

## نقش بهینه‌سازی کاربری اراضی بر کاهش پتانسیل فرسایش و رسوب با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی: حوضه چهل‌گزی سنندج)

حسین خالدیان<sup>۱\*</sup> و داود نیک کامی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۶)

### چکیده

بهره‌برداری مناسب از اراضی کشاورزی و منابع طبیعی موجب کاهش فرسایش خاک و افزایش تولید در حوزه‌های آبخیز می‌شود. از طرفی، الگوی کاربری اراضی به واسطه افزایش فعالیت‌های انسان در زمین به‌منظور برآورد نیازهای مختلف، در حال تغییر است. یکی از روش‌های مدیریتی برای رسیدن به پایداری تولید و کاهش فرسایش خاک، بهینه‌سازی کاربری اراضی است. در این تحقیق با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی (سیمپلکس) و سامانه اطلاعات جغرافیایی، به بررسی نتایج حاصل از بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه چهل‌گزی سنندج در سه سناریو شامل وضعیت موجود، وضعیت اعمال مدیریت و وضعیت استاندارد اراضی پرداخته شد. پتانسیل فرسایش با استفاده از مدل MPSIAC در اراضی آبی ۱/۶۵، اراضی دیم ۳/۳۱، مرتع ۳/۶۴، باغ ۱/۴۹ و متوسط حوضه ۳/۵۸ تن در هکتار در سال برآورد شد. نتایج تحلیل حساسیت سناریوها نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، پتانسیل فرسایش در وضعیت فعلی ۸۵ درصد افزایش می‌یابد؛ ولی در وضعیت اعمال مدیریت اراضی ۱۶/۹۲ درصد و در وضعیت استاندارد ۳۲ درصد کاهش می‌یابد. نتایج تحلیل حساسیت در هر سه گزینه نشان داد که تغییر در مساحت اراضی مرتعی بیشترین تأثیر را در تغییرات پتانسیل فرسایش حوضه دارد.

واژه‌های کلیدی: آبخیزداری، تخریب اراضی، حفاظت خاک و آب، سناریوهای مدیریتی، مدیریت اراضی

۱. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

۲. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hkhaledian@yahoo.com

## مقدمه

خاک یکی از مهمترین اجزای منابع طبیعی محسوب می‌شود و ادامه حیات جوامع انسانی مستلزم وجود آب و خاک است. یکی از مهمترین روش‌های حفظ این منابع، انجام مدیریت صحیح در جهت کاهش پتانسیل فرسایش و تولید رسوب می‌باشد. نوع و شدت فرسایش خاک در یک منطقه تابع عوامل مختلفی همچون شرایط اقلیمی، پستی و بلندی، نوع خاک و کاربری اراضی می‌باشد. در این میان، اهمیت کاربری اراضی به دلیل نقش مؤثر انسان در آن نسبت به دیگر عوامل زیادتر است به عبارت دیگر، نوع بهره‌برداری از اراضی عامل بسیار مهمی در فرسایش و تولید رسوب حوضه به‌شمار می‌رود (۱). اراضی زراعی، مرتعی و جنگلی نیز مهمترین اجزای منابع طبیعی محسوب می‌شوند و ادامه حیات جوامع انسانی مستلزم وجود و حفظ این منابع در ارتباط با آب و خاک است. استفاده نامناسب و بی‌رویه از اراضی، کاهش ارزش این منابع و تخریب آنها را به دنبال دارد که در نهایت منجر به کاهش درآمد آبخیز نشینان می‌شود. بنابراین توسعه پایدار و استفاده بهینه از منابع طبیعی بدون آسیب رساندن به آنها برای نسل‌های آتی ضروری است. بهینه‌سازی کاربری اراضی یکی از روش‌های تخصیص منابع محسوب می‌شود که در آن فعالیت‌های مختلف یا کاربری‌های اراضی به واحدهای خاصی اختصاص داده می‌شود (۱۲). مدل‌های بهینه‌سازی متعددی به‌منظور حل مشکل تخصیص کاربری اراضی ارائه شده‌اند. این مدل‌ها به دو دسته مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی و مدل‌های برنامه‌ریزی ترکیب عدد صحیح تقسیم می‌شوند. این در حالی است که تخصیص مکانی کاربری، یک فرآیند جغرافیایی است که در برگیرنده انواع محدودیت‌ها و روابط مکانی پیچیده می‌باشد و از طرفی تغییر شکل متغیرها، محدودیت‌ها و اهداف به زبان ریاضی، به راحتی امکان پذیر نیست (۱۳). الگوی استفاده صحیح از اراضی که با بهینه‌سازی کاربری اراضی قابل انجام است، اقدام موثری در جهت کاهش فرسایش و رسوب حوضه‌ها است که در آن کاربری‌های اراضی به واحدهای خاصی اختصاص داده می‌شود

(۱۲). در دو دهه اخیر مدل‌های متنوعی توانسته‌اند با در نظر گرفتن اهداف چندگانه و نیز توجه به محدودیت‌های موجود در امر بهینه‌سازی کاربری اراضی به کار گرفته شوند و نتایج قابل قبولی ارائه دهند که از جمله این مدل‌ها می‌توان به برنامه‌ریزی ریاضی (برنامه‌ریزی خطی) و الگوریتم‌ها اشاره داشت. نتایج بهینه‌سازی برای تخصیص بهینه کاربری اراضی از مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه به روش سیمپلکس تاکنون نشان داده که افزایش سطح مراتع و اراضی آبی می‌تواند به شدت منجر به افزایش فرسایش خاک شود (۳). در حوضه چهل‌گزی به دلیل شیب بالای اراضی و سایر محدودیت‌های مورفولوژیکی، اراضی زراعی غالباً محدود به کشت دیم هستند و اراضی دیم بر روی دامنه‌های با شیب تند و در جهت شیب شخم خورده‌اند. این مدیریت اشتباه اراضی دیم، منجر به روند تدریجی کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش فرسایش شده است. تخریب اراضی ناشی از زراعت دیم با شیوه‌های ناصحیح مدیریتی، موجب افزایش تولید رسوب خسارات زیست محیطی در دریاچه سد قشلاق و پایین دست آن شده است. بنابراین لازم است با تخصیص بهینه کاربری اراضی، فرسایش خاک کاهش یابد و مدل برنامه‌ریزی خطی می‌تواند در این زمینه مدیران را یاری کند. با توجه به فرسایش پذیری بالای اراضی در محل تحقیق و حفاظت از دریاچه سد قشلاق که منبع اصلی تامین آب شرب شهر سنندج و آبیاری اراضی پایاب سد است، ارائه الگوی بهینه کاربری اراضی در این حوضه ضروری به نظر می‌رسد.

نتایج تحقیق در خصوص تحلیل توابع حساسیت مدل برنامه‌ریزی خطی در حوضه آدینه مسجد در استان مرکزی نشان داده که با کاهش ۱۰ درصدی حداکثر سطح اراضی دیم، پتانسیل فرسایش در وضعیت فعلی ۱۸٪ درصد و در وضعیت اعمال مدیریت ۱۹٪ درصد کاهش می‌یابد، ضمن اینکه در وضعیت استاندارد ۳۴٪ درصد افزایش یافته است (۲). نتایج بررسی و فاختوا و همکاران (۱۱)، در مورد بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌منظور کمینه‌سازی فرسایش خاک در بخشی از حوضه

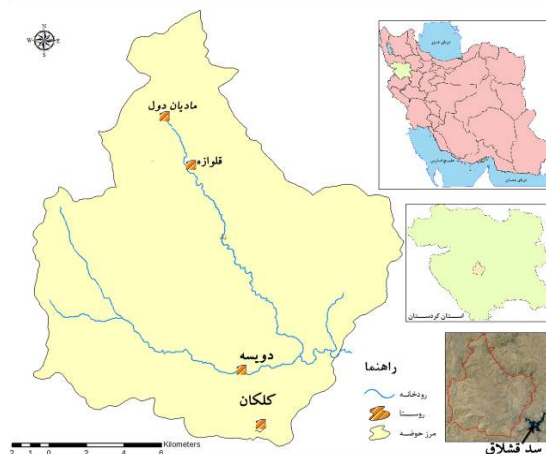
سناریو شامل ۱- وضعیت کنونی کاربری‌ها بدون اعمال مدیریت اراضی؛ ۲- وضعیت کنونی کاربری‌ها و اعمال مدیریت اراضی؛ ۳- وضعیت استاندارد کاربری‌ها و مطابق با اصول و معیارهای علمی استفاده شد. بدین منظور به روش سیمپلکس برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار Lingo ترکیب بهینه کاربری اراضی مشخص شده و نتایج نشان داد است که در وضعیت کنونی کاربری‌ها بدون اعمال مدیریت اراضی، فرسایش خاک در حدود ۳۳/۷ درصد کاهش یافته؛ در حالی که در وضعیت استاندارد، فرسایش خاک در حدود ۵۳٪ کاهش خواهد یافت (۱۵). همچنین در حوضه بریموند استان کرمانشاه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی نتیجه گرفته‌اند که بهینه‌سازی کاربری باعث کاهش ۷/۸ درصدی پتانسیل فرسایش شده، ضمن اینکه وسعت اراضی دیم کاهش و وسعت باغات افزایش یافته است (۶). بررسی اثر بهینه‌سازی کاربری اراضی بر کاهش فرسایش و رسوب در حوضه سد ایلام با تهیه نقشه‌های کاربری اراضی فعلی و بهینه و استفاده از روش EPM نشان داده که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی میزان فرسایش ۵۴ درصد کاهش می‌یابد (۱۶). استفاده از بهینه‌سازی با بررسی تخصیص کاربری اراضی در منطقه‌ای از چین و با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف و همچنین محدودیت‌ها، منجر به الگوی کاربری اراضی بهینه و افزایش سطح کشت گندم شده است (۱۳). در تحقیقی غلامی و همکاران، روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب چند رگبار منفرد را در حوضه چهل‌گزی قشلاق بررسی و نتیجه گرفته‌اند که امکان تهیه مدل برای تخمین نسبت تحویل رسوب در مطالعات وجود دارد (۱۰). در مدل ارائه شده نسبت تحویل با استفاده از روش مستقیم در رگبارهای منفرد و همچنین استفاده از عامل فرساینده‌گی معادله جهانی محاسبه می‌شود.

به‌طور کلی سوابق تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از مدل‌سازی به خصوص مدل برنامه‌ریزی خطی می‌توان سطوح کاربری‌ها را به شکلی تغییر داد که پتانسیل فرسایش کمینه شود. بعضی از این تحقیقات به موضوع کاهش پتانسیل فرسایش

طالقان با مساحت ۷۰۴۲۷ هکتار نشان داده است که با اجرای طرح بهینه‌سازی، پتانسیل فرسایش ۶/۷ درصد کاهش خواهد یافت. بررسی اثر کاربری اراضی در شرایط فعلی و بهینه روی رسوب‌دهی در حوضه شور و شیرین شیراز نشان داده که رسوب برآوردی در شرایط بهینه ۱۲ درصد کمتر از شرایط فعلی بوده است (۹). در همین زمینه آرخی و همکاران (۱)، تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی را در حوضه چم‌گردلان ایلام بررسی کرده‌اند. حوضه مورد بررسی ۴۶۸۲۲ هکتار وسعت دارد و نتایج تحقیق حاکی است که در اثر اجرای بهینه‌سازی کاربری پتانسیل فرسایش ۵۴ درصد کاهش می‌یابد. تحقیق مشابهی در حوضه جاجرود با مساحت ۱۸۷۳۸۴ هکتار نشان داد که در صورت اجرای طرح بهینه‌سازی، تولید رسوب ۳۷ درصد کاهش خواهد یافت (۳). برای بررسی تأثیر بهره‌برداری مناسب از اراضی در کاهش میزان فرسایش و رسوب، پیشداد سلیمان آباد و همکاران (۵)، اقدام به بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه چراغ ویس با ۱۶۳۶۹ هکتار مساحت در جنوب شهرستان سقز از طریق ارزیابی و آمایش سرزمین کردند. نتایج نشان داد که اعمال مدیریت مناسب و آمایش می‌تواند به‌طور کلی میزان فرسایش حوضه مذکور را تا ۸ درصد (۰/۴۳ تن در سال) کاهش دهد. در تحقیق دیگری شعبانی (۸)، با تعیین سطح بهینه کاربری‌های اراضی به منظور کاهش میزان فرسایش خاک حوضه آبخیز زاخرد در استان فارس نتیجه گرفت در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش خاک به میزان ۱۳/۱۶ درصد کاهش می‌یابد. بررسی تغییرات سطح کاربری اراضی به منظور کاهش میزان فرسایش و هدر رفت عناصر غذایی خاک و ارتقاء درآمد ساکنین حوضه ابوالعباس در استان خوزستان نشان داد که سطح کاربری‌های فعلی به منظور کاهش میزان فرسایش و هدر روی عناصر غذایی و افزایش درآمد ساکنین حوضه مناسب نبوده و در شرایط بهینه باید تغییر نماید (۷). از مدل برنامه‌ریزی خطی با هدف تخصیص بهینه ترکیب کاربری اراضی به‌منظور کاهش فرسایش خاک در حوضه خارستان استان فارس استفاده شده است. در این تحقیق از سه

جدول ۱. خصوصیات فیزیوگرافی حوضه چهل گزی

پارامتر	حوضه چهل گزی
مساحت (کیلومترمربع)	۲۷۲/۳
محیط (کیلومتر)	۸۳/۸
طول رودخانه اصلی (کیلومتر)	۲۴/۴
ارتفاع بیشینه (متر)	۲۷۹۰
ارتفاع کمینه (متر)	۱۵۵۵
ارتفاع متوسط (متر)	۱۹۸۲
شیب متوسط سطح حوضه (درصد)	۲۴/۵
شیب متوسط رودخانه (درصد)	۲/۴



شکل ۱. موقعیت حوضه چهل گزی

قالب سناریوهای مدیریتی ترسیم شوند. در این مطالعه سه گزینه به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته است. به طوری که در هر گزینه میزان پتانسیل فرسایش هر یک از کاربری‌ها محاسبه و به عنوان ضریب در توابع هدف استفاده شده است. سپس تغییرات میزان پتانسیل فرسایش کل حوضه پس از بهینه‌سازی و به تفکیک هر یک از گزینه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

### گزینه وضعیت فعلی کاربری‌ها

بر مبنای داده‌های حاصل از سنجنده TM ماهواره لندست ۵ مربوط به سال ۲۰۱۰ و بازدها و کنترل میدانی، نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی محل تحقیق، ترسیم و سپس به منظور برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از سایر لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از مدل تجربی MPSIAC استفاده شد. شکل (۲) وضعیت فعلی کاربری اراضی حوضه را نشان می‌دهد.

### گزینه وضعیت فعلی کاربری‌ها با اعمال مدیریت اراضی

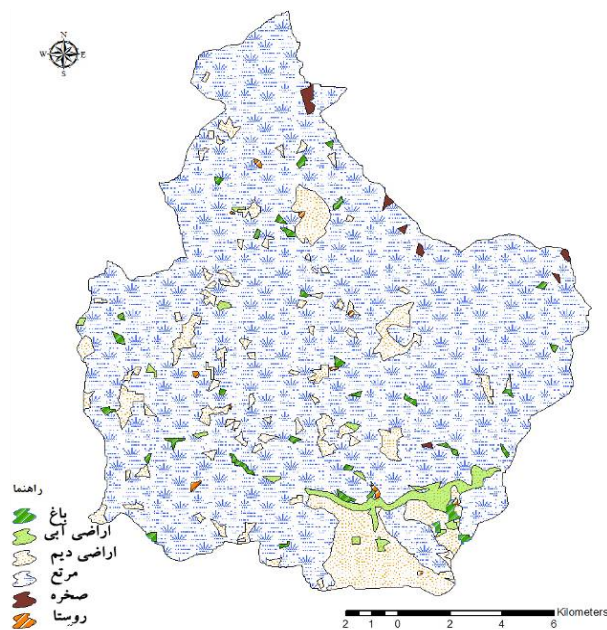
در این حالت، پس از اعمال مدیریت اراضی در نقشه کاربری اراضی فعلی، نقشه رسوب‌دهی کل حوضه طبق رابطه واسنجی شده مدل MPSIAC تهیه شد و پس از روی هم‌گذاری با نقشه فعلی کاربری‌ها، پتانسیل رسوب‌دهی هر کاربری مشخص

خاک توجه داشته‌اند و برخی نیز با توجه به تقابل فعالیت‌های بشری با طبیعت، مدل‌های بهینه‌سازی در ارتباط با الگوی صحیح استفاده از اراضی را چند منظوره مورد بررسی قرار داده‌اند.

### روش تحقیق

حوضه چهل گزی با مساحت ۲۷۲/۳ کیلومترمربع یکی از سه زیر حوضه اصلی سد قشلاق در شمال شهرستان سنندج و در محدوده ۴۶° ۴۵' تا ۴۶° ۵۷' طول شرقی و ۳۵° ۲۵' تا ۳۵° ۲۸' عرض شمالی واقع گردیده است (شکل ۱). با توجه به مدل رقمی ارتفاع، در حدود ۳۰ درصد از سطح حوضه در کلاس شیب ۳۰-۲۰ درصد و حدود ۲۶ درصد نیز در طبقه ۴۵-۳۰ درصد قرار گرفته است. مطالعات پایه حوضه نیز نشان می‌دهد که در حدود ۹۴ درصد از آن که عمدتاً شامل قسمت‌های شمالی، شمال غربی و شمال شرقی می‌شود، کوهستانی است. خلاصه وضعیت فیزیوگرافی حوضه مذکور در جدول (۱) نشان داده شده است.

به منظور رسیدن به توسعه و به کارگیری روشی برای ترسیم الگوی بهینه استفاده از اراضی برای داشتن حداقل فرسایش و رسوب با استفاده از مدل برنامه ریزی چند هدفی متناسب با شکل توابع هدف و محدودیت‌ها، بایستی گزینه‌های مختلف در



شکل ۲. پراکنش کاربری اراضی حوضه آبخیز چهل‌گزی

در این معادله  $Q_s$  مقدار رسوب دهی حوضه برحسب تن بر هکتار،  $e$  عدد نپیرین و  $R$  جمع عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC یا درجه رسوب‌دهی می‌باشد.

$$SDR = 0.51A^{-0.11} \quad (2)$$

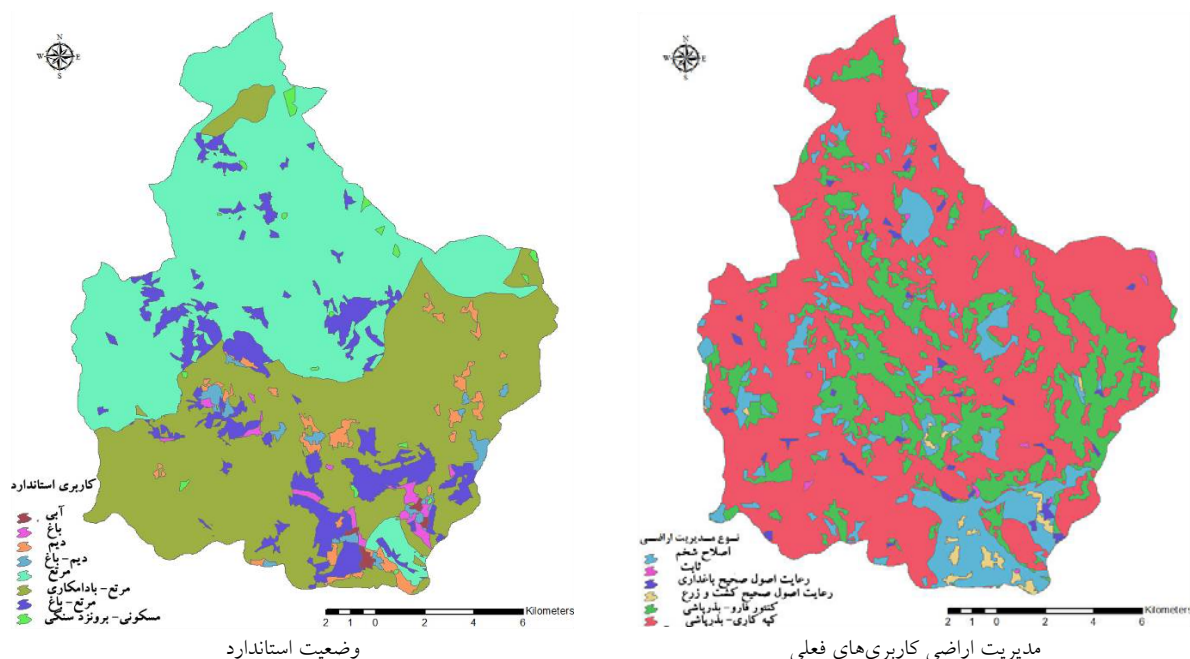
مدل ارائه شده توسط غلامی و همکاران، برای محاسبه نسبت تحویل رسوب با توجه به اینکه به‌طور مستقیم از رگبارهای منفرد استفاده کرده‌اند، در این طرح قابل استفاده نبود، زیرا مدل مذکور بستگی به داده ثبت شده رواناب و دبی دارد که به‌طور مستقیم از رگبارها به‌دست آمده باشد (۱۰). در این طرح اندازه‌گیری مستقیم انجام نشده است.

### گزینه وضعیت استاندارد اراضی

با توجه به اینکه در حوضه مورد نظر از اراضی به‌دلیل وجود محدودیت‌ها (شیب، عمق خاک، شرایط دسترسی به آب، شرایط زهکشی و غیره) به‌صورت استاندارد استفاده نمی‌شود، مطالعات مربوط به تناسب اراضی انجام و اولویت استفاده از اراضی در شرایط آبی مشخص گردید. به‌منظور تعیین نقشه در حالت استاندارد، از استانداردهای ارائه شده توسط برنگل،

گردید و پتانسیل فرسایش مربوط به هر کاربری در وضعیت جدید تعیین و مورد استفاده قرار گرفت. برای اعمال مدیریت اراضی، امتیاز عامل‌های رواناب، پوشش، کاربری اراضی، فرسایش سطحی و فرسایش خندقی برای شرایط مدیریت شده کاربری‌های فعلی تغییر کرد. برای اعمال مدیریت در ترکیب کاربری‌های فعلی، استفاده از شخم عمود بر جهت شیب به جای شخم در جهت شیب، کشت متراکم به‌جای کشت سنتی، کشت بر روی خطوط تراز به جای کشت معمولی و مدیریت صحیح چرا در اراضی مرتعی اعمال و مجدداً پتانسیل فرسایش و تولید رسوب محاسبه شد. بر این اساس طبق معادله اصلاح شده رسوب‌دهی (رابطه ۱)، نقشه پتانسیل رسوب‌دهی نیز در شرایط مدیریت اراضی تهیه شد. پس از آماده‌سازی نقشه پتانسیل رسوب‌دهی حوضه، با قرار دادن نقشه کاربری اراضی در وضعیت فعلی بر روی آن، پتانسیل رسوب‌دهی هر کاربری تعیین و با استفاده از معادله نسبت تحویل رسوب از روش SCS (رابطه ۲) پتانسیل رسوب‌دهی به پتانسیل فرسایش کاربری‌ها تبدیل گردید.

$$Q_s = 0.253e^{0.36R} \quad (1)$$



شکل ۳. نقشه وضعیت اراضی کاربری‌های حوضه چهل‌گزی در دو وضعیت مدیریت اراضی کاربری‌های فعلی و وضعیت کاربری استاندارد

تقسیم آن بر نسبت تحویل رسوب (SDR) پتانسیل رسوب دهی به پتانسیل فرسایش کاربری‌ها تبدیل گردید. شکل (۳) نقشه وضعیت استاندارد و مدیریت کاربری‌های فعلی حوضه را نشان می‌دهد.

#### فرمول‌بندی مسأله در هر یک از گزینه‌ها

”روش سیمپلکس“ یک رویکرد و روشی کلی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی است. در روش سیمپلکس اطلاعات مربوط به مدل وارد جداولی می‌شود که به آنها تابلوهای سیمپلکس گفته می‌شود. در این روش هر تابلو معادل یک گوشه موجه است پس از اینکه تابلوی نظیر یک گوشه ساخته شد سطر صفر ( $Z_0$ ) آن تابلو بررسی می‌شود در این صورت دو حالت پیش می‌آید: الف) مقادیر سطر صفر همگی غیرمنفی هستند (بزرگتر یا مساوی صفر) در این صورت گوشه نظیر این تابلو گوشه بهینه است و براساس اطلاعات این تابلو مختصات گوشه بهینه و مقادیر آن استخراج می‌شود و محاسبات به اتمام می‌رسد. ب) در سطر صفر مقادیر منفی وجود دارد، در این صورت گوشه

و همچنین Mahler، در مورد انجام هرگونه فعالیت کشت و کار براساس شیب زمین، عمق خاک و منبع تأمین آب استفاده شد (۲، ۱۴). در این مرحله با توجه به شرایط خاک و شیب مربوط به هر کاربری در واقع شرایط لازم برای وجود یا عدم وجود هر کاربری مشخص شده و در صورت وجود یا عدم وجود آب، تناسب نهایی هر کاربری مشخص شد. به عنوان مثال واحدی که شرایط لازم از جهت عمق خاک و شیب را برای کشت آبی داراست اما قابلیت دسترسی به آب برای آن وجود ندارد، به عنوان کشت آبی در نظر گرفته نشد و کاربری دیگری باید برای آن لحاظ گردید. در این گزینه با همپوشانی لایه‌های شیب عمق خاک و منابع آب، نقشه کاربری اراضی در شرایط استاندارد تهیه شد و سپس پتانسیل فرسایش در هر کاربری محاسبه گردید. نقشه پتانسیل رسوب‌دهی حوضه برای وضعیت استاندارد کاربری‌ها با توجه به محاسبه مجدد امتیاز عوامل نه گانه مدل MPSIAC، و معادله رسوب‌دهی تهیه شد. سپس با همپوشانی نقشه کاربری‌های استاندارد با نقشه پتانسیل رسوب‌دهی، پتانسیل رسوب‌دهی در هر کاربری مشخص و از

به جواب بهینه برسیم و مقادیر سطر صفر همگی غیر منفی بشوند (۷). در شکل (۴) نمودار کلی مراحل اجرای روش سیمپلکس نشان داده شده است.

از آنجا که توابع هدف در این مطالعه از نوع خطی است، برنامه‌ریزی خطی چند هدفی به منظور حل مسأله انتخاب شده است. مسأله عمومی بهینه‌سازی چند هدفه با  $n$  متغیر تصمیم،  $m$  محدودیت و  $p$  هدف در روابط ارائه می‌شود و مدل بهینه‌سازی با به‌کارگیری نرم‌افزار ۱۱ Lingo اجرا و محاسبات لازم به عمل آمد.

شکل عمومی مسأله، جهت تابع کمینه‌سازی پتانسیل فرسایش در حوضه چهل‌گزی به صورت رابطه ساده شده (۳) نوشته می‌شود:

$$\text{Min}(Z_f) = \sum_{i=1}^n C_{Ei} X_i \quad (3)$$

در این رابطه،  $Z_f$  فرسایش سالانه کل حوضه برحسب تن در سال،  $C_{Ei}$  پتانسیل فرسایش مربوط به هر کاربری اراضی برحسب تن در هکتار در سال و  $X_i$  مساحت مربوط به هر کاربری اراضی برحسب هکتار است.

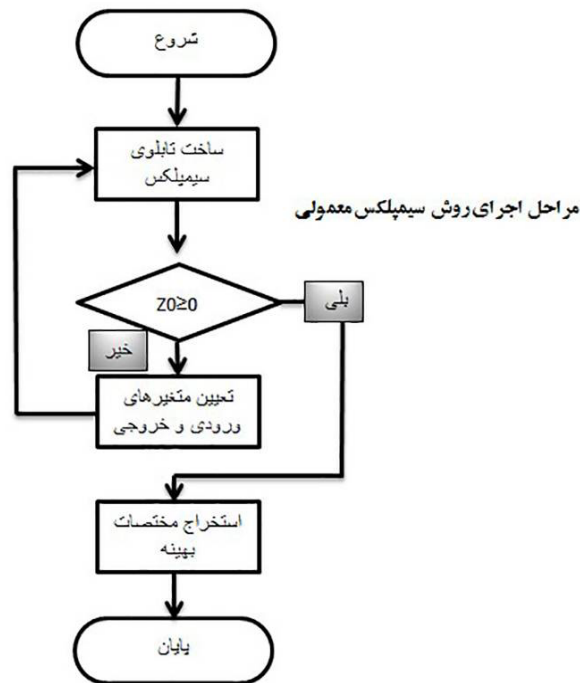
$$\sum_{i=1}^n X_i = B \quad (4)$$

$$X_i \geq 0$$

در این رابطه  $X_i$  مساحت مربوط به هر کاربری اراضی برحسب هکتار و  $B$  مساحت کل کاربری‌ها برحسب هکتار می‌باشد.

### تحلیل حساسیت توابع هدف

به منظور تجزیه و تحلیل حساسیت و بررسی اثر تغییرات ضرایب بر جواب بهینه مسأله کمینه‌سازی پتانسیل فرسایش، نسبت ۱۰ تا ۵۰ درصدی از منابع و ضرایب کاسته و افزوده شد. سپس دامنه مجاز تغییرات پارامتر به شرط تأمین شرایط بهینه و عملی بودن راه حل تعیین و حساسیت ضرائب تحلیل شد. تحلیل حساسیت مدل بهینه برای حوضه چهل‌گزی در خصوص منابع مختلف و ضرایب توابع هدف برای هر یک از گزینه‌ها انجام شد.



شکل ۴. نمودار محاسبات در روش سیمپلکس (۷)

مورد بررسی بهینه نیست و باید به گوشه مجاور بعدی برویم (به تابلوی بعدی برویم: در اینجا منظور از گوشه مجاور بعدی تابلویی است که با تابلوی فعلی تنها در یک متغیر اساسی تفاوت داشته باشد). پس از رفتن به گوشه بعدی مجدداً مقادیر سطر صفر را بررسی می‌کنیم اگر حالت الف پیش آمد، به جواب بهینه رسیده‌ایم در غیر این صورت، به گوشه بعدی می‌رویم و آنقدر این عمل تکرار می‌شود تا حالت الف پیش آید و به جواب بهینه برسیم. برای جابجایی از هر تابلو به تابلوی بعدی باید مشخص شود کدام متغیر باید به پایه وارد شود و کدام متغیر باید از پایه خارج شود به این عمل محور گیری و یا تعیین متغیرهای ورودی و خروجی گفته می‌شود. اهمیت روش سیمپلکس در این است که اولاً برای مسائل بیش از دو بعد که تجسم هندسی آنها مشکل است کاربرد دارد و ثانیاً نیازی به بررسی همه گوشه‌های مدل نیست و با شروع از تابلوی مبدأ از هر گوشه به گوشه بعدی وضعیت تابع هدف بهتر می‌شود تا جایی که



جدول ۲. میانگین امتیاز عامل‌های مدل MPSIAC در گزینه‌های مختلف

پارامتر	گزینه		
	وضعیت فعلی	وضعیت اعمال مدیریت	وضعیت استاندارد
زمین‌شناسی	۳/۶	۳/۶	۳/۶
خاک	۵/۹	۵/۹	۵/۹
اقلیم	۳/۸	۳/۸	۳/۸
رواناب	۲/۱	۲	۱/۹
توپوگرافی	۸/۱	۸/۱	۸/۱
پوشش زمین	۷/۲	۶/۵	۶/۳
کاربری اراضی	۷/۲	۶/۵	۶/۳
فرسایش سطحی	۱۳/۹	۱۲/۵	۹/۴
فرسایش رودخانه‌ای	۱۲/۲	۱۱	۸/۳
میانگین درجه رسوب‌دهی از لایه رستری	۶۳/۹	۵۸/۲	۵۳/۷

## نتایج و بحث

پس از طی مراحل ذکر شده در روش تحقیق، میانگین امتیاز عوامل نه گانه مدل MPSIAC محاسبه و نتایج در جدول (۲) برای سه گزینه مختلف نشان داده شده است. در مورد امتیازدهی عوامل نه گانه مدل، امتیاز عامل‌های زمین‌شناسی، خاک، اقلیم و توپوگرافی برای هر سه گزینه یکسان بود. ولی امتیاز عامل‌های رواناب، پوشش زمین، کاربری اراضی و فرسایش رودخانه‌ای با توجه به نوع مدیریت و پتانسیل استفاده از زمین، تغییر کرد. با توجه به نتایج، میانگین درجه پتانسیل رسوب‌دهی (جمع عوامل نه گانه مدل) برای گزینه فعلی برابر ۶۳/۹، گزینه اعمال مدیریت اراضی برابر ۵۸/۲ و گزینه استاندارد برابر ۵۳/۷ به دست آمد. با توجه به این نتایج ملاحظه می‌شود که این مقادیر در کلاس پتانسیل رسوب‌دهی ۷۵-۵۰ قرار دارند که بدین ترتیب پتانسیل رسوب‌دهی حوضه در هر سه گزینه در حد متوسط می‌باشد.

براساس جمع امتیاز عوامل نه گانه مدل MPSIAC (جدول ۲) و معادله اصلاح شده پتانسیل رسوب‌دهی (رابطه ۱)، دامنه بیشینه و کمینه پتانسیل رسوب‌دهی در وضعیت فعلی کاربری اراضی از ۲/۵۴ تا ۰/۵۵ تن در هکتار است که در وضعیت مدیریت کاربری اراضی دامنه بیشینه و کمینه پتانسیل

رسوب‌دهی به ۲/۱۲ تا ۰/۴۷ کاهش یافته است. نسبت تحویل رسوب نیز با استفاده از رابطه (۲) تعیین و پتانسیل فرسایش و رسوب کاربری‌ها برای وضعیت فعلی و گزینه مدیریت کاربری اراضی برآورد و در جدول (۳) مقایسه شده است.

با توجه به جدول (۴) راهنمای تهیه نقشه تناسب اراضی برای حوضه چهل‌گری، در حالت استاندارد اراضی، سه کاربری ترکیبی شامل دیم-باغ، مرتع-باغ و مرتع-بادامکاری اضافه شده است. در این گزینه با توجه به محدودیت منابع، میزان تخصیص کاربری‌ها در سطح مشترک دیم-باغ به صورت ۴ به ۱ (۸۰ درصد دیم و ۲۰ درصد باغ)، مرتع-باغ به صورت ۹ به ۱ (۹۰ درصد مرتع و ۱۰ درصد باغ)، مرتع-بادامکاری به صورت ۹ به ۱ (۹۰ درصد مرتع و ۱۰ درصد بادامکاری) در نظر گرفته شد.

در گزینه کاربری فعلی اراضی و گزینه اعمال مدیریت اراضی، بیشترین پتانسیل رسوب‌دهی ویژه مربوط به اراضی دیم به ترتیب با ۱/۳۰ و ۱/۰۴ تن در هکتار است و کمترین پتانسیل رسوب‌دهی نیز مربوط به کاربری باغ با مقدار ۰/۷۵ تن در هکتار در کاربری فعلی اراضی و ۰/۶۴ تن در هکتار در گزینه اعمال مدیریت اراضی می‌باشد. با توجه به بارش منطقه برای کشت محصولات دیمی، آبخیز‌نشینان تا حد ممکن اقدام



جدول ۳. مقایسه پتانسیل فرسایش و تولید رسوب در وضعیت فعلی و وضعیت مدیریت کاربری اراضی حوضه

نوع کاربری	مساحت (هکتار)	SDR	وضعیت فعلی کاربری اراضی		وضعیت مدیریت کاربری اراضی	
			رسوب ویژه (تن در هکتار)	فرسایش ویژه (تن در هکتار)	رسوب ویژه (تن در هکتار)	فرسایش ویژه (تن در هکتار)
آبی	۴۴۹	۰/۴۸	۰/۷۹	۱/۶۵	۰/۶۷	۱/۴۰
باغ	۲۹۳	۰/۵۰	۰/۷۵	۱/۴۹	۰/۶۴	۱/۲۷
دیم	۲۷۷۴	۰/۳۹	۱/۳۰	۳/۳۱	۱/۰۴	۲/۶۵
مرتع	۲۳۵۸۱	۰/۳۱	۱/۱۳	۳/۶۴	۰/۹۳	۳/۰۰

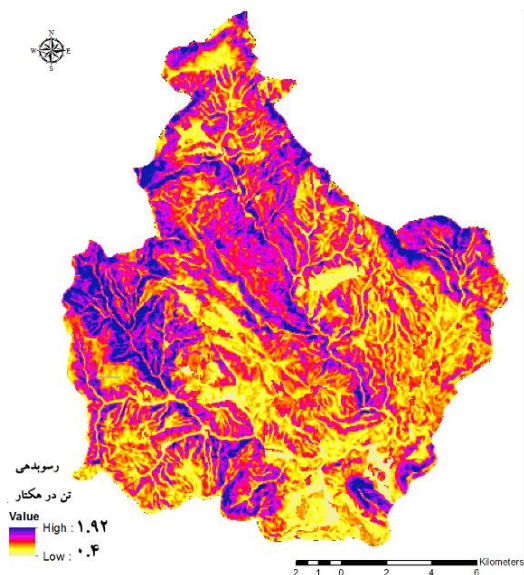
جدول ۴. راهنمای تهیه نقشه تناسب اراضی برای حوضه چهل‌گزی

کلاس شیب	وضعیت آب	عمق خاک		
		کم (۰-۳۰ cm)	متوسط (۳۰-۸۰ cm)	زیاد (>۸۰ cm)
۵-۰ درصد	بدون محدودیت	*	*	آبی
	محدودیت متوسط	*	*	*
۵-۸ درصد	فاقد آب آبیاری	*	*	دیم
	بدون محدودیت	*	آبی	آبی
	محدودیت متوسط	مرتع-باغ	دیم-باغ	دیم-باغ
	فاقد آب آبیاری	مرتع	دیم	دیم
۸-۱۲ درصد	بدون محدودیت	*	باغ	باغ
	محدودیت متوسط	مرتع-باغ	دیم-باغ	دیم-باغ
	فاقد آب آبیاری	مرتع	دیم	دیم
	بدون محدودیت	مرتع-باغ	باغ	باغ
۱۲-۲۵ درصد	محدودیت متوسط	مرتع-باغ	مرتع-باغ	مرتع-باغ
	فاقد آب آبیاری	مرتع	مرتع-بادامکاری	مرتع-بادامکاری
	بدون محدودیت	*	*	*
	محدودیت متوسط	مرتع-باغ	مرتع-باغ	*
بیشتر از ۲۵ درصد	فاقد آب آبیاری	مرتع	مرتع-بادامکاری	مرتع-بادامکاری

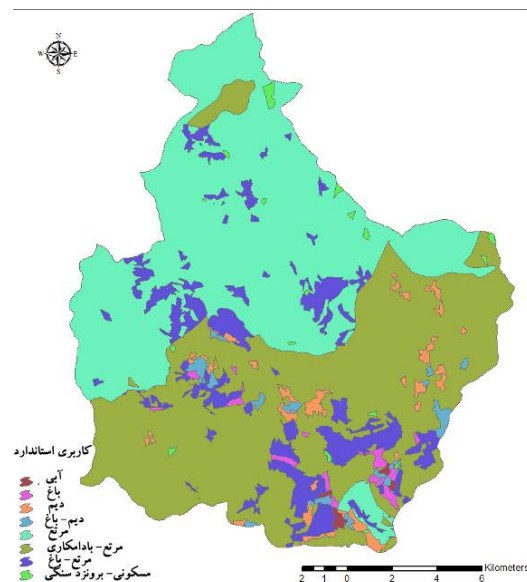
\* فاقد اراضی متناسب

گل‌آلود کردن رودخانه وجود دارد. در حالی که اراضی باغی به دلیل درصد پوشش لاشبرگ بیشتر و تخریب کمتر ساختمان خاک، کمتر تحت عمل فرسایش خاک قرار گرفته‌اند که بدین ترتیب کمترین پتانسیل رسوب‌دهی را دارند. با توجه به نسبت تحویل رسوب که در ارتباط با عامل مساحت است، ملاحظه می‌شود که بیشترین پتانسیل فرسایش خاک در گزینه کاربری فعلی و گزینه اعمال مدیریت، مربوط به اراضی مرتعی می‌باشد و در حدود ۸۷ درصد از سطح حوضه را این کاربری به خود

به تبدیل کاربری مرتع به دیم نموده‌اند که این عمل موجب افزایش فرسایش خاک شده است. در بازدیدهای صحرائی نیز مشخص شد که در اراضی دیم به دلیل شخم اشتباه و عدم رعایت اصول صحیح کشت و کار، تخریب و آشفته‌گی خاک به مراتب بالاتر است که بیانگر پتانسیل بالای رسوب‌دهی و موجودیت رسوب می‌باشد. فرآیند فرسایش خاک به‌طور ناخودآگاه توسط خود زارعین با انجام شخم و برهم زدن خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به وجود می‌آید و پتانسیل بالا برای انتقال و



شکل ۶. نقشه پتانسیل رسوبدهی در وضعیت استاندارد اراضی حوضه



شکل ۵. نقشه کاربری اراضی استاندارد حوضه

جدول ۵. پتانسیل فرسایش و رسوب در وضعیت استاندارد کاربری های ترکیبی حوضه

نوع کاربری	مساحت (تن)	SDR	رسوب ویژه (تن در هکتار)	فرسایش ویژه (تن در هکتار)
آبی	۷۱	۰/۵۹	۰/۴۵	۰/۷۷
باغ	۲۳۵	۰/۵۲	۰/۵۱	۰/۹۹
دیم	۵۳۰	۰/۴۷	۰/۷۷	۱/۶۳
دیم-باغ	۳۳۳	۰/۵۰	۰/۷۳	۱/۴۷
مرتع	۱۱۷۷۴	۰/۳۴	۰/۸۵	۲/۵۴
مرتع-باغ	۲۶۶۸	۰/۳۹	۰/۷۶	۱/۹۳
مرتع-بادامکاری	۱۱۴۸۶	۰/۳۴	۰/۶۶	۱/۹۶

رسوب‌دهی، نقشه پتانسیل رسوب‌دهی وضعیت استاندارد در شکل (۶) مشخص شده است. با توجه به نسبت تحویل رسوب، پتانسیل فرسایش و تولید رسوب کاربری‌های ترکیبی برای گزینه استاندارد کاربری اراضی در جدول (۵) نشان داده شده است. در گزینه استاندارد اراضی، بیشترین پتانسیل رسوب‌دهی مربوط به کاربری دیم و بیشترین پتانسیل فرسایش مربوط به کاربری مرتع است. اما کمترین پتانسیل فرسایش و رسوب‌دهی مربوط به کاربری آبی است؛ در حالی که در گزینه‌های قبلی، کمترین مقادیر مربوط به کاربری باغ بود. دلیل اینکه در این گزینه پتانسیل فرسایش و رسوب‌دهی اراضی باغی بیشتر از اراضی آبی است، می‌تواند به این موضوع برگردد که

اختصاص داده است و همین امر باعث شده تا نسبت تحویل رسوب‌دهی مرتع با ۰/۳۱، کمتر از کاربری دیم ۰/۳۹ باشد. این مطلب بیانگر این موضوع است که فرآیند فرسایش خاک در کاربری مرتعی بیشتر است؛ ولی به دلیل مساحت بالای این کاربری، انتقال و پتانسیل رسوب‌دهی به اندازه کاربری دیم نمی‌باشد. بنابراین علی‌رغم پتانسیل رسوب‌دهی بالاتر کاربری دیم، پتانسیل فرسایش در کاربری مرتع بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد کاربری باغ کمترین پتانسیل فرسایش را دارد. شکل (۵) نقشه کاربری اراضی در وضعیت استاندارد اراضی حوضه را نشان می‌دهد. همچنین براساس جمع امتیاز عوامل نه گانه مدل MPSIAC (جدول ۲) و معادله اصلاح شده

جدول ۶. سطح کاربری‌های اراضی قبل و بعد از بهینه‌سازی

کاربری	آبی (هکتار)	باغ (هکتار)	دیم (هکتار)	مرتع (هکتار)
قبل از بهینه‌سازی	۴۴۹	۲۹۳	۲۷۷۴	۲۳۵۸۱
بعد از بهینه‌سازی	۷۱	۵۶۸	۷۹۶	۲۵۶۶۲
درصد تغییرات	-۸۴/۲	+۹۳/۹	-۷۱/۳	+۸/۸

جدول ۷. مقایسه پتانسیل فرسایش بعد از بهینه‌سازی در وضعیت اعمال مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد

کاربری اراضی	وضعیت اعمال مدیریت		وضعیت استاندارد	
	فرسایش سالانه (تن در هکتار)	فرسایش کل (تن در سال)	فرسایش سالانه (تن در هکتار)	فرسایش کل (تن در سال)
آبی	۷۱	۱/۴۰	۰/۷۷	۵۵
باغ	۵۶۸	۱/۲۷	۱/۰۹	۶۱۹
دیم	۷۹۶	۲/۶۵	۱/۷۱	۱۳۶۱
مرتع	۲۵۶۶۲	۳/۰۰	۲/۴۷	۶۳۳۸۵
کل	۲۷۰۹۷	---	---	۶۵۴۲۰
متوسط وزنی	---	۲/۹۵	۲/۴۱	---

محدودیت متوسط خاک و دسترسی به آب هستند، به کاربری باغ اختصاص داده شده‌اند. این مسئله موجب آن شده تا درآمد افزایش و فرسایش کاهش یابد.

با توجه به نتایج، کمترین درصد تغییرات مربوط به کاربری مرتع است. ولی سطح تغییرات آن در حدود ۲۰۸۱ هکتار است که این مساحت عمدتاً از کاربری دیم گرفته شده است. درآمد کاربری دیم کمتر از سایر کاربری‌هاست و از طرفی فرسایش آن نیز کمتر از کاربری مرتع است. همچنین افزایش سطح اراضی باغی نیز ناشی از کاهش سطح اراضی آبی و دیم (به شرط توسعه و احیاء منابع آب) است. سپس با لحاظ قراردادن سطح کاربری‌های اراضی به‌دست آمده و اعمال محدودیت‌های تعریف شده در نرم‌افزار مطابق جدول (۴)، مقادیر فرسایش بعد از بهینه‌سازی برآورد و نتایج به‌دست آمده برای وضعیت بهینه‌سازی با اعمال مدیریت و وضعیت استاندارد در جدول (۷) ارائه شده است.

با بهینه‌سازی کاربری اراضی، پتانسیل فرسایش سالانه حوضه در سه گزینه بررسی شده تغییر کرد. با توجه به نتایج، پتانسیل فرسایش فعلی حوضه در حدود ۹۶۱۹۴ تن در سال

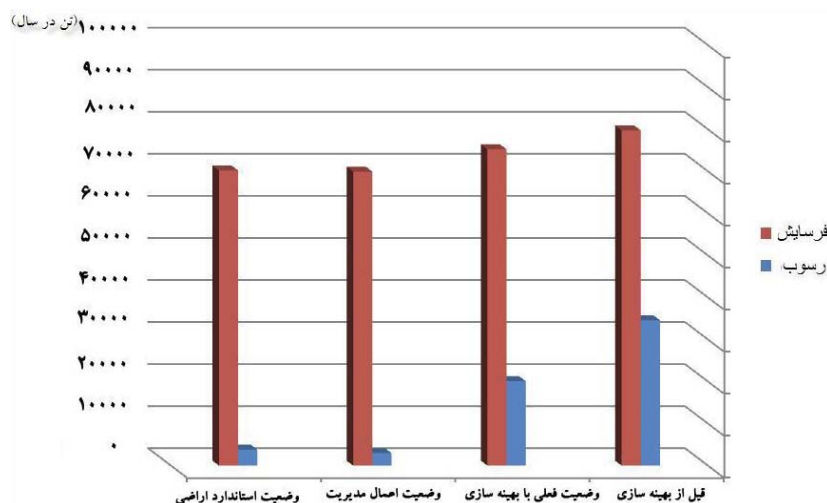
اراضی با شیب زیاد که از نظر عمق خاک و دسترسی به منابع آبی، فاقد محدودیت یا محدودیت متوسط هستند، به کاربری باغ اختصاص داده شده‌اند. بنابراین با افزایش سطح اراضی باغی با شیب تند نسبت به شرایط قبل، پتانسیل فرسایش و رسوب‌دهی در این کاربری افزایش یافته است.

با توجه به اجرای مدل بهینه‌سازی در نرم‌افزار ۱۱ Lingo، سطح بهینه کاربری‌های اراضی که می‌تواند میزان فرسایش را حداقل نماید، محاسبه و نتایج در جدول (۶) ملاحظه می‌شود.

با تهیه جدول سیمپلکس و به کمک مدل برنامه‌ریزی خطی، سطح بهینه کاربری‌های اراضی حوضه تعیین شد. براساس نتایج، سطح اراضی آبی با ۷۱ درصد کاهش، از ۴۴۹ هکتار به ۷۱ هکتار رسید. مساحت اراضی باغی با ۹۳/۹ درصد افزایش از ۲۹۳ به ۵۶۸ هکتار رسید. سطح اراضی دیم با ۷۱/۳ درصد کاهش، از ۲۷۷۴ هکتار به ۷۹۶ هکتار رسید. مساحت اراضی مرتعی با ۸/۸ درصد افزایش، از ۲۳۵۸۱ هکتار به ۲۵۶۶۲ هکتار رسید. این نتایج نشان می‌دهد که بیشترین درصد تغییرات مربوط به افزایش کاربری باغ است و در جدول راهنمای اراضی، دامنه‌های با شیب بالا که فاقد محدودیت و یا

جدول ۸. مقدار و درصد تغییرات پتانسیل فرسایش و تولید رسوب سالانه بعد از بهینه‌سازی در گزینه‌های مختلف

پارامتر	قبل از بهینه‌سازی		بعد از بهینه‌سازی		وضعیت استاندارد
	مقدار (تن در سال)	وضعیت فعلی	وضعیت اعمال مدیریت اراضی	وضعیت استاندارد	
پتانسیل فرسایش	۹۶۱۹۴	مقدار (تن در سال)	مقدار (تن در سال)	مقدار (تن در سال)	درصد
		۹۷۰۰۸	۷۹۹۱۶	۶۵۴۲۰	۳۱/۹۹
پتانسیل رسوب	۲۹۸۲۰	درصد	درصد	۲۰۲۸۰	
		+۰/۸۵	-۱۶/۹۲		



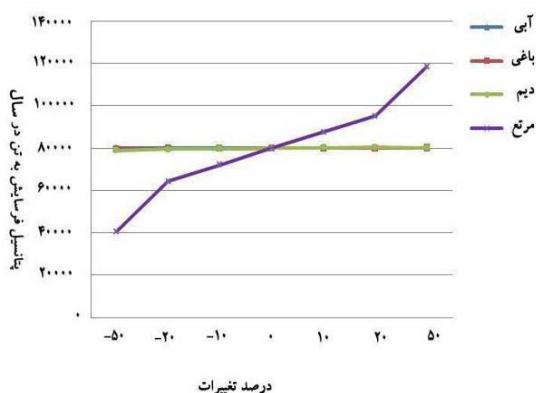
شکل ۷. نمودار مقایسه پتانسیل فرسایش و تولید رسوب حوضه در گزینه‌های مختلف

است. در شکل (۷) نیز نمودار مقایسه پتانسیل فرسایش و رسوب در گزینه‌های مختلف ملاحظه می‌شود.

طبق نتایج حاصل از تحلیل حساسیت در هر سه گزینه که در شکل‌های (۸) تا (۱۰) نمودار تغییرات آنها نشان داده شده، تغییر در سطح اراضی مرتعی بیشترین تأثیر را در تغییرات پتانسیل فرسایش حوضه دارد. از آنجا که بیشترین پتانسیل فرسایش‌پذیری حوضه مربوط به اراضی مرتعی است و حدود ۸۷ درصد سطح حوضه در شرایط فعلی و حدود ۹۵ درصد سطح حوضه در شرایط بهینه را این کاربری به خود اختصاص داده است، بنابراین تغییرپذیری پتانسیل فرسایش در این کاربری بیشتر مشهود است. نتایج این بخش نشان داد که پس از کاربری مرتع، کاربری دیم تأثیر زیادی در تغییرات پتانسیل فرسایش حوضه دارد.

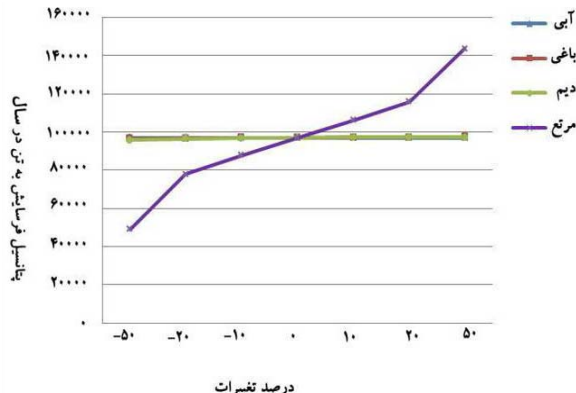
با توجه به نتایج، بیشترین پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک از

است. با بهینه‌سازی کاربری اراضی و تغییر ترکیب کاربری‌ها بدون اعمال مدیریت، پتانسیل فرسایش خیلی کم (۰/۸۵ درصد) تغییر پیدا کرد؛ به‌طوری‌که پتانسیل فرسایش با ۸۱۴ تن افزایش به ۹۷۰۰۸ تن در سال رسید. با توجه به عامل مساحت، نسبت تحویل رسوب حوضه برابر ۰/۳۱ است و پتانسیل تولید رسوب از ۲۹۸۲۰ تن به ۳۰۰۷۲ تن افزایش یافته است. در صورت اعمال مدیریت برای ترکیب کاربری‌های جدید، پتانسیل فرسایش به ۷۹۹۱۶ تن و پتانسیل رسوب‌دهی به ۲۴۷۷۴ تن کاهش یافته است؛ به عبارتی ۱۶/۹۲ درصد کاهش دیده می‌شود. همچنین در صورت استانداردسازی کاربری اراضی، پتانسیل فرسایش به ۶۵۴۲۰ تن و پتانسیل رسوب‌دهی به ۲۰۲۸۰ تن در سال خواهد رسید که کاهشی برابر ۳۲ درصد خواهد داشت. خلاصه تغییرات پتانسیل فرسایش در گزینه‌های مختلف نسبت به وضعیت کنونی در جدول (۸) نشان داده شده



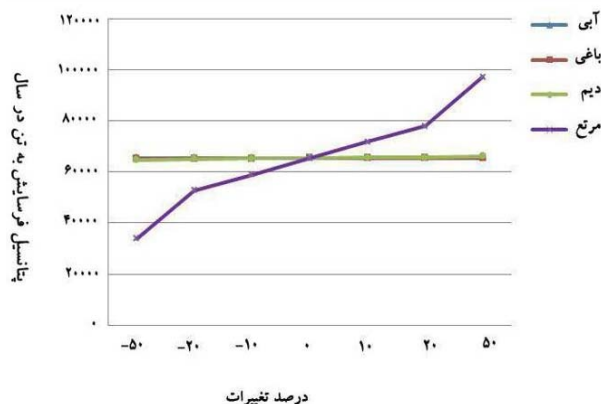
درصد تغییرات

شکل ۹. تحلیل حساسیت نسبت به درصد تغییرات پتانسیل فرسایش در وضعیت اعمال مدیریت



درصد تغییرات

شکل ۸. تحلیل حساسیت نسبت به درصد تغییرات پتانسیل فرسایش در وضعیت فعلی



درصد تغییرات

شکل ۱۰. تحلیل حساسیت نسبت به درصد تغییرات پتانسیل فرسایش در وضعیت استاندارد اراضی

مربوط به کاربری باغ با مقدار ۷۵٪ تن در هکتار در کاربری فعلی اراضی و ۶۴٪ تن در هکتار در گزینه اعمال مدیریت اراضی می‌باشد. با توجه به بارش قابل قبول منطقه برای کشت محصولات دیمی، آبخیز نشینان تا حد ممکن اقدام به تبدیل کاربری مرتع به دیم نموده‌اند که این عمل موجب فرسایش خاک شده است. در بازدیدهای صحرایی نیز مشخص شد که در اراضی دیم به دلیل شخم اشتباه و عدم رعایت اصول صحیح کشت و کار، تخریب خاک به مراتب بالاتر است که بیانگر پتانسیل بالای رسوب‌دهی می‌باشد. چرا که فرآیند فرسایش خاک به‌طور ناخودآگاه توسط خود زارعین با انجام شخم و برهم زدن خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری بوجود در حالی که اراضی باغی به دلیل درصد پوشش لاشبرگ بیشتر و

کاربری مرتع و بیشترین پتانسیل رسوب‌دهی از کاربری دیم حاصل گردید. همچنین، مهمترین دلیل کاهش پتانسیل فرسایش حوضه در نتیجه بهینه‌سازی کاربری اراضی، افزایش سطح اراضی باغی و اعمال کاربری‌های ترکیبی مشابه باغ همانند مرتع- بادامکاری می‌شود. در این راستا جلیلی و همکاران (۶)، شعبانی (۸)، نیک کامی و همکاران (۱۵)، اوجی و همکاران (۳)، نیز در تحقیقات خود به تأثیر افزایش سطح اراضی باغی در بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌منظور کاهش پتانسیل فرسایش اشاره داشته‌اند.

در گزینه کاربری فعلی اراضی و گزینه اعمال مدیریت اراضی، بیشترین پتانسیل تولید رسوب ویژه مربوط به اراضی دیم به ترتیب با ۱/۳۰ و ۱/۰۴ تن در هکتار است و کمترین نیز

حیدر (۷) و شعبانی (۸) مطابقت دارد.

### نتیجه گیری

با انجام تحلیل حساسیت به منظور تغییر ترکیب کاربری‌ها در دامنه مجاز و اثر آن بر پتانسیل فرسایش، نتایج نشان داد که تغییر در بیشترین سطح اراضی باغی گزینه فعلی و گزینه اعمال مدیریت، بیشترین تأثیر را بر پتانسیل فرسایش حوضه دارند و پس از آن بیشترین سطح اراضی آبی از خود حساسیت نشان داده است. نتایج تحقیق نشان داد که تغییر در ترکیب کاربری اراضی و بهینه‌سازی آن در حوضه، بدون اعمال برنامه‌های مدیریتی و استفاده براساس استعداد و پتانسیل (استانداردسازی) نمی‌تواند منجر به کاهش پتانسیل فرسایش خاک شود. با اعمال فشار در کاربری‌هایی که تحت مدیریت و اصول صحیح کشت و زرع نیستند، منابع آب و خاک به‌عنوان منابع پایه و بستر حوضه رو به تخریب و انحطاط خواهند رفت. بنابراین به‌منظور تحقق هدف (کاهش پتانسیل فرسایش) بایستی بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه چهل‌گزی همراه با برنامه‌های مدیریتی و استفاده صحیح براساس پتانسیل و استعداد باشد. ضمناً انجام این تحقیق، ضمن تأیید کارایی مدل برنامه‌ریزی خطی، به خوبی توانست بخشی از برنامه‌های پایش اراضی و آمایش آن و درنهایت الگوی صحیح استفاده از اراضی را در حوضه نشان دهد. با توجه به نتایجی که از این تحقیق حاصل شد، پیشنهاد می‌شود در سطح یک یا چند واحد هیدرولوژیکی کوچک مقیاس، این طرح به‌صورت اجرایی عملی شود تا بتوان با قطعیت بیشتری در مورد موفقیت بهینه‌سازی کاربری اراضی تصمیم گرفت. با توجه به وضعیت پوشش گیاهی مراتع و بارندگی و استعداد حوضه، طرح بهینه‌سازی همراه با ایجاد و یا توسعه شغل‌های جایگزین (عموماً به جای دیمکاری) با مشورت و همکاری با خود آبخیزنشینان و ذی‌مدخلان می‌تواند اجرا شود. در این راستا، توسعه پروارندگی، زنبورداری و صنایع تبدیلی لبنی توصیه می‌شود. همچنین اطلاعات منابع آب حوضه بیانگر وجود چشمه‌های فراوان است و از این لحاظ پرورش

تخریب کمتر ساختمان خاک، کمتر تحت عمل فرسایندگی خاک قرار گرفته‌اند که بدین ترتیب کمترین تولید رسوب را دارند.

با توجه به نسبت تحویل رسوب که در ارتباط با عامل مساحت است، ملاحظه می‌شود که بیشترین پتانسیل فرسایش خاک در گزینه کاربری فعلی و گزینه اعمال مدیریت، مربوط به اراضی مرتعی است. زیرا در حدود ۸۷ درصد از سطح حوضه را این کاربری به خود اختصاص داده و همین امر باعث شده تا نسبت تحویل رسوب‌دهی مرتع با ۰/۳۱، کمتر از کاربری دیم ۰/۳۹ باشد. این مطلب بیانگر این موضوع است که فرآیند فرسایش خاک در کاربری مرتعی بیشتر است؛ ولی به‌دلیل مساحت بالای این کاربری، پتانسیل رسوب‌دهی در حد کاربری دیم نمی‌باشد. بنابراین علی‌رغم رسوب‌دهی بالاتر کاربری دیم، فرسایش در کاربری مرتع بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد کاربری باغ کمترین فرسایش را دارد. در گزینه استاندارد اراضی، با توجه به جدول راهنمای تناسب اراضی جدول ۴ و به‌منظور مدیریت بهتر منابع، کاربری‌های ترکیبی شامل دیم-باغ، مرتع-باغ و مرتع-بادامکاری نیز تعریف و با توجه به نسبت مساحت اختصاص داده شده، پتانسیل فرسایش و تولید رسوب کاربری‌های چهارگانه اصلی (آبی، باغ، دیم و مرتع) تعیین شد. در این گزینه نیز بیشترین پتانسیل تولید رسوب مربوط به کاربری دیم و بیشترین پتانسیل فرسایش مربوط به کاربری مرتع است. اما کمترین پتانسیل فرسایش و رسوب‌دهی مربوط به کاربری آبی است؛ در حالی که در گزینه‌های قبلی، کمترین مقادیر مربوط به کاربری باغ بود. دلیل اینکه در این گزینه میزان فرسایش و رسوب‌دهی اراضی باغی بیشتر از اراضی آبی است، می‌تواند به این موضوع برگردد که سطوح با شیب بالاتر که از نظر عمق خاک و دسترسی به منابع آبی، فاقد محدودیت یا محدودیت متوسط هستند، نیز به کاربری باغ اختصاص داده شده‌اند. بنابراین با افزایش سطح اراضی باغی با شیب تند نسبت به شرایط قبل، پتانسیل فرسایش و تولید رسوب در این کاربری افزایش یافته است که با تحقیقات چم

ماهیان سردابی به‌خوبی قابل توسعه می‌باشد.

تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان به‌دلیل تامین منابع مالی، امکانات عملیات صحرایی، مشاوره‌های علمی و حمایت‌های معنوی قدردانی می‌شود.

## سیاسگزاری

بدین‌وسیله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز

## منابع مورد استفاده

۱. آرخی، ص.، ص. یوسفی و ق. رستمی زاد. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی در کاهش فرسایش و رسوب حوضه چم گردلان به کمک GIS. جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای ۳(۶): ۷۵-۸۴.
۲. آقارزی، ح.، م. مردیان، ع. ا. داودی‌راد و د. نیک‌کامی. ۱۳۹۴. تحلیل حساسیت توابع هدف در مدل برنامه‌ریزی خطی به‌منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه آدینه مسجد. مرتع و آبخیزداری منابع طبیعی ایران ۶۸(۴): ۷۹۵-۸۰۸.
۳. اوجی، م.ر.، د. نیک‌کامی، م. ح. مهدیان و ش. محمودی. ۱۳۹۲. کمینه‌سازی رواناب و رسوب‌دهی به کمک بهینه‌سازی کاربری اراضی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۰(۴): ۱۹۹-۱۸۳.
۴. برنگل، ک. ج. ۱۳۷۹. اصول و عملیات دیم‌کاری. ترجمه م. ح. راشد محصل و ع. کوچکی، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.
۵. پیشداد سلیمان آباد، ل.، ع. نجفی نژاد، ع. ماهینی و ح. خالدیان. ۱۳۸۷. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوضه چراغ ویس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۱۵(۱): ۱۴۹-۱۴۲.
۶. جلیلی، خ.، س.ح.ر. صادقی و د. نیک‌کامی. ۱۳۸۵. بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز به‌منظور کمینه‌سازی فرسایش خاک با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی حوضه آبخیز بریموند استان کرمانشاه)، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۰(۴): ۲۶-۱۵.
۷. چم‌حیدر، ه. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی اقتصادی کاربری اراضی به‌منظور کمینه‌سازی فرسایش، رسوب‌دهی و هدرروی عناصر غذایی خاک در یکی از زیرحوضه‌های رود زرد، پایان‌نامه دکتری خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.
۸. شعبانی، م. ۱۳۸۹. تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی در میزان فرسایش خاک و سوددهی حوزه‌های آبخیز، مطالعه موردی: حوضه زاخرد فارس. فصلنامه جغرافیای طبیعی ۳(۸): ۹۸-۸۳.
۹. طالبی، ع.، س. ف. سوزنده‌پور، م. ت. دستورانی، ع. ا. کریمیان و م. سلطانی. ۱۳۹۴. بررسی اثر کاربری اراضی در شرایط فعلی و بهینه‌روی رسوب‌دهی حوضه شور و شیرین شیراز. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۹(۷۰): ۴۷-۵۵.
۱۰. غلامی، ل.، س. ح. ر. صادقی و ع. خالدی درویشان. ۱۳۸۸. مدل‌سازی برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار در حوضه چهل‌گزی براساس ویژگی‌های اقلیمی و هیدرولوژی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۶(۲): ۲۶۰-۲۵۳.
۱۱. وفا خواه، م.، م. محسنی‌ساروی و ح. احمدی. ۱۳۹۴. بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌منظور کمینه‌سازی فرسایش و پیشینه‌سازی سود در بخشی از حوض آبخیز طالقان. مرتع و آبخیزداری منابع طبیعی ایران ۶۸(۱): ۱۹۵-۱۸۱.
12. Cao, K., M. Batty, B. Huang, Y. Liu, L. Yu and J. Chen. 2011. Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the nondominated sorting genetic algorithm-II. J. Geographical Information Sci., 1-21.
13. Lin, L.Y., T. D. Wei, L. D. Feng and K. X. Song. 2013. A land use spatial allocation model based on ant colony optimization. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on GeoComputation LIESMARS Wuhan University, Wuhan, China, 9p.
14. Mahler, P. J. 1979. Manual of land classification for irrigation (third revised edition). Soil Instituted of Iran,



Publication No. 205, 103 P.

15. Nikkami, D., M. Shabani, H. Ahmadi. 2009. Land use scenarios and optimization in a watershed. *J. Applied Sci.* 9(2): 287-295.
16. Rostamizad, G. and Z. Khanbabaei. 2012. Investigating effect of land use optimization on erosion and sediment yield limitation by using of GIS (Case Study: Ilam dam watershed). *Advances in Environmental Biology*, 6(5): 1688-1695.

## The Role of Land use Optimization in Reducing the Potential of Erosion and Sedimentation using Linear Programming Model (Case study: Chehel-Gazi Basin in Sanandaj)

H. Khaledian<sup>1\*</sup> and D. Nikkami<sup>2</sup>

(Received: Jan. 30-2016 ; Accepted: July 27-2016)

### Abstract

Appropriate utilization of agricultural land and natural resources decreases erosion and increases production in watersheds. On the other hand, land use pattern is changing due to increasing human activities on the ground to meet their different needs. Optimization of land use is one of the management methods to achieve stability and reduce soil erosion. In this study, using linear programming (simplex) and Geographic Information System (GIS), we investigated the land use optimization in three scenarios: current condition, management condition, and standard condition. Erosion potential was estimated using MPSIAC Model in irrigated land 1.65, dry lands 3.31, pasture 3.64, gardens 1.49 and 3.85 tons per hectare per year for Chehel-Gazi basin. The results of the sensitivity analysis of the tree scenarios showed that in the case of land use optimization, erosion potential increases for 0.85 percent under the current condition, 16.92 percent under the land management condition and 32 percent under standard conditions. The results of sensitivity analysis in all three options showed that changes in the area of pasture have the greatest impact on changing erosion potential of basin.

**Keywords:** land degradation, land management, management scenarios, soil and water conservation

---

1. Kurdistan Agric. and Natural Resour. Res. and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran.

2. Soil Conservation and Watershed Manage. Res. Institute (SCWMRI), AREEO, Tehran, Iran

\*: Corresponding Author, Email: hkhaledian@yahoo.com