نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۰، شماره ۱، ۱۳۹۷، صفحات ۴۳-۵۷

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 10, Issue 1, 2018, Pages 43-57
DOI: 10.22092/ijwmse.2018.111071.1317

بهینه‌سازی کاربری اراضی بخشی از دامنه‌های جنوبی حوزه آبخیز اهرچای

جمشید یاراحمدی*[۱]، داود نیک‌کامی[۲]، علی شهنوازی[۳] و محمد ابراهیم صادق‌زاده[۴]

[۱] استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران، [۲] استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران [۳] استادیار گروه تحقیقات اقتصاد کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران و [۴] کارشناس محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۶

چکیده

افزایش درآمد آبخیزنشینان همراه با کنترل فرسایش خاک از مهمترین اهداف توسعه پایدار کشاورزی است. بهینه‌سازی کاربری اراضی از جمله راه‌حل‌های موثر در زمینه افزایش سود و کاهش خسارات فرسایش خاک به‌شمار می‌رود. تحقیق حاضر، در بخشی از دامنه‌های جنوبی حوزه آبخیز اهرچای در استان آذربایجان شرقی صورت گرفته است. در این پژوهش، برای بهینه‌سازی کاربری اراضی از مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه به روش سیمپلکس در قالب سه سناریوی مختلف، کاربری وضع موجود، وضعیت موجود با اعمال مدیریت و وضعیت استاندارد اراضی با به‌کارگیری نرم‌افزار WinQSB استفاده شده است. نتایج حاصله نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، سطح باغات آبی از ۱۷۳/۶ به ۶۶۲/۹ هکتار افزایش خواهد یافت. همچنین، وجود خاک مناسب و نزولات جوی کافی، توسعه باغات دیم در منطقه را تا سطح ۹۷۲ هکتار امکان‌پذیر می‌سازد. با بهینه‌سازی کاربری اراضی، متوسط وزنی فرسایش خاک در سناریوی اول و دوم به‌ترتیب از ۱۶/۳ به ۱۴/۸ و از ۱۰/۱۱ به ۹/۵ تن در سال کاهش یافته است. این مقدار در وضعیت استاندارد، به ۶/۸ تن در سال رسیده است. از طرف دیگر، با بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان درآمد خالص در واحد سطح در وضعیت فعلی از ۶/۶ به ۱۲/۹ و در وضعیت اعمال مدیریت از ۸/۴۶ به ۱۴ میلیون ریال در سال افزایش خواهد یافت. این مقدار در سناریوی سوم به ۱۵/۶۷ میلیون ریال در سال افزایش یافته است. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نشان داد که کاربری‌های باغات آبی و دیم، حساسیت بالائی در توابع بیشینه‌سازی سود داشته، علت آن سوددهی بالای این کاربری‌ها در واحد سطح است. در مقابل، در کمینه‌سازی فرسایش، کاربری‌های مراتع، جنگل و کشت دیم از حساسیت بالائی برخوردار بوده، به‌طوری که افزایش سطح آن‌ها تاثیر زیادی در افزایش فرسایش منطقه خواهد گذاشت.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان شرقی، الگوی کاربری اراضی، بیشینه‌سازی سود، روش سیمپلکس، کمینه‌سازی فرسایش

مقدمه

در قرن اخیر، گسترش سریع مناطق تحت تاثیر فرسایش خاک (بادی و آبی) و آثار زیان‌بار این پدیده طبیعی در همه کشورها مشاهده می‌شود (Beilicci و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه، تخریب اراضی ناشی از فشار انسان در قالب تغییرات کاربری زمین، به یک مشکل

* مسئول مکاتبات: yarahmadi@itc.nl

مهم جهانی تبدیل شده است (Garcia-Ruiz، ۲۰۱۰). اما به‌دلیل میزان بالای رشد جمعیت و تخریب سریع اراضی، اثرات این تخریب در کشورهای در حال توسعه بیشتر احساس می‌شود (Feoli و همکاران، ۲۰۰۰). برای کاهش اثرات محیطی و اقتصادی ناشی از سوء مدیریت در استفاده از اراضی، ضرورت اتخاذ تدابیر اساسی در سطح حوزه‌های آبخیز بیش از پیش احساس می‌شود. اگر چه متوقف کردن کامل فرسایش خاک تا حد شرایط طبیعی امکان‌پذیر نیست، ولی مهار فرسایش و کنترل آلودگی‌های منابع آب و خاک در حوزه‌های آبخیز و طرح‌های بهره‌برداری از آب و خاک یک نیاز مبرم است. بهینه‌سازی مدیریت اراضی در حوزه‌های آبخیز یکی از راه‌های مناسب در زمینه حفاظت از خاک است. این امر برنامه‌ریزان را قادر می‌سازد تا از بین ترکیبات مختلف و متنوع کاربری‌ها، کاربری بهینه را طوری انتخاب نماید که علاوه بر کاهش آلودگی منابع آب و خاک و کاهش فرسایش و رسوب، درآمد بالائی را برای آبخیزنشینان فراهم سازند (Han و همکاران، ۲۰۱۳). حل بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی یکی از روش‌های رایج در این زمینه است (Edgar، ۲۰۰۰).

استفاده از برنامه‌ریزی خطی در مدیریت و تصمیم‌گیری از سال ۱۹۴۰ در جریان جنگ دوم جهانی زمانی‌که یک تیم از دانشمندان انگلیسی آن را در تصمیم‌گیری نظامی مرتبط با بهترین حالت استفاده از جنگ‌افزارها به‌کار گرفتند شروع شد (Taha، ۲۰۱۱). پس از آن، ابزارهای برنامه‌ریزی ریاضی به‌طورکلی در زمینه‌های متعددی از طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های کشاورزی نظیر؛ کشت مخلوط، محصولات باغی، نژادهای مختلف دامی و انواع مختلف از ترکیب فعالیت‌های دیگر نیز استفاده شده‌است (Igwe و همکاران، ۲۰۱۳). همان‌طوری که Cao و همکاران (۲۰۱۲) اظهار می‌دارند، برنامه‌ریزی خطی از گذشته دور برای حل انواع مختلف مسائل چند هدفه نظیر بهینه‌سازی کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گرفت. در همین راستا، Singh و Singh (۱۹۹۹) برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در کشور چین از برنامه خطی چند هدفه استفاده کردند. Nikkami و همکاران (۲۰۰۲) بهینه‌سازی کاربری اراضی را با استفاده از روش سیمپلکس و برنامه‌ریزی خطی چند منظوره برای ارزیابی تاثیرات محیطی و اقتصادی فرسایش خاک ناشی از مدیریت نامناسب کاربری اراضی در یکی از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز دماوند بکار بردند. نتایج تحقیق آن‌ها کاهش پنج درصدی تولید رسوب و افزایش ۱۳۴ درصدی سود سالانه را در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه نشان داد.

Mohseni Saravi و همکاران (۲۰۰۳) از روش برنامه‌ریزی چند هدفه اقدام به بهینه‌سازی انواع مختلف کاربری اراضی در زیرحوضه گرمابدشت حوضه قره‌سو استان گلستان نمودند. در تحقیق دیگر، Nguyen و Egashira (۲۰۰۴) بر افزایش سود ناشی از اراضی جنگلی و کشاورزی از طریق تخصیص بهینه انواع کاربری‌های مناسب با استفاده برنامه‌ریزی خطی در Tran Yen ژاپن تاکید داشتند. در مطالعه Jalili و همکاران (۲۰۰۷) در حوزه آبخیز بریموند استان کرمانشاه از مدل برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌منظور کمینه‌کردن فرسایش استفاده شد. نتایج این تحقیق، ضمن معرفی الگوی بهینه کاربری اراضی، از کاهش فرسایش ۷/۸۷ درصدی و افزایش سود سالیانه ۱۱۸/۶۲ درصدی حکایت دارد. در تحقیقی مشابه، Nikkami و همکاران (۲۰۰۹) از برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای بهینه‌سازی الگوی کاربری اراضی برای کمینه‌سازی فرسایش خاک و بیشینه‌سازی سود در حوزه آبخیز خارستان در استان فارس استفاده کردند. نتایج کار ایشان نشان داد که الگوی کاربری فعلی، مناسب منطقه مورد مطالعه نبوده، بهینه‌سازی کاربری اراضی موجب کاهش ۵۳/۲ درصدی فرسایش خاک و افزایش ۲۰۷/۹۸ درصدی سود در منطقه خواهد شد. Shabani (۲۰۱۰) به‌منظور تعیین الگوی بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز زاخرد در استان فارس، بر ضرورت به‌کارگیری مدل برنامه‌ریزی خطی برای بیشینه‌سازی سود و کاهش فرسایش اراضی منطقه مورد مطالعه با توجه به محدودیت منابع آبی موجود در آن منطقه تاکید داشته است.

در تحقیقی دیگر، Fallah Shamsi (۲۰۱۰) یک مدل برنامه‌ریزی خطی جامعی را با ۱۰۶ متغیر و ۴۳

محدودیت اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی برای تعیین قابلیت اراضی و ارزیابی تناسب ۲۸۰۰۰ هکتار از اراضی حوزه آبخیز کلیبرچای در آذربایجان شرقی به‌کار گرفت. در این تحقیق، فرایند تخصیص زمین با روش ارزیابی چندمعیاره[1] و فرایند تخصیص زمین چندهدفه[2] انجام شده است. نتایج کار ایشان، الگوی بهینه کاربری اراضی منطقه را به‌صورت زراعت جو دیم، باغ گردو، مرتع و پارک نشان داد. Vafakhah و Mohseni Saravi (۲۰۱۱) از روش Steuer و نرم‌افزار ADBASE برای حل مسئله بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه آورازن از زیرحوضه‌های طالقان استفاده کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که اجرای محدودیت ماده ۵۶ قانون ملی شدن جنگل‌ها و مراتع کشور منجر به کاهش ۱۰/۲۹ درصدی میزان فرسایش و تنزل ۱۷/۷۱ درصدی سود خالص خواهد شد. در حالی‌که، بهینه‌سازی بدون اجرای محدودیت فوق‌الذکر، منجر به افزایش ۲۲/۲۴ درصدی سود خالص و کاهش ۶/۹۳ درصدی میزان فرسایش خواهد شد.

Owji و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی در حوزه آبخیز جاجرود با استفاده از برنامه‌ریزی خطی چند هدفه نسبت به حل مسئله بهینه‌سازی الگوی کاربری به روش سیمپلکس برای کمینه‌سازی فرسایش خاک و بیشینه‌سازی سود پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، بایستی سطح باغات افزایش و کاربری‌های زراعت آبی و مراتع کاهش یابد. تأثیر بهینه‌سازی صورت گرفته در این پروژه افزایش ۷۰/۹ درصدی سود و کاهش ۳۶/۱۵ درصدی فرسایش خاک را نشان می‌دهد. Davoodirad و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی اقدام به بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه آدینه مسجد در شازند با استفاده از برنامه‌ریزی خطی در محیط نرم‌افزار Lingo11.0 و سامانه اطلاعاتی جغرافیایی نمودند. آنان مدل برنامه-ریزی خطی را در سه سناریوی وضعیت فعلی کاربری، اعمال مدیریت و حالت استاندارد برای دو هدف افزایش سود و کاهش فرسایش خاک تعریف کردند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که با بهینه‌سازی کاربری، میزان فرسایش خاک در وضعیت فعلی ۱/۲۷ درصد، اعمال مدیریت اراضی ۱۸/۶۹ درصد و وضعیت استاندارد ۲۶/۹۳ درصد کاهش می‌یابد. همین مسئله از طرف دیگر، باعث کاهش درآمد خالص سالانه ۱۸/۵۶ درصد و افزایش آن به میزان ۴۸/۰۱ و ۲۲۰/۰۷ درصد به‌ترتیب در وضعیت اعمال مدیریت و استاندارد می‌شود.

Sunandar و همکاران (۲۰۱۴) بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز Asahan را از طریق برنامه-ریزی خطی و بهینه‌سازی مکانی[3] انجام دادند. در این پژوهش، بهینه‌سازی برای کمینه‌سازی فرسایش با تعدادی محدودیت‌ها و ارزش اقتصادی زمین در نظر گرفته شده بود. نتایج نشان داد که از طریق افزایش سطح مناطق جنگلی، افزایش سطح زیرکشت زراعی و شالیزار، کاهش دیم‌زارها و تبدیل اراضی بایر و بوته-زارها به مناطق پوشش گیاهی برای کمینه‌سازی فرسایش امکان‌پذیر است.

الگوی کاربری اراضی موجود در منطقه مورد مطالعه با وجود تنوع کاربری اراضی و وجود خاک حاصلخیز، شرایط اقلیمی مناسب و کفایت نسبی منابع آب سطحی، به‌نظر می‌رسد که به‌صورت بهینه نبوده، درآمد ناشی از فعالیت‌های کشاورزی مردمان منطقه متناسب با پتانسیل موجود در منطقه نمی‌باشد، لذا، در سال‌های اخیر، مهاجرت از مناطق روستائی این ناحیه به شهرهای اطراف آن افزایش یافته است. بدین منظور، پژوهش حاضر با هدف بهینه‌سازی الگوی کاربری اراضی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی چند هدفه به‌روش سیمپلکس به‌منظور کمینه‌سازی فرسایش و بیشینه‌سازی سود در قالب سه سناریوی مختلف در منطقه یاد شده اجرا شده است.

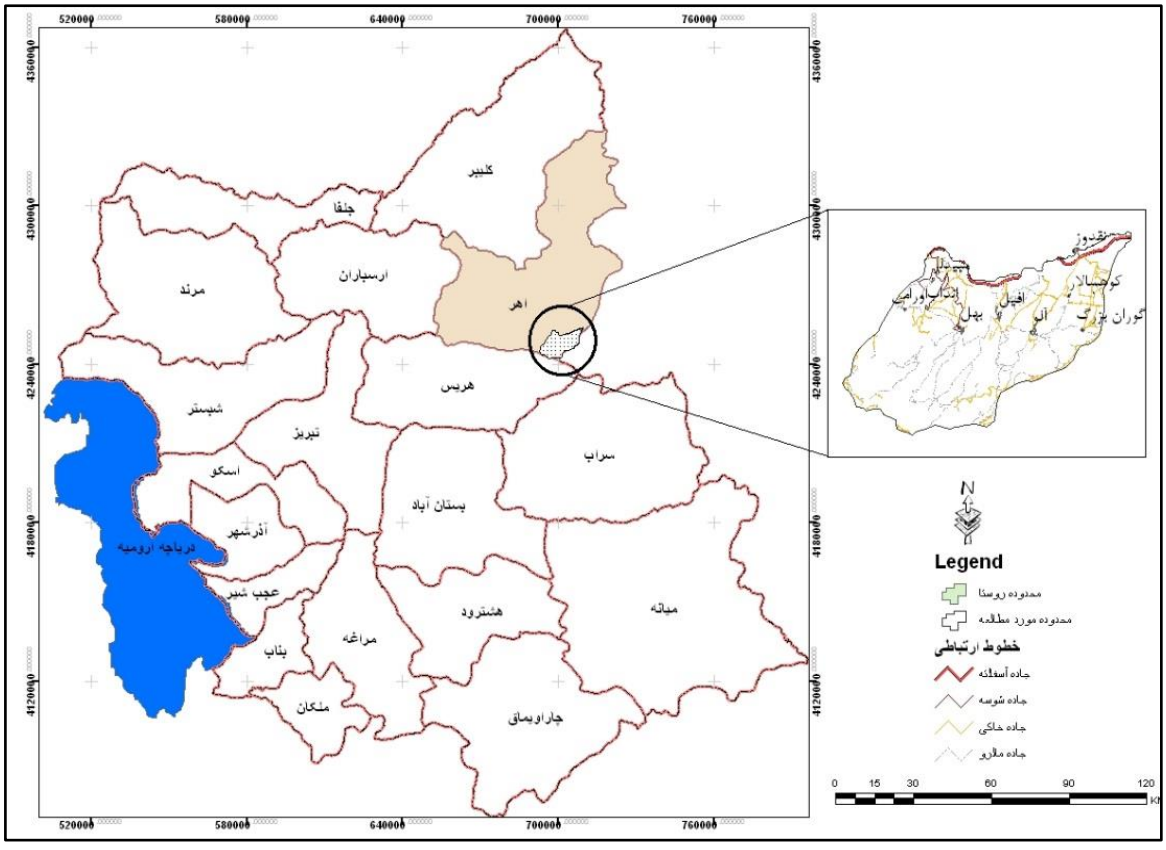
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۰۸ کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی ″۱۸ ′۱۸ °۳۸ تا ″۳۶ ′۲۴ °۳۸ عرض شمالی و ″۱۴ ′۱۲ °۴۷ تا ″۶ ′۲۴ °۴۷ طول شرقی واقع شده که از نظر تقسیمات سیاسی در شهرستان اهر در شرق استان

[1] Multi-criteria evaluation
[2] Multi-objective land allocation
[3] Spatial

آذربایجان شرقی در مسیر ارتباطی اهر- مشکین‌شهر قرار گرفته است (شکل ۱). بر اساس اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اهر (۹۲-۱۳۶۵)، میانگین مجموع بارش سالانه منطقه حدود ۲۸۸ میلی‌متر بوده، متوسط روزانه دما ۱۰/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بیشینه و کمینه دما به‌ترتیب ۵/ ۱۶ و ۵/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بر اساس تفسیر رقومی تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۴ ماهواره لندست ۸، تعداد شش طبقه کاربری شامل اراضی جنگلی (۱۳/۴درصد)، زراعت آبی (۱/۶۹ درصد)، زراعت دیم (۱۹/۴ درصد)، باغات آبی (۷/۸۵ درصد)، مراتع (۵۷/۷ درصد) و مناطق مسکونی (۰/۲۵ درصد) در منطقه شناسائی و تفکیک شده است.

بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازندهای زمین‌شناسی منطقه عموماً از نوع سنگ‌های آذرین و رسوبی بوده که تقریباً در تمام نقاط حوضه پراکنش دارند به‌طوری که حدود ۴۸ درصد منطقه تحت پوشش واحد لیتولوژیکی بیوتیت، گرانیت تا گرانودیوریت بوده، بعد از آن پادگانه‌های قدیمی ۲۷/۲۵ درصد از کل محدوده را اشغال کرده است. در مقابل، کمترین سطح مربوط به آبرفت‌های عهد حاضر بوده که تنها نزدیک به یک درصد از کل محدوده را به خود اختصاص داده‌اند. خاک‌های منطقه شامل انتی‌سول‌ها (Entisols) و رده اینسپتی‌سول‌ها (Inceptisols) بوده، به واسطه وجود رژیم رطوبتی زریک (Xeric) و همچنین خصوصیات خاک‌های موجود در این دو رده، خاک‌های منطقه در زیر رده‌های Xerepts و Ortants قرار گرفته‌اند. وجود افق کلسیک و عدم وجود افق‌های مشخص دیگر در خاک‌های رده اینسپتی‌سول، آن‌ها را در گروه‌های بزرگ Calcixerepts و Haploxerepts و خاک‌های رده انتی‌سول را در گروه بزرگ xerorthents قرار می‌دهد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

روش پژوهش: در این پژوهش، بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی چندهدفه در قالب سه سناریوی ۱) کاربری در وضعت کنونی، ۲) وضع موجود با اعمال مدیریت و ۳) وضعیت استاندارد

کاربری اراضی صورت گرفته است. میزان فرسایش و درآمد خالص در هر یک از کاربری‌ها در گزینه‌های سه‌گانه محاسبه و به‌عنوان ضرایب در توابع هدف مورد استفاده قرار گرفته است. سپس، تغییرات میزان فرسایش و درآمد خالص کل حوزه آبخیز پس از بهینه‌سازی و به تفکیک هر یک از گزینه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

تهیه نقشه کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی وضع موجود بر اساس تفسیر رقومی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سال ۲۰۱۴ و به‌روش شیءگرا[1] تهیه شده و دقت نتایج حاصله بر اساس بازدیدهای میدانی، تهیه نقاط تعلیمی و اطلاعات مستخرج از Google Earth ارزیابی شد. همین نقشه با در نظر گرفتن اعمال مدیریت در سناریوی ۲ مورد استفاده قرار گرفته است. ولی نقشه کاربری اراضی در سناریوی ۳ بر اساس اطلاعات اقلیمی، منابع آب و ویژگی‌های خاک منطقه در قالب تناسب اراضی به‌روش محدودیت ساده فائو تهیه شده است.

برآورد فرسایش خاک: برای برآورد فرسایش خاک در هر یک از سناریوها از مدل تجربی MPSIAC استفاده شد. عوامل نه‌گانه این مدل شامل زمین-شناسی سطحی، خاک، رواناب، اقلیم، توپوگرافی، پوشش سطح زمین، نحوه استفاده از زمین، فرسایش سطحی و رودخانه‌ای در هر سناریو در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS10.2 تهیه شدند. همچنین، از معادله رسوب‌دهی (رابطه ۱) برای محاسبه رسوب استفاده شده است. بر اساس عامل مساحت هر کاربری، نسبت تحویل رسوب و فرسایش آن به کمک رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه شده است. مقادیر عوامل نه‌گانه به‌غیر از عامل نحوه استفاده از زمین در هر سه سناریو ثابت بوده و مقدار عددی آن در سناریوهای دوم و سوم مطابق با روش مدیریتی مورد نظر در هر کاربری در نظر گرفته شد (Omidvar، ۲۰۰۷). در ادامه، با همپوشانی لایه‌های فرسایش و کاربری اراضی، میزان فرسایش خاک هر کاربری در هرکدام از سناریوها محاسبه شد.

$$Qs = 0.253e^{0.036R} \quad (۱)$$

$$Log\left(SDR\right) = 1.8768 - 0.14191 \times \log\left(10A\right) \quad (۲)$$

$$E = Qs / SDR \quad (۳)$$

که در آن، Qs مقدار رسوبدهی حوضه (تن در هکتار)، e عدد نپرین و R جمع عوامل نه‌گانه مدل یا درجه رسوب‌دهی، SDR نسبت تحویل رسوب (درصد)، A مساحت کاربری‌ها (هکتار) و E میزان فرسایش کل (تن در سال) است.

محاسبه درآمدخالص: نحوه محاسبه درآمد خالص کاربری‌های مختلف در هر یک از سناریوها در ادامه بحث ارائه شده‌است. پیش‌تر، همین روند در تحقیقات Nikkami و همکاران (۲۰۰۲)، Jalili و همکاران (۲۰۰۷)، Sadeghi و همکاران (۲۰۰۹)، Fallah Shamsi (۲۰۱۰)، Owji و همکاران (۲۰۱۲) و Davoodirad و همکاران (۲۰۱۳) نیز به‌کار رفته است.

سناریوی اول: در این مرحله، بر اساس اطلاعات سیمای آمار کشاورزی سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی، ابتدا درآمد ناخالص هر یک از کاربری‌ها را از ضرب عملکرد هر محصول در واحد سطح و قیمت آن در سال پایه زراعی ۹۳-۹۲ برآورد کرده سپس با کسر هزینه تولید، سود خالص آن محصول محاسبه شده است. در اینجا، سود خالص در هر یک از کاربری‌ها به‌صورت متوسط وزنی سطح زیرکشت آن‌ها در نظر گرفته شده است. سه محصول عمده سیب، گیلاس و گردو به‌عنوان محصولات باغی غالب منطقه انتخاب شده‌اند. محصولات زراعی آبی غالب منطقه، شامل غلات (گندم و جو)، حبوبات (لوبیا چیتی) و نباتات علوفه‌ای (یونجه و کشت ترکیبی باغات و یونجه) و محصولات زراعت دیم منطقه نیز شامل غلات (جو و گندم) و حبوبات (عمدتاً عدس) می‌باشند. مراتع غالب منطقه از سه تیپ As.Sp-Ar.Si، As.Sp-Fe.Ov و Fe.Ov-Tr-mo تشکیل شده است. درآمد حاصل از مراتع، از حاصل‌ضرب مقدار علوفه قابل برداشت در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار) و قیمت محلی آن محاسبه شده است. در این قسمت، با توجه به دولتی بودن مالکیت اراضی مرتعی، هزینه برای تولید آن منظور نشده است. جنگل‌های منطقه مورد مطالعه دارای نقش حفاظتی و ارزش‌های زیست محیطی بوده، از ارزش اقتصادی چندانی برخوردار نیستند و متاسفانه تابحال ارزیابی اقتصادی

[1] Object oriented method

در این مورد صورت نگرفته است. با این وجود، به‌خاطر دولتی بودن مالکیت جنگل‌ها، مشابه مورد قبلی، هزینه‌ای برای تولید در این کاربری نیز در نظر گرفته نشد. اما، درآمد این مناطق بر اساس توان تولید علوفه زیراشکوب توده جنگلی، چوب هیزمی، زغال‌گیری و ارزش میوه درختان فندق داخل جنگل محاسبه شده است.

سناریوی دوم: در این سناریو نیز نحوه محاسبه سود خالص هر یک از کاربری‌ها همانند سناریوی اول بوده با این تفاوت که هزینه اعمال عملیات مختلف مدیریتی و سود ناشی از آن در قالب افزایش عملکرد محصول در واحد سطح هر یک از کاربری‌ها در سود نهایی آورده شده است. به‌عنوان مثال، در کاربری باغات، عملیات مدیریتی در قالب توسعه آبیاری تحت فشار به‌جای آبیاری سنتی در باغات سیب و کشت مخلوط یونجه و باغ و عملیات به‌زراعی در مراحل مختلف داشت و برداشت از قبیل، هرس اصولی و کنترل آفات با سم پاشی به موقع و صحیح آن‌ها و رعایت اصول صحیح بسته‌بندی میوه پیش‌بینی شده است. این مهم با افزایش دست‌کم ۲۰ درصدی عملکرد باغات سیب و ۱۰ درصدی برای باغات گیلاس و گردو نسبت به سناریوی اول در نظر گرفته شده است. هزینه مربوط به انجام هر یک از عملیات فوق در واحد سطح در نظر گرفته شده و در محاسبه سود خالص نیز منظور شده است. انجام عملیات آبیاری تحت فشار در یک چهارم کل اراضی زراعی آبی، استفاده از بذور اصلاح شده، رعایت تناوب زراعی و کشت متراکم گندم به‌عنوان عملیات مدیریتی در این کاربری پیش‌بینی شده است. در ارتباط با زراعت دیم، متناسب با وضعیت عمومی منطقه، خواسته‌های مردم و نظرات کارشناسان کشاورزی، با اعمال مدیریت اراضی به‌صورت کشت جو و عدس بر روی خطوط تراز و کشت نواری گندم، تاثیر عملیات حفاظتی به میزان ۱۰درصد افزایش عملکرد محصول نسبت به وضعیت قبلی در نظر گرفته شده است. در کاربری مراتع، سه نوع عملیات مدیریتی، چرای تناوبی- تاخیری، چرای تناوبی-استراحتی و مرتعداری طبیعی برای بهبود وضعیت مراتع در نظر گرفته شده و میزان افزایش علوفه در آن‌ها به‌صورت افزایش ۱۵ درصدی در تیپ As.Sp-Ar.Si، ۲۰ درصدی در تیپ As.Sp-Fe.Ov و ۳۰ درصدی در تیپ Fe.Ov-Tr-mo در نظر گرفته شده است. طبق نظر کارشناسان جنگل‌داری، با اعمال مدیریت اراضی در عرصه‌های جنگلی، میزان محصول و زادآوری درختان جنگلی در حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد که این امر در محاسبه سود ناشی از برداشت چوب از درختان جنگلی در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر، با توجه به وجود زیر اشکوب مراتع در داخل توده جنگلی، عملیات مدیریتی در نظر گرفته شده در بحث مراتع نیز صادق است و تأثیر این عملیات در افزایش تولید در واحد سطح و نهایتاً محاسبه سود خالص در نظر گرفته شده است.

سناریوی سوم: در این وضعیت، نظر به این‌که سطح مناطق جنگلی تغییری نداشته، بنابراین محاسبه سود خالص در این کاربری همانند سناریوی دوم بوده در حالی‌که برای کاربری‌های کشت آبی،کشت دیم، باغات آبی، باغات دیم و مراتع؛ مقادیر هزینه، عملکرد محصول و درآمد ناخالص ثابت می‌باشد و سود خالص آن‌ها به تناسب مساحت جدید در نقشه کاربری وضعیت استاندارد (شکل ۳) مجدداً محاسبه شده - است. از آنجائی که در وضعیت بهینه، مساحت باغات دیم ۹۷۲/۲ هکتار پیش‌بینی شده، لذا کاشت سماق و ترکیب آن با یونجه دیم برای این کاربری پیشنهاد شده است. میزان درآمد حاصله نیز همانند دو روش قبلی از طریق تعیین عملکرد محصول در واحد سطح و قیمت پایه آن محاسبه و هزینه‌های اجرایی شامل هزینه عملیات آبخیزداری از قبیل احداث بانکت‌های هلالی و اجرای سامانه سطوح آبگیر باران و نهایتاً حفظ رطوبت خاک در منطقه ریشه گیاه با به‌کارگیری فیلتر سنگریزه‌ای و ماده معدنی پومیس، در محاسبات اعمال شده است.

محاسبه خسارات ناشی از فرسایش: میزان خسارات ناشی از فرسایش خاک در سطح هرکاربری به‌صورت غیرمستقیم از طریق سنجش هدررفت خاک حاصلخیز در منطقه ریشه گیاه مطابق با رابطه (۴) محاسبه شده است.

$$A_L = E / W_s \times D_r \qquad (۴)$$

که در آن، A_L سطح اراضی فرسایش یافته (مترمربع در هکتار)، D_r عمق ریشه گیاه (متر)، W_s

وزن مخصوص خاک (تن در مترمکعب) وE میزان فرسایش (تن در هکتار) است. نهایتاً از طریق ضرب سطح هدر رفت خاک با سود خالص هر محصول، خسارات ناشی از فرسایش خاک در هر یک از کاربری-ها در سناریوهای سه‌گانه محاسبه شده است.

مدل برنامه‌ریزی خطی: در برنامه‌ریزی خطی چند هدفه، مسأله عمومی بهینه‌سازی با n متغیر تصمیم، m محدودیت و p هدف تعریف می‌شود (Chamheydar و همکاران، ۲۰۱۱). شکل کلی مساله برای تابع بیشینه‌سازی سود مطابق رابطه (۵) ارائه شده است.

$$Max(Z_1)=\sum_{i=1}^{n}[(A_{i1}-A_{i2}-A_{i3})X_i] \qquad (۵)$$

که در آن، Z_1 درآمد خالص سالانه کل حوزه آبخیز (میلیون ریال در سال)، A_{i1} درآمد ناخالص سالانه واحد سطح مربوط به هر کاربری (میلیون ریال در هکتار)، A_{i2} هزینه تولید واحد سطح هر کاربری اراضی (میلیون ریال در هکتار)، A_{i3} خسارت فرسایش خاک در واحد سطح هر کاربری اراضی (میلیون ریال در هکتار) و X_i مساحت مربوط به هر کاربری اراضی (هکتار) می‌باشد. همچنین، شکل کلی مساله برای تابع کمینه‌ساز فرسایش مطابق رابطه (۶) تعریف شده است.

$$Min(Z_2)=\sum_{i=1}^{n}C_{Ei}X_i \qquad (۶)$$

که در آن، Z_2 فرسایش سالانه کل حوزه آبخیز (تن در سال)، C_{Ei} فرسایش تولیدی مربوط به هر کاربری اراضی (تن در هکتار در سال) و X_i مساحت مربوط به هر کاربری اراضی (هکتار) است.

معرفی نرم‌افزار: در پژوهش حاضر، از برنامه کامپیوتری WinQSB برای حل مسئله بهینه‌سازی کاربری استفاده شده است. این برنامه، مشکلات برنامه‌ریزی خطی[1] و برنامه‌ریزی خطی اعداد صحیح[2] را حل می‌نماید. این نرم‌افزار دارای یک محیط گرافیکی ساده برای حل بهینه بوده، قابلیت‌های زیادی نظیر؛ ورود داده‌های مسئله به‌صورت ماتریسی در صفحات گسترده (EXCELL)، امکان حل مسئله در قالب کمینه[3] و بیشینه‌سازی[4] را دارد. نرم‌افزار WinQSB هم‌زمان می‌تواند تحلیل حساسیت (تحلیل پارامتریک) را نیز انجام دهد.

تهیه جدول سیمپلکس در هر یک از سناریوها: برای حل مساله بهینه‌سازی در مدل برنامه‌ریزی خطی، نیاز به تهیه جدول سیمپلکس است (Shabani، ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر، ابتدا جداول سیمپلکس در هر یک از سناریوها بر اساس برخی محدودیت‌ها شامل قوانین مرتبط با اجرای ماده ۵۶ قانون ملی‌شدن جنگل‌ها و مراتع که بر اساس آن امکان کاهش سطح این کاربری‌ها مقدور نیست و محدودیت منابع آب که امکان گسترش سطح زیرکشت زراعت آب و باغات را نمی‌دهد، طراحی شد و سپس با وارد نمودن داده‌های پژوهش به محیط نرم‌افزار به بررسی موضوع مورد پژوهش پرداخته شد.

نتایج و بحث

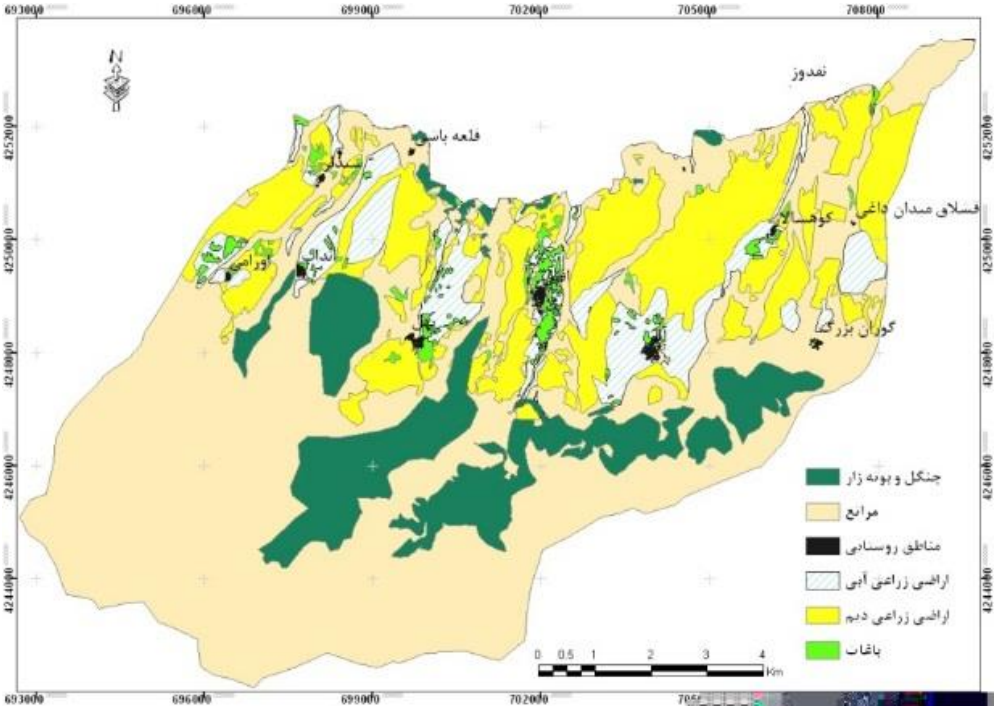
کاربری‌های غالب وضع موجود منطقه از طریق تفسیر رقومی تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT 8-ETM^{+}2014 و با ضریب کاپای ۰/۹۵ تهیه و در شکل ۲ ارائه شده است. اطلاعات این جدول نشان می‌دهد که شش طبقه عمده کاربری اراضی در منطقه شناسائی و تفکیک شده است، مراتع (۵۷/۷ درصد) بیشترین مساحت را داشته و در مقابل، کمترین مساحت به‌ترتیب با ۰/۲۵ و ۱/۶۹ درصد مربوط به کاربری‌های مناطق مسکونی و باغات است. با در نظر گرفتن شرایط استاندارد برای هر کاربری از جمله عمق خاک، شیب و فاصله دسترسی به منابع آب، مطابق روش فائو (محدودیت ساده)، سطح کاربری‌ها تعیین شد که نتایج حاصل از آن در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طوری که مشخص است در وضعیت استاندارد، به سطح باغات دیم منطقه، ۹۷۲ هکتار اضافه شده و سطح باغات آبی نیز از دو درصد به ۶/۵ درصد افزایش یافته است.

به‌منظور حل مسئله بهینه‌سازی کاربری اراضی و تعیین ضرایب مدل برنامه‌ریزی خطی، مطابق با روش

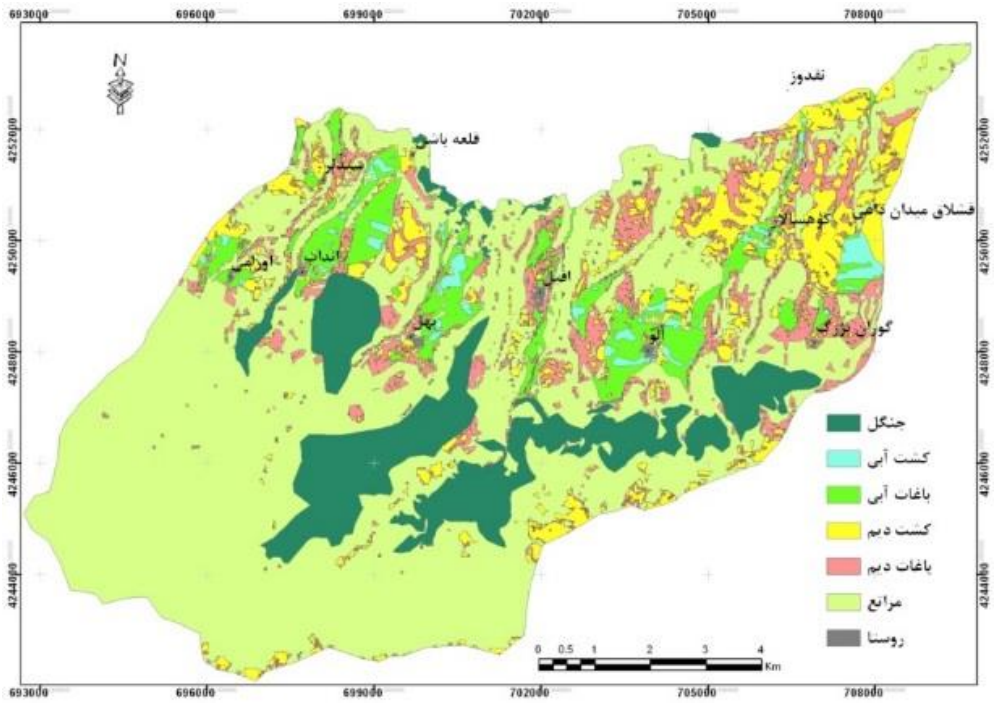
[1] Linear programing
[2] Integare linear programing
[3] Minimizing
[4] Maximizing

تحقیق ارائه شده، مقادیر رسوب، فرسایش خاک، درآمد و سود ناشی از عملکرد هر کاربری و نهایتاً خسارات ناشی از فرسایش خاک در سطح کاربری‌ها در هر سه سناریو محاسبه شده که در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه شده است.

جداول سیمپلکس هر یک از سناریوها مطابق جداول ۴، ۵ و ۶ تهیه شده است. در ادامه، مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه مطابق با روابط (۵) و (۶) در محیط نرم‌افزاری WinQSB اجرا شد. بر اساس نتایج حاصله، سطح بهینه هر یک از کاربری‌ها (با بیشینه سود و کمینه فرسایش) محاسبه و نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی منطقه در وضعیت فعلی



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی منطقه در وضعیت استاندارد

جدول ۱- مقادیر متوسط ضرایب مسئله بهینه‌سازی در وضعیت کنونی

کاربری	سطح (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار در سال)	هزینه (میلیون ریال در هکتار در سال)	درآمد ناخالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	سود خالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	خسارت فرسایش خاک (ریال در هکتار)
جنگل	۱۳۴۱/۹	۱۳/۳۳	-	۰/۳۱۴	۰/۳۱۴	۱۴۴/۵۵
مرتع	۵۹۴۳/۵	۱۶/۹	-	۰/۴۹۰	۰/۴۹۰	۲۳۱۷
باغ	۱۷۳/۵۵	۱۰/۸۳	۳۲/۴۸	۱۴۲/۶۶	۱۱۰/۱۸	۸۲۲۹۳
کشت آبی	۸۰۷/۴	۱۵/۰	۲۹/۵۲	۶۹/۱۱	۳۹/۵۹	۱۰۹۱۶۳
کشت دیم	۱۹۹۵/۳	۱۷/۲	۸/۳۳	۱۴/۸۰	۶/۴۷	۴۰۰۲۳

جدول ۲- مقادیر متوسط ضرایب مسئله بهینه‌سازی در وضعیت اعمال مدیریت

کاربری	سطح (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار در سال)	هزینه (میلیون ریال در هکتار در سال)	درآمد ناخالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	سود خالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	خسارت فرسایش خاک (ریال در هکتار)
جنگل	۱۳۴۱/۹	۸	-	۰/۳۸	۰/۳۸	۱۰۴/۱
مرتع	۵۹۴۳/۵	۱۱/۳۱	-	۰/۵۸	۰/۵۸	۱۸۴۲
باغ	۱۷۳/۵۵	۵/۶	۸۳/۵۸	۱۹۹/۳۲	۱۱۵/۷۵	۴۴۷۰۲/۳
کشت آبی	۸۰۷/۴	۸/۲۲	۴۳/۹۶	۹۵/۹۴	۵۱/۹۸۸	۷۸۵۵۵
کشت دیم	۱۹۹۵/۳	۹/۱۱	۷/۲۷	۱۷/۶۹	۱۰/۴۰۳	۳۴۰۹۲

جدول ۳- مقادیر متوسط ضرایب مسئله بهینه‌سازی در وضعیت استاندارد

کاربری	سطح (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار در سال)	هزینه (میلیون ریال در هکتار در سال)	درآمد ناخالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	سود خالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	خسارت فرسایش خاک (ریال در هکتار)
کشت آبی	۱۶۸/۲۶	۵/۲۲	۵۴/۶۳	۹۴/۲۹	۳۹/۶۶	۳۸۰۵۷
باغات آبی	۶۶۲/۹	۳/۱۳	۵۸/۲۴	۱۹۷/۸۷	۱۳۹/۶۴	۱۴۷۴۶
جنگل	۱۳۴۱/۹	۴/۲۹	-	۰/۳۸	۰/۳۸	۶۳
کشت دیم	۱۰۵۷/۹	۵/۴۲	۹/۳۰	۲۳/۲۳	۱۳/۹۳	۲۷۱۶۲
باغات دیم	۹۷۲/۲	۴/۱۳	۷۶/۰	۱۲۰/۰۰	۴۴/۰۰	۷۵۳۹۰
مراتع	۶۰۵۸/۵	۸/۴۲	-	۰/۵۸	۰/۵۸	۱۳۷۶

جدول ۴- جدول سیمپلکس مساله بهینه‌سازی مدیریت فرسایش خاک و رسوب‌دهی در وضعیت کنونی

توابع	X_1 (جنگل)	X_2 (مرتع)	X_3 (باغ)	X_4 (کشت آبی)	X_5 (کشت دیم)	X_6 (باغ دیم)	نوع تابع	RHS
تابع هدف ۱	۰/۳۱۴	۰/۴۹	۱۱۰/۱۸	۳۹/۵۹	۶/۴۷	۴۴	Max	۰/۰۰
تابع هدف ۲	-۱۳/۳۳	-۱۶/۹	-۱۰/۸۳	-۱۵/۰	-۱۷/۲	-۴/۱۳	Min	۰/۰۰
محدودیت ۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	≥	۱۳۴۱/۹
محدودیت ۲	۰	۱	۰	۰	۰	۰	≥	۵۹۴۳/۳
محدودیت ۳	۰	۰	۱	۰	۰	۰	≤	۱۷۳/۵۵
محدودیت ۴	۰	۰	۱	۰	۰	۰	≤	۶۶۲/۹
محدودیت ۵	۰	۰	۰	۱	۰	۰	≤	۱۶۸/۲۶
محدودیت ۶	۰	۰	۰	۰	۱	۰	≤	۱۰۵۷/۹
محدودیت ۷	۰	۰	۰	۰	۰	۱	≤	۹۷۲/۲
محدودیت ۸	۱	۱	۱	۱	۱	۰	=	۱۰۲۶۱/۷

جدول ۵- جدول سیمپلکس مساله بهینه‌سازی مدیریت فرسایش خاک و رسوب‌دهی در وضعیت اعمال مدیریت

توابع	X_1 (جنگل)	X_2 (مرتع)	X_3 (باغ)	X_4 (کشت آبی)	X_5 (کشت دیم)	X_6 (باغ دیم)	نوع تابع	RHS
تابع هدف ۱	۰/۳۸	۰/۵۸	۱۱۵/۷۵	۵۱/۹۹	۱۰/۴۰۳	۴۴	Max	۰/۰۰
تابع هدف ۲	-۸/۰۰	-۱۱/۳۱	-۵/۶	-۸/۲۲	-۹/۱۱	-۴/۱۳	Min	۰/۰۰
محدودیت ۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	≥	۱۳۴۱/۹
محدودیت ۲	۰	۱	۰	۰	۰	۰	≥	۵۹۴۳/۳
محدودیت ۳	۰	۰	۱	۰	۰	۰	≤	۱۷۳/۵۵
محدودیت ۴	۰	۰	۱	۰	۰	۰	≤	۶۶۲/۹
محدودیت ۵	۰	۰	۰	۱	۰	۰	≤	۱۶۸/۲۶
محدودیت ۶	۰	۰	۰	۰	۱	۰	≤	۱۰۵۷/۹
محدودیت ۷	۰	۰	۰	۰	۰	۱	≤	۹۷۲/۲
محدودیت ۸	۱	۱	۱	۱	۱	۰	=	۱۰۲۶۱/۷

جدول ۶- جدول سیمپلکس مساله بهینه‌سازی مدیریت فرسایش خاک و رسوب‌دهی در وضعیت استاندارد

توابع	X_1 (جنگل)	X_2 (مرتع)	X_3 (باغ)	X_4 (کشت آبی)	X_5 (کشت دیم)	X_6 (باغ دیم)	نوع تابع	RHS
تابع هدف ۱	۰/۳۸	۰/۵۸۴	۱۳۹/۶۴	۳۹/۶۶	۱۳/۹۳	۴۴/۰	Max	۰/۰۰
تابع هدف ۲	-۴/۲۹	-۸/۴۲	-۳/۱۳	-۵/۲۲	-۵/۴۲	-۴/۱۳	Min	۰/۰۰
محدودیت ۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	≥	۱۳۴۱/۹
محدودیت ۲	۰	۱	۰	۰	۰	۰	≤	۶۰۵۸/۵
محدودیت ۳	۰	۱	۰	۰	۰	۰	≥	۵۹۴۳/۳
محدودیت ۴	۰	۰	۱	۰	۰	۰	≥	۱۷۳/۵۵
محدودیت ۵	۰	۰	۱	۰	۰	۰	≤	۶۶۲/۹
محدودیت ۶	۰	۰	۰	۱	۰	۰	≤	۱۶۸/۲۶
محدودیت ۷	۰	۰	۰	۰	۱	۰	≤	۱۰۵۷/۹
محدودیت ۸	۰	۰	۰	۰	۰	۱	≤	۹۷۲/۲
محدودیت ۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱	=	۱۰۲۶۱/۷

جدول ۷- سطح اختصاص یافته به هر کاربری در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی

کاربری	وضعیت موجود			وضعیت اعمال مدیریت			وضعیت استاندارد	
	قبل	بعد	درصد تغییرات	قبل	بعد	درصد تغییرات	قبل	بعد
جنگل	۱۳۴۱/۹	۱۳۴۱/۹	۰	۱۳۴۱/۹	۱۳۴۱/۹		۱۳۴۱/۹	۱۳۴۲/۱۵
مرتع	۵۹۴۳/۵	۶۰۵۸/۵۵	۱/۹۴	۵۹۴۳/۵	۶۰۵۸/۵۵	۱/۹۳	۶۰۵۸/۵	۶۰۵۸/۵
باغ آبی	۱۷۳/۵۵	۶۶۲/۹	۲۸۱/۹۶	۱۷۳/۵۵	۶۶۲/۹	۲۸۱/۹۶	۶۶۲/۹	۶۶۲/۹
کشت آبی	۸۰۷/۴	۱۶۸/۲۶	-۷۹/۱۶	۸۰۷/۴	۱۶۸/۲۶	-۷۹/۱۶	۱۶۸/۲۶	۱۶۸/۲۶
کشت دیم	۱۹۹۵/۳	۱۰۵۷/۹	-۴۶/۹۸	۱۹۹۵/۳	۱۰۵۷/۹	-۷۹/۱۶	۱۰۵۷/۹	۱۰۵۷/۹
باغ دیم	-	۹۷۲/۲		-	۹۷۲/۲		۹۷۲/۲	۹۷۲/۲

نتایج بهینه‌سازی کاربری‌ها (جدول ۷) نشان می‌دهد که سطح بهینه کاربری‌ها در سناریوهای سوم (وضعیت استاندارد) و دوم (اعمال مدیریت) برهم منطبق هستند. همان‌طوری که پیداست، بعد از حل مسئله بهینه‌سازی، مساحت همه کاربری‌ها باستثناء مناطق جنگلی و مرتعی تغییر یافته است. این امر

به‌دلیل رعایت ماده ۵۶ قانون ملی بودن این اراضی بوده است. توسعه باغات آبی و دیم از طریق کاهش مساحت سطح کاربری‌های کشت آبی و کشت دیم بوده و به‌همین دلیل، مساحت این دو کاربری در وضعیت بعد از بهینه‌سازی کاهش نشان می‌دهد.

همان‌طوری که اشاره شد بهینه‌سازی کاربری اراضی باعث افزایش ۲۸۱/۹ درصدی باغات آبی و توسعه ۹۷۲ هکتاری باغات دیم در منطقه شده است. نتایج مشابهی را Nikkami (۱۹۹۹) به‌صورت افزایش ۳/۵ درصدی باغات در استان فارس، Jalili و همکاران (۲۰۰۷) افزایش ۱۳/۵ درصدی اراضی باغی در حوزه آبخیز بریموند کرمانشاه و Shabani (۲۰۰۸) با افزایش ۳۷۷/۱ درصدی باغات حوزه آبخیز زاخرد فارس گزارش کرده‌اند. کفایت نزولات جوی و حاصلخیزی خاک، امکان افزایش سطح باغات در منطقه مورد مطالعه را فراهم کرده است. این امر، باعث کاهش ۷۹/۱۶ درصدی کشت آبی و کاهش ۴۶/۹۸ درصدی کشت دیم در منطقه مورد مطالعه خواهد شد. کاهش ۷۲/۷۸ درصدی زراعت آبی در نتایج پژوهش Shabani (۲۰۰۸) نشان داده شده است. Chamheydari و همکاران (۲۰۱۱) به افزایش سطح اراضی باغی و کاهش اراضی زراعت آبی و دیم پس از بهینه‌سازی اشاره داشته و Nikkami (۱۹۹۹) نیز کاهش ۱۰۰ درصدی اراضی دیم در استان فارس را گزارش نموده است. نتایج حاصل از بهینه‌سازی کاربری اراضی در افزایش سود و کاهش فرسایش در سناریوی اول در جداول (۸ و ۹) ارائه شده است. همان‌طوری که پیداست با بهینه‌سازی کاربری اراضی، مجموع سود خالص از ۶۷۳۲۹/۱ به ۱۳۲۷۹۹/۱ میلیون ریال در هکتار در سال افزایش یافته که دلیل اصلی آن افزایش سطح باغات آبی و دیم بعد از بهینه‌سازی کاربری بوده است. از طرف دیگر، متوسط وزنی فرسایش کل از ۱۶/۳ تن در هکتار در سال در مرحله قبل از بهینه-سازی به ۱۴/۸ تن در هکتار در مرحله بعد از بهینه-سازی کاهش یافته که دلیل اصلی آن تبدیل شدن اراضی زراعی آبی به باغات می‌باشد. Shabani (۲۰۰۸) در حوزه آبخیز خارستان در استان فارس به این نتیجه گرفته که در صورت بهینه‌سازی اراضی، سود کل ۱۶۲/۶۳ درصد افزایش و میزان فرسایش کل حوضه حدود ۳/۱۱ درصد کاهش می‌یابد. ایشان دلیل این افزایش را زیاد شدن سطح اراضی باغی و کاهش اراضی دیم و کشت آبی عنوان کرده است. پژوهش‌های Nikkami و همکاران (۲۰۰۹)، Jalili و همکاران (۲۰۰۷) و Chamheydar و همکاران (۲۰۱۱) نتایج مشابهی ارائه داده است. اما Vafakhah و Mohseni Saravi (۲۰۱۱) در تحقیق خود در حوزه آبخیز طالقان گزارش کرده‌اند که در صورت رعایت ماده ۵۶ قانون ملی مراتع، سوددهی حوضه به میزان ۱۷/۷۱ درصد در مرحله بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی کاهش می‌یابد.

جدول ۸- سود و فرسایش قبل از بهینه‌سازی در وضعیت کنونی کاربری اراضی

کاربری	سطح (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار در سال)	فرسایش کل (تن در هکتار)	سود خالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	سود خالص کل (میلیون ریال در هکتار در سال)
جنگل	۱۳۴۱/۹	۱۳/۳۳	۱۷۸۸۷/۵۳	۰/۳۱۴	۴۲۲
مرتع	۵۹۴۳/۵	۱۶/۹	۱۰۰۴۴۵/۱۵	۰/۴۹۰	۲۹۱۳/۳۷
باغ آبی	۱۷۳/۵۵	۱۰/۸۳	۱۸۷۹/۶	۱۱۰/۱۸	۱۹۱۲۱/۶۱۳
کشت آبی	۸۰۷/۴	۱۵/۰	۱۲۱۱۱	۳۹/۵۹	۳۱۹۶۵
کشت دیم	۱۹۹۵/۳	۱۷/۲	۳۴۳۱۹/۱۶	۶/۴۷	۱۲۹۰۷/۲۳
کل	۱۰۲۶۱/۷		۱۶۶۶۴۲/۴		۶۷۳۲۹/۱
متوسط وزنی		۱۶/۲۴		۶/۵۶	

جدول ۹- سود و فرسایش حاصل از مدل بهینه‌سازی در وضعیت کنونی کاربری اراضی

کاربری	سطح (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار در سال)	فرسایش کل (تن در هکتار)	سود خالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	سود خالص کل (میلیون ریال در هکتار در سال)
جنگل	۱۳۴۱/۹	۱۳/۳۳	۱۷۸۸۷/۵۳	۰/۳۸	۵۰۹/۹۲
مرتع	۶۰۵۸/۵۵	۱۶/۹	۱۰۲۳۸۹/۵	۰/۴۹۰	۲۹۶۹/۷۷
باغ آبی	۶۶۲/۹	۱۰/۸۳	۷۱۷۹/۲۱	۱۱۰/۱۸	۷۳۰۳۷/۸۴
کشت آبی	۱۶۸/۲۶	۱۵/۰	۲۵۲۴	۳۹/۵۹	۶۶۶۱/۴
کشت دیم	۱۰۵۷/۹	۱۷/۲	۱۸۱۹۶	۶/۴۷	۶۸۴۳/۴
باغ دیم	۹۷۲/۲	۴/۱۳	۴۰۱۵/۲	۴۴	۴۲۷۷۶/۸
کل	۱۰۲۶۱/۷		۱۵۲۱۹۱/۲		۱۳۲۷۹۹/۱
متوسط وزنی		۱۴/۸		۱۳	

نتایج تاثیر بهینه‌سازی کاربری در افزایش سود خالص و کاهش فرسایش در سناریوی دوم در جداول ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است. همان‌طوری که پیداست میزان سود خالص در واحد سطح در کاربری باغات آبی و دیم افزایش چشمگیری داشته و متوسط وزنی سود کل از ۸/۴۶ درصد در سال تقریباً به ۱۴درصد افزایش یافته است. همین عمل باعث شده تا متوسط وزنی فرسایش از ۱۰/۱۱ تن در سال در هکتار به ۹/۵ تن در سال در هکتار کاهش یابد.

نتایج پژوهش Poudel و همکاران (۱۹۹۹) در فیلیپین نشان داد که با اعمال مدیریت در قالب کشت نواری، فرسایش در اراضی بالادست بدون کنتوربندی از ۶۵/۳ به حدود ۳۳ درصد کاهش می‌یابد. Gyssels و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که شخم حفاظتی می‌تواند فرسایش خاک را به‌طور متوسط حدود ۲۵ درصد کاهش دهد. همچنین، Chamheydar و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر بهینه‌سازی در کاهش فرسایش خاک در این گزینه را ۶۶/۷۷ درصد گزارش کرده‌اند. Shabani (۲۰۰۸) میزان کاهش فرسایش در سناریو دوم را ۳۷/۲۷ درصد بعد از بهینه‌سازی گزارش نموده‌است.

جدول ۱۰- سود و فرسایش قبل از بهینه‌سازی در وضعیت اعمال مدیریت کاربری اراضی

کاربری	سطح (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار در سال)	فرسایش کل (تن در هکتار)	سود خالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	سود خالص کل (میلیون ریال در هکتار در سال)
جنگل	۱۳۴۱/۹	۸	۱۰۷۳۵/۲	۰/۳۸	۵۷۰/۰
مرتع	۵۹۴۳/۵	۱۱/۳۱	۶۷۲۱۸/۷۲	۰/۵۸	۳۴۶۰
باغ آبی	۱۷۳/۵۵	۵/۶	۹۷۲	۱۱۵/۷۴	۲۰۰۸۸
کشت آبی	۸۰۷/۴	۸/۲۲	۶۶۳۶/۸۳	۵۱/۹۸۸	۴۱۹۷۵
کشت دیم	۱۹۹۵/۳	۹/۱۱	۱۸۱۷۷/۱۸	۱۰/۴۰۳	۲۰۷۵۸
کل	۱۰۲۶۱/۷		۱۰۳۷۴۲/۱		۷۱۰۶۱/۴
متوسط وزنی		۱۰/۱۱		۸/۵	۸۶۷۸۷/۲۳

جدول ۱۱- سود و فرسایش حاصل از مدل بهینه‌سازی در وضعیت اعمال مدیریت کاربری اراضی

کاربری	سطح (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار در سال)	فرسایش کل (تن در هکتار)	سود خالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	سود خالص کل (میلیون ریال در هکتار در سال)
جنگل	۱۳۴۱/۹	۸	۱۰۷۳۵/۲	۰/۳۸	۵۰۶/۴
مرتع	۶۰۵۸/۵	۱۱/۳۱	۶۸۵۲۱/۶۴	۰/۵۸	۳۵۲۷/۱
باغ آبی	۶۶۲/۹	۵/۶	۳۷۱۲/۲۴	۱۱۵/۷۴	۷۶۷۲۸/۶۸
کشت آبی	۱۶۸/۲۶	۸/۲۲	۱۳۸۳/۱	۵۱/۹۸۸	۸۷۴۷/۵
کشت دیم	۱۰۵۷/۹	۹/۱۱	۹۶۳۷/۵	۱۰/۴۰۳	۱۱۰۰۵/۷۶
باغ دیم	۹۷۲/۲	۴/۱۳	۴۰۱۵/۲	۴۴	۴۲۷۷۶/۸
کل	۱۰۲۶۱/۷				۱۴۳۲۹۲/۱۵
متوسط وزنی		۹/۵۵		۱۴	

نتایج بهینه‌سازی کاربری در سناریوی سوم در جدول ۱۲ ارائه شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، میزان سود خالص در واحد سطح و به تبع آن سود کل در مقایسه با دو گزینه قبلی افزایش چشمگیری در منطقه داشته است. به‌طوری که سود کل کاربری‌ها در مراحل بعد از بهینه‌سازی در گزینه اول و دوم به‌ترتیب ۱۳۲۷۹۹/۱ و ۱۴۳۲۹۲/۱۵ میلیون ریال در سال بوده که این رقم در گزینه سوم به ۱۶۰۷۹۳ میلیون ریال در سال افزایش یافته است. به‌عبارت دیگر، میزان افزایش در گزینه سوم نسبت به گزینه‌های دوم و اول به‌ترتیب ۱۷۵۰۰/۷۳ و ۲۷۹۹۳/۸ میلیون ریال در سال بوده است. متوسط وزنی فرسایش سالانه از ۱۰/۱۱ و ۹/۵۵ تن در هکتار به‌ترتیب در سناریوهای اول و دوم به ۶/۸ تن در هکتار در سناریوی سوم کاهش یافته است.

نتایج تحقیق Jafari و همکاران (۲۰۱۳) از افزایش سود ۲۴۲/۶ و کاهش فرسایش ۴۳/۴ درصدی با بهینه‌سازی کاربری در وضعیت استاندارد در حوزه آبخیز سد سنا در استان بوشهر حکایت دارد. نتایج Shabani (۲۰۰۸) نشان داد که با بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط استاندارد، فرسایش کل حوزه آبخیز حدود ۵۲/۲ درصد کاهش می‌یابد. در تحقیقی Chamheydar و همکاران (۲۰۱۱)، میزان کاهش فرسایش در شرایط استاندارد را ۷۵/۸۵ درصد گزارش کرده و Vafakhah و Mohseni Saravi (۲۰۱۱) نیز کاهش ۱۰/۲۹درصدی در این زمینه را گزارش نموده‌اند.

جدول ۱۲- سود و فرسایش حاصل از مدل بهینه‌سازی در وضعیت استاندارد کاربری اراضی

کاربری	سطح (هکتار)	فرسایش سالانه (تن در هکتار در سال)	فرسایش کل (تن در هکتار)	سود خالص (میلیون ریال در هکتار در سال)	سود خالص کل (میلیون ریال در هکتار در سال)
جنگل	۱۳۴۱/۹	۴/۲۹	۵۷۵۶/۷۵	۰/۳۸	۵۰۹/۹۲
مرتع	۶۰۵۸/۵	۸/۴۲	۵۱۰۰۴	۰/۵۸۲	۳۵۲۷/۱
باغ آبی	۶۶۲/۹	۳/۱۳	۲۰۷۵	۱۳۹/۶۴	۹۲۵۶۷/۴
کشت آبی	۱۶۸/۲۶	۵/۲۲	۸۷۸/۳۲	۵۱/۹۸۸	۶۶۷۳/۴
کشت دیم	۱۰۵۷/۹	۵/۴۴	۵۷۳۳/۸۲	۱۰/۴۰۳	۱۴۷۳۸/۴
باغ دیم	۹۷۲/۲	۴/۱۳	۴۰۱۵/۲	۴۴	۴۲۷۷۶/۸
کل	۱۰۲۶۱/۷				۱۶۰۷۹۲/۸۸
متوسط وزنی		۶/۸		۱۵/۶۷	

نتایج حاصل از بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و روش سیمپلکس در منطقه اهر ضمن این که کمترین هدر رفت خاک در واحد سطح و بیشترین سود خالص را مشخص می-سازند همزمان می‌توانند گامی موثر در جهت توسعه پایدار در بخش کشاورزی باشند. ولی باتوجه به این‌که سناریوی سوم بر مبنای پتانسیل منابع آبی، اقلیم حاکم و خصوصیات خاک منطقه ارائه شده و لحاظ این مطلب که روند آتی تغییرات احتمالی اقلیم و خشکسالی‌ها و تاثیر آن‌ها بر منابع آب و نزولات جوی به‌طور مشخص در نظر گرفته نمی‌شوند، ضرورت دارد که این پارامترها و روند آتی آن‌ها نیز در ارائه الگوی کشت در سناریوی سوم مد نظر قرار گرفته شود. ضمناً استفاده از مدل‌های فرایندی در محیط GIS نظیر GeoWEPP و یا ArcSOWAT به‌جای مدل تجربی MPSAIC در کسب نتایج مطمئن‌تر در ارتباط با فرسایش و رسوب، مفید خواهد بود.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی ملی بوده که بخشی از آن در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی و با همکاری بخش‌های تحقیقاتی حفاظت خاک و آبخیزداری و اقتصاد کشاورزی اجرا شده است که بدین‌وسیله از کلیه همکاران تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Beilicci, E., R. Beilicci and C. Stefanescu. 2014. Aspect of optimization of soil erosion control systems. Research Journal of Agricultural Science, 46(1): 12-25.
2. Chamheydar, H., D. Nikkami, E. Pazira and M. Ghafouri. 2011. Soil loss minimization through land use optimization. World Applied Sciences Journal, 12(1): 76-82.
3. Cao, K., B. Huang, Sh. Wang and H. Lin. 2012. Sustainable land use optimization using boundary-based fast genetic algorithm. Computers, Environment and Urban Systems, 36: 257–269.
4. Davoodirad, A.K., D. Nikami and M. Mardian. 2013. Land use optimiziation by multi-objective linear programming in the Adyeneh Masjed of Shandiz Watershed. Journal of Watershed Engineering and Management, 5(1): 17-24 (in Persian).
5. Edgar A.R. 2000. Linear programming queries revisited. Symposium on Computational Geometry, 23: 176-181.
6. Fallah Shamsi, S.R. 2010. Integrating linear programming and analytical hierarchical processing in raster-GIS to optimize land use pattern at watershed level. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 14(2): 81–85.
7. Feoli, E., L.G. Vuerich and W. Zerihun. 2000. Evaluation of environmental degradation in northern Ethiopia using GIS to integrate vegetation, geomorphological, erosion and socio-economic factors. Agriculture, Ecosystems and Environment, 91: 313-325.
8. Garcia-Ruiz, J.M. 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. Catena, 81(1): 1-11.
9. Gyssels, G., J. Poesn, A. Knapen, W. Van Dessel and J. Leonard. 2006. Effect of double drilling of small grains on soil erosion by concentrated flow and crop yield. Journal of Soil and Tillage Research, 93(2): 379-390.
10. Han, J.C., G.H. Huang, H. Li. and Z. Zhang. 2013. Optimal land use management for soil erosion control by using an interval-parameter fuzzy two-stage stochastic programming approach. Environ Manage, 52(3): 621-38.
11. Igwe, K.C., C.E., Onyenweaku and J.C. Nwaru. 2013. A linear programming approach to combination of crop, monogastric farm animal and fish enterprises in ohafia agricultural zone, Abia State, Nigeria. Global Journal of Science Frontier Research Agriculture and Veterinary Sciences, 13(3): 12-28.
12. Jafari, A., D. Nikkami, I. Abbasi and F. Tavakkolirad. 2013. Investigation of land use schema in Sana Dam watershed in Boshehr Province, Iran. Journal of Watershed Engineering and Management, 5(3): 155-164 (in Persian).
13. Jalili, K.H., H. Sadeghi and D. Nikkami. 2007. Land use optimization of watershed for soil erosion minimization using linear programming (a case study of Brimvand Watershed, Kermanshah Province). Journal of Crop Production and Processing, 10(4): 15-27.
14. Nikkami, D. 1999. Optimizing the management of soil erosion using GIS. PhD Dissertation, Concordia University, 108 pages.

15. Nikkami, D., M. Elektorowicz and G.R. Mehuys. 2002. Optimizing the management of soil erosion. Water Quality Research Journal of Canada, 37(3): 577-586.
16. Nikkami, D., M. Shabani and H. Ahmadi. 2009. Land use scenarios and optimization in a watershed. Journal of Applied Sciences, 9(2): 287-295.
17. Nguyen, T.T. and K. Egashira. 2004. Land use effectiveness by farm households after land and forest allocation at Tran Yen district, Yen Bai Province. Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 49: 461-466
18. Omidvar, K. 2007. An introduction to watershed management. Yazd University Publication, 292 pages (in Persian).
19. Owji, M.R., D. Nikkami, M.H. Mahdian and Sh. Mahmoudi. 2012. Landuse management in order to maximizing benefit and minimizing soil erosion. International Journal of Soil Scince, 7(4): 157-167.
20. Poudel, D., D.J. Midmor and L.T. West. 1999. Erosion and productivity of vegetable system on sloping volcanic ash derived Philippine soils. Soil Science Society of America Journal, 63: 1365-1376.
21. Sadeghi, S.H.R., Kh. Jalili and D. Nikkami. 2009. Landuse optimization in watershed scale. Landuse Policy, 26:186-193.
22. Shabani, M. 2008. The effect of land use management on mitigation of soil erosion, case study: Kharestan Watershed. PhD Thesis, Azad University of Tehran, College of Agriculture and Natural Resources, Department of Watershed Management, 180 pages (in Persian).
23. Shabani, M. 2010. Influence of land use optimization for soil erosion decrease and income increase of watershed, case study: Zakhord Fars Watershed. Journal of the Natural Geographic, 3(8): 83-98 (in Persian).
24. Singh, A.K. and J.P. Singh. 1999. Production and benefit maximization through optimal crop planning, a case study of Mahi command. Indian Journal of Soil Conservation, 27: 152-157.
25. Sunandar, A.D., E. Suhendang and N.S. Jaya. 2014. Land use optimization in Asahan Watershed with linear programming and SWAT Model. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR), 18(1): 63-78.
26. Taha, H.A. 2011. Operations research, An introduction, Ninth Edition, International Edition, Pearson Education. Inc., Pearson Prentice Hall, USA, 824 pages.
27. Vafakhah, M. and M. Mohseni Saravi. 2011. Optimizing management of soil erosion in Orazan Sub-basin, Iran, Journal of Agricultural Science and Technology, 13: 717-726.

DOI: 10.22092/ijwmse.2018.111071.1317

Landuse optimization in some southern slopes in Ahar Chaey Watershed

Jamshid Yarahmadi[*1], Davood Nikkami[2], Ali Shahnavazi[3] and Mohammad Ebrahim Sadeghzadeh[4]
[1] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran, [2] Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, [3] Assistant Professor, Agricultural Economy Research Group, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran and [4] Expert Research, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran

Received: 12 August 2015 Accepted: 06 January 2016

Abstract

Watershed residents' benefit increasing and soil erosion controlling are the main goals of agricultural sustainable development. Landuse optimization operation is an effective solution in order to maximizing the benefits, as well as minimizing soil erosion damages. Current research was executed in southern parts of Ahar Chaey Watershed in East Azerbijan Province. In this research, Multi-Objective linear programing based on Simplex method applied for optimizing landuse in form of three different scenarios: current landuses, implementation of management into current landuses and performance of the standard landuses by WinQSB software. Results showed that due to landuse optimization, irrigated orchards could be increased from 1.736 to 6.629 km^2. In addition, based on suitable soils and adequate rainfalls, it is expected to expand the rainfed orchards up to 9.72 km^2. Also, the weighted average of soil erosion reduces from 16.3 to 14.8 and from 10.11 to 9.5 $tha^{-1}year^{-1}$ within the first and second scenarios, respectively. This rate will reduce up to 6.8 $tha^{-1}year^{-1}$ in the standard landuse situation. On the other hand, maximizing results showed that the annual net benefits increases from 6.6 to 12.9 and 8.46 to 14 million Rails per unit area in the first and second scenarios, respectively. This rate increases up to 15.67 million Rails per unit area for standard landuse situation. Sensitivity analysis results showed that irrigated and rainfed orchards are of high sensitivity in maximizing profit functions due to high profitability of these landuse in unit area. In contrast, the rangelands, forests and drylands are of high sensitivity in soil erosion minimization, so that with increasing their area, soil erosion will increase significantly in the region.

Key words: East Azerbijan, Landuse pattern, Maximizing net benefits, Minimizing erosion, Simplex method

[*] Correspondent author: yarahmadi@itc.nl