

مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۲/۲۳

ص ۱۸۱-۱۹۵

بهینه‌سازی کاربری اراضی به منظور کمینه‌سازی فرسایش خاک و پیشینه‌سازی سود در بخشی از حوضه آبخیز طالقان^۱

- ❖ مهدی وفاخواه؛ دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
- ❖ محسن محسنی ساروی؛ استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ حسن احمدی؛ استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

بهینه‌سازی کاربری اراضی یکی از راهکارهای مناسب برای حفاظت خاک است. از این رو، تحقیق حاضر با هدف بهینه‌سازی کاربری اراضی به منظور کمینه‌کردن فرسایش و پیشینه‌سازی سود در حوضه آبخیز طالقان با مساحت ۸۰۴۲۷٫۲۳ هکتار انجام شد. بدین منظور، با محاسبه مساحت، میزان فرسایش، و درآمد خالص هر یک از کاربری‌های اراضی حوضه آبخیز مورد تحقیق، با توجه به استانداردهای مورد نیاز هر یک از کاربری‌های اراضی، سطح هر یک از کاربری‌ها استخراج و با تعیین محدودیت‌ها و دو تابع هدف با استفاده از نرم‌افزار ADBASE بهینه‌سازی شد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد میزان فرسایش از ۶٫۲۸ تن در هکتار در سال به ۵٫۸۴ تن در هکتار در سال (۶٫۹۹ درصد) و میزان سود از ۱۱۸۱۷۴٫۳۸ به ۱۱۲۶۸۱٫۰۲ میلیون ریال (۴٫۶۵ درصد) پس از بهینه‌سازی کاربری اراضی کاهش یافته است. همچنین، بر اساس نتایج، پیشنهاد می‌شود اراضی با کاربری دیم به اراضی با کاربری زراعت آبی و باغ و مرتع تبدیل شود.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی، کاربری اراضی، طالقان، فرسایش خاک، مدل ADBASE

۱. اعتبار این تحقیق از محل اعتبار قطب علمی مدیریت پایدار حوضه‌های آبخیز به شماره طرح ۱۳۸۶/ق/۷ مورخ ۱۳۸۹/۷/۹ تأمین شده است.

مقدمه

شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱، و سامانه اطلاعات جغرافیایی بود. نتایج این تحقیقات نشان داد تهیه سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری بر پایه استفاده از رایانه به منظور مدیریت حوضه‌های آبخیز موفقیت‌آمیز است. سیاست کنونی کاربری اراضی و طرح‌های کشاورزی در لائوس انتقادآمیز است و تصمیم مناسب بر اساس شرایط دولت با تأکید بر روابط اجتماعی محلی انجام می‌گیرد [۴].

مدل بهینه‌سازی چندهدفی بر اساس توابع هدف خطی و درجه دوم سهمی با محدودیت‌های دودویی و چندوجهی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در شهر مونتگومری ایالت مریلند به کار برده شد. نتایج نشان داد بهینه‌سازی منطقه مورد مطالعه از نوع درجه دوم سهمی است [۸]. برای تحقیق درباره تأثیر فرسایش خاک بر کیفیت آب از شبیه‌سازی حوضه آبخیز و بهینه‌سازی با عدم قطعیت‌های متعدد در حوضه آبخیز Swift Current Creek در کشور کانادا استفاده شد. از بهینه‌سازی و شبیه‌سازی به طور موفقیت‌آمیزی با فرض رابطه خطی بین نتایج شبیه‌سازی و متغیرهای تصمیم در بهینه‌سازی استفاده شد [۱۶]. بهینه‌سازی کاربری اراضی در مقیاس حوضه آبخیز کوچک برای کنترل فرسایش بر اساس نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۶۶، ۱۹۸۸، ۱۹۹۷، و ۲۰۰۳ و نقشه توپوگرافی سال ۱۹۸۴ در حوضه آبخیز Yangou به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی خصوصیات پایه و عوامل مؤثر در تغییر کاربری اراضی در جلگه لسی در کشور چین انجام شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد کاهش خسارت رسوب‌گذاری بیشتر از ۸۰ درصد است و میزان

امروزه، جوهره علم مدیریت در مدل‌سازی متجلی است و روش‌های برنامه‌ریزی در راستای تخصیص بهینه منابع کمیاب برای به دست آوردن منافع بیشتر از مهم‌ترین ابزارهای کاربردی علم مدیریت به شمار می‌رود. تصمیم‌گیران در برنامه‌ریزی کشاورزی و منابع طبیعی، در مقایسه با بخش صنعت، معمولاً، با بهینه‌کردن هم‌زمان چندین هدف مواجه‌اند [۱۸]. از آنجا که فرسایش خاک یکی از معیارهای اساسی و، در واقع، نمایانگر برآیند کنش و واکنش عوامل مؤثر در حوضه آبخیز است، کاهش میزان فرسایش می‌تواند مهم‌ترین هدف مدیریتی در برنامه‌ریزی حوضه‌های آبخیز باشد [۲۰].

مطالعه موردی در منطقه Mahi Command در هند، به منظور حداکثرسازی تولید و سود، با به‌کارگیری برنامه‌ریزی بهینه کشت نشان داد برنامه‌ریزی کشت در سطح منطقه موجب افزایش تولیدات از ۶۰ تا ۹۶ درصد و برگشت خالص از ۲۳ تا ۲۶ درصد شد. نیز، برای اجرای برنامه کشت بهتر و تولید بیشتر تأسیس شرکت‌های تعاونی توصیه شد [۲۵]. بهینه‌سازی کاربری اراضی در دو منطقه در کشور انگلستان [۲۴]، در یکی از حوضه‌های آبخیز کوهستانی در شمال تایلند [۲۳]، در کشور آلمان [۱۴]، در حوضه آبخیز Lake Erhai در کشور چین [۲۸]، در آفریقای جنوبی [۱۵]، و با استفاده از داده‌های واقعی سد Berembed بر روی رودخانه Murrumbidgee در کشور استرالیا [۲۹] انجام شد. هدف از اجرای این تحقیقات بررسی حالات مختلف استفاده از اراضی با به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی،

برنامه‌ریزی خطی تشکیل شد و تخصیص زمین و سایر نهاده‌های مرتبط با آن به کمک برنامه‌ریزی خطی انجام و تفسیر شد. هدف از تحقیق حاضر تعیین بهترین کاربری اراضی به منظور کاهش میزان فرسایش خاک در حوضه آبخیز طالقان در استان تهران است.

روش‌شناسی

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین عرض جغرافیایی $36^{\circ}05'30''$ تا $36^{\circ}11'15''$ شمالی و طول جغرافیایی $50^{\circ}45'00''$ تا $51^{\circ}11'22''$ شرقی واقع شده است. منطقه مورد تحقیق بخشی از حوضه آبخیز طالقان به مساحت $80427,23$ هکتار است و خروجی آن نزدیک روستای گلینک در محل ایستگاه آب‌سنجی است. این بخش شامل سراب حوضه آبخیز طالقان و بخشی از حوضه آبخیز میانی آن است. بخش مورد مطالعه به طور عمده کوهستانی است؛ حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب 4400 و 1790 متر از سطح دریاست. ارتفاع متوسط منطقه نیز 2734 متر از سطح دریاست. بررسی مسائل اجتماعی حوضه گویای آن است که در حوضه مذکور 60 روستای دارای سکنه با 18244 نفر جمعیت وجود دارد [۱۰].

روش تحقیق

به منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه آبخیز طالقان به اطلاعاتی درباره میزان فرسایش خاک در هر کاربری اراضی، کاربری اراضی کنونی، خصوصیات خاک، تندی شیب، میزان آب و دسترسی به آن، و

پوشش گیاهان دائمی به $61,03$ درصد می‌رسد. میزان درآمد در سال 2006 ، نسبت به سال 1998 ، به 1493 یوان افزایش خواهد یافت. نتایج این تحقیق را می‌توان در جلگه لسی به کار برد [۳۰]. در ایران، مدل بهینه‌سازی برای کاهش تأثیرات محیطی و اقتصادی فرسایش خاک- که ناشی از مدیریت نامناسب فعالیت‌های کاربری اراضی است- در یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز دماوند و حوضه آبخیز بریموند واقع در استان کرمانشاه انجام شد. نتایج تحقیقات در منطقه مورد مطالعه دلالت بر کاهش تولید رسوب به ترتیب به میزان 5 و $7,78$ درصد و افزایش سود سالانه به میزان 134 و $118,62$ درصد دارد [۱۱، ۱۹]. الگوی بهینه بهره‌برداری از منابع حوضه‌های آبخیز با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی^۱ در زیرحوضه آبخیز گرمابدشت، از زیرحوضه‌های قره‌سو در استان گلستان، تعیین شد. در این پژوهش اولویت‌بندی بر اساس اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی، و اجتماعی به طور جداگانه صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد الگوی پیشنهادی بر اساس دیدگاه اقتصادی، نسبت به دیگر دیدگاه‌ها، برتری نسبی دارد [۱۸]. سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری در مراتع چادگان برای توضیح پتانسیل آن، به منزله ابزار تصمیم‌گیری، با استفاده از سناریوهای متفاوت به کار برده شد. نتایج نشان داد سناریوی منتخب حداکثر پوشش گیاهی در حالتی است که با بیشترین درآمد و ظرفیت دام و پایین‌ترین کمک مالی همراه باشد [۵]. با توجه به پیشینه تحقیق ارائه شده در خارج و داخل کشور، با هدف دستیابی به بازده بهینه اقتصادی، مدل تخصیص منابع در

در منطقه، با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و پس از رقومی کردن خطوط منحنی میزان ۱۰۰ متری در مناطق کوهستانی و ۲۰ متری در مناطق دشتی، نقشه شیب تهیه شد. نقشه شیب در هشت طبقه (کمتر از ۲، ۲-۵، ۵-۸، ۸-۱۲، ۱۲-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۶۵، و بالای ۶۵ درصد) و بر اساس استانداردهای مورد نیاز برای کاربری‌های مختلف [۲]، ۲۲] تهیه شد؛ به طوری که برای اراضی کشاورزی آبی حداکثر شیب مجاز ۸ درصد، برای اراضی با کشاورزی دیم حداکثر شیب مجاز ۱۵ درصد، و شیب‌های بیشتر از آن به کاربری مرتع و باغات در حوضه آبخیز اختصاص یافت.

خصوصیات خاک

یکی دیگر از نقشه‌های مورد نیاز در این تحقیق نقشه عمق خاک بود. این نقشه نیز با استفاده از نقشه اجزای واحد اراضی، پروفیل‌های حفر شده در منطقه، و اطلاعات پروفیل‌های شاهد در منطقه در هر واحد اراضی تهیه شد [۱۰]. سپس، نقشه به دست آمده، پس از رقومی شدن و اصلاح خطا برای استفاده به محیط Arc/GIS انتقال یافت. عمق خاک مناسب نیز با توجه به معیارهای مورد نیاز برای کشت و کار در اراضی کشاورزی دسته‌بندی شد و در نقشه مربوط به عمق خاک با توجه به چهار گروه عمق خاک - بسیار عمیق (بیشتر از ۱۰۰ سانتی‌متر)، عمیق (۶۰ - ۱۰۰ سانتی‌متر)، متوسط (۳۰ - ۶۰ سانتی‌متر)، و کم عمق (کمتر از ۳۰ سانتی‌متر) دسته‌بندی شد. در حوضه آبخیز طالقان خاک‌ها در دو گروه بسیار عمیق و کم عمق قرار می‌گیرند [۱۰].

پس از تهیه همه نقشه‌های مورد نیاز، نقشه شیب،

میزان سود و هزینه هر کاربری اراضی نیاز بود. بدین منظور، این اطلاعات در تحقیق حاضر طی مراحل زیر استخراج شد.

اطلاعات فرسایش

برآورد و تخمین میزان فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف حوضه آبخیز طالقان با استفاده از روش EPM و کاربرد تحقیقات انجام شده در حوضه آبخیز طالقان [۱۷] محاسبه شد. بدین صورت که پس از بررسی پارامترهای مختلف در روش EPM، برای هر کاربری اراضی در محدوده حوضه آبخیز طالقان میزان فرسایش در کاربری‌های مختلف با استفاده از روش EPM به دست آمد. سپس، از سهم و میزان فرسایش ناشی از تأثیر کاربری‌ها در حوضه آبخیز، به عنوان ضرایب فرسایشی هر کاربری در تابع هدف مدل برنامه‌ریزی خطی، استفاده شد.

کاربری اراضی موجود

کاربری اراضی موجود در حوضه آبخیز با استفاده از تصویر ماهواره لندست سنجنده ETM+ سال ۱۳۸۰ در حوضه آبخیز طالقان تهیه شد. سپس، با مراجعه به حوضه آبخیز و کنترل میدانی، اطلاعات استخراج شده با شرایط و واقعیات موجود در حوضه آبخیز تطبیق داده شد و اصلاحات لازم صورت گرفت. پس از اصلاح خطا و رفع اشکالات موجود به محیط Arc/GIS انتقال یافت.

تندی شیب

در این مرحله هم‌زمان با نقشه کاربری اراضی موجود

حوضه آبخیز طالقان محدودیتی وجود ندارد. محاسبات اقتصادی هر کاربری اراضی نیز با پُر نمودن پرسش‌نامه‌ای ویژه برای هر یک از کاربری‌های حوضه آبخیز طالقان به منظور دستیابی به اطلاعات بهنگام از فرایند تولید، نحوه تخصیص منابع و نهاده‌گذاری، هزینه‌ها و درآمدهای ناشی از آن، و تقویم سالانه هر فعالیت انجام گرفت. جمع‌آوری اطلاعات به‌هنگام با استفاده از پرسش‌نامه و به شیوه پاسخ‌های باز^۱ صورت گرفت و پرسشگر از ارائه پاسخ معین به خانوار نمونه خودداری کرد. با در نظر گرفتن همه شرایط و محدودیت‌هایی که در بالا ذکر شد، به منظور به‌دست آوردن کاربری بهینه اراضی برای دستیابی به اهداف مورد نظر تحقیق به فرمول‌بندی مسئله اقدام شد.

برآورد خسارت فرسایش در کاربری‌های مختلف اراضی

با توجه به اینکه در منطقه مورد تحقیق هیچ تحقیقی پیرامون ارزیابی اقتصادی هدررفت‌های ناشی از فرسایش و رسوب صورت نگرفته است، این هدررفت‌ها به طور غیرمستقیم و با بررسی و سنجش هدررفت خاک حاصل‌خیز محاسبه شد.

در این زمینه، خسارت ناشی از فرسایش خاک، با توجه به سطح فرسایش یافته خاک در منطقه ریشه در هر کاربری مشابه تحقیق [۱۹] محاسبه شد؛ به این نحو که عمق خاک فرسوده شده در هر نوع کاربری اراضی با توجه به میزان فرسایش در آن کاربری و عمق ریشه پوشش گیاهی و نیز وزن مخصوص خاک [۱۰] و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

عمق خاک، و کاربری اراضی موجود با هم تلفیق شد و نقشه توزیع کاربری در شیب‌ها و عمق‌های مختلف خاک در منطقه به‌دست آمد و نتایج استخراج شد. در این مرحله، با به‌دست آوردن شرایط خاک و شیب هر کاربری، شرایط لازم و استاندارد مورد نظر برای کاربری‌های مختلف در اختیار است. تنها مسئله موجود مربوط می‌شود به وجود یا نبود آب و دسترسی به آن، تا بتوان در امکان استفاده از یک کاربری با ویژگی‌های خاص خود با در نظر گرفتن سایر شرایط و محدودیت‌ها اظهار نظر کرد. بنابراین، برای تصمیم‌گیری درباره واحدهایی که از شرایط استاندارد برای کاربری خاصی برخوردار بودند قابلیت دسترسی به آب مدنظر قرار گرفت و درباره آن اظهار نظر شد، مثلاً واحدهی که دارای شرایط استاندارد شیب و عمق خاک کافی برای کشاورزی آبی است، اما قابلیت دسترسی به آب را ندارد، از آن نمی‌توان به عنوان واحد مناسب برای کشت آبی استفاده کرد و کاربری دیگری برای آن در نظر گرفته می‌شود. به منظور محاسبه آب مورد نیاز شرب، تعداد انسان و رأس دام با استفاده از مطالعات اقتصادی و اجتماعی گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران [۱۰] به‌دست آمد. نیاز آبی بخش کشاورزی نیز، با توجه به محصولات مختلف باغی و مساحت اختصاص یافته به هر محصول در کاربری باغ، با استفاده از میزان تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه مورد مطالعه [۹] و ضرایب گیاهی [۶، ۷] محاسبه شد. اطلاعات و داده‌های منابع آب نیز از مطالعات هیدرولوژی و منابع آب گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران [۱۰] استخراج شد. با توجه به ارزیابی‌های به‌عمل آمده، از نظر میزان آب در

1. open questionnaires

تجزیه و تحلیل حساسیت با بررسی تأثیر تغییر در منابع به دلیل قابلیت تنظیم مقادیر آن‌ها در مقایسه با دیگر پارامترهای مدل شروع شد. تفسیر اقتصادی تغییرات ایجادشده در توابع هدف با استفاده از معیار ارزش سایه $[20]^*$ و همچنین نسبت تغییرات ایجادشده در آن‌ها نسبت به حالت بهینه صورت پذیرفت و، در نهایت، پارامتر حساس شناسایی شد.

نتایج

تعیین محدودیت‌های موجود در حوضه آبخیز

طالقان

با توجه به استانداردهای ارائه شده برای کاربری‌های مختلف، جدول پراکنش هر کاربری در طبقات مختلف شیب (جدول ۱)، عمق‌های مختلف خاک (جدول ۲)، و نیز در عمق‌های مختلف خاک و کلاس‌های متفاوت شیب (جدول ۳) به دست آمد.

(۱) = سطح اراضی ازدست‌رفته (m^2/ha)

میزان فرسایش (t/ha)

وزن مخصوص خاک (t/m^3) × عمق ریشه (m)

ارزش اقتصادی خاک فرسوده هر کاربری پس از محاسبه سود خالص برای هر کاربری از حاصل ضرب عدد محاسبه شده از رابطه ۱ در سود خالص هر کاربری پس از تبدیل واحدهای لازم به دست آمد.

برنامه ریزی خطی

با توجه به خطی بودن توابع هدف، برنامه ریزی خطی چندهدفی انتخاب شد. نیز با توجه به اینکه روش سیمپلکس نیازی به تبدیل بهینه سازی چندهدفی به نوع یک‌هدفی ندارد، روش سیمپلکس انتخاب شد [۳، ۱۳]. بدین منظور، در منطقه مورد تحقیق از مدل ADBASE^۱، که شرایط و ویژگی‌های ذکر شده را داراست، استفاده شد [۲۶، ۲۷].

جدول ۱. پراکنش کاربری‌های موجود در حوضه آبخیز طالقان در طبقات مختلف شیب (هکتار)

شیب (%)	زراعت آبی و باغ	مرتع	کشت دیم	توده سنگی	کل
۲-۰	۲۹۸،۵۷	۲۴۹،۵۷	۵۰۳،۵۳	۱۲،۰۶	۱۰۶۴،۷۴
۵-۲	۶۴،۳۳	۱۲،۹۲(۵)	۲۷،۰۷	۰	۱۰۵،۳۱
۸-۵	۲۶،۳۶	۰	۱۶،۶۶	۰	۴۳،۰۳
۱۲-۸	۳۰،۰۳	۱۵،۷۷	۳۵،۰۹	۰	۸۰،۸۹
۱۵-۱۲	۰	۳۱،۶۶	۱۰،۴۶	۰	۴۲،۲۵
۳۰-۱۵	۳۰،۱۰	۲۷۴،۴۴	۴۴۲،۱۳	۰	۷۴۶،۶۷
۶۵-۳۰	۱۳۱۶،۷۶	۵۱۷۵۴،۲۷	۵۹۱۹،۷۹	۱۴۴۶،۴۰	۶۰۴۸۱،۳۲
>۶۵	۲۳۹،۷۹	۱۵۹۷۹،۳۷	۹۰۰،۳۵	۸۱۵،۷۲	۱۷۹۴۴،۳۳
کل	۱۹۷۸،۹۷	۶۸۳۱۹	۷۸۵۵،۰۸	۲۲۷۴،۱۸	۸۰۴۲۷،۲۳

1. A Well Developed Sequential Software
2. Shadow Price

* حداکثر قیمتی که مدیر برای واحد منابع محدود در دسترس مایل است بپردازد.

جدول ۲. پراکنش کاربری‌های حوضه آبخیز در کلاس‌های مختلف عمق خاک (هکتار)

عمق خاک	زراعت آبی و باغ	مرتع	کشت دیم	توده سنگی	کل
کم عمق	۵۳۵,۴۹	۶۶۳۰۷,۴۶	۳۱۶۳,۷۶	۲۲۷۴,۱۸	۷۲۲۸۰,۸۹
بسیار عمیق	۱۴۴۳,۴۸	۲۰۱۱,۵۴	۴۶۹۱,۳۲	۰	۸۱۴۶,۳۴
کل	۱۹۷۸,۹۷	۶۸۳۱۹	۷۸۵۵,۰۸	۲۲۷۴,۱۸	۸۰۴۲۷,۲۳

جدول ۳. پراکنش کاربری‌های موجود در حوضه آبخیز طالقان در کلاس‌های مختلف شیب و عمق خاک

ردیف	نوع کاربری	شیب	عمق	مساحت	ردیف	نوع کاربری	شیب	عمق	مساحت
۱	مرتع	۰-۲	کم عمق	۱۷۸,۳۹	۲۱	مرتع	۸-۱۲	بسیار	۰,۹۳
۲	مرتع	۲-۵	کم عمق	۱۳,۹۰	۲۲	مرتع	۱۵-۳۰	بسیار	۳۴,۴۹
۳	مرتع	۸-۱۲	کم عمق	۱۴,۸۵	۲۳	مرتع	۶۵-۳۰	بسیار	۱۷۵۶,۲۵
۴	مرتع	۱۲-۱۵	کم عمق	۳۱,۶۶	۲۴	مرتع	>۶۵	بسیار	۱۴۸,۶۸
۵	مرتع	۱۵-۳۰	کم عمق	۲۳۹,۹۵	۲۵	کشت دیم	۰-۲	بسیار	۴۴۲,۲۱
۶	مرتع	۳۰-۶۵	کم عمق	۴۸۷۱۵,۱۰	۲۶	کشت دیم	۲-۵	بسیار	۲۷,۰۷
۷	مرتع	>۶۵	کم عمق	۱۵۸۳۰,۶۹	۲۷	کشت دیم	۵-۸	بسیار	۱۶,۶۶
۸	توده سنگی	۰-۲	کم عمق	۱۲,۰۶	۲۸	کشت دیم	۸-۱۲	بسیار	۳۵,۰۹
۹	توده سنگی	۲-۵	کم عمق	۱۴۴۶,۴۰	۲۹	کشت دیم	۱۲-۱۵	بسیار	۱۰,۴۶
۱۰	توده سنگی	۵-۸	کم عمق	۸۱۵,۷۲	۳۰	کشت دیم	۱۵-۳۰	بسیار	۳۳۸,۵۸
۱۱	کشت دیم	۸-۱۲	کم عمق	۶۱,۳۲	۳۱	کشت دیم	۳۰-۶۵	بسیار	۳۴۶۰,۳۷
۱۲	کشت دیم	۱۲-۱۵	کم عمق	۱۰۳,۵۵	۳۲	کشت دیم	>۶۵	بسیار	۳۶۰,۸۱
۱۳	کشت دیم	۱۵-۳۰	کم عمق	۲۴۵۹,۴۲	۳۳	زراعت آبی و	۰-۲	بسیار	۲۹۵,۴۹
۱۴	کشت دیم	۳۰-۶۵	کم عمق	۵۳۹,۴۷	۳۴	زراعت آبی و	۲-۵	بسیار	۶۴,۳۳
۱۵	زراعت آبی و	۶۵-۳۰	کم عمق	۳,۰۸	۳۵	زراعت آبی و	۵-۸	بسیار	۲۶,۳۶
۱۶	زراعت آبی و	>۶۵	کم عمق	۸,۱۳	۳۶	زراعت آبی و	۸-۱۲	بسیار	۳۰,۰۳
۱۷	زراعت آبی و	۰-۲	کم عمق	۴۲۷,۷۵	۳۷	زراعت آبی و	۱۲-۱۵	بسیار	۲۱,۹۷
۱۸	زراعت آبی و	۲-۵	کم عمق	۹۶,۵۳	۳۸	زراعت آبی و	۱۵-۳۰	بسیار	۸۸۹,۰۱
۱۹	مرتع	۵-۸	بسیار	۷۱,۱۸	۳۹	زراعت آبی و	۳۰-۶۵	بسیار	۱۴۳,۲۶
۲۰	مرتع	>۶۵	بسیار	۰,۱۴	کل				۸۰۴۲۷,۲۳

جدول ۴. بیشترین سطح اختصاص یافته به هر کاربری در شرایط استاندارد

نوع کاربری	زراعت آبی و باغ	مرتع	کشت دیم	توده سنگی
مساحت کاربری (هکتار)	۳۳۸۲,۹	۷۴۱۷۶,۹۹۶	۵۹۳,۱۵۴	۲۲۷۴,۱۸

جدول ۵. نتایج محاسبات برآورد سود و هزینه در کاربری‌های اراضی موجود

نوع کاربری	مساحت (هکتار)	تولید (کیلوگرم در هکتار)	هزینه (هزار ریال در هکتار در سال)	سود ناخالص (هزار ریال در هکتار در سال)	سود خالص (هزار ریال در هکتار در سال)	هزینه کل (میلیون ریال در سال)	سود کل (میلیون ریال در سال)
زراعت آبی و باغ	۱۹۷۸,۹۷	۱۷۵۰۰	۶۵۸۵,۶۵	۱۲۰۴۸,۷۵۰	۵۴۶۳,۱	۱۳۰۳۲,۸۰	۱۰۸۱۱,۳۱
مرتع	۶۸۳۱۹	۳۱۲,۴۰	۱۳۰۰,۳۵۱	۲۵۵۶,۶۸۴	۱۲۵۶,۳۳۳	۸۸۳۸,۶۸	۸۵۸۳۱,۴۱
کشت دیم	۷۸۵۵,۰۸	۵۰۰۰	۷۳۴,۴	۳۴۴۲,۵	۲۷۰,۸۱	۵۷۶۸,۷۷	۲۱۲۷۲,۳۴

جدول ۶. نتایج محاسبات برآورد خسارت فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف

نوع کاربری	فرسایش (تن در هکتار)	فرسایش کل (تن)	عمق ریشه (متر)	وزن مخصوص (تن در متر مکعب)	اراضی هدررفته (متر مربع در هکتار)	هزینه (ریال در هکتار)
زراعت آبی و باغ	۲٫۱۹	۱۴۲۲۸٫۷۹	۱	۰٫۹۹	۲٫۲۱	۱۲۰۷٫۳۵
مرتع	۶٫۰۱	۴۱۰۵۹۷٫۱۹	۰٫۱۵	۰٫۸۲	۴۸٫۸۶	۶۱۳۸٫۶۵
کشت دیم	۹٫۷۰	۷۶۱۹۴٫۲۸	۰٫۳۰	۰٫۶۹	۴۶٫۸۵	۱۲۶۸۷٫۴۵

قیمت دام زنده در سال ۱۳۸۸ بر اساس اطلاعات محلی به دست آمده R/kg ۳۹۰۰۰ بوده است، در نتیجه، کل تولید اقتصادی اراضی مرتعی ۲۵۵۶۶۸۴ ریال در هکتار در سال است. همچنین، دستمزد چوپان ماهانه ۲۰۰۰۰۰۰ ریال بوده که سالانه ۲۴۰۰۰۰۰۰ ریال و هزینه نگهداری هر واحد دامی در آغل ۱۳۰۰۰۰۰ ریال است. از طرف دیگر، با توجه به اینکه اراضی مرتعی تحت مالکیت دولت قرار دارند، هزینه‌ای برای تولید در این اراضی اختصاص نمی‌یابد. علاوه بر موارد گفته شده، فواید و سودهای نامحسوسی، مانند استفاده‌های تفرجگاهی و حیات وحش، نیز، که از این قبیل اقدامات حاصل می‌شود، در نظر گرفته نشده است. همچنین، بر اساس اطلاعات به دست آمده از جدول ۵، درآمد ناخالص اراضی دیم ۳٫۴۴ میلیون ریال و میزان هزینه آن‌ها ۰٫۷۳ میلیون ریال در هکتار است و متوسط سود خالص به دست آمده از هر هکتار کشت دیم محصولات در این منطقه ۲٫۷۱ میلیون ریال است.

برآورد خسارت فرسایش خاک

فرسایش خاک، علاوه بر هدررفت خاک، در کاهش سوددهی اراضی و هدررفت مواد مغذی تأثیر فراوانی دارد و بررسی آن از لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق و با توجه به روش محاسبه شرح داده شده در بخش پیشین، محاسبات

با اعمال شرایط استاندارد ذکر شده در مواد و روش‌ها، بیشترین سطح اختصاص یافته به هر یک از انواع کاربری‌ها به شرح ارائه شده در جدول ۴ تعیین شده است.

برآورد سود و هزینه اراضی منطقه مورد مطالعه

جدول ۵ نتایج برآورد سود و هزینه اراضی منطقه را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از جدول ۵ نشان می‌دهد که در اراضی باغی به ازای هر هکتار میزان درآمد ناخالص برابر ۱۲٫۰۵ میلیون ریال در سال بوده که پس از کسر هزینه ۶٫۵۹ میلیون ریالی میزان سود خالص هر هکتار باغ برابر ۵٫۴۶ میلیون ریال در سال محاسبه شده و در تابع هدف مد نظر قرار گرفته است. با استفاده از اطلاعات جدول ۵ میانگین وزنی تولید علوفه خشک در حوضه آبخیز طالقان $312/40 \text{ kg/ha}$ به دست آمد. از آنجا که ۴۰ درصد از علوفه تولیدی مواد غذایی قابل هضم^۱ (TDN) است، کل TDN تولیدی kg/ha ۱۲۴٫۹۶ محاسبه شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد برای هر واحد دامی (گوسفند) 230 kg TDN/Y نیاز است. با توجه به اینکه دام شش ماه از مراتع استفاده می‌کند، هر ساله ۱٫۰۸ واحد دامی در هکتار می‌توانند از علوفه تولیدی استفاده کنند. با توجه به وزن متوسط هر واحد دامی برابر با ۶۰٫۷ کیلوگرم [۱]، وزن زنده تولیدی واحد دامی در هر هکتار $65/56 \text{ kg}$ است.

1. Total Digestible Nutrients (TDN)

محدودیت اول در این مسئله مربوط به سطح اراضی زراعت آبی و باغ موجود است که ۱۹۷۸٫۹۷ هکتار است، اما این میزان می‌تواند به ۳۳۸۳ هکتار افزایش یابد. دلیل این افزایش امکان اختصاص زمین‌هایی با شیب بیش از ۵ درصد، عمق مناسب خاک، و دسترسی به آب برای زراعت آبی و باغ است [۱۹].

- محدودیت دوم:

$$X_p \leq 593/154 \quad (7)$$

این محدودیت مربوط به اراضی زیر کشت محصولات دیم است. بر اساس شرایط استاندارد، اراضی‌ای با شیب بیش از ۱۲ درصد برای کشاورزی دیم مناسب نیست و عمق خاک کم نیز می‌تواند محدودیت دیگری برای این اراضی باشد.

- محدودیت سوم:

$$X_1 + X_p + X_r \leq 78153/046 \quad (8)$$

سومین محدودیت مربوط به سطح اراضی موجود است و آن اینکه حداکثر سطح اراضی منطقه که می‌تواند به سه کاربری زراعت آبی و باغ، مرتع، و کشت دیم اختصاص یابد ۷۸۱۵۳٫۰۴۶ هکتار است.

- محدودیت چهارم:

$$X_1 \geq 1978/97 \quad (9)$$

با توجه به مطالبی که در محدودیت اول بیان شد، سطح اراضی زیر کشت زراعت آبی و باغ در منطقه ۱۹۷۸٫۹۷ هکتار است و این اراضی از این میزان نمی‌تواند کمتر باشد، زیرا در حال حاضر به علت بهره‌دهی مناسب مردم منطقه به تغییر این کاربری تمایلی ندارند.

- محدودیت پنجم:

$$X_p \geq 68319 \quad (10)$$

پنجمین محدودیت بیانگر این نکته است که سطح اراضی مرتعی منطقه نمی‌تواند از میزان ۶۸۳۱۹ هکتار

اقتصادی آن انجام شد. جدول ۶ نتایج این محاسبات را نشان می‌دهد.

حل مسئله بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه آبخیز طالقان

با توجه به آنچه در بخش پیش بیان شد، فرمول عمومی مسئله بهینه‌سازی موجود در حوضه آبخیز به صورت رابطه ۲ است:

(۲)

$$\begin{aligned} \text{Max}(Z_1) &= [(12/05X_1 - (6/59X_1 + 0/00120735X_1)) \\ &+ (2/557X_p - (1/30X_p + 0/006138X_p)) + \\ & (3/44X_r - (0/7344X_r + 0/0012687X_r))] \\ \text{Min}(Z_p) &= 2/19X_1 + 6/01X_p + 9/7X_r \end{aligned} \quad (3)$$

که در این روابط Z_1 میزان درآمد (میلیون ریال در هکتار در سال)، Z_2 میزان فرسایش (تن در هکتار در سال)، X_1 سطح اراضی آبی و باغی (هکتار)، X_2 سطح اراضی مرتعی (هکتار)، و X_3 سطح اراضی محصولات دیم (هکتار) است. با ساده‌کردن فرمول‌های بالا و نیز حالت کمینه‌سازی فرمول به صورت بیان ریاضی بیشینه، توابع ریاضی هدف در مسئله مورد نظر به صورت رابطه ۴ و ۵ تغییر شکل می‌یابد.

$$\text{Max}(Z) = 5/4587X_1 + 1/256X_p + 2/7043X_r \quad (4)$$

$$\text{Max}(-Z_p) = -2/19X_1 - 6/01X_p - 9/70X_r \quad (5)$$

در مسئله بهینه‌سازی حوضه آبخیز طالقان، شش محدودیت برای مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی در نظر گرفته شد. در این بخش به تشریح این محدودیت‌ها پرداخته می‌شود و نحوه محاسبات و تعیین محدودیت‌ها به تفکیک می‌آید.

- محدودیت اول:

$$X_1 \leq 3382/9 \quad (6)$$

برآورد میزان سود و فرسایش قبل و بعد از

بهینه‌سازی کاربری اراضی

پس از اجرای محاسبات فرسایش و سود و هزینه در واحد سطح هر کاربری، به محاسبات اقتصادی و نیز برآوردهای میزان فرسایش در حوضه آبخیز طالقان اقدام شد. جدول‌های ۷ و ۸ محاسبات لازم قبل و بعد از بهینه‌سازی و نتایج خروجی را نشان می‌دهند.

کمتر باشد. دلیل این محدودیت آن است که اراضی مرتعی ملی است و تحت مالکیت دولت قرار دارد و بر اساس ماده ۵۶ قانون ملی‌شدن مراتع نمی‌توان کاربری این اراضی را تغییر داد.

- محدودیت ششم:

$$X_1 \times X_2 \times X_3 \geq 0 \quad (11)$$

آخرین محدودیت مربوط به غیرمنفی‌بودن متغیرهاست؛ یعنی اینکه سطح اختصاص یافته به هر کاربری باید مثبت باشد.

جدول ۷. نتایج حاصل از محاسبات سود و فرسایش در وضعیت کاربری موجود در حوضه آبخیز طالقان

کاربری اراضی	سطح اختصاص یافته (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار)	فرسایش کل (تن در سال)	درآمد خالص سالانه (میلیون ریال در سال)	درآمد خالص کل (میلیون ریال در هکتار در سال)
زراعت آبی و باغ	۱۹۷۸٫۹۷	۲٫۱۹	۴۳۳۳٫۹۴	۵٫۴۶	۱۰۸۰۵٫۱۷
مرتع	۶۸۳۱۹	۶٫۰۱	۴۱۰۵۹۷٫۱۹	۱٫۲۶	۸۶۰۸۱٫۹۴
کشاورزی دیم	۷۸۵۵٫۰۸	۹٫۷۰	۷۶۱۹۴٫۲۸	۲٫۷۱	۲۱۲۸۷٫۲۷
کل	۷۸۱۵۳٫۰۵	--	۴۹۱۱۲۵٫۴۱	--	۱۱۸۱۷۴٫۳۸

جدول ۸. نتایج حاصل از اجرای مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه آبخیز طالقان

کاربری اراضی	سطح اختصاص یافته (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار)	فرسایش کل (تن در سال)	درآمد خالص سالانه (میلیون ریال در سال)	درآمد خالص کل (میلیون ریال در هکتار در سال)
زراعت آبی و باغ	۳۳۸۲٫۹۰	۲٫۱۹	۷۴۰۸٫۵۵	۵٫۴۶	۱۸۴۷۰٫۶۳
مرتع	۷۴۷۷۰٫۱۵	۶٫۰۱	۴۴۹۳۶۸٫۶۰	۱٫۲۶	۹۴۲۱۰٫۳۹
کشاورزی دیم	۰	۹٫۷۰	۰	۲٫۷۱	۰
کل	۷۸۱۵۳٫۰۵	--	۴۵۶۷۷۷٫۱۵	--	۱۱۲۶۸۱٫۰۲

تجزیه و تحلیل حساسیت

حساسیت مدل بهینه به دست‌آمده طی تحقیق حاضر برای حوضه آبخیز طالقان در خصوص منابع مختلف و همچنین ضرایب توابع هدف به شرح زیر صورت پذیرفت.

تجزیه و تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به سطح کاربری‌های مختلف

نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مربوط به تغییرات ۱۰ تا ۵۰ درصدی منابع قابل تغییر نسبت به حالت بهینه

و تغییرات ایجادشده در تک تک متغیرها و نیز جواب

بهینه در مسئله نتایج زیر را نشان داد:

آنالیز حساسیت بیشترین سطح اراضی زراعت آبی و باغ

نتایج ارائه شده از آنالیز حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در بیشترین سطح اراضی زراعت آبی و باغ نشان می‌دهد که افزایش سطح اراضی زراعت آبی و باغ باعث افزایش سود و کاهش فرسایش می‌شود. علت این افزایش بالابودن ضریب

به تغییرات اعمال‌شده در کمترین سطح اراضی زراعت آبی و باغ نشان می‌دهد که افزایش سطح اراضی زراعت آبی و باغ باعث کاهش جزئی سود می‌شود، ولی در میزان فرسایش تغییری حاصل نمی‌شود؛ به طوری که با افزایش و کاهش ۱۰ تا ۵۰ درصد سطح اراضی آبی و باغی میزان سود از ۱۱۲۶۸۱/۰۲ به ۱۱۲۶۷۵/۱۸ میلیون ریال در هکتار در سال (۰/۰۵ درصد کاهش سود) و میزان فرسایش بدون تغییر از ۵/۸۴ به ۵/۸۴ تن در هکتار در سال خواهد رسید.

آنالیز حساسیت کمترین سطح اراضی مرتعی

نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل و آنالیز حساسیت آن نسبت به کمترین سطح اراضی مرتعی حاکی از آن است که با افزایش و کاهش ۱۰ درصد این سطح در میزان سود و فرسایش تغییری ایجاد نمی‌شود. اما افزایش بیشتر از این میزان با توجه به سطح حوضه آبخیز مورد مطالعه در واقعیت امکان‌پذیر نیست؛ به طوری که با افزایش و کاهش ۱۰ درصد سطح اراضی مرتعی میزان سود از ۱۱۲۶۸۱/۰۲ به ۱۱۲۶۸۱/۰۲ میلیون ریال در هکتار در سال و میزان فرسایش بدون تغییر از ۵/۸۴ به ۵/۸۴ تن در هکتار در سال خواهد رسید. همچنین، کاهش بیشتر از ۱۰ درصد این اراضی نیز هیچ تغییری در میزان سود و فرسایش حوضه آبخیز ایجاد نخواهد کرد.

آنالیز حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات

اعمال‌شده در ضرایب تابع بیشینه‌ساز سود بررسی نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به درصد تغییرات اعمال‌شده در ضریب تابع

سوددهی نسبی این اراضی در تابع هدف و پایین بودن میزان فرسایش این اراضی نسبت به اراضی مرتعی است و کاهش سطح اراضی زراعت آبی و باغ باعث کاهش میزان سود و افزایش فرسایش می‌شود؛ به طوری که با افزایش ۱۰ درصد سطح اراضی آبی و باغی میزان سود از ۱۱۲۶۸۱/۰۲ به ۱۱۳۷۹۶/۶۷ میلیون ریال در هکتار در سال (۰/۹۹ درصد افزایش سود) و میزان فرسایش از ۵/۸۴ به ۵/۸۳ تن در هکتار در سال (۰/۱۷ درصد کاهش فرسایش) خواهد رسید و با کاهش ۱۰ درصد میزان سود از ۱۱۲۶۸۱/۰۲ به ۱۱۰۹۵۳/۶۸ میلیون ریال در هکتار در سال (۱/۵۳ درصد کاهش سود) و میزان فرسایش از ۵/۸۴ به ۵/۸۶ تن در هکتار در سال (۰/۳۶ درصد افزایش فرسایش) خواهد رسید.

آنالیز حساسیت بیشترین سطح اراضی کشت دیم

نتایج ارائه‌شده از آنالیز حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات اعمال‌شده در بیشترین سطح اراضی دیم گویای آن است که توابع هدف در مسئله بهینه‌سازی مورد نظر نسبت به درصد تغییرات بیشترین سطح کشت دیم حساسیتی ندارند، زیرا این میزان اراضی به حدی است که با افزایش ۵۰ درصد در مقدار بهینه آن عدد به‌دست‌آمده باز هم از بیشترین سطح اختصاص‌یافته کمتر است و کاهش آن نیز حتی تا سطح ۵۰ درصد از میزان بهینه این اراضی بیشتر است. بنابراین، هیچ تغییری در میزان سود و فرسایش ایجاد نمی‌کند و مدل نسبت به آن حساسیتی ندارد.

آنالیز حساسیت کمترین سطح اراضی زراعت آبی

و باغ

نتایج ارائه‌شده از آنالیز حساسیت توابع هدف نسبت

و باغ تأثیر بیشتری در تغییر میزان سوددهی و فرسایش خاک حوضه آبخیز طالقان دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مسئله بهینه‌سازی خطی با استفاده از نرم‌افزار ADBASE به طور موفقیت‌آمیزی در حوضه آبخیز طالقان حل شد. نتایج کمینه‌سازی فرسایش و بهینه‌سازی سود در جدول ۸ آمده است. نتایج همچنین نشان‌دهنده ارتباط بین جنبه‌های اقتصادی و شرایط محیطی در یک حوضه آبخیز است که قبلاً محققان بدان تأکید کرده‌اند [۱۵، ۱۶، ۲۳]. به علاوه، قابلیت حل مسئله بهینه‌سازی از طریق برنامه‌ریزی خطی اثبات شد؛ همان طور که در تحقیقات حداکثرسازی تولید و سود در بخشی از هند [۲۵]، مدل بهینه‌سازی در یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز دماوند [۱۹]، مدل بهینه‌سازی در حوضه آبخیز بریموند [۱۱]، و تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تحلیل اهداف تولید در استرالیا [۲۹] اثبات شده است. در تحقیق حاضر میزان سوددهی کاربری مرتع و زراعت آبی و باغ از ۸۶۰۸۱/۹۴ و ۱۰۸۰۵/۱۷ میلیون ریال در سال، قبل از بهینه‌سازی کاربری اراضی، به ۹۴۲۱۰/۳۹ و ۱۸۴۷۰/۶۳ میلیون ریال به ترتیب بعد از بهینه‌سازی افزایش یافته است. در حالی که میزان فرسایش با تغییر کاربری کشاورزی دیم به کاربری مرتع و زراعت آبی و باغ از ۴۹۱۱۲۵/۴۱ تن در سال به ۴۵۶۷۷۷/۱۵ تن در سال (۶/۹۹ درصد) کاهش یافته است. بنابراین، نوع کاربری اراضی اختصاص یافته نه تنها همه محدودیت‌های موجود در حوضه آبخیز طالقان، بلکه شرایط اقتصادی و اجتماعی را نیز پوشش می‌دهد

بیشینه‌ساز مؤید بیشترین حساسیت مدل به تغییرات سود اراضی زراعت آبی و باغ و مرتع است و مدل حساسیتی به تغییرات سود اراضی دیم ندارد.

آنالیز حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات

اعمال‌شده در ضرایب تابع کمینه‌ساز فرسایش

در خصوص آنالیز حساسیت مدل کمینه‌سازی فرسایش خاک به تغییرات تابع هدف نشان‌دهنده تأثیرپذیری زیاد مدل از تغییرات ضرایب اراضی مرتعی و سپس اراضی زراعت آبی و باغ است و مدل حساسیتی به تغییرات ناشی از تغییر ضرایب اراضی دیم ندارد.

حساسیت‌پذیری تابع هدف و انتخاب حساس‌ترین

پارامتر مدل

به منظور تحلیل نهایی حساسیت توابع هدف نسبت به منابع موجود در مسئله بهینه‌سازی حوضه آبخیز طالقان، درصد تغییرات سود و هزینه خروجی از مدل بهینه‌سازی در سطح تغییرات اعمال‌شده در منابع بررسی شد. درباره آنالیز حساسیت می‌توان نتیجه گرفت که کاهش سود حساسیت بیشتری به کاهش سطح اراضی زراعت آبی و باغ داشته؛ حال آنکه افزایش سود حساسیت بیشتری به افزایش سطح اراضی زراعت آبی و باغ داشته است. همچنین، درباره حساسیت‌پذیری تابع هدف کمینه‌سازی فرسایش می‌توان نتیجه گرفت که کاهش سطح اراضی زراعت آبی و باغ به افزایش میزان فرسایش منجر شده؛ حال آنکه افزایش سطح اراضی زراعت آبی و باغ به کاهش میزان فرسایش خاک منجر شده است. در مجموع، تغییر در سطح اراضی زراعت آبی

حوضه آبخیز تأثیر دارد در مسئله بهینه‌سازی تعریف شوند، در به‌انجام رسانیدن راهکارها مؤثر خواهد بود [۲۸]. مطالعات متعدد در زمینه رویکرد بهینه‌سازی با استفاده از روش‌های گوناگون، مانند برنامه‌ریزی آرمانی، بهینه‌سازی عددی، برنامه‌ریزی انتقال، بهینه‌سازی غیرخطی، برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی پارامتری، برنامه‌سازی صحیح، و برنامه‌سازی صحیح ترکیبی، برای ارزیابی قابلیت آن‌ها در برنامه‌ریزی مسائل حوضه آبخیز به‌ویژه زمانی که متغیرهای تصمیم‌گیری پویا وجود دارند، موکداً پیشنهاد می‌شود. کاربرد روش‌های بهینه‌سازی همراه با ابزارهای دیگر، مانند سامانه اطلاعات جغرافیایی، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی مصنوعی، و نرم‌افزارهای متفاوت بهینه‌سازی، برای تحقیقات بیشتر در این زمینه پیشنهاد می‌شود.

[۲۵، ۳۰] و لحاظ مدیریت پایدار حوضه آبخیز بسیار حائز اهمیت است [۴، ۸، ۱۴، ۲۸]. با توجه به تغییر کاربری اراضی از اراضی دیم به مرتع و زراعت آبی و باغ در حوضه آبخیز، مردم ساکن حوضه آبخیز طالقان نیاز به آموزش دارند. بنابراین، مسئله بهینه‌سازی بدون در نظر گرفتن برنامه‌های دیگر، از آن جایی که عدم قطعیت‌های متعددی در مدیریت حوضه آبخیز دخالت دارند، موفقیت‌آمیز نخواهد بود؛ به طوری که درباره کنترل فرسایش بیان شده است [۱۶]. عدم قطعیت‌ها می‌توانند به وسیله خصوصیات فیزیکی و اقتصادی و اجتماعی ایجاد شوند. به علاوه، بر اساس مذاکرات انجام‌یافته با کشاورزان، پشتیبانی دولتی از طریق کمک مالی و بیمه محصولات کشاورزی در تغییر سیستم کشاورزی از سرمایه‌گذاری کمتر به سود بیشتر تأثیر مثبتی خواهد داشت. ضمناً، اگر سایر بهره‌برداران که فعالیت آنان بر روی آب یا زمین در

References

- [1] Arzani, H., Mosayebi, M. and Nikkhah, A. (2009). Determination of animal unit size and animal unit requirement of Fashandy sheep breed grazing on rangelands (case study: Taleghan), *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(46a): 349-360 (In Persian).
- [2] Berngel, K.J. (2000). *Drylands farming cultivation (principles and practices)*, Translated by Rashedmohasel, M.H.V. and Kochaki, E., Academic Jihad (Branch of Mashhad University) Press, 236p (In Persian).
- [3] Cohon, J.L. (1978). *Multi-objective programming and planning*, Academic Press, INC. (London) LTD. 333 p.
- [4] Ducourtieux, O., Laffort, J.R. and Sacklokham, S. (2005). Land policy and farming practices in Laos, *Dev. Change*, 36, 499-526.
- [5] Farahpour, M., Van Keulen, H., Sharifi, M.A. and Bassiri, M.A. (2004). Planning support system for rangeland allocation in Iran with case study of Chadegan sub-region, *Rangeland J.*, 26, 225-236 (In Persian).
- [6] Farshi, E.A., Shariati, M.R., Jarolahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabifar, M. and Tolae, M. (1997a). *Estimation of water requirement in agricultural and orchard plants of country, Iran*, Vol. 1, Agricultural Plants, Agricultural Training Publication, Karaj, 900p (In Persian)
- [7] Farshi, E.A., Shariati, M.R., Jarolahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabifar, M. and Tolae, M. (1997b). *Estimation of water requirement in agricultural and orchard plants of country, Iran*, Vol. 2, Orchard Plants, Agricultural Training Publication, Karaj, 629p (In Persian).
- [8] Gabriel, S.A., Faria, J.A. and Moglen, G.E. (2006). A multiobjective optimization approach to smart growth in land development, *Socio-Eco. Plan. Sci.*, 40, 212-248.
- [9] Gavami, Sh. (1990). Investigation on relation between geomorphology and erosion in Miocene epoch in Taleghan watershed, M.Sc. Thesis, Natural Resources Department, Tehran University, 326p (In Persian).
- [10] Irrigation and Reclamation Department (Agriculture Faculty in Tehran University) (1994). Watershed management studies in Taleghan watershed, Regional Water Organization (Branch of Tehran Province) (In Persian).
- [11] Jalili, K. (2004). Land use optimization in Barimond watershed for minimization of soil erosion by linear programming, M.Sc. Thesis, Natural Resources and Marin Sciences Faculty, Tarbiat Modares University, 87p (In Persian).
- [12] Kalantari, Kh. (2001). Regional planning and development (theories and techniques), Khoshbin Press, Tehran, 288p (In Persian).
- [13] Kalavathy, S. (2001). *Operation research*, Vikas Publisher House PVT LTD, 506 p (In Persian).
- [14] Kralisch, S., Finka, M., Flügela, W.A. and Beckstein, C. (2003). A neural network approach for the optimization of watershed management, *Environ. Model. Soft.*, 18, 815-823.
- [15] Liu, D. and Stewart T.J. (2004). Object-oriented decision support system modelling for multicriteria decision making natural resource management, *Comput. Oper. Res.*, 31, 985-999.
- [16] Luo, B. and You, J. (2007). A watershed-simulation and hybrid optimization modeling approach for water-quality trading in soil erosion control, *Adv. Water Resour.*, 30, 1902-1913.
- [17] Maleki, M. (2001). Estimation of erosion and sediment yield by using EPM and geomorphology methods in Taleghan watershed, M.Sc. Thesis, Natural Resources Faculty, Tehran University, 125p (In Persian).

- [18] Mohseni Saravi, M., Farzanegan, M., Kohpaye, M. and Kholghi, M. (2003). Determination of utilization optimal pattern from watersheds resources by using objective function, *Iranian Nat. Resou. J.*, 56, 3-16 (In Persian).
- [19] Nikkami, D. (1999). Optimizing the management of soil erosion using GIS, Ph.D. dissertation, Concordia University, 108 p.
- [20] Nikkami, D. (2002). Optimization of soil erosion management in Damavand watershed, *Pajohesh-e-Sazandegi J.*, 54, 82-89 (In Persian).
- [21] Nikkami, D., Elektorowicz, M. and Mehuys, G.R. (2002). Optimizing the management of soil erosion, *Water Qual. Re. J. Can.*, 37, 577-586.
- [22] Rastegar, M.E. (1992). *Drylands farming cultivation*, Barehmand Press, 1st Ed., 271p (In Persian).
- [23] Riedel, C. (2003). Optimizing land use planning for mountainous regions using LP and GIS towards sustainability, *J. Soil Conserv., USA*, 34, 121-124.
- [24] Rounsvell, M.D.A., Annetts, J.E., Audsley, E., Mayr, T. and Reginster, I. (2003). Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale, *Agric. Ecosyst. Environ.*, 95, 465-479.
- [25] Singh, A.K. and Singh, J.P. (1999). Production and benefit maximization through optimal crop planning-a case study of Mahi Command, *Indian J. Soil Conserv.*, 27, 157-152.
- [26] Steuer, R.E. (1995a). The ADBASE multiple objective linear programming package/ multiple criteria decision making, SCI-Tech, Windsor, England, pp.1-6.
- [27] Steuer, R.E. (1995b). *Manual for ADBASE, multi objective linear programming package*, Faculty of Management Science, 297 Brooks Hall, University of Georgia, Athens, Georgia, USP, 217 p.
- [28] Wang, X.H., Yu, S. and Huang, G.H. (2004). Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level, *Landsc. Urban Plan.*, 66, 61-74.
- [29] Xevi, E. and Khan, S. (2005). A multi-objective optimization approach to water management, *J. Environ. Manage.*, 77, 269-277.
- [30] Xu, Y. and Tang, Q. (2009). Land use optimization at small watershed scale on the Loess Plateau, *J. Geographical Sci.*, 19, 577-586.