مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۱۶

ص۷۹۵-۸۰۸

تحلیل حساسیت توابع هدف در مدل برنامه‌ریزی خطی به‌منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضهٔ آبخیز آدینه‌مسجد

❖ **حشمت‌اله آقارضی؛** عضو هیئت‌علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی
❖ **مهدی مردیان *؛** دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اراک، ایران
❖ **علی‌اکبر داوودی‌راد؛** دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس و عضو هیئت‌علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی
❖ **داوود نیک‌کامی؛** دانشیار پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری

چکیده

بهینه‌سازی کاربری اراضی، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی، یکی از روش‌های مدیریتی برای رسیدن به پایداری تولید و کاهش فرسایش خاک است. در این میان، تحلیل حساسیت مدل می‌تواند، با بررسی تأثیرپذیری نتایج از تغییرات پارامترهای ورودی، عدم قطعیت در تصمیم‌گیری برنامه‌های مدیریتی را کاهش دهد. بر این اساس، در تحقیق حاضر، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی و به کمک نرم‌افزار Lingo، بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضهٔ آبخیز آدینه‌مسجد در استان مرکزی انجام شد. سپس، در دامنهٔ مجاز تغییرات ۵۰- تا ۵۰+ درصدی سطح کاربری‌های اراضی، با توجه به ضرایب بیشینه‌ساز سود و کمینه‌ساز فرسایش، به تحلیل حساسیت مدل پرداخته شد. طبق نتایج، مقادیر توابع هدف فقط نسبت به حداکثر سطح اراضی دیم، آن هم به مقدار خیلی کم، حساسیت نشان می‌دهند؛ به طوری که، با کاهش ۱۰ درصدی حداکثر سطح اراضی دیم، میزان درآمد در وضعیت فعلی ۳٫۵ درصد، در وضعیت اعمال مدیریت ٤٫۲ درصد و در وضعیت استاندارد ۲٫٦ درصد کاهش می‌یابد. از طرفی، مقدار فرسایش در وضعیت فعلی ۰٫۱۸ درصد و در وضعیت اعمال مدیریت ۰٫۱۹ درصد کاهش می‌یابد. اما، در وضعیت استاندارد ۰٫۳٤ درصد افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج نشان داد تغییرپذیری سود از تغییرات سطح اراضی دیم متأثر است؛ در حالی که تغییرپذیری فرسایش از تغییرات سطح کاربری مرتع تأثیر می‌پذیرد.

واژگان کلیدی: افزایش درآمد، جدول سیمپلکس، سد کمال‌صالح، سناریوهای مدیریتی، کاهش فرسایش خاک.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۳۳۶۷۵۵۷۳-۰۸۶ نمابر: ۳۳۶۷۵۵۶۹-۰۸۶
Email: mehdimardian@gmil.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

ایجاد زیرساخت‌های توسعه و سایر فعالیت‌های اقتصادی ناشی از فعالیت‌های انسانی باعث تغییرات مهم در سیستم طبیعی یک حوضهٔ آبخیز می‌شود. از مهم‌ترین عوامل ناشی از فعالیت‌های انسانی که بر تغییرات رسوب‌دهی حوضهٔ آبخیز اثرگذارند می‌توان به دخل و تصرف اراضی برای توسعهٔ کشاورزی، احداث سدها و تغییرِ مسیر رودخانه‌ها اشاره کرد [۵]. از طرفی، در اقتصاد مبتنی بر کشاورزی، که در بیشتر کشورهای در حال توسعه و توسعه‌یافته رایج است، لزوم طرح‌ریزی همه‌جانبه به منظور استفاده از منابع تولید کشاورزی برای دست یافتن به بیشترین بازده اقتصادی ضروری است [۱۳]. بنابراین، شناخت اهمیت فراوان منابع اراضی و بهینه‌سازی آن از اصول برنامه‌های مدیریت حوضه‌های آبخیز است که باید با ترویج و توسعهٔ کاربری اراضی بهینه برای نگه‌داشت و افزایش حاصل‌خیزی منابع خاک صورت پذیرد. پیامد این شناخت متقابل از منابع آب و خاک و بهادادن به آن موجبِ افزایش رفاه مردم و عدم وابستگی اقتصادی کشورها خواهد شد [۱۴].

در این زمینه، علم مدیریت کشاورزی، با در نظر گرفتن رابطهٔ بین عوامل مختلف کشاورزی، برای دست‌یابی به بیشترین سود پا به عرصهٔ مدیریت نهاده است تا با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مسائل موجود در عرصه‌های طبیعی را مدل‌سازی کند [۲۰]. بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیز با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، با توجه به دیدگاه متضاد نیازها و منابع محدود زمین، یکی از روش‌های مدیریتی برای رسیدن به پایداری و نیز تخصیص بهینهٔ اراضی به منظور رسیدن به بیشترین سود است [۱۵]. در این میان، از تحلیل حساسیت برای تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و همچنین تعیین اولویت تأثیر پارامترها بر خروجی استفاده می‌شود. تحلیل حساسیت روشی است که به وسیلهٔ آن تأثیر پارامترهای ورودی، به منزلهٔ متغیر مستقل، بر خروجی‌های مدل بررسی می‌شود [۱۸]. بنابراین، با آگاهی از روابط داخلی پارامترهای هر مدل، بهتر می‌توان ارتباط پارامترها را با یکدیگر درک و حساسیت مدل را در نقاط مختلف مشخص کرد [۶، ۱۷].

نتایج تحقیقات حاکی از آن است که توابع هدف تأثیرپذیری بسیاری از حداکثر سطح اراضی آبی و باغی دارند [۴، ۱۱، ۱۴]. همچنین، با تحلیل حساسیت مدل برنامه‌ریزی خطی به منظور بهینه‌سازی سطح کاربری اراضی، تغییرِ سطح اراضی باغی و دیم بیشترین تأثیر را در تغییر میزان رسوب‌دهی و فرسایش خاک داشته است [۱۹]. در تحقیقی مشابه نیز تغییرِ سطح اراضی جنگلی و باغی بیشترین تأثیر را در افزایش درآمد خالص، کاهش فرسایش و هدرروی عناصر غذایی خاک به جای گذاشت [۳]. همچنین، نتیجه گرفته شد هنگامی که حداکثرکردن تولید، به منزلهٔ هدف اصلی، مد نظر است، ۸۶٫۶ درصد منطقه فقط به کشت گندم و سبزیجات اختصاص یافته و بهره‌برداری کل از منابع آب ۶۳٫۷۲ درصد و به‌کارگیری نیروی انسانی ۲۹٫۵۴ درصد شده است [۲۱]. دربارهٔ تغییرات جزئی کاربری از جنگل

Archive of SID

www.SID.ir

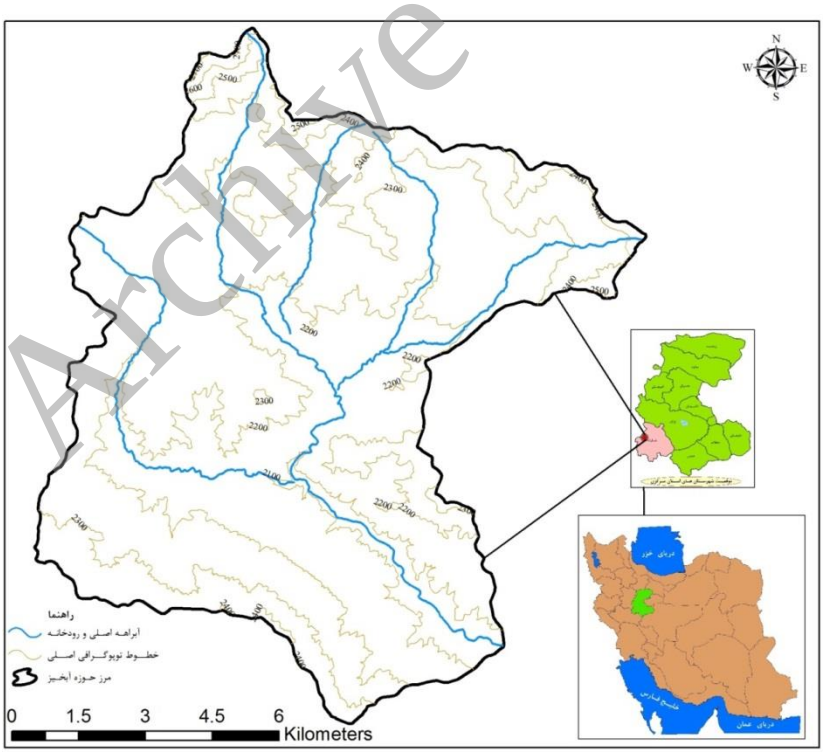
به اراضی کشاورزی نیز تأثیر معنی‌داری در افزایش میزان فرسایش خاک دیده شد [۱۶]. با توجه به نتایج این تحقیقات، تحلیل حساسیت، به منظور شفاف‌سازی نتایج مدل برنامه‌ریزی خطی، جزئی جدایی‌ناپذیر در ترسیم برنامه‌های مدیریتی است.

در حوضهٔ آبخیز کمال‌صالح در استان مرکزی، فقدانِ تعادل بین دام و مرتع در گذشته و حتی امروزه، تبدیل مراتع به دیم‌زارهای کم‌بازده و شخم در جهت شیب دامنه از مهم‌ترین مشکلاتی است که با تخریب اراضی، علاوه بر افزایش رسوب‌دهی، درآمد آبخیزنشینان را تحت تأثیر قرار داده است. هدف از این تحقیق ارائهٔ برنامه‌ای به منظور بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی فرسایش با استفاده از تحلیل حساسیت مدل برنامه‌ریزی خطی در یکی از زیرحوضه‌های اصلی سد کمال‌صالح است.

۲. روش‌شناسی

معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبخیز آدینه‌مسجد با مساحت ۱۱۳٫۷۴ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های اصلی سد کمال‌صالح است و در شهرستان شازند استان مرکزی واقع است (شکل ۱). متوسط بارش سالانهٔ منطقه در حدود ۴۳۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه در حدود ۱۱٫۷ درجهٔ سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه در طبقهٔ نیمه‌خشک سرد قرار دارد.



شکل ۱. موقعیت حوضهٔ آبخیز آدینه‌مسجد در استان مرکزی

Archive of SID

www.SID.ir

تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی سناریوها

نخست مدل برنامه‌ریزی خطی در سه سناریوی مدیریتی ـ الف) وضعیت کنونی کاربری‌ها و بدون اعمال مدیریت اراضی، ب) وضعیت کنونی کاربری‌ها با اعمال مدیریت اراضی، ج) وضعیت استاندارد کاربری‌ها ـ تعریف شد. در سناریوی «الف» از نقشهٔ کاربری اراضی در شرایط فعلی استفاده شد؛ این نقشه از ادارهٔ کل منابع طبیعی استان مرکزی تهیه شد. در سناریوی «ب» بدون تغییر سطح کاربری‌های فعلی برنامه‌های مدیریت اراضی اعمال شد. مثلاً شخم عمود بر جهت شیب به جای شخم در جهت شیب و مدیریت صحیح چرا در اراضی مرتعی پیشنهاد شد. در سناریوی «ج» از استانداردهای ارائه‌شده [۱، ۸] بر اساس پارامترهای شیب زمین، عمق خاک و منبع تأمین آب استفاده شد؛ با توجه به وضعیت منطقه، راهنمای تهیهٔ نقشهٔ تناسب اراضی برای حوضهٔ آبخیز آدینه‌مسجد طبق جدول ۱ تهیه شد. سرانجام، بر اساس این جدول، نقشهٔ کاربری اراضی استاندارد تهیه شد.

جدول ۱. راهنمای تهیهٔ نقشهٔ تناسب اراضی برای حوضهٔ آبخیز آدینه‌مسجد

طبقهٔ شیب (٪)	وضعیت آب	عمق خاک		
		کم (۳۰-۰ cm)	متوسط (۶۰-۳۰ cm)	زیاد (>۶۰ cm)
۰ ـ ۵	بدون محدودیت	*	*	آبی- باغ
	محدودیت متوسط	*	دیم- باغ	دیم- باغ
	فاقد آب آبیاری	*	دیم	دیم
۵ ـ ۸	بدون محدودیت	*	*	آبی- باغ
	محدودیت متوسط	*	*	دیم- باغ
	فاقد آب آبیاری	*	دیم	دیم
۸ ـ ۱۲	بدون محدودیت	*	*	*
	محدودیت متوسط	*	دیم باغ	دیم- باغ
	فاقد آب آبیاری	*	دیم، دیم- بادام‌کاری	دیم
۱۲ ـ ۲۵	بدون محدودیت	*	*	*
	محدودیت متوسط	*	مرتع- باغ	*
	فاقد آب آبیاری	مرتع	مرتع- بادام‌کاری	مرتع- بادام‌کاری
بیشتر از ۲۵	بدون محدودیت	*	*	*
	محدودیت متوسط	*	*	*
	فاقد آب آبیاری	مرتع	مرتع	*

* فاقد اراضی متناسب

Archive of SID

www.SID.ir

برآورد فرسایش خاک

برای برآورد مقدار فرسایش خاک در هر سناریو از مدل MPSIAC استفاده شد. در سناریوی «الف» عوامل نُه‌گانهٔ مدل MPSIAC از مطالعات پایهٔ آبخیزداری منطقهٔ مطالعاتی استخراج شد [۲] و معادلهٔ رسوب‌دهی حوضهٔ آبخیز (معادلهٔ ۱) بر اساس مقدار رسوب مشاهده‌ای از گزارش زیست‌محیطی سد کمال‌صالح واسنجی شد [۷]. سپس، با استفاده از عامل مساحت، نسبت تحویل رسوب و فرسایش حوضهٔ آبخیز طبق معادلات ۲ و ۳ محاسبه شد. سرانجام، با همپوشانی لایهٔ فرسایش با لایهٔ کاربری اراضی فعلی، میزان فرسایش خاک در هر کاربری برای این سناریو به‌دست آمد.

$$Qs = 0.241e^{0.032R} \quad (۱)$$

$$LogSDR=1.8768-0.14191log10A \quad (۲)$$

$$E = \frac{Q_s}{SDR} \quad (۳)$$

در معادلات فوق، Q_s رسوب‌دهی حوضهٔ آبخیز بر حسب تن بر هکتار، e عدد نپرین و R جمع عوامل نُه‌گانهٔ مدل یا درجهٔ رسوب‌دهی، A مساحت کاربری‌ها بر حسب هکتار و E فرسایش بر حسب تن بر هکتار است. در سناریوی «ب» مقادیر عددی عوامل نُه‌گانه، به‌جز عامل نحوهٔ استفاده از اراضی، همان مقادیر سناریوی «الف» در نظر گرفته شد؛ اما، عامل نحوهٔ استفاده از اراضی طبق جدول‌های پایهٔ مدل MPSIAC تغییر کرد [۱۲]. در سناریوی «ج» نیز مطابق با راهنمای تهیهٔ نقشهٔ تناسب اراضی (جدول ۱) و جدول‌های پایهٔ مدل MPSIAC عامل نحوهٔ استفاده از اراضی تغییر یافت [۱۲]. سرانجام، مقدار فرسایش خاک در هر کاربری طبق معادله‌های ۱ تا ۳ محاسبه شد.

محاسبهٔ درآمد خالص

با توجه به میزان تولید محصولات مختلف و قیمت محصول در زمان تحقیق (بر اساس آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی و کارشناسان)، میزان درآمد ناخالص محصولات زراعی آبی، دیم، باغی و مرتعی محاسبه شد. میزان هزینه‌ها نیز با در نظر گرفتن ارزش زمین، هزینه‌های آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت و برداشت در هر کاربری و برای هر محصول محاسبه شد. سرانجام، با توجه به سطح اختصاص‌یافته به هر محصول، مقدار کل هزینه‌ها برآورد شد. سپس، میزان درآمد خالص از تفاضل درآمد ناخالص و هزینه‌ها برای هر یک از سناریوهای مدیریتی محاسبه شد.

تهیهٔ مدل برنامه‌ریزی خطی در هر یک از سناریوها

در مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه مسئلهٔ عمومی بهینه‌سازی با n متغیر تصمیم، m محدودیت و p هدف تعریف می‌شود [۱۵]. شکل کلی مسئله برای توابع بیشینه‌ساز سود (Z_1) و کمینه‌ساز فرسایش (Z_2) با محدودیت کلی مسئله به صورت معادله‌های ۴، ۵ و ۶ است.

$$Max(Z_1) = \sum_{i=1}^{n}[(A_{i1} - A_{i2} - A_{i3})X_i] \quad (۴)$$

$$Min(Z_2) = \sum_{i=1}^{n} C_{Ei} X_i \quad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i = B$$
$$X_i \geq 0 \quad (۶)$$

در این معادله‌ها، Z_1 درآمد خالص سالانهٔ کل حوضهٔ آبخیز، Z_2 فرسایش سالانهٔ کل حوضهٔ آبخیز، A_{i1} درآمد ناخالص سالانهٔ واحد سطح مربوط به هر

Archive of SID

www.SID.ir

کاربری اراضی، A_{i2} هزینهٔ تولید واحد سطح هر کاربری اراضی، A_{i3} خسارت فرسایش خاک در واحد سطح هر کاربری اراضی، C_{Ei} مقدار فرسایش هر کاربری اراضی، X_i مساحت هر کاربری اراضی و B مساحت کل کاربری‌هاست.

در این تحقیق نخست به تهیهٔ جدول سیمپلکس در هر یک از سناریوهای مدیریتی، با توجه به محدودیت‌های اعمال‌شده، اقدام شد. محدودیت‌های تعریف‌شده در جدول سیمپلکس بر اساس محدودیت اراضی فیزیکی- هیدرولوژیکی آبخیز (جدول ۱)، آرای کشاورزان و قوانین مربوطه تعریف شد. مثلاً، بر اساس مادهٔ ۵۶ قانون ملی‌شدن مراتع، این اراضی ملی است و هیچ‌گونه تغییری در کاهش آن نمی‌توان انجام داد یا در مورد اراضی آبی، به دلیل محدودیت منابع آب، امکان افزایش این اراضی بیشتر از حد استاندارد وجود ندارد. سرانجام، مدل برنامه‌ریزی خطی دوهدفه، طبق معادله‌های ۴، ۵ و ۶، در نرم‌افزار Lingo 11.0 برای هر یک از سناریوها نوشته شد و، بر اساس محدودیت‌های جدول سیمپلکس، مدل اجرا شد.

تحلیل حساسیت

در این تحقیق از روش مقیاس جزئی برای تحلیل حساسیت مدل استفاده شد. این روش تأثیر هر پارامتر را به شکل مجزا با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها بر روی مقدار تابع هدف بررسی می‌کند [۹]. از این رو، محدودهٔ مجاز تغییرات ۱۰ تا ۵۰ درصدی در سطح کاربری‌ها، ضرایب بیشینه‌ساز سود و ضرایب کمینه‌ساز فرسایش به شرط تأمین شرایط بهینه و عملی‌بودن راه‌حل اعمال شد [۱۰]. سپس، تجزیه و تحلیل حساسیت با بررسی تأثیر تغییرات در منابع و به دلیل قابلیت تنظیم مقادیر آن‌ها در مقایسه با دیگر پارامترهای مدل انجام شد.

۳. نتایج

جدول‌های ۲، ۳ و ۴ نشان‌دهندهٔ سیمپلکس مسئلهٔ بهینه‌سازی کاربری اراضی در سناریوهای مختلف است. در این جدول‌ها ردیف تابع هدف Z_1 بیانگر درآمد خالص هر یک از کاربری‌های آبی (X_1)، دیم (X_2) و مرتع (X_3) بر حسب میلیون ریال در هکتار در سال است. ردیف تابع هدف Z_2 بیانگر میزان فرسایش خاک در هر یک از کاربری‌ها بر حسب تن در هکتار در سال است. اعداد یک و صفر در بقیهٔ ردیف‌ها بیانگر حضور و عدم حضور متغیر در محدودیت‌هاست. همچنین، اعداد سمت راست معادله، محدودیت‌های تعریف‌شده برای سطح هر یک از کاربری‌ها را بر حسب هکتار نشان می‌دهد.

با اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی در نرم‌افزار Lingo 11.0، سطح کاربری‌های اراضی طبق جدول ۵ تغییر یافت. بر این اساس، جدول‌های ۶، ۷ و ۸ تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات سطح کاربری‌های دیم و مرتع را در سناریوهای مدیریتی مختلف نشان می‌دهند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. جدول سیمپلکس مسئلهٔ بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت کنونی

عوامل	X_1 (آبی)	X_2 (دیم)	X_3 (مرتع)	نوع تابع	سمت راست معادله (RHS)
تابع هدف Z_1	۲٫۱۹۸	۰٫۵۲۶	۰٫۰۹۲	Max	۰
تابع هدف Z_2	−۷٫۲۷	−۹٫۶۶	−۹٫۲۰	Max	۰
محدودیت اول	۱	۰	۰	≤	۱۰۳۵٫۶
	۱	۰	۰	≥	۱۰۰۴
محدودیت دوم	۰	۱	۰	≤	۴۰۳۶٫۶
	۰	۱	۰	≥	۳۴۰۰
محدودیت سوم	۰	۰	۱	≥	۳۴۹۶
محدودیت چهارم	۱	۱	۱	=	۱۱۳۰۰
	۱	۱	۱	≥	۰

جدول ۳. جدول سیمپلکس مسئلهٔ بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت اعمال مدیریت اراضی

عوامل	X_1 (آبی)	X_2 (دیم)	X_3 (مرتع)	نوع تابع	سمت راست معادله (RHS)
تابع هدف Z_1	۳٫۹۱۱	۱٫۰۶۴	۰٫۱۱۱	Max	۰
تابع هدف Z_2	−۵٫۹۹	−۷٫۹۸	−۷٫۵۶	Max	۰
محدودیت اول	۱	۰	۰	≤	۱۰۳۵٫۶
	۱	۰	۰	≥	۱۰۰۴
محدودیت دوم	۰	۱	۰	≤	۴۰۳۶٫۶
	۰	۱	۰	≥	۳۴۰۰
محدودیت سوم	۰	۰	۱	≥	۳۴۹۶
محدودیت چهارم	۱	۱	۱	=	۱۱۳۰۰
	۱	۱	۱	≥	۰

جدول ۴. جدول سیمپلکس مسئلهٔ بهینه‌سازی کاربری اراضی در وضعیت استاندارد

عوامل	X_1 (آبی)	X_2 (دیم)	X_3 (مرتع)	نوع تابع	سمت راست معادله (RHS)
تابع هدف Z_1	۶٫۵۵۷	۱٫۹۹۲	۰٫۷۵۶	Max	۰
تابع هدف Z_2	−۵٫۹۲	−۶٫۵۰	−۷٫۱۴	Max	۰
محدودیت اول	۱	۰	۰	≤	۱۰۳۵٫۶
	۱	۰	۰	≥	۱۰۰۴
محدودیت دوم	۰	۱	۰	≤	۴۰۳۶٫۶
	۰	۱	۰	≥	۳۴۰۰
محدودیت سوم	۰	۰	۱	≥	۳۴۹۶
محدودیت چهارم	۱	۱	۱	=	۱۱۳۰۰
	۱	۱	۱	≥	۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵. سطح کاربری‌های اراضی (هکتار) قبل و بعد از اجرای مدل برنامه‌ریزی خطی

کاربری	آبی- باغ	دیم	مرتع
وضعیت فعلی	۱۰۰۴	۶۲۳۵	۳۴۹۶
بعد از اجرای مدل	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۶۲۲۸
درصد تغییرات	۳٫۲	-۳۵٫۳	۱۴٫۸

جدول ۶. تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات کاربری اراضی در وضعیت فعلی

Z_2 (تن در سال)	Z_1 (ده میلیون ریال در سال)	X_3 (ha)	X_2 (ha)	X_1 (ha)	B_5 (ha)	B_4 (ha)	B_3 (ha)	B_2 (ha)	B_1 (ha)	تغییرات (٪)
۱۰۳۸۱۸	۴۹۷۲	۶۲۲۸	**۴۰۳۷**	۱۰۳۶	۳۴۹۶	۳۴۰۰	۱۰۰۴	**۴۰۳۷**	۱۰۳۶	۰
۱۰۳۶۳۲	**۴۷۹۷**	۶۶۳۱	**۳۶۳۳**	۱۰۳۶	۳۴۹۶	۳۴۰۰	۱۰۰۴	**۳۶۳۳**	۱۰۳۶	-۱۰
۱۰۳۸۱۸	۴۹۷۲	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۳۴۹۶	**۳۴۰۰**	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۰
۱۰۳۸۱۸	۴۹۷۲	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۳۴۹۶	**۳۷۴۰**	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۱۰
۱۰۳۸۱۸	۴۹۷۲	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	**۳۴۹۶**	۳۴۰۰	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۰
۱۰۳۸۱۸	۴۹۷۲	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	**۳۸۴۶**	۳۴۰۰	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۱۰
۱۰۳۸۱۸	۴۹۷۲	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	**۴۱۹۵**	۳۴۰۰	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۲۰
۱۰۳۸۱۸	۴۹۷۲	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	**۵۲۴۴**	۳۴۰۰	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۵۰
-۱٫۲۷	-۱۸٫۵۶	درصد تغییرات								

جدول ۷. تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات کاربری اراضی در وضعیت اعمال مدیریت اراضی

Z_2 (تن در سال)	Z_1 (ده میلیون ریال در سال)	X_3 (ha)	X_2 (ha)	X_1 (ha)	B_5 (ha)	B_4 (ha)	B_3 (ha)	B_2 (ha)	B_1 (ha)	تغییرات (٪)
۸۵۴۹۳	۹۰۳۶	۶۲۲۸	**۴۰۳۷**	۱۰۳۶	۳۴۹۶	۳۴۰۰	۱۰۰۴	**۴۰۳۷**	۱۰۳۶	۰
۸۵۳۲۸	**۸۶۵۲**	۶۶۳۱	**۳۶۳۳**	۱۰۳۶	۳۴۹۶	۳۴۰۰	۱۰۰۴	**۳۶۳۳**	۱۰۳۶	-۱۰
۸۵۴۹۳	۹۰۳۶	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۳۴۹۶	**۳۴۰۰**	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۰
۸۵۴۹۳	۹۰۳۶	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۳۴۹۶	**۳۷۴۰**	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۱۰
۸۵۴۹۳	۹۰۳۶	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	**۳۴۹۶**	۳۴۰۰	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۰
۸۵۴۹۳	۹۰۳۶	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	**۳۸۴۶**	۳۴۰۰	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۱۰
۸۵۴۹۳	۹۰۳۶	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	**۴۱۹۵**	۳۴۰۰	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۲۰
۸۵۴۹۳	۹۰۳۶	۶۲۲۸	۴۰۳۷	۱۰۳۶	**۵۲۴۴**	۳۴۰۰	۱۰۰۴	۴۰۳۷	۱۰۳۶	۵۰
-۱۸٫۶۹	+۴۸٫۰۱	درصد تغییرات								

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۸. تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات کاربری اراضی در وضعیت استاندارد

تغییرات (٪)	B_1 (ha)	B_2 (ha)	B_3 (ha)	B_4 (ha)	B_5 (ha)	X_1 (ha)	X_2 (ha)	X_3 (ha)	Z_1 (ده میلیون ریال در سال)	Z_2 (تن در سال)
۰	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۱۰۰۴	۳۴۰۰	۳۴۹۶	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۶۲۲۸	۱۹۵۴۰	۷۶۸۳۵
−۱۰	۱۰۳۶	۳۶۳۳	۱۰۰۴	۳۴۰۰	۳۴۹۶	۱۰۳۶	۳۶۳۳	۶۶۳۱	۱۹۰۴۱	۷۷۰۹۳
۰	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۱۰۰۴	۳۴۰۰	۳۴۹۶	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۶۲۲۸	۱۹۵۴۰	۷۶۸۳۵
۱۰	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۱۰۰۴	۳۷۴۰	۳۴۹۶	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۶۲۲۸	۱۹۵۴۰	۷۶۸۳۵
۰	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۱۰۰۴	۳۴۰۰	۳۴۹۶	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۶۲۲۸	۱۹۵۴۰	۷۶۸۳۵
۱۰	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۱۰۰۴	۳۴۰۰	۳۸۴۶	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۶۲۲۸	۱۹۵۴۰	۷۶۸۳۵
۲۰	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۱۰۰۴	۳۴۰۰	۴۱۹۵	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۶۲۲۸	۱۹۵۴۰	۷۶۸۳۵
۵۰	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۱۰۰۴	۳۴۰۰	۵۲۴۴	۱۰۳۶	۴۰۳۷	۶۲۲۸	۱۹۵۴۰	۷۶۸۳۵
درصد تغییرات									+۲۲۰/۰۷	−۲۶/۹۳

با اعمال تغییرات ۵۰- تا ۵۰+ درصدی در ضرایب تابع بیشینه‌ساز سود (C_{Bi}) و ضرایب تابع کمینه‌ساز فرسایش (C_{Ei})، شکل‌های ۲ و ۳ نتایج تحلیل حساسیت توابع هدف را برای هر سناریو نشان می‌دهد.

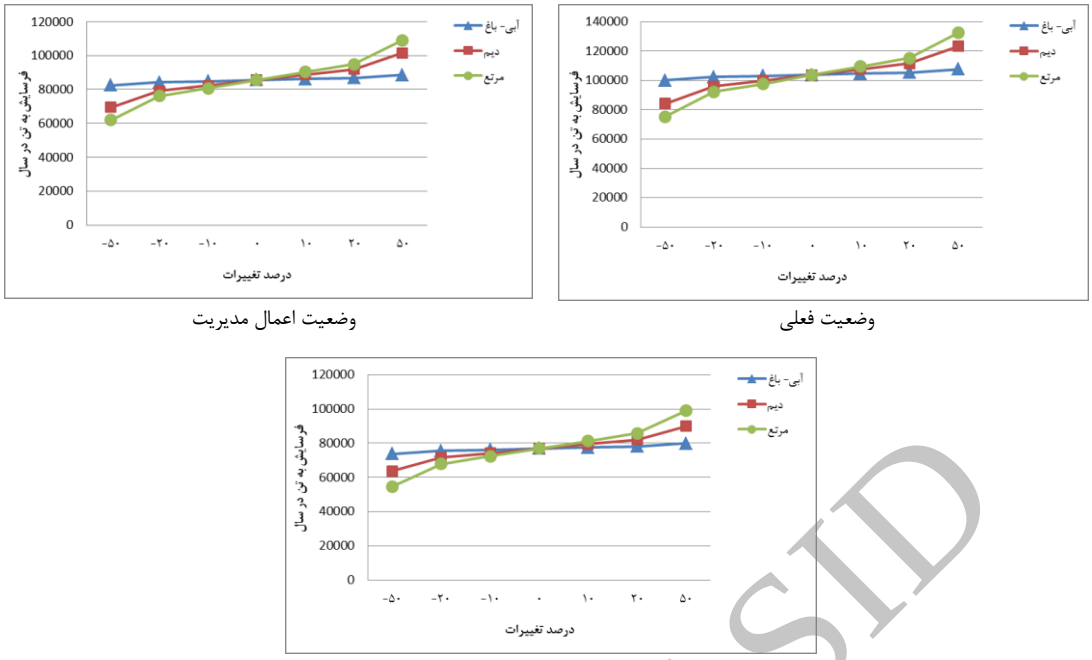
وضعیت فعلی

وضعیت اعمال مدیریت

وضعیت استاندارد

شکل ۲. تحلیل حساسیت تابع هدف بیشینه‌ساز سود نسبت به درصد تغییرات درآمد در واحد هکتار

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳. تحلیل حساسیت تابع هدف کمینه‌ساز فرسایش نسبت به درصد تغییرات فرسایش در واحد هکتار

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ضمن بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضهٔ آبخیز آدینه‌مسجد، تحلیل حساسیت سطح کاربری‌ها با توجه به ضرایب بیشینه‌ساز سود و کمینه‌ساز فرسایش ارزیابی شد. با توجه به نتایج، مدل برنامه‌ریزی خطی با در نظر گرفتن دو هدف نشان داد که سطح اراضی آبی- باغی ۳٫۲ درصد و مرتع ۱۴٫۶ درصد افزایش می‌یابد؛ در حالی که از سطح اراضی دیم ۳۵٫۳ درصد کاسته می‌شود. در تحقیقاتی مشابه [۳، ۱۱] استانداردسازی و بهینه‌سازی کاربری اراضی با توجه به ارزش‌دهی بیشتر به کاربری باغ انجام شده است. این مسئله باعث شده تا با افزایش سطح اراضی باغی در هر سه وضعیت (شرایط فعلی، شرایط اعمال مدیریت و شرایط استاندارد) درآمد کل افزایش یابد و مقدار فرسایش خاک کم شود. در این پژوهش نیز، با در نظر گرفتن کاربری‌های ترکیبی برای شرایط استاندارد (جدول ۱)، کاربری اراضی استاندارد به ارزش‌دهی بیشتر به کشت باغی تأکید می‌کند که سرانجام منجر به آن شد تا، با حل مسئلهٔ بهینه‌سازی، میزان فرسایش کل همانند نتایج پژوهش سایر محققان [۱۶، ۲۹] کاهش یابد.

با در نظر گرفتن تغییرات ۱۰ تا ۵۰ درصدی در تحلیل حساسیت مدل برنامه‌ریزی خطی، مشخص شد که فقط حداکثر سطح کاربری دیم (B_2) در محدودهٔ مجاز ۱۰- درصد، حداقل سطح کاربری دیم (B_4) در محدودهٔ مجاز ۱۰+ درصد، و حداقل سطح کاربری مرتع (B_5) در محدودهٔ مجاز تغییرات تغییرپذیر است. اما حداقل و حداکثر سطح کاربری آبی- باغ (B_1 و B_3) به دلیل محدودیت‌های مرتبط با راهنمای تناسب اراضی (جدول ۱) تغییرپذیر نیست و خارج از محدودهٔ مجاز تغییرات است.

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج به‌دست‌آمده از جدول‌های ۶، ۷ و ۸ نشان داد که مقادیر توابع هدف Z_1 و Z_2 فقط به حداکثر سطح اراضی دیم، آن هم به مقدار خیلی کم، حساسیت نشان می‌دهند؛ به طوری که با کاهش ۱۰ درصدی حداکثر سطح اراضی دیم، میزان درآمد در وضعیت فعلی ۳٫۵ درصد، در وضعیت اعمال مدیریت ۴٫۲ درصد و در وضعیت استاندارد ۲٫۶ درصد کاهش می‌یابد. از طرفی، مقدار فرسایش با کاهش ۱۰ درصدی حداکثر سطح اراضی دیم، در وضعیت فعلی ۰٫۱۸ درصد و در وضعیت اعمال مدیریت ۰٫۱۹ درصد کاهش می‌یابد. اما، در وضعیت استاندارد مقدار فرسایش ۰٫۳۴ درصد افزایش خواهد یافت. در تحقیقی مشابه نیز با تحلیل حساسیت مدل برنامه‌ریزی خطی، به منظور بهینه‌سازی سطح کاربری اراضی، تغییر در سطح اراضی دیم بر تغییرات میزان رسوب‌دهی و فرسایش خاک مؤثر ارزیابی شد [۱۹].

نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که کاربری دیم بیشترین حساسیت را به درصد تغییرات درآمد در واحد سطح دارد و کمترین حساسیت مربوط به کاربری مرتع است. همچنین، نتایج شکل ۳ حاکی از آن است که بیشترین حساسیت به درصد تغییرات فرسایش در واحد سطح مربوط به کاربری مرتع است و کاربری آبی- باغ کمترین حساسیت را دارد.

همان طور که اشاره شد، تحلیل حساسیت در محدودهٔ مجاز ۵۰- تا ۵۰+ درصدی تغییرات سطح کاربری فقط در حداکثر و حداقل سطح اراضی دیم و حداقل سطح اراضی مرتعی امکان‌پذیر است و در هر سه سناریو، با کاهش ۱۰ درصدی سطح اراضی دیم، درآمد کل نیز کاهش می‌یابد. با توجه به محدودیت منابع آبی در کاربری آبی- باغ، با کاهش سطح اراضی دیم به سطح اراضی مرتعی افزوده می‌شود، بدین ترتیب، به طور طبیعی میزان درآمد کل کاهش خواهد یافت.

اما، در تغییرات فرسایش ملاحظه می‌شود با کاهش ۱۰ درصدی سطح اراضی دیم فرسایش کل در وضعیت فعلی و وضعیت اعمال مدیریت کاهش می‌یابد، اما در وضعیت استاندارد به مقدار فرسایش افزوده می‌شود. نتایج بیانگر آن است که در دو سناریوی قبل بیشترین رسوب‌دهی ویژه متعلق به کاربری دیم است، ولی در وضعیت استاندارد بیشترین رسوب‌دهی مربوط به کاربری مرتع است. بنابراین، با توجه به محدودیت منابع آبی در کاربری آبی- باغ، با کاهش سطح اراضی دیم به سطح اراضی مرتعی افزوده خواهد شد و سرانجام مقدار فرسایش کل نیز افزایش خواهد یافت. همچنین، نتایج نشان داد که در هر سه سناریو درصد تغییرات افزاینده در کمترین سطح کاربری دیم و مرتع هیچ تأثیری بر میزان درآمد و فرسایش سالانه ندارد، زیرا در هر صورت کمترین سطح کاربری‌های دیم و مرتع بعد از بهینه‌سازی مسئله تغییری نکرده است. با توجه به اینکه در این تحقیق فقط سطح کاربری دیم و مرتع در دامنهٔ مجاز تغییرات قرار گرفته بود، مشاهده شد که تغییرپذیری فرسایش و درآمد خیلی کم است. این نتیجه نشان می‌دهد که تغییرپذیری اهداف در ارتباط با تغییرپذیری سطح اراضی آبی و باغی منطقه است؛ کما اینکه در سناریوی استاندارد اراضی بیشترین درآمد و کمترین فرسایش مشاهده شد. در تحقیقات داخلی و خارجی نیز [۳، ۴، ۱۱، ۱۴] به این موضوع اشاره شده است که تغییر در سطح اراضی آبی، باغی و جنگلی در افزایش درآمد خالص، کاهش فرسایش و هدرروی عناصر غذایی خاک تأثیر بسیاری دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج تحلیل حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات اعمال‌شده در مقادیر بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی فرسایش نشان داد که در هر سه سناریو (شرایط فعلی، اعمال مدیریت اراضی و استاندارد) فقط سطح اراضی دیم و مرتع می‌توانند در تحلیل حساسیت به کار گرفته شوند؛ در حالت استاندارد اراضی تأثیر تغییرات بیشتر است. مهم‌ترین دلیل این امر، به احتمال زیاد، شرایط مناسب حوضهٔ آبخیز آدینه‌مسجد برای کشت دیم است. این امر باعث شده تا بیشترین مساحت منطقه به دیم‌زارهای گندم اختصاص یابد. این نتایج بیانگر آن است که برنامه‌های مدیریت حوضهٔ آبخیز آدینه‌مسجد باید با اقدامات کنترل فرسایش خاک در اراضی مرتعی بدون کاهش سطح آن در اولویت قرار گیرد و افزایش سوددهی به برنامه‌های مدیریتی در اراضی دیم با رعایت اصول صحیح کشت و زرع انعکاس داده شود. همچنین، در کاربری‌های آبی- باغ، که در دامنهٔ مجاز تغییرات نبودند، برنامه‌های مرتبط با تغییر الگوی کشت به منظور افزایش سوددهی انجام شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه می‌تواند به‌خوبی در برنامه‌های مدیریتی حوضه‌های آبخیز به کار رود. از این رو، اجرای این پژوهش در سایر حوضه‌های آبخیز پیشنهاد می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

References

[1] Berangl, K.J. (1999). *Principles and treatments in dry farming (interpretation of Rashed and Koochaki)*, Mashhad University Jihad (In Persian).

[2] Boomabad Consulting Engineers. (2001). *A basic study of Hendudar 1 watershed*, Agricultural Jihad Management in the Markazi province (In Persian).

[3] Chamheidar, R. (2011). Economical land use optimization to minimize soil erosion, sediment and loss of nutrients, in one of the RoodZard sub-basins, A thesis of PhD. Islamic Azad University, Tehran (In Persian).

[4] Jalili, Kh. (2004). Optimization of land use in the Berimoond watershed for soil erosion decreasing using linear programing, A thesis of M.Sc. Tarbiat Modarres University (In Persian).

[5] James, L.A. (2004). *Decreasing sediment yields in northern California: vestiges of hydraulic gold-mining and reservoir trapping*, Sediment Transfer through the Fluvial System (Proceedings of the Moscow Symposium), IAHS Publ 288, 10p.

[6] Kousari, M.R., Saremi Naeini, M.A., Tazeh, M. and Frozeh, M.R. (2010). Sensitivity analysis of some equation for estimation of time of concentration in watersheds, *Arid Biom Scientific and Research Journal*, 1(1), 57-66 (In Persian).

[7] Lar Consulting Engineers (2000). *A study of climatology, hydrology and sediment in the Kamal Saleh dam watershed*, Tehran water Management Company (In Persian).

[8] Mahler, P.J. (1979). *Manual of land classification for irrigation*, 3ed Edition, Soil Instituted of Iran (In Persian).

[9] Muleta, M.K. and Nicklow, J.W. (2005). Sensitivity and uncertainty analysis coupled with automatic calibration for a distributed watershed model, *Journal of Hydrology*, 306(1-4), 127-145.

[10] Nikkami, D. (2002). Optimization of soil erosion management in the Damavand watershed, *Journal of Pajoohesh & Sazandegi*, 54, 82-89 (In Persian).

[11] Nikkami, D., Shabani, M. and Ahmadi, H. (2009). Land use scenarios and optimization in a watershed, *Journal of Applied Sciences*, 9(2), 287-295.

[12] Omidvar, K. (2007). *An introduction to watershed management*, Yazd University publication (In Persian).

[13] Pakdaman, M. and Najafi, B. (2009). Using of multi-objective mathematical programing with absolute and phase approach for optimization land use determination: case study: Nilab plain in the Esfahan province, *Agricultural Economy Journal*, 1(2), 121-139 (In Persian).

[14] Pandey, A., Chowdaryand, V.M. and Mal, B.C. (2009). Sediment yield modelling of an agricultural watershed using MUSLE, remote sensing and GIS, *Paddy Water Environ*, 7, 105-113.

[15] 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.

[16] Rijsdijk, A., Bruijnzeel, L.A. and Prins, T.M. (2007). Sediment yield from gullies, riparian mass wasting and bank erosion in the Upper Konto catchment, East Java, Indonesia, *Geomorphology*, 87 (1-2), 38-52.

[17] Rostami Khalaj, M., Mahdavi, M., Khalighi Sigarodi, Sh. and Salajeghe, A. (2012). Sensitivity

Archive of SID

www.SID.ir

analysis of variables affecting on urban flooding using SWMM model, *Management of watershed Journal*, 3(5), 81-91 (In Persian).

[18] Saltelli, A., Scott, E.M., Chan, K. and Marian, S. (2000). *Sensitivity analysis*, John Wiley and Sons: New York, USA.

[19] Sha'bani, M. (2008). Land use optimization for soil erosion decrease and income increase of watershed (Case Study: Kharestan Watershed), *Journal of the Iranian Natural Res*, 60(4), 1171-1183 (In Persian).

[20] Shively, G. and Coxhead, I. (2004). Conducting economic policy analysis at a landscape scale: examples from a Philippine watershed, *Agriculture Ecosystem and Environment*, 27(2), 159-170.

[21] Singh, A.K. and 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.

Archive of SID

www.SID.ir