

اثر اجرای کاربری بهینه اراضی و اعمال شیوه‌های صحیح مدیریتی در حوزه آبخیز ششتمد خراسان رضوی بر کاهش فرسایش خاک و افزایش درآمد

ابوالقاسم دادرسی سبزواری^{۱*} و داود نیک‌کامی^۲

^۱ مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان، خراسان رضوی و ^۲ استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۹

چکیده

از دلایل اصلی فرسایش خاک، عدم استفاده صحیح از اراضی، منطبق بر استعداد آن‌هاست. با توجه به مسائل اجتماعی و اقتصادی حاکم بر حوزه‌های آبخیز کشور، ممکن است، مهار فرسایش خاک و رساندن آن به حد طبیعی غیرممکن باشد. ولی، کاهش آن از طریق اعمال مدیریت یکپارچه امکان‌پذیر است. در صورتی که بهره‌برداری از اراضی موجود در حوزه‌های آبخیز بر اساس استعداد آن‌ها انجام شود، با کاربری مناسب می‌توان انتظار داشت، ضمن کسب درآمد، خسارت کم‌تری به خاک وارد شود. در این تحقیق، حوزه آبخیز ششتمد از شهرستان سبزواری واقع در استان خراسان رضوی با هدف ارائه یک الگوی مناسب کاربری اراضی در آن، به گونه‌ای که بیشترین سود و کمترین فرسایش را داشته باشد، انتخاب و با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفی به روش گام به گام و مناسب توابع هدف، سطح بهینه کاربری برای سه حالت وضعیت فعلی، با اعمال مدیریت، و شرایط استاندارد، مشخص شد. برای این کار، میزان درآمد خالص و فرسایش خاک در کاربری‌های مرتع، باغ، مرتع مشجر، زراعت دیم، و زراعت آبی در هر سه وضعیت محاسبه و سطح بهینه در هر سه حالت به کمک نرم‌افزار بهینه‌سازی تعیین شد. نتایج نشان دادند که در حوضه مورد پژوهش، با حل مسئله بهینه‌سازی، میزان فرسایش کل کاهش و درآمد کاربران افزایش می‌یابد. لکن، بر خلاف نتایج بسیاری از تحقیقات به عمل آمده در سایر نقاط کشور، این کاهش فرسایش و افزایش درآمد به دلیل شرایط حوزه مورد پژوهش، قابل توجه نمی‌باشد. به طوری که، برای سه حالت مورد مطالعه شامل شرایط موجود، با اعمال مدیریت و وضعیت استاندارد، فرسایش سالیانه خاک در کل حوزه آبخیز به ترتیب معادل ۰/۰۸ درصد، ۰/۳۶ درصد و ۰/۷۵ درصد، کاهش و سود خالص نیز به ترتیب ۳/۱۲، ۲۰/۸۸ و ۳۱۳/۷۵ هزار ریال در سال در سطح حوضه افزایش می‌یابد که تغییر ناچیزی را در هر هکتار شامل می‌شود. نتایج همچنین، نشان می‌دهند که کاهش فرسایش بعد از اعمال برخی شیوه‌های صحیح مدیریتی، نسبت به کاهش فرسایش بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی، بیش از ۳/۲۵ برابر بهبود یافته و در صورت اعمال مدیریت، درآمد آبخیز نشینان در مقایسه با حال بهینه‌سازی کاربری اراضی، حدود ۶/۷ برابر افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، حفاظت خاک، شیوه‌های مدیریت، قابلیت‌های حوضه، مدیریت یکپارچه

مقدمه

در بسیاری از مناطق کشور، بی‌توجهی بهره‌برداران به توانایی‌ها و قابلیت‌های موجود در حوزه‌های آبخیز، باعث تخریب بسیار شدید منابع اراضی موجود در آن‌ها شده است. از آنجایی که انسان مهم‌ترین و اصلی‌ترین عامل هم در تخریب و هم در حفظ منابع آب و خاک به شمار می‌آید (Saadat, ۱۹۹۱)، هم‌زیستی اصولی او با طبیعت باعث بازگشت تعادل و توسعه پایدار در منابع زیستی می‌شود. این پایداری یک پدیده بوم‌شناختی است که در ارتباط با تأمین میانگین درآمد همگانی عمل می‌کند و بر حفظ منابع تجدیدپذیر با دوام، تکیه دارد (Fakhr Tabatabaei, ۱۹۹۷). در این زمینه علم مدیریت نیز به عنوان علم مکمل کشاورزی با در نظر گرفتن رابطه بین عوامل مختلف کشاورزی برای دستیابی به بیشترین سود، پا به عرصه مدیریت منابع نهاده است (Shively و Coxhead, ۲۰۰۴). تا با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی^۱، مسائل موجود در عرصه‌های طبیعی را فرمول‌بندی کنند، ضمن آن که بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، با توجه به دیدگاه متضاد نیازها و منابع محدود زمین، یکی از روش‌های مدیریتی مناسب برای رسیدن به پایداری و نیز تخصیص بهینه اراضی به منظور رسیدن به بیشترین سود است (Riedel, ۲۰۰۳).

اگرچه نهایی‌سازی گزینه‌های اقتصادی برتر باید با ملاحظات زیست‌شناختی و با توجه به پایداری بوم سازگان و همچنین، مسائل اجتماعی صورت پذیرد (Pfaff و Sanchez-Azofeifa, ۲۰۰۴)، ولی پایه و اساس توسعه اقتصادی بسیاری از جوامع بر آمایش صحیح سرزمین و محاسبات اقتصادی مربوطه مبتنی است (Pasour, ۱۹۸۳). بهینه‌سازی مدیریت اراضی در حوزه‌های آبخیز یکی از راه‌های مناسب در حفاظت از خاک است. این امر مدیران حوضه را قادر می‌سازد تا از بین ترکیبات مختلف و متنوع کاربری‌ها، گزینه بهینه را طوری انتخاب نمایند که با وضعیت موجود، علاوه بر کاهش آلودگی منابع آب و خاک و کاهش فرسایش و رسوب، درآمد مناسبی را برای ساکنین

حوضه به همراه آورد. تئوری‌های بهینه‌سازی، روش‌هایی را برای گزینش بهینه متغیرهای تصمیم‌گیری ارائه می‌دهند. در همین ارتباط، دستیابی به سود بیشتر با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در ترکیه، از نتایج تحقیق Benli و Kodal (۲۰۰۳) است.

Mohsenisaravi و همکاران (۲۰۰۳) به تعیین الگوی بهینه بهره‌برداری از منابع زیرحوضه گرمادشت استان گلستان با استفاده از برنامه‌ریزی هدف پرداختند و نشان دادند که، الگوی پیشنهادی بر اساس دیدگاه اقتصادی، نسبت به دیدگاه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی برتری نسبی دارد. کارایی مدل‌سازی توزیع مکانی کاربری کشاورزی در اراضی به‌منظور بهینه‌سازی سود در دو منطقه از انگلستان به‌وسیله Rounsvell و همکاران (۲۰۰۳)، تایید شد. Kralisch و همکاران (۲۰۰۳) در آلمان، Riedel (۲۰۰۳) در تایلند و Wang و همکاران (۲۰۰۴) در چین نیز، حالات مختلف استفاده از اراضی را به روش برنامه‌ریزی خطی و ایجاد سامانه تصمیم‌گیری در GIS مطالعه و مدیریت حوضه برای بهینه‌سازی اراضی را، امکان‌پذیر ارزیابی کردند.

افزایش بهره‌وری اراضی کشاورزی و جنگلی در ژاپن به‌واسطه تخصیص مناسب اراضی به کاربری‌های مختلف به‌وسیله Tra و Egashira (۲۰۰۴) مورد تایید قرار گرفت. مدل برنامه‌ریزی خطی چند منظوره برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در افریقای جنوبی به‌وسیله Liu و Stewart (۲۰۰۴) مورد استفاده قرار گرفت و بهبود پایداری خاک، امنیت غذایی و درآمد مردم روستانشین نتیجه‌گیری شد. Xevi و Khan (۲۰۰۵) در استرالیا نیز با استفاده از شبکه عصبی و ایجاد یک سامانه اطلاعات مکانی و به کارگیری برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی استفاده از اراضی را، موفقیت‌آمیز ارزیابی کردند.

Falahshamsi و همکاران (۲۰۰۶) توانایی مدل برنامه‌ریزی خطی در تخصیص زمین به کاربری‌های مختلف در حوزه آبخیز کلیبرچای وسطی را نشان دادند. همچنین، کاربرد مدل بهینه‌سازی به‌وسیله Gabriel و همکاران (۲۰۰۶) در آمریکا، You و Luo (۲۰۰۷) در کانادا، Jalili و همکاران (۲۰۰۷) و

^۱ Optimization

اراضی در حوزه آبخیز آدینه مسجد شازند از استان مرکزی است. به‌وسیله Li و Deng (۲۰۱۴)، مدل بهینه‌سازی به روش استفاده از الگوریتم کلنی زنبور عسل^۱، برای هشت کاربری مختلف در چین استفاده شد. این محققین دریافته‌اند که مدل ارائه شده، توانایی لازم برای جستجوی مکانی استفاده از زمین و کنترل بهینه‌سازی چند هدفه را دارد. مطالعه‌ی بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌وسیله Taghavigorji و همکاران (۲۰۱۴) در استان مازندران نشان داد که با وجود کاهش ۲۴/۴۹ درصدی میزان سیلاب بعد از بهینه‌سازی، سودآوری حوضه نسبت به قبل از بهینه‌سازی، ۵۸/۵۶ درصد کاهش داشته است. تحقیق Chen و همکاران (۲۰۱۵) در چین، بر نقش تاثیرگذار جنبه‌های اجتماعی در بهینه‌سازی، تأیید دارد. در تحقیق Vafakhah و همکاران (۲۰۱۵)، با وجود کاهش ۶/۹۹ درصدی میزان فرسایش سالانه خاک در حوزه آبخیز طالقان، سود خالص سالانه پس از بهینه‌سازی کاربری اراضی، ۴/۶۵ درصد کاهش یافته است.

جمع‌بندی سابقه تحقیق، بر تنوع شرایط و عوامل اثرگذار روی فرسایش و درآمد و تغییرپذیری بهینه‌سازی دلالت دارد و ضرورت مطالعات تفصیلی و منطقه‌ای را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. همان‌گونه که از سابقه تحقیق ملاحظه می‌شود، پژوهشگران زیادی به تلاش و تحقیق در زمینه‌ی بهینه‌سازی پرداخته و با رویکرد بهینه‌سازی با استفاده از روش‌های مختلف، یکی از عناوین پویای تحقیقاتی در چند ساله اخیر را رقم زده‌اند. توجه ویژه‌ای به کاربرد روش‌های مختلف بهینه‌سازی، تکرار اجرای این گونه تحقیقات در شرایط دیگر، به دلیل آن که استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در مدیریت حوزه‌های آبخیز منجر به حفظ منابع و ارائه راه‌حلی بهینه در کاربری‌ها و دستیابی به توسعه پایدار با رعایت تمامی محدودیت‌های فنی، اجتماعی، اقتصادی و قانونی آن‌ها می‌شود را، ضروری می‌نماید. افزون بر آن، بهینه‌سازی و ساختار استفاده از زمین، مشکل اصلی در برنامه‌ریزی استفاده از زمین است (Li و Deng, ۲۰۱۴) که بایستی در شرایط مختلف

Sadeghi و همکاران (۲۰۰۷) در حوزه آبخیز بریموند استان کرمانشاه، Shabani و همکاران (۲۰۰۸) در حوزه آبخیز خوارستان استان فارس، Xu و Tang (۲۰۰۹) در چین، Sadeghi و همکاران (۲۰۰۹) در حوزه آبخیز بریموند استان کرمانشاه، Shabani (۲۰۱۰) در حوزه آبخیز زاخرد استان فارس، Nikkami و همکاران (۲۰۱۲) در حوزه آبخیز جاجرود استان تهران، Nikkami و همکاران (۲۰۱۲) در حوزه آبخیز ابوالعباس استان خوزستان و Shaygan و همکاران در بخشی از حوزه آبخیز طالقان (۲۰۱۲)، نقش بهینه‌سازی در کاهش فرسایش خاک و افزایش درآمد حوضه را تأیید کرده است. مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین الگوی بهینه کشت دیم نیز به‌وسیله Fereshtemaghani و همکاران (۲۰۱۲) در منطقه روئین خراسان شمالی استفاده شده و نتیجه‌گیری شده است که با وجود بهبود هشت برابری درآمد زارعین، اجرای الگوی بهینه کشت، نیاز به ترویج و آگاه‌سازی مردم منطقه دارد. تحقیق Arkhi و همکاران (۲۰۱۳) در استان ایلام نشان داد که چنانچه کاربری مناسب انتخاب شود، میزان تولید رسوب در حوزه آبخیز کاهش قابل توجه‌ای می‌یابد.

مدل برنامه‌ریزی خطی به‌وسیله Davoodirad و همکاران (۲۰۱۳) در حوزه آبخیز آدینه مسجد شازند استان مرکزی، Jafari و همکاران (۲۰۱۳) در حوزه آبخیز سد سدنا استان بوشهر و Owzi و همکاران (۲۰۱۳) در حوزه آبخیز جاجرود استان تهران، برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در راستای افزایش سود و کاهش فرسایش مطالعه و در تمامی موارد نتیجه‌گیری شده است که بهینه‌سازی موجب کاهش فرسایش و افزایش سوددهی در حوزه آبخیز می‌شود. طراحی مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی، مبتنی بر الگوریتم هوشمند مرکب از الگوریتم ژنتیک چند هدفه در محیط GIS، موضوع پژوهش Motakan و همکاران (۲۰۱۳) است. نتایج تحقیق این پژوهشگران با وجود بهبود ۳۳ درصدی منفعت اقتصادی بعد از بهینه‌سازی، تغییر چندانی را در بهبود وضعیت فرسایش نشان نداد. تحلیل حساسیت توابع هدف در مدل برنامه‌ریزی خطی به‌وسیله Agharazi و همکاران (۲۰۱۴)، حاکی از موفقیت کاربرد این مدل، برای بهینه‌سازی کاربری

¹ Bee Colony Algorithm

همچنین، به سبب دسترسی و وجود پیشینه مطالعاتی مناسب، به عنوان نمونه موردی در استان خراسان رضوی انتخاب شد.

بهبودسازی کاربری اراضی: در این پژوهش، به منظور تعیین الگوی بهینه استفاده از اراضی برای کاهش میزان فرسایش خاک و افزایش درآمد خالص ساکنان منطقه تحقیق، از روش برنامه‌ریزی خطی چند هدفی^۱ به روش گام به گام و متناسب با توابع هدف^۲ و نیز نرم‌افزار بهینه‌سازی ADBASE استفاده شد. سه وضعیت شامل وضعیت کنونی کاربری‌ها در حوضه، وضعیت کاربری با اعمال مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد در کاربری‌ها، گزینه‌های مورد نظر در تحقیق هستند.

گزارش‌های هواشناسی، هیدرولوژی و سیل، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، منابع آب، خاکشناسی، فرسایش‌پذیری و پوشش گیاهی، از مطالعات طراحی تفصیلی آبخیزداری حوزه آبخیز ششتمد، تهیه شده به وسیله اداره مطالعات و خدمات فنی سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی (۲۰۰۰)، و نقشه‌های همباران، حساسیت سنگ مادر به فرسایش، زمین‌شناسی، قابلیت اراضی، شیب، شدت فرسایش و پوشش گیاهی نیز از مطالعات جامع توسعه کشاورزی موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی (۲۰۰۴)، استفاده شد. نقشه خطوط هم‌ارتفاع حوضه نیز با استفاده از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و نقشه آبراه‌ها با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شدند. در این بررسی اطلاعات مربوط به وضعیت کشاورزی، دام و مرتع، با انجام عملیات میدانی و اتکا به اطلاعات کسب شده، به دست آمدند.

نقشه فعلی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده ETM^۳ ماهواره لندست ۷ مربوط به سال ۲۰۰۷ و به روش چشمی^۴، با استفاده از نرم‌افزار ILWIS3.3، تهیه و با انجام چند روز عملیات میدانی

مورد توجه قرار گیرد. بنابراین، پژوهش پیش‌رو، با هدف بررسی الگوی استفاده از اراضی در شرق کشور، به‌طور موردی در حوزه آبخیز ششتمد از استان خراسان رضوی، با روش مدل بهینه‌سازی و به منظور کاهش اثرات محیطی و اقتصادی فرسایش خاک که ناشی از مدیریت نامناسب کاربری اراضی باشد، به همراه اعمال برخی شیوه‌های مدیریت صحیح شامل جای‌گزینی شخم عمود بر جهت شیب به جای شخم سنتی، استفاده از تناوب زراعی، قرق مراتع و اصلاح روش آبیاری، طراحی و انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز ششتمد، بخش کوچکی از حوزه آبخیز بزرگ کویر مرکزی است، که یکی از حوضه‌های بزرگ استان خراسان رضوی به شمار می‌آید. این منطقه بین دو طول جغرافیایی ۵۷° ۴۰' ۵۲" تا ۵۷° ۴۵' ۰۲" شرقی و دو عرض جغرافیایی ۳۵° ۵۱' ۱۸" تا ۳۵° ۵۵' ۵۷" شمالی قرار دارد. حوضه در جنوب شهرستان سبزوار واقع شده که دسترسی به آن از طریق جاده سبزوار به ششتمد و پس از عبور از شهر ششتمد و طی مسافتی حدود چهار کیلومتر، میسر می‌باشد. شکل ۳، موقعیت حوضه منتخب را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد. با استناد به مطالعات به‌عمل آمده به‌وسیله اداره مطالعات و خدمات فنی سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی در سال ۲۰۰۰، منطقه تحقیق با ۱۷/۷۵ کیلومتر مربع مساحت و ۲۵ کیلومتر محیط، که به‌طور متوسط ۱۹۳۷ متر از سطح دریا ارتفاع دارد، دارای متوسط درجه حرارت سالانه ۹/۴ درجه سانتی‌گراد، متوسط درازمدت بارندگی ۳۲۳/۷ میلی‌متر در سال، شیب خالص ۲۲/۰۸ درصد، و حجم رواناب ۱۵۳۸۲۲۲ متر مکعب با ضریب رواناب ۲۷ درصد می‌باشد که به روش دومارتن از اقلیم نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب برخوردار است. بخش اعظم منطقه تحقیق، مرتع خیلی ضعیف است، لکن یک ناحیه در شمال حوضه و دو ناحیه در میانه آن، مرتع مناسب و بدون محدودیت، به شمار می‌آیند. منطقه تحقیق، به دلیل وجود چند کاربری متنوع در سطح حوزه آبخیز و وسعت زیاد رخنمون‌های سنگی و

¹ Multi-Objective Linear Programming

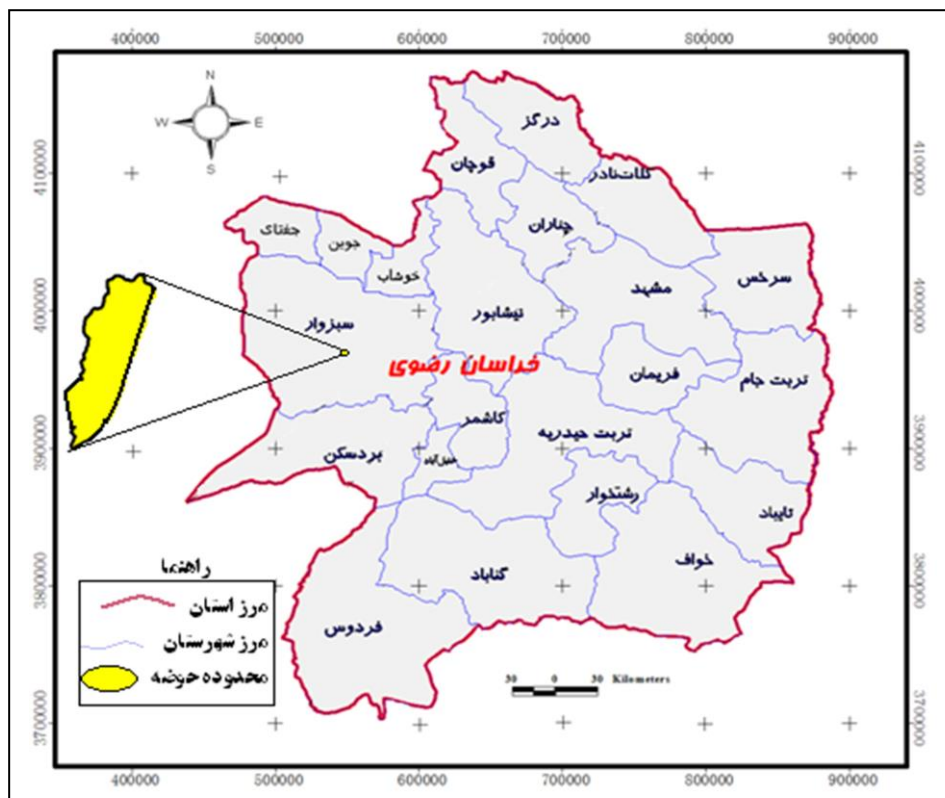
² Simplex Method

³ Enhanced Thematic Mapper

⁴ Visual Interpretation

استاندارد نیز، با توجه به استانداردهای توصیه شده به- وسیله Mahler (۱۹۷۹) و Berangl (۲۰۰۰)، از مطالعات خاکشناسی و قابلیت اراضی سد ششتمد اداره مطالعات و خدمات فنی سازمان جهادکشاورزی خراسان رضوی (۲۰۰۰)، استخراج شد.

اصلاح شد. برای وضعیت کاربری با اعمال مدیریت اراضی، کاربری‌های فعلی حوضه، به همراه اعمال برخی شیوه‌های مدیریت صحیح شامل جای‌گزینی شخم عمود بر جهت شیب به جای شخم سنتی، استفاده از تناوب زراعی، قرق مراتع و اصلاح روش آبیاری در نظر گرفته شد و بالاخره نقشه کاربری اراضی در حالت



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی در استان خراسان رضوی

$$A_L = \frac{E}{W_s \times D_r} \quad (1)$$

که در آن، E میزان فرسایش خاک (تن در هکتار)، W_s جرم مخصوص ظاهری خاک (تن در مترمکعب)، D_r عمق ریشه (متر) و A_L سطح اراضی از دست‌رفته (مترمربع در هکتار) می‌باشند.

برای برآورد درآمد خالص، علاوه بر استفاده از آمار و اطلاعات ارائه شده به‌وسیله وزارتخانه‌ها و سالنامه‌های آماری کشور در سال مطالعه، از روش مراجعه به حوضه تحقیق و مصاحبه با بهره‌برداران و کارشناسان مرکز جهاد کشاورزی منطقه محل پروژه استفاده شد. درآمد خالص از تفاضل درآمد ناخالص و هزینه‌ها برای هر کدام از سه وضعیت مورد مطالعه و

برای بررسی میزان فرسایش خاک، از مدل EPM^1 که قبلاً استفاده از آن در مطالعات طراحی تفصیلی آبخیزداری حوزه آبخیز ششتمد، تهیه شده به‌وسیله اداره مطالعات و خدمات فنی سازمان جهادکشاورزی خراسان رضوی در سال ۲۰۰۰ مورد تایید قرار گرفته بود و برای برآورد میزان خسارت ناشی از فرسایش خاک و هدررفت آب، با توجه به مساحت فرسایش یافته خاک در منطقه توسعه ریشه، از رابطه (۱) استخراج شده از Nikkani (۱۹۹۹)، استفاده و پس از محاسبه A_L ، مقدار آن را در ارزش هر هکتار زمین در سال تحقیق ضرب و میزان خسارت ناشی از فرسایش خاک در آن کاربری برآورد شد.

¹ Erosion Potential Model

مشجر (هکتار)، X_4 سطح کاربری دیم (هکتار)، X_5 سطح کاربری کشاورزی آبی (هکتار)، A_1^1 درآمد ناخالص تولید در واحد سطح مرتع (میلیون ریال در هکتار)، A_1^2 هزینه تولید در واحد سطح مرتع (میلیون ریال در هکتار)، A_1^3 ارزش خاک فرسایش یافته از واحد سطح مرتع (میلیون ریال در هکتار)، A_2^1 درآمد ناخالص تولید در واحد سطح باغ میوه (میلیون ریال در هکتار)، A_2^2 هزینه تولید در واحد سطح باغ میوه (میلیون ریال در هکتار)، A_2^3 ارزش خاک فرسایش یافته از واحد سطح باغ میوه (میلیون ریال در هکتار)، A_3^1 درآمد ناخالص تولید در واحد سطح مرتع مشجر (میلیون ریال در هکتار)، A_3^2 هزینه تولید در واحد سطح مرتع مشجر (میلیون ریال در هکتار)، A_3^3 ارزش خاک فرسایش یافته از واحد سطح مرتع مشجر (میلیون ریال در هکتار)، A_4^1 درآمد ناخالص تولید در واحد سطح دیم کاری (میلیون ریال در هکتار)، A_4^2 هزینه تولید در واحد سطح دیم کاری (میلیون ریال در هکتار)، A_4^3 ارزش خاک فرسایش یافته از واحد سطح دیم کاری (میلیون ریال در هکتار)، A_5^1 درآمد ناخالص تولید در واحد سطح کشاورزی (میلیون ریال در هکتار)، A_5^2 هزینه تولید در واحد سطح کشاورزی (میلیون ریال در هکتار)، A_5^3 ارزش خاک فرسایش یافته از واحد سطح کشاورزی (میلیون ریال در هکتار)، C_1 تولید رسوب سالانه در واحد سطح مرتع (تن در هکتار در سال)، C_2 تولید رسوب سالانه در واحد سطح باغ میوه (تن در هکتار در سال)، C_3 تولید رسوب سالانه در واحد سطح مرتع مشجر (تن در هکتار در سال)، C_4 تولید رسوب سالانه در واحد سطح دیم کاری (تن در هکتار در سال) و C_5 تولید رسوب سالانه در واحد سطح کشاورزی (تن در هکتار در سال) می‌باشند.

نتایج و بحث

کاربری اراضی: پنج کاربری در شرایط فعلی حوزه آبخیز ششتم مشاهده شد که سطح هر کدام در جدول ۱ و نقشه مربوطه در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصله، نزدیک به ۹۱ درصد از

برای هر کاربری با توجه به سطح آن کاربری، محاسبه شد.

پس از تهیه اطلاعات پیش گفته، توابع هدف برای مدل برنامه‌ریزی خطی تعریف شد. با فرض خطی بودن توابع، برنامه‌ریزی خطی دو هدفی برای حل مساله بهینه‌سازی انتخاب و فرمول‌بندی مساله در هر یک از وضعیت‌ها، انجام شد. ترکیب بهینه کاربری اراضی طوری مشخص شد که میزان درآمد بیشینه و میزان فرسایش کل حوضه، کمینه شود. روابط (۲) و (۳) به ترتیب شکل کلی مساله برای توابع بهینه‌ساز و کمینه‌ساز را نشان می‌دهند.

$$\text{Max}(z_1) = \sum_{i=1}^n [(A - (A + A))X_i] \quad (2)$$

$$\text{Min}(z_2) = \sum_{i=1}^n C_i X_i \quad (3)$$

که در آن‌ها، Z_i عایدات خالص یک‌ساله در کل حوضه (میلیون ریال در سال)، X_i مساحت هر کدام از کاربری‌ها (هکتار)، A_i^1 عایدات ناخالص مربوط به واحد سطح هر کدام از کاربری‌ها (میلیون ریال در هکتار)، A_i^2 هزینه تولید در واحد سطح هر واحدکاری (میلیون ریال در هکتار)، A_i^3 ارزش خاک فرسایش یافته در واحد سطح هر واحدکاری (میلیون ریال در هکتار)، Z_2 تولید سالانه رسوب در کل حوضه (تن در سال) و C_i تولید رسوب در واحد سطح برای هر کدام از واحدهای کاری (تن در هکتار سال) می‌باشند.

معادلات فوق برای منطقه مورد پژوهش با پنج کاربری مرتع، باغ میوه، مرتع مشجر، دیم‌کاری و زراعت آبی به شکل معادلات (۴) و (۵) تبدیل می‌شوند.

$$\text{Max}(z_1) = [(AX_1 - (AX_1 + AX_1)) + (AX_2 - (AX_2 + AX_2)) + (AX_3 - (AX_3 + AX_3)) + (AX_4 - (AX_4 + AX_4)) + ((AX_5 - (AX_5 + AX_5)))] \quad (4)$$

$$\text{Min}(z_2) = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 \quad (5)$$

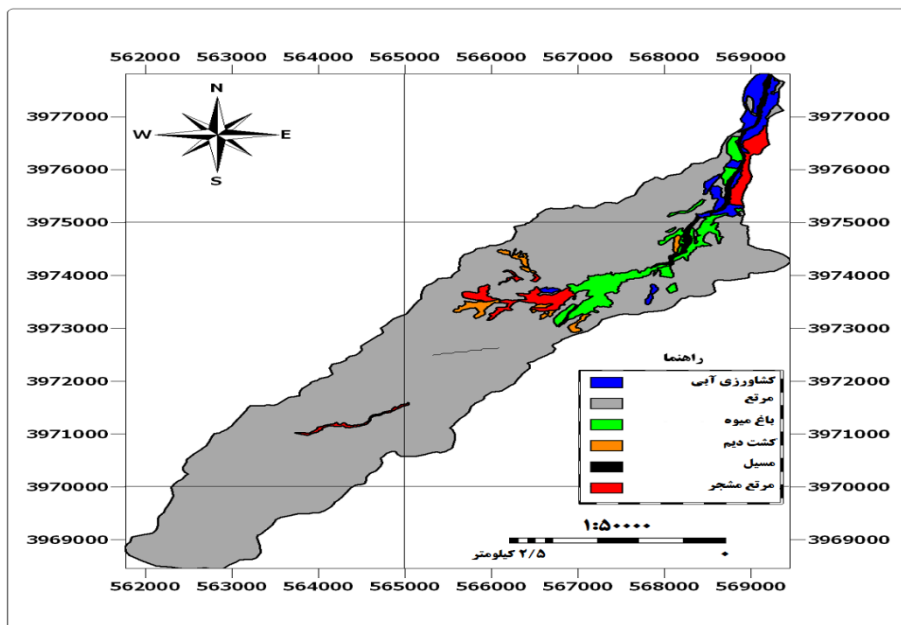
که در آن‌ها، X_1 سطح کاربری مرتع (هکتار)، X_2 سطح کاربری باغ (هکتار)، X_3 سطح کاربری مرتع

محدودیت‌های مربوط به ماده یکم تصویب‌نامه قانون ملی شدن جنگل‌ها و مراتع کشور و ماده ۵۶ قانون حفاظت و بهره‌برداری از جنگل‌ها و مراتع، که عرصه و اعیانی کلیه جنگل‌ها، مراتع، بیشه‌های طبیعی و اراضی جنگلی کشور را جزء اموال عمومی محسوب نموده و متعلق به دولت می‌داند، تغییری در سطح دو کاربری مرتع و مرتع مشجر (مرتع)، بعد از بهینه‌سازی حادث نمی‌شود.

سطح حوضه مورد پژوهش را کاربری مرتع تشکیل می‌دهد. کمترین کاربری نیز با ۰/۹۱ درصد، متعلق به مراتع مشجر است. در این حوضه باغ میوه با ۴/۲۱ درصد، از سطح بالاتری نسبت به کاربری زراعت آبی با ۲/۹۱ درصد، برخوردار است و کشت دیم، تنها ۱/۰۵ درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده است. مساحت کاربری‌ها برای شرایط استاندارد نیز در جدول ۲ و نقشه آن در شکل ۳ آورده شده است. مقایسه جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند که به دلیل

جدول ۱- انواع کاربری‌های موجود حوزه آبخیز ششتمد و مساحت تحت پوشش هر کاربری

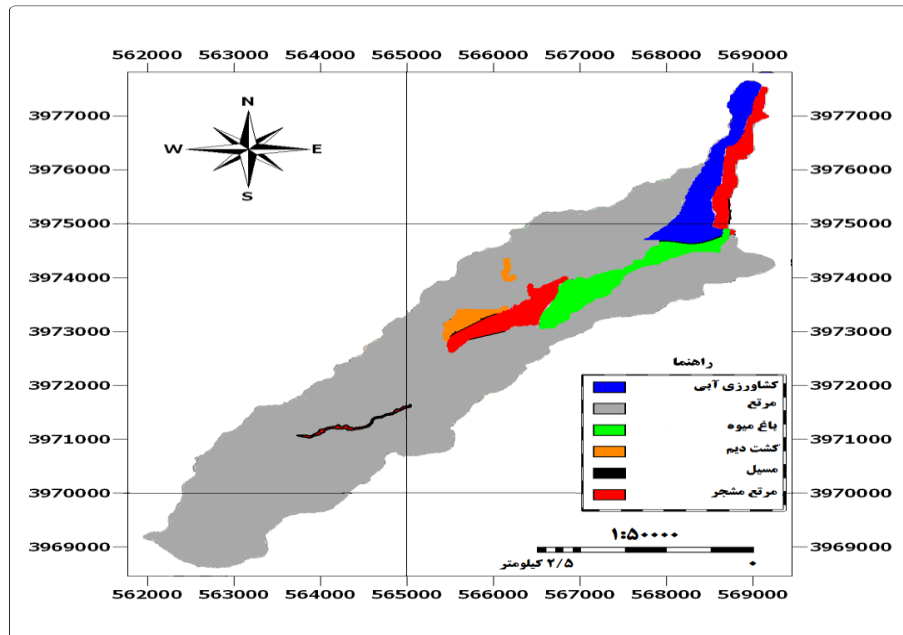
کاربری اراضی	مساحت (ha)	مساحت (%)
مرتع	۱۵۹۸/۲۸	۹۰/۸۵
باغ میوه	۷۳/۲۸	۴/۱۷
مرتع مشجر	۱۶	۰/۹۱
کشت دیم	۲۱/۰۵	۱/۱۹
کشاورزی آبی	۵۰/۵۷	۲/۸۸
جمع	۱۷۵۹/۱۸	۱۰۰



شکل ۲- نقشه وضعیت کاربری اراضی حوزه آبخیز ششتمد در شرایط فعلی

جدول ۲- کاربری‌های حوزه آبخیز ششتمد و مساحت تحت پوشش هر یک بر اساس قابلیت اراضی

کاربری اراضی	مساحت (ha)	مساحت (%)	تفاضل مساحت کاربری اراضی در وضعیت فعلی و استاندارد (ha)
مرتع	۱۵۹۹/۴۶	۹۰/۹۲	-۱/۱۸
باغ میوه	۷۴/۰۶	۴/۲۱	-۰/۷۸
مرتع مشجر	۱۶	۰/۹۱	۰
کشت دیم	۱۸/۴۷	۱/۰۵	۲/۵۸
کشاورزی آبی	۵۱/۱۹	۲/۹۱	-۰/۶۲
جمع	۱۷۵۹/۱۸	۱۰۰	۰



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز ششم در وضعیت استاندارد

مورد نظر و وزن مخصوص ظاهری خاک کاربری، سطح اراضی از دست رفته بر حسب متر مربع در هر هکتار برآورد شده است و در انتها با توجه به ارزش اقتصادی یک مترمربع کاربری مورد نظر در منطقه، خسارت ریالی وارده تعیین شده است. بدیهی است سایر خسارت‌های ناشی از فرسایش منجمله ارزش واقعی خاک، خسارت‌های وارده به تأسیسات پایین دست و ... در محاسبات لحاظ نشده است.

تعیین مقادیر ضرایب توابع هدف: با استناد به نتایج پیش‌گفته، مقادیر ضرایب مورد نیاز در توابع هدف تعیین و برای شرایط فعلی، شرایط با اعمال مدیریت و در وضعیت استاندارد برای حوزه آبخیز ششم، در جدول‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. در برآورد خسارت فرسایش جدول‌های فوق، میزان خاک فرسوده شده بر حسب تن در هکتار مورد توجه قرار گرفته و با توجه به عمق توسعه ریشه در کاربری

جدول ۳- مقادیر متوسط ضرایب مسئله بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت فعلی

کاربری	مساحت (ha)	هزینه تولید ($10^6 \text{Rialha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)	درآمد ناخالص ($10^6 \text{Rialha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)	درآمد خالص ($10^6 \text{Rialha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)	فرسایش ($\text{tonha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)	خسارت فرسایش ($10^6 \text{Rialha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)
مرتع	۱۵۹۹/۴۶	۰	۲۳۹۹/۱۹	۲۳۹۹/۱۹	۳/۰۸	۰/۰۴۰۳۱۵
باغ میوه	۷۴/۰۶	۶۷/۷	۱۱۴	۴۷/۶	۱/۸۵	۰/۶۷
مرتع مشجر	۱۶	۰	۳۶/۹۶	۳۶/۹۶	۱/۸۴	۰/۰۱۳۱۴۵
کشت دیم	۱۸/۴۷	۲۰/۴۹	۸۲/۶۶	۶۲/۱۶۴	۸/۰۶	۰/۰۵۳۹۴۰
کشاورزی آبی	۵۱/۱۹	۲۲/۳۱۲۵	۸۱/۲	۴۷/۱۱	۳/۲۱	۰/۲۸۸۵

جدول ۴- مقادیر متوسط ضرایب مسئله بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت اعمال مدیریت

کاربری	مساحت (ha)	هزینه تولید ($10^6 \text{Rialha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)	درآمد ناخالص ($10^6 \text{Rialha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)	درآمد خالص ($10^6 \text{Rialha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)	فرسایش ($\text{tonha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)	خسارت فرسایش ($10^6 \text{Rialha}^{-1} \text{yr}^{-1}$)
مرتع	۱۵۹۹/۴۶	۰	۲۸۷۹/۰۳	۲۸۷۹/۰۳	۲/۰۵	۰/۰۲۶۸۴
باغ میوه	۷۴/۰۶	۵۹/۵۷۶	۱۱۴	۵۰/۹۱	۱/۵	۰/۵۴۵
مرتع مشجر	۱۶	۰	۴۴/۳۵۲	۴۴/۳۵۲	۱/۴۱	۰/۰۱۰۰۶۵
کشت دیم	۱۸/۴۷	۲۰/۴۹	۹۹/۱۹	۷۸/۷	۶/۴۲	۰/۰۴۲۹۶
کشاورزی آبی	۵۱/۱۹	۲۱/۴۱۲۵	۸۱/۲	۴۸/۰۱	۳/۲۱	۰/۲۸۸۵

جدول ۵- مقادیر متوسط ضرایب مسئله بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت استاندارد

کاربری	مساحت (ha)	هزینه تولید (10 ⁶ Rialha ⁻¹ yr ⁻¹)	درآمد ناخالص (10 ⁶ Rialha ⁻¹ yr ⁻¹)	درآمد خالص (10 ⁶ Rialha ⁻¹ yr ⁻¹)	فرسایش (tonha ⁻¹ yr ⁻¹)	خسارت فرسایش (10 ⁶ Rialha ⁻¹ yr ⁻¹)
مرتع	۱۶۰۱/۰۴	۰	۲۴۰۱/۵۶	۲۴۰۱/۵۶	۲/۰۵	۰/۰۲۶۸۴
باغ میوه	۵۴/۰۱	۶۷/۷	۱۱۴	۴۷/۶	۱/۵	۰/۵۴۵
مرتع مشجر	۲۰/۹۲	۰	۵۷/۹۹	۵۷/۹۹	۱/۴۱	۰/۰۱۰۰۶۵
کشت دیم	۱۵/۳۱	۲۰/۴۹	۹۹/۱۹	۷۸/۷	۶/۴۲	۰/۰۴۲۹۶
کشاورزی آبی	۶۷/۹۰	۲۱/۴۱۲۵	۸۱/۲	۴۸/۰۱	۳/۲۱	۰/۲۸۸۵

رابطه‌های ریاضی مسئله بهینه‌سازی:

الف) وضعیت فعلی: بر اساس معادلات (۴) و (۵) و با استناد به جدول ۳، دو تابع هدف (۶) و (۷) به‌ترتیب برای بهینه‌سازی سود و کمینه‌سازی فرسایش خاک، در وضعیت فعلی حوزه آبخیز ششتمد نوشته شد.

$$Max(Z_1) = 2399.15X_1 + 45.63X_2 + 36.95X_3 + 62.12X_4 + 58.60X_5 \quad (۶)$$

$$Min(Z_2) = 3.08X_1 + 1.85X_2 + 1.84X_3 + 8.06X_4 + 3.21X_5 \quad (۷)$$

که در آن‌ها، نه محدودیت به شرح جدول ۶، برای مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز ششتمد در شرایط فعلی در نظر گرفته شد.

ب) وضعیت با اعمال مدیریت: بر اساس معادلات

(۴) و (۵) و با استناد به جدول ۴، دو تابع هدف (۸) و (۹) به‌ترتیب برای بهینه‌سازی سود و کمینه‌سازی فرسایش خاک، در وضعیت با اعمال مدیریت حوزه آبخیز ششتمد نوشته شد.

$$Max(Z_1) = 2879X_1 + 53.88X_2 + 44.34X_3 + 78.66X_4 + 59.50X_5 \quad (۸)$$

$$Min(Z_2) = 2.05X_1 + 1.5X_2 + 1.41X_3 + 6.42X_4 + 3.21X_5 \quad (۹)$$

که در آن‌ها، نه محدودیت به شرح جدول ۷، برای مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز ششتمد در وضعیت اعمال مدیریت در نظر گرفته شد.

جدول ۶- جدول گام به گام و متناسب با توابع هدف بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز ششتمد بر وضعیت فعلی

توابع	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	نوع تابع
تابع هدف ۱	۲۳۹۹/۱۵	۴۵/۶۳	۳۶/۹۵	۶۲/۱۲	۵۸/۶۰	Max
تابع هدف ۲	۳/۰۸	۱/۸۵	۱/۸۴	۸/۰۶	۳/۲۱	Min
محدودیت ۱	۱	۰	۰	۰	۰	≥
محدودیت ۲	۰	۱	۰	۰	۰	≥
محدودیت ۳	۰	۰	۱	۰	۰	≥
محدودیت ۴	۰	۰	۰	۱	۰	≥
محدودیت ۵	۱	۰	۰	۰	۱	≤
محدودیت ۶	۰	۰	۰	۰	۱	≤
محدودیت ۷	۱	۱	۱	۱	۱	=
محدودیت ۸	۰	۱	۰	۱	۱	≤
محدودیت ۹	۱	۰	۱	۰	۰	≥

$$Max(Z_1) = 2401.53X_1 + 45.76X_2 + 57.98X_3 + 78.66X_4 + 59.50X_5 \quad (۱۰)$$

$$Min(Z_2) = 2.05X_1 + 1.5X_2 + 1.41X_3 + 6.42X_4 + 3.21X_5 \quad (۱۱)$$

ج) وضعیت استاندارد: بر اساس معادلات (۴) و (۵) و با استناد به جدول ۵، دو تابع هدف (۱۰) و (۱۱) به‌ترتیب برای بهینه‌سازی سود و کمینه‌سازی فرسایش خاک، در وضعیت استاندارد برای حوزه آبخیز ششتمد نوشته شد.

در وضعیت استاندارد در نظر گرفته شد.

که در آن‌ها، نه محدودیت به شرح جدول ۸، برای مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز ششتمد

جدول ۷- جدول گام به گام و متناسب با توابع هدف بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز ششتمد برای وضعیت با اعمال مدیریت

توابع	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	نوع تابع	سمت راست معادله
تابع هدف ۱	۲۸۷۹	۵۳/۸۸	۴۴/۳۴	۷۸/۶۶	۵۹/۵۰	Max	۰
تابع هدف ۲	۲/۰۵	۱/۵	۱/۴۱	۶/۴۲	۳/۲۱	Min	۰
محدودیت ۱	۱	۰	۰	۰	۰	\geq	۱۵۹۹/۴۶
محدودیت ۲	۰	۱	۰	۰	۰	\geq	۷۴/۰۶
محدودیت ۳	۰	۰	۱	۰	۰	\geq	۱۶
محدودیت ۴	۰	۰	۰	۱	۰	\geq	۱۸/۴۷
محدودیت ۵	۱	۰	۰	۰	۱	\leq	۱۲۵/۲۵
محدودیت ۶	۰	۰	۰	۰	۱	\leq	۶۷/۹۰
محدودیت ۷	۱	۱	۱	۱	۱	=	۱۷۵۹/۱۸
محدودیت ۸	۰	۱	۰	۱	۱	\leq	۱۴۳/۷۲
محدودیت ۹	۱	۰	۱	۰	۰	\geq	۱۶۱۵/۴۶

جدول ۸- جدول گام به گام و متناسب با توابع هدف بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز ششتمد برای وضعیت استاندارد

توابع	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	نوع تابع	سمت راست معادله
تابع هدف ۱	۲۴۰۱/۵۳	۴۵/۷۶	۵۷/۹۸	۷۸/۶۶	۵۰/۵۹	Max	۰
تابع هدف ۲	۲/۰۵	۱/۵	۱/۴۱	۶/۴۲	۳/۲۱	Min	۰
محدودیت ۱	۱	۰	۰	۰	۰	\geq	۱۵۹۹/۴۶
محدودیت ۲	۰	۱	۰	۰	۰	\geq	۷۴/۰۶
محدودیت ۳	۰	۰	۱	۰	۰	\geq	۱۶
محدودیت ۴	۰	۰	۰	۱	۰	\geq	۱۸/۴۷
محدودیت ۵	۱	۰	۰	۰	۱	\leq	۱۲۵/۲۵
محدودیت ۶	۰	۰	۰	۰	۱	\leq	۶۷/۹۰
محدودیت ۷	۱	۱	۱	۱	۱	=	۱۷۵۹/۱۸
محدودیت ۸	۰	۱	۰	۱	۱	\leq	۱۴۳/۷۲
محدودیت ۹	۱	۰	۱	۰	۰	\geq	۱۶۱۵/۴۶

فرسایش خاک و اعداد ۱ و ۰ در سطرهای سوم تا ۱۱، به ترتیب نشان‌دهنده حضور و یا عدم حضور متغیر می‌باشند. به دلیل تحت پوشش قرار گرفتن محدودیت‌های اول و سوم به وسیله محدودیت نهم، برای تحلیل حساسیت توابع هدف، هشت محدودیت شامل محدودیت‌های دوم و چهارم تا دهم، مورد توجه قرار گرفتند.

تعیین سطح بهینه کاربری‌ها: سطح بهینه هر کدام از کاربری‌های حوزه آبخیز ششتمد، بعد از حل معادلات بهینه‌سازی با نرم‌افزار بهینه‌سازی ADBASE، به گونه‌ای که درآمد آبخیزنشینان را

در رابطه‌های (۶) تا (۱۱)، Z_1 و Z_2 به ترتیب سود (میلیون ریال در سال) و فرسایش خاک (تن در هکتار در سال) و X_1 ، X_2 ، X_3 ، X_4 و X_5 در این روابط و جدول‌های ۶ تا ۸، متغیرهای تصمیم‌گیری هستند که به ترتیب نشان‌دهنده مساحت کاربری‌های مرتع، باغ، مرتع مشجر، دیم‌کاری و کشاورزی آبی می‌باشند. ستون ششم نوع تابع را از نظر بیشینه، کمینه، بزرگ‌تر، کوچک‌تر یا مساوی بودن طرفین معادله نشان می‌دهد. ستون آخر نیز نشان‌دهنده میزان در اختیار بودن سطح اراضی است. در این جدول سطرهای اول و دوم به ترتیب دارای واحد پول و میزان

در حوزه آبخیز ششتمد به گونه‌ای که فرسایش و رسوب کمینه و درآمد کاربران بیشینه باشد بایستی بدون تغییر در سطح دو کاربری مرتع و مرتع مشجر، سطح باغ میوه از ۷۴/۰۶ هکتار به ۸۱/۷۹ هکتار افزایش و سطح کشت دیم از ۱۸/۴۷ هکتار به ۱۷/۴۲ هکتار و مساحت زراعت آبی از ۵۱/۱۹ هکتار به ۴۳/۵۱ هکتار کاهش پیدا کنند.

نتایج تحقیق حاضر برای کاربری‌های باغ، کشاورزی آبی، دیم و مرتع، منطبق بر نتایج Nikkami (۱۹۹۹) در حوزه آبخیز دماوند استان تهران، Jalili (۲۰۰۷) در حوزه آبخیز بریموند استان کرمانشاه، Shabani (۲۰۰۸) در حوزه آبخیز خارستان استان فارس، Nikkami و همکاران (۲۰۱۲) در حوزه آبخیز جاجرود استان تهران و Jafari و همکاران (۲۰۱۳) در حوزه آبخیز سد سنا در استان بوشهر است. در تمامی پژوهش‌های صدراالاشاره، بهینه‌سازی باعث افزایش سطح باغ و کاهش سطح زراعت آبی و دیم و نیز عدم وجود تغییر در سطح کاربری مرتع شده است.

افزایش و هم‌زمان میزان فرسایش را به کمینه برساند، در جدول ۹ ارائه شده است. به دلیل محدودیت‌های مربوط به قانون ملی شدن جنگل‌ها و مراتع کشور قبل و بعد از بهینه‌سازی تغییری در سطح دو کاربری مرتع و مرتع مشجر حادث نمی‌شود، لکن بعد از حل مسئله بهینه‌سازی، سطح باغ ۱۰/۴۴ درصد افزایش داشته است در حالی که سطح کاربری دیم ۰/۲۷ درصد و سطح کاربری کشت آبی ۱۵ درصد، کاهش را نشان می‌دهند. بالا بودن سود خالص و کم بودن میزان فرسایش و رسوب در کاربری باغ باعث شده است که بعد از بهینه‌سازی سطح این کاربری افزایش یابد. سودآوری کمتر اراضی کشت آبی نسبت به باغ موجب کاهش سطح این کاربری شده است.

در منطقه مورد مطالعه، کشت دیم استفاده از درختان بادام و انگور بر روی دامنه‌ها است که علی‌رغم سوددهی زیاد، موجبات فرسایش شدید را در منطقه فراهم می‌آورند و به همین دلیل تغییرات سطح این کاربری در قبل و بعد از بهینه‌سازی چندان قابل توجه نمی‌باشد. به این ترتیب برای رسیدن به حالت بهینه

جدول ۹- سطح اختصاص یافته به هر کاربری در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی استفاده از اراضی

مساحت (هکتار)		نوع کاربری
در شرایط بعد از بهینه‌سازی	در شرایط قبل از بهینه‌سازی	
۱۵۹۹/۴۶	۱۵۹۹/۴۶	مرتع
۸۱/۷۹	۷۴/۰۶	باغ میوه
۱۶	۱۶	مرتع مشجر
۱۸/۴۲	۱۸/۴۷	کشت دیم
۴۳/۵۱	۵۱/۱۹	کشاورزی آبی
۱۷۵۹/۱۸	۱۷۵۹/۱۸	جمع

در سال معادل ۰/۰۸ درصد، کاهش پیدا کرده است. این مقدار در صورت اعمال مدیریت به ۱۳/۴ تن در سال معادل ۰/۳۶ درصد و در وضعیت استاندارد ۲۶/۸۵ تن در سال معادل ۰/۷۵ درصد، تغییر می‌یابد. همچنین با حل مسئله بهینه‌سازی سود خالص کل سالانه‌ی حوزه برای کاربران در وضعیت موجود ۳/۱۲ میلیون ریال، با اعمال مدیریت ۲۰/۸۸ میلیون ریال و در شرایط استاندارد ۳۱۳/۷۵ میلیون ریال افزایش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش فرسایش در هر سه حالت، مربوط به زراعت آبی است و مناسب‌ترین گزینه

سود و فرسایش قبل و بعد از بهینه‌سازی: نتایج
 حاصل از محاسبات مربوط به میزان فرسایش خاک و مقدار سود خالص در حوزه آبخیز ششتمد در قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی به ترتیب در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ خلاصه شده است. نتایج به دست آمده از این جدول‌ها بیانگر این است که در تمامی سه وضعیت مورد بررسی، میزان فرسایش خاک بعد از بهینه‌سازی نسبت به قبل از آن کاهش و مقدار درآمد افزایش دارد. میزان فرسایش کل در شرایط موجود و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی به میزان ۴/۱۲ تن

توجه به کاربری آن مورد محاسبه قرار گرفته است و سایر خسارت‌های ناشی از فرسایش، منجمله ارزش واقعی خاک، خسارت‌های وارده به تاسیسات پایین دست و ... در محاسبات لحاظ نشده است. افزون بر آن، تبدیل اراضی کشاورزی و باغات منطقه به زمین‌هایی برای ویلاسازی، هم اکنون یکی از آفات مهم بوم‌سازگان منطقه است. هجوم فراوان متقاضی از مناطق شهری برای تهیه زمین و تبدیل کاربری آن‌ها از باغات به مسکونی، علاوه بر بروز معضلات وخیم محیط زیستی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، باعث شده است که علی‌رغم توصیه مدل بهینه‌سازی، روستائیان به اقدامات خارج از توصیه خود ادامه دهند که این مهم باعث تشدید فرسایش و کاهش درآمد ناشی از کاربری‌های باغ و کشاورزی در مدل بهینه‌سازی می‌شود. این یافته تحقیق حاضر، افزون بر همخوانی با نتایج تحقیقات Riedel (۲۰۰۳)، Liu و Stewart (۲۰۰۴) و Luo و You (۲۰۰۷)، مبنی بر وجود ارتباط بین شرایط طبیعی و جنبه‌های اقتصادی، بر نقش شرایط اجتماعی و فرهنگی بر ایجاد شرایط پایدار حوزه‌ی آبخیز، دلالت دارد. Chen و همکاران (۲۰۱۵) نیز در تحقیق خود، نقش تاثیرگذار جنبه‌های اجتماعی بر بهینه‌سازی راه، تایید کرده‌اند و Vafakhah و همکاران (۲۰۱۵)، نیز تاکید کرده‌اند که حل مسئله بهینه‌سازی بدون توجه به شرایط اجتماعی و اقتصادی، موفقیت‌آمیز نخواهد بود.

نکته حائز اهمیت دیگری که در یافته‌های تحقیق بسیار امیدوار کننده است، تاثیر اعمال برخی شیوه‌های مدیریت صحیح بر بهبود کاهش فرسایش و افزایش درآمد است. نتایج نشان می‌دهند که کاهش فرسایش بعد از اعمال مدیریت، نسبت به کاهش فرسایش بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی، بیش از ۳/۲۵ برابر بهبود یافته است. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که در صورت اعمال برخی شیوه‌های صحیح مدیریتی، درآمد آبخیزنشینان در مقایسه با حال بهینه‌سازی کاربری اراضی، حدود ۶/۷ برابر افزایش می‌یابد. این کاهش چند برابری فرسایش و افزایش چند برابری درآمد منتج از مقایسه یافته‌های شرایط صدراالاشاره، اهمیت و توجه به اعمال شیوه‌های مدیریتی را مورد تاکید قرار داده و نشان می‌دهد که با

از میان سه گزینه مورد بررسی برای افزایش درآمد و کاهش فرسایش در حوزه آبخیز ششتمد، بهینه‌سازی در شرایط استاندارد است. در نتایج تحقیق Nikkami (۱۹۹۹)، Jalili (۲۰۰۷)، Shabani (۲۰۰۸)، Nikkami و همکاران (۲۰۱۲) و Jafari و همکاران (۲۰۱۳) نیز، بهینه‌سازی، مقدار فرسایش خاک را در تمامی وضعیت‌ها کاهش و مقدار درآمد کاربران را افزایش داده است، با این تفاوت که در تحقیق حاضر، افزایش سوددهی چندان قابل توجه نیست.

عدم دسترسی به سود بیشتر یا کاهش معنی‌دار میزان فرسایش، بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی، در تحقیقات متعدد دیگری نیز مشهود است. در تحقیق Vafakhah و همکاران (۲۰۱۵)، علی‌رغم کاهش ۶/۹۹ درصدی میزان فرسایش سالانه خاک در منطقه تحقیق، سود خالص سالانه، پس از بهینه‌سازی کاربری اراضی، ۴/۶۵ درصد کاهش یافته است و بر عکس، نتایج پژوهش Motakan و همکاران (۲۰۱۳) علی‌رغم بهبود ۳۳ درصدی منفعت اقتصادی بعد از بهینه‌سازی، تغییر چندان را در بهبود وضعیت فرسایش نشان نداد. مطالعه بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌وسیله Taghavigorji و همکاران (۲۰۱۴) در استان مازندران نیز، علی‌رغم کاهش ۲۴/۴۹ درصدی میزان سیلاب بعد از بهینه‌سازی، سودآوری حوزه نسبت به قبل از بهینه‌سازی راه، ۵۸/۵۶ درصد کاهش داده است. استدلال عدم تاثیر قابل توجه بهینه‌سازی در تحقیق حاضر راه، در شرایط حوزه آبخیز ششتمد می‌توان یافت. حوضه مورد مطالعه یک حوضه کوهستانی است که اراضی دیم آن به دلیل کشت بادام، از سودآوری بالایی برخوردار است. این نکته سبب می‌شود که علی‌رغم توصیه مدل بهینه‌سازی به کاهش سطح اراضی دیم، سوددهی تفاوت چندان پیدا نکند. دلیل کاهش سطح اراضی دیم در حل مسئله بهینه‌سازی به خاطر فرسایش بسیار زیاد دیم‌زارها است که مطابق با مطالعات به عمل آمده در تحقیق، بیشترین میزان فرسایش را به خود اختصاص داده‌اند.

همچنین، سوددهی نه چندان زیاد بعد از بهینه‌سازی راه، در شکل محاسبه ارزش اقتصادی یک مترمربع هر کاربری در منطقه نیز می‌توان دانست. در این محاسبات تنها ارزش معاملاتی یک هکتار اراضی با

دستیابی به این اهداف را میسر می‌سازد. افزون بر آن، در حوزه آبخیز ششتمد، به جز با انجام برنامه‌های جانبی مرتبط، مانند آموزش ساکنین منطقه و اعمال برخی شیوه‌های مدیریتی صحیح شامل جای‌گزینی شخم عمود بر جهت شیب به جای شخم سنتی، استفاده از تناوب زراعی، قرق مراتع و اصلاح روش آبیاری، دستیابی به بهینه‌سازی معنی‌دار، فراهم نمی‌شود. تحقیق Fereshtemaghani و همکاران (۲۰۱۲) نیز بر ضرورت ترویج و آگاه‌سازی مردم، در دستیابی به الگوی بهینه، دلالت دارد.

انجام برخی از روش‌های مدیریتی چون جای‌گزینی شخم عمود بر جهت شیب به جای شخم سنتی، استفاده از تناوب زراعی، قرق مراتع و اصلاح روش آبیاری، بهینه‌سازی تاثیر معنی‌دارتری در منطقه خواهد داشت.

برای کاهش اثرات محیطی و اقتصادی ناشی از سوء مدیریت در استفاده از اراضی، نیاز به تدابیری در سطح حوزه‌های آبخیز می‌باشد که حل مسئله بهینه‌سازی استفاده از اراضی، یکی از اقدامات موثر در این خصوص به شمار می‌آید که در کنار روش‌های دیگری چون مطالعه قابلیت استفاده از اراضی،

جدول ۱۰- مقایسه فرسایش خاک در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی حوزه آبخیز ششتمد در وضعیت‌های مختلف مورد بررسی

نوع کاربری	فرسایش کل در وضعیت کنونی (tonyr ⁻¹)		فرسایش کل با اعمال مدیریت (tonyr ⁻¹)		فرسایش کل در شرایط استاندارد (tonyr ⁻¹)	
	قبل از	بعد از	قبل از	بعد از	قبل از	بعد از
مرتع	۴۹۲۶/۳۴	۴۹۲۶/۳۴	۳۲۷۸/۸۹	۳۲۷۸/۸۹	۳۲۷۸/۸۹	۳۲۷۸/۸۹
باغ میوه	۱۳۷/۰۱	۱۵۱/۳۱	۱۱۱/۰۹	۱۲۲/۶۸	۸۱/۰۲	۱۲۲/۶۸
مرتع مشجر	۲۹/۴۴	۲۹/۴۴	۲۲/۵۶	۲۲/۵۶	۲۹/۵۰	۲۲/۵۶
کشت دیم	۱۴۸/۸۷	۱۴۸/۴۶	۱۱۸/۵۸	۱۱۸/۲۵	۹۸/۳۹	۱۱۸/۲۵
کشاورزی آبی	۱۶۴/۳۲	۱۳۹/۶۷	۱۶۴/۳۲	۱۳۹/۶۶	۲۱۷/۹۶	۱۳۹/۶۶
کل	۵۳۹۹/۳۲	۵۳۹۵/۲	۳۶۹۵/۴۴	۳۶۸۲/۰۴	۳۷۰۸/۸۹	۳۶۸۲/۰۴

جدول ۱۱- مقایسه درآمد کاربران حوزه آبخیز ششتمد در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی در وضعیت‌های مختلف مورد بررسی

نوع کاربری	سود خالص کل در وضعیت کنونی (10 ⁶ Rialyr ⁻¹)		سود خالص کل با اعمال مدیریت (10 ⁶ Rialyr ⁻¹)		سود خالص کل در شرایط استاندارد (10 ⁶ Rialyr ⁻¹)	
	قبل از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی	قبل از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی	قبل از بهینه‌سازی	بعد از بهینه‌سازی
مرتع	۳۸۳۷۴۰/۴۴	۳۸۳۷۴۰/۴۴	۴۶۰۴۸۹۳/۳۲	۴۶۰۴۸۹۳/۳۲	۳۸۴۴۹۹۳/۶۲	۳۸۴۴۹۹۳/۶۲
باغ میوه	۳۵۲۵/۲	۳۸۹۳/۲	۳۷۷۰/۳۹	۴۱۶۳/۹۳	۲۴۱۰/۷۴	۳۶۵۰/۷
مرتع مشجر	۵۹۱/۳۶	۵۹۱/۳۶	۷۰۹/۶۳	۷۰۹/۶۳	۱۲۱۳/۱۵	۱۲۱۳/۱۵
کشت دیم	۱۱۴۸/۱۷	۱۱۴۵/۰۶	۱۴۵۳/۵۹	۱۴۴۹/۶۵	۱۲۰۴/۹۰	۱۴۴۹/۶۵
کشاورزی آبی	۲۴۱۱/۵۶	۲۰۴۹/۷۶	۲۴۵۷/۶۳	۲۰۸۸/۹۲	۳۲۵۹/۸۸	۲۰۸۸/۹۲
کل	۳۸۴۵۰۸۴/۷	۳۸۴۵۰۸۷/۸۲	۴۶۱۳۳۰۵/۴۵	۴۶۱۳۲۸۴/۵۷	۳۸۵۳۰۸۲/۲۹	۳۸۵۳۳۹۶/۰۴

محصولات کشاورزی و باغی در منطقه به لحاظ شرایط کوهستانی آن است. تغییر در سطح اراضی آبی یا اراضی دیم، تغییر چندان در کاهش یا افزایش سوددهی ندارد، ضمن آن که بر روی میزان فرسایش نیز همین گونه است. اما نتایج نشان می‌دهد که افزایش سطح اراضی باغی باعث افزایش درآمد کاربران

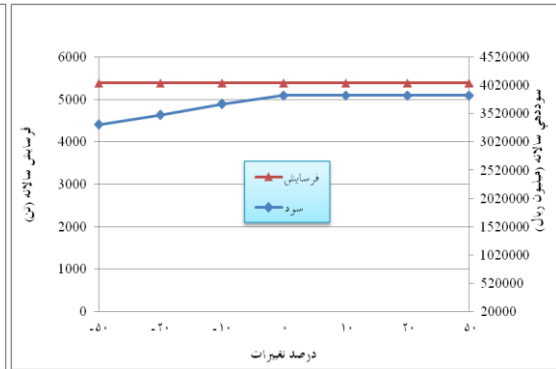
تحلیل حساسیت: نتایج تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات اعمال شده در سطوح فعلی کاربری مرتع، کشاورزی آبی، باغ و دیم به ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شده‌اند. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با افزایش سطح اراضی مرتعی، درآمد کاهش می‌یابد، که دلیل سودآورتر بودن تولید

خاک می‌شود که دلیل آن کاهش اراضی کشاورزی با فرسایش زیاد و جای‌گزینی آن با اراضی باغی با فرسایش کمتر است.

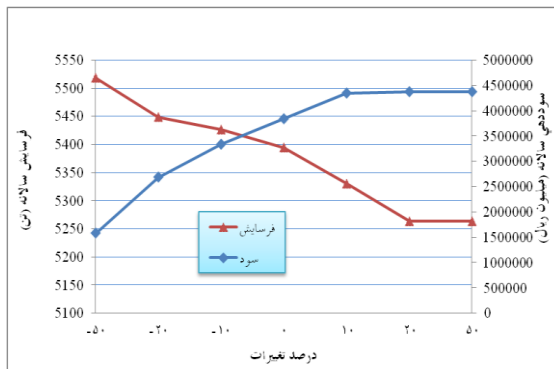
می‌شود و کاهش آن نیز، کاهش درآمد آنان را به دنبال دارد. دلیل آن را می‌توان در افزایش بالا بودن ضریب سوددهی کاربری باغ در تابع هدف ذکر کرد. همچنین افزایش اراضی باغی باعث کاهش فرسایش



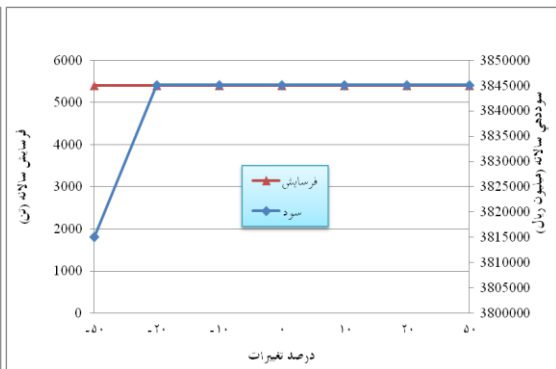
شکل ۵- تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات سطح اراضی آبی موجود



شکل ۴- تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات سطح کاربری موجود مرتع



شکل ۷- تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات سطح اراضی دیم موجود



شکل ۶- تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات سطح کاربری موجود باغ

منابع مورد استفاده

1. Agharazi, H., M. Mardyan, A.A. Davodirad and D. Nikkami. 2014. Sensitivity analysis of Simplex method functions for Landuse optimization in Adineh Masjed Watershed. Journal of Range and Watershed, 130(2014): 07-12 (in Persian).
2. Agricultural Planning, Economics and Rural Development Research Institute. 2004. Comprehensive agricultural development studies, synthesis of Khorasan Razavi, 4 Volumes (in Persian).
3. Arkhi, S., S. Yosufi and Gh. Rostsmizadeh. 2013. The effect of land use optimization to reduce erosion and sedimentation in Cham Grdlan Watershed using GIS. Journal of Urban Geography and Regional Planning, 6: 75-84 (in Persian).
4. Benli, B., S. Kodal. 2003. A non-linear model for farm optimization with adequate and limited water supplies: Application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region, Agricultural Water Management, 62: 187-203.
5. Berangl, K.J. 2000. Principles and treatments in dry farming (Interpretation of Rashed and A. Koochaki). Mashhad University, 236 pages (in Persian).
6. Chen, W., C. Gerrit, L. Zhao and H. Li. 2015. A spatial optimization model for sustainable land use at regional level in China: a case study for Poyang Lake Region. Sustainability, 7(1): 35-55.
7. Davodirad, A.A., D. Nikkami and M. Mardyan. 2013. Landuse optimization, using Simplex method in Adinehmasjed Watershed of Shazand. Journal of Watershed Engineering and Management, 5(1): 17-24 (in Persian).

8. Den, C. and Y. Li. 2014. A new optimization model with bee colony algorithm on land-use network. *Journal of Networks*, 9(6): 1610-1616.
9. Fakhr Tabatabaie, S.M. 1997. What is sustainable agriculture and what is necessary? *Roshd-e-Agriculture*, 8(3): 28-35 (in Persian).
10. Falahshamsi, R., H. Sobhani., S. Arasto., A. Darvishsefat and A. Faraji Dana. 2006. Linear programming model in land customize to various land use in Kaler Chay Vasati Watershed. *Journal of Iran Natural Resources*, 3: 579-589 (in Persian).
11. Fereshtemaghani, M., A.R. Karimi, Gh. Haghneya and A. Dorandish. 2012. Optimal cropping pattern at the local scale in order to reduce land degradation using linear programming, case study: Roien, N. Khorasan. *Journal of Soil Management*, 1(1): 1-10 (in Persian).
12. Gabriel, S.A., J.A. Faria and G.E. Moglen. 2006. A multiobjective optimization approach to smart growth in land development. *Socio-Economic Planning Sciences*, 40(3): 212-248.
13. Jafari, A., D. Nikkami, E. Abbasi and F. Tavakkolirad. 2013. Investigating land use schema in Sana dam watershed of Boshehr province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5(3): 155-164 (in Persian)
14. Jalili, Kh., S.H.R. Sadeghi and D. Nikkami. 2007. Land use optimization of watershed for soil erosion minimization using linear programming (case study: Brimvand watershed, Kermanshah province). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 10(4-A): 15-27 (in Persian).
15. Kralisch, S., M. Finka, W.A. Flügela and C. Becksteinb. 2003. A neural network approach for the optimization of watershed management. *Environmental Modelling and Software*, 18(8-9): 815-823.
16. Liu, D. and T.J. Stewart. 2004. Object-Oriented decision support system modeling for multicriteria decision making natural resource management. *Computer and Operation Research*, 31(2004): 985-999.
17. Luo, B. and J. You. 2007. A watershed-simulation and hybrid optimization modeling approach for water-quality trading in soil erosion control. *Advances in Water Resources*, 30(9): 1902-1913.
18. Mahler, P.J. 1979. *Manual of land classification for irrigation* (third revised edition). Soil Institute of Iran, 103 pages.
19. Mohsenisaravi, M., M. Farzanegan, M. Kopaei and M. Kholghi. 2003. Resources optimization in watershed scale, using goal programming. *Journal of Natural Resources*, 56(1&2): 3-16 (in Persian).
20. Motakan, A.A., A.R. Shakiba, B. Mirbagheri, M. Shaygan and M. Tanasan. 2013. Land use optimization modeling based on NSGA-II algorithm for flood management. *Proceedings of the National Conference on Flood Management*, 13-14 May 2013, Tehran, 11 pages (in Persian).
21. Nikkami, D. 1999. *Optimizing the management of soil erosion using GIS*. PhD dissertation, Concordia University, 108 pages.
22. Nikkami, D., R. Bayat, A. Shademani and R. Kazemi. 2012. Investigating land use schema in watershed scale, case study: Jajroud watershed. A research project of the Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 169 pages (in Persian).
23. Nikkami, D., H. Chamheydar, M.H. Mahdyan and E. Pazera. 2012. Optimizing the management of landuse for resource protection of Abolabbas Watershed. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 4(1): 51-62 (in Persian).
24. Office of Study and Technical Services. 2000. *Sheshtamad basin watershed studies*, Department of watershed management. The organization of Jihad-e-Agriculture of Khorasan Razavi, 13 Volumes (in Persian).
25. Owji, M.R., D. Nikkami, M.H. Mahdian and Sh. Mahmoudi. 2013. Minimizing runoff and sedimentation by optimizing land use (case study: Jajroud watershed). *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(4): 183-199.
26. Pasour, E.C. 1983. Land use planning: Implications of the economic calculation debate. *Journal of Librarian Studies*, 7(1): 127-139.
27. Pfaff, A.S.P. and G.A. Sanchez-Azofeifa. 2004. Deforestation pressure and biological reserve planning: a conceptual approach and an Illustrative Application for Costa Rica. *Resource and Energy Economics*, 26(2004): 237-254.
28. Riedel, C. 2003. Optimizing land use planning for mountainous regions using LP and GIS towards Sustainability. *Journal of Soil Conservation*, 34(1): 121-124.
29. Rounsvell, M.D.A., J.E. Annetts, E. Audsley, T. Mayr and I. Reginster. 2003. Modeling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 95: 465-479.
30. Saadat, H. 1991. *Practical methods of public participation in planning and management of watersheds*. Engineering Services Company, Ministry of Jihad-e-Sazandegi (in Persian).

31. Sadeghi, S.H.R., D. Nikkami and Kh. Jalili. 2007. Net Income maximization through landuse optimization of Brimvand Watershed using linear programming. *Journal of Natural Resources*, 60(3): 773-784 (in Persian).
32. Sadeghi, S.H.R., Kh. Jalili and D. Nikkami. 2009. Land use optimization in watershed scale. *Land Use Policy*, 26(2): 186-193.
33. Shabani, M. 2010. The effect of land use management on soil erosion and profitability in watershed scale, case study: Zakhrod watershed. *Journal of Physical Geography*, 3(8): 83-98 (in Persian).
34. Shabani, M., H. Ahmadi, D. Nikkami, H. Azarnivand and M. Mohseni Saravi. 2008. Land use optimization for soil erosion decrease and income increase of watershed (case study: Kharestan Watershed). *Journal of the Iranian Natural Resources*, 60(4): 1171-11183 (in Persian).
35. Shaygan, M., A. Alimohammadi and A. Mansoryan. 2012. Land allocation for multi-objective optimization using NSGA-II Algorithm. *Journal of Iranian Remote Sensing and GIS*, 4(2): 1-18 (in Persian).
36. Shively, G. and I. Coxhead. 2004. Conducting economic policy analysis at a landscape scale: examples from a Philippine watershed. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 104(1): 159-170.
37. Taghavigorji, M.M., M. Vafakhah and Sh. Gholami. 2014. Optimizing land use in order to reduce flood (case study: Kasilian watershed). *Proceedings of the 1st National Conference on E-agriculture and Sustainable Natural Resources*. 30 January 2014, Mhrarvnd Institute, Tehran: 14 pages (in Persian).
38. Tra, N.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(2): 461-466.
39. Vafakhah, M., M. Mohseni Saravi and H. Ahmadi. 2015. Soil loss minimization and net income maximization through landuse optimization in Taleghan Watershed. *Journal of Range and Watershed*, 68(1): 181-195 (in Persian).
40. Wang, X., S. Yu, and G.H. Huang. 2004. Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level. *Landscape and Urban Planning*, 66(2): 61-74.
41. Xevi, E. and S. Khan. 2005. A multi-objective optimization approach to water management. *Journal of Environmental Management*, 77(4): 269-277.
42. Xu, Y. and Q. Tang. 2009. Land use optimization at small watershed scale on the Loess Plateau. *Journal of Geographical Sciences*, 19(7): 577-586.