نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۱، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحات ۲۵۲-۲۶۳

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 11, Issue 1, 2019, Pages 252-263
DOI: 10.22092/ijwmse.2019.118435

مقایسه الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی خطی برای حل مسائل بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه‌های آبخیز

آرزو خیرخواه*[۱]، هادی معماریان[۲] و سید محمد تاجبخش[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند و [۲،۳] استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۷

چکیده

بهره‌برداری صحیح و اصولی از منابع طبیعی باعث حفظ این ثروت‌های ارزشمند می‌شود و به‌کارگیری دانش بهینه‌سازی می‌تواند کمک مؤثری در این راستا باشد. بر همین اساس، هدف از این مطالعه مقایسه الگوریتم تکاملی ژنتیک و روش کلاسیک برنامه‌ریزی خطی در بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز بایگ می‌باشد. نتایج مطالعه نشان داد که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی با برنامه‌ریزی خطی مساحت زراعت دیم کاهش و زراعت آبی افزایش می‌یابد. بعد از کمینه‌سازی، رواناب سطحی و رسوب‌دهی کل حوضه به‌ترتیب ۱/۱۶ و ۱۲/۹۱ درصد کاهش خواهد یافت. در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی با الگوریتم ژنتیک، مساحت مرتع و زراعت آبی افزایش پیدا کرده، مساحت باغ آبی، بادام‌کاری و زراعت دیم کاهش می‌یابد. ضمن این‌که بعد از بهینه‌سازی، رواناب سطحی و رسوب‌دهی کل حوضه به‌ترتیب ۱۳/۹۵ و ۳۱/۹۹ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج همچنین نشان داد که برنامه‌ریزی خطی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک، در تامین محدودیت‌ها بسیار بهتر عمل کرد و قید مساحت مجموع کاربری‌ها در برنامه‌ریزی خطی تامین ولی در الگوریتم ژنتیک برآورده نشد. نتایج به‌دست آمده از تحلیل حساسیت نشان داد که حساس‌ترین ضریب در تابع کمینه‌سازی رواناب و رسوب‌دهی، ضریب مربوط به زراعت دیم با هزینه کاهش یافته برابر با ۶۷/۵۲ است. همچنین، نتایج گویای آنست که محدودیت سطوح کل کاربری‌ها و محدودیت کمینه سطوح مراتع به‌ترتیب با قیمت سایه‌ای ۳۹۷/۴۰ و ۲۳۳/۲۸ بیشترین تأثیر منفی را بر جواب بهینه و محدودیت‌های بیشینه سطح کاربری باغات آبی و محدودیت بیشینه سطح کاربری بادام‌کاری به‌ترتیب با قیمت سایه‌ای ۱۳۴/۹۷- و ۱۱۸/۴۴- بیشترین تأثیر مثبت را بر جواب بهینه خواهند داشت. به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی، می‌توان بیان کرد که الگوریتم‌های تکاملی (مانند الگوریتم ژنتیک) زمانی که با مسائلی که دارای محدودیت‌های زیاد هستند مواجه می‌شوند، در مقایسه با تکنیک‌های کلاسیک بهینه‌سازی ضعیف‌تر عمل می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، حوزه آبخیز بایگ، رواناب سطحی، رسوب‌دهی، کمینه‌سازی

مقدمه

رشد سریع جمعیت انسانی زیربنای بسیاری از مشکلات زیست محیطی است (Ardakani، ۲۰۰۳). افزایش روزافزون جمعیت، فشار بر عرصه‌های طبیعی را افزایش داده و بهره‌برداری بی‌رویه و غیر اصولی از اراضی و تغییر کاربری‌ها باعث عکس‌العمل‌های

* مسئول مکاتبات: arezookheyrkhah@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

متفاوت اکوسیستم‌ها شده است (Lu و Weng، ۲۰۰۷). بنابراین، در شرایط رشد روز افزون جمعیت انسانی گریزی نخواهد بود مگر این‌که با برنامه‌ریزی منسجم و قانونمند در مدیریت منابع طبیعی با هدف کنترل، احیاء و حفاظت در راستای استفاده بهینه از این منابع به‌صورت پویا برنامه‌ریزی کرد (Memarian و همکاران، ۲۰۱۴).

با وجود مدیریت صحیح نیز برخی تخریب‌ها در منابع طبیعی صورت می‌گیرد. از جمله فرسایش طبیعی یا فرسایش زمین‌شناسی است که تحت تأثیر فعالیت‌های زیان‌آور انسانی پدید آمده، از کنترل انسان خارج است. برخلاف این، وقتی تعادل طبیعی به‌وسیله فعالیت‌های انسانی مانند قطع وسیع جنگل‌ها، تسطیح، کشت و کار و ... به‌هم می‌خورد، پدیده فرسایش خاک سرعت می‌گیرد. یک سانتی‌متر خاک سطحی که ممکن است در مرور سال‌ها شکل گرفته باشد، تنها در یک سال هدر می‌رود. این فرسایش سریع به‌عنوان یک نتیجه از مداخله انسان به‌عنوان فرسایش تشدیدی شناخته شده است (Triphati و Singh، ۲۰۰۱؛ Singh و Singh، ۱۹۹۹). امروزه سرعت فرسایش خاک، از سرعت تشکیل خاک پیشی گرفته، در نتیجه زوال منابع خاک و کاهش پتانسیل تولید را به‌دنبال دارد. این تفاوت کلی بین سرعت فرسایش و تشکیل خاک، معمولاً در نتیجه فعالیت‌های انسانی حادث می‌شود (Jalili، ۲۰۰۴). بنابراین، استفاده از اراضی بر حسب استعداد و قابلیت آن‌ها در چارچوب یک برنامه‌ریزی صحیح مدیریتی می‌تواند از شدت تخریب و هدررفت منابع بکاهد (Chapi، ۱۹۹۸؛ Shabab Tabari، ۱۹۹۴؛ Mousavi و Zakizadeh، ۱۹۹۴). در این راستا، توسعه پایدار و استفاده بهینه از منابع طبیعی یکی از یافته‌های انسان در دهه‌های اخیر بوده (Hassanzadeh، ۲۰۰۱؛ Rabet، ۲۰۰۱) که آن‌را استفاده مؤثر از منابع موجود بدون آسیب رساندن به دارایی‌ها و منابع نسل‌های آینده تعریف کرده‌اند (Clark، ۱۹۹۶). برای دست‌یابی به این توسعه در بخش کشاورزی، مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی مناسب کاربری اراضی لازم است (Malhortra، ۱۹۸۰). بنابراین، مدیریت علمی و بهینه کشاورزی و منابع طبیعی از مؤلفه‌های مهم توسعه پایدار است. در این راستا، با استفاده از مفهوم بهینه‌سازی که در واقع دست‌یابی به مناسب‌ترین مقدار خروجی یک سامانه با توجه به محدودیت‌های حاکم بر آن می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که بهینه‌سازی کاربری اراضی یکی از راه‌کارهای مناسب برای حفاظت خاک است که به مدیران آبخیز و تصمیم‌گیران این اختیار را می‌دهد تا از بین گزینه‌های مختلف کاربری اراضی بهترین آن‌ها را اتخاذ کنند (Riedel، ۲۰۰۳). برای اولین بار الگوریتم برنامه‌ریزی خطی[1] در بهینه‌سازی کاربری اراضی توسط Nikkami و همکاران (۲۰۰۲) ارائه شد.

کاربری اراضی بر روی واحدهای مختلف زمین می‌تواند با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی برای افزایش درآمد حاصل از کاربری زمین و کاهش تأثیرات زیست محیطی بهینه شود (Riedel، ۲۰۰۳). امروزه جوهره علم مدیریت در شیوه مدل‌سازی متجلی است و روش‌های برنامه‌ریزی در جهت تخصیص بهینه منابع کمیاب برای به‌دست آوردن بیشترین منافع از مهمترین ابزارهای کاربردی علم مدیریت به‌شمار می‌رود (Mohseni Saravi و همکاران، ۲۰۰۳).

با پیشرفت‌های علمی و تلاش محققان در دهه‌های اخیر، روش‌های نوینی در برنامه‌ریزی به‌وجود آمده که با به‌کارگیری آن‌ها در شرایط تضاد داشتن اهداف مورد نظر مدیران و محدود بودن منابع تولید، می‌توان بهترین جواب‌ها را برای دست‌یابی به هدف‌ها پیدا کرد (Asadpour، ۱۹۹۷؛ Chizari و Ghasemi، ۱۹۹۹؛ Aouni و همکاران، ۱۹۹۷) در زمینه بهینه نمودن مسایل موجود در حوزه‌های آبخیز، تکنیک‌های فراوانی وجود دارد که در این میان روش‌های برنامه‌ریزی خطی[2]، برنامه‌ریزی آرمانی[3]، برنامه‌ریزی آرمانی وزنی[4] و برنامه‌ریزی فازی آرمانی[5] و الگوریتم‌های تکاملی[6] به‌عنوان روش‌های بهینه‌سازی کاربرد گسترده‌ای در مطالعات کاربری اراضی حوزه‌های آبخیز دارند.

به‌عنوان مثال Nikkami (۲۰۰۲)، مدل بهینه-سازی را برای کاهش تأثیرات محیطی و اقتصادی

[1] Liner programming
[2] Liner programming
[3] Goal programming
[4] Weighted goal programming
[5] Fuzzy goal programming
[6] Evolutionary algorithm

Archive of SID

www.SID.ir

فرسایش خاک ناشی از مدیریت نامناسب فعالیت‌های کاربری اراضی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی چند منظوره در یکی از زیرحوزه‌های آبخیز دماوند انجام و نتیجه گرفتند که بهینه‌سازی کاربری اراضی باعث کاهش پنج درصد در تولید رسوب و افزایش ۱۳۴ درصد در سود سالانه در منطقه مورد مطالعه می‌شود. کاربرد برنامه‌ریزی خطی به‌وسیله Yeo و همکاران (۲۰۰۴)، به‌منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی برای کاهش رواناب استفاده شد. نتیجه این پژوهش این بود که در صورت بهینه‌کردن سطوح کاربری اراضی، میزان رواناب ۲۰-۱۵ درصد کاهش می‌یابد. Liu و Stewart (۲۰۰۴)، مدل برنامه‌ریزی خطی چند منظوره را برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در شمال چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که حفاظت خاک، امنیت غذایی و درآمد مردم روستانشین در صورت استفاده درست از منابع، به‌طور پایدار بهبود می‌یابد. Owji و همکاران (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای تحت عنوان کمینه‌سازی رواناب و رسوب‌دهی به‌کمک بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوزه آبخیز جاجرود با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی به این نتیجه رسیدند که در صورت بهینه‌سازی کاربری اراضی، مساحت اراضی زراعت آبی و مراتع کاهش و سطح اراضی باغی افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج نشان داد که بعد از بهینه‌سازی، رواناب سطحی و رسوب‌دهی کل حوضه به‌ترتیب ۷۳/۰۳ و ۳۶/۹۳ درصد کاهش خواهد یافت. Singh و Singh (۱۹۹۹)، مدل برنامه‌ریزی خطی چند منظوره را برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در شمال چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که در صورت استفاده درست از منابع، حفاظت خاک، امنیت غذایی و درآمد مردم روستانشین، به‌طور پایدار بهبود می‌یابد. Nikkami و همکاران (۲۰۰۹) از برنامه‌ریزی خطی چند هدفه در حوزه آبخیز خارستان در شمال غرب شهرستان اقلید استان فارس استفاده کردند. ایشان با در نظر گرفتن سه سناریوی، الف) وضعیت کنونی کاربری‌ها و بدون اعمال مدیریت اراضی، ب) وضعیت کنونی کاربری‌ها و اعمال مدیریت اراضی و ج) وضعیت استاندارد کاربری‌ها و مطابق با اصول و معیارهای علمی، سطح بهینه کاربری اراضی را به‌منظور کاهش میزان فرسایش و بالا بردن درآمد ساکنین حوضه معین کردند.

Shaygan و همکاران (۲۰۱۱) از یک مدل بهینه‌سازی چند هدفه در زیرحوضه کوبین به‌منظور تخصیص کاربری اراضی با روش الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا[1] با هدف کاهش فرسایش و افزایش بازدهی اقتصادی استفاده کردند. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داد که بهینه‌سازی کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه، علاوه بر کاهش فرسایش، موجب فزونی میزان سوددهی کلی نیز شده است. همچنین، محاسبات نشان داد که مقدار رواناب کاهش یافته است و این با کاهش فرسایش هم‌خوانی دارد. مرور منابع نشان می‌دهد که در بیشتر مطالعات انجام شده از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی کاربری اراضی از کمینه محدودیت‌ها یا قیود استفاده شده است. به‌عنوان مثال، می‌توان به مطالعات Azamathulla و همکاران (۲۰۰۸) و Jin و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد. در مطالعه دیگری که به‌وسیله Sadegheih و Drake (۲۰۰۱) انجام شده است، نتایج نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری بین دو روش در نتایج بهینه‌سازی نیست و فقط الگوریتم ژنتیک در این مساله خاص (بهینه‌سازی شبکه) که با کمینه قیود همراه است، راحت‌تر به جواب می‌رسد.

در این مطالعه، حوزه آبخیز بایگ در استان خراسان رضوی به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. شواهد نشان می‌دهد که عمده‌ترین مشکل کشاورزی منطقه بایگ، ریسک زیاد شرایط جوی می‌باشد. مشکل تگرگ، سیلاب و سرمازدگی تا حد زیادی کشاورزان را محدود کرده است. کم‌آبی در دیم‌کاری، نوع محصولات و سطح زیر کشت نیز محدودیت‌های دیگر موجود در این حوضه است. چرای بیش از حد دام و آزاد بودن مراتع برای چرا از عوامل مهم فرسایش به شمار می‌رود. برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی حوزه آبخیز بایگ در اثر دخالت‌های بهره‌برداران در طی ۲۰ سال اخیر منجر به تشدید دبی سیلاب‌ها و فرسایش خاک حوضه شده است و وجود ساختار

[1] NSGA-II

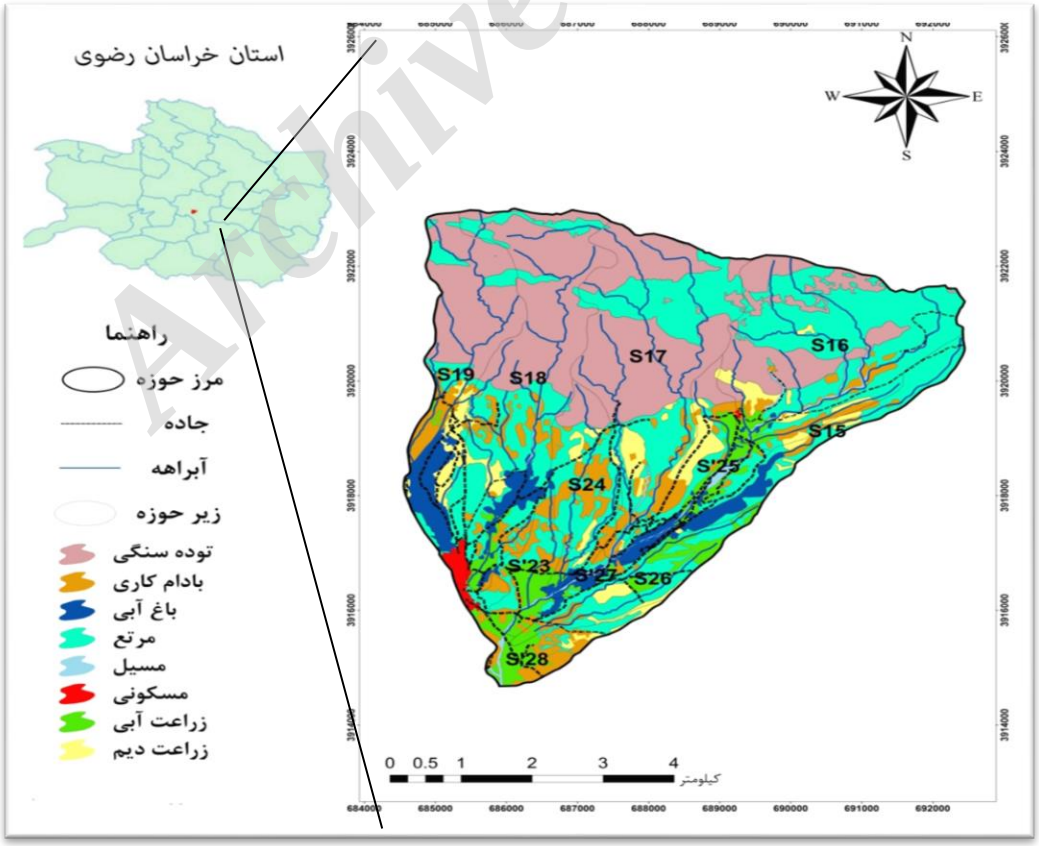
Archive of SID

www.SID.ir

زمین‌شناسی فرسایش‌پذیر متشکل از سازندهای شیلی و مارنی در گستره حوزه آبخیز به این پدیده دامن زده است. در این اراضی هیچ‌گونه عملیات حفاظتی و اصلاحی صورت نگرفته، هر ساله خصوصاً در مدت چرای دام‌ها و زمان کاشت محصول دیم، اراضی تحت بهره‌برداری برای فرسایش بیشتر آمادگی پیدا می‌کنند (Abkhizgostar Shargh Consulting Engineers Co، ۲۰۰۷). تخریب خاک از مهمترین عوامل ایجاد سیلاب است. لذا، فقر پوشش گیاهی، کاهش نفوذپذیری و نحوه ریزش به‌صورت رگبار منجر به‌وقوع سیلاب در حوضه می‌شود. همان‌طور که در بالا ذکر شد، پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد، با استفاده از تکنیک‌های بهینه‌سازی می‌توان سطح کاربری‌ها را به‌شکلی تغییر داد که کمترین رواناب و فرسایش و رسوب تولیدی را داشت. بنابراین، با توجه به تولید بالای رواناب و رسوب در ایران پیداست که کاربرد علم بهینه‌سازی در کاربری اراضی در حوزه‌های آبخیز ایران، از جمله حوزه آبخیز بایگ، لازم و ضروری است. هدف از این پژوهش، مقایسه دو روش بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک در حل مسئله بهینه‌سازی کاربری اراضی با تعداد قیود زیاد به‌منظور کمینه‌سازی میزان رواناب و رسوب‌دهی حوزه آبخیز بایگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز بایگ در دهستان و بخش بایگ به مرکزیت شهر بایگ واقع شده است و دارای مساحت ۳۹/۲۷ کیلومتر مربع می‌باشد و در حد واسط طول جغرافیایی ″۴۸ ′۵۷ °۵۸ الی ″۰۹ ′۰۷ °۵۹ و عرض جغرافیایی ″۴۵ ′۲۹ °۳۵ الی ″۵۵ ′۲۱ °۳۵ قرار گرفته است. متوسط بارندگی سالانه حوضه ۲۸۵/۰۹ میلی‌متر بوده، اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه از نوع خشک سرد می‌باشد. فعالیت‌های عمده این حوضه شامل زراعت (کشت دیم و آبی)، باغداری، دامداری، تولید ابریشم، ابریشم کشی، زنبورداری و پرورش آبزیان و جمع‌آوری گیاهان دارویی است (Abkhizgostar Shargh Consulting Engineers Co، ۲۰۰۷).



شکل ۱- موقعیت حوضه و زیرحوضه‌های شهری بایگ در شهرستان و استان

Archive of SID

www.SID.ir

به‌منظور انجام تحقیق حاضر، در ابتدا کلیه مطالعات موجود جمع‌آوری و بازدیدهای صحرایی انجام شد. برای محاسبه میزان رواناب حاصل از هر هکتار کاربری اراضی در حوضه، از روش استدلالی (McCuen، ۱۹۸۹) و بر اساس ضریب رواناب تعدیل شده عمل شد. برای تعیین میزان رسوبدهی حاصل از هر هکتار از کاربری‌های مختلف زمین در حوضه مطالعاتی نیز از روش پسیاک اصلاح شده (MPSIAC[1]) (Johnson و Gebhardt، ۱۹۸۲؛ Refahi، ۱۹۹۶) استفاده شد.

فرمول‌بندی مساله: مساله بهینه‌سازی کاربری اراضی با هدف کمینه‌سازی رواناب سطحی و فرسایش خاک به‌صورت زیر فرمول‌بندی شد. هدف اول که کمینه‌سازی رواناب سطحی بود، به‌صورت رابطه (۱) ارائه شده است.

$$Min(Z_1) = \sum_{i=1}^{n} Cri\ Xi \quad (۱)$$

که در آن، Z_1 میزان رواناب سالانه حوضه (متر مکعب در سال)، Cri رواناب سالانه در هر کاربری (متر مکعب در هکتار)، Xi مساحت هر کاربری (هکتار)، i شماره کاربری و n تعداد کل کاربری‌ها است.

هدف دوم عبارت بود از کمینه‌سازی رسوب تولیدی که فرمول‌بندی آن در رابطه (۲) ارائه شده است.

$$Min(Z_2) = \sum_{i=1}^{n} Cei\ Xi \quad (۲)$$

که در آن، Z_2 میزان رسوب تولیدی حوضه (متر مکعب در سال)، Cei رسوب تولیدی سالانه در هر کاربری (متر مکعب در هکتار در سال)، Xi مساحت هر کاربری (هکتار)، i شماره کاربری و n تعداد کل کاربری‌ها می‌باشد. محدودیت‌های مدل نیز به‌صورت زیر در نظر گرفته شد (رابطه‌های ۳ تا ۹).

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = B_9 \quad (۳)$$

$$X_1 \le B_2 \quad (۴)$$

$$X_1 \ge B_1 \quad (۵)$$

$$X_2 \ge B_3 \quad (۶)$$

$$X_2 \le B_4 \quad (۷)$$

$$X_3 \ge B_5 \quad (۸)$$

$$X_3 \le B_6 \quad (۹)$$

$$X_4 \le B_7 \quad (۱۰)$$

$$X_5 \le B_8 \quad (۱۱)$$

که در آن‌ها، X_1، X_2، X_3، X_4 و X_5 به‌ترتیب سطح اراضی باغ آبی، مرتع، زراعت آبی، زراعت دیم و بادام-کاری و B_1 تا B_9 به‌ترتیب بیشینه سطح اراضی باغ آبی، کمینه مساحت اراضی باغ آبی، کمینه سطح اراضی مرتعی، بیشینه سطح اراضی مرتعی، کمینه سطح اراضی زراعت آبی، بیشینه سطح اراضی زراعت آبی، بیشینه مساحت اراضی زراعت دیم، بیشینه سطح اراضی بادام‌کاری و مجموع مساحت تمام کاربری‌ها هستند.

کاربرد مدل در حوزه آبخیز: توابع هدف برای حوزه آبخیز بایگ به شکل زیر نوشته شد.

$$Min(Z_1) = 261.82X_1 + 629.37X_2 + 396.80X_3 + 462.45X_4 + 277.51X_5 \quad (۱۲)$$

$$Min(Z_2) = 0.61X_1 + 1.30X_2 + 0.60X_3 + 2.47X_4 + 1.45X_5 \quad (۱۳)$$

که در آن‌ها، Z_1 میزان رواناب تولیدی حوضه (متر مکعب بر هکتار در سال)، Z_2 میزان رسوب تولیدی حوضه (متر مکعب بر هکتار در سال) و X_1، X_2، X_3، X_4 و X_5 به‌ترتیب سطح اراضی باغ آبی، مرتع، زراعت آبی، زراعت دیم و بادام‌کاری (بر حسب هکتار) است.

محدودیت‌های زیر برای توابع هدف تعریف شده‌اند.

محدودیت اول این است که سطح کل کاربری‌ها باید ۲۶۱۴/۳۴ هکتار باشد.

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 = 2614.3377 \quad (۱۴)$$

دومین محدودیت مربوط به بیشینه سطح اراضی باغ آبی است و بر اساس نقشه قابلیت اراضی، بیشینه اراضی که می‌توانند به باغ تبدیل شوند، ۲۱۱/۰۵ هکتار است.

$$X_1 \le 211.05 \quad (۱۵)$$

محدودیت سوم مربوط به کمینه سطح اراضی باغ آبی است که باید بیشتر از ۱۹۱/۷۴ هکتار باشد.

$$X_1 \le 191.74 \quad (۱۶)$$

محدودیت چهارم در رابطه با کمینه سطح اراضی مرتعی است که بر اساس مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی نباید از ۱۴۷۸/۲۵ هکتار کمتر باشد.

$$X_2 \ge 1478.25 \quad (۱۷)$$

[1] Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

Archive of SID
www.SID.ir

محدودیت پنجم مربوط به بیشینه سطح اراضی مرتعی می‌باشد که تا مقدار ۱۷۴۷/۱۵ هکتار قابل توسعه می‌باشد.

$$X_2 \le 1747.15 \quad (۱۸)$$

محدودیت ششم مربوط به کمینه سطح اراضی زراعی آبی می‌باشد که بر اساس نقشه قابلیت اراضی نباید از ۲۷۹/۸۵ هکتار کمتر باشد.

$$X_3 \ge 279.85 \quad (۱۹)$$

محدودیت هفتم مربوط به بیشینه سطح اراضی زراعت آبی است که تا ۶۶۷/۵۴ هکتار قابل توسعه می‌باشد.

$$X_3 \le 667.54 \quad (۲۰)$$

محدودیت هشتم مربوط به بیشینه اراضی زراعت دیم می‌باشد و بر اساس نقشه قابلیت اراضی نمی‌تواند از ۲۳۴/۳۶ هکتار تجاوز کند و باید کمتر از ۲۳۴/۳۶ هکتار باشد.

$$X_4 \le 234.36 \quad (۲۱)$$

محدودیت نهم مربوط به بیشینه سطح اراضی بادام‌کاری می‌باشد که از ۴۱۰/۸۲ هکتار نمی‌تواند تجاوز کند و باید کمتر از ۴۱۰/۸۲ هکتار باشد.

$$X_5 \le 410.82 \quad (۲۲)$$

برنامه‌ریزی خطی: برنامه‌ریزی خطی عبارت است از روشی ریاضی برای تخصیص منابع محدود موجود به بهترین صورت ممکن به شرطی که روابط بین عوامل خطی و مستقیم باشند (Jalili، ۲۰۰۴). کلمه خطی در عبارت پیش گفته، دال بر آن است که روابط بین متغیرها در این مدل خاص برنامه‌ریزی، کاملاً باید متناسب و مستقیم باشند (Asgharpour، ۱۹۹۶). برنامه‌ریزی خطی با بهینه کردن (بیشینه یا کمینه) متغیر وابسته‌ای که به‌صورت برنامه‌ریزی خطی با مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل مرتبط می‌شود و با در نظر گرفتن تعدادی محدودیت خطی تشکیل یافته از متغیرهای مستقل در ارتباط است. متغیرهای مستقل مقدارشان به‌وسیله تصمیم گیرنده تعیین شده و مقدار متغیرهای وابسته را که به‌عنوان ستاده ارائه می‌شوند، تعیین می‌کنند (Mehregan، ۲۰۰۱؛ Asgharpour، ۱۹۹۶).

در حل مساله به‌روش برنامه‌ریزی خطی، از روش جستجوی نیوتن-رافسون[1] برای تعیین ریشه تابع و برای به‌دست آوردن تخمین‌های اولیه از متغیرهای پایه، از روش تانژانت که از تکنیک برون‌یابی خطی بهره می‌برد، استفاده شد. به‌منظور تخمین مشتق جزئی توابع هدف و محدودیت‌ها نیز از روش فوروارد[2] استفاده شد (Gordon، ۲۰۱۶).

الگوریتم ژنتیک: الگوریتم ژنتیک برای اولین‌بار به‌وسیله Holland (۱۹۷۵) استفاده و به‌عنوان ابزار قوی بهینه‌سازی توسعه پیدا کرد. GA یک الگوریتم جستجو برگرفته از طبیعت بیولوژیکی و فرایند انتخاب طبیعی است. اساس این روش مبتنی بر نظریه داروین که در محیط متغیر همواره موجوداتی ادامه حیات دارند که از همه پایدارترند، می‌باشد. این الگوریتم از مجموعه‌ای از جواب‌های تصادفی اولیه به‌نام جمعیت[3] آغاز می‌شود. هر جمعیت از مجموعه کروموزوم‌ها[4] که هر کدام یک جواب مسأله هستند، تشکیل می‌شود و هر کروموزوم مجموعه‌ای از ژن‌ها[5] و در واقع متغیرهای تصمیم مسأله می‌باشد. اندازه جمعیت بر عملکرد GA تأثیر می‌گذارد. اگر تعداد جمعیت خیلی کم باشد، به‌دلیل عدم جستجوی تمام فضای جواب، ممکن است الگوریتم به‌جواب مطلوب هم‌گرا نشود و اگر تعداد آن زیاد باشد، گرچه فضای بیشتری جستجو می‌شود ولی سرعت هم‌گرایی به‌سمت جواب بهینه، کند خواهد بود. در الگوریتم ژنتیک دو نوع عملگر موجود است: عملگرهای تکاملی مانند انتخاب[6] و عملگرهای ژنتیک مانند تلاقی[7] و جهش[8]. فرایند انتخاب بر مبنای میزان شایستگی توابع هدف متناظر با هر کروموزوم در هر نسل[9] می‌باشد و معیار انتخاب کروموزوم‌ها بر اساس شایستگی آن‌هاست. برای ایجاد نسل بعدی که فرزندان نامیده می‌شوند، می‌توان از دو روش استفاده کرد. ترکیب دو کروموزوم، با استفاده از

[1] Newton-Raphson
[2] Forward
[3] Population
[4] Chromosome
[5] Genes
[6] Selection
[7] Crossover
[8] Mutation
[9] Generation

Archive of SID

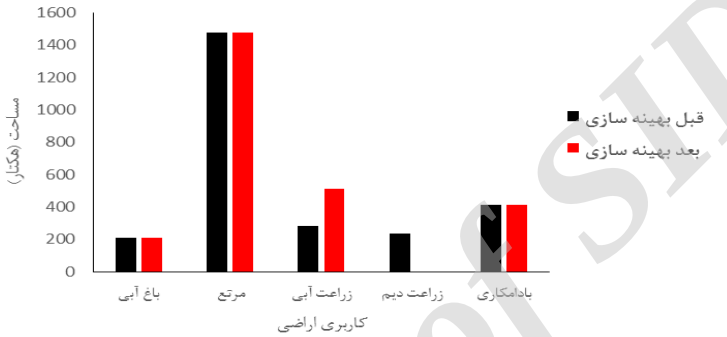
www.SID.ir

عملگر تلاقی و اصلاح برخی کروموزوم‌ها با استفاده از عملگر جهش ژنی، در نهایت تولید نسل‌ها آنقدر ادامه می‌یابد تا این‌که معیار توقف ارضا شده و مقدار تابع هدف کمینه شود (Memarian و همکاران، ۲۰۱۳؛ Azarafza و همکاران، ۲۰۱۲).

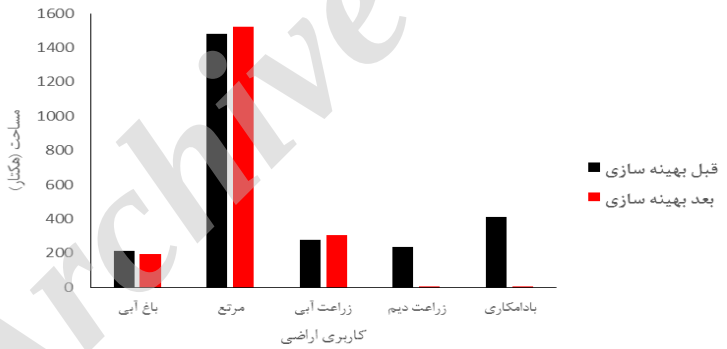
در حل مسأله با استفاده از الگوریتم ژنتیک از همان پیکره‌بندی مسأله (فرمول‌بندی مسأله) در بخش برنامه‌ریزی خطی استفاده شد. تعداد جمعیت ۵۰۰، تعداد نسل‌ها ۲۰۰، نرخ تلاقی ۰/۷، نرخ جهش ۰/۰۰۱، روش برازش Linear Normalize و روش تلاقی Tournament Selection انتخاب شد. برای ارضای محدودیت‌های مساله، علاوه بر روش تلاقی Tournament Selection روش‌های Elitism و Roulette wheel نیز مورد بررسی قرار گرفتند (Sivanandam و Deepa، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

شکل‌های ۲ و ۳، مساحت کاربری‌های مختلف را در شرایط قبل و بعد از بهینه‌سازی به‌ترتیب به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهند.



شکل ۲- سطح اختصاص یافته هر کاربری بعد از بهینه‌سازی به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی



شکل ۳- سطح اختصاص یافته هر کاربری بعد از بهینه‌سازی به‌وسیله الگوریتم ژنتیک

نتایج حل مسأله بهینه‌سازی کاربری اراضی با برنامه‌ریزی خطی نشان می‌دهد که زراعت آبی از ۲۷۹/۸۵ هکتار به ۵۱۴/۲۱ هکتار افزایش پیدا کرده است. همچنین، مساحت زراعت دیم از ۲۳۴/۳۶ هکتار به صفر هکتار کاهش پیدا کرده، مساحت باغ آبی، مرتع و بادام‌کاری نیز تغیری نکرده است. در مجموع در مساحت کاربری‌ها تغییری ایجاد نشده، همان ۲۶۱۴/۳۳ هکتار می‌باشد. در نتیجه این تغییرات، میزان رواناب از ۱۳۱۹۰۵۹/۴۶ به ۱۳۰۳۶۷۳/۴۹ متر مکعب در سال و رسوب‌دهی از ۳۳۹۶/۵۳ به ۲۹۵۸/۰۹ متر مکعب در سال تغییر می‌کنند و مجموع هر دو از ۱۳۲۲۴۵۵/۹۹ به ۱۳۰۶۶۳۱/۵۸ متر مکعب در سال تغییر می‌یابد، که این نشان‌دهنده این است که میزان رواناب ۱۵۳۸۵/۹۷ متر مکعب در هکتار در سال و رسوب ۴۳۸/۴۴ متر مکعب در هکتار در سال کاهش می‌یابند و در مجموع به‌میزان ۱۵۸۲۴/۴۱ متر مکعب در سال کاهش اتفاق افتاده است. به‌عبارت دیگر، بعد از حل مسأله بهینه‌سازی،

Archive of SID
www.SID.ir

میزان سطح اختصاص یافته زراعت آبی، ۸۳/۷۴ درصد افزایش داشته، سطح دیم نیز ۱۰۰ درصد کاهش داشته است (شکل ۲). رواناب سطحی و رسوب‌دهی در کل حوزه آبخیز بایگ به‌ترتیب ۱/۱۷ و ۱۲/۹۱ و در مجموع ۱/۲۰ درصد نسبت به قبل از بهینه‌سازی کاهش داشته است.

همچنین، نتایج حل مسأله بهینه‌سازی کاربری اراضی با الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد که سطح مرتع از ۱۴۷۸/۲۵ به ۱۵۲۲/۷۰ هکتار و زراعت آبی از ۲۷۹/۸۵ به ۳۰۵/۴۵ هکتار افزایش پیدا کرده است و مساحت باغات آبی از ۲۱۱/۰۵ به ۱۹۵/۸۷ هکتار و زراعت دیم از ۲۳۴/۳۶ به ۶/۷۸ هکتار و بادام‌کاری از ۴۱۰/۸۲ به ۳/۷۵ هکتار کاهش پیدا کرده است. در مجموع کاربری‌ها، مساحت از ۲۶۱۴/۳۳ به ۲۰۳۴/۵۴ هکتار تغییر می‌کند. در نتیجه این تغییرات، میزان رواناب از ۱۳۱۹۰۵۹/۴۶ به ۱۱۳۵۰۰۷/۱۸ متر مکعب در سال و رسوب‌دهی از ۳۳۹۶/۵۳ به ۲۳۱۰/۰۵ متر مکعب در سال تغییر می‌کند و مجموع هر دو از ۱۳۲۲۴۵۵/۹۹ به ۱۱۳۷۳۱۷/۲۴ متر مکعب در سال تغییر می‌یابد. در نتیجه بهینه‌سازی به‌روش الگوریتم ژنتیک، میزان رواناب ۱۸۴۰۵۲/۲۷ متر مکعب در سال و رسوب‌دهی ۱۰۸۶/۴۸ متر مکعب در سال کاهش می‌یابد و در مجموع به‌میزان ۱۸۵۱۳۸/۷۵ متر مکعب در سال کاهش را می‌توان انتظار داشت. به‌عبارت دیگر، بعد از حل مسأله بهینه‌سازی میزان سطح اختصاص یافته مرتع و زراعت آبی، به‌ترتیب به‌میزان ۳/۰۱ و ۹/۱۵ درصد افزایش پیدا کرده است و باغ آبی، زراعت دیم و بادام کاری به‌ترتیب به‌میزان ۷/۱۹، ۹۷/۱۱ و ۹۹/۰۹ درصد کاهش داشته‌اند و مجموع کاربری‌ها نیز به‌میزان ۲۲/۱۸ درصد کاهش پیدا کرده است (شکل ۳). رواناب سطحی و رسوب‌دهی در کل حوضه به‌ترتیب ۱۳/۹۵ و ۳۱/۹۹ درصد و در مجموع ۱۴ درصد کاهش نسبت به قبل از بهینه‌سازی را نشان می‌دهد.

در الگوریتم ژنتیک محدویت اول مربوط به مجموع سطح کاربری‌ها است که در صورت بهینه-سازی باید برابر با ۲۶۱۴/۳۳ هکتار باشد. در حالی که بعد از بهینه‌سازی مسأله، سطح کاربری‌ها تغییر کرده، ۲۰۳۴/۵۴ هکتار به‌دست آمده که ۵۷۹/۷۹ هکتار کمتر از مقدار تعیین شده است و در نتیجه این محدودیت تامین نشد. سطح اراضی باغ آبی، مرتعی، زراعی آبی، زراعی دیم و بادام‌کاری، پس از بهینه‌سازی به‌وسیله الگوریتم ژنتیک، به‌ترتیب، ۱۹۵/۸۷، ۱۵۲۲/۷۰، ۳۰۵/۴۵، ۶/۷۸ و ۳/۷۵ هکتار به‌دست آمدند و چون در دامنه تعریف شده محدودیت‌های مربوط به سطح اراضی باغ آبی، مرتعی، زراعی آبی، زراعی دیم و بادام‌کاری قرار دارند، بنابراین این محدودیت‌ها به‌طور کامل تامین شده‌اند.

در اجرای الگوریتم ژنتیک سعی شد تا با تغییر در درجه اولویت محدودیت‌ها، تامین محدودیت‌ها به سه درجه با اولویت بالا (H)، متوسط (M) و پایین (L) تقسیم شود. اما نتیجه باز هم رضایت‌بخش نبود، زیرا محدودیت اول که در آن سطح کل کاربری‌ها باید برابر با ۲۶۱۴/۳۳ هکتار باشد و به‌عنوان قیدی با درجه اولویت بالا تعیین شده بود، تامین نشد.

در مقایسه با الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی خطی در تامین محدودیت‌ها بسیار بهتر عمل کرد و توانست قید مساحت مجموع کاربری‌ها (قید اول) را به‌طور کامل برآورده نماید. الگوریتم‌های تکاملی (مانند الگوریتم ژنتیک) زمانی که با مسائلی با قیود یا محدودیت‌های زیاد مواجه می‌شوند، در مقایسه با تکنیک‌های کلاسیک بهینه‌سازی ضعیف‌تر عمل می‌کنند. مهمترین دلیل این مسأله این است که تکنیک‌های کلاسیک بهینه‌سازی قادرند با کاربرد فعال محدودیت‌ها، پیچیدگی و تعداد ابعاد مساله را کاهش دهند. در بیشتر مسائل عملی بهینه‌سازی، راه حل بهینه، نه به‌وسیله نقطه اوج سطح پاسخ تابع هدف[1] بلکه به‌وسیله محدودیت‌ها مشخص و تعیین می‌شود. بنابراین، تکنیک‌های کلاسیکی مانند برنامه‌ریزی خطی که به‌طور کامل از اطلاعات محدودیت‌ها برای حل مسائلی با قیود زیاد بهره می‌گیرند، نسبت به الگوریتم‌های تکاملی موفق‌تر خواهند بود (Ragsdale، ۲۰۰۴؛ Frontline Solvers، ۲۰۱۶).

تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که ضرایب تابع تا چه میزان می‌توانند افزایش یا کاهش یابند، بدون این‌که پایه بهینه مسئله (مجموعه متغیرهای غیر

[1] Peak of hill
[2] Reduced cost

Archive of SID

www.SID.ir

صفر) عوض شود. تحلیل حساسیت شامل دو بخش است. یکی مربوط به تابع هدف و دیگری مربوط به محدودیت‌ها، که در هر کدام به‌تفکیک، مقدار واقعی و مقادیر کاهش و افزایش قید شده است. در تحلیل حساسیت مدل برنامه‌ریزی خطی، هزینه کاهش یافته[۲] ضریب متغیر در سطر صفر جدول بهینه را می‌دهد و نشان‌دهنده این است که به چه میزان ضرایب تابع هدف می‌تواند افزایش یا کاهش یابد، پیش از این‌که جواب بهینه تغییر یابد. برای یک متغیر غیر پایه x_j، هزینه کاهش یافته مقداری است که اگر x_j، یک واحد اضافه شود، به آن اندازه، جواب بهینه کاهش می‌یابد (در حالی‌که بقیه متغیرهای غیر پایه برابر صفر بمانند) (Luenberger و Ye، ۱۹۸۴). در خروجی تحلیل حساسیت مسئله (جدول ۱)، هزینه کاهش یافته کاربری دیم برابر ۶۷/۵۲ است. یعنی اگر یک هکتار دیم وجود داشته باشد، به اندازه ۶۷/۵۲ متر مکعب افزایش سیلاب و رسوب ملاحظه خواهد شد.

جدول ۱- تحلیل حساسیت تابع هدف برنامه‌ریزی خطی بر اساس هزینه کاهش یافته

کاربری	سطح نهایی کاربری (هکتار)	هزینه کاهش یافته	ضریب تابع هدف	افزایش مجاز	کاهش مجاز
باغ آبی	۲۱۱/۰۵	۰/۰۰	۲۶۲/۴۳	۱۳۴/۹۷	۱E+۳۰
مرتع	۱۴۷۸/۲۵	۰/۰۰	۶۳۰/۶۸	۱E+۳۰	۲۳۳/۲۸
زراعت آبی	۵۱۴/۲۱	۰/۰۰	۳۹۷/۴۰	۶۷/۵۲	۱۱۸/۴۴
زراعت دیم	۰/۰۰	۶۷/۵۲	۴۶۴/۹۲	۱E+۳۰	۶۷/۵۲
بادامکاری	۴۱۰/۸۲	۰/۰۰	۲۷۸/۹۶	۱۱۸/۴۴	۱E+۳۰

قیمت سایه[۱] مقداری است که اگر سمت راست محدودیت، یک واحد اضافه شود، به آن اندازه جواب بهینه، بهبود می‌یابد (با فرض این‌که این تغییرات باعث از دست رفتن پایه بهینه فعلی نمی‌شوند). اگر بعد از یک تغییر در طرف راست محدودیت، پایه فعلی دیگر بهینه نماند، قیمت‌های سایه محدودیت‌ها ممکن است تغییر کند (Luenberger و Ye، ۱۹۸۴). همان‌طور که جدول ۲ نشان می‌دهد، محدودیت‌های ۱ (محدودیت سطوح کل کاربری‌ها) و ۴ (محدودیت کمینه سطوح مراتع) به‌ترتیب بیشترین تأثیر منفی را بر جواب بهینه و محدودیت‌های ۲ (محدودیت بیشینه سطح کاربری باغات آبی) و ۹ (محدودیت بیشینه سطح کاربری بادام‌کاری) به‌ترتیب بیشترین تأثیر مثبت را بر جواب بهینه خواهند داشت.

موفقیت کاربرد برنامه‌ریزی خطی در حل مسأله بهینه‌سازی به‌وسیله Nikkami و همکاران (۲۰۱۲)، برای به کمینه رساندن رواناب و رسوب‌دهی برای حوزه آبخیز جاجرود در ایران تأیید شد که نتایج نشان داد که سطح کاربری اراضی به‌صورت بهینه نبوده، نیازمند تغییراتی در کاربری‌های فعلی است. Nguyen و Egashira (۲۰۰۴) در تخصیص اراضی به کاربری‌های مختلف در ژاپن، Xevi و Khan (۲۰۰۵) در تحلیل اهداف تولید محصولات کشاورزی تحت محدودیت‌های گوناگون در استرالیا، Liu و Stewart (۲۰۰۴) برای بهینه‌سازی کاربری اراضی در شمال چین و Sadeghi و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور تخصیص بهینه کاربری اراضی در حوزه آبخیز بریموند از برنامه‌ریزی خطی بهره گرفته و عملکرد آن را مورد تأیید قرار داده‌اند.

نتیجه‌گیری

این تحقیق، به‌منظور مقایسه دو روش برنامه‌ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه آبخیز بایگ برای دست‌یابی به دو هدف کمینه‌سازی رواناب و کمینه‌سازی رسوب‌دهی که استفاده پایدار از منابع آب و خاک را به‌دنبال دارد، انجام گرفته است. نتایج نشان داد که در مقایسه با الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ریزی خطی در ارضای محدودیت‌ها بسیار بهتر عمل کرد و قید مساحت مجموع کاربری‌ها نیز رعایت شد. الگوریتم ژنتیک زمانی که با مسائلی که دارای قیود یا محدودیت‌های زیاد هستند، مواجه

[1] Dual price or shadow price

Archive of SID

www.SID.ir

می‌شود، در مقایسه با تکنیک‌های کلاسیک بهینه-سازی ضعیف‌تر عمل می‌کند که مهمترین دلیل این مسأله اینست که تکنیک‌های کلاسیک بهینه‌سازی قادرند با کاربرد فعال محدودیت‌ها، پیچیدگی و تعداد ابعاد مساله را کاهش دهند.

جدول ۲- تحلیل حساسیت محدودیت‌های برنامه‌ریزی خطی بر اساس قیمت سایه

شماره محدودیت	ارزش نهایی	قیمت سایه	سمت راست محدودیت	افزایش مجاز	کاهش مجاز
Const1	۲۶۱۴/۳۳	۳۹۷/۴۰	۲۶۱۴/۳۳	۱۵۳/۳۳	۲۳۴/۳۶
Const2	۲۱۱/۰۵	-۱۳۴/۹۷	۲۱۱/۰۵	۲۳۴/۳۶	۱۹/۳۱
Const3	۲۱۱/۰۵	۰/۰۰	۱۹۱/۷۴	۱۹/۳۱	۱E+۳۰
Const4	۱۴۷۸/۲۵	۲۳۳/۲۸	۱۴۷۸/۲۵	۲۳۴/۳۶	۱۵۳/۳۳
Const5	۱۴۷۸/۲۵	۰/۰۰	۱۷۴۷/۱۵	۱E+۳۰	۲۶۸/۹۰
Const6	۵۱۴/۲۱	۰/۰۰	۲۹۷/۸۵	۲۳۴/۳۶	۱E+۳۰
Const7	۵۱۴/۲۱	۰/۰۰	۶۶۷/۵۴	۱E+۳۰	۱۵۳/۳۳
Const8	۰/۰۰	۰/۰۰	۲۳۴/۳۶	۱E+۳۰	۲۳۴/۳۶
Const9	۴۱۰/۸۲	-۱۱۸/۴۴	۴۱۰/۸۲	۲۳۴/۳۶	۱۵۳/۳۳

نتایج تحلیل حساسیت مدل برنامه‌ریزی خطی نشان می‌دهد که محدودیت سطوح کل کاربری‌ها و محدودیت کمینه سطوح مراتع به‌ترتیب بیشترین تأثیر منفی را بر جواب بهینه و محدودیت‌های بیشینه سطح کاربری باغات آبی و محدودیت بیشینه سطح کاربری بادام‌کاری به‌ترتیب بیشترین تأثیر مثبت را بر جواب بهینه دارند. در این پژوهش، با کاربرد برنامه‌ریزی خطی، رواناب سطحی و رسوب‌دهی در کل حوضه به-ترتیب ۱/۱۷ و ۱۲/۹۱ درصد و در مجموع ۱/۲ درصد کاهش را نسبت به قبل از بهینه‌سازی نشان داد. این تحقیق استفاده از برنامه‌ریزی خطی برای مدیریت مناسب حوزه‌های آبخیز و دست‌یابی به توسعه پایدار و کمینه نمودن میزان خسارت به منابع موجود را زمانی که مسائلی خطی با تعداد قیود زیاد وجود دارد، مدلی مناسب‌تر از الگوریتم‌های تکاملی مانند ژنتیک ارزیابی کرده، تحقیقات بیشتر و گسترده‌تر را در مورد این روش و روش‌های مشابه در حوزه‌های آبخیز کشور توصیه می‌کند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی به‌دلیل در اختیار گذاشتن آرشیو مطالعات حوزه آبخیز بایگ تشکر و قدردانی کنند.

منابع مورد استفاده

1. Abkhizgostar Shargh Consulting Engineers Co. 2007. Executive detailed studies of Senubar Watershed (in Persian).
2. Aouni, B., O. Kettani and J.M. Martel. 1997. Estimation through the imprecise goal programming model. Springer Berlin Heidelberg, 120-128.
3. Ardakani, M. 2003. Ecology. University of Tehran Press, 3rd edition, No. 9242(in Persian).
4. Asadpour, H. 1997. Application of goal programming in optimization of cropping pattern with emphasis on various priorities of goal in plains of Iran, case study: Dashte-Naz, Sari. MSc Thesis, 195 pages (in Persian).
5. Asgharpour, D.C. 1996. Linear programming. Tehran University, 5th edition, 311 pages (in Persian).
6. Azamathulla, H.M., F.C., Wu, A. Ab Ghani, S.M. Narulkar, N.A. Zakaria and C.K. Chang. 2008. Comparison between genetic algorithm and linear programming approach for real time operation. Journal of Hydro-Environment Research, 2(3): 172-181.
7. Azarafza, H., H. Rezaei, J. Behmanesh and S. Besharat. 2012. Results comparison of the employing PSO, GA and SA algorithms in optimizing reservoir operation, case study: Shaharchai Dam, Urmia, Iran. Journal of Water and Soil, 26(5): 1101-1108 (in Persian).

Archive of SID

www.SID.ir

8. Chapi, K. 1998. Investigation of soil erosion in relation to the management of land and determination of contribution of land uses to soil erosion for land use optimization. MSc thesis, 205 page (in Persian).
9. Chizari, A. and A. Ghasemi. 1999. Application of mathematical programming to determine the optimum cropping pattern. Journal of Agricultural Economics and Development, 28: 61-76 (in Persian).
10. Clark, D. 1996. Urban world/global city. London, New York: Routledge, Chapter 2: Urban Populations and Places, 13-39.
11. FrontlineSolvers. 2016. Genetic and evolutionary algorithms versus classical optimization. Accessed through: http://www.solver.com/press/backgrounder-genetic-and-evolutionary-algorithms-versus-classical-optimization.
12. Gordon, G. 2016. Linear programming, Lagrange multipliers, and duality. https://pdfs.semanticscholar.org/6b80/94dee2466c59d04760928b39a7e470a384a5.pdf.
13. Hassanzadeh, M. 2001. Notification effective role in field management, soil erosion and stable development. National Conference of Field Management, Soil Erosion and Stable Development, 85-94 (in Persian).
14. Holland, J.H. 1975. Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. University of Michigan Press, Ann Arbor, 183 pages.
15. Jalili, Kh. 2004. Land use optimization of watershed for soil erosion minimization using linear programming, MSc thesis, Tabiat Modares University, 87 pages (in Persian).
16. Jalili, Kh., H.R. Sadeghi and D. Nikkami. 2006. Land use optimization of watershed for soil erosion minimization using linear programming, case study: Brimvand Watershed, Kermanshah Province. JWSS, Isfahan University of Technology, 10(4):15-27 (in Persian).
17. Jin, W., Z. Hu and C.W. Chan. 2013. A Genetic-Algorithms-based approach for programming linear and quadratic optimization problems with uncertainty. Mathematical Problems in Engineering, 12 page
18. Johnson, C.W. and K.A. Gebhardt. 1982. Predicting sediment yield from sagebrush rangelands. Proceedings of Workshop on Estimating Erosion and Sediment Yield on Rangelands, Tucson, Arizona, US Department of Agriculture, Agricultural Reviews and Manuals, Western Series, 26:145-156.
19. Liu, D. and T.J. Stewart. 2004. Object-oriented decision support system modelling for multicriteria decision making of natural resource management. Computers and Operations Research, 31: 985-999.
20. Lu, D. and Q. Weng. 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. International Journal of Remote Sensing, 28(5): 823– 870.
21. Luenberger, D.G., and Y. Ye. 1984. Linear and nonlinear programming. Vol. 2, Reading, MA: Addison-Wesley, 491 pages.
22. Malhortra, R.C. 1980. Environmental management, integrated rural development. In: V. Vichit-Vad kan. et al. (Eds.), Reading in Environmental Management. Asian and Specific Dev. Inst., UN, 61-170.
23. McCuen, R.H. 1989. Hydrologic analysis and design. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 143-147.
24. Mehregan, M. 2001. Operational research (linear programming and its application). Academic Book Publishing, Tehran, Fourteenth Edition, 531 pages (in Persian).
25. Memarian, H., S.K. Balasundram and M. Tajbakhsh. 2013. An expert integrative approach for sediment load simulation in a tropical watershed. Journal of Integrative Environmental Sciences, 10(3-4): 161-178.
26. Memarian, H., S.K. Balasundram, K.C. Abbaspour, J. Talib, C.B.S. Teh and M.S. Alias. 2014. Integration of analytic hierarchy process and weighted goal programming for land use optimization at the watershed scale. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 38: 139 -158.
27. Mohseni Saravi, M., M. Farzanagsn, M. Koupahi, M. Kholghi and M. Ghalghi. 2003. Optimum utilization pattern of watershed resources using goal programming. Iranian Journal of Natural Resources, 56(1, 2): 3-16 (in Persian).
28. Mousavi, C. and R. Zaki Zadeh. 1994. Reviewing the operation of water and soil resources and land resources assessment role in the optimal utilization of water and soil. Proceedings of the First Congress of Planning and Policy Infrastructure (Water and Earth) in Agriculture, Tehran, 471-491 (in Persian).
29. Nguyen, T.T. and K. Egashira. 2004. Land use effectiveness by farm households after land and forest allocation at Tran Yen district, Yen Bai Province. Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University, 49: 461-466.

Archive of SID

www.SID.ir

30. Nikkami, D. 2002. Optimization of soil erosion management in the Damavand watershed. Journal of Pajoohesh and Sazandegi, 54: 82-89 (in Persian).
31. Nikkami, D., M. Elektorowicz and G.R. Mehuys. 2002. Optimizing the management of soil erosion. Water Quality Research Journal of Canada, 37(3): 577-586.
32. Nikkami, D., M. Shabani and H. Ahmadi. 2009. Land use scenarios and optimization in a watershed. Journal of Applied Sciences, 9(2): 287-295.
33. Owji, M.R. D. Nikkami, M.H. Mahdian and Sh. Mahmudi. 2012. Minimizing runoff and sedimentation by optimizing land use, case study: Jajrood Watershed. Journal of Water and Soil Conservation, 20(4):183-199 (in Persian).
34. Rabet, A. 2001. The role of watershed management practices in developing tourism attractions and resorts, case study: northern and southern watersheds of Zanjan. National Conference of Field Management, Soil Erosion and Sustainable Development, 258-268, Arak (in Persian).
35. Ragsdale, C.T. 2004. Spreadsheet modeling and decision analysis. Thomson South-Western, 833 pages.
36. Refahi, H. 1996. Water erosion and its control. Tehran University. 551 pages (in Persian).
37. Riedel, C. 2003. Optimizing land use planning for mountainous regions using LP and GIS towards sustainability. Soil Conservation, 34(1): 121-124.
38. Sadegheih, A. and P.R. Drake. 2001. Network optimisation using linear programming and genetic algorithm. Neural Network World, 11(3): 223-234.
39. Sadeghi, H.R., Kh. Jalili and D. Nikkami. 2009. Land use optimization in watershed scale. Land Use Policy, 26(2): 186-193.
40. Shabab Tabari, H. 1994. Efficient use of water and soil resources is a national necessity for sustainable agricultural development. Proceedings of the First Congress of Planning and Policy Infrastructure (Water and Earth) in Agriculture, 26-25 September, Tehran, 555-562 (in Persian).
41. Shaygan, M., A. Alimohammadi and A. Mansourian. 2011. Multi-objective optimization approach for land use allocation using Nsga-II. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, 2: 1-18
42. Singh, A.K. and J.P. Singh. 1999. Production and benefit maximization through optimal crop planning, a case study of Mahi Command. Indian Journal of Soil Conservation, 27(2): 157-152.
43. Sivanandam, S.N., and S.N. Deepa. 2007. Introduction to genetic algorithms. Springer Science and Business Media, 425 pages.
44. Triphati, R.P. and H.P. Singh. 2001. Soil erosion and conservation. New Age International Limited Pub., New Delhi, India, 350 pages.
45. Xevi, E. and S. Khan. 2005. A multi-objective optimization approach to water management. Journal of Environmental Management, 77: 269-277.
46. Yeo, I.Y., S.I. Gordon and J.M. Goldman. 2004. Optimizing patterns of land use to reduce peak runoff flow and nonpoint source pollution with an integrated hydrological and land-use model. Earth Interactions, 8(6): 1-20.

Archive of SID

www.SID.ir

DOI: 10.22092/ijwmse.2019.118435

Comparison of genetic algorithm and linear programming to solve land use optimization problems at the watershed scale

Arezoo Kheyrkhah[*1], Hadi Memarian[2] and Seyed Mohammad Tajbakhsh[3]

[1] MSc Student, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Iran and [2 and 3] Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Iran

Received: 09 June 2016 Accepted: 07 December 2016

Abstract

Correct and consistent uses of natural resources preserve this valuable wealth. Using optimization knowledge can assist us to achieve this object. Thus, this study aims to compare linear programming as a classical method of optimization with genetic evolutionary algorithm for land use optimization of the Bayg Watershed. Results showed that linear programming reduced dry farming acreage and increased the acreage of irrigated agriculture. After minimization, surface runoff and sediment yield declined by 1.16, 12.91 percent, respectively. Genetic algorithm led to an increase in rangeland, irrigated agriculture and horticulture acreages, while almond orchard and dry farming acreages were reduced. Furthermore, surface runoff and sediment yield declined by 13.95 and 31.99 percent, respectively. Linear programming acted stronger in satisfying the constraints, as compared with genetic algorithm. The constraint "total acreage" was satisfied by linear programming, while genetic algorithm could not meet this constraint. Sensitivity analysis of linear programming showed that the most critical factor in minimizing runoff and sediment yield function was the coefficient of dry farming with a reduced cost of 67.52 .Results also established that the constraints "total acreage and minimum acreage of rangeland" with the shadow prices of 397.40 and 233.28, respectively had the highest negative impact on the optimal solution. Meanwhile, the constraints "maximum acreages of irrigated horticulture and almonds garden" with the shadow prices of -134.97 and -118.44, respectively had the highest positive impact on the optimal solution. As a general conclusion it can be stated that in land use optimization problems with a large number of constraints, genetic algorithm show poorer performance in satisfying constraints, as compared with linear programming.

Keywords: Bayg Watershed, Minimization, Sediment yield, Sensitivity analysis, Surface runoff

[*] Corresponding author: arezookheyrkhah@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir