فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷

۲۹-۴۶

توسعه مدل بهینه برای استفاده صحیح از منابع زیست‌محیطی در حوزه آبخیز چلگرد

مسلم حیدری[۱]*، افشین هنربخش[۱]، مهدی پژوهش[۱] و مریم زنگی‌آبادی[۲]

[۱] گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۲] گروه ریاضی کاربردی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۴

حیدری، م.، ا. هنربخش، م. پژوهش و م. زنگی آبادی. ۱۳۹۷. توسعه مدل بهینه برای استفاده صحیح از منابع زیست محیطی در حوزه آبخیز چلگرد. فصلنامه علوم محیطی. ۱۶ (۱): ۲۹- ۴۶.

سابقه و هدف: در چند دهه گذشته، مدل‌های متعددی از جمله مدل برنامه‌ریزی خطی برای مدیریت و برنامه‌ریزی در حوزه های آبخیز و تعیین الگوی کشت بهینه در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی استفاده شده است. روش‌های مدیریت و برنامه ریزی برای تخصیص بهینه منابع برای به دست آوردن بیشترین منافع، از مهمترین ابزارهای کاربردی در زمینه‌های مختلف علوم محیطی از جمله منابع طبیعی، منابع آب و... هستند. هدف از این پژوهش توسعه مدل بهینه استفاده از اراضی با رویکرد زیست‌محیطی با استفاده از ترکیب روش‌های بهینه‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی خطی برای تعیین مساحت بهینه کاربری‌های اراضی با روش بهینه‌سازی مکانی تخصیص چندهدفه اراضی برای تعیین محل بهینه کاربری‌های اراضی است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تلاش شده که با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مدل زیست‌محیطی که سازگار با شرایط اجتماعی و اقتصادی حاکم بر حوزه آبخیز است برایاستفاده بهتر، حفظ و احیای منابع طبیعی موجود ارائه شود. به همین منظور از یک مدل تک‌هدفه برنامه‌ریزی خطی با رویکرد زیست‌محیطی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی و از یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای تخصیص بهینه منابع استفاده شد.

نتایج و بحث: پس از جمع‌آوری و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و ورود آنها به مدل بهینه‌سازی تک‌هدفه برنامه‌ریزی خطی، ابتدا یک مدل ریاضی که مساحت بهینه کاربری‌های اراضی در حوضه را تعیین می‌کند توسعه داده شد و سپس با استفاده از مدل بهینه‌سازی مکانی چندهدفه تخصیص چندهدفه اراضی موقعیت بهینه کاربری‌های اراضی تعیین شد. مدل ترکیبی ارائه‌شده یک مدل کارآمد است زیرا قادر به تعیین همزمان مساحت و موقعیت مکانی کاربری‌های اراضی است.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که مدل ترکیبی ارائه‌شده می‌تواند مبنایی برای مدیریت صحیح منابع باشد و تا حدود ۱۲ درصد فرسایش خاک را کاهش و حدود ۹۶ درصد سود را افزایش دهد.

*Corresponding Author. *E-mail Address*: heydari_moslem@yahoo.com

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، برنامه‌ریزی خطی، تخصیص چندهدفه، منابع زیست‌محیطی.

مقدمه

درحال حاضردر اکثرحوزه‌های آبخیز کشور از یک الگوی بهینه بهره‌برداری از زمین درکاربری‌های فعلی استفاده نمی‌شود و این موضوع یکی از دلایل اصلی هدر رفت منابع است. با توجه به اینکه یکی از اصلی‌ترین بخش‌ها در بحث‌های مدیریتی، اصلاح کاربری اراضی و استفاده 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 مذکور در حقیقت بهینه‌سازی ریاضی را انجام می‌دهند و قادر به انجام بهینه‌سازی مکانی نیستند. از این رو استفاده از روش‌های تلفیقی می‌تواند منجر به حصول نتایجی شود که هم از نظر ریاضی و هم از نظر مکانی بهینه باشند (Shaygan *et al.*, 2014). همچنین، تحقیقات بسیار محدودی با استفاده از روش تخصیص چندهدفه اراضی به بررسی موقعیت مکانی بهینه کاربری‌های اراضی پرداخته‌اند. در ادامه، ابتدا مبانی علمی روش‌های مورد استفاده شامل روش بهینه‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی خطی و روش بهینه‌سازی مکانی تخصیص چندهدفه اراضی ارائه شده و سپس سوابق تحقیق مرتبط با آنها آورده شده است.

برنامه‌ریزی خطی

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[1]: بیانگر حداکثر یا حداقل کردن عملکرد مدل است.

۲- محدودیت‌های تابعی یا قیود[2]: بیانگر محدودیت‌های منابع برای رسیدن به اهداف مدل هستند و بهصورت (≥)، (≤) یا (=) نمایش داده می‌شوند.

۳- محدودیت‌های غیرتابعی یا محدودیت‌های متغیرهای تصمیم[3]: متغیرهای تصمیم متغیرهایی هستند که تصمیم‌گیرنده‌ها بر آنها کنترل دارند و نشان‌دهنده مقدار عملکرد یا سطح یک فعالیت (محصول یا خدمات) بوده و با (x_j) نمایش داده می‌شوند. این متغیرها می‌توانند به‌صورت مثبت، به‌ندرت منفی و یا به شکل آزاد در علامت مورد استفاده 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. هرچه تعداد محدودیت‌ها کمتر باشد حجم محاسبات برای حل مساله کمتر خواهد بود.

شکل کلی یک مدل برنامه‌ریزی خطی به‌صورت زیر است:

$$\text{Max (Min) } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n \qquad (۱)$$

s.t.

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n \ (\leq, =, \geq)\ b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n \ (\leq, =, \geq)\ b_2$$

. . .

. . .

. . .

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n \ (\leq, =, \geq)\ b_m$$

و یا به شکل خلاصه به‌صورت زیر است:

$$\text{Max (Min)} \quad Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (۲)$$

s. t.

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

x_j (≥ 0 یا ≤ 0 , 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 مساله، 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 مساله مشخص می‌شود.

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

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

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

یک برنامه‌ریزی خطی با تبدیلات و تغییرات مناسب می‌تواند به اشکال متفاوت و معادل و قابل‌حل تبدیل شود. در حالت کلی دو فرم برای برنامه‌ریزی خطی وجود دارد:

۱- فرم متعارفی و ۲- فرم استاندارد

در فرم متعارفی مساله بیشینه‌سازی، متغیرها غیرمنفی و همه محدودیت‌ها از نوع (≤)و در مساله کمینه‌سازی، متغیرها غیرمنفی و همه محدودیت‌ها باید به صورت (≥) باشند.

فرم متعارفی مساله بیشینه‌سازی به شکل زیر است:

$$\text{Max } Z = cx \quad (۳)$$

$$Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

فرم متعارفی مساله کمینه‌سازی به‌صورت زیر است:

$$\text{Min } Z = cx \quad (۴)$$

$$Ax \geq b$$

$$x \geq 0$$

همچنین در فرم استاندارد، همه محدودیت‌ها به‌صورت مساوی و متغیرها نیز غیرمنفی هستند.

فرم استاندارد مساله بیشینه‌سازی به شکل زیر است:

$$\text{Max } Z = cx \quad (۵)$$

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

فرم استاندارد مساله کمینه‌سازی بهصورت زیر است:

$$\text{Min } Z = cx \quad (۶)$$

$$Ax = b$$

$$x \geq 0$$

فرم‌های استاندارد در شیوه‌های حل مساله به کمک روش سیمپلکس[۴] و فرم‌های متعارفی در شیوه‌های حل مساله به کمک روش دوگان[۵] مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین می‌توان به کمک تبدیلاتی، مسائل برنامه‌ریزی خطی را به مدل‌های استاندارد یا متعارفی تبدیل کرد. از جمله این تبدیلات می‌توان به تبدیل Max به Min و برعکس که با ضرب ضرایب تابع هدف در عدد (۱-) به دست می‌آید، تبدیل متغیرهای آزاد اشاره کرد (از آنجا که در روش حل مسائل برنامه‌ریزی خطی از طریق سیمپلکس متغیرها همیشه غیرمنفی هستند، ضروری است تا متغیرهای فاقد علامت را به متغیرهای غیرمنفی تبدیل کنیم). مسائل برنامه‌ریزی خطی را می‌توان با روش‌های حل کرد:

۱- روش ترسیمی یا هندسی؛ ۲- روش سیمپلکس؛ و ۳- روش جبری یا ماتریسی. روش ترسیمی برای 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 مساله است (Hamdi, 2002).

برای توضیح روش تخصیص چندهدفه اراضی ابتدا شکل کلی یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه که به‌صورت زیر استمورد بحث قرار می‌گیرد:

$$\text{Minimize/Maximize} \quad f_m(x), \quad m = 1, 2, \ldots, M(۷)$$

$$\text{Subject to} \quad g_i(x) \geq 0, \quad i = 1, 2, \ldots, I$$

$$h_k(x) = 0, \quad k = 1, 2, \ldots, K$$

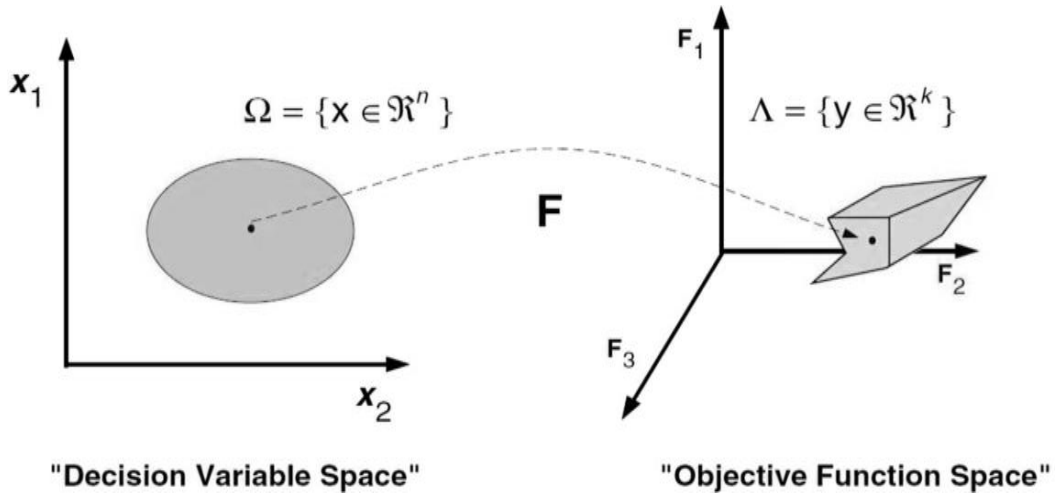
$$x_j^L \leq x_j \leq x_j^U, j = 1, 2, \ldots, N$$

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 ($f_m(x)$) نگاشتی از فضای تصمیم Dبه فضای معیار Z تعریف می‌کنند. I؛ تعداد محدودیت‌های از نوع نامعادله و K تعداد محدودیت‌های از نوع معادله را نشان می‌دهند (Justesen, 2009). در حالت بیشینه‌سازی، جواب x^1 بر جواب x^2 غالب است یا به عبارت دیگر x^1 نسبت به x^2 برتری دارد اگر و تنها اگر دو شرط زیر صادق باشند:

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

$$\wedge \exists i \in \{1, \ldots, M\} | \, yi(x^1) > yi(x^2)$$

اگر x دیگری در فضای تحقیق وجود نداشته باشد که بر x^1 غالب باشد، بنابراین x^1 یک نقطه غیرمغلوب یا نقطه بهینه پرتو است.تابع ارزیابی مساله بهینه‌سازی چند هدفه $f : \Omega \rightarrow \Lambda$ متغیرهای تصمیم $(x = x_1, \ldots, x_n)$ را به شکل بردارهای $(Y = y_1, \ldots, y_n)$ و به‌صورت زیر می‌نگارد:



شکل ۱- نگاشت ارزیابی مساله چندهدفه، اقتباس از(Shayganet al.,2014).

Fig. 1- Evaluation mapping of multi objective problem

روش تخصیص چندهدفه اراضی[۶] (MOLA)

در این روش که برای تخصیص مکانی بهینه منابع زمین استفاده می‌شود، ابتدا اهداف طی یک مساله ارزیابی چندمعیاره مشخص می‌شوند. این روش در مواجهه با اهداف متضاد همانند یک مساله تک‌هدفه، از روش رتبه‌بندی[۷] یا طبقه‌بندی مجدد[۸] استفاده می‌کند. در این شرایط در برخی نواحی تضاد وجود دارد. MOLA،برای تخصیص سلول‌های متضاد از یک خط تصمیم[۹] 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[10] انجام می‌دهد (Shaygan *et al*., 2014).

نوع و شدت فرسایش خاک در هر منطقه عمدتاً 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 (Terrence *et al*., 2001). دمیر و همکاران، در پژوهشی درباره ارزیابی پایدار کاربری اراضی دره ایرمندر[11] در شمال شرقی کشور ترکیه، به این نتیجه رسیدند که مساله توسعه مناطق روستایی و شهری در حوزه آبخیز رودخانه مورد بررسی در اثر رشد جمعیت و توسعه 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 اجراشود (Demir *et al*., 2014). در تحقیقی در نواحی مرطوب استوایی مشخص شد که تغییر کاربری مهمترین عامل در تولید رواناب است (Alansi *et al*., 2009). با توجه به اینکه تغییر میزان رواناب و فرسایش خاک از جمله تأثیرات زیست‌محیطی تغییر کاربری اراضی هستند، این پارامترها از پارامترهای پراهمیت در بهینه‌سازی کاربری اراضی محسوب می‌شوند (Shaygan *et al*., 2014). سالیانی، درزمینه طراحی الگوی کشت درطرح‌های توسعه منابع آب با روش برنامه‌ریزی خطی بررسی‌هایی انجام داده است. او دراین بررسی تلاش کرد تا از ظرفیت‌های موجود و در دست رس منابع و نهاده‌ها برای افزایش تولیدات کشاورزی و درآمد ملی با هدف بیشینه کردن درآمد خالص، برای تعیین الگوی مناسب کشت بهره بگیرد (Salyani, 1996).

Arkhi *et al*. (2013) تأثیر بهینه‌سازی کاربری اراضی در کاهش فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سد چم گردلان را به کمک GIS بررسی کردند و 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 تولیدشده در این حوضه به میزان زیادی کاهش می‌یابد. پیشداد و همکاران، در بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوزه 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 (Pishdad Salmanabad *et al*., 2008).

برنامه‌ریزی خطی توسط Yeo *et al*. (2004) به منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی برای کاهش حداکثر رواناب استفاده شد، نتیجه این پژوهش این بود که در صورت بهینه کردن کاربری اراضی، مقدار رواناب ۱۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد.

Sahnoun *et al*. (2004) از تکنیک‌هایی مانند الکتره[12] در تحلیل تناسب کاربری استفاده کرده‌اند. Lehmann *et al*. (2004) در مقاله‌ای به بررسی اثر تغییر اقلیم و مخاطرات قیمت بر کاربری اراضی کشاورزی و تصمیمات مدیریت محصول در نواحی غربی سوئیس پرداختند. برای این منظور مدل اقتصادی-زیستی را توسعه دادند که یک مدل تصمیم‌گیری اقتصادی برمبنای ژنتیک الگوریتم را شامل می‌شد. نتایج نشان دادند که اثر تغییر قیمت‌ها بر تصمیمات مدیریتی بهینه بیشتر از اثر تغییر اقلیم است.(Lehmann *et al*. (2013 الگوریتم ژنتیک کارایی را برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی ارائه دادند. در این تحقیق محدودیت‌هایی که باید تحمیل شوند و متغیرهایی که باید بهینه شوند بر اساس قوانین ملی و محلی فعلی و معیارهای کارشناسان انتخاب شدند. دو معیار بهینه‌سازی تناسب اراضی و باقاعدگی شکل قطعات زمین منتج‌شده، بهکارگرفته شدند. نتایج، کارایی

الگوریتم ژنتیک را برای برنامه‌ریزی مسائل کاربری اراضی نشان دادند.

Haque and Asami (2014) بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی شهری را برای برنامهریزان و توسعه‌دهندگان املاک و ساختمان در بنگلادش انجام دادند. آنها از مدل‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده کردند و یک تابع چندهدفه برای برنامه‌ریزان که به طور همزمان بیشینهسازی قیمت زمین و کاهش ناسازگاری بین کاربری‌های اراضی مجاور را در یک منطقه انجام میدهد استفاده کردند. نتایج مدل منجر به ساده‌سازی تصمیم‌گیری در مورد تخصیص اراضی شد.

Benjamin (2001) در منطقه بارینگو کنیا برای 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 تخصیص چندهدفه بهره می‌برد، استفاده کرد. در تحقیقی که در منطقه دانگان چین انجام شد، از ترکیب سنجش از دور وGIS برای بررسی کاربری اراضی و ارائه مدل پایدار تخصیص زمین استفاده شده است. نتایج نشان داد که با مقایسه هدررفت زمینی که به‌طور 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 (Li, 2007). در تحقیقی که به وسیله Abubakar *et al.* (2012) 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 برای ترسیم نقشه‌ها استفاده شده است. نتایج نشان داده است که رودخانه‌های موجود در منطقه به‌عنوان موانع طبیعی عمل کرده و مانع گسترش بیابان می‌شوند. Jereon *et al.* (2013) از رگرسیون لجستیک و تخصیص چندهدفه اراضی برای پیش‌بینی توزیع مکانی کربن آلی خاک در سراسر فرانسه استفاده کردند. Memmah *et al.* (2013) یک بررسی از ۳۸ تحقیق موردی در مورد بهینه‌سازی کاربری اراضی ارائه دادند که با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری انجام شده بودند. نتایج موفقیت الگوریتم‌های فراابتکاری وابسته به مساله را نشان می‌دهند. همچنین یک چالش آینده در به کارگیری این روش‌ها، استفاده از تکنیک‌های موازی‌سازی همراه با هیبریداسیون الگوریتم‌های فراابتکاری مختلف با دیگر روش‌های بهینه‌سازی است.Harshada *et al.* (2015) بیان کردند که می‌توان از نظر عملکردی، از طریق شاخص فضای کف به بهینه‌سازی کاربری اراضی دست یافت. Honarbakhsh *et al.* (2016) از مدل برنامه‌ریزی خطی فازی برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در بخش مرکزی شهرستان کوهرنگ استان چهارمحال و بختیاری استفاده کردند. در تحقیق ایشان بهینه‌سازی سبب افزایش سود تا ۲ برابر و کاهش فرسایش تا ۱۲ درصد شد.

هدف از این تحقیق توسعه مدل بهینه استفاده از اراضی با رویکرد زیست‌محیطی با استفاده از ترکیب روش‌های بهینه‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی خطی برای تعیین مساحت بهینه کاربری‌های اراضی با روش بهینه‌سازی مکانی تخصیص چندهدفه اراضی برای تعیین محل بهینه کاربری‌های اراضی است که این مدل تلفیقی برای اولین بار ارائه می‌شود. همچنین ترکیب رویکرد ریاضی مذکور با تخصیص چندهدفه اراضی از نظر زمانی کارایی انجام بالایی دارد و برای انجام کار زمان زیادی نیاز ندارد در حالی که برخی رویکردها مانند الگوریتم ژنتیک از نظر زمانی بسیار وقت‌گیر هستند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی یکی از زیرحوضه‌های بالادست سد زاینده‌رود و براساس بررسی‌های انجام‌شده دارای مساحتی در حدود ۱۳۵۰۰هکتار و در حد فاصل طول جغرافیایی "۴۲ '۵ °۵۰ تا "۳۴ '۱۸ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی "۲'۲۲ °۳۲ تا "۲۳ '۲۹ °۳۲ شمالی است. از نظرشرایط اقلیمی این منطقه دارای میانگین بارش سالیانه حدود ۱۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه حدود ۹ درجه 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 (Pajoohesh *et al*., 2011).

برای انجام کار، ابتدا مرز حوزه آبخیز با استفاده از نقشه‌های با مقیاس ۱: ۲۵۰۰۰ ترسیم شد و پارامترهای فیزیکی حوزه آبخیز شامل محیط و مساحت و ... استخراج شد. سپس نقشه کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره کوئیک‌برد نرم‌افزار Google Earth تهیه و به‌روز شد. این نقشه در کار صحرایی کنترل و با شرایط واقعی تطبیق داده شد. از این نقشه سطوح فعلی کاربری‌های اراضی استخراج شد. همچنین بررسی این نقشه توسعه بخش مسکونی به‌ویژه شهر چلگرد، توسعه باغات و تاسیسات آبی و ... را نشان می‌دهد. برای تهیه نقشه شیب دقیق، ابتدا نقشه خطوط تراز بر مبنای مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و با فواصل خطوط تراز ۲۰ متری تهیه شد. سپس نقشه مربوط به ارتفاعات منفرد، تپه‌ها و قله‌ها تهیه شد. در مرحله بعد برای اجتناب از ایجاد نواحی مسطح در محل ارتفاعات منفرد مذکور، نقشه خطوط تراز و نقشه توصیف‌شده در مرحله قبل با هم تلفیق شدند. سپس نقشه رقومی ارتفاع بر مبنای نقشه تلفیقی مرحله قبل تولید شد. در نهایت نقشه شیب با استفاده از این نقشه و بر اساس کلاس‌بندی فائو تولید شد. در جدول ۱، طبقه‌بندی مورد استفاده در این تحقیق، ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی تناسب اراضی از دیدگاه فائو بر اساس معیار شیب زمین

Table 1. Land suitability classification from view point of FAO based on the slope criterion

شیب زمین بر حسب درصد Slope (%)	کاربری Land use
0 – 5	کشت آبی متراکم، احداث باغات مثمر Irrigated Agriculture, gardens
5 – 8	آبیاری با سیستم‌های تحت فشار، احداث باغات Irrigation with pressure systems, garden construction
8 – 12	کشت دیم، احداث باغات dry farming, gardens
12 – 25	مرتع‌داری، احداث باغات با رعایت اقدامات حفاظتی Rangeland, Construction of gardens with consideration of protective measures
>25	مرتع‌داری، جنگل‌داری Rangeland, Forestry

همچنین سایر نقشه‌های پایه شامل:

نقشه جاده‌ها، نقشه آبراهه‌ها و برخی از آبراهه‌های طولانی حوضه، نقشه چشمه‌ها، نقشه تاسیسات آبی، نقشه مناطق مسکونی، نقشه مناطق اسکان عشایری، نقشه معادن، نقشه باغات، نقشه اراضی کشاورزی، نقشه تفکیک‌شده اراضی زراعی شامل مناطق کشت دیم و کشت آبی، نقشه مراتع، نقشه اراضی توده سنگی، نقشه مناطق قابل مدیریت و تفکیک مناطق غیرقابل مدیریت از این مناطق تهیه شدند.

برای بررسی معیار قابلیت دسترسی به منابع آب، ابتدا اطلاعات آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه از شرکت آب منطقه‌ای استان چهارمحال و

بختیاری اخذ شد. برای برآورد مقدار آب قابل‌دسترسی در حوضه مورد نظر، نیاز آبی گیاهان[13] (CWR) زراعی و گونه‌های درختی غالب (درختان مثمر و غیرمثمر) در منطقه باید محاسبه شود. بنابراین با انجام مصاحبه با بهره‌برداران مختلف حوضه در کار صحرایی، محدودیت‌های آبی موجود و نحوه آبیاری و مقدار تقریبی نیاز آبی گیاهان بررسی شد. سپس با استفاده از اطلاعات هواشناسی و روش فائو پنمن مانتیس[14]، تبخیر و تعرق گیاه مرجع[15](ETo) و نیاز آبی گیاهان دقیق‌تر محاسبه شد. در نهایت با مقایسه آب قابل استحصال (مقدار آب موجود در حوضه بر اساس مجوزهای برداشت یا استفاده از آب) با مقدار نیاز آبی محاسبه‌شده در حوضه، مشخص شد که از نظر آب، کمبودی 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 نقشه استاندارد یا معیار استفاده از اراضی بر اساس معیارهای فائو (شیب، عمق خاک و قابلیت دسترسی به منابع آب) در سطح قابل‌برنامه‌ریزی و به‌عنوان نقشه نمایشگر پتانسیل توان اکولوژیک منطقه تولید شد. اطلاعات این نقشه و نظرات بهره‌برداران و مدیران حوزه آبخیز مبنای اصلی تعیین نوع توابع هدف و مقادیر سمت راست محدودیت‌ها در مدل است.

مراحل کار در روش برنامه‌ریزی خطی شامل موارد زیر است:

۱- تعیین متغیرهای تصمیم: متغیرهای تصمیم مقدار زمین اختصاص‌یافته به هر یک از کاربری‌های اراضی در حوضه هستند. متغیرهای تصمیم مجهولات مساله هستند و پس از حل مساله، مقادیر بهینه آنها به دست می‌آید.

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

۳- محدودیت‌ها:

محدودیت‌ها 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 حوضه و نظر بهره‌برداران مقادیر سمت راست محدودیت‌ها که معادل حداکثر و یا حداقل سطوح اختصاص‌یافته 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 قابل‌استحصال 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 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.

۱-۳- محاسبه سود در هر کاربری: برای انجام محاسبات، مهمترین محصولات باغی و زراعی منطقه مشخص 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 قابل‌هضم 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 و نتایج برای لحاظ کردن نظر بهره‌برداران در تعیین مقادیر سمت راست محدودیت‌ها استفاده شد.

۴- محاسبه ضرایب تابع هدف: ضریب فرسایش در هر کاربری با استفاده از مدل جهانی فرسایش خاک و از اطلاعات موجود در منابع جمع‌آوری شد

(Pajoohesh *et al.*, 2011).

۵- فرمول‌بندی و حل مدل

در نهایت مدل فرمول‌بندی وبرای حل، از روش سیمپلکس و نرم‌افزار WIN-QSB استفاده شد. نتیجه حاصل از حل مدل، به دست آمدن مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم یا مساحت تخصیص داده‌شده به کاربری‌های اراضی مختلف بعد از بهینه‌سازی و مقدار 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 فرسایش قابل‌محاسبه است.

مراحل کار در روش تخصیص چندهدفه اراضی که توسط Eastman *et al.* (1995) ارائه‌شده، به‌صورت زیر است:

۱- تهیه نقشه‌های معیار[۱۶] برای هر هدف (در این روش منظور از هدف نوع کاربری اراضی است) شاملنقشه‌های مربوط به فاکتورها که به شکل فازی تهیه می‌شوند و نقشه‌های بولین با مقادیر ۰ و۱ به‌عنوان نامناسب و مناسب.

۲- انجام ارزیابی چندمعیاره[۱۷](MCE) با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی[۱۸](WLC) برای هر هدف با استفاده از نقشه‌های معیار تولیدشده در مرحله اول و تهیه نقشه تناسب برای هرهدف.

۲-۲- انجام رتبه‌بندی نقشه‌های حاصل از ارزیابی چند معیاره و استخراج نقشه‌های تناسب رتبه‌بندی‌شده.

۲-۳- ارائه مساحت بهینه به‌دست‌آمده از بهین‌سازی ریاضی و نقشه‌های رتبه‌بندی‌شده به روش مذکور تا تخصیص اولیه و سپس با تفکیک تضادها و تخصیص آنها، تخصیص نهایی صورت گیرد.

۲-۴- تهیه نقشه بهینه نهایی

نتایج و بحث

در جداول ۱ و ۲ مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گونه‌های گیاهی غالب آورده شده است. که نتیجه محاسبات انجام‌شده نشان می‌دهند برای توسعه باغات و زمین‌های زراعی آبی محدودیتی از نظر آب وجود ندارد. همچنین نقشه کاربری اراضی فعلی و مناطق قابل‌مدیریت در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۲- تبخیر و تعرق ماهانه گیاه مرجع

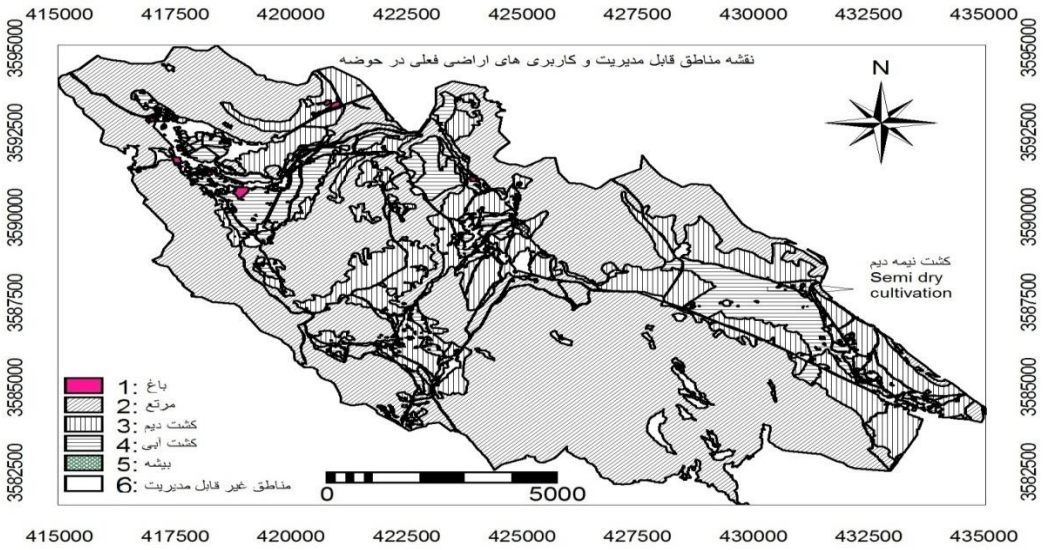
Table 2. The ETo (mm/day)

ماه Month	تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز) ETo mm/day	ماه Month	تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز) ETo mm/day	ماه Month	تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز) ETomm/day
January	0.79	May	3.22	September	3.28
February	0.99	June	4.16	October	2.23
March	1.57	July	4.35	November	1.34
April	2.36	August	4.01	December	0.89

جدول ۳- نیاز آبیگونه‌های گیاهی بر حسب مترمکعب در هکتار

Table 3. The crop water requirement (m2/hectare)

نام گیاه Crop name	*گندم Wheat*	*جو Barley*	*یونجه Alfalfa*	*شبدر Trifolium*	*سیب زمینی Potato*	*خیار Cucumber*	*لوبیا Bean*	*نخود Chickpea*	*بادام Almond*	*گردو Walnut*	*سیب Apple*	*انگور Grape*
نیاز آبی CWR	3340	3230	3900	3900	3810	2760	2910	2630	3750	5630	3020	1590



شکل ۱- نقشه مناطق قابل مدیریت و کاربری اراضی فعلی حوزه آبخیز چلگرد

Fig. 1- The manageable areas and current land uses in the Chelgerd watershed

مدل برنامه‌ریزی خطی به‌دست‌آمده به شکل زیر است:

$$\text{Min } Z = 14.11x_1 + 12.73x_2 + 15.05x_3 + 13.12x_4 + 5.1x_5 + 14.02x_6 \quad (۸)$$

S.t.

$x1 \geq 8762.4$

$x1 < 8932.05$

$x2 \geq 1271.18$

$x2 < 1389.00$

$x3 \geq 1400$

$x3 < 2810.13$

$x4 \geq 99.33$

$x4 < 900$

$x5 \geq 8.75$

$x5 < 16$

$x6 \leq 95.21$

$x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 = 12951.80$

$x1, x2, x3, x4, x5, x6 \geq 0$

که در آن x_1، x_2، x_3، x_4، x_5 و x_6 متغیرهای تصمیم یا سطوح اختصاص‌یافته به هر یک از کاربری‌های اراضی مرتع، کشت آبی، کشت دیم، باغ، بیشه و جنگل بر حسب هکتار هستند. محدودیت‌ها به‌ترتیب عبارت‌اند 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، حداقل سطح کل کاربری‌ها (C1تاC12) و محدودیت نامنفی بودن سطح کاربری‌ها. در شرایط بهینه مقدار تابع هدف برابر ۱۸۱۳۱۱/۶۹ تن فرسایش در سال به دست 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. جدول ۴، نتایج حل مدل با استفاده از روش سیمپلکس و مقادیر تخصیص‌یافته به هر یک از کاربری‌ها یا جواب مدل در شرایط بهینه و در شرایط فعلی را نشان می‌دهد. در این جدول، سهم یا مشارکت کلی[۱۹] هر یک 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 جدول ۴، مراتع مشارکت بیشتری در تابع هدف و فرسایش خاک دارند.

جدول ۴- مقادیر جواب، مشارکت کلی متغیرهای تصمیم در مقدار تابع هدف و هزینه تقلیل‌یافته

Table 4.The solution values, total contribution and reduced cost for the model

متغیر تصمیم Decision variable	جواب یا سطح کاربری بعد از بهینه‌سازی (هکتار) Solution value (hectare)	سهم یا مشارکت کلی Total contribution	سطح کاربری قبل از بهینه‌سازی (هکتار) Land use area before optimization	افزایش/کاهش نسبت به شرایط فعلی (٪) Increase/ decrease in comparision to current condition (%)	هزینه تقلیل یافته Reduced cost
X1	8932.05	126031.22	8762.4	Increase (1%)	0
X2	1389.01	17682.08	1271.18	Increase (9%)	0
X3	1619.52	246373.85	2510.13	(54decrease٪)	0
X4	900	11808	99.33	Increase (906%)	0
X5	16	81.6	8.75	Increase (82%)	0
X6	95.22	1314.96	0	Forest potential	0

همچنین در جدول ۴، هزینه تقلیل‌یافته[۲۰]، و در جدول ۵، قیمت‌های سایه‌ای[۲۱] و متغیرهای کاستی[۲۲] و فزونی[۲۳] آورده شده‌اند. هزینه‌های تقلیل‌یافته، مقدار تغییرات تابع هدف به ازای یک واحد تولید از یکی از متغیرهای غیرپایه بهینه است که براین اساس همه متغیرها هزینه تقلیل‌یافته برابر صفر دارند و متغیرهای پایه هستند و در نتیجه در مدل حفظ شده‌اند. هزینه تقلیل‌یافته یک متغیر به‌عنوان مقدار خسارتی که باید به ازای ورود یک واحد از آن متغیر درجواب پرداخت، تفسیر می‌شود. قیمت‌های سایه‌ای مقدار تغییرات تابع هدف را به ازای افزایش ۱ واحد مقادیر سمت راست محدودیت‌ها نشان می‌دهند. بر اساس جدول ۵، بیشه‌ها مقدار قیمت‌های سایه بیشتری دارند و تغییر یک واحدی مقدار سمت راست محدودیت مربوط به آن موجب حداکثر کاهش در مدل می‌شود.

جدول ۵- قیمت‌های سایه‌ای و متغیرهای کاستی و فزونی

Table5. Theshadowprices and slack or surplus variables

محدودیت Constraint	متغیرهای کاستی و فزونی Slack or surplus	قیمت‌های سایه‌ای Shadow price	محدودیت Constraint	متغیرهای کاستی و فزونی Slack or surplus	قیمت‌های سایه‌ای Shadow price
C1	169.65	0	C7	800.67	0
C 2	0	-0.94	C8	0	-1.93
C 3	117.82	0	C9	7.25	0
C 4	0	-2.32	C10	0	-9.95
C 5	219.52	0	C11	0	-1.03
C 6	1190.61	0	C12	0	15.05

نتایج انجام تحلیل حساسیت بر ضرایب تابع هدف نشان می‌دهد که C1یا ضریب بهره‌وری فرسایش مربوط به مراتع مهمترین ضریب در مدل است و تغییرات آن سبب تغییرات بیشتری در جواب مساله می‌شود. به‌طوری که وقتی مقدار C1، ۵ درصد افزایش یابد، مقدار فرسایش ۱/۰۲ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین انجام عملیات مدیریت و کنترل تخریب و فرسایش در مرتع توصیه می‌شود.

در جدول ۶، رنج بهینگی و در جدول ۷ رنج موجه بودن آورده شده است. رنج بهینگی که حداقل و حداکثر تغییرات ممکن برای ضرایب تابع هدف مربوط به هر متغیر تصمیم را در شرایط فعلی پایه (شرایط پایه‌ای که مساله در آن حل شده است) نشان می‌دهد و محدوده‌ای است که در آن ضریب تابع هدف (C_j) مربوط به هر متغیر تصمیم می‌تواند تغییرکند در حالی که متغیر تصمیم مربوطه همچنان در پایه باقی بماند و یک متغیر

تصمیم پایه باشد. رنج موجه بودن با حداقل و حداکثر تغییرات ممکن برای مقادیر سمت راست محدودیت‌ها تعریف می‌شود و در واقع محدوده‌ای است که مقدار سمت راست هر محدودیت در شرایط پایه فعلی دارد (شرایط پایه‌ای که مساله در آن حل شده است) و می‌تواند در آن محدوده تغییر کند، در حالی که شرایط موجه یا شدنی بودن برای متغیر تصمیم ایجادکننده محدودیت مربوطه حفظ شود.

جدول ۶-رنج بهینگی

Table 6.Therange of optimality

متغیر تصمیم Decision variable	رنج بهینگی Range of optimality	
	حداقل ضریب تابع هدف (C_j) Allowable decrease C_j	حداکثر ضریب تابع هدف (C_j) Allowable increase C_j
x_1	- ∞	15.05
x_2	- ∞	15.05
x_3	14.11	+ ∞
x_4	- ∞	15.05
x_5	15.05	15.05
x_6	- ∞	15.05

جدول۷-رنج موجه بودن

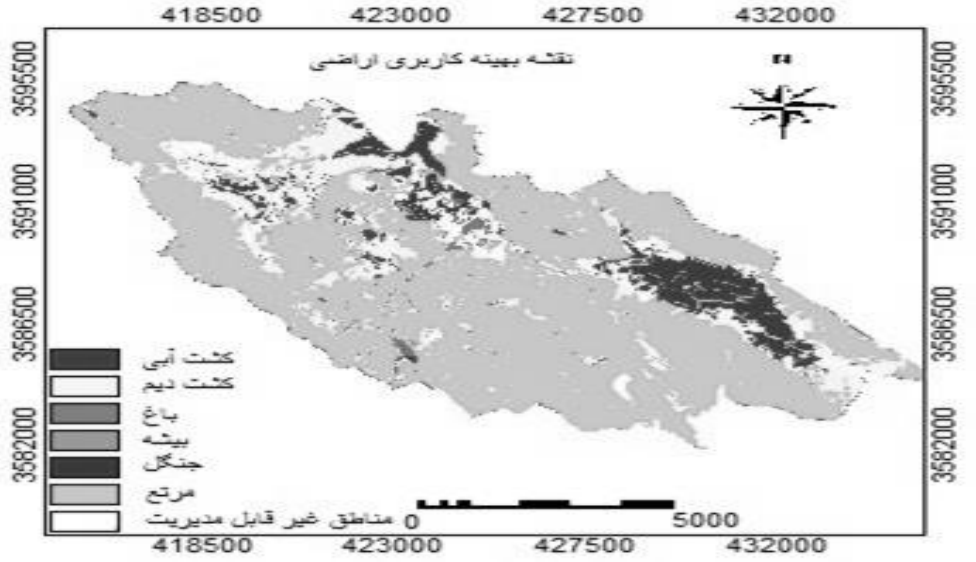
Table 7.The range of feasibility

محدودیت Constraint	رنج موجه بودن Range of feasibility	
	حداقل مجاز مقادیر سمت راست Allowable decrease RHS	حداکثر مجاز مقادیر سمت راست Allowable increase RHS
C1	- ∞	8932.05
C2	8762.4	9151.58
C3	- ∞	1389.01
C4	1271.18	1608.53
C5	- ∞	1619.53
C6	1619.52	+ ∞
C7	- ∞	900
C8	99.33	1119.53
C9	- ∞	16
C10	8.75	235.52
C11	0	14.74

شکل ۲، نتیجه انجام بهینه‌سازی مکانی و محل قرارگیری کاربری‌های اراضی در شرایط بهینه را نشان می‌دهد که با استفاده از نرم‌افزار ادریسی به دست آمده است. در شرایط بهینه و مطابق شکل ۲، مراتع بیشترین سطح را در بر می‌گیرند. اراضی کشت دیم بیشتر در حواشی اراضی کشت آبی قرار می‌گیرند و جنگل و بیشه به ترتیب با حدود ۹۵ و ۱۶ هکتار مساحت، کمترین سطح را شامل می‌شوند. مدیریت منابع آب و استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار به جای روش‌های سنتی، امکان توسعه را فراهم می‌کند. نتایج حاصل از برآورد آب مورد نیاز گیاهان نشان می‌دهد در حال حاضر حدود ۲۰ ملیون متر مکعب آب در دسترس است که در شرایط استفاده از روش‌های آبیاری نوین حدود ۳/۵ میلیون متر مکعب 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 تاکید دارد. نقشه معیار نشان می‌دهد که حدود ۹۵ هکتار زمین در حوضه وجود دارد که ضمن حفظ ارزش‌های مرتع، به دلیل دارا بودن شیب و عمق خاک مناسب، پتانسیل جنگل‌کاری و افزودن همه ارزش‌های زیست‌محیطی و تفرجگاهی را دارد.در ادامه نتایج برخی از تحقیقات انجام‌شده توسط سایر محققان برای مقایسه آورده شده

است. آرخی و همکاران، 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 حوضه به میزان زیادی (حدود ۵۴ درصد) کاهش می‌یابد (Arkhi *et al.*, 2013).

همچنین Pishdad Salmanabad *et al.* (2008) به این نتیجه رسیدند که با بهینه‌سازی کاربری اراضی، میزان فرسایش خاک حدود ۷۱۳۳ هزار تن در سال (حدود ۸ درصد) کاهش می‌یابد.نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش Chamheydar *et al.* (2011) نشان می‌دهد که سطح کاربری‌های اراضی فعلی برای کاهش میزان فرسایش، مناسب نبوده و در شرایط بهینه، سطح اراضی جنگلی و باغی به ترتیب ۱/۸۱ و ۵۵/۷ درصد افزایش، سطح اراضی مرتعی بدون تغییر و سطح اراضی کشت آبی و دیم به ترتیب ۶۷/۵ و ۳۱/۴ درصد کاهش می‌یابند.(2012) Fooksand Messer نتیجه گرفتند که برنامه‌ریزی آرمانی به حد کافی برای سازگار کردن مدیران به‌منظور لحاظ کردن هر دو فاکتور اکولوژیکی و سیاسی انعطاف‌پذیر است. در تحقیق Alansi *et al.* (2009) مشخص شد که تغییر کاربری مهمترین عامل در تولید رواناب است. براساس نظر Rockstromand Karlberg (2010) مدیریت منابع طبیعی در مقیاس حوزه آبخیز منافع زیادی را منجرمی‌شود که عبارت‌اند از افزایش تولیدات غذایی، بهبود معیشت، حفاظت محیط‌زیست، موضوعات مالکیتی و همچنین نگرانی‌های موجود در مورد تنوع زیستی. نتایج تحقیقات مذکور از جنبه‌های مختلف ارائه شده که مشابه نتایج این تحقیق هستند.



شکل۲- نقشه بهینه کاربری اراضی

Fig. 2- Optimized land use map

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که استفاده از اراضی بر اساس شرایط استاندارد تعریف‌شده توسط سازمان خواروبار جهانی می‌تواند موجب کاهش فرسایش تا ۱۲ درصد شود. مدل بهینه ارائه‌شده با توجه به اینکه یک مدل ترکیبی است قابلیت بیشتری نسبت به مدل‌های منفرد بهینه‌سازی دارد و با در نظر گرفتن اهداف بهره‌برداران و تصمیم‌گیران ضمن محاسبه سطوح بهینه کاربری‌های اراضی و انجام تخصیص کمی بهینه، محل بهینه قرارگیری کاربری‌ها را با انجام تخصیص مکانی مشخص کرده و یک مدل کارآمد و الگوی مناسب برای استفاده از زمین است. براساس محاسبات انجام‌شده در مورد نیاز آبی گیاهان، روش‌های آبیاری نوین،

مقدار آب مورد نیاز آبیاری را تا حدود یک پنجم نسبت به شرایط آبیاری سنتی کاهش می‌دهند. بنابراین تغییر شیوه آبیاری از حالت سنتی به شیوه‌های نوین برای انجام مدیریت منابع آب اهمیت بسیار زیادی دارد. منطقه دشت زرین در حوضه، به شدت با کمبود آب مواجه است. انجام مدیریت صحیح منابع آب و تغییر نوع روش‌های آبیاری سبب می‌شود که مقدار قابل‌ملاحظه‌ای آب مازاد بر نیاز در حوضه وجود داشته باشد که با انتقال آب درون‌حوضه‌ای و با هزینه بسیار پایین‌تر نسبت به احداث سد، مشکل کمبود آب در این منطقه برطرف شود. نتایج مصاحبه با بهره‌برداران حوضه نشان می‌دهد که اکثر آنها به‌دلیل وابستگی اقتصادی با تغییر یک‌باره کاربری اراضی موافق نبوده و عمدتاً شیوه اگروفارستری[۲۴] را ترجیح می‌دهند. شیوه اگروفارستری و استفاده از گونه‌های درختی مثمر دیم، بهترین راه‌حل برای کاهش اراضی کشت دیم و تبدیل تدریجی آنها به باغ است. توسعه باغات ناشی از انجام اگروفارستری در اراضی کشت دیم، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای سبب افزایش اشتغال نیروهای کار و مقدار درآمد شده و تا حدود ۹۶ درصد مقدار سود را افزایشمی‌دهد، در نتیجه می‌تواند موجب حل مشکل مهاجرت شود. همچنین توسعه باغات از طریق اگروفارستری سبب افزایش درآمد و کاهش فشار بهره‌برداری از مراتع می‌شود. توسعه باغات از طریق اگروفارستری سبب افزایش گردشگران و درآمدهای ناشی از گردشگری در حوضه می‌شود. با توجه به اینکه در محل باغات به‌دلیل حفر گودال برای کاشت نهال، شیب زمین شکسته می‌شود و موجبات افزایش نفوذ آب باران از طریق جریان ساقه‌ای و کاهش شیب و کنترل و نفوذ رواناب در چاله‌های حفر شده فرآهم می‌شود، توسعه باغات از طریق اگروفارستری به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای سبب کاهش رواناب و کنترل سیلاب و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و کاهش فرسایش و رسوب خاک می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

[1] Objective Function
[2] Constraint
[3] Decision Variable
[4] Simplex Method
[5] Dual Method
[6] Multi Objective Land Allocation
[7] Rank
[8] Reclass
[9] Decision Line
[10] Minimum-Distance-To- Ideal-Point
[11] Irmendere
[12] Electre
[13] Crop Water Requirement
[14] FAO Penman Monteith
[15] Reference Crop Evapotranspiration
[16] Criterion Map
[17] Multi-Criteria Evaluation
[18] Weighted Linear Combination
[19] Total Contribution
[20] Reduced Cost
[21] Shadow Price
[22] Slack Variable
[23] Surplus Variable
[24] Agroforestry

منابع

Abubakar, A.M., Efron, N.G. and Joseph O.A., 2012. Remote sensing and gis based predictive model for desertification early warning in north eastern Nigeria,. NED University Journal of Research. 4(1), 1-14.

Alansi, A.W., Amin, M.S.M., Abdul Halim, G., Shafri, H.Z.M., Thamer, A.M., Waleed, A.R.M., AimrunW. and Ezrin, M.H., 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.

Arkhi, S., Yoosefi, S. and Rostamizad, Gh., 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]

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. p11.

Chamheydar, H., Nhkkami, D., Pazira, A. and Ghafouri. M., 2011. Soil loss minimization through land use optimization. World Applied Science Journal. 12, 76-82.

Demir, Y.M., Atasoy, M., Bayrak, T. and Biyik, C., 2008. Evaluating sustainable land use for the De Irmendere valley: a case study from northeastern Turkey, Journal of Sustainable Development and World Ecology.14, 626-633.

Eastman, J.R., James, T., Weigen, A., Peter A. and Kyem. K., 1995.Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 61(5), 539-547.

Fooks, J.R. and Messer. K.D., 2012. Maximizing conservation and in-kind cost share: applying goal programming to forest protection, Journal of Forest Economics. 18, 207–217.

Hamdi, A.T., 2002. Operations research: an introduction, Eighth Edition, University of Arkansas, Fayetteville, 840 p.

Haque, A. and Asami. Y., 2014. Optimizing urban land use allocation for planners and real estate Developers, Computers, Environment and Urban Systems.46, 57–69.

Harshada, R., Bhede, M. and Arati, S.P. 2015. a study of land use planning and optimization. International Journal of Modern Trends in Engineering and Research. 2(7), 956-964.

Honarbakhsh, A., Pajoohesh, M., Zangiabadi M. and Heydari, M., 2016. Land use optimization using combination of fuzzy linear programming and multi objective land allocation methods (Case Study: Chelgerd Watershed), Journal of Ecohydrology, 3(3), 363-377. [In Persian].

Jereon, M., Anton, V.R. Tim, Q., Manuel, M., Christian P. and Dominique, A., 2013. Predicting future spatial distribution of SOC across entire France, Geophysical Research Abstracts, 15, p 1.

Justesen, P.D., 2009. Multi¬–¬Objective optimization using evolutionary algorithms, Department of Computer Science, University of Denmark, Progress report, p 36.

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

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

Memmah, M.M., Lescourret, F., Yao, X. and Lavigne, C., 2015. Metaheuristics for agricultural land use optimization. A Review, p 24.

Pajoohesh, M., Gorji, M., Taheri, M., Sarmadiyan, F., Mohamadi, j. and Samadi, H., 2011. Effect of land use on sediment yield using GIS in Zayandehrood upstream basin, Iran Water Research Journal, 5(8), 143-152. [In Persian].

Pishdad Salmanabad, L., Najafinejad A. and Salmanmahini, A., 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].

Porta, J., Parapar, J., Doallo, R., Rivera, F.F., Sante, I. and Crecente. R., 2013. High performance genetic algorithm for land use planning,

Computers, Environment and Urban Systems. 37, 45–58.

Rockstrom, J. and Karlberg, L., 2010. Managing water in Rain-fed agriculture - the need for a paradigm shift. Agricultural Water Management. 97(4), 543–550.

Sahnoun, H., Serbaji, M.M., Karray, B. and Medhioub, K., 2012. GIS and multicriteria analysis to select potential sites of agro-industrial complex, Environmental Earth Sciences. 66(8), 2477-2489.

Salyani, T., 1996. Design the crop pattern in water resources projects. Agricultural Economics and Development. 4(15), 91-93. [In Persian].

Shaygan, M., Alimohammadi, A., Mansourian, A., Shams Govara, Z. and Kalami, S.M., 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.

Terrence, J.T., George R.F. and Kenneth, G.R., 2001. Soil erosion, Jhon Wiley and sons, INK, USA, p 338.

Yeo, I., Gorden S.I. and Guldmann, J.M., 2004. Optimizing patterns of land use to reduce peak runoff flow and nonpoint source pollution with an integrated hydrological and land-use model. Earth Interact. 8, 1-19.

Environmental Sciences Vol.16 / No.1 / Spring 2018

29-46

Developing the optimal model for correct use of environmental resources in Chelgerd Watershed

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

[1] Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

[2] Department of Applied Mathematics, Faculty of Basic Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: 2017.10.22 **Accepted:** 2018.4.24

Heydari, M., Honarbakhsh, A., Pajoohesh, M. and Zangiabadi, M., 2018. Developing the optimal model for correct use of environmental resources in Chelgerd Watershed. Environmental Sciences. 16 (1), 29-46.

Introduction: Over the past few decades, several models such as the LP model have been used for watershed management and planning as well as determining optimal cultivation patterns for agricultural planning. Management and planning methods are the most important applied management tools for optimal allocating of environmental resources, in order to gain the most profits in the different fields including natural resources, water resources and etc. The purpose of this study was to develop an optimal land use model with an environmental approach using a combined linear programming mathematical optimization method to determine the optimal land use area through spatial optimization of multi-objective land allocation to determine the best location of land uses.

Materials and methods: In this study, by using optimization methods, we tried to produce an environmental model which is compatible with the social and economic conditions of the watershed for determining the better use, conservation and rehabilitation of existent natural resources. For this purpose, a single objective linear programming model with an environmental approach was used for land use optimization and a multi-objective optimization model for optimal allocation of resources.

Results and discussion: After collecting and analyzing the data and entering them into the single-objective optimization model of linear programming, a mathematical model was first developed that determines the optimal area of land uses in the basin and then, using the spatial optimization model for multi-objective land allocation, the optimal land uses location was determined. The proposed combined model is an efficient one because it can simultaneously determine the optimized area and location of land uses.

[*]Corresponding Author. *E-mail Address*: heydari_moslem@yahoo.com

Conclusions: The results showed that the proposed combined model can be the base for correct management of resources and decrease the degree of soil erosion to nine percent and increase the amount of profit to 96 percent.

Keywords: Optimization, Linear programming, Multi-objective allocation, Environmental resources.