

مقاله علمی-پژوهشی

تعیین الگوی بهینه کشت با هدف حداقل سازی آب مجازی و حداکثرسازی سود اقتصادی محصولات

(مطالعه موردی: دشت عمرانی در خراسان رضوی)

مهدی کلاهی^۱، فرهاد حسینی^{۲*}، مجتبی کریمائی طبرستانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۵

چکیده

این مطالعه با هدف تعیین الگوی کشت بهینه و در عین حال حداقل سازی آب مجازی مصرفی و حداکثرسازی سود اقتصادی محصولات کشاورزی در منطقه دشت عمرانی گناباد واقع در استان خراسان رضوی انجام شد. در ابتدا برای تمامی اهداف مسئله تابع هدف مناسب ارائه و محدودیت‌های مسئله نیز براساس منابع در دسترس و سیاست‌های محلی و منطقه‌ای مشخص شد. سپس با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و چندهدفه، الگوی کشت بهینه متناظر با هر هدف شناسایی شد. در ادامه با توجه به نتایج به دست آمده و در محیط GIS، تخصیص محصولات به قطعات زمین با در نظر داشتن حداقل سازی تغییر الگوی کشت موجود انجام شد. بررسی نتایج نشان داد که در بهترین سیاست شامل ترکیب دو هدف حداقل سازی آب مجازی و حداکثرسازی سود می‌توان، میزان آب مجازی مصرفی را بیش از ۵۷ درصد کاهش داد که بسیار قابل توجه است و حتی با همین مقدار آب مجازی می‌توان با تغییر در الگوی کشت به سود بالاتری دست یافت. بنابراین باید زمینه تغییر الگوی کشت محصولات از الگوی کشت جاری به الگوهای کشت بهتر فراهم شود. به هر میزان که به الگوی کشت بهینه نزدیک شویم، اهداف مطالعه نیز به طور مؤثرتری محقق خواهند شد.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، الگوی کشت، برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی، سود اقتصادی

مقدمه

منطقه‌ای به نام مثلث تشنگی قرار گرفته است، مثلثی که رئوس آن شامل جبل الطارق و شاخ آفریقا و پاکستان می‌شود (اسدی و صابریان، ۱۳۹۴). آمارهای مختلف مانند مصرف حدود ۹۳ درصد منابع آبی کشور در بخش کشاورزی بر این موضوع دلالت دارند که وضعیت کشاورزی و بهره‌وری آب در کشور ما فاصله زیادی با میانگین جهانی (که حدود ۷۰ درصد است) و جایگاه مطلوب خود دارد (فتح اله زاده عطار و منتصری، ۱۳۹۴). به این ترتیب مدیریت منابع آب کشور امری ضروری است و مسئله پیش‌روی کارشناسان پیدا کردن راهی برای افزایش بهره‌وری آب است تا بتوان از میزان مصرف آب در بخش کشاورزی کاست (یوسفی نژاد، ۱۳۹۵). منطقه مورد مطالعه این تحقیق نیز که در جنوب استان خراسان رضوی قرار دارد در یک اقلیم خشک و نیمه‌بیابانی قرار گرفته به طوری که تقریباً از آب جاری بی‌بهره است و کشاورزی در آن صرفاً متکی به آب‌های زیرزمینی و بارندگی‌های اندک فصلی می‌باشد. به همین سبب و با توجه به وضعیت بحرانی آب‌های زیرزمینی، کاستن از آب مصرفی بخش

بحران آب یک مسئله جهانی است. مصرف جهانی آب در چهل سال گذشته ۲ برابر شده و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۵، پنجاه تا شصت درصد مردم جهان با تنش آبی و مشکلات ناشی از آن روبه‌رو شوند (توکلی شیرازی و اکبری، ۱۳۹۱). بحران آب در ایران مانند بسیاری از کشورهای جهان به‌عنوان مسئله‌ای جدی مطرح است چرا که ایران یک کشور خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود و در

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی ژئوتکنیک و آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
(* نویسنده مسئول: (Email: f.hosseinali@sru.ac.ir
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.6.12.9

کشاورزی در این منطقه از اهمیت بسزایی برخوردار است. از میان روش‌های مختلفی که برای مقابله با بحران آب و کاهش فشار بر منابع آبی مطرح شده است، می‌توان به بهینه‌سازی^۱ الگوی کشت^۲ و توجه به میزان آب مجازی^۳ محصولات در انتخاب محصول مناسب در هر منطقه اشاره کرد (قدوسی و داوری، ۱۳۹۵). مفهوم آب مجازی در واقع بیانگر مقدار آبی است که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، در تولید یک محصول استفاده می‌شود و این مفهوم، آب را به عنوان یک موضوع مهم جهانی مطرح می‌کند. اصطلاح آب مجازی برای اولین بار در دهه ۹۰ میلادی توسط آلن^۴ مطرح شد (Sun et al., 2021). اهمیت استفاده از مفهوم آب مجازی این است که چون بهره‌وری آب در تولید محصولات در کشورها و مناطق مختلف متفاوت است، کشورهایی که با بحران کم آبی مواجه‌اند با بهره‌گیری از مفهوم آب مجازی می‌توانند روند رو به رشد استفاده از منابع آبی را کنترل و در واقع آب را از کالایی اقتصادی به کالایی استراتژیک تبدیل کنند (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸).

مفهوم آب مجازی را می‌توان در راستای تعیین الگوی کشت بهینه به کار برد و با مد نظر قرار دادن آن در کنار تناسب اراضی به این پرسش پاسخ داد که چه محصولی، کجا و به چه میزان و در چه دوره زمانی تولید شود (میرزاوند و ایمانی، ۱۳۹۴). در تعریفی دیگر منظور از الگوی بهینه کشت عبارت است از تخصیص منابع محدود بین گیاهان زراعی در حال رقابت به نحوی که ضمن تأمین نیازهای منطقه‌ای و پایداری سیستم کشاورزی حداکثر سود اقتصادی و حداقل مصرف آب مجازی را به همراه داشته باشد (Nasrabadi et al., 2015).

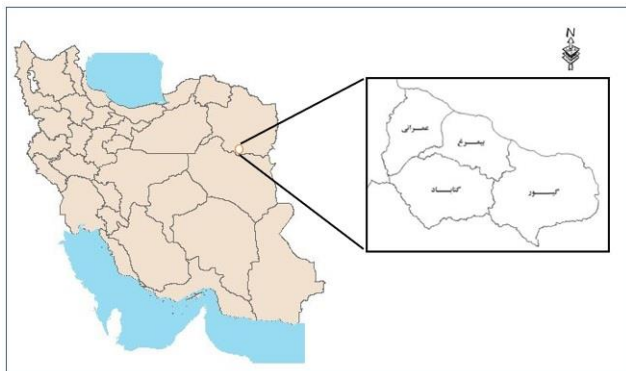
مفاهیم فوق شامل مدیریت منابع آب، تعیین الگوی کشت بهینه و توجه به آب مجازی، مسائلی هستند که مورد توجه محققین متعددی قرار گرفته‌اند. در ادامه به نتایج تعدادی از این مطالعات اشاره می‌شود. ابو شرار^۵ و همکاران اشاره می‌کنند که بهینه‌سازی مدیریت منابع آب می‌تواند بر اساس کشاورزی قراردادی باشد تا اطمینان حاصل شود که مدیریت صحیح در مسئله کمبود آب اتفاق می‌افتد (Abu-Sharar et al., 2012). هان و همکاران در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که با توجه به تعادل آب شهری، تقاضای آب مجازی محلی برای پکن تقریباً ۴ برابر برداشت آب محلی آن است و آب مجازی در واردات خارجی و داخلی، نقش مهمی در تقاضای عظیم آب پکن دارد (Han et al., 2015). فتح‌اله زاده عطار و منتصری مطالعه‌ای را با اعمال اثر آب مجازی بر اساس سه دیدگاه اقتصادی، عملکرد واحد محصول و

عملکرد انرژی در دشت ارومیه انجام دادند و به موضوعاتی چون بحران آب، راهکارهای مناسب جهت استفاده از منابع آب، نقش توزیع غیر یکنواخت منابع آب در دنیا، عدم توجه به نقش آب مجازی پرداختند و در نهایت الگوی کشت مناسب دشت ارومیه را ارائه کردند (فتح‌اله زاده عطار و منتصری، ۱۳۹۴). شهیدی و مروتی‌نشان در مطالعه‌ای با رویکرد آب مجازی از طریق تکنیک بهینه‌سازی ژنتیک در دشت بیرجند با توجه به مفهوم بنیادی آب مجازی به این نتایج دست یافتند که سطح زیر کشت محصولات در دشت بیرجند بهینه نیست و مصرف آب در بخش کشاورزی دشت بیرجند متناسب با شرایط موجود نمی‌باشد (Shahidi and Morovvat Neshan, 2016). اسماعیل‌پور و همکاران با استفاده از برآورد نیاز آبی و روش‌های بهینه‌سازی مکانی، برنامه‌ریزی کشت محصولات کشاورزی را به صورت قطعه-مبنا انجام دادند (Esmailpour et al., 2017). گنجی خرم‌دل و همکاران برای تعیین الگوی بهینه کشت از الگوریتم فراکوشی چرخه آب استفاده نمودند و در ادامه نتایج را با الگوریتم ژنتیک و مدل برنامه‌ریزی خطی مقایسه کردند (گنجی خرم‌دل و همکاران، ۱۳۹۸). دهقانی و همکاران نیز با استفاده از قابلیت مسئله کوله‌پشتی باینری در قالب الگوریتم جامع مورچگان، الگوی کشت بهینه در منطقه شهداد کرمان را ارائه دادند (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۸). رحیمی‌پور انارکی روند تغییرات ردپای آب در مقابل تولید و سطح زیر کشت کلی محصولات کشاورزی را بررسی کردند و روش‌های آبیاری نوین را معرفی کرده و توانستند الگوی کشت بهینه برای برای زمین‌های زراعی شهرستان قلعه‌گنج ارائه دهند (رحیمی‌پور انارکی و همکاران، ۱۳۹۹). قربانی و همکاران از دو روش برنامه‌ریزی خطی متعارف و برنامه‌ریزی آرمانی استفاده و ضمن مقایسه این دو روش، الگوی کشت بهینه را در حوضه آبریز قره‌سو ارائه کردند (قربانی و همکاران، ۱۳۹۹). درویشی و رضانی جهت بهینه‌سازی الگوی کشت از سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی به صورت قطعه-مبنا استفاده کردند و الگوی کشت بهینه را به دست آوردند (درویشی و رضانی، ۱۳۹۹). عارفی‌نیا و احمدآلی نیز از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه NSGAI^۶ برای بهینه‌سازی الگوی کشت محصولات زراعی با اهداف حداکثر کردن ارزش اقتصادی ردپای آب^۷ و حداقل کردن ردپای آب آبی^۸ استفاده کردند (عارفی‌نیا و احمدآلی، ۱۴۰۰). در نهایت علیزاده و حسینی‌علی جهت تعیین الگوی کشت بهینه در دشت قیقاچ واقع در آذربایجان غربی، از برنامه‌ریزی خطی در کنار دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده نمودند و در انتها با در نظر گرفتن اولویت کشت کشاورزان، نتایج را در مدل

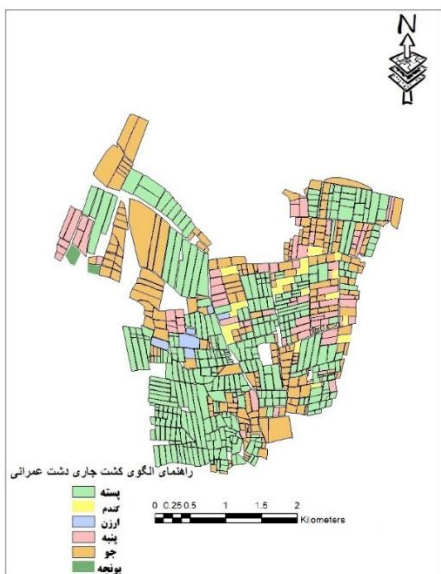
- 1- Optimization
- 2- Cropping Pattern
- 3- Virtual water
- 4- Alen
- 5- Abu-Sharar

6- Non-dominated Sorting Genetic Algorithm
7- Water footprint
8- Blue water

سطح کشور و منطقه نشان می‌دهد (Tamamgar, 2019). در شکل ۲ مرزبندی زمین‌های کشاورزی و الگوی کشت جاری دشت عمرانی قابل مشاهده است و در شکل ۳ شیب و جهات شیب و موقعیت چاه‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در سطح کشور



شکل ۲- مرزبندی و الگوی کشت منطقه مطالعاتی در سال ۱۳۹۸

بهینه‌سازی با برنامه‌ریزی ریاضی

در این مطالعه بهینه‌سازی الگوی کشت براساس مفهوم آب مجازی در قالب سه سیاست انجام شد. حداکثر سازی سود اقتصادی و حداقل سازی آب مجازی محصولات، دو سیاست تک‌هدفه این مطالعه بودند. همچنین حداقل سازی آب مجازی و حداکثر سازی سود اقتصادی، سیاست دوهدفه این مطالعه می‌باشد. گفتنی است در این مطالعه، حداکثر سازی انرژی یا کالری محصولات نیز به تنهایی یا با ترکیب با سیاست‌های دیگر نیز مد نظر قرار گرفت اما نتایج پیاده-

تحلیلی SWOT^۱ تحلیل و کشت مناسب را برای یکایک قطعات زمین پیشنهاد نمودند (علیزاده و حسینعلی، ۱۴۰۱). با توجه به نتایج مطالعات فوق می‌توان گفت که استفاده از مفهوم آب مجازی در تعیین الگوی کشت بهینه در سطح یک منطقه می‌تواند نقش مؤثری در رسیدن به توسعه پایدار کشاورزی در یک منطقه داشته باشد. همچنین به خطر افتادن امنیت غذایی، کمبود منابع آبی و افزایش نیاز به کشاورزی از دلایلی هستند که مدیریت بهینه منابع آب را می‌طلبند. لذا دستیابی به الگوی کشت بهینه به جهت افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف آب امری ضروری است. به همین جهت در مطالعه حاضر، هدف، تعیین الگوی کشت بهینه براساس مفهوم آب مجازی است و کشت بهینه در سطح منطقه با در نظر گرفتن اهداف حداقل سازی آب مجازی مصرفی، حداکثر سازی سود اقتصادی و ترکیب آنها ارائه شد و در نهایت تخصیص محصولات به قطعات زمین انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

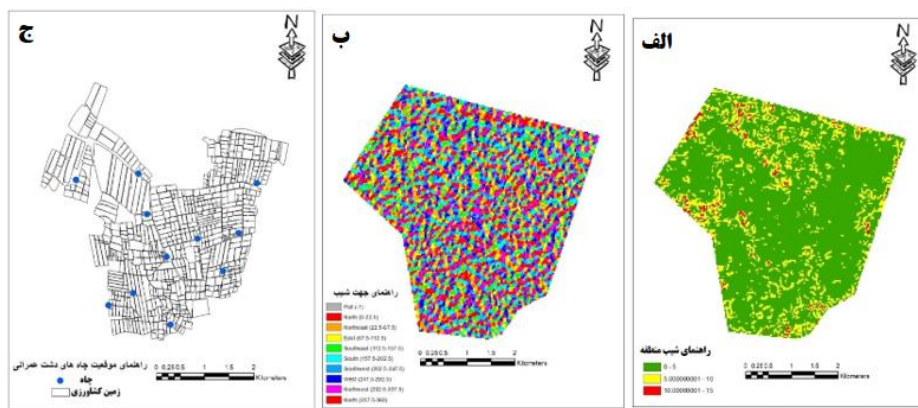
موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد بررسی در مطالعه حاضر در جنوب غربی استان خراسان رضوی و در امتداد شمال غرب- جنوب شرق در اطرف روستاهای عمرانی، مقیم‌آباد، روشناوند، بیمرغ و نوده‌پشنگ و با وسعت تقریبی ۳۴۱/۷۷ کیلومترمربع واقع شده است. این منطقه که در محدوده طول جغرافیایی ۵۸° ۱۹' تا ۵۹° ۹' و عرض جغرافیایی ۲۰' ۳۴° تا ۴۸' ۳۳° واقع است، از شمال به رودخانه کال شور، از جنوب به جاده گناباد - قاین، از شرق به روستای نوده پشنگ و از غرب به جاده گناباد - مشهد محدود می‌شود. هم‌چنین طبق آمارهای اداره کشاورزی، گندم، جو، ارزن، یونجه، پسته و پنبه محصولات عمده دشت عمرانی گناباد می‌باشند. پیشرفت جبهه آب شور به سمت جبهه آب شیرین در دشت عمرانی و نامطلوب شدن کیفیت آب سفره آب زیرزمینی باعث شده تا EC آب بعضی از چاه‌های کشاورزی، از دهه ۷۰ تا کنون از ۶۹۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر به ۱۹۰۰۰ الی ۲۳۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر برسد که این موضوع با توجه به برداشت‌های بی‌رویه آب از سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند مشکلات جدی در تولید محصولات کشاورزی منطقه ایجاد کند (Tamamgar, 2019). در دشت عمرانی بر اساس آمار ۱۳۸۸ سازمان آب منطقه‌ای خراسان در کل تعداد ۱۹۹ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق با آبدهی سالانه ۸۱/۹ میلیون مترمکعب موجود بوده است. تعداد ۴۳ رشته کاریز (قنات) دشت با آبدهی سالانه ۲/۵۶ میلیون مترمکعب و تعداد ۴ دهنه چشمه با آبدهی سالانه ۹۷۰۰ مترمکعب ذکر گردیده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را در

1- Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT)

خطی برای سیاست‌های تک‌هدفه و برنامه‌ریزی چندهدفه برای بهینه‌سازی همزمان دو یا چند هدف، انجام شد. این روش شامل هدف یا اهداف و محدودیت‌هایی می‌باشد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود:

سازی نشان داد که با توجه به ضرایب مورد استفاده برای این سیاست و اعمال همزمان محدودیت‌های کشت، نتایج آن مشابه با سیاست حداقل‌سازی آب مجازی خواهد بود و از این رو از ذکر این هدف و نتایج آن در این مقاله صرف نظر شد. لازم به ذکر است بهینه‌سازی الگوی کشت از طریق برنامه‌ریزی ریاضی و در قالب برنامه‌ریزی



شکل ۳- (الف) نقشه شیب منطقه مطالعاتی (ب) نقشه جهت شیب منطقه مطالعاتی (ج) نقشه موقعیت چاه‌های کشاورزی منطقه مطالعاتی

ب- تابع هدف

فرم کلی تابع هدف در مطالعه حاضر طبق رابطه (۱) است:

$$\text{Min } Z = \sum f_i x_i \quad (1)$$

در این رابطه f_i ضریب تابع هدف، Z مقدار تابع هدف و x_i مجهول خواسته شده در رابطه کلی تابع هدف می‌باشد. برای ایجاد تابع هدف، ضرایب بر طبق تابع هدف تعیین شدند. ضریب هر مجهول در هر سیاست تعریف جداگانه‌ای دارد. این ضریب در سیاست حداکثرسازی سود اقتصادی، به صورت سود حاصل از هر محصول بر حسب میلیون تومان در هکتار و در سیاست حداقل‌سازی آب مجازی به صورت میزان آب مجازی مصرفی برای تولید هر محصول بر حسب مترمکعب بر تن تعریف شد. همچنین تابع هدف در سیاست دو هدفه به صورت ترکیبی از این سیاست‌ها تشکیل گردید. در جدول ۲ ضریب هر محصول مربوط به سیاست حداکثرسازی سود اقتصادی جهت استفاده در تابع هدف آورده شده است. داده‌های این جدول بر اساس گزارش‌های اداره کشاورزی مبنی بر میزان درآمد کشاورزان شهرستان به دست آمد.

الف- مجهولات یا خواسته‌ها

در جدول ۱ مجهولات مسئله که سطح زیر کشت هر یک از محصولات بر حسب هکتار هستند، ارائه شده است:

جدول ۱- مجهولات مسئله به همراه نماد متغیر به کاررفته برای هر کدام

محصول	پیسته	جو	گندم	پنبه	یونجه	ارزن
نماد متغیر	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6

لازم به ذکر است در هر سیاست، سناریویی تحت عنوان استفاده از محصولات پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت و سه محصول انار، ذرت علوفه‌ای و ذرت خوشه‌ای که براساس گزارش‌های اداره کشاورزی گناباد دارای بیشترین تطابق با اقلیم منطقه بوده و در مقایسه با سایر محصولات دارای نیاز آبی به نسبت کمتری بودند، مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۲- ضریب محصول در سیاست حداکثرسازی سود اقتصادی (بر حسب میلیون تومان)

محصول	پیسته	جو	گندم	پنبه	یونجه	ارزن	انار	ذرت علوفه‌ای	ذرت خوشه‌ای
نماد	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	محصول جایگزین	محصول جایگزین	محصول جایگزین
ضریب	۵۰	۸	۸	۷	۱۳	۷	۴۰	۸	۵/۵

C_p عملکرد محصول در سال مورد نظر (تن بر هکتار) است. بر این اساس آب مجازی محصولات دشت عمرانی طبق رابطه بالا و براساس آمار و ارقام اداره جهاد کشاورزی محاسبه شد. در جدول ۳ میزان آب مجازی یا همان ضریب محصول در سیاست حداقل سازی آب مجازی محصولات بر حسب متر مکعب بر تن قابل مشاهده است.

همچنین با در دست داشتن نیاز آبی گیاه و میزان تولید سالیانه هر محصول، می توان آب مجازی مورد نیاز برای تولید آن را طبق رابطه (۲) به دست آورد:

$$VWC = CWR/C_p \quad (2)$$

که در آن VWC میزان آب مجازی (بر حسب مترمکعب بر تن)، CWR آب مصرفی یا نیاز آبی گیاه (بر حسب مترمکعب بر هکتار) و

جدول ۳- ضریب محصول در سیاست حداقل سازی آب مجازی بر حسب متر مکعب بر تن (ودیعی، ۱۳۹۰؛ تمامگر، ۱۳۹۴)

محصول	پسته	جو	گندم	پنبه	یونجه	ارزن	انار	ذرت علوفه‌ای	ذرت خوشه‌ای
VWC	۶۰۰۰	۱۳۷۱/۴	۱۹۱۳/۸	۶۴۹۳/۳	۱۱۸۴	۱۷۸۴	۶۰۵/۷	۳۱۱/۶	۲۵۲/۶

جمع‌آوری شده است. شایان ذکر است که این بارش‌ها و خروجی چاه‌ها جدیدترین اطلاعات دریافت شده از اداره آب منطقه‌ای و مربوط به سال ۱۳۹۸ می‌باشد. مقدار بارش‌ها در واقع مجموع میزان بارندگی در هر ماه می‌باشد. همچنین در این مطالعه نیاز آبی گیاه در هر سال از نرم‌افزار NETWAT گرفته شد. محدودیت‌های حجم آب مربوط به فصل‌های بهار (رابطه ۶)، تابستان (رابطه ۷)، پاییز (رابطه ۸)، زمستان (رابطه ۹) و کل آب تخصیص داده شده به دشت عمرانی (رابطه ۱۰) در زیر ارائه شده است:

$$66x_1 + 390x_2 + 467x_3 + 161x_4 + 411x_5 + 444x_6 \leq 1193911 \quad (6)$$

$$390x_1 + 750x_4 + 542x_5 \leq 1432693 \quad (7)$$

$$24x_1 + 19x_2 + 19x_3 + 63x_4 + 163x_5 \leq 1193911 \quad (8)$$

$$71x_2 + 69x_3 + 68x_5 + 2x_6 \leq 477564 \quad (9)$$

$$480x_1 + 480x_2 + 555x_3 + 974x_4 + 1184x_5 + 446x_6 \leq 4298079 \quad (10)$$

در روابط فوق ضریب هر محصول نیاز آبی گیاه در فصل مورد نظر است و عدد سمت راست روابط حجم آب در دسترس است.

از طرف دیگر با توجه به نیازهای منطقه و همچنین برای تأمین نیازهای کشور و جلوگیری در کمبود نیاز اساسی جامعه در آینده، اداره کشاورزی شهرستان گناباد برای هر یکی از محصولات در منطقه مقدار حداقل و حداکثری برای مساحت کشت هر یک از محصولات در نظر گرفته است که در رابطه (۱۱) برای محصول پسته، رابطه (۱۲) برای محصول جو، رابطه (۱۳) برای محصول گندم، رابطه (۱۴) برای محصول پنبه، رابطه (۱۵) برای محصول یونجه و رابطه (۱۶) برای محصول ارزن به آنها اشاره شده است:

$$250 \leq x_1 \leq 500 \quad (11)$$

$$200 \leq x_2 \leq 250 \quad (12)$$

$$150 \leq x_3 \leq 200 \quad (13)$$

$$75 \leq x_4 \leq 100 \quad (14)$$

$$30 \leq x_5 \leq 50 \quad (15)$$

$$100 \leq x_6 \leq 150 \quad (16)$$

پس از تعیین ضرایب محصول در هر سیاست، توابع هدف مسئله بهینه‌سازی با توجه به سیاست‌های انتخابی تشکیل شدند. بر این اساس رابطه ۳ با توجه به سیاست حداکثرسازی سود اقتصادی و رابطه ۴ با توجه به حداقل سازی آب مجازی به صورت زیر ارائه می‌شوند:

$$MaxZ = \sum 50x_1 + 8x_2 + 8x_3 + 7x_4 + 13x_5 + 7x_6 \quad (3)$$

$$MaxZ = \sum 50x_1 + 8x_2 + 8x_3 + 7x_4 + 13x_5 + 7x_6 \quad (4)$$

در ادامه با تلفیق روابط ۳ و ۴ یعنی در نظر گرفتن هم‌زمان آنها می‌توان به سیاست دوهدفه رسید.

ج- محدودیت‌ها

در این مطالعه محدودیت‌ها شامل مساحت زمین در دسترس، حجم آب، حداکثر و حداقل سطح زیر کشت محصولات، هزینه کودها، سموم شیمیایی و کارگری می‌شود. باید ذکر کرد در هر سیاست یا هدف، به دلیل اعمال محدودیت‌های گوناگون در سناریوهای مورد بررسی، نتایج مختلفی برای سطح زیر کشت محصولات قابل انتظار است. در این مطالعه محدودیت سطح زیر کشت در ارتباط با کل زمین در دسترس جهت کشت محصولات مختلف مد نظر قرار گرفت. با توجه به وسعت ۹۷۱/۳ هکتاری دشت عمرانی، محدودیت مساحت زمین جهت کشت محصولات در منطقه به صورت رابطه (۵) نوشته می‌شود:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 971.3 \quad (5)$$

همچنین محدودیت حجم آب شامل مجموع آب‌های سطحی، زیرسطحی و بارش‌های جوی جهت کشت محصولات است که قابلیت برداشت آن توسط کشاورز وجود دارد. این محدودیت برای دشت عمرانی، برابر با مجموع بارش‌های جوی مؤثر و مقدار آب خروجی یا تخلیه‌شده از چاه‌های کشاورزی منطقه است که با کمک اداره هواشناسی و اداره آب منطقه‌ای شهرستان گناباد این اطلاعات

نتایج و بحث

پس از تعیین توابع هدف و محدودیت‌ها و برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB نتایج حاصل از تحلیل بهینه‌سازی انجام شده مطابق با شکل ۴ به دست آمد. در ادامه با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۴ نتایج هر سیاست به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس با هم مقایسه می‌شوند.

سیاست حداکثرسازی سود اقتصادی

در بررسی این سیاست لازم به ذکر است که میزان بهبود سود بخش کشاورزی ناشی از بهینه‌سازی، یکی دیگر از مزایای مدل بهینه‌سازی است که مقدار سود حاصل را در اختیار استفاده‌کنندگان قرار می‌دهد (آبابایی و رمضان‌اعتدالی، ۱۳۹۵). به این معنا که محصولات کشاورزی با راندمان اقتصادی پایین دیگر تولید نشده و با افزایش واردات (افزایش هزینه‌ها) و یا کاهش صادرات (کاهش میزان درآمد) نیاز منطقه تأمین می‌شود (بنی حبیب و همکاران، ۱۳۹۸). پس می‌توان نتیجه گرفت که در این سیاست ابتدا باید محصولی چون پسته که سود اقتصادی بالایی دارد کشت شود که ۴۹ درصد الگوی کشت معادل ۴۷۵ هکتار از سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده و کشت محصولاتی چون گندم و جو که برای کشور حکم خودکفایی را دارد به قوت خود باقی باشند. در این سیاست سطح زیر کشت جو به میزان ۲۳ درصد کاهش یافته و برابر با ۲۴۷/۸ هکتار بود و سطح زیر کشت گندم نیز بیش از ۷ برابر افزایش یافته که معادل ۱۹۸ هکتار بود و محصولاتی که سود اقتصادی چندانی نداشتند مانند ارزن و پنبه باید از الگوی کشت حذف شوند. همچنین سطح زیر کشت یونجه به دلیل سود اقتصادی بالا نزدیک به ۱۰ برابر افزایش یافت و به ۵۰ هکتار رسید.

سیاست حداقل‌سازی آب مجازی

در این سیاست سطح زیر کشت پسته به دلیل آب مجازی مصرفی بالا تقریباً به نصف کاهش یافت و معادل ۲۵۰ هکتار است. همچنین سطح زیر کشت جو بیش از ۳۸ درصد کاهش یافته و برابر با ۲۰۰ هکتار شد و مساحت زیر کشت گندم نیز بیش از ۴ برابر افزایش یافته و برابر با ۱۵۰ هکتار شد. ضریب بالای آب مجازی برای محصولی نظیر پنبه و کمربودن آب مجازی مصرفی در محصولات پیشنهادی شامل انار، ذرت علوفه‌ای و ذرت خوشه‌ای سبب شد تا این محصولات با پنبه، یونجه و ارزن جایگزین شوند. در همین راستا سطح زیر کشت انار برابر با ۲۰۰ هکتار و برای ذرت علوفه‌ای و خوشه‌ای به ترتیب برابر با ۷۱/۳ و ۱۰۰ هکتار شد.

رشد و عملکرد محصول در کشاورزی به عوامل زیادی مانند شرایط آب و هوایی، نوع خاک و کاربرد درست کود و سموم بستگی دارد (Jain et al., 2021). کشاورزان در فرآیند کاشت، داشت و برداشت محصولات کشاورزی به نیروی انسانی و ماشین‌آلات کشاورزی نیاز دارند، در نتیجه در روابط زیر با توجه به جمع هزینه‌های تمام شده کودهای مورد نیاز (رابطه ۱۷)، انواع سموم مورد استفاده (رابطه ۱۸) و کارگری در مقیاس یک هکتار (رابطه ۱۹) برای محصولات دشت عمرانی، محدودیت مربوط به این موارد ارائه شده است:

$$20x_1 + 7x_2 + 7x_3 + 8x_4 + 7x_5 + 6.5x_6 \leq 96026 \quad (17)$$

$$4x_1 + 1.4x_2 + 1.4x_3 + 1.6x_4 + 1.4x_5 + 1.3x_6 \leq 2655.5 \quad (18)$$

$$30x_1 + 10.5x_2 + 10.5x_3 + 8x_4 + 10.5x_5 + 9.75x_6 \leq 19469.6 \quad (19)$$

در روابط فوق ضرایب پارامترها مربوط به هزینه کود، سموم یا کارگری مورد نیاز هر محصول در مقیاس یک هکتار بر حسب میلیون می‌باشند و عدد سمت راست تساوی بیانگر مجموع هزینه‌های مربوطه برای محصولات کشاورزی دشت عمرانی در کل سطح زیر کشت است. این اطلاعات به همت کارشناسان زراعت اداره کشاورزی شهرستان گناباد و براساس آمارنامه‌های مربوطه جمع‌آوری شده است.

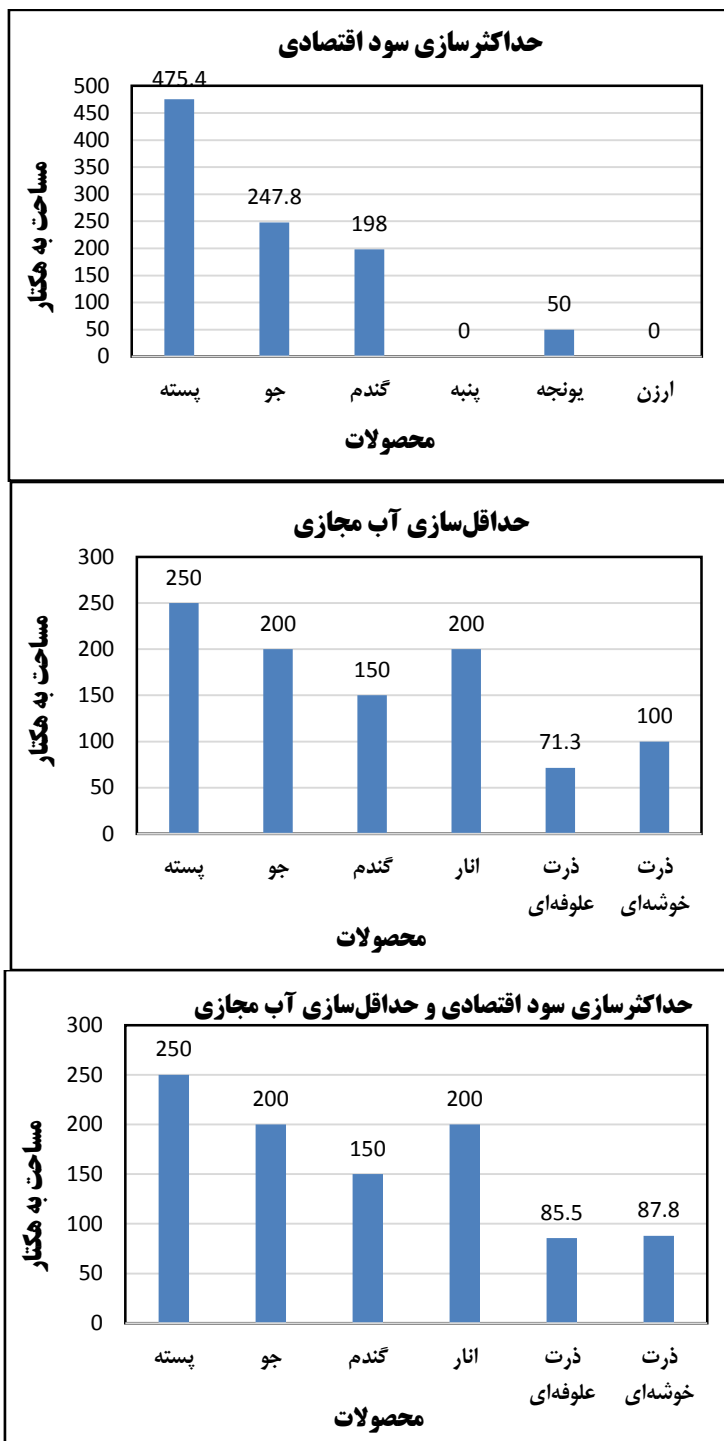
برنامه‌نویسی روابط بهینه‌سازی در نرم‌افزار MATLAB

برای انجام برنامه‌نویسی، در برنامه‌ریزی خطی از تابع `linprog` برای بهینه‌سازی تک‌هدفه و از تابع `Gamultiobj` که از الگوریتم ژنتیک در فرآیند حل استفاده می‌کند، برای بهینه‌سازی چند هدفه در نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. با توجه به این که این توابع به طور پیش فرض برای مینیمم‌سازی استفاده می‌شوند، در سیاست‌هایی که حداکثرسازی یک یا چند پارامتر مدنظر بود ضرایب تابع هدف با علامت منفی در ماتریس‌ها و برنامه وارد شدند. فرم کلی کد دستوری استفاده شده در کدنویسی برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار MATLAB برای بهینه‌سازی یک‌هدفه (رابطه ۲۰) و چندهدفه (رابطه ۲۱) به صورت زیر است:

$$[x, fval] = \text{linprog}(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub) \quad (20)$$

$$[X, FVAL] = \text{Gamultiobj}(\text{FITNESSFCN}, N\text{VARS}, A, b, Aeq, beq, LB, UB) \quad (21)$$

در روابط بالا f ماتریس ضرایب تاثیر در مقدار تابع هدف، A ماتریس قیود خطی نامساوی، b بردار قیود خطی نامساوی، Aeq ماتریس قیود خطی مساوی، beq بردار قیود خطی مساوی، lb یا LB حد پایین مجهولات، ub یا UB حد بالای مجهولات، x یا X بردار مجهولات، $fval$ و $FVAL$ مقدار بهینه تابع، $FITNESSFCN$ تابع هزینه شامل توابع هدف و $NVARS$ تعداد متغیرها هستند



شکل ۴- سطح زیر کشت محصولات در سیاست‌های مختلف مورد بررسی منطقه مطالعاتی بر حسب هکتار

شوند، به طور همزمان هر دو هدف مد نظر به بهترین حالت ممکن خود می‌رسند. در این سیاست نیز سطح زیر کشت پسته تقریباً نصف شده و برابر با ۲۵۰ هکتار شد. مساحت زیر کشت جو نیز با کاهش همراه بوده و به ۲۰۰ هکتار رسید و گندم نیز، بیش از ۴ برابر رشد سطح زیر کشت داشت.

سیاست حداکثر سازی سود اقتصادی و حداقل سازی آب مجازی

با بررسی سناریوهای مختلف این سیاست، این نتیجه به دست آمد که در صورتیکه محصولات پنبه، یونجه و ارزن با سه محصول پیشنهادی جدید یعنی انار، ذرت علوفه‌ای و ذرت خوشه‌ای جایگزین

ارزیابی و مقایسه نتایج

به این صورت که با بهره‌گیری از ترکیب کشت معرفی‌شده در این سیاست، میزان آب مجازی مصرفی بیش از ۵۷ درصد کاهش یافت و به عبارتی مقدار ۲۹۳۱۸۴۰ متر مکعب آب مجازی صرفه‌جویی شد. واضح است هرچه که الگوی کشت فعلی منطقه بیشتر به این الگوی کشت بهینه نزدیک شود، اهداف مورد بررسی تا سطح بیشتری در دسترس خواهند بود.

در جدول ۴ میزان کل آب مجازی مصرفی و میزان کل سود اقتصادی هر سیاست بررسی شده، ارائه شده است. نتایج به روشنی گویای این حقیقت بود که استفاده از ترکیب کشت معرفی‌شده در سیاست حداکثرسازی سود اقتصادی و حداقل‌سازی آب مجازی به شکل بهتری توانست تمامی اهداف را به صورت همزمان بهینه نماید.

جدول ۴- میزان کل آب مجازی مصرفی و سود اقتصادی محصولات در سیاست‌های مختلف

سیاست	میزان کل آب مجازی مصرفی بر حسب هزار متر مکعب	میزان کل سود اقتصادی بر حسب میلیون تومان
حداکثرسازی سود اقتصادی	۵۱۶۲/۷	۳۰۲۱۸
حداقل‌سازی آب مجازی	۲۲۳۰	۲۴۴۲۰
حداکثرسازی سود اقتصادی و حداقل‌سازی آب مجازی	۲۲۳۰/۸	۲۴۴۵۶
الگوی کشت فعلی	۵۲۶۹	۲۸۲۶۵

سیس این داده‌ها به محیط نرم‌افزار ArcGIS وارد شدند. حد مجاز یا آستانه تحمل شوری خاک رطوبت خاک و اسیدیته نیز براساس اطلاعات دریافتی تعیین گردید و پس از اعمال این حدود آستانه، نقشه تناسب اراضی برای هر محصول براساس هر ویژگی تهیه شد. لازم به ذکر است تناسب اراضی با استفاده از طبقه‌بندی نمودن ویژگی مورد نظر در حدود آستانه مجاز به دست آمد. سپس برای تعیین الگوی کشت نهایی به صورت همزمان و با کمک این دستور حدود مجاز اعمال شده و الگوی کشت نهایی که مشخص کننده نوع محصول در هر زمین است، به دست آمد. شایان توجه است که هر چند شاید در دشت عمرانی محصولات کشاورزی در درجات شوری، رطوبت و اسیدیته مختلف خاک، کشت می‌شوند؛ اما با شناسایی بهترین نقاط، عملکرد محصولات و در نتیجه سوددهی اقتصادی و درآمد ناشی از مصرف هر متر مکعب آب مجازی افزایش پیدا خواهد کرد.

در جدول ۵ سطح زیر کشت الگوی فعلی و پیشنهادی قابل مشاهده است. بر این اساس باید پنبه، یونجه و ارزن با محصولات پیشنهادی جدید جایگزین گردند و سطح زیر کشت محصولات مطابق با ترکیب کشت جدید باشد تا مقادیر بهینه ممکن برای توابع هدف حاصل شود.

تخصیص الگوی کشت به قطعات زمین

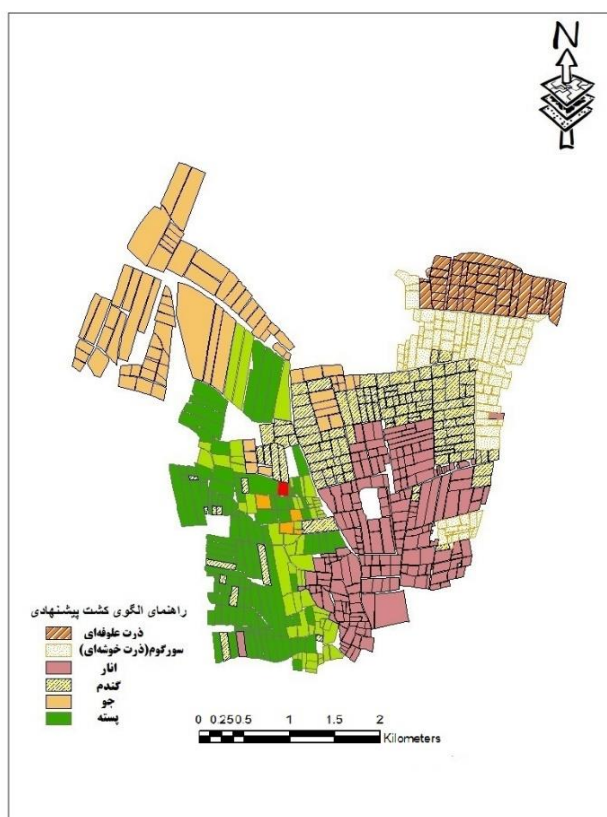
پس از تعیین الگوی کشت مناسب، داده‌های مشخص کننده ویژگی خاک هر قطعه زمین کشاورزی شامل EC یا همان هدایت الکتریکی، میزان رطوبت خاک و PH یا اسیدیته خاک که مربوط به عمق ۳۵ سانتی متری از سطح خاک بودند، از آزمایشگاه اداره کشاورزی شهرستان گناباد و اداره کل کشاورزی استان دریافت شدند. همچنین داده‌های مربوط به حد مجاز بالا و پایین پارامترها برای کشت هر محصول نیز دریافت شد که در جدول ۶ قابل مشاهده هستند.

جدول ۵- سطح زیر کشت محصولات در الگوی کشت فعلی و پیشنهادی برای منطقه مطالعاتی بر حسب هکتار

محصول	الگوی کشت فعلی	الگوی کشت پیشنهادی
پسته	۴۹۰/۳	۲۵۰
جو	۳۲۳/۶	۲۰۰
گندم	۲۶/۹	۱۵۰
پنبه	۱۱۱/۶	-
یونجه	۵/۶	-
ارزن	۱۳/۲	-
انار	-	۲۰۰
ذرت علوفه‌ای	-	۸۵/۵
ذرت خوشه‌ای	-	۸۵/۸

جدول ۶- حدود مجاز شوری خاک بر حسب دسی زیمنس بر متر و حدود مجاز اسیدپتته خاک و حدود مجاز رطوبت خاک بر حسب درصد برای محصولات منطقه مطالعاتی

محصول	حد پایین مجاز شوری خاک	حد بالای مجاز شوری خاک	درصد پایین مجاز رطوبت خاک	درصد بالای مجاز رطوبت خاک	حد پایین مجاز اسیدپتته خاک	حد بالای مجاز اسیدپتته خاک
پسته	۸	۱۲	۲۵	۵۵	۶	۷/۲
جو	۷	۱۳	۲۵	۵۵	۶/۵	۷/۵
گندم	۶	۹	۲۵	۶۵	۶/۶	۷/۴
انار	۶	۱۰	۴۰	۷۰	۵/۸	۷
ذرت علوفه‌ای	۶/۸	۸/۸	۳۰	۷۰	۶	۷/۵
ذرت خوشه‌ای	۱/۸	۸/۶	۲۵	۵۲	۶	۷



شکل ۵- نقشه تخصیص محصولات کشاورزی به قطعات زمین دشت عمرانی گناباد

نتیجه گیری

محدودیت منابع آب در دسترس، آب را به عنوان یک کالای اقتصادی و حائز اهمیت در سیاست‌های هر کشوری مطرح نموده است. نظر به اینکه ایران با بحران کم آبی مواجه است پس باید مصرف منابع آب در مشاغل چون کشاورزی که بیشترین استفاده را دارند، کنترل و صرفه جویی شود، از این رو تعیین الگوی کشت بهینه

بر این اساس در این قسمت با در اختیار داشتن مقدار شوری خاک، درصد رطوبت خاک و میزان اسیدپتته آن، زمین‌های مناسب شناسایی شده و الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن کمترین تغییرات الگوی کشت فعلی، پیاده‌سازی شدند. در نهایت با برهم‌نهی نقشه‌های تناسب اراضی، نقشه نهایی تخصیص محصولات به قطعات زمین به دست آمد که مطابق شکل ۵ می‌باشد.

بهره جویی از مفاهیم کاربردی آب مجازی. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران.

درویشی، م. و رضانی، ا. ۱۳۹۹. بررسی الگوی کشت محصولات کشاورزی با استفاده از سنجش ازدور و سیستم اطلاعات مکانی با رویکرد قطعه مینا.

دهقانی، ع.، امیرتیموری، س. و زارع مهرجردی، م.ر. ۱۳۹۸. کاربرد الگوریتم جامعه مورچگان در بهینه سازی الگوی کشت (شهداد، شهرستان کرمان).

رحیمی پور انارکی، م.ر.، محمدی، ع.، رفیعیان، م.، ارجمندی، ر. و کریمی، س. ۱۳۹۹. ارزیابی آب مجازی و ردپای آب محصولات کشاورزی (مطالعه‌ی موردی: شهرستان قلعه گنج).

شهیدی، ع. و مروّت نشان، ع. ۱۳۹۵. مدیریت آب کشاورزی با رویکرد آب مجازی از طریق تکنیک بهینه‌سازی ژنتیک (GA) (مطالعه موردی: دشت بیرجند). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۰(۶): ۷۱۴-۷۲۲.

عارفی نیا، ع. و احمدآلی، خ. ۱۴۰۰. بهینه سازی چندهدفه الگوی کشت مبتنی بر ردپای آب در استان های شرق کشور. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵(۱): ۱۸۸-۱۹۸.

علیزاده بدرش، م. و حسینعلی، ف. ۱۴۰۱. تحلیل مکان مینا و چندجانبه نوع کشت در قطعات مزروعی دشت قیقاچ. اطلاعات جغرافیایی (سپهر). ۳۱(۱۲۲): ۸۷-۱۱۰.

فتح اله زاده عطار، ن. و منتصری، م. ۱۳۹۴. معرفی آب مجازی و تعیین الگوی کشت با اعمال اثر آب مجازی براساس سه دیدگاه اقتصادی، عملکرد واحد محصول و عملکرد انرژی مطالعه موردی (دشت ارومیه). کنفرانس بین المللی توسعه با محوریت کشاورزی، محیط زیست و گردشگری.

قدوسی، ح. و داوری، ح. ۱۳۹۵. تحلیل انتقادی آب مجازی از منظر سیاست‌گذاری. آب و توسعه پایدار، ۳(۱): ۴۷-۵۸.

قربانی، خ.، مفتاح هلقی، م.، کرامت زاده، ع. و سالاری جزی، م. ۱۳۹۹. بهینه سازی الگوی کشت با استفاده از برنامه ریزی آرمانی (مطالعه موردی: حوضه آبریز قره سو). مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۷(۱): ۱۶۳-۱۸۰.

گنجی خرم دل، ن.، عبدوس، م. و حسینی موغاری، س.م. ۱۳۹۸. به کارگیری الگوریتم فراکاوشی چرخه آب به منظور تعیین الگوی بهینه کشت زراعی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک و مدل برنامه ریزی خطی (مطالعه موردی: شبکه آبیاری ورامین). نشریه علوم آب و خاک. ۲۳(۳): ۲۱۱-۲۱.

و توجه به مفهوم آب مجازی در مدیریت صحیح منابع آب تأثیر بسزایی خواهد داشت. در این مطالعه جهت تعیین الگوی کشت بهینه برای منطقه مطالعاتی دشت عمرانی شهرستان گناباد، سه سیاست با در نظر گرفتن محدودیت های گوناگون پیشنهاد شد که براساس نتایج به دست آمده و پس از تحلیل یافته‌ها مشخص شد که الگوی کشت پیشنهادی در سیاست حداکثرسازی سود اقتصادی و حداقل سازی آب مجازی نسبت به بقیه مناسب تر بوده، به این صورت که سطح کشت پسته و جو به ترتیب به میزان بیش از ۴۸ و ۳۸ درصد باید کاهش یابد و سطح زیر کشت گندم نیز تقریباً ۶ برابر گردد و به جای محصولاتی نظیر پنبه، یونجه و ارزن از محصولات پیشنهادی جدید همچون انار و ذرت علوفه‌ای و ذرت خوشه‌ای که مطابق با اقلیم منطقه هستند، استفاده شود. این سیاست بر خلاف سیاست صرف حداکثرسازی سود، میزان آب مجازی مصرفی را به شدت کاهش می‌دهد و در عین میزان سود اقتصادی آن در مقایسه با سیاست صرف کمینه‌سازی آب مصرفی وضعیت بهتری دارد. با پیاده‌سازی این الگوی کشت در سطح منطقه میزان آب مجازی مصرفی برای تولید محصولات که اولویت مطالعه حاضر است، بیش از ۵۷ درصد کاهش می‌یابد و سود اقتصادی نیز نسبت به الگوی کشت فعلی در مقایسه با کاهش شدید آب مجازی مصرفی تغییر چندانی نمی‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود که با ارائه نتایج به دست آمده به کشاورزان منطقه و تلاش برای فرهنگ‌سازی تغییر الگوی کشت و دانش‌افزایی درباره مفهوم آب مجازی، زمینه تغییر الگوی کشت فراهم شود تا مصرف آب مصرفی کاهش یابد و بتوان در صنایع و سایر قسمت‌ها از این موهبت خدادادی استفاده کرد.

منابع

آبایی، ب. و رضانی اعتدالی، ه. ۱۳۹۵. برآورد اجزاء ردپای آب در تولید محصول گندم در سطح کشور. آب و خاک. ۲۹(۶): ۱۴۵۸-۱۴۶۸.

اسدی، ج. و صابریان، ج. ۱۳۹۴. بهینه سازی مصرف آب با اصلاح الگوی کشت به کمک مدل تحلیل سلسله مراتبی در GIS. اولین همایش مدیریت تقاضا و بهره‌وری مصرف آب.

بنی حبیب، م.ا.، آزادخراسانی، م.م.، اولادقره گوز، م. و محمدی، ع. ۱۳۹۸. بهینه سازی تبادل آب مجازی در شرایط مختلف کشتش قیمتی محصولات کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه). تحقیقات منابع آب ایران. ۱۵(۴): ۱۲۱-۱۳۶.

تمامگر، ا. ۱۳۹۴. تعیین الگوی بهینه کشت دشت عمرانی-بیمرغ شهرستان گناباد. پایان نامه دکتری دانشگاه فردوسی مشهد.

توکلی شیرازی، ن. و اکبری، غ. ۱۳۹۱. مدیریت بهینه منابع آب با

- Geospatial Information Technology. 5(2). 19-33.
- Han, M. Y., Chen, G. Q., Mustafa, M. T., Hayat, T., Shao, Ling, Li, J. S., Xia, X. H. and Ji, X. 2015. Embodied water for urban economy: A three-scale input-output analysis for Beijing 2010. *Ecological Modelling*. 318: 19-25.
- Jain, S., Ramesh, D. and Bhattacharya, D. 2021. A multi-objective algorithm for crop pattern optimization in agriculture. *Applied Soft Computing*, 112: 107772.
- Nasrabadi, T., Arab, E. and Poursaghar, F. 2015. Investigating the proportion of wheat planted area in Iran with wheat yield and water demand by focusing on virtual water approach. *Journal of Environmental Studies*. 41(3): 529-543.
- Sun, J. X., Yin, Y. L., Sun, S. K., Wang, Y. B., Yu, X. and Yan, K. 2021. Review on research status of virtual water: The perspective of accounting methods, impact assessment and limitations. *Agricultural Water Management*. 243: 106-117.
- Tamamgar, A. 2019. Determining the optimal cultivation pattern of Omrani plain of Gonabad by linear planning.
- موسوی، س. ن.، اکبری، س. م. ر.، سلطانی، غ. و زارع مهرجردی، م. ۱۳۸۸. آب مجازی؛ راهکاری نوین در جهت مقابله با بحران آب. همایش ملی مدیریت بحران آب.
- میرزاوند، م. و ایمانی، ر. ۱۳۹۴. تعیین الگوی کشت بهینه بر اساس مفهوم آب مجازی و سوددهی اقتصادی برای مقابله با کم آبی، مطالعه موردی: دشت کاشان، استان اصفهان. منابع آب و توسعه، سال سوم (۴): ۵-۱۷.
- ودیعی، ع. ۱۳۹۰. مطالعه نقش تعاونی های روستایی در افزایش بهره وری و درآمد کشاورزان شهرستان گناباد. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد.
- یوسفی نژاد، م. ۱۳۹۵. بررسی آب مجازی و مدیریت منابع آب. انتشارات شرکت مدیریت منابع آب ایران.
- Abu-Sharar, Taleb M., Al-Karablieh, Emad K. and Haddadin, Munther J. 2012. Role of Virtual Water in Optimizing Water Resources Management in Jordan. *Water Resources Management*. 26(14): 3977-3993.
- Esmailpour Estarkhi, H., Karimi, M., Alimohammadi Sarabi, A. and Davari, K. 2017. Planning of Agricultural Crops Cultivation Using Spatial Optimization Methods. *Engineering Journal of*

Determining the Optimal Cultivation Pattern by Considering the Concept of Virtual Water and Economic Benefits (Case Study: Omrani Plain in Khorasan Razavi)

M. Kolahi¹, F. Hosseinali^{2*}, M. Karimaei Tabarestani³

Received: Aug.02, 2021

Accepted: Oct.07, 2022

Abstract

This study is conducted with the aim of determining the optimal cultivation pattern based on the concept of virtual water and considering the objectives of minimizing virtual water consumption and maximizing economic profit of the products in Omrani plain of Gonabad as a case study. At first, the optimization problems are defined by defining appropriate objective equations, and limitations based on different constrains such as available water or local and regional policies. Then, by using linear and multi-objective programming in MATLAB software, the appropriate cultivation pattern was determined. Next, using GIS, the optimal crops were allocated to different farmland in the region. Results showed that the best policy was a combination of the two-objective including minimizing virtual water and maximizing economic profits. In this case, the amount of virtual water consumption in the region was reduced by more than 57% which is considerable. Also, even with this consumption of virtual water, the higher economic benefit is achievable if the pattern of cultivation is changed .

Keywords: Economic benefits, Linear programming, Optimal cultivation pattern, Virtual water

1- MS. Student of GIS, Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Geotechnical and Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author's Email: f.hosseinali@sru.ac.ir)