

اراضی ۴۲/۲۷ درصد کاهش و ۲۱/۳۹ درصد افزایش، و در شرایط استاندارد ۶۰/۹۵ درصد کاهش و ۲۴/۲۰ درصد افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت نیز نشان داد که تغییر در سطح اراضی باغی و مرتعی، بیشترین تاثیر را در افزایش میزان سوددهی و کاهش فرسایش خاک حوزه آبخیز قوشچی دارد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، مدیریت اراضی، فرسایش خاک، تحلیل حساسیت، سود دهی.

مقدمه

شیولی و کوکس‌هد [۱۴] توسعه پایدار را در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی در واقع یک پدیده اکولوژیکی می‌دانند که در ارتباط با تأمین میانگین درآمد همگانی عمل می‌کند و بر حفظ پایداری منابع تجدیدپذیر تکیه دارد. در این زمینه متذکر شده‌اند که علم مدیریت نیز به‌عنوان علم مکمل کشاورزی با در نظر گرفتن رابطه بین عوامل مختلف کشاورزی برای دستیابی به بیش‌ترین سود یا به عرصه مدیریت منابع نهاده است تا با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی، مسائل موجود در عرصه‌های طبیعی را فرمول‌بندی کنند. رایدل [۱۲] نیز معتقد است بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و سامانه اطلاعات جغرافیایی و 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. اگرچه بنظر پاف و سانچز آروفیفا [۱۱] نهایی‌سازی گزینه‌های اقتصادی برتر باید با ملاحظات بیولوژیکی و با توجه به پایداری اکوسیستم‌ها و همچنین مسائل اجتماعی صورت پذیرد. ولی پاسور [۱۰] پایه و اساس توسعه اقتصادی بسیاری از جوامع را بر آمایش صحیح سرزمین و بحث‌های مربوط به محاسبات اقتصادی مبتنی می‌داند. کاربرد روش‌های مختلف بهینه‌سازی در سال‌های اخیر به‌نحوی توسعه یافته که اغلب اقدام‌های مدیریتی همه‌جانبه و منطقی بر نتایج به‌دست آمده از تحقیقات مرتبط با آنها استوار شده‌اند. رانسول و همکاران [۱۳] توزیع مکانی کاربری کشاورزی اراضی به‌منظور بهینه‌سازی سود در دو منطقه انگلیس را مدل‌سازی کردند. بنلی و کودال [۱] ضمن کاربرد برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی در بهینه‌سازی کاربری

بهینه‌سازی الگوی کشت به منظور کاهش فرسایش خاک (مطالعه موردی: آبخیز قوشچی)

رضا سکوتی اسکوتی^۱، داود نیک‌کامی^۲ و ابراهیم بروشکه^۳
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۱۳

چکیده

خطرات ناشی فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز از عمده‌ترین مشکلاتی است که به طور همه جانبه تعادل اکولوژیک آبخیزها را تحت تاثیر قرار داده است. این تحقیق با هدف تعیین سطح بهینه کاربری اراضی به منظور کاهش میزان فرسایش و افزایش درآمد ساکنان حوزه آبخیز قوشچی واقع در استان آذربایجان غربی انجام شد. ابتدا میزان درآمدها و هزینه‌های کاربری‌های موجود با مطالعات میدانی محاسبه گردید. سپس خسارات ناشی از فرسایش با تبدیل میزان فرسایش خاک به سطح اراضی با کاربری مشخص و با عمق خاک معادل برآورد شد. برای سه‌گزینه مختلف شامل وضعیت فعلی کاربری‌ها بدون اعمال مدیریت اراضی، وضعیت فعلی کاربری‌ها با اعمال مدیریت اراضی و وضعیت کاربری‌ها، مدل برنامه ریزی خطی چند هدفی به وسیله نرم‌افزار LINGO برقرار و بهینه‌سازی به روش سیمپلکس حل گردید. در نهایت مناسب‌ترین گزینه کاربری و مدیریت اراضی با مقایسه میزان فرسایش و سود در هر یک از گزینه‌ها تعیین و شرایط موجود و شرایط توصیه شده مقایسه گردید. نتایج نشان داد سطح کاربری‌های فعلی جهت کاهش میزان فرسایش و افزایش درآمد ساکنین حوزه مناسب نبوده و در شرایط بهینه باید تغییر کند. در شرایط بهینه سطح اراضی باغی از ۴۰۸ هکتار به ۵۰۷ هکتار، سطح اراضی مرتعی بدون تغییر، سطح اراضی کشت آبی از ۱۶۹ هکتار به ۱۳۶ هکتار و سطح اراضی دیم نیز از ۶۳۶ هکتار به ۵۷۰ هکتار تغییر می‌یابد. علاوه بر این نتایج نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش خاک و سوددهی کل حوزه به ترتیب ۰/۷۵ درصد کاهش و ۳/۶۸ درصد افزایش، در صورت اعمال مدیریت

۱- نویسنده و دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، پست الکترونیک: rezasokouti@gmail.com

۲- استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۳- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی

یافته است. جلیلی [۴] مدل برنامه‌ریزی خطی را در حوزه آبخیز بریموند استان کرمانشاه جهت بهینه‌سازی کاربری اراضی به منظور حداقل کردن فرسایش بکار برد. نتایج بدست آمده از این تحقیق، ضمن معرفی کاربری بهینه اراضی، میزان کاهش فرسایش و افزایش سود سالیانه را به ترتیب $7/78\%$ و $118/62\%$ ارائه داد.

با وجود کاربرد فراوان روش‌های مختلف بهینه‌سازی در مدیریت تولید و صنعت و حتی بهره‌برداری از منابع آب، تاکنون به کاربرد این علم در مدیریت منابع با ارزش موجود در حوزه‌های آبخیز به‌ویژه در ایران توجه لازم نشده است. از آنجا که به‌کارگیری روش‌های بهینه‌سازی در مدیریت حوزه‌های آبخیز به حفظ منابع و ارائه راه‌حلی بهینه در کاربری‌ها و دستیابی به توسعه پایدار با رعایت تمامی محدودیت‌های فنی، اجتماعی، اقتصادی و قانونی در آنها منجر می‌شود، در این تحقیق سعی شده است تا الگوی بهینه استفاده از منابع اراضی در حوزه آبخیز قوشچی و حساسیت آن به تغییر انواع کاربری تعیین شود تا ضمن توجه به حفظ منابع و کاهش هدررفت آن، بهینه‌سازی سوددهی کاربری‌های حوزه آبخیز مورد نظر تحقق یابد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قوشچی با مساحت ۵۱۸۶ هکتار در استان آذربایجان غربی، شهرستان ارومیه قرار گرفته است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین 10° ، $51'$ و 44° تا 52° ، $57'$ و 44° طول شرقی و 01° ، $56'$ و 37° تا 53° ، $00'$ و 38° عرض شمالی واقع شده و یکی از زیرحوزه‌های آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. شکل (۱) موقعیت حوزه را در کشور و استان آذربایجان غربی به تصویر کشیده است.

روش تحقیق

برای تعیین کاربری‌های عمده اراضی شامل زراعت‌های آبی و دیم، باغات و مراتع، تصاویر ماهواره‌ای به روش چشمی تفسیر و نقشه



شکل ۱ - موقعیت حوزه آبخیز قوشچی

Fig 1. Location of Qushchi catchment

اراضی جنوب شرقی آنتالیا در ترکیه در دست‌یابی به سود بیش‌تر، بر استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی در راستای بهینه‌سازی سود در اراضی کشاورزی با توجه به محدودیت آب اشاره داشته‌اند. افزایش بهره‌وری اراضی کشاورزی و جنگلی در ژاپن^۱ به دلیل تخصیص مناسب اراضی به کاربری‌های مختلف توسط ترا و اگاشیرا [۱۶] مورد تأیید قرار گرفت. نتایج تحقیق سینگ و سینگ [۱۵] در بررسی بهینه‌سازی تولید و سود، با استفاده از برنامه‌ریزی بهینه کشت در یک مطالعه موردی در ماهی کوماند^۲ هندوستان نشان داد که برنامه‌ریزی کشت در سطح منطقه تولیدات را از 60 تا 96 درصد و سود خالص را از 23 تا 26 درصد افزایش داده است. تخصیص مساحت مناسب کاربری‌های مختلف با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در تلفیق با مدل‌های بهینه‌سازی به‌وسیله وانگ و همکاران [۱۷] در یک حوزه آبخیز در چین با توجه به کاربری‌های موجود، شیب و فاصله تا منابع آب سطحی انجام شد. نتایج تحقیقات لیو و استوارت [۵] با کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی چند منظوره برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در شمال چین نشان دادند که در صورت استفاده درست از منابع، درآمد مردم روستانشین به‌طور پایدار بهبود می‌یابد.

در ایران محسنی ساروی و همکاران [۶] با تعیین الگوی بهینه بهره‌برداری از منابع حوزه‌های آبخیز با استفاده از برنامه‌ریزی هدف^۳ در زیرحوزه گرمابدشت از زیرحوزه‌های قره‌سو در استان گلستان نشان دادند که الگوی پیشنهادی بر اساس دیدگاه اقتصادی، برتری نسبی نسبت به دیدگاه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی دارد. غلامی [۳] ضمن تعیین تناوب زراعی بهینه با استفاده از برنامه‌ریزی خطی با هدف تعیین الگوی بهینه تناوب زراعی برای به‌دست آوردن درآمد خالص و مقایسه آن با وضع موجود، با تحلیل حساسیت مسئله نشان داد که درآمد خالص مزرعه حاصل از چهار تناوب زراعی بهینه و هم‌چنین نهاده‌های محدودکننده، تغییرات نسبتاً انعطاف‌پذیری دارد. فلاح شمسی [۲] نیز تخصیص زمین به 12 کاربری عمده در حوزه آبخیز کلیبرچای وسطی را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی با الگوی حمل و نقل و لحاظ محدودیت‌های توان سرزمین، وضعیت اقتصادی و زیست‌محیطی، ارزیابی اقتصادی نموده و ارتقای اقتصاد منطقه را با به‌کارگیری روش‌های مذکور و تغییر در نوع محصول و جابه‌جایی کاربری‌ها را تأیید کرد. مدل برنامه‌ریزی خطی چند منظوره برای کاهش اثرات محیطی و اقتصادی فرسایش خاک که ناشی از مدیریت نامناسب فعالیت‌های کاربری اراضی است، به‌وسیله نیک‌کامی و همکاران [۸] در یکی از زیر حوزه‌های آبخیز دماوند بکار گرفته شد. آنها ضمن تعیین کاربری‌های بهینه در این حوزه، نشان دادند که با به‌کارگیری مدیریت مناسب بر روی کاربری‌ها، می‌توان میزان فرسایش را کاهش و میزان درآمد کاربران را افزایش داد. نتایج تحقیق نشان داد تولید رسوب پنج درصد کاهش و سود سالانه 134 درصد افزایش

1. Tran Yen
2. Mahi Command
3. Goal Programming

A_{11} : درآمد ناخالص سالانه واحد سطح مربوط به هر کاربری (ریال در سال)
 A_{12} : هزینه تولید واحد سطح هر کاربری (ریال در سال)
 A_{13} : هزینه مربوط به هدررفت خاک در واحد سطح هر نوع کاربری (ریال در سال)
 C_{B1} : سوددهی مربوط به هر کاربری (ریال در سال)
 C_{B1} : فرسایش مربوط به هر کاربری (تن در هکتار در سال)
 B : مساحت کل منطقه (هکتار)
 مسئله مورد نظر با شرح جزئیات بیشتر، برای چهار کاربری باغ، مرتع، کشت آبی و کشت دیم به صورت معادله ۶ نوشته شد.

$$\text{Max}(Z_1) = [(A_{11} x_1 - (A_{12} x_1 + A_{13} x_1)) + (A_{21} x_2 - (A_{22} x_2 + A_{23} x_2)) + (A_{31} x_3 - (A_{32} x_3 + A_{33} x_3)) + [(A_{41} x_4 - (A_{42} x_4 + A_{43} x_4))]$$

رابطه (۶) برای بهینه سازی سود به شکل کلی رابطه (۷) خلاصه شد.

$$\text{Max}(Z_1) = C_{B1} x_1 + C_{B2} x_2 + C_{B3} x_3 + C_{B4} x_4 \quad (7)$$

همچنین با استفاده از رابطه (۸) کمینه سازی فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه انجام شد.

$$\text{Min}(Z_2) = C_{E1} x_1 + C_{E2} x_2 + C_{E3} x_3 + C_{E4} x_4 \quad (8)$$

$$X_1 < B_1$$

$$X_3 < B_2$$

$$X_4 < B_3$$

$$X_1 + X_3 < B_4$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = B_5$$

محدود به:

$$X_1 > B_6$$

$$X_2 > B_1 \quad (9)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 > 0$$

که در این معادلات:

X_1 : مساحت مربوط به باغات (هکتار)
 X_2 : مساحت مربوط به اراضی مرتعی (هکتار)
 X_3 : مساحت مربوط به زراعت آبی (هکتار)
 X_4 : مساحت مربوط به زراعت دیم (هکتار)
 A_{11} : درآمد ناخالص در واحد سطح باغات (ریال هکتار)
 A_{12} : هزینه تولید در واحد سطح باغات (ریال در هکتار)
 A_{13} : خسارت فرسایش واحد از سطح باغات (ریال در هکتار)
 A_{21} : درآمد ناخالص در واحد سطح اراضی مرتعی (ریال/هکتار)
 A_{22} : هزینه تولید در واحد سطح اراضی مرتعی (ریال/هکتار)
 A_{23} : خسارت فرسایش واحد سطح اراضی مرتعی (ریال/هکتار)
 A_{31} : درآمد ناخالص واحد از سطح اراضی آبی (ریال/هکتار)
 A_{32} : هزینه تولید در واحد سطح اراضی آبی (ریال/هکتار)

مربوطه تهیه شد. فرسایش خاک نیز با استفاده از روش MPSIAC برآورد شد. سپس گزینه های مورد مطالعه در سه وضعیت زیر مطالعه و بررسی شد.

- وضعیت کنونی کاربری ها
- وضعیت کنونی کاربری ها و اعمال مدیریت اراضی
- وضعیت استاندارد کاربری ها

میزان هزینه و درآمدهای کاربری های موجود با مطالعات میدانی محاسبه گردید. میزان خسارات ناشی از فرسایش با تبدیل میزان فرسایش خاک به سطح اراضی با کاربری مشخص و با عمق خاک معادل برآورد شد. بهینه سازی الگوی کشت با تعیین معادلات مربوطه به منظور کاهش میزان فرسایش و افزایش میزان درآمد بهره برداران به وسیله نرم افزار LINGO و به روش سیمپلکس با استفاده از رابطه (۱) حل گردید:

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

$$X_i > 0$$

که در آن:

X_1 : مساحت مربوط به هر کاربری اراضی (هکتار)
 B : مساحت کل منطقه (هکتار)

با توجه به خطی بودن توابع هدف، برنامه ریزی خطی چند هدفی^۱ انتخاب شد و از آنجایی که روش سیمپلکس نیازی به تبدیل بهینه سازی چند هدفی به نوع یک هدفی ندارد، برای حل مسئله مورد استفاده قرار گرفت.

مسئله عمومی بهینه سازی چند هدفه با n متغیر تصمیم و محدودیت و p هدف در روابط ۲ تا ۸ ارائه شده است. با استفاده از این روابط، شکل عمومی مسئله جهت تابع بیشینه سازی سود در حوزه آبخیز به صورت رابطه ۲ نوشته می شود.

$$\text{Max}(Z_1) = [(A_{11} - A_{12} + A_{13}) X_1] \quad (2)$$

رابطه ۲ را می توان به صورت رابطه ساده شده ۳ نمایش داد.

$$\text{Max}(Z_1) = C_{B1} X_1 \quad (3)$$

در نهایت شکل عمومی مسئله جهت تابع کمینه سازی فرسایش در حوزه آبخیز قوشچی به صورت رابطه ساده شده ۴ نوشته شد.

$$\text{Min}(Z_2) = C_{B1} X_1 \quad (4)$$

محدود به:

$$X_1 = B \quad (5)$$

$$X_1 > 0$$

که در این معادلات:

Z_1 : درآمد خالص سالانه کل حوزه آبخیز (ریال در سال)
 Z_2 : فرسایش سالانه کل حوزه آبخیز (تن در سال)
 X_1 : مساحت مربوط به هر کاربری (هکتار)

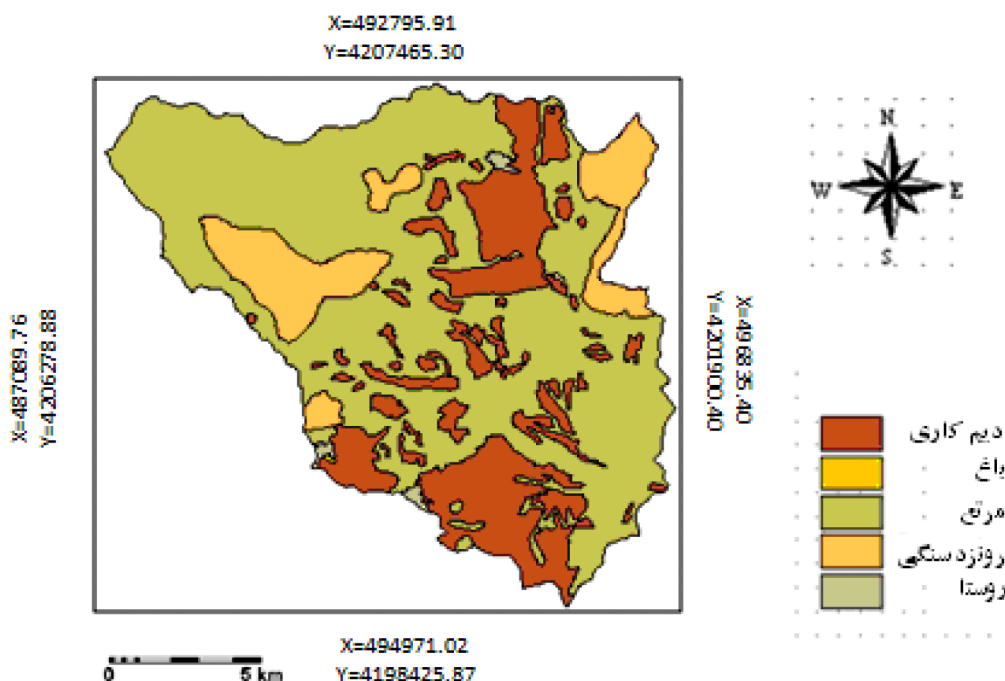
1. Multi-objective linear programming

از مجموع ۵۱۸۶ هکتار مساحت آبخیز قوشچی، ۳۴۹۶ هکتار آن شامل چهار نوع کاربری شامل باغات، مرتع با بیشترین مساحت، کشت آبی با کمترین سطح و دیم‌کاری است (جدول ۱). کمترین میزان فرسایش مربوط به کاربری باغات و بیشینه آن به مرتع تعلق دارد (شکل ۲). متوسط شیب حوزه ۲۷/۴ درصد می‌باشد که بیش از ۸۵ درصد آن دارای شیب بالای ۱۲ درصد می‌باشد. پراکنش ارتفاعی حوزه از ۱۴۸۳ تا ۲۷۱۶ متر است. واحدهای سنگی موجود عمدتاً از نوع رسوبات آبرفتی، ماسه سنگ و شیل می‌باشند. متوسط بارندگی حوزه در حدود ۳۰۳/۳ میلیمتر در سال می‌باشد. مساحت مراتع حدود ۲۲۸۳ هکتار است و تیپ‌های مرتعی مانند گونه‌های گون، انواع فورب‌ها و گراس‌های یک‌ساله و آویشن بیشترین حضور را در تیپ‌های گیاهی شناسایی شده به خود اختصاص داده‌اند.

ضرایب مسئله بهینه‌سازی چند هدفه با n متغیر تصمیم و محدودیت، و p هدف در سه گزینه وضعیت فعلی کاربری‌ها بدون اعمال مدیریت اراضی، وضعیت فعلی کاربری‌ها با اعمال مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد کاربری‌ها در جداول (۱ الی ۳) ارائه شده‌اند.

در مسئله بهینه‌سازی الگوی کشت آبخیز قوشچی، هفت محدودیت مربوط به سطح اراضی هر کاربری، میزان آب، سطح کل اراضی تخصیص یافته به کاربری‌ها و غیر منفی بودن متغیرها جهت مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی در نظر گرفته شد که در زیر شرح دو محدودیت برای نمونه ارائه شده است.

محدودیت اول



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی

Fig 2. The land use map

- A_{33} : خسارت فرسایش واحد از سطح اراضی آبی (ریال/هکتار)
- A_{41} : درآمد ناخالص واحد از سطح اراضی دیم (ریال/هکتار)
- A_{42} : هزینه تولید در واحد سطح اراضی دیم (ریال/هکتار)
- A_{43} : خسارت فرسایش واحد از سطح اراضی دیم (ریال/هکتار)
- C_{B1} : سود خالص سالانه در واحد سطح باغات (ریال/هکتار)
- C_{B2} : سود خالص سالانه در واحد سطح مراتع (ریال/هکتار)
- C_{B3} : سود خالص سالانه در واحد اراضی آبی (ریال/هکتار)
- C_{B4} : سود خالص سالانه در واحد اراضی دیم (ریال/هکتار)
- C_{E1} : فرسایش در واحد سطح باغات (تن در هکتار در سال)
- C_{E2} : فرسایش در واحد سطح مراتع (تن در هکتار در سال)
- C_{E3} : فرسایش در واحد سطح اراضی آبی (تن در هکتار در سال)
- C_{E4} : فرسایش در واحد سطح اراضی دیم (تن در هکتار در سال)
- B_1 : بیشترین سطح مربوط به باغات (هکتار)
- B_2 : سطح اراضی زراعی آبی (هکتار)
- B_3 : سطح اراضی زراعی دیم (هکتار)
- B_4 : مساحت باغات به علاوه اراضی آبی (هکتار)
- B_5 : مساحت کل منطقه (هکتار)
- B_6 : کمترین سطح باغات (هکتار)
- B_7 : کمترین سطح مراتع (هکتار)

در نهایت حساسیت به تغییرات ۱۰ تا ۵۰ درصدی منابع قابل تغییر نسبت به حالت بهینه تحلیل و مناسب‌ترین گزینه کاربری و مدیریت اراضی با مقایسه میزان فرسایش و سود در هر یک از گزینه‌ها تعیین گردید.

نتایج:

جدول ۱- مقادیر متوسط ضرایب مسئله بهینه سازی در وضعیت کنونی

Table 1. Mean values of the coefficients of the problem optimization in the current situation

خسارت فرسایش خاک Soil erosion damage	سود خالص Net Income	درآمد ناخالص Gross Income	هزینه Cost	فرسایش سالیانه (تن در هکتار در سال) Annual erosion (tons/ha/y)	سطح (هکتار) Area (ha)	کاربری Land use
(ریال در هکتار در سال)(Rials/ha/y)						
1151960	7706029	13610029	5904000	8	408	باغ Horticulture
205869	4046670	7847204	3800534	14	2283	مرتع Range
2781065	2202031	4203343	2001312	10	169	آبی Irrigated Farm
738994	2464019	2840660	376641	12	636	دیم Dryfarming

جدول ۲- مقادیر متوسط ضرایب مسئله بهینه سازی در وضعیت اعمال مدیریت اراضی

Table 2. Mean values of the coefficients of the problem optimization of land management practices

خسارت فرسایش خاک Soil erosion damage	سود خالص Net Income	درآمد ناخالص Gross Income	هزینه Cost	فرسایش سالیانه (تن در هکتار در سال) Annual erosion (tons/ha/y)	سطح (هکتار) Area (ha)	کاربری Land use
(ریال در هکتار در سال)(Rials/ha/y)						
752970	13990829	2284829	8856000	5	408	باغ Horticulture
205899	4035669	7857204	3821534	10	2283	مرتع Range
1750050	3212030	5213343	2001312	6	169	آبی Irrigated Farm
659547	2285580	2640000	354420	9	636	دیم Dryfarming

جدول ۳- مقادیر متوسط ضرایب مسئله بهینه سازی در وضعیت استاندارد

Table 3. Mean values of the coefficients of the problem optimization in the standard setting

خسارت فرسایش خاک Soil erosion damage	سود خالص Net Income	درآمد ناخالص Gross Income	هزینه Cost	فرسایش سالیانه (تن در هکتار در سال) Annual erosion (tons/ha/y)	سطح (هکتار) Area (ha)	کاربری Land use
(ریال در هکتار در سال)(Rials/ha/y)						
252970	13990829	22846829	8856000	4	507	باغ Horticulture
115194	4005670	7857204	3821534	9	2283	مرتع Range
1001250	3313030	5314343	2001312	4	136	آبی Irrigated Farm
697432	3064019	3440660	376641	8	580	دیم Dryfarming

می شود.
 $X_1 < 507$
 (۵)
 محدودیت دوم
 محدودیت دوم مربوط به زمین هایی است که زیر کشت محصولات

این محدودیت برای مساحت اراضی باغی موجود در نظر گرفته شد که ۴۰۸ هکتار بوده اما این سطح می تواند به ۵۰۷ هکتار افزایش یابد. دلیل این افزایش امکان اختصاص زمین های با شیب و عمق مناسب خاک می باشد. این محدودیت به شکل رابطه ۱۰ نشان داده

جدول ۴- جدول سیمپلکس مسئله بهینه سازی کاربری اراضی حوزه قوشچی در وضعیت کنونی
Table 4. Simplex table for problem optimization of Qushchi land use in the current situation

توابع Function	عوامل Factors	X1 باغ Horticulture	X2 مرتع Range	X3 کشت آبی Irrigated Farm	X4 کشت دیم Dry farming	نوع تابع Function Type	سمت راست معادله Right position of Relationship
تابع هدف ۱ Objective Function 1		7706027.84	4046669.70	2202028.22	2464018.26	Max	0
تابع هدف ۲ Objective Function 2		-8	-14	-10	-12	Max	0
محدودیت ۱ Limitation 1		1	0	0	0	<	507
محدودیت ۲ Limitation 2		0	0	1	0	<	136
محدودیت ۳ Limitation 3		0	0	0	0	<	580
محدودیت ۴ Limitation 4		1	0	1	0	<	643
محدودیت ۵ Limitation 5		1	1	1	1	<	3496
محدودیت ۶ Limitation 6		1	0	0	0	>	408
محدودیت ۷ Limitation 7		0	1	0	0	>	2283

جدول ۵- مساحت کاربری‌ها در دو حالت بهینه شده و نشده

Table 5. Area of land uses in both of optimal and non-optimal state

Allocated area (ha)	سطح اختصاص یافته (هکتار)	Land use type	نوع کاربری
After Optimisation	Before Optimisation		
507	408	Horticulture	باغ
2283	2283	Range	مرتع
136	169	Irrigated Farm	آبی
570	636	Dryfarming	دیم

تصمیم‌گیری هستند که در ردیف‌های ۲ و ۳ به ترتیب دارای واحد پول و فرسایش هستند. اعداد یک و صفر در بقیه ردیف‌ها به ترتیب حضور و یا عدم حضور متغیر را در محدودیت‌ها نشان می‌دهد. ردیف‌های ۲ و ۳ در ستون ۶ مشخص کننده نوع معادله هدف از نظر کمینه یا بیشینه نمودن است در حالی که بقیه ردیف‌ها تساوی یا عدم تساوی طرفین معادلات محدودیت‌ها را مشخص می‌سازند. در ستون آخر مقدار سمت راست معادلات محدودیت‌ها ملاحظه می‌شود که نماینده مقدار در اختیار بودن سطح اراضی است.

نتایج حاصل از حل معادلات بهینه سازی توسط نرم‌افزار Lingo نشان داد برای هر سه گزینه مورد بررسی شامل وضع موجود، وضعیت با مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد، سطح بهینه

آبی قرار گرفته‌اند (۱۶۹ هکتار) اما با توجه به شرایط استاندارد مورد نیاز برای کشت آبی، عمق خاک و نیز قابلیت دسترسی به آب، فقط ۱۳۶ هکتار دارای پتانسیل کشت آبی هستند و به همین دلیل میزان این اراضی از ۱۶۹ هکتار به ۱۳۶ هکتار کاهش خواهد یافت (رابطه ۱۱).

(۱۱) $X_3 \leq 136$
در ادامه حل مسئله و دستیابی به مناسب‌ترین وضعیت کاربری اراضی، جداولی برای اجرای روش سیمپلکس خطی چند هدفی برای کاربری‌ها با توابع هدف‌گذاری شده و محدودیت‌ها، تعریف گردید که یک نمونه از این جداول در وضعیت کنونی کاربری‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

در این جدول ستون‌های ۲ تا ۵ از سمت چپ نشان‌دهنده متغیرهای

جدول ۶ - محاسبات سود و فرسایش در وضعیت کنونی کاربری‌ها در حوزه آبخیز قوشچی

Table 6. Calculation of profit and erosion in the current status of Qushchi watershed

سود خالص کل (ریال در سال) Total net Income (Rial/y)	سود خالص سالانه (ریال در هکتار در سال) Net Income (Rial/ha/y)	فرسایش کل (تن در سال) Total erosion (ton/y)	فرسایش سالانه (تن در هکتار) Annual erosion (ton/ha)	مساحت (هکتار) Area (ha)	کاربری Land use
3144059832	7706029	3264	8	408	باغ Horticulture
9238547610	4046670	31962	14	2283	مرتع Range
372143239	2202031	1690	10	169	آبی Irrigated Farm
1567116084	2464019	7632	12	636	دیم Dryfarming

جدول ۷ - سود و فرسایش حاصل از مدل بهینه سازی کاربری اراضی در وضعیت کنونی در حوزه آبخیز قوشچی

Table ۷. Profit and erosion of the current status of land use optimization model in Qushchi watershed

سود خالص کل (ریال در سال) Total net Income (Rial/y)	سود خالص سالانه (ریال در هکتار در سال) Net Income (Rial/ha/y)	فرسایش کل (تن در سال) Total erosion (ton/y)	فرسایش سالانه (تن در هکتار) Annual erosion (ton/ha)	مساحت (هکتار) Area (ha)	کاربری Land use
3906956703	7706029	4056	8	507	باغ Horticulture
9238547610	4046670	31962	14	2283	مرتع Range
299476216	2202031	1360	10	136	آبی Irrigated Farm
1404490830	2464019	6840	12	570	دیم Dryfarming

جدول ۸ - مقایسه مقادیر فرسایش قبل و بعد از بهینه سازی کاربری اراضی در گزینه‌های مختلف (تن در سال)

Table 8. Comparison of erosion before and after optimization of land use options (tons per year)

وضعیت استاندارد standard setting		وضعیت اعمال مدیریت اراضی land management practices		وضعیت کنونی current status		کاربری Land use
بعد از بهینه‌سازی after Optimization	قبل از بهینه‌سازی Before Optimization	بعد از بهینه‌سازی after Optimization	قبل از بهینه‌سازی Before optimization	بعد از بهینه‌سازی after Optimization	قبل از بهینه‌سازی Before Optimization	
2028	2028	2535	2040	4056	3264	
20547	20547	22830	22830	31960	31962	مرتع Range
544	544	816	1014	1360	1690	آبی Irrigated Farm
4560	4640	5130	5724	6840	7632	دیم Dryfarming
27679	27759	31311	31608	44218	44548	کل Total

جدول ۹ - مقایسه مقادیر سود سالانه قبل و بعد از بهینه سازی کاربری اراضی در گزینه‌های مختلف (ریال در سال)
Table 9. Comparison of annual profits before and after optimization of land use options (Rials per year)

وضعیت استاندارد standard setting		وضعیت اعمال مدیریت اراضی land management practices		وضعیت کنونی current status		کاربری Land use
بعد از بهینه‌سازی after Optimization	قبل از بهینه‌سازی Before Optimization	بعد از بهینه‌سازی after Optimization	قبل از بهینه‌سازی Before optimization	بعد از بهینه‌سازی after Optimization	قبل از بهینه‌سازی Before Optimization	
5934956703	5934956703	5934956703	4776059832	3906956703	3144059832	باغ Horticulture
9352697610	9352697610	9352697610	9352697610	9238547610	9238547610	مرتع Range
590530224	590530224	449076216	558043239	299476216	372143239	آبی Irrigated Farm
1910560600	1877619900	1649619900	1840628520	1404490830	1567116084	دیم Dryfarming
17755804437	17755804437	17386350429	16527429201	14849471359	14321866765	کل Total

جدول ۱۰ - تغییرات سود خالص کل حوزه بعد از بهینه سازی کاربری اراضی نسبت به وضعیت حال در گزینه‌های مختلف
Table 10. Changes in total net profit after optimization of the land use in relation to different options

وضعیت استاندارد standard setting		بعد از بهینه سازی After Optimization وضعیت اعمال مدیریت اراضی land management practices		وضعیت کنونی current status		قبل از بهینه سازی Before Optimization
درصد افزایش Increase (%)	مقدار (ریال در سال) Amount (Rials/y)	درصد افزایش Increase (%)	مقدار (ریال در سال) Amount (Rials/y)	درصد افزایش Increase (%)	مقدار (ریال در سال) Amount (Rials/y)	وضعیت کنونی current status
24.20	17755804437	21.39	17386350429	3.68	14849471359	14321866765

جدول ۱۱ - تغییرات فرسایش کل حوزه بعد از بهینه سازی کاربری اراضی نسبت به وضعیت حال در گزینه‌های مختلف
Table 11. Erosion rate changes after land use optimizing changes in relation to different options

وضعیت استاندارد standard setting		بعد از بهینه سازی After Optimization وضعیت اعمال مدیریت اراضی land management practices		وضعیت کنونی current status		قبل از بهینه سازی Before Optimization
درصد افزایش Increase (%)	مقدار (ریال در سال) Amount (Rials/y)	درصد افزایش Increase (%)	مقدار (ریال در سال) Amount (Rials/y)	درصد افزایش Increase (%)	مقدار (ریال در سال) Amount (Rials/y)	وضعیت کنونی current status
60.95	27679	42.27	31311	0.75	44218	44548

قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی انجام شد که نمونه آن برای وضعیت کنونی کاربری‌ها در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است. پس از آن، مقادیر بدست آمده برای سه گزینه وضعیت کنونی، وضعیت اعمال مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد مقایسه گردید که نتایج

کاربری‌های اراضی که بتواند با حداقل نمودن فرسایش، درآمد را به حداکثر برساند به شرح جدول ۵ خواهد بود. در همین جدول مساحت کاربری‌ها در دو حالت بهینه شده و نشده ارائه شده است. با استفاده از این جدول محاسبات مربوط به مقادیر فرسایش و سود در

این فرآیند، تفسیر اقتصادی تغییرات ایجاد شده در توابع هدف با استفاده از معیار ارزش سایه و همچنین نسبت تغییرات ایجاد شده در آنها نسبت به حالت بهینه صورت پذیرفته و در نهایت مبادرت به شناسایی عامل حساس گردید که نتایج برخی از آنها در وضعیت فعلی در اشکال ۲ و ۳ و ۴ برای نمونه نشان داده شده است.

بحث و نتیجه گیری

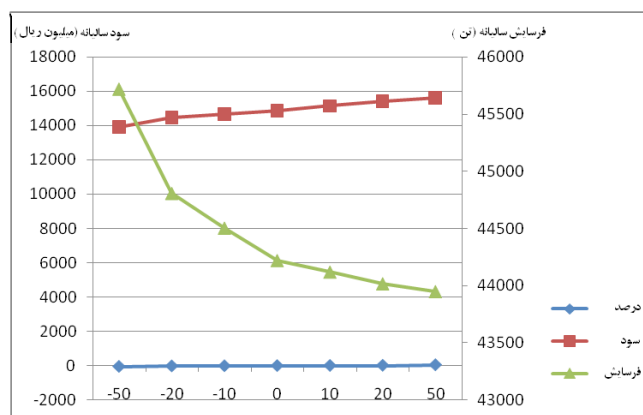
در این تحقیق از برنامه ریزی خطی برای بهینه سازی کاربری ها استفاده شد که با نتایج تحقیقات لیو و استیوارت [۵] مطابقت دارد ولی بنلی و کودال [۱] بر استفاده از برنامه ریزی غیر خطی در راستای بهینه سازی سود در اراضی کشاورزی تاکید داشته اند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در صورت بهینه سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش تا حدود ۶۱ درصد می تواند کاهش یابد. علت کاهش فرسایش مربوط به کاهش سطح اراضی دیم و کشت آبی و افزایش سطح اراضی باغی است. همچنین تا حدود ۲۴ درصد نسبت به شرایط قبل از بهینه سازی بر میزان سوددهی منطقه افزوده شده است. این نتایج با نتایج تحقیقات سایر محققان چون نیک کامی و همکاران [۸]، جلیلی [۴] و سینگ و سینگ [۱۵] همخوانی دارد. نتایج بدست آمده از انتخاب حساس ترین عامل مدل نیز نشان داد که تغییر در سطح اراضی باغی و مرتعی، بیشترین تاثیر را در تغییر میزان سوددهی و فرسایش منطقه دارد.

نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می دهد که، وضعیت فعلی کاربری اراضی در حوضه آبخیز قوشچی برای به حداقل رساندن فرسایش خاک مناسب نیست زیرا میزان فرسایش بعد از اجرای مدل بهینه سازی کاربری اراضی در منطقه بدون اعمال مدیریت اراضی فقط ۰/۷۵ درصد کاهش یافته است و لازم است اقدامات مدیریتی جهت بهینه کردن آنها منظور گردد. همچنین با مدیریت بر

آن در جداول ۸ و ۹ و مقدار افزایش سوددهی و کاهش فرسایش حاصل از بهینه سازی در جداول ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است. نتایج جدول ۱۰ نشان می دهد که در صورت بهینه سازی کاربری اراضی، میزان سود خالص کل اراضی در وضعیت فعلی ۳/۶۸ درصد، در وضعیت اعمال مدیریت اراضی ۲۱/۳۹ درصد و در شرایط استاندارد ۲۴/۲۰ درصد افزایش می یابد. به همین ترتیب نتایج ارائه شده در جدول ۱۱ نشان می دهد که در صورت بهینه سازی کاربری اراضی میزان فرسایش در وضعیت فعلی ۰/۷۵ درصد، در وضعیت اعمال مدیریت اراضی ۴۲/۲۷ درصد و در شرایط استاندارد ۶۰/۹۵ درصد کاهش می یابد.

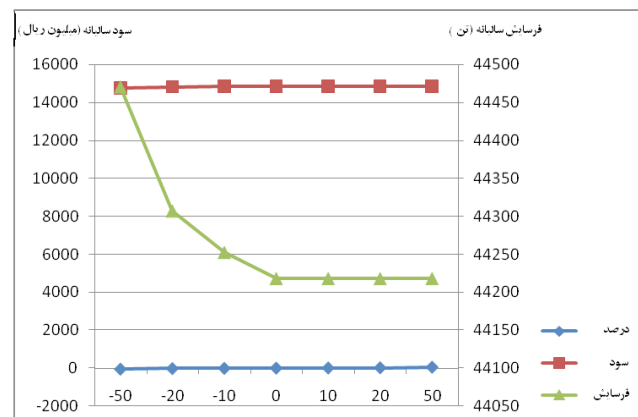
برای بررسی تاثیر تغییرات در منابع به دلیل قابلیت تنظیم مقادیر آنها در مقایسه با دیگر عوامل مدل، تحلیل حساسیت انجام شد. در



شکل ۳ - تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به درصد تغییرات بیشترین سطح اراضی باغی در وضعیت کنونی
 Fig 3. Sensitivity analysis of objective functions in relation to the highest area of horticultural land in current status



شکل ۵ - تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به درصد تغییرات بیشترین سطح زراعت های باغی و آبی در وضعیت کنونی
 Fig 4. Sensitivity analysis of objective functions ratio to the highest area of irrigated farms and horticulture in current status



شکل ۴ - تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به درصد تغییرات بیشترین سطح زراعت آبی در وضعیت کنونی
 Fig 4. Sensitivity analysis of objective functions in relation to the highest area of irrigated farms in current status

And Kholgi, M. 1382. Determination of optimal utilization of resources of watersheds using goal programming. Iranian Journal of Natural Resources, 56 (1 & 2): 3-16. (in persian)

7- NikKami, D., 1381. Optimization of soil erosion in the Damavand catchment, Iranian Journal of Pjoushesh va Sazandegi, 54: 82-89. (in persian)

8- Nikkami, D. Elektorowicz, M., Mehuys, G.R. 2002. Optimizing the Management of Soil Erosion. Water Quality Research Journal of Canada, 37(3): 577-586.

9- Nikkami, D., Shabani, M., Ahmadi, H. 2009. Land Use Scenarios and Optimization in a Watershed. Journal of Applied Sciences, 9(2): 287-295.

10- Pasour, E.C. 1983. Land use planning: Implications of the economic calculation debate, Journal of Librarian Studies, VII (1):127-139.

11- Pfaff, A.S.P., Sanchez-Azofeifa, G.A. 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.

12- Riedel, C. 2003. Optimizing Land Use Planning for Mountainous Regions using LP and GIS towards Sustainability. Journal of Soil Conservation., USA, 34(1): 121-124.

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

14- Shively, G., Coxhead, I. 2004. Conducting economic policy analysis at a landscape scale: examples from a Philippine watershed, Agriculture Ecosystem and Environment, 104(1): 159-170.

15- Singh, A.K., Singh J.P. 1999. Production and Benefit Maximization through Optimal Crop Planning- a Case Study of Mahi Command. Indian Journal of Soil Conservation, 27(2):157-152.

16- Tra, N.T., Egashira, K. 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.

17- Wang, X.H., Yu, S., Huang, G.H. 2004. Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level, Landscape and Urban Planning, 66 (2): 61-74.

روی کاربری‌های مختلف اراضی، می‌توان علاوه بر کاهش فرسایش، میزان درآمد ساکنین حوضه را افزایش داد.

پیشنهادات

با توجه به بررسی‌های میدانی و گفتگو با اهالی منطقه، اگرچه مردم در حال حاضر از لحاظ معیشتی در وضعیت نامناسبی به سر می‌برند، سرانه درآمد آنها اندک می‌باشد و امکانات رفاهی و زیربنایی مناسبی در حوزه وجود ندارد اما باقی‌ماندن اهالی فعلی در روستاها و تلاش جهت امرار معاش نشان می‌دهد که مردم این منطقه به زندگی امیدوار و علاقمند به آبادانی منطقه خود می‌باشند و تنها نیاز به ابزارهای لازم و هدایت مناسب دارند. طبیعی است در صورت آموزش‌های لازم، ارائه تسهیلات و سرمایه‌گذاری مناسب، با توجه به پتانسیل‌های طبیعی و وجود مردمی سخت‌کوش در منطقه می‌توان جهت بهبود وضعیت معیشتی روستائیان منطقه برنامه‌ریزی نمود. در این میان، با ایجاد حس مشارکت و اطمینان لازم در میان اهالی می‌توان از تجربه و توان آنها جهت توسعه منطقه استفاده کرد. لذا پیشنهاد می‌شود با استفاده از وسایل ارتباط جمعی، آموزشی و ترویجی، به روستائیان، اهمیت و نقش مدیریت اراضی و نحوه صحیح استفاده از اراضی، اشاعه و با ایجاد انگیزه و در اختیار گذاشتن تسهیلات بانکی و رفاهی به تشویق آنها بر پذیرش نتایج مربوط به چنین تحقیقاتی اقدام گردد.

منابع

1- Benli, B., Kodal, S. 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.

2- Flah-Shamsi, R. 1383. Economic assessment of different applications in the Middle Kalaybar-chay Watershed (North Arasbaran) using linear programming and GIS, PhD thesis of Forestry, Natural Resources Faculty of Tehran University, 331 p. (in persian)

3- Gholami, M. 1382. Determination of the optimal crop rotation using linear programming (case study farm of 110 ha in Bojnoord). Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, 10 (1): 17-24. (in persian)

4- Jalili, Kh. 1383. Optimization land use of watershed to minimize soil erosion using linear programing. MSc thesis of watershed management of natural resources Department, Tarbiat Modarres University. 87 p. (in persian)

5- Liu, D., Stewart, T.J. 2004. Object-Oriented Decision Support System Modeling for Multicriteria Decision Making Natural Resource Management. Computer and Operation Research, 31(2004) 985-999.

6- Mohseny saravi, M., Farzanegan, M., Koopayee, M.