

تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی در میزان فرسایش خاک و سوددهی حوضه‌های آبخیز مطالعه موردی: حوضه آبخیز زاخرد فارس

محمد شعبانی*

استادیار مرتع و آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نی ریز

چکیده

استفاده ناصحیح از اراضی باعث فرسوده و شسته شدن تدریجی خاک، کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و کاهش میزان سود آوری اراضی کشاورزی و مرتعی می‌گردد. بنابراین استفاده صحیح از اراضی بر اساس قابلیت‌های آن و بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیز یکی از راه‌های مناسب در حفاظت از خاک می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق تعیین سطح بهینه کاربری‌های اراضی به منظور کاهش میزان فرسایش خاک و بالابردن درآمد ساکنین حوضه آبخیز زاخرد در استان فارس می‌باشد. به منظور انجام این تحقیق، ابتدا نقشه کاربری اراضی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی تهیه و مقادیر فرسایش کاربری‌ها به کمک مدل تجربی MPSIAC تعیین شد. سپس سود خالص کاربری‌ها از تفاضل درآمد ناخالص و هزینه هر کاربری محاسبه شد. پس از مشخص کردن محدودیت‌ها و توابع هدف، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی سطح بهینه کاربری‌های اراضی در منطقه مشخص شد.

نتایج نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، سطح اراضی باغی ۲۱۲/۸۷ درصد افزایش، سطح اراضی مرتعی ۳۰۳/۲۶ درصد افزایش، سطح اراضی کشت آبی ۵۷/۵۵ درصد کاهش و سطح اراضی کشت دیم ۶۵/۰۲ درصد کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش خاک به میزان ۱۳/۱۶ درصد کاهش و میزان سوددهی کل حوضه ۲۷/۰۴ درصد افزایش می‌یابد. نتایج بدست آمده از انتخاب حساس‌ترین پارامتر مدل نیز نشان داد که تغییر در سطح اراضی باغی و سطح اراضی دیم، بیشترین تأثیر در تغییر میزان سوددهی و فرسایش خاک حوضه آبخیز زاخرد را به دنبال دارد.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی، رسوبدهی، فرسایش خاک، کاربری اراضی، حوضه آبخیز زاخرد.

مقدمه

فرسایش خاک یکی از مباحث‌های مهم در زمینه توسعه پایدار کشاورزی و مسائل زیستی می‌باشد. این مساله نه تنها در اوضاع کنونی مورد توجه سیاست‌گذاران است بلکه در دهه‌های آینده یکی از چالش‌های اصلی جهان به ویژه در بخش کشاورزی به شمار خواهد آمد (حق‌نیا، ۱۳۷۷). فرسایش خاک از طرفی امنیت غذایی، توسعه پایدار و متوازن کشاورزی را به خطر می‌اندازد (حق‌نیا، ۱۳۷۷) و از سوی دیگر آثار سوء

زیست محیطی فراوان و هزینه‌های بسیار بالایی در پی خواهد داشت (رفاهی، ۱۳۷۵ و احمدی، ۱۳۷۸). با توجه به آن چه ذکر شد، یافتن راه حل‌هایی برای افزایش سود حاصل از منابع موجود مانند کشاورزی، مراتع، باغ‌ها و کاهش خسارت ناشی از فرسایش خاک به عنوان راهکارهای مدیریتی مناسب می‌تواند فرآروی مدیران کشور قرار گیرد. در حوضه آبخیز زاخرد میزان فرسایش به دلیل استفاده ناصحیح از اراضی و عدم رعایت اصول کشت تقریباً بالاست و هر ساله علاوه بر کاهش میزان درآمد مردم، خسارت‌های زیادی نیز به قسمت‌های پایین دست وارد می‌شود. بنابراین لازم است که ضمن مطالعه شرایط منطقه و تعیین سطح بهینه کاربری اراضی و توصیه الگوی بهینه کشت در منطقه از طرفی میزان فرسایش را به حداقل رساند و از طرفی دیگر میزان سوددهی کاربری‌های مختلف را در این منطقه افزایش داد.

در طی سالیان متمادی محققین مختلف، تحقیقات گسترده‌ای را بر روی روابط بین میزان فرسایش و رسوبدهی از جمله نوع و تغییرات استفاده از زمین در سراسر دنیا انجام داده‌اند و به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. Singh (۱۹۹۹) در یک مطالعه موردی در ناحیه ماهی‌کماند هندوستان، حداکثر سازی تولید و سود را با به کارگیری برنامه‌ریزی بهینه کشت انجام داد. در این تحقیق زمانی که حداکثر نمودن تولید به عنوان هدف اصلی مورد نظر بوده است، ۸۶/۶ درصد منطقه تنها به کشت گندم و سبزیجات اختصاص یافته و بهره‌برداری کل از منابع آب ۶۳/۷۲ درصد و به‌کارگیری نیروی انسانی ۲۹/۵۴ درصد بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد که برنامه‌ریزی کشت در سطح منطقه، میزان تولیدات را ۶۰ تا ۹۶ درصد افزایش می‌دهد. تولید محصول با سیستم‌های شخم مختلف به دلیل نوسانات شرایط آب و هوایی از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند (Ozpinar و همکاران ۲۰۰۶، Hussain و همکاران ۱۹۹۹). علاوه بر این تولید محصول در سیستم‌های مختلف شخم تحت تاثیر شرایط زهکشی خاک نیز قرار می‌گیرد. برخی محققان تولید محصول کمتری را در سیستم بدون شخم نسبت به شخم سنتی به دلیل شرایط زهکشی فقیر خاک گزارش داده‌اند (Dick و همکاران ۱۹۸۵). برخی دیگر تولید بیشتری را برای خاک‌های با زهکشی خوب گزارش داده‌اند (Wagger و همکاران ۱۹۹۲، Ismail و همکاران ۱۹۹۴). Zuzel و همکاران (۱۹۹۳) بیان کردند که پوشش سطحی کمتر از ۲۵٪ جهت کنترل فرسایش خاک موثر نیست در حالی که Mccool و همکاران (۱۹۸۷) گزارش دادند که ۹۲٪ کاهش فرسایش از سطحی با ۵۰٪ پوشش سطحی به دست می‌آید. هنگامی که شیارها در سطح زمین شکل می‌گیرند بقایای گیاهی، فرسایش را از طریق حداقل کردن تنش برشی ذرات خاک در کف و دیواره شیارها کاهش می‌دهند (Vanliew و همکاران ۱۹۸۳). در آمریکا براساس مطالعات انجام شده توسط Baker (۱۹۸۳) و Fawcet و همکاران (۱۹۹۴) میزان فرسایش و رسوب تحت سیستم‌های شخم حفاظتی حدود ۹۰-۴۴٪ بسته به نوع سیستم شخم و نوع محصول کاهش می‌یابد ولی هنگامی که سیستم‌های شخم حفاظتی برای کل حوضه آبخیز بکار رود میزان فرسایش تا حدود ۹۸٪ کاهش می‌یابد (Clausen و همکاران ۱۹۹۶).

Gyssels و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی تاثیر شخم حفاظتی و روش‌های صحیح بهره‌برداری از اراضی در بلژیک بر روی میزان فرسایش به این نتیجه رسیدند که شخم حفاظتی و دیگر روش‌های حفاظتی می‌تواند میزان فرسایش خاک را حدود ۲۵ درصد به‌طور متوسط و حدود ۴۰ درصد تحت شرایط اپتیمم کاهش دهد. جلیلی (۱۳۸۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه‌آبخیز بریموند به منظور کمینه‌سازی فرسایش خاک با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی، ضمن معرفی کاربری بهینه اراضی، میزان کاهش فرسایش و افزایش سود سالانه را به ترتیب ۷/۷۸ درصد و ۱۱۸/۶۲ درصد بیان نمود. بهینه‌سازی انجام شده دلالت بر کاهش اراضی دیم و افزایش اراضی باغی در منطقه دارد. نیک‌کامی (۱۳۸۱) مدل بهینه‌سازی را برای کاهش تأثیرات محیطی و اقتصادی فرسایش خاک ناشی از مدیریت نامناسب فعالیت‌های کاربری اراضی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی چند منظوره در یکی از زیر حوضه‌های آبخیز دماوند انجام و نتیجه گرفت که بهینه‌سازی کاربری اراضی باعث کاهش ۵ درصد در تولید رسوب و افزایش ۱۳۴ درصد در سود سالانه در منطقه مورد مطالعه می‌گردد.

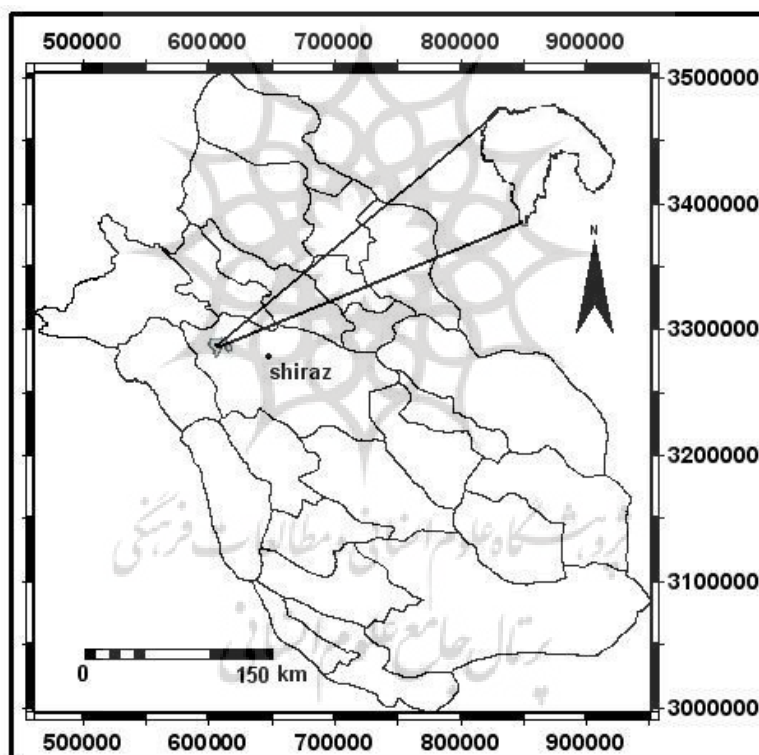
شعبانی (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای تحت عنوان تاثیر مدیریت کاربری اراضی در کاهش فرسایش خاک در حوضه آبخیز خارستان فارس به این نتیجه رسید که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط فعلی و بدون اعمال هیچ‌گونه مدیریت زراعی، میزان فرسایش خاک نسبت به شرایط حال به میزان ۳/۷ درصد، در صورت اعمال مدیریت زراعی فرسایش خاک ۳۷/۲۷ درصد و در شرایط استاندارد و مطابق با اصول و معیارهای علمی میزان فرسایش خاک به میزان ۵۳/۲ درصد کاهش می‌یابد. همچنین نتایج وی نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط فعلی و بدون اعمال مدیریت زراعی ۱۶۲/۶۳ درصد، در شرایط اعمال مدیریت زراعی ۲۰۵/۷۱ درصد و در شرایط استاندارد و مطابق با اصول و معیارهای علمی ۲۰۷/۹۸ درصد نسبت به شرایط قبل از بهینه‌سازی بر میزان سوددهی حوضه افزوده می‌شود. پیشداد و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی برفرسایش خاک در حوضه آبخیز چراغ‌ویس با استفاده از مدل EPM، پس از تعیین کاربری‌های بهینه اراضی به این نتیجه رسیدند که با بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش حدود ۷۱۳۳ هزارتن در سال کاهش می‌یابد.

هدف از انجام این تحقیق که در حوضه آبخیز زاخرد در استان فارس صورت می‌گیرد، تعیین سطح بهینه کاربری‌های اراضی به منظور کاهش میزان فرسایش و بالا بردن درآمد ساکنین حوضه آبخیز زاخرد به کمک مدل برنامه‌ریزی خطی می‌باشد.

مشخصات منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز زاخرد در استان فارس در غرب شهرستان شیراز و شرق شهرستان کازرون و در بخش ارژن از دهستان قره قرار دارد. این حوضه در محدوده جغرافیائی ۴۹° ۵' ۵۰" تا ۵۱° ۵' ۲۰" طول شرقی و ۲۹° ۴۱' ۲۱" تا ۲۸° ۴۸' ۲۸" عرض شمالی با مساحت ۸۲/۲۳ کیلومتر مربع و محیطی برابر با ۵۴/۷ کیلومتر واقع شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه دارای ارتفاع حداکثر ۲۶۴۰ متر، ارتفاع حداقل ۱۹۸۰ متر، ارتفاع متوسط وزنی

۲۱۶۵ متر از سطح دریا و شیب متوسط وزنی ۷/۸۹ درصد می‌باشد. متوسط بارندگی منطقه بر اساس ترسیم خطوط همباران ۵۰۷ میلی‌متر و متوسط دمای منطقه برابر با ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس روش‌های دمارتن و آمبرژه، دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً ملایم است. مهمترین محصولات باغی در منطقه شامل سیب، گردو، محصولات کشت آبی شامل گندم، جو، یونجه و محصولات کشت دیم شامل گندم، جو و عدس می‌باشند. بر اساس مطالعات پوشش گیاهی دو نوع مراتع ضعیف و خیلی ضعیف در منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. شغل بیشتر ساکنین این حوضه کشاورزی، دامداری و باغداری می‌باشد که کشاورزی آن‌ها شامل زراعت آبی و زراعت دیم و باغ‌های حوضه بیشتر شامل درختان سیب، گردو و دامداری آن‌ها به روش سنتی و دام‌های آن‌ها بیشتر شامل گوسفند، بز و گاو می‌باشد (طرح جامع مطالعات آبخیزداری ۱۳۸۳).



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیز زاخرد نسبت به شهرستان و استان

مواد و روش‌ها

جهت انجام مطالعه ابتدا پس از تهیه تصویر ماهواره‌ای و استفاده از باندهای ۲، ۳ و ۴ (آبی، سبز و قرمز) ترکیب رنگی کاذب ساخته و مرز اولیه کاربری‌ها بر روی تصویر مشخص و به این ترتیب نقشه اولیه کاربری اراضی در چهار سطح کاربری مرتع، باغ، کشت آبی و کشت دیم تهیه گردید. پس از تهیه نقشه اولیه کاربری

اراضی، با مراجعه به منطقه و کنترل صحرائی، نقشه مورد نظر با شرایط و واقعیات موجود در حوضه تطبیق و اصلاحات لازم صورت و در نهایت نقشه نهایی کاربری اراضی سال ۱۳۸۸ تهیه گردید. در این تحقیق با توجه به اهداف مورد نظر یعنی کمینه کردن میزان فرسایش کل حوضه و بیشینه ساختن درآمد ساکنین حوضه آبخیز زاخرد از مدل برنامه ریزی خطی چند منظوره استفاده و اهداف به شکل فرمول ریاضی به شکل دو تابع هدف فرمول بندی گردید. بنابراین برنامه ریزی خطی عبارتست از برنامه ریزی فعالیت‌ها به منظور به دست آوردن یک نتیجه بهینه (سلطانی و همکاران ۱۳۷۸). به عبارت دیگر، نتیجه‌ای که با توجه به هدف مشخص مدل ریاضی از کلیه گزینه‌های موجه دیگر، بهتر باشد (مهرگان ۱۳۸۰). برنامه ریزی خطی با بهینه کردن (بیشینه یا کمینه)، متغیر وابسته‌ای که به صورت برنامه ریزی خطی با مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و با در نظر گرفتن تعدادی محدودیت خطی تشکیل یافته از متغیرهای مستقل، در ارتباط است (اصغرپور ۱۳۷۵). با توجه به خطی بودن توابع هدف، مسئله بهینه‌سازی در منطقه مورد مطالعه با n متغیر تصمیم‌گیری و m محدودیت و P هدف به صورت معادلات ۱ الی ۳ نوشته شد (جلیلی و همکاران ۱۳۸۳).

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

$$\text{Min}(Z_2) = \sum_{i=1}^n C_{Ei} X_i \quad (2)$$

مشروط بر:

$$\sum_{i=1}^n X_i = B \quad (3)$$

$$X_i \geq 0$$

که در آن Z_1 و Z_2 به ترتیب درآمد خالص سالانه (10^6 ریال در سال) و میزان فرسایش کل حوضه (تن در سال) می‌باشند. برای هر یک از انواع کاربری‌های اراضی، متغیرهای X_i ، C_i ، A_{i1} ، A_{i2} ، A_{i3} و B به ترتیب مساحت (هکتار)، میزان فرسایش در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، میزان درآمد خالص (10^6 ریال در هکتار)، هزینه تولید (10^6 ریال در هکتار)، هزینه ناشی از فرسایش خاک (10^6 ریال در هکتار) و سطح کل اراضی منطقه (هکتار) می‌باشد. این مسئله را برای چهار کاربری موجود در حوضه آبخیز زاخرد می‌توان به صورت معادلات ۴ و ۵ نوشت:

$$\text{Max}(Z_1) = [(A_{11} X_1) - (A_{12} X_1 + A_{13} X_1)] + (A_{21} X_2 - (A_{22} X_2 + A_{23} X_2)) + (A_{31} X_3 - (A_{32} X_3 + X_3)) + (A_{41} X_4 - (A_{42} X_4 + A_{43} X_4)) \quad (4)$$

$$\text{Min}(Z_2) = C_{E1} X_1 + C_{E2} X_2 + C_{E3} X_3 + C_{E4} X_4 \quad (5)$$

$$X_i \leq B_i$$

$$X_3 \leq B_2$$

$$X_4 \leq B_3$$

$$X_1 + X_3 \leq B_4$$

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

$$X_1 \geq B_6$$

$$X_2 \geq B_7$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0$$

محدود به:

(۶)

در این معادلات X_1 الی X_4 به ترتیب مساحت باغات، مراتع، اراضی آبی و دیم‌زارها (هکتار)، A_{21} ، A_{31} و A_{41} به ترتیب درآمد خالص از واحد سطح باغات، مراتع، اراضی آبی و دیم‌زارها (10^6 ریال در هکتار)، A_{12} ، A_{22} ، A_{32} و A_{42} به ترتیب هزینه تولید در واحد سطح باغات، مراتع، اراضی آبی و دیم‌زارها (10^6 ریال در هکتار)، A_{13} ، A_{23} ، A_{33} و A_{43} به ترتیب هزینه ناشی از فرسایش خاک باغات، مراتع، اراضی آبی و دیم‌زارها (10^6 ریال در هکتار)، CE_1 الی CE_4 به ترتیب میزان فرسایش در واحد سطح باغات، مراتع، اراضی آبی و دیم‌زارها و B_1 الی B_7 به ترتیب ماکزیمم سطح باغات، سطح اراضی آبی، سطح دیم‌زارها، سطح باغات به علاوه اراضی آبی، سطح کل اراضی، حداقل سطح باغات و سطح مراتع (هکتار) می‌باشند. اطلاعات مربوط به مقادیر فرسایش با استفاده از مدل تجربی MPSIAC به دست آمد. به طوری که پس از انتخاب مدل و واسنجی آن در منطقه از طریق مقایسه آن با میزان رسوب واقعی، میزان رسوبدهی هر یک از انواع کاربری‌ها مشخص و پس از اعمال ضریب SDR^1 میزان متوسط فرسایش هر یک از کاربری‌ها تعیین گردید (نیک‌کامی ۱۳۸۳). اطلاعات مربوط به درآمد ناخالص و هزینه‌ها در مورد هر یک از محصولات کشاورزی و مرتعی بر اساس مطالعات صحرایی و مطالعات انجام شده توسط مدیریت آبخیزداری جهاد کشاورزی استان فارس (۱۳۸۳) در منطقه کسب شد. پس از کسر هزینه از درآمد ناخالص، درآمد خالص هر کاربری به دست آمد. جهت تعیین ارزش ریالی علوفه مراتع، میزان متوسط وزنی تولید علوفه خشک تعیین و بر اساس تبدیل به TDN^2 ارزش ریالی آن‌ها محاسبه گردیده است. از آنجایی که هیچ‌گونه تحقیقی بر روی اثرات منفی فرسایش خاک بر اقتصاد کشاورزی منطقه وجود ندارد، لذا ارزیابی این اثرات به طور مستقیم دشوار می‌باشد. به هر حال این ضررها را می‌توان به‌طور غیرمستقیم با برآورد میزان خاک از دسترس خارج شده ارزیابی کرد. یکی از این روش‌ها معادل فرض کردن میزان خاک فرسایش یافته با سطح اراضی از دسترس خارج شده بر اساس عمق منطقه ریشه‌دوانی در هر نوع از کاربری‌های اراضی است (نیک‌کامی، ۱۳۸۱). عمق خاک از دست‌رفته در هر یک از کاربری‌ها بر اساس میزان خاک حمل شده، عمق ریشه‌دوانی و وزن مخصوص خاک قابل محاسبه است. در این تحقیق، روش اخیر در برآورد هزینه ناشی از فرسایش خاک مورد استفاده قرار گرفته است. پس از مشخص کردن ضرایب تابع هدف، ۸ محدودیت به شرح زیر مد نظر قرار گرفت.

$$X_1 \leq 167.85$$

الف) محدودیت اول:

محدودیت اول در این مسئله مربوط به سطح اراضی باغی موجود است که $78/85$ هکتار بوده اما این میزان می‌تواند به $167/85$ هکتار افزایش یابد. دلیل این افزایش امکان اختصاص زمین‌هایی با شیب مناسب و عمق مناسب خاک به باغ می‌باشد.

1. Sediment Delivery Ratio
2. Total Digestible Nutrient

ب) محدودیت دوم: $X_3 \leq 1303.79$

محدودیت دوم مربوط به زمین‌هایی است که زیر کشت محصولات مختلف آبی قرار گرفته‌اند. در ابتدا ۲۲۶۵/۳۱ هکتار برآورد گردیده است اما با توجه به شرایط استاندارد مورد نیاز برای کشت آبی و نیز قابلیت دسترسی به آب، ۱۳۰۳/۷۹ هکتار از اراضی منطقه دارای پتانسیل کشت آبی هستند و به همین دلیل میزان این اراضی از ۲۲۶۵/۳۲ هکتار به ۱۳۰۳/۷۹ هکتار کاهش یافته است.

ج) محدودیت سوم: $X_4 \leq 2900.58$

این محدودیت مربوط به اراضی زیر کشت محصولات دیم است. بر اساس شرایط استاندارد، اراضی با شیب بیشتر از ۱۲٪ مناسب کشاورزی دیم نیستند و عمق خاک کم نیز می‌تواند به عنوان محدودیت دیگری برای این اراضی مطرح باشد. با بررسی ویژگی‌های مناطق مختلف در حوضه مورد مطالعه، سطح ۴۴۶۱/۰۳ هکتاری اولیه بعد از جدا کردن مناطق با پتانسیل کشت دیم به ۲۹۰۰/۵۸ هکتار کاهش پیدا کرده است.

د) محدودیت چهارم: $X_1 + X_3 \leq 1471.643$

با توجه به این که در منطقه محدودیت میزان آب وجود ندارد و تنها محدودیت قابلیت دسترسی به آب وجود دارد لذا با توجه به شرایط کلاس شیب و عمق خاک، زمین‌های تحت کشت آبی و اراضی باغی نمی‌توانند از ۱۴۷۱/۶۴ هکتار بیشتر شوند.

ه) محدودیت پنجم: $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq 8002.32$

پنجمین محدودیت مسئله مربوط به سطح اراضی موجود است و آن این که حداکثر سطح اراضی منطقه که می‌تواند به چهار کاربری باغ، مرتع، کشت آبی و کشت دیم اختصاص یابد ۸۰۰۲/۳۲ هکتار است.

و) محدودیت ششم: $X_1 \geq 78.85$

با توجه به مطالبی که در محدودیت اول بیان شد سطح اراضی زیر کشت باغ در منطقه ۷۸/۸۵ هکتار بوده و این اراضی از این میزان نمی‌تواند کمتر باشد. زیرا در حال حاضر به علت بهره‌دهی مناسب، مردم منطقه تمایلی به تغییر این کاربری ندارند.

ز) محدودیت هفتم: $X_2 \geq 1197.16$

هفتمین محدودیت بیانگر این نکته است که سطح اراضی مرتعی منطقه نمی‌تواند از میزان ۱۱۹۷/۱۶ هکتار کمتر باشد. دلیل این است که اراضی مرتعی ملی بوده و تحت مالکیت دولت قرار دارند و بر اساس ماده ۵۶ قانون ملی شدن مراتع نمی‌توان در این اراضی تغییر کاربری ایجاد کرد و از طرفی برخی مناطق که سابق زیر

کشت دیم بوده‌اند اما کارآیی و سوددهی مناسب را نداشته‌اند ممکن است به اراضی مرتعی تبدیل گردند، بنابراین محدودیت هفتم به صورت فوق بیان شده است.

ح) محدودیت هشتم: $X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0$

آخرین محدودیت مربوط به غیر منفی بودن متغیرهاست یعنی این که سطح اختصاص یافته به هر کاربری باید مثبت باشد.

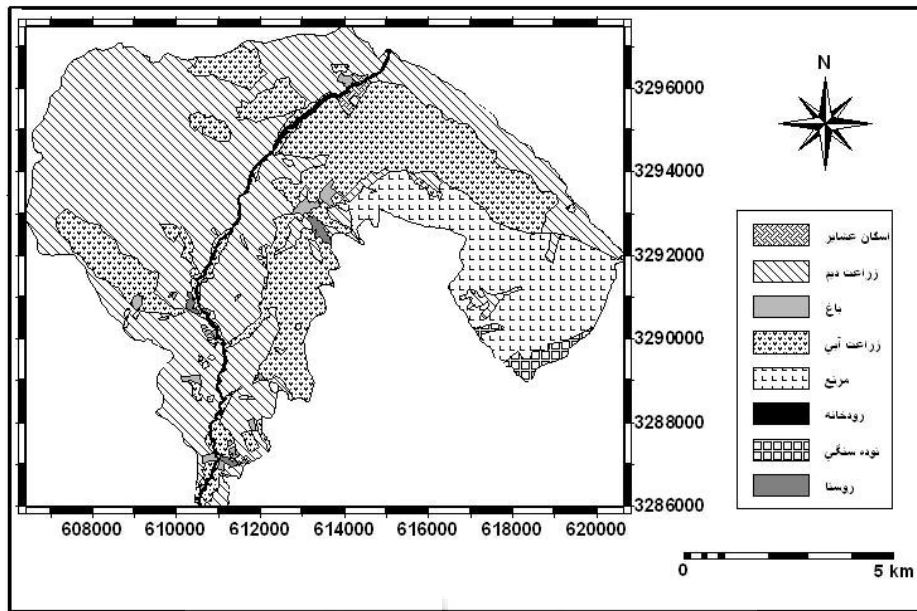
پس از مشخص شدن توابع هدف و محدودیت های بیان شده و همچنین برآورد مقادیر ثابت و جایگزین کردن آن ها در توابع هدف (معادلات ۴ و ۵)، به منظور حل توابع هدف در منطقه مورد مطالعه و دستیابی به مناسب ترین وضعیت کاربری اراضی، مسئله مورد نظر به روش سیمپلکس که یکی از روش های حل مسائل برنامه ریزی خطی است، با کمک نرم افزار LINGO حل و ترکیب بهینه کاربری اراضی مشخص گردید. پس از مشخص شدن ترکیب بهینه کاربری اراضی، میزان فرسایش و سود خالص کل حوضه مشخص و با وضعیت قبل از بهینه سازی مقایسه گردید. به منظور مشخص نمودن عوامل بسیار مهم و حساس در مدل، تحلیل حساسیت نیز صورت گرفت. تحلیل حساسیت، اغلب با بررسی تاثیر تغییرات B_i (مقدار منبع i که برای فعالیت خاصی در اختیار قرار گرفته است) شروع می شود. این عمل میزان افزایش یا کاهش Z_1 و Z_2 را نسبت به افزایش یا کاهش جزئی منبع i نشان می دهد (اصغریور، ۱۳۷۵).

نتایج

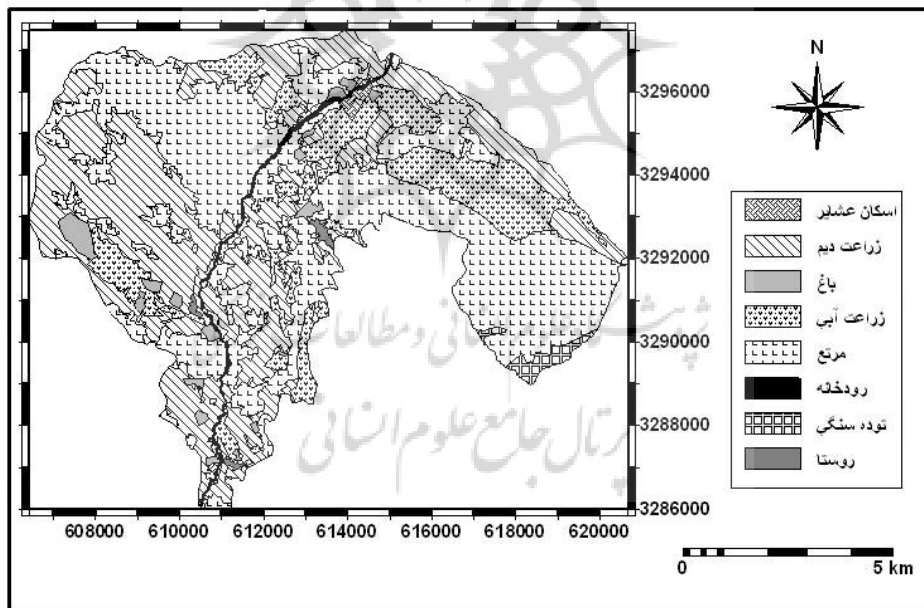
شکل ۲ نقشه فعلی کاربری اراضی و شکل ۳ نقشه کاربری اراضی در حالت استاندارد و با توجه به وجود محدودیت ها و مطالعات تناسب اراضی در منطقه را نشان می دهد. مساحت مربوط به سطح هر کاربری در دو وضعیت فعلی و استاندارد در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج مربوط به مقادیر میزان فرسایش و میزان هزینه و سود دهی هر یک از انواع کاربری ها نیز در جدول ۲ آورده شده است. معادلات ۷ و ۸ فرمول عمومی مسئله بهینه سازی کاربری اراضی با خلاصه کردن اولین هدف و تغییر هدف دوم از شکل حداقل به حداکثر را نشان می دهد.

$$\text{Max}(Z_1) = 35.148X_1 + 0.270X_2 + 1.71X_3 + 0.79X_4 \quad (7)$$

$$\text{Max}(-Z_2) = -12.95X_1 - 10.03X_2 - 15.82X_3 - 17.24X_4 \quad (8)$$



شکل ۲: نقشه پراکنش کاربری ها در وضعیت فعلی در حوضه آبخیز زاخرد



شکل ۳: نقشه پراکنش کاربری ها در وضعیت استاندارد در حوضه آبخیز زاخرد

جدول ۱: مساحت کاربری‌های موجود در حوضه آبخیز زاخرد در دو وضعیت کنونی و استاندارد

عامل کاربری	وضعیت کنونی		وضعیت استاندارد	
	مساحت (ha)	درصد مساحت	مساحت (ha)	درصد مساحت
باغ	۷۸/۸۵	۰/۹۶	۱۶۷/۸۵	۲/۰۴
مرتع	۱۱۹۷/۱۶	۱۴/۵۶	۳۶۳۰/۰۶	۴۴/۱۵
کشت آبی	۲۲۶۵/۳۱	۲۷/۵۵	۱۳۰۳/۷۹	۱۵/۸۶
کشت دیم	۴۴۶۱/۰۳	۵۴/۲۵	۲۹۰۰/۵۸	۳۵/۲۷
سایر مناطق	۲۲۰/۴۶	۲/۶۸	۲۲۰/۴۶	۲/۶۸
کل	۸۲۲۲/۸۱	۱۰۰	۸۲۲۲/۸۱	۱۰۰

جدول ۲: مقادیر فرسایش سالانه، هزینه، درآمد ناخالص و خسارات ناشی از فرسایش خاک

کاربری	سطح (ha)	فرسایش سالانه (Ton/ha/y)	هزینه (۱۰ ^۶ Rial/ha/y)	درآمد ناخالص (۱۰ ^۶ Rial/ha/y)	سود خالص (۱۰ ^۶ Rial/ha/y)	خسارت فرسایش خاک (Rial/ha)
باغ	۷۸/۸۵	۱۲/۹۵	۱۰/۳۰	۴۵/۴۹	۳۵/۱۹	۴۱۱۷۲/۳
مرتع	۱۱۹۷/۱۶	۱۰/۰۳	۰	۰/۲۷۱	۰/۲۷۱	۸۷۶/۶۸
آبی	۲۲۶۵/۳۱	۱۵/۸۲	۴/۴	۶/۱۲	۱/۷۲	۵۴۴۲/۰۸
دیم	۴۴۶۱/۰۳	۱۷/۲۴	۳/۴۷	۴/۲۷	۰/۸۰	۷۳۵۵/۲

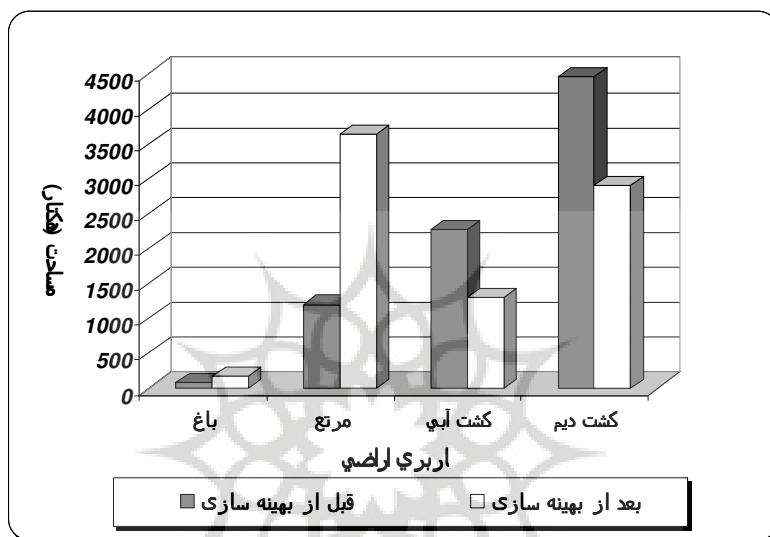
نتایج حاصل از حل مدل بهینه‌سازی توسط نرم‌افزار LINGO که یکی از نرم‌افزارهای برنامه‌ریزی خطی چند منظوره می‌باشد، با در نظر گرفتن ۸ محدودیت کلی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: سطح بهینه اختصاص یافته به هر کاربری پس از حل توابع هدف در حوضه آبخیز زاخرد

عامل کاربری	وضعیت کنونی		سطح بهینه اختصاص یافته	
	مساحت (ha)	درصد مساحت	مساحت (ha)	درصد مساحت
باغ	۷۸/۸۵	۰/۹۶	۱۶۷/۸۵	۲/۰۴
مرتع	۱۱۹۷/۱۶	۱۴/۵۶	۳۶۳۰/۰۶	۴۴/۱۵
کشت آبی	۲۲۶۵/۳۱	۲۷/۵۵	۱۳۰۳/۷۹	۱۵/۸۶
کشت دیم	۴۴۶۱/۰۳	۵۴/۲۵	۲۹۰۰/۵۸	۳۵/۲۷
سایر مناطق	۲۲۰/۴۶	۲/۶۸	۲۲۰/۴۶	۲/۶۸
کل	۸۲۲۲/۸۱	۱۰۰	۸۲۲۲/۸۱	۱۰۰

همان گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، سطح کاربری‌های فعلی در صورت بهینه‌سازی مسئله تغییر کرده به طوری که سطح اراضی باغی از ۷۸/۸۵ هکتار به ۱۶۷/۸۵ هکتار (۲۱۲/۸۷ درصد افزایش)، اراضی مرتعی از ۱۱۹۷/۱۶ هکتار به ۳۶۳۰/۰۶ (۳۰۳/۲۶ درصد افزایش)، سطح اراضی کشت آبی از ۲۲۶۵/۳۱ هکتار به

۱۳۰۳/۷۹ هکتار (۵۷/۵۵ درصد کاهش) و سطح اراضی کشت دیم نیز از ۴۴۶۱/۰۳ هکتار به ۲۹۰۰/۵۸ هکتار (۶۵/۰۲ درصد کاهش) تغییر کرده است. شکل ۴ سطح اختصاص یافته به هر کاربری را در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی نشان می‌دهد. جداول ۴ و ۵ نتایج حاصل از محاسبات فرسایش و سود دهی کاربری‌های مختلف در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی را نشان می‌دهند. همچنین نتایج مربوط به مقایسات مقادیر فرسایش و سود خالص سالانه کل حوضه در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی در جداول ۶ و ۷ آورده شده است.



شکل ۴: تغییرات سطح کاربری‌های مختلف قبل و بعد از بهینه‌سازی در حوضه آبخیز زاخرد

جدول ۴: نتایج حاصل از محاسبات سود و فرسایش در شرایط قبل از بهینه‌سازی کاربری اراضی

کاربری اراضی	سطح (ha)	فرسایش سالانه (Ton/ha)	فرسایش کل (Ton/y)	سود خالص سالانه (۱۰ ^۶ Rial/ha.y)	سود خالص کل (۱۰ ^۶ Rial/ y)
باغ	۷۸/۸۵	۱۲/۹۵	۱۰۲۱/۱۰	۳۵/۱۹	۲۷۷۴/۷۳
مرتع	۱۱۹۷/۱۶	۱۰/۰۳	۱۲۰۰۹/۹۰	۰/۲۷۱	۳۲۴/۴۳
کشت آبی	۲۲۶۵/۳۱	۱۵/۸۲	۳۵۸۳۷/۲۰	۱/۷۲	۲۳۳۷/۷۸
کشت دیم	۴۴۶۱/۰۳	۱۷/۲۴	۷۶۹۰۸/۱۵	۰/۸۰	۲۱۴۱/۲۹
کل	۸۰۰۲/۳۵	۱۵/۷۱	۱۲۵۷۷۶/۳۵	۱/۴۳	۷۵۷۸/۲۳

جدول ۵: نتایج حاصل از محاسبات سود و فرسایش در شرایط بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی

کاربری اراضی	سطح (ha)	فرسایش سالانه (Ton/ha)	فرسایش کل (Ton/y)	سود خالص سالانه (10^6 Rial/ha.y)	سود خالص کل (10^6 Rial/y)
باغ	۱۶۷/۸۵	۱۲/۹۵	۲۱۷۳/۶۵	۳۵/۱۹	۵۹۰۶/۶
مرتع	۳۶۳۰/۰۸	۱۰/۰۳	۳۶۴۰۹/۷۰	۰/۲۷۱	۹۸۳/۷۵
کشت آبی	۱۳۰۳/۷۹	۱۵/۸۲	۲۰۶۲۵/۹۵	۱/۷۲	۱۳۴۵/۵۱
کشت دیم	۲۹۰۰/۵۸	۱۷/۲۴	۵۰۰۵/۹۹	۰/۸۰	۱۳۹۲/۲۸
کل	۸۰۰۲/۳۵	۱۳/۶۴	۱۰۹۲۱۵/۲۹	۱/۵۳	۹۶۲۸/۱۴

جدول ۶: درصد کاهش میزان فرسایش کل حوضه (Ton/y) در بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی نسبت به وضعیت کنونی

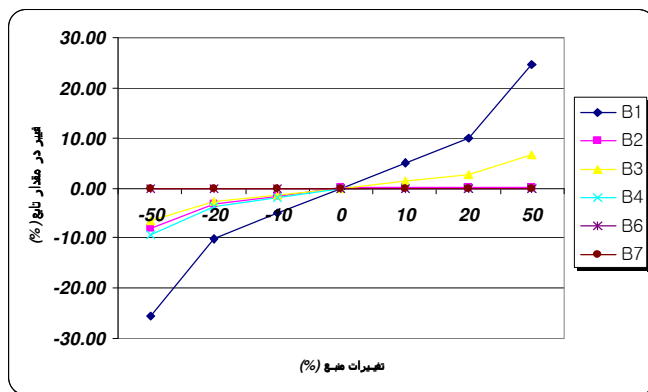
بعد از بهینه‌سازی		قبل از بهینه‌سازی
درصد کاهش	مقدار فرسایش (Ton/y)	مقدار فرسایش (Ton/y)
۱۳/۱۶	۱۰۹۲۱۵/۲۹	۱۲۵۷۷۶/۳۵

جدول ۷: درصد افزایش میزان سود خالص کل حوضه در بعد از بهینه‌سازی کاربری اراضی نسبت به وضعیت کنونی

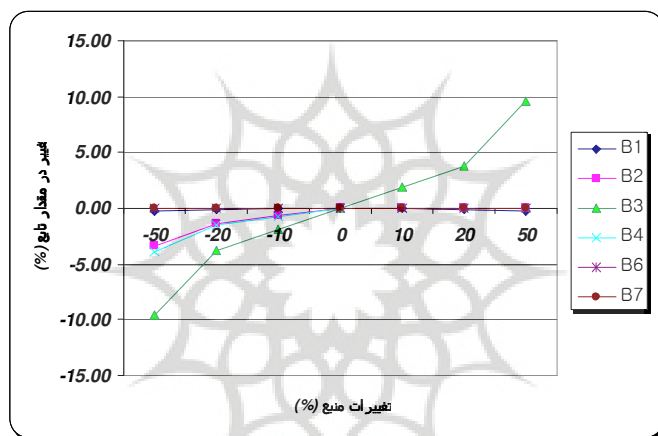
بعد از بهینه‌سازی		قبل از بهینه‌سازی
درصد افزایش	مقدار سود (10^6 Rial/y)	مقدار سود (10^6 Rial/y)
۲۷/۰۴	۹۶۲۸/۱۴	۷۵۷۸/۲۳

با توجه به نتایج به‌دست آمده در جدول ۶ مشاهده می‌شود که میزان فرسایش خاک در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی کاهش یافته است، همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد، میزان فرسایش قبل از بهینه‌سازی کاربری اراضی برابر با ۱۲۵۷۷۶/۳۵ تن در سال بوده است که پس از بهینه‌سازی کاربری اراضی به ۱۰۹۲۱۵/۲۹ تن در سال رسیده است. به عبارتی میزان فرسایش حدود ۱۳/۱۶ درصد کاهش یافته است (جدول ۶). نتایج حاصل از جدول ۷ نیز نشان می‌دهد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه آبخیز زاخرد، میزان سوددهی کل حوضه افزایش قابل توجهی داشته است. با توجه به جدول ۷ مشخص می‌شود، که میزان سوددهی کل حوضه در قبل از بهینه‌سازی کاربری اراضی برابر با ۷۵۷۸/۲۳ میلیون ریال و پس از بهینه‌سازی کاربری اراضی برابر با ۹۶۲۸/۱۴ میلیون ریال بوده است. به عبارتی میزان سوددهی در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی به میزان ۲۷/۰۴ درصد افزایش یافته است (جدول ۷).

در ارزیابی حساسیت توابع هدف نسبت به تغییرات منابع و ضرایب از نسبت‌های ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد تغییرات منابع نسبت به حالت بهینه استفاده و در نتیجه درصد تغییرات مقدار توابع هدف محاسبه شد. با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ تحلیل حساسیت می‌توان نتیجه گرفت که تغییر در بیشترین سطح اراضی باغی و سطح اراضی دیم بیشترین تأثیر در تغییر میزان سوددهی و فرسایش خاک حوضه آبخیز زاخرد را به دنبال دارد.



شکل ۵: تجزیه و تحلیل تابع بیشینه‌سازی سود نسبت به تغییرات منابع



شکل ۶: تجزیه و تحلیل تابع کمینه‌سازی فرسایش خاک نسبت به تغییرات منابع

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی میزان فرسایش خاک نسبت به شرایط حال به میزان ۱۳/۱۶ درصد کاهش می‌یابد. علت کاهش فرسایش مربوط به کاهش سطح اراضی دیم و کشت آبی و افزایش سطح اراضی باغی و مرتعی بوده است.

همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه آبخیز زاخرد علاوه بر کاهش میزان فرسایش، میزان سوددهی کاربری‌های مختلف را بهبود می‌بخشد که این امر از لحاظ مدیریت پایدار حوزه آبخیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. به طوری که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط فعلی ۲۷/۰۴ درصد نسبت به شرایط قبل از بهینه‌سازی بر میزان سوددهی حوضه افزوده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که بهینه‌سازی کاربری اراضی علاوه بر هدر رفت منابع، باعث افزایش میزان سوددهی نیز گردیده است که این امر یکی از مهمترین الگوی مورد نظر مسئولین کشاورزی و منابع طبیعی است.

نتایج بدست آمده از انتخاب حساس‌ترین پارامتر مدل نیز نشان داد که تغییر در بیشترین سطح اراضی باغی و بیشترین سطح اراضی دیم، بیشترین تأثیر در تغییر میزان سوددهی و فرسایش خاک حوضه آبخیز زاخرد دارد. مقایسه فرضیه‌ها و نتایج بدست آمده از این تحقیق نیز نشان می‌دهد که فرضیه اول که بیان می‌کند وضعیت فعلی کاربری اراضی در حوضه آبخیز زاخرد برای به حداقل رساندن فرسایش خاک مناسب نیست، تایید می‌شود. زیرا میزان فرسایش بعد از اجرای مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه آبخیز زاخرد ۱۳/۱۶ درصد کاهش یافته است و این بیانگر این مطلب می‌باشد که کاربری اراضی موجود در حوضه آبخیز زاخرد در شرایط فعلی برای کاهش میزان فرسایش خاک مناسب نمی‌باشد و باید اقدامات مدیریتی جهت بهینه‌کردن آن‌ها منظور گردد.

نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیقات دیگر محققان همچون نیک‌کامی (۱۹۹۹)، جلیلی (۱۳۸۳)، Singh (۱۹۹۹) و شعبانی (۱۳۸۶) تطابق دارد. جلیلی (۱۳۸۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی درحوضه آبخیز بریموند، میزان کاهش فرسایش و افزایش سود سالانه را به ترتیب ۷/۷۸ درصد و ۱۱۸/۶۲ درصد بیان نمود. نیک‌کامی (۱۹۹۹) در تحقیق مشابه در یکی از زیر حوضه‌های آبخیز دماوند، ضمن معرفی ترکیب بهینه کاربری اراضی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی چند منظوره، کاهش ۵ درصدی در تولید رسوب و افزایش ۱۳۴ درصدی در سود سالانه در منطقه را در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی بیان می‌کند. Singh (۱۹۹۹) در یک مطالعه موردی در ناحیه ماهی‌کماند هندوستان، حداکثرسازی تولید و سود را با به کارگیری برنامه‌ریزی بهینه کشت انجام داد و نتیجه گرفت که برنامه‌ریزی کشت در سطح منطقه، میزان تولیدات را ۶۰ تا ۹۶ درصد افزایش می‌دهد. شعبانی (۱۳۸۶) در مطالعه خود در حوضه آبخیز خارستان فارس به این نتیجه رسید که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط فعلی و بدون اعمال هیچ‌گونه مدیریت زراعی، میزان فرسایش خاک نسبت به شرایط حال به میزان ۳/۷ درصد کاهش و میزان سود دهی حوضه ۱۶۲/۶۳ درصد افزوده می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
رتال جامع علوم انسانی

منابع

- ۱- احمدی، حسن (۱۳۷۸): ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱ (فرسایش آبی)، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- اصغرپور، محمد جواد (۱۳۷۵): برنامه‌ریزی خطی، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، چاپ پنجم، ۳۱۱ صفحه.
- ۳- پیشداد سلمان آباد، لیلا، نجفی نژاد، علی و سلمان ماهینی، عبدالرسول (۱۳۸۷): بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوضه آبخیز چراغ ویس، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، شماره ۱، جلد ۵۵.

۴- جلیلی، خلیل (۱۳۸۳): بهینه‌سازی کاربری اراضی حوضه‌آبخیز بریموند به منظور کمیته‌سازی فرسایش خاک با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، صفحه ۸۸.

۵- حق نیا، غلامرضا، و کوچکی، عوض (۱۳۷۵): مدیریت پایدار خاک، ترجمه، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.

۶- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۵): فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.

۷- سلطانی، غلامرضا، زیبایی، منصور و کهنخا، احمد علی (۱۳۷۸): کاربرد برنامه‌ریزی ریاضی در کشاورزی، انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ۳۷۳ صفحه.

۸- شعبانی، محمد (۱۳۸۶): تاثیر مدیریت کاربری اراضی در کاهش فرسایش خاک (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز خارستان فارس)، رساله دکتری آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۹- طرح جامع مطالعات آبخیزداری حوضه آبخیز زاخرد (۱۳۸۳): مدیریت آبخیزداری جهاد کشاورزی استان فارس.

۱۰- مهرگان، محمد (۱۳۸۰): پژوهش عملیاتی (برنامه ریزی خطی و کاربرد های آن)، نشر کتاب دانشگاهی، تهران، چاپ چهاردهم، ۵۳۱ صفحه.

۱۱- نیک کامی، داوود (۱۳۸۱): بهینه‌سازی مدیریت فرسایش خاک در حوضه آبخیز دماوند، مجله علمی پژوهشی پژوهش و سازندگی، شماره ۵۴، صفحه ۸۲-۸۹.

۱۲- نیک کامی، داوود (۱۳۸۳): کاربرد های تحقیقاتی و مطالعاتی مدل PSIAK در محیط GIS، انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳۲ صفحه.

13- Clausen, J. C., Jokela, W. E., Potter and Williams, F. I (1996): Paired Watershed Comparison of Tillage Effects on Runoff, Sediment and Pesticide Losses. *Journal of Environmental Quality*, 25: 1000-1007.

14- Dick, w. A. and Vandoren, D .M (1985): Continuous Tillage and Rotation Combinations Effects on Corn, Soybean, and Oat Yields, *Agronomy Journal*, 77: 459-465.

15- Fawcett, R. S., Christensen, B. R and Tierney, D, P (1994): The Impact of Conservation Tillage on Pesticide Runoff in to Surface Water: a Review an Analysis, *Journal of Soil and Water Conservation*, 69: 126-135.

16- Gysels, G., Poesn, J., Knapen, A., Van Dessol, W. and Leonarl, J (2006): Effects of Double Drilling of Small Grains on Small on Soil Erosion By Concentrated Flow and Crop Yield, *Journal of Soil and Tillage Research*.

17- Hussain, I., Olson., K. R and Ebolhar., S. A (1999): Impacts of Tillage and no-Till on Production of Maize and Soybean on an Eroded Illinois Silt Loam Soil, *Journal of Soil and Tillage Research*, 52:37-49.

18- Ismail, I., Blevins, R. L and Frye., W. W (1994): Long-Term Tillage Effected on Soil Properties and Continuous Corn Yields, *Soil Science American Journal*, 56: 1255 – 1299.

19- Mahler, P.J (1979): *Manual of Land Classification for Irrigation* (Third Revised Edition), Soil Instituted of Iran, Publication No.205, Pp 103.

20- Mccool, D. K., Zuzel, J. F., Istok, J. E and Molnau, M (1986): Erosion Processes and Prediction for The Pacific Northwest, In: Elliott, L.F.(Ed), *Proceedings of The STEEP-Soil Conservation Concepts and Accomplishments*, May 20-21,1986, Spokane, WA.PP. 187-204.

21- Ozpinar, S. (2006): Effects of Tillage on Productivity of Winter Wheat-Vetch Rotation Under Dry Land Mediterranean Conditions, *Journal of Soil and Tillage Research*, 89: 258-265.

- 22- 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.
- 23- Vanliew, M. W and SaxTon, K. E (1983): Slope Steepness and Incorporated Residue Effects on Rill Erosion, Trans, ASAE, 26(6)1238-1743.
- 24- Wagger, M. G and DenTon, H.P (1992): Crop and Tillage Rotations Grain Yield, Residue Cover and Soil Water, Soil Science American Journal, 56:1233- 1237.
- 25- Zuzel, J. F and Pikul, J. L (1993): Effects of Straw Mulch on Runoff and Erosion Form Small Agricultural Plots in Northeastern Oregon, Journal of Soil Science,156(2), 111-117.
- 26- Baker, J. L and Laflen, J. M (1983): Effect of Tillage Systems on Run Off Losses of Pesticides, a Rainfall Simulation Study, Journal of Soil and Water Conservation, 38: 186-193.

