فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی
جلد ۹، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱ ص. ۴۱۰-۳۹۳

Rural Development Strategies
Vol. 9, No. 3, Fall 2022, P. 393-410

مقاله پژوهشی

تخصیص بهینه منابع آب بخش کشاورزی بین محصولات منتخب مناطق روستایی سیستان

زهرا غفاری‌مقدم[۱]، ابراهیم مرادی*[۲]، محمود هاشمی‌تبار[۳] و علی سردارشهرکی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۸ دی ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

بحرانی بودن وضعیت منابع آبی مناطق خشک و نیمه خشک ایران به‌خصوص منطقه سیستان، روند توسعه پایدار در این منطقه با مشکل جدی مواجه نموده است. عدم توجه کافی به مدیریت بهینه منابع آب کشاورزی و تداوم استفاده از برخی شیوه‌های نادرست فعلی یکی از عوامل اصلی دست نیافتن به توسه پایدار کشاورزی و روستایی است. در این مطالعه سعی شده است تا با مدیریت بهینه آب رودخانه هیرمند در بخش کشاورزی، کمکی جهت توسعه بخش کشاورزی و روستایی مناطق سیستان انجام شود. که برای این منظور از تئوری بازی‌ها، جهت تخصیص آب، بین اراضی کشاورزی مناطق روستایی سیستان در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ استفاده شده است. جهت اجرای بازی از الگوریتم فراابتکاری استفاده شد که ترکیبی از الگوریتم ژنتیک پویا و روش برنامه‌ریزی فازی می‌باشد. نتایج نشان داد استفاده از مدل پیشنهادی می‌تواند منجر به تخصیص کارا و عادلانه آب بین مناطق تحت آبیاری و محصولات مختلف شود به طوریکه حداکثر سود از این تخصیص حاصل خواهد شد و با افزایش راندمان آبیاری از ۳۵ به ۵۰ و ۷۰ درصد مقدار سود کل از ۳۱۴۸۱۰ به ۵۴۴۳۹۰ و ۸۹۶۰۵۰ میلیون ریال به ترتیب افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج مطالعه پیشنهاد می‌شود محصولات پربازده مانند پیاز و خربزه جایگزین محصولاتی با بازدهی پایین‌تر مانند گندم و جو شود. و همچنین با توجه به بحران آبی منطقه سیستان، از نتایج مدلسازی بازی استاکلبرگ در این مطالعه می‌توان برای تخصیص بهینه آب در منطقه سیستان استفاده نمود.

کلمات کلیدی: استاکلبرگ، تخصیص بهینه آب، توسعه روستایی، سیستان

۱ -دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، و عضو هیات علمی گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.
۲ -استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۳ - استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۴ - دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
(*-نویسنده مسئول: پست الکترونیکی: Eb_moradi@eco.usb.ac.ir)

DOI: 10.22048/rdsj.2022.323673.1994

مقدمه

بخش کشاورزی مهم‌ترین بخش اقتصادی نواحی روستایی است که برای توسعه کمی و کیفی به توان‌های طبیعی محیط از جمله منابع آب وابسته است (احمدی، ۱۴۰۰). این بخش به عنوان بزرگترین مصرف کننده آب در جهان، بالاترین میزان ضرر اقتصادی- اجتماعی ناشی از کمبود آب را به صورت کاهش در عملکرد محصولات کشاورزی نشان می‌دهد (سعادتی[۱]، ۲۰۱۴). به علت بارندگی‌های نامتوازن، کمبود آب یکی از مهم‌ترین چالش‌های حوزه کشاورزی می‌باشد (سازمان ملل[۲]، ۲۰۱۷). که این منجر به ناپایداری اقتصادی و جمعیتی نواحی روستایی می‌شود (یاسوری، ۱۳۸۶). لذا منابع آب نقش مهمی جهت توسعه روستایی ایفا می‌کنند. به صورتی که عدم دسترسی به منابع آب باعث محدود شدن توسعه اجتماعی و باعث ایجاد نزاع و درگیری بین روستائیان می‌شود (جمینی[۳] و همکاران، ۲۰۱۷؛ لسانی و جانفری، ۲۰۱۵) و تأثیر مخربی بر اقتصاد روستایی به دنبال خواهد داشت و به همین علت در چند دهه اخیر توجه به مدیریت منابع آب به موضوعی مسئله محور و پراهمیت تبدیل شده است (پناهی، ۱۳۹۱؛ فائو[۴]، ۲۰۱۱). مدیریت منابع آب، یکی از شروط اساسی برای توسعه اجتماعی و اقتصادی می‌باشد (اسفندیاری درآبادی و همکاران، ۱۳۹۸).

حوزه آبریز فرامرزی هیرمند در منطقه سیستان یکی از مهمترین حوزه های آبریز ایران می‌باشد که نقش مهمی در حیات منطقه سیستان دارد و تنها منبع آب در بخش کشاورزی این منطقه می‌باشد. دشت سیستان به دلیل بارندگی بسیار کم (متوسط ۵۰ میلیمتردر سال) و تبخیر بسیار بالا (۴ الی ۵ هزار میلیمتر در سال) دارای آب و هوای خشک و فرا خشک می‌باشد (سردار شهرکی، ۱۳۹۵). شرایط آب و هوایی و وابستگی کامل به رودخانه هیرمند و اقدامات کشور افغانستان در مهار آب رودخانه هیرمند، باعث بروز بحران شدید آبی و تأثیرات منفی در اقتصاد، کشاوزی، اشتغال و محیط زیست و عدم توسعه مناطق روستایی این منطقه گردیده است. به طوریکه بیش از ۱۸۰ روستا در منطقه به علت بحران‌های آبی و پیامدهای ناشی از خشکسالی خالی از سکنه شده و ساکنین آنها اقدام به مهاجرت به دیگر مناطق نموده‌اند و همچنین بیش از نیمی از جمعیت روستائیان به علت بحران‌های آبی شغل خود را که اغلب کشاورزی و دامپروری و صیادی بوده‌اند از دست داده‌اند و تحت پوشش کمیته امداد می‌باشند (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). همچنین خشکسالی‌های اخیر در این منطقه باعث کاهش سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی شده است. در جدول ۱ میانگین سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی در طی سالهای ۱۳۶۸-۱۳۹۸ در مناطق سیستان آورده شده است (سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۹).

جدول یک مهم‌ترین محصولات کشاورزی این منطقه را بر حسب سطح زیر کشت این محصولات نشان می‌دهد. همانطور که این جدول نشان می‌دهد، گندم بیشترین سطح زیرکشت را به خود اختصاص داده است. پس از گندم، محصولات جو، هندوانه، خربزه، یونجه، قصیل و ذرت علوفه‌ای به ترتیب مهمترین محصولات کشاورزی بر اساس سطح زیرکشت به شمار می‌آیند.

بنابراین با توجه به نقش کلیدی مدیریت منابع آب در توسعه روستایی و سهم عظیم بخش کشاورزی از منابع آبی در این منطقه، هر فعالیتی که در جهت مدیریت صحیح منابع آبی انجام شود، در توسعه روستایی اثربخش خواهد بود که مدلسازی و تخصیص بهینه منابع آب از روش‌های مرسوم جهت مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی می‌باشد (پایمزد و همکاران، ۱۳۸۹).

۱- Sadati
۲ -United Nations
۳-Jamini
۴- Fao

جدول ۱. میانگین سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی در طی سالهای ۶۸-۹۸ در مناطق سیستان

محصول	زابل	زهک	هیرمند	نیمروز
گندم	۳۱۴۲۸	۱۰۳۳۴	۸۱۴۸	۸۶۶۸/۵
جو	۶۹۱۳	۱۷۸۹	۱۸۸۳	۴۱۸
عدس	۸۳/۱۸	۳۶	۱۴۲/۳	۴۲/۹
ماش	۱۶۶/۸	۱۶۸	۸۰	۲۷
گلرنگ	۲/۱۶	۲/۱	۱/۷	۳/۵
کلزا	۷/۸	۵/۹	۱۱/۲	۰/۱
پیاز	۱۶۳	۲۹	۱۲۲	۵/۱
گوجه	۲۱	۲/۲	۷/۱۳	۴/۰۸
بادمجان	۱۴/۴	۰/۹	۴	۶/۲۴
سیر	۷/۵	۲۰/۶	۲۱	۶
شغلم	۳۵	۲۳	۴۷/۵	۲۲/۴
خربزه	۲۶۶۸	۱۲۳۵	۲۷۹۵	۲۶۴
هندوانه	۵۱۲۷	۱۰۸۴/۵	۳۳۳۴	۳۳۳
خیار	۶۹	۲/۲	۳/۱	۱
یونجه	۳۳۴۵	۵۲۹	۴۳۳	۱۹۲
شبدر	۳۸۰	۴/۴	۱۲/۷	۰/۲
ذرت علوفه‌ای	۱۹۱۳	۲۱۳	۷۳۵/۴	۱۵۰/۸
قصیل	۱۹۹۴	۲۴۱	۷۷۵	۶۵/۴
انگور	۸۷۶	۴۵۵	۲۴۰	۹۲
زیتون	۳/۷	۲۲/۳	۵	۸

از آنجائیکه در تخصیص منابع آب ذینفعان مختلفی سهیم هستند و تخصیص آب به هر یک از آن‌ها در منافع دیگری تأثیر دارد، لذا تئوری بازی‌ها می‌تواند ابزار مناسبی در مدلسازی تخصیص آب باشد. تئوری بازی‌ها با هدف توسعه راه‌کارهای مناسب، چهارچوبی برای مطالعه رفتار استراتژیک بنگاه‌های انحصاری در مسائل منابع آب می‌باشد (نیک سخن[۱] و همکاران، ۲۰۰۹؛ امبک و الرز[۲]، ۲۰۰۷). نخستین کاربرد تئوری ها بازی در منابع آب توسط راگرز[۳](۱۹۶۹) در تخصیص آب رودخانه‌های گنگ و براهماپوترا، بین پاکستان و هند مدلسازی شد.

از جمله مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود: غفاری مقدم و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تئوری بازی‌های همکارانه یک مدل تخصیص مشارکتی آب را جهت تخصیص کارا و منصفانه آب برای مخازن آب چاه نیمه بین مصارف شرب و کشاورزی و مخازن طراحی کردند. نتایج حاصل نشان می‌دهد با اجرای مدل پیشنهادی تخصیص کارایی از منابع آب بین مصارف مختلف خواهیم داشت به طوریکه سود کل سیستم حداکثر خواهد شد.

سردار شهرکی ۱۳۹۵ در مطالعه خود از بازی‌های ورشکستگی وزین شده جهت تخصیص بهینه منابع آب حوزه هیرمند بین مصرف کنندگان مختلف شرب، کشاورزی و محیط زیست در منطقه سیستان استفاده نمودند. نتایج مطالعه نشان داد بیشترین تقاضا مربوط به بخش کشاورزی است و سناریوی اعمال حقابه ایران از سمت افغانستان بیشترین اهمیت را دارد و نتایج بازی ورشکستگی نشان داد بیشترین تخصیص آب در

۱ -Niksokhan
۲ -Ambec and Ehlers
۳ -Rogers

بازی ورشکستگی وزین شده و بازی نسبی تعدیل وزنی و همچنین بازی وشکستگی مقید به ضرر یکسان به بخش کشاورزی می‌باشد و در بازی ورشکستگی مقید به سود یکسان بیشترین آب به بخش شرب و محیط زیست اختصاص داده شده است.

قوامی و راثی (۱۳۹۷) در مطالعه خود نشان دادند که روش‌های غیرهمکارانه به دلیل در نظر گرفتن تضاد مطلوبیت‌های تصمیم‌گیرندگان، تمایل شدید به افزایش سود شخصی، عدم نیاز به وزن‌دهی کمی به معیارها و تصمیم‌گیرندگان، استفاده از داده‌های کیفی و نسبی و کاهش حجم نسبی محاسبات بهتر از روش‌های همکارانه می‌باشد.

جلیلی و خوچیانی (۱۳۹۹) در مطالعه خود به تخصیص بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی بین استفاده کنندگان مختلف حوزه آبریز زاینده رود با استفاده از نظریه بازی با رویکرد ورشکستگی پرداختند نتایج مطالعه حاکی از کارا بودن تئوری ورشکستگی جهت تخصیص منابع آب می‌باشد. عبدلی و شجاعی (۱۳۹۹) از یک بازی همکارانه و روش برآورد ارزش شاپلی جهت تخصیص بهینه منابع آب میان استان‌های برداشت‌کننده آب از حوزه آبریز رودخانه اترک استفاده نمودند نتایج مطالعه نشان داد استفاده از نظریه بازی همکارانه و توسعه آن در تخصیص منابع آب، موجب بهبود شرایط خواهد شد.

لیو[1] و همکاران (۲۰۲۰) برای تخصیص انتزاعی و واقعی آب و ارزیابی ریسک تخصیص آب در حوضه آبریز استان گانژو چین از مدل‌سازی منطق فازی و تئوری بازی‌ها استفاده نمودند. نتایج نشان داد که این تخصیص در سال‌های خشک کمترین ریسک را بر تخصیص منابع آب زیرزمینی و سطحی تحمیل می‌نماید.

سدقمیز[2] و همکاران (۲۰۱۸) از بازی رهبر- پیرو و روش حل چانه زنی نش- هرسنی برای حل اختلاف میان استفاده کنندگان آب در بخش کشاورزی و تخصیص بهینه آب و سطح زیرکشت در استان گلستان استفاده کردند.

ایگزیو[3] و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود الگوی آبیاری رضایت بخشی را برای هر محصول در هر منطقه تحت آبیاری بر مبنای مدل تعادلی کورنو- نش- استاکلبرگ در چین مشخص کردند. همچنین نتایج مطالعه حاکی از اثر بخشی بازار آب در تخصیص منابع آب می‌باشد به طوریکه ایجاد بازار آب باعث افزایش سود اقتصادی و کاهش نابرابری در تخصیص آب بین مناطق می‌شود.

یائو[4] و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از یک مدل تصمیم گیری چند مرحله‌ای دو سطحی با چندین تصمیم گیرنده به برنامه ریزی منابع آب در دریاچه سانچا در چین پرداختند. آن‌ها نیز با معرفی مفهوم حقوق آب و بازار آب، تضاد بین عرضه و تقاضا را کاهش دادند.

چن[5] و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه خود یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی تعاملی با چند هدف تعاملی رهبر-پیرو- تعاملی برای مدیریت مشترک مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی سیستم مدیریت منابع آب به نام مدل MEU-MBL توسعه دادند. جمع‌بندی مطالعات انجام شده در زمینه مدیریت منابع آب با استفاده از نظریه بازی‌ها نشان می‌دهد که مدیریت منابع آب چه در سطح منطقه‌ای چه در سطح کشوری و بین المللی با استفاده از تئوری بازی‌ها مورد استفاده بسیاری از محققان و پژوهشگران قرار گرفته است که نشان از کارایی بالای این ابزار در حل مناقشات و اختلافات بین بازیکنان در یک سیستم آبی و

۱ - Liu

۲-Sedghmis
۳- Xu
۴ -Yao
۵ -Chen

همچنین دستیابی به یک بازی پایدار می‌باشد.

هدف از این مطالعه تخصیص آب رودخانه هیرمند بین مناطق روستایی و محصولات منتخب با استفاده از تئوری بازی‌ها می‌باشد. برای این منظور از تلفیق مدل تعادلی استاکلبرگ که یکی از انواع تئوری بازی‌ها است با تئوری واکنش عرضه نرلاو جهت برنامه‌ریزی تولید محصولات کشاورزی تخصیص آب آبیاری و پیش‌بینی سطح زیر کشت استفاده شده است. مدل پیشنهادی برای اولین بار در منطقه سیستان به کار گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

تئوری بازی‌ها با هدف توسعه راه‌کارهای مناسب چهارچوبی برای مطالعه رفتار استراتژیک بنگاه‌های انحصاری در مسائل منابع آب می‌باشد (نیک سخن و همکاران، ۲۰۰۹؛ امبک و الرز، ۲۰۰۷) و ابزاری نیرومند در تحلیل مناقشات و تنش‌های موجود در سیستم آبی و حل اختلاف بین بازیکنان و دستیابی به یک بازی پایدار می‌باشد. تئوری استاکلبرگ یکی از روشهای جدید درتئوری بازی و از انواع بازی‌های غیرهمکارانه می‌باشد؛ که می‌تواند در مسائل تخصیص منابع آب مورد استفاده قرار بگیرد. از آنجاکه مسئله تخصیص منابع آب در سیستان دارای چندین تصمیم‌گیرنده در سطوح متفاوت و اهداف متضاد می‌باشد لذا تئوری استاکلبرگ می‌تواند روش مناسبی برای حل اختلاف بین ذینفعان این حوزه باشد.

بر مبنای مدل استاکلبرگ، دو نهاد تصمیم گیری شامل رهبر و پیرو در نظر گرفته شده است. رهبران همان مدیران محلی می‌باشند که حق آبه اولیه را بین نواحی مختلف آبیاری تخصیص می‌دهند و با متغیر تصمیم X_i نشان داده می‌شود. پیروان کشاورزان هستند که آب تخصیص داده شده به هر منطقه را بین محصولات کشاورزی تقسیم می‌کنند و با متغیر تصمیم Y_{ij} نشان داده می‌شود (ایگزیو و همکاران، ۲۰۱۹).

تابع هدف در سطح رهبر: در سطح رهبر تصمیم‌گیرندگان تعیین می‌کنند چه مقدار حق‌آبه به هر یک از مناطق آبیاری اختصاص یابد به‌طوریکه نابرابری در تخصیص آب به ازای هر واحد سود اقتصادی در هر منطقه حداقل شود. برای رسیدن به این هدف از رابطه ۱ استفاده می‌شود (ایگزیو و همکاران، ۲۰۱۹).

$$minE = \sum_{i=1}^{m}\sum_{i'=2}^{m}\left|\frac{X_iA_i}{R_i} - \frac{X_{i'}A_{i'}}{R_{i'}}\right| \qquad (۱)$$

در این رابطه E شاخص برابری و عدالت در تخصیص آب بین مناطق تحت آبیاری می‌باشد. مقدار آن بین ۰ و ۱ می‌باشد. هر چه E به صفر نزدیکتر باشد به این معنی است تخصیص آب میان مناطق عادلانه خواهد بود. و هر چه مقدار E به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان می‌دهد که یک ناحیه برای تأمین منافع اقتصادیش باید آب بیشتری به آن اختصاص داده شود. $\frac{X_iA_i}{R_i}$مقدار تخصیص آب به ازای هر واحد سود اقتصادی در هر منطقه آبیاری می‌باشد. X_i: میزان حق آبه اولیه هر منطقه i که توسط رهبر تعیین می‌شود، A_i: سطح زیرکشت در منطقه i و R_i تابع سود اقتصادی می‌باشد که توسط رابطه ۲ نشان داده می‌شود:

$$R_i = \sum_{j=1}^{n} b_{ij}.F_{ij}.A_{ij} - \gamma X_iA_i, \quad i = 1,2,\dots,m \qquad (۲)$$

در اینجا i: مناطق تحت آبیاری $i = 1,2,\dots,m$ (که در این مطالعه شامل ۱۶ منطقه هیرمند۱، هیرمند۲، هیرمند۳، هیرمند۴، هامون۱، هامون۲، هامون۳، هامون۴، نیمروز۱، نیمروز۲، نیمروز۳، زابل۱، زابل۲، زهک۱، زهک۲ و زهک ۳ می‌باشد)، j: نوع محصول در منطقه آبیاری $j = 1,2,\dots,n$ (شامل محصولات گندم، جو، عدس، پیاز، خربزه، هندوانه، یونجه و انگور در این مطالعه می‌باشد) A_{ij}: سطح زیر کشت محصول j در منطقه i که با استفاده از مدل عرضه نرلاو مقادیر آن برای هر یک از محصولات در هر یک از مناطق پیش‌بینی می‌شود، F_{ij}: عملکرد محصول j در منطقه i، b_{ij}: مقدار سود به ازای هر

واحد آب برای محصول j در منطقه i و γ: قیمت آب در منطقه سیستان می‌باشد.

محدودیت متناظر با تابع هدف سطح رهبرعبارت است از: کل آب تخصیص یافته به مناطق تحت آبیاری نمی‌تواند از مقدار کل آب موجود در بخش کشاورزی بیشتر باشد (ایگزیو و همکاران، ۲۰۱۹).

$$\sum_{i=1}^{m} X_i A_i \leq S \qquad (۳)$$

که S مقدار کل آب موجود در بخش کشاورزی در منطقه سیستان را نشان می‌دهد.

تابع هدف در سطح پیرو عبارت است از حداکثر کردن سود اقتصادی که با استفاده از رابطه زیر تعریف می‌شود (ایگزیو و همکاران، ۲۰۱۹):

$$max \sum_{i=1}^{m} R_i = \sum_{j=1}^{n} b_{ij} . F_{ij} . A_{ij} - \gamma X_i A_i, \quad i = 1,2, \dots, m \qquad (۴)$$

محدودیت‌های متناظر با تابع هدف تصمیم‌گیرندگان سطح پیرو عبارتند از:

$$\sum_{j=1}^{n} Y_{ij} A_{ij} \leq X_i \quad i = 1,2, \dots, m \qquad (۵)$$

$$F_{ij} = a.\left(\eta \sum_{j=1}^{n} Y_{ij}\right)^2 + b.\left(\eta \sum_{j=1}^{n} Y_{ij}\right) + c, \quad i = 1,2, \dots, m, \quad j = 1,2, \dots, n \qquad (۶)$$

رابطه ۶ تابع تولید آب را نشان می‌دهد که رابطه بین عملکرد محصول و آب جذب شده توسط محصول را نشان می‌دهد. در این مطالعه جهت تخمین تابع تولید آب از تابع تولید درجه دوم استفاده شده است. در این رابطه a, b و c پارامترهای تابع تولید آب در هر یک از مناطق و محصولات تحت بررسی در این مطالعه می‌باشد که مقادیر آنها در جدول ۳ آورده شده است و η: راندمان آبیاری که در این مطالعه ۳۵٪ در نظر گرفته شده است، Y_{ij}: میزان آب تخصیص داده شده توسط پیرو به هر محصول در منطقه i می‌باشند.

فرم عمومی مدل در مطالعه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$min = \sum_{i=1}^{m} \sum_{i=2}^{m} \left| \frac{X_i A_i}{R_i} - \frac{X_i A_i}{R_i} \right| \qquad (۷)$$

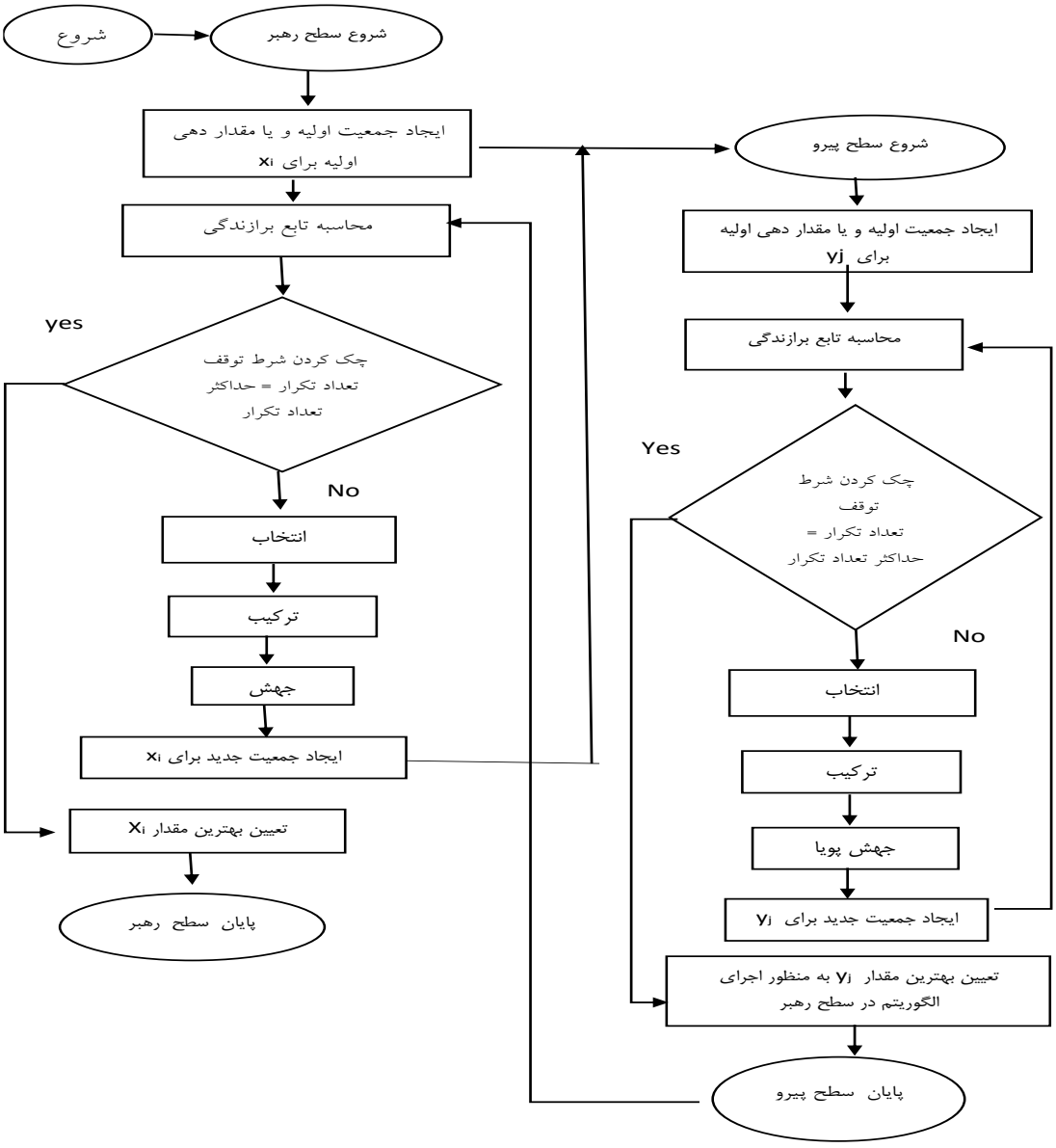
$$s.j. \begin{cases} R_i = \sum_{j=1}^{n} b_{ij} . F_{ij} . A_{ij} - \gamma X_i A_i \; i = 1,2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^{m} X_i A_i \leq S \\ \max \sum_{i=1}^{m} R_i \\ s.j. \begin{cases} \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} A_{ij} \leq X_i A_i \quad i = 1,2, \dots, m \\ F_{ij} = a.\left(\eta \sum_{j=1}^{n} Y_{ij}\right)^2 + b.\left(\eta \sum_{j=1}^{n} Y_{ij}\right) + c, \quad i = 1,2, \dots, m, \quad j = 1,2, \dots, n \end{cases} \end{cases}$$

مدل ۷ با ادغام روابط ۱ تا ۶ پیشنهاد می‌شود. در این مدل متغیرهای X_i و Y_{ij} متغیرهای تصمیم می‌باشند که با استفاده از حل مدل مقادیر آنها بدست خواهد آمد.

در مدل‌های رهبر- پیرو امکان یافتن جواب بهینه به دلیل اینکه یک مسئله سخت چند جمله‌ای و غیرقطعی می‌باشد مشکل است که برای حل این مشکل از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود. در این مطالعه نیز از یک الگوریتم فرا ابتکاری که ترکیبی از الگوریتم ژنتیک پویا و روش برنامه‌ریزی فازی می‌باشد، استفاده شده است (ایگزیو و همکاران، ۲۰۱۹). در مواردی که چندین تابع هدف (متناقض و غیر قابل مقایسه) وجود دارد، جواب بهینه برای یک تابع لزوما برای سایر توابع بهینه نیست و در اینجا برای اینکه به یک جواب بهینه که همه توابع هدف را بهینه سازد، برسیم، از روش برنامه ریزی آرمانی فازی استفاه می‌شود. برای این منظور ابتدا مدل پیشنهادی را به دو مدل (سطح رهبر و پیرو)، که هر مدل تابع هدف و محدودیتهای متناظر با خودش را دارد تبدیل کرده و ماکزیمم و مینیمم هر یک از توابع هدف به طور مجزا محاسبه می‌شود و سپس توابع عضویت با استفاده از رابطه ۱۰ و روش برنامه ریزی آرمانی فازی محاسبه می‌شود و توابع عضویت به عنوان تابع برازندگی وارد الگوریتم ژنتیک می‌شوند.

$$\mu(F_j)=\begin{cases}0 & if\ F_j \geq F_j^{max}\\ \frac{F_j^{max}-F_j}{F_j^{max}-F_j^{min}} & if\quad F_j^{min} \leq F_j \leq F_j^{max}\\ 1 & if\ F_j \leq F_j^{max}\end{cases} \quad (۸)$$

در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک پویا برای حل مسئله استفاده شده است. در این الگوریتم عملگر جهش برای سطح پیرو (پایین) به صورت پویا تغییر می‌کند. به این صورت که در تکرارهای بالاتر میزان حداکثر جهش متغیر تصمیم y کمتر خواهد شد تا y مقدار کمتری تغییر کند. این الگوریتم از همگرایی زودرسی که در الگوریتم ژنتیک ساده وجود دارد جلوگیری می‌کند و جواب‌های بهتری برای مدل حاصل خواهد شد. چارچوب این روش در شکل یک نشان داده شده است.



شکل ۱. چارچوب روش الگوریتم ژنتیک برای مدل استاکلبرگ (یائو و همکاران، ۲۰۱۹)

در این مطالعه برای پیش‌بینی سطح زیر کشت هر یک از محصولات (A_{ij}) از مدل عرضه واکنش نرلاو استفاده شده است. در الگوی نهایی تعادل جزئی نرلاو سطح زیرکشت واقعی تابعی از سطح زیرکشت با یک وقفه، قیمت محصول با یک وقفه و سایر عوامل غیر قیمتی است (مهرگان و همکاران، ۱۳۹۵). این معادله به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا سطح زیر کشت محصولات در آینده را پیش‌بینی کنند. جهت اطمینان از اینکه توزیع جملات اخلال نرمال است از فرم لگاریتمی استفاده می‌شود (نرلاو، ۲۰۱۴).

$$lnA_t = r_0 + r_1 lnA_{t-1} + r_2 lnP_{t-1} + \vartheta_t \quad (۹)$$

با کمک مدل نرلاو و داده های تاریخی مربوطه می‌توان سطح زیرکشت آتی را پیش‌بینی کرد، که می‌تواند به طور مؤثر به کشاورزان برای برنامه ریزی تولید محصولات کشاورزی کمک کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹) .

اطلاعات مربوط به میزان آورد رودخانه هیرمند و حجم آب تخصیصی به بخش کشاورزی، سطح زیر کشت محصولات، هزینه تولید و قیمت محصولات در سال۱۳۹۸-۱۳۹۹ از سازمان جهاد کشاورزی و آب منطقه‌ای بدست آمده است. اطلاعات مربوط به متوسط هزینه تولید و قیمت محصولات منتخب در مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. محصولات در نظر گرفته شده شامل گندم، جو، عدس، پیاز، خربزه، هندوانه، یونجه و انگور می‌باشد که دارای بیشترین سطح زیرکشت در سال‌های اخیر در این منطقه می‌باشند و کشاورزان تمایل بسیار زیادی برای کشت این محصولات دارند. مناطق مورد مطالعه کلیه روستاهای سطح منطقه سیستان را در بر می‌گیرد. در طرح انتقال آب با لوله دشت سیستان که یکی از طرحهای مدیریت آب در منطقه سیستان می‌باشد کلیه اراضی در منطقه سیستان را به ۱۶ ناحیه تحت آبیاری تقسیم کرده‌اند که در مطالعه حاضر این ۱۶ منطقه به عنوان بازیکنان مسئله در نظر گرفته شده است (جهاد کشاورزی سیستان، ۱۳۹۹). برای اجرای الگوریتم از زبان برنامه نویسی پایتون استفاده شده است که در محیط Visual studio code کدنویسی شده است.

جدول ۲. متوسط هزینه تولید و قیمت محصولات کشاوری منتخب در سیستان (ریال)

	گندم	جو	عدس	پیاز	خربزه	هندوانه	یونجه	انگور
متوسط هزینه تولید	۲۸۱۰۰	۱۵۴۰۳	۹۸۰۴	۲۷۳۰۸	۱۳۴۸۰	۱۸۶۸۷	۱۷۵۳۴	۳۳۷۰۰
متوسط قیمت	۱۷۷۲۸	۱۸۷۷۱	۵۰۰۰۰	۱۱۲۹۶	۱۲۳۰۱	۷۲۰۰۰	۱۹۱۶۰	۳۳۵۳۹

بحث و نتایج

برای محاسبه پارامترهای a، b و c در رابطه ۶ از نتایج مطالعه غفاری مقدم (۱۴۰۰) استفاده شده است که برای تخمین این پارامترها از تابع تولید آب از نوع درجه دوم استفاده نموده‌اند و نتایج آن در جدول ۳ گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد ضریب b در توابع تولید تخمین زده شده برای کلیه محصولات مقادیر مثبتی را شامل می‌شود اما ضریب a مربوط به متغیر Y_{ij} (توان دوم این متغیر) منفی می‌باشد که منفی بودن این ضریب حاکی از آن است که با اعمال تنش‌های آبی مقدار عملکرد محصولات مورد نظر کاهش خواهد یافت.

جدول۴ نتایج مربوط به ضرایب مدل نرولا را نشان می‌دهد که با استفاده از این ضرایب مقادیر سطح زیرکشت برای هر یک از محصولات در هر یک از مناطق پیش‌بینی شد و نتایج آن در نمودار ۱ آورده شد.

با استفاده از مدل عرضه نرلاو الگوی کشت برای هر یک از نواحی تحت بررسی در منطقه سیستان پیش‌بینی شد که جمع کل سطح زیر کشت در منطقه سیستان ۷۹۷۵۶ هکتار پیش‌بینی شد. با توجه به نتایج بدست آمده بیشترین سطح زیرکشت متعلق به محصول هندوانه و کم‌ترین سطح زیرکشت متعلق به

محصول عدس می‌باشد. بیشترین سطح زیرکشت متعلق به منطقه هیرمند سه و کم‌ترین سطح زیرکشت متعلق به منطقه زابل دو می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد روابط واکنش عرضه اکثر محصولات زراعی توسط مدل نرلاو به خوبی منعکس شده است اما برای محصول گندم منطبق با شرایط واقعی نیست که می‌تواند به دلیل قیمت پایین این محصول و بازدهی کم این محصول باشد و اینکه در سال‌های اخیر سطح زیرکشت این محصول رو به کاهش بوده است و گندم به دلیل قابلیت جایگزینی بیشتر، همیشه نقش آسیب‌پذیرتری در فرآیند تصمیم‌گیری ایفا می‌کند.

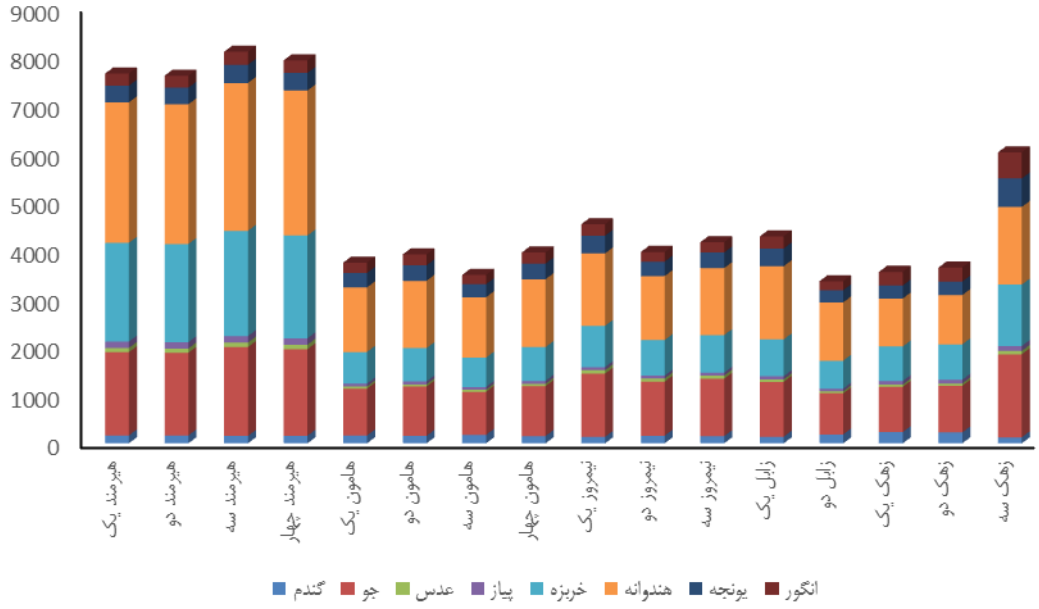
جدول۳. ضرایب تابع تولید آب برای محصولات انتخابی در مناطق سیستان

مناطق تحت آبیاری	محصول	a	b	c	مناطق تحت آبیاری	محصول	a	b	c
	گندم	-۰/۰۰۰۰۴۴	۰/۵۱	-۱۶۳		گندم	-۰/۰۰۰۰۸۳	۰/۸۷	-۲۷۰
	جو	-۰/۰۰۰۰۵۱	۰/۵۳	-۱۳۲		جو	-۰/۰۰۰۰۵۱	۰/۵۳	-۱۳۲
هیرمند یک	عدس	-۰/۰۰۰۰۰۴۸	۰/۴	-۷۵	هامون یک	عدس	-۰/۰۰۰۰۰۴۸	۰/۴	-۷۵
هیرمند دو	پیاز	-۰/۰۰۰۳۲	۵/۲۵	-۲۲۷۴	هامون دو	پیاز	-۰/۰۰۰۳۲	۵/۲۵	-۲۲۷۴
هیرمند سه	خربزه	-۰/۰۰۰۴۶	۵/۱۱	-۲۴۰	هامون سه	خربزه	-۰/۰۰۰۸۲	۸/۴۱	-۱۸۳۴
هیرمند چهار	هندوانه	-۰/۰۰۰۱۶	۳/۸۲	-۱۲۶۰	هامون چهار	هندوانه	-۰/۰۰۰۴۱	۵	-۱۶۶۴/۶
	یونجه	-۰/۰۰۰۰۴۸	۲/۱۴	-۱۲۶۶		یونجه	-۰/۰۰۰۰۴۸	۲/۱۴	-۱۲۶۶
	انگور	-۰/۰۰۰۰۴۷	۱/۲	-۶۸۱		انگور	-۰/۰۰۰۰۴۷	۱/۲	-۶۸۱
	گندم	-۰/۰۰۰۰۸۳	۰/۸۷	-۲۷۰		گندم	-۰/۰۰۰۰۸۳	۰/۸۷	-۲۷۰
	جو	-۰/۰۰۰۰۵۱	۰/۵۳	-۱۳۲		جو	-۰/۰۰۰۰۵۱	۰/۵۳	-۱۳۲
	عدس	-۰/۰۰۰۰۰۴۸	۰/۴	-۷۵		عدس	-۰/۰۰۰۰۰۴۸	۰/۴	-۷۵
نیمروز یک	پیاز	-۰/۰۰۰۳۲	۵/۲۵	-۲۲۷۴	زهک یک	پیاز	-۰/۰۰۰۳۲	۵/۲۵	-۲۲۷۴
نیمروز دو	خربزه	-۰/۰۰۰۸۲	۸/۴۱	-۱۸۳۴	زهک دو	خربزه	-۰/۰۰۰۸۲	۸/۴۱	-۱۸۳۴
نیمروز سه	هندوانه	-۰/۰۰۰۴۱	۵	-۱۶۶۴/۶	زهک سه	هندوانه	-۰/۰۰۰۱۶	۳/۸۱	-۱۲۶۶
	یونجه	-۰/۰۰۰۰۴۸	۲/۱۴	-۱۲۶۶		یونجه	-۰/۰۰۰۰۴۸	۲/۱۴	-۱۲۶۶
	انگور	-۰/۰۰۰۰۴۷	۱/۲	-۶۸۱		انگور	-۰/۰۰۰۰۴۷	۱/۲	-۶۸۱
	گندم	-۰/۰۰۰۰۸۳	۰/۸۷	-۲۷۰		خربزه	-۰/۰۰۰۸۲	۸/۴۱	-۱۸۳۴
زابل یک	جو	-۰/۰۰۰۰۵۱	۰/۵۳	-۱۳۲	زابل یک	هندوانه	-۰/۰۰۰۴۱	۵	-۱۶۶۴/۶
زابل دو	عدس	-۰/۰۰۰۰۰۴۸	۰/۴	-۷۵	زابل دو	یونجه	-۰/۰۰۰۰۴۸	۲/۱۴	-۱۲۶۶
	پیاز	-۰/۰۰۰۳۲	۵/۲۵	-۲۲۷۴		انگور	-۰/۰۰۰۰۴۷	۱/۲	-۶۸۱

ماخذ: غفاری مقدم، ۱۴۰۰

جدول ٤. پارامترهای مدل نرلاو و اطلاعات مربوط به رگرسیون

محصول	r_0	r_1	r_2	R^2	P
گندم	۵/۲۵	-۰/۶۳	۰/۵۵	۰/۴۳	۰/۰۰۰۸
جو	۲/۸۲	۰/۶۲	۰/۰۳۵	۰/۳۵	۰/۰۰۳۸
عدس	۷/۰۳	۰/۳۹	۰/۹۲	۰/۲۶	۰/۰۳
پیاز	۴/۸۸	۰/۳۳	-۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۰۶
خربزه	۱۳/۲۸	۰/۵۹	-۱/۰۸	۰/۲۲	۰/۰۵
هندوانه	۶/۵۸	۰/۴۹	-۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۰۴
یونجه	-۰/۲۱	۰/۸	۰/۱۸	۰/۶۸	۰/۰۰۰
انگور	۱/۳۵	۰/۶۷	۰/۳۶	۰/۶۴	۰/۰۰۰



نمودار ۱. سطح زیر کشت هر یک از محصولات در مناطق تحت بررسی در الگوی کشت پیشنهادی با استفاده از مدل نرلاو (هکتار)

علاوه بر این، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی سطح زیرکشت تا حد زیادی با قیمت بازار محصولات مرتبط است. یعنی اگر مدیران آب محلی بخواهند سطح کاشت محصول را تعدیل کنند، باید به تعدیل قیمت محصولات که دغدغه اصلی کشاورزان است، توجه بیشتری داشته باشند.

نتایج مدل استاکلبرگ

با توجه به خشکسالی‌های اخیر منطقه سیستان و اثرات منفی آن در توسعه روستاهای منطقه، مدل پیشنهادی برای شرایط خشکسالی مدلسازی شده است. در این شرایط میزان آبی که از رودخانه هیرمند به بخش کشاورزی تخصیص می‌یابد ۲۶۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. راندمان آبیاری در منطقه با توجه به اینکه شیوه آبیاری سنتی و غرقابی می‌باشد ۳۵ درصد در نظر گرفته شده است (سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۹). نتایج تخصیص آب بین مناطق تحت بررسی و محصولات مختلف با توجه به سطح زیرکشت آن‌ها در جدول۵ آورده شده است.

نتایج نشان می‌دهد بیشترین آب به منطقه هیرمند دو و چهار و کم‌ترین آب به زابل دو تخصیص یافته است و در عین حال عدالت و برابری در تخصیص آب میان مناطق برقرار خواهد بود. که دلیل آن بیشتر بودن سطح زیرکشت محصولات کشاورزی و بازدهی بالای این محصولات در این مناطق می‌باشد. در هیرمند دو از کل آب تخصیص داده شده، معادل ۱۱۹۱۶ هزار متر مکعب آب به محصول خربزه، ۲۸۰۱ هزار متر مکعب به هندوانه و ۲۱۰۰ هزار مترمکعب به پیاز و در بین محصولات کم‌ترین آب به عدس معادل ۴۹ هزارمترمکعب تخصیص داده شده است. در هیرمند چهار نیز از مقدار آب تخصیص داده شده به این منطقه ۱۱۶۱۴ هزارمترمکعب به خربزه، ۲۸۷۶ هزارمترمکعب به هندوانه و ۱۸۴۹ هزارمترمکعب به پیاز و کم‌ترین مقدار آب که معادل ۹۱ هزارمترمکعب بود به عدس تخصیص داده شد. در زابل دو نیز بیشترین آب به خربزه (۷۳۹۷ هزارمترمکعب)، هندوانه (۱۹۶۲

هزارمترمکعب) و پیاز (۹۷۲ هزارمترمکعب) و کم‌ترین آب به عدس (۲۳ هزارمترمکعب) تخصیص داده شده است. بنابراین با توجه به اهداف مدلسازی بیشترین آب به محصول خربزه به دلیل بازدهی بالای اقتصادی و سطح زیرکشت بالای آن و کم‌ترین آب نیز به محصول عدس به دلیل سطح زیرکشت کم آن، تخصیص داده شده است. با توجه به نیاز آبی هر محصول، میزان نیاز آبی تأمین شده هر محصول در هر منطقه بدست آمد که نتایج آن در جدول ۶ گزارش شده است.

جدول ۵. میزان تخصیص آب بین مناطق و محصولات الگوی کشت (هزار متر مکعب)

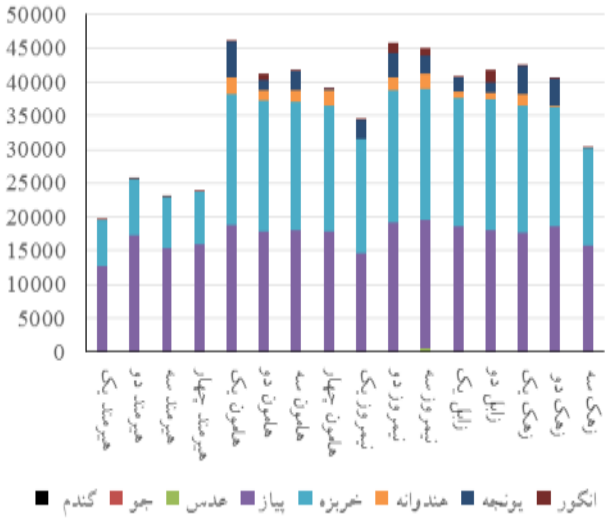
مناطق	مقدار آب تخصیص یافته به هر منطقه	مقدار آب تخصیص یافته به محصولات زراعی در هر یک از مناطق						
		گندم	جو	عدس	پیاز	خربزه	هندوانه	یونجه	انگور
هیرمند یک	۱۶۲۳۴	۱۵۳	۱۳۴۴	۴۹	۱۳۵۰	۹۵۲۲	۲۷۸۵	۵۹۳	۴۱۳
هیرمند دو	۱۹۳۴۰	۱۵۴	۱۲۶۸	۴۹	۲۱۰۰	۱۱۹۱۶	۲۸۰۱/۳	۵۸۸/۴	۴۱۰/۵
هیرمند سه	۱۸۸۰۰	۱۴۹/۶	۱۳۶۳/۶	۵۱/۸	۱۸۰۸	۱۱۳۴۲/۵	۲۹۳۴/۱	۶۴۶	۴۴۴
هیرمند چهار	۱۹۰۵۱	۱۶۳	۱۳۳۰	۹۱	۱۸۴۹	۱۱۶۱۴	۲۸۷۶/۳	۶۲۵	۴۸۹/۷
هامون یک	۱۷۲۸۰	۱۵۰/۳	۷۱۳	۲۵	۱۱۵۴/۵	۸۵۵۲	۳۴۱۷	۲۸۴۰	۳۵۹/۶
هامون دو	۱۵۷۲۵	۱۴۰/۶	۷۵۱/۴	۲۵/۷	۱۰۶۲	۸۶۹۴	۲۷۷۸/۷	۱۱۹۷/۵	۹۲۲
هامون سه	۱۳۶۷۵/۶	۱۶۱/۳	۶۵۶	۳۵/۷	۹۹۸	۷۲۵۵/۸	۲۵۳۸	۱۵۹۴/۶	۳۳۵
هامون چهار	۱۴۴۴۹/۷	۱۳۸/۸	۷۶۰/۶	۶۸/۷	۱۰۴۰	۸۰۰۹/۶	۳۳۷۶/۸	۵۹۰	۳۷۷
نیمروز یک	۱۴۰۸۳	۱۶۴/۴	۹۶۳	۵۶	۷۷۸	۸۰۲۴/۴	۱۵۱۷	۲۰۵۶	۴۱۲
نیمروز دو	۱۸۳۱۱	۱۴۵	۸۵۸	۳۶	۱۲۴۳/۵	۹۹۲۶	۲۹۶۱/۷	۲۰۱۰/۶	۱۱۲۳
نیمروز سه	۱۸۶۷۰	۱۵۵	۸۷۲/۵	۲۳۸/۷	۱۲۸۲/۵	۹۸۴۹	۳۴۶۰	۱۷۱۳/۷	۱۰۶۵/۶
زابل یک	۱۶۰۲۷/۴	۱۴۵	۸۳۵/۷	۳۹/۳	۱۲۲۶/۶	۹۰۰۶	۲۴۷۰/۶	۱۷۳۲/۵	۵۰۱/۵
زابل دو	۱۳۳۶۸/۳	۱۶۹/۳	۶۲۵/۸	۲۳	۹۷۲/۶	۷۳۹۷/۲	۱۹۶۲/۶	۹۸۶	۱۱۹۵
زهک یک	۱۵۶۰۳	۲۷۹/۲	۷۴۰/۶	۲۵/۸	۱۲۴۴/۸	۸۲۵۲/۷	۲۳۳۲/۷	۲۰۶۵/۷	۵۵۱
زهک دو	۱۳۶۰۶	۲۶۰/۷	۷۱۶/۳	۲۶	۱۴۳۹	۷۴۲۹	۱۰۷۲/۷	۲۰۸۶	۴۸۱/۵
زهک سه	۱۵۷۶۷	۱۶۶	۱۲۹۲/۴	۴۵/۶	۱۴۱۳	۹۳۶۲/۶	۱۵۵۶	۱۰۱۰	۸۹۷/۶

جدول ٦. نیاز آبی تأمین شده محصولات منتخب در الگوی کشت پیشنهادی (درصد)

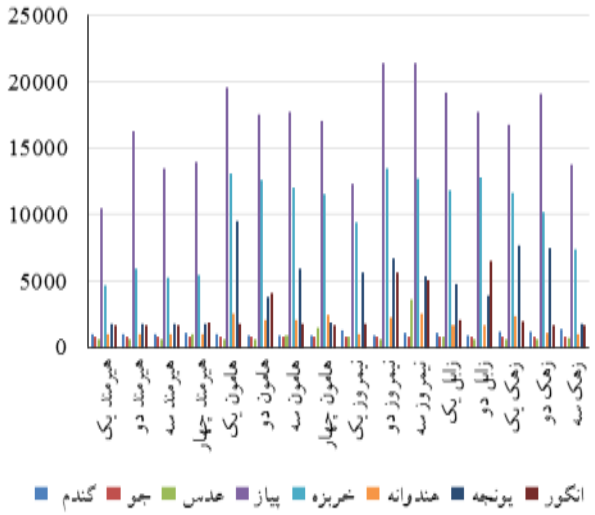
مناطق	گندم	جو	عدس	پیاز	خربزه	هندوانه	یونجه	انگور
هیرمند یک	۶/۱۴	۵/۴۸	۵/۶۷	۴۸/۸	۳۱/۳۸	۴/۵۸	۲/۶۷	۵/۲۸
هیرمند دو	۶/۱۴	۵/۲۰	۵/۶۷	۷۶/۱۲	۳۹/۵۱	۴/۶۳	۲/۶۷	۵/۲۸
هیرمند سه	۶/۴۰	۵/۲۰	۵/۶۷	۶۳	۳۵/۱۱	۴/۵۸	۲/۶۷	۵/۲۸
هیرمند چهار	۶/۷۹	۵/۲۰	۱۰/۱۳	۶۵/۳۵	۳۶/۸۲	۴/۵۸	۲/۶۷	۵/۹۹
هامون یک	۶/۰۷	۵/۱۶	۵/۶۷	۹۱/۶۶	۸۷/۸۳	۱۲/۲۳	۱۴/۸۲	۵/۴
هامون دو	۵/۹۹	۵/۱۶	۵/۶۷	۸۲	۸۴/۹۵	۹/۵۴	۵/۸۴	۱۳/۱
هامون سه	۵/۹۹	۵/۱۶	۸/۵۷	۸۲/۸۶	۸۰/۶۶	۹/۷	۹/۲۶	۵/۵۱
هامون چهار	۵/۹۹	۵/۱۶	۱۵	۷۹/۷۶	۷۷/۳۶	۱۱/۴۸	۲/۸۳	۵/۲۸
نیمروز یک	۷/۹۵	۵/۱۶	۷/۹۸	۵۷/۵۵	۶۳/۲۳	۴/۸۴	۸/۷۷	۵/۵۴
نیمروز دو	۵/۹۹	۵/۳۸	۵/۶۷	۱۰۰	۹۰/۷۸	۱۰/۷	۱۰/۴۹	۱۷/۸۸
نیمروز سه	۶/۷۸	۵/۱۶	۳۶/۲۴	۱۰۰	۸۵/۲۴	۱۱/۹۴	۸/۳	۱۵/۹۳
زابل یک	۶/۹۰	۵/۱۶	۸/۱۰	۸۹/۴۹	۷۹/۵۲	۷/۸	۷/۳۶	۶/۳۵
زابل دو	۵/۹۹	۵/۱۶	۵/۶۷	۸۲/۷۷	۸۶	۷/۷۹	۶/۱	۲۰/۶۷
زهک یک	۷/۸۴	۵/۵۴	۵/۶۷	۷۸/۴۴	۷۷/۹۷	۱۱/۲۲	۱۱/۹۷	۶/۲۴
زهک دو	۷/۵۵	۵/۲۰	۵/۶۷	۸۹/۲۲	۶۸/۱۸	۵	۱۱/۶۲	۵/۲۸
زهک سه	۸/۶۴	۵/۲۷	۶/۸۴	۶۴/۴۶	۴۹/۶۵	۴/۶۴	۲/۶۷	۵/۲۸

نتایج جدول فوق نشان می‌دهد با توجه به اینکه مدل در شرایط خشکسالی مدلسازی شده است و مقدار آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی بسیار کم می‌باشد از این‌رو در بیشتر مناطق، نیاز آبی محصولات به طور کامل تأمین نشده است فقط برای دو منطقه نیمروز دو و نیمروز سه، نیاز آبی پیاز به طول کامل تأمین شده است و برای مناطق هامون یک، دو، سه، چهار و زابل یک، دو و زهک دو بیش از ۸۰ درصد نیاز آبی این محصول تأمین شده است. دلیل آن می‌تواند بازدهی بالای این محصول نسبت به سایر محصولات باشد که باعث افزایش سود کل سیستم خواهد شد. برای سایر محصولات نیز کمبود آب خواهیم داشت. در بین محصولات، پیاز و خربزه بیشترین درصد رفع نیاز آبی را به خود اختصاص داده‌اند که این به دلیل بازدهی بالای این محصولات در میان سایر محصولات می‌باشد. به طور متوسط بیشترین کمبود آب نیز برای گندم و جو بوده است که دلیل آن می‌تواند بازدهی پایین این محصولات در مناطق تحت بررسی باشد

نمودار ۲ میزان عملکرد هر یک از محصولات در هر یک از مناطق با توجه به میزان آب تخصیص داده شده به آن‌ها را نشان می‌دهد از آنجائی‌که بیشترین آب به محصولات پیاز و خربزه تخصیص داده شده است بنابراین طبق رابطه ۸ بیشترین عملکرد مربوط به پیاز و خربزه و کم‌ترین عملکرد مربوط به گندم می‌باشد. نمودار ۳ میزان آب تخصیص داده شده به ازای یک هکتار برای هر یک از محصولات در مناطق تحت بررسی را نشان می‌دهد با توجه به نتایج بیشترین میزان آب تخصیص داده شده به ازای یک هکتار متعلق به محصول پیاز، خربزه و یونجه به علت بازدهی بالای این محصولات می‌باشد و کم‌ترین میزان آب تخصیصی در واحد هکتار نیز متعلق به محصول گندم و جو می‌باشد.



نمودار ۲. میزان عملکرد هر یک از محصولات در مناطق تحت بررسی (کیلوگرم)



نمودار ۳. میزان آب تخصیص داده شده به ازای یک هکتار (هزار متر مکعب)

جدول ۷ میزان سود اقتصادی و مقدار شاخص $\frac{X_i*A_i}{R_i}$ را برای راندمان‌های مختلف آبیاری در هر منطقه نشان می‌دهد. راندمان آبیاری در منطقه سیستان میتواند بر اساس سیستم آبیاری بارانی تا ۵۰ درصد و سیستم آبیاری تحت فشار (قطره‌ای) تا ۷۰ درصد افزایش یابد (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). لازم به ذکر است که دو طرح افزایش راندمان آبیاری (۵۰ و ۷۰ درصد) جزء طرح‌های توسعه منابع آب تصویب شده از سوی وزارت نیرو در منطقه سیستان است که این طرح‌ها هم اکنون در مرحله عملیاتی قرار دارد (سردار شهرکی، ۱۳۹۵).

همانطور که نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد در راندمان ۳۵٪ بیشترین سود متعلق به زهک سه، هیرمند چهار و سه می‌باشد که این متاثر از عملکرد بالا و بازدهی بالا محصولات در مناطق هیرمند و سطح زیر کشت بالا محصولات در منطقه زهک می‌باشد و کم‌ترین سود متعلق به زابل دو می‌باشد. از آنجائی‌که کم‌ترین آب به این منطقه تخصیص داده شده است باعث شده پایینترین عملکرد را برای محصولات در این منطقه داشته باشیم و به دنبال آن میزان سود اقتصادی در این منطقه کاهش یافته است. چناچه راندمان آبیاری با اجرای تکنولوژی آبیاری پیشرفته به ۵۰٪ و ۷۰٪ افزایش یابد در این صورت با افزایش راندمان آبیاری مقدار آب در دسترس گیاه افزایش می‌یابد و باعث افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش سود اقتصادی خواهد شد. بنابراین با توجه به نتایج در راندمان ۵۰٪ بیشترین سود متعلق به مناطق هیرمند و کم‌ترین سود متعلق به هامون سه و در راندمان ۷۰٪ بیشترین سود متعلق به مناطق هیرمند و کم‌ترین سود متعلق به زابل دو می‌باشد. لذا استفاده از تکنولوژی‌های نوین آبیاری منجر به ذخیره آب و افزایش عملکرد و افزایش سود اقتصادی خواهد شد. با افزایش راندمان آبیاری میزان شاخص تخصیص آب به ازای هر واحد سود اقتصادی کاهش می‌یابد که نشان می‌دهد آب کمتری برای بدست آوردن یک واحد سود اقتصادی نیاز است. با افزایش راندمان آبیاری میزان سود اقتصادی در هر منطقه افزایش یافت که افزایش سود اقتصادی منجر به کاهش مقدار این شاخص خواهد شد. بنابراین با افزایش میزان راندمان آبیاری میزان شاخص $\frac{X_i*A_i}{R_i}$ کاهش و مقدار سود افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش راندمان آبیاری نه تنها باعث افزایش سود اقتصادی می‌شود بلکه باعث صرفه‌جویی در مصرف آب نیز خواهد شد.

جدول ۷. تخصیص آب به ازای هر واحد سود اقتصادی و سود اقتصادی در هر یک از مناطق تحت بررسی

مناطق	راندمان ۳۵٪		راندمان ۵۰٪		راندمان ۷۰٪	
	تخصیص آب به ازای هر واحد سود اقتصادی $\frac{X_i \cdot A_i}{R_i}$	سود اقتصادی (ده میلیون ریال)	تخصیص آب به ازای هر واحد سود اقتصادی $\frac{X_i \cdot A_i}{R_i}$	سود اقتصادی (ده میلیون ریال)	تخصیص آب به ازای هر واحد سود اقتصادی $\frac{X_i \cdot A_i}{R_i}$	سود اقتصادی (ده میلیون ریال)
هیرمند یک	۰/۰۰۰۸	۱۹۷۸	۰/۰۰۰۴	۳۷۸۰/۵	۰/۰۰۰۲۴	۷۸۳۹
هیرمند دو	۰/۰۰۰۸	۲۴۱۲/۵	۰/۰۰۰۴	۴۱۰۷/۲	۰/۰۰۰۲۴	۷۹۲۵/۲
هیرمند سه	۰/۰۰۰۸	۲۳۳۴	۰/۰۰۰۴	۳۹۸۳/۵	۰/۰۰۰۲۴	۸۲۲۲/۱
هیرمند چهار	۰/۰۰۰۸	۲۳۷۰/۳۴	۰/۰۰۰۴	۴۷۹۹/۸	۰/۰۰۰۲	۶۸۹۰/۳
هامون یک	۰/۰۰۰۹	۱۷۳۶	۰/۰۰۰۵۵	۲۶۴۴	۰/۰۰۰۴	۴۲۳۹/۵۳
هامون دو	۰/۰۰۰۹	۱۷۳۲/۳۲	۰/۰۰۰۵۵	۲۸۳۲/۶	۰/۰۰۰۳	۴۲۲۱
هامون سه	۰/۰۰۰۹	۱۵۲۱/۳	۰/۰۰۰۶	۲۶۰۱	۰/۰۰۰۴	۴۱۸۵
هامون چهار	۰/۰۰۰۸۵	۱۶۹۹	۰/۰۰۰۶	۲۸۸۰/۱	۰/۰۰۰۴	۴۶۹۷/۸
نیمروز یک	۰/۰۰۰۷۵	۱۸۷۷	۰/۰۰۰۵۱	۳۴۷۰/۳	۰/۰۰۰۳	۵۰۵۳/۸
نیمروز دو	۰/۰۰۰۹۳	۱۹۶۳/۷	۰/۰۰۰۵۲	۳۰۶۷/۸	۰/۰۰۰۴	۵۰۴۷
نیمروز سه	۰/۰۰۰۹۱	۲۰۴۸/۲	۰/۰۰۰۵	۳۱۱۲	۰/۰۰۰۳	۴۶۸۸/۶
زابل یک	۰/۰۰۰۸۵	۱۸۷۸/۵	۰/۰۰۰۶	۳۲۱۵/۸	۰/۰۰۰۳۱	۴۷۹۰
زابل دو	۰/۰۰۰۹	۱۴۷۱	۰/۰۰۰۷	۲۶۵۷/۸	۰/۰۰۰۴۳	۴۰۸۶/۷
زهک یک	۰/۰۰۰۷۸	۱۹۸۴/۵	۰/۰۰۰۵	۳۱۴۰/۴	۰/۰۰۰۳۴	۵۱۱۹/۷۲
زهک دو	۰/۰۰۰۷۱	۱۹۰۳/۷	۰/۰۰۰۵۵	۳۴۰۳/۴	۰/۰۰۰۳۳	۵۱۵۷/۵
زهک سه	۰/۰۰۰۶۱	۲۵۷۰/۸	۰/۰۰۰۳۱	۴۷۴۳/۰۵	۰/۰۰۰۲	۷۴۴۲/۱
جمع کل		۳۱۴۸۱		۵۴۴۳۹/۰۲		۸۹۶۰۵/۲

جدول ۸ مقدار کل شاخص E و سود کل مناطق را در راندمان‌های آبیاری مختلف نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول مقدار شاخص E برای راندمان ۳۵٪ معادل ۰/۰۱۳ می‌باشد که مقداری کوچک و نزدیک صفر است و نشان می‌دهد تخصیص آب بین مناطق عادلانه است و با افزایش راندمان آبیاری مقدار شاخص E به ۰/۰۱۲۸ و ۰/۰۱۰۲ کاهش خواهد یافت. نتایج مقدار سود نیز نشان می‌دهد با افزایش راندمان آبیاری مقدار سود کل به ۵۴۴۳۹ و ۸۹۶۰۵ (ده میلیون ریال)

افزایش خواهد یافت که این به دلیل افزایش عملکـرد محصـول در نتیجه استفاده از تکنولوژی آبیاری بالاتر می‌باشد که منجر به افزایش سود شده است.

جدول ۸. مقادیر شاخص E و سود اقتصادی کل در تخصیص عمومی آب در راندمان‌های مختلف آبیاری

راندمان آبیاری	شاخص E	سود اقتصادی کل (ده میلیون ریال)
٪۳۵	۰/۰۱۳	۳۱۴۸۱
٪۵۰	۰/۰۱۲۸	۵۴۴۳۹
٪۷۰	۰/۰۱۰۲	۸۹۶۰۵/۲

نتیجه گیری

در بحث تخصیص آب بین محصـولات منتخـب در الگـوی کشت توسط بهره‌برداران (پیرو) نتـایج نشـان داد کـه محصـول گندم و جو نسبت به دیگر محصولات آب کمتری بـه آن‌هـا بـه ازای یک هکتار تخصیص داده شده است. به طوریکه نیـاز آبـی این محصولات به طور کامل در هیچ یک از مناطق تأمین نشده است. این نشان می‌دهد به علت بازدهی کم ایـن محصـولات و میزان عملکرد پایین آن‌ها، مدل پیشنهادی آب کمی را بـه ایـن محصولات تخصیص می‌دهد و همچنین بیشـترین آب بـه ازای یک هکتار در شرایط خشکسالی به پیاز، خربـزه و بعـد از آن بـه یونجه به علت عملکرد بالا و بـازدهی بـالای ایـن محصـولات، تخصـیص داده شـده اسـت. در رانـدمان‌هـای مختلـف آبیـاری، عملکرد محصولات و میزان سود اقتصادی بـا افـزایش رانـدمان آبیاری افزایش و شاخص E کاهش یافته است. یافتـه‌هـای ایـن مطالعه با نتایج مطالعه سعیدیان و همکاران (۱۳۹۴)، سـرگزی و قویدل (۱۳۹۶)، جعفری و همکاران (۱۳۹۷)، ایگزیو و همکـاران (۲۰۱۹)، ژانگ[۱] و همکاران (۲۰۱۹) هم‌سو می‌باشـد. در مطالعـه سرگزی و قویدل (۱۳۹۶) محصولاتی مانند سبزیجات و خیار بـه دلیل نیاز آبی و بازدهی پـایین از الگـوی کشـت حـذف شـدند و محصولاتی مانند برنج و باقلا که بازدهی بالا داشتند در الگـوی کشت باقی ماندند. در این مطالعه نیز به محصولاتی بـا بـازدهی پایین آب بسیارکمی تخصیص داده شده اسـت و بهتـر اسـت از الگوی کشت حـذف شـوند و بیشـترین آب بـه محصـولاتی بـا بـازدهی بـالا تخصـیص داده شـده اسـت. همچنـین جعفـری و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود به این نتیجـه رسـیدند کـه در شرایط جریان کم آب کمبود آب برای همه محصولات منتخـب وجود خواهد داشت و این مطالعه هـم نشـان داد کـه در شـرایط خشکسالی کمبود آب برای اکثـر محصـولات در بیشـتر منـاطق وجود خواهد داشت. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز به این نتیجـه رسیدند که میزان تغییرات آب آبیـاری بـرای محصـول ذرت بـه دلیل عملکرد و سود بالاتر بیشتر اسـت و همچنـین پـیش‌بینـی سطح زیرکشت محصول گندم با واقعیت منطبق نبوده اسـت. در این مطالعه هم محصولاتی که دارای سود بیشتری بودند میـزان آب تخصیص یافته به آن‌ها بیشتر بوده و همچنین در پیش‌بینـی سطح زیرکشت، سطح زیرکشت محصول گندم منطبق با شرایط واقعی نبوده است. ایگزیو و همکاران (۲۰۱۹) نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند با اینکه بیشترین آب به منطقه سانچا تعلق گرفته است اما عدالت در تخصیص آب برقرار می‌باشد که در این مطالعه نیز با توجه به اینکه بیشترین آب به هیرمنـد دو و چهـار تخصیص یافته است اما عدالت در تخصیص آب برقرار میباشـد. سعیدیان و همکاران (۱۳۹۴) نیز در مطالعه خود بـه ایـن نتیجـه رسیدند که در شرایط کمبود آب بهتر است آب زمینهایی کـه بـه کشت گندم و جو اختصاص دارند کـاهش یابـد و آب اختصـاص

۱ -Zhang

یافته به محصولاتی مانند پیاز، سیب‌زمینی و لوبیا افزایش یابد تا سود سیستم حداکثر شود که نتایج آن‌ها با نتایج این مطالعه همسو می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از تخصیص آب بین مناطق و محصولات کشاورزی پیشنهاد می‌شود محصولات پربازده مانند پیاز و خربزه جایگزین محصولاتی با بازدهی پایین‌تر مانند گندم و جو شود. از آنجائیکه افزایش راندمان آبیاری باعث افزایش سود اقتصادی و تخصیص عادلانه‌تر آب بین مناطق می‌شود لذا پیشنهاد می‌شود از روش‌های نوین آبیاری و متناسب با منطقه سیستان جهت آبیاری محصولات و افزایش راندمان آبیاری استفاده شود و به منظور استفاده و گسترش روش‌های جدید آبیاری تهمیدات و تسهیلات لازم برای کشاورزان در نظر گفته شود. همچنین برای انتقال آب به مزارع آب از طرحهای کارا مانند انتقال آب با لوله استفاده شود به‌طوریکه تکنولوژی آبیاری پیشرفته می‌تواند در مصرف آب صرفه جویی کند و روند توسعه پایدار در بخش کشاورزی و به دنبال آن توسعه روستایی را پیش ببرد و محصول بیشتر و منافع اقتصادی بیشتری بدست آورد.

منابع

احمدی، م. ۱۴۰۰. نقش مدیریت منابع آب کشاورزی در توسعه نواحی روستایی مورد: دهستان غنی بیگلو (شهرستان زنجان). اقتصاد فضا و توسعه روستایی، ۱۰(۱): ۱۳۷-۱۵۴.

اسفندیاری درآباد، ف.، مصطفی زاده، ر.، شاهمرادی، ر.، و عبادی، ا. ۱۳۹۸. بررسی اثر احداث سد بوکان بر شاخص-های هیدرولوژیک رودخانه زرینه‌رود بر اساس منحنی تداوم جریان. نشریهٔ دانش آب و خاک، ۴۰۲۹): ۱۴۷-۱۵۹.

پایمزد، ش.، مرید، س. و مقدسی، م. ۱۳۸۹. برنامه ریزی غیر خطی و سیستم‌های پویا در تخصیص آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه زاینده رود). مجله آبیاری و زهکشی ایران،۱(۴): ۴۴-۵۲.

پناهی، ف.، ملک محمدی، ا.، چیذری، م. ۱۳۹۷. تحلیل موانع به‌کارگیری مدیریت بهینه منابع آب در نظام کشاورزی ایران. روستا و توسعه، ۱۵(۴): ۲۳-۴۱.

جعفری ثانی، م.، حیاتی، ب.، عمتیان، ج. و قهرمان زاده، م. ۱۳۹۷. تخصیص بهینه آب سد قلعه چای عجب شیر بین محصولات کشاورزی در شرایط عدم حتمیت. اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۲(۳): ۲۴۷-۲۵۸.

جلیلی کامجو، س.، و خوچیانی، ر. ۱۳۹۹. کاربرد تئوری ورشکستگی و تقاضاهای ناسازگار در حل مناقشه تخصیص منابع آب زاینده رود. تحقیقات مدل سازی اقتصادی،۱۰(۳۹): ۴۵-۸۰.

سردارشهرکی، ع. ۱۳۹۵. تخصیص بهینه منابع آب حوزه هیرمند با کاربرد تئوری بازی و ارزیابی سناریوهای مدیریتی، پایان-نامه دکتری، دانشکده علوم زیست محیطی و کشاورزی پایدار دانشگاه سیستان و بلوچستان.

سرگزی، ع. و قویدل، م. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی و تخصیص بهینه منابع آب در بخش کشاورزی (مطالعه موردی شهرستان صومعه سرا). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳(۲): ۷۴-۸۱.

عبدلی، ق. و شجاعی، ت. ۱۳۹۹. نظریه بازی و کاربرد آن در تخصیص بهینه منابع اب، فصلنامه پژوهش های برنامه و توسعه، ۱(۳): ۱۲۲-۱۶۶.

غفاری مقدم، ز. ۱۴۰۰. مدیریت اقتصادی منابع آب در بخش کشاورزی حوضه آبریز هیرمند تحت رویکرد تلفیقی تئوری بازی و بازار آب. پایان نامه دکتری، دانشکده مدیریت و

حسابداری، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

غفاری مقدم، ز.، کیخا، ا.، صبوحی، م. ۱۳۹۱. تخصیص بهینه منابع آب مخازن چاه نیمه با استفاده از نظریه بازی‌ها. تحقیقات منابع آب ایران. ۸(۲): ۱۲-۲۳.

قوامی آزاد، ب. و راثی نظامی، س. ۱۳۹۷. مقایسه کاربرد رهیافت‌های همکارانه و غیر همکارانه تئوری بازی‌ها در جهت حل مناقشات منابع آب. سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست با محوریت آبخیزداری و صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، اردبیل

گزارشات مرکز آمار ایران، نتایج تفصیلی عمومی نفوس و مسکن، ۱۳۹۵.

گزارشات آماری سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۹.

سازمان جهاد کشاورزی سیستان، گزارشات طرح انتقال آب با لوله دشت سیستان، ۱۳۹۹.

سعیدیان، ب.، سعدی مسگری، م. و قدوسی، م. ۱۳۹۴. مقایسه کارایی الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک و انبوه ذرات برای تخصیص بهینه آب به زیمن‌های کشاورزی در شرایط محدودیت آب. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۳(۴): ۱۹-۴۲.

مهرگان، ف.، کرامت زاده، ع.، اشراقی، ف. و شیرانی بید آبادی، ف. عوامل مؤثر بر واکنش سطح زیر کشت پنبه در استان گلستان. مجله پژوهش‌های پنبه ایران، ۴(۱): ۱-۱۶. ۱۳۹۵.

وزارت نیرو .گزارش برنامه ریزی منابع آب رودخانه و مخازن چاه نیمه های سیستان .جلد دوم، شرکت سهامی آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان، زابل . ۱۳۹۰.

یاسوری، م. ۱۳۸۶. محدودیت منابع آب و نقش آن در ناپایداری مناطق روستایی استان خراسان رضوی. فصلنامهٔ چشم‌انداز جغرافیایی، ۵(۱): ۱۶۳-۱۷۸.

Ambec, S. and Ehlers, L. 2008. Sharing a river among satiable agents. *Games and Economic Behavior*, 64(1): 35-50.

Chen, Y., Lu, H., Li, J., Ren, L. and He, L. 2017. A leader-follower-interactive method for regional water resources management with considering multiple water demands and eco-environmental constraints. *Journal of hydrology*, 548: 121-134.

FAO. 2011. The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Managing systems at risk, London: Earthscan

Jamini, D., Amini, A., Gadermarzi, H. and Tavakoli, J. 2017. Challenges of food security in rural areas using grouned theory approach in ravansar country, western Iran. *European Journal of Geography*, 8(4): 26-40.

Lesani, M.T. and Jafari, H. 2015. The Role of water supply management in rural economy with an emphasis on earth dam's construction (Case study: Bakhazr County). Indian *Journal of Science and Technology*, 8(S3): 28-32

Liu, B., Huang, J. J., McBean, E. and Li, Y. 2020. Risk assessment of hybrid rain harvesting system and other small drinking water supply systems by game theory and fuzzy logic modeling. *Science of the Total Environment*, 708: 134-156

Nerlove, M. Grether, D.M. and Carvalho, J.L. Analysis of Economic Time Series: a Synthesis. Academic press. 2014.

Niksokhan, M.H., Kerachian, R. and Karamouz, M. 2009. A game theoretic approach for trading discharge permits in rivers. *Water Science and Technology*, 60(3): 793-804.

Rogers, P. 1969. A game theory approach to the problems of international river basins. *Water Resources Research*, 5(4): 749–760

Sadati, S.K., Speelman, S., Sabouhi, M., Gitizadeh, M. and Ghahraman, B., 2014. Optimal irrigation water allocation using a genetic algorithm under various weather conditions. *Water*, 6(10): 3068-3084.

Sedghamiz, A., Nikoo, M.R., Heidarpour, M. and Sadegh, M. 2018. Developing a non-

cooperative optimization model for water and crop area allocation based on leader-follower game. *Journal of hydrology*, 567: 51-59.

UNESCAP (United Nations, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific). Principles and Practices of Water Allocation among Water-Use Sectors. ESCAP Water Resources Series No. 80, United Nation, New York. 2017.

Xu, Z., Yao, L., Zhou, X., Moudi, M. and Zhang, L. 2019. Optimal irrigation for sustainable development considering water rights transaction: A Stackelberg-Nash-Cournot equilibrium model. *Journal of Hydrology*, 575: 628-637.

Yao, L., Xu, Z. and Chen, X. 2019. Sustainable water allocation strategies under various climate scenarios: A case study in China. *Journal of Hydrology*, 574: 529-543.

Zhang, F., Engel, B.A., Zhang, C., Guo, S., Guo, P. and Wang, S. 2019. Agricultural production planning approach based on interval fuzzy credibility-constrained bi-level programming and Nerlove supply response theory. *Journal of cleaner Production*, 233: 1158-1169.

Optimal allocation of water resources in the agricultural sector between selected crops in rural areas of Sistan

Zahra Ghaffari moghadam[1], Ebrahim Moradi[*2], Mahmoud Hashemi tabar[3] and Ali Sardar Shahreki[4]

Submitted: 8 January 2022 **Accepted:** 6 May 2022

Abstract

The critical situation of water resources in arid and semi-arid regions of Iran, especially the Sistan region, has faced a serious problem in the process of sustainable development in this region. Insufficient attention to the optimal management of agricultural water resources and the continuation of some current incorrect methods is one of the main factors in the failure to achieve sustainable agricultural and rural development. In this research, with the optimal management of the Hirmand River in the agricultural sector, an attempt has been made to develop the agricultural and rural sectors of the Sistan region. For this purpose, game theory has been used to allocate water between agricultural lands in rural areas of Sistan in 2020-2021. The meta-heuristic algorithm was used to run the game, combining a dynamic genetic algorithm and fuzzy programming method. The results showed that the use of the proposed model could lead to an efficient and fair distribution of water between irrigated areas and different crops so that maximum profit is obtained from this allocation and by increasing irrigation efficiency from 35 to 50 and 70% of the total profit will increase from 314810 to 544390 and 896050 million Rials. According to the results of this study, it is suggested that high-yield crops such as onions and melons be replaced with low-yield crops such as wheat and barley. Also, due to the water crisis in the Sistan region, the results of Stackelberg game modeling in this study can be used for optimal water allocation in the Sistan region.

Keywords: Stackelberg, Optimal water allocation, Rural Development, Sistan

1- PhD student, Department of Agricultural Economics, Management and Economic Faculty, university of Sistan and Baluchestan, Zahedan, and Faculty member of Agricultural Economics Department, Agricultural Research Institute, University of Zabol, Zabol, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Management and Economic Faculty, university of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Agricultural Economics, Management and Economic Faculty, university of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
4- Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Management and Economic Faculty, university of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
(*- Corresponding author Email: Eb_moradi@eco.usb.ac.ir)
10.22048/rdsj.2022.323673.1994