P., Sirijinda, A., Potchanasin, C., Berger, T. & Praneetvatakul, S. (2009). An Agent-Based Land Use Model of the Mae Sa

Watershed Area, Thailand. University of Hohenheim Press. Germany and Kasetsart University, Bangkok, 71p.
- Schuler, J., & Sattler. C. (2010). The estimation of agricultural policy effects on soil erosion-An application for the bio-economic model MODAM. Land Use Policy, 27(1): 61-69.
- Smith, M. (1992). CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management, FAO Irrigation and Drainage, 46-101.
- Srbljinovic, A. & Skunca, O. (2004). An introduction to agent based modeling and simulation of social processes. Interdisciplinary Description of Complex Systems, 1 (2): 1-8.
- Stephenne, N., & Lambin, E. (2001). A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). Agriculture, Ecosystems and Environment, 85(1): 145-161.
- The World Bank, (2010). World Development Report 2010: Development and Climate Change. Washington DC: The International Bank for Reconstruction and Development, the World Bank.
- Troost, C., Walter, T. & Berger, T. (2015). Climate, energy and environmental policies in agriculture: Simulating likely farmer responses in Southwest Germany, Land Use Policy 46: 50 - 64
- Turner, B.L., D. Skole, S. Sanderson, G. Fischer, L. Fresco & R. Leemans. (1995). Land-Use and Land-Cover Change. Science Research Plan, IGBP Report, 35 (7): 151-172.
- Valbuena, D., Verburg, P. H., Bregt, A. K., & Ligtenberg, A. (2010). An agent-based approach to model land-use change at a regional scale, Landscape Ecology, 25: 185-199.
- Van Oel, P. R., Krol, M.S., Hoekstra, A. Y. & Taddei, R. R. (2010). Feedback mechanisms between water availability and water use in a semi-arid river basin: a spatially explicit multi-agent simulation approach. Environmental Modeling and Software, 25 (4): 433-443.
- Vatn, A., Bakken, L., Bleken, M.A., Baadshaug, O.H., Fykse, H., Haugen, L. E., Lundekvam, H., Morken, J., Romstad, E., Rørstad, P. K., Skjelvag, A.O. & Sogn, T. (2006). A methodology for integrated economic and environmental analysis of pollution from agriculture, Agricultural Systems, 88 (2-3): 270-293.
- Wossen, T., Berger, T., Swamikannuh, N., & Ramilan, T., (2014). Climate variability, consumption risk and poverty in semi-arid Northern Ghana: Adaptation options for poor farm households. Environmental Development 12: 2-15.

پیوست‌ها

جدول ۱- مرور فایل‌های ورودی در MP-MAS

	محتویات	انتخابی	نام فایل‌های اکسل
	برای ایجاد فایل‌های ورودی و مدیریت آزمایش‌های شبیه‌سازی استفاده می‌شود	خیر	ScenarioManager
	یک تابلوی عمومی برنامه‌ریزی ریاضی (برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط (MILP)) برای شبیه‌سازی تصمیم‌گیری عامل‌ها	خیر	Matrix
شرایط اولیه	تولید جامعه عامل (اعضا خانوار در سنین گوناگون، دارایی‌ها و نقدینگی گوناگون مزرعه و سایر مشخصات عامل).	خیر	Population
شرایط اولیه	تمامی داده‌های فضایی شامل مرزهای حوضه آبریز، موقعیت عامل‌ها و نقشه‌های کشاورزی	خیر	Map
شرایط اولیه	تعریف شبکه‌های گسترش نوآوری و تعیین مقدار گسترش ابتدای شبیه‌سازی برای هر شبکه	خیر	Network
پارامترهای ثابت	مقدار پارامترهای پایه مورد استفاده در اجزا گوناگون الگو	خیر	BasicData
پارامترهای ثابت	نیاز آبی ماهانه برای هر فعالیت زراعی موجود در تابلو MP و کارایی روش‌های گوناگون آبیاری.	بله	CropWat
پارامترهای ثابت	تعریف توزیع آب در بین عامل‌ها (حق آبه).	بله	WaterRights
پویایی‌های الگو	مقدار آب آبیاری و بارندگی در هر ماه و برای هر سال از اجرای شبیه‌سازی.	بله	Routing
پویایی‌های الگو	بازدهی سالانه، نهاده‌های متغیر و نیازهای سرمایه‌ای محصولات چندساله.	بله	Perennials
پویایی‌های الگو	بازدهی سالانه، نهاده‌های متغیر و نیازهای سرمایه‌ای مزرعه حیوانات.	بله	Livestock
پویایی‌های الگو	پویایی حاصلخیزی خاک و واکنش بازدهی محصول به مواد غذایی خاک.	بله	Soils
پویایی‌های الگو	کلیه اطلاعات قیمتی در خصوص تابع هدف تابلوهای MP: قیمت-های خرید نهاده‌های کشاورزی، قیمت‌های فروش سر مزرعه، و نرخ دستمزد نیروی کار خارج از مزرعه.	خیر	Market
پویایی‌های الگو	عرضه نیروی کار برای هر سن از یک عضو خانوار عامل و تعیین پویایی‌های جمعیت نظیر احتمالات مرگ و میر و زاد و ولد.	خیر	Demography

مأخذ: Schreinemachers *et al*., 2009[a]

جدول ۲- آماره‌های توصیفی نمونه‌های بهره‌بردار مورد بررسی در پژوهش

نوع بهره-بردار	آماره	سن	تجربه	سطح زیر کشت	تحصیلات	شرکت در کلاس ترویج	دریافت تسهیلات	استفاده از روش نوین آبیاری
باغدار	میانگین	۴۴/۹۱	۱۳/۵۰	۳/۳۲	۵/۲۳	۰/۶۸	۵۵/۸۸	۵۵/۸۸
	ضریب تغییرات	۰/۱۶	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۹۰	۰/۹۰
زارع	میانگین	۴۱/۸۱	۱۲/۸۴	۲/۸۹	۶/۵۲	۰/۴۵	۴۳/۷۵	۵۲/۵۰
	ضریب تغییرات	۰/۲۷	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۵۶	۱/۱۱	۱/۱۴	۰/۹۶
کل	میانگین	۴۲/۷۴	۱۳/۰۳	۳/۰۲	۶/۱۴	۰/۵۲	۴۷/۳۷	۵۳/۵۱
	ضریب تغییرات	۰/۲۴	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۵۹	۰/۹۷	۱/۰۶	۰/۹۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش؛ *: اعداد به درصد می‌باشند.

جدول ۳- نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی تغییرات پوشش کاربری اراضی کشاورزی شهرستان بابلسر تا سال ۱۴۲۵ با استفاده از الگوی MPMAS (واحد: هکتار)

نوع محصول	نام محصول	سطح زیر کشت شبیه‌سازی‌شده	سطح کشت سال ۱۳۹۵	درصد تغییر در سطح زیر کشت
زراعی	شلتوک محلی سنتی	۰	۶۵۶۵	-۱۰۰
	شلتوک محلی مکانیزه	۹۷۱۵	۳۱۵۰	۲۰۸/۴۱
	شلتوک پرمحصول سنتی	۰	۳۵۱۰	-۱۰۰
	شلتوک پرمحصول مکانیزه	۴۴۰۰	۸۹۰	۳۹۴/۳۸۲
	سویا	۰	۶۳۸	-۱۰۰
	کلزا	۰	۲۰۰	-۱۰۰
	گندم	۰	۱۵۵۰	-۱۰۰
باغی	توت‌فرنگی	۱۵۸۸	۷۵۰	۱۱۱/۷۳
	مرکبات	۳۹۹۵	۲۴۴۵	۶۳/۳۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۴- برآورد تغییرات مقدار اشتغال نیروی کار در بخش‌های گوناگون زراعی و باغی شهرستان بابلسر تا سال ۱۴۲۵ با استفاده از الگوی MPMAS (واحد: نفرروز)

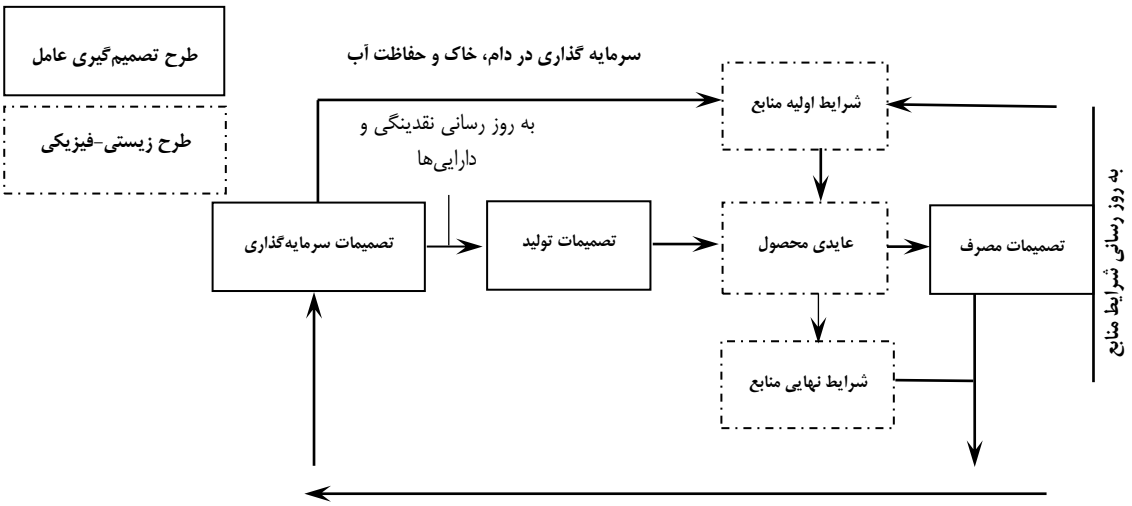
نوع محصول	نام محصول	تعداد نیروی کار فعال در زمان کنونی	تعداد نیروی کار فعال مورد انتظار در دهه‌های آتی
زراعی	برنج محلی سنتی	۲۸۸۸۶۰	۰
	برنج محلی مکانیزه	۸۶۳۱۰	۲۶۶۱۹۱
	برنج پرمحصول سنتی	۱۴۴۹۶۳	۰
	برنج پرمحصول مکانیزه	۲۰۵۵۹	۱۰۱۶۴۰
	سویا	۲۵۷۷۵	۰
	کلزا	۱۲۴۰	۰
	گندم	۱۵۲۶۸	۰
	جمعیت نیروی کار فعال در زیربخش زراعی	۵۸۲۹۷۵	۳۶۷۸۳۱
باغی	توت‌فرنگی	۵۰۱۰۰۰	۱۰۶۰۷۸۴
	مرکبات	۲۰۰۴۹۰	۳۲۷۵۹۰
	جمعیت نیروی کار فعال در زیر بخش باغی	۷۰۱۴۹۰	۱۳۸۸۳۷۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش

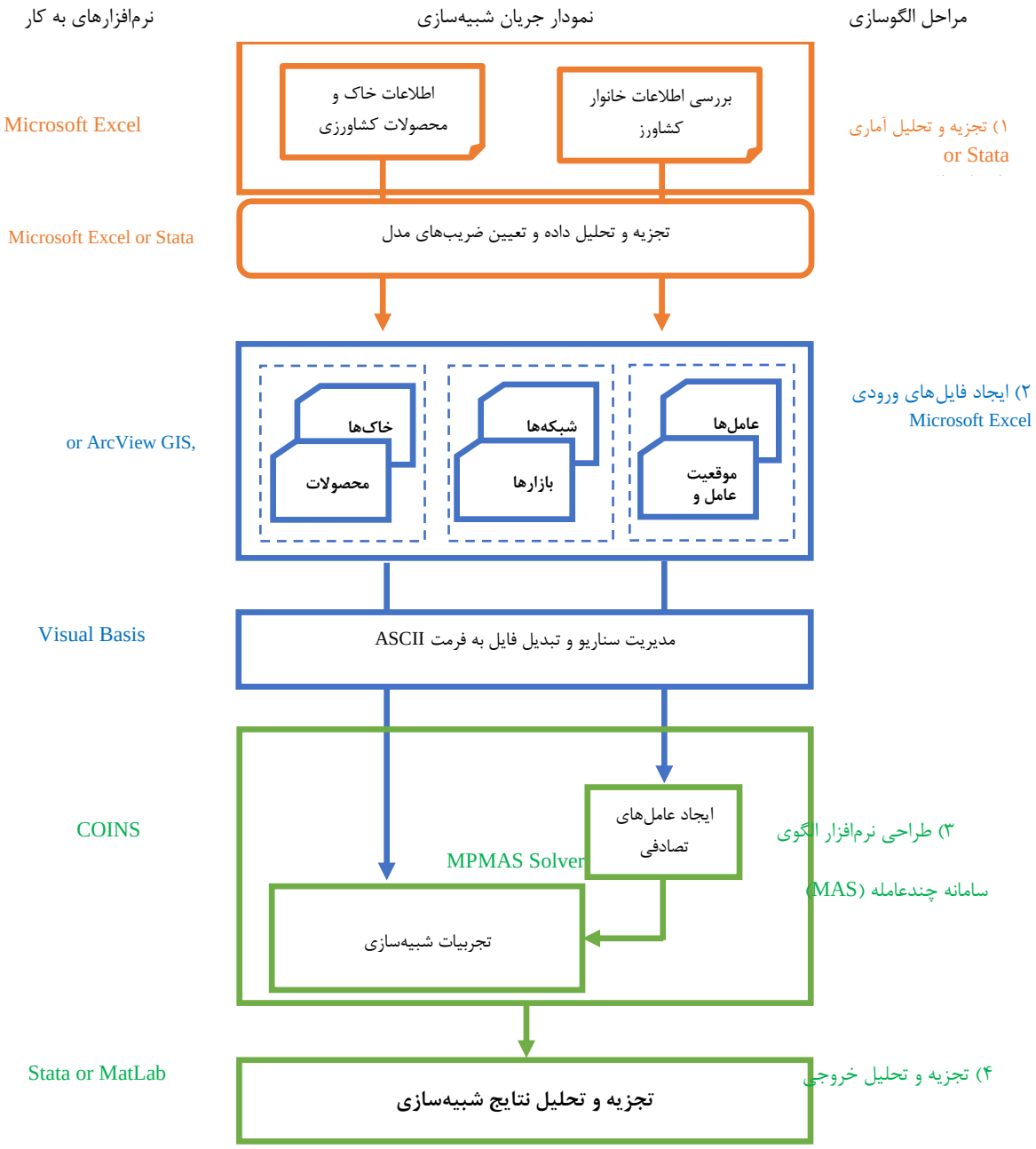
جدول ۵- تغییرات مقدار ارزش افزوده ایجادشده در بخش‌های گوناگون زراعت و باغبانی شهرستان بابلسر در اثر تغییر پوشش کاربری اراضی (واحد: میلیارد تومان)

نوع محصول	نام محصول	مقدار ارزش افزوده کنونی از تولید محصولات	مقدار ارزش افزوده مورد انتظار از تولید محصولات
زراعی	برنج محلی سنتی	۵۲/۷۷۸	۰
	برنج محلی مکانیزه	۳۶/۲۲۸	۱۱۱/۷۳۲
	برنج پرمحصول سنتی	۶۴/۸۱۷	۰
	برنج پرمحصول مکانیزه	۱۱/۴۰۹	۵۶/۴۰۲
	سویا	۱/۱۲۷	۰
	کلزا	۰/۲۹۵	۰
	گندم	۲/۳۴	۰
	کل ارزش افزوده ایجادشده در بخش زراعت	۱۶۸/۹۹۳	۱۶۸/۱۳۴
باغی	توت‌فرنگی	۱۵/۲۸۲	۳۲/۳۵۶
	مرکبات	۳۷/۰۲۲	۶۰/۴۹۲
	کل ارزش افزوده ایجادشده در بخش باغداری	۵۲/۳۰۴	۹۲/۸۴۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش



شکل ۱- تعاملات انسانی-محیطی در MP-MAS (شرینماکرز و برگر، ۲۰۱۱).



شکل ۲- نمودار جریان الگوی MP-MAS همراه با نرم‌افزارهای بکار رفته (شرینماکر، ۲۰۰۶).