

بهینه‌سازی مدیریت کاربری اراضی به منظور حفاظت از منابع حوزه آبخیز ابوالعباس

داود نیک‌کامی^۱، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

هادی چم‌حیدر، دانش آموخته دکتری گروه خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

محمدحسین مهدیان، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

ابراهیم پذیرا، استاد گروه خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی

دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۰۶/۱۵

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۲/۰۳

چکیده

اثرات محیطی و اقتصادی فرسایش خاک ناشی از سوء مدیریت در استفاده از اراضی واقع در یک حوزه آبخیز است. اگرچه متوقف کردن کامل فرسایش خاک تا حد شرایط طبیعی امکان پذیر نیست، ولی مهار آن در قالب طرح‌های مدیریت جامع آبخیز یک نیاز مبرم است. با توجه به این که در منابع علمی، هدر رفت عناصر غذایی با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی مورد ارزیابی قرار نگرفته است، هدف اصلی این پژوهش، تعیین سطح بهینه کاربری اراضی به منظور کاهش میزان فرسایش و هدرروی عناصر غذایی خاک و ارتقاء درآمد ساکنین یک حوضه است. برای این منظور، حوزه آبخیز ابوالعباس واقع در شمال شرق استان خوزستان، به عنوان منطقه مورد تحقیق انتخاب شد. مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفی برای سه گزینه مختلف وضعیت کنونی کاربری‌ها و بدون اعمال مدیریت اراضی، وضعیت کنونی کاربری‌ها و اعمال مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد کاربری‌ها و مطابق با اصول و معیارهای علمی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد سطح کاربری‌های فعلی برای کاهش میزان فرسایش و هدرروی عناصر غذایی و افزایش درآمد ساکنین حوضه مناسب نبوده و در شرایط بهینه باید تغییر نماید. در شرایط بهینه، سطح اراضی جنگلی و باغی به ترتیب ۱/۸۱ و ۵۵/۷ درصد افزایش، سطح اراضی مرتعی بدون تغییر و سطح اراضی کشت آبی و دیم به ترتیب ۶۷/۵ و ۳۱/۴ درصد کاهش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط فعلی و بدون اعمال مدیریت اراضی، میزان فرسایش، هدرروی عناصر غذایی و درآمد خالص کل حوضه به ترتیب ۳/۲ درصد کاهش، ۲/۵ درصد کاهش و ۲۹/۷ درصد افزایش، در صورت اعمال مدیریت اراضی در داخل سطوح فعلی کاربری‌ها، به ترتیب ۳۵/۳ درصد کاهش، ۷۰/۲ درصد کاهش و ۳۷/۲ درصد افزایش و در شرایط استاندارد کاربری‌ها به ترتیب ۴۷/۲ درصد کاهش، ۷۰/۴ درصد کاهش و ۴۱/۸ درصد افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده از تحلیل حساسیت نیز نشان داد که تغییر در سطح اراضی باغی و آبی، بیش‌ترین تاثیر در افزایش درآمد خالص و کاهش فرسایش و هدرروی عناصر غذایی خاک در حوزه آبخیز ابوالعباس را داشته است.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، برنامه‌ریزی خطی، مدیریت اراضی، مدیریت جامع آبخیز، هدرروی عناصر غذایی

مقدمه

امروزه فرسایش خاک یکی از جدی‌ترین مشکلات کشورهای در حال توسعه و بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته می‌باشد. سالانه ۷۵ میلیارد تن خاک در سطح جهان فرسایش می‌یابد که ارزش آن معادل ۴۰۰ میلیارد دلار با سرانه ۷۰ دلار می‌باشد (Eswaran و همکاران، ۲۰۰۱). میزان فرسایش خاک در ایران، براساس مطالعات Nikkami و همکاران (۲۰۰۹) حدود دو میلیارد تن برآورد شده است که ۲۰ تا ۳۰ برابر حد قابل قبول می‌باشد. بر اساس مطالعات

^۱ نویسنده مسئول nikkami@scwmri.ac.ir

Jalalian و همکاران (۱۹۹۶)، خسارت ناشی از فرسایش خاک و از دست رفتن عناصر غذایی در ایران بالغ بر ۷/۲ میلیارد دلار در سال است.

عموماً سه ویژگی حوزه آبخیز شامل خاک، پوشش گیاهی و پستی و بلندی، تغییرات هیدرولوژیک را در قالب فرآیندهای بارش- رواناب و فرسایش کنترل می‌کنند. تغییر در واکنش هیدرولوژیک حوضه در مقیاس زمانی میان‌مدت و بلندمدت به تغییر در نوع و توزیع پوشش گیاهی بستگی دارد (Miller و همکاران، ۲۰۰۲). تاثیرات هیدرولوژیک کاربری اراضی و مدیریت پوشش گیاهی در قالب تغییر در عمق رواناب، دبی حداقل، دبی حداکثر، رطوبت خاک و تبخیر و تعرق آشکار می‌شود (Sikka و همکاران، ۲۰۰۳). از این‌رو، ضرورت دارد راه‌کارهای عملی و اساسی همراه با اصلاح زیرساخت‌ها برای حفاظت و مدیریت اراضی با هدف مدیریت جامع کلیه منابع بررسی، تدوین و معرفی شود. تئوری بهینه‌سازی، خصوصاً بهینه‌سازی چند هدفی روش‌هایی را برای گزینش بهترین متغیرهای تصمیم‌گیری^۱ ارائه می‌دهد. روش سیمپلکسی که مسئله چند هدفی^۲ را به مسئله‌ای یک هدفی^۳ تبدیل نکند، توسط Philip در سال ۱۹۷۲ (Zeleny, ۱۹۷۴)، Zeleny (۱۹۷۴) و بالاخره Steuer (۱۹۹۵) توسعه یافته است. برنامه‌ریزی چند هدفی شکلی از مسائل است که در آن‌ها تعداد زیادی اهداف متفاوت وجود دارند که در برنامه‌ریزی‌هایی که منابع متعددی را مورد استفاده قرار می‌دهند، ملاحظه می‌شوند. اگرچه انتخاب گزینه‌های اقتصادی برتر با ملاحظات بیولوژیکی و پایداری اکوسیستم‌ها و مسائل اجتماعی صورت می‌پذیرد، ولی پایه و اساس توسعه اقتصادی، بر آمایش سرزمین و محاسبات اقتصادی استوار است.

Nikkami (۱۹۹۹) مدل بهینه‌سازی را به‌منظور کاهش اثرات محیطی و اقتصادی فرسایش خاک که ناشی از مدیریت نامناسب کاربری اراضی در یکی از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز دماوند است، مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش، نتایج خروجی مدل تولید رسوب به‌همراه درآمد ناخالص هرکدام از کاربری‌های اراضی به‌عنوان ورودی به مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی وارد و محاسبات کمینه‌سازی رسوب تولیدی و بیشینه نمودن تولیدات کشاورزی برای هر کاربری انجام گرفت. در این تحقیق، از روش سیمپلکس برنامه‌ریزی خطی چندمنظوره استفاده شد. نتایج تحقیق ارائه شده دلالت بر کاهش پنج درصد در تولید رسوب و افزایش ۱۳۴ درصد در سود سالانه در منطقه مورد مطالعه دارد.

Singh و Singh (۱۹۹۹) بیشینه نمودن تولید و سود را با به‌کارگیری برنامه‌ریزی بهینه کشت در یک مطالعه موردی در ماهی‌کوماند هند مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، زمانی که بیشینه نمودن تولید به‌عنوان هدف اصلی مورد نظر بوده است، ۸۶/۶ درصد منطقه تنها به کشت گندم و سبزیجات اختصاص یافته و بهره‌برداری کل از منابع آب ۶۳/۷۲ درصد و به‌کارگیری نیروی انسانی ۲۹/۵۴ درصد بوده است. این تحقیق همچنین نشان داد که برنامه‌ریزی کشت در سطح منطقه تولیدات را از ۶۰ تا ۹۶ درصد و برگشت خالص را از ۲۳ تا ۲۶ درصد افزایش داده است و نیز برای اجرای برنامه کشت بهتر و تولید بالاتر شرکت‌های تعاونی توصیه شده است.

Mohseni Saravi و همکاران (۲۰۰۳) مطالعه‌ای را با عنوان تعیین الگوی بهره‌برداری بهینه از منابع حوضه گرمادشت حوزه قره سو در منطقه گلستان و با استفاده از برنامه‌ریزی خطی در کاربری‌های جنگل، چراگاه، پارک و منطقه حفاظت شده انجام دادند. با توجه به میزان درآمد ناخالص، تولید و میزان اشتغال در واحد سطح کاربری‌ها علاوه بر اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی نسبت به اولویت‌بندی هدف‌ها، الگوی بهینه بهره‌برداری منابع حوزه آبخیز نیز اقدام شد. نتایج نشان داد که الگوی پیشنهادی بر اساس اهداف اقتصادی نسبت به سایر اهداف، دارای برتری نسبی بوده و به‌علاوه می‌تواند سایر اهداف را نیز تامین نماید.

Kralisch و همکاران (۲۰۰۳) و Riedel (۲۰۰۳) با ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و GIS با برنامه‌ریزی خطی موجب بیشینه نمودن سود حاصل از اختصاص اراضی به کاربری‌های مختلف به‌ترتیب در حوزه‌های آبخیز در آلمان و شمال تایلند شدند. Benli و Kodal (۲۰۰۳) مدل‌های خطی و غیرخطی را به‌منظور تعیین الگوی بهینه کشت، مقدار

^۱ Decision variables

^۲ Multi-objective programming

^۳ Single objective

آب و عایدات اراضی کشاورزی تحت دو شرایط مقدار کافی و محدود آب در جنوب شرقی حوضه آناتولی ترکیه توسعه دادند.

طی تحقیقی، Wang (۲۰۰۴) برنامه‌ریزی خطی و GIS را برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط کاربری‌های فعلی، شیب، فاصله تا منابع آبی و اعمال تغییرات ممکن در حوزه دریاچه Erhai چین مورد استفاده قرار دادند. Liu و Stewart (۲۰۰۴) مدل برنامه‌ریزی خطی چندمنظوره را برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در شمال چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که حفاظت خاک، امنیت غذایی و درآمد مردم روستانشین در صورت استفاده درست از منابع، به‌طور پایدار بهبود می‌یابد.

You و Luo (۲۰۰۷) با کمک شبیه‌سازی حوزه آبخیز و مدل‌های بهینه‌سازی مدلی را برای بررسی کیفیت آب و کنترل فرسایش در حوزه آبخیز Swift Current Creek کانادا ارائه نمودند. مدل برنامه‌ریزی خطی در حوزه آبخیز بریموند در استان کرمانشاه برای بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌منظور کمینه‌سازی فرسایش توسط Sadeghi و همکاران (۲۰۰۹)، به‌کار گرفته شد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، ضمن معرفی کاربری بهینه اراضی، میزان کاهش فرسایش و افزایش سود سالیانه را به‌ترتیب $7/9$ و $18/6$ درصد ارائه داد.

در طی تحقیقی Nikkami و همکاران (۲۰۰۹)، سطح بهینه کاربری اراضی به‌منظور کاهش میزان فرسایش و بالا بردن درآمد ساکنین حوزه آبخیز خارستان واقع در شمال غرب شهرستان اقلید در استان فارس را مورد بررسی قرار داد. برای این کار، مدل برنامه‌ریزی خطی برای سه گزینه مختلف وضعیت کنونی کاربری‌ها و بدون اعمال مدیریت اراضی، وضعیت کنونی کاربری‌ها و اعمال مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد کاربری‌ها و مطابق با اصول و معیارهای علمی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که سطح کاربری‌های فعلی برای کاهش میزان فرسایش و افزایش درآمد ساکنین حوضه مناسب نبوده و در شرایط بهینه باید تغییر کند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط فعلی و بدون اعمال مدیریت اراضی، میزان فرسایش خاک و سوددهی کل حوضه به‌ترتیب $3/7$ درصد کاهش و $162/63$ درصد افزایش، در صورت اعمال مدیریت اراضی در داخل سطوح فعلی کاربری‌ها، به‌ترتیب $37/27$ درصد کاهش و $205/71$ درصد افزایش و در شرایط استاندارد کاربری‌ها، به‌ترتیب $53/2$ درصد کاهش و $207/98$ درصد افزایش می‌یابد.

با توجه به تحقیقات کم کاربرد بهینه‌سازی در عرصه مدیریت اراضی و حفاظت از منابع حوزه‌های آبخیز، و با توجه به این‌که در بررسی منابع، مدل‌های بهینه‌سازی در عرصه هدر روی عناصر غذایی خاک مورد استفاده قرار نگرفته است، این تحقیق با هدف بهینه‌سازی کاربری‌های اراضی در کاهش فرسایش خاک و هدر روی عناصر غذایی و افزایش درآمد بهره‌برداران اراضی در حوزه آبخیز ابوالعباس در استان خوزستان به‌کمک برنامه‌ریزی خطی چند هدفی به‌مورد اجرا گذاشته شد.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز ابوالعباس در شرق شهرستان باغ‌ملک در استان خوزستان و در محدوده جغرافیایی 31 درجه و 28 دقیقه و 23 ثانیه تا 31 درجه و 40 دقیقه و 14 ثانیه عرض شمالی و 49 درجه و 59 دقیقه و 26 ثانیه تا 50 درجه و 5 دقیقه و 12 ثانیه طول شرقی با مساحت $286/21$ کیلومتر مربع و محیطی 533 کیلومتر واقع شده است. این حوضه از شمال به روستای مال‌آقا، از شرق به استان چهارمحال و بختیاری، از جنوب به روستای دره‌دزی و از غرب به شهرستان باغ‌ملک متصل است. ارتفاع حداکثر و حداقل به‌ترتیب 666 و 3305 متر از سطح دریا، مربوط به ارتفاعات زاگرس و خروجی حوضه و ارتفاع متوسط 1885 متر از سطح دریا می‌باشد. شیب متوسط وزنی $40/4$ درصد و طول آبراهه اصلی $44/7$ کیلومتر با شکل درختی- موازی می‌باشد. زمان تمرکز زیرحوضه در روش‌های کرپیچ، کالیفرنیا و جاو به‌ترتیب $3/5$ ، $2/34$ و $2/17$ ساعت است. برای مطالعه حوضه از نقشه‌های پستی و بلندی سال 1378 به مقیاس $1/25000$ و تصویر ماهواره IRS سال 2009 استفاده شد.

در این تحقیق، سه گزینه وضعیت کنونی کاربری‌ها بدون تغییر در نحوه مدیریت اراضی، وضعیت کنونی کاربری‌ها با اعمال تغییراتی در نحوه مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد کاربری‌ها و مدیریت اراضی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی فرسایش حوضه از مدل اصلاح شده^۱ PSIAC (Johnson و Gebhardt، ۱۹۸۲) استفاده شد. برای تعیین شدت رواناب و هدررفت خاک از دستگاه باران‌ساز مصنوعی قابل حمل ساخته شده به‌وسیله دانشگاه ITC هلند استفاده شد. شدت بارندگی به‌گونه‌ای انتخاب شد که از یک‌سو به میانگین شدت بارندگی منطقه نزدیک باشد، و از سوی دیگر بتواند حداقلی از رواناب سطحی را برای اندازه‌گیری و انجام مقایسه و تحلیل نتایج ایجاد کند. برای این منظور، بهترین شدت ۶۵ میلی‌متر بر ساعت (Yousefifard و همکاران، ۲۰۰۷؛ Nikkami و همکاران، ۲۰۰۲) ایجاد و رواناب ایجاد شده در بارش‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه به‌منظور بررسی تاثیر تداوم بارش (Armin و همکاران، ۲۰۰۷) جمع‌آوری شد. پس از ایجاد هر واقعه بارندگی با باران‌ساز مصنوعی، از رواناب جمع‌آوری شده پس از به‌هم زدن نمونه‌ای برداشته شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال و وزن رسوب اندازه‌گیری شد. مقادیر عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز اندازه‌گیری شد. مقدار پتاسیم قابل جذب با روش استات آمونیوم و کلراید، مقدار فسفر قابل جذب با روش اسپکتروفتومتر و درصد ازت کل با روش کج‌لدال تعیین شد. شدت بارندگی به‌کمک باران‌ساز مصنوعی و استفاده از روش Ghahraman و Sepaskhah (۱۹۸۷) تهیه شد:

$$P_T^t = [0.4524 + 0.2471 \ln(T - 0.6)] (0.3710 + 0.618t^{0.4484}) \times P_{10}^{60} \quad (1)$$

که در آن، P_T^t شدت باران t دقیقه‌ای با دوره بازگشت T سال و P_{10}^{60} حداکثر بارندگی ۶۰ دقیقه‌ای با دوره برگشت ۱۰ سال است.

برآورد میزان درآمدها و هزینه‌ها در هر یک از کاربری‌ها: با توجه به مطالعات انجام شده و جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مربوط به انواع کاربری‌ها از طریق سال‌نامه آماری و با توجه به میزان تولیدات محصولات مختلف و قیمت محصول در زمان مطالعه، میزان درآمد ناخالص محصولات زراعی آبی، دیم، باغی، جنگلی و مرتعی موجود در منطقه محاسبه شد. میزان هزینه‌ها نیز پس از تعیین ادوات و مواد لازم در هر کاربری و برای هر محصول محاسبه شده و نهایتاً با توجه به سطح اختصاص یافته به هر محصول میزان کل هزینه‌ها محاسبه شد. میزان درآمد خالص از تفاضل درآمد ناخالص و هزینه‌ها برای هر سه گزینه وضعیت فعلی کاربری‌ها، وضعیت اعمال مدیریت اراضی و نهایتاً وضعیت استاندارد کاربری‌ها محاسبه شد.

فرمول‌بندی مساله در هریک از گزینه‌ها: از آن‌جا که توابع هدف در این مطالعه از نوع خطی بوده، برنامه‌ریزی خطی چند هدفی به‌منظور حل مساله انتخاب شده است. برای تعیین توابع هدف و تعیین محدودیت‌ها در هر یک از سه گزینه مورد نظر و برای پنج کاربری جنگل، مرتع، باغ، کشت آبی و کشت دیم، با استفاده از نرم‌افزار ADBASE (Steuer، ۱۹۹۵)، مساله برنامه‌ریزی خطی فرمول‌بندی و حل شد (رابطه ۲).

$$\begin{aligned} \text{Max}(Z_1) = & [(A_{11}X_1) - (A_{12}X_1 + A_{13}X_1 + A_{14}X_1)] + (A_{21}X_2) - (A_{22}X_2 \\ & + A_{23}X_2 + A_{24}X_2)] + (A_{31}X_3) - (A_{32}X_3 + A_{33}X_3 + A_{34}X_3)] + (A_{41}X_4) \\ & - (A_{42}X_4 + A_{43}X_4 + A_{44}X_4)] + (A_{51}X_5) - (A_{52}X_5 + A_{53}X_5 + A_{54}X_5)] \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن، Z_1 درآمد خالص سالانه کل حوزه آبخیز بر حسب میلیون ریال بر سال، A_{11} درآمد ناخالص در واحد سطح اراضی جنگلی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{12} هزینه تولید در واحد سطح اراضی جنگلی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{13} خسارت فرسایش هر واحد سطح اراضی جنگلی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{14} خسارت هدرروی عناصر غذایی هر واحد سطح اراضی جنگلی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{21} درآمد ناخالص در واحد سطح اراضی مرتعی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{22} هزینه تولید در واحد سطح اراضی مرتعی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{23} خسارت فرسایش هر واحد سطح اراضی مرتعی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{24} خسارت هدرروی عناصر غذایی هر واحد سطح اراضی مرتعی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{31} درآمد ناخالص در واحد سطح اراضی باغی بر

¹ Pacific South-West Inter-Agency Committee

حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{32} هزینه تولید در واحد سطح اراضی باغی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{33} خسارت فرسایش هر واحد سطح اراضی باغی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{34} خسارت هدرروی عناصر غذایی هر واحد سطح اراضی باغی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{41} درآمد ناخالص در واحد سطح اراضی کشت آبی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{42} هزینه تولید در واحد سطح اراضی کشت آبی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{43} خسارت فرسایش هر واحد سطح اراضی کشت آبی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{44} خسارت هدرروی عناصر غذایی هر واحد سطح اراضی کشت آبی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{51} درآمد ناخالص در واحد سطح اراضی کشت دیم بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{52} هزینه تولید در واحد سطح اراضی کشت دیم بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{53} خسارت فرسایش هر واحد سطح اراضی کشت دیم بر حسب میلیون ریال بر هکتار، A_{54} خسارت هدرروی عناصر غذایی هر واحد سطح اراضی کشت دیم بر حسب میلیون ریال بر هکتار، X_1 مساحت مربوط به اراضی جنگلی بر حسب هکتار، X_2 مساحت مربوط به اراضی مرتعی بر حسب هکتار، X_3 مساحت مربوط به اراضی باغی بر حسب هکتار، X_4 مساحت مربوط به اراضی کشت آبی بر حسب هکتار و X_5 مساحت مربوط به اراضی جنگلی بر حسب هکتار است. رابطه ارائه شده فوق برای بیشینه نمودن درآمد خالص به شکل زیر (رابطه ۳) خلاصه می‌شود.

$$Max(Z_1) = C_{B1}X_1 + C_{B2}X_2 + C_{B3}X_3 + C_{B4}X_4 + C_{B5}X_5 \quad (3)$$

که در آن، Z_1 درآمد خالص سالانه کل حوزه آبخیز بر حسب میلیون ریال بر سال، C_{B1} سود خالص سالانه در واحد سطح اراضی جنگلی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، C_{B2} سود خالص سالانه در واحد سطح اراضی مرتعی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، C_{B3} سود خالص سالانه در واحد سطح اراضی باغی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، C_{B4} سود خالص سالانه در واحد سطح اراضی کشت آبی بر حسب میلیون ریال بر هکتار، C_{B5} سود خالص سالانه در واحد سطح اراضی کشت دیم بر حسب میلیون ریال بر هکتار، X_1 مساحت مربوط به اراضی جنگلی بر حسب هکتار، X_2 مساحت مربوط به اراضی مرتعی بر حسب هکتار، X_3 مساحت مربوط به اراضی باغی بر حسب هکتار، X_4 مساحت مربوط به اراضی کشت آبی بر حسب هکتار و X_5 مساحت مربوط به اراضی جنگلی بر حسب هکتار است. رابطه کمینه‌سازی فرسایش خاک حوزه مورد مطالعه به صورت رابطه (۴) ارائه می‌شود.

$$Min(Z_2) = C_{E1}X_1 + C_{E2}X_2 + C_{E3}X_3 + C_{E4}X_4 + C_{E5}X_5 \quad (4)$$

که در آن، Z_2 فرسایش سالانه کل حوزه بر حسب تن در سال، C_{E1} فرسایش مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی جنگلی بر حسب تن در هکتار در سال، C_{E2} فرسایش مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی مرتعی بر حسب تن در هکتار در سال، C_{E3} فرسایش مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی باغی بر حسب تن در هکتار در سال، C_{E4} فرسایش مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی کشت آبی بر حسب تن در هکتار در سال، C_{E5} فرسایش مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی کشت دیم بر حسب تن در هکتار در سال، X_1 مساحت مربوط به اراضی جنگلی بر حسب هکتار، X_2 مساحت مربوط به اراضی مرتعی بر حسب هکتار، X_3 مساحت مربوط به اراضی باغی بر حسب هکتار، X_4 مساحت مربوط به اراضی کشت آبی بر حسب هکتار و X_5 مساحت مربوط به اراضی جنگلی بر حسب هکتار است. همچنین رابطه کمینه‌سازی هدرروی عناصر غذایی نیز به صورت رابطه (۵) ارائه شده است.

$$Min(Z_3) = C_{L1}X_1 + C_{L2}X_2 + C_{L3}X_3 + C_{L4}X_4 + C_{L5}X_5 \quad (5)$$

که در آن، Z_3 هدرروی سالانه کل حوزه بر حسب تن در سال، C_{L1} هدرروی مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی جنگلی بر حسب تن در هکتار در سال، C_{L2} هدرروی مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی مرتعی بر حسب تن در هکتار در سال، C_{L3} هدرروی مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی باغی بر حسب تن در هکتار در سال، C_{L4} هدرروی مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی کشت آبی بر حسب تن در هکتار در سال، C_{L5} هدرروی مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی کشت دیم بر حسب تن در هکتار در سال، X_1 مساحت مربوط به اراضی جنگلی بر حسب هکتار، X_2 مساحت مربوط به اراضی مرتعی بر حسب هکتار، X_3 مساحت مربوط به اراضی باغی بر حسب هکتار، X_4 مساحت مربوط به اراضی کشت آبی بر حسب هکتار و X_5 مساحت مربوط به اراضی جنگلی بر حسب هکتار است.

باغی بر حسب هکتار، X_4 مساحت مربوط به اراضی کشت آبی بر حسب هکتار و X_5 مساحت مربوط به اراضی جنگلی بر حسب هکتار است. محدود به روابط (۶) الی (۱۶).

$$X_1 \geq B_1 \quad (۶)$$

$$X_2 \geq B_2 \quad (۷)$$

$$X_3 \geq B_3 \quad (۸)$$

$$X_4 \geq B_4 \quad (۹)$$

$$X_5 \geq B_5 \quad (۱۰)$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0 \quad (۱۱)$$

$$X_3 \leq B_6 \quad (۱۲)$$

$$X_4 \leq B_7 \quad (۱۳)$$

$$X_5 \leq B_8 \quad (۱۴)$$

$$X_3 + X_4 \leq B_9 \quad (۱۵)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = B_{10} \quad (۱۶)$$

که در آن‌ها، X_1 مساحت اراضی جنگلی (ha) ، X_2 مساحت اراضی مرتعی (ha) ، X_3 مساحت باغ‌ها (ha) ، X_4 مساحت کشت آبی (ha) ، X_5 مساحت کشت دیم (ha) ، B_1 کمترین سطح اراضی جنگلی (ha) ، B_2 کمترین سطح اراضی مرتعی (ha) ، B_3 کمترین سطح باغ‌ها (ha) ، B_4 کمترین سطح کشت آبی (ha) ، B_5 کمترین سطح کشت دیم، B_6 بیشترین سطح باغ‌ها (ha) ، B_7 سطح اراضی کشت آبی (ha) ، B_8 سطح اراضی کشت دیم (ha) ، B_9 سطح باغ‌ها به علاوه اراضی کشت آبی (ha) و B_{10} مساحت کل کاربری‌ها (ha) است.

نتایج و بحث

حل مساله بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت کنونی کاربری‌ها بدون تغییر در نحوه مدیریت اراضی: با توجه به مطالب پیشین، رابطه عمومی مساله بهینه‌سازی برای وضعیت کنونی به صورت روابط (۱۷) الی (۱۹) در جدول ۱ ملاحظه می‌شود.

$$\begin{aligned} \text{Max}(Z_1) = & [(21.76 - (0.0000 + 0.0186 + 0.149) + (2.09 - (0.0000 + \\ & 0.0071 + 0.180) + 141.83 - (38.34 + 0.068 + 0.143) + (18.11 - (5.26 + \\ & 0.044 + 0.223) + (1.98 - (1.07 + 0.0065 + 0.308))] \end{aligned} \quad (۱۷)$$

$$\text{Min}(Z_2) = 12.22X_1 + 14.33X_2 + 9.16X_3 + 18.73X_4 + 19.86X_5 \quad (۱۸)$$

$$\text{Min}(Z_3) = 0.106X_1 + 0.124X_2 + 0.104X_3 + 0.159X_4 + 0.218X_5 \quad (۱۹)$$

با ساده نمودن این روابط و نیز کمینه‌سازی روابط به صورت روابط ریاضی بیشینه، توابع ریاضی هدف به صورت روابط (۲۰) الی (۲۲) تغییر شکل یافت. به منظور حل بهینه مساله در حوزه آبخیز و دستیابی به بهترین ترکیب کاربری اراضی، جدول روش سیمپلکس خطی چند هدفی در جدول ۱ ارائه شده است.

$$\text{Max}(Z_1) = 21.592X_1 + 1.902X_2 + 103.289X_3 + 12.583X_4 + 0.595X_5 \quad (۲۰)$$

$$\text{Max}(-Z_2) = -12.22X_1 - 14.33X_2 - 9.16X_3 - 18.73X_4 - 19.86X_5 \quad (۲۱)$$

$$\text{Max}(-Z_3) = -0.106X_1 - 0.124X_2 - 0.104X_3 - 0.159X_4 - 0.218X_5 \quad (۲۲)$$

در این جدول، ستون‌های ۲ تا ۶ از سمت چپ نشان‌دهنده متغیرهای تصمیم‌گیری می‌باشند که در ردیف‌های ۲ تا ۴ به ترتیب دارای واحد پول و فرسایش می‌باشند. اعداد یک و صفر در بقیه ردیف‌ها نشان‌دهنده حضور و عدم حضور متغیر در محدودیت‌ها را نشان می‌دهد. ردیف‌های ۲ تا ۴ در ستون هفتم مشخص‌کننده نوع معادله از نظر بیشینه یا

کمینه نمودن است درحالی که بقیه ردیف‌ها تساوی یا عدم تساوی طرفین معادلات محدودیت‌ها را مشخص می‌سازد. در ستون آخر مقدار سمت راست معادلات محدودیت‌ها بیان‌گر مقدار در اختیار بودن سطح اراضی است.

جدول ۱- جدول سیمپلکس مساله بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز ابوالعباس در وضعیت کنونی

توابع	نوع تابع	X ₁ (جنگل)	X ₂ (مرتج)	X ₃ (باغ)	X ₄ (کشت آبی)	X ₅ (کشت دیم)	سمت راست معادله
هدف ۱	max	۲۱/۵۹۲	۱/۹۰۲	۱۰۳/۲۸۹	۱۲/۵۸۳	۰/۵۹۵	۰/۰۰
هدف ۲	max	-۱۲/۲۲	-۱۴/۳۳	-۹/۱۶	-۱۸/۷۳	-۱۹/۸۶	۰/۰۰
هدف ۳	max	-۰/۱۰۶	-۰/۱۲۴	-۰/۱۰۴	-۰/۱۵۹	-۰/۲۱۸	۰/۰۰
محدودیت ۱	≥	۱	۰	۰	۰	۰	۱۲۹۶۹/۷۴
محدودیت ۲	≥	۰	۱	۰	۰	۰	۱۲۹۷۴/۸۷
محدودیت ۳	≥	۰	۰	۱	۰	۰	۶۸۹/۸۴
محدودیت ۴	≥	۰	۰	۰	۱	۰	۴۳۶/۲۳
محدودیت ۵	≥	۰	۰	۰	۰	۱	۱۳۹/۲۶
محدودیت ۶	≥	۱	۱	۱	۱	۱	۰
محدودیت ۷	≤	۱	۱	۱	۱	۱	۲۸۴۸۶/۴۵

حل مساله بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت کنونی کاربری‌ها با اعمال تغییراتی در نحوه مدیریت اراضی: رابطه عمومی مساله بهینه‌سازی برای وضعیت اعمال مدیریت اراضی بر اساس روابط (۲۳) الی (۲۵) نوشته می‌شود.

$$Max(Z_1) = [(25.01 - (1.060 + 0.0138 + 0.063) + (2.40 - (0.119 + 0.0052 + 0.061) + (186.47 - (60.85 + 0.045 + 0.060) + (18.75 - (4.29 + 0.027 + 0.076) + (2.35 - (0.95 + 0.0052 + 0.098)))] \quad (23)$$

$$Min(Z_2) = 8.28X_1 + 9.64X_2 + 5.00X_3 + 10.34X_4 + 10.50X_5 \quad (24)$$

$$Min(Z_3) = 0.027X_1 + 0.043X_2 + 0.030X_3 + 0.055X_4 + 0.069X_5 \quad (25)$$

یا

$$Max(Z_1) = 23.873X_1 + 2.214X_2 + 125.515X_3 + 14.357X_4 + 1.296X_5 \quad (26)$$

$$Max(-Z_2) = -8.25X_1 - 9.64X_2 - 5.00X_3 - 10.34X_4 - 10.50X_5 \quad (27)$$

$$Max(-Z_3) = -0.027X_1 - 0.043X_2 - 0.030X_3 - 0.055X_4 - 0.069X_5 \quad (28)$$

حل مساله بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت استاندارد کاربری‌ها و مدیریت اراضی: رابطه عمومی مساله بهینه‌سازی برای وضعیت اعمال مدیریت اراضی بر اساس روابط (۲۹) الی (۳۱) نوشته می‌شود.

$$Max(Z_1) = [(25.01 - (1.060 + 0.0098 + 0.063) + 2.40 - (0.119 + 0.0049 + 0.061) + (186.47 - (60.85 + 0.037 + 0.055) + (19.18 - (4.27 + 0.022 + 0.075) + (2.63 - (1.22 + 0.0044 + 0.068)))] \quad (29)$$

$$Min(Z_2) = 6.89X_1 + 7.69X_2 + 4.09X_3 + 8.23X_4 + 8.80X_5 \quad (30)$$

$$Min(Z_3) = 0.027X_1 + 0.043X_2 + 0.029X_3 + 0.054X_4 + 0.049X_5 \quad (31)$$

یا

$$Max(Z_1) = 23.877X_1 + 2.215X_2 + 138.170X_3 + 17.603X_4 + 1.687X_5 \quad (32)$$

$$Max(-Z_2) = -6.89X_1 - 7.69X_2 - 4.09X_3 - 8.23X_4 - 8.80X_5 \quad (33)$$

$$Max(-Z_3) = -0.027X_1 - 0.043X_2 - 0.029X_3 - 0.054X_4 - 0.049X_5 \quad (34)$$

پس از حل مساله به کمک نرم افزار ADBASE، نتایج در جداول ۲ الی ۴ ارائه شده است.

جدول ۲- سطح اختصاص یافته به هر کاربری در شرایط قبل و بعد از بهینه سازی در وضعیت کنونی

کاربری	سطح اختصاص یافته (هکتار)	
	قبل از بهینه سازی	بعد از بهینه سازی
جنگل	۱۲۹۶۹/۷۴	۱۲۹۶۹/۷۴
مرتع	۱۲۹۷۴/۸۷	۱۲۹۷۴/۸۷
باغ	۶۸۹/۸۴	۱۹۶۶/۳۴
کشت آبی	۱۴۵۴/۱۲	۴۳۶/۲۳
کشت دیم	۳۹۷/۸۸	۱۳۹/۲۶

جدول ۳- سطح اختصاص یافته به هر کاربری در شرایط قبل و بعد از بهینه سازی در وضعیت اعمال مدیریت اراضی

کاربری	سطح اختصاص یافته (هکتار)	
	قبل از بهینه سازی	بعد از بهینه سازی
جنگل	۱۲۹۶۹/۷۴	۱۳۲۰۹/۳۹
مرتع	۱۲۹۷۴/۸۷	۱۲۹۷۴/۸۷
باغ	۶۸۹/۸۴	۱۵۵۶/۴۵
کشت آبی	۱۴۵۴/۱۲	۴۷۲/۶۴
کشت دیم	۳۹۷/۸۸	۲۷۳/۱۰

جدول ۴- سطح اختصاص یافته به هر کاربری در شرایط قبل و بعد از بهینه سازی در وضعیت استاندارد

کاربری	سطح اختصاص یافته (هکتار)	
	قبل از بهینه سازی	بعد از بهینه سازی
جنگل	۱۲۹۲۱/۴۶	۱۳۲۰۹/۳۹
مرتع	۱۳۲۳۱/۸۰	۱۲۹۷۴/۸۷
باغ	۱۵۳۵/۶۰	۱۵۳۵/۶۰
کشت آبی	۴۸۰/۲۹	۴۸۰/۲۹
کشت دیم	۳۱۷/۳۰	۲۸۶/۳۰

مقایسه سود، فرسایش و هدرروی عناصر غذایی قبل و بعد از بهینه سازی کاربری اراضی: پس از انجام محاسبات مربوط به مقادیر سود، فرسایش و هدرروی عناصر غذایی در قبل و بعد از بهینه سازی، اقدام به مقایسه آن ها در سه گزینه وضعیت فعلی کاربری ها، اعمال مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد کاربری ها شد که نتایج در جداول ۵ الی ۷ ارائه شده است.

تحلیل حساسیت: تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در سطوح اراضی باغی و آبی (شکل های ۱ و ۲)، نشان می دهد که افزایش و کاهش این سطوح موجب افزایش و کاهش سود می شود. بالا بودن ضریب سوددهی و پایین بودن ضریب فرسایش اراضی باغی نسبت به اراضی آبی در تابع هدف نیز موجب کاهش سطح اراضی آبی و در نتیجه سودآوری بیش تر و فرسایش کم تر می شود. افزایش سطح اراضی دیم با متوسط شیب بالا و کاهش سطح اراضی باغی نیز از عوامل افزایش فرسایش است.

نتایج به دست آمده از مدل بهینه سازی و تحلیل حساسیت آن نسبت به سطح اراضی جنگلی و مرتعی (شکل های ۳ و ۴) بیان گر این حقیقت است که افزایش سطح این کاربری ها باعث کاهش سود می گردد. علت این امر کاستن از سطح اراضی دیگر با سوددهی بیش تر است. هم چنین، افزایش سطح این کاربری باعث افزایش میزان فرسایش در حوزه آبخیز

ابوالعباس می‌شود. دلیل این امر این است که از سطح اراضی باغی و جنگلی که دارای کم‌ترین فرسایش است کاسته شده و بر سطح اراضی مرتعی و دیم افزوده می‌شود.

جدول ۵- مقایسه مقادیر فرسایش سالانه (تن در هکتار) در قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی در گزینه‌های مختلف

کاربری	فرسایش سالانه در وضعیت کنونی		فرسایش سالانه با اعمال مدیریت		فرسایش سالانه در وضعیت استاندارد	
	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد
	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی
جنگل	۱۵۸۴۹۰/۲۲	۱۵۸۴۹۰/۲۲	۱۰۷۰۰۰/۳۵	۱۰۸۹۷۷/۴۶	۸۹۰۲۸/۸۵	۹۱۰۱۲/۶۹
مرتع	۱۸۵۹۲۹/۸۸	۱۸۵۹۲۹/۸۸	۱۲۵۰۷۷/۷۴	۱۲۵۰۷۷/۷۴	۱۰۱۷۵۲/۵۴	۹۹۷۷۶/۷۵
باغ	۶۳۱۸/۹۳	۱۸۰۱۱/۶۷	۳۴۴۹/۲	۷۷۸۲/۲۵	۶۲۸۰/۶۰	۶۲۸۰/۶۰
کشت آبی	۲۷۲۳۵/۶۶	۸۱۷۰/۵۸	۱۵۰۳۵/۶۰	۴۸۸۷/۰۹	۳۹۵۲/۷۸	۳۹۵۲/۷۸
کشت دیم	۷۹۰۱/۸۹	۲۷۶۵/۷۰	۴۱۷۷/۷۴	۲۸۶۷/۵۵	۲۷۹۲/۲۴	۲۵۱۹/۴۴
کل	۳۸۵۸۷۶/۵۸	۳۷۳۳۶۸/۰۵	۲۵۴۷۳۳/۵۱	۲۴۹۵۹۲/۰۹	۲۰۳۸۰۷/۰۱	۲۰۳۵۴۲/۲۶

جدول ۶- مقایسه مقادیر هدرروی سالانه (تن در هکتار) در قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی در گزینه‌های مختلف

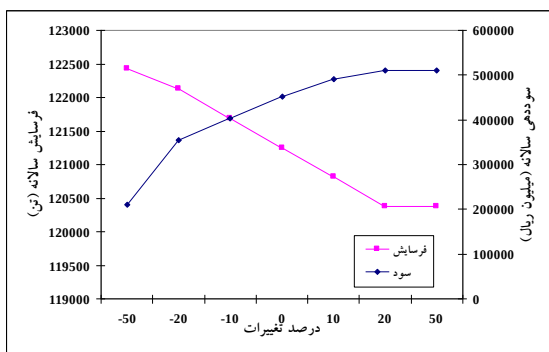
کاربری	هدرروی عناصر در وضعیت کنونی		هدرروی عناصر با اعمال مدیریت		هدرروی عناصر در وضعیت استاندارد	
	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد
	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی
جنگل	۱۳۷۴/۷۹	۱۳۷۴/۷۹	۳۵۰/۱۸	۳۵۶/۶۵	۳۴۸/۸۷	۳۵۶/۶۵
مرتع	۱۶۰۸/۸۸	۱۶۰۸/۸۸	۵۵۷/۹۱	۵۵۷/۹۱	۵۶۸/۹۶	۵۵۷/۹۱
باغ	۷۱/۷۴	۲۰۴/۴۹	۲۰/۶۹	۴۶/۶۹	۴۴/۵۳	۴۴/۵۳
کشت آبی	۲۳۱/۲۰	۶۹/۳۶	۷۹/۹۷	۲۵/۹۹	۲۵/۹۳	۲۵/۹۳
کشت دیم	۸۶/۷۳	۳۰/۳۵	۲۷/۴۵	۱۸/۸۴	۱۵/۵۴	۱۴/۰۲
کل	۳۳۷۳/۳۴	۳۲۸۷/۸۷	۱۰۳۶/۲۲	۱۰۰۶/۰۸	۱۰۰۳/۸۳	۹۹۹/۰۴

جدول ۷- مقایسه مقادیر درآمد سالانه (میلیون ریال در سال) در قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی در گزینه‌های مختلف

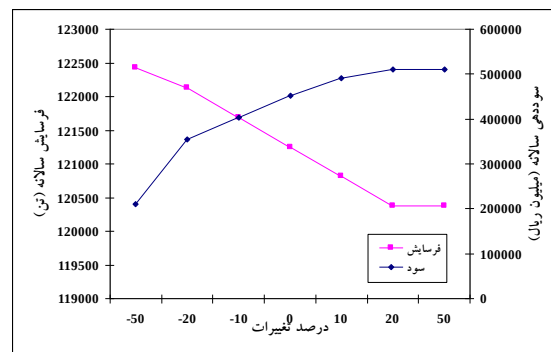
کاربری	درآمد سالانه در وضعیت کنونی		درآمد سالانه با اعمال مدیریت		درآمد سالانه در وضعیت استاندارد	
	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد
	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی
جنگل	۲۸۲۲۲۱/۵۴	۲۸۲۲۲۱/۵۴	۳۱۰۶۲۵/۲۷	۳۱۶۳۶۴/۸۹	۳۰۹۴۶۸/۹۶	۳۱۶۳۶۴/۸۹
مرتع	۲۷۱۱۷/۴۷	۲۷۱۱۷/۴۷	۲۹۵۸۲/۷۰	۲۹۵۸۲/۷۰	۳۰۱۶۸/۵۰	۲۹۵۸۲/۷۰
باغ	۷۱۳۹۱/۵۴	۲۰۳۴۹۶/۵۲	۸۶۶۵۰/۸۰	۱۹۵۵۰۵/۶۸	۲۱۲۱۷۳/۸۵	۲۱۲۱۷۳/۸۵
کشت آبی	۱۸۶۸۵/۴۴	۵۶۰۵/۵۵	۲۱۶۸۰/۹۲	۶۸۳۴/۳۷	۸۴۵۳/۱۰	۸۴۵۳/۱۰
کشت دیم	۳۶۲/۰۷	۱۲۶/۷۲	۵۶۱/۰۱	۳۸۲/۳۴	۵۳۳/۰۶	۴۸۰/۹۸
کل	۳۹۹۷۷۸/۰۷	۵۱۸۵۶۷/۸۰	۴۴۹۱۰۰/۷۰	۵۴۸۶۶۹/۹۸	۵۶۰۷۹۷/۴۷	۵۶۷۰۵۵/۵۲

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، سطح کاربری‌های فعلی در صورت بهینه‌سازی مساله تغییر کرده، به‌طوری‌که سطح اراضی باغی از ۶۸۹/۸۴ به ۱۵۵۶/۴۵ هکتار (۵۵/۶۷ درصد افزایش)، اراضی جنگلی بدون تغییر (۱۲۹۶۹/۷۴ هکتار)، اراضی مرتعی بدون تغییر (۱۲۹۷۴/۸۷ هکتار)، سطح اراضی کشت آبی از ۱۴۵۴/۱۲ هکتار به ۴۷۲/۶۴ (۶۷/۴۹ درصد کاهش) و سطح اراضی کشت دیم نیز از ۳۹۷/۸۸ به ۲۷۳/۱۰ هکتار (۳۱/۳۶ درصد کاهش) تغییر کرده است. نتایج به‌دست آمده از این جدول بیان‌گر این موضوع است که تغییر در سطح کاربری‌ها بیش‌تر در اراضی زراعی و باغ صورت گرفته است. در بازدیدهای محلی و همچنین مصاحبه‌های حضوری با ساکنین روستاهای حوزه آبخیز

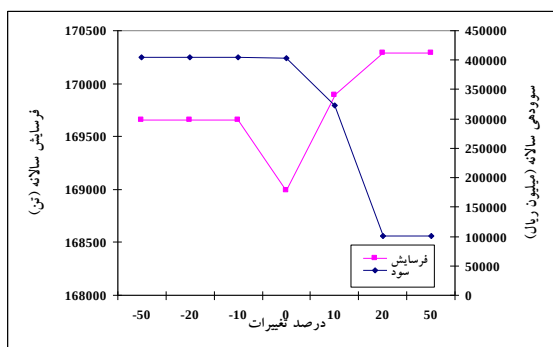
ابوالعباس و مسولان جهاد کشاورزی شهرستان، اکثریت کشاورزان به دلیل سودآوری کم تر اراضی زراعی و بالا بودن میزان سوددهی اراضی باغی و همچنین فراهم بودن شرایط، اراضی خود را به باغ تبدیل می نمایند.



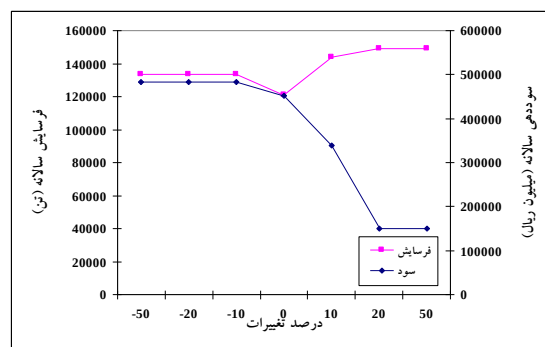
شکل ۲- تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات سطح اراضی کشت آبی



شکل ۱- تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات سطح اراضی باغی



شکل ۴- تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات سطح اراضی جنگلی



شکل ۳- تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات سطح اراضی مرتعی

میزان فرسایش خاک در صورت بهینه سازی کاربری اراضی در شرایط فعلی کاهش پیدا کرده است. همان گونه که جدول ۵ نشان می دهد، میزان فرسایش قبل از بهینه سازی کاربری اراضی برابر $385876/58$ تن در سال بوده است که پس از بهینه سازی کاربری اراضی به $373368/05$ تن در سال رسیده است. به عبارت دیگر، میزان فرسایش $3/24$ درصد کاهش یافته است. نتایج مشابه به این نتایج نیز در تحقیقات مربوط به Nikkani و همکاران (۲۰۰۲) نیز به چشم می خورد. به طوری که بهینه سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز دماوند، میزان فرسایش خاک را پنج درصد کاهش داده است. در نتایج Sadeghi و همکاران (۲۰۰۹) نیز در صورت بهینه سازی کاربری اراضی، کاهش فرسایش خاک به میزان $7/8$ درصد ملاحظه شده است. در بهینه سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز خارستان توسط Nikkani و همکاران (۲۰۰۹) نیز کاهش $3/11$ درصدی میزان فرسایش ملاحظه می شود.

میزان هدرروی عناصر غذایی خاک در صورت بهینه سازی کاربری اراضی در شرایط فعلی کاهش پیدا کرده است. همان گونه که جدول ۶ نشان می دهد، میزان هدرروی عناصر غذایی قبل از بهینه سازی کاربری اراضی برابر $3373/34$ تن در سال بوده است که پس از بهینه سازی کاربری اراضی به $3287/87$ تن در سال رسیده است. به عبارت دیگر، میزان هدرروی عناصر حدود $2/53$ درصد کاهش یافته است.

با توجه به جدول ۷، میزان کل سوددهی حوزه نیز افزایش قابل توجهی یافته است. براساس این جدول، میزان کل سوددهی حوزه در قبل از بهینه سازی کاربری اراضی برابر با $399778/07$ میلیون ریال و پس از بهینه سازی کاربری

اراضی برابر با ۵۱۸۵۶۷/۸۰ میلیون ریال بوده است. به عبارت دیگر، میزان سوددهی حوزه در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، ۲۹/۷۱ درصد افزایش یافته است. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج Nikkami و همکاران (۲۰۰۲)، Sadeghi و همکاران (۲۰۰۹) و Nikkami و همکاران (۲۰۰۹) نیز هم‌خوانی دارد. به‌طوری‌که در مطالعات Nikkami و همکاران (۲۰۰۲)، در آبخیز دماوند، میزان سوددهی حوزه ۱۳۴ درصد، در مطالعات Sadeghi و همکاران (۲۰۰۹)، در آبخیز بریموند ۱۱۹ درصد و در مطالعات Nikkami و همکاران (۲۰۰۹)، در آبخیز خارستان ۱۶۲/۶۳ درصد افزایش داشته است. علت تشابه نتایج را می‌توان در نحوه کاربری‌ها و مدیریت آن‌ها جستجو کرد که موضوع این تحقیق می‌باشد. همان‌گونه که در تحلیل حساسیت در شکل‌های ۱ الی ۴ ملاحظه شد، تغییرات در سطح کاربری‌ها در میزان فرسایش خاک، هدر روی عناصر غذایی و سوددهی آن‌ها تاثیر داشته و در حوزه‌های آبخیز دست‌یابی به نقطه عطف به‌کمک برنامه‌های بهینه‌سازی منجر به انتخاب این نقطه عطف می‌شود.

بر اساس جداول ۵ الی ۷ در وضعیت اعمال مدیریت اراضی و همچنین در شرایط استاندارد نیز روند کاهش فرسایش خاک و هدر روی عناصر غذایی و روند افزایش سوددهی حوزه آبخیز، بعد از بهینه‌سازی، کاملاً مشهود است. به‌طوری‌که اعمال مدیریت اراضی در کاربری‌های فعلی، میزان فرسایش خاک را ۳۵/۳۱ درصد کاهش می‌دهد. یعنی میزان فرسایش از ۳۸۵۸۷۶/۵۸ به ۲۴۹۵۹۲/۰۹ تن در سال در بعد از بهینه‌سازی کاهش می‌یابد. نتایج حاکی از کاهش میزان هدرروی عناصر غذایی خاک در صورت بهینه‌سازی در شرایط اعمال مدیریت اراضی در کاربری‌های فعلی است. میزان هدرروی عناصر غذایی قبل از بهینه‌سازی ۱۰۳۶/۲۲ بود که پس از بهینه‌سازی به ۱۰۰۶/۰۸ تن در سال رسیده است. به‌بیان دیگر میزان هدرروی عناصر ۷۰/۱۷ درصد کاهش یافته است. همچنین نتایج دلالت بر افزایش چشم‌گیری در میزان سوددهی کل حوزه آبخیز پس از اعمال مدیریت اراضی در کاربری‌های مختلف دارد. میزان سوددهی کل حوزه قبل و بعد از بهینه‌سازی به‌ترتیب ۴۴۹۱۰۰/۷۰ و ۵۴۸۶۶۹/۹۸ میلیون ریال بوده است. به عبارت دیگر، بهینه‌سازی کاربری اراضی همراه با اعمال مدیریت اراضی در کاربری‌های فعلی موجب افزایش ۳۷/۲۴ درصدی در میزان سود کل حوزه شده است. بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط استاندارد نیز، میزان فرسایش خاک را از ۲۰۳۸۰۷/۰۱ به ۲۰۳۵۴۲/۲۶ تن در سال و میزان هدرروی عناصر غذایی خاک را از ۱۰۰۳/۸۳ به ۹۹۹/۰۴ تن در سال کاهش و میزان سوددهی کل حوزه آبخیز را از ۵۶۰۷۹۷/۴۷ به ۵۶۷۰۵۵/۵۲ میلیون ریال افزایش داده است.

در کل، می‌توان به این نتیجه رسید که استفاده از برنامه‌ریزی خطی و بهینه‌سازی کاربری اراضی در کنار روش‌های دیگر از جمله بررسی قابلیت اراضی موجب بهره‌برداری بهینه از کاربری‌های مختلف حوزه آبخیز می‌شود. علی‌رغم تاثیر مثبت استفاده از بررسی‌های قابلیت اراضی، نقطه عطف و بهینه تعیین کاربری‌ها توسط بهینه‌سازی کاربری اراضی در قالب حل مسئله با اهداف چندگانه و متفاوت میسر است. به عبارت دیگر، بهره‌برداری بهینه در گروهی جامع‌نگری در استفاده از اراضی حوزه‌های آبخیز است و مدیریت بخشی به رسیدن به نقطه عطف و بهره‌برداری بهینه منجر نمی‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Armin, M., Telvari, A., Najafinejad, A. and Ghorbannia, V. 2007. The effect of slope, rainfall duration and soil texture on the amount of soil erosion, using FEL3 rainfall simulator. 4th National Conference on Sciences and Engineering Watershed Management of Iran-Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Karaj, Iran.
2. Benli, B., Kodali, S., 2003. A non-linear model for farm optimization with adequate and limited water supplies: Application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region. Agric. Water Management, 62: 187-203.
3. Eswaran, H., Lal, R. and Reich, P.F. 2001. Land degradation: An overview. In: Response to land degradation. Bridges, E.M., Hannam, I.D., Oldeman, L.R., Penning de Vries, F.W.T., Scherr, S.J., Sombatpanit, S. (Eds.), Science Publishers Inc., Enfield, NH, USA, pp: 20-35.
4. Ghahraman, B. and Sepaskhah, A. 1987. Estimation of one hour, ten years return period rainfalls for determination of rainfall Intensity-Duration-Frequency equations in Iran. Proceedings of 3rd International Road and Building Engineering Congress of Iran, Faculty of Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran.

5. Jalalian, A., Ghahsareh, A.M. and Karimzadeh, H.R. 1996. Soil erosion estimates for some watersheds in Iran. Abstract Book of International Conference on Land Degradation, Adana, Turkey, pp. 12-13.
6. Johnson, C.W. and Gebhardt, K.A. 1982. Predicting sediment yields from Sagebrush ranges. Proceedings of Workshop on Estimating Erosion and Sediment Yield on Rangelands, Tucson, Arizona, March 1981, USDA, ARM-W-26, P. 129-144.
7. Kralisch, S., Fink, M., Flugel, W.A. and Beckstein, C. 2003. A neural network approach for the optimization of watershed management. Journal of Environmental Modelling and Software, 18: 815-823.
8. Liu, D. and Stewart, T.J. 2004. Object-oriented decision support system modeling for multicriteria decision making in natural resource management. Computers and Operations Research, 31 (7): 985-999.
9. Luo, B. and You, J. 2007. A watershed-simulation and hybrid optimization modeling approach for water-quality trading soil erosion control. Advances in Water Resources, 30: 1902-1913.
10. Miller, S.N., Semmens, D.J., Miller, M., Hernandez, D.C., Goodrich, W.P., Miller, W.G. and Ebert, D. 2002. GIS-based hydrologic modeling: the automated geospatial watershed assessment tool. Preceedings of the 2nd Federal Interagency Hydrologic Modelling Conference, Las Vegas, NV, July 28-August 1.
11. Mohseni Saravi, M., Farzanegan, M., Koopae, M., Kholghi, M., 2003. The determination of optimal land use pattern in watershed resources using goal programming. Iranian Natural Resources Journal, 56: 3-16.
12. Nikkami, D. 1999. Optimizing the management of soil erosion using GIS. Ph.D. Thesis, Department of Building, Civil, and Environmental Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada, 108p.
13. Nikkami, D., Mehuys, G.R. and Elektorowicz, M. 2002. Optimizing the management of soil erosion. Water Quality Research Journal of Canada, 37(3): 577-586.
14. Nikkami, D., Shabani, M., Ahmadi, H., 2009. Land use scenarios and optimization in a watershed. Journal of Applied Sciences, 9 (2): 287-295.
15. Riedel, C. 2003. Optimizing land use planning for mountainous regions using LP and GIS towards sustainability. Indian Journal of Soil Conservation, 34: 121-124.
16. Sadeghi, S.H.R., Jalili, Kh. and Nikkami, D. 2009. Land use optimization in watershed scale. Land Use Policy, 26: 186-193.
17. Sikka, P., Puxty, A., Willmott, H. and Cooper, C. 2003. The impossibility of eliminating the expectations gap: Some theory and evidence. Department of Accounting, Finance and Management, University of Essex, Wivenhoe Park, Colchester, UK, 28 p.
18. Singh, A.K. and Singh, J.P. 1999. Production and benefit maximization through optimal crop planning: A case study of Mahi Command. Indian Journal of Soil Conservation, 27 (2): 152-157.
19. Steuer, R.E. 1995. Manual for the ADBASE, multiple objective linear programming package, Parts I, II and III. Faculty of Management Science, University of Georgia, Athens, Georgia, USA, 153 p.
20. Wang, X.H., Yu, S. and Huang, G.H., 2004. Land allocation based on integrated GIS- Optimization modelling at a watershed level. Landscape Urban Planning, 66: 61-74.
21. Yousefifard, M., Jalalian, A. and Khademi, H. 2007. Predicting the amount of soil loss and nutrients due to rangeland use, using rainfall simulator. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 11(40): 93-106.
22. Zeleny, M. 1974. Linear multi-objective programming. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Land use management optimization for Abolabbas Watershed resources conservation

Davood Nikkami¹, Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Hadi Chamheydar, Former PhD Student, Sciences and Researches Unit, Azad Islamic University, Iran

Mohammad Hossein Mahdian, Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Ebrahim Pazira, Professor, Sciences and Researches Unit, Azad Islamic University, Iran

Received: 05 September 2011

Accepted: 21 February 2012

Abstract

Environmental and economic impacts of soil erosion are due to improper land management in a watershed. Although it is impossible to stop soil erosion completely under natural conditions, there is a great need to control erosion for proper land use planning. According to the scarcity of literature in the area of soil nutrient evaluation with optimization models, the main objective of this research is determining the optimum level of land uses to minimize soil erosion and nutrients losses and maximize people incomes that live in a watershed. For this purpose, Abolabbas Watershed in the north-eastern part of Khuzestan Province was chosen for this research. A linear programming model was used in three different scenarios including current land use condition without land management, current land use condition with land management and standardized land use condition. Results demonstrated that the current land uses are not optimized for the least soil erosion and nutrient losses and high income. At optimized conditions, the area of forests and orchards increased by 1.81 and 55.7% respectively, rangelands with no changes, and irrigated and drylands decreased by 67.5 and 31.4% respectively. Also, results showed that land use optimization, in current land uses with no land management, decreases total soil erosion by 3.2% and total nutrient soil losses by 2.5 and increases total income by 29.7%, in current land uses with land management, decreases total soil erosion by 35.3% and total nutrient soil losses by 70.2 and increases total income by 37.2%, and in standardized land uses, total soil erosion by 47.2% and total nutrient soil losses by 70.4 and increases total income by 41.8%. Sensitivity analysis, also, showed that the change in the area of orchards and Irrigated lands has the most effects on increasing income and decreasing soil erosion and nutrients losses in Abolabbas watershed.

Key words: Integrated watershed management, Land management, Linear programming, Nutrients loss, Sensitivity analysis

¹ Corresponding author: nikkami@scwmri.ac.ir