نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۰ شماره ۳ / سال ۱۳۹۹/ صفحات ۲۹۳-۲۶۷

بهینه‌سازی مصرف آب مجازی با تأکید بر عدم حتمیت بارندگی و قیمت محصولات زراعی مطالعه موردی: منطقه گهرباران ساری

فاطمه کشیری کلائی[۱]، سیدعلی حسینی‌یکانی[۲*]، سیدمجتبی مجاوریان[۳]

تاریخ دریافت: ۹۸/۶/۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۵/۱۹
۱- دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و عضو بنیاد ملی نخبگان
۲- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*مسئول مکاتبه: Email: hosseiniyekani@gmail.com

چکیده

اهداف: در مطالعه حاضر با توجه به اهمیت مدیریت مصرف آب مجازی و همچنین لزوم توجه به مسئله عدم حتمیت در بخش کشاورزی، الگوی کشتی در راستای بهینه‌سازی مصرف آب مجازی با تأکید بر عدم حتمیت بارندگی و قیمت محصولات برای کشاورزان منطقه گهرباران ساری ارائه شده است.

مواد و روش‌ها: به منظور دستیابی به اهداف، از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی در شرایط توأم با عدم حتمیت با هدف حداقل‌سازی مصرف آب مجازی و دستیابی به معادل قطعیت مبتنی بر معیار ارزش معرض خطر دنباله‌دار استفاده شده است. برخی از داده‌های مورد نیاز نظیر درجه باور کشاورزان به سطوح مختلف قیمت و بارندگی، از طریق مصاحبه با کشاورزان منطقه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۷ جمع‌آوری شد. در نهایت گروه‌بندی‌هایی برای درجه باور و مقیاس زمین کشاورزان صورت گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاکی از آن بود که الگوی فعلی کشت به لحاظ مصرف آب مجازی و دستیابی به سود مطمئن، بهینه نیست. همچنین مقایسه نتایج بهینه‌سازی الگوی کشت در گروه‌های مختلف درجه باور نیز حاکی از آن بود که الگوی پیشنهادی در گروه‌های قضاوت‌های ذهنی حتمی‌تر و گروه بزرگ‌مقیاس زمین، صرفه‌جویی بیشتری را در مصرف آب مجازی نسبت به قضاوت‌های غیرحتمی‌تر و گروه کوچک‌مقیاس حاصل می‌نماید.

نتیجه‌گیری: برمبنای نتایج این تحقیق، کشاورزان منطقه در شرایط توأم با عدم حتمیت، آب را به‌صورت بهینه مصرف نمی‌کنند که بایستی اقدامات لازم در این زمینه صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، آب مجازی، بارندگی، عدم حتمیت، گهرباران

Optimization of Virtual Water Consumption with Emphasis on Uncertainty of Rainfall and Crop Price: A Case Study :Sari Gherbaran

Fatemeh Kashiri Kolaei[1], Seyed-Ali Hosseini-Yekani[2*], Seyed-Mojtaba Mojaverian[3]

Received: August 29, 2019 Accepted: August 9, 2020
1- PhD in Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources and Member of the National Elites Foundation.
2-Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
3-Assoc. Prof., Dept. of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
*Corresponding Author Email: hosseiniyekani@gmail.com

Abstract

Objective & Background: In the present study, considering the importance of virtual water consumption management and the need to pay attention to the issue of uncertainty in the agricultural sector, a cropping pattern to optimize virtual water consumption with emphasis on the uncertainty of rainfall and crop prices is presented for farmers in Sari Goharbaran.

Materials & Methods: In order to achieve the objective, a mathematical programming model under uncertain conditions has been used to minimize virtual water consumption and to achieve the certainty equivalent based on the tail value at risk measure. Some of the required data, such as the belief degree of farmers about different levels of price and rainfall, were collected through interviews with the farmers in the study area in 2018. Finally, groupings were made for the belief degree and scale of the farmers' land.

Results: The results indicated that the current cropping pattern is not optimal in terms of virtual water consumption and achieving certain profit. Comparison of the results of optimization of cropping pattern in different belief degree groups also showed that the proposed model in more subjective judgment groups and large scale land group, save more on virtual water consumption than more uncertain judgments and small scale land group.

Conclusion: According to the results of this study, farmers in the region do not use water optimally in conditions of uncertainty, and the necessary measures should be taken in this regard.

Keywords: Cropping Pattern, Goharbaran, Rainfall, Uncertainty, Virtual Water.

مقدمه

تولیدکنندگان بخش کشاورزی علاوه بر اینکه مشابه با دیگر بخش‌های اقتصادی با عدم قطعیت[1] ناشی از شرایط بازار، تکنولوژی‌های تولید و غیره روبرو هستند، به‌دلیل مواجهه با نهاده‌های غیرقابل‌کنترلی همچون شرایط آب و هوایی، آفات، امراض و بیماری‌ها، با عدم

[1] Non-certainty

قطعیت بیشتری روبه‌رو می‌باشند (دیلون و هارداکر ۱۹۹۳). از میان متغیرهای اقتصادی، قیمت محصولات برای تولیدکنندگان کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طوری‌که بسیاری از تصمیم‌گیری‌های تولیدی نظیر انتخاب نوع تکنولوژی، تصمیم در مورد خرید نهاده‌ها و همچنین ترکیب کشت محصولات، به سطح و نوسانات قیمت‌ها وابسته است (هیزل ۱۹۹۰). اما وجود تقویم ثابت زمانی در تولید محصولات کشاورزی و وقفه زمانی بین تصمیم‌گیری برای تولید تا تولید محصولات کشاورزی، منجر به عدم آگاهی دقیق از قیمت‌ها شده است و این مسئله لزوم تعمق در زمینه سطوح قیمت‌های آتی و پیش‌بینی آن را فراهم آورده است (فرجزاده و شاه‌ولی ۲۰۰۹). از سوی دیگر، تحقیقات حاکی از آن است که بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده آب بوده است این درحالی است که منابع آبی در سالهای اخیر افت فراوانی داشته‌اند. یکی از عوامل مؤثر بر سطح منابع آبی و تصمیم‌گیری در مورد کشت محصولات، میزان بارندگی بوده است. بارندگی از جمله متغیرهای غیرقابل کنترل بوده و در گروه متغیرهای اقلیمی اثرگذار بر تولید محصولات کشاورزی قرار دارد. کشاورزان برای تصمیم‌سازی تولید، گاهاً برآوردهایی را از سطوح بارندگی همچون قیمت محصولات کشاورزی، در ذهن خود دارند. در این راستا با درک اهمیت عدم قطعیت در بخش کشاورزی و لزوم لحاظ آن در فرآیند تصمیم‌گیری کشاورزان، پژوهش‌های متعددی در این زمینه انجام گرفته است. اما در تمامی این مطالعات، از معیار ریسک برای مدل‌سازی عدم قطعیت استفاده شده است. این در حالی است که بخش عمده عدم قطعیت‌ها در بخش کشاورزی، ناشی از عدم حتمیت[1] حاکم بر متغیرهای تصمیم است. به‌عبارت‌دیگر، فرض در اختیار داشتن توزیع دقیق احتمال وقوع بسیاری از متغیرهای غیرقطعی صحیح نمی‌باشد. تحت این شرایط، یگانه راهکار به‌منظور استخراج توزیع شانس رویدادهای غیرحتمی، استفاده از درجه باور یک فرد یا مجموعه‌ای از افراد است (کی ۲۰۱۲). نکته حائز اهمیت این است که بسیاری از محققان برای کمی‌سازی درجه باور و محاسبه معیارهای عدم حتمیت از تئوری احتمال استفاده نمودند در حالی که پس از بسط تئوری‌های مختلف توسط محققان، لیو در سال ۲۰۰۷ تئوری عدم حتمیت را برای کمی‌سازی درجه باور یا همان عدم حتمیت ارائه داد که در مطالعه حاضر، با فرض توأم با عدم حتمیت بودن قیمت محصولات و بارندگی، این تئوری در بخش کشاورزی به‌کارگرفته شد.

با درک اهمیت عدم قطعیت و لزوم لحاظ آن در تصمیم‌سازی و برنامه‌ریزی‌های بخش کشاورزی، بایستی اقدام به مدل‌سازی و سپس حداقل‌سازی عدم حتمیت نمود. این بهینه‌یابی مسلماً مشروط به دستیابی به سطحی استاندارد از بازدهی و با توجه به میزان منابع و نهاده‌های در دسترس انجام می‌شود. از جمله نهاده-های مهم و محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی، نهاده آب می‌باشد. در ایران بیش از ۹۰ درصد منابع آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و با توجه به پیش‌بینی افزایش جمعیت و لذا افزایش تقاضای مواد غذایی، مسائل مربوط به آب و آبیاری در بخش کشاورزی بایستی در اولویت‌های تحقیقاتی کشور قرار گیرد (افروزه و همکاران ۲۰۱۱). جهت افزایش تولید محصولات کشاورزی با توجه به نیاز آبی آنها برای تولید، دو راهکار شامل افزایش منابع در دسترس آب و افزایش بهره‌وری آب وجود دارد. به‌دلیل محدود بودن منابع آبی و عدم اطلاع از شرایط اقلیمی در آینده، روش اول چندان قابل‌اتکا نبوده و لذا روش دوم مبتنی بر افزایش بهره‌وری آب، عملی‌تر می‌نماید. در این راستا، ضمن انجام اقداماتی به‌منظور بالا بردن راندمان آب مصرفی بخش کشاورزی، لازم است که محصولاتی جهت کشت انتخاب شوند که در فرآیند تولید به آب کمتری نیاز داشته باشند و یا در صورت نیاز آبی بالاتر،

[1] Uncertainty

منفعت بیشتری را نسبت به تولید سایر محصولات حاصل نمایند (چیذری و همکاران ۲۰۰۶). در راستای تحلیل بهره‌وری مصرف آب در سطوح ملی و بین‌المللی، مفهوم آب مجازی[1] به‌کارگرفته شده است (آلن ۱۹۹۷). از دهه ۱۹۹۰ از آب مجازی به‌عنوان میزان آب مورد نیاز در فرآیند تولید محصولات تعبیر شده است (آلن ۱۹۹۳). مفهوم مجازی در واقع به این معنا است که بخش عمده آب مصرف‌شده در فرآیند تولید در محصول نهایی حضور فیزیکی ندارد (آلن، ۲۰۰۳). با توجه به وجود کم‌آبی در بسیاری از مناطق جهان، مدیریت مصرف آب مجازی از طریق مدیریت تولید محصولات، بسیار حیاتی و پراهمیت می‌نماید.

در مطالعات ابتدایی، آب مجازی به سه بخش آب آبی[2]، آب سبز[3] و آب خاکستری[4] تفکیک شده‌است (فالکن مارک، ۱۹۹۵). آب آبی شامل آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه می‌باشد (رینگرزما ۲۰۰۳). آب سبز به حجم آبی اطلاق می‌شود که به‌صورت رطوبت خاک ذخیره می‌شود (فالکن مارک ۱۹۹۵). این منبع آبی صرف تبخیر و تعرق گیاهان می‌گردد. به آب‌هایی که طی فرآیند تولید محصولات، آلوده شده و کیفیت اولیه خود را از دست داده‌اند آب خاکستری گفته می‌شود. علاوه بر مفاهیم فوق، آبابایی و رمضانی اعتدالی (۲۰۱٤)، مفهوم دیگری به نام آب سفید را نیز ارائه دادند. این نوع آب مصرفی با تلفات آبیاری مرتبط بوده و به‌طور ویژه، راندمان آبیاری بر مقدار آن اثرگذار است. می‌توان گفت با توجه به شرایط موجود، الگوی کشتی که بدون لحاظ میزان مصرف آب مجازی تعیین گردد، نمی‌تواند یک الگوی کشت بهینه تلقی گردد.

نظر به جایگاه ویژه استان مازندران در تولید محصولات کشاورزی ایران، در مطالعه حاضر، به‌منظور بهینه‌سازی مصرف آب مجازی، به تعیین الگوی بهینه کشت محصولات کشاورزی در بخش گهرباران شهرستان ساری پرداخته شده است. نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به این منطقه، ایستگاه دشت ناز ساری است. بر مبنای اطلاعات موجود، میزان بارندگی در استان مازندران، ۵۵۵/۷ میلی‌متر بوده است و میزان بارندگی گزارش شده در ایستگاه دشت ناز، حدود ۵٤۹/۵ میلی‌متر بوده که می‌توان گفت بارندگی در منطقه مورد بررسی در حد متوسطی است و معمولاً هم نوسانی بیش از ۱۵ درصد داشته است (سازمان هواشناسی استان مازندران، ۲۰۱۷). مطابق با جدیدترین تقسیمات کشوری، گهرباران را به دو ناحیه گهرباران شمالی به مرکزیت طبقده با ۱۱ روستای تحت پوشش و گهرباران جنوبی به مرکزیت ماکران با ۹ روستای تبعه تقسیم نموده‌اند. بر اساس آخرین آمار، این بخش شامل ٤٦٤۳ خانوار بوده که تعداد بهره‌برداران زراعی و باغی آن مشتمل بر ۵۲۷۱ خانوار می‌باشد. طبق بررسی‌های انجام گرفته، تعداد بهره‌برداران زراعی این بخش را می‌توان مشتمل بر حدود ۲۵۰۰ نفر برشمرد. محصولات زراعی عمده این منطقه شامل برنج، گندم، سویا، کلزا، حبوبات، سبزیجات، نباتات علوفه‌ای و محصولات جالیزی شامل هندوانه، خربزه، خیار و گوجه‌فرنگی می‌باشد. میزان سطح کشت محصولات عمده‌ای همچون برنج، گندم و کلزا در این منطقه نسبت به شهرستان ساری به‌ترتیب حدود ۲۱، ٤۰ و ٤۵ درصد بوده است که حاکی از قابل توجه بودن کشت محصولات زراعی در منطقه می‌باشد (سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران ۲۰۱۷). به همین دلیل در این پژوهش، با فرض توأم با عدم حتمیت بودن متغیرهای قیمت محصولات کشاورزی و بارندگی، تلاش شد که از طریق مدل‌سازی و به دنبال آن حداقل‌سازی عدم حتمیت حاصل از این دو متغیر، الگوی کشت بهینه منطقه گهرباران ساری با تأکید بر مدیریت آب مجازی تعیین گردد. همانگونه که پیش‌تر بیان شد، بارندگی از جمله عوامل اثرگذار بر عملکرد محصولات (تولید در

[1] Virtual water
[2] Blue water
[3] Green water
[4] Gray water

هکتار) به‌شمار می‌رود لذا با توجه به رابطه‌ای که عملکرد محصول نسبت به بارندگی می‌تواند داشته باشد، می‌توان عدم حتمیت عملکرد محصولات را نیز محاسبه نمود که این مطالعه مبتنی بر این روش می‌باشد.

در زمینه ارائه الگوی کشت در راستای بهینه‌سازی مصرف آب مجازی و همچنین مدیریت عدم قطعیت، مطالعات متعددی صورت گرفته است. به عنوان مثال، مرتضوی و همکاران (۲۰۱۱) الگوی کشت بهینه، خودمصرفی و فروش محصولات کشاورزی را در دشت ارژن استان فارس در شرایط عدم حتمیت آب و هوایی تعیین نمودند. آنها سه مدل برنامه‌ریزی ریاضی قطعی برای تحلیل‌های کوتاه‌مدت در شرایط عادی، خشکسالی و ترسالی و یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای برای تحلیل بلندمدت سه حالت مذکور را ارائه و مورد استفاده قرار دادند. نتایج آنها حاکی از آن بود که الگوی فعلی منطقه‌ی مورد بررسی با الگوی بهینه اختلاف چندانی ندارد. ولی با اجرای الگوی جدید می‌توان اختلاف بین سود واقعی و بهینه را تا حد امکان کاهش داد. در مطالعه‌ای دیگر، جهان بین (۲۰۱۵) به‌منظور مدیریت استفاده از آب آبی و افزایش استفاده از آب سبز، الگوی کشت مناسب را برای تولید محصولات گروه‌های غلات، حبوبات، سبزیجات، گیاهان صنعتی، سیب‌زمینی و میوه-ها در قالب بهینه‌سازی چندهدفه[1] در حوضه آبریز تعیین نمود. توابع اهداف مد نظر وی مشتمل بر حداکثرسازی سود خالص کشاورزی، حداقل‌سازی سرانه مصرف آب و حداکثرسازی به‌کارگیری آب سبز نسبت به میزان آب مجازی گیاه بوده است. بر مبنای نتایج، به‌منظور دست‌یابی همزمان به اهداف فوق‌الذکر، غلات، گیاهان صنعتی و میوه‌ها به‌ترتیب با سهمی در حدود ۶۲، ۱۹ و ۸ درصد، بیشترین سهم را در الگوی کشت به خود اختصاص دادند. در مطالعه‌ای دیگر، شهیدی و مروت‌نشان (۲۰۱۶) با استفاده از الگوریتم ژنتیک[2]، با هدف حداقل‌سازی آب مجازی، الگو و تراکم کشت بهینه محصولات زراعی دشت بیرجند را مورد بررسی قرار دادند. آنها چهار سناریو شامل تغییر حداکثر ۳۰، ۵۰ و ۷۵ درصدی سطح کشت محصولات نسبت به سطح کنونی و تغییرات آزاد سطح زیرکشت محصولات (از صفر تا حداکثر سطح زیرکشت موجود در منطقه) را مدنظر قرار داده و الگوی کشت بهینه با هدف مذکور را مورد مقایسه و تحلیل قرار دادند. نتایج آنها حاکی از آن بود سطح کشت رایج منطقه و مصرف آب در بخش کشاورزی دشت بیرجند مناسب نیست. یوسف دوست و همکاران (۲۰۱۶) نیز در پژوهشی با استفاده از مدل بهینه‌سازی و در قالب الگوریتم ژنتیک، میزان سطح کشت و تخصیص آب آبیاری را با هدف حداکثرسازی سود حاصل از کشت محصولات در مزارع دشت قزوین در شرایط آب و هوایی مختلف تعیین نمودند. آنها با ترکیب سطوح احتمالی مختلفی از بارندگی، تبخیر و جریان ورودی، بهینه‌سازی را در چهار شرایط مختلف آب و هوایی انجام دادند. نتایج حاکی از آن بود که در شرایط آب و هوایی نرمال، مرطوب، خشک و گرم و خشک، میزان سود بهینه افزایش چشم‌گیری نسبت به الگوی فعلی داشته است و الگوی بهینه تا حد زیادی منجر به کاهش مصرف آب در منطقه مورد مطالعه می‌گردد. عوض‌یار و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی خطی قطعی[3] و برنامه‌ریزی خطی با محدودیت‌های تصادفی، الگوی کشت بهینه و تخصیص بهینه آب را در شرایط عدم قطعیت در دشت‌های کامفیروز و کربال استان فارس تعیین نمودند. آنها محدودیت دسترسی به آب را به‌صورت محدودیت تصادفی در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵، ۹۹ درصد در نظر گرفتند و چهار سناریوی بازده آبیاری ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصدی را نیز مورد بررسی قرار دادند. تابع هدف آنها مبتنی بر حداکثرسازی سود ناخالص بوده است. نتایج

[1] Multi-objective optimization

[2] Genetic algorithm

[3] Deterministic linear programming

آنها حاکی از آن بود افزایش سطح اطمینان مربوط به محدودیت تصادفی دسترسی به آب، منجر به کاهش سطح کشت شلتوک شد. در پژوهشی دیگر صدق‌آمیز و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مفهوم آب مجازی و با به‌کارگیری مدل بهینه‌سازی چندهدفه، به تخصیص مناسب آب کشاورزی و زیست‌محیطی در استان گلستان پرداختند. اهداف آنها مشتمل بر حداکثرسازی عدالت، حداکثرسازی سود کشاورزی هر منطقه، حداکثرسازی بهره‌برداری از آب سبز و حداقل‌سازی کمبودهای زیست‌محیطی بوده است. نتایج آنها حاکی از آن بود که گندم و ذرت به‌ترتیب بیشترین واردات و صادرات را داشته و برنج محصولی بوده که کمترین کمبود تولید برای تأمین تقاضا داشته است.

در مطالعات خارجی، لمان و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به بررسی اثر اقلیم و ریسک قیمت بر مدیریت زمین‌های کشاورزی غرب سوئیس پرداختند. جهت دستیابی به این هدف، یک مدل در سطح مزرعه زیست‌محیطی در قالب الگوریتم ژنتیک را مورداستفاده قراردادند. تابع هدف کشاورزان معادل قطعیت[1] در نظر گرفته‌شده است که در آن نه‌تنها میانگین درآمد، بلکه نوسان درآمد نیز قابل‌بررسی بوده است. مطابق با نتایج آنها، معادل قطعیت به‌دست‌آمده در شرایط نوسان قیمت-ها بیشتر از تغییر اقلیم بوده است. در مطالعه‌ای دیگر، ابراهیم (۲۰۱٤) با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی، الگوی کشتی را با هدف حداقل‌سازی آب مجازی در دره نیل مصر ارائه داد. محدودیت‌های لحاظ شده در مطالعه وی مشتمل به زمین و آب در اختیار و دستیابی به سطح مشخصی از تولید کل بوده است. بر اساس نتایج وی، از میان محصولات زمستانه، سطح کشت گوجه‌فرنگی افزایش و سطح کشت سیب‌زمینی و چغندرقند کاهش یافت. همچنین از میان محصولات تابستانه نیز ذرت و برنج افزایش یافته ولی پنبه، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی کاهش یافت. لی و گائو (۲۰۱۵) نیز به منظور بهینه‌سازی الگوی کشت در راستای مدیریت آب در کشاورزی در شرایط عدم قطعیت در جریان آب و نوسانات سود و عملکرد محصولات در بخش میانی حوزه رود حیفه (شمال غربی چین)، از یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای نادقیق با محدودیت شانسی مبتنی بر متغیرهای فازی-تصادفی[2] استفاده نمودند. نتایج آنها حاکی از آن بود که با استفاده از نتایج مدل پیشنهادی، میزان سود در هر واحد نسبت به مدل برنامه‌ریزی خطی معمولی حدود ۱۳/۲ درصد افزایش می‌یابد. در مطالعه‌ای دیگر ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل برنامه‌ریزی بازه-ای چندمرحله‌ای با محدودیت شانسی احتمال مشترک[3] برای برنامه‌ریزی سطح کشت و تخصیص مناسب آب بین محصولات در شرایط عدم قطعیت مورد استفاده قرار دادند. محدودیت شانسی آنها مربوط به دسترسی به آب بوده است. آنها مدل پیشنهادی خود را برای مدیریت پویای آب و برنامه‌ریزی آبیاری کشاورزی در مراحل مختلف رشد در حوضه رودخانه حیفه عملی نمودند. نتایج نشان داد که میزان نگرش مدیران نسبت به منافع اقتصادی و ریسک عاملی مهم در الگوهای پیشنهادی بوده است. همچنین زی و همکاران (۲۰۱۷)، با توجه به عدم قطعیت موجود در سیستم‌های مدیریت منابع آب، از یک مدل برنامه‌ریزی فازی-تصادفی نادقیق[4] برای تخصیص آب و زمین تحت عدم قطعیت چندگانه استفاده نمودند. آنها مدل برنامه‌ریزی پیشنهادی خود را برای مسئله تخصیص آب و تعیین الگوی کشت تحت محدودیت آب‌های سطحی و زیرزمینی، بارش مؤثر تصادفی و نیاز آبی نادقیق محصولات در شهر جینینگ مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که تخصیص آب در کشاورزی کاملاً تحت تأثیر عدم قطعیت‌های تصادفی و فازی بوده و نتایج ارائه شده برای حمایت یا تعدیل روش‌های مدیریت منابع آب موجود و تخصیص زمین

[1] Certainty equivalent
[2] Random-fuzzy-variable-based inexact two-stage stochastic chance-constrained programming
[3] Interval multistage joint-probabilistic chance-constrained programming
[4] Inexact stochastic-fuzzy optimization

برای توسعه اقتصادی اجتماعی تحت شرایط عدم قطعیت مفید خواهد بود. در پژوهش دیگر، آویسو و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور بهینه‌سازی جریان‌های تجارت آب مجازی برای محصولات کشاورزی در فیلیپین، یک مدل داده-ستانده چندمنطقه‌ای[1] را مورد استفاده قرار دادند. هدف آنها بهینه‌سازی تجارت آب مجازی (کاهش هزینه-های تجارت) با توجه به محدودیت‌های منابع زیست-محیطی محلی، تقاضای محصولات و بهره‌وری اقتصادی بوده است. نتایج آنها نشان داد که در استراتژی بهینه، در یک منطقه‌ی کم آب، لزوماً پیشنهاد به کاهش تولید محصولات آب‌بر نمی‌شود. اما در زمینه به‌کارگیری تئوری عدم حتمیت در مدیریت مزرعه، می‌توان به مطالعه چیریما و ماتت (۲۰۱۸) اشاره نمود. آنها با فرض اینکه قیمت محصولات و نرخ دستمزد نیروی کار، پارامترهای غیرحتمی باشند تئوری عدم حتمیت را در مسائل برنامه-ریزی کشاورزی متداخل نمودند. تابع هدف مدل مدنظر آنها، حداکثرسازی ارزش انتظاری درآمد فروش محصولات و دریافتی‌های نیروی کار منهای هزینه نیروی کار و سایر هزینه‌ها بوده است. آنها از رهیافت توزیع عدم حتمیت معکوس برای محاسبه هزینه‌ها و قیمت‌های فروش انتظاری استفاده نمودند و بر این اساس، فرم دقیق مدل برنامه‌ریزی خود را ارائه دادند. در انتها به منظور نمایان ساختن کاربردی بود مدل پیشنهادی خود در مسئله تعیین الگوی کشت بهینه، آن را با یک مثال عددی برای برخی محصولات فرضی حل نمودند. لازم به توضیح است که مطالعه آنها همانند سایر مطالعات نه تنها به‌صورت تجربی صورت نگرفت، بلکه به مسئله اصل ضرب عدم حتمیت که نمایانگر تمایز اصلی تئوری عدم حتمیت و تئوری احتمال است نپرداخت.

بر مبنای مطالعات ارائه شده و بر اساس اطلاعات موجود، مطالعه داخلی یا خارجی مشابهی که برای گزینش ترکیب بهینه محصولات کشاورزی در راستای بهینه‌سازی مصرف آب مجازی اقدام به حداقل سازی عدم قطعیت از طریق مدل‌سازی و سنجش عدم حتمیت بازده برنامه‌ای محصولات نموده باشد، یافت نشده است. لذا در مطالعه حاضر به این مهم پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

وجود عدم حتمیت در گام اول منجر به استخراج درجه باور در مورد متغیر غیرحتمی می‌شود. پس از استخراج درجه باور، بایستی به مدل‌سازی آن برای محاسبه گشتاورهای ریاضی مورد نیاز پرداخت. بر اساس شواهد ارائه شده توسط لیو (۲۰۰۷)، این مدل-سازی بایستی مبتنی بر اصول تئوری عدم حتمیت انجام پذیرد. در این تئوری، اندازه عدم حتمیت[2] که با $\mathcal{M}$ نمایش داده می‌شود، ویژگی‌های مشخصی دارد. این معیار باید از اصول نرمال بودن[3]، دوگانگی[4]، زیرجمعی شمارا[5] و اصل ضرب[6] عدم حتمیت پیروی نماید (۲۰۰۹). مقایسه این تئوری با تئوری احتمال حاکی از آن است که تمایز اصلی دو تئوری مذکور در اصل ضرب است که در ادامه اصل ضرب عدم حتمیت و ضرب احتمالات ارائه شده است.

اصل ضرب عدم حتمیت: مطابق با این اصل، عدم حتمیت وقوع ضرب یک‌سری از رویدادها برابر با حداقل عدم حتمیت وقوع رویدادهای فردی است. این قضیه به-شرح رابطه (۱) تعریف شده است (لیو، ۲۰۰۹):

$$\mathcal{M}\left\{\prod_{q=1}^{\infty} \Lambda_q\right\} = \bigwedge_{q=1}^{\infty} \mathcal{M}_q\{\Lambda_q\} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

اصل ضرب احتمالات: این اصل بیان می‌کند احتمال وقوع ضرب یک سری از رویدادها برابر با حاصلضرب احتمال وقوع هر یک از آن رویدادها می‌باشد.

$$Pr\left\{\prod_{q=1}^{l} \Lambda_q\right\} = \prod_{q=1}^{l} Pr\{\Lambda_q\} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

[1] Multi-regional input-output model
[2] Uncertain measure
[3] Normality
[4] Self-duality
[5] Countable sub-additivity
[6] Product

اصل فوق حاکی از آن است که اگر برای مدل‌سازی را(٤) درجه باور از تئوری احتمال استفاده شود، احتمال وقوع ضرب دو رویداد، کمتر از میزان متناظر با آن در تئوری عدم حتمیت خواهد بود.

پذیرش اصول تئوری عدم حتمیت منجر به تفاوت-هایی در نحوه محاسبه گشتاورهای ریاضی جهت کمی-سازی نتایج می‌شود و این مسئله زمانی که محقق با شرایط ضرب دو یا چند پارامتر غیرحتمی سر و کار داشته باشد نمود بیشتری دارد که در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. از گشتاورهای ریاضی پرکاربرد در مدل‌سازی‌های بخش کشاورزی، ارزش انتظاری بازده برنامه‌ای کشاورزان می‌باشد. در این راستا در ادامه نحوه محاسبه ارزش انتظاری در تئوری عدم حتمیت و مقایسه آن با تئوری احتمال ارائه می‌شود.

به‌عنوان کاربردی از اصل ضرب عدم حتمیت در سطح مزرعه، می‌توان به پارامتر درآمد محصولات (R) اشاره نمود که از ضرب قیمت هر کیلوگرم محصول (p) در عملکرد محصول (y) قابل محاسبه است به عبارتی $R = p.y$ است. در این صورت اگر $\Phi_p^{-1}(\alpha)$ و $\Phi_y^{-1}(\alpha)$ به ترتیب توزیع عدم حتمیت معکوس برای p و y باشند، از آنجا که درآمد، تابعی افزایشی با توجه به p و y است، به شرط مستقل بودن p و y، می‌توان ارزش انتظاری درآمد را به‌صورت رابطه (۳) نوشت.

$$E(R) = \int_0^1 \Phi_p^{-1}(\alpha).\Phi_y^{-1}(\alpha)d\alpha \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

این در حالی است که اگر تئوری احتمال در مدل‌سازی درجه باور استفاده شود، با شرط استقلال دو متغیر تصادفی می‌توان نوشت (لیو، ۲۰۱۵):

$$VaR(\alpha) = sup\{r|\mathcal{M}\{f(\xi_1,\xi_2,\dots,\xi_l) \geq r\} \geq \alpha\} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

که می‌توان با توجه به توزیع عدم حتمیت معکوس متغیرهای غیرحتمی $\xi_1,\xi_2,\dots,\xi_l$ (برای اختصار با فرض افزایشی بودن تابع f نسبت به متغیرها)، $VaR(\alpha)$ را در قالب رابطه (٦) بیان نمود:

$$VaR(\alpha) = f(\Phi_1^{-1}(1-\alpha),\Phi_2^{-1}(1-\alpha),\dots,\Phi_l^{-1}(1-\alpha)) \qquad \text{(رابطه ٦)}$$

رابطه ٤

$$E(R) = \int_0^1 \Phi_p^{-1}(\alpha)d\alpha \,.\, \int_0^1 \Phi_y^{-1}(\alpha)d\alpha$$

که با نتیجه رابطه (۳) متفاوت است.

بنابراین اگر با درجه باور همانند احتمال ذهنی رفتار شود و برای محاسبه ارزش انتظاری متغیر غیرحتمی از روش تئوری احتمال استفاده شود، برآورد صحیحی حاصل نمی‌شود.

در مطالعه حاضر، ضمن محاسبه درآمد انتظاری مبتنی بر تئوری عدم حتمیت، به محاسبه شاخص ارزش در معرض خطر دنباله‌دار (TVaR[1]) به‌عنوان سنجه عدم حتمیت نیز پرداخته شده است. در ابتدا لازم به توضیح است که شاخص ارزش در معرض خطر[2] VaR به‌عنوان یکی از شاخص‌های اندازه‌گیری پراکندگی مطرح شده است. شاخص n دوره‌ای VaR در یک پرتفوی نشان می-دهد که در n دوره آینده با احتمال α درصد، زیان پرتفوی از میزان VaR بیشتر نخواهد گشت. شاخص VaR علی-رغم توانایی‌هایی که دارد، دارای نواقصی است. برای مثال این شاخص نمی‌تواند زیان‌های فراتر از VaR را محاسبه نماید. جهت حل این مشکلات آرتزنر و همکاران (۱۹۹۷) معیار TVaR را برای یک متغیر تصادفی پیشنهاد نموده‌اند. اما در مفهوم تئوری عدم حتمیت، پنگ (۲۰۱۳) برای متغیرهای توأم با عدم حتمیت (برای مثال ξ) و نهایتاً برای تابع $f(\xi_1,\xi_2,\dots,\xi_l)$، شاخص VaR را به‌صورت رابطه (۵) تعریف نموده است (پنگ، ۲۰۱۳):

[1] Tail Value at Risk (TVaR)

[2] Value at Risk (VaR)

با توجه به نقص از پیش گفته برای VaR، پنگ (۲۰۱۳) شاخص TVaR را برای متغیر غیرحتمی به‌شرح رابطه (۷) معرفی نموده است.

$$TVaR(\alpha) = \frac{1}{1-\alpha}\int_{\alpha}^{1} VaR(\beta)d\beta \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

نحوه محاسبه شاخص TVaR در تئوری عدم حتمیت تنها زمانی مجزا از محاسبات مبتنی بر تئوری احتمال است که بیش از یک متغیر غیرحتمی موجود باشد و این تمایز با افزایش متغیرهای ضربی شدت می‌یابد. مقدار $TVaR(\alpha)$ برای زیان مبتنی بر قواعد تئوری عدم حتمیت و با توجه به مستقل بودن p و y به‌صورت رابطه (۸) خواهد بود.

$$TVaR_i^{\alpha} = -\frac{1}{1-\alpha}\int_{\alpha}^{1} \Phi_{y_i}^{-1}(1-\beta)\Phi_{p_i}^{-1}(1-\beta)d\beta + Cost_i \qquad \text{(رابطه ۸)}$$

که در آن $Cost_i$ بیانگر هزینه هر هکتار محصول iام است.

یکی از عناصر مهم در محاسبه گشتاورهای ریاضی بر مبنای روابط پیشین، شکل توزیع عدم حتمیت می‌باشد. شایان ذکر است از جمله فرم‌های تبعی که تا به‌حال برای توزیع عدم حتمیت مدنظر قرار گرفته شده است شامل توزیع عدم حتمیت خطی[1]، زیگ‌زاگ[2]، نرمال[3] و لاگ نرمال[4] می‌باشد[5] (لیو ۲۰۱۵). هر یک از این فرم‌ها مبتنی بر پارامترهایی می‌باشند. به‌عنوان مثال برای ساختن توزیع نرمال، بایستی دو پارامتر میانگین و واریانس تعیین شود. برای محاسبه این پارامترها روش‌های مختلفی وجود دارد که در مطالعه حاضر پس از جمع-آوری اطلاعات باورهای ذهنی کشاورزان، از روش حداقل مربعات[6] پیشنهاد شده توسط لیو (۲۰۱۵) استفاده شده است. اصل حداقل مربعات پیشنهادی، مبتنی بر حداقل‌سازی مجموع مربعات اختلاف بین داده‌های تجربی (پرسشگری شده) و توزیع عدم‌حتمیت برآوردی است. در این مطالعه از میان فرم‌های مذکور، به‌منظور انتخاب یک فرم مناسب برای توزیع عدم حتمیت از شاخص RMSE[7] استفاده شد.

این نکته لازم به توضیح است که به‌هنگام پرسشگری از m شخص، می‌توان برای هر یک از آنان توزیع عدم حتمیتی به صورت Φ_m استخراج نمود که بایستی بر اساس تمامی آنها، توزیع عدم حتمیت جامع محاسبه شود. در این راستا با اینکه لیو روش میانگین حسابی را پیشنهاد داده است ولی در مطالعه حاضر از روش حسامیان و همکاران (۲۰۱۱) بهره گرفته شد. در این روش ابتدا یک تابع یا چند توزیع تجربی جامع ساخته می‌شود و سپس با توجه به مقادیر بیان شده قیمت و بارش از سوی فرد، اختلاف درجه باور هر فرد در مورد سطوح مختلف متغیر غیرحتمی با توزیع تجربی محاسبه می‌شود. هر چه این اختلاف بیشتر باشد، نشان می‌دهد توزیع جامع ساخته شده توضیح‌دهنده افراد زیرمجموعه نیست. به همین دلیل در هر مرحله، توزیع‌های تجربی مختلفی ساخته می‌شود تا خطاها حداقل شود. به‌عنوان مثال در این مطالعه، ابتدا تمامی افراد در یک گروه قرار گرفتند و با ساخت یک تابع توزیع تجربی درجه باور،

[1] Linear
[2] Zigzag
[3] Normal
[4] Lognormal

[5] برای مشاهده فرم‌ها به مطالعه لیو (۲۰۱۵) مراجعه شود. برای تلخیص از ذکر آن امتناع شده است.

[6] Least square
[7] Root Mean Square Error

اختلاف درجه باور افراد با آن سنجیده شد و این فرآیند تا ساخت یه گروه درجه باور ادامه یافت تا نتایج قابل قبول حاصل شود[۱]. مسلماً این توزیع‌های ساخته شده در هر گروه درجه باور، به لحاظ پارامترهای انواع توزیع عدم حتمیت با یکدیگر اختلاف دارند.

در مرحله بعد با محاسبه پارامترهای توزیع عدم حتمیت، به عنوان نمونه برای قیمت محصول می‌توان توزیع عدم حتمیت خطی معکوس، نرمال معکوس، لاگ‌نرمال معکوس و زیگزاگ معکوس را محاسبه نمود[۲] (لیو ۲۰۱۵).

در این پژوهش، فرض بر این بوده که عدم حتمیت عملکرد محصولات ناشی از عدم حتمیت بارندگی می‌باشد لذا در مطالعه حاضر ابتدا توزیع عدم حتمیت بارش باران در فصل زراعی محاسبه و سپس با توجه به تابع واکنش عملکرد محصول نسبت به بارندگی، توزیع عدم حتمیت عملکرد محصول با توجه به قوانین عملیاتی در تئوری عدم حتمیت تعیین گشت.

از آنجاکه منطقه مورد مطالعه واقع در حومه ایستگاه هواشناسی دشت ناز ساری است، لذا برای برآورد دقیق‌تر تابع واکنش عملکرد، از اطلاعات عملکرد شهرستان ساری و داده‌های بارندگی ایستگاه دشت ناز استفاده شده است. نظر به اینکه ایستگاه سینوپتیک دشت ناز از سال ۱۳۸۰ شروع به کار کرده است لذا به دلیل کمبود داده‌ها، امکان برآورد تابع واکنش هر محصول به‌صورت جداگانه نبوده است. به همین دلیل از روش داده‌های پانلی بهره گرفته شد به‌گونه‌ای که در آن مقاطع شامل محصولات و سری زمانی شامل سال‌های ۱۳۹٤-۱۳۸۰ بوده است. به‌منظور محاسبه رابطه بین عملکرد محصولات و بارندگی، محصولات به دو گروه آبی و دیم تفکیک شدند و برای هر گروه محصولات، تابع مورد نظر برآورد شد. محصولاتی شامل برنج شیرودی، برنج طارم، گوجه‌فرنگی، هندوانه و سویا در محصولات بهاره و محصولاتی شامل گندم، کلزا، جو و عدس در محصولات پاییزه مدنظر قرار گرفت.

به‌منظور برآورد اثر بارندگی بر عملکرد محصولات آبی، ابتدا فرض شد که تنها عامل غیرقطعی اثرگذار بر عملکرد محصول، بارندگی باشد که اثر آن در جمله اخلال (u_{it}) رابطه (۹) نهفته است.

$$lny_{it} = \gamma_{0i} + \gamma_1 irr_{it} + \gamma_2 irr_{it}^2 + \gamma_3 fe_{it} + \gamma_4 rday_{it} + u_{it} \quad \text{(رابطه ۹)}$$

که در آن lny_{it} لگاریتم عملکرد محصول iام در زمان tام، irr و irr^2 نیز به ترتیب معرف آبیاری به همراه توان دوم آن است. همچنین fe_{it} نشانگر نهاده کود به عنوان نماینده نهاده‌های مدیریتی و $rday_{it}$ شاخص توزیع بارندگی در فصل زراعی محصول است که از تقسیم روزهای بارندگی بر کل روزهای رشد گیاه محاسبه شده است. پس از محاسبه u_{it}، رابطه (۱۰) به‌منظور محاسبه اثر بارندگی بر عملکرد برآورد شد.

$$u_{it} = \vartheta_{0i} + \vartheta_{1i} rain_{it} + \vartheta_{2i} rain_{it}^2 \quad \text{(رابطه ۱۰)}$$

که در آن $rain_{it}$ و $rain_{it}^2$ به ترتیب معرف بارندگی و توان دوم آن در دوره کشت محصول iام در سال tام است. لازم به توضیح است که از آنجاکه برای استفاده از ضرایب ϑ_{1i} و ϑ_{2i}، بایستی این ضرایب معنی‌دار باشند لذا در تخمین مرحله قبل (عوامل موثر بر عملکرد)، فرم‌های مختلفی مد نظر قرار گرفت که در نهایت فرم ارائه شده در رابطه (۹) به عنوان بهترین حالت لحاظ گشت.

[۱] برای اطلاع از این فرایند به مقاله حسامیان و همکاران (۲۰۱۱) مراجعه شود.

[۲] به جهت اختصار از آوردن توابع توزیع عدم حتمیت امتناع شده است. جهت مشاهده این توابع به لیو (۲۰۱۵) مراجعه شود.

پس از محاسبه ϑ_{1i} و ϑ_{2i} از رابطه (۱۰)، یک رابطه ریاضی در قالب معادله (۱۱) مدنظر قرار گرفت.

$$lny_i = \beta_{0i} + \beta_{1i} rain_i + \beta_{2i} rain_i^2 \qquad \text{(رابطه ۱۱)}$$

در رابطه (۱۱)، β_{1i} و β_{2i} همان شیب‌های محاسبه شده در رابطه (۱۰) بوده و β_{0i} با استفاده از مقادیر میانگین عملکرد هر محصول و بارندگی در فصل رشد آن در سالهای مورد بررسی محاسبه گشت.

براساس روابط محاسبه شده فوق‌الذکر، با محاسبه β_0، β_1 و β_2 برای هر محصول، می‌توان برمبنای قوانین عملیاتی در تئوری عدم حتمیت، توزیع عدم حتمیت معکوس عملکرد ($\Phi_y^{-1}(\alpha)$) را از طریق پارامترهای فوق و توزیع عدم حتمیت بارندگی ($\Phi_r^{-1}(\alpha)$) در قالب رابطه (۱۲) محاسبه نمود[۱].

$$\Phi_y^{-1}(\alpha) = exp\left\{\beta_0 + \beta_1\left(\Phi_r^{-1}(\alpha)\right) + \beta_2\left(\Phi_r^{-1}(\alpha)\right)^2\right\} \qquad \text{(رابطه ۱۲)}$$

لازم به توضیح است برای محصولات دیم نیز مراحل فوق تکرار می‌شود با این تفاوت که برای محصولات دیم، متغیر آبیاری حذف می‌گردد.

پس از محاسبه توابع توزیع عدم حتمیت، گام مهم بعدی در مطالعه حاضر، محاسبه آب مجازی محصولات مورد بررسی بوده است. اولین گام در این مرحله، محاسبه نیاز آبی محصولات بوده که از روش پنمن-مانتیث-فائو در قالب نرم‌افزار Cropwat مبتنی بر داده-های هواشناسی طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۸۰ استفاده شده است. به‌منظور محاسبه آب سبز، آب آبی، آب خاکستری و آب سفید در هر هکتار از محصول به ترتیب از روابط (۱۳) تا (۱۶) استفاده شده است (آبابایی و رمضانی اعتدالی، ۲۰۱٤).

$$WF_{Green} = R_e \times 10 \qquad \text{(رابطه ۱۳)}$$

$$WF_{Blue} = (ET_c - R_e) \times 10 \qquad \text{(رابطه ۱٤)}$$

$$WF_{gray} = \frac{a \times NAR}{Ca_{Max} - Ca_{Nat}} \qquad \text{(رابطه ۱۵)}$$

$$WF_{White} = 10 \times \{D_t - (ET_c - R_e)\} \qquad \text{(رابطه ۱٦)}$$

در روابط فوق، WF_{Green} آب مجازی سبز، WF_{Blue} آب مجازی آبی، WF_{Gray} آب خاکستری و WF_{White} آب مجازی سفید و بر حسب مترمکعب بر هکتار است. همچنین R_e مجموع بارندگی مؤثر در طول دوره رشد هر گیاه (mm)، ET_c تبخیر و تعرق هر گیاه (mm)، α (٪) درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR (kg/ha) نرخ مصرف کود برای هر گیاه، C_{Max} غلظت بحرانی نیتروژن (kg/m^3)، C_{Nat} غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده (kg/m^3)، D_t عمق آب آبیاری برای هر گیاه

[۱] البته این رابطه همواره برقرار نیست. بر اساس قوانین عملیاتی، رابطه مدنظر تنها زمانی صادق است که اولا $rain$ و $rain^2$ از یکدیگر مستقل باشند و ثانیا β_1 و β_2 مثبت باشند. در این حالت خاص که دو متغیر به هم کاملاً وابسته هستند رابطه فوق تنها زمانی حاکم است که β_1 و β_2 مثبت باشند. در صورتی که هر یک از پارامترهای مذکور منفی باشد، بایستی نقطه بحرانی تابع یعنی اکسترمم آنرا محاسبه نمود و با توجه به قوانین عملیاتی عمل نمود.

در طول فصل رشد (mm) و ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از mm به m^3/ha می‌باشد.

مقادیر R_e با استفاده از روش USDA محاسبه شده است. همچنین مقادیر α در شرایط دیم و فاریاب به ترتیب ۵ و ۱۰٪ در نظر گرفته شد (چاپاگین و همکاران، ۲۰۰۶). در این مطالعه، WF_{Gray} تنها تحت تأثیر کودهای نیتروژن به‌کار گرفته شده است. حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده براساس استاندارد اتحادیه اروپا که در ایران نیز صادق است حدود ۵۰ میلی‌گرم در لیتر درنظرگرفته شد. در بسیاری از مطالعات پیشین ذکر شده که به دلیل عدم اطلاع دقیق از غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده، این مقدار برابر صفر در نظر گرفته می‌شود ولی در مطالعه حاضر از مطالعاتی که در زمینه آلودگی نیترات آب‌های زیرزمینی حومه شهرستان ساری انجام شده است مورد استفاده قرار گرفت. در این زمینه لهراسبی و خوش‌روش (۲۰۱۶) میانگین آلودگی نیترات در آبهای زیرزمینی را حدود ۱۹/۲۹ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه نمودند که در پژوهش حاضر، در محاسبات آب خاکستری مورد استفاده قرار گرفته است.

هدف مطالعه حاضر، تعیین الگوی بهینه کشت همسو با مدیریت آب مجازی در شرایط عدم حتمیت بارش باران و قیمت محصولات زراعی می‌باشد. به‌این منظور، در تحقیق حاضر جهت مدل‌سازی اقتصادی فعالیت کشاورزان، اهداف مختلفی مدنظر قرار گرفته است. این اهداف شامل حداقل‌سازی آب مجازی، حداکثرسازی سود ناخالص و حداقل‌سازی عدم حتمیت سود ناخالص محصولات زراعی کشت شده در منطقه گهرباران ساری می‌باشد. لازم به توضیح است که برای طراحی مدل‌های چند هدفه رویکردهای مختلفی وجود دارد که یکی از آنها رویکرد مقید می‌باشد. در این رویکرد به‌عنوان مثال یک رابطه در تابع هدف قرار می‌گیرد و بقیه توابع هدف به قیدها منتقل می‌شوند. در این مطالعه، حداقل‌سازی مصرف آب مجازی در تابع هدف نگه داشته شده و دو هدف دیگر به قید منتقل شده اند که در ادامه به ارائه آنها پرداخته شده است.

سود ناخالص حاصل از کشت محصولات از کسر هزینه نهاده‌های مورد استفاده از درآمد حاصل از تولید و فروش محصولات محاسبه می‌شود. درآمد هر هکتار نیز از حاصلضرب قیمت و عملکرد محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه نهاده مورد تأکید در مطالعه حاضر، نهاده آب می‌باشد لذا لازم است در مورد مقدار استفاده و هزینه آن توضیحات بیشتری ارائه شود. مسلماً گیاهان در طول دوره‌های مختلف رشد نیازمند سطوح مختلفی از نهاده‌ها مانند آب می‌باشند. آب مورد استفاده در طول دوره رشد تا برداشت که به آن آب مجازی گفته می‌شود، شامل آب آبی (A_i^{bw})، آب سبز (A_i^{gw})، آب خاکستری (A_i^{gyw}) و آب سفید (A_i^{whw}) می‌باشد. واضح است که زارعان جهت استفاده از آب سبز هزینه‌ای پرداخت ننموده و هزینه‌ی آب مربوط به هزینه‌ی آبیاری (آب آبی) است. با فرض اینکه X_i بردار سطح کشت اختصاص یافته به هر محصول باشد، با تفکیک هزینه‌های آب از سایر هزینه‌ها، تابع سود ناخالص مدنظر نظر به‌شرح رابطه‌ی (۱۷) می‌باشد:

$$TGM = \sum_{i=1}^{n}(P_iY_i - A_i^{w^c}P^{w^c} - (A_i^{bw} + A_i^{whw})P^{bw})X_i \qquad \text{(رابطه ۱۷)}$$

که TGM سود ناخالص الگو، n معرف تعداد محصولات، P_i قیمت محصول iام، Y_i عملکرد محصول iام، $A_i^{w^c}$ نشان‌دهنده میزان استفاده از نهاده‌ها به‌غیر از آب و P^{w^c} هزینه مربوط به هر واحد از آن نهاده‌ها می‌باشد. همچنین ($A_i^{bw} + A_i^{whw}$) میزان آبیاری (آب آبی و سفید) هر محصول و P^{bw} هزینه هر واحد تأمین آب می‌باشد.

نظر به اینکه یکی از اهداف مطالعه حاضر، انتخاب محصولاتی است که ضمن حداکثرسازی منفعت، آب مجازی مورد استفاده را نیز به حداقل برسانند، لذا هدف

حداقل‌سازی آب مجازی به‌شرح رابطه (۱۸) لحاظ می‌گردد:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n} (A_i^{bw} + A_i^{gw} + A_i^{gyw} + A_i^{whw}) X_i \qquad \text{(رابطه ۱۸)}$$

براساس رابطه فوق، با توجه به اینکه آب مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه شامل آب آبی، آب سفید، آب سبز و آب خاکستری می‌باشد، لذا آب مجازی از مجموع استفاده از این چهار منبع قابل محاسبه می‌باشد.

شایان ذکر است که محدودیت‌های نهاده‌ای لحاظ شده مشتمل بر زمین، آب و سرمایه بایستی منطبق بر واقعیت‌های حاکم بر کشاورزان منطقه مورد مطالعه مدل‌سازی شود. می‌توان گفت زمین اولین نهاده‌ای است که بایستی قیود مربوط به آن تشریح شود. محدودیتی که برای زمین لحاظ می‌شود باید به‌گونه‌ای باشد که اجازه فراتر رفتن مجموع سطح کشت را از زمین‌های در اختیار ندهد. طبق بررسی‌های انجام گرفته مبتنی بر اطلاعات پرسشنامه‌ای و مصاحبه با کشاورزان منطقه مورد مطالعه، زمین‌های در اختیار کشاورز را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود. دسته اول که در واقع سهم بسیار بالایی نیز داشته‌اند، زمین‌هایی بوده که به کشت برنج اختصاص یافته اند. این زمین‌ها آبی بوده و شالیزاری شناخته‌می‌شود. دسته دوم زمین‌هایی بوده که دسترسی به آب آبیاری مناسب برای آنها وجود ندارد و لذا زمین دیم‌کاری محسوب می‌شوند. دسته سوم نیز باغ‌های ۱ تا ۳ ساله قابل کشت می‌باشد. البته لازم به ذکر است که جامعه آماری در مطالعه‌ی حاضر بهره‌برداران زراعی بوده است ولی در نمونه‌گیری، کشاورزانی بوده‌اند که محصول گوجه‌فرنگی و هندوانه را در باغ‌های مذکور کشت نمودند. در این باغ‌ها امکان کشت محصولی مانند برنج یا گندم و کلزا وجود ندارد. لذا بایستی برای زمین محدودیت‌هایی منطبق بر واقعیت‌های فوق‌الذکر لحاظ شود. در ادامه به‌ترتیب محدودیت مربوط به کشت محصولات دیم (id)، کشت برنج (ir) و کشت گوجه‌فرنگی و هندوانه (ig) ارائه شده است.

$$\sum_{id=1}^{3} X_{id} \leq dryland + riceland \qquad \text{(رابطه ۱۹)}$$

$$\sum_{ir=1}^{2} X_{ir} \leq riceland \qquad \text{(رابطه ۲۰)}$$

$$\sum_{ig=1}^{2} X_{ig} \leq garden + riceland - \sum_{ir=1}^{2} X_{ir} \qquad \text{(رابطه ۲۱)}$$

که در آن $dryland$، معرف زمین‌های دیم در اختیار کشاورز، $riceland$ زمین‌های شالیزاری در اختیار و $garden$ نیز معرف زمین‌های باغی قابل کشت به گوجه-فرنگی و هندوانه می‌باشد.

محدودیت (۱۹) و (۲۰) به نوبه خود بیانگر لحاظ تناوب کشت نیز می‌باشد. برمبنای نتایج مصاحبه با کشاورزان منطقه مورد مطالعه، اصولاً زمین شالیزاری در اختیار آنها قابلیت اختصاص به محصولات دیم را داشته است لذا در سمت راست رابطه (۱۹)، riceland نیز مشاهده می‌شود (منظور از زمین شالیزاری زمینی است که دسترسی آسان به آب باکیفیت را داشته باشد).

در منطقه مورد مطالعه به دلیل تأخیر کشت برنج، امکان کشت گندم، کلزا و جو قبل از آن وجود دارد ولی اگر در زمینی گندم یا برنج کشت شود، دیگر امکان کاشت گوجه‌فرنگی یا هندوانه برای آن وجود ندارد لذا محدودیت (۲۱) به‌صورت فوق ارائه شده است.

محدودیت بعدی که همواره کشاورزان از آن رنج می-برند نبود سرمایه کافی جهت اقدام به کاشت هر سطحی از محصولات است. اگر سرمایه مورد نیاز برای هر هکتار محصول iام با Cap_i نمایش داده شود، محدودیت سرمایه‌ای کشاورز در انتخاب الگوی کشت به شرح رابطه (۲۲) می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^{n} Cap_i X_i \le Tcap \qquad \text{(رابطه ۲۲)}$$

که در آن $Tcap$ معرف کل سرمایه قابل استفاده برای زراعت می‌باشد.

نهاده مهم دیگری که در پژوهش حاضر بر آن تأکید شده است، نهاده آب می‌باشد. آب مصرفی را می‌توان از دو طریق آبیاری و یا بارندگی تأمین نمود. برای محصولات آبی دو محدودیت آبی لحاظ شده است. در یک محدودیت، میزان کل آبیاری در الگوی کشت بایستی کمتر از میزان آب آبیاری ($Tirr$) موجود باشد که در رابطه (۲۳) گنجانده شده است.

$$\sum_{i=1}^{n} irr_i X_i \le Tirr \qquad \text{(رابطه ۲۳)}$$

در مطالعه حاضر فرض می‌شود میزان آب آبیاری در اختیار کشاورز برمبنای میزان آب خریداری شده توسط زارعان قابل محاسبه بوده است. در رابطه فوق، irr_i میزان آبیاری مورد نیاز در هر هکتار محصول iام است.

در محدودیت دیگر برای محصولات آبی، میزان نیاز آبی گیاه (مشتمل بر آب آبی، آب سفید و آب سبز) محدود به میزان آب آبیاری و میزان بارندگی شانسی در دوره کشت آن محصولات می‌باشد. لازم به توضیح است که به‌دلیل عدم تطابق کامل دوره رشد این محصولات، به‌ناچار چنین قیدی برای هر یک از محصولات به شرح رابطه (۲٤) لحاظ شد.

$$\left(A_{iw}^{bw} + A_{iw}^{gw} + A_{iw}^{whw}\right) X_{iw} \le Peff_{iw}.Tland_{iw} + Tirr \qquad \text{(رابطه ۲٤)}$$

که در آن $\mathrm{Peff_i}$ بارش مؤثر در دوره رشد محصول iام، $\mathrm{Tland_i}$ کل زمین‌های قابل اختصاص به محصول i و iw بیانگر مجموعه محصولات آبی است.

برای محصولات دیم نیز یک حداقل آب سبزی برای رسیدن به عملکرد انتظاری مورد نیاز است به‌طوری‌که بارش کمتر از حد (کمتر از آب سبز)، به تولید محصول به میزان مناسب نمی‌انجامد. به همین دلیل در اینجا، نیاز آبی گیاهان دیم مشتمل بر گندم، کلزا و جو محدود به میزان بارندگی مؤثر شانسی خواهد بود.

$$A_{id}^{gw} X_{id} \le Peff_{id}.Tland_{id} \qquad \text{(رابطه ۲۵)}$$

با گذاشتن چنین قیدی، محصولات آبی می‌توانند کمبود آب آبیاری را تا حدودی از طریق بارندگی جبران نمایند.

علاوه بر محدودیت‌های فوق، از آنجاکه برخی محصولات مانند برنج طارم اصولاً حداقل به اندازه خودمصرفی کشت می‌شوند لذا محدودیت خودمصرفی این محصول نیز به‌صورت رابطه (۲٦) لحاظ گشت. این سطح خودمصرفی حدود ۰/۲ هکتار درنظر گرفته شد.

$$X_{tarom} \ge 0.2 \qquad \text{(رابطه ۲٦)}$$

لازم به توضیح است که در پژوهش حاضر به‌منظور لحاظ همزمان حداکثرسازی سود و حداقل‌سازی عدم حتمیت از تئوری معادل قطعیت استفاده می‌شود. زمانی که معیار عدم حتمیت TVaR باشد آنگاه معادل قطعیت در قالب رابطه (۲۷) محاسبه می‌شود (شالینگ و کی‌سر، ۲۰۱٦):

$$CE = wE(TGM) - (1-w)TVaR_{TGM}^{\alpha} \qquad \text{(رابطه ۲۷)}$$

که در آن w معرف وزنی است که به سود داده می‌شود. به‌منظور محاسبه این پارامتر از تکنیک استخراج تابع مطلوبیت چند مشخصه‌ای[1] (MAUF) استفاده شد. این روش که مبتنی بر محاسبه وزن ریسک و در نتیجه ضریب ریسک‌گریزی بوده است ابتدا توسط سامپسی و همکاران (۱۹۹۷) پیشنهاد شد و سپس توسط آمادور و همکاران (۱۹۹۸) توسعه داده شد[2].

به منظور مدیریت مصرف آب مجازی، الگوی کشتی که تعیین می‌شود بایستی آب مجازی کمتری هم نسبت به شرایط فعلی داشته باشد ولی در عین حال معادل قطعیتی که ایجاد می‌کند حداقل به اندازه معادل قطعیت الگوی جاری ($CE_{Current}$) باشد. چرا که کشاورزان به فکر منافع خویش بوده و مسلماً الگویی که سود قطعی کمتری برای آنان ایجاد کنند قابلیت پذیرش نخواهد داشت. به‌همین دلیل مسئله بهینه‌سازی به یک مسئله با هدف حداقل‌سازی مصرف آب مجازی با قید دستیابی به معادل قطعیتی حداقل به اندازه‌ی مقدار جاری و سایر قیود تبدیل می‌شود که در قالب مدل (۲۸) ارائه شده است.

(رابطه ۲۸)

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n} (A_i^{bw} + A_i^{gw} + A_i^{gyw} + A_i^{whw}) X_i$$

Subject to

$$CE = w.E(TGM) - (1-w).TVaR_{TGM}^{\alpha} \geq CE_{Current}$$

$$E(TGM) = \sum_{i=1}^{n} \left(\int_0^1 \Phi_{p_i}^{-1}(\alpha).\Phi_{y_i}^{-1}(\alpha) d\alpha - A_i^{w^c} P^{w^c} - (A_i^{bw} + A_i^{whw}) P^{bw} \right) X_i$$

$$TVaR_{TGM}^{\alpha} = \sum_{i=1}^{n} \left(-\frac{1}{1-\alpha} \int_{\alpha}^{1} \Phi_{y_i}^{-1}(1-\beta) \Phi_{p_i}^{-1}(1-\beta) d\beta + Cost_i \right) X_i$$

$$\Phi_{y_i}^{-1}(\alpha) = \exp\left(\beta_{0i} + \beta_{1i}\Phi_R^{-1}(\alpha) + \beta_{2i}\left(\Phi_R^{-1}(\alpha)\right)^2\right)$$

$$\sum_{id=1}^{3} X_{id} \leq dryland + riceland$$

$$\sum_{ir=1}^{2} X_{ir} \leq riceland$$

$$\sum_{ig=1}^{2} X_{ig} \leq garden + riceland - \sum_{ir=1}^{2} X_{ir}$$

$$\sum_{i=1}^{n} irr_i X_i \leq Tirr$$

$$M\left\{\left(A_{iw}^{bw} + A_{iw}^{gw} + A_{iw}^{whw}\right) X_{iw} \leq Peff_{iw}.Tland_{iw} + Tirr\right\} \geq \vartheta$$

$$M\left\{A_{id}^{gw} X_{id} \leq Peff_{id}.Tland_{id}\right\} \geq \vartheta$$

$$X_{tarom} \geq 0.2$$

$$X_i \geq 0$$

[1] Multi-attribute utility function

[2] جهت تلخیص از تشریح آن امتناع شده است.

منطقه مورد مطالعه تحقیق، بخش گهرباران ساری بوده است که برای جمع‌آوری درجه باور کشاورزان در مورد قیمت محصولات و بارندگی برای فصل کشت ۱۳۹۷-۱۳۹۶ انتخاب شده است. روش‌نمونه‌گیری تصادفی کامل بوده و حجم نمونه‌های مورد نیاز برای هر روستا و با استفاده از فرمول کوکران (۱۹۷۷) در قالب رابطه (۲۹) تعیین گردید.

$$n = \frac{N s^2}{(N-1)D+s^2} \quad \text{(رابطه ۲۹)}$$

$$D = \frac{B^2}{4} \quad \text{(رابطه ۳۰)}$$

که در آن n تعداد پرسشنامه‌های مورد نیاز در هر روستا، N تعداد بهره‌برداران زراعی هر روستا، s^2 واریانس زمین در اختیار کشاورزان و D ضریب خطای تخمین می‌باشد که از رابطه (۳۰) به‌دست می‌آید. B نیز معرف خطای اندازه‌گیری بوده و ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است.

در مطالعه حاضر به‌منظور استخراج قضاوت‌های ذهنی کشاورزان ، بنابر پیشنهاد لیو از روش cdf[1] استفاده شده است. با توجه به پرسشگری‌های انجام شده، عمده محصولات بهاره این منطقه شامل برنج طارم هاشمی، برنج شیرودی، هندوانه و گوجه‌فرنگی است که در این مطالعه به آنها پرداخته می‌شود. سایر اطلاعات مورد نیاز شامل کود مصرفی در هر هکتار از محصولات طی سالهای ۱۳۹٤-۱۳۸۰ از جهاد کشاورزی استان مازندران و اطلاعات بارندگی مربوط به سال‌های ۱۳۹٤-۱۳۸۰ از سازمان هواشناسی استان مازندران جمع‌آوری گردید. برای محاسبه آبیاری در هر سال نیز به دلیل عدم وجود داده‌های مربوطه، نرم‌افزار Cropwat مورد استفاده قرار گرفت. به منظور برآورد تابع واکنش عملکرد از نرم افزار Eviews، برای محاسبه توابع توزیع عدم حتمیت، درآمد انتظاری و TVaR هر محصول در سطح ۹۰ درصد از نرم‌افزار Matlab استفاده شده است.

لازم به ذکر است به‌دلیل پیچیدگی برخی روابط از روش-های عددی انتگرال‌گیری نظیر کوادراتور لوباتو[2] و گوس-کرونرود[3] بهره گرفته شد. در نهایت جهت ارائه الگوی کشت درراستای بهینه‌سازی مصرف آب مجازی از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است.

نتایج و بحث

پس از مصاحبه با ۱۲۰ کشاورز منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری درجه باور آنان در مورد قیمت محصولات و بارندگی، با توجه به روش ارائه شده در بخش پیشین، قضاوت‌های ذهنی در مورد قیمت هر محصول و همچنین بارندگی به سه گروه تقسیم شد.

بعد از گروه‌بندی درجه باور، توزیع درجه باور تجربی برای هر گروه از طریق میانگین اظهارات افراد آن گروه محاسبه و به‌منظور محاسبه پارامترهای توابع توزیع عدم حتمیت خطی، زیگزاگ، نرمال و لاگ‌نرمال مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، از میان فرم‌های توزیع عدم حتمیت، توابع مختلف به لحاظ شاخص RMSE مورد مقایسه قرار گرفت و برای قیمت هر یک از محصولات و همچنین بارندگی، بهترین فرم توزیع عدم حتمیت انتخاب شد. لازم به توضیح است که پس از محاسبه توابع توزیع عدم حتمیت، با توجه به انحراف معیار هر گروه درجه باور، گروه‌ها مبتنی بر انحراف بالا، متوسط و پایین مرتب شده و به‌ترتیب با نام‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند.

[1] Cumulative distribution function (cdf)

[2] Lobatto quadrature

[3] Kronrod

جدول ۱- نتایج انتخاب فرم برتر توزیع عدم حتمیت برای قیمت محصولات و بارندگی به تفکیک گروه درجه باور

		شاخص RMSE				
	گروه درجه باور	خطی	زیگزاگ	نرمال	لاگ‌نرمال	فرم برتر
برنج شیرودی	۱	۰/۰۳۳۳	۰/۰۲۴۵	۰/۰۴۶۳	۰/۰۴۹۰	زیگزاگ
	۲	۰/۰۲۴۲	۰/۰۱۷۱	۰/۰۲۷۹	۰/۰۲۸۶	زیگزاگ
	۳	۰/۰۷۰۹	۰/۰۴۲۸	۰/۰۴۹۹	۰/۰۵۰۵	زیگزاگ
برنج طارم	۱	۰/۰۶۲۷	۰/۰۱۶۸	۰/۰۴۳۸	۰/۰۴۸۷	زیگزاگ
	۲	۰/۰۲۲۵	۰/۰۲۲۳	۰/۰۴۲۶	۰/۰۴۲۹	زیگزاگ
	۳	۰/۰۱۹۷	۰/۰۲۰۱	۰/۰۲۳۲	۰/۰۲۴۶	خطی
گوجه‌فرنگی	۱	۰/۰۹۴۰	۰/۰۸۰۳	۰/۰۵۹۳	۰/۰۵۸۷	لاگ‌نرمال
	۲	۰/۰۲۵۶	۰/۰۲۴۳	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۸۶	نرمال
	۳	۰/۰۱۶۹	۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۶۳	لاگ‌نرمال
هندوانه	۱	۰/۰۲۵۵	۰/۰۰۹۹	۰/۰۲۲۱	۰/۰۰۹۱	لاگ‌نرمال
	۲	۰/۰۲۷۷	۰/۰۱۱۷	۰/۰۲۶۷	۰/۰۳۷۴	زیگزاگ
	۳	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۶۹	۰/۰۲۰۷	۰/۰۱۶۰	زیگزاگ
بارندگی	۱	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۶۰	زیگزاگ
	۲	۰/۰۴۱۸	۰/۰۳۳۴	۰/۰۲۳۴	۰/۰۲۰۴	لاگ‌نرمال
	۳	۰/۰۵۴۲	۰/۰۳۸۹	۰/۰۴۳۱	۰/۰۴۴۸	زیگزاگ

مأخذ: یافته‌های تحقیق

همچنین ازآنجاکه قیمت محصول گندم، کلزا و جو تصادفی فرض شده است، به‌جای استخراج درجه باور در مورد قیمت این محصولات، از داده‌های تاریخی برای برآورد توزیع قیمت آنها استفاده شد که فرآیند تخمین آن مشابه با فرآیند تخمین توابع توزیع عدم حتمیت بوده است. نتایج انتخاب فرم برتر توزیع قیمت تصادفی حاکی از وجود فرم نرمال، نرمال و زیگزاگ به ترتیب برای قیمت گندم، کلزا و جو بوده است که نتایج آن در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲- نتایج انتخاب فرم برتر توزیع تصادفی برای قیمت گندم، کلزا و جو

	شاخص RMSE				
	خطی	زیگزاگ	نرمال	لاگ‌نرمال	فرم برتر
گندم	۰/۰۴۸۶	۰/۰۳۸۶	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۸۸	نرمال
کلزا	۰/۰۱۴۵	۰/۰۱۳۹	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۸۶	نرمال
جو	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۹۷	۰/۰۱۴۰	۰/۰۲۰۸	زیگزاگ

مأخذ: یافته‌های تحقیق

پس از محاسبه توزیع عدم حتمیت قیمت محصولات و بارندگی، برای محاسبه درآمد و در نتیجه سود محصولات در شرایط غیرحتمی، بایستی تابع توزیع عملکرد محصولات با توجه به توزیع بارندگی مورد برآورد قرار می‌گرفت. به این منظور برای محاسبه یک رابطه بین بارش باران و عملکرد محصول، از روش داده-های پنلی استفاده شده است. لازم به ذکر است متغیرها مورد آزمون مانایی لوین، لین و چو نیز قرار گرفته که نتایج حاکی از مانایی متغیرها در سطح بوده است. همچنین آزمون‌های مورد بررسی، استفاده از روش برآورد مدل رگرسیونی به روش اثرات ثابت را تأیید نموده است.

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش روش تحقیق، ضرایب محاسبه شده در رابطه (۱۰) بایستی معنی‌دار شوند تا بتوان از آن برای ساخت رابطه ریاضی (۱۱) استفاده نمود. نتایج حاصل از برخی فرمهای آزمون شده در جدول ۳ ارائه شده است. لازم به توضیح است فرم تمام لگاریتیمی به‌دلیل همخطی ارائه نشده است. از بین این دو فرم ارائه شده، شاخص‌های ارائه شده حاکی از برتری فرم نیم‌لگاریتمی برای محصولات آبی است. اما برای محصولات دیم، با توجه به تشابه زیاد شاخص‌های برازش، با توجه به اینکه شاخص **F** برای فرم نیم-لگاریتمی بالاتر بوده است و برای یکنواخت شدن محاسبات ریاضی محاسبه تابع توزیع عملکرد محصولات، از فرم نیم‌لگاریتمی استفاده شد.

جدول ۳- نتایج برآورد رابطه (۱۰) در فرم غیرلگاریتمی و نیم‌لگاریتمی

نوع رابطه	$u_{it} = \vartheta_{0i} + \vartheta_{1i} rain_{it} + \vartheta_{2i} rain_{it}^2$ S.t. $y_{it} = \gamma_{0i} + \gamma_1 irr_{it} + \gamma_2 irr_{it}^2 + \gamma_3 fe_{it} + \gamma_4 rday_{it} + u_{it}$			$u_{it} = \vartheta_{0i} + \vartheta_{1i} rain_{it} + \vartheta_{2i} rain_{it}^2$ S.t. $lny_{it} = \gamma_{0i} + \gamma_1 irr_{it} + \gamma_2 irr_{it}^2 + \gamma_3 fe_{it} + \gamma_4 rday_{it} + u_{it}$		
	محصولات آبی					
	جزء ثابت (ϑ_{0i})	$\boldsymbol{rain}$	$\boldsymbol{rain^2}$	**جزء ثابت** (ϑ_{0i})	$\boldsymbol{rain}$	$\boldsymbol{rain^2}$
برنج شیرودی		۱۱۱/۱۵۰۱۷	-۰/۵۱۹۲۷		۰/۰۱۸۵۱***	-۰/۰۰۰۱***
برنج طارم	-۱۱۵۶۹/۷۰**	۱۳۶/۶۰۵۱۹	-۰/۷۵۰۹۹	-۱/۰۳*	۰/۰۱۸۲۷***	-۰/۰۰۰۰۹۲***
هندوانه		۳۹۰/۴۲۰۴۰	-۲/۰۰۴۱۵		۰/۰۲۸۲۱***	-۰/۰۰۰۱۵***
گوجه‌فرنگی		۵۷۷/۷۴۳۹۹	-۲/۹۳۵۴۸		۰/۰۳۷۴۸***	-۰/۰۰۰۱۸***
	Durbin-Watson stat =۲/۰٤		R^2= ./٤١	Durbin-Watson stat =۲/۰۵		R^2= ./٤٨
	محصولات دیم					
گندم		۸/۷۵۸۱۶**	-۰/۰۱۰۷۹**		۰/۰۰۵۰۰*	-۰/۰۰۰۰۰۶*
کلزا	-۱۷۳۳/۲۱*	۱۲/۵۷۳۴۴**	-۰/۰۱۲۵۱**	-۱/۲۸۵*	۰/۰۰۷۶۸*	-۰/۰۰۰۰۰۸*
جو		۱۰/۵۲۹۷۶*	-۰/۰۱۳۴۴*		۰/۰۱۰۵۷***	-۰/۰۰۰۰۱۴***
	Durbin-Watson stat =۱/۹۳		R^2= ./٣٤	Durbin-Watson stat =۱/۹۳		R^2= ./٣٥
			F=۲/۰٦			F=۲/۱۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

***، ** و * به ترتیب نمایانگر معنی‌داری ضرایب در سطح اطمینان ۹۹ ، ۹۵ و ۹۰ درصد است.

از آنجاکه در مطالعه حاضر بر عدم حتمیت بارندگی تأکید شده است و سایر عوامل مؤثر بر عملکرد قطعی درنظرگرفته شده‌اند لذا، رابطه غیرخطی عملکرد نسبت به بارندگی منطبق با روش ارائه شده، به شرح جدول ٤ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج برآورد ضرایب رابطه بین عملکرد محصولات و بارندگی

	محصولات آبی			محصولات دیم			
	برنج شیرودی	برنج طارم	هندوانه	گوجه‌فرنگی	گندم	کلزا	جو
جزء ثابت (β_0)	۸/۰۵۸	۷/۴۶۹	۸/۹۳۷	۸/۴۶۲	۶/۶۱۶	۵/۵۱۶	۵/۱۹۱
$rain$	۰/۰۱۸۵۱***	۰/۰۱۸۲۷***	۰/۰۲۸۲۱***	۰/۰۳۷۴۸***	۰/۰۰۵۰۰*	۰/۰۰۷۶۸*	۰/۰۱۰۵۷***
$rain^2$	-۰/۰۰۰۱***	-۰/۰۰۰۰۹۲***	-۰/۰۰۰۱۵***	-۰/۰۰۰۱۸***	-۰/۰۰۰۰۰۶*	-۰/۰۰۰۰۰۸*	-۰/۰۰۰۰۱۴***
	Durbin-Watson stat =۲/۰۵		R^2= ./٤٨	Durbin-Watson stat =۱/۹۳		R^2= ./۳۵	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

*** و * به ترتیب نمایانگر معنی‌داری ضرایب در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۰ درصد است.

در ادامه در هر یک از گروه‌های همگن سه‌گانه فوق-الذکر، برای هر محصول درآمد انتظاری و در نتیجه سود انتظاری و همچنین TVaR سود در سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه گشت. لازم به توضیح است در هر یک از سه گروه مذکور، نه تنها سود انتظاری و TVaR برای هر محصول با سایر حالت‌ها متفاوت است بلکه بارش موثر نیز با توجه به سطح شانس بارندگی تغییر داده شد. به-طوری‌که یک سطح شانس ۹۵ درصدی برای بارندگی درنظر گرفته شد و با توجه به توزیع عدم حتمیت بارش، مقدار بارندگی موثر محاسبه و در محدودیت مربوط به آب در مدل برنامه‌ریزی غیرحتمی گنجانده شد. در مطالعه حاضر، برای ارائه یک برنامه مناسب کشت، کشاورزان به لحاظ زمین در اختیارشان، به دو گروه همگن شامل کشاورزان کوچک‌مقیاس (با متوسط زمین کمتر از دو هکتار) و بزرگ‌مقیاس (بیشتر از دو هکتار) تقسیم‌بندی و ضمن تعیین یک کشاورز نماینده فرضی در هر گروه، الگوی بهینه‌سازی مبتنی بر موجودی منابع این دو گروه مورد برآورد قرار گرفته است. در نهایت پس از محاسبات عددی مقادیر سود انتظاری هر محصول و مقادیر TVaR، برای هر یک از محصولات در هر یک از گروه‌های درجه باور با توجه به فرم برتر، وزن اهداف حداکثرسازی سود انتظاری و حداقل‌سازی عدم حتمیت به‌صورت مجزا مبتنی بر معیار TVaR در هر یک از گروه‌های همگن زمین مورد محاسبه قرار گرفت و با به-کارگیری مدل (۲۸)، الگوی کشت بهینه با هدف حداقل-سازی آب مجازی مصرفی و دستیابی به معادل قطعیت فعلی تعیین گردید. نتایج مذکور به تفکیک گروه درجه باور و مقیاس زمین در ادامه ارائه شده است.

جدول ۵ مبین نتایج تعیین الگوی کشت بهینه با هدف حداقل‌سازی آب مجازی مصرفی و دستیابی به معادل قطعیت جاری مبتنی بر معیار TVaR برای کشاورزان کوچک مقیاس است. لازم به توضیح است که به لحاظ کل مصرف آب مجازی در هر هکتار، برنج شیرودی (۱۰۹۸۱m^3)، برنج طارم (۱۰۰۵۳ m^3)، گوجه‌فرنگی (۷۸۲٦m^3)، هندوانه (٥٤٤٢ m^3)، کلزا دیم (٤٣٦٦ m^3)، گندم دیم (٣٦١٩ m^3) و جو دیم (٣٥٨٢ m^3) به‌ترتیب بیشترین مصرف آب مجازی را مختص خود نموده‌اند که میزان مصرف آب مجازی‌شان در کنار سود و عدم‌حتمیت سودشان در الگوی کشت بهینه اثرگذار است. مقایسه الگوی کشت بهینه نسبت به الگوی کشت رایج کشاورزانی که از قضاوت‌های ذهنی گروه ۱و ۲ پیروی می‌کنند حاکی از آن است که به‌منظور کاهش آب مجازی مصرفی و دستیابی به معادل قطعیت جاری بایستی به کشت برنج طارم پرداخته و از کشت سایر محصولات امتناع ورزند

اما کشاورزانی که از قضاوت‌های ذهنی غیر حتمی‌تر تبعیت می‌کنند برنج طارم را فقط به اندازه خودمصرفی کشت نمایند و نهاده‌های خود را برای کشت برنج شیرودی و هندوانه صرف نمایند. در این حالت سطح کشت برنج شیرودی نسبت به الگوی رایج حدود ٤٩ درصد افزایش داشته درحالی‌که بر سطح هندوانه تا حدود ٥ برابر افزوده می‌شود.

گروه درجه باور ۳، با اینکه عدم حتمیت بیشتری را در قیمت محصولات و بارندگی (عملکرد) پیش‌بینی نمودند ولی مطابق با محاسبات عددی انجام گرفته، میزان سود انتظاری نیز در این گروه بالاتر بوده است. همانگونه که در جدول ٤ نیز قابل مشاهده است، معادل قطعیت حاصل از الگوی کشت جاری برای این گروه از قضاوت-های ذهنی بسیار بالاتر از دو گروه دیگر می‌باشد. در فرایند حل مسئله بهینه‌سازی، بایستی ضمن دستیابی به این معادل قطعیت بالا، میزان آب مجازی کمتری نیز مصرف شود. این مسئله منجر به انتخاب محصولات با سطح کشت بیشتری شده است. به‌همین دلیل تنوع کشت در این حالت منطقی به‌نظر می‌رسد. همان‌گونه که در جدول نیز مشاهده می‌شود، سطح کشت کل در الگوی کشت کشاورزان پیرو قضاوت‌های ذهنی نوع ۳ از حدود ۰/۷ هکتار در گروه‌های درجه باور ۱ و ۲ به ۰/۷۸ هکتار افزایش یافته است. سود انتظاری نیز در گروه درجه باور ۳ نسبت به حالت فعلی حدود ۱/۳ درصد افزایش می‌یابد. این در حالی است که کشاورزانی که از قضاوت‌های ذهنی گروه ۱ و ۲ پیروی می‌کنند به‌ترتیب حدود ۷ و ۸/۳ درصد از سود خود را به‌منظور کاهش مصرف آب مجازی بایستی صرف‌نظر نمایند ولی در مقابل، عدم حتمیت آنها (معیار TVaR) تقریباً مشابه الگوی رایج خواهد بود. در گروه درجه باور ۳، از آنجا که سود انتظاری نسبت به حالت فعلی افزایش یافته است لذا به-منظور دستیابی به معادل قطعیت فعلی، عدم حتمیت آن حدود ٤/۲ درصد افزایش یافته است.

کل آب مجازی مصرفی که به‌عنوان تابع هدف اصلی الگوی بهینه‌سازی بوده است، در الگوهای کشت بهینه پیشنهادی کاهش یافته است. این کاهش بیشتر در الگوهای مبتنی بر قضاوت‌های ذهنی نوع ۱ و ۲ حاصل شده است به‌طوری که کشاورزانی که از قضاوت‌های ذهنی گروه ۱و ۲ پیروی می‌کنند با اجرای الگوی کشت پیشنهادی به‌ترتیب حدود ۱٥/٦ و ۱۳/۹ درصد در مصرف آب مجازی صرفه‌جویی خواهد نمود. این میزان صرفه‌جویی برای کشاورزانی که عدم حتمیت بیشتری در قیمت محصولات و بارندگی پیش‌بینی نموده‌اند حدود ۲/۷ درصد می‌باشد. سهم آب آبی، سبز، خاکستری و سفید از کل آب مجازی نیز در الگوهای کشت بهینه ارائه شده به‌گونه‌ای است که الگوی پیشنهادی منطبق بر درجه باور گروه ۱ و ۲، به سهم ٤٦/۲، ۷/۷، ۰ و ٤٦/۲ درصدی به‌ترتیب برای آب آبی، سبز، خاکستری و سفید منجر می‌شود. ولی الگوی کشت پیشنهادی برای کشاورزان پیرو قضاوت‌های ذهنی غیر حتمی‌تر منجر به سهم ٤٦/۹، ۸/۲، ۰ و ٤٤/۹ درصدی به ترتیب برای آب آبی، سبز، خاکستری و سفید می‌شود. در مجموع می‌توان گفت الگوهای کشت پیشنهادی منطبق بر درجه باور نوع ۱ و ۲ با وجود کاهش سود انتظاری و ثابت بودن عدم حتمیت، به دلیل صرفه‌جویی بالا در آب، می‌تواند الگوی منطقی باشد.

در ادامه‌ی نتایج فوق‌الذکر، لازم به توضیح است که با اینکه در الگوی کشت بهینه ارائه شده در برخی گروه-های قضاوت ذهنی، سود انتظاری کل کاهش یافته است اما متوسط سودی که کشاورز در هر هکتار زمین کسب می‌کند افزایش یافته است به‌گونه‌ای که برای مثال متوسط سود انتظاری برای گروه درجه‌ی باور ۱، از حدود ۱۰/۳ میلیون تومان در هکتار به ۱۱/۳ میلیون در هکتار افزایش یافته است. همچنین به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی نیز، الگوی کشت بهینه سود انتظاری بالاتری حاصل نموده است به‌طوری که با تداوم الگوی کشت رایج، به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی، حدود ۱۰۱٥/۷، ۱۱۰۹/٤ و

۱۴۰۱/۳ تومان سود به‌ترتیب در گروه درجه‌ی باور ۱، ۲ و ۳ خواهد داشت و این در حالی است که با اجرای الگوی کشت بهینه با هدف حداقل‌سازی آب مجازی، مقادیر فوق به‌ترتیب به ۱۱۱۹/٤، ۱۱۸۱/۷ و ۱٤٥۹/٤ تومان افزایش خواهد یافت.

جدول ۵- سطح کشت محصولات و برخی متغیرهای مهم در الگوی کشت رایج و بهینه- مدل مبتنی بر معیار TVaR و گروه کوچک مقیاس زمین

	الگوی کشت رایج			الگوی مبتنی بر معیار TVaR		
	گروه درجه باور			گروه درجه باور		
محصول (هکتار)	۱	۲	۳	۱	۲	۳
برنج شیرودی	۰/۳۴۲۹	۰/۳۴۲۹	۰/۳۴۲۹	۰	۰	۰/۵۱۰۲
برنج طارم	۰/۴۲۱۲	۰/۴۲۱۲	۰/۴۲۱۲	۰/۶۹۱۱	۰/۷۰۵۳	۰/۲
گوجه‌فرنگی	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۴۰	۰	۰	۰
هندوانه	۰/۰۱۴۷	۰/۰۱۴۷	۰/۰۱۴۷	۰	۰	۰/۰۷۲۶
گندم	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۸۲	۰/۰۱۸۲	۰	۰	۰
کلزا	۰/۰۱۲۱	۰/۰۱۲۱	۰/۰۱۲۱	۰	۰	۰
جو	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۰	۰	۰	۰
سطح کشت کل	۰/۸۱۴۱	۰/۸۱۴۱	۰/۸۱۴۱	۰/۶۹۱۱	۰/۷۰۵۳	۰/۷۸۲۸
معادل قطعیت (میلیون تومان)	۶/۲۳۲۱	۶/۲۲۰۰	۱۰/۷۵۱۱	۶/۲۳۲۱	۶/۲۲۰۰	۱۰/۷۵۱۱
سود انتظاری (میلیون تومان)	۸/۳۶۳۲	۹/۱۳۴۵	۱۱/۵۳۷۷	۷/۷۷۷۴	۸/۳۷۸۳	۱۱/۶۸۷۳
TVaR (میلیون تومان)	-۶/۲۳۲۱	-۶/۲۲۰۰	-۸/۸۱۱۵	-۶/۲۳۲۱	-۶/۲۲۰۰	-۸/۴۴۲۹
کل آب مجازی (m^3)	۸۲۳۳/۸	۸۲۳۳/۸	۸۲۳۳/۸	۶۹۴۸/۰	۷۰۸۹/۹	۸۰۰۸/۳
آب آبی (m^3)	۳۷۶۳/۲	۳۷۶۳/۲	۳۷۶۳/۲	۳۲۰۸/۳	۳۲۷۳/۸	۳۷۴۰/۹
آب سبز (m^3)	۷۴۰/۰	۷۴۰/۰	۷۴۰/۰	۵۳۱/۵	۵۴۲/۳	۶۴۰/۸
آب خاکستری[1] (m^3)	۶/۵	۶/۵	۶/۵	۰	۰	۰
آب سفید (m^3)	۳۷۲۴/۱	۳۷۲۴/۱	۳۷۲۴/۱	۳۲۰۸/۳	۳۲۷۳/۸	۳۶۲۶/۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در جدول ٦، نتایج بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف حداقل‌سازی آب مجازی و دستیابی به معادل قطعیت جاری مبتنی بر معیار TVaR برای کشاورزان بزرگ‌مقیاس قابل مشاهده است. برمبنای نتایج، برای کشاورزانی که بیش از ۲ هکتار زمین در اختیار دارند و از قضاوت‌های ذهنی نوع ۱ و ۲ تبعیت می‌کنند، در شرایط اطمینان از در اختیار بودن آب آبیاری، اختصاص عوامل تولید در اختیار شامل، آب و سرمایه به محصول برنج طارم، منجر به دستیابی به معادل قطعیت جاری و کاهش مصرف آب می‌شود. افزایش سطح کشت برنج طارم در این گروه و عدم کشت سایر محصولات منجر به استفاده حدود ۲/٥ هکتار زمین شده که نسبت به الگوی جاری حدود ۰/٤ هکتار کاهش یافته است. کشت ۲/۲٤ و ۲/٦٤ هکتاری برای کشاورزان پیرو قضاوت‌های ذهنی نوع ۱ و ۲ منجر به کاهش سودی به‌ترتیب در حدود ۷ و ۸/٥ درصد می‌گردد و این در حالی است که عدم حتمیت ثابت

[1] در محاسبه آب مجازی مصرفی کل برای محصولات آبی، از آنجا که میزان آب سفید آنها بیشتر از آب خاکستری بوده است لذا برای رقیق‌سازی آلودگی‌های ایجاد شده نیاز به آب بیشتری نمی‌باشد و آب سفید، آن‌را جبران می‌نماید. لذا آب خاکستری که در جداول ارائه شده است تنها مربوط به محصولات دیم بوده و میزان آب خاکستری است که به واقع بایستی مصرف شود.

مانده است. در مقابل این کاهش سود، میزان مصرف آب مجازی در این دو گروه به ترتیب حدود ۱۶/۶ و ۱۵/۱ درصد کاهش می‌یابد که بر الگوی کشت ارائه شده در شرایط بحران آب و افزایش بهره‌وری آب تأکید می‌کند.

الگوی کشت بهینه ارائه شده برای کشاورزان بزرگ‌مقیاس که از درجه باور گروه ۳، تبعیت می‌کنند علاوه بر محصول برنج طارم، مشتمل بر برنج شیرودی و هندوانه نیز می‌باشد. البته سطح کشت برنج شیرودی نسبت به الگوی جاری حدود ۸/۲ درصد کاهش یافته در ادامه‌ی نتایج فوق‌الذکر، لازم به توضیح است که با اینکه در الگوی کشت بهینه ارائه شده در برخی گروه‌های قضاوت ذهنی، سود انتظاری کل کاهش یافته است اما متوسط سودی که کشاورز در هر هکتار زمین کسب می‌کند افزایش یافته است به‌گونه‌ای که برای مثال متوسط سود انتظاری برای گروه درجه‌ی باور ۱، از حدود ۱۰/۳ میلیون تومان در هکتار به ۱۱/۳ میلیون در هکتار افزایش یافته است. همچنین به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی نیز، خاکستری و سفید می‌شود. در مجموع می‌توان گفت الگوهای کشت پیشنهادی منطبق بر درجه باور نوع ۱ و ۲ با وجود کاهش سود انتظاری و ثابت بودن عدم حتمیت، به دلیل صرفه‌جویی بالا در آب، می‌تواند الگوی منطقی باشد.

الگوی کشت بهینه سود انتظاری بالاتری حاصل نموده است به‌طوری که با تداوم الگوی کشت رایج، به‌ازای هر مترمکعب آب مصرفی، حدود ۱۰۱۵/۷، ۱۱۰۹/٤ و ۱٤۰۱/۳ تومان سود به‌ترتیب در گروه درجه‌ی باور ۱، ۲ و ۳ خواهد داشت و این در حالی است که با اجرای الگوی کشت بهینه با هدف حداقل‌سازی آب مجازی، مقادیر فوق به‌ترتیب به ۱۱۱۹/٤، ۱۱۸۱/۷ و ۱٤۵۹/٤ تومان افزایش خواهد یافت.

درحالی‌که سطح کشت برنج طارم به ترتیب حدود ٦/۹ درصد و ۷۰ درصد نسبت به الگوی جاری افزایش یافته است که مؤید معادل قطعیت بالاتر این محصولات نسبت به مصرف آب مجازی آنها می‌باشد. سهم آب آبی، سبز، خاکستری و سفید در گروه بزرگ‌مقیاس به ترتیب در حدود ٤٦/٤، ۷/۷، ۰ و ٤۵/۹ درصد برای کشاورزان پیرو قضاوت‌های غیر حتمی‌تر می‌باشد و سهم محتویات آب مجازی برای گروه قضاوت‌های ۱ و ۲، همانند گروه کوچک‌مقیاس زمین است.

در نهایت، برمبنای نتایج این پژوهش در گروه بزرگ-مقیاس زمین، در صورت تداوم الگوی کشت رایج، میزان متوسط سود انتظاری به‌ازای هر هکتار زمین کشت شده مبتنی بر قضاوت‌های ذهنی ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب حدود ۱۰، ۱۰/۹ و ۱۳/۸ میلیون تومان بوده که در صورت اجرائی نمودن الگوی کشت بهینه ارائه شده، متوسط سود انتظاری به‌ازای هر هکتار زمین به‌ترتیب در گروه‌های مذکور به حدود ۱۱/۳، ۱۱/۹ و ۱٤/۷ میلیون تومان افزایش خواهد یافت. برمبنای محاسبات صورت گرفته، الگوی کشت رایج منجر به عایدی ۱۰۰۳/۹، ۱۰۹٦/۸ و ۱۳۸۸/۸ تومان به‌ازای هر مترمکعب آب مجازی مصرفی می‌شود و این در حالی است که با اجرای الگوی کشت بهینه‌ی پیشنهادی، مقادیر مذکور به ۱۱۱۹/٤، ۱۱۸۱/۷ و ۱٤۲۵/۵ تومان افزایش می‌یابد که بر بهینگی نتایج می‌افزاید.

جدول ۶- سطح کشت محصولات و برخی متغیرهای مهم در الگوی کشت رایج و بهینه- مدل مبتنی بر معیار TVaR و گروه بزرگ‌مقیاس زمین

	الگوی کشت رایج			الگوی مبتنی بر معیار TVaR		
	گروه درجه باور			گروه درجه باور		
محصول (هکتار)	۱	۲	۳	۱	۲	۳
برنج شیرودی	۱/۲۱۴۳	۱/۲۱۴۳	۱/۲۱۴۳	۰	۰	۱/۱۱۴۳
برنج طارم	۱/۴۵۷۱	۱/۴۵۷۱	۱/۴۵۷۱	۲/۴۲۰۸	۲/۴۶۳۲	۱/۵۵۷۲
گوجه‌فرنگی	۰/۰۳۳۳	۰/۰۳۳۳	۰/۰۳۳۳	۰	۰	۰
هندوانه	۰/۰۴۷۶	۰/۰۴۷۶	۰/۰۴۷۶	۰	۰	۰/۰۸۰۹۵
گندم	۰/۱۸۳۳	۰/۱۸۳۳	۰/۱۸۳۳	۰	۰	۰
کلزا	۰	۰	۰	۰	۰	۰
جو	۰	۰	۰	۰	۰	۰
سطح کشت کل	۲/۹۳۵۷	۲/۹۳۵۷	۲/۹۳۵۷	۲/۴۲۰۸	۲/۴۶۳۲	۲/۷۵۲۴
معادل قطعیت (میلیون تومان)	۲۱/۸۲۹۰	۲۱/۷۲۴۴	۳۶/۴۷۶۸	۲۱/۸۲۹۰	۲۱/۷۲۴۴	۳۶/۴۷۶۸
سود انتظاری (میلیون تومان)	۲۹/۲۷۹۹	۳۱/۹۸۹۳	۴۰/۵۰۷۰	۲۷/۲۴۱۶	۲۹/۲۶۳۰	۴۰/۳۵۵۴
TVaR (میلیون تومان)	-۲۱/۸۲۹۰	-۲۱/۷۲۴۴	-۳۰/۸۷۰۲	-۲۱/۸۲۹۰	-۲۱/۷۲۴۴	-۳۱/۰۸۱۰
کل آب مجازی (m^3)	۲۹۱۶۶/۲	۲۹۱۶۶/۲	۲۹۱۶۶/۲	۲۴۳۳۶/۴	۲۴۷۶۲/۹	۲۸۳۳۰/۵
آب آبی (m^3)	۱۳۲۳۷/۸	۱۳۲۳۷/۸	۱۳۲۳۷/۸	۱۱۲۳۷/۴	۱۱۴۳۴/۳	۱۳۱۴۲/۴
آب سبز (m^3)	۲۸۲۸/۳	۲۸۲۸/۳	۲۸۲۸/۳	۱۸۶۱/۶	۱۸۹۴/۲	۲۱۹۰/۴
آب خاکستری (m^3)	۳۴/۳	۳۴/۳	۳۴/۳	۰	۰	۰
آب سفید (m^3)	۱۳۰۶۵/۸	۱۳۰۶۵/۸	۱۳۰۶۵/۸	۱۱۲۳۷/۴	۱۱۴۳۴/۳	۱۲۹۹۷/۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر تلاش شده است الگویی در چارچوب واقعیت‌های موجود کشاورزی در منطقه مورد مطالعه ارائه شود. با اعمال محدودیت‌ها و با لحاظ قضاوت‌های ذهنی کشاورزان، الگوهای زراعی متنوعی پیشنهاد شد که در واقع تعدیل‌کننده‌ی الگوی کشت رایج می‌باشند و از این منظر سهولت پذیرش آن امکان‌پذیر خواهد بود. در یک جمع‌بندی کلی از نتایج بهینه‌سازی مصرف آب مجازی در قالب الگوی کشت بهینه، برای کشاورزانی که از قضاوت‌های کم نوسان‌تر (گروه درجه باور ۱ و ۲) پیروی می‌کنند کشت تک‌محصولی برنج طارم می‌تواند ضمن دستیابی به معادل قطعیت الگوی جاری، موجب کاهش مصرف ۱۵/۶ و ۱۳/۹ درصدی آب مجازی در گروه کوچک‌مقیاس و صرفه‌جویی ۱۶/۶ و ۱۵/۱ درصدی در گروه بزرگ‌مقیاس شود. اما برای افرادی که از قضاوت‌های پرنوسانی پیروی می‌کنند، الگوی کشت پیشنهادی شامل برنج شیرودی، برنج طارم و هندوانه بوده که این‌چنین ترکیبی منجر به مصرف آب مجازی بیشتری نسبت به دو گروه قضاوت از پیش گفته می‌شود. به‌عبارتی زمانی که کشاورزان عدم حتمیت بیشتری را پیش‌بینی نمایند، برای دستیابی به منفعت مورد قبولشان، مصرف آب مجازی را افزایش می‌دهند. لذا لازم است در راستای مدیریت مصرف آب مجازی، هم به نگرش کشاورزان نسبت به عدم حتمیت و هم به مقیاس فعالیت آنها توجه نمود.

مقایسه گروه بزرگ‌مقیاس و کوچک‌مقیاس نیز حاکی از آن است که سطح کشت محصولات تفاوت محسوسی با یکدیگر دارد به‌طوری که در گروه کوچک‌مقیاس، به

کشت طارم به اندازه خودمصرفی بسنده شده در حالی برای کشاورزان بزرگ‌مقیاس، سطح کشت برنج طارم حدود ۵۷ درصد از کل سطوح کشت می‌باشد. لذا لازم است سازمان‌های وابسته نظیر جهاد کشاورزی، برای پیشهاد و عملی‌سازی الگوهای مناسب، کلاس‌های ترویجی متناسب با وضعیت فعالیت کشاورزان را برگزار نماید.

بر مبنای نتایج این پژوهش، محصولاتی نظیر گوجه-فرنگی، گندم، کلزا و جو در الگوی کشت قرار نمی‌گیرند که می‌تواند به دلیل سود پایین‌تر و یا عدم حتمیت بالا باشد. این نتیجه با نتایج مطالعه‌ای همچون ابراهیم (۲۰۱٤) و جهان‌بین (۲۰۱٤) است اما قرار نگرفتن گندم و گوجه‌فرنگی در راستای نتایج مطالعه حسینی و همکاران (۲۰۱٦) نیست. همچنین با وجود تأکید بر کاهش مصرف آب مجازی، محصولات آب‌بری نظیر انواع برنج و هندوانه در الگوی کشت بهینه قرار گرفته‌اند که می‌تواند به دلیل قیمت بالای این محصولات باشد. این نتیجه با نتایج ابراهیم (۲۰۱٤)، آویسو و همکاران (۲۰۱۸) و صدق‌آمیز (۲۰۱۸) مطابقت دارد. در واقع می‌توان گفت لزوماً در یک استراتژی بهینه با هدف حداقل‌سازی آب مجازی، کاهش تولید محصولات آب‌بر پیشنهاد نمی‌شود و این نتیجه به مقادیر آستانه‌ای سود و عدم حتمیت که در اینجا توأماً در قالب معادل قطعیت لحاظ شده‌اند وابسته است.

بر مبنای نتایج، یکی از محصولاتی که اکثراً در الگوی کشت جای گرفته است برنج طارم بوده است. این در حالی است که این محصول مصرف آب مجازی بالایی هم دارد. ولی از آنجا که کشاورزان منطقه چندسالی است که این محصول را به‌همراه برنج شیرودی به‌عنوان محصولات غالب در الگوی کشت خود منظور نموده‌اند و همچنین این محصول نسبت به سایر محصولات سود بالایی نیز دارد، لذا مسلماً کشاورزان اگر بخواهند در راستای کاهش مصرف آب مجازی قدمی بردارند، در درجه‌ی اول به عایدی‌های گذشته‌ی خود می‌نگرند و محصولی را انتخاب می‌کنند که منافعی همانند گذشته حاصل کند. از آنجا که سایر محصولات مورد بررسی نسبت به برنج سود کمتری داشته است لذا باقی ماندن این محصول در الگوی کشت حتی با وجود تأکید بر کاهش مصرف آب مجازی منطقی می‌نماید. راه‌کاری که به‌منظور کاهش مصرف آب مجازی در چنین شرایطی می‌توان پیشنهاد نمود محاسبه‌ی قیمت واقعی آب و دریافت آن از کشاورزان است. چنین راه‌کاری موجب کاهش سود محصول شده و لذا در تحلیل‌های بعدی، به-منظور کاهش مصرف آب مجازی، سهم چنین محصولی در الگو کاهش پیدا خواهد کرد.

بر اساس یافته‌های این تحقیق، میزان عدم حتمیت ذهنی که برای قیمت‌ها و بارندگی وجود دارد بر الگوی کشت بهینه اثرگذار بوده است به‌طوری که با افزایش عدم حتمیت در پارامترها، الگوی کشت متنوعی حاصل شده است که در آن میزان صرفه‌جویی آب مجازی نسبت به شرایط حتمی‌تر، بسیار پایین بوده است. لذا به‌منظور جهت دادن الگوی کشت به‌سمت کاهش بیشتر در مصرف آب مجازی، بایستی تصمیمات مناسبی در زمینه‌ی کاهش و مقابله با عدم حتمیت متغیرهای مذکور اتخاذ شود. در این راستا استفاده از بازارهای آتی و بورس شاخص‌های هواشناسی می‌تواند راه‌کاری مفید باشد. در این راستا بایستی اقدامات لازم نظیر برگزاری کلاس‌های آموزشی انجام پذیرد. همچنین ترویج و تبلیغات لازم در زمینه‌ی آب مجازی و لزوم کاهش آن به‌دلیل بحران کم آبی نیز صورت پذیرد. برمبنای نتایج این تحقیق، میزان صرفه-جویی در مصرف آب مجازی در گروه بزرگ مقیاس بیشتر از گروه کوچک مقیاس زمین بوده است که می-تواند حاکی از صرفه‌های مقیاس باشد. به‌عبارتی با ایجاد رغبت در بزرگ مالکان می‌توان درصد صرفه‌جویی در مصارف آب مجازی را بهبود داد که یکی دیگر از مساعدت‌های نتایج این تحقیق می‌باشد.

برمبنای نتایج این تحقیق، کشاورزان منطقه آب را به-صورت بهینه مصرف نمی‌کنند. البته بهینه مصرف نمودن

آب تنها تحت تأثیر انتخاب محصولات در قالب الگوی کشت نیست بلکه متأثر از روش‌های آبیاری نیز می‌باشد لذا با استفاده از آبیاری‌های مدرن و افزایش راندمان آبیاری، می‌توان به کارایی آب و کاهش مصرف آب مجازی افزود. در این راستا، سیاست‌هایی نظیر اعطای تسهیلات به استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری می‌تواند مفید واقع شود.

بر اساس اطلاعات موجود، محصولات دیم در شرایط فعلی سهم بسیار پایینی در الگوی کشت منطقه داشته که در الگوی کشت بهینه نیز قرار نگرفته‌اند. پیشنهاد می‌شود محصولات دیمی مانند گندم دیم که در شرایط بحران آبی لازمه‌ی تولید می‌باشند، با اقداماتی نظیر اصلاح بذر و دانش‌های مدیریت مزرعه، عملکرد بالاتری برای آنها فراهم نمود تا از یک سوی موجب افزایش سود کشاورز شده و از سوی دیگر با قرارگیری در الگوی کشت به کاهش مصرف آب مجازی نیز بیانجامد. همچنین حمایت از تولیدکنندگان این محصول از طریق بیمه‌ی عملکرد یا بیمه درآمد و مشوق‌های تولیدی، نیز می‌تواند رغبت لازم را در کشاورزان برای سوق‌گیری به‌سمت محصولات دیم و در نتیجه کاهش مصرف آب فراهم آورد. در پایان، یادآور می‌شود که نتایج مطالعه حاضر در شرایطی حاصل شده که شاخص TVaR در سطح ۹۵ درصد بوده و برای بارندگی نیز شانس ۹۵ درصدی در نظر گرفته شد. تغییر شانس بارندگی و تغییر سطح اطمینان TVaR می‌تواند نتایج متنوع‌تری را فراهم نماید که پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی مورد عنایت قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

Ababaei B and Ramezani Etedali H. 2014. Estimation of water footprint components of Iran's wheat production: Comparison of global and national scale estimates. Journal of Environmental Processes, 1: 193-205.

Afroozeh F. Mousavi SN and Torkamani J. 2011. Analysis of water swings and optimizing water consumption in the agricultural sector of sistan region: Application of fuzzy approach. Journal of Agricultural Economics Research, 3(11): 37-59. (In Persian).

Agricultural Jihad Organization of Mazandaran Province. 2017. Detailed report of crop products. (In Persian).

Allan JA. 1993. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. In Priorities for Water Resources Allocation and Management. London, United Kingdom: ODA: 13–26.

Allan JA. 1997. Virtual water: A long-term solution for water short Middle Eastern economies? British Assoc. Festival of Science. University of Leeds. UK.

Allan JA. 2003. Virtual water – the water, food, and trade nexus: Useful concept or misleading metaphor? Water International, 28(1): 4-11.

Amador F. Sumpsi JM and Romero C. 1998. A non-interactive methodology to assess farmers' utility function: An application to large farms in Andalusia, Spain. European Review of Agricultural Economics, 25(1): 92-109.

Artzner Ph. Delbaen F. Eber JM and Heath D. 1997. Thinking coherently. Risk 10. 68–71.

Avaz Yar M. ahmadpour borazjani M and Zyaei S. 2018. Determine optimal crop pattern with an emphasis on increasing the irrigation efficiency in lands of Mollasadra Dam in Fars province. Journal of Water Resources Engineering, 11(36): 21-32. (In Persian).

Aviso KB. Holaysan SAK. Promentilla MAB. Yu KDS and Tan R. 2018. A multi-region input-output model for optimizing virtual water trade flows in agricultural crop production. Management of Environmental Quality: An International Journal, 29(1): 63-75.

Chapagain AK. Hoekstra AY and Savenije HHG. 2006. Water saving through international trade of agricultural products. Hydrology Earth Journal, 10: 455–468.

Chirima J and Matete C. 2018. On uncertain programming and the farm planning problem. Scholars Journal of Physics, Mathematics and Statistics, 5(2):124-129.

Chizari A. Keramatzadeh A and Mirzaei A. 2006. Determining the economic value of irrigation water through: Optimal cropping pattern for integrated farm and horticulture. Agricultural Economics and development, 14(54): 35-60. (In Persian).

Cochran CB. 1977. Sampling techniques. John Wiley. New York.

Dillon JL and Hrdaker JB. 1993. Farm management research for small farmer development. FAO, Rome.

Falkenmark M. 1995. Coping with water scarcity under rapid population growth. Conference of SADC Ministers. Pretoria. 23-24.

Farajzadeh Z and Shahvali A. 2009. Forecasting agricultural crops prices: case study of cotton, rice and saffron. Journal of Agricultural Economics and Development, 17(67): 43-71. (In Persian).

Hazell PBR. 1990. The proper functioning of agricultural insurance in developing countries In: Agricultural insurance in Asia (APO). Mohsen H. Translation. Agricultural Economic, Planning and Research Development Center, 47-67.

Hesamian G. Peng Z and Chen X. 2011. Goodness of fit test: A hypothesis test in uncertain statistics. Proceedings of the Twelfth Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference. Beijing. China. Pp. 978-982.

Hosseini AS. Mehregan N and Ebrahimi M. 2016. Determining the optimal planting crops with emphasis on maximizing social benefits and net imports of virtual water (Plains study Bahar of Hamedan). Journal of Agricultural Economics Research, 8(31): 123-144. (In Persian).

Ibrahim AH. 2014. Optimizing virtual water as irrigation water management strategy in Egypt. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 11(6): 41-51.

Jahanbeen H. 2015. Optimal allocation of irrigation water in agriculture based on the concept of virtual water in arid and cold climates of Karun catchment, MA dissertation, Faculty of Agriculture, Agricultural Economics Department. Zabol University. (In Persian).

Kay RD. 2012. Farm management. Translated by Arslanbad, MR., Urmia University Press. (in Persian).

Lehmann N. Briner S and Finger R. 2013. The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions. Land Use Policy, 35: 119-130.

Li M and Guo P. 2015. A coupled random fuzzy two-stage programming model for crop area optimization—A case study of the middle Heihe River basin, China. Agricultural Water Management, 155: 53–66.

Liu B. 2007. Uncertainty Theory. 2nd edn. Springer-Verlag. Berlin.

Liu B. 2009. Some research problems in uncertainty theory. Journal of Uncertain Systems, 3(1): 3-10.

Liu B. 2015. Uncertainty theory. 5th Edition. Springer-Verlag Berlin.

Lohrasbi K and Khoshravesh M. 2016. Survey of nitrate in groundwater of Sari city, Conference of Modern Researches in Science and Engineering. Allameh Rafiei Institute of Higher Education. (In Persian).

Mortazavi A. Azhdari S and Mousavi S. H. 2011. Determination of the optimal cropping pattern and market orientation under climate uncertainty: in Arjan district in Fars Province; application of two-stage stochastic programming. Journal of Agricultural Economics, 5(3): 75-94. (in Persian).

Peng J. 2013. Risk metrics of loss function for uncertain system. Fuzzy Optimization and Decision Making, 12(1): 53-64.

Ringersma J. 2003. Optimizing green water use and improved crop water productivity under rainfed agriculture in Sub-Sahara Africa. ISRIC Abstract of a data search and literature study. Available at: http://www.isric.nl/Greenwater/Green%20water%20.

Sahling F and Kayser A. 2016. Strategic supply network planning with vendor selection under consideration of risk and demand uncertainty, Omega, 59: 201-214.

Sedghamiz A. Heidarpour M. Nikoo MR and Eslamian S. 2018. A game theory approach for conjunctive use optimization model based on virtual water concept. Civil Engineering Journal, 4(6): 1315-1325.

Shahidi A and Morovatneshan A. 2016. Agricultural water management approach through the technique of virtual water genetic optimization (GA) (Case study: Birjand plain). Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 10(6): 714-722. (in Persian).

Sumpsi JM. Amador F and Romero C. 1997. On farmers' objectives, a multi-criteria approach. European Journal of Operational Research, 96(1): 64-71.

Xiea YL. Xiaa DX. Jib L and Huang GH. 2017. An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. Ecological Indicators, 92: 301-311.

Youssef Doust A. Ahmad Rezapour A and Ebrahimi MP. 2016. Applying genetic algorithms in determining optimal cropping pattern in different weather conditions in Qazvin plain. Journal of Water Research in Agriculture, 30(3): 317-331. (In Persian).

Zhang C. Li M and Guo P. 2017. An interval multistage joint-probabilistic chance-constrained programming model with left-hand-side randomness for crop area planning under uncertainty. Journal of Cleaner Production, 167: 1276-1289.