نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

سال نهم- شماره ۳۱- زمستان ۱۳۹۴

Vol. 9, No. 31, Winter 2015

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

رضا سکوتی اسکوئی[۱]، داود نیک‌کامی[۲] و ابراهیم بروشکه[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش :۱۳۹٤/۷/۱۳

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 آذربایجان‌غربی 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 سه گزینه مختلف شامل وضعیت فعلی کاربری‌ها بدون اعمال مدیریت اراضی، وضعیت فعلی کاربری‌ها با اعمال مدیریت اراضی و وضعیت استاندارد 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 ٤۰۸ هکتار به ۵۰۷ هکتار، سطح اراضی مرتعی بدون تغییر، سطح اراضی کشت آبی از ۱٦۹ هکتار به ۱۳٦ هکتار و سطح اراضی دیم نیز از ٦۳٦ 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 ۳/٦۸ درصد افزایش، در صورت اعمال مدیریت اراضی ٤۲/۲۷ درصد کاهش و ۲۱/۳۹ درصد افزایش، و در شرایط استاندارد ٦۰/۹۵ درصد کاهش و ۲٤/۲۰ 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 [۱٤] 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 پا به عرصه مدیریت منابع نهاده است تا با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی[٤]، 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 آزوفیفا [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[۵] 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 بیشینه‌سازی سود در دو منطقه انگلیس را مدل‌سازی کردند. بنلی و کودال [۱] ضمن کاربرد برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی در بهینه‌سازی کاربری

۱- نویسنده و دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی، پست الکترونیک: rezasokouti@gmail.com
۲- استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
۳- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان‌غربی

4. Optimization
5. Economic Calculation Debate

اراضی جنوب شرقی آنتالیا در ترکیه در دست‌یابی به سود بیش‌تر، بر استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی در راستای بیشینه‌سازی سود در اراضی کشاورزی با توجه به محدودیت آب اشاره داشته‌اند. افزایش بهره‌وری اراضی کشاورزی و جنگلی در ژاپن[1] به‌دلیل تخصیص مناسب اراضی به کاربری‌های مختلف توسط ترا و اگاشیرا [۱۶] مورد تأیید قرار گرفت. نتایج تحقیق سینگ و سینگ [۱۵] در بررسی بیشینه‌سازی تولید و سود، با استفاده از برنامه‌ریزی بهینه کشت در یک مطالعه موردی در ماهی کوماند[2] هندوستان نشان داد که برنامه‌ریزی کشت در سطح منطقه تولیدات را از ۶۰ تا ۹۶ درصد و سود خالص را از ۲۳ تا ۲۶ 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 حوزهٔ آبخیز در چین با توجه به کاربری‌های موجود، شیب و فاصله تا منابع آب سطحی انجام شد. نتایج تحقیقات لیو و استیوارت [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[3] در زیرحوزهٔ 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 نسبتا انعطاف‌پذیری دارد. فلاح شمسی [۲] نیز تخصیص زمین به ۱۲ کاربری عمده در حوزهٔ 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 به کارگیری 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 ۱۳۴ درصد افزایش 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 به‌ترتیب ۷/۷۸٪ و ۱۱۸/۶۲٪ 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 حوزهٔ آبخیز قوشچی و حساسیت آن به تغییر انواع کاربری تعیین شود تا ضمن توجه به حفظ منابع و کاهش هدررفت آن، بیشینه‌سازی سوددهی کاربری‌های حوزهٔ آبخیز مورد نظر تحقق یابد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قوشچی با مساحت ۵۱۸۶ هکتار در استان آذربایجان‌غربی، شهرستان ارومیه قرارگرفته است. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۱۰″ ، ۵۱′ و ۴۴° تا ۵۲″ ، ۵۷′ و ۴۴° طول شرقی و ۰۱″ ، ۵۶′ و ۳۷° تا ۵۳″ ، ۰۰′ و ۳۸° 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 حوضه آبخیز قوشچی

Fig 1. Location of Qushchi catchment

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

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

- وضعیت کنونی کاربری‌ها
- وضعیت کنونی کاربری‌ها و اعمال مدیریت اراضی
- وضعیت استاندارد کاربری‌ها

میزان هزینه و درآمدهای کاربری‌های 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. بهینه‌سازی الگوی کشت با تعیین معادلات مربوطه به منظور کاهش میزان فرسایش و افزایش میزان درآمد بهره‌برداران به وسیله نرم‌افزار LINGO و به روش سیمپلکس با استفاده از رابطه (۱) حل گردید:

$$\sum_{i=1}^{n} X_i = B \qquad (۱)$$
$$X_i \geq 0$$

که در آن:

X_i: مساحت مربوط به هر کاربری اراضی (هکتار)

B: مساحت کل منطقه (هکتار)

با توجه به خطی بودن توابع هدف، برنامه‌ریزی خطی چند هدفی[1] انتخاب شد و از آنجایی‌که روش سیمپلکس نیازی به تبدیل بهینه‌سازی چند هدفی به نوع یک هدفی ندارد، برای حل مسئله مورد استفاده قرار گرفت.

مسئله عمومی بهینه‌سازی 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 بیشینه‌سازی سود در حوزه آبخیز به صورت رابطه ۲ نوشته می‌شود.

$$Max(Z_1)= [(A_{i1}- A_{i2} + A_{i3})X_i] \qquad (۲)$$

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

$$Max(Z_1)= C_{Bi}X_i \qquad (۳)$$

در نهایت شکل عمومی مسئله جهت تابع کمینه‌سازی فرسایش در حوزه آبخیز قوشچی به صورت رابطه ساده شده ٤ نوشته شد.

$$Min(Z_2)= C_{Bi}X_i \qquad (٤)$$

محدود به:

$$X_1 = B \qquad (۵)$$
$$X_1 > O$$

که در این معادلات:

Z_1: در آمد خالص سالانه کل حوزه آبخیز (ریال در سال)

Z_2: فرسایش سالانه کل حوزه آبخیز (تن در سال)

X_i: مساحت مربوط به هر کاربری (هکتار)

A_{i1}: درآمد ناخالص سالانه واحد سطح مربوط به هر کاربری (ریال در سال)

A_{i2}: هزینه تولید واحد سطح هر کاربری (ریال در سال)

A_{i3}: هزینه مربوط به هدررفت خاک در واحد سطح هر نوع کاربری (ریال در سال)

C_{Bi}: سوددهی مربوط به هر کاربری (ریال در سال)

C_{Bi}: 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 ٦ نوشته شد.

(٦)

$$Max(Z_1)= [(A_{11} x_1 -(A_{12} x_1 +A_{13} x_1))+ (A_{21} x_2 -(A_{22} x_2 +A_{23} x_2))+ (A_{31} x_3 -(A_{32} x_3 +A33 x_3))+ [(A_{41} x_4 -(A_{42} x_4 +A_{43} x_4))]$$

رابطه (٦) برای بهینه سازی سود به شکل کلی رابطه (۷) خلاصه شد.

$$Max(Z_1)=C_{B1} x_1+C_{B2} x_2+C_{B3} x_3+C_{B4} x_4 \qquad (۷)$$

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

$$Min(Z_2)=C_{E1} x_1+C_{E2} x_2+C_{E3} x_3+C_{E4} x_4 \qquad (۸)$$
$$X_1 < B_1$$
$$X_3 < B_2$$
$$X_4 < B_3$$
$$X_1 + X_3 < B_4$$
$$X_1+ X_2 +X_3 +X_4 = B_5$$

محدود به:

$$X_1 > B_6$$
$$X_2 > B_1 \qquad (۹)$$
$$X_1+ X_2 +X_3 +X_4 > 0$$

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 سطخ باغات (ریال در هکتار)٠

A_{13}: خسارت فرسایش واحد از سطح باغات (ریال درهکتار)

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)

A_{33}: خسارت فرسایش واحد از سطح اراضی آبی (ریال/هکتار)

A_{41}: درآمد ناخالص واحد از سطح اراضی دیم (ریال/ هکتار)

1. Multi-objective linear programming

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:

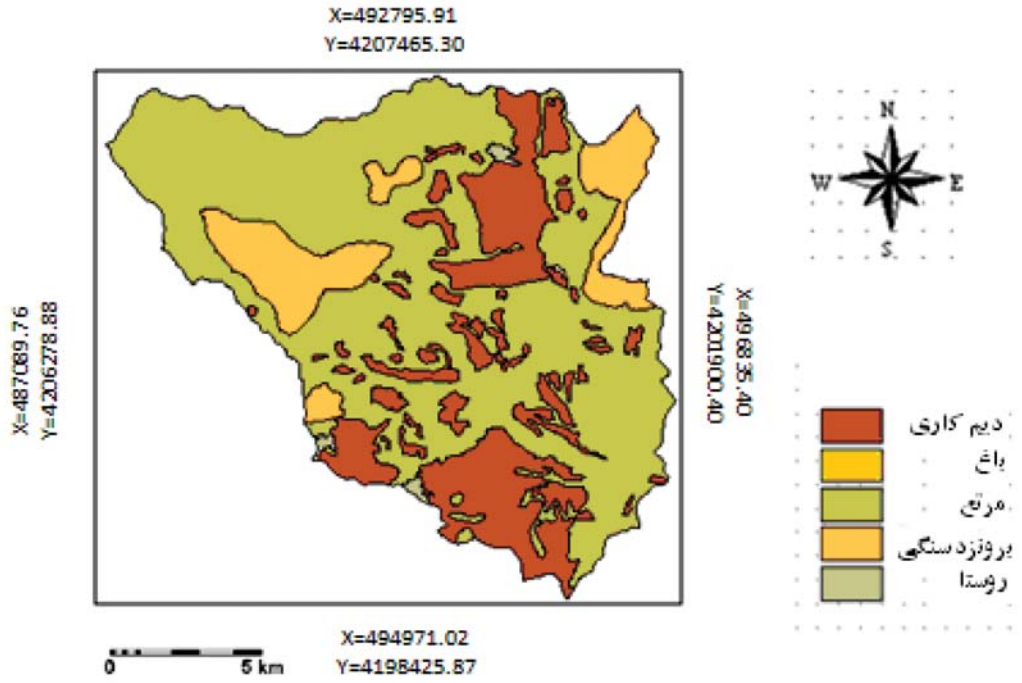
از مجموع ۵۱۸۶ هکتار مساحت آبخیز قوشچی، ۳۴۹۶ هکتار آن شامل چهار نوع کاربری شامل باغات، مرتع با بیش‌ترین مساحت، کشت آبی با کمترین سطح و دیم‌کاری است (جدول ۱). کمترین میزان فرسایش مربوط به کاربری باغات و بیشینه آن به مرتع تعلق دارد (شکل ۲). متوسط شیب حوزه ۲۷/٤ درصد می‌باشد که بیش از ۸۵ درصد آن دارای شیب بالای ۱۲ درصد می‌باشد. پراکنش ارتفاعی حوزه از ۱٤۸۳ تا ۲۷۱٦ 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.

درمسئله 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

این محدودیت برای مساحت اراضی باغی موجود در نظر گرفته شد که ٤۰۸ هکتار بوده اما این سطح می تواند به ۵۰۷ هکتار افزایش



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی

Fig 2. The land use map

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

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

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

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

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

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

یابد. دلیل این افزایش امکان اختصاص زمین‌های با شیب و عمق مناسب خاک می‌باشد. این محدودیت به شکل رابطه ۱۰ نشان داده می‌شود.

$$X_1<507 \quad (۵)$$

محدودیت دوم

محدودیت دوم مربوط به زمین‌هایی است که زیر کشت محصولات 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

جدول ٤- 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

عوامل Factors / توابع Function	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
محدودیت۱ **Limitation 1**	1	0	0	0	<	507
محدودیت۲ Limitation 2	0	0	1	0	<	136
محدودیت۳ **Limitation 3**	0	0	0	0	<	580
محدودیت٤ **Limitation 4**	1	0	1	0	<	643
محدودیت۵ Limitation 5	1	1	1	1	<	3496
محدودیت٦ **Limitation 6**	1	0	0	0	>	408
محدودیت۷ **Limitation 7**	0	1	0	0	>	2283

جدول۵- مساحت کاربری‌ها در دو حالت بهینه شده و نشده

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

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

۱۳٦ هکتار دارای پتانسیل کشت آبی هستند و به همین دلیل میزان این اراضی از ۱٦۹ هکتار به ۱۳٦ هکتار کاهش خواهد یافت (رابطه ۱۱).

$$X_3 \leq 136 \qquad (۱۱)$$

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 جدول٤ ارائه شده است.

در این جدول ستون‌های ۲ تا ۵ از سمت چپ نشان‌دهنده متغیرهای 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 ٦ 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 کاربری‌های اراضی که بتواند با حداقل نمودن فرسایش، درآمد را به حداکثر برساند به شرح جدول ۵ خواهد بود. در همین جدول

جدول ٦ - 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

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

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

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

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)

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

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

بعد از بهینه سازی After Optimization						قبل از بهینه سازی Before Optimization
وضعیت استاندارد standard setting		وضعیت اعمال مدیریت اراضی land management practices		وضعیت کنونی current status		
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

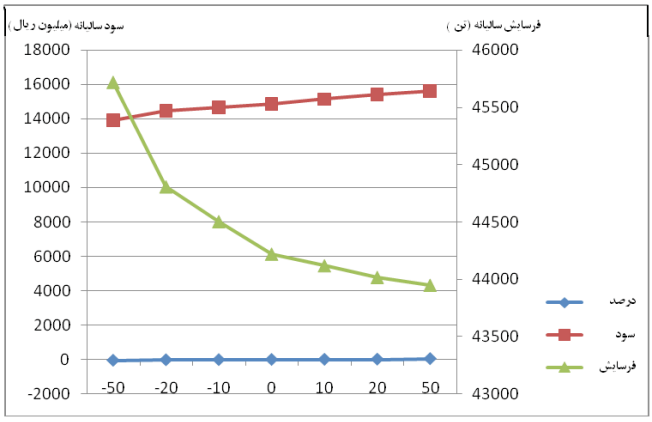
Table 11. Erosion rate changes after land use optimizing changes in relation to different options

بعد از بهینه سازی After Optimization						قبل از بهینه سازی Before Optimization
وضعیت استاندارد standard setting		وضعیت اعمال مدیریت اراضی land management practices		وضعیت کنونی current status		
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

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 قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی انجام شد که نمونه آن برای وضعیت کنونی کاربری‌ها در جداول ٦ و ٧ 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 آن در جداول ٨ و ٩ و مقدار افزایش سوددهی و کاهش فرسایش حاصل از بهینه‌سازی در جداول۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.

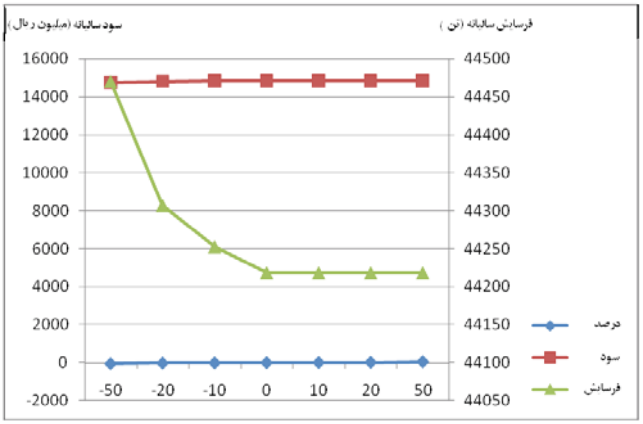
نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان سود خالص کل اراضی در وضعیت فعلی ۳/٦۸ درصد، در وضعیت اعمال مدیریت اراضی ۲۱/۳۹ درصد و در شرایط استاندارد ۲٤/۲۰ درصد افزایش می‌یابد. به همین ترتیب نتایج ارائه شده در جدول ۱۱ نشان می‌دهد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی میزان فرسایش در وضعیت فعلی ۰/۷۵ درصد، در وضعیت اعمال مدیریت اراضی ٤۲/۲۷ درصد و در شرایط استاندارد ٦۰/۹۵ درصد کاهش می‌یابد.

برای بررسی تاثیر تغییرات در منابع به دلیل قابلیت تنظیم مقادیر آنها در مقایسه با دیگر عوامل مدل، تحلیل حساسیت انجام شد. در این فرآیند، تفسیر اقتصادی تغییرات ایجاد شده در توابع هدف با استفاده از معیار ارزش سایه و همچنین نسبت تغییرات ایجاد شده



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 ٤ – 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

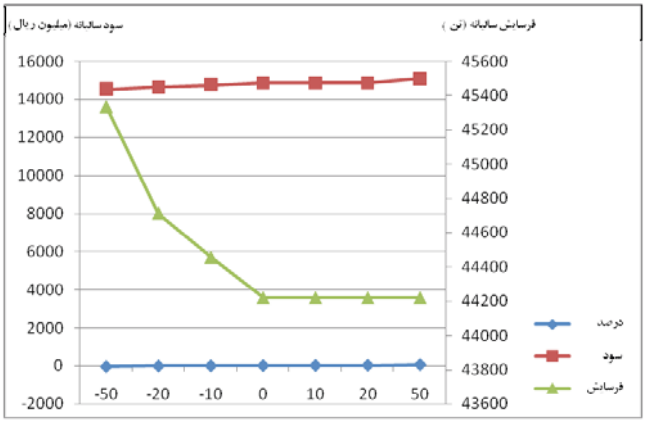
در آنها نسبت به حالت بهینه صورت پذیرفته و در نهایت مبادرت به شناسایی عامل حساس گردید که نتایج برخی از آنها در وضعیت فعلی در اشکال ۲ و ۳ و ٤ برای نمونه نشان داده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق از برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی کاربری‌ها استفاده شد که با نتایج تحقیقات لیو و استیوارت [۵] مطابقت دارد ولی بنلی و کودال [۱] بر استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی در راستای بیشینه‌سازی سود در اراضی کشاورزی تاکید داشته‌اند.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش تا حدود ٦۱ درصد می‌تواند کاهش یابد. علت کاهش فرسایش مربوط به کاهش سطح اراضی دیم و کشت آبی و افزایش سطح اراضی باغی است. همچنین تا حدود ۲٤ درصد نسبت به شرایط قبل از بهینه‌سازی بر میزان سوددهی منطقه افزوده شده است. این نتایج با نتایج تحقیقات سایر محققان چون نیک‌کامی و همکاران [۸] ، جلیلی [٤] و سینگ و سینگ [۱۵] همخوانی دارد. نتایج بدست آمده از انتخاب حساس‌ترین 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 می‌دهد 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 روی کاربری‌های مختلف اراضی، می‌توان علاوه بر کاهش فرسایش، میزان درآمد ساکنین حوضه را افزایش داد.



شکل ۵ – تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به درصد تغییرات بیشترین سطح زراعت‌های 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

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 سرمایه گذاری 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 می شود 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. 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 Pjouhesh 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.

نشریه علمی- پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering
Vol. 9, No. 31, Winter 2015
سال نهم- شماره ۳۱- زمستان ۱۳۹۴

Abstract

Optimizing Land Use Pattern to Reduce Soil Erosion, Case Study: Qushchi Watershed

R. SokoutiOskoee[1], D.Nikkami[2] and E.Brooshke[3]
Received: 2015.10.5 Accepted:2015.01.02

Soil erosion hazard in catchments are the major problems that can affect ecological balance of such areas. This study aimed to determine the optimal use of land to reduce erosion and increase the resident's income of Qushchi watershed in West Azerbaijan province. Income and expenses for the current land uses were calculated with field studies. Damages resulting from the soil erosion were estimated by soil depth equal to the specified land uses. For three different options including the current status of land uses without and with land management, and the standard status of land uses, multi-objective linear programming model was established by LINGO software. Then, the optimization problem of the land use was solved by simplex method. Finally, the best option of land use was determined by comparing erosion rate and its cost in each scenario. Then, the circumstances and the recommended conditions were compared. The results indicated that the current surface area of current land uses is not suitable to reduce erosion and increase income of residents and should change in the optimum conditions. At the optimum level, horticulture area of 408 to 507 (ha), irrigated land area of 169 to 136 (ha) and Dry farming of 636 to 570 (ha) should change while conversion of rangeland area not indispensable. In addition, the results showed that in case of the optimization of land use only, soil erosion and the profitability of the whole area will 0.75 percent decrease and 3.68 percent increase, respectively. In case of land management practices, 42.27 percent will decrease and 21.39 percent increase and with the standard conditions 60.95 percent will decrease and 24.20 percent increase. The results of the sensitivity analysis showed that the change in the horticulture and range land have the greatest impact on increasing profitability and reducing soil erosion of Qushchi watershed.

Keywords: linear programming, land management, soil erosion sensitivity analysis, profitability

1. Agricultural and Natural ResourcesResearch Centerof W. Azarbaijan. Corresponding Author Email: rezasokouti@gmail.com
2. Soil Conservation andWatershed Management Institute
3. Agricultural and Natural ResourcesResearch Centerof West Azarbaijan