سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال پنجم، شماره یکم، بهار ۱۳۹۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.5, No.1, Spring 2013

۱-۱۲

بهینه‌سازی ترکیبی چندهدفه تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم نیل به مقصود و MOLA

مهران شایگان*[۱]، عباس علیمحمدی[۲]، علی منصوریان[۳]

۱. دانشجوی دکترای GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار گروه مهندسی GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استادیار گروه مهندسی GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۵/۱۱

چکیده

طراحی الگوی فضایی کاربری اراضی، به معنای تعیین مساحت تخصیص داده‌شده به هر کاربری و توزیع مکانی آن، دارای اهمیت خاصی است و بایستی به نحوی انجام پذیرد که ضمن برآورده کردن نیازها و اهداف، از ظرفیت‌ها و منابع موجود به نحو مناسب استفاده گردد. در این تحقیق تعیین مساحت بهینه و تخصیص بهینه مکانی سه کلاس اصلی کاربری اراضی- شامل کشاورزی آبی و کشت دیم و اراضی مرتعی- به منظور افزایش بازدهی اقتصادی و کاهش فرسایش با ترکیب دو روش بهینه‌سازی چندهدفه نیل به مقصود و MOLA در زیرحوضه کویین انجام شد. ابتدا مساحت بهینه کلاس‌های عمده کاربری اراضی به صورت ریاضی با استفاده از مدل بهینه‌سازی چندهدفه نیل به مقصود تعیین شد، سپس بهینه‌سازی تخصیص مکانی کاربری اراضی نیز براساس نتیجه روش نیل به مقصود و با استفاده از روش MOLA انجام گرفت. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که برای رسیدن به وضعیت بهینه باید مساحت کشت دیم کاهش یابد و به مساحت کشاورزی آبی و مرتع افزوده شود، به طوری‌که با تبدیل وضع موجود به حالت بهینه- که نسبت مساحت کاربری‌های کشاورزی آبی، کشت دیم و مرتع در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۷/۱۱، ۲/۷۴، ۸۰/۱۵ درصد خواهد شد- از میزان فرسایش کاسته شود و بازدهی اقتصادی در قیاس با وضع موجود افزایش یابد. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد در صورت تغییر الگوی فعلی کاربری اراضی به الگوی بهینه، امکان کاهش ۳/۶ درصدی فرسایش خاک و افزایش درآمد اقتصادی به میزان ۱۳/۵ درصد وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی چندهدفه، کاربری اراضی، الگوریتم نیل به مقصود، MOLA.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده نقشه‌برداری، تلفن: ۸۸۷۸۶۲۱۲.
Email: mehranshaygan@gmail.com

۱- مقدمه

بشر در آستانه قرن بیست و یکم برای ادامه حیات بر کره زمین با مشکلات زیادی مواجه است، که از جمله آنها معضلات و بحران زیست‌محیطی و تخریب منابع طبیعی است.

افزون بر تغییرات جمعیتی، می‌بایست به تغییرات کاربری اراضی نیز توجه داشت. بنابراین مدیریت علمی و اصولی تغییرات امری ضروری و گریزناپذیر است (Briasouli, 2000). اما چگونه استفاده از زمین را می‌توان با قابلیت‌های آن منطبق ساخت تا تعادل موجود حفظ شود؟ چگونه می‌توان از به‌کارگیری نادرست زمین جلوگیری کرد تا تبعات زیست‌محیطی ناگوار رخ ننمایند؟ برخورد و واکنش درست به این مسائل بستگی به انتخاب راهبردهای منطقی به میزان توجه به موضوع برنامه‌ریزی و نقش آن در تصمیم‌گیری‌های کلان دارد (Pourmohmammadi, 2007). برنامه‌ریزی در خصوص فرایند تخصیص استفاده‌های مختلف اراضی نظیر صنعت، کشاورزی، جنگل یا منطقه حفاظت‌شده به واحدهای مختلف به منظور دست‌یابی به اهداف مشخص‌شده مدیران و تصمیم‌گیرندگان می‌تواند بخشی از راهکارهای مدیریت کاربری اراضی باشد (Stewart, Janssen et al., 2004).

به هر روی، توسعه مطلوب بدون برنامه‌ریزی میسر نخواهد بود و هر قدر برنامه‌ریزی بیشتر مبتنی بر واقعیات عینی و توان‌های بالقوه طبیعی باشد، دست‌یابی به اهداف از پیش تعیین شده، بیشتر میسّر می‌شود. امروزه توافق نسبتاً گسترده‌ای در این زمینه در حال شکل‌گیری است که رشد اقتصادی دیگر نمی‌تواند بدون در نظرگیری آلودگی‌ها، ضایعات و خطرهایی که فعالیت اقتصادی، نحوه تولید و مصرف بر محیط زیست ـ و در نهایت برخورد انسان ـ وارد می‌آورد تداوم یابد. از این رو در سال‌های اخیر مفهوم توسعه پایدار مورد توجه قرار گرفته است. در توسعه پایدار نیازهای زمان حال بدون اینکه توانایی نسل‌های آینده در تأمین نیازهای‌شان به خطر افتد فراهم می‌آید.

می‌توان گفت دیدگاه ارتباط بین توسعه و محیط زیست نوعی نگرش بولین[1] است؛ یعنی عده‌ای طرفدار توسعه بدون توجه به پیامدهای زیست‌محیطی آن هستند، و در طرف دیگر طرفداران حفظ بی‌چون و چرای محیط زیست که بکر ماندن محیط زیست را می‌خواهند. البته روشن است باید بین این دو دیدگاه توازن برقرار کرد. در حقیقت با توجه به اینکه محیط زیست و توسعه دو موضوع جداناشدنی‌اند، ضروری است با برنامه‌ریزی و مدیریت در کلیه برنامه‌های توسعه، کوشش شود که کم‌ترین خسارت به منابع و محیط زیست وارد آید. در کنار توسعه باید تأثیرات توسعه را نیز در نظر داشت.

فرسایش خاک از جمله عواملی است که به‌شدت از کاربری اراضی تأثیر می‌پذیرد و کنترل نشدن آنها موجب بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیر به محیط زیست و جوامع بشر می‌گردد. نوع و شدت فرسایش خاک در هر منطقه عمدتاً تابع شرایط اقلیمی، پستی و بلندی، خاک و پوشش زمین است که در این میان کاربری اراضی مؤثر از دیگر فاکتورهاست (Terrence, Geoge et al., 2001). از طرفی رکن اصلی در موفقیت برنامه‌های اجرایی در حوضه آبخیز همانا ساکنان‌اند.

درواقع توجه به وضعیت اقتصادی و تأمین زندگی آنان از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در برنامه‌های اجرایی و مدیریتی حوضه‌های آبخیز به شمار می‌آید (Mohseni, Ahmadi et al., 2002).

MWASI در سال ۲۰۰۱ برای تصمیم‌گیری در خصوص تخصیص کاربری اراضی در نواحی‌ای که بین کلاس‌های مختلف آن تضاد به چشم می‌خورد، از نوعی سیستم پشتیبان تصمیم مکان‌مبنا ـ که از روش MOLA بهره می‌برد ـ استفاده کرد (MWASI, 2001).

Xiaoli و همکاران در سال ۲۰۰۹ اشاره کردند که بهینه‌سازی کاربری اراضی بر پایه خصوصیات منابع و نتایج حاصل از ارزیابی تناسب اراضی انجام شدنی است

1. Boolean

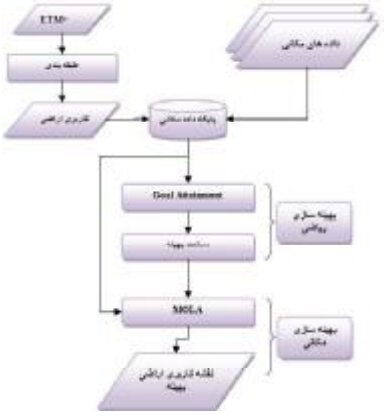
(Xiaoli, Chen et al., 2009). صادقی و همکاران در سال ۲۰۰۹ یک مدل بهینه‌سازی چندهدفهٔ خطی را در حوضه بریموند به منظور تخصیص بهینه کاربری اراضی با هدف کاهش فرسایش و افزایش بازدهی اقتصادی به‌وجود آوردند. نتایج مطالعه نشان داد که در وضعیت بهینه مقدار فرسایش و بازدهی اقتصادی به ترتیب ۷/۹ و ۱۸/۶ درصد کاهش و افزایش خواهد داشت (Sadeghi, Jalili et al., 2009). تحقیقی مشابه در حوضه طالقان با هدف کاهش فرسایش و افزایش بازدهی اقتصادی انجام شده است (Mohseni, Ahmadi et al., 2002). در تحقیقی دیگر برای تخصیص واحدهای زمین به مجموعه‌ای از کاربری‌های ممکن، از شبیه‌سازی تبرید استفاده گردید (Santè-Riveira, Boullón-Magàn et al., 2008). در مطالعه دیگری برای تعیین الگوی بهینه کشت در دشت نیلاب اصفهان روش‌های ریاضی چندهدفه قطعی و فازی به کار گرفته شد. نتایج نشان داد کاربرد مدل‌های قطعی و فازی به ترتیب موجب افزایش ۴ درصدی و ۵۰ درصدی بازده و همچنین افزایش ۳۱ درصدی و ۲۰ درصدی اشتغال نیروی کار در قیاس با وضع موجود خواهد شد (Pakdaman, Najafi, 2009). در مطالعه دیگری، برای تعیین الگوی بهینه کشت با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی از مدل برنامه‌ریزی ترتیبی استفاده شد. با توجه به یافته‌های این تحقیق امکان افزایش سود و بهره‌وری منابع نسبت به شرایط فعلی با توجه به اهداف زیست‌محیطی نیز وجود دارد (Sabuhi, Khosravi, 2009). افزون بر اینها می‌توان به تحقیق ویلاتا در سال ۲۰۰۹ اشاره کرد که برای تخصیص کاربری اراضی از روش بهینه‌سازی چند هدفه نیل به مقصود استفاده کرد (Villalta Calderon, 2009).

در این تحقیق به منظور افزایش بازدهی اقتصادی و کاهش فرسایش در زیرحوضه کویین بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی با استفاده از دو روش بهینه‌سازی چندهدفه نیل به مقصود و MOLA[1] انجام شد.

در ادامه کل فرایند تحقیق به صورت شماتیک نمایش داده می‌شود، وضعیت فعلی کاربری اراضی منطقه به اعمال بررسی می‌گردد، و نیز به معرفی روش بهینه‌سازی چند هدفه نیل به مقصود[2] پرداخته می‌شود. سپس نحوه پیاده‌سازی مدل و نتایج حاصل از اجرای مدل ارائه می‌گردد.

۲- چارچوب کلی تحقیق

چارچوب کلی تحقیق (شکل ۱) نشان می‌دهد که این مقاله به دنبال ارائه روشی ترکیبی از بهینه‌سازی چند هدفه تخصیص کاربری اراضی از دو جنبه بهینه‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی مکانی است. به این منظور ابتدا داده‌ها و لایه‌های مکانی مورد نیاز تهیه شد، و نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصویر ماهواره‌ای +ETM نیز تهیه گردید. سپس برای تعیین مساحت بهینه استفاده‌های مختلف اراضی، روش نیل به مقصود و بهینه‌سازی مکانی تخصیص با استفاده از روش MOLA به کار رفت.



شکل ۱. فلوچارت فرایند تحقیق

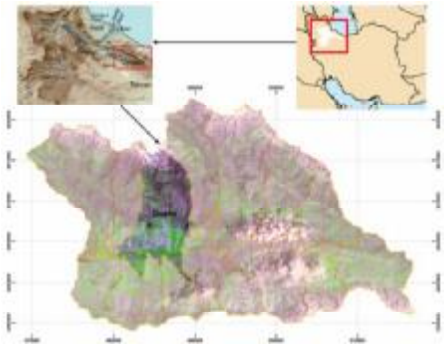
1. Multi-objective Land use Allocation
2. Goal attainment method

۳- مواد و روش‌ها

در این بخش ابتدا به منطقه مورد مطالعه و سپس به کاربرد روش به‌کاررفته برای دستیابی به اهداف تحقیق پرداخته می‌شود.

۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه طالقان در ۱۲۰ کیلومتری شمال غربی تهران در جهت شرقی- غربی واقع شده است. این منطقه در میان دره بزرگی در کوه‌های البرز قرار دارد. مساحت حوضه طالقان تا خروجی ایستگاه گلینک حدود ۸۲۰ کیلومترمربع است. این حوضه دارای مختصات جغرافیایی ′36 °50 تا ′10 °51 طول شرقی و ′5 °36 تا ′21 °36 عرض شمالی است. حوضه طالقان از شمال به کوه‌های هزارچم، نزار کوه، البرز و آخورکان، از شرق به کوه مناربند و از جنوب به کوه‌های ولیان و آسمان کوه منتهی می‌گردد. محدوده مطالعاتی این تحقیق زیرحوضه کویین از حوضه طالقان است (شکل ۲).

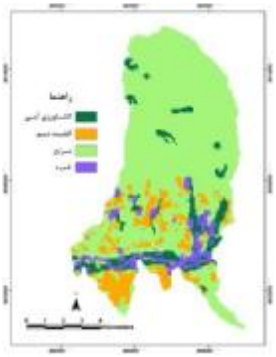


شکل ۲. منطقه مورد مطالعه

مهم‌ترین شبکه آبراهه موجود در حوضه، رودخانه طالقان رود است که جهت جریان آن در شاخه اصلی رودخانه از شرق به غرب است و شاخه‌های فرعی آن در دامنه‌های شمالی و جنوبی به سمت شاخه اصلی رودخانه جریان دارند. ارتفاع متوسط محدوده ۲۴۶۶ متر، شیب متوسط ۳۳/۰۸ درصد، متوسط بارش سالانه ۵۰۰ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالانه ۴/۴۸ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه ارتفاعات سرد محاسبه گردید (Arzani, MirAkhoorlou et al., 2009).

۳-۲- داده‌ها و اطلاعات

داده‌های توپوگرافی از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استخراج گردید. برای تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه از تصویر +ETM سال ۲۰۰۲ استفاده شد. بعد از انجام تصحیحات اتمسفری و هندسی، فرایند طبقه‌بندی تصویر با بهره‌گیری از روش حداکثر شباهت انجام گرفت (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی منطقه

جدول ۱ وضعیت کاربری اراضی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱. توزیع کلاس‌های کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

کاربری اراضی	مساحت	
	هکتار	درصد
کشاورزی آبی	۷۱۶/۷۱	۸/۷۳
کشت دیم	۹۷۴/۶۵	۱۱/۸۷
مرتع	۶۵۱۹/۱	۷۹/۴۰
کل	۸۲۱۰/۴۶	۱۰۰

بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی با هدف کاهش میزان فرسایش و افزایش بازدهی اقتصادی نیازمند اطلاعات مورد نظر است. در این مطالعه سهم و میزان فرسایش و سوددهی اقتصادی حاصل از کاربری‌های مختلف در حوضه آبخیز طالقان از طرح پژوهشی انجام‌شده به‌وسیله گروه احیای مناطق خشک و

کوهستانی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهیه و جمع‌آوری شده است (Mohseni, Ahmadi et al., 2002; Shaygan, Alimohammadi et al., Accepted in 2011) (جدول ۲).

جدول ۲. میزان فرسایش و سود کاربری اراضی در حوضه آبخیز طالقان

کاربری اراضی	فرسایش (t / ha.y)	سود خالص ($10^3 \frac{R}{ha.y}$)
اراضی آبی	۷/۱۹	۵۴۶۳ / ۱
اراضی دیم	۹ /۷۰	۲۷۰۸ / ۱
مرتع	۶ /۰۱	۷۴۱ / ۷۸

۳-۳- بهینه‌سازی

امروزه تعاریف متفاوتی از مفهوم و واژه بهینه‌یابی عنوان شده است. بهینه‌یابی عبارت است از فرایند یافتن و مقایسه جواب‌های موجه، تا آنجا که جواب بهتری یافت نشود. هنگامی که مسئله بهینه‌یابی تنها شامل یک تابع هدف باشد، بهینه‌یابی تک‌هدفه نام دارد؛ و اگر مسئله شامل چند تابع هدف باشد، عمل یافتن یک یا چند جواب بهینه را می‌توان بهینه‌یابی چندهدفه نامید (Rezaei, Davoodi, 2009). فضای برد در مسئله تک‌هدفه، فضای ترتیب‌پذیر است؛ و به عبارت دیگر گزاره‌هایی که با علامت > یا < تعریف می‌شوند در فضای مرتب یا ترتیب‌پذیر تعریف‌شدنی‌اند؛ اما در مسئله چندهدفه فضای برد ترتیب‌پذیر نیست.

۳-۳-۱- بهینه‌سازی چندهدفه

اغلب مقوله‌های جست‌وجو و بهینه‌یابی در دنیای واقعی، ماهیتاً مشتمل بر چندین هدف‌اند. در چنین شرایطی، پیدا کردن جوابی که همه اهداف را بهینه کند تقریباً ناممکن است و کوشش می‌شود مجموعه‌ای از جواب‌ها با بهینه‌سازی نسبی در همه اهداف یافت گردد. منظور، یافتن جواب‌های بهینه پاره‌تو[1] است (Deb, 2001). در مجموعه بهینه پاره‌تو با حرکت از جوابی به جواب دیگر دست‌کم یک تابع هدف بهتر می‌شود و دست‌کم یک تابع هدف دیگر بدتر (Yee et al., 2003). فرم کلی مسئله چندهدفه بدین صورت است:

رابطه (۱)

$$s.t.\quad x \in F,$$

$F \subseteq R^n$ توابع هدفی نیستند که در ناحیه $f_1,...f_k$ تعریف شده‌اند (gabriel, Faria et al., 2006).[1]

الگوریتم‌های کلاسیک و تکاملی دو دسته اصلی روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه‌اند. اصطلاح روش‌های کلاسیک بابت ایجاد تمایز از روش‌های تکاملی است (Villalta, 2009). کوهن (۱۹۸۵) این روش‌ها را به دو دسته تقسیم کرده است: روش‌های مولد[2] و روش‌های مبتنی بر ارجحیت.[3] روش‌های مولد برای تصمیم‌گیرنده. تعداد کمی جواب‌های نامغلوب تولید می‌شود که شخص تصمیم‌گیرنده یکی از جواب‌ها را انتخاب می‌کند. در این روش‌ها از دانش یا اطلاعاتی اولیه در خصوص اهمیت نسبی اهداف استفاده نمی‌شود. اما در روش‌های مبتنی بر ارجحیت، اهمیت نسبی اهداف مدّ نظر قرار می‌گیرد (Deb, 2001). روش‌های زیادی تا به حال در تحقیقات استفاده شده‌اند که در زمره روش‌های کلاسیک قرار می‌گیرند، مانند روش مجموع وزنی[4] روش ε- محدودیت، روش وزنی متریک[5] روش اندازه وزنی چرخشی[6]، روش بنسون[7]، روش تابع ارزش[8]، روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی[9] و روش نیل به مقصود[10]. روش‌های کلاسیک اصطلاحاً روش‌های تجزیه[11] نیز نامیده می‌شوند؛ یعنی اینها مسائل چندهدفه را به تک‌هدفه تبدیل و آنها را حل می‌کنند؛ که البته با عوض کردن پارامترهای مرتبط، جواب‌های مختلف به‌دست می‌آید. در این مطالعه برای

1. Pareto optimal solutions
2. Generating
3. Preference Based
4. Weighted sum
5. Weighted metric
6. Rotated weighted metric
7. Benson's
8. Value function
9. Goal programming
10. Goal attainment
11. Decomposition

تعیین مساحت بهینه هر کلاس کاربری اراضی از روش نیل به مقصود استفاده شده است.

۳-۳-۲- روش نیل به مقصود

روش نیل به مقصود به لحاظ مفهومی به مانند روش برنامه‌ریزی آرمانی، به دنبال یافتن جواب‌هایی است که موجب کاهش انحراف از اهداف از پیش تعیین‌شده گردد. در این روش از مجموعه‌ای از آرمان‌ها استفاده می‌شود، $F^* = \{F_1^*, F_2^*, ..., F_3^*\}$، که با مجموعه‌ای از اهداف مرتبطاند $F(x) = \{F_1(x), F_2(x), ..., F_m(x)\}$. اطلاعات مربوط به اهمیت نسبی اهداف به‌وسیله بردار ضرایب وزنی، $w = \{w_1, w_2, ..., w_m\}$، اعمال می‌شود. فرم استاندارد مدل نیل به مقصود در ادامه درج می‌گردد (Villalta Calderon, 2009):

رابطه (۲)

$$\text{Minimize } \gamma;$$

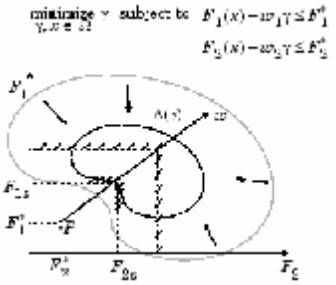
$$\text{where } \gamma \in \Re$$

$$\text{Subject to:}$$

$$F_i(x) - w_i * \gamma \le \gamma \le F_i^*; \forall i = 1, ..., m$$

عبارت $w_i * \gamma$ نمایانگر مازاد مقدار هدف بر آرمان F_i^* است و بردار وزن w میزان بده بستان[1] بین توابع هدف را تعیین می‌کند.

نمایش هندسی روش نیل به مقصود در مسئله‌ای دو هدفه در شکل ۴ نشان داده شده است.

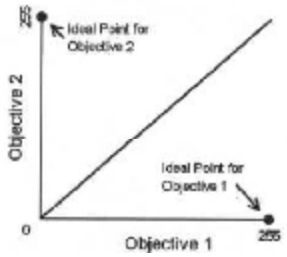


شکل ۴. نمایش هندسی روش Goal attainment
(اقتباس از راهنمای نرم‌افزار Matlab)

۳-۳-۳- روش MOLA

در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی سیستم اطلاعات مکانی به عنوان نوعی تکنولوژی یا فناوری و ابزار تحلیلی، بستری مناسب را برای تصمیم‌گیری مستدل‌تر و منطقی‌تر، به‌ویژه در مسائل چندمعیاره و چندهدفه در زمینه مدیریت محیط زیست فراهم آورد. گرچه اغلب تصمیم‌گیری‌ها در خارج محیط GIS براساس برنامه‌نویسی ریاضی انجام می‌شد اما رویه‌های پشتیبان تصمیم به آرامی در حال یکپارچه شدن با سیستم‌های اطلاعات مکانی بودند. آزمایشگاه کلارک واقع در دانشگاه کلارک که از پیشگامان توسعه رویه‌های تصمیم‌سازی مشارکتی GIS به شمار می‌آید، روش MOLA را برای تخصیص با اهداف متضاد ارائه کرد.

در روش MOLA ابتدا هر یک از اهداف در مسئله ارزیابی چندمعیار[2] ایجاد می‌شوند. منطق اساسی MOLA در مواجهه با اهداف متضاد همانند مسئله تک‌هدفه، استفاده از رویه مرتب‌سازی طبقه‌بندی مجدد[3] است. مشکل مشخصاً در نواحی‌ای است که در آنها تضاد وجود دارد. MOLA برای تخصیص سلول‌های متضاد یک خط تصمیم را به کار می‌گیرد که کل فضای تصمیم را به دو بخش تقسیم می‌کند. برای هر تابع هدف یک نقطه ایده‌آل[4] در نظر گرفته می‌شود که برای آن هدف از همه مناسب‌تر است، و کمترین تناسب را در هدف دیگر دارد (شکل ۵). سپس خط تصمیم تخصیص بهینه هر سلول براساس منطق کوتاه‌ترین فاصله تا نقطه ایده‌ال[5] انجام می‌گیرد (Eastman, Toledano et al., 1993).



شکل ۵. خط تصمیم در روش MOLA
(اقتباس از (Eastman, Toledano et al., 1993))

1. Tradeoffs
2. Multi-Criteria Evaluation Problem
3. RANK / RECLASS
4. Ideal Point
5. Minimum.Distance.To.Ideal.Point

۴- پیاده‌سازی مدل

آخرین مرحله قبل از اجرای مدل‌های بهینه‌سازی، ساخت مدل ریاضی[1] شامل متغیرهای تصمیم[2]، توابع هدف و محدودیت‌ها است.

۴-۱- متغیرهای تصمیم

سه کلاس غالب کاربری اراضی در زیرحوضه کویین به عنوان متغیرهای تصمیم در تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی چندهدفه در نظر گرفته شدند.

X۱: مساحت بهینه کلاس اراضی کشاورزی آبی و باغ‌ها؛ X۲: مساحت بهینه کلاس اراضی کشت دیم؛ X۳: مساحت بهینه کلاس اراضی مرتع.

۴-۲- توابع هدف

توابع هدف در نظر گرفته شده شامل حداقل‌سازی میزان فرسایش و حداکثرسازی بازده اقتصادی است.

Z۱: تابع هدف میزان کل فرسایش؛ و Z۲: تابع هدف میزان کل بازده اقتصادی.

۴-۳- محدودیت‌ها

دو نوع مختلف از محدودیت برای مدل در نظر گرفته شد: نوع اول شامل محدودیت‌های سیستم[3] مربوط به حداقل مساحت‌های مورد نیاز کاربری‌های مختلف و کل مساحت برای مدیریت و توسعه بهینه کاربری اراضی است؛ و نوع دوم شامل محدودیت‌های هدف[4] است. محدودیت‌های در نظر گرفته شده بدین شرح‌اند:

محدودیت ۱: حداکثر مساحت مجاز برای توسعه کاربری‌های مختلف که برابر است با کل مساحت زیرحوضه، منهای سطح مربوط به رودخانه؛

محدودیت ۲: حداقل و حداکثر مساحت کاربری کشاورزی آبی؛

محدودیت ۳: حداقل و حداکثر مساحت کاربری کشت دیم؛

محدودیت ۴: حداقل و حداکثر مساحت کاربری مرتع؛

محدودیت ۵: حداکثر فرسایش مجاز؛

محدودیت ۶: حداقل بازدهی اقتصادی؛ و

محدودیت ۷: غیرمنفی.

مدل ریاضی نهایی در حوضه آبخیز کویین بدین صورت ایجاد شد:

رابطه (۳) $\mathrm{Min}(-Z_t) = -5/46X_t - 2/71X_2 - 0/74X_2$

رابطه (۴) $\mathrm{Min}(Z_2) = 7/19X_t + 9/708X_2 + 6/01X_2$

محدودیت‌های مسئله نیز بدین صورت آمده است:

رابطه (۵) $1- X_1 + X_2 + X_2 = 8210/46\mathrm{ha}$

رابطه (۶) $2- 716/71 \le X_1 \le 1405$

رابطه (۷) $3- 0 \le x_2 \le 338\mathrm{ha}$

رابطه (۸) $4- 6519/1 \le X_2 \le 7493/75\mathrm{ha}$

رابطه (۹) $7/19X_1 + 9/708X_2 + 6/01X_2 \le 53787$

رابطه (۱۰)

$6- -5/46X_1 - 2/71X_2 - 0/74X_2 \le -11390/65$

رابطه (۱۱) $7- X_1 \times X_2 \times X_2 \ge 0$

رابطه (۱۲) $8- F_1^* = -14000$

رابطه (۱۳) $9- F_1^* = 50000$

۵- نتایج و بحث

به منظور افزایش بازدهی اقتصادی و کاهش فرسایش در زیرحوضه کویین سه کلاس اصلی کاربری اراضی در این مطالعه در نظر گرفته شدند: کشاورزی آبی، کشاورزی دیم و اراضی مرتعی. همان‌گونه که پیش از این نیز در جدول ۱ نشان داده شد اراضی مرتعی با ۷۹ درصد، بیشترین مساحت از منطقه را در بر گرفته است. کشت دیم و کشاورزی آبی به ترتیب با ۱۱/۸ و ۸/۷ درصد از کل مساحت سه کلاس در نظر گرفته شده، در رده‌های بعدی قرار دارند.

1. Mathematical model
2. Decision Variable
3. System constraints
4. Goal constraints

جدول ۳. میزان فرسایش و سود در وضعیت کاربری موجود زیرحوضه کویین

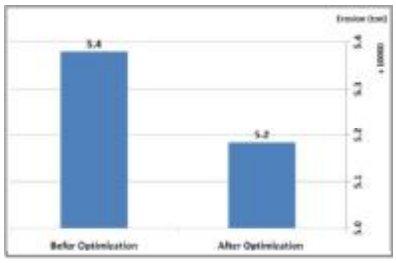
کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	فرسایش (تن در هکتار در سال)	سود خالص (ریال در هکتار در سال 10^3)	فرسایش سالانه (تن)	سود کل (ریال در سال 10^6)
اراضی آبی	۷۱۶/۷۱	۷/۱۹	۵۴۶۳/۱	۵۱۵۳/۱۴	۳۹۱۵/۴۶
اراضی دیم	۹۷۴/۶۵	۹/۷	۲۷۰۸/۱	۹۴۵۴/۱۱	۲۶۳۹/۴۵
مرتع	۶۵۱۹/۱	۶/۰۱	۷۴۱/۷۸	۳۹۱۷۹/۷۹	۴۸۳۵/۷۴
کل	۸۲۱۰/۴۶			۵۳۷۸۷/۰۴	۱۱۳۹۰/۶۵

جدول ۴. میزان فرسایش و سود بعد از اجرای مدل بهینه‌سازی در حوضه آبخیز طالقان

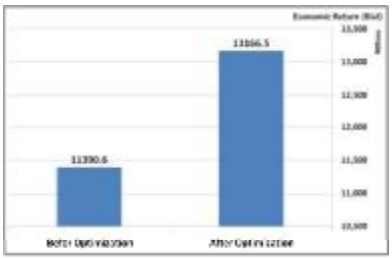
کاربری اراضی	مساحت(هکتار)	درصد مساحت	فرسایش سالانه (تن)	سود کل (ریال در سال 10^6)
اراضی آبی	۱۴۰۵	۱۷/۱۱	۱۰۱۰۱/۹۵	۷۶۷۵/۶۶
اراضی دیم	۲۲۵/۱۳	۲/۷۴	۲۱۸۳/۷۶	۶۰۹/۶۷
مرتع	۶۵۸۰/۳۳	۸۰/۱۵	۳۹۵۴۷/۷۸	۴۸۸۱/۱۶
کل	۸۲۱۰/۴۶	۱۰۰/۰۰	۵۱۸۳۳/۴۹	۱۳۱۶۶/۴۹

اطلاعات و محاسبات نرخ فرسایش در منطقه و همچنین بازدهی اقتصادی قبل و بعد از اجرای مدل بهینه‌سازی در جدول‌های ۳ و ۴ درج شده است. طبق جدول ۳ کشت دیم با ۹/۷ تن در هکتار دارای بالاترین نرخ فرسایش است؛ کشاورزی آبی با نرخ فرسایش ۷/۱۹ تن در هکتار در رتبه دوم قرار دارد؛ و کمترین میزان فرسایش (۶/۰۱ تن در هکتار) متعلق به اراضی مرتعی است. بررسی ستون جدول ۳ نشان می‌دهد که بیشترین میزان بازده اقتصادی مربوط به کشاورزی آبی با ۵۴۶۳/۱ میلیون ریال در هکتار است و کشت دیم و مرتع به ترتیب با بازدهی اقتصادی ۲/۷ و ۰/۷۴ میلیون ریال در هکتار در رده‌های بعدی قرار دارند. بررسی دو ستون آخر جدول ۳ حاکی از آن است که کاربری مرتع اگر چه دارای کمترین نرخ فرسایش و بازدهی اقتصادی است اما چون بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه (جدول ۱) را اشغال کرده است، دارای بیشترین فرسایش سالانه و سود کل است. نتایج حاصل از اجرای مدل بهینه‌سازی نیل به مقصود نشان داد که نسبت بهینه مساحت (درصد) کاربری‌های کشاورزی آبی، کشت دیم و مرتع در زیرحوضه کویین به ترتیب ۱۷/۱۱، ۲/۷۴، ۸۰/۱۵ درصد است که موجب کاهش فرسایش و افزایش بازدهیِ‌اقتصادی نسبت به وضع موجود می‌شود (جدول ۳).

مقایسه جدول‌های ۲ و ۳ حاکی از آن است که میزان فرسایش بعد از انجام بهینه‌سازی نسبت به وضع موجود، با ۳/۶ درصد کاهش از ۵۳۷۸۷ به ۵۱۸۳۳/۵ تن در سال کاهش یافته است. نتیجه حاصل با یافته‌های تحقیقات (Agharazi and Ghoddosi, 2001; Ebrahimi, Davoodi et al., 2001; Mohseni, Ahmadi et al.,2002; Jalili, Sadeghi et al., 2007) در زمینه بهینه‌سازی تخصیص کاربری اراضی ـ که کاهش فرسایش از اهداف آن بوده است ـ هم‌خوانی دارد. میزان بازدهی اقتصادی نیز بعد از بهینه‌سازی با افزایش ۱۳/۵ درصدی از 6^10* 11390.65 ریال به 6^10* 13166.49 ریال رسیده است. در تحقیقی که (Jalili, Sadeghi et al., 2007) در حوضه بریموند کرمانشاه انجام داده بودند به نتایج مشابهی دست یافتند. شکل ۶ (الف و ب) میزان کل تغییرات فرسایش و بازدهی اقتصادی را قبل و بعد از بهینه‌سازی در زیرحوضه کویین نشان می‌دهد.



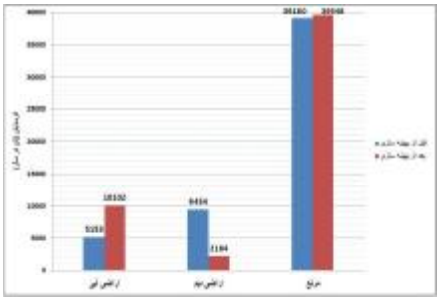
(الف)



(ب)

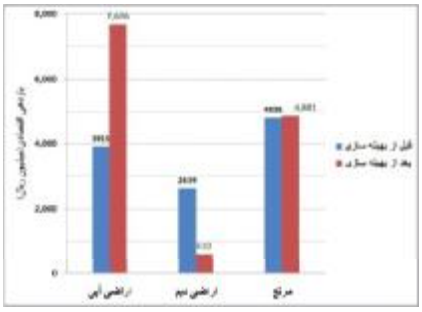
شکل ۶. میزان تغییرات فرسایش (الف) و بازدهی اقتصادی (ب) قبل و بعد از بهینه‌سازی

مقایسه سطوح اختصاص‌یافته به هر کاربری در قبل و بعد از بهینه‌سازی (جدول‌های ۲ و ۳) مشخص می‌کند که مساحت کاربری کشت دیم رو به کاهش نهاده و مساحت کاربری‌های مرتع و کشاورزی آبی افزایش یافته است، به طوری که مساحت تحت کشت دیم با کاهش ۷۷ درصدی مواجه است اما اراضی آبی و مرتعی به ترتیب ۹۶ و ۱ درصد افزایش مساحت خواهند داشت. درواقع کاهش میزان فرسایش کشت دیم بعد از بهینه‌سازی به میزان ۱۹۵۳ تن در سال ناشی از کاهش مساحت این کلاس کاربری است. وضعیت فرسایش هر کلاس کاربری اراضی قبل و بعد از بهینه‌سازی در زیرحوضه کویین در شکل ۷ نشان داده شده است.



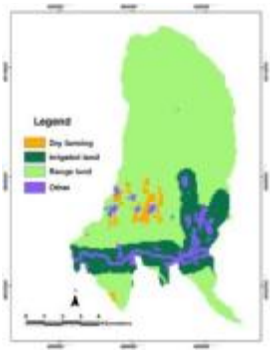
شکل ۷. تغییرات میزان فرسایش قبل و بعد از بهینه‌سازی

بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل و تأثیر تغییر مساحت کاربری‌ها بر میزان بازدهی اقتصادی، حاکی از آن است که در صورت تغییر الگوی فعلی کاربری اراضی به الگوی بهینه، در اراضی آبی و مرتعی افزایش بازدهی اقتصادی و در اراضی کشت دیم کاهش بازدهی اقتصادی ایجاد خواهد شد (شکل ۸).



شکل ۸. تغییرات میزان سوددهی قبل و بعد از بهینه‌سازی کاربری

بعد از تعیین مساحت بهینه کاربری‌های مختلف، تعیین الگوی مکانی بهینه براساس روش بهینه‌سازی چندهدفه MOLA انجام شد (شکل ۹). شکل مذکور نشان می‌دهد که کلاس غالب منطقه کاربری مرتع است که شمال و جنوب حوضه را در بر می‌گیرد. تخصیص بهینه کلاس کشاورزی آبی در اطراف خط‌القعر حوضه و قسمت‌هایی از شرق حوضه است. همچنین نواحی بهینه برای کشاورزی دیم به صورت پراکنده بیشتر در مرکز و البته شرق حوضه‌اند.



شکل ۹. نقشه کاربری اراضی بعد از بهینه‌سازی

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تعیین مساحت بهینه و تخصیص بهینه مکانی سه کلاس اصلی کاربری اراضی شامل کشاورزی آبی، کشت دیم و اراضی مرتعی به منظور افزایش بازدهی اقتصادی و کاهش فرسایش با ترکیب دو روش بهینه‌سازی چندهدفه نیل به مقصود و MOLA در زیرحوضه کویین انجام شد. بهینه‌سازی چندهدفه ریاضی مساحت با استفاده از مدل نیل به مقصود و بهینه‌سازی تخصیص مکانی کاربری اراضی نیز با استفاده از روش MOLA و براساس نتایج روش نیل به مقصود انجام گرفت.

نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که برای رسیدن به وضعیت بهینه باید مساحت کشت دیم کاهش یابد و به مساحت دو کلاس دیگر افزوده شود، به طوری‌که اگر در حالت بهینه نسبت مساحت کاربری‌های کشاورزی آبی، کشت دیم و مرتع در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۷/۱۱، ۲/۷۴، ۸۰/۱۵ درصد باشد، کاهش فرسایش و افزایش بازدهی اقتصادی در قیاس با وضع موجود مشاهده می‌شود. همان‌گونه که در بخش نتایج اشاره شده است، در صورت تغییر الگوی فعلی کاربری اراضی به الگوی بهینه، امکان کاهش ۳/۶ درصدی فرسایش خاک وجود و افزایش درآمد اقتصادی به میزان ۱۳/۵ درصد وجود دارد.

ترکیب MOLA و GoAtt دو مزیت داشت: نخست اینکه با استفاده از مدل نیل به مقصود مساحت بهینه کاربری‌های مختلف با در نظر گرفتن توابع هدف و محدودیت‌های مساحتی تعیین گردید. همچنین مساحت‌های بهینه حاصل از روش مذکور به‌کارگیری روش MOLA به صورت بهینه توزیع شدند. به عبارتی، نقشه نهایی کاربری اراضی ـ چه به لحاظ مساحتی و چه از نظر مکانی ـ بهینه است.

۷- منابع

Agharazi H. and Ghoddosi J., 2001, **Assessment of Relationship between Land Use and Slope with Erosion and Sediment Production,** National Conference on Land Management- Soil erosion and sustainable development.

Arzani, H., MirAkhoorlou K. et al., 2009, **Land Use Mapping Using The Landsat 7 (ETM+) Data (part of the ranges of the Taleghen Basin),** Iranian Journal of Rang and Desert Research 16(2): 150-160.

Briasouli, E., 2000, **Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches**, Web Book of Regional Science, S. Loveridge, ed. Regional Research Institute, West Virginia University, from http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoul_is/contents. htm.

Deb, K., 2001, **Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms**, John Wiley & Sons, Inc.

Eastman, J.R., Toledano J. et al., 1993, **Participatory Multi-Objective Decision-Making in GIS.** The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University.

Ebrahimi N., Davoodi A.A. et al., 2001, **Effect of Different Exploitation of Land on Erosion and Sedimentation in the Ghareh Kahriz watershed of Arak,** National Conference on Land Management- Soil erosion and sustainable development.

Gabriel S.A., Faria J.A. et al., 2006, **A Multiobjective Optimization Approach to Smart Growth in Land Development.**, Socio-Economic Planning Sciences, 40(3): 212-248.

Jalili KH., Sadeghi S.H.R. et al., 2007, **Land Use Optimization of Watershed for Soil Erosion Minimization Using Linear Programming (a Case Study of Brimvand Watershed, Kermanshah Province),** Journal of Agricultural Science and Technology 10(4): 15-27.

Mohseni S.M., Ahmadi H. et al., 2002, **Final Report of Reasearch Project: Optimization of Landuse for Soil Erosion Minimum by using Geographic Information System in Taleghan Watershed (in Farsi, with English Abstr.).**

MWASI B., 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.

Pakdaman N. and Najafi B., 2009, **Application of Decisive and Fuzzy Mathematical Programming in Cropping Pattern: A Case Study in Nilab Palin in Isfahan Province.** Journal of Agricultural Economics Researches, 1(2): 121-139.

Pourmohammadi M., 2007, **Urban Land Use Planning**, SAMT.

Sabuhi M. and Khosravi M., 2009, **Economical and Environmental Optimal Farming Pattern in the Zarghan Plain,** Crop and Weed Ecophysiology (Journal of Agricultural Sciences), 3(11): 61-70.

Sadeghi, S.H.R., K. Jalili et al., 2009, **Land Use Optimization in Watershed Scale**, Land Use Policy, 26(2): 186-193.

Santé-Riveira, I., M. Boullón-Magán et al., 2008, **Algorithm Based on Simulated Annealing for Land-use Allocation,** Computers & amp; Geosciences, 34(3): 259-268.

Shaygan, M., Alimohammadi A. et al., Accepted in 2011, **Multi-Objective Optimization Approach for Land Use Allocation Using Nsga-II**, Iranian Journal of Remote Sensing and GIS.

Stewart, T. J., Janssen R. et al., 2004, **A Genetic Algorithm Approach to Multiobjective Land Use Planning**, Comput. Oper. Res, 31(14): 2293-2313.

Terrence J.T., Geoge R.F. et al., 2001, **Soil Erosion**, John Wiley and Sons INK. USA.

Villalta Calderon, C. A., 2009, **Multi-Objective Optimization Approach for Land Use Allocation Based on Water Quality Criteria**, Civil Engineering. Puerto Rico, University of Puerto Rico. Doctor of Philosophy: 441.

Xiaoli, L., Chen Y. et al., 2009, **A Spatial Decision Support System for Land-use Structure optimization,** W. Trans. on Comp., 8(3): 439-448.