دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

# بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از ترکیب روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی و تخصیص چند هدفه اراضی

**افشین هنربخش[۱]، مهدی پژوهش[۲]، مریم زنگی آبادی[۳] و مسلم حیدری[۴]**

۱- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، (نویسنده مسوول: afshin.honarbakhsh@gmail.com)
۲،۳ و۴- استادیار، دانشیار و دانشجوی دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد
تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۳۱

**چکیده**

**در سال‌های اخیر روش‌های مختلف برای تعیین الگوی بهینه بهره‌برداری از منابع آب و خاک به کار رفته است. با توجه به اهمیت منابع طبیعی، مدیریت حوزه آبخیز از طریق اصلاح کاربری اراضی و استفاده صحیح از زمین ضروری است. امّا برنامه‌ریزی خطی تک‌هدفه یک روش کارا در این مورد محسوب نمی‌شود. در این تحقیق روش چندهدفه برنامه‌ریزی آرمانی به کار رفته و مدل‌های بهینه استفاده از زمین در حوزه آبخیز چلگرد ارائه گردیده است. روش پیشنهادی مبتنی بر تعیین مساحت بهینه در کاربری‌های مختلف شمامل کشت دیم، مرتع، کشت آبی، باغات و بیشه‌ها و همچنین موقعیت مکانی بهینه آنها می‌باشد. در تحقیق حاضر دو مدل ارائه شده است. در این مدل‌ها حداکثر سود و حداقل فرسایش خاک به ترتیب در اولویت می‌باشند. همچنین محدودیت‌های مدل‌های فوق منابع تولید شامل آب و زمین و همچنین مسائل اقتصادی و اجتماعی است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش ارائه شده روشی کارآمد در بهینه‌سازی کاربری اراضی و توسعه پایدار منطقه بوده و می‌تواند موجب افزایش سود تا ۹۷٪ و کاهش فرسایش تا ۱۲٪ شود. همچنین نتایج نشان داد که در شرایط بهینه و در مدل ۱، سطح اختصاص یافته به اراضی کشت دیم ۳۳ درصد کاهش و سطح اراضی مرتعی، کشت آبی، باغات و بیشه‌ها به ترتیب ۰، ۹، ۹۰٦ و ۸۲ درصد افزایش و در مدل ۲، سطح اختصاص یافته به اراضی کشت دیم ٥٤ درصد کاهش و سطح اراضی مرتعی، کشت آبی، باغات و بیشه‌ها به ترتیب ۱، ۹، ۹۰٦ و ۸۲ درصد افزایش می‌یابد.**

**واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی آرمانی، تخصیص چند هدفه، کاربری اراضی**

## مقدمه

دخالت‌های انسان در منابع طبیعی مانند قطع بی‌رویه جنگل‌ها، چرای زودرس و بیش از ظرفیت مراتع، کاربری نامناسب اراضی، توسعه شهری و صنعتی و آلودگی‌های مختلف ناشی از آن سبب از بین رفتن این منابع و منجر به وقوع سیلاب‌های مخرب، فرسایش خاک، رسوبگذاری و پر شدن مخازن سدها و آسیب‌های گوناگون زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی دیگر شده است. همچنین رشد روزافزون جمعیت و تغییر اقلیم باعث تشدید این تخریب‌ها شده و در نتیجه انجام مدیریت و برنامه‌ریزی برای استفاده صحیح، حفظ، و احیا این منابع امری ضروری است. در این تحقیق از مدل‌های بهینه‌سازی چند هدفه برای انجام مدیریت در منابع طبیعی وکشاورزی استفاده شده است.در این بخش ابتدا به صورت مختصر مبانی علمی روش‌های استفاده شده شامل بهینه‌سازی چندهدفه، برنامه‌ریزی آرمانی و تخصیص چند هدفه اراضی و سپس سوابق تحقیق مرتبط با آنها آورده شده است.

### بهینه‌سازی چندهدفه[۱]

مفهوم اولیه بهینه‌سازی چندهدفه برمی‌گردد به مسئله چندهدفه‌ای که دارای چندین تابع هدف است و باید به وسیله جواب x بهینه شوند در حالی که همزمان محدودیت‌های متعددی را اقناع بخشد (۱۷). شکل کلی یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه به صورت زیر است:

(۱)

$$\begin{aligned} &\text{Minimize/Maximize } f_m(x), \quad m = 1, 2, \ldots, M \\ &\text{Subject to } \quad g_i(x) \geq 0, \quad i = 1, 2, \ldots, I \\ &h_k(x) = 0, \quad k = 1, 2, \ldots, K \\ &x_j^L \leq x_j \leq x_j^U, j = 1, 2, \ldots, N \end{aligned}$$

x برداری از متغیرهای تصمیم است: $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)^T$ و $x_j \in R$ و با مرزهای پایینی $x_j^L$ و بالایی $x_j^U$ محدود می‌شود. این بردارهای x که در تمامی محدودیت‌های مسئله صدق می‌کنند، فضای متغیر تصمیم یا فضای تصمیم[۲] (D) را تشکیل می‌دهند. M؛ تعداد توابع هدف است و توابع هدف ($f_m(x)$) نگاشتی از فضای تصمیم D به فضای معیار[۳](Z) تعریف می‌کنند. نگاشت مذکور، نگاشتی از بردارهای جواب n بعدی $x \in D$ به بردارهای هدف m بعدی $f_m(x) \in Z$ است به طوری که هر $x \in D$ تحت نگاشت $(f_1(x), \ldots, f_M(x))$ به یک نقطه $y \in Z$ می‌رسد. I؛ تعداد محدودیت‌های از نوع نامعادله و K؛ تعداد محدودیت‌های از نوع معادله را نشان می‌دهند. بردارهایی که در این محدودیت‌ها و در فضای تصمیم D صدق می‌کنند، جواب‌های شدنی مسئله نامیده می‌شوند. انتقال از مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه به چندهدفه، چالشی را در مقایسه جواب‌ها باعث می‌شود زیرا در این حالت، به جای یک تابع هدف، برداری از هدف‌ها باید بهینه شود و موضوع مقایسه جواب‌ها مطرح می‌شود. جواب x بر جواب y غالب است ($x < y$) اگر و تنها اگر جواب x در همه اهداف از جواب y بدتر نباشد و حداقل در یکی از اهداف بهتر از جواب y باشد. این تعریف متضمن است که جواب غالب در یک مفهوم چندهدفه صحیح، بهترین انتخاب است. از معنای غلبه چندین معنی مهم دیگر مشتق می‌شوند. هنگامی که بهینه‌سازی صورت می‌گیرد در حقیقت هدف یافتن مجموعه غیرمغلوب از بین جواب‌ها است. یک زیر مجموعه از D، زیر مجموعه غیرمغلوب (P) نامیده می‌شود اگر اعضای آن با هیچ یک از دیگر اعضا مغلوب نباشد. متقابلاً مجموعه بهینه کل، به عنوان مجموعه غیرمغلوبی از کل فضای معیار، تعریف

1- Multi Objective Optimization 2- Decision Space 3- Criterion Space

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

می‌شود. ($S \in D$) و هدف از کاربرد بهینه‌سازی چندهدفه پیدا کردن این مجموعه است. نتیجه اجرای یک مسئله چندهدفه معمولاً مجموعه‌ای از جواب‌های غیرمغلوب است که تصمیم‌گیرنده‌ها از بین آنها جواب یا جواب‌هایی را انتخاب می‌کنند (۱۷).مسئله بهینه‌سازی چندهدفه زیرشاخه‌ای ازمسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است (۲۵).

بر اساس نظر محققان، بسیاری از مسائل برنامه‌ریزی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی چندهدفه هستند، در چنین وضعیتی مدل تک‌هدفه نمی‌تواند کاملاً پاسخگوی خواسته‌های مدیران و تصمیم گیرندگان باشد. لذا برای حل این مشکل، روش‌های چندهدفه مانند روش برنامه‌ریزی آرمانی[1](GP) که یکی از ابزارهای مناسب برای حل مسائل چندهدفه می‌باشد مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۶).

**برنامه‌ریزی آرمانی**

برنامه‌ریزی آرمانی روشی توانمند برای مدلسازی، ارائه جواب و تحلیل مسائلی که دارای آرمان‌های متضادند، می‌باشد. این روش برای اولین بار توسط چارنز و کوپر معرفی شد (۳۳) ودر مسائل مختلف و از جمله در زمینه‌های عمومی کشاورزی، دارایی و اقتصاد، مهندسی، انرژی و تخصیص منابع کاربرد دارد (۱۵). برای توصیف برنامه‌ریزی آرمانی ابتدا باید مفاهیم شاخصه[2]، هدف[3]، سطح تمایل[4]و آرمان[5] توضیح داده شوند. شاخصه‌ها به عنوان توصیف کننده‌هایی از واقعیت یک هدف تعریف می‌شوند. این مقادیر قابل اندازه‌گیری‌اند و در قالب یک تابع ریاضی $f(x)$ از متغیرهای تصمیم بیان می‌شوند. اهداف، حداکثرسازی یا حداقل‌سازی عملکرد مدل را ارائه می‌کنند. اهداف به شکل $Max f(x)$ و$Min\ f(x)$ نوشته می‌شوند. به منظور تعریف یک آرمان، ابتدا باید مفهوم سطح تمایل روشن شود که عبارت است از یک سطح مورد تمایل دستیابی[6] برای هر یک از شاخصه‌ها. این پارامتر توسط تصمیم گیرنده‌ها تعیین می‌گردد و اغلب به صورت Target یا (Target Value) بیان می‌شود. اگر یک Target با یک شاخصه ترکیب شود یک آرمان ساخته می‌شود (۱۹). به طور خلاصه از نظر تیواری، آرمان یک هدف دارای سطح تمایل است که برحسب شاخصه خود بیان می‌شود (۳۴). آرمان‌ها به طور معمول به شکل $f(x)<b$، $f(x)>b$ یا $f(x)=b$ هستند و b مقدار تمایل تصمیم گیرندگان را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تفاوت محدودیت‌ها در برنامه‌ریزی ریاضی و آرمان‌ها باید مشخص شود. هر دو، ساختار ریاضی مشابه‌ای دارند و تفاوت آنها به مقادیر سمت راست نامعادلات مربوط می‌شود. در آرمان‌ها مقادیر سمت راست، سطح تمایل تصمیم گیرندگان را نشان می‌دهد که دسترسی به آن ممکن است حاصل شود یا حاصل نشود در حالی که در محدودیت‌ها برای پرهیز از رسیدن به جواب‌های غیرموجه، محدودیت‌ها با ملاحظه مقادیر سمت راست آنها باید اقناع[7] شوند. هدف کلی برنامه‌ریزی آرمانی، اقناع بخشیدن همزمان چندین آرمان مد نظر تصمیم گیرندگان است (۲۶). در روش برنامه‌ریزی آرمانی جواب رضایت بخش، جوابی است که انحرافات مربوط به مجموعه آرمان‌ها را حداقل نماید.

روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک در حقیقت بهینه‌سازی ریاضی را انجام می‌دهند و قادر به انجام بهینه سازی مکانی نیستند. از این رو استفاده از روش‌های تلفیقی می‌تواند منجر به حصول نتایجی گردد که هم از نظر ریاضی و هم از نظر مکانی بهینه باشند (۳۰).

**تخصیص چندهدفه اراضی[8](MOLA)**

روش تخصیص چندهدفه اراضی یک روش بهینه‌سازی مکانی است. در این روش ابتدا اهداف طی یک مسئله ارزیابی چندمعیاره مشخص می‌شوند. این روش در مواجهه با اهداف متضاد همانند یک مسئله تک‌هدفه، از روش رتبه‌بندی[9] یا طبقه‌بندی مجدد[10] استفاده می‌کند. در این شرایط در برخی نواحی تضاد وجود دارد. MOLA برای تخصیص سلول‌های متضاد از یک خط تصمیم[11] استفاده می‌کند که این خط، کل فضای تصمیم را به دو بخش تقسیم می‌کند. برای هر هدف، یک نقطه ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود که مناسب‌ترین برای آن هدف و دارای کمترین تناسب برای هدف دیگر است. سپس خط تصمیم، تخصیص بهینه هر سلول را بر اساس منطق کوتاه‌ترین فاصله تا نقطه ایده‌ال[12] انجام می‌دهد (۷). سینف، در یک مطالعه موردی در منطقه ماهی کماند هندوستان، بیشینه‌سازی تولید و سود را با به کارگیری برنامه‌ریزی بهینه کشت انجام داد. نتایج این تحقیق نشان داد که برنامه‌ریزی کشت در سطح منطقه، میزان تولیدات را ۶۰ تا ۹۶ درصد افزایش می‌دهد (۳۱).

چم حیدر و همکاران، از برنامه‌ریزی خطی چندهدفه برای به حداقل رساندن فرسایش خاک و عناصر غذایی آن و افزایش درآمد ساکنین حوزه آبخیز ابوالعباس در استان خوزستان استفاده کردند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی در شرایط فعلی و بدون اعمال مدیریت اراضی، میزان فرسایش، ۳/۲ درصد کاهش، در صورت اعمال مدیریت اراضی در داخل سطوح فعلی کاربری‌ها، ۳۵/۳ درصد کاهش و در شرایط استاندارد کاربری‌ها ۴۷/۲ درصد کاهش می‌یابد. همچنین مقدار هدررفت عناصر غذایی ۲,۵ درصد کاهش و مقدار سود ۲۹,۷ درصد افزایش می‌یابد (۵). محسنی‌ساروی وهمکاران، درتعیین الگوی بهینه بهره‌برداری از منابع سیستم حوزه آبخیزدر زیرحوزه آبخیزگرمابدشت منطقه گلستان با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی آرمانی، نشان دادند که چگونه دریک تابع چندهدفه خطی با تغییر ضریب‌های وزنی اولویت، می‌توان هدف‌های مختلف را جهت مدیریت بهینه سرزمین تأمین نمود (۲۰).

آرخی و همکاران، تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی در کاهش فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سد چم گردلان را به کمک GIS بررسی کردند. ایشان به این نتیجه رسیدند که چنانچه کاربری‌های مناسب و سازگار با شرایط طبیعی و محیطی و با هدف استفاده بهینه از طبیعت انتخاب شوند، فرسایش و در نهایت رسوب تولید شده در این حوزه به میزان زیادی کاهش می‌یابد (۳). همچنین پیشداد و همکاران، در بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوزه

1- Goal Programming
2- Attribute
3- Objective
4- Target
5- Goal
6- Aspiration Level or Achievement Level
7- Satisfy
8 - Multi Objective Land Allocation
9- Rank
10- Reclass
11- Decision Line
12- Minimum-Distance-To-Ideal-Point

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

آبخیز چراغ ویس با استفاده از مدل EPM، پس از تعیین کاربری‌های بهینه اراضی به این نتیجه رسیدند که با بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش خاک حدود ۷۱۳۳ هزار تن در سال کاهش می‌یابد (۲۲). صادقی و همکاران، از برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی جهت کمینه‌سازی فرسایش خاک و بیشینه‌سازی سود در حوزه آبخیز بریموند کرمانشاه استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که بهینه‌سازی موجب کاهش فرسایش تا ۷/۷۸ و افزایش سود به میزان ۱۱۸/۶۲ درصد می‌شود (۲۷).

نتایج به دست آمده از تحقیق دلیری، که در حوزه آبخیز گرمابدشت قره سو گلستان انجام شد نشان داد تخصیص منابع برپایه روش GP، ضمن کاهش ۱۰ درصدی رسوب از میزان مجاز، باعث بیشینه‌سازی درآمد بهره‌برداران با افزایش ۵ درصدی از میزان مورد نظر شد (۶).

فوکس و مسر، با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی به حداکثرسازی حفاظت جنگل در ایالات متحده پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که برنامه‌ریزی آرمانی به حد کافی برای سازگار کردن مدیران جهت لحاظ کردن هر دو فاکتور اکولوژیکی و سیاسی انعطاف‌پذیر است (۱۴). از نظر سعدالدین و همکاران حوزه آبخیز اکوسیستمی پیچیده و پویا است و به‌عنوان واحد برنامه‌ریزی و مدیریت تلقی می‌شود. همچنین باید تمام ابعاد فنی، اجتماعی، اقتصادی، فیزیکی، اکولوژیکی و سازمانی را در فرآیند برنامه‌ریزی و مدیریت حوزه لحاظ نمود. ایشان در تحقیق خود یک سامانه پشتیبانی تصمیم برای آبخیز چهلچای استان گلستان در محیط نرم‌افزار ICMS (سیستم مدل‌سازی اجزای تعاملی) تهیه کردند. این سامانه پشتیبانی تصمیم قادر است با افزایش ادراک کاربر از سیستم حوزه آبخیز و اجزای آن، همچنین با معرفی گزینه‌های مدیریتی (تراسبندی، احداث باغ، اگروفارستری، علوفه‌کاری و درختکاری) در قالب سناریوهای مختلف و نیز با پیشبینی و نمایش اثرات مختلف اجرای احتمالی آنها با کمک شاخص‌های ارزیابی اثرات (پذیرش اجتماعی، سود ناخالص، هزینه‌های متغیر، فرسایش خاک، حجم رواناب، میانگین وزنی اندازه لکه‌های پوشش گیاهی و شاخص وزنی سطح پوشش گیاهی) به مدیریت مشارکتی و یکپارچه حوزه آبخیز کمک کند و موجب تسهیل فرآیند تصمیم‌گیری شود (۲۸). رحمانی و همکاران بیان کردند که تغییر کاربری اراضی به عنوان یکی از چالش‌های عمده در قرن بیست و یکم مطرح خواهد بود و برخی حتی اعتقاد دارندکه آثار آن نسبت به پدیده تغییر اقلیم بیشتر است. تغییر کاربری اراضی بر تولید رواناب و سایر مؤلفه‌های هیدرولوژیک مثل گیرش، نفوذ و شدت سیل‌خیزی اثر می‌گذارد. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که طی دوره تحقیق در حوزه کسیلیان ۲۵۱ هکتار از سطح جنگل‌های منطقه کاسته شده و ۹۸ مترمکعب به حجم رواناب افزوده شده، که نشان‌دهنده تأثیر کاهش اراضی جنگلی و مراتع بر دبی اوج و حجم رواناب حوزه است (۲۳). معماریان و همکاران از تلفیق AHP و WGP با در نظر گیری اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز هولو لانگات[1] در مالزی استفاده کردند و ۴ سناریو مختلف را که موجب افزایش درآمد اقتصادی و کاهش تخریب‌های زیست محیطی می‌شدند توسعه دادند (۱۹). شنانی هویزه و زارعی با بررسی تغییرات کاربری اراضی طی دوره زمانی مابین سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۸ در حوزه آبخیز ابولعباس به این نتیجه رسیدند که سطح جنگل‌های انبوه و نیمه انبوه، زراعت دیم، زراعت آبی و باغات کاهش و سطح مناطق مسکونی افزایش یافته است که این تغییرات سبب افزایش احتمال وقوع بلایای طبیعی مثل سیل شده است (۲۹). سلیمانی و همکاران به منظور مدیریت بهینه حوزه آبخیز کاکاشرف واقع در استان لرستان، مدل‌های برآورد نفوذ را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در کاربری مرتع مقدار پارامترهای نفوذ کمتر از کاربری‌های جنگل و زراعت است (۳۲).

در تحقیقی که در نواحی مرطوب استوایی توسط آلانسی و همکاران، انجام شد، مشخص شد که تغییر کاربری مهم‌ترین عامل در تولید رواناب است (۲). براساس نظر راکسترم و کالبرگ، مدیریت منابع طبیعی در مقیاس حوزه آبخیز منافع زیادی را منجر می‌شود که عبارتند از افزایش تولیدات غذایی، بهبود معیشت، حفاظت محیط زیست، بیان نوع و موضوعات مالکیتی و همچنین نگرانی‌های موجود در مورد تنوع زیستی (۲۴).

بنجامین در منطقه بارینگو کنیا جهت تصمیم‌گیری در مورد تخصیص کاربری اراضی در مناطقی که بین کلاس‌های مختلف کاربری اراضی تضاد وجود دارد، از ارزیابی چندمعیاره و نوعی سیستم پشتیبان تصمیم مکان مبنا که از روش MOLA بهره می‌برد استفاده کرد (۴). در تحقیقی که در منطقه دانگان چین انجام شده، از ترکیب سنجش از دور و GIS برای بررسی کاربری اراضی و ارائه مدل پایدار تخصیص زمین استفاده شده است. نتایج نشان داد که با مقایسه هدررفت زمینی که به طور واقعی اتفاق افتاده با هدررفت زمینی که در حالت بهینه و به وسیله مدل پیش‌بینی می‌شود، برخی مشکلات در رابطه با کاربری اراضی مشخص می‌شوند و همچنین نتایج نشان دادند که فقط در حدود یک سوم هدررفت زمین در مکان‌های بهینه اتفاق می‌افتد (۱۸). در تحقیقی که به وسیله ابابکر و همکاران در مناطق شمال شرقی نیجریه انجام شده است تلاش شده که نواحی را که شرایط بیابانی شدن در آنها تا سال ۲۰۳۰ محتمل است پیش‌بینی کنند. در این تحقیق از زنجیره مارکف برای پیش‌بینی و از تکنیک‌های بهینه‌سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی MOLA برای ترسیم نقشه‌ها استفاده شده است. نتایج نشان داده است که رودخانه‌های Gana و Yobe به عنوان موانع طبیعی عمل کرده و مانع گسترش بیابان می‌شوند (۱).

هدف از این مطالعه توسعه مدل بهینه استفاده از اراضی با استفاده از تلفیق روش برنامه‌ریزی آرمانی با روش تخصیص چند هدفه اراضی است.

## نوآوری تحقیق

نوآوری این تحقیق به شرح ذیل است: ۱- مدل برنامه‌ریزی آرمانی در این تحقیق با ساختار اولویت‌بندی[2]

1- Hulu Langat

2- Preemptive

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

فرمول‌بندی شده است. ۲- مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی و تخصیص چندهدفه اراضی تاکنون ترکیب نشده بودند، در این تحقیق برای اولین بار این رویکردها ترکیب شدند. ۳- برخی تحقیقات فقط بهینه‌سازی ریاضی کاربری اراضی را انجام می‌دهند بدون اینکه مکان بهینه آنها را تعیین کنند، در نتیجه نتایج این تحقیقات برای به کارگیری در جهان واقعی ناقص است، به عبارت دیگر نتایجی که از نظر ریاضی و مکانی بهینه هستند بهتر قابل اجرا هستند و ۴- ترکیب رویکرد ریاضی مذکور با رویکرد تخصیص چندهدفه اراضی از نظر زمانی کارایی انجام[1] بالایی دارد و برای انجام کار زمان زیادی نیاز ندارد در حالی که برخی رویکردها مانند الگوریتم ژنتیک از نظر زمانی بسیار وقت گیر هستند.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، بخش مرکزی شهرستان کوهرنگ واقع در غرب استان چهارمحال و بختیاری است که از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل طول جغرافیایی "۴۲ '۵ °۵۰ تا "۳۴ '۱۸ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی "۲'۲۲ °۳۲ تا "۲۳ '۲۹ °۳۲ شمالی قرار گرفته است و مساحتی در حدود ۱۳۵ کیلومتر مربع را شامل می‌شود. متوسط بارندگی سالانه در این منطقه پر بارش حدود ۱۳۷۵,۹ میلی‌متر و اقلیم این ایستگاه به روش طبقه‌بندی اقلیمی کوپن، جز اقلیم‌های معتدل سرد با تابستان‌های خشک و نیمه خشک است. داده‌های مورد استفاده و مراحل کار به شرح زیر است:

۱- تهیه نقشه‌های پایه شامل نقشه توپوگرافی، شیب، نقشه منابع آب و ...

۲- تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

برای این منظور ابتدا نقشه کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه و سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار Google Earth اصلاح و به روز شد. پس از تهیه نقشه اصلاح شده، سطوحی که امکان تغییر آنها وجود ندارد مثل مناطق مسکونی، تالاب، دریاچه سد و ... از کل سطح حوزه آبخیز کسر شد و سطوح مربوط به کاربری‌های اراضی مختلف محاسبه شد. این اعداد در حقیقت مقادیر متغیرهای تصمیم در شرایط فعلی هستند.

۳- تهیه نقشه تناسب اراضی بر اساس استانداردهای معرفی شده در منابع مختلف (بررسی قابلیت اراضی بر اساس شیب، عمق خاک و قابلیت دسترسی به منابع آب) به عنوان نقشه معیار (۸،۹،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳). این نقشه نحوه صحیح استفاده از زمین را نشان می‌دهد. در حقیقت با انجام بهینه‌سازی، بهترین حالت یا نقشه‌ای که از نظر موقعیت و مساحت کاربری‌های اراضی مختلف، بیشترین تشابه به این نقشه را دارد تهیه می‌شود.

۴- تعیین مقدار فرسایش در هر کاربری

از اطلاعات مطالعات انجام شده قبلی در حوزه، که به بررسی اثر کاربری‌های اراضی مختلف بر فرسایش پرداخته‌اند، جمع‌آوری شد (۲۱). به این ترتیب که پس از تهیه نقشه اصلاح شده هر کاربری اراضی، این نقشه از نقشه پتانسیل فرسایش تهیه شده بر اساس معادله جهانی فرسایش خاک در مطالعه مذکور، برش داده شد و از هیستوگرام نقشه برش داده شده که پتانسیل فرسایش در هر کاربری اراضی را نشان می‌دهد، مقدار میانگین فرسایش در هر کاربری محاسبه شد. نتیجه انجام این مرحله استخراج ضریب بهره‌وری مرتبط با شاخصه[2] فرسایش است. با داشتن اطلاعات این مرحله، مقدار فرسایش در شرایط فعلی در حوزه محاسبه شد.

۵- محاسبات سوددهی هر کاربری

برای انجام محاسبات، مهم‌ترین محصولات باغی و زراعی منطقه مشخص شدند و با در نظر گرفتن مراحل کاشت، داشت و برداشت و با کسر هزینه‌ها از سود ناخالص، سود خالص محاسبه شد. در اراضی مرتعی از اطلاعات موجود در رابطه با مقدار متوسط وزنی تولید علوفه خشک، مواد غذایی قابل هضم و واحد دامی برای محاسبه سود استفاده شد و در رابطه با خسارت ناشی از فرسایش خاک، با استفاده از مقدار فرسایش خاک، سطح اراضی از دست رفته، هزینه آن محاسبه شد. نتیجه انجام این مرحله استخراج ضریب بهره‌وری مرتبط با شاخصه سود است. با داشتن اطلاعات این مرحله، مقدار سود در شرایط فعلی در حوزه محاسبه شد.

۶- انجام بهینه‌سازی با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی

شکل عمومی مدل مورد استفاده در این تحقیق از دیدگاه ایگنیزیو، به نقل از جین و همکاران (۱۶)، به صورت زیر است:

Find x so as to (۲)

Minimize

$$Z = PL_1(d_1^-, d_1^+), PL_2(d_2^-, d_2^+), \dots, PL_r(d_3^-, d_3^+) \dots$$

Subject to

$$Z_j(x) - d_j^+ + d_j^- = Z_j^* \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$g_i(x) - d_i^+ + d_i^- = b_i^* \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$x, d_j^-, d_j^+ \geq 0$$

Z: تابع هدف (تابع دستیابی)، برداری از r اولویت است.

x: برداری از متغیرهای تصمیم

$PL_r$: rامین سطح اولویت یا اولویت سلسله مراتبی نسبت داده شده به آرمان‌ها

$Z_j(x)$: آرمان jام

$g_i(x)$: محدودیت iام

$d_j^-$ و $d_i^-$: انحرافات منفی یا میزان دستیابی کمتر از آرمان j و محدودیت i

$d_j^+$ و $d_i^+$: انحرافات مثبت یا بیش دستیابی از آرمان j و محدودیت i

$Z_j^*$ و $b_i^*$: سطوح تمایل برای آرمان j و محدودیت i

n: تعداد آرمان‌ها و m: تعداد محدودیت‌ها. برخلاف تابع هدف بهینه‌سازی مرسوم، تابع دستیابی برنامه‌ریزی آرمانی درجه عدم دستیابی آرمان‌های مسئله را اندازه‌گیری می‌کند (۱۵). مسئله فوق یک مسئله بهینه‌سازی است که با روش برنامه‌ریزی آرمانی حل می‌شود و جواب‌های متنوعی برای این مسئله به دست خواهد آمد (مجموعه جواب). هدف یافتن جواب‌های شدنی مسئله است و جوابی که نزدیک‌ترین مقدار به سطوح تمایل در رابطه با شاخصه‌های سود و فرسایش خاک را با در نظر گرفتن محدودیت‌های مسئله ارائه دهد جواب بهینه این مسئله است. مراحل کار در این روش شامل موارد زیر است:

1- Performance

2- Attribute

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

۶-۱- تعیین متغیرهای تصمیم: متغیرهای تصمیم مقدار زمین اختصاص داده شده به هر یک از کاربری‌های اراضی در حوزه می‌باشند. متغیرهای تصمیم مجهولات مسئله هستند و پس از حل مسئله، مقادیر بهینه آنها به دست می‌آید.

۶-۲- تعیین آرمان‌ها: برای انجام بهینه‌سازی ۲ آرمان اصلی مرتبط با شاخصه‌های سود و فرسایش مد نظر هستند.

الف) آرمان درآمد یا سود:

$$\text{goal} \quad (\sum_{j=1}^{6} c_{bj}\, x_j = B) \qquad p_1(B = t_1)$$

B کل سودی که در صورت امکان و با توجه به سطح تمایل تصمیم‌گیرندگان $t_1$، بر حسب میلیون ریال در سال باید به دست آید. $c_{bj}$ سود خالص به دست آمده از هر هکتار کاربری jام بر حسب میلیون ریال در سال است. $P_1$ نشان دهنده سطح اولویت آرمان است. در این تحقیق ۲ مدل با جابجایی اولویت آرمان‌ها مد نظر است.

ب) آرمان مربوط به فرسایش:

$$\text{goal} \quad (\sum_{j=1}^{6} c_{ej}\, x_j = E) \qquad p_2(E = t_2)$$

E کل فرسایش بر حسب تن درسال است که در صورت امکان و با توجه به سطح تمایل تصمیم‌گیرندگان $t_2$، باید به دست آید. $c_{ej}$ مقدار فرسایش تولیدی از هرکاربری بر حسب تن در هکتار در سال و $P_2$ نشان‌دهنده این است که آرمان فرسایش، اولویت دوم است.

۶-۳- محدودیت‌ها:

محدودیت‌های مورد تأکید این تحقیق شامل محدودیت‌های مربوط به منابع تولید و محدودیت مربوط به منابع آب هستند که هر دو مورد مسائل اجتماعی را هم شامل می‌شوند. درمورد منابع تولید شامل کاربری‌های مختلف، با توجه به شرایط حوزه و نظر بهره‌برداران مقادیر سمت راست محدودیت‌ها که معادل حداکثر و یا حداقل سطوح اختصاص یافته به هر یک از کاربری‌ها است مشخص شد. با توجه به اینکه اراضی باغی، کشت آبی و بیشه‌ها نیاز به آب دارند با محاسبه آب مورد نیاز گیاه و مقایسه آن با مجموع آب قابل دسترسی در حوزه مشخص شد که محدودیتی از نظر منابع آب وجود ندارد. شرایط استاندارد نیز در تعیین این مقادیر در نظر گرفته شد و با توجه به نتیجه این بررسی‌ها، مقادیر سمت راست محدودیت‌های مرتبط با آنها تعیین شد. همچنین متغیرهای تصمیم نمی‌توانند منفی باشند که تحت عنوان محدودیت نامنفی‌ها وارد مدل شدند.

۶-۴- فرمول‌بندی و حل مدل

برای فرمول‌بندی از ساختار اولویت‌بندی[1] که یکی از روش‌های مرسوم فرمول‌بندی در GP است استفاده شد. برای حل، از نرم‌افزار WIN-QSB استفاده شد. نتیجه حاصل از حل مدل‌ها، به دست آمدن مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم یا مساحت تخصیص داده شده به کاربری‌های اراضی مختلف بعد از بهینه‌سازی و مقدار آرمان‌های سود و فرسایش است. با داشتن مساحت‌های بهینه و با مقایسه آنها با مقادیر فعلی اولاً تغییر مساحت کاربری‌ها و مقدار کاهش یا افزایش آنها مشخص می‌شود، ثانیاً مقدار تغییرات سود و فرسایش قابل محاسبه است.

۷- انجام بهینه‌سازی با استفاده از روش تخصیص چندهدفه اراضی

مراحل بهینه‌سازی مکانی با استفاده از این روش به ترتیب زیر است:

۱- تهیه نقشه‌های معیار[2] برای هر هدف (در این روش منظور از هدف نوع کاربری اراضی است) شامل: نقشه‌های مربوط به فاکتورها[3] که به شکل فازی تهیه می‌شوند و نقشه‌های بولین[4] با مقادیر صفر و ۱ و به‌عنوان نامناسب و مناسب. در این تحقیق تعداد ۱۲ نقشه فاکتور فازی شامل ۶ نقشه فاکتور فازی عمق خاک و ۶ نقشه فاکتور فازی شیب تهیه شد که با توجه به فازی بودن خصوصیات نقشه‌های بولین را هم همزمان در خود دارند و مناطق خارج از بازه فازی را به صورت نامناسب نشان می دهند.

۳- انجام ارزیابی چندمعیاره[5] با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی[6] برای هر هدف با استفاده از نقشه‌های معیار تولید شده در مرحله اول و تهیه نقشه تناسب[7] برای هر هدف. در این تحقیق ۶ نقشه تناسب برای ۶ کاربری اراضی تولید شد.

برای انجام ارزیابی چندمعیاره، فاکتورها و محدودیت‌ها در ادریسی به ۳ روش قابل ترکیب کردن هستند که در این تحقیق از روش WLC برای ترکیب کردن نقشه‌های فاکتورها استفاده شد. در این روش که ممکن است معیارها شامل فاکتورهای وزن داده شده و محدودیت‌ها شوند، عملیات ترکیب کردن با ضرب هر فاکتور در وزن اختصاص یافته به آن شروع می‌شود و سپس نتایج با هم جمع شده و بر تعداد فاکتورها تقسیم می‌شود. در این تحقیق فاکتورها با وزن و اولویت برابر در مدل به کار گرفته شدند.

۳- انجام رتبه‌بندی[8] نقشه‌های حاصل از ارزیابی چندمعیاره و استخراج نقشه‌های تناسب رتبه‌بندی شده[9]. در این مرحله ۶ نقشه تناسب رتبه‌بندی شده تهیه شد.

از آنجایی که داده‌های خاص ورودی به MOLA تعدادی نقشه تناسب رتبه‌بندی شده برای هر هدف هستند، این نقشه‌ها با استفاده از خروجی‌های MCE و با استفاده از Rank تهیه می‌شوند. در این مورد رتبه‌ها باید در یک ترتیب نزولی باشند یعنی عدد ۱ بهترین را نشان می‌دهد و به بالاترین مقدار در نقشه ورودی تخصیص داده می‌شود. همچنین در حالت صعودی، رتبه ۱ به کمترین مقدار در نقشه ورودی تخصیص داده می‌شود. به‌علاوه، نواحی با تناسب برابر[10]، مجدداً باید با استفاده از یک نقشه ثانویه[11]حل شوند که در این مورد از هدفی استفاده می‌شود که احتمالاً بیشترین تضاد را با هدف رتبه‌بندی شده دارد. نقشه‌های ثانویه به طور صعودی مرتب می‌شوند. در صورتی که از نقشه ثانویه استفاده نشود گره‌ها[12] به طور تصادفی حل مجدد خواهند شد. به طور خلاصه، نقشه نزولی بهترین‌ها را برای هدف مورد نظر و نقشه‌های صعودی بدترین‌ها را برای بقیه اهداف نشان می‌دهند.

1- Preemptive 2- Criterion Maps 3- Fuzzy Factor Maps 4- Boolean Maps
5- MCE: Multi-Criteria Evaluation 6- WLC: Weighted Linear Combination 7- Suitability Map
8- Rank or Cell Rank Transformation 9- RankedSuitability Maps 10- Equal Suitability or Rank Ties
11- Secondary Image 12- Ties

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

۴- ارایه مساحت بهینه به‌دست آمده از بهینه‌سازی ریاضی و نقشه‌های رتبه‌بندی شده به روش مذکور تا تخصیص اولیه و سپس با تفکیک تضادها و تخصیص آنها،
تخصیص نهایی صورت گیرد.
۵- تهیه نقشه بهینه مکانی[1].
این روش با استفاده از نرم‌افزار ادریسی انجام شد.

## نتایج و بحث

با استفاده از جابجایی اولویت آرمان‌ها، ۲ مدل که در مدل اول آرمان سود در اولویت اول و آرمان فرسایش اولویت دوم است و مدل دوم که در آن آرمان فرسایش اولویت اول و آرمان سود اولویت دوم است به دست آمدند که در صفحه بعد ارائه شده اند.

در این مدل‌ها، $x_1$، $x_2$، $x_3$، $x_4$، $x_5$ و $x_6$ متغیرهای تصمیم یا سطوح اختصاص یافته به هر یک از کاربری‌های اراضی مرتع، کشت آبی، کشت دیم، باغ، بیشه و جنگل بر حسب هکتار هستند. ضرایب متغیرهای تصمیم در مدل‌ها نشان دهنده ضریب بهره‌وری ($c_j$) سود و فرسایش می‌باشند که در مراحل ۴ و ۵ استخراج شدند. $d_1^-, d_1^+$ و $d_2^+, d_2^-$ متغیرهای انحرافی مربوط به درآمد و فرسایش هستند که هدف حداقل کردن آنها برای دستیابی به مقادیر قابل قبول است. محدودیت‌ها به ترتیب عبارتند از: حداقل سطح مراتع، حداکثر سطح مراتع، حداقل سطح کشت آبی، حداکثر سطح کشت آبی، حداقل سطح کشت دیم، حداکثر سطح کشت دیم، حداقل سطح باغات، حداکثر سطح باغات، حداقل سطح بیشه‌ها، حداکثر سطح بیشه‌ها، حداکثر سطح جنگل‌ها. پس از حل مدل‌ها و در شرایط بهینه در مدل ۱، مقدار آرمان اول برابر ۱۴۸۶۵۱۲۸۴۴۸۰ ملیارد ریال سود سالانه و ۱۸۱۵۶۹,۲۵ تن فرسایش در سال و در مدل ۲، مقدار آرمان سود برابر ۱۴۷۷۸۰۴۵۴۴۰۰ملیارد ریال و مقدار آرمان فرسایش برابر ۱۸۱۳۱۱,۶۹ تن در سال به دست آمد.
در شرایط فعلی این مقادیر به ترتیب برابر ۷۵۴۳۶۸۸۷۰۷۰ ملیارد ریال سود سالانه و ۲۰۳۹۸۲,۸۴ تن فرسایش در سال است که مشابه نتایج تحقیقات قبلی، بهینه سازی کاربری اراضی موجب کاهش فرسایش و افزایش سود شده است که با نتایج تحقیقات قبلی هم‌خوانی دارد.
جدول ۱، سطح فعلی کاربری‌ها، نتایج حل مدل‌ها با استفاده از روش سیمپلکس و مقادیر تخصیص یافته به هر یک از کاربری‌ها و درصد افزایش یا کاهش سطح آنها را در شرایط بهینه نشان می‌دهد.
در جدول ۲، سهم یا مشارکت کلی[2] هر یک از کاربری‌ها در هریک از آرمان‌ها و هزینه تقلیل یافته[3] نشان داده شده است. مشارکت کلی یک متغیر تصمیم در تابع هدف برابر است با ضرب جواب نهایی آن متغیر در ضریب آن در تابع هدف. بر اساس این جدول، در مدل ۱، مراتع در آرمان دوم و باغ‌ها در آرمان اول و در مدل ۲، مراتع در آرمان اول و باغ‌ها در آرمان دوم مشارکت بیشتری دارند. هزینه‌های تقلیل یافته مقدار تغییرات تابع هدف به ازای یک واحد تولید از یکی از متغیرهای غیرپایه بهینه است که براین اساس در مدل ۲ همه متغیرها هزینه تقلیل یافته برابر صفر دارند و متغیر های پایه هستند و در مدل حفظ می‌شوند.

مدل ۱:

$$\text{Min} \quad Z = P_1(d_1^-, d_1^+), P_2(d_2^-, d_2^+)$$

s.t.

$$102867x_1 + 3530630x_2 + 431778x_3 + 9051377x_4 + 6237872x_5 + 103219x_6 - d_1^+ + d_1^- = 23350303815$$
$$14.11x_1 + 12.73x_2 + 15.05x_3 + 13.12x_4 + 5.1x_5 + 14.02x_6 - d_2^+ + d_2^- = 178487$$
$$x_1 \geq 8762.4$$
$$x_1 < 8932.05$$
$$x_2 \geq 1271.18$$
$$x_2 < 1389.$$
$$x_3 \geq 1400$$
$$x_3 < 2810.1$$
$$x_4 \geq 99.33$$
$$x_4 < 900$$
$$x_5 \geq 8.75$$
$$x_5 < 16$$
$$x_6 \leq 95.21$$
$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 12951.80$$
$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+ \geq 0$$

و مدل ۲:

$$\text{Min} \quad Z = P_1(d_1^-, d_1^+), P_2(d_2^-, d_2^+)$$

s.t.

$$14.11x_1 + 12.73x_2 + 15.05x_3 + 13.12x_4 + 5.1x_5 + 14.02x_6 - d_2^+ + d_2^- = 178487$$
$$102867x_1 + 3530630x_2 + 431778x_3 + 9051377x_4 + 6237872x_5 + 103219x_6 - d_1^+ + d_1^- = 23350303815$$
$$x_1 \geq 8762.4$$
$$x_1 < 8932.05$$
$$x_2 \geq 1271.18$$
$$x_2 < 1389.00$$
$$x_3 \geq 1400$$
$$x_3 < 2810.13$$
$$x_4 \geq 99.33$$
$$x_4 < 900$$
$$x_5 \geq 8.75$$
$$x_5 < 16$$
$$x_6 \leq 95.21$$
$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 12951.80$$
$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, d_1^-, d_1^+, d_2^-, d_2^+ \geq 0$$

1- Optimized Spatial Map 2- Total contribution 3- Reduced cost

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

در مدل ۱ به جز $x_6$ که مقدار هزینه تقلیل یافته غیر صفر دارد و یک متغیر غیر پایه است، بقیه متغیرها پایه هستند. هزینه تقلیل یافته بیشتر نشان‌دهنده بدتر بودن متغیر است و به عبارت دیگر هزینه تقلیل یافته یک متغیر به عنوان مقدار خسارتی که باید به ازای ورود یک واحد از آن متغیر در جواب پرداخت، تفسیر می‌شود. در هر دو مدل سطح باغات، بیشه‌ها و اراضی کشت آبی نسبت به شرایط فعلی افزایش و سطح دیمزارها کاهش یافته است. همچنین با توجه به ملی بودن مراتع سطح این کاربری در مدل ۱ ثابت و در مدل ۲ حدود ۱۶۹٫۶۵ هکتار افزایش را نشان می‌دهد که با استفاده از اجرای طرح‌های بیولوژیک در اراضی ملی تصرفی قابل احیا است.در جدول ۳، خلاصه تحلیل انجام شده بر روی محدودیت‌ها آورده شده است. متغیرهای کاستی و فزونی برای تبدیل نامعادلات از نوع ≤ و ≥ به معادله و برای حل مدل در روش سیمپلکس استفاده می‌شوند. قیمت‌های سایه‌ای یا شبه قیمت‌ها مقدار تغییرات تابع هدف را به ازای افزایش ۱ واحد مقادیر سمت راست محدودیت‌ها نشان می‌دهند. بر اساس جدول ۳، در مدل ۱، برای آرمان اول یا مسئله حداکثرسازی، بیشترین افزایش و کاهش به ترتیب در C8 یا محدودیت حداقل سطح باغات و C1 یا حداکثر سطح مراتع اتفاق می‌افتد. همچنین برای آرمان دوم و در مسئله حداقل‌سازی، بیشترین کاهش در C10 یا حداکثر سطح بیشه‌ها رخ می‌دهد. به عبارت دیگر مقدار تابع هدف در مدل حداکثرسازی ۳۲۸۹۱۰٫۸۱ واحد کاهش و ۸۶۱۹۵۹۹ واحد افزایش خواهد یافت و در مدل حداقل سازی مقدار تابع هدف ۹٫۹۵ واحد کاهش خواهد یافت. متغیرهای تصمیم با قیمت‌های سایه‌ای بیشتر مهمتر هستند. بر اساس جدول ۳، در مدل ۲، برای آرمان اول یا مسئله حداقل‌سازی، بیشترین کاهش در C10 اتفاق می‌افتد.

جدول ۱- جواب‌ها و تغییرات سطح کاربری‌های اراضی نسبت به شرایط فعلی

Table 1. The solution values and land use area changes in comparison to current condition

| متغیر تصمیم | کاربری اراضی | سطح کاربری قبل از بهینه‌سازی (هکتار) | جواب مدل ۱ (هکتار) | افزایش/کاهش در شرایط بهینه نسبت به شرایط فعلی (٪) | جواب مدل ۲ (هکتار) | افزایش/کاهش در شرایط بهینه نسبت به شرایط فعلی (٪) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $x_1$ | مرتع | ۸۷۶۲٫۴ | ۸۷۶۲٫۴ | بدون تغییر | ۸۹۳۲٫۰۵ | ۱٪ افزایش |
| $x_2$ | کشت آبی | ۱۲۷۱٫۱۸ | ۱۳۸۹٫۰۱ | ۹٪ افزایش | ۱۳۸۹٫۰۱ | ۹٪ افزایش |
| $x_3$ | کشت دیم | ۲۵۱۰٫۱۳ | ۱۸۸۴٫۳۹ | ۳۳٪ کاهش | ۱۶۱۹٫۵۲ | ۵۴٪ کاهش |
| $x_4$ | باغ | ۹۹٫۳۳ | ۹۰۰ | ۹۰۶٪ افزایش | ۹۰۰ | ۹۰۶٪ افزایش |
| $x_5$ | بیشه | ۸٫۷۵ | ۱۶ | ۸۲٪ افزایش | ۱۶ | ۸۲٪ افزایش |
| $x_6$ | جنگل | ۰ | ۰ | بدون تغییر | ۹۵٫۲۲ | پتانسیل جنگل |

جدول ۲- سهم یا مشارکت کلی و هزینه‌های تقلیل یافته متغیرهای تصمیم درمدل‌های ۱ و ۲

Table 2. The total contribution and reduced cost values of decision variables for the model 1 and 2

| سطح آرمان | متغیر تصمیم | مدل ۱ | | مدل ۲ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | سهم یا مشارکت کلی | هزینه تقلیل یافته | سهم یا مشارکت کلی | هزینه تقلیل یافته |
| G1 | $x_1$ | ۹۰۱۳۶۷۴۸۸ | ۰ | ۱۲۶۰۳۱٫۲۲ | ۰ |
| G1 | $x_2$ | ۴۹۰۴۰۷۷۸۲۴ | ۰ | ۱۷۶۸۲٫۰۸ | ۰ |
| G1 | $x_3$ | ۸۱۳۶۳۸۲۰۸ | ۰ | ۲۴۳۷۳٫۸۵ | ۰ |
| G1 | $x_4$ | ۸۱۴۶۲۳۹۴۸۸ | ۰ | ۱۱۸۰۸ | ۰ |
| G1 | $x_5$ | ۹۹۸۰۵۹۵۲ | ۰ | ۸۱٫۶ | ۰ |
| G1 | $x_6$ | ۰ | -۳۲۸۵۵۹٫۱۹ | ۱۳۳۴٫۹۶ | ۰ |
| G2 | $x_1$ | ۱۲۳۶۳۷٫۵۲ | ۰ | ۹۱۸۸۱۸۵۶۰ | ۰ |
| G2 | $x_2$ | ۱۷۶۸۲٫۰۸ | ۰ | ۴۹۰۴۰۷۷۸۲۴ | ۰ |
| G2 | $x_3$ | ۲۸۳۶۰٫۰۵ | ۰ | ۶۹۹۲۷۵۹۰۴ | ۰ |
| G2 | $x_4$ | ۱۱۸۰۸ | ۰ | ۸۱۴۶۲۳۹۴۸۸ | ۰ |
| G2 | $x_5$ | ۸۱٫۶ | ۰ | ۹۹۸۰۵۹۵۲ | ۰ |
| G2 | $x_6$ | ۰ | -۱٫۰۳ | ۹۸۲۸۳۲۶ | ۰ |

همچنین برای آرمان دوم و در مسئله حداکثرسازی، بیشترین کاهش به ترتیب در C2 و C8 رخ می‌دهد. نتایج انجام تحلیل حساسیت بر روی ضرایب تابع هدف نشان می‌دهد که $c_1$ و $c_4$ مهم‌ترین ضرایب مدل‌اند و تغییرات آنها سبب تغییرات بیشتری در جواب مسئله می‌شود. به طوری که وقتی مقدار $c_1$، ۵ درصد افزایش یابد، مقدار فرسایش در مدل ۱ و ۲ به ترتیب ۳ و ۱٫۰۲ درصد افزایش می‌یابد. و وقتی $c_4$، ۵ درصد افزایش یابد مقدار سود در مدل ۱ و ۲ به ترتیب ۲ و ۲ درصد افزایش می‌یابد.

شکل‌های ۴ و ۵، نتیجه انجام بهینه‌سازی مکانی با استفاده از نتایج بهینه‌سازی ریاضی و محل قرارگیری کاربری‌های اراضی در شرایط بهینه را به ترتیب برای مدل ۱ و ۲ نشان می‌دهند.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

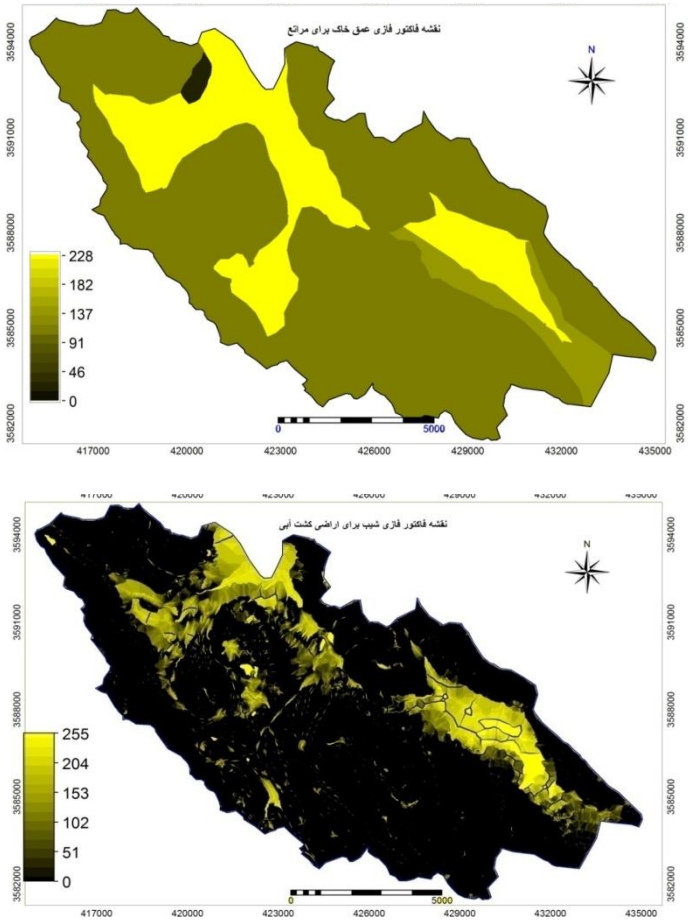
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

جدول ۳- مقادیر متغیرهای کاستی و فزونی و قیمت‌های سایه‌ای در مدل‌های ۱ و ۲

Table 3. The slack and surplus values and shadow prices for the model 1 and 2

| محدودیت | مدل ۱ | | | مدل ۲ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | متغیرهای کاستی و فزونی | قیمت‌های سایه‌ای (G1) | قیمت‌های سایه‌ای (G2) | متغیرهای کاستی و فزونی | قیمت‌های سایه‌ای (G1) | قیمت‌های سایه‌ای (G2) |
| C1 | ۰ | -۳۲۸۹۱۰,۸۱ | -۰,۹۴ | ۱۶۹,۶۵ | ۰ | ۰ |
| C2 | ۱۶۹,۶۵ | ۰ | ۰ | ۰ | -۰,۹۴ | -۳۲۸۹۱۰,۸۱ |
| C3 | ۱۱۷,۸۳ | ۰ | ۰ | ۱۱۷,۸۳ | ۰ | ۰ |
| C4 | ۰ | ۳۰۹۸۸۵۲ | -۲,۳۲ | ۰ | -۲,۳۲ | ۳۰۹۸۸۵۲ |
| C5 | ۴۸۴,۳۹ | ۰ | ۰ | ۲۱۹,۵۲ | ۰ | ۰ |
| C6 | ۹۲۵,۷۵ | ۰ | ۰ | ۱۱۹۰,۶۱ | ۰ | ۰ |
| C7 | ۸۰۰,۶۷ | ۰ | ۰ | ۸۰۰,۶۷ | ۰ | ۰ |
| C8 | ۰ | ۸۶۱۹۵۹۹ | -۱,۹۳ | ۰ | -۱,۹۳ | ۸۶۱۹۵۹۹ |
| C9 | ۷,۲۵ | ۰ | ۰ | ۷,۲۵ | ۰ | ۰ |
| C10 | ۰ | ۵۸۰۶۰۹۳,۵ | -۹,۹۵ | ۰ | -۹,۹۵ | ۵۸۰۶۰۹۳,۵ |
| C11 | ۹۵,۲۲ | ۰ | ۰ | ۰ | -۱,۰۳ | -۳۲۸۵۵۹,۱۹ |
| C12 | ۰ | ۴۳۱۷۷۸,۴۱ | ۱۵,۰۵ | ۰ | ۱۵,۰۵ | ۴۳۱۷۷۸,۴۱ |

در شکل‌های ۱ و ۲، نقشه‌های فاکتور فازی تولید شده، مربوط به فاکتور عمق خاک و شیب برای کاربری‌های اراضی مختلف به تصویر کشیده شده است. راهنمای نقشه درجه عضویت (λ) مناطق مختلف را که مقداری از صفر تا ۱ است، در یک مقیاس صفر تا ۲۵۵ درجه‌ای (برای افزایش دقت و سرعت کار نیاز است نقشه‌ها (8-bit integer) باشند و در دامنه صفر تا ۲۵۵ استاندارد شوند) که با تغییر تدریجی رنگ‌ها مشخص می‌شود، نشان می‌دهد. همچنین مناطق خارج از دامنه فوق، مناطق نامناسب هستند.

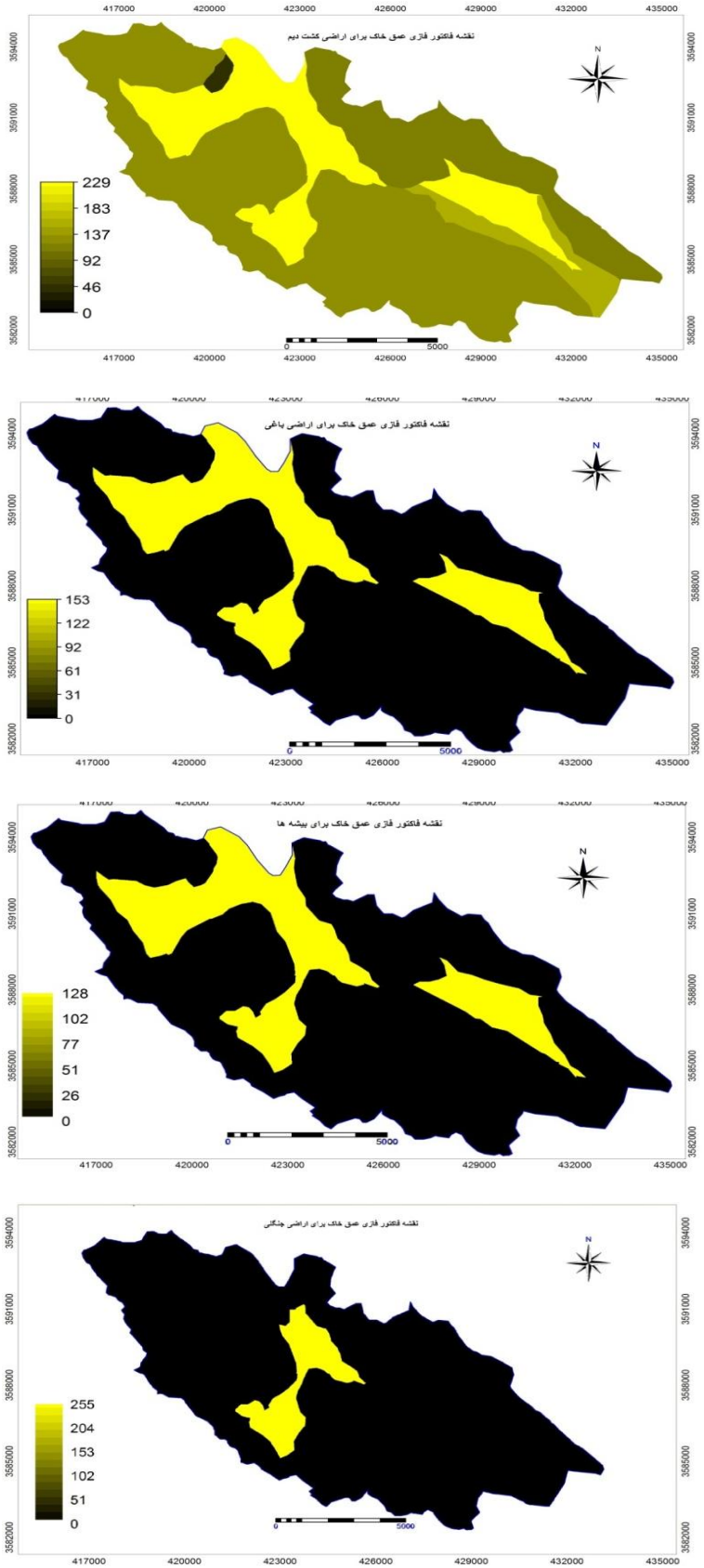



شکل ۱- نقشه‌های فاکتور فازی عمق خاک برای کاربری‌های اراضی موجود در حوزه

Figure 1. Soil depth fuzzy factor maps for current land uses in the basin

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

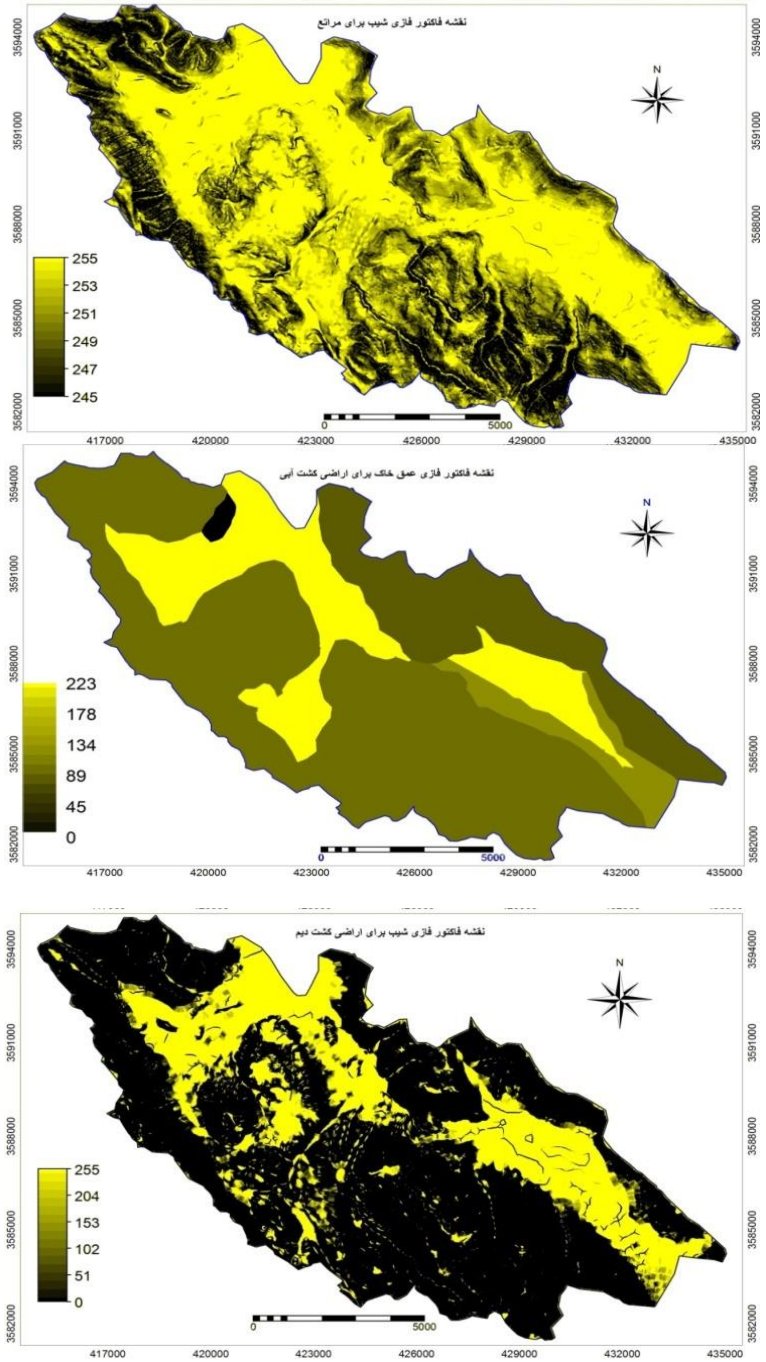



شکل ۱- نقشه‌های فاکتور فازی عمق خاک برای کاربری‌های اراضی موجود در حوزه
Figure 1. Soil depth fuzzy factor maps for current land uses in the basin

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

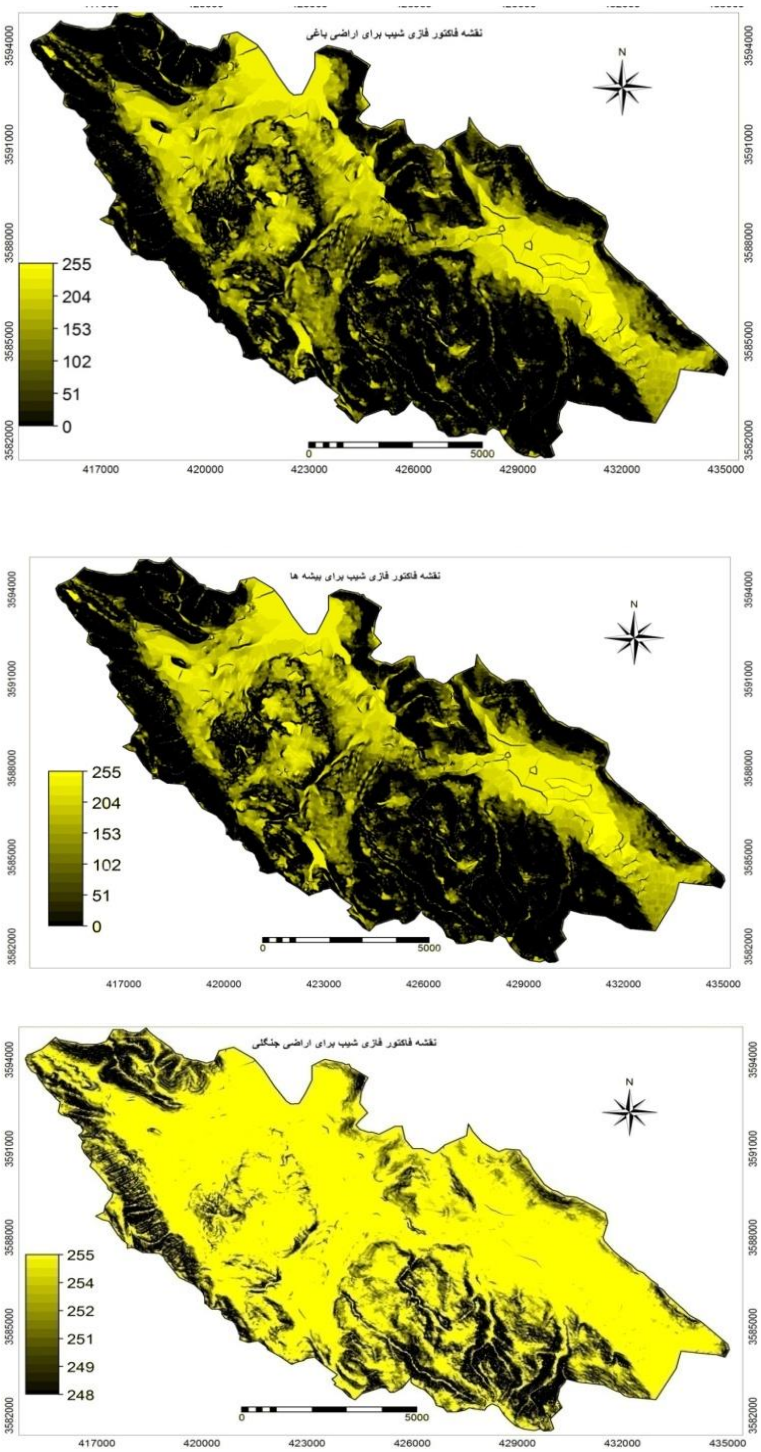
با استفاده از نقشه‌های فاکتور فازی تولید شده، تعداد ۶ نقشه تناسب با استفاده از انجام ارزیابی چندمعیاره و روش WLC به‌دست آمد که در شکل ۳ ارائه شده است. مشابه شکل ۱، راهنمای نقشه درجه تناسب مناطق مختلف را برای هر کاربری و در یک مقیاس صفر تا ۲۵۵ نشان می‌دهد.




شکل ۲- نقشه‌های فاکتور فازی شیب برای کاربری‌های اراضی موجود در حوزه
Figure 2. Slope fuzzy factor maps for current land uses in the basin

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

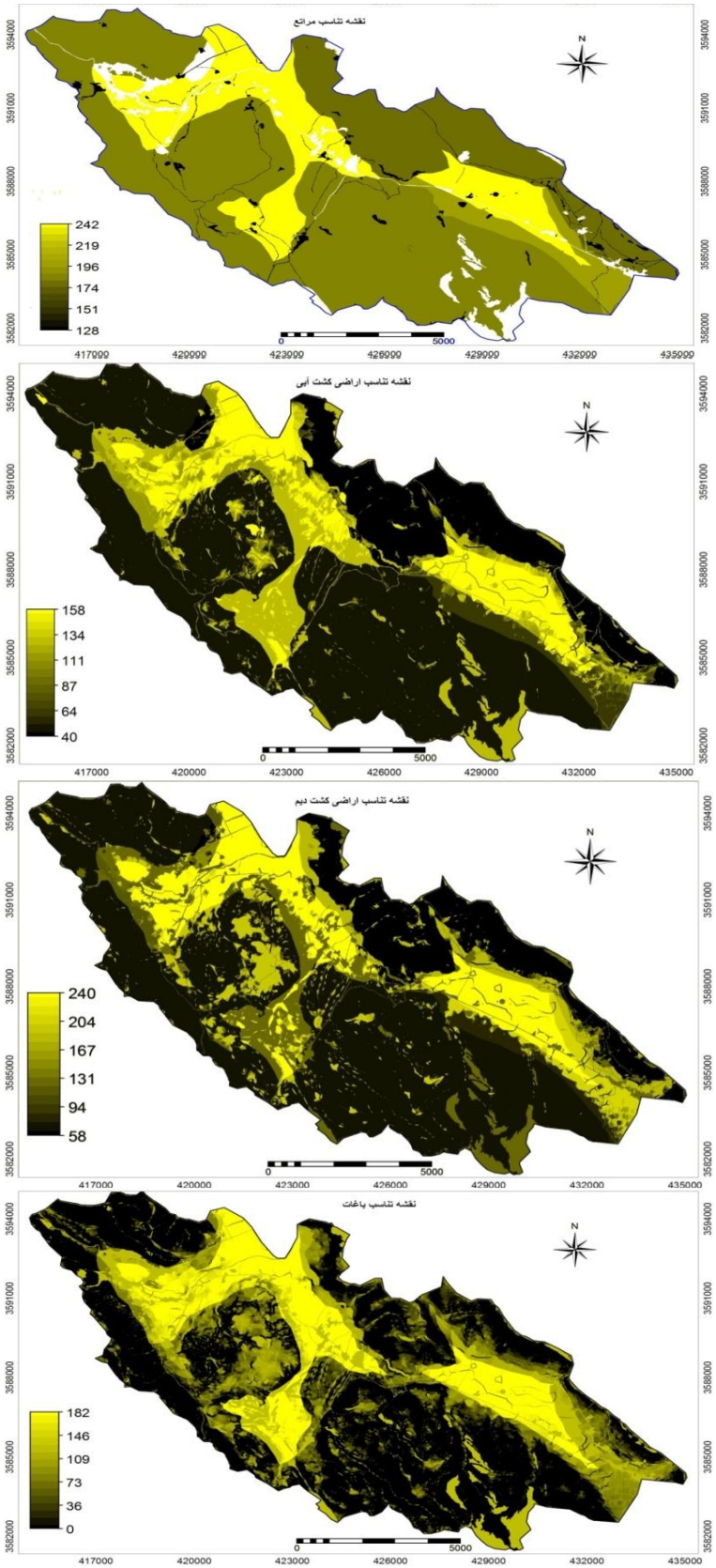



ادامه شکل ۲- نقشه‌های فاکتور فازی شیب برای کاربری‌های اراضی موجود در حوزه

Continue Figure 2. Slope fuzzy factor maps for current land uses in the basin

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

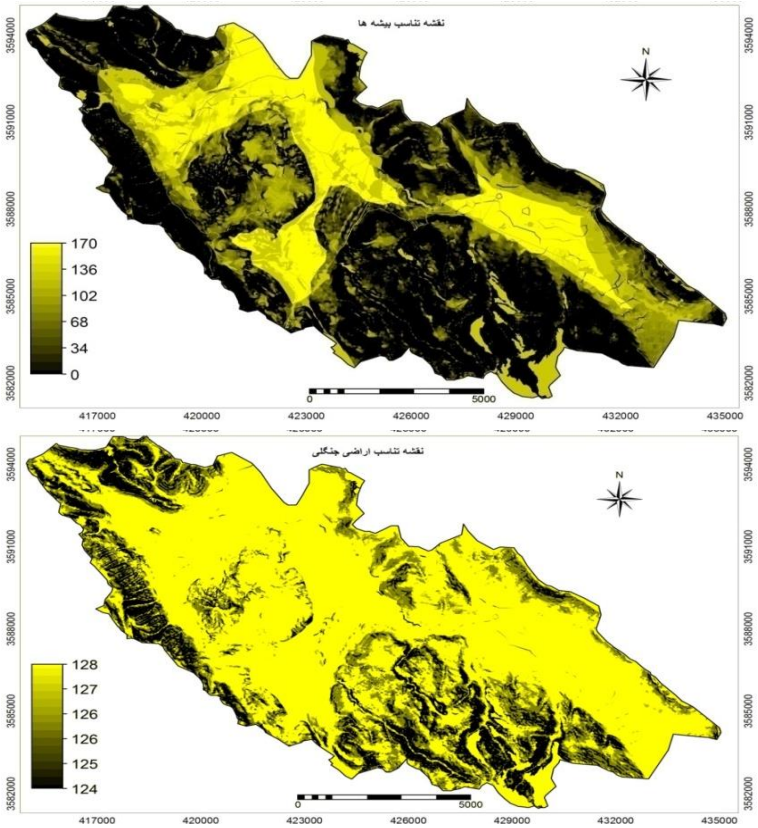



شکل ۳- نقشه تناسب کاربری‌های اراضی موجود در حوزه

Figure 3. Suitability maps for current land uses in the basin

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

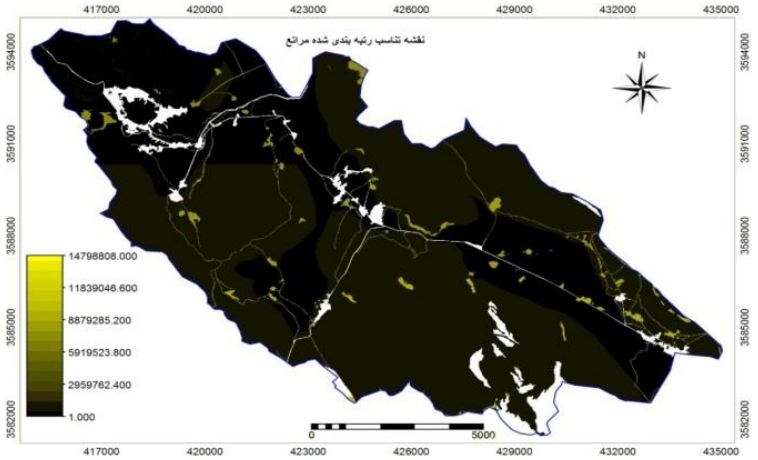
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]




ادامه شکل ۳- نقشه تناسب کاربری‌های اراضی موجود در حوزه

Continue Figure 3. Suitability maps for current land uses in the basin

در شکل ۴، نقشه‌های تناسب رتبه‌بندی شده کاربری‌های اراضی که در آن رتبه‌ها در یک ترتیب نزولی (منظور روش نزولی رتبه‌بندی است و اعداد راهنما به طور یکنواخت نزولی نیستند) مرتب شده‌اند، یعنی عدد ۱ بهترین را نشان می‌دهد و به بالاترین تناسب در نقشه ورودی تخصیص داده شده است، آورده شده است. در این شکل بزرگترین عدد نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های نقشه و کمترین تناسب است.

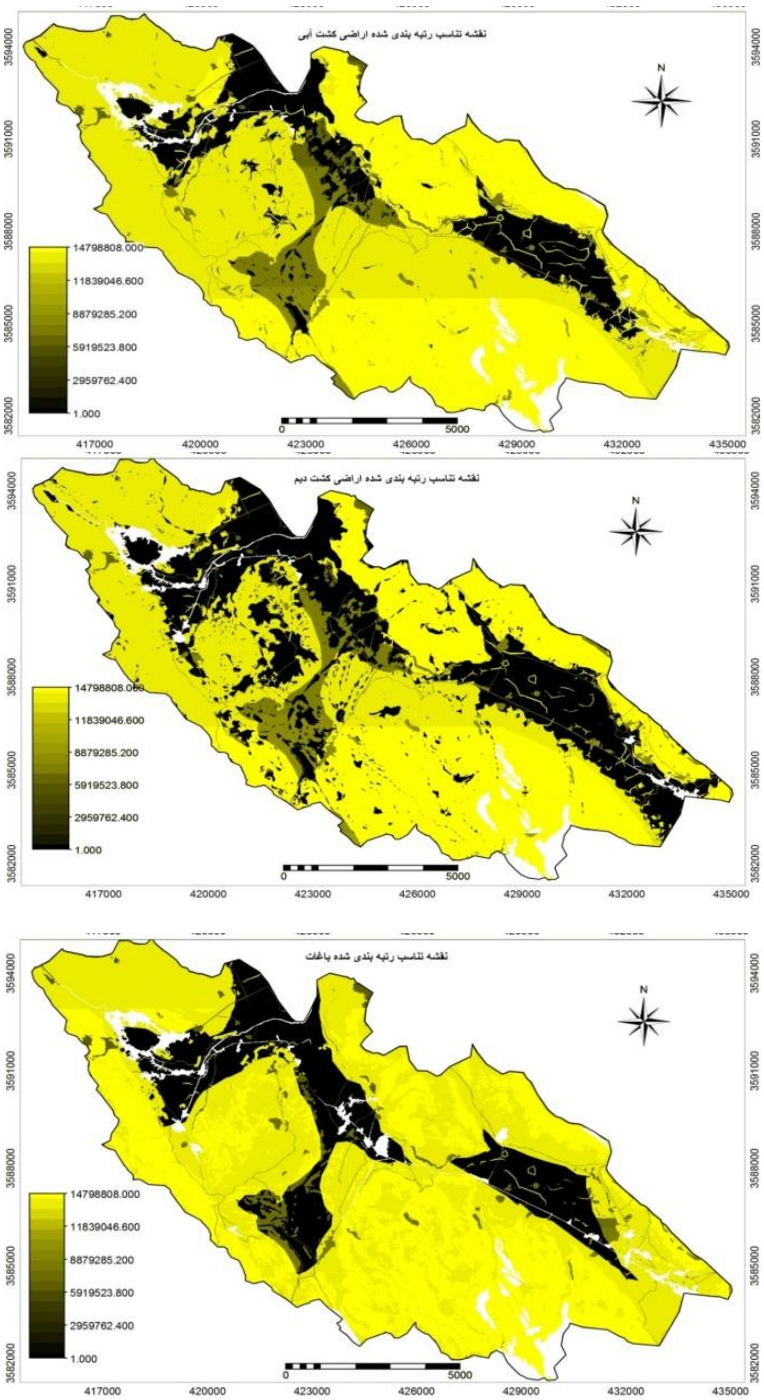



شکل ۴- نقشه‌های تناسب رتبه‌بندی شده کاربری‌های اراضی موجود در حوزه

Figure 4. Ranked suitability maps for current land uses in the basin

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

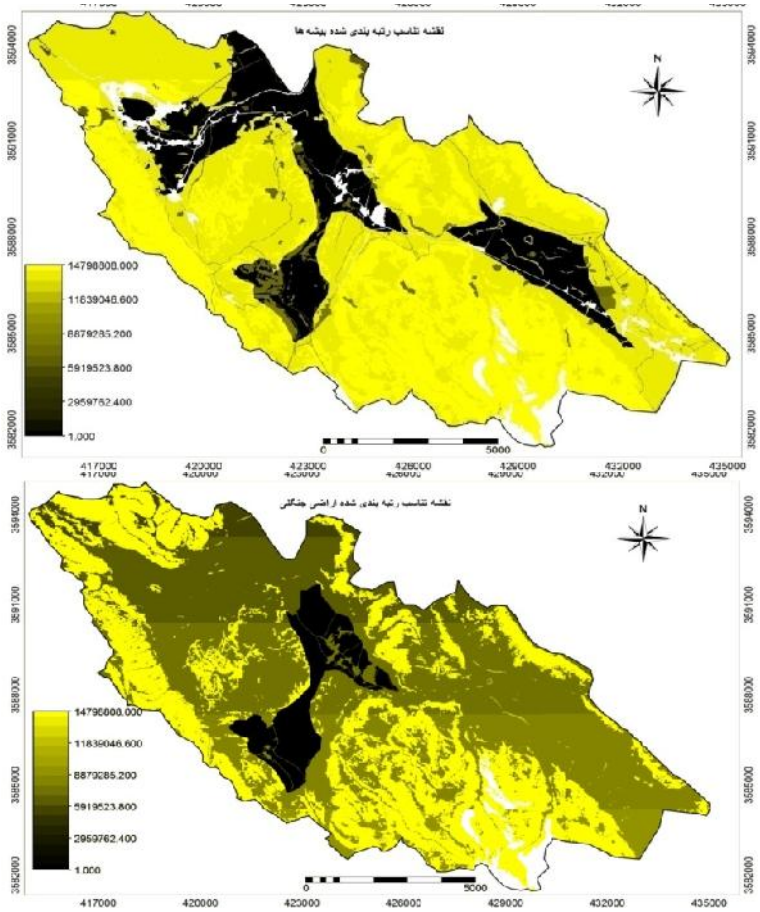



ادامه شکل ۴- نقشه‌های تناسب رتبه‌بندی شده کاربری‌های اراضی موجود در حوزه

Continue Figure 4. Ranked suitability maps for current land uses in the basin

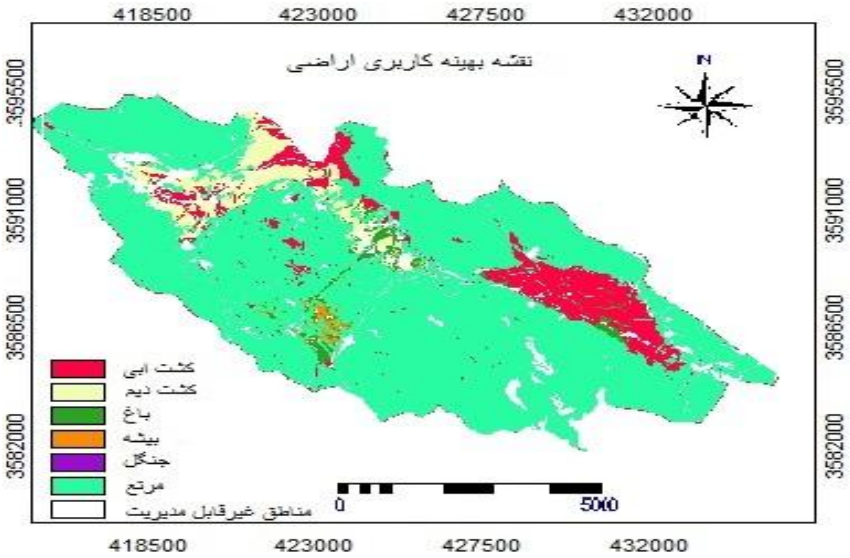
[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]



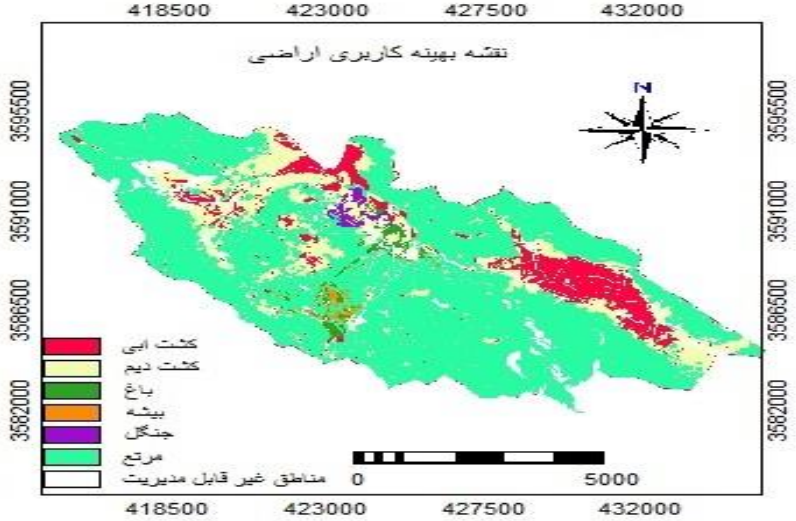

ادامه شکل ۴- نقشه‌های تناسب رتبه‌بندی شده کاربری‌های اراضی موجود در حوزه
Continue Figure 4. Ranked suitability maps for current land uses in the basin Continue

در شکل‌های ۵ و ۶ نقشه بهینه کاربری اراضی حوزه مربوط به مدل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.




شکل ۵- نقشه بهینه کاربری اراضی (مدل ۱)
Figure 5. Optimized land use map for model 1

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]
[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]




شکل ۶- نقشه بهینه کاربری اراضی (مدل ۲)

Figure 6. Optimized land use map for model 2

در این تحقیق نتایج کلی به دست آمده از مدل‌های بهینه توسعه یافته با شرایط فعلی در حوزه آبخیز مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از اراضی در شرایط بهینه می‌تواند موجب افزایش سود و کاهش خسارات زیست محیطی ناشی از فرسایش و رسوب گردد. مدیریت منابع آب و استفاده از روش‌های آبیاری نوین به جای روش‌های سنتی، امکان توسعه کاربری‌های اراضی که نیاز به آبیاری دارند شامل کشت آبی و باغ و بیشه را فراهم می‌کند. افزایش بسیار زیاد سود اقتصادی در مدل‌ها به دلیل توسعه سطح باغات تا حدود ۹ برابر سطح فعلی است که از نظر ضریب بهره وری اقتصادی با دیگر کاربری‌ها قابل مقایسه نمی‌باشند. شرایط شیب زمین و عمق خاک و وجود آب امکان توسعه این کاربری را فراهم کرده است. نقشه معیار نشان می‌دهد که حدود ۹۵ هکتار زمین در حوزه وجود دارد که ضمن حفظ ارزش‌های مرتع، پتانسیل جنگل کاری را دارا می‌باشند. استفاده از مدل بهینه ۱، موجب افزایش سود تا ۹۷٪ و کاهش فرسایش تا ۱۱٪ و استفاده از مدل بهینه ۲ موجب کاهش فرسایش تا ۱۲٪ و افزایش سود تا ۹۵٪ می‌شود. مدل‌های بهینه ارائه شده با توجه به در نظر گرفتن اهداف بهره‌برداران و تصمیم گیران ضمن محاسبه سطوح بهینه کاربری‌های اراضی، محل بهینه قرارگیری آنها را مشخص کرده و مدل‌هایی کارآمد هستند.

## منابع

1. Abubakar, A.M., N.G. Efron and O.A. Joseph. 2012. Remote sensing and GIS based predictive model for desertification early warning in north eastern Nigeria, NED University Journal of Research, V: IX, No: 1, 1-14.
2. Alansi, A.W., M.S.M. Amin, G. Abdul Halim, H.Z.M. Shafri, A.M. Thamer, A.R.M Waleed, et al. 2009. The effect of development and land use change on rainfall-runoff and runoff-sediment relationships under humid tropical condition: case study of Bernam watershed Malaysia, European Journal of Scientific research, 31: 88-105.
3. Arkhi, S., S. Yoosefi and Gh. Rostamizad. 2013. Survey the effect of land use optimization in decreasing erosion and sedimentation of Chamgardlan dam watershed using GIS, Geography and Territorial Spatial Arrangement, 6: 75-84 (In Persian).
4. Benjamin M. 2001. Land Use Conflicts Resolution in a Fragile Ecosystem Using Multi-Criteria Evaluation (MCE) and a GIS-Based Decision Support System (DSS), International Conference on Spatial Information for Sustainable Development, Nairobi, Kenya, 11 pp.
5. Chamheydar, H., D. Nhkkami, A. Pazira and M. Ghafouri. 2011. Soil loss minimization through land use optimization. World Applied science Journal, 12: 76-82.
6. Daliri, F., H.S. Seraji and M. Kholghi. 1388. Watershed system planning and management using optimization model (Case study: Gharmabdasht Watershed), Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 62(2): 247-256 (In Persian).
7. Eastman, J.R., T. James, A. Weigen, A. Peter and K. Kyem. 1995. Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-objective Decisions, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 61(5): 539-547.
8. FAO. 1976. A Framework for Land Evaluation, Soils Bulletin 32, Rome.
9. FAO. 1983. Guidelines: Land Evaluation for Rainfed Agriculture, Soils Bulletin 52, Rome.
10. FAO. 1984. Land Evaluation for Forestry, Forestry Paper 48, Rome.
11. FAO. 1985. Guidelines: Land Evaluation for Irrigated Agriculture, Soils Bulletin 55, Rome.
12. FAO. 1990. Guidelines: Land Evaluation for Extensive Grazing, Soils Bulletin 58, Rome.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

13. FAO. 1992. Guidelines for land use planning. Prepared by the Interdepartmental Working Group on Land Use Planning, Soils Bulletin 66, Rome.
14. Fooks J.R. and K.D. Messer. 2012. Maximizing conservation and in-kind cost share: Applying Goal Programming to forest protection, Journal of Forest Economics, 18: 207-217.
15. Ignizio, J.P. and C. Romero. 2003. Goal Programming, Resource Management Associates, Technical University of Madrid, pp: 489-500.
16. Jain, S.K., V.P. Singh, V. Kumar, R. Kumar, R.D. Singh and K.D. Sharma. 2009. Multiobjective fuzzy and deterministic goal programming for optimal irrigation planning, international conference, water, environment, energy and society (WEES), New Delhi, pp: 12-16.
17. Justesen, P.D. 2009. Multi-Objective Optimization using evolutionary algorithms, Department of Computer Science, University of Denmark,Progress report, 36 pp.
18. Li, X. 2007. A suitable land allocation model with the integration of remote sensing and GIS-a case study in Dongguan, Guangzhou institute of geography, 26 pp.
19. Memarian, H., S.K. Balasundram, K.C. Abbaspour, J.B. Talib, C.T.B. Sung and A.M. Sood. 2015. Integration of analytic hierarchy process and weighted goal programming for land use optimization at the watershed scale, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 38(2): 139-158.
20. MohseniSaravi, M., M. Farzanegan, M. Koupahi and M. Kholghi. 2003. Optimum utilization pattern of watershed resources using goal programming, Iranian Journal of Natural Resources, 1(2): 3-16 (In Persian).
21. Pajoohesh, M., M. Gorji, M. Taheri, F. Sarmadiyan, J. Mohamadi and H. Samadi. 2012. Effect of land use on sediment yield using GIS in Zayandehrood upstream basin, Iran water research Journal, 5(8): 143-152 (In Persian).
22. Pishdad Salmanabad, L., A. Najafinejad and A. Salmanmahini. 2008. Survey the effects of land use change on soil erosion in Cheraghveise watershed. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 5(1): 141-149 (In Persian).
23. Rahmani, N., K. Shahedi, K.Soleimani and M. Miryaghoubzadeh. 2016. Evaluation of the Land use Change Impact on Hydrologic Characteristics (Case Study: Kasilian Watershed), Journal of Watershed Management Research, 7(13): 23-32 (In Persian).
24. Rockstrom, J. and L. Karlberg. 2010. Managing Water in Rain-fed Agriculture- The need for a paradigm shift, Agricultural Water Management, 97(4): 543-550.
25. Rezayi, J. and M.M. Davoodi. 2008. Multi-Objective optimization using evolutionary algorithm, Pelk press, Tehran, 611 pp.
26. Romero, C. 1991. Handbook of Critical issues in Goal Programming, university of Cordoba, Pergamon press, Spain. 123 pp.
27. Sadeghi, S.H.R., K.H. Jalili and D. Nikkami. 2009. Land use optimization in watershed scale. Land Use Policy, 26: 186-193.
28. Sadoddin, A., E. Alvandi and V. Berdi Sheikh. 2015. Developing a Decision Support System for Participatory and Integrated Management of the Chel-Chai Watershed, Golestan Province, Journal of Watershed Management Research, 6(11): 124-136 (In Persian).
29. Shanani Hoveyzeh, S.M. and H. Zarei. 2016. Investigation of land use changes during the past two last decades (Case Study: Abolabas Basin), Journal of Watershed Management Research, 7(14): 237-244.
30. Shaygan, M., A. Alimohammadi, A. Mansourian, Z. Shams Govara and S.M. Kalami. 2014. Spatial multi-objective optimization approach for land use allocation using NSGA-II, Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(3): 906-916.
31. Singh, A.K. and J.P. Singh. 1999. Production and Benefit Maximization through Optimal Crop Planning: a Case Study of Mahi Command, Indian, Journal of Soil Conservation, 27(2): 157-152.
32. Soleimani, L., A. Haghizadeh and H. Zeinivand. 2016. The determination of the best models to estimate the infiltration in various land uses for optimum management of watersheds, Journal of Watershed Management Research, 7(13): 33-41.
33. Steuer, R.E. 1985. Multiple criteria optimization: theory, computation, and application, John Wiley&Sons, New York, chapter 10, pp: 282-303.
34. Tiwari, R.N., S. Dharmar and J.R. Rao. 1986. Priority structure in fuzzy goal programming, Fuzzy Sets and Systems, V: 19, 251-259.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]

# Land use Optimization using Combination of Goal Programming and Multi Objective Land Allocation Methods

**Afshin Honarbakhsh[1], Mahdi Pajoohesh[2], Maryam Zangiabadi [3] and Moslem Heydari[4]**

1- Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Shahrekord University, (Corresponding author: afshin.honarbakhsh@gmail.com)
2, 3 and 4- Assistant Professor, Associate Professor and PhD Student, Department of Range and Watershed Management, Shahrekord University
Received: 19 October 2016 Accepted: 21 Jun 2017

## Abstract

In recent years, deferent methods for determination of optimal pattern of using water and soil resources have been applied. Due to importance of natural resources, watershed management through land use modification and correct application of land is necessary. However, single objective linear programming is not an efficient method in this matter. In this study, multi objective method of goal programming was applied and optimal models of land use were proposed in Chelgerd watershed. Suggestive procedure is based on optimum area determination in various land uses including, dry farming, rangeland, irrigated agriculture, gardens and forest plantation and also their optimum local position. In current research, two models have been proposed. In this models, maximization of benefit and minimization of soil erosion are in first priority respectively. More over limitations of mentioned models are production resources involving water and land as well as economic and social problems. Results obtained show that proposed method is an efficient method in land use optimization and sustainable area development and can increase benefit to 97% and decrease erosion to 12%, respectively. Also, the results indicated that under optimized condition, the area allocated to dry farming lands will decrease about 33% and the area of rangelands, irrigated agricultures, gardens and forest plantation will increase about 0%, 9%, 906% and 82% in model 1 and the area allocated to dry farming lands will decrease about 54% and the area of rangelands, irrigated agricultures, gardens and forest plantation will increase about 1%, 9%, 906% and 82% in model 2 respectively.

**Keywords:** Goal Programming, Land Use, Multi Objective Allocation, Optimization

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-16 ]

[ DOI: 10.29252/jwmr.8.16.241 ]