اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۵، ص ۳۷۷-۳۶۳

بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از ترکیب روش‌های برنامه‌ریزی خطی فازی و تخصیص چندهدفهٔ اراضی (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز چلگرد)

افشین هنربخش[1*]، مهدی پژوهش[2]، مریم زنگی‌آبادی[3]، مسلم حیدری[4]

۱. دانشیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۲. استادیار، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۳. دانشیار، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه شهرکرد

٤. دانشجوی دکتری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۱۸؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۹/۱۰)

چکیده

در چند دههٔ گذشته از مدل‌های متعددی مانند مدل برنامه‌ریزی خطی برای مدیریت حوضه‌های آبخیز و تعیین الگوی کشت بهینه در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی استفاده شده است. روش‌های مدیریت و برنامه‌ریزی برای تخصیص بهینهٔ منابع به‌منظور به‌دست‌آوردن بیشترین منافع از مهم‌ترین ابزارهای کاربردی در زمینه‌های مختلف از جمله منابع طبیعی مانند منابع آب هستند. در این تحقیق با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی، از یک مدل تک‌هدفهٔ برنامه‌ریزی خطی فازی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی و از یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای تخصیص بهینهٔ منابع استفاده شد. براساس نتایج مدل ترکیبی ارائه‌شده می‌تواند مبنایی برای مدیریت صحیح منابع باشد و تا حدود ۱۲ درصد فرسایش خاک را کاهش دهد. همچنین نتایج نشان داد در شرایط بهینه سطح اختصاص‌یافته به اراضی کشت دیم ۵۹ درصد کاهش و سطح اراضی مرتعی، کشت آبی، باغ‌ها و بیشه‌ها به‌ترتیب ۱، ۹، ۹٤ و ۲۲۹ درصد افزایش می‌یابد. شایان یادآوری است که مدل جدید ارائه‌شده، نوعی مدل سازگار با شرایط اجتماعی و اقتصادی حوضهٔ آبخیز است و می‌توان از آن برای استفادهٔ بهتر و نیز حفظ و احیای منابع طبیعی موجود استفاده کرد و آن را به‌عنوان نوعی مدل مبتنی بر شرایط زیست‌محیطی معرفی کرد.

کلیدواژگان: برنامه‌ریزی خطی فازی، بهینه‌سازی، تخصیص چندهدفهٔ اراضی، منابع طبیعی.

* نویسندهٔ مسئول

E-mail:afshin.honarbakhsh@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

اکنون در بیشتر حوضه‌های آبخیز کشور، از یک الگوی بهینهٔ بهره‌برداری از زمین در کاربری‌های فعلی استفاده نمی‌شود و این موضوع یکی از دلایل اصلی هدررفت منابع است. با توجه به اینکه یکی از بخش‌های اصلی در بحث‌های مدیریتی، اصلاح کاربری اراضی و استفادهٔ صحیح از زمین است، تحقیقاتی با روش‌های مختلف و از جمله بهینه‌سازی‌های تک‌هدفه مانند برنامه‌ریزی خطی و چندهدفه مانند برنامه‌ریزی آرمانی و با عنوان «بهینه‌سازی کاربری اراضی» انجام شده است. روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک یادشده در حقیقت بهینه‌سازی ریاضی را انجام می‌دهند و قادر به بهینه‌سازی مکانی نیستند. از این‌رو، استفاده از روش‌های تلفیقی می‌تواند نتایجی را فراهم آورد که از نظر ریاضی و مکانی بهینه باشند. همچنین، تحقیقات بسیار محدودی با استفاده از روش تخصیص چندهدفهٔ اراضی به بررسی موقعیت مکانی بهینهٔ کاربری‌های اراضی پرداخته‌اند. در این بخش ابتدا مبانی علمی روش‌های استفاده‌شده و سپس سوابق تحقیق مرتبط با آنها آورده شده است.

برنامه‌ریزی خطی[1]

تخصیص منابع محدود به فعالیت‌های تعریف‌شده برای افزایش بازدهی و یافتن جواب بهینه را برنامه‌ریزی خطی می‌گویند. در واقع برنامه‌ریزی خطی نوع ساده‌ای از برنامه‌ریزی ریاضی است. در برنامه‌ریزی خطی تابع هدف و محدودیت‌ها همگی به‌صورت خطی نمایش داده می‌شوند. بخش‌های اصلی مدل برنامه‌ریزی خطی شامل:

۱. تابع هدف[2]: که بیانگر حداکثر یا حداقل کردن عملکرد مدل است.

۲. محدودیت‌های تابعی یا قیود[3]: که بیانگر محدودیت‌های منابع برای رسیدن به اهداف مدل هستند و به‌صورت (≥)، (≤) یا (=) نمایش داده می‌شوند.

۳. محدودیت‌های غیرتابعی یا محدودیت‌های مرتبط با متغیرهای تصمیم[4]: متغیرهایی هستند که تصمیم‌گیرنده‌ها بر آنها کنترل دارند و نشان‌دهندهٔ مقدار عملکرد یا سطح یک متغیرند و با (x_j) نمایش داده می‌شوند. این متغیرها می‌توانند به‌صورت مثبت، به‌ندرت منفی یا به شکل آزاد در علامت استفاده‌شده قرار گیرند.

متغیر آزاد در علامت، متغیری است که می‌تواند مقادیر منفی، مثبت و یا صفر را شامل شود. به محدودیت‌های به شکل ($x_j \geq 0$) محدودیت‌های غیرمنفی گفته می‌شود. هر چه تعداد محدودیت‌ها کمتر باشد، حجم محاسبات برای حل مسئله کمتر خواهد بود.

شکل خلاصهٔ یک مدل برنامه‌ریزی خطی به‌صورت زیر است:

$$\text{Max}\,(\text{Min})\ Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

$$s.t. \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_j \,(\geq, =, \leq)\, b_i \quad i = 1, 2, \ldots, m$$

$$x_j \,(\geq 0 \text{ یا } \leq 0 \text{ یا آزاد در علامت}) \quad j = 1, 2, \ldots, n$$

تعریف پارامترها و متغیرها:

Z: نمایشگر ارزش تابع هدف (تابع معیار) است که به‌صورت تابعی خطی نوشته می‌شود و پس از حل مسئله، مقدار آن مشخص می‌شود.

x_j: متغیر تصمیم که نمایشگر مقدار عملکرد یا سطح یک فعالیت (محصول یا خدمات) است و مقدار آن پس از حل مسئله مشخص می‌شود.

c_j: ضریب بهره‌وری یا ارزش هر واحد فعالیت (محصول یا خدمات) در تابع هدف است. این ضریب عددی در مسئله معلوم است.

a_{ij}: ضریب فنی یا تکنولوژیکی یا مقداری از منبع i که برای انجام یک واحد فعالیت j به‌کار رفته و عددی معلوم در مسئله است.

b_i: مقادیر معلوم سمت راست محدودیت‌ها هستند که موجودی منابع یا سقف تقاضا را بیان می‌کنند.

یک برنامه‌ریزی خطی با تبدیلات و تغییرات مناسب می‌تواند به اشکال متفاوت و معادل و قابل حل تبدیل شود. در حالت کلی دو فرم برای برنامه‌ریزی خطی وجود دارد: ۱. فرم متعارفی و ۲. فرم استاندارد

در فرم متعارفی مسئلهٔ بیشینه‌سازی، متغیرها غیرمنفی و همهٔ محدودیت‌ها از نوع (≤) و در مسئلهٔ کمینه‌سازی، متغیرها غیرمنفی و همهٔ محدودیت‌ها باید به‌صورت (≥) باشند.

1. Linear Programming
2. Objective Function
3. Constraint
4. Decision Variable

Archive of SID

www.SID.ir

فرم‌های استاندارد در شیوه‌های حل مسئله به‌کمک روش سیمپلکس و فرم‌های متعارفی در شیوه‌های حل مسئله به‌کمک روش دوگان استفاده می‌شوند. مسائل برنامه‌ریزی خطی را می‌توان با روش‌های زیر حل کرد:

۱. روش ترسیمی یا هندسی؛ ۲. روش سیمپلکس و ۳. روش جبری یا ماتریسی. روش ترسیمی به‌منظور حل مسائل برنامه‌ریزی برای شرایطی که تعداد متغیرها ۲ یا حداکثر ۳ باشد، کاربرد دارد و برای تعداد متغیرهای بیش از آن، روش سیمپلکس مناسب‌تر است.

در مسائل برنامه‌ریزی خطی، پس از رسیدن به جواب بهینه، می‌توان تأثیر تغییرات احتمالی ضرایب و متغیرها را بر مقدار تابع هدف و جواب بهینه بررسی کرد. تحلیل حساسیت شیوه‌ای برای ارزیابی میزان حساسیت جواب بهینه و تابع هدف نسبت به تغییرات معین در مسئله است [۱۵].

برنامه‌ریزی خطی فازی[1]

با توجه به اینکه در مدل LP همهٔ پارامترهای مسئله باید به شکل قطعی در محیط تصمیم‌گیری تعیین شوند و همهٔ اهداف و محدودیت‌ها به‌صورت قطعی باشند بنابراین این روش نمی‌تواند در علوم منابع طبیعی و کشاورزی و به‌دلیل داشتن شرایط ریسک و عدم قطعیت همهٔ خواسته‌های تصمیم‌گیرندگان و بهره‌برداران را برآورده سازد. برای فائق‌آمدن بر این مشکل، مفهوم مجموعه‌های فازی که نخستین‌بار توسط زاده [۴۱] مطرح شد برای بهینه‌سازی مسائل استفاده می‌شود. در رویکرد برنامه‌ریزی خطی فازی، هدف و محدودیت‌ها می‌توانند قطعی یا فازی باشند که این خصوصیت برتری روش یادشده نسبت به روش برنامه‌ریزی خطی کلاسیک است. در این تحقیق از مدل برنامه‌ریزی خطی با ضرایب سمت راست فازی استفاده شده است. شکل عمومی این مدل به‌صورت زیر است:

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

$$s.t. \qquad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_j \ (\geq, =, \leq)\ b_i \quad i = 1, 2, \ldots, m$$

$$x_j \geq 0, \ j = 1, 2, \ldots, n$$

Z: نمایشگر تابع تصمیم فازی (تابع دستیابی فازی) است که باید مقدار عضویت (λ) را حداکثر کند.

$\tilde{b_i}$: مقادیر معلوم سمت راست محدودیت‌ها هستند که موجودی منابع یا سقف تقاضا را به‌صورت غیرقطعی یا فازی بیان می‌کنند. تابع عضویت عدد فازی $\tilde{b_i}$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{b_i(x)}\ Z = \begin{cases} 1 \ if \ x \leq b_i \\ \dfrac{b_i + p_i - x}{p_i} if \ b_i \leq x \leq b_i + p_i \\ 0 if \ x \geq b_i + p_i \end{cases} \qquad (۳)$$

به‌دلیل فازی‌بودن فضای جواب مسئله، تابع هدف نیز فازی است و بنابراین برای تعیین فضای جواب[2] مسئله یا مجموعهٔ فازی مقادیر بهینه، باید حدود بالا[3] (Z_U) و پایین[4] (Z_L) مقادیر بهینه و براساس مدل‌های برنامه‌ریزی خطی کلاسیک زیر محاسبه شوند:

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

$$s.t. \qquad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_j \leq b_i \quad i = 1, 2, \ldots, m$$

$$x_j \geq 0, \ j = 1, 2, \ldots, n$$

و

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j$$

$$s.t. \qquad (۵)$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_j \leq b_i + p_i \quad i = 1, 2, \ldots, m$$

$$x_j \geq 0, \ j = 1, 2, \ldots, n$$

مجموعهٔ فازی مقادیر بهینه به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{\tilde{G}(x)} = \begin{cases} 1 \ \text{if } Z_U \leq \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \\ \dfrac{\left(\sum_{j=1}^{n} c_j x_j\right) - Z_L}{Z_U - Z_L} \ \text{if } Z_L < \sum_{j=1}^{n} c_j x_j < Z_U \\ 0 \ \text{if} \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \leq Z_L \end{cases} \qquad (۶)$$

برای حل مدل فازی یادشده الگوریتم‌هایی ارائه شده است که در این تحقیق با استفاده از الگوریتم پیشنهادشده توسط بلمن و زاده [۷]، به شکل زیر، مدل فازی یادشده

1. Fuzzy Linear Programming

2. Decision Space
3. Upper Limit
4. Lower Limit

Archive of SID

www.SID.ir

به یک مدل برنامه‌ریزی خطی کلاسیک تبدیل و سپس با روش‌های موجود حل می‌شود:

$$\begin{aligned} &Max\ \lambda \\ &\lambda\left(Z_U - Z_L\right) - \left(\sum_{j=1}^{n} c_j x_j\right) \le -Z_L \\ &\lambda p_i + \left(\sum_{i=1}^{m} a_{ij} x_j\right) \le b_i + p_i \\ &\lambda,\ x_j \ge 0 \end{aligned} \qquad (۷)$$

برای توضیح روش تخصیص چندهدفهٔ اراضی ابتدا شکل کلی یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه که به‌صورت زیر است بحث می‌شود:

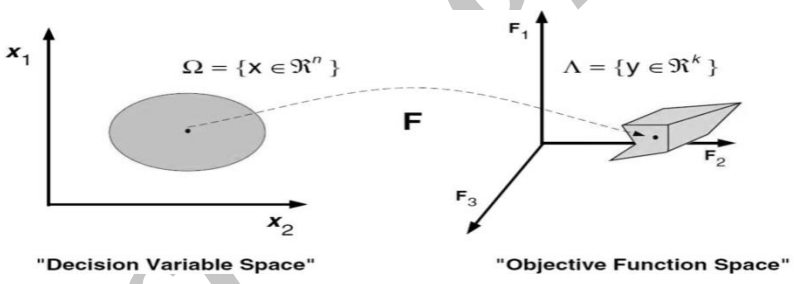
$$\begin{aligned} &Minimize\ /\ Maximize\ f_m(x),\ m = 1, 2, \ldots, M \\ &Subject\ to\ g_i(x) \ge 0,\ i = 1, 2, \ldots, I \\ &g_k(x) = 0,\ k = 1, 2, \ldots, K \\ &x_j^L \le x_j \le x_j^U,\ j = 1, 2, \ldots, N \end{aligned} \qquad (۸)$$

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 مرزها فضای متغیر تصمیم یا فضای تصمیم (D) را تشکیل می‌دهند. M تعداد توابع هدف است و توابع هدف ($fm(x)$) نگاشتی از فضای تصمیم D به فضای معیار Z تعریف می‌کنند. I؛ تعداد محدودیت‌های از نوع نامعادله و K؛ تعداد محدودیت‌های از نوع معادله را نشان می‌دهند [۲۱]. در حالت بیشینه‌سازی، جواب x^1 بر جواب x^2 غالب است یا به‌بیان دیگر x^1 نسبت به x^2 برتری دارد اگر و تنها اگر دو شرط زیر صادق باشند:

$$\forall i \in \{1, \ldots, M\},\ y(x^1) \ge y(x^2)$$
$$\exists i \in \{1, \ldots, M\},\ y^i(x^1) > y^i(x^2)$$

یا ۱: جواب x در همهٔ اهداف از جواب y بدتر نیست، ۲: جواب x حداقل در یکی از اهداف بهتر از جواب y است.

اگر x دیگری در فضای تحقیق وجود نداشته باشد که بر x^1 غالب باشد، بنابراین x^1 یک نقطهٔ غیرمغلوب یا نقطهٔ بهینهٔ پرتو است. تابع ارزیابی مسئلهٔ بهینه‌سازی چندهدفه $f : \Omega \to \Lambda$ متغیرهای تصمیم ($x = x_1, \ldots, x_n$) را به شکل بردارهای ($Y = x_1, \ldots, x_n$) و به‌صورت زیر می‌نگارد:



شکل ۱. نگاشت ارزیابی مسئلهٔ چندهدفه [۲۱]

روش تخصیص چندهدفهٔ اراضی[1]

در این روش ابتدا اهداف طی یک مسئلهٔ ارزیابی چندمعیاره مشخص می‌شوند. این روش در مواجهه با اهداف متضاد همانند یک مسئلهٔ تک‌هدفه، از روش رتبه‌بندی[2] یا طبقه‌بندی مجدد[3] استفاده می‌کند. در این شرایط در برخی نواحی تضاد وجود دارد. MOLA، برای تخصیص سلول‌های متضاد از یک خط تصمیم[4] استفاده می‌کند که این خط، کل فضای تصمیم را به دو بخش تقسیم می‌کند. برای هر هدف، یک نقطهٔ ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود که مناسب‌ترین برای آن هدف و دارای کمترین تناسب برای هدف دیگر است. سپس خط تصمیم، تخصیص بهینهٔ هر سلول را براساس منطق کوتاه‌ترین فاصله تا نقطهٔ ایده‌آل[5] انجام می‌دهد [۳۴].

نوع و شدت فرسایش خاک در هر منطقه بیشتر تابع شرایط اقلیمی، توپوگرافی و پوشش زمین (کاربری اراضی) است که در این میان کاربری اراضی مؤثرتر از دیگر فاکتورهاست. کاربری اراضی هم به نوع استفاده از اراضی و هم به مدیریت آن گفته می‌شود [۳۷]. دمیر و همکارانش در مطالعه‌ای پیرامون ارزیابی پایدار کاربری اراضی درهٔ ایرمندر در شمال شرقی کشور ترکیه، به این نتیجه رسیدند که مسئلهٔ توسعهٔ مناطق روستایی و شهری در حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ

1. MOLA: Multi Objective Land Allocation
2. Rank
3. Reclass
4. Decision Line
5. Minimum-Distance-To- Ideal-Point

Archive of SID

www.SID.ir

مطالعه‌شده بر اثر رشد جمعیت و توسعهٔ صنعتی، نیاز به تعیین کاربری‌های اراضی بهینه را ضروری ساخته است. آنها دریافتند طیف وسیعی از فعالیت‌های سازندگی با طرح‌های اصولی و پایدار زیست‌محیطی در تعارض هستند و نیاز است که طرح‌هایی برای احیا و بازسازی منطقه با الزام‌ها و محدودیت‌های قانونی و سیاست‌های جایگزینی اجرا شود [۱۳]. نتایج تحقیق آلانسی و همکارانش در نواحی مرطوب استوایی، نشان داد

که تغییر کاربری مهم‌ترین عامل در تولید رواناب است [۳]. با توجه به اینکه تغییر میزان رواناب و فرسایش خاک از جمله تأثیرات زیست‌محیطی تغییر کاربری اراضی هستند، این پارامترها در بهینه‌سازی کاربری اراضی اهمیت بیشتری دارند [۳۵]. سالیانی در زمینهٔ طراحی الگوی کشت در طرح‌های توسعهٔ منابع آب با روش برنامه‌ریزی خطی تلاش کرد تا از ظرفیت‌های موجود و در دسترس منابع و نهاده‌ها به‌منظور افزایش تولیدات کشاورزی و درآمد ملی با هدف بیشینه‌کردن درآمد خالص، برای تعیین الگوی مناسب کشت بهره‌گیری کند [۳۴].

صادقی و همکارانش از برنامه‌ریزی خطی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی به‌منظور کمینه‌سازی فرسایش خاک و بیشینه‌سازی سود در حوضهٔ آبخیز بریموند کرمانشاه استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد بهینه‌سازی موجب کاهش فرسایش تا ۷/۷۸ و افزایش سود به میزان ۱۱۸/۶۲ درصد می‌شود [۳۲].

آرخی و همکارانش با بررسی تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی در کاهش فرسایش و رسوب حوضهٔ آبخیز سد چم گردلان به این نتیجه رسیدند که چنانچه کاربری‌های مناسب و سازگار با شرایط طبیعی و محیطی و با هدف استفادهٔ بهینه از طبیعت انتخاب شوند، فرسایش و درنهایت رسوب تولیدشده در این حوضه به‌میزان زیادی کاهش می‌یابد [۵]. پیشداد و همکارانش در بررسی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوضهٔ آبخیز چراغ ویس با استفاده از مدل EPM، به این نتیجه رسیدند که با بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش خاک حدود ۷۱۳۳ هزار تن در سال کاهش می‌یابد [۲۹].

برنامه‌ریزی خطی توسط یئو و همکارانش به‌منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی برای کاهش حداکثر رواناب استفاده شد. نتیجهٔ پژوهش این بود که در صورت بهینه‌کردن کاربری اراضی، مقدار رواناب ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد [۳۸].

روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی[1] (FGP) برای مسائل برنامه‌ریزی کشاورزی و منابع طبیعی تحت شرایط محدودیت‌های قطعی منابع تولیدی و اهداف فازی توسط پال و همکارانش [۲۸] و در شرایطی که محدودیت‌ها و اهداف هر دو به‌صورت فازی باشند به‌وسیلهٔ بیسواس و پال [۹] به کار گرفته شده است. آنها نتیجه گرفتند که این مدل نسبت به مدل برنامه‌ریزی چندهدفه، به تصمیم‌گیرنده اجازهٔ تعیین درجهٔ اهمیت و اولویت هریک از اهداف را می‌دهد و سازگاری بیشتری با محیط‌های کشاورزی دارد. ایتو و همکارانش [۱۹] با استفاده از ضرایب و پارامترهای فازی و تصادفی سعی در تعیین الگوی کشت بهینه داشتند، نتایج تحقیق ایشان نشان داد این مدل بسیاری از ضعف‌های مدل‌های برنامه‌ریزی خطی کلاسیک را رفع می‌کند.

هان و همکارانش [۱۶] در مطالعه‌ای به توسعهٔ نوعی مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه با پارامترهای بازه‌ای پرداختند. مدل توسعه‌یافته برای تخصیص منابع آب با کیفیت‌های متفاوت به مصرف‌کنندگان شهری، کشاورزی و صنعتی شهر دالیان چین اجرا شد. هدف این مدل حداکثرکردن منافع اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست است. نتایج نشان داد نسبت آب استفاده‌شدهٔ مجدد به کل مقدار آب به‌تدریج در حال افزایش است، همچنین نسبت مصرف آب کشاورزی به کل مصرف آب در حال کاهش است.

لیو و همکارانش [۲۴] یک سیستم استنباط فازی را برای ارزیابی اراضی کشاورزی در چین معرفی کردند. این مقاله الگوریتم ژنتیک را با یک سیستم استنباط فازی مبتنی بر ارزیابی چندمعیاره، تجمیع کرده است تا یک سیستم خودوفق که بسازد معیارهای ارزیابی‌اش را به‌وسیلهٔ خود فراگیری از نمونه‌های اراضی واسنجی می‌کند. نتایج نشان داد مدل ارائه‌شده بسیار کاراست.

اسدپور و همکارانش [۶] در مقاله‌ای نظریه و کاربرد مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی را در بهینه‌سازی الگوی کشت با درنظرگرفتن هدف‌های مختلف بررسی کردند. ایشان بیان کردند که برخلاف مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی قطعی[2] (GP)، این روش به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد که

1. Fuzzy Goal Programming
2. Goal Programming

Archive of SID

www.SID.ir

درجهٔ دسترسی و اهمیت هر آرمان را در مدل مشخص کند. همچنین نتایج نشان داد با ایجاد انعطاف در آرمان‌ها در سمت راست مدل فازی، منابع به شکل بهتری تخصیص می‌یابد و سطح زیر کشت توسعه پیدا می‌کند. اکبری و زاهدی کیوان [۲] در تحقیقی که روی مزرعه‌ای به وسعت ۱۲۰ هکتار در استان همدان انجام دادند، سعی کردند به کمک تکنیک برنامه‌ریزی چندهدفهٔ فازی، مناسب‌ترین الگوی بهینهٔ کشت محصولات زراعی را با درنظرگرفتن شرایط ریسک و عدم قطعیت و با توجه به اهداف مد نظر کشاورزان و تصمیم‌گیرندگان تعیین کنند.

راعی جدیدی و صبوحی صابونی [۳۱] مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی را برای تخصیص بهینهٔ زمین‌های کشاورزی منطقهٔ کشک‌سرای شهرستان مرند استان آذربایجان شرقی استفاده کردند. امینی [۴] در مقاله‌ای با عنوان «برنامه‌ریزی و تخصیص بهینهٔ منابع تولید کشاورزی در شرایط عدم قطعیت» رهیافت برنامه‌ریزی آرمانی فازی را در شرق اصفهان به‌کار گرفت. تحلیل کمی نتایج بیانگر برتری رهیافت FGP بر دیگر مدل‌ها به لحاظ دستیابی هم‌زمان به اهداف و همچنین کاهش هزینه‌ها و مصرف منابع آب نسبت به الگوی کشت فعلی داشت.

ساهنون و همکارانش از تکنیک‌هایی مانند الکتره در تحلیل تناسب کاربری استفاده کرده‌اند [۳۳]. لهمان و همکارانش در مقاله‌ای اثر تغییر اقلیم و مخاطرات قیمت روی کاربری اراضی کشاورزی و تصمیمات مدیریت محصول را در نواحی غربی سوئیس بررسی کردند. برای این‌منظور مدل اقتصادی- زیستی را توسعه دادند که یک مدل تصمیم‌گیری اقتصادی برمبنای الگوریتم ژنتیک را شامل می‌شد. نتایج نشان دادند اثر تغییر قیمت‌ها بر تصمیمات مدیریتی بهینه بیشتر از اثر تغییر اقلیم است [۲۲]. پرتا و همکارانش الگوریتم ژنتیک کارایی را برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی ارائه دادند. در این مطالعه محدودیت‌هایی که باید تحمیل شوند و متغیرهایی که باید بهینه شوند براساس قوانین ملی و محلی فعلی و معیارهای کارشناسان انتخاب شدند. دو معیار بهینه‌سازی تناسب اراضی و باقاعدگی شکل قطعات زمین منتج شده، به‌کارگرفته شدند. نتایج، کارایی الگوریتم ژنتیک را برای برنامه‌ریزی مسائل کاربری اراضی نشان دادند [۳۰].

هیک و آسامی بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی شهری را برای برنامه‌ریزان و توسعه‌دهندگان املاک و ساختمان در بنگلادش انجام دادند. آنها از مدل‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و یک تابع چندهدفه برای برنامه‌ریزان استفاده کردند که هم‌زمان بیشینه‌سازی قیمت زمین و کاهش ناسازگاری بین کاربری‌های اراضی مجاور را در یک منطقه انجام می‌دهد. نتایج مدل به ساده‌سازی تصمیم‌گیری دربارهٔ تخصیص اراضی منجر شد [۱۹].

بنجامین در منطقهٔ بارینگوی کنیا برای تصمیم‌گیری دربارهٔ تخصیص کاربری اراضی در مناطقی که بین کلاس‌های مختلف کاربری اراضی تضاد وجود دارد، از ارزیابی چندمعیاره و نوعی سیستم پشتیبان تصمیم مکان‌مبنا استفاده کرد که از روش تخصیص چندهدفه بهره می‌برد [۸]. در تحقیقی در منطقهٔ دانگان چین از ترکیب سنجش از دور و GIS برای بررسی کاربری اراضی و ارائهٔ مدل پایدار تخصیص زمین استفاده شد. نتایج نشان داد با مقایسهٔ هدررفت خاک که به‌طور واقعی اتفاق افتاده با هدررفت خاک که در حالت بهینه و به‌وسیلهٔ مدل پیش‌بینی می‌شود، برخی مشکلات در زمینهٔ کاربری اراضی مشخص می‌شوند و همچنین نتایج نشان دادند فقط حدود یک سوم هدررفت خاک در مکان‌های بهینه اتفاق می‌افتد [۲۳]. ابابکر و همکارانش در پژوهشی تلاش کردند نواحی‌ای را در مناطق شمال شرقی نیجریه پیش‌بینی کنند که شرایط بیابانی‌شدن در آنها تا سال ۲۰۳۰ محتمل است. در این تحقیق از زنجیرهٔ مارکف برای پیش‌بینی و از تکنیک‌های بهینه‌سازی سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ترسیم نقشه‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد رودخانه‌های موجود در منطقه به‌عنوان موانع طبیعی عمل می‌کنند و مانع گسترش بیابان می‌شوند [۱]. جروئن و همکارانش از رگرسیون لجستیک و تخصیص چندهدفهٔ اراضی برای پیش‌بینی توزیع مکانی کربن آلی خاک در سراسر فرانسه استفاده کردند [۲۰].

وفائی‌نژاد و همکارانش به کمک سیستم اطلاعات مکانی و برنامه‌ریزی خطی مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری را در اراضی پایین‌دست سد آغ‌چای انجام دادند. نتایج بیانگر آن بود که استفاده از روش بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی و تلفیق آن با GIS سبب بهبود ۳۰ درصدی استفاده از سطح قابل کشت و نوع محصولات در مقایسه با حالتی شده است که محصولات به‌صورت سنتی انتخاب و کشت می‌شوند [۳۹]. ایرانمهر و همکارانش پایش اکولوژیکی و بررسی تغییرات مکانی- زمانی پوشش اراضی را با تأکید بر مقدار مصرف آب

Archive of SID

www.SID.ir

بخش کشاورزی در محدودهٔ زاینده‌رود و با استفاده از تصاویر سنجندهٔ OLI سال ۱۳۹۲ و ETM^+ سال ۱۳۸۲ انجام دادند. نتایج نشان داد بیش از ۴۰ درصد رودخانهٔ زاینده‌رود و تالاب گاوخونی خشک شده و ساختار و پایداری فیزیکی-اجتماعی و اکولوژیکی آن دچار آسیب جدی شده است [۱۸]. محمدی ورزنه و وفائی‌نژاد به کمک سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر GIS و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) تخصیص آب در شبکه‌های آبیاری اراضی کشاورزی قورتان را انجام دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد مقدار کمبود و همچنین هدررفت آب در حالت تخصیص بهینه در مقایسه با تخصیص سنتی تا حد چشمگیری کاهش داشته است [۲۶]. وفاخواه و همکارانش با استفاده از مدل L-THIA تأثیر تغییر کاربری اراضی را بر مقدار رواناب در حوضهٔ آبخیز چالوس رود بررسی کردند. نتایج نشان داد مدل یادشده قابلیت مناسبی در بیان چگونگی اثر تغییر کاربری اراضی بر مقادیر حجم و عمق رواناب دارد. همچنین این مدل با ارائهٔ نقشهٔ توزیع مکانی رواناب، امکان شناسایی مناطق حادثه‌خیز، پهنه‌بندی سیل و مدیریت آن را فراهم می‌کند [۴۰]. داودی راد و همکارانش پایش تغییرات دوره‌ای و مکانی استفاده از سرزمین در حوضهٔ آبخیز شازند را انجام دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد الگو و روند تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه گسترش فعالیت‌های صنعتی در منطقه نشان می‌دهد که مدیریت‌ها، برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه‌ای در این زمینه اهمیت بسزایی داشته و وضعیت فعلی منطقه را رقم زده است. بنابراین، هر برنامهٔ مدیریت سرزمین در منطقه باید با درنظرگرفتن الگوهای مکانی و زمانی تغییرات کاربری اراضی و برنامه‌های توسعه‌ای منطقه و در قالب مدیریت سازگار طراحی شود [۱۲]. محمدی و همکارانش از الگوریتم ژنتیک NSGA-II برای تولید طرحی با هدف توسعهٔ پایدار استفاده کردند. ایشان نتیجه گرفتند که توابع هدف غیرخطی نسبت به توابع خطی کاربرد بهتری دارند [۲۵].

هدف از این مطالعه توسعهٔ مدل بهینهٔ بهره‌برداری از اراضی با رویکرد زیست‌محیطی با استفاده از ترکیب روش‌های بهینه‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی خطی فازی با روش بهینه‌سازی مکانی تخصیص چندهدفهٔ اراضی است که این مدل تلفیقی برای نخستین‌بار ارائه می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده یکی از زیرحوضه‌های بالادست سد زاینده‌رود و براساس مطالعات انجام‌شده دارای مساحتی حدود ۱۳۵۰۰ هکتار و در حد فاصل طول جغرافیایی "۴۲ '۵ °۵۰ تا "۳۴ '۱۸ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی "۲۲'۲ °۳۲ تا "۲۳ '۲۹ °۳۲ شمالی است. از نظر شرایط اقلیمی این منطقه دارای میانگین بارش سالیانه حدود ۱۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه حدود ۹ درجهٔ سانتی‌گراد است. مقدار متوسط فرسایش در این حوضه حدود ۱۷ تن در هکتار در سال، نسبت حمل رسوب حدود ۲۴ درصد و مقدار رسوب حدود ۴ تن در هکتار در سال است [۲۷].

برای انجام کار ابتدا مرز حوضهٔ آبخیز ترسیم شد و سپس نقشهٔ کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهوارهٔ گوگل ارث تهیه و به‌روز شد. این نقشه در کار صحرایی کنترل و با شرایط واقعی تطبیق داده شد. برای تهیهٔ نقشهٔ شیب دقیق، ابتدا نقشهٔ خطوط تراز و سپس نقشهٔ قله‌ها تهیه شد. در مرحلهٔ بعد نقشهٔ خطوط تراز و قله‌ها با هم تلفیق شدند. سپس نقشهٔ رقومی ارتفاع برمبنای نقشهٔ تلفیقی مرحلهٔ قبل تولید شد. درنهایت، نقشهٔ شیب با استفاده از این نقشه و براساس کلاس‌بندی فائو استخراج شد. همچنین سایر نقشه‌های پایه تهیه شدند.

برای بررسی معیار قابلیت دسترسی به منابع آب، ابتدا اطلاعات آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه از شرکت منابع آب اخذ شد. برای برآورد مقدار آب قابل دسترسی در حوضهٔ مد نظر، نیاز آبی گیاهان[1] (CWR) زراعی و گونه‌های درختی غالب (درختان مثمر و غیرمثمر) در منطقه باید محاسبه شود. بنابراین، از طریق مصاحبه با بهره‌برداران مختلف حوضه در کار صحرایی، محدودیت‌های آبی موجود و چگونگی آبیاری و مقدار تقریبی نیاز آبی گیاهان بررسی شد. سپس با استفاده از اطلاعات هواشناسی و روش فائو پنمن مانتیس، تبخیر و تعرق گیاه مرجع[2] (ETo) و نیاز آبی گیاهان دقیق‌تر محاسبه شد. درنهایت، با مقایسهٔ آب قابل برنامه‌ریزی (مقدار آب موجود در حوضه براساس مجوزهای برداشت یا استفاده از آب شرکت منابع آب) با مقدار نیاز آبی محاسبه‌شده در حوضه، مشخص شد که از نظر آب کمبودی

1. Crop Water Requirement
2. Reference Crop Evapotranspiration

Archive of SID

www.SID.ir

در حوضه وجود ندارد. با توجه به اهمیت مسائل اجتماعی در مدیریت و برنامه‌ریزی، عملیات میدانی و مصاحبه با بهره‌برداران مختلف حوضه صورت گرفت و اطلاعات به‌دست‌آمده از آن در مراحل مختلف انجام کار مثل بحث تطبیق کاربری‌ها، مشکلات اجتماعی مانند اشتغال، محدودیت‌های منابع آب و... استفاده شده است. در نهایت، نقشهٔ استاندارد یا معیار استفاده از اراضی براساس معیارهای فائو (شیب، عمق خاک و قابلیت دسترسی به منابع آب) در سطح قابل برنامه‌ریزی تولید شد. اطلاعات این نقشه و نظرهای بهره‌برداران و مدیران حوضهٔ آبخیز مبنای اصلی تعیین نوع توابع هدف و مقادیر سمت راست محدودیت‌ها در مدل است.

مراحل کار در روش برنامه‌ریزی خطی فازی شامل موارد زیر بود:

۱. تعیین متغیرهای تصمیم؛

۲. تعیین هدف: برای بهینه‌سازی، حداقل‌سازی فرسایش خاک به‌عنوان هدف در نظر گرفته شد.

۳. محدودیت‌ها: شامل محدودیت‌های مختص‌به منابع تولید و منابع آب هستند که هر دو مورد مسائل اجتماعی را هم دربرمی‌گیرند. دربارهٔ منابع تولید شامل کاربری‌های مختلف، با توجه به شرایط حوضه و نظر بهره‌برداران مقادیر سمت راست محدودیت‌ها مشخص شد که معادل بیشترین و یا کمترین سطوح اختصاص‌یافته به هریک از کاربری‌هاست. با توجه به اینکه اراضی باغی، کشت آبی و بیشه‌ها نیاز به آب دارند، با محاسبهٔ آب مورد نیاز گیاه و مقایسهٔ آن با مجموع آب قابل دسترسی در حوضه 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 نتیجهٔ این بررسی‌ها، مقادیر سمت راست محدودیت‌های مرتبط با آنها تعیین شد. همچنین متغیرهای تصمیم نمی‌توانند منفی باشند که با عنوان محدودیت نامنفی‌ها وارد مدل شدند.

۱،۳. محاسبهٔ سود در هر کاربری: برای انجام محاسبات، مهم‌ترین محصولات باغی و زراعی منطقه مشخص و با درنظرگرفتن مراحل کاشت، داشت و برداشت و با کسر هزینه‌ها از سود ناخالص، سود خالص محاسبه شد. در اراضی مرتعی از اطلاعات موجود در زمینهٔ مقدار متوسط وزنی تولید علوفهٔ خشک، مواد غذایی قابل هضم و واحد دامی برای محاسبهٔ سود استفاده شد و در زمینهٔ خسارت ناشی از فرسایش خاک، با استفاده از مقدار فرسایش خاک، عمق ریشه و وزن مخصوص خاک، سطح اراضی ازدست‌رفته، و با استفاده از سود خالص هر کاربری مقدار خسارت ناشی از آن طبق فرمول‌های زیر محاسبه و نتایج برای لحاظ‌کردن نظر بهره‌برداران در تعیین مقادیر سمت راست محدودیت‌ها استفاده شد.

$$A_l = \frac{E}{W_s . D_r} \quad (۹)$$

$$\text{مقدار خسارت ناشی از فرسایش خاک} = A_l \times (\text{سود خالص هر کاربری}) \quad (۱۰)$$

A_l: سطح اراضی ازدست‌رفته برحسب مترمربع در هکتار؛ E: فرسایش تن در هکتار؛ W_s : وزن مخصوص خاک برحسب تن در مترمکعب و D_r: عمق ریشه برحسب متر [۱۰].

۴. محاسبهٔ ضرایب تابع هدف: ضریب فرسایش در هر کاربری با استفاده از مدل جهانی فرسایش خاک و از اطلاعات موجود در منابع جمع‌آوری شد [۲۷].

۵. فرمول‌بندی و حل مدل: درنهایت، مدل فرمول‌بندی و برای حل، از روش سیمپلکس و نرم‌افزارهای LINGO وWIN-QSB استفاده شد. نتیجهٔ به‌دست‌آمده از حل مدل، به‌دست‌آمدن مقادیر بهینهٔ متغیرهای تصمیم یا مساحت تخصیص داده‌شده به کاربری‌های اراضی مختلف بعد از بهینه‌سازی و مقدار فرسایش است. با داشتن مساحت‌های بهینه و با مقایسهٔ آنها با مقادیر فعلی ابتدا تغییر مساحت کاربری‌ها و مقدار کاهش یا افزایش آنها مشخص می‌شود، دوم اینکه مقدار تغییرات فرسایش قابل محاسبه است.

مراحل کار در روش تخصیص چندهدفهٔ اراضی که توسط استمن [۱۴] ارائه شده به‌صورت زیر است:

۱. تهیهٔ نقشه‌های معیار[1] برای هر هدف (در این روش منظور از هدف نوع کاربری اراضی است) شامل نقشه‌های مختص‌به فاکتورها که به شکل فازی تهیه می‌شوند و نقشه‌های بولین با مقادیر ۰ و ۱ به‌عنوان نامناسب و مناسب.

۲. ارزیابی چندمعیاره[2] (MCE) با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی[3] (WLC) برای هر هدف با استفاده از نقشه‌های معیار تولیدشده در مرحلهٔ اول و تهیهٔ نقشهٔ تناسب برای هر هدف.

1. Criterion Map
2. Multi-Criteria Evaluation
3. Weighted Linear Combination

Archive of SID

www.SID.ir

۲. ۱. رتبه‌بندی نقشه‌های به‌دست‌آمده از ارزیابی چندمعیاره و استخراج نقشه‌های تناسب رتبه‌بندی‌شده.

۲. ۲. ارائهٔ مساحت بهینهٔ به‌دست‌آمده از بهینه‌سازی ریاضی و نقشه‌های رتبه‌بندی‌شده به روش یادشده تا تخصیص اولیه و سپس با تفکیک تضادها و تخصیص آنها، تخصیص نهایی صورت گیرد.

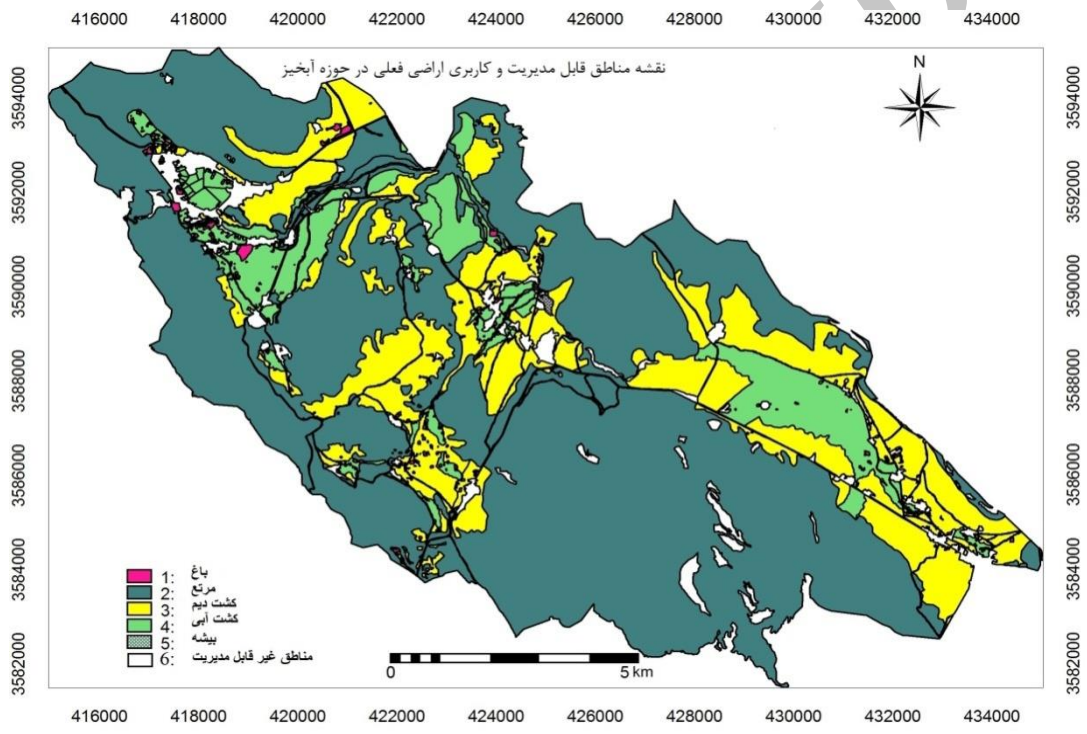
۲. ۳. تهیهٔ نقشهٔ بهینهٔ نهایی.

نتایج و بحث

در شکل ۲ مناطق قابل مدیریت و کاربری اراضی در شرایط فعلی حوضه نمایش داده شده است. در جدول‌های ۱ و ۲ مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گونه‌های گیاهی غالب آورده شده است. نتیجهٔ محاسبات انجام‌شده نشان می‌دهد برای توسعهٔ باغ‌ها و زمین‌های زراعی آبی محدودیتی از نظر آب وجود ندارد.

در شکل ۳ نقشهٔ معیار استفاده از اراضی براساس استانداردهای FAO آورده شده است.

جدول ۳ اطلاعات مختص‌به مدل را براساس نقشهٔ کاربری اراضی فعلی، نقشهٔ معیار و شرایط اجتماعی و زیست‌محیطی نشان می‌دهد.



شکل ۲. نقشهٔ مناطق قابل مدیریت و کاربری اراضی فعلی حوضهٔ آبخیز چلگرد

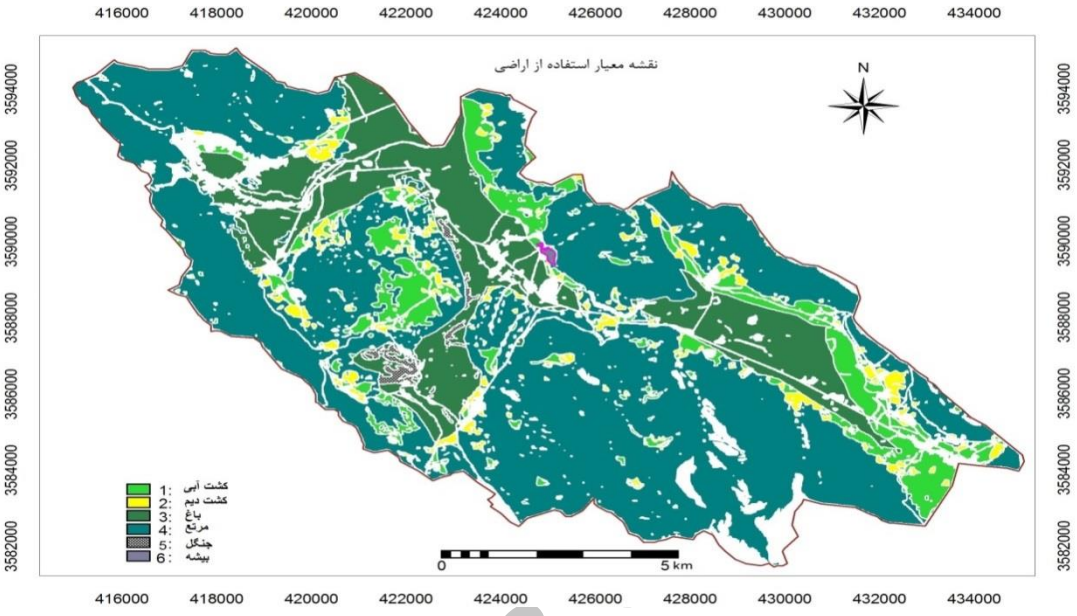
جدول ۱. تبخیر و تعرق ماهانهٔ گیاه مرجع با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک کوهرنگ

ماه	تبخیر و تعرق ماهانهٔ گیاه مرجع (mm/day)	ماه	تبخیر و تعرق ماهانهٔ گیاه مرجع (mm/day)	ماه	تبخیر و تعرق ماهانهٔ گیاه مرجع (mm/day)
سپتامبر	۳/۲۸	مه	۳/۲۲	ژانویه	۰/۷۹
اکتبر	۲/۲۳	ژوئن	۴/۱۶	فوریه	۰/۹۹
نوامبر	۱/۳۴	ژوئیه	۴/۳۵	مارس	۱/۵۷
دسامبر	۰/۸۹	اوت	۴/۰۱	آوریل	۲/۳۶

www.SID.ir

جدول ۲. نیاز آبی گونه‌های گیاهی و درختی غالب منطقه برحسب مترمکعب در هر هکتار در طول دورهٔ رویش

نام گیاه	گندم	جو	یونجه	شبدر	سیب‌زمینی	خیار	لوبیا	نخود	بادام	گردو	سیب	انگور
نیاز آبی	۳۳۴۰	۳۲۳۰	۳۹۰	۳۹۰	۳۸۱۰	۲۷۶۰	۲۹۱۰	۲۶۳۰	۳۷۵۰	۵۶۳۰	۳۰۲۰	۱۵۹۰



شکل ۳. نقشهٔ معیار استفاده از اراضی

جدول ۳. اطلاعات مختص‌به مدل بهینه‌سازی کاربری اراضی

متغیر تصمیم	کاربری اراضی	ضریب تابع هدف (c_j) یا ضریب بهره‌وری فرسایش خاک (تن در هکتار در سال)	کمترین سطح تخصیص	بیشترین سطح تخصیص (b_i)	بیشترین سطح تخصیص در شرایط خاص (b_i+p_i)	p_i
X_1	مرتع	۱۴/۱۱	۸۷۶۲/۴ (شرایط فعلی)	۸۹۳۲/۰۵ (شرایط معیار)	۹۰۲۷/۲۶ (اضافه‌شدن مناطق مرتعی با پتانسیل جنگل)	۹۵/۲۱۸
X_2	کشت آبی	۱۲/۷۳	۱۲۷۱/۱۸(شرایط فعلی)	۱۳۸۹/۰۰۹ (شرایط معیار)	۱۵۰۳/۴۴ (اضافه‌شدن مناطق مشترک مناسب برای باغ و کشت آبی)	۱۱۴/۴۳
X_3	کشت دیم	۱۵/۰۵	۵۹۰/۸۶ (شرایط معیار)	۱۶۲۰ (شرایط معیار و مسائل اجتماعی)	۲۸۱۰/۱۳ (شرایط فعلی)	۱۱۹۰/۱۳
X_4	باغ	۱۳/۱۲	۹۹/۳۳ (شرایط فعلی)	۹۰۰ (شرایط معیار و مسائل اجتماعی)	۱۸۲۴/۰۶ (شرایط معیار)	۹۲۴/۰۶
X_5	بیشه	۵/۱	۸/۷۵ (شرایط فعلی)	۱۶ (شرایط معیار و مسائل اجتماعی)	۱۲۰/۵۹ (شرایط معیار)	۱۰۴/۵۹
X_6	مرتع با پتانسیل جنگل	۱۴/۰۲	۰ (شرایط فعلی)	۹۵/۲۱۸ (شرایط معیار)	۹۵/۲۱۸ (شرایط معیار)	۰

Archive

www.SID.ir

مدل برنامه‌ریزی خطی فازی به‌دست‌آمده به شکل زیر است:

$$Max=\lambda;$$
$$\lambda\,(183460-181316.4)-(14.11x_1 + 12.73x_2 + 15.05x_3 + 13.12x_4 + 5.1x_5 + 14.02x_6)<=181316.4;$$
$$95.218\,\lambda + x_1 <= 8932.05;$$
$$114.431\,\lambda + x_2 <= 1503.44;$$
$$1190.1355\,\lambda + x_3 <= 2810.1355;$$
$$924.06\lambda + x_4 <= 1824.06;$$
$$104.59\,\lambda + x_5 <= 120.59;$$
$$0\lambda + x_6 <= 95.218;$$
$$x_1 >= 8762.404;$$
$$x_2 >= 1271.1823;$$
$$x_3 >= 590.868;$$
$$x_4 >= 99.332;$$
$$x_5 >= 8.7519;$$
$$x_6 >= 0;$$
$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 = 12951.8019;$$
$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, \lambda \geq 0$$

که در آن x_1، x_2، x_3، x_4، x_5 و x_6 متغیرهای تصمیم یا سطوح اختصاص‌یافته به هریک از کاربری‌های اراضی مرتع، کشت آبی، کشت دیم، باغ، بیشه و جنگل بر حسب هکتار هستند. مقادیر Z_L و Z_U به‌ترتیب برابر ۱۸۱۳۱۶/۴ و ۱۸۳۴۶۰ به‌دست آمد. λ درجهٔ عضویت تابع فازی را نشان می‌دهد که پس از حل مدل برابر ۰/۹۵ به‌دست آمد. محدودیت‌های اعمال‌شده در فرایند حل مدل به ترتیب عبارت‌اند از: کمترین سطح مراتع، بیشترین سطح مراتع، کمترین سطح کشت آبی، بیشترین سطح کشت آبی، کمترین سطح کشت دیم، بیشترین سطح کشت دیم، کمترین سطح باغ‌ها، بیشترین سطح باغ‌ها، کمترین سطح بیشه‌ها، بیشترین سطح بیشه‌ها، بیشترین سطح جنگل‌ها، مجموع سطح کل کاربری‌ها و محدودیت نامنفی‌بودن سطح کاربری‌ها. در شرایط بهینه مقدار تابع هدف برابر ۱۸۱۲۷۷/۱۹ تن فرسایش در سال به‌دست آمد. در شرایط فعلی این مقدار برابر ۲۰۳۹۸۲/۸۴ تن فرسایش در سال است که مشابه نتایج تحقیقات قبلی، بهینه‌سازی کاربری اراضی موجب کاهش فرسایش شده است. همچنین مقدار سود در شرایط فعلی و بهینه به‌ترتیب برابر ۷۵۴۳۶۶۶۲۲۶۰ و ۱۵۱۵۶۴۱۴۷۱۸۰ریال است که افزایش حدود ۲ برابری را نشان می‌دهد. جدول ۳ نتایج حل مدل با استفاده از روش سیمپلکس و مقادیر تخصیص‌یافته به هریک از کاربری‌ها یا جواب مدل در شرایط بهینه و در شرایط فعلی را نشان می‌دهد. در این جدول، سهم یا مشارکت کلی[1] هریک از کاربری‌ها در مقدار تابع هدف، آورده 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، مراتع مشارکت بیشتری در تابع هدف و فرسایش خاک دارند.

در جدول ۴، هزینهٔ تقلیل‌یافته[2] و در جدول ۵، قیمت‌های سایه‌ای[3] و متغیرهای کاستی[4] و فزونی[5] آورده شده است. هزینه‌های تقلیل‌یافتهٔ مقدار تغییرات تابع هدف به‌ازای یک واحد تولید از یکی از متغیرهای غیرپایهٔ بهینه است که بر این اساس همهٔ متغیرها هزینهٔ تقلیل‌یافته برابر صفر دارند و متغیرهای پایه هستند در نتیجه در مدل حفظ شده‌اند. هزینهٔ تقلیل‌یافتهٔ یک متغیر به‌عنوان مقدار خسارتی تفسیر می‌شود که باید به‌ازای ورود یک واحد از آن متغیر در جواب پرداخت. قیمت‌های سایه‌ای مقدار تغییرات تابع هدف را به‌ازای افزایش ۱ واحد مقادیر سمت راست محدودیت‌ها نشان می‌دهند. براساس جدول ۵، همهٔ کاربری‌های اراضی مقدار قیمت‌های سایهٔ مشابه و برابر صفر دارند و تغییر یک واحدی مقدار سمت راست محدودیت مختص‌به آنها موجب بیشترین کاهش برابری در مدل می‌شود.

1. Total Contribution
2. Reduced Cost
3. Shadow Price
4. Slack Variable
5. Surplus Variable

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴. حل مدل و مقادیر جواب و مشارکت کلی متغیرهای تصمیم در مقدار تابع هدف

هزینهٔ تقلیل‌یافته	افزایش/کاهش نسبت به شرایط فعلی (٪)	سطح کاربری قبل از بهینه‌سازی (هکتار)	سهم یا مشارکت کلی	جواب یا سطح کاربری بعد از بهینه‌سازی (هکتار)	متغیر تصمیم
۰	۱٪ کاهش	۸۷۶۲/۴	۱۲۴۷۴۰/۱۱	۸۸۴۰/۵۴	X_1
۰	۹٪ افزایش	۱۲۷۱/۱۸	۱۷۷۳۸/۹۱	۱۳۹۳/۴۷	X_2
۰	۵۹٪ کاهش	۲۸۱۰/۱۳	۲۵۰۷۹/۸	۱۶۶۶/۴۳	X_3
۰	۹۴۰٪ افزایش	۹۹/۳۳	۱۲۲۸۰/۹۹	۹۳۶/۰۵	X_4
۰	۲۲۹٪ افزایش	۸/۷۵	۱۰۲/۴۱	۲۰/۰۸	X_5
۰	پتانسیل جنگل	۰	۱۳۳۴/۹۵	۹۵/۲۱	X_6

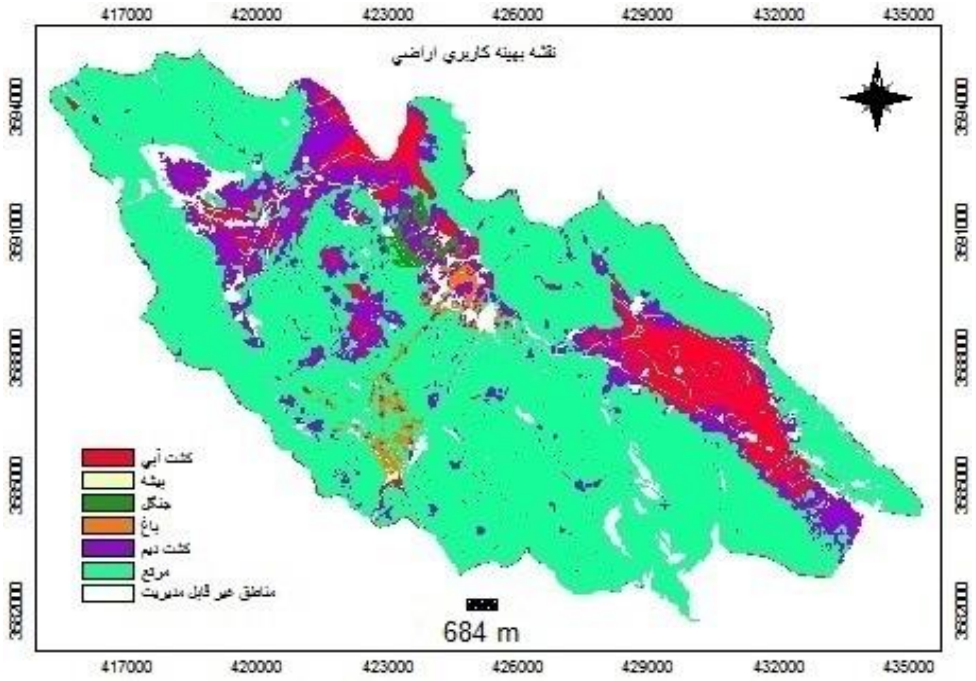
جدول ۵. قیمت‌های سایه‌ای و متغیرهای کاستی و فزونی

قیمت‌های سایه‌ای	متغیرهای کاستی و فزونی	محدودیت	قیمت‌های سایه‌ای	متغیرهای کاستی و فزونی	محدودیت
۰	۸۳۶/۷۱	C 4	۰	۷۸/۱۴	C1
۰	۱۱/۳۲	C 5	۰	۱۲۲/۲۹	C 2
۰	۹۵/۲۱	C 6	۰	۱۰۷۵/۵۶	C 3

نتایج تحلیل حساسیت روی ضرایب تابع هدف نشان می‌دهد c_1 یا ضریب بهره‌وری فرسایش مختص‌به مراتع مهم‌ترین ضریب در مدل است و تغییرات آن سبب تغییرات بیشتری در جواب مسئله می‌شود. به‌طوری که وقتی مقدار c_1، ۵ درصد کاهش یابد، مقدار فرسایش حدود ۴ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین، انجام عملیات مدیریت و کنترل تخریب و فرسایش در مرتع توصیه می‌شود. شکل ۴، نتیجهٔ انجام بهینه‌سازی مکانی و محل قرارگیری کاربری‌های اراضی در شرایط بهینه را نشان می‌دهد که با استفاده از نرم‌افزار ادریسی به‌دست آمده است. در شرایط بهینه و مطابق شکل ۴، مراتع بیشترین سطح را دربرمی‌گیرند، اراضی کشت دیم بیشتر در حواشی اراضی کشت آبی قرار می‌گیرند و جنگل و بیشه به‌ترتیب با حدود ۹۵ و ۲۰ هکتار مساحت، کمترین سطح را شامل می‌شوند. با مقایسهٔ موقعیت مکانی کاربری‌های اراضی در حالت بهینه (شکل ۴) و در حالت معیار (شکل ۳) نسبت به شرایط فعلی (شکل ۲) جابه‌جایی‌های مکانی رخداده مشخص می‌شوند. مدیریت منابع آب و استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار به جای روش‌های سنتی، امکان توسعه را فراهم می‌کند. نتایج برآورد آب مورد نیاز گیاهان نشان می‌دهد در حال حاضر حدود ۲۰ میلیون مترمکعب آب در دسترس است که در شرایط استفاده از روش‌های آبیاری نوین حدود ۳/۵ میلیون مترمکعب آب نیاز است. بنابراین، مقدار مازاد می‌تواند سبب رفع کمبود و توسعه شود. مدل بهینه بر کاهش اراضی دیم و افزایش اراضی کشت آبی، باغ و بیشه‌ها تأکید دارد. نقشهٔ معیار نشان می‌دهد حدود ۹۵ هکتار زمین در حوضه وجود دارد که ضمن حفظ ارزش‌های مرتع، به‌دلیل داشتن شیب و عمق خاک مناسب، پتانسیل جنگل‌کاری و افزودن همهٔ ارزش‌های زیست‌محیطی و تفرجگاهی را دارند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴. نقشهٔ بهینه کاربری اراضی

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد استفاده از اراضی براساس شرایط استاندارد تعریف‌شده توسط سازمان خواربار جهانی و شرایط بهینهٔ به‌دست‌آمده می‌تواند موجب کاهش فرسایش به‌ترتیب تا حدود ۱۳و ۱۲ درصد شود. مدل FLP تا کنون برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در مقیاس حوضهٔ آبخیز استفاده نشده و فقط برای طراحی الگوی کشت بهینه در مزارع استفاده شده است. ترکیب FLP-MOLA ترکیب جدیدی است و توسعهٔ این مدل در مقایسه با برخی رویکردها مانند الگوریتم ژنتیک از نظر زمانی وقت کمتری نیاز دارد. همچنین مدل بهینهٔ ارائه‌شده با توجه به اینکه یک مدل ترکیبی است، قابلیت بیشتری نسبت به مدل‌های منفرد بهینه‌سازی دارد و با درنظرگرفتن اهداف بهره‌برداران (آبخیزنشینان) ضمن محاسبهٔ سطوح بهینهٔ کاربری‌های اراضی و تخصیص کمی بهینه، محل بهینهٔ قرارگیری کاربری‌ها را با تخصیص مکانی مشخص کرده و یک مدل کارآمد و الگوی مناسب برای استفاده از زمین است.

منابع

[1].Abubakar AM, EfronNG, Joseph OA. Remote sensing and gis based predictive model for desertification early warning in north eastern Nigeria, NED University Journal of Research, 2012;4(1): 1-14.

[2].Akbari N, Zahedi Keyvan M. Application of fuzzy logic in determination of suitable crop cultivation pattern in a farm (Approach: fuzzy goal programming), Journal of Agricultural Economics, 2007;1(2): 13-35. *[persian]*.

[3].Alansi AW, AminMSM, Abdul Halim G,ShafriHZM, Thamer AM, Waleed ARM, et al. 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, 2009;31: 88-105.

[4].Amini A. Planning and Optimal Allocation of Agricultural Production Resources under Uncertainty; Application of Multi-Objective Fuzzy Goal Programming approach, Geography and Environmental Planning Journal, 24th Year, 2013; 51(3): 107-128. *[persian]*.

[5].Arkhi S, YoosefiS, RostamizadGh. Survey the effect of land use optimization in decreasing erosion and sedimentation of Chamgardlan dam watershed using GIS, Geography and Territorial Spatial Arrangement, 2013; 6, 75-84. *[persian]*.

[6].Asadpoor H,Khalilian S,PeykaniGh. Theory and application of linear fuzzy goal programming model in crop cultivation pattern optimization, Journal of Agricultural Economics and Development, 2005; 309: 307-338. *[persian]*.

Archive of SID

www.SID.ir

[7].Bellman RE,Zadeh LA. Decision-Making in a fuzzy environment. Management Science, 1970; 17(4).

[8].Benjamin M. 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, 2001; 11pp. Nairobi, Kenya.

[9].Biswas A, Pal BB. Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system. Omega journal, 2005; 33: 391-398.

[10] Chamheydar H, Nikkami D, Pazira A, Ghafouri M. Soil loss minimization through land use optimization. World Applied science Journal, 2011; 12: 76-82.

[11].Daliri F, SerajiHS, Kholghi M. Watershed system planning and management using optimization model (Case study: Gharmabdasht Watershed), Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 2009; 62(2): 247-256. *[persian]*.

[12].DavoodiRad A, SadeghiSH, Sadodin A. Monitoring of Land Use Spatial-Temporal Changes in Shazand Watershed, Iranian Journal of Ecohydrology, 2015; 2(4): 405 – 415.*[persian]*.

[13].DemirYM, Atasoy M,BayrakT, Biyik C. Evaluating sustainable land use for the De Irmendere valley: a case study from northeastern Turkey, Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2008;14: 626-633.

[14].Eastman JR, James T, Weigen A, Peter A,Kyem K. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1995; 61(5): 539-547.

[15].Hamdi AT. Operations research: an introduction, Eighth Edition, University of Arkansas, Fayetteville, 2002; 840 pp.

[16].Han Y, HuangYF, Wang GQ, Maqsood I.A multi-objective linear programming model with interval parameters for water resources allocation in Dalian city, Water Resour Manage. 2011; 25: 449–463.

[17].HaqueA,Asami Y. Optimizing urban land use allocation for planners and real estate Developers, Computers, Environment and Urban Systems, 2014; 46: 57–69.

[18].Iranmehr M, PourmanafiS, SoffianianA. Ecological Monitoring and Assessment of Spatial-Temporal Changes in Land Cover with an Emphasis on Agricultural Water Consumption in Zayandeh Rood Region, Iranian Journal of Ecohydrology, 2015; 2(1): 23 – 38.*[persian]*.

[19].Itoh T, Ishii H,Nanseki T. A model of crop planning under uncertainty in agricultural management. International Journal of Production Economics, 2003; 81-82: 555-558.

[20].Jereon M, Anton VR, Tim Q, Manuel M, Christian P, Dominique A. Predicting future spatial distribution of SOC across entire France, Geophysical Research Abstracts, 2013; 15, 1P.

[21].Justesen PD. Multi–Objective optimization using evolutionary algorithms, Department of Computer Science, University of Denmark,Progress report, 2009; 36 pp.

[22].Lehmann N, Briner S, Finger R. The impact of climate and price risks on agricultural land use and cropmanagement decisions, Land Use Policy, 2013; 35: 119– 130.

[23].Li X. A sustainable land allocation model with the integration of remote sensing and GIS a case study in Dongguan, Guangzhou institute of geography, 2007; 26 pp.

[24].LiuY, Jiao L, Liu Y, He J.A self-adapting fuzzy inference system for the evaluation of agricultural land, Environmental Modelling & Software Journal, 2013; 40: 226-234.

[25].Mohammadi M,Nastaran M,Sahebgharani A. Sustainable Spatial Land Use Optimization through Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II (NSGA-II): (Case Study: Baboldasht District of Isfahan),Indian Journal of Science and Technology, 2015; 8(3): 118–129.

[26].MohamadiVarzanehN, VafaeinejadA. Water Allocation in Irrigation Networks by Using Decision Support System based on the Geospatial Information System (GIS) and Particle Swarm Optimization (PSO), Iranian Journal of Ecohydrology, 2015; 2(1): 39 – 49.*[persian]*.

[27].Pajoohesh M,Gorji M, Taheri m,Sarmadiyan F,Mohamadi j,Samadi H. Effect of land use on sediment yield using GIS in Zayandehrood upstream basin, Iran water research Journal, 2011; 5(8): 143-152. *[persian]*.

[28].Pal BB, MoitraBN, Maulik U.A goal programming procedure for fuzzy multi-objective linear fractional programming problem. Fuzzy Sets and Systems,2003; 139: 395-405.

[29].PishdadSalmanabad L, NajafinejadA,Salmanmahini A. Survey the effects of land use change on soil erosion in Cheraghveise watershed. Journal of Agricultural

Archive of SID

www.SID.ir

Sciences and Natural Resources, 2008; 5(1): 141-149. *[persian]*.

[30].Porta J, Parapar J,Doallo R, RiveraFF, SanteI,Crecente R. High performance genetic algorithm for land use planning, Computers, Environment and Urban Systems, 2013; 37: 45–58.

[31].RaeiJadidi M, Sabuhisabuni M. Farm planning by fuzzy multi objective programming model, Journal of sustainable agriculture and production science, 2009;2/20(1): 11-22.

[32].SadeghiSHR, JaliliKh,Nikkami D. Land use optimization in watershed scale. Land Use Policy,2009; 26, 186-193.

[33].Sahnoun H, Serbaji MM, KarrayB, Medhioub K. GIS and multicriteria analysis to select potential sites of agro-industrial complex, Environmental Earth Sciences, 2012; 66(8): 2477-2489.

[34].Salyani T. Design the crop pattern in water resources projects. Agricultural Economics and Development, 1996; 4(15): 91-93. *[persian]*.

[35].Shaygan M, Alimohammadi A.Mansourian A.Multi-objective combined optimization of land useallocation using goal attainment method and MOLA, Iranian Journal of Remote Sencing& GIS, 2013; 5(1): 1-12,*[persian]*.

[36].Shaygan M, Alimohammadi A.Mansourian A. Shams GovaraZ.Kalami SM. Spatial multi-objective optimization approach for land use allocation using NSGA-II, Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014; 7(3): 906-916.

[37].Terrence JT, George RF, Kenneth GR. Soil erosion, Jhon Wiley and sons, INK, USA, 2001; 338 pp.

[38].Yeo I, GordenSI, Guldmann JM. Optimizing patterns of land use to reduce peak runoff flow and nonpoint source pollution with an integrated hydrological and land-use model. Earth Interact, 2004; 8: 1-19.

[39].VafaeinejadA, YousefzadehJ, YousefiH, MohamadiVarzanehN. Using GIS and linear programming to manage water distribution in irrigation networks and cropping pattern allocation (Case study: Downstream lands of Aq-chay Dam), Iranian Journal of Ecohydrology, 2014; 1(2): 123 – 132.*[persian]*.

[40].VafakhahM, Javadi MR,NajafiMajdJ. Effect of land use changes on runoff depth in Chalousrud watershed, Iranian Journal of Ecohydrology, 2015; 2(2): 211 – 220.*[persian]*.

[41].Zadeh LA. Fuzzy sets, Journal of Information and Control, 1965; 8: 338-353.

Archive of SID

www.SID.ir