مدیریت حوزه آبخیز از طریق بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از رویکردهای بهینه‌سازی ریاضی و مکانی

افشین هنربخش[1*]، مهدی پژوهش[1]، مریم زنگی آبادی[2] و مسلم حیدری[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۳۰)

چکیده

امروزه دخالت‌های انسان در منابع طبیعی سبب از بین رفتن این منابع و منجر به وقوع سیلاب‌های مخرب، فرسایش خاک و آسیب‌های گوناگون زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی شده است. همچنین رشد روزافزون جمعیت و تغییر اقلیم باعث تشدید این تخریب‌ها شده و در نتیجه انجام مدیریت و برنامه‌ریزی از طریق بهینه‌سازی کاربری اراضی برای استفاده صحیح، حفظ، و احیاء این منابع امری ضروری است. هدف از این مطالعه این است که با استفاده از تلفیق رویکردهای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی آرمانی فازی و تخصیص چند هدفه اراضی مدلی برای بهره‌برداری بهینه در حوزه آبخیز چلگرد توسعه داده شود. مدل ارائه شده مبتنی بر تعیین مساحت بهینه در کاربری‌های اراضی مختلف و همچنین موقعیت مکانی بهینه آنها می‌باشد. در این تحقیق یک مدل فازی ارائه شده است. در این مدل حداقل سازی مقدار فرسایش خاک و حداکثرسازی مقدار سود به‌ترتیب در اولویت می‌باشند. به‌علاوه محدودیت‌های مدل فوق منابع تولید شامل آب و زمین و همچنین مسائل اقتصادی و اجتماعی هستند. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که روش ارائه شده روشی کارآمد در بهینه‌سازی کاربری اراضی و توسعه پایدار منطقه بوده و می‌تواند موجب افزایش سود تا ۳۷٪ و کاهش فرسایش تا ۲/۴٪ شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت حوزه آبخیز، برنامه‌ریزی آرمانی فازی، تخصیص چند هدفه اراضی، توسعه پایدار

۱. گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد
۲. گروه ریاضی کاربردی، دانشکده علوم، دانشگاه شهرکرد
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: afshin.honarbakhsh@gmail.com

مقدمه

مدیریت جامع حوزه آبخیز فرایند مدیریت فعالیت‌های انسانی و منابع طبیعی بر مبنای حوزه آبخیز است و این امکان را فراهم می‌کند تا منابع آب و زمین حفاظت شوند و موضوعات بحرانی مانند اثرات فعلی و آینده مسائلی مانند رشد سریع جمعیت و تغییر اقلیم مدیریت گردند (۱۹). براساس نظر وانی و گارگ، حوزه آبخیز یک واحد هیدرولوژیک ساده نیست بلکه یک موجودیت اجتماعی- سیاسی- اقتصادی است که نقش مهمی در تعیین امنیت غذایی، اجتماعی و اقتصادی انسان بازی می‌کند (۲۷). آب و خاک هر کشور از مهم‌ترین منابع و زیربنای توسعه پایدار کشورها می‌باشند. موفقیت در حفظ این منابع ارزشمند مستلزم انتخاب رویکردی جامع و سیستمی در نحوه مدیریت و درنظر داشتن روابط متقابل اجزای مختلف سیستم حوزه آبخیز است (۱۸). تخریب حوزه آبخیز یکی از پیچیده‌ترین مشکلات زیست محیطی است که معیشت میلیون‌ها انسان را مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه تهدید می‌کند (۱۴). ارتباط مابین کاربری اراضی، خاک و آب، همچنین ترکیب اراضی پایین دست و بالا دست و نیز ملاحظه خواسته‌های بهره‌برداران متعدد حوزه آبخیز، از موضوعات مورد توجه در بحث مدیریت حوزه‌های آبخیز است. امروزه حوزه‌های آبخیز به‌عنوان جایگاهی برای مدیریت منابع طبیعی و توسعه اقتصادی و اجتماعی مد نظر هستند. در کشور ایران نیز تفکر مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و تلفیق سیاست‌های دولتی و راهکارهای مشارکت مردمی در حال توسعه است (۱۸). از نظر برایسولیس، درصورتی که در یک حوزه آبخیز هدف بررسی و کنترل یک مؤلفه با توجه به ارتباط متقابل اجزای دیگر اکوسیستم باشد، یقیناً، با استفاده از روش‌های سنتی امکان‌پذیر نخواهد بود و نیاز به استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ضرورت دارد (۱۲). براساس نظر راکسترم و کالبرگ، مدیریت منابع طبیعی در مقیاس حوزه آبخیز منافع زیادی دارد که شامل افزایش تولیدات غذایی، بهبود معیشت، حفاظت محیط زیست و... هستند (۲۵). هریجواین و همکاران، از مدیریت جامع حوزه آبخیز به‌عنوان یک رهیافت مؤثر در مورد مسئله تخریب اراضی در حوزه آبخیز انابرد در شمال اتیوپی استفاده کردند. در مطالعه ایشان اثرات مدیریت جامع حوزه آبخیز در مورد تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین، کاهش رواناب و هدررفت خاک در اثر فرسایش‌های ورقه‌ای، شیاری و خندقی مورد بررسی قرار گرفته است (۱۷). در ادامه ابتدا توضیحات مختصری راجع به مفاهیم علمی روش‌های بهینه‌سازی ریاضی و مکانی مورد استفاده و دلیل استفاده از آنها و سپس برخی تحقیقات مرتبط با آنها به‌ترتیب ارائه شده‌اند.

روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی

با توجه به این که در مدل برنامه‌ریزی آرمانی (GP) همه پارامترهای مسئله در محیط تصمیم‌گیری باید به‌طور قطعی تعیین شوند و همه اهداف و محدودیت‌ها به‌صورت قطعی باشند لذا این روش نمی‌تواند در علوم کشاورزی و منابع طبیعی و به‌دلیل دارا بودن شرایط ریسک و عدم قطعیت، همه خواسته‌های تصمیم‌گیرندگان را برآورده سازد. بنابراین بهتر است در علوم مذکور از منطق فازی استفاده گردد. در محیط تصمیم‌گیری فازی، اهداف مد نظر تصمیم‌گیرندگان (مدیران حوزه‌های آبخیز و بهره برداران) همیشه به‌صورت فازی یا غیرقطعی هستند، در حالی که محدودیت‌ها می‌توانند به‌صورت فازی یا غیرفازی (قطعی) باشند و این به فازی بودن یا نبودن منابع در دسترس در محیط تصمیم‌گیری بستگی دارد. در محیط تصمیم‌گیری فازی، اهداف به‌وسیله توابع عضویت و با تعریف حدود بالا و پایین مشخص می‌شوند (۷). در روش مورد استفاده در این تحقیق، آرمان‌ها حالت فازی دارند و آرمان فازی از نظر تیواری هدفی است که دارای یک سطح تمایل نادقیق (غیرقطعی) باشد (۲۶). همچنین مقدار فازی بودن Δ_i توسط تصمیم‌گیرندگان مشخص می‌شود. اگر مقدار آرمان برابر سطح تمایل به‌دست آید، دستیابی کامل، اگر مقادیری در محدوده حد پایین تا سطح تمایل و سطح تمایل تا حد بالا به‌دست آیند نشان‌دهنده دستیابی نسبی و مقادیر خارج از محدوده حدود بالا

و پایین نشان‌دهنده عدم دستیابی هستند. این مفاهیم با تابع عضویت μ_k نشان داده می‌شوند.

روش تخصیص چند هدفه اراضی (MOLA: Multi Objective Land Allocation)

روش بهینه‌سازی کلاسیک برنامه‌ریزی آرمانی فازی در حقیقت بهینه‌سازی ریاضی را انجام می‌دهد و قادر به انجام بهینه‌سازی مکانی نیست. از اینرو استفاده از روش‌های تلفیقی می‌تواند منجر به حصول نتایجی گردد که هم از نظر ریاضی و هم از نظر مکانی بهینه باشند (۸). در حقیقت تنها مشخص شدن سطوح بهینه کاربری‌های اراضی از نظر عملی کفایت نمی‌کند و نیاز است که محل بهینه آنها هم مشخص شود. روش MOLA یک روش بهینه‌سازی مکانی مبنی بر تصمیم‌گیری مشارکتی GIS است و برای تخصیص با اهداف متضاد ارائه شد (۱۳).

روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی (FGP: Fuzzy Goal Programming) برای مسائل برنامه‌ریزی کشاورزی و منابع طبیعی تحت شرایطی که محدودیت‌ها و اهداف هر دو به‌صورت فازی باشند به‌وسیله بیسواس و پال به‌کار گرفته شده است. ایشان نتیجه گرفتند که این مدل نسبت به مدل برنامه‌ریزی چند هدفه، برای تصمیم‌گیرنده امکان تعیین درجه اهمیت هر یک از اهداف را فراهم می‌سازد و سازگاری بیشتری با محیط‌های کشاورزی دارد (۱۱). راعی جدیدی و صبوحی صابونی، مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی را برای تخصیص بهینه زمین‌های کشاورزی منطقه کشک سرای شهرستان مرند استان آذربایجان شرقی مورد استفاده قرار دادند. در تحقیق ایشان آرمان‌ها در ۱۶ سناریو در قالب تک هدفه، ترکیبی و اولویت‌بندی شده تهیه شدند و نتایج نشان داد که از بین سناریوهای تک هدفه و ترکیبی، سناریو حداقل کردن هزینه‌ها بهترین سناریو است (۷). لیو و همکاران، یک سیستم استنباط فازی را برای ارزیابی اراضی کشاورزی در چین معرفی کردند. ایشان الگوریتم ژنتیک را با یک سیستم استنباط فازی مبتنی بر ارزیابی چند معیاره، تجمیع کرده تا یک سیستم خود وفق که معیارهای ارزیابی‌اش را به‌وسیله خود فراگیری از نمونه‌های اراضی واسنجی می‌کند، بسازند. نتایج نشان داد که مدل ارائه شده بسیار کارا است (۲۱). معماریان و همکاران از تلفیق AHP و WGP و با درنظر گرفتن اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز هولو لانگات در مالزی استفاده کردند و ۴ سناریو مختلف را که موجب افزایش درآمد اقتصادی و کاهش تخریب‌های زیست محیطی می‌شدند توسعه دادند (۲۲). داودی راد و همکاران، تغییرات زمانی و مکانی استفاده از سرزمین در حوضهٔ آبخیز شازند را بررسی کردند. نتایج نشان داد که الگو و روند تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه گسترش فعالیت‌های صنعتی در منطقه نشان می‌دهد که مدیریت‌ها، برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه‌ای در این زمینه نقش مهمی داشته و وضعیت فعلی منطقه را رقم زده است. بنابراین، هر برنامه مدیریت سرزمین در منطقه باید با درنظرگرفتن الگوهای مکانی و زمانی تغییرات کاربری اراضی و برنامه‌های توسعه‌ای منطقه و در قالب مدیریت سازگار طراحی شود (۶). محمدی و همکاران از الگوریتم ژنتیک NSGA-II برای تولید طرحی با هدف توسعه پایدار استفاده کردند. ایشان نتیجه گرفتند که توابع هدف غیرخطی نسبت به توابع خطی کاربرد بهتری دارند (۲۳).

بنجامین در منطقه بارینگو کنیا برای تصمیم‌گیری در مورد تخصیص کاربری اراضی در مناطقی که بین کلاس‌های مختلف کاربری اراضی تضاد وجود دارد، از ارزیابی چند معیاره و نوعی سیستم پشتیبان تصمیم مکان مبنا که از روش MOLA بهره می‌برد استفاده کرد (۱۰). ابابکر و همکاران در مناطق شمال شرقی نیجریه نواحی را که شرایط بیابانی شدن در آنها تا سال ۲۰۳۰ محتمل است پیش‌بینی کردند. در تحقیق ایشان از زنجیره مارکف برای پیش‌بینی و از تکنیک‌های بهینه‌سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی MOLA برای ترسیم نقشه‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که رودخانه‌های Gana و Yobe واقع در این مناطق به‌عنوان موانع طبیعی عمل کرده و مانع گسترش بیابان

می‌شوند (۹). جروئن و همکاران، از رگرسیون لجستیک برای برآورد کمی و از MOLA برای پیش‌بینی توزیع مکانی کربن آلی خاک و استخراج نقشه آن در سراسر فرانسه استفاده کردند (۲۰).

با توجه به سوابق تحقیق انجام شده، مشخص می‌شود که در مدیریت حوزه‌های آبخیز از روش‌هایی مانند برنامه‌ریزی خطی تک هدفه، برنامه‌ریزی آرمانی، سیستم‌های پشتیبان تصمیم و روش‌های دیگری مثل الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در این تحقیقات، از روش برنامه‌ریزی خطی فازی و برنامه‌ریزی آرمانی فازی، در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در مزارع استفاده شده و در برنامه‌ریزی حوزه آبخیز استفاده نشده است. همچنین، تحقیقات بسیار محدودی با استفاده از روش تخصیص چند هدفه اراضی به بررسی موقعیت مکانی بهینه کاربری‌های اراضی پرداخته‌اند. با توجه به اینکه سد زاینده رود در پایین دست حوزه چلگرد تأمین کننده آب شرب و کشاورزی در بخش‌هایی از دو استان چهارمحال و بختیاری و اصفهان است، بنابراین مدیریت صحیح این حوضه بسیار با اهمیت است. در حال حاضر برخی طرح‌های محدود بیولوژیک و سازه‌ای در حوضه انجام شده و مدیریت برمبنای یک طرح جامع مدیریتی صورت نمی‌گیرد. هدف اصلی این تحقیق انجام مدیریت و برنامه‌ریزی در حوزه آبخیز چلگرد از طریق بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از تلفیق مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی و مدل بهینه‌سازی مکانی MOLA است.

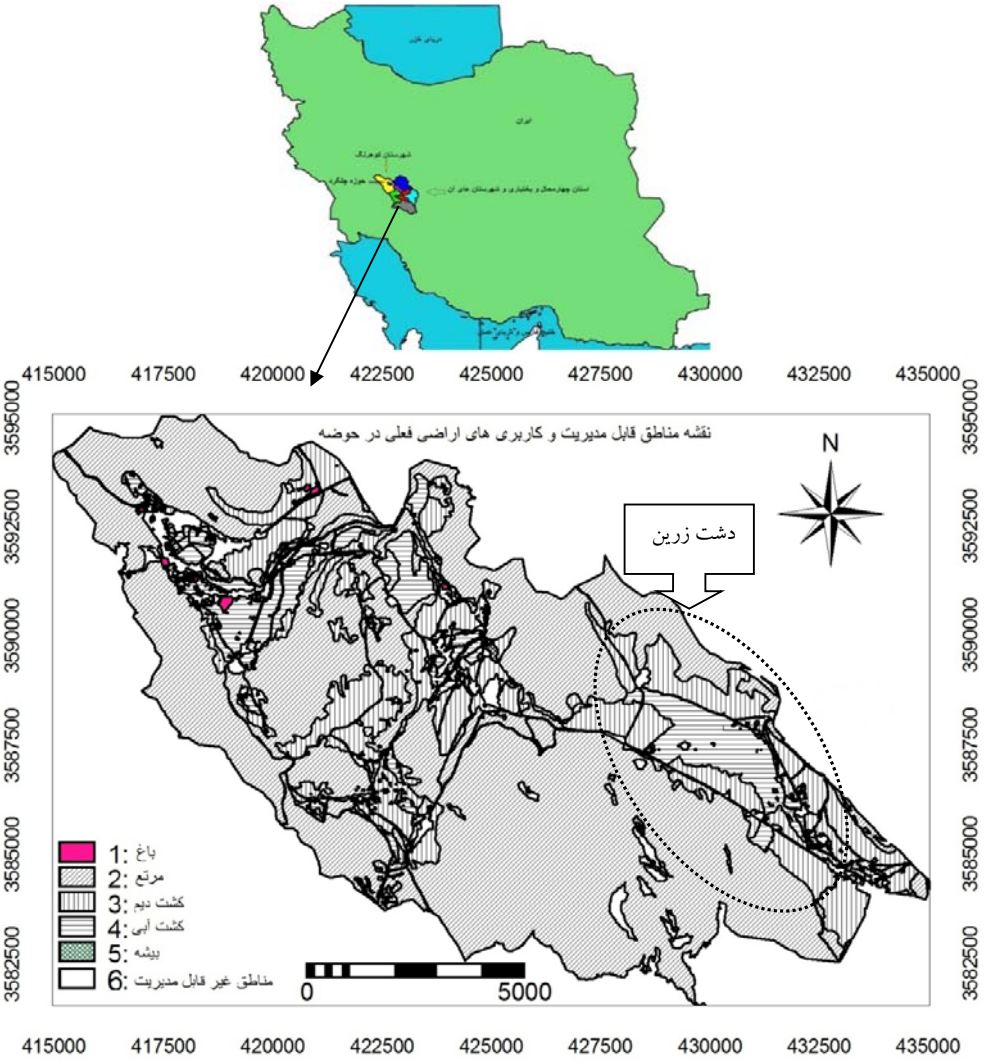
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چلگرد واقع در بخش مرکزی شهرستان کوهرنگ در استان چهارمحال و بختیاری و یکی از زیرحوزه‌های بالادست سد زاینده رود و دارای مساحتی در حدود ۱۳۵۰۰ هکتار و در حد فاصل طول جغرافیایی "۴۲ '۵ °۵۰ تا "۳۴ '۱۸ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی "۲'۲۲ °۳۲ تا "۲۳ '۲۹ °۳۲ شمالی است. از نظر شرایط اقلیمی این حوزه آبخیز دارای میانگین بارش بلند مدت سالیانه حدود ۱۳۵۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه حدود ۹ درجه سانتی‌گراد است. از نظر طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه، دارای اقلیم ارتفاعات و به روش دومارتن، دارای اقلیم بسیار مرطوب است. مقدار متوسط فرسایش در این حوضه حدود ۱۵/۰۲ تن در هکتار در سال، نسبت حمل رسوب حدود ۲۴ درصد و مقدار رسوب حدود ۳/۶ تن در هکتار در سال است (۵). شکل (۱)، موقعیت حوزه آبخیز چلگرد و کاربری‌های اراضی این حوضه در شرایط فعلی و همچنین موقعیت دشت زرین به‌عنوان بخشی از حوضه که علیرغم قرار گرفتن در یک حوضه با مقدار بارش بسیار مطلوب با بحران آب و کم آبی مواجه است را نشان می‌دهد.

مراحل انجام کار

ابتدا مرز حوزه آبخیز با استفاده از نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ ترسیم شد و پارامترهای فیزیکی حوزه آبخیز شامل محیط و مساحت استخراج شد. سپس نقشه کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره کوئیک برد نرم‌افزار گوگل ارث تهیه و به‌روز شد. این نقشه در کار صحرایی کنترل و با شرایط واقعی تطبیق داده شد. بررسی این نقشه و مقایسه آن با نقشه کاربری اراضی موجود مربوط به سال ۱۳۸۳ (۱)، توسعه بخش مسکونی خصوصاً شهر چلگرد، توسعه باغات و تاسیسات آبی را نشان می‌دهد. برای تهیه نقشه شیب دقیق، ابتدا نقشه خطوط تراز بر مبنای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و با فواصل خطوط تراز ۲۰ متری تهیه شد. سپس نقشه قله‌ها با استفاده از نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. در مرحله بعد برای اجتناب از ایجاد نواحی مسطح در محل قله‌ها، نقشه خطوط تراز و قله‌ها با هم تلفیق شدند. سپس نقشه رقومی ارتفاع بر مبنای نقشه تلفیقی مرحله قبل تولید شد. درنهایت نقشه شیب با استفاده از این نقشه و براساس کلاس بندی فائو (FAO) تولید شد.



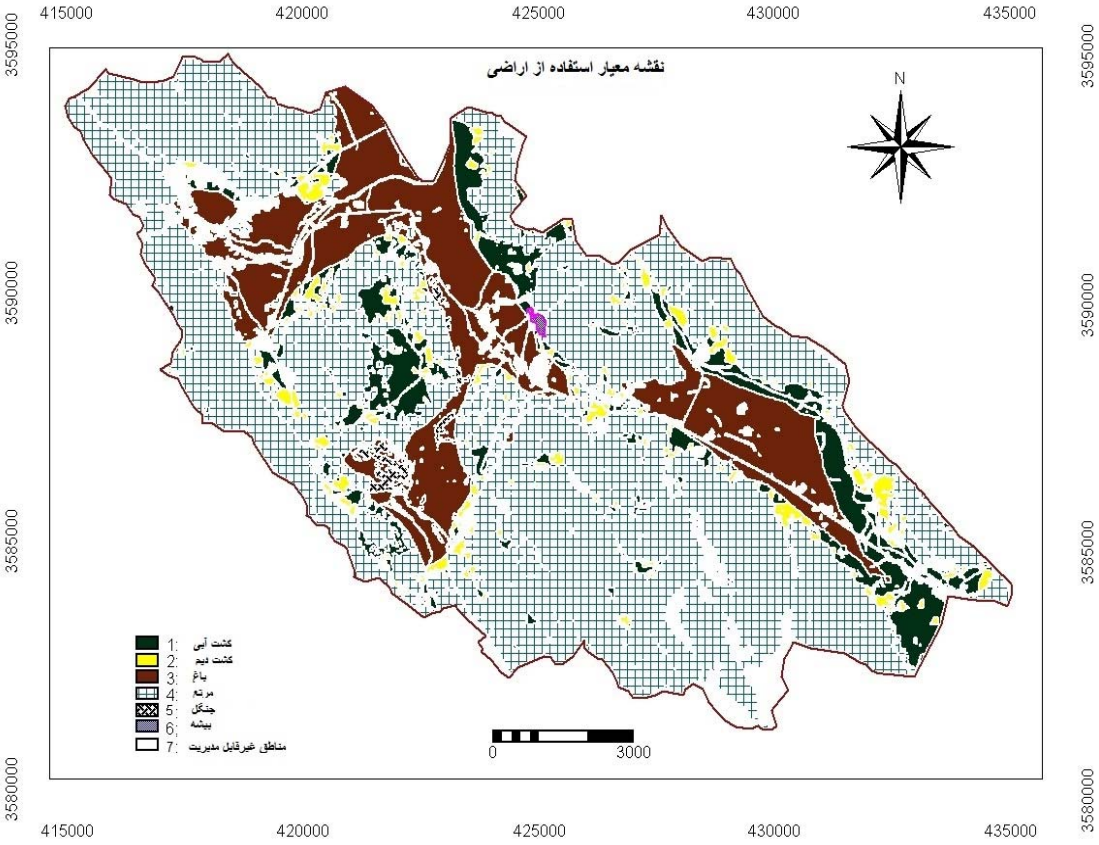
شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز چلگرد و کاربری‌های اراضی فعلی در این حوضه

برآورد مقدار آب قابل دسترسی در حوضه

برای بررسی معیار قابلیت دسترسی به منابع آب، ابتدا اطلاعات آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه از شرکت منابع آب اخذ شد. برای برآورد مقدار آب قابل دسترسی در حوضه مورد نظر، نیاز آبی گیاهان (CWR) زراعی و گونه‌های درختی غالب (درختان مثمر و غیرمثمر) در منطقه باید محاسبه شود. بنابراین با انجام مصاحبه شفاهی با بهره برداران مختلف حوضه در کار صحرایی، محدودیت‌های آبی موجود و نحوه آبیاری و مقدار تقریبی (اطلاعاتی مانند تعداد دورهای آبیاری و فواصل مناسب آنها) نیاز آبی گیاهان به‌طور کیفی بررسی شد. سپس با استفاده از اطلاعات هواشناسی و روش فائو پنمن مانتیس، تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) و نیاز آبی گیاهان دقیق تر محاسبه شد.

برآورد مقدار سود خالص در هر کاربری اراضی

برای محاسبه ضریب بهره‌وری سود برای کاربری اراضی مختلف و کشت‌ها و درختان غالب حوزه آبخیز، ابتدا با انجام بازدیدهای میدانی و مصاحبه عمومی با بهره برداران (دام



شکل ۲. نقشه معیار استفاده از اراضی حوزه آبخیز چلگرد براساس معیارهای فائو

پروران، کشاورزان، باغ داران) اطلاعات اولیه جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از آمار نامه کشاورزی و اطلاعات رسمی ادارات منابع طبیعی و کشاورزی، پس از کسر کردن هزینه‌ها، مقدار سود خالص به‌دست آمده از هر کاربری محاسبه شد. با توجه به اهمیت مسائل اجتماعی در مدیریت و برنامه‌ریزی در حوزه‌های آبخیز، عملیات میدانی و مصاحبه با بهره برداران مختلف حوضه صورت گرفت و اطلاعات به‌دست آمده از آن در مراحل مختلف انجام کار مثل بحث تطبیق کاربری‌ها، مشکلات اجتماعی مانند اشتغال، محدودیت‌های منابع آب و ... استفاده شده است. درنهایت نقشه استاندارد یا معیار استفاده از اراضی براساس معیارهای فائو (شیب، عمق خاک و قابلیت دسترسی به منابع آب) در سطح قابل برنامه‌ریزی تولید شد (شکل ۲). اطلاعات این نقشه و نظرات بهره برداران و مدیران حوزه آبخیز مبنای اصلی تعیین نوع توابع هدف و مقادیر سمت راست (RHS) محدودیت‌ها (constraints) در مدل است.

انجام بهینه‌سازی با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی

شکل عمومی مدل FGP مورد استفاده در این تحقیق از دیدگاه تیواری و همکاران (۲۶) به‌صورت زیر است:

$$\text{Find } x$$
$$\text{to satisfy :}$$
$$G_j(x) \simeq g_j \quad j = ۱, ۲, \ldots, n$$
$$A_i x (\leq, =, \geq) b_i \quad i = ۱, ۲, \ldots, m$$
$$x \geq ۰,$$

که در آن: x، برداری از متغیرهای تصمیم است، $G_j(x)$، آرمان فازی j ام و علامت $\simeq$ در آرمان مذکور نشان‌دهنده فازی بودن سطح تمایل g_j است. $A_i x$، محدودیت i ام و b_i مقادیر سمت

راست محدودیت‌ها را نشان می‌دهد. همچنین n، تعداد آرمان‌های فازی و m، تعداد محدودیت‌ها را نشان می‌دهند.

مراحل کار در روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی شامل موارد زیر است:

۱- تعیین متغیرهای تصمیم: متغیرهای تصمیم در این تحقیق سطح اختصاص یافته به هر یک از کاربری‌های اراضی هستند.

۲- تعیین آرمان‌های فازی: برای انجام مدیریت در حوزه آبخیز، ۲ آرمان فازی مرتبط با شاخصه فرسایش خاک و سود مد نظر است. آرمان مرتبط با شاخصه فرسایش خاک در رابطه (۱) ارائه شده است.

$$\text{goal}_1\left(\sum_{j=1}^{6} C_{ej}X_j \simeq E\right)P_1\,(E \simeq t_2) \qquad (1)$$

که در آن E مقدار کل فرسایش تولیدی در حوضه برحسب تن در سال است که در صورت امکان و با توجه به سطح تمایل تصمیم‌گیرندگان t_2، باید به‌دست آید. C_{ej} مقدار فرسایش تولیدی در هر کاربری برحسب تن در هکتار در سال است. علامت $\simeq$ در آرمان مذکور نشان‌دهنده فازی بودن سطح تمایل t_2 است. P_1 نشان‌دهنده این است که این آرمان، اولویت اول است. آرمان مرتبط با شاخصه سود در معادله (۲) ارائه شده است.

$$\text{goal}_2\left(\sum_{j=1}^{6} C_{pj}X_j \simeq P\right)P_2\,(P \simeq t_1) \qquad (2)$$

که در آن P مقدار کل سودی است که در صورت امکان و با توجه به سطح تمایل تصمیم‌گیرندگان t_1، برحسب میلیارد ریال در سال باید به‌دست آید. C_{pj} مقدار سود خالص به‌دست آمده برحسب میلیون ریال از یک هکتار کاربری j ام است. علامت $\simeq$ در آرمان مذکور نشان‌دهنده فازی بودن سطح تمایل t_1 است. P_2 نشان‌دهنده این است که این آرمان، اولویت دوم است.

۳- تعیین محدودیت‌ها: محدودیت‌ها مرتبط با منابع تولید شامل آب و زمین و همچنین مسائل اجتماعی هستند که با توجه به شرایط منطقه، نظر بهره برداران و نقشه معیار تعیین خواهند شد.

۴- استخراج توابع عضویت برای آرمان‌های فازی: در این مرحله با توجه به اطلاعات به‌دست آمده، توابع عضویت برای آرمان‌های فازی محاسبه خواهند شد.

۵- فرمول‌بندی و حل مدل: برای فرمول‌بندی در این تحقیق از ساختار اولویت‌بندی استفاده شد. پس از حل مدل، مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم یا مساحت تخصیص داده شده به کاربری‌های اراضی مختلف، مقادیر آرمان‌ها و البته با توجه به فازی بودن مسئله مقدار عضویت آرمان‌ها حاصل می‌شود و جوابی که مقدار عضویت بالاتری داشته باشد جواب مسئله است.

انجام بهینه‌سازی مکانی با استفاده از روش تخصیص چند هدفه اراضی

مراحل انجام کار در این روش شامل: تهیه نقشه‌های معیار، انجام ارزیابی چند معیاره و تولید نقشه‌های تناسب، رتبه‌بندی نقشه‌های تناسب و نهایتاً تخصیص با استفاده از نتایج به‌دست آمده از بهینه‌سازی ریاضی است.

نتایج و بحث

نتایج برآورد مقدار نیاز آبی گیاهان و مقایسه آن با مقدار آب قابل برنامه‌ریزی (مقدار آب موجود در حوضه براساس مجوزهای برداشت یا استفاده از آب صادره توسط شرکت منابع آب) در حوضه، نشان داد که برای توسعه باغات، بیشه‌ها و زمین‌های زراعی آبی محدودیتی از نظر تأمین آب وجود ندارد. مدیریت منابع آب و استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار به جای روش‌های سنتی، ضمن برطرف کردن مشکل کمبود آب در بخش دشت زرین حوضه، امکان توسعه کاربری‌های اراضی که نیاز به آبیاری دارند شامل کشت آبی، باغ و بیشه را فراهم می‌کند. نتایج حاصل از برآورد آب مورد نیاز گیاهان نشان می‌دهد در حال حاضر حدود ۲۰ میلیون متر مکعب آب در دسترس است که در شرایط استفاده از روش‌های آبیاری نوین حدود ۳/۵ میلیون متر مکعب آب نیاز است. بنابراین مقدار مازاد می‌تواند سبب رفع کمبود و توسعه

شود. در شکل (۲)، نقشه معیار استفاده از اراضی بر مبنای معیارهای فائو ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که استفاده از اراضی در شرایط معیار می‌تواند موجب افزایش سود تا ۳ برابر شود هر چند که با توجه به محدودیت‌های اجتماعی فعلی چنین استفاده‌ای امکان‌پذیر نیست. همچنین نقشه معیار نشان می‌دهد که حدود ۹۵ هکتار زمین در حوضه وجود دارد که ضمن حفظ ارزش‌های مرتع، پتانسیل جنگل کاری را دارا می‌باشند.

مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی به‌دست آمده به شکل زیر است:

$$\text{Maximize} = \lambda$$

s.t.

$$\lambda <= \left((۱۴/۱۱x_۱ + ۱۲/۷۳x_۲ + ۱۵/۰۵x_۳ + ۱۳/۱۲x_۴ + ۵/۱x_۵ + ۱۴/۰۲x_۶) - (۱۷۸۴۸۷/۵)\right) / (۱۲۷۴۷/۶۶)$$

$$\lambda <= \left((۱۰۲۸۶۷۶x_۱ + ۳۵۳۰۶۳۰۵x_۲ + ۴۳۱۷۷۸۴x_۳ + ۹۰۵۱۳۷۷۳x_۴ + ۶۲۳۷۸۷۲۲x_۵ + ۱۰۲۸۶۷۶x_۶) - (۷۵۴۳۶۸۸۷۰۸/۵)\right) / (۷۹۰۳۳۰۷۵۴۸/۵)$$

$$۱۴/۱۱x_۱ + ۱۲/۷۳x_۲ + ۱۵/۰۵x_۳ + ۱۳/۱۲x_۴ + ۵/۱x_۵ + ۱۴/۰۲x_۶ <= ۱۹۱۲۳۵/۱۶$$

$$۱۴/۱۱x_۱ + ۱۲/۷۳x_۲ + ۱۵/۰۵x_۳ + ۱۳/۱۲x_۴ + ۵/۱x_۵ + ۱۴/۰۲x_۶ >= ۱۷۸۴۸۷/۵$$

$$۱۰۲۸۶۷۶x_۱ + ۳۵۳۰۶۳۰۵x_۲ + ۴۳۱۷۷۸۴x_۳ + ۹۰۵۱۳۷۷۳x_۴ + ۶۲۳۷۸۷۲۲x_۵ + ۱۰۲۸۶۷۶x_۶ <= ۱۵۴۴۶۹۹۶۲۶۰/۵$$

$$۱۰۲۸۶۷۶x_۱ + ۳۵۳۰۶۳۰۵x_۲ + ۴۳۱۷۷۸۴x_۳ + ۹۰۵۱۳۷۷۳x_۴ + ۶۲۳۷۸۷۲۲x_۵ + ۱۰۲۸۶۷۶x_۶ >= ۷۵۴۳۶۸۸۷۰۸/۵$$

C۱: $x_۱ >= ۸۷۶۲/۴۰۴$

C۲: $x_۱ < ۸۹۳۲/۰۵$

C۳: $x_۲ >= ۱۲۷۱/۱۸۲۳$

C۴: $x_۲ < ۱۳۸۹/۰۰۹$

C۵: $x_۳ >= ۱۴۰۰$

C۶: $x_۳ < ۲۸۱۰/۱۳۵۵$

C۷: $x_۴ >= ۹۹/۳۳۲$

C۸: $x_۴ < ۹۰۰$

C۹: $x_۵ >= ۸/۷۵۱۹$

C۱۰: $x_۵ < ۱۶$

C۱۱: $x_۶ <= ۹۵/۲۱۸$

C۱۲: $x_۱ + x_۲ + x_۳ + x_۴ + x_۵ + x_۶ = ۱۲۹۵۱/۸۰۱۹$

C۱۳: $\lambda, x_۱, x_۲, x_۳, x_۴, x_۵, x_۶ \geq ۰$

که در آن $x_۱$، $x_۲$، $x_۳$، $x_۴$، $x_۵$ و $x_۶$ متغیرهای تصمیم یا سطوح اختصاص یافته به هر یک از کاربری‌های اراضی مرتع، کشت آبی، کشت دیم، باغ، بیشه و جنگل برحسب هکتار هستند. C۱ تا C۱۳ محدودیت‌های مدل هستند و به‌ترتیب عبارتند از: حداقل سطح مراتع، حداکثر سطح مراتع، حداقل سطح کشت آبی، حداکثر سطح کشت آبی، حداقل سطح کشت دیم، حداکثر سطح کشت دیم، حداقل سطح باغات، حداکثر سطح باغات، حداقل سطح بیشه‌ها، حداکثر سطح بیشه‌ها، حداکثرسطح جنگل‌ها، مجموع سطح کل کاربری‌ها و محدودیت نامنفی بودن سطح کاربری‌ها. شرایط فعلی به‌عنوان حد پایین، شرایط معیار به‌عنوان حد بالا و میانگین آنها به‌عنوان سطح تمایل و در نتیجه مقدار فازی بودن در آرمان اول و دوم به‌ترتیب برابر $\Delta_۱ = ۳۰۵۹/۴۴$ و $\Delta_۲ = ۲۲۵۸۰۸۷/۸۷$ است. توابع عضویت استخراج شده به‌ترتیب برای آرمان اول ($G_۱$(goal ۱)) و آرمان دوم ($G_۲$(goal ۲)) به شکل زیر هستند:

$$\mu_۱(G_۱) = \begin{cases} ۱ & \text{if } G_۱ = ۱۹۱۲۳۵/۱۶ \\ ۰ & \text{if } G_۱ \leq ۱۷۸۴۸۷/۵ \\ \dfrac{(G_۱) - ۱۷۸۴۸۷/۵}{۱۲۷۴۷/۶۶} & \text{if } ۱۷۸۴۸۷/۵ \leq G_۱ \leq ۱۹۱۲۳۵/۱۶ \\ \dfrac{۲۰۳۹۸۲/۸۳ - (G_۱)}{۱۲۷۴۷/۶۶} & \text{if } ۱۹۱۲۳۵/۱۶ \leq G_۱ \leq ۲۰۳۹۸۲/۸۳ \\ ۰ & \text{if } G_۱ \geq ۲۰۳۹۸۲/۸۳ \end{cases}$$

و

$$\mu_۲(G_۲) = \begin{cases} ۱ & \text{if } G_۲ = ۱۵۴۴۶۹۹۶۲۶۰/۵ \\ ۰ & \text{if } G_۲ \leq ۷۵۴۳۶۸۸۷۰۸/۵ \\ \dfrac{(G_۲) - ۷۵۴۳۶۸۸۷۰۸/۵}{۷۹۰۳۳۰۷۵۴۸/۵} & \text{if } ۷۵۴۳۶۸۸۷۰۸/۵ \leq G_۲ \leq ۱۱۵۴۴۶۹۹۶۲۶۰/۵ \\ \dfrac{۲۳۳۵۰۳۰۳۷۹۵ - (G_۲)}{۷۹۰۳۳۰۷۵۴۸.۵} & \text{if } ۱۵۴۴۶۹۹۶۲۶۰/۵ \leq G_۲ \leq ۲۳۳۵۰۳۰۳۷۹۵ \\ ۰ & \text{if } G_۲ \geq ۲۳۳۵۰۳۰۳۷۹۵ \end{cases}$$

در شرایط بهینه مقدار آرمان اول برابر ۱۸۲۸۴۱/۲۵ تن فرسایش در سال و ۱۰۳۲۷۴۸۱۳۶۰۰ ملیارد ریال سود سالانه به‌دست آمد که به‌ترتیب حدود ۳۳ و ۴ درصد کم دستیابی را نشان می‌دهند. مقدار عضویت (λ) برای جواب بهینه برابر ۰/۳۵

جدول ۱. نتایج حل مدل و مساحت هر یک از کاربری ها در شرایط بهینه

متغیر تصمیم	کاربری اراضی	جواب مدل یا مساحت کاربری اراضی	متغیر تصمیم	کاربری اراضی	جواب مدل یا مساحت کاربری اراضی (هکتار)
x_1	مرتع	۸۷۶۲/۴	x_4	باغ	۴۱۲/۰۹
x_2	کشت آبی	۱۲۷۱/۱۸	x_5	بیشه	۸/۷۵
x_3	کشت دیم	۲۴۹۷/۳۷	x_6	جنگل	۰

جدول ۲. مشارکت کلی و هزینه‌های تقلیل یافته متغیرهای تصمیم در مدل

متغیر تصمیم	سهم یا مشارکت کلی		هزینه تقلیل	دامنه بهینگی	
	G۱(goal ۱) سطح آرمان:	G۲(goal۲) سطح آرمان:	یافته	حداقل (Cj)	حداکثر
x_1	۲۵۷۵۳۳/۵۶	۲۹۶۷۳	۰	۰/۰۰۰۰۶	$+\infty$
x_2	۱۲۸۲۳۰۶/۸۴	۳۸۸۳/۷۱	۰	۰/۰۰۰۱	$+\infty$
x_3	۳۰۷۰۱۳/۵۶	۸۹۸۹/۰۲	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۰۶
x_4	۱۰۸۸۲۵۶/۹۲	۱۳۲۵/۰۴	۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲
x_5	۱۵۵۹۸/۰۶	۱۰/۷۱	۰	۰/۰۰۰۵	$+\infty$
x_6	۰	۰	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۷	$+\infty$

به‌دست آمد. جدول (۱)، نتایج حل مدل با استفاده از روش سیمپلکس و مقادیر مساحت تخصیص یافته به هر یک از کاربری‌ها را در شرایط بهینه نشان می‌دهد.

استفاده از مدل بهینه می‌تواند موجب کاهش هدر رفت خاک تا حدود ۵۰۷۴/۳۸ تن در سال شود. به‌طور کلی استفاده از مدل بهینه موجبات توسعه اقتصادی اجتماعی را با افزایش ۳۷ درصدی درآمد و حفظ ارزش‌های زیست محیطی با کاهش ۱ درصدی در بار رسوب و ۲/۴ درصد در مقدار فرسایش فراهم می‌سازد.

در جدول (۲)، سهم یا مشارکت کلی هر یک از کاربری‌ها در هریک از آرمان‌ها، هزینه تقلیل یافته و دامنه بهینگی که حداقل و حداکثر تغییرات ممکن برای ضرایب تابع هدف را نشان می‌دهد آورده شده‌اند. دامنه بهینگی محدوده‌ای است که در آن متغیرهای تصمیم می‌توانند تغییر کنند ولی شرایط بهینگی برای مسئله حفظ می‌شود. مشارکت کلی یک متغیر تصمیم در تابع هدف برابر است با ضرب جواب نهایی آن متغیر در ضریب آن در تابع هدف. براساس این جدول، مراتع در آرمان اول و بیشه‌ها در آرمان دوم مشارکت بیشتری دارند. هزینه‌های تقلیل یافته عبارتند از مقدار تغییرات تابع هدف به‌ازای یک واحد تولید از یکی از متغیرهای غیر پایه بهینه که براین اساس به جز x_6 که مقدار هزینه تقلیل یافته غیر صفر دارد و یک متغیر غیر پایه است، بقیه متغیرها پایه هستند. هزینه تقلیل یافته بیشتر نشان‌دهنده بدتر بودن متغیر است و به عبارت دیگر هزینه تقلیل یافته یک متغیر به‌عنوان مقدار خسارتی که باید به‌ازای ورود یک واحد از آن متغیر درجواب پرداخت، تفسیر می‌شود. بنابراین در این مدل با توجه به شرایط موجود و در مجموع اضافه شدن جنگل به مدل منجر به خسارت خواهد شد. در جدول (۳)، خلاصه تحلیل انجام شده برروی محدودیت‌ها آورده شده است.

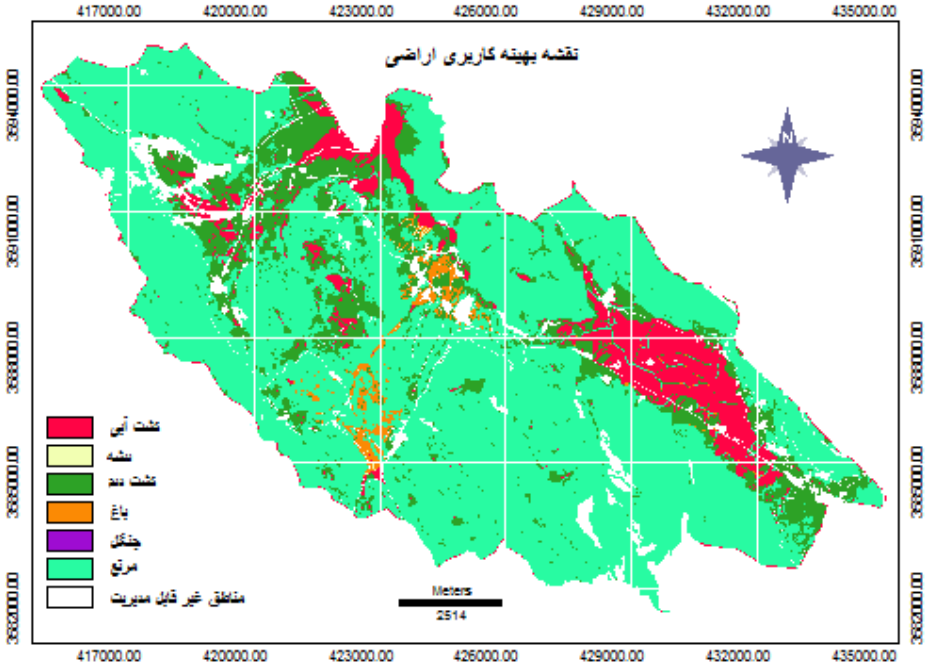
متغیرهای کاستی و فزونی برای تبدیل نامعادلات به معادله و برای حل مدل با استفاده از روش سیمپلکس استفاده می‌شوند. دامنه موجه بودن با مقادیر حداقل و حداکثر تغییرات ممکن

جدول ۳. خلاصه تحلیل انجام شده برروی محدودیت‌ها

محدودیت	متغیرهای کاستی و فزونی	دامنه موجه بودن		قیمت‌های سایه‌ای
		حداقل	حداکثر	
C۱	۰	۳۹۲/۵۲	۱۶۹/۶۴	-۰/۰۰۰۰۶
C۲	۱۶۹/۶۴	۱۶۹/۶۴	$+\infty$	۰
C۳	۰	۵۹۶/۲۳	۱۱۷/۸۲	-۰/۰۰۰۱
C۴	۱۱۷/۸۲	۱۱۷/۸۲	$+\infty$	۰
C۵	۱۰۸۸/۶۵	$+\infty$	۱۰۸۸/۶۵	۰
C۶	۳۲۱/۴۸	۳۲۱/۴۸	$+\infty$	۰
C۷	۳۲۱/۴۷	$+\infty$	۳۲۱/۴۷	۰
C۸	۴۷۹/۱۹	۴۷۹/۱۹	$+\infty$	۰
C۹	۰	۸/۷۵	۷/۲۴	-۰/۰۰۰۵
C۱۰	۷/۲۴	۷/۲۴	$+\infty$	۰
C۱۱	۹۵/۲۱	۹۵/۲۱	$+\infty$	۰

برای مقادیر سمت راست محدودیت‌ها تعریف می‌شود و در واقع محدوده‌ای است که مقادیر سمت راست می‌توانند در آن تغییر کنند ولی شرایط موجه یا شدنی بودن برای متغیرهای پایه و مسئله حفظ شود. قیمت‌های سایه‌ای مقدار تغییرات تابع هدف را به‌ازای افزایش ۱ واحد مقادیر سمت راست محدودیت‌ها نشان می‌دهند. براساس جدول (۳)، برای محدودیت‌های: C۲، C۴، C۵، C۶، C۷، C۸، C۱۰ و C۱۱ قیمت‌های سایه‌ای برابر صفر است و افزایش یک واحدی مقادیر سمت راست موجب حداکثر کاهش با مقداری برابر در تابع هدف برای همه محدودیت‌ها می‌شود. اما محدودیت‌های ۳، ۹ و ۱ به‌ترتیب دارای مقادیر قیمت سایه‌ای بیشتری هستند و موجب حداکثر کاهش در مدل می‌شوند. برای انجام تحلیل حساسیت برروی ضرایب تابع هدف، یکی از ضرایب تابع هدف ۵ درصد افزایش داده شد در حالی که سایر ضرایب ثابت نگه داشته شدند. این کار برای همه ضرایب انجام شد و اثر تغییرات هر کدام از ضرایب برروی مقدار تابع هدف بررسی شد، هر کدام از ضرایب که بیشترین تغییر را برروی مقدار تابع هدف موجب شدند به‌عنوان حساس‌ترین ضریب انتخاب شدند.

نتایج انجام تحلیل حساسیت برروی ضرایب تابع هدف نشان می‌دهد که C۱ و C۲ مهم‌ترین ضرایب مدل هستند و تغییرات آنها سبب تغییرات بیشتری در جواب مسئله می‌شود. به‌طوری که وقتی مقدار C۱، ۵ درصد افزایش یابد، مقدار بار رسوب ۳ درصد افزایش می‌یابد. و این به‌دلیل این است که مراتع بیشترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند و ضریب تولید فرسایش نیز در این کاربری بعد از ضریب تولید فرسایش در اراضی کشت دیم، بزرگترین ضریب است. وقتی c۲، ۵ درصد افزایش یابد مقدار سود ۲ درصد افزایش می‌یابد. و دلیل آن هم بزرگ بودن ضریب بهره‌وری سود و مساحت اختصاص یافته به اراضی کشت آبی است که در مجموع سبب می‌شود این اراضی نسبت به دیگر کاربری‌ها در شاخصه سود موثرتر باشند. شکل (۳)، نتیجه انجام بهینه‌سازی مکانی و محل قرار گیری کاربری‌های اراضی در شرایط بهینه را نشان می‌دهد. دلیل این شکل (۳) با استفاده از نرم‌افزار ادریسی به‌دست آمده است. در شرایط بهینه و مطابق شکل (۲)، مراتع بیشترین سطح را در بر می‌گیرند، اراضی کشت دیم بیشتر در حواشی اراضی کشت آبی قرار می‌گیرند و بیشه و جنگل به‌ترتیب با حدود ۸/۷۵ و صفر هکتار



شکل ۳. نقشه بهینه کاربری اراضی حوزه آبخیز چلگرد

مساحت، کمترین سطح را شامل می‌شوند. با مقایسه موقعیت مکانی کاربری‌های اراضی در حالت بهینه شکل (۳) و در حالت معیار شکل (۲) نسبت به شرایط فعلی شکل (۱) جابه‌جایی‌های مکانی رخ داده مشخص می‌شوند.

در این تحقیق، مشابه با کار تحقیقاتی پال و همکاران، از برنامه‌ریزی آرمانی فازی در شرایطی که محدودیت‌ها قطعی و اهداف فازی هستند استفاده شده است (۲۴). نتایج هر دو تحقیق نشان می‌دهد که مدل مذکور شرایط تعیین اهمیت اهداف را برای تصمیم گیرندگان فراهم می‌کند و با شرایط حاکم بر محیط‌های کشاورزی و منابع طبیعی سازگارتر است. همچنین، مشابه با نتایج تحقیق اسدپور و همکاران، این نتیجه حاصل شد که این مدل با ایجاد انعطاف پذیری در آرمان‌ها سبب می‌شود که منابع به نحوه بهتری تخصیص یابند (۲). به‌علاوه مانند نتایج تحقیقات هان و همکاران، فوکس و مسر و امینی، نویسندگان به این نتیجه رسیدند که مدل‌های GP و FGP از نظر تصمیم گیرندگان انعطاف پذیری لازم برای ملاحظه فاکتورهای اکولوژیکی، سیاسی، اجتماعی- اقتصادی و زیست محیطی را دارند (۴، ۱۵ و ۱۶). مشابه با نتایج تحقیق شایگان و همکاران، مشخص شد که بهینه‌سازی موجب افزایش درآمد و کاهش خسارات زیست محیطی می‌شود (۸). برخی محققین مانند اکبری و زاهدی کیوان از ترکیب برنامه‌ریزی خطی معمولی با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی برای بهینه‌سازی الگوی کشت استفاده کرده‌اند و نتایج را سازگار با شرایط واقعی دانسته‌اند (۳). در این تحقیق علاوه بر تعیین مساحت بهینه کاربری‌های اراضی، محل بهینه آنها هم با استفاده از روش تخصیص چند هدفه اراضی تعیین شده است که منجر به افزایش کارایی و کاربردی شدن نتایج تحقیق به نحوه بهتری شده است.

نتیجه‌گیری

مدل بهینه ارائه شده با توجه به فازی بودن و انعطاف‌پذیری و درنظر گرفتن اهداف بهره برداران و تصمیم‌گیران، ضمن محاسبه سطوح بهینه کاربری‌های اراضی، محل بهینه قرار گرفتن آنها را مشخص کرده و با توجه به اینکه موجب افزایش درآمد

و کاهش خسارات زیست محیطی می‌شود یک مدل کارآمد است. محققان پیشنهاد می‌دهند که از مدل‌های جدید پیشنهادی به‌عنوان معیارهایی برای استفاده از زمین در حوضه استفاده شود. مطالعات مربوط به بهینه‌سازی کاربری اراضی در سایر نقاط ایران با اقالیم و شرایط فیزیکی متفاوت، که چنین مطالعه‌ای برای آنها صورت نگرفته، انجام شود. همچنین هرگونه انجام واگذاری زمین از سوی مدیران اداره منابع طبیعی و تبدیل کاربری اراضی از سوی بهره‌برداران در منطقه مورد مطالعه، منطبق بر نتایج مستخرج از این تحقیق صورت گیرد. به‌علاوه محققان همانند برخی بهره‌برداران حوضه، بهترین راه برای اصلاح تدریجی کاربری‌های اراضی را شیوه اگروفارستری می‌دانند. بنابراین پیشنهاد می‌شود هم در زمین‌های کشت آبی و هم در زمین‌های کشت دیم (با کاشت گونه‌های درختی مانند بادام دیم) از این شیوه جهت تغییر تدریجی کاربری اراضی استفاده شود.

منابع مورد استفاده

۱. اداره کل منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری. ۱۳۸۳. گزارش نهایی مطالعات تفضیلی حوزه آبخیز چلگرد.

۲. اسدپور، ح.، ص. خلیلیان و غ. پیکانی. ۱۳۸۴. نظریه و کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی آرمانی فازی در بهینه‌سازی الگوی کشت، اقتصاد کشاورزی و توسعه ویژه‌نامه بهره‌وری و کارایی ۳۰۹: ۳۳۸-۳۰۷.

۳. اکبری، ن و م. زاهدی کیوان. ۱۳۸۶. منطق فازی و کاربرد آن در یافتن الگوی مناسب کشت محصولات زراعی در یک مزرعه، فصلنامه اقتصاد کشاورزی ۱(۲): ۳۵-۱۳.

۴. امینی، ع. ۱۳۹۱. برنامه‌ریزی و تخصیص بهینه منابع تولید کشاورزی در شرایط عدم قطعیت کاربرد رهیافت چندهدفه برنامه‌ریزی آرمانی فازی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی ۲۴(۳): ۱۲۸-۱۰۷.

۵. پژوهش، م.، م. گرجی، م. طاهری، ف. سرمدیان، ج. محمدی و ح. صمدی بروجنی. ۱۳۹۰. اثر کاربری اراضی مختلف حوضه سد زاینده رود علیا در تولید رسوب با استفاده از GIS، مجله پژوهش آب ایران ۵(۸): ۱۵۲-۱۴۳.

۶. داودی راد، ع. ا.، س. ح. ر. صادقی و ا. سعدالدین. ۱۳۹۴. پایش تغییرات دوره ای و مکانی استفاده از سرزمین در حوضه آبخیز شازند، مجله اکوهیدرولوژی ۲(۴): ۴۱۵-۴۰۵ .

۷. راعی جدیدی، م و م. صبوحی صابونی. ۱۳۸۸. برنامه‌ریزی زراعی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه فازی، مجله دانش کشاورزی پایدار ۲۰/۲(۱): ۲۱-۱۱.

۸. شایگان، م.، ع. علیمحمدی و ع. منصوریان. ۱۳۹۲. بهینه‌سازی ترکیبی چندهدفه تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم نیل به مقصود و MOLA، سنجش از دور و GIS ایران ۵(۱): ۱۲-۱.

9. Abubakar, A. M., N. G. Efron and O. A. Joseph. 2012. Remote sensing and gis based predictive model for desertification early warning in north eastern Nigeria, NED University. J. Res. IX(1): 1: 1-14.
10. Benjamin, M. 2001. Land use conflicts resolution in a fragile ecosystem using multi-criteria evaluation (MCE) and a gis-based decision support system (DSS), International Conference on Spatial Information for Sustainable Development, 2-5 October, Nairobi, Kenya.
11. Biswas, A. and B. B. Pal. 2005. Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system. Omega. J. 33: 391-398.
12. Briassoulis, H. 2000. Analysis of Land Use Change: Theoretic Approaches, http://www.rri.wvu.ed1/WebBook/Briassoul is.htm.
13. Eastman, J. R., T. James, A. Weigen, A. Peter and K. Kyem. 1995. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 61(5): 539-547.
14. Evelyn, O. B. 2009. Utilizing geographic information system (GIS) to determine optimum forest cover for

minimizing runoff in a degraded watershed in Gamaica, International Forestry Review, 11(3): 375-393.
15. Fooks, J. R. and K. D. Messer. 2012. Maximizing conservation and in-kind cost share: applying goal programming to forest protection, J. Forest Economics 18: 207–217
16. Han, Y., Y. F. Huang, G. Q. Wang and I. Maqsood. 2011. A multi-objective linear programming model with interval parameters for water resources allocation in Dalian city, Water Resour. Manage. 25: 449–463.
17. Haregeweyn, N., A. Berhe, A. Tsunekawa, M. Tsubo and D. Tsegaye Meshesha. 2012. Integrated watershed management as an effective approach to curb land degradation: a case study of the Enabered watershed in northern Ethiopia, Environ. Manage. 50: 1219–1233.
18. http://watershedmg.com/
19. http://www.conservation-ontario.on.ca/what-we-do/what-is-watershed-management/integrated-watershed-management.
20. Jereon, M., V. R. Anton, Q. Tim, M. Manuel, P. Christian and A. Dominique. 2013. Predicting future spatial distribution of SOC across entire France, Geophysical Res. Abstracts 15: 1P.
21. Liu, Y., L. Jiao, Y. Liu and J. He. 2013. A self-adapting fuzzy inference system for the evaluation of agricultural land, Environ. Modelling & Software J. 40: 226-234.
22. Memarian, H., S. K. Balasundram, K. C. Abbaspour, J. B. Talib, C. T. B. Sung and A. M. Sood. 2015. Integration of analytic hierarchy process and weighted goal programming for land use optimization at the watershed scale, Turkish, J. Eng. and Environ. Sci. 38(2): 139-158.
23. Mohammadi, M., M. Nastaran and A. Sahebgharani. 2015. Sustainable spatial land use optimization through non-dominated sorting genetic algorithm-II (NSGA-II): (case study: Baboldasht district of Isfahan), Indian J. Sci. Technol. 8(3): 118–129.
24. Pal, B. B., B. N. Moitra and U. Maulik. 2003. A goal programming procedure for fuzzy multi-objective linear fractional programming problem. Fuzzy Sets and Systems 139: 395-405.
25. Rockstrom, J and L. Karlberg. 2010. Managing water in rain-fed agriculture - The need for a paradigm shift, Agric. Manage. Water, 97(4): 543–550.
26. Tiwari, R. N., S. Dhamer and J. R. Rao. 1986. Priority structure in fuzzy goal programming, Fuzzy Sets Syst. 19: 251-259.
27. Wani, S. P. and K. K. Garg. 2009. Watershed management concept and principles, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru 502324, Andhra Pradesh, India, 11P.

J. Water and Soil Sci (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 21, No. 4, Winter 2018, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

Watershed Management through Land use Optimization Using Mathematical and Spatial Optimization Approaches

A. Honarbakhsh[1]*, M. Pajoohesh[1], M. Zangiabadi[2] and M. Heydari[1]

(Received: March 05-2016 ; Accepted: April 19-2017)

Abstract

Nowadays, human interferences in the natural resources cause the loss of these resources and lead to destructive floods, soil erosion and other various environmental, economic and social damages. Furthermore, increasing growth of population and climate change intensify the destructions. Thus management and planning through land use optimization is essential for the proper utilization, protection and revival of these resources. The purpose of this study is to couple the fuzzy goal programming and multi objective land allocation optimization approaches to develop a model for watershed management and planning in Chelgerd watershed. The proposed model is based on optimum area determination in various land uses and also their optimum local situation. In this research, a fuzzy model has been proposed. In this model, minimizing the amount of soil erosion and maximizing the amount of profit are priorities, respectively. Moreover, production resources including water and land as well as economic and social problems are limitations of the mentioned model. Results obtained show that the proposed model is an efficient model in land use optimization and sustainable area development and can increase profit to 37% and decrease sedimentation to 2.4%, respectively.

Keywords: Fuzzy Goal Programming, Multi Objective Land Allocation, Sustainable Development, Watershed Management.

1. Dept. of Watershed Manage., Faculty of Natural Resour. and Earth Sci., Univ. of Shahrekord., Shahrekord, Iran.
2. Dept. of Applied Math, Faculty of Basic Sci., Univ. of Shahrekord, Shahrekord, Iran.
*: Corresponding Author, Email: afshin.honarbakhsh@gmail.com