



بیان یک راهکار مدیریتی سیلاب مبتنی بر تخصیص بهینه ی کاربری با الگوریتم ژنتیک

داوود مختاری، علی اکبر رسولی و منیره موسی بیگی*

گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۴

مختاری، د.، ع.ا. رسولی و م. موسی بیگی. ۱۳۹۸. بیان یک راهکار مدیریتی سیلاب مبتنی بر تخصیص بهینه ی کاربری با الگوریتم ژنتیک. فصلنامه علوم محیطی. ۱۷(۲): ۱۸۵-۲۰۲.

سابقه و هدف: از جمله عامل های موثر در ایجاد بحران سیلاب در سطح حوضه های آبریز می توان به کاربری های نامطلوب و غیراصولی و یا بیشتر از قابلیت زمین استناد کرد. یکی از راهکارهای مدیریتی سیلاب، بهینه سازی تخصیص کاربری زمین با در نظر گرفتن اهداف و پارامترهای چندگانه نسبت به هم می باشد که بدین منظور می توان از قابلیت های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بعنوان یکی از روش های نوین علمی و فنی به همراه بهره گیری از قابلیت های هوش مصنوعی مانند الگوریتم ژنتیک چندهدفه بهره برد. هدف از این پژوهش مدل سازی تخصیص کاربری اراضی در بستر GIS با استفاده از الگوریتم^۱ NSGA-II به منظور مدیریت بحران سیل است.

مواد و روش ها: در مدل طراحی شده در ابتدا با استفاده از روش مخدوم نقش توان اکولوژیک سرزمین استخراج و در ادامه با استفاده از قابلیت های الگوریتم NSGA-II کاربری های بهینه برای قسمت های مختلف منطقه با اهداف کاهش ارتفاع سیلاب و افزایش سطح منفعت اقتصادی با کمترین دشواری تغییر کاربری ها، به دست می آید. در مدل طراحی شده به منظور بررسی نقش کاربری زمین روی سیلاب از پارامتر شماره منحنی (CN) استفاده شده است.

نتایج و بحث: نتایج نهایی مدل طراحی شده بصورت چندین الگوی بهینه که دارای ارزش کاربردی یکسان می باشند، بیان می گردد که براساس شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه و نظر کارشناسی، الگوی بهینه قابل انتخاب و اجرایی خواهد بود. به منظور بررسی قابلیت مدل طراحی شده، حوضه طالقان واقع در استان البرز انتخاب شد. میزان CN منطقه مورد مطالعه در شرایط کاربری فعلی، برای مناطق منتخب در فضای جستجو، ۸۳ است، این در حالی است که در الگوهای خروجی مدل طراحی شده، کمترین مقدار CN با کاهش ۱۱ درصدی نسبت به شرایط فعلی حدود ۷۴/۵ است. همچنین رشد سطح منفعت اقتصادی در این الگوی آمایش سرزمین ۵۲/۱۹ درصد بوده است.

نتیجه گیری: نتایج و دستاوردهای این مطالعه شامل نمایاندن یک مدل بهینه سازی کاربری زمین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه با رویکرد کاهش سیل خیزی، مدیریت یکپارچه حوضه آبریز و نگارش برنامه به فرمی قابل گسترش در آینده به منظور استفاده در مطالعات آینده، است.

*Corresponding Author: Email Address. m.moosabeigi16@gmail.com

واژه‌های کلیدی: مدل سازی، بهینه سازی کاربری زمین، سیل خیزی، GIS، الگوریتم NSGA-II.

مقدمه

مطالعات نشان داده است که یکی از دلیل‌های افزایش خسارت‌های سیل در دنیا، افزایش تکرار و بزرگی سیل‌ها نبوده، بلکه عامل اصلی ایجاد سیل‌های مخرب، تشدید استفاده از زمین و تخریب شدید از منبع‌های طبیعی به دلیل بهره برداری بی رویه از جنگل‌ها و مرتع‌ها و محدودسازی مقطع رودخانه‌ها از طریق ایجاد منطقه‌های مسکونی، پل‌ها و غیره است (Vahhabi, 1997:69). تجربه‌های ناشی از روش‌های سازه‌ای برای کنترل سیلاب نشان می‌دهد که این روش‌ها هر چند نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش خسارت‌های سیل دارند اما قادر به حداقل رساندن این خسارت‌ها نیستند و در مواردی هم توجیه اقتصادی جهت اجرای آن‌ها وجود ندارد. بر این اساس روش‌های مدیریتی کنترل سیلاب در دهه‌های اخیر بیشتر مورد توجه کارشناسان و مدیران قرار گرفته است. یکی از راهکارهای مدیریتی سیلاب اختصاص دادن کاربرهای بهینه برای هر قسمت از حوضه آبریز است. برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری برای انتخاب یک کاربری بهینه به منظور مدیریت سیلاب با وجود اهداف و پارامترهای مختلف امر دشواری است، بنابراین استفاده از ابزار قدرتمند در زمینه‌ی مدیریت، نمایش و تحلیل داده‌های مکانی همانند سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حل این گونه مسئله‌ها بسیار مفید است (Tenasan, 2012:8) با وجود این بسیاری از روش‌ها و تابع‌های استاندارد امروزی GIS در حل بعضی از مسئله‌های پیچیده مکانی ناتوان است از این رو استفاده از الگوریتم‌های هوشمند از جمله الگوریتم‌های بهینه‌یابی چندهدفه می‌تواند GIS را در حل اینگونه مسئله‌های تصمیم‌گیری مکانی کمک کند (Herzig, 2008:17). الگوریتم ژنتیک برای اولین بار بوسیله‌ی Holland در سال ۱۹۷۵ و با الهام از طبیعت معرفی شد. مطالعه‌های گولدبرگ

(Goldberg, 1989) نشان داد الگوریتم ژنتیک در زمینه‌های مختلفی با هدف پیدا کردن جواب بهینه با استفاده از عمل‌های وراثت و جهش مورد استفاده قرار گرفته است. اصل پایه بکار رفته در الگوریتم ژنتیک ساخت نمونه جدید با استفاده از نمونه

های قوی و حذف نمونه‌های ضعیف به منظور جواب بهتر است. نمونه‌ها بوسیله عمل‌های وراثت و جهش همانند تکامل زیستی تغییر پیدا می‌کنند. بنابراین، الگوریتم ژنتیک با ایجاد تنوع در جمعیت باعث حذف کمترین‌های محلی می‌شود. الگوریتم ژنتیک به صورت افزاینده‌ای در مسئله‌های جهان واقعی مانند: (HAKLI and UGUZ, 2017).

- مسئله‌های زمانبندی (Asadzadeh, 2015; Casas, 2016)
- (Taheri, Ranjan, Wang and Zomaya, 2016)
- طراحی سامانه‌های بسته بندی (Thomas and Chaudhari, 2014)
- مسئله‌های طراحی تاسیسات (Pourvaziri and Naderi, 2014)
- برنامه‌ریزی خدمات حمل و نقل بیمار (Fogue et al., 2016)
- سامانه‌های تشخیص چهره (Sukhija, Behal & Singh, 2016)
- پیش‌بینی گسترش آتش‌سوزی در جنگل (Denham, 2012) (Wendt, Bianchini Cortes, & Margalef, 2012)
- تعیین کاربری زمین‌ها (Porta, Parapar Doallo, Rivera, 2013) (Sante, & Crecente, 2013)
- مسئله‌های فیلترینگ (Ar & Boštanci, 2016)
- و غیره...

از میان الگوریتم تکاملی الگوریتم NSGA-II بعنوان یکی از انواع الگوریتم‌های ژنتیک و بهینه‌یابی (Coello et al., 2007) از معروف‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه است که روشی بسیار قدرتمند برای حل مسئله‌های جست‌وجو و بهینه‌یابی دنیای واقعی، با قابلیت در نظر گرفتن همزمان چندین هدف مخالف، است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که نیاز نداشتن این الگوریتم به پارامترهای اضافی و سرعت محاسبه‌های بالای آن (Deb et al., 2002) سبب افزایش به‌کارگیری آن در پژوهش‌های مختلف بویژه در محیط GIS شده است (Tenasan, 2012).

از جمله پژوهش‌های صورت گرفته در راستای پژوهش حاضر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. Campbell et al. (1992) از GIS و الگوریتم بهینه‌یابی برنامه

ریزی خطی (LP) برای برنامه ریزی استفاده از زمین در بخش کشاورزی استفاده کردند. (Bladt(2002) در پایان نامه کارشناسی ارشد، از الگوریتم‌های تکاملی چند هدفه NSGA-II و WSEA به منظور حفاظت از منبع های محیطی و به خصوص اختصاص دادن منبع ها با دو هدف تنوع زیستی و پایداری کاربری استفاده نمود. Suhaedi *et al.* (2004) برای حل مسئله آمایش سرزمین از روش برنامه ریزی آرمانی استفاده کردند و الگوریتم ژنتیک را برای توسعه آن به کار بردند. (Liu *et al.* (2004) از سامانه پشتیبانی تصمیم گیری (DSS)² برای گرفتن تصمیم چندهدفه در مدیریت منبع های طبیعی در آفریقای جنوبی استفاده کرده و این مدل را مورد ارزیابی قرار دادند. Ducheyne *et al.* (2006) در پژوهش خود یک سامانه پشتیبان تصمیم گیری برای مدیریت جنگل راعرضه کردند و در آن نیازهای فضایی حیات وحش را مدل کرده و با ترکیب الگوریتم ژنتیک چند هدفه و GIS این فضا را بهینه یابی کرده اند. Datta and Deb (2007) در پژوهش خود از الگوریتم NSGA-II برای مدیریت زمین استفاده کردند که برای این کار سه هدف میزان جنبه های اقتصادی مدیریت زمین، میزان فرسایش خاک و میزان دست رفتن کربن را در نظر گرفتند و در کار خود NSGA-II-LUM را به عنوان یک الگوریتم بهینه یابی چند هدفه تکاملی و مکان مبنا معرفی کردند. Kia Cao *et al.* (2011) مدلی به نام NSGA-II_MOLM یا به عبارتی الگوریتم NSGA-II را بمنظور آمایش سرزمین با چند هدف گسترش دادند. پژوهش های صورت گرفته در این زمینه در ایران به صورت زیر است:

Ziaee(2007) در پایان نامه کارشناسی ارشد خود از الگوریتم NSGA-II، در بستر GIS، برای مدیریت بهره برداری از سامانه دو مخزنه سدهای بختیاری و دز استفاده کرد که اهداف مورد نظر ایشان کمینه کردن خسارت سیلاب و همچنین کمینه کردن خسارت تأمین نبودن نیاز آب کشاورزی در پایین دست مخازن است. Sadeghi *et al.* (2008) در مطالعه خود از یک بهینه یابی چندهدفه خطی برای کمینه کردن فرسایش خاک و بیشینه کردن تولید مزرعه از هر کاربری در حوضه آبریز بریموند استفاده کردند.

(2008) Sha'bani *et al.* در پژوهش خود سطح بهینه کاربری های زمین، بمنظور کاهش میزان فرسایش و بالا بردن درآمد را تعیین کردند. (2008) Masoumi *et al.* با استفاده از الگوریتم NSGA-II به دلیل حمایت از تصمیم گیری در یافتن زمین های مناسب برای کاربری صنعتی در محدوده استان زنجان استفاده کردند. (2012) Tenasan در پایان نامه ی کارشناسی ارشد مدلی به منظور بهینه سازی کاربری زمین، مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه با رویکرد آمایش سرزمین طراحی کرد. (2012) Shaiegan *et al.* قابلیت NS-GA-II با طراحی و استفاده از نوع عملگر تقاطع یکنواخت (UC) و عملگر تقاطع دو بعدی (TDC) برای بهینه سازی اختصاص دادن کاربری زمین با اهداف چندگانه در بخشی از حوضه ی طالقان مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. بررسی پژوهش های صورت گرفته نشان داد که استفاده از الگوریتم NSGA-II در حل مسئله های مکانی به ویژه مسئله در نظر گرفته شده در این پژوهش می تواند بسیار مفید واقع شود. هدف از این پژوهش طراحی سامانه پشتیبان تصمیم گیری اختصاص دادن کاربری زمین در بستر GIS با استفاده از الگوریتم NSGA-II بمنظور مدیریت بحران سیلاب همانطور که می دانیم با افزایش رواناب دبی بیشینه سیلاب افزایش پیدا می کند در نتیجه برای کاهش سیل خیزی باید رواناب را کنترل کرد. از عامل های بسیار موثر در ایجاد رواناب و به دنبال آن سیلاب، نوع کاربری زمین است. برای بررسی نقش کاربری زمین می توان از پارامتر شماره منحنی (CN) استفاده و سپس ارتفاع رواناب را حساب کرد. روش های مختلفی برای محاسبه ارتفاع رواناب با استفاده از شماره منحنی وجود دارد که روش SCS به دلیل کاربرد فراوان در اقالیم مختلف مورد استفاده قرار می گیرد.

و پرکاربردترین الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه است، که از نگرش نخبه‌گرایی استفاده می‌کند و می‌تواند در فضایی گسترده از متغیر تصمیم و هدف، جست‌وجو را انجام دهد. (Maringanti et al., 2009) در این الگوریتم ابتدا جمعیت اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود، سپس این جمعیت با توجه به توابع هدف و براساس مفهوم غالب بودن به کمک عملگر مرتب‌سازی نامغلوب (Deb et al., 2002) به n سطح پاره‌تو^v (F) تقسیم می‌شود. به هر سطح پاره‌تو، رتبه‌ای جداگانه و به اعضای درون سطح، رتبه‌ای مساوی براساس مفهوم غالب بودن نسبت داده می‌شود. برای اعضای که در یک سطح پاره‌تو قرار می‌گیرند و هم رتبه هستند، یک عدد فاصله با توجه به روش فاصله‌ی ازدحامی^h که بیانگر رتبه‌ی فاصله است نسبت داده می‌شود. در مرحله‌ی بعد به کمک الگوریتم رقابت دو دویی، جمعیت والد (P) با توجه به رتبه‌ی غالب بودن کمتر و رتبه‌ی فاصله‌ی بیشتر انتخاب می‌شود. در ادامه، جمعیت نتیجه (Q) از روی جمعیت والد به کمک عملگرهای کلاسیک ژنتیک ایجاد می‌شود. در نهایت، جمعیت‌های والد و فرزندان با هم ترکیب می‌شوند و جمعیت نسل بعد (R) از کل مجموعه‌ی این دو جمعیت که شامل جمعیت نخبه نیز هستند، انتخاب می‌شود. این روند در نسل‌های بعد نیز به همین ترتیب تکرار می‌شود تا معیار اختتام ارضا شود. به عنوان نمونه می‌توان همگرا شدن کل جمعیت یا فاصله‌ی ارزیابی (برازندگی) بهترین فرد جمعیت از متوسط ارزیابی‌ها (برازندگی‌ها) را در نظر گرفت (Deb et al., 2002). شکل ۱ نمایشی از نحوه‌ی عملکرد این الگوریتم را نشان می‌دهد. در این شکل R_t جمعیت حاصل از ترکیب جمعیت والدین (P) و فرزندان (Q) نسل t است. ابتدا جمعیت R_t به وسیله‌ی عملگر مرتب‌سازی نامغلوب به h سطح پاره‌تو (F) تقسیم شد. چون فقط به تعداد جمعیت اولیه از جمعیت R_t می‌تواند به نسل بعد ($t+1$) انتقال یابد، جمعیت F_1 و F_2 به دلیل داشتن رتبه‌ی غالب بودن بهتر می‌توانند به صورت مستقیم وارد نسل بعد شوند ولی جمعیت F_3 نمی‌تواند به طور کامل به نسل بعد انتقال یابد. از این رو ابتدا اعضای جمعیت F_3 به روش فاصله‌ی ازدحامی مرتب شدند، سپس تعدادی از اعضای

تغییر، سیل خیزی در منطقه را تا حد قابل قبولی کاهش دهند و سطح منفعت اقتصادی منطقه را بالا ببرند. نتایج نهایی سامانه طراحی شده به صورت چندین الگوی بهینه که دارای ارزش کاربردی یکسان است عرضه می‌گردد که بر اساس شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه و نظر کارشناسی، الگوی بهینه قابل انتخاب و اجرایی خواهد بود. به سبب بررسی قابلیت سامانه طراحی شده، حوضه طالقان واقع در استان البرز انتخاب شد.

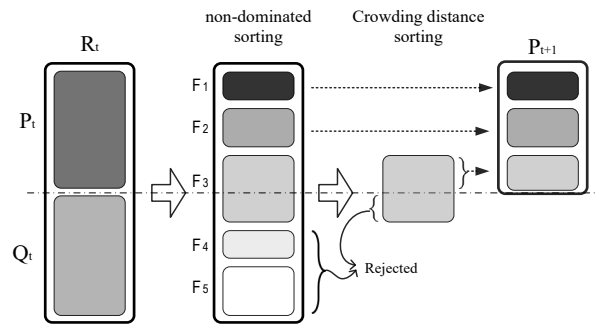
مبانی نظری

بهینه‌یابی چندهدفه ۳

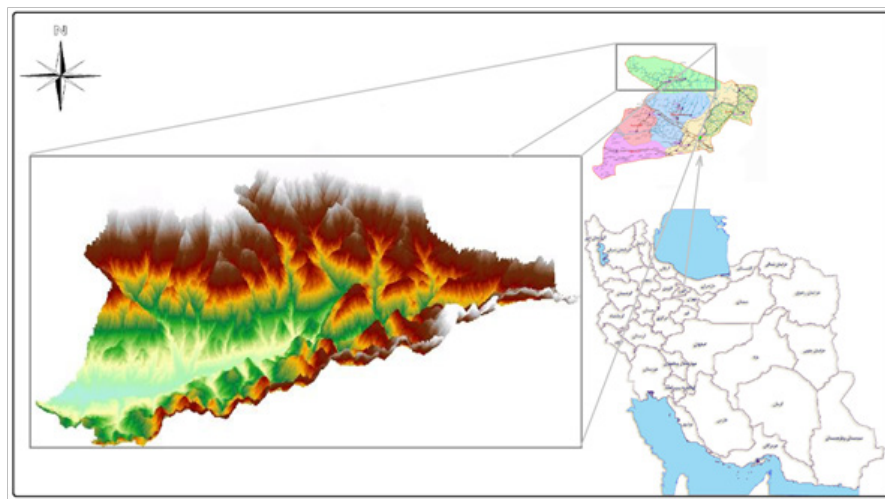
هنگامی که مسئله‌ی بهینه‌یابی بیش از یک تابع هدف دارد، عمل یافتن یک یا چند جواب بهینه، بهینه‌یابی چندهدفه نامیده می‌شود (Dias et al., 2002). در مسئله‌ی بهینه‌یابی چندهدفه پس از شناسایی مسئله، مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم کشف می‌شود و با توجه به محدودیت‌های مسئله، بهینه‌کردن تابع‌های هدف دنبال می‌شود. از این رو واژه‌ی «بهینه‌یابی» به معنای پیدا کردن مجموعه‌ای از جواب یا جوابی است که از نظر همه‌ی مقادیر توابع هدف مورد پذیرش است (Coello Coello et al., 2007). جواب‌های بهینه‌ی پاره‌تو^۴ و جبهه‌ی بهینه‌ی پاره‌تو^۵ هنگامی که در مقایسه‌ی دو جواب، هیچ‌یک از دو جواب به ازای همه‌ی اهداف بهتر از دیگری نباشد، گفته می‌شود که آن دو جواب‌های نامغلوب هستند. اگر اهمیت اهداف به یک اندازه باشد، نمی‌توان گفت کدام‌یک از این دو جواب به ازای همه‌ی اهداف بهتر از دیگری است. به مجموع چنین جواب‌هایی، جواب‌های بهینه‌ی پاره‌تو گفته می‌شود (Deb, 2001). مجموعه‌ی همه‌ی جواب‌های بهینه‌ی پاره‌تو در مسئله‌ی چندهدفه‌ی مجموعه‌ی بهینه‌ی پاره‌تو و بردارهای هدف متناظر با آن، لبه یا جبهه‌ی بهینه‌ی پاره‌تو نامیده می‌شود (Hom, 1999).

الگوریتم NSGA-II

الگوریتم NSGA-II را نخستین بار دب و همکارانش در سال ۲۰۰۲ مطرح کردند. این الگوریتم یکی از معروف‌ترین



شکل ۱- نمایشی از نحوه ی عملکرد الگوریتم NSGA-II
 Fig. 1- A demonstration of the performance of NSGA-II algorithm
 (Deb et al., 2002)



شکل ۲- موقعیت حوضه آبریز طالقان (در استان البرز و کشور)
 Fig. 2- Location of Taleqan Basin (in Alborz Province and Iran)

۳۶ و طول های شرقی ۲۵ ۳۶ ۵۰ تا ۳۷ ۱۱ ۵۱ واقع گردیده است. بیشترین ارتفاع حوضه در حدود ۴۳۰۰ متر و کمترین ارتفاع حدود ۱۷۰۰ متر از سطح دریاست که در نقطه خروجی حوضه، واقع شده است. بیشترین ارتفاع متوسط حوضه مورد مطالعه نیز برابر ۲۶۵۰ متر می باشد.

در حوضه آبخیز طالقان شیب های کم (۲۰-۰ درجه) در اکثر قسمت های نزدیک به رودخانه ی اصلی قرار دارند و در آن ها کشاورزی های آبی، دیم و باغداری صورت می گیرد و زمین های مسکونی نیز در این طبقه قرار دارند. در شیب های ۲۰ تا ۴۰ درجه، مرتع ها و زمین های کشاورزی به صورت پراکنده واقع شده اند. در ارتفاعات بالایی که داری شیب ۴۰ درجه به بالا هستند نیز مرتع ها قرار دارند که نواحی مرتفع تر آن ها بطور عمده حدود ۶ ماه از سال پوشیده

این جبهه ی پاره تو که فاصله ی ازدحامی بهتری داشته باشند به نسل بعد انتقال می یابند و باقی اعضای این سطح پاره تو به همراه اعضای F_4 و F_5 حذف می شوند.

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز طالقان یکی از بخش های حوضه آبخیز سفید رود بشمار می رود که در دامنه ی جنوبی رشته کوه های البرز و در بخش شمال غربی استان تهران واقع شده است. وسعت کل حوضه آبخیز طالقان ۱۴۰۰۰۰ هکتار است و منطقه مورد مطالعه که بالادست این حوضه را تشکیل می دهد، مساحت تقریبی ۹۴۰۲۸ هکتار را داراست که ۶۷ درصد وسعت کل حوضه را شامل می شود و بین عرض شمالی ۲۰ ۵ ۳۶ تا ۲۱ ۱۹

کاربری زمین و خاک‌شناسی(عمق، بافت و گروه های هیدرولوژیکی) به عنوان نقشه‌ها و داده های پایه مورد استفاده قرار گرفته‌اند و سایر نقشه‌ها و داده‌ها از این نقشه‌ها تولید شده‌اند (منبع همه ی این نقشه ها اداره ی منابع طبیعی استان تهران است).

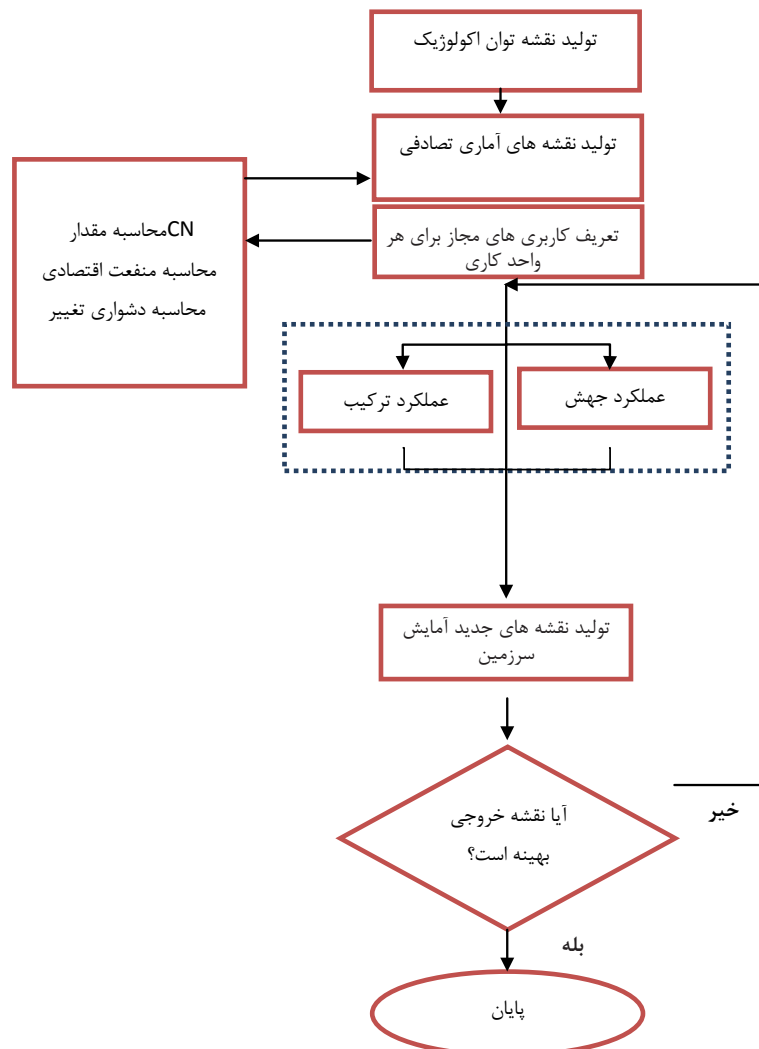
آماده سازی داده ها

در این تحقیق از نقشه ها و داده های پایه و به منظور محاسبه توان اکولوژیکی منطقه به عنوان ورودی مدل طراحی شده و محاسبه ی CN و توابع هدف مورد نظر استفاده شده است. شکل (۱) نحوه عملکرد مدل را نمایش می دهد.

از برف است و بهره برداری خاصی از آن ها صورت نمی گیرد. شیب متوسط حوضه ۲۶ درجه برآورد گردیده است. میانگین بارش سالیانه حوضه ی آبخیز طالقان ۵۱۵/۱۶ میلی متر و دمای سالیانه آن نیز ۱۰/۵ درجه سانتیگراد است. در مطالعات اقلیم شناسی تمام (سازمان تحقیقات منابع آب)، اقلیم منطقه ی طالقان در سامانه دو مارتن، شامل مدیترانه ای، نیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب است (The comprehensive study of wa- tershed management in Taleghan watershed, ۱۹۹۳).

نقشه ها و داده های پایه

در این پژوهش نقشه مدله قومی ارتفاع (DEM)، نقشه



نحوه ی عملکرد مدل

شکل ۳- مدل طراحی شده و محاسبه ی CN و توابع هدف

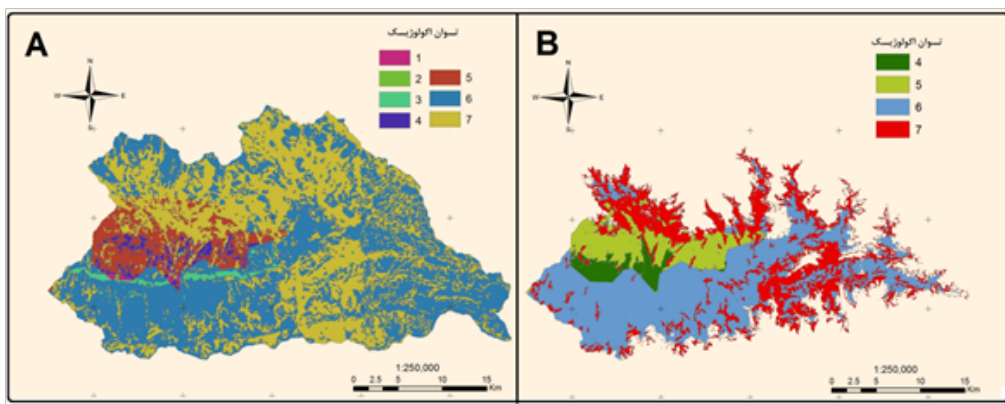
Fig. 3-The designed model and calculation of CN and target functions

جمع بندی و ارزیابی قرار گرفت و نقشه منابع اکولوژیکی منطقه تولید گردید. سپس با استفاده از نقشه شیب و طبقات ارتفاعی، نقشه واحدهای شکل زمین در منطقه تولید شد و در ادامه با تلفیق این نقشه با نقشه های بافت و عمق خاک منطقه، نقشه واحدهای زیست محیطی منطقه تهیه گردید، در انتها نقشه توان اکولوژیکی منطقه برای کاربری های کشاورزی، مرتع و جنگلداری طبق مدل استخراج شد و قدرت نهفته عرصه های مختلف سرزمین برای کاربری های مورد نظر تعیین گردید. شکل (۳) نقشه های توان اکولوژیک کاربری های کشاورزی و مرتع (A) و کاربری جنگلداری (B) با استفاده از مدل مخدوم برای حوضه طالقان را نشان می دهد.

در ادامه نحوه تهیه و آماده سازی نقشه های لازم جهت تولید نقشه توان اکولوژیکی منطقه و همچنین نقشه های لازم محاسبه CN مورد بررسی قرار می گیرد.

محاسبه توان اکولوژیکی

تعیین توان بالقوه ی نوع کاربرد سرزمین بعنوان تعریف تعیین توان اکولوژیک مدنظر است. نقشه توان اکولوژیک منطقه یکی از ورودی مدل طراحی شده است. به منظور تهیه نقشه توان اکولوژیک، در این پژوهش از روش مخدوم استفاده شده است. بدین منظور در ابتدا وضعیت منبع های اکولوژیک منطقه موردشناسایی و تجزیه و تحلیل و همچنین



شکل ۴- نقشه توان اکولوژیکی کاربری های کشاورزی و مرتع (A) و کاربری جنگل (B)
 Fig.4- Ecological Capacity Map for Agricultural and Farm Use (A) and Forest Use (B)

اجتماعی با نتایج محاسبات توان اکولوژیکی، خود مقوله دیگری است که انجام آن به علت زمان بر بودن در این پژوهش انجام نشد و تنها به صورت مختصر تحت دو تابع هدف به بحث اقتصادی پرداخته شده است؛ بنابراین به طور اساسی همه ی درجه های تناسب تعیین شده به شرط تأمین آب، قابل توصیه است.

اجرا و پیاده سازی مدل

فرموله بندی مسئله

هدف از آمایش سرزمین رسیدن به توسعه پایدار است و این توسعه سعی در تأمین سه هدف اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی دارد. بنابراین در این تحقیق سعی شده تا از هر یک از این اهداف نمونه ای به کار گرفته شود و مدلی بر پایه ی برنامه ریزی چند هدفه توسعه داده شود. مدل طراحی شده برای بهینه سازی کاربری زمین در تحقیق حاضر به گونه-

بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی توان اکولوژیک منطقه، ۲۲۸۹ هکتار از سطح حوضه دارای توان ۴ جنگلداری، ۶۱۳۸ هکتار دارای توان ۵ جنگلداری، ۲۴۳۴۳ هکتار دارای توان ۶ جنگلداری و ۱۶۸۲۷ هکتار دارای توان ۷ جنگلداری است. همچنین در مورد توان کاربری های کشاورزی و مرتع، ۴۲۳ هکتار دارای توان یک، ۱۲۷ هکتار دارای توان دو، ۱۴۵۰ هکتار دارای توان سه، ۱۷۹۷ هکتار دارای توان چهار، ۶۶۳۸ هکتار دارای توان پنج، ۴۳۵۹۳ هکتار دارای توان شش و ۴۰۱۴۸ هکتار دارای توان هفت است. لازم به ذکر است که به منظور اختصاص دادن سرزمین به کاربری های مختلف، به مطالعات اقتصادی و اجتماعی و مدل سازی های بیشتری نیاز است. به صورت خاص، منبع های آب از جمله معیارهای مؤثر در تعیین توان اکولوژیکی بشمار می آید. با توجه به گستردگی موضوع، بررسی و تحلیل وضعیت منابع آبی و همچنین تلفیق مطالعات اقتصادی و

سرعت اجرای آن، قسمت‌های توده سنگی و مسیل‌های منطقه که برای هیچ یک از کاربری‌های جنگلداری، کشاورزی و مرتع توان ندارد از فضای جستجو خارج شده است. در ادامه نحوه فرموله کردن اهداف مد نظر شرح داده شده است.

تابع هدف کاهش سیل خیزی

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر الگوهای بهینه در کاهش سیل خیزی از پارامتر شماره منحنی (CN) استفاده شده است. پارامتر CN یک پارامتر وابسته به کاربری زمین بوده و کاهش آن نشان دهنده ی افزایش نفوذ آب در خاک یا به عبارتی کاهش ارتفاع رواناب و در عمل کاهش سیلخیزی است. بمنظور در نظر گرفتن تاثیر CN در مدل، این پارامتر بصورت زیر فرموله شده است:

Minimiz :

$$Z_1 = \frac{\sum_{e=1}^E \sum_{i=1}^{nUnit} (CN_{e,i} \times Area_i)}{\sum_{i=1}^{nUnit} (Area_i)} \quad (1)$$

باشد؟ در این راستا یکی از اهداف این پژوهش، کمینه کردن دشواری تغییر کاربری‌ها در الگوهای خروجی مدل است. برای محاسبه سختی تغییر کاربری‌ها از ماتریس دشواری تغییر کاربری‌ها (Bakhtiari Far et al., 2009:49) استفاده شد. رابطه ۲ نحوه ی محاسبه میزان دشواری تغییر، از کاربری فعلی هر پیکسل به کاربری مدنظر را نشان می دهد.

Minimaiz :

$$Z_2 = \frac{\sum_{i=1}^{nUnit} (D_i \times Area_i)}{\sum_{i=1}^{nUnit} (Area_i)} \quad (2)$$

الگوی آمایش سرزمین پیشنهادی شود. در این پژوهش برای منفعت اقتصادی الگوهای آمایشی تنها به منفعت بازاری این الگوها توجه شده است در صورتی که هر یک از این الگوها از نظر اقتصاد غیر بازاری نیز دارای منفعت است که در این تحقیق مد نظر قرار گرفته نشده است. بمنظور در نظر گرفتن تابع هدف اشاره شده در ابتدا با استفاده دانش

ای تعریف شده تا در پایان الگوهایی از آمایش سرزمین ایجاد کند که در آن‌ها سیل خیزی حوضه کاهش یابد و منفعت اقتصادی بالا رود همچنین دشواری تغییر کاربری ها کم شود. توابع هدف یاد شده به منظور تامین نمونه ای از هدف اقتصادی واجتماعی ومحیط زیستی در نظر گرفته شده است. لازم به اشاره است که اهداف در نظر گرفته شده تنها برای نشان دادن کارایی مدل طراحی شده در آمایش سرزمین می باشد، روشن است که برای دستیابی به نتایج کامل تر در این مدل نیاز به پژوهش های بیشتری است. فرمول بندی مسئله به گونه ای صورت گرفته که همه یاهداف مدنظر در آن دیده شود. شایان توجه است که در مدل طراحی شده برای کاهش حجم محاسبات و افزایش

که در معادله $CN_{e,i}$ شماره منحنی واحد کاری i ام با کاربری e و $Area_i$ مساحت واحد کاری i ام است.

تابع هدف سختی تغییر کاربری

در هنگام تغییر کاربری‌ها سؤالی که مطرح می شود این است که آیا هزینه تغییر کاربری به میزانی هست که مقرون به صرفه

در معادله D_i دشواری تغییر کاربری از کاربری فعلی واحد کاری i ام، به کاربری پیشنهاد شده بوسیله ی مدل طراحی شده و $Area_i$ مساحت هر واحد کاری است.

تابع هدف منفعت اقتصادی

مطابق طرح آمایش سرزمین میزان منفعت اقتصادی تغییر کاربری زمین باید به گونه ای باشد که سودمندی

برای تک تک واحدهای کاری محاسبه شد و مجموع آن به عنوان منفعت اقتصادی کلی در نظر گرفته شد. معادله تابع هدف منفعت اقتصادی تغییر کاربری‌ها به صورت زیر است:

Minimize :

$$Z_4 = \frac{\sum_{i=1}^{nUnit} (P_i \times Area_i)}{\sum_{i=1}^{nUnit} Area_i} \quad (3)$$

از طرفی در این پژوهش کروموزوم به صورت مقدار حقیقی در نظر گرفته شده‌اند. از جمله دلایل انتخاب این روش نداشتن مشکل‌های روش کد گذاری دو دویی است. الگوریتم ژنتیک دو دویی به صورت مستقیم بر روی پارامترهای بهینه سازی عمل نمی‌کند و بلکه به صورت جایگذاری گسسته اجرا می‌شود؛ بنابراین خطای گسسته سازی در هنگام کدگذاری وارد می‌شود و کدگذاری و رمزگشایی الگوریتم را پیچیده می‌سازد. (Masoumi et al., 2008:16).

عملگر ترکیب

یکی از عملگرهای مهم در الگوریتم NSGA-II، عملگر ترکیب است. هدف از عملگر ترکیب کاوش در قسمت‌های جدید و به خصوص سودمند فضای جست و جو به وسیله عوض کردن قسمتی از یک مجموعه از ژن‌ها بین دو کروموزوم است. در این پژوهش از عملگر ترکیب تک مقطه ای و دو نقطه ای و استفاده شده است. شکل ۵ نحوه عملکرد این دو عملگر ترکیب را نشان می‌دهد.

عملگر جهش

عملگر جهش باعث ورود اطلاعات جدید به جمعیت و همچنین جست و جو در فضاهای دست نخورده مسئله می‌شود. در این پژوهش به منظور اعمال جهش از عملگر جهش حقیقی استفاده شده است. در کدگذاری حقیقی، عملگر جهش باعث تولید تصادفی یک مقدار جدید در یک موقعیت خاص در کروموزوم می‌شود، در نتیجه ی این تغییرهای تصادفی در جمعیت کروموزوم‌ها، نواحی بیشتری از فضای کاوش بررسی شده و از همگرایی بی‌موقع (ناگهانی محلی) الگوریتم جلوگیری می‌شود. در این

کارشناسی ماتریس منفعت اقتصادی ایجاد گردید، سپس سطح های منفعت اقتصادی به کمک روش AHP وزن دهی و کمی سازی شد و منفعت اقتصادی تغییر کاربری

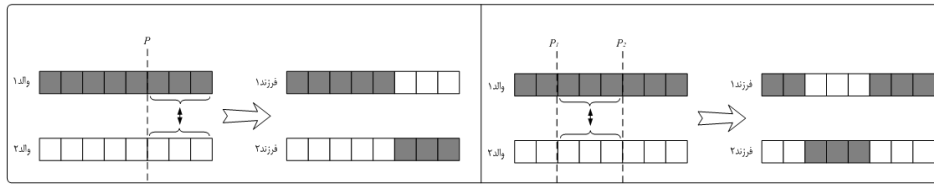
در معادله (۳) P_i منفعت اقتصادی تغییر کاربری واحد کاری A_i ، از کاربری فعلی به کاربری پیشنهاد شده به وسیله ی مدل طراحی شده، و $Area_i$ مساحت هر واحدکاری میباشد.

اجرای مدل

بمنظور حل مسئله های آمایش سرزمین با استفاده از الگوریتم NSGA-II لازم است ابتدا واحدهای کاری متناسب با نیاز مسئله تعریف گردد و در ادامه کروموزوم های متناسب با این مسئله طراحی شوند و همچنین عملگرهای ژنتیکی متناسب با این گونه مسئله ها مورد استفاده قرار گیرند. واحدهای کاری استفاده شده در این پژوهش از آمیختگی لایه های طبقات شیب، طبقات ارتفاعی، نقشه حساسیت به فرسایش، بافت و عمق خاک به شیوه چند ترکیبی تولید شد. به علاوه قسمت هایی از منطقه مورد مطالعه که بدون توان اکولوژیک برای اعمال کاربری بوده اند (از جمله قسمت های توده سنگی) از فضای جستجوی مسئله حذف گردید.

نحوه شکل دهی کروموزوم

مجموعه ای از کروموزوم‌ها به شکل یک جمعیت برای الگوریتم ژنتیک هستند که این جمعیت بوسیله عملگرهای الگوریتم ژنتیک تکامل پیدا می‌کند. تابع عملگر انتخاب تاکید بر انتخاب جواب‌های خوب برای نسل بعد دارد. عملگرهای ترکیب و جهش مسئول ایجاد فرزندان (راه حل جدید) هستند. در این پژوهش یک کروموزوم متشکل از یک فضای دو بعدی از ژن‌ها است که موقعیت هر ژن نشان دهنده یک واحد مکانی (مطالعاتی) از منطقه است و ارزش آن بیانگر کاربری مورد استفاده برای آن واحد است. این موردها به گونه ای طراحی شده‌اند که نیاز فضایی مسئله را ارضا کنند.



شکل ۵- عملگر ترکیب تک نقطه ای (A) و دو نقطه ای (B)
Fig. 5- Single-point combination operator (A) and two-point (B)

میزان برابر بارشد ۵۲/۱۹ درصدی در سطح منفعت اقتصادی حاصل از تغییر کاربری است. باید توجه داشت که سطح منفعت اقتصادی تنها برای تغییر کاربری‌ها از کاربری فعلی منطقه به یک کاربری خاص است بنابراین سطح منفعت اقتصادی الگوی کاربری فعلی منطقه نقطه سر به سر (نه سود و نه زیان) در نظر گرفته شد که مقدار کمی این سطح طبق جدول ۳-۷ برابر با ۰/۱ می‌باشد. همچنین در برآورد سطح اقتصادی تغییر کاربری‌ها، تنها به اقتصاد بازاری تغییر کاربری‌ها توجه شد. جدول ۱ تعدادی از الگوهای خروجی حاصل از اجرای مدل و همچنین تأثیر این الگوها در منطقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول ۱ مشخص می‌شود الگوهای تولیدی توانسته‌اند سطح منفعت اقتصادی منطقه مورد مطالعه را یک سطح افزایش بدهند و آن را از سطح نقطه سر به سر (نه سود و نه زیان) به سطح سود دهی کم افزایش دهند. همچنین تمامی الگوها دارای دشواری تغییر بسیار کم و حتی پایین‌تر از بسیار کم می‌باشد؛ بنابراین مدل توانسته اهداف مد نظر را به خوبی پیاده سازی کند. چرا که الگوهای نهایی توانسته اند هم مقدار CN منطقه را تا حد قابل قبولی کاهش دهند و هم سطح منفعت اقتصادی را بالا ببرند این در حالی است که

پژوهش پس از انتخاب تصادفی چند واحد کاری (ژن) به صورت تصادفی یک کاربری از لیست مجاز کاربری‌های آن انتخاب شده وبا کاربری فعلی آن تعویض می‌شود.

نتایج و بحث

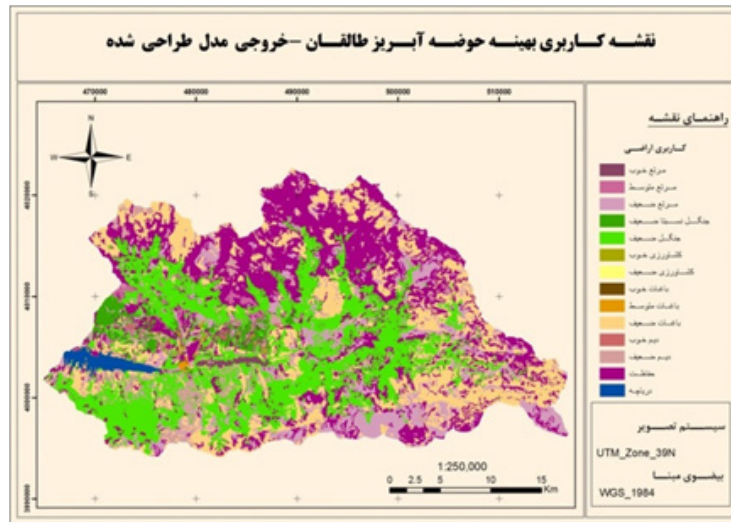
نتایج حاصل از مدل

از آنجا که مدل طراحی شده مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چندهدفه است بنابراین خروجی مدل به صورت چندین الگوی بهینه که دارای ارزش کاربردی یکسانی می‌باشند عرضه می‌گردد که بر اساس شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه و نظر کارشناسی، الگوهای بهینه قابل انتخاب و اجرایی خواهد بود.

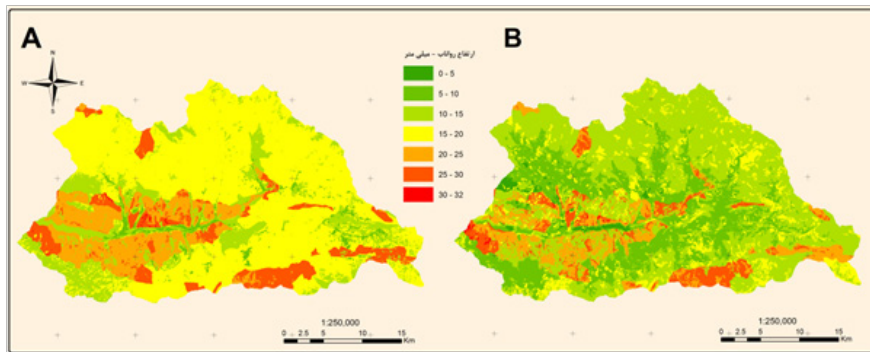
میزان CN منطقه در شرایط کاربری فعلی، برای مناطق منتخب در فضای جستجو، ۸۳ برآورد شد. این در حالی است که در الگوهای خروجی مدل کمترین مقدار CN حدود ۷۴/۵ است که این به معنای کاهش حدود ۱۱ درصدی مقدار CN در این الگو نسبت به شرایط فعلی در قسمت‌های مدنظر است. همچنین این الگوی آمایش سرزمین سطح منفعت اقتصادی حاصل از تغییر کاربری منطقه را به ۰/۱۵۲ رسانده که این

جدول ۱- الگوهای حاصل از مدل و تأثیر آن بر روی منطقه
Table 1. Models derived from the model and its effect on the region

سطح دشواری تغییر Difficulty level of change	درصد رشد سطح اقتصادی Grow percentage of economic level	سطح منفعت اقتصادی Economic benefit level	درصد کاهش CN CN percent reduction	CN	شماره Number
0.040	52.19	0.152	10.88	74.86	1
0.033	49.59	0.150	9.94	75.65	8
0.039	48.90	0.149	10.71	75.01	9
0.021	28.51	0.129	8.08	77.21	12
0.028	48.39	0.148	8.93	76.50	23
0.027	47.86	0.148	8.84	76.57	24
0.019	25.77	0.126	7.68	77.55	29
0.035	53.44	0.153	9.03	75.51	30



شکل ۶- الگوی آمایش سرزمین تولید شده توسط مدل
Fig. 6-Spatial planning pattern produced by the model



شکل ۷- نقشه ارتفاع رواناب با کاربری فعلی منطقه (A) و نقشه ارتفاع با کاربری های بهینه پیشنهادی مدل (B)
Fig.7- Runoff height map with region's current utility (A) and elevation map with optimal proposed by the model (B)

دو هدف اصلی الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه شامل کشف جواب‌های بهینه پارتو یا نزدیک به آن و پیدا کردن جواب‌هایی با تنوع و گوناگونی مناسب (فاصله ازدحامی مناسب جواب‌ها) است. چندین معیار وجود دارد که هر دو وظیفه مسئله‌های بهینه‌یابی را بطور همزمان ارزیابی می‌کنند. در این پژوهش برای ارزیابی مدل از نمودار مسیر ارزش استفاده شد (Geoffrion, 1972:335-368). شکل ۷ نمودار مسیر ارزش را برای جواب‌های نسل ۱۰۰۰ ام نمایش می‌دهد.

در شکل بالا محور افقی توابع هدف را نشان می‌دهد. میله‌های عمودی برای نمایش هر تابع هدف به کار رفته است که برد آن کمترین و بیشترین مقدار تابع هدف برای مجموعه‌ی بهینه پارتو را نمایش می‌دهد. این شکل برای توابع هدف به صورت نرمال شده ترسیم شده است. هر خط متقاطع که

دشواری تغییر کاربری‌ها پایین می‌باشد. در شکل ۵ یکی از الگوهای خروجی مدل به همراه تاثیر آن بر روی رواناب منطقه در شکل ۶ نمایش داده شده است. همانطور که از شکل (۶) مشخص است رواناب منطقه نسبت به شرایط فعلی آن بسیار بهبود یافته البته بخش‌هایی از منطقه در آن بهبودی نیافته که این امر نشان از آن دارد که با مدیریت زمین نمی‌توان ارتفاع رواناب آن قسمت‌ها را کنترل کرد و نیازمند عملیات سازه‌ای است.

مجموعه جواب‌های بهینه و جبهه بهینه

مجموعه‌ی جواب بهینه حاصل از پیاده‌سازی مدل طراحی شده در منطقه مورد مطالعه دارای فضای سه بعدی، به تعداد تابع‌های هدف است. در شکل (۷) هم نمایش سه بعدی و هم منحنی جواب در ۳ تصویر دو بعدی (بر اساس دو تابع هدف) برای نسل ۱۰۰۰ ام نمایش داده شده است.

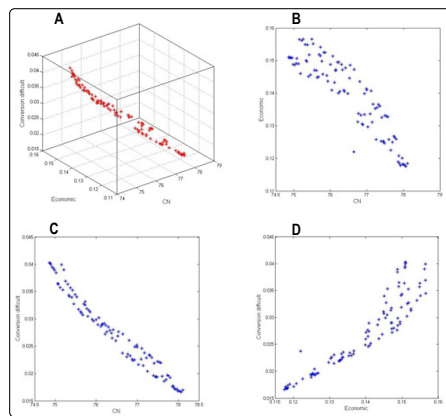
می‌شود که نشان از مبادله خوب بین جواب‌های نامغلوب است.

کاهش اندازه مجموعه جواب

همان طور که در جدول ۱ مشخص است تمامی جواب‌های نهایی دارای سطح سازگاری بالا و دشواری تغییر پایین هستند و همچنین پیوستگی کاربری‌ها بهبود پیدا کرده است. بنابراین می‌توان این توابع هدف را بعنوان محدودیت و قید برای مسئله در نظر گرفته که تا نسل آخر در مدل قرار داشته‌اند و جواب‌ها را به سمت جواب‌هایی با سازگاری و پیوستگی بالا و همچنین دشواری تغییر کم هدایت کنند. در این پژوهش برای کاهش اندازه مجموعه جواب‌ها، جواب‌های نهایی را با عملکرد مرتب سازی نامغلوب بر اساس دو تابع هدف میزان CN و سطح منفعت اقتصادی مرتب کرده و تنها جواب‌هایی که در جبهه ی اول این دو تابع هدف قرار دارند بعنوان جواب نهایی معرفی شد. این جواب‌ها در جدول زیر بیان شده است.

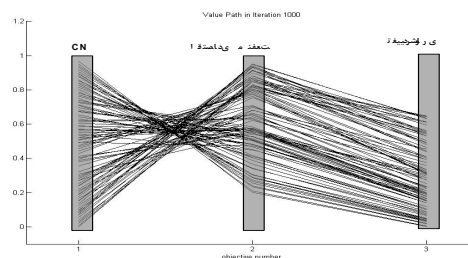
سه هدف را به هم وصل می‌کند با یک جواب از مجموعه نامغلوب متناظر است. همچنین این خط‌ها ارزش یک جواب را در هر مورد از توابع هدف نشان می‌دهد. در مورد نمودار بالا بیان این دو نکته ضروری است: (۱) این نمودار یک ارزیابی کیفی از جواب‌های به دست آمده از نظر هر تابع هدف را نشان می‌دهد. الگوریتمی که بتواند جواب‌های خود را در سراسر طول میله بگستراند، جواب‌هایی با پراکندگی خوب پیدا کرده است (Deb, 2001:2) اندازه شیب میان خطوط متقاطع زیگزاگ، مبادله میان توابع هدف را نشان می‌دهد. الگوریتمی که تغییرهای عمده در شیب خطوط بین دو تابع هدف متوالی (میله‌های عمودی) را داشته باشد آنگاه دارای مبادله خوبی از جواب نامغلوب است (Deb, 2001:497).

همان‌طور که از شکل (۸) نیز مشخص است جواب‌های به دست آمده از مدل در سراسر طول میله گسترده شده، در نتیجه پراکندگی نتایج خوب است و هم اینکه تغییرهای عمده‌ای در شیب خطوط بین هر دو تابع هدف متوالی دیده



شکل ۸- نمایش پاسخ‌های شبه بهینه حاصل پیاده سازی مدل در فضای سه بعدی (A) و در فضای دو بعدی بین تابع هدف اقتصادی و سیل خیزی (B)، سیل خیزی و دشواری تغییر (C) و اقتصادی و دشواری تغییر (D)

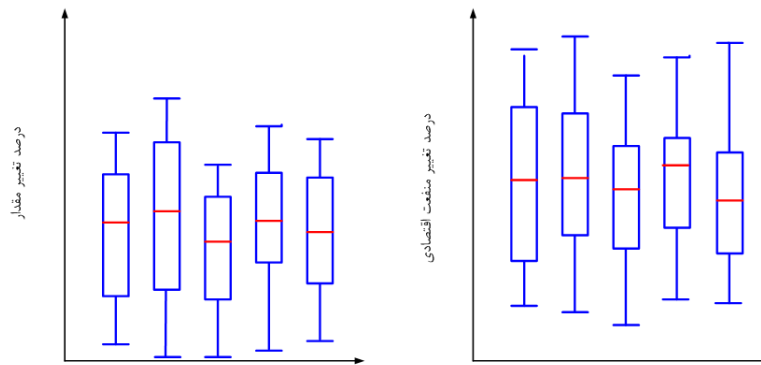
Fig. 8- Representation of quasi-optimal responses resulting from implementation of model in three-dimensional space (A) and in two-dimensional space between objective economic function and fluctuation (B), fluctuation and difficulty of change (C) and economic and difficulty of change (D)



شکل ۹- نمودار مسیر ارزش سه تابع هدف در نسل ۱۰۰۰
Fig. 9- Value path diagrams for three objective functions in the 1000th generation

جدول ۲- جواب‌های نهایی پیشنهادی از مجموعه جواب بهینه
Table 2. Proposed final answers from the optimal answer set

سطح دشواری تغییر Difficulty level of change	درصد رشد سطح اقتصادی Grow percentage of economic level	سطح منفعت اقتصادی Economic benefit level	درصد کاهش CN CN percent reduction CN	CN	شماره Number
0.040	52.19	0.152	10.88	74.86	1
0.038	54.35	0.154	10.41	75.25	2



شکل ۱۰- نمودار حاصل از ۵ بار تکرار مدل با ۳۰ جمعیت اولیه طی ۵۰ نسل
Fig. 10- Agraph of 5 repetitions of the model with 30 primary populations over 50 generations

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد سامانه ای برای بهینه سازی کاربری زمین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چند هدفه با رویکرد کاهش سیل خیزی بیان شود؛ بدین سبب در ابتدا ضرورت و اهمیت مسئله بیان و پیشینه تحقیقاتی در این زمینه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در ادامه به بررسی مفهوم بهینه سازی و به خصوص بهینه سازی چند هدفه و روش‌های حل این گونه مسئله‌ها پرداخته شد. همچنین الگوریتم-NSGA II، به دلیل پیچیدگی محاسباتی کم و همچنین توانایی آن در حل مسئله‌های آمایش سرزمین، به منظور طراحی مدل انتخاب شد. با پژوهش‌های صورت گرفته در حوضه طالقان مشخص شد این منطقه به مطالعات آمایش سرزمین با رویکرد سیل خیزی نیازمند است؛ بدین جهت کارایی مدل پیشنهادی در حل مسئله آمایش سرزمین این منطقه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور داده‌های پایه ای مورد نیاز شناسایی و آماده سازی شد و نقشه توان اکولوژیک منطقه به دست آمد. در انتها مدل طراحی شده، در محیط نرم افزاری MATLAB پیاده سازی شد. بررسی نتایج به

لازم به اشاره است که همه ی جواب‌های بهینه نهایی مدل دارای ارزش کاربردی یکسانی هستند و این روش تنها برای بیان پیشنهاد جواب بمنظور کاهش اندازه مجموعه جواب نهایی است.

تست تکرارپذیری مدل

از آنجا که در الگوریتم‌های تکاملی، جمعیت اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌شود، نتایج کار با اجراهای مختلف، متفاوت خواهد بود. به سبب تست تکرار پذیری، مدل به ۵ دفعات ۵ بار با جمعیت اولیه ۵۰ و تعداد تکرار ۵۰۰ با پارامترهای یکسان اجرا شد. شکل (۹) نتایج حاصل از اجرای مدل برای دو تابع هدف مقدار CN و منفعت اقتصادی در طی ۵ بار تکرار را نمایش می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۹) مشخص است جواب‌های خروجی مدل در طی ۵ تکرار به طور تقریبی در یکبازه از مقدار CN و منفعت اقتصادی قرار دارند و تفاوت قابل ملاحظه ای بین آن‌ها از جهت این دو تابع هدف وجود ندارد. همه ی الگوها توانسته‌اند میزان CN منطقه را در حد قابل قبولی کاهش دهند و سطح منفعت اقتصادی منطقه را بالا ببرند.

در مدل بیان شده وجود داشته باشد. استفاده از نظرهای کارشناسی و جداول تجربی در محاسبه CN، موجب گردید برآورد دقیقی از تغییر میزان رواناب با تغییر کاربری به دست نیاید. در نظر گرفته نشدن اقلیم و آب در برآورد توان اکولوژیک منطقه موجب گردید کاربری‌های اختصاص داده شده تنها به شرط وجود منبع های کافی آب قابل اجرا باشند، در نظر گرفته نشدن مساحت مجاز هر کاربری در کل منطقه به علت نیاز به مطالعات خاص اقتصادی، اجتماعی در منطقه، توجه نکردن به اقتصاد غیر بازاری کاربری‌ها به سبب نیاز به داده‌ها و پارامترهای مورد نیاز، از آن جمله است.

پی‌نوشت‌ها

- ¹ Non dominated Sorting Genetic Algorithm – II
- ² Decision Support System
- ³ Multi-objective optimization
- ⁴ Pareto-Optimal Set
- ⁵ Pareto-Optimal Front (Surface)
- ⁶ Non dominated Sorting
- ⁷ Pareto Front
- ⁸ Crowding Distance

دست آمده نشان می‌دهد که مدل طراحی شده در پژوهش حاضر قادر است الگوهایی برای آمایش سرزمین پیشنهاد دهد که حدود ۱۰ درصد میزان ارتفاع رواناب منطقه را کاهش دهند این در حالی است که سطح منفعت اقتصادی حاصل از تغییر کاربری حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد رشد داشته است. همچنین تمامی الگوها دارای دشواری تغییر کم است. از نتایج دستاوردهای این مطالعه می‌توان به موارد چون: (۱) بیانیک مدل بهینه سازی کاربری زمین مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چند هدفه با رویکرد کاهش سیل خیزی (۲) مدیریت یکپارچه ی حوضه آبریز (۳) نگارش برنامه به فرمی قابل توسعه در آینده به منظور استفاده در پژوهش های آینده، اشاره کرد. مدل توسعه داده شده در این مطالعه در کنار ویژگی ها و مواردی که منجر به بهبود رویکرد حل مسئله شده، کاستی‌هایی را نیز دارد. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، وجود جواب‌های بی‌شمار در فضای جست و جو و محدودیت‌های موجود در تولید الگوهای بهینه آمایش سرزمین، مسئله را به فرمی پیچیده تبدیل کرده است و سبب شده تا محدودیت‌هایی

منابع

- Ar, Y. and Boštanci, E., 2016. A genetic algorithm solution to the collaborative filtering problem. *Expert Systems with Applications*. 61, 122–128.
- sadzadeh, L., 2015. A local search genetic algorithm for the job shop scheduling problem with intelligent agents. *Computers, Industrial Engineering*. 85, 376-383.
- Bakhtiari Far, M., Mesgari, M., Karimi, M. and Chahaghani, A., 2011. Modeling of land use change using multi-criteria and GIS methods. *Journal of Environmental Studies*. 37, 43-52.
- Bladt, J., 2002. "Multiobjective land use optimisation using evolutionary algorithms". MS.c. Thesis. University of Aarhus. 52, 54-96.
- Campbell, J.C., Radke, J., Gless, J.T. and Wirtshafter,
- R.M., 1992. An application of linear programming and geographic information systems: cropland allocation in Antigua. *Environment and Planning*. 24: 535–549.
- Coello Coello, C.A., Lamont G.B. and Van Veldhuizen, D.A., 2007. *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*. Springer Science+Business Media, LLC., 810p
- Datta, D., Deb, K. and Fonseca, C.M., 2007. Multi-Objective Evolutionary Algorithm for Land-Use Management Problem. *International Journal of Computational Intelligence Research*. 3, 371-384.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T., 2002. A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*. 6, 182-197.

- Deb, K., 2001. Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. *Computers*. 497, 115-201.
- Ducheyne, E.I., Wulf, R.R. De. and Baets, B. De., 2006. A spatial approach to forest-management optimization: linking GIS and A spatial approach to forest-management optimization: linking GIS and multiple objective genetic algorithms, Taylor & Francis. *International Journal of Geographical Information Science*. 20, 917-928.
- Denham, M., Wendt, K., Bianchini, G., Cortes, A. and Margalef, T., 2012. Dynamic data-driven genetic algorithm for forest fire spread prediction. *Journal of Computational Science*. 3, 398-404.
- Fogue, M., Sanguesa, J.A., Naranjo, F., Gallardo, J., Garrido, P. and Martinez, F.J., 2016. Non-emergency patient transport services planning through genetic algorithms. *Expert Systems with Applications*. 61, 262-271
- Geoffrion, A.M., Dyer, J.S. and Feinberg, A., 1972. An interactive approach for multicriterion optimization with an application to the operation of an academic department. *Management Science*. 19, 335-368.
- Hakli, H. and Uguz, H., 2017. A novel approach for automated land partitioning using genetic algorithm. *Expert Systems With Applications*. 82, 10-18.
- Herzig, A., 2008. A GIS-based Module for the Multiobjective Optimization of Areal Resource Allocation. In *Proceedings 11th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, University of Girona, Spain, pp. 17-19.
- Khosheamoz, G., 2011. Development of a Multi-Objective Decision-Making Plot Model with Emphasis on Industrial Planning. Master's thesis of Spatial Information System. of Khaje Nasir University 26, 33-65.
- Liu, D. T.J. Stewart, 2004. Object-Oriented decision support system modelling for multicriteria decision making natural resource management. *Computers & Operations Research*. 31, 985-999.
- Mahdoun, M., 2008. The Foundation of the Alignment of the Land. Tehran University Press, Tehran, Iran.
- Holland, J.H., 1975. *Adaption in natural and artificial systems*. The University of Michigan Press. 64, 73-95.
- Masoumi, Z., Mansourian, A. and Mesgari, M.S., 2010. Application of Multi-objective Genetic Algorithms in Locations of Industrial Applications. *Remote Sensing and GIS of Iran, Second Year*. 4, 1-22.
- Sadeghi, S.H., Jalili, Kh. and Nikkami, D., 2008. Maximizing profitability of land use in Breimond watershed. *Journal of Natural Resources*. 60, 6-15.
- 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.
- Pourvaziri, H. and Naderi, B., 2014. A hybrid multi-population genetic algorithm for the dynamic facility layout problem. *Applied Soft Computing*. 24, 457-469.
- Sha'bani, M., Ahmadi, H., Mohseni Saravi, M., Azami-vand, H. and Niknami, D., 2008. Land use optimization in order to reduce erosion and increase profitability of watersheds (Case study: Khorestan Watershed of Fars). *Journal of Natural Resources*. 60(1-65), 33-74.
- Sukhija, P., Behal, S. and Singh, P., 2016. Face recognition system using genetic algorithm. *Procedia Computer Science*. 85, 410-417.
- Suhaedi, E., 2002. Models of Spatial Planning For Sustainable Rural Development. Ph.D. Thesis. Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- Tenasan, M., 2012. Designing a land use optimization model base on multi-objective genetic algorithm with a land-use approach. MS.c. Thesis. Shahid Beheshti Uni-

versity, Tehran, Iran.

Thomas, J. and Chaudhari, N.S., 2014. Design of efficient packing system using genetic algorithm based on hyper heuristic approach. *Advances in Engineering Software*. 73, 45–52.

The comprehensive study of watershed management in Taleghan watershed, 1993. Irrigation group, University of Tehran 55, 54-61.

Vahhabi, J., 1997. Flood zoning in Abkhizat-e-Alagh Basin. MS.c. Thesis. University of Tehran, Tehran, Iran.

Ziaee, A., 2007. Multi-objective optimization of reservoir exploitation using genetic algorithm. MS.c. Thesis. Tehran University, Tehran, Iran.





Proposing a flood management solution based on optimal usage allocation via genetic algorithm

Davood Mokhtari, Ali Akbar Rasouli and Monireh Mosabeigi*

Department of Remote Sensing and Geographical Information Systems, Faculty of Geography and Urban Planning,
Tabriz University, Tabriz, Iran

Received: 2017.11.28 Accepted: 2019.04.24

Mokhtari, D., Rasouli, A.A. and Mosabeigi, M., 2019. Proposing a flood management solution based on optimal usage allocation via genetic algorithm. *Environmental Sciences*.17(2): 185-202.

Introduction: One of the most influential factors in the occurrence of a flood in the spillway basins is proposed to be the unsuitable or exorbitant use of lands. One of the flood management solutions is to optimize the land use allocation by considering multiple objectives and parameters. In this regard, GIS capabilities could be applied as one of the novel scientific and technical methods along with taking the advantage of Artificial intelligence capabilities, such as multi-objective genetic algorithm. This research aimed to model the land use allocation in GIS platform using NSGA-II algorithm to monitor flood crisis.

Material and methods: In the designed model, using the interruptive method, land's ecological capability was extracted and then using NSGA-II algorithm capabilities, optimal applications were obtained for various parts of the area in order to decrease the flood height as well as to increase the economic profit with the least difficult change of utilities. In the designed model, the curve number parameter (CN) was used to investigate the role of land use on the flood.

Results and discussion: The results of the designed model are represented in several optimal patterns that have the same applicable value. Based on the present conditions of the studied region and the expert's opinion, the optimal model could be executed. To evaluate the capability of the designed model, the Taleghan basin was selected which is located in Alborz Province; CN range of the study area was 83 in the searching space, while in designed output models, the lowest amount of CN, with 11% decrease compared to the current situation, was about 74.5%. Also, the economic profit growth was 52.19% in this land synthetic pattern.

Conclusion: The results and achievements of this study include proposing a land use optimization model based on a multi-objective genetic algorithm for flood reduction, integrated river basin management, as well as programming in an expansive

*Corresponding Author: *Email Address:* m.moosabeigi16@gmail.com

form to use in future studies.

Keywords: Modeling, Land use optimization, Flooding, GIS, NSGA-II algorithm.