

## بهینه سازی کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز به منظور کمینه سازی فرسایش خاک با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (مطالعه موردی حوزه آبخیز برموند، استان کرمانشاه)

خلیل جلیلی<sup>۱</sup>، سید حمیدرضا صادقی<sup>۲</sup> و داود نیک کامی<sup>۳</sup>

### چکیده

عدم وجود مدیریت صحیح استفاده از اراضی در یک حوزه آبخیز، تأثیرات نامناسبی بر منابع موجود در آن دارد. بهینه سازی کاربری اراضی یکی از راه‌کارهای مناسب برای دست یابی به توسعه پایدار و کاهش هدررفت منابع می‌باشد. تحقیق حاضر در حوزه آبخیز برموند به مساحت ۹۵۷۲ هکتار در استان کرمانشاه به منظور تعیین مناسب‌ترین ترکیب کاربری اراضی شامل باغ، کشت آبی، کشت دیم و مرتع جهت کمینه سازی فرسایش خاک و بیشینه سازی سود صورت گرفت. برای انجام تحقیق حاضر، مقادیر فرسایش، سود خالص و نیز نقشه‌های تهیه شده طبق استانداردهای استفاده از اراضی به عنوان ورودی توابع هدف و محدودیت‌های مدل بهینه سازی کاربری اراضی استفاده شد. مدل برنامه ریزی خطی چند هدفی تهیه و با استفاده از روش سیمپلکس در نرم افزار ADBASE حل شد. نتایج به دست آمده از تحقیق، ضمن معرفی کاربری بهینه اراضی حوزه آبخیز برموند، میزان کاهش فرسایش خاک و افزایش سود سالانه را به ترتیب ۷/۷۸ درصد و ۱۱۸/۶۲ درصد ارائه نمود. بهینه سازی انجام شده بر کاهش اراضی دیم و افزایش اراضی باغی در منطقه تأکید دارد. نتایج به دست آمده از تحلیل حساسیت نیز نمایانگر تأثیر پذیری زیاد توابع هدف از حداکثر سطح اراضی کشاورزی آبی و باغی است.

واژه‌های کلیدی: بهینه سازی، کاربری اراضی، فرسایش خاک، برنامه‌ریزی خطی، برموند، کرمانشاه

### مقدمه

سرزمین، مدیریت منابع، لازم و ضروری است (۳ و ۱۱). در این راستا، توسعه پایدار و استفاده بهینه از منابع طبیعی یکی از یافته‌های انسان در دهه‌های اخیر بوده (۵ و ۶) که آن را استفاده مؤثر از منابع موجود بدون آسیب رساندن به دارایی‌ها و منابع نسل‌های آینده تعریف نموده‌اند (۱۶). برای دست یابی به این

یکی از مشکلات بشر در آستانه قرن ۲۱، بحران زیست محیطی و تخریب منابع طبیعی است. منابع موجود به لحاظ محدودیت، بشر را به چاره اندیشی برای مبارزه با این روند، وادار نموده است. بنابراین جهت بهره‌برداری با صرفه اقتصادی و مستمر از

۱. پژوهشگر گروه هیدرولیک و منابع آب جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه

۲. استادیار مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۳. استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری تهران

بهینه‌سازی که در واقع دست‌یابی به مناسب‌ترین مقدار خروجی یک سامانه با توجه به محدودیت‌های حاکم بر آن می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت بهینه‌سازی کاربری اراضی، یکی از راه‌کارهای مناسب برای حفاظت خاک است که به مدیران آبخیز و تصمیم‌گیران این اختیار را می‌دهد تا از بین گرینه‌های مختلف کاربری اراضی، بهترین تصمیم را اتخاذ کنند (۲۲).

تکنیک‌های فراوانی برای بهینه نمودن مسایل موجود در حوزه‌های آبخیز وجود دارد که یکی از این روش‌ها استفاده از برنامه‌ریزی خطی (Linear programming) است. بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد کاربرد برنامه‌ریزی خطی در راستای بهینه‌سازی مدیریت منابع حوزه‌های آبخیز به ندرت مورد استفاده قرار گرفته است. در این میان می‌توان به نیک‌کامی (۲۰) و نیک‌کامی (۱۵) در خصوص بهینه‌سازی مدیریت فرسایش خاک در یکی از زیرحوزه‌های آبخیز دماوند و کاربرد آن به منظور کاهش تأثیرات محیطی و اقتصادی فرسایش خاک اشاره نمود. نتایج تحقیق ارائه شده بر کاهش ۵ درصدی تولید رسوب و افزایش ۱۳۴ درصدی سود سالانه در منطقه مورد مطالعه دلالت دارد. سینگ و سینگ (۲۴) حداکثر سازی تولید و سود با به کارگیری برنامه ریزی بهینه کشت را در یک مطالعه موردي در ماهی کوماند (Mahi Command) هند انجام دادند. این تحقیق هم‌چنین نشان داد که برنامه ریزی کشت در سطح منطقه تولیدات را از ۶۰ تا ۹۶ درصد و برگشت خالص را از ۲۳ تا ۲۶ درصد افزایش داده است. ستاهای و همکاران (۲۳) از مدل برنامه ریزی خطی برای حداکثر نمودن سود اقتصادی در حوزه رودخانه ساحلی در ایالت اوریسا در هند استفاده نمودند و نتایج تحقیق به استخراج استراتژی مدیریت آب‌های زیرزمینی و محصولات منجر گردید. رایدل (۲۲) نیز بهینه سازی برنامه‌ریزی کاربری اراضی برای نواحی کوهستانی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System) (GIS) جهت دست‌یابی به پایداری را در یکی از حوزه‌های کوهستانی شمال تایلند بررسی کرد و نتیجه این تحقیق دلالت بر موفقیت آمیز بودن

توسعه در بخش کشاورزی مدیریت صحیح و برنامه ریزی مناسب کاربری اراضی لازم است (۱۹).

با وجود مدیریت صحیح نیز برخی تخریب‌ها در منابع طبیعی صورت می‌گیرد. از جمله فرسایش طبیعی یا فرسایش ژئولوژیکی خاک که تحت تأثیر فعالیت‌های زیان آور انسانی پدید نیامده و از کنترل انسان نیز خارج است (۲۸). اگرچه متوقف نمودن کامل فرسایش تا حد شرایط طبیعی امکان پذیر نیست ولی مقابله با فرسایش خاک به مفهوم کاهش آن تا حد شرایط طبیعی به اتخاذ تدبیر مناسب در طرح‌های بهره برداری از آب و خاک نیازی مبرم و یک راهبرد اساسی محسوب می‌شود (۱۵).

استفاده از اراضی بر حسب استعداد و قابلیت آنها در چارچوب یک برنامه ریزی صحیح مدیریتی می‌تواند از شدت تخریب و هدررفت منابع بکاهد (۴، ۸ و ۱۴). از آنجا که فرسایش خاک یکی از موانع مهم برای دست‌یابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی است، از این رو به منظور برنامه‌ریزی در زمینه احیا و توسعه و مدیریت بهینه و پایدار اراضی به ویژه در قالب طرح‌های حفاظت خاک و آبخیزداری، آگاهی از وضعیت و روند فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز یکی از مهم‌ترین ابزارهای تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی‌های مورد نظر می‌باشد (۱).

امروزه جوهره علم مدیریت در شیوه مدل سازی متجلی است و روش‌های برنامه ریزی در جهت تخصیص بهینه منابع کمیاب برای به دست آوردن بیشترین منافع از مهم‌ترین ابزارهای کاربردی علم مدیریت به شمار می‌رود. در برنامه‌ریزی کشاورزی و منابع طبیعی در مقایسه با بخش صنعت، تصمیم‌گیران معمولاً با بهینه کردن هم‌زمان چندین هدف مواجه‌اند (۲۱).

کاربری اراضی روی واحدهای مختلف زمین می‌تواند با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی برای بهینه سازی (Optimization) درآمد کاربری زمین و کاهش تأثیرات زیست محیطی بهینه گردد (۲۱)، از این رو با استفاده از مفهوم

بریموند استان کرمانشاه به منظور کمینه سازی فرسایش خاک به عنوان مطالعه موردی در راستای تعیین وسعت بهینه هر یک از کاربری‌های باغ، مرتع، کشاورزی آبی و کشاورزی دیم به دلیل موجود بودن اطلاعات پایه، امکان دسترسی و تهدیدهای ایجاد شده در اثر فرسایش به سامانه آبرسانی منطقه انجام پذیرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بریموند در بالا دست کانال آبرسانی کشاورزی سد بریموند در ۴ کیلومتری شمال شهرستان سرپل ذهاب در استان کرمانشاه واقع است. این منطقه از لحاظ کشاورزی حائز اهمیت بوده و بروز فرسایش خاک و تولید رسوب، سبب مشکلاتی در امر آبرسانی و نیز پر شدن مخازن و کانال‌های آبیاری شده است. وسعت منطقه بر اساس مطالعات فیزیوگرافی ۹۵۷۲ هکتار و در حد واسط طول های "۴۵° ۴۷' ۰۸" تا "۴۶° ۵۴' ۴۵" شرقی و عرض های "۲۴° ۲۸' ۳۶" تا "۳۴° ۳۶' ۰۸" شمالی قرار گرفته است (۱۳). شکل ۱ موقعیت و شمای کلی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۴۸۵/۴ میلی‌متر و اقلیم حوزه بر اساس روش آمبرژه، نیمه خشک معتدل می‌باشد. استفاده‌های اصلی از اراضی حوزه شامل باغ، مرتع، کشاورزی آبی و کشاورزی دیم، مناطق مسکونی و اراضی صخره‌ای است که وسعت آنها به ترتیب ۳۸/۳۲، ۴۰/۱۲۷، ۴۰/۴۹/۲۷ و ۵۳۰/۱۷ هکتار می‌باشد (۱۳).

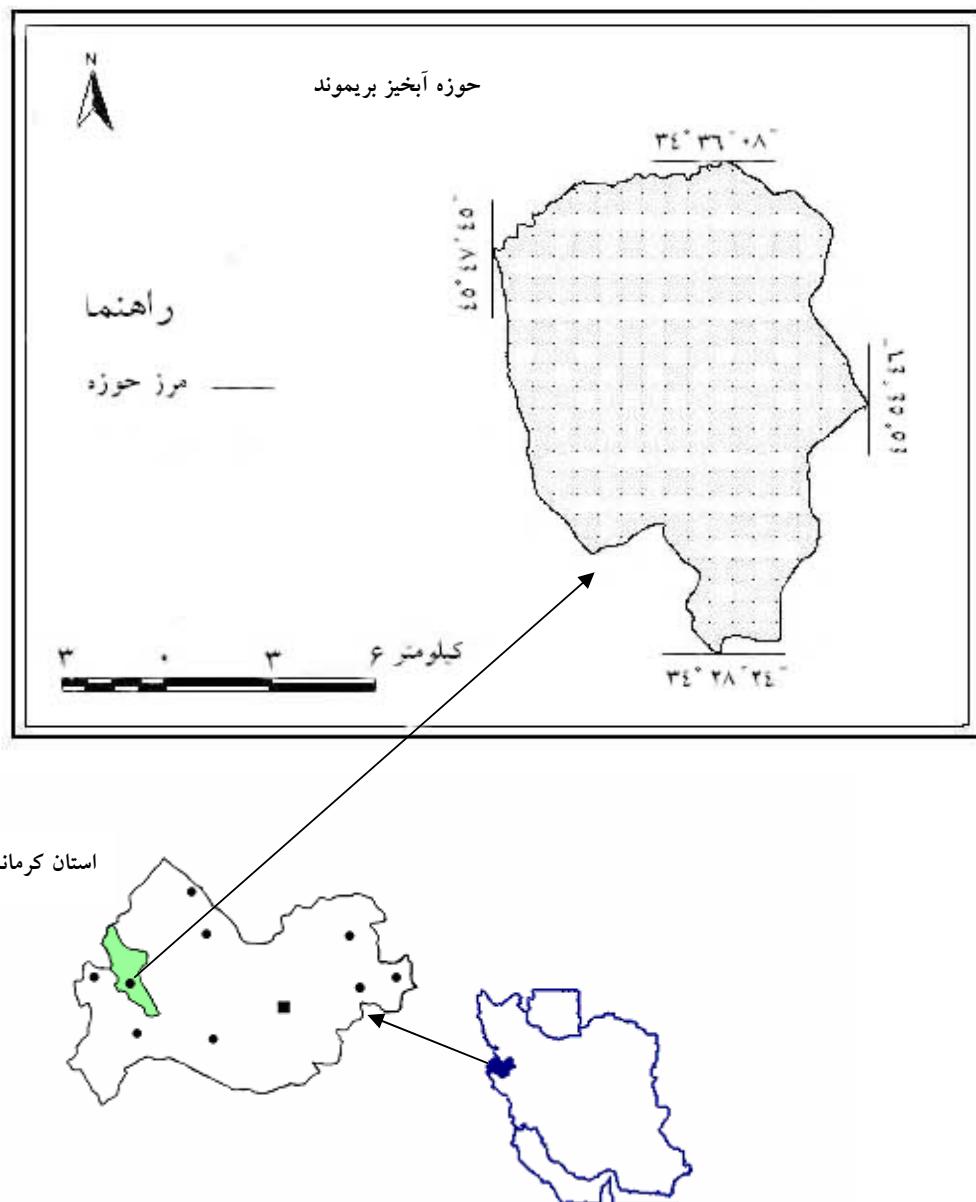
### روش تحقیق

به منظور انجام تحقیق حاضر در ابتدا کلیه مطالعات موجود شامل مطالعات فیزیوگرافی، خاک‌شناسی، فرسایش و رسوب، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی، هواشناسی، هیدرولوژی و منابع آب، اقتصادی- اجتماعی از مدیریت آبخیزداری استان کرمانشاه (۱۳) جمع آوری و طی بازدیدهای

تلغیق مذکور دارد. به و تانگ (۲۹) الگوریتم برنامه‌ریزی خطی را جهت تعیین استراتژی‌های مدیریت کاربری اراضی در مناطق ساحلی تایوان به کار گرفته و نتیجه‌گیری نمودند که آب‌های زیرزمینی برای استفاده در مزارع پرورش ماهی به کار نرود و در منطقه، سطح مربوط به پرورش ماهی می‌تواند به استفاده‌های دیگری تبدیل شود. کرالیش و بک استین (۱۷) بهینه‌سازی چند منظوره کاربری اراضی را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network) در کشور آلمان مورد تحقیق و پژوهش قرار دادند و یک دستورالعمل ANN اصلاح شده برای یافتن نمایش کشت برای سطح حوزه آبخیز، ارائه داده که این نمایش‌ها می‌توانند جهت تولید تصمیم‌های قابل توجیه مدیریت کاربری اراضی مورد استفاده قرار گیرد. لیو و استوارت (۱۸) کاربرد سامانه پشتیبانی تصمیم گیری (Decision Support System) برای اتخاذ تصمیم چند منظوره در مدیریت منابع طبیعی را در آفریقای جنوبی مورد ارزیابی قرار دادند. مدل DSS طراحی شده در این تحقیق، یک روش کارا و مؤثر برای تصمیم گیری چند منظوره در مدیریت منابع طبیعی با استفاده از آنالیز و تحلیل نتایج سیستم عمومی را پیشنهاد نموده است.

در ایران نیز در خصوص کاربرد مدل‌های بهینه‌سازی در مدیریت کاربری اراضی حوزه آبخیز علاوه بر نیک‌کامی (۱۵)، می‌توان به تحقیق انجام شده توسط محسنی ساروی و همکاران (۱۲) با استفاده از برنامه‌ریزی هدف زیر‌حوزه‌های قره سو استان گلستان و تعیین الگوی بهره برداری از منابع آبخیز اشاره نمود. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که در اولویت بندي بر اساس اهداف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی، الگوی پیشنهادی بر اساس دیدگاه اقتصادی دارای برتری نسبی نسبت به دیگر دیدگاه‌های است زیرا که در آن تمام اهداف مورد نظر تأمین شده اما در سایر دیدگاه‌ها دسترسی به تمام اهداف ممکن نبوده است.

در این تحقیق بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و شمای کلی منطقه مورد مطالعه

$$\text{Min}(Z_\gamma) = \sum_i^n C_{Ei} X_i$$

[۳]

صحرایی تکمیل گردید. بر اساس اطلاعات به دست آمده شکل کلی مسأله به صورت روابط ۱ تا ۱۱ است.

$$X_1 \leq B_1$$

[۴]

$$X_\gamma \leq B_\gamma$$

[۵]

$$\text{Max}(Z_\gamma) = \sum_i^n C_{Bi} X_i$$

[۶]

$$X_\gamma \leq B_\gamma$$

[۶]

رابطه ۱ را می‌توان به صورت رابطه ۲ تشریح نمود.

$$X_1 + X_\gamma \leq B_\gamma$$

[۷]

$$X_1 + X_\gamma + X_\gamma + X_\gamma = X_5$$

[۸]

$$\text{Max}(Z_\gamma) = \sum_i^n [A_{i1} - (A_{i2} + A_{i3})] X_i$$

[۹]

برداشت و نیز هزینه خسارت فرسایش خاک، میزان سود خالص محاسبه و به عنوان ضریب در تابع هدف بیشینه سازی سود مورد استفاده قرار گرفت. اراضی مرتعی نیز در سه نوع وضعیت مرتعی خیلی فقیر، فقیر و متوسط (۱۳) مورد بررسی قرار گرفته و میزان متوسط وزنی تولید علوفه خشک، مواد غذایی قابل هضم (Total Digestible Nutrients) (TDN) و واحد دامی هر یک مشخص گردید. محاسبه خسارت فرسایش مطابق روابط ۱۲ و ۱۳ و با معادل قرار دادن میزان خاک از دست رفته با سطح اراضی از دسترس خارج شده بر اساس عمق ریشه دوایی و وزن مخصوص ظاهری خاک در هر یک از کاربری‌ها صورت گرفت (جدول ۱).

$$[12] \quad \text{میزان فرسایش (t/ha)} = \frac{\text{سطح اراضی از دست رفته}}{\text{وزن مخصوص خاک (t/m}^3\text{)} \times \text{عمق ریشه (m)}}$$

$$[13] \quad \text{هزینه اراضی از دست رفته} = \text{سطح اراضی از دست رفته} \times \text{ارزش یک هکتار زمین}$$

تعیین سطح کاربری‌های مختلف در طرف راست معادلات محدودیت (Right Hand Side) (RHS) با در نظر گرفتن شرایط استاندارد شیب، عمق خاک و قابلیت دسترسی به منابع آب و بر اساس استانداردهای معرفی شده در منابع مختلف (۹، ۷، ۲، ۱۰ و ۲۷) معین شد. با توجه به محاسبات انجام شده محدودیت آب در منطقه وجود نداشته و قابلیت دسترسی به آب نیز با توجه به موقعیت کانال آبرسانی سد بریموند، موقعیت چشمه‌ها و چاه‌ها در منطقه لحاظ و با استفاده از مدل ADBASE (۲۵ و ۲۷) کاربری‌ها بهینه گردید. این مدل قادر به حل مسایل چند هدفی، بدون تغییر توابع هدف و تبدیل مسئله از شکل چند هدفی به یک هدفی، عدم محدودیت در اجرا و کاربرد و اجرا با کلیه رایانه‌های شخصی، شبکه‌ای و ابر رایانه‌ها با استفاده از روش سیمپلکس (Simplex method) می‌باشد (۲۵ و ۲۶).

پس از اجرای مدل و تعیین سطح بهینه کاربری اراضی به منظور دست‌یابی به بیشترین سود و کمترین فرسایش، به منظور

$$X_1 \geq B_6 \quad [14]$$

$$X_7 \geq B_7 \quad [15]$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0 \quad [16]$$

که در آنها  $Z_1$  و  $Z_2$  به ترتیب درآمد خالص سالانه (میلیون ریال) و فرسایش سالانه (تن) در واحد سطح هر کاربری است.  $X_i$  مساحت هر کاربری (هکتار)،  $C_{Bi}$  و  $C_{Ei}$  به ترتیب درآمد خالص سالانه (میلیون ریال) و فرسایش سالانه (تن) در واحد سطح هر کاربری می‌باشد.  $A_{i1}$ ،  $A_{i2}$  و  $A_{i3}$  به ترتیب سود ناخالص، هزینه تولید و هزینه خسارت فرسایش خاک (میلیون ریال) در واحد سطح هر کاربری در سال است.  $B_1$  تا  $B_4$  نیز به ترتیب بیشترین سطح اراضی باگی، آبی، دیم و مجموع آبی و باگی و  $B_5$  تا  $B_7$  به ترتیب سطح کل اراضی، کمترین سطح اراضی باگی و کمترین سطح اراضی مرتعی می‌باشند که بر حسب واحد هکتار در معادلات استفاده شده‌اند.

#### برآورد مقادیر ثابت

در شرایط فعلی امکان تغییر در استفاده از اراضی مسکونی، راه‌ها، اراضی صخراهای وجود ندارد. بنابراین مساحت این واحدها از سطح حوزه آبخیز کم شده و مقدار باقی مانده به عنوان سطح مورد نظر در بهینه سازی کاربری اراضی مورد توجه قرار گرفته است. به منظور تعیین فرسایش سالانه هر یک از کاربری‌ها ( $C_{Ei}$ )، میزان تولید رسوب با استفاده از روش MPSIAC (Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee) تخمین زده شد و با در نظر گرفتن نسبت تحويل رسوب (Sediment Delivery Ratio) به دست آمده برای هر کاربری، میزان فرسایش تولیدی هر کاربری محاسبه گردید. میزان سود و هزینه سالانه کاربری‌های مختلف در منطقه بر اساس مطالعات مدیریت آبخیزداری کرمانشاه، (۱۳) و نیز پرسش از آبخیزنشینان تهیه شد. بر این اساس انگور مهم‌ترین محصول باگی منطقه، گندم، ذرت، جالیز، علوفه، پنبه و باقلاء محصولات آبی و گندم، جو و نخود نیز به عنوان مهم‌ترین محصولات دیم در منطقه محاسبه شدند. در هر کاربری با محاسبه میزان سود ناخالص و کسر نمودن میزان هزینه‌های سه مرحله کاشت، داشت و

## جدول ۱. نتایج محاسبات برآورد خسارت فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف

نوع کاربری	فرسایش ویژه (t/ha)	فرسایش کل (t)	عمق ریشه (m)	وزن مخصوص ظاهری خاک (t/m <sup>3</sup> )	اراضی هدر رفته (m <sup>2</sup> /ha)	هزینه (R/ha)
باغ	۷/۳۸۹	۳۶۹/۴۵	۱	۱/۰۸	۶/۸۴	۵۸۲۰/۸۴
مرتع	۸/۱۴۴	۴۰۶۷۹/۲۸	۰/۱۵	۱/۱۱	۴/۸۹۱	۷۶۷/۷۷
کشت آبی	۷/۳۸۹	۱۴۷۷۸	۰/۰۵	۱/۰۸	۱۳/۶۸	۶۶۲۳
کشت دیم	۲۱/۱۱۲	۴۳۵۳۲/۹۴	۰/۱۵	۱/۰۹	۱۲۹/۱۳	۳۴۹۴/۳۵

مدل بهینه سازی کاربری اراضی در نظر گرفته شد:

$$X_1 \leq ۵۱۸/۸۱ \quad [16]$$

محدودیت اول در این مسئله مربوط به سطح اراضی باغی موجود است که  $۳۸/۳۲$  هکتار بوده اما این میزان می‌تواند به  $۵۱۸/۸۱$  هکتار افزایش یابد. دلیل این افزایش امکان اختصاص زمین‌های با شیب بیش از ۵ درصد و عمق مناسب خاک به باغ می‌باشد (۲۰).

$$X_2 \leq ۴۰۴۴/۶۴ \quad [17]$$

محدودیت دوم مربوط به زمین‌هایی است که زیر کشت محصولات مختلف آبی قرار گرفته‌اند و در کاربری اراضی موجود منطقه  $۴۰۴۹/۲۷$  هکتار برآورد گردیده ولی با توجه به شرایط استاندارد مورد نیاز برای کشت آبی و نیز قابلیت دسترسی به آب،  $۴۰۴۴/۶۴$  هکتار از اراضی منطقه دارای پتانسیل کشت آبی هستند و به همین دلیل میزان این اراضی از  $۴۰۴۹/۲۷$  هکتار به  $۴۰۴۴/۶۴$  هکتار کاهش یافته است.

$$X_4 \leq ۱۴۶۴/۳۷ \quad [18]$$

این محدودیت مربوط به اراضی زیر کشت محصولات دیم است. بر اساس شرایط استاندارد، اراضی با شیب بیشتر از  $۱۲$  درصد مناسب کشاورزی دیم نیستند(۷) و عمق خاک کم نیز می‌تواند به عنوان محدودیت دیگری برای این اراضی مطرح باشد (۲۰). با بررسی ویژگی‌های مناطق مختلف در حوزه مورد مطالعه، سطح  $۹۵۲/۹۷$  هکتاری اولیه بعد از جدا کردن مناطق با پتانسیل کشت دیم به  $۱۴۶۴/۳۷$  هکتار افزایش پیدا کرده

شناسایی مؤثرترین محدودیت منابع و هم‌چنین کاربری اراضی در تغییر مقدار تابع هدف از تحلیل حساسیت استفاده شد. برای این منظور میزان درصد تغییر تابع هدف مرتبط با درصد مشخصی از تغییرات هر یک از پارامترهای مورد بررسی و در نهایت حساسیت تابع هدف نسبت به آنها مورد ارزیابی قرار گرفت.

## نتایج و بحث

نتایج زیر حاصل بهینه‌سازی وسعت انواع کاربری اراضی در حوزه آبخیز بریموند با استفاده از برنامه‌ریزی خطی می‌باشد که بر اساس روش کار ارائه شده در بخش قبلی به دست آمده است.

حل مسئله بهینه سازی حوزه آبخیز بریموند

شكل مسئله بهینه‌سازی حوزه مورد مطالعه به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$\text{Max}(Z_1) = ۸/۵۰۴۲X_1 + ۰/۱۵۶۲X_2 + ۴/۸۷۵۸X_3 + ۰/۳۲۱۵X_4 \quad [14]$$

$$\text{Min}(Z_2) = ۷/۳۸۹X_1 + ۸/۱۴۴X_2 + ۷/۲۸۹X_3 + ۲۱/۱۱۲X_4 \quad [15]$$

به دلیل شیوه حل مسئله در روش سیمپلکس به صورت بیشینه، مسئله کمینه‌سازی فرسایش را تغییر داده و به صورت بیشینه منفی مدنظر قرار گرفته است. در این ارتباط در مورد مسئله بهینه سازی حوزه آبخیز بریموند، محدودیت‌های زیر جهت

جدول ۲. جدول سیمپلکس برای حل مسئله بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز برموند

RHS	نوع تابع	$X_4$	$X_3$	$X_2$	$X_1$	توابع
۰/۰۰	Max	۰/۳۲۱۵	۴/۸۷۵۸	۰/۱۵۶۲	۸/۵۰۴۲	تابع هدف ۱
۰/۰۰	Max	-۲۱/۱۱۲	-۷/۳۸۹	-۸/۱۴۴	-۷/۳۸۹	تابع هدف ۲
۵۱۸/۸۱	$\leq$	۰	۰	۰	۱	محدودیت ۱
۴۰۴۴/۶۴	$\leq$	۰	۱	۰	۰	محدودیت ۲
۱۴۶۴/۳۷	$\leq$	۱	۰	۰	۰	محدودیت ۳
۴۵۶۳/۳۷	$\leq$	۰	۱	۰	۱	محدودیت ۴
۹۰۴۱/۸۳	$\leq$	۱	۱	۱	۱	محدودیت ۵
۳۸/۳۲	$\geq$	۰	۰	۰	۱	محدودیت ۶
۴۰۰۱/۲۷	$\geq$	۰	۰	۱	۰	محدودیت ۷

$$X_2 \geq ۴۰۰۱/۲۷ \quad [۲۲]$$

هفتمن محدودیت بیانگر این نکته است که سطح اراضی مرتعی منطقه نمی‌تواند از میزان ۴۰۰۱/۲۷ هکتار کمتر باشد. دلیل این محدودیت این است که اراضی مرتعی ملی بوده و تحت مالکیت دولت قرار دارند و بر اساس ماده ۵۶ قانون ملی شدن مراعع، نمی‌توان کاربری این اراضی را تغییر داد. از طرفی ممکن است برخی مناطق که در گذشته زیر کشت دیم بوده اما کارایی و سود دهی مناسب را نداشته‌اند، به اراضی مرتعی تبدیل گردند.

$$X_1, X_2, X_3, X_4 \geq ۰ \quad [۲۳]$$

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

با حل مسئله جدول ۲ به روش سیمپلکس نتایج به شرح جداول ۳ و ۴ بیان می‌گردد.

در جدول ۲، ستون‌های ۲ تا ۵ از سمت راست نشان دهنده متغیرهای تصمیم‌گیری هستند که در ردیف‌های ۲ و ۳ به ترتیب دارای واحد پول و فرسایش می‌باشند. اعداد یک و صفر در بقیه ردیف‌ها به ترتیب حضور و یا عدم حضور متغیر را در

است. چون نمی‌توان به طور یقین اطمینان نمود که کشاورزان عملیات خاک ورزی صحیح و اصولی را مطابق نظر کارشناسان انجام دهند و از طرفی به علت وجود قوانین دولتی نمی‌توان در سطح اراضی مرتعی تعییر خاصی را پیشنهاد داد. بنابراین سطح این اراضی بیش از این میزان پیشنهاد داده نشده است.

$$X_1 + X_2 \leq ۴۵۶۳/۳۷ \quad [۱۹]$$

با توجه به عدم وجود محدودیت منابع آب در منطقه ولی با در نظر گرفتن شرایط شب اراضی و عمق خاک، اراضی تحت کشت آبی و باغی نمی‌توانند از ۴۵۶۳/۳۷ هکتار بیشتر شوند.

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq ۹۰۴۱/۸۳ \quad [۲۰]$$

پنجمین محدودیت مسئله مربوط به سطح اراضی موجود است که برای چهار کاربری باغ، مرتع، کشت آبی و کشت دیم از ۹۰۴۱/۸۳ هکتار بیشتر نمی‌گردد.

$$X_1 \geq ۳۸/۳۲ \quad [۲۱]$$

با توجه به مطالبی که در محدودیت اول بیان شد، سطح اراضی زیر کشت باغ حداقل ۳۸/۳۲ هکتار است که دلیل آن بهره دهی مناسب و عدم تمایل باقداران منطقه به کاهش سطح این کاربری است.

جدول ۳. نتایج به دست آمده از محاسبات سود و فرسایش در وضعیت کاربری موجود حوزه آبخیز بریموند

کاربری اراضی	سطح اختصاص یافته (ha)	فرسایش ویژه (t/ha)	فرسایش کل (t/y)	درآمد خالص سالانه (10 <sup>6</sup> R/ha)	درآمد خالص کل در سال (10 <sup>6</sup> R/ha)
باغ	۳۸/۳۲	۷/۳۸۹	۲۸۳/۱۴۷	۸/۵۰۴۲	۳۲۵/۸۸۱
مرتع	۴۰۰۱/۲۷	۸/۱۴۴	۳۲۵۸۶/۳۴۳	۰/۱۵۶۲	۶۲۴/۹۹۸
کشاورزی آبی	۴۰۴۹/۲۷	۷/۳۸۹	۲۹۹۲۰/۰۵۶	۴/۸۷۵۸	۱۹۷۴۳/۴۳۱
کشاورزی دیم	۹۵۲/۹۷	۲۱/۱۱۲	۲۰۱۱۹/۱۰۳	۰/۳۲۱۵	۳۰۶/۳۸۰
کل	۹۰۴۱/۸۳	۹/۱۶۹۴۵	۸۲۹۰۸/۶۴۹	۲/۳۲۲۶	۲۱۰۰۰/۶۹

جدول ۴. نتایج به دست آمده از مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز بریموند

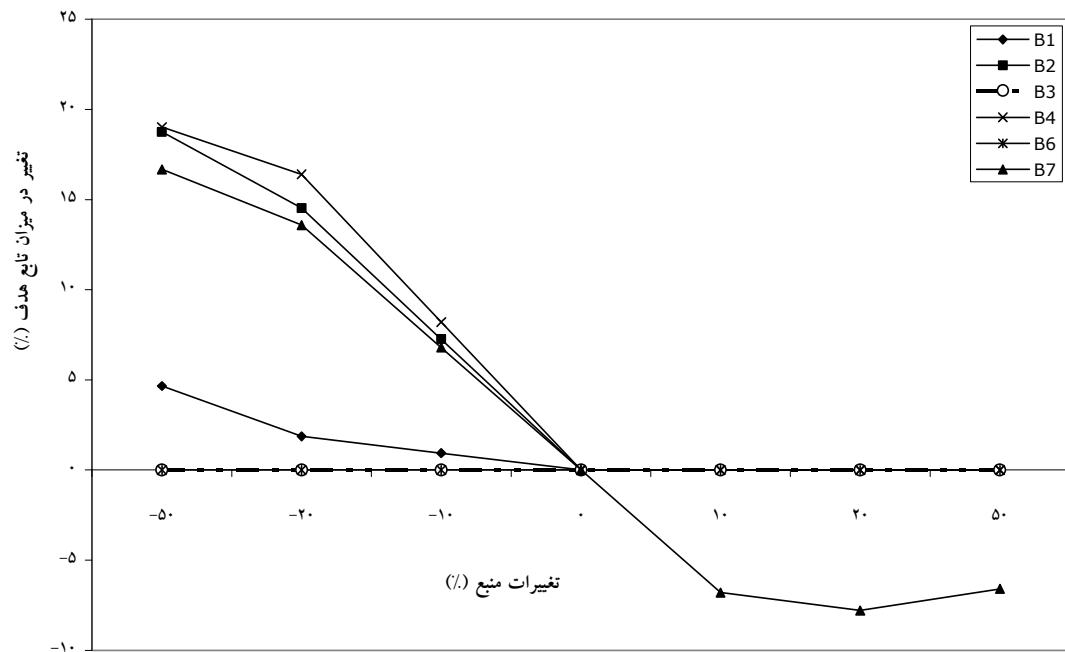
کاربری اراضی	سطح (ha)	فرسایش ویژه (t/ha)	فرسایش کل (t/y)	درآمد خالص سالانه (10 <sup>6</sup> R/ha)	درآمد خالص کل (10 <sup>6</sup> R/ha)
باغ	۵۱۸/۸۱	۷/۳۸۹	۳۸۳۳/۴۸۷	۸/۵۰۴۲	۴۴۱۲/۰۶۴
مرتع	۴۰۰۱/۲۷	۸/۱۴۴	۳۲۵۸۶/۳۴۳	۰/۱۵۶۲	۶۲۴/۹۹۸
کشاورزی آبی	۴۰۴۴/۰۶	۷/۳۸۹	۲۹۸۸۵/۲۵۴	۴/۸۷۵۸	۱۹۷۲۰/۴۶۶
کشاورزی دیم	۴۷۷/۱۹	۲۱/۱۱۲	۱۰۰۷۴/۸۳۵	۰/۳۲۱۵	۱۵۳/۴۱۷
کل	۹۰۴۱/۸۳	۸/۴۴۷۴	۷۶۳۷۹/۹۱۹	۲/۳۲۲۶	۲۴۹۱۰/۹۴۵

مقدار فرسایش از ۸۲/۹۱ به ۷۶/۳۸ هزار تن در سال (۷/۸) درصد کاهش یافته است.

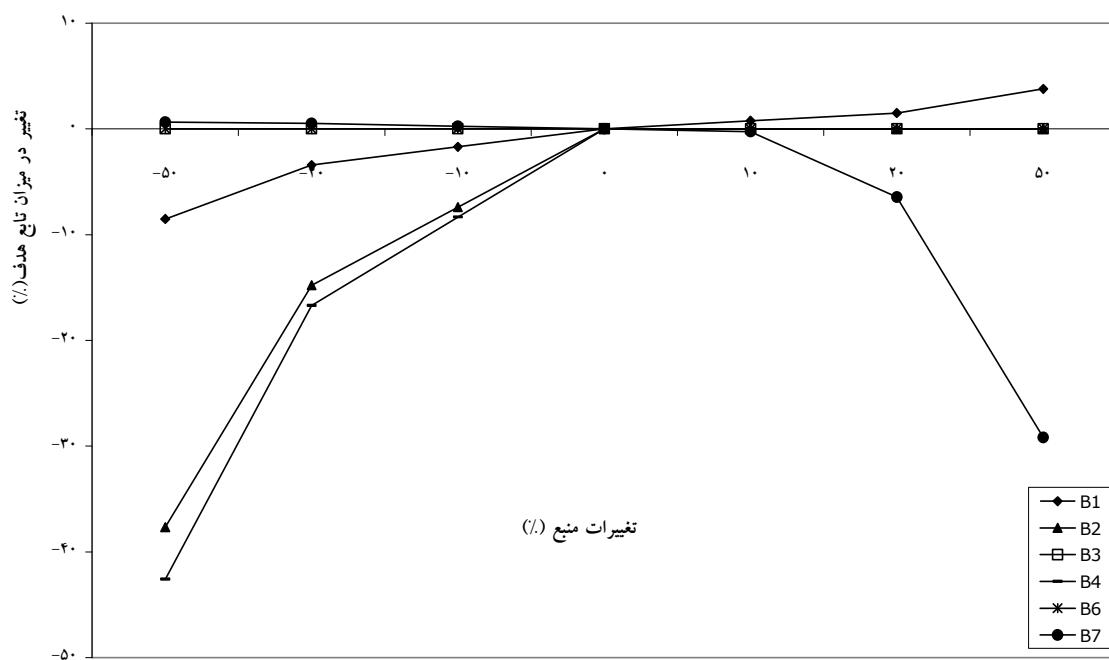
نیک کامی و همکاران (۲۱) نیز در بهینه سازی کاربری اراضی یکی از زیر حوزه های دماوند به نتایج مشابهی دست یافته و افزایش ۳/۵ برابری در سطح اراضی باغی و کاهش ۱۰۰ درصد سطح اراضی دیم را پیشنهاد نموده اند. این تغییرات منجر به کاهش ۵ درصدی میزان رسوب تولیدی سالانه در منطقه مورد مطالعه گردیده و افزایش ۱۳۴ درصد در سودآوری کاربری های حوزه آبخیز را به دنبال داشته است.

در ارزیابی حساسیت تابع هدف به تغییرات منابع اراضی و ضرایب از نسبت های ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد تغییر نسبت به حالت بهینه استفاده شده و درصد تغییرات مقدار توابع هدف محاسبه گردید (شکل های ۲ و ۳). با توجه به شکل های ۲ و ۳ در خصوص تحلیل حساسیت می توان نتیجه گرفت که کاهش

محدودیت ها نشان می دهد. ردیف های ۲ و ۳ این جدول در ستون ۶ مشخص کننده نوع معادله هدف از نظر بیشینه یا کمینه نمودن است در حالی که بقیه ردیف ها تساوی یا عدم تساوی طرفین معادلات محدودیت را مشخص می سازند. در ستون آخر (RHS) مقدار سمت راست معادلات محدودیت ملاحظه می شود که نماینده مقدار در اختیار بودن سطح اراضی است. دقت در جداول ۳ و ۴ و مقایسه وسعت هر کاربری، میزان سود و فرسایش به دست آمده از هر کاربری و کل منطقه در قبل و بعد از بهینه سازی نشان می دهد که با بهینه سازی کاربری اراضی میزان اراضی کشاورزی آبی و مرتعی تغییر چندانی نداشته و سطح اراضی باغی ۱۳/۵ برابر افزایش و سطح اراضی دیم ۵۰ درصد کاهش یافته است. در نتیجه این تغییرات، میزان سوددهی سالانه کاربری های مختلف منطقه از ۲۱۰۰/۶۹ به ۲۴۹۱۰/۹۵ میلیون ریال (۱۹ درصد) افزایش داشته در حالی که



شکل ۲. تحلیل تابع کمینه سازی فرسایش خاک نسبت به تغییرات منابع اراضی



شکل ۳. تحلیل تابع بیشینه سازی سود نسبت به تغییرات منابع اراضی

بهینه سازی خطی چند هدفی برای حل بهینه مسئله مطرح و در حوزه آبخیز بریموند اجرا شد. نتایج به دست آمده از تحقیق نشانگر دوری شرایط موجود کاربری اراضی از شرایط بهینه در راستای دست یابی به مقدار کمینه فرسایش و بیشینه سود بوده و انجام تدبیر مناسب مدیریتی در خصوص تغییر و اصلاح کاربری های موجود با تکیه بر تبدیل بهینه اراضی بر اساس شرایط پیشنهادی مدل، تأکید می گردد که در نتیجه این تغییرات فرسایش و سوددهی سالانه به ترتیب به میزان ۷/۸ درصد کاهش و ۱۹ درصد افزایش یافته است. همچنین نظر به حساسیت زیاد مقدار تابع هدف به محدودیت وسعت حداقل اراضی باغی و کشاورزی آبی، انجام ملاحظات ویژه در خصوص مدیریت آن توصیه می گردد. این تحقیق استفاده از برنامه ریزی خطی چند هدفی را برای مدیریت مناسب حوزه های آبخیز و دستیابی به توسعه پایدار و کمینه نمودن میزان خسارت به منابع موجود را مدلی مناسب ارزیابی نموده و تحقیقات بیشتر و گسترده تر را در مورد این روش و روش های مشابه در حوزه های آبخیز کشور توصیه می نماید.

### سپاسگزاری

نویسندهاگان مقاله لازم می دانند از مساعدت های مدیریت آبخیزداری استان کرمانشاه، آب منطقه ای غرب، امور آب کرمانشاه، امور آب شهرستان سریل ذهاب، اداره کل منابع طبیعی استان کرمانشاه و نیز زحمات جناب آقای دکتر معاریانی و کلیه کسانی که در انجام این تحقیق ایشان را یاری نمودند، قدردانی نمایند.

سود، بیشترین حساسیت را نسبت به کاهش بیشترین سطح اراضی آبی و باغی داشته، حال آن که افزایش سود، بیشترین حساسیت خود را نسبت به افزایش بیشترین سطح اراضی باغی نمایان ساخته است (پارامتر B<sub>1</sub> در شکل ۳). همچنین در خصوص حساسیت پذیری تابع هدف کمینه سازی فرسایش می توان نتیجه گرفت که کاهش بیشترین سطح اراضی آبی و باغی (B<sub>4</sub> در شکل ۲)، بیشترین افزایش میزان فرسایش را منجر شده، حال آن که افزایش کمترین سطح اراضی مرتعی منجر به بیشترین کاهش میزان فرسایش خاک می گردد (B<sub>7</sub> در شکل ۲). در مجموع تغییر در بیشترین سطح اراضی آبی و باغی بیشترین تأثیر در تغییر میزان سوددهی و فرسایش خاک حوزه آبخیز بریموند را به دنبال دارد.

نیک کامی و همکاران (۲۱) نیز در نتایج تحقیقات خود بیان داشته اند که میزان سطح باغات به عنوان حساس ترین پارامتر مدل مطرح بوده و کاهش یا افزایش یک هکتار از سطح باغات بیشترین تغییرات را در افزایش سود و کاهش فرسایش به دنبال دارد.

### نتیجه گیری

این تحقیق به منظور بهینه سازی استفاده از اراضی در حوزه آبخیز بریموند برای دست یابی به دو هدف کمینه سازی فرسایش خاک و بیشینه سازی سود که استفاده پایدار از منابع آب و خاک را به دنبال دارد، انجام گرفته است. به منظور دست یابی به پراکنش مناسب کاربری ها طبق شرایط استاندارد و نیل به اهداف مورد نظر با در نظر گرفتن شرایط استاندارد کاربری های مختلف و اعمال محدودیت های موجود در منطقه، مدل

### منابع مورد استفاده

۱. ابراهیمی، م. ۱۳۸۰. ارزیابی چهار مدل تجربی برای برآورد رسوب در حوزه آبخیز دره قنبرلو پارس آباد مغان. مجموعه چکیده مقالات همایش ملی مدیریت اراضی، فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراك.
۲. برنگل، ک. ج. ۱۳۷۹. اصول و عملیات دیمکاری (ترجمه: م. ح. راشد محصل و ع. کوچکی). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه مشهد.

۳. برومند، ز. ۱۳۷۴. بهبود و بازسازی سازمان. نشر هور، تهران.
۴. چپی، ک. ۱۳۷۷. بررسی نوع و میزان فرسایش در رابطه با مدیریت بهره برداری از اراضی و تعیین سهم رسوب دهی به منظور بهینه سازی کاربری اراضی. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۵. حسن زاده، م. ۱۳۸۰. نقش اطلاع رسانی مؤثر در مدیریت اراضی، فرسایش خاک و توسعه پایدار. مجموعه مقالات هماش ملی مدیریت اراضی، فرسایش خاک و توسعه پایدار، بهمن ۱۳۸۰، صفحات ۹۳-۸۵، اراک.
۶. رابط، ع. ۱۳۸۰. نقش عملیات آبخیزداری در ایجاد جاذبه‌های سیاحتی و تفرجگاهی (نمونه موردی آبخیز شمال و جنوب شهر زنجان). مجموعه مقالات هماش ملی مدیریت اراضی، فرسایش خاک و توسعه پایدار، صفحات ۲۶۸-۲۵۸، اراک.
۷. رستگار، م.ع. ۱۳۷۱. دیمکاری. انتشارات برهمند، تهران.
۸. شبایی طبری، ح. ۱۳۷۳. استفاده بهینه از منابع آب و خاک یک ضرورت ملی برای توسعه کشاورزی پایدار. مجموعه مقالات اولین کنگره برنامه ریزی و سیاست گذاری امور زیربنایی (آب و خاک) در بخش کشاورزی، ۲۶-۲۵ شهریور، تهران.
۹. فرشی، ع.ا.، م.ر. شریعتی، ر. جارالله، م. ر. قائمی، م. شهابی فر و م. تولایی. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان زراعی و باغی کشور. جلد اول، گیاهان زراعی، نشر آموزش کشاورزی، کرج.
۱۰. فرشی، ع.ا.، م.ر. شریعتی، ر. جارالله، م. ر. قائمی، م. شهابی فر و م. تولایی. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان زراعی و باغی کشور. جلد دوم، گیاهان باغی، نشر آموزش کشاورزی، کرج.
۱۱. کریستوفر، ج. ب. ۱۳۸۰. اصول و روش‌های مدیریت زیست محیطی (ترجمه: م. اندرودی). نشر کنگره، تهران.
۱۲. محسنی ساروی، م.، م. فرزانگان، م. کوپایی و م. خلقی. ۱۳۸۲. تعیین الگوی بهینه بهره برداری از منابع حوزه‌های آبخیز با استفاده از برنامه ریزی هدف. منابع طبیعی ایران ۱۱ و ۱۲: ۳-۱۶.
۱۳. مدیریت آبخیزداری کرمانشاه. ۱۳۷۹. مطالعات تلفیق حوزه آبخیز بریموند. شرکت مهندسی جهاد، تهران.
۱۴. موسوی، ج. و ر. زکی زاده. ۱۳۷۳. بررسی دیدگاه‌های موجود در بهره برداری از منابع آب و خاک و نقش ارزیابی منابع اراضی در بهره برداری بهینه از آب و خاک. مجموعه مقالات اولین کنگره برنامه ریزی و سیاست گذاری امور زیربنایی (آب و خاک) در بخش کشاورزی، صفحات ۴۹۰-۴۷۱، تهران.
۱۵. نیک کامی، د. ۱۳۸۱. بهینه سازی مدیریت فرسایش خاک در حوزه آبخیز دماوند. پژوهش و سازندگی ۵۴: ۸۲-۸۹.
16. Clark, D. 1996. The future urban world. Global City 46 (5): 582.
17. Kralisch, M. F. and C. Beckstein. 2003. Multi objective land use optimization with artificial neural network. Geophys. Res. Abst. 5: 10067.
18. Liu, D. and T.J. Stewart. 2004. Object-Oriented decision support system modelling for multicriteria decision making natural resource management. Comput. and Oper. Res. 31: 985-999.
19. Malhotra, R.C. 1980. Environmental management, integrated rural development. PP: 61-170. In: V. Vichit-Vad Kan. et.al (Eds.), Reading in Environmental Management. Asian and Specific Dev. Inst., UN.
20. Nikkami, D. 1999. Optimizing the management of soil erosion using GIS. Ph.D dissertation, Concordia University, Canada.
21. Nikkami, D., M. Elektorowicz and G.R. Mehuys. 2002. Optimizing the management of soil erosion. Water Quality Res. J. 37(3): 577-586.
22. Riedel, C. 2003. Optimizing land use planning for mountainous regions using LP and GIS towards sustainability. J. Soil Conserv. 34(1): 121-124.
23. Sethi, L.N., D.N. Kumar, S.N. Panda and B.C. Mal 2002. Optimal crop planning and conjunction use of water resources in a Coastal river basin. Water Resour. Manag. 16: 145-169.

24. Singh, A.K. and J. P. Singh. 1999. Production and benefit maximization through optimal crop planning- a case study of Mahi Command. Indian J. Soil Conserv. 27(2):157-152.
25. Steuer, R.E. 1994. Random problem generation and the computation of efficient extreme points in multiple objective linear programming. Comput. Optim. 3:333-347.
26. Steuer, R.E. 1995a. Multiple criteria decision making. The ADBASE Multiple Objective Linear Programming Package/SCI-Tech, Windsor, England.
27. Steuer, R.E. 1995b. Manual for ADBASE, Multi Objective Linear Programming Package. Faculty of Management Science. University of Georgia, Georgia, USA.
28. Triphati, R.P. and H.P. Singh. 2001. Soil Erosion and Conservation. New Age International Limited Pub., New Delhi, India.
29. Yeh, S.C. and C.P. Tung. 2003. Optimal balance between land development and groundwater conservation in an uncertain coastal environment. Civil Eng. and Environ. Sys. 20(2): 61-81.