ISSN 2251-7480

تعیین سطح بهینه کاربری اراضی و عملیات بیولوژیک برای کاهش فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سقزچی استان اردبیل)

ابوالفضل معینی[1*]، معصومه نجفی ثانی[2]، شیوا محمدیان خراسانی[3] و سپیده مفیدی[4]

۱*) استادیار، گروه آبخیزداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

***نویسنده مسئول مکاتبات:** abmoeini@yahoo.com

۲) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳) دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، گروه خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

٤) دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، گروه خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۱/۲۹

چکیده

امروزه فرسایش خاک، یکی از بزرگ‌ترین مشکلات کشورهای جهان به‌خصوص ایران می‌باشد. خطرات و عوارض ناشی از فرسایش در حوزه‌های آبخیز، از عمده‌ترین مشکلات و مسائلی است که به‌طور همه جانبه تعادل اکولوژیک آبخیزها را تحت تأثیر قرار داده است. هدف اصلی این تحقیق، تعیین سطح بهینه کاربری اراضی به‌منظور کاهش میزان فرسایش و بالا بردن درآمد ساکنین حوزه آبخیز سقزچی واقع در استان اردبیل بود. برای این کار، مدل برنامه‌ریزی خطی برای سه وضعیت کنونی کاربری‌ها، کاربری استاندارد و کاربری استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک 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. در شرایط بهینه سطوح اراضی باغی از ۱۳۲/۲۹ هکتار به ۱۹۰۲/۸۳ هکتار (۱۴۳۸/۴ درصد افزایش)، مرتعی بدون تغییر، کشت آبی از ۳۱۹/۹۴ هکتار به ۵۷/۶ هکتار (۸۱/۹۹ درصد کاهش) و سطح اراضی کشت دیم نیز از ۱۵۴۹ هکتار به ۴۰/۸ هکتار (۹۷/۳۶ درصد کاهش) تغییر می‌یابد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که با بهینه‌سازی کاربری اراضی، در شرایط فعلی میزان فرسایش خاک و سوددهی کل حوضه به‌ترتیب ۰/۰۷ درصد کاهش و ۷/۷ درصد افزایش، در شرایط استاندارد کاربری‌ها به‌ترتیب ۳/۷۲ درصد کاهش و ۷/۷ درصد افزایش و در شرایط استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک کاربری‌ها، میزان فرسایش خاک و سوددهی کل حوضه به‌ترتیب ۵/۴۸ درصد کاهش و ۳۰/۶۵ درصد افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: برنامه‌ریزی خطی؛ بهینه‌سازی؛ فرسایش خاک؛ کاربری اراضی؛ مدیریت اراضی

مقدمه

دو پدیده فرسایش و تولید رسوب، مشکلات زیادی را برای جامعه بشری در قرن اخیر پدید آورده است (Hasanzadeh *et al.*, 2013; Paroissien *et al.*, 2015) به‌طوری که امروزه فرسایش و رسوب خاک یکی از جدی‌ترین مشکلات کشورهای در حال توسعه و بسیاری از کشورهای توسعه یافته می‌باشند (جعفرزاده خطیبانی، ۱۳۹۵؛ Ekwue *et al.*, 2011). استفاده غیراصولی و نادرست از منابع خاک، باعث تخریب آبخیزها شده که در نهایت منجر به فرسایش خاک می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۸٦). برای کاهش اثرات محیطی و اقتصادی ناشی از مدیریت غیراصولی استفاده از اراضی، تدابیری در سطح حوزه‌های آبخیز نیاز می‌باشد (برومند، ۱۳۷٤؛ کریستوفر، ۱۳۸۰). بدین جهت، توسعه پایدار در

عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی، با حفظ منابع، استفاده صحیح و پایدار و کاهش هدررفت و خسارت به آن‌ها به وقوع می‌پیوندد (نیک‌کامی، ۱۳۸۱). گرچه متوقف کردن کامل فرسایش و تولید رسوب تا حد شرایط طبیعی امکان‌پذیر نیست، ولی مهار فرسایش و کاهش رسوب در حوزه‌های آبخیز و طرح‌های بهره‌برداری از آب و خاک یک نیاز اساسی می‌باشد (خیام و همکاران، ۱۳۹۲). از راه‌های مناسب برای کاهش رسوب و حفاظت از خاک، بهینه‌سازی مدیریت اراضی و عملیات بیولوژیک در حوزه‌های آبخیز می‌باشد (صادقی و همکاران، ۱۳۸٤). با بهینه‌سازی کاربری اراضی و عملیات بیولوژیک می‌توان سطوح کاربری‌ها را به شکلی تغییر داد که بیش‌ترین سود و کم‌ترین فرسایش، رسوب و رواناب تولید شود. معدنچی و بنی‌اسدی (۱۳۸٤) اثرات تغییرات کاربری اراضی را بر روی رسوب‌دهی حوزه آبخیز رابر مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که با کم شدن مساحت کاربری مراتع با پوشش نیمه‌متراکم میزان رسوب زیاد می‌شود. نیک‌کامی (۱۳۸۱) برای کاهش تأثیرات محیطی و اقتصادی فرسایش خاک که ناشی از مدیریت غیراصولی فعالیت‌های کاربری اراضی می‌باشد، از مدل بهینه‌سازی در یکی از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز دماوند استفاده کرد که نتایج پژوهش نشان‌دهنده افزایش سود سالیانه و کاهش ۵ درصد تولید در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شعبانی (۱۳۸۹) به بررسی تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی در میزان فرسایش خاک و سوددهی در حوزه آبخیز زاخرد فارس پرداخت و به این نتیجه دست یافت که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، سطح اراضی باغی ۲۱۲/۸۷ درصد افزایش، سطح اراضی مرتعی ۳۰۳/۲٦ درصد افزایش، اراضی کشت آبی ۵۷/۵۵ درصد کاهش و سطح اراضی دیم ٦۵/۰۲ درصد کاهش می‌یابد. محسنی ساوری و همکاران (۱۳۸۲) با استفاده از روش برنامه‌ریزی هدف، از بین کاربری‌های جنگل، چراگاه، پارک و منطقه حفاظت شده و با توجه به میزان درآمد ناخالص، تولید و میزان اشتغال در واحد سطح کاربری‌ها، علاوه بر اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، نسبت به اولویت‌بندی هدف‌ها، الگوی بهینه بهره‌برداری منابع حوزه آبخیز را تعیین کردند. نتایج نشان داد که الگوی پیشنهادی براساس اهداف اقتصادی نسبت به سایر اهداف، دارای برتری نسبی بوده و تأمین‌کننده سایر اهداف نیز می‌باشد. در بررسی‌های مختلف تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش مورد بررسی قرار گرفته است (وفاخواه و همکاران، ۱۳۹٤؛ پیشداد سلیمان‌آباد و همکاران، ۱۳۸۷).

هنربخش و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از ترکیب روش‌های برنامه‌ریزی خطی فازی و تخصیص چند هدفه اراضی در حوزه آبخیز چلگرد کاربری اراضی را بهینه‌سازی کردند و به این نتیجه دست یافتند که در شرایط بهینه سطح اختصاص یافته به اراضی کشت دیم ۵۹ درصد کاهش و سطح اراضی مرتعی، کشت آبی، باغ و بیشه‌ها به ترتیب ۱، ۹، ۹٤ و ۲۲۹ درصد افزایش می‌یابد. Erskine و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی رسوب‌گذاری در سدهای احداث شده حوضه‌های ماسه سنگی سیدنی استرالیا به این نتیجه دست یافتند که کاربری اراضی، عامل مهم در رسوب‌دهی و میزان فرسایش خاک می‌باشد. بهینه‌سازی کاربری اراضی در دو منطقه در کشور انگلستان (Rounsvell *et al.*, 2003)، در یکی از حوزه‌های آبخیز کوهستانی در شمال تایلند (Riedel, 2003)، در کشور آلمان (Kralisch *et al.*, 2003)، در حوزه آبخیز Lake Erhai در کشور چین (Wang *et al.*, 2004)، در آفریقای جنوبی (Liu and Stewart, 2004) و در کشور استرالیا (Xevi and Khan, 2005) و در حوضه Orazan در ایران (Vafakhah and Mohseni Saravi, 2011) انجام شد. Gyssels و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی تأثیر شخم حفاظتی و روش‌های صحیح بهره‌برداری از اراضی در بلژیک بر روی میزان فرسایش به این نتیجه رسیدند که شخم حفاظتی و دیگر روش‌های حفاظتی می‌توانند میزان فرسایش خاک را حدود ۲۵ درصد به‌طور متوسط و حدود ٤۰ درصد تحت شرایط بهینه کاهش دهد.

با توجه به موارد ذکر شده، تا کنون عملیات بیولوژیک و کاربری اراضی همزمان ملاحظه نشده است و همچنین با توجه به اهمیت کاربری و عملیات بیولوژیک در کنترل فرسایش و رسوب، هدف از این تحقیق، تعیین کاربری بهینه اراضی و عملیات بیولوژیک به‌منظور کمینه‌سازی فرسایش خاک در حوزه آبخیز سقزچی واقع در استان اردبیل می‌باشد. بدین منظور به‌دلیل قابلیت دسترسی به آمار و اطلاعات و وجود مشکلات اقتصادی-اجتماعی ناشی از فرسایش و رسوب در منطقه، حوزه آبخیز سقزچی برای مطالعه و بررسی انتخاب شد.

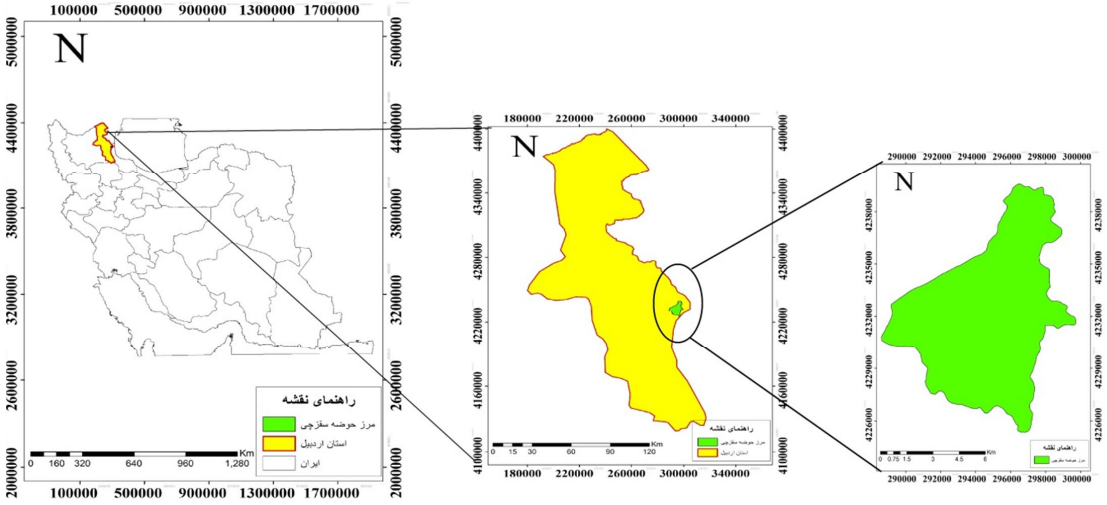
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سقزچی با مساحت ۷۵۹۳/۳۹ هکتار در شهرستان نمین و در شرق شهرستان اردبیل واقع شده است. حوضه مورد مطالعه دارای مختصات ″۷/۲ ′۵۴ °۴۷ تا ″۴۴/۱ ′۴۲ °۴۸ طول شرقی و ″۱۱/۷ ′۹ °۳۸ تا ۵۳ ۱۶ ۳۸ عرض شمالی می‌باشد. مرتفع‌ترین مکان در محدوده مورد مطالعه با ارتفاع ۲۳۸۰ متر از سطح دریا، در جنوب و پایین‌ترین نقطه آن نیز به ارتفاع ۱۴۰۰ متر در خروجی حوزه آبخیز سقزچی واقع شده است. شیب متوسط وزنی حوضه ۲۶/۹۶ درصد و طول آبراهه اصلی ۱۴/۱۲ می‌باشد. متوسط ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۴۵ متر و میانگین بارندگی سالانه آن حدود ۳۵۰ میلی‌متر است. این حوزه آبخیز به ۲ زیرحوضه اصلی، ۲ زیرحوضه فرعی و مستقل و ۵ زیرحوضه فرعی غیرمستقل (int) تقسیم‌بندی شده است. نقاط جمعیتی این حوزه آبخیز روستاهای رز، حور، تفیه و سقزچی می‌باشند.

روش تحقیق

کاربری اراضی موجود در حوزه آبخیز با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر Google Earth تهیه شد. سپس با مراجعه به منطقه و کنترل صحرایی، اطلاعات استخراج شده با شرایط و واقعیات موجود در حوضه تطبیق داده شد و اصلاحات لازم صورت گرفت. سپس نقشه کاربری با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه و به محیط Arc view انتقال داده شد. در این مرحله همزمان با تهیه نقشه کاربری اراضی موجود در منطقه، با رقومی کردن خطوط منحنی میزان ۱۰۰ متری در مناطق کوهستانی و ۲۰ متری در مناطق دشتی در نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، اقدام به تهیه نقشه طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب شد.



شکل ۱. نقشه موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه

یکی دیگر از نقشه‌های مورد نیاز در این پژوهش، نقشه عمق خاک می‌باشد. این نقشه نیز با استفاده از نقشه اجزای واحد اراضی و هفت پروفیل شاهد حفر شده در منطقه، در هر واحد اراضی تهیه و به محیط Arc view انتقال داده شد. در نهایت پس از تهیه تمامی نقشه‌های مورد نیاز، نقشه شیب، عمق خاک و کاربری اراضی موجود با هم تلفیق و نقشه توزیع کاربری در شیب‌ها و عمق‌های مختلف خاک در منطقه تهیه شد. سپس با توجه به نقشه‌های تهیه شده، تغییرات میزان فرسایش (براساس مدل MPSIAC) و درآمد خالص در سه وضعیت کنونی کاربری‌ها، استاندارد کاربری‌ها و استاندارد کاربری‌ها با اعمال عملیات بیولوژیک مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

در وضعیت کنونی کاربری‌ها با در اختیار داشتن نقشه کاربری اراضی فعلی، میزان فرسایش و درآمد خالص در هر کاربری و با توجه به مقادیر فرسایش و درآمد خالص هر کاربری با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی، توابع هدف تعریف و ترکیب بهینه کاربری اراضی تعیین می‌شود. به‌طوریکه با توجه به وضعیت کنونی، ترکیب بهینه کاربری اراضی طوری مشخص می‌شود که میزان درآمد حداکثر و میزان فرسایش در کل حوضه حداقل شود.

در وضعیت استاندارد کاربری‌ها با توجه به محدودیت‌ها و منابع موجود در منطقه، مطالعات تناسب اراضی صورت گرفته و اولویت‌های استفاده از اراضی در شرایط آتی مشخص و سپس براساس استانداردهای نشریه ۲۱۲ (منصوری، ۱۳۷۰) در مورد انجام هرگونه فعالیت کشت و کار در منطقه براساس شیب زمین و همچنین شرایط عمق خاک و دیگر مسائل مطابق با اصول و معیار علمی، نقشه کاربری اراضی در حالت استاندارد تهیه و با توجه به نقشه پراکنش کاربری‌ها در حالت استاندارد، میزان درآمد خالص و فرسایش در حالت جدید و در توابع هدف مشخص می‌شود.

در وضعیت استاندارد کاربری‌ها با اعمال عملیات بیولوژیک، علاوه بر وضعیت استاندارد کاربری‌ها که در حالت قبل مشخص شد، پروژه‌های اصلاحی و احیایی بیولوژیک شامل بذرکاری، بذرپاشی و کپه‌کاری نیز اعمال می‌شود. با توجه به نقشه پراکنش کاربری‌ها در این حالت، میزان فرسایش و درآمد خالص تعیین و در توابع هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به‌منظور بیشینه‌سازی سود در حوضه که یکی از هدف‌های سه وضعیت مورد بررسی است، از رابطه زیر استفاده شد (Mays and Tung, 1992):

$$\mathrm{Max}(Z_1) = \sum_{i=1}^{n} \left[(A_{i1} - (A_{i2} + A_{i3}))X_i \right] \qquad (۱)$$

که رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود (Mays and Tung, 1992):

$$\mathrm{Max}(Z_1) = \sum_{i=1}^{n} C_{Bi} X_i \qquad (۲)$$

که در این رابطه Z_1 در آمد خالص سالانه کل حوزه آبخیز (Rial/y)، X_i مساحت مربوط به هر کاربری اراضی (ha)، A_{i1} درآمد ناخالص سالانه واحد سطح مربوط به هر کاربری اراضی (Rial/ha)، A_{i2} هزینه تولید واحد سطح هر کاربری اراضی (Rial/ha)، C_{Bi} سوددهی مربوط به هر کاربری اراضی (Rial/ha.y) و A_{i3} هزینه مربوط به هدر رفت خاک در واحد سطح هر نوع کاربری اراضی (Rial/ha) می‌باشد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Mays and Tung, 1992):

$$AL = \frac{E}{W_s D_r} \qquad (۳)$$

که در این رابطه E میزان فرسایش برحسب تن در هکتار، Ws وزن مخصوص خاک بر حسب تن در مترمکعب، Dr سطح اراضی از دست رفته بر حسب مترمربع در هکتار می‌باشد. در نهایت میزان خسارت ناشی از فرسایش خاک هر کاربری از حاصل ضرب عدد محاسبه شده از رابطه ۳ در سود خالص مربوط به آن کاربری برآورد شد.

برای کمینه‌سازی فرسایش در حوزه آبخیز مورد مطالعه از رابطه زیر استفاده شد (Mays and Tung, 1992):.

$$\text{Min}(Z_2) = \sum_{i=1}^{n} E_{Ei} X_i \qquad (٤)$$

که محدود به رابطه زیر می‌باشد (Mays and Tung, 1992):

$$\sum_{i=1}^{n} X_i = B \qquad X_i \geq 0 \qquad (٥)$$

که در این رابطه Z_2 فرسایش سالانه کل حوزه آبخیز (ton/y)، X_i مساحت مربوط به هر کاربری اراضی (ha)، E_{Ei} فرسایش تولیدی مربوط به هر کاربری اراضی (ton/ha.y) و B مساحت کل منطقه (ha) می‌باشد.

در حوضه مورد مطالعه برای بهینه‌سازی سود و کمینه‌سازی فرسایش کاربری‌های باغ، مرتع، کشت آبی و کشت دیم از دو رابطه زیر استفاده شد (Mays and Tung, 1992):

$$\text{Max}(Z_1)=C_{B1}X_1+C_{B2}X_2+C_{B3}X_3+C_{B4}X_4 \qquad (٦)$$

$$\text{Min}(Z_2)=C_{E1}X_1+C_{E2}X_2+C_{E3}X_3+C_{E4}X_4 \qquad (٧)$$

که در آن‌ها باید شرایط زیر اعمال شود (Mays and Tung, 1992):

$$X_1 \leq B_1 \qquad (٨)$$

$$X_3 \leq B_2 \qquad (٩)$$

$$X_4 \leq B_3 \qquad (١٠)$$

$$X_1 + X_3 \leq B_4 \qquad (١١)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = B_5 \qquad (١٢)$$

$$X_1 \geq B_6 \qquad (١٣)$$

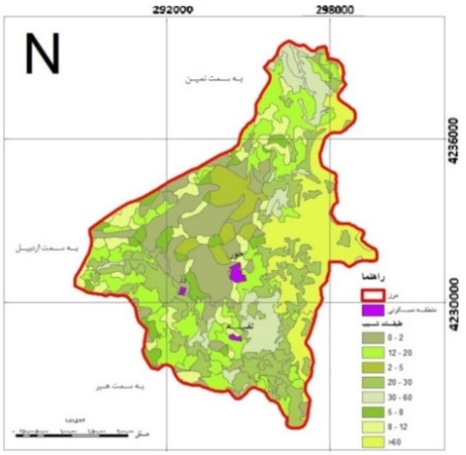
$$X_2 \geq B_1 \qquad (١٤)$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0 \qquad (١٥)$$

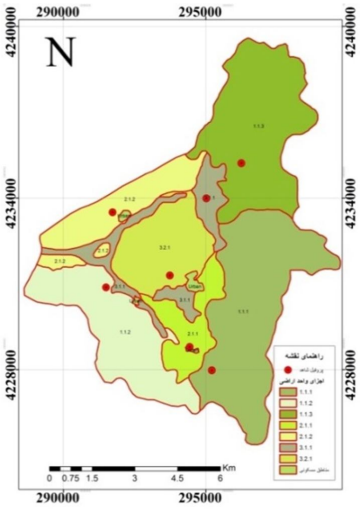
که در آن‌ها X_1 مساحت مربوط به باغ‌ها (ha)، X_2 مساحت مربوط به اراضی مرتعی (ha)، X_3 مساحت مربوط به کشاورزی آبی (ha)، X_4 مساحت مربوط به کشاورزی دیم (ha)، C_{B1} سود خالص سالانه در واحد سطح اراضی باغی (Rial/y)، C_{B2} سود خالص سالانه در واحد سطح اراضی مرتعی (Rial/y)، C_{B3} سود خالص سالانه در واحد سطح اراضی کشت آبی (Rial/y)، C_{B4} سود خالص سالانه در واحد سطح اراضی کشت دیم (Rial/y)، C_{E1} فرسایش تولیدی مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح باغ‌ها (ton/ha.y)، C_{E2} فرسایش تولیدی مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح اراضی مرتعی (ton/ha.y)، C_{E3} فرسایش تولیدی مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح کشت آبی (ton/ha.y)، C_{E4} فرسایش تولیدی مربوط به کاربری اراضی در واحد سطح کشت دیم (ton/ha.y)، B_1 بیش‌ترین سطح مربوط به باغ‌ها (ha)، B_2 سطح اراضی کشاورزی آبی (ha)، B_3 سطح اراضی کشاورزی دیم (ha)، B_4 سطح اراضی مربوط به باغ‌ها به‌علاوه اراضی کشاورزی آبی (ha)، B_5 مساحت کل منطقه (ha)، B_6 کم‌ترین سطح اراضی باغ‌ها (ha) و B_7 کم‌ترین سطح اراضی مرتعی (ha) می‌باشد.

نتایج و بحث

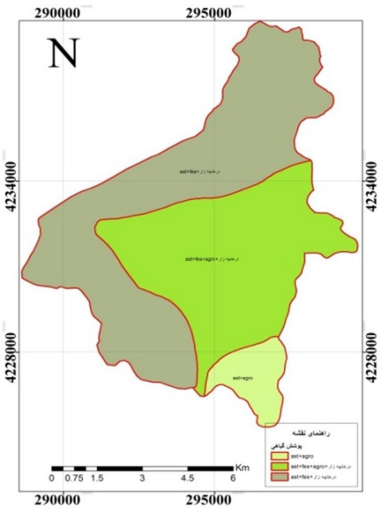
شکل‌های ۲، ۳، ٤ و ٥ شامل نقشه‌های شیب، اجزای واحد اراضی، پوشش و کاربری فعلی اراضی می‌باشند. این نقشه‌ها برای بهینه‌سازی کاربری اراضی و عملیات بیولوژیک استفاده می‌شوند. جدول ۱ مساحت کاربری‌های موجود در وضعیت فعلی منطقه را نشان می‌دهد که کاربری مرتع با ۳٦/٦۱ درصد بیش‌ترین و کاربری مسکونی با ۰/٦۹ درصد کم‌ترین سطح را در منطقه به خود اختصاص می‌دهد. کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه در وضعیت استاندارد با توجه به استانداردهای ماهلر (منصوری، ۱۳۷۰) در جدول ۲ و شکل ٦ آورده شده است که با توجه به جدول ۲ کاربری مرتع با ۳٥/۳۷ درصد بیش‌ترین سطح و کاربری کشت دیم با ۰/٥٤ درصد کم‌ترین سطح منطقه را به خود اختصاص داده است.



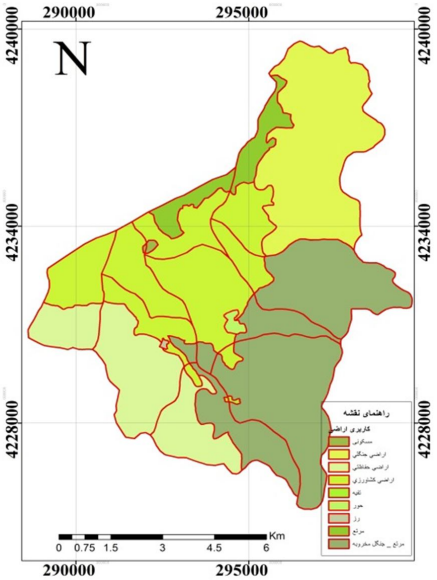
شکل ۲. نقشه شیب حوزه آبخیز مورد مطالعه



شکل ۳. نقشه اجزای واحدهای اراضی حوزه آبخیز مورد مطالعه



شکل ٤. نقشه پوشش گیاهی حوزه آبخیز مورد مطالعه



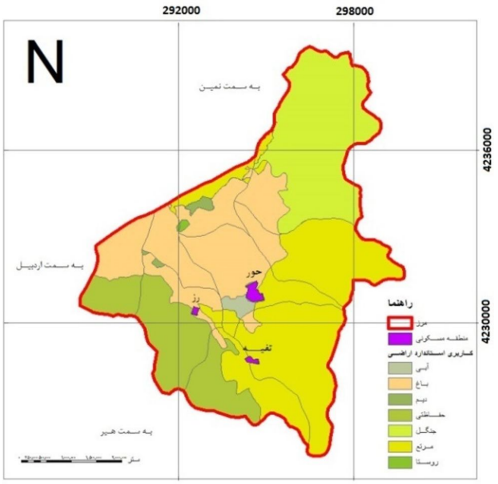
شکل ۵. نقشه پراکنش کاربری اراضی حوزه آبخیز مورد مطالعه در وضعیت فعلی

جدول ۱. مساحت کاربری‌های موجود حوزه آبخیز مورد مطالعه

نوع کاربری	مساحت (ha)	مساحت (٪)
باغ	۱۳۲/۲۹	۱/۷۴
کشت دیم	۱۵۴۹	۲۰/۳۹
کشت آبی	۳۱۹/۹۴	۴/۲۱
حفاظتی	۱۲۳۵/۹	۱۶/۲۸
جنگل	۱۵۲۳/۸۲	۲۰/۰۷
مرتع	۲۷۸۰/۲۷	۳۶/۶۱
مناطق مسکونی	۵۲/۱۷	۰/۶۹
کل	۷۵۹۳/۳۹	۱۰۰

جدول ۲. مساحت کاربری‌های موجود حوزه آبخیز مورد مطالعه در وضعیت استاندارد

نوع کاربری	مساحت (ha)	مساحت (٪)
باغ	۱۹۰۲/۸۳	۲۵/۰۶
کشت دیم	۴۰/۸	۰/۵۴
کشت آبی	۵۷/۶	۰/۷۶
حفاظتی	۱۲۳۵/۹۲	۱۶/۲۸
جنگل	۱۶۱۸/۳۳	۲۱/۳۱
مرتع	۲۶۸۶/۱۷	۳۵/۳۷
مناطق مسکونی	۵۲/۱۷	۰/۶۹
کل	۷۵۹۳/۳۹	۱۰۰



شکل ٦. نقشه پراکنش کاربری اراضی حوزه آبخیز مورد مطالعه در وضعیت استاندارد

با توجه به ارزیابی‌های به‌عمل آمده، محدودیتی از نظر میزان آب وجود ندارد اما محدودیت دسترسی به آب در برخی موارد وجود داشته که این محدودیت نیز با در نظر گرفتن پراکنش منابع تأمین آب از جمله چشمه‌ها، زه‌آب‌ها و رودخانه‌ها در ارزیابی‌ها به‌کار گرفته شده است.

نتایج و اطلاعات مربوط به میزان فرسایش در هر کاربری با استفاده از مدل تجربی MPSIAC برای سه

وضعیت کنونی کاربری‌ها، استاندارد کاربری‌ها و استاندارد کاربری‌ها با اعمال عملیات بیولوژیک استخراج شد که تمامی اطلاعات به تفکیک در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در وضعیت کنونی، بیش‌ترین میزان فرسایش در کاربری مرتع رخ داده که دلیل آن رعایت نکردن اصول صحیح زراعت و قرار گرفتن این اراضی بر روی شیب‌های زیاد می‌باشد.

جدول ٤ جزئیات محاسبات سود و هزینه‌های هر یک از کاربری‌های کشاورزی (کشت آبی، کشت دیم، باغ و مرتع) را به تفکیک برای هر سه وضعیت کاربری کنونی، استاندارد و استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ٤ نشان داده شده است، بیش‌ترین هزینه در حالت کنونی و استاندارد مربوط به کشت آبی و در وضعیت استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک در کاربری مرتع بوده است.

بهینه‌سازی کاربری اراضی برای هر یک از سه وضعیت کنونی، استاندارد و استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک در کاربری‌ها به تفکیک در جدول ۵ آورده شده است. نتایج حاصل از حل معادلات بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار LINGO 15 نشان داد که برای هر سه وضعیت مورد مطالعه یعنی وضعیت کنونی، استاندارد و استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک، سطح بهینه کاربری‌های اراضی می‌تواند میزان فرسایش کل حوضه را حداقل و درآمد ساکنین حوضه را حداکثر کند. در شکل ۷ سطح اختصاص یافته به هر کاربری در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی نشان داده شده است.

جدول ۳. میزان فرسایش در کاربری‌های مختلف در سه وضعیت کنونی، استاندارد و استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک

وضعیت	کاربری اراضی	مساحت (ha)	مساحت (٪)	میزان رسوب (ton/ha.y)	SDR (٪)	فرسایش هر کاربری (ton/ha.y)	فرسایش سالانه (ton/y)
کاربری کنونی	کشت دیم	۱۵۴۹	۲۰/۳۹	۱/۱۹	۴۱/۷۵	۲/۸۵	۴۴۲۲/۵۲
	کشت آبی	۳۱۹/۹۴	۴/۲۱	۱/۱۹	۵۲/۶۵	۲/۲۶	۷۲۵/۴۷
	باغ	۱۳۲/۲۹	۱/۷۴	۱/۱۹	۴۲/۸۰	۲/۷۹	۳۶۹/۰۲
	حفاظتی	۱۲۳۵/۹	۱۶/۲۸	۱/۸۶	۴۳/۷	۴/۲۵	۵۲۶۰/۳۵
	مرتع	۲۷۸۰/۲۷	۳۶/۶۱	۱/۲۵	۵۳/۸۷	۲/۳۲	۶۴۷۱/۷۶
	جنگل	۱۵۲۳/۸۲	۲۰/۰۷	۱/۵۹	۴۱/۷	۳/۸۱	۵۸۱۰/۲۴
استاندارد	کشت دیم	۴۰/۸	۰/۵۴	۱/۱۲	۵۰/۲۲	۲/۲۳	۹۱/۱۹
	کشت آبی	۵۷/۶	۰/۷۶	۰/۹۶	۴۸	۲	۱۱۵//۳۳
	باغ	۱۹۰۲/۸۳	۲۵/۰۶	۱/۱۴	۴۰/۸	۲/۷۹	۵۳۲۶/۳۴
	حفاظتی	۱۲۳۵/۹	۱۶/۲۸	۱/۷۸	۴۳/۷	۴/۰۷	۵۰۳۴/۱۸
	مرتع	۲۶۸۶/۱۷	۳۵/۳۷	۱/۱۶	۵۳/۷	۲/۱۶	۵۸۰۲/۵۲
	جنگل	۱۶۱۸/۳۳	۲۱/۳۱	۱/۴۹	۴۱/۶۹	۳/۵۷	۵۷۸۵/۲۹
استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک	کشت دیم	۴۰/۸	۰/۵۴	۱/۱۱	۵۰/۲۲	۲/۲۱	۹۰/۳۷
	کشت آبی	۵۷/۶	۰/۷۶	۰/۹۳	۴۷/۹۳	۱/۹۴	۱۱۱/۹۲
	باغ	۱۹۰۲/۸۳	۲۵/۰۶	۱/۱۲	۴۰/۸	۲/۷۴	۵۲۳۲/۸۹
	حفاظتی	۱۲۳۵/۹	۱۶/۲۸	۱/۷۸	۴۳/۷	۴/۰۷	۵۰۳۴/۱۸
	مرتع	۲۶۸۶/۱۷	۳۵/۳۷	۱/۱۴	۵۳/۷	۲/۱۲	۵۷۰۲/۴۸
	جنگل	۱۶۱۸/۳۳	۲۱/۳۱	۱/۴۸	۴۱/۶۹	۳/۵۵	۵۷۴۶/۴۶

پس از انجام محاسبات مربوط به فرسایش، سود و هزینه در واحد سطح هر کاربری، به برآورد میزان فرسایش (جدول ٦) و نیز محاسبه‌های اقتصادی (جدول ۷) در حالت بهینه‌سازی برای هر سه وضعیت اقدام شد. با توجه به جدول ٦ مشخص شد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش در وضعیت فعلی ۰/۰۷ درصد، وضعیت استاندارد ۳/۷۲ درصد و در شرایط استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک ۵/٤۸ درصد کاهش می‌یابد. علت کاهش فرسایش، مربوط به کاهش سطح اراضی دیم، کشت آبی و افزایش سطح اراضی باغی می‌باشد. بنابراین وضعیت استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک بهتر از دو وضعیت دیگر توانست میزان فرسایش را کاهش دهد.. نتایج تحقیق Nikkami و shahabi (۲۰۰۹) و جلیلی و همکاران (۱۳۸۵) با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد، به‌طوریکه در تحقیقات صورت گرفته توسط Nikkami و shahabi (۲۰۰۹) براساس بهینه‌سازی کاربری، اگر اراضی باغ به میزان ۲۱۱۵ هکتار (۳۷۷ درصد) افزایش، اراضی کشت آبی به میزان ۲۳۷ هکتار (۷۳ درصد) کاهش و اراضی دیم به میزان ۱۲۹ هکتار (۸۸ درصد) کاهش یابد میزان فرسایش کاهش یافته و سود افزایش می‌یابد و جلیلی و همکاران (۱۳۸۵) براساس نتایج بدست آمده از بهینه‌سازی که کاهش فرسایش و افزایش سود سالانه را نشان داده است، بر کاهش اراضی دیم و افزایش اراضی باغی تأکید کرده‌اند

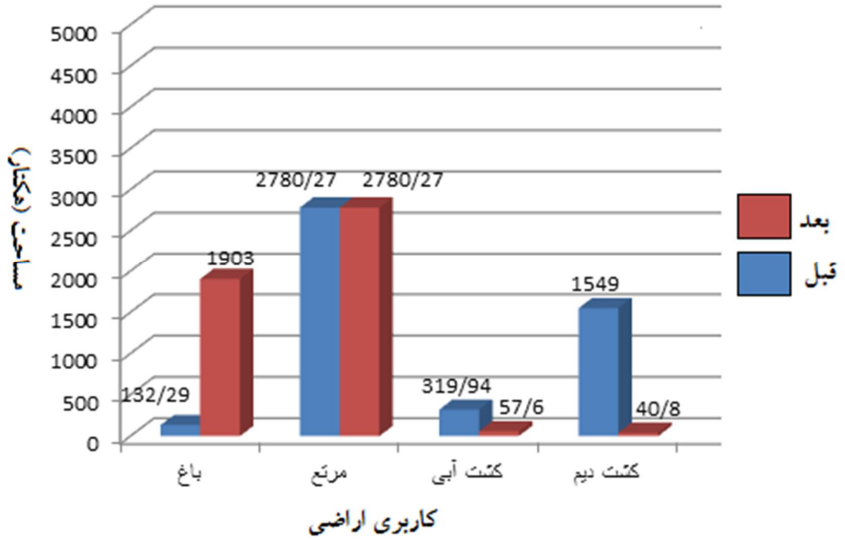
همان‌طور که در جدول ۷ مشخص است، در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان سود خالص در وضعیت فعلی ۷/۷ درصد، در وضعیت استاندارد ۷/۷ درصد و در وضعیت استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک ۳۰/٦۵ درصد افزایش می‌یابد. که وضعیت استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک، افزایش قابل توجهی در میزان سود ایجاد کرده است.

جدول ٤. متوسط وزنی درآمد، هزینه و سود خالص سالانه در هر یک از کاربری‌ها در سه وضعیت کنونی، استاندارد و استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک

وضعیت	کاربری اراضی	در هر هکتار (Rial/ha.y) (هزار ریال)		
		هزینه	درآمد ناخالص	درآمد خالص
کاربری کنونی	کشت دیم	۵۶۶۰	۹۵۲۰	۳۸۶۰
	کشت آبی	۳۳۴۸۰	۶۰۵۷۰	۲۷۰۹۰
	باغ	۵۳۳۰	۸۶۸۳۰	۸۱۵۰۰
	مرتع	------	۱۳۶۲	۱۳۶۲
استاندارد	کشت دیم	۵۶۶۰	۹۵۲۰	۳۸۶۰
	کشت آبی	۳۳۴۸۰	۶۰۵۷۰	۲۷۰۹۰
	باغ	۵۳۳۰	۸۶۸۳۰	۸۱۵۰۰
	مرتع	------	۱۳۶۲	۱۳۶۲
استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک	کشت دیم	۵۶۶۰	۹۵۲۰	۳۸۶۰
	کشت آبی	۳۳۴۸۰	۶۰۵۷۰	۲۷۰۹۰
	باغ	۵۳۳۰	۸۶۸۳۰	۸۱۵۰۰
	مرتع	۶۹۹	۳۶۷۲	۲۹۷۳

جدول ۵. بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز سقزچی

بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت کنونی	
سود	$Max(Z_1)=81498149X_1+1361970/31X_2+27078738X_3+3854607/38X_4$
فرسایش	$Max(-Z_2)=-2/78X_1-2/32X_2-2/26X_3-2/85X_4$
بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت استاندارد	
سود	$Max(Z_1)=81498149/55\ X_1+1362034/56X_2+27080075/57X_3+3855781/62X_4$
فرسایش	$Max(-Z_2)=-2/79\ X_1-2/16X_2-2X_3-2/23X_4$
بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک	
سود	$Max(Z_1)=81498182/55\ X_1+2971246/62X_2+27080355/56X_3+3855819/42X_4$
فرسایش	$Max(-Z_2)= -2/74X_1-2/12X_2-1/94X_3-2/21X_4$



شکل ۷. تغییرات سطح کاربری‌های مختلف در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز مورد مطالعه

جدول ٦. مقایسه مقادیر فرسایش سالانه (ton/y) در قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی در گزینه‌های مختلف

کاربری	وضعیت کنونی		وضعیت استاندارد	وضعیت استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک
	قبل از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی
باغ	۳۶۹/۰۲	۵۲۶۲	۵۳۰۹/۳۷	۵۲۱۴/۲۲
مرتع	۶۴۵۰/۲۲	۶۴۵۰/۲۲	۶۰۰۵/۳۸	۵۸۹۵/۰۸
کشت آبی	۷۲۵/۴۷	۱۳۰/۱۷	۱۱۵/۲	۱۱۱/۷۴
کشت دیم	۴۴۲۲/۵۲	۱۱۶/۲۸	۹۰/۹۸	۹۰/۱۶
کل	۱۱۹۶۷/۲۳	۱۱۹۵۸/۶۷	۱۱۵۲۰/۹۳	۱۱۳۱۱/۲

جدول ۷. مقایسه مقادیر سود خالص سالانه (Rial/y) در قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی

کاربری	وضعیت کنونی		وضعیت استاندارد	وضعیت استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک
	قبل از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی
باغ	۱۰۷۸/۱۶	۱۵۵۰۹/۴۵	۱۵۵۰۹/۴۵	۱۵۵۰۹/۴۵
مرتع	۳۷۸۱/۱۶	۳۷۸۱/۱۶	۳۷۸۱/۱۶	۸۲۵۷/۴۰
کشت آبی	۸۶۶۷/۱۷	۱۵۶۰/۳۶	۱۵۶۰/۳۶	۱۵۶۰/۳۶
کشت دیم	۵۹۷۹/۱۴	۱۵۷/۴۹	۱۵۷/۴۹	۱۵۷/۴۹
کل	۱۹۵۰۵/۶۳	۲۱۰۰۸/۴۶	۲۱۰۰۸/۴۶	۲۵۴۸۴/۷

نتیجه‌گیری

انجام پژوهش حاضر، در راستای بهبود وضعیت میزان فرسایش و میزان سوددهی حوزه آبخیز مورد مطالعه با استفاده از بهینه‌سازی کاربری اراضی بوده که با کمک مدل برنامه‌ریزی خطی برای سه وضعیت کنونی کاربری‌ها، استاندارد کاربری‌ها و کاربری‌های استاندارد با اعمال عملیات بیولوژیک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که در صورت بهینه‌سازی شرایط فعلی کاربری‌ها، میزان فرسایش خاک نسبت به شرایط کنونی، وضعیت استاندارد کاربری‌ها و استاندارد کاربری‌ها با اعمال عملیات بیولوژیک، کاهش می‌یابد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز مورد مطالعه علاوه بر کاهش میزان فرسایش و هدر رفت منابع، میزان سوددهی کاربری‌های مختلف را بهبود می‌بخشد که این امر از لحاظ مدیریت پایدار حوزه آبخیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده مشخص شد که کاربری اراضی موجود در حوزه آبخیز مورد مطالعه در شرایط فعلی برای کاهش میزان فرسایش خاک مناسب نمی‌باشد و بایستی برای بهینه کردن آن‌ها، اقدامات مدیریتی منظور شود. همچنین با توجه به نتایج، دو وضعیت استاندارد و اعمال عملیات بیولوژیک در وضعیت استاندارد به ترتیب ۳/۷۲ درصد و ۵/٤۸ درصد از میزان فرسایش کاسته و ۷/۷ درصد و ۳۰/٦۵ درصد بر میزان سوددهی حوضه افزوده‌اند که مشخص شد با تعیین استاندارد و انجام عملیات بیولوژیک در وضعیت استاندارد کاربری‌ها در یک حوزه آبخیز به میزان قابل توجهی از میزان فرسایش کاسته و بر میزان سوددهی حوضه افزوده می‌شود.

فهرست منابع

احمدی، ح.، کلارستاقی، ع. و مشهدی، ن. ۱۳۸٦. بررسی فرسایش در رخساره‌های ژئومورفولوژی و ارتباط آن با تراکم زهکشی(مطالعه موردی: حوزه آبخیز سرولایت). مجله منابع طبیعی ایران. دوره ٦۰، شماره ٤، صفحه‌های ۱۰۸۵ تا ۱۰۹۷.

برومند، ز. ۱۳۷٤. بهبود و بازسازی سازمان. نشر هور، تهران. ۲٤۸ صفحه.

پیشداد سلیمان‌آباد، ل.، نجفی نژاد، ع.، سلمان ماهینی، ع. و خالدیان، ح. ۱۳۸۷. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش‌خاک در حوزه آبخیز چراغ ویس با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۵ (۱): ۱٤۹-۱٤۲.

جعفرزاده خطیبانی، ک.، معینی، ا. و احمدی، ح. ۱۳۹۵. بررسی ارتباط بین برخی متغیرهای خاکی و زمین‌شناسی با تراکم زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوزه آبخیز در استان اردبیل). نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ٦(۱):۱۰۸-۹۹.

جلیلی، خ.، صادقی، ح. ر. و نیک‌کامی، د. ۱۳۸۵. بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز به منظور کمینه‌سازی فرسایش خاک با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی حوزه آبخیز بریموند، استان کرمانشاه). نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۰ (٤): ۱۵-۲۷.

خیام، م.، غنمی‌جابر، م. و صمدزاده، ر. ۱۳۹۲. مقایسه کارآیی مدل‌های MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوب‌زایی حوضه آبخیز. دو فصلنامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران. ۱(۱):۱۵-۱.

شعبانی، م. ۱۳۸۹. تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی در میزان فرسایش خاک و سوددهی حوزه آبخیز مطالعه موردی: حوزه آبخیز زاخرد فارس. فصلنامه جغرافیای طبیعی. ۳ (۸): ۸۳-۹۸.

صادقی، س.ح.ر.، رئیسیان، ر. و رضوی، ل. ۱۳۸٤. مقایسه تولید رسوب و رواناب در کاربری کشاورزی رها شده و مرتع فقیر. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. تهران. ۹-٦ شهریور.

کریستوفر، ج. ب. ۱۳۸۰. اصول و روش‌های مدیریت زیست‌محیطی (ترجمه: م.اندرودی). نشر کنگره، تهران. ٤۱۰ صفحه.

محسنی ساروی، م.، فرزانگان، م.، کوپایی، م. و خلقی، م. ۱۳۸۲. تعیین الگوی بهینه بهره‌برداری از منابع حوزه‌های آبخیز با استفاده از برنامه‌ریزی هدف. مجله منابع طبیعی ایران، ٥٦ (۱ و ۲): ۳-۱٦.

معدنچی، پ. و بنی‌اسدی، م. ۱۳۸٤. اثرات تغییر کاربری بر رسوبدهی حوزه آبخیز رابر. سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۹-٦ شهریور ۱۳۸٤. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران.

منصوری، م. ح. ۱۳۷۰. راهنمای طبقه‌بندی اراضی چندجانبه (چند منظوره) نشریه فنی شماره ۸۳۲ (۲۱۲). مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۸۷ صفحه.

نیک‌کامی، د. ۱۳۸۱. بهینه‌سازی مدیریت فرسایش خاک در حوزه آبخیز دماوند. پژوهش و سازندگی، ٥٤: ۸۲-۸۹.

وفاخواه، م.، محسنی‌ساروی، م. و احمدی. ح. ۱۳۹٤. بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌منظور کمینه‌سازی فرسایش خاک و بیشینه‌سازی سود در بخشی از حوزه آبخیز طالقان. نشریه مرتع و آبخیزداری (مجله منابع طبیعی ایران). ٦۸ (۱): ۱۸۱-۱۹٥.

هنربخش، ا.، پژوهش، م.، زنگی آبادی، م. و حیدری، م. ۱۳۹٥. بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از ترکیب روش‌های برنامه‌ریزی خطی فازی و تخصیص چند هدفه اراضی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چلگرد). اکو هیدرولوژی. ۳ (۳): ۳٦۳-۳۷۷.

Ekwue, E. I. and Samaroo, K. 2011. A New Laboratory Equipment for Assessing Soil Erosion by Water. The West Indian. Engineering. 3 (1): 43-49.

Erskine, W.D., Mahmodzadeh, A. and Myers, C. 2002. Land uses effects on sediment yields and soil loss rates in small basin of Triassic sandstone near Sydney New Australia. Catena. 49: 271-287.

Gyssels, G., Poesn, J., Knapen, A., Van Dessol, W. and Leonarl, J. 2007. Effects of Double Drilling of Small Grains on Small on Soil Erosion By Concentrated Flow and Crop Yield. Soil and Tillage Research.

Hasanzadeh, A., Ziapour, A. and Javanmiri, M. 2013. Estimating of Sediments using EPM Method in Chelleh Watershed Area of Gilan-Gharb. Science and today's world. 2 (9): 1257-1266.

Kralisch, S., Finka, M., Flügela, W.A. and Becksteinb, C. 2003. A neural network approach for the optimization of watershed management, Environmental Modelling & Software. 18: 815-823.

Liu, D. and Stewart T.J. 2004. Object-oriented decision support system modelling for multicriteria decision making natural resource management, Computers & Operations Research. 31: 985-999.

Mays, L. and Tung, Y. K. 1992. Hydrosystems Engineering and Management. McGraw-Hill Inc. New York. P. 530.

Nikkami, D; Shabani, M. 2009. Land use scenarios and optimization in a watershed. Applied Sciences. 9 (2): 287-295.

Paroissien, J.B., Darboux, F., Couturier, A., Devillers, B., Mouillot, F., Raclot, D. and Bissonnais, Y. 2015. A method for modeling the effects of climate and land use changes on erosion and sustainability of soil in a Mediterranean watershed (Languedoc, France). Environmental Management. 150: 57-68.

Riedel, C. 2003. Optimizing land use planning for mountainous regions using LP and GIS towards sustainability. Soil Conservation. USA. 34: 121-124.

Rounsvell, M. D. A., Annetts, J. E., Audsley, E., Mayr, T. and Reginster, I. 2003. Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale, Agriculture, Ecosystems & Environment. 95: 465-479.

Vafakhah, M. and Mohseni Saravi, M. 2011. Optimizing Management of Soil Erosion in Orazan Sub-basin. Iran. Agricultural Science and Technology. 13: 717-726.

Wang, X.H., Yu, S. and Huang, G.H. 2004. Land allocation based on integrated GISoptimization modeling at a watershed level, Landscape Urban Plan. 66: 61-74.

Xevi, E. and Khan, S. 2005. A multi-objective optimization approach to water management. Environment Management. 77: 269-277.