Research Article

Agricultural Engineering., 43(3) (2020) 315-330
DOI: 10.22055/AGEN.2020.31651.1522

ISSN (E): 2588-526X
ISSN (P): 2588-5944

Optimal placement of gabions using AHP and NSGA-II algorithm (Case study: Emamzadeh watershed)

Sh. Shirjandi[1], A. Khademalrasoul*[2], A. Moradi Sabzkuhi[3] and H.Amerikhah[4]

1. Master student of soil science department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Assistant professor of soil science department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Faculty member of Water Engineering Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
4. Scientific member of soil science department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 9 November 2019 Accepted: 17 June 2020

Abstract

Introduction: Soil degradation is a phenomenon which damages the soil structure and reduces its capacity for production. Soil erosion, as one of the most common forms of soil degradation, leads to loss of soil surface including on-site and off-site effects. Although soil erosion is a natural process on the earth, some of the human activities such as burning agriculture residues, deforestation, overgrazing, and lack of proper soil conservation practices accelerate soil erosion and enhance the negative consequences of erosion. Selecting and implementing of management scenarios requires assessment of soil losses from different management operations. Generally, management practices consist of structural and non-structural methods used to mitigate erosion, prevent nutrient removal, and increase soil infiltration capacity. Application of simulation models is an appropriate technique to evaluate erosional conditions. GeoWEPP is a process-based, distributed-parameter, and continuous simulation model of water erosion in watersheds with the possibility to simulate hillslopes and hydrographical network. Identifying problems in the real world usually produces large amounts of information and decision space, which requires optimization using evolutionary algorithms due to the variety of aims considered. Considering diversity of evolutionary algorithms, NSGA-II is one of the most common and effective multiobjective evolutionary algorithms (MOEA) and a very powerful tool for solving problems with conflicting objectives. Development of simulation models with optimization algorithms that are capable of analyzing very complex systems, has been found to be very efficient in real world problems. Simulation-optimization models are powerful tools for solving problems for least cost and best performance.

Materials and Methods: In this study, to predict sediment yield and runoff using GeoWEPP model, the integration of WEPP, TOPAZ, (Topography Parameterization), CLIGEN (Climate Generation) and GIS tool (ArcGIS) were used. The GeoWEPP model provides the processing of digital data including DEM, soil and landcover (The format of inputs was ASCII file). To generate climate file, the CLIGEN module which is a stochastic weather generation model was utilized. Furthermore, in TOPAZ part the CSA (critical source area) and MSCL (minimum source channel length) to delineate streams and also the outlet point of studied watershed were defined using GeoWEPP linked to ArcGIS. Using the basic maps including DEM, slope, soil great groups and soil database the GeoWEPP model simulates and generates the hillslopes automatically; therefore, this is an important advantage of GeoWEPP compared to WEPP model, which is capable of performing the simulation of watershed components spontaneously. In this study. in order to optimize the placement of gabions, 118 channels and 5110 candidate sites for gabion construction were simulated and evaluated. For optimization process of the number of objectives the AHP technique was initially used to prioritize

© 2020 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

the effective factors on the placement of gabions. Analytical hierarchy process is a structured technique for organizing and analyzing complicated decisions based on mathematical calculations. The AHP depicts the accurate approach for quantifying the weights of criteria and estimates the relative magnitudes of factors through pair-wise comparisons. The AHP technique includes creating hierarchical structure, prioritizing and calculating relative weights of the criteria, calculating the final weights and system results compatibility. The main criteria (objectives) for our study were minimum distance from road, minimum distance from residential area, maximum length of main channel, maximum sediment yield, maximum discharge volume and maximum volume structure. The AHP technique made it possible to restrict the decision making space and the number of possible options,, therefore simplify the optimization process. Then, NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) was applied in order to find the best solutions, i.e., the Pareto front, of alternatives for optimal location of structures based on the two objectives with higher priority and distance constraint.
Results and discussion: The results of paired comparison matrix and prioritizing showed that the length of main channel in the watershed is the main effective criterion in locating gabion structures. The first priority is the most critical channel which produces the highest sediment yield; therefore, the most expensive structure is established on that channel. After channel length, the volume discharge is the second priority of effective factors for gabion placement. Using the results of AHP, based on channel length and discharge volume, the non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) was performed and the priority of critical channels and the specific position was determined from 1 to 35 among 5110 candidate sites for gabion construction. Using the ArcGIS, slope map and the lowest width of the critical channels, the best place for gabion construction was determined. Moreover, the main output of GeoWEPP is the spatial distribution of sediment yield and based on this map the sediment yield was classified in the watershed. Based on this map, the red color was the highest amount of sediment yield (more than 4 ton) in the watershed.
Conclusion: Results confirmed that application of simulation-optimization techniques helps to select the best sites to construct gabion as the best management practice in the watershed.

Key words: GeoWEPP model, optimization, multi-objective decision making, NSGA-II algorithm, analytic hierarchy process

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۳ شماره ۳، پائیز ۱۳۹۹

مقاله پژوهشی

مکانیابی بهینه‌ی بندهای گابیونی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی امامزاده باغملک)

شمیم شیرجندی[۱]، عطاالله خادم الرسول[۲*]، عادل مرادی سبزکوهی[۳] و هادی عامری خواه[۴]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران
۴- مربی گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز،اهواز، ایران

تاریخچه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۸

کلمات کلیدی:

مدل GeoWEPP،

بهینه‌سازی،

تصمیم‌گیری چندهدفه،

الگوریتم NSGA-II،

تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

* عهده‌دار مکاتبات

Email: a.khademalrasoul@scu.ac.ir

چکیده

با توجه به وقوع فرسایش خاک در حوضه‌های آبریز و تاثیرات درون حوضه‌ای و برون حوضه‌ای آن، مکان‌یابی بهینه‌ی سازه‌های حفاظتی به منظور کنترل فرسایش و بار رسوب از اهمیت بالایی برخوردار است. از جمله شیوه‌های حفاظت سازه‌ای، گابیون‌ها هستند که نقش موثری در کاهش سرعت جریان آب و به دام انداختن رسوبات دارند. در این پژوهش به منظور مکان‌یابی بهینه‌ی احداث سازه‌های گابیونی در حوضه امامزاده‌ی باغملک با مساحت تقریبی ۱۰۴ کیلومترمربع از اتصال تکنیک‌های تحلیل سلسه مراتبی (AHP) و الگوریتم ژنتیک (NSGA-II) استفاده شد. معیارهای بهینه‌سازی تابع هدف مشتمل بر حداقل فاصله از جاده، حداقل فاصله از مکان مسکونی، حداکثر طول کانال اصلی، حداکثر بار رسوب، حداکثر حجم آب خروجی و حداکثر فرسایش خاک کانال توسط تکنیک AHP به منظور انجام فرایند تصمیم‌گیری اولویت‌بندی شدند. نتایج مقایسه‌ی ماتریس زوجی و اولویت‌بندی نشان داد که طول کانال اصلی به عنوان موثرترین معیار (Criteria) بر مکان‌یابی سازه‌ی گابیون است. اولویت اول به عنوان بحرانی‌ترین کانال که بیشترین بار رسوب را تولید می‌نماید، در نظر گرفته شد، در نتیجه گران‌ترین سازه در آن احداث می‌شود. الگوریتم بهینه‌ساز NSGA-II بر مبنای طول کانال و حجم آب خروجی، تقدم کانال‌های بحرانی و مکان آنها را از کانال شماره ۱ تا ۳۵ در میان ۵۱۱۰ سایت موردنظر برای احداث گابیون، تعیین نمود. نتایج تایید می‌نماید که استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی – بهینه‌سازی برای طراحی، به انتخاب مکان‌های مناسب برای احداث سازه‌ی گابیون به عنوان بهترین شیوه‌ی مدیریتی کمک می‌نماید.

مقدمه

در مقیاس جهانی، فرسایش آبی شدیدترین نوع فرسایش خاک است (۴). با بهره‌گیری از شیوه‌های مدیریتی مناسب و متناسب با شرایط حاکم بر هر منطقه‌ای می‌توان میزان فرسایش خاک و تبعات منفی ناشی از آن را کاهش داد. انتخاب و به کارگیری شیوه‌های مدیریتی، نیازمند ارزیابی هدررفت خاک متاثر از سناریوهای مدیریتی مختلف می‌باشد (۳). شیوه‌های مدیریتی شامل روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای است که به منظور کاهش فرسایش خاک، ممانعت از هدررفت عناصر غذایی موجود در خاک، افزایش ظرفیت نفوذ خاک و افزایش زبری سطح استفاده می‌شود (۲۰). به هر حال محدودیت در روش‌های اندازه‌گیری فرسایش و رسوب که این محدودیت‌ها هم از لحاظ اجرا و هم از جهت بسط نتایج حاصله به سطوح وسیع می‌باشد، سبب شده است که از مدل‌های شبیه‌ساز استفاده شود (۱۵).

همچنین با توجه به اینکه مسائل مکان‌یابی معمولاً با حجم وسیعی از اطلاعات مواجه‌اند و فضایی که می‌بایست بهینه شود از پیچیدگی زیادی برخوردار است در نتیجه استفاده از الگوریتم‌های تکاملی می‌تواند روش و ابزاری کارآمد تلقی شود (۵). الگوریتم تکاملی NSGA-II از معروفترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های تکاملی چندهدفه است که ابزاری توانمند برای حل مسائل جستجو و بهینه‌یابی دنیای واقعی است (۶). الگوریتم NSGA-II از نگرش نخبه‌گرایی استفاده می‌کند و قادر است در فضایی گسترده از متغیر تصمیم و هدف، جستجو را انجام دهد (۱۲). مدل‌های شبیه‌سازی - بهینه‌سازی ابزاری بسیار موثر و توانمند برای حل مسائل بهینه‌سازی هستند و هدف اصلی این مدل‌ها تعیین مقادیر مطلوب با بهترین کارایی است (۱۱).

امروزه توسعه‌ی مدل‌های شبیه‌سازی به همراه گسترش فزاینده‌ی الگوریتم‌های بهینه‌سازی که قابلیت حل مسائل بسیار پیچیده و به ویژه غیرخطی را دارند، گسترش چشمگیری پیدا کرده است (۱). امامقلی و همکاران[1] (۷) جهت انتخاب مکان‌های مناسب برای ساخت گابیون‌ها از تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2]) استفاده نمودند و نقشه‌ی اولویت‌بندی شده در محیط نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از معیارها و زیر معیارها تعریف شد. سپس نقشه‌ی مربوط به اولویت‌بندی کانال‌ها برای ساخت گابیون‌ها تهیه شد و نتایج نشان داد که از میان ۹۴۶ کانال، تعداد ۳۶ کانال برای ساخت گابیون‌ها مناسب هستند و از اولویت لازم برای ساخت گابیون‌ها برخوردارند. پرامانیک (۱۶) نیز به منظور تعیین وضعیت اراضی و کاربری آنها برای کشاورزی از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی با تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده نمود و در این زمینه ۹ معیار مرتبط را جهت ارزیابی اولویت اراضی جهت کشت در نظر گرفت و در نهایت نتایج نشان داد که فقط در حدود ۵ درصد از اراضی برای کشاورزی مناسب هستند و مابقی اراضی فاقد معیارها و شرایط لازم و تعریف شده می‌باشند. در شیوه‌های حفاظتی سازه‌ای کنترل فرسایش همچون هر پروژه عمرانی دیگر، میزان هزینه‌ها یکی از عوامل مهم در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی می‌باشد. همچنین استفاده‌ی تلفیقی از مدل‌های شبیه‌سازی – بهینه‌سازی، تضمین کننده‌ی حصول سناریوهایی است که علاوه بر مدل‌سازی فرآیندهای پیچیده‌ی فیزیکی مرتبط با فرسایش و رسوب، صرفه و صلاح اقتصادی پروژه‌ها را نیز در نظر گرفته باشد. در این مدلهای تصمیم‌گیری، مدل بهینه‌ساز با تشکیل جمعیتی از پاسخ‌های کاندیدا و ارسال آنها به مدل شبیه‌سازی میزان مطلوبیت آنها را ارزیابی کرده و بر این مبنا جمعیت پاسخ‌های کاندیدا را رده‌بندی می‌کند. در ادامه‌ی فرآیند، مدل بهینه‌ساز جمعیت نسل جدید پاسخ‌های کاندیدا را با اعمال یکسری عملگرهای ویژه روی نسل قبل تولید نموده و مجدداً برای ارزیابی نسل جدید، مدل شبیه‌سازی را فراخوانی می‌نماید. این فرایند اصلاح جمعیت پاسخ‌ها تا حصول شرایط همگرایی به پاسخ بهینه سراسری ادامه

1- Emamgholi *et al.*
2- Analytical Hierarchy Process

می‌یابد. برای هر طرح از ترکیب سازه‌های حفاظتی علاوه بر اجرای مدل شبیه‌سازی برای تعیین راندمان عملکرد طرح در حوضه‌ی آبریز، هزینه اجرای طرح با توجه به مشخصات هندسی سازه‌ها و موقعیت احداث آن‌ها برآورد می‌شود.

در پژوهش حاضر مسئله‌ی جانمایی بهینه‌ی سازه‌های کنترل فرسایش و رسوب در سطح حوضه بر اساس شاخص‌های فرسایش و رسوب به صورت یک مدل تصمیم‌گیری چندهدفه برنامه‌ریزی گردید.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در جنوب شرقی شهرستان باغملک (حدودا ۲۵۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا) قرار دارد. حوضه‌ی امامزاده عبدالله باغملک با مساحت تقریبی ۱۰۴ کیلومتر مربع دارای ۶ پارسل بوده و در موقعیت جغرافیایی ´۲۲ °۳۱ تا ´۳۰ °۳۱ عرض شمالی و ´۴ °۵۰ تا ´۱۴ °۵۰ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی ۱۰ ساله‌ی (۱۳۹۸-۱۳۸۸) حوضه به استناد آمار موجود در ایستگاه سینوپتیک ایذه ۵۴۰ میلیمتر و میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه به ترتیب ۲۶/۹ و ۳۵/۶ می‌باشند. بدین ترتیب بر اساس میانگین دما و بارش، منطقه‌ی مطالعاتی دارای رژیم رطوبتی یوستیک و رژیم حرارتی ترمیک است. مهمترین رده‌های خاک موجود در منطقه‌ی مطالعاتی خاک‌های کم‌عمق انتی‌سول و اینسپتی‌سول هستند که شامل گروه‌های بزرگ خاک Lithic Xerorthents، Typic Calcixerepts و Typic Xerofluvents می‌باشند. خاک‌های Lithic Xerorthents دارای بافت غالب Clay Loam، خاک‌های Typic Calcixerepts دارای بافت غالب Loam و خاک‌های Typic Xerofluvents دارای بافت خاک غالب Clay Loam هستند.ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در منطقه‌ی مطالعاتی بین ۱۵ تا حدودا ۲۷ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک است و تعیین خاک سطحی از طریق حفر پروفیل و انجام آزمایشات تشریح پروفیل خاک صورت گرفت. کاربری اراضی منطقه شامل جنگل، مرتع و اراضی دیم و آبی است.

شبیه‌سازی باررسوب توسط مدل GEOWEPP

به‌منظور برآورد باررسوب و رواناب در حوضه‌ی مطالعاتی از مدل GeoWEPP با مبانی TOPAZ و مرتبط با نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. همچنین برای ساخت اقلیم منطقه از نرم‌افزار BPCDG که به صورت افزونه‌ای مستقل در مدل طراحی شده است استفاده شد و فایل اقلیم منطقه (CLI) ساخته شد. مهمترین ورودی‌های مدل GeoWEPP مدل رقومی ارتفاع، نقشه‌ی خاک و نقشه‌ی پوشش زمین است که تمامی ورودی‌ها دارای فرمت ASCII می‌باشد (۱۸). مدل رقومی ارتفاع مورد استفاده در این پژوهش از SRTM با وضوح مکانی ۳۰ متر تهیه گردید. جهت انجام فرایند شبیه‌سازی بازدیدهای میدانی، تطبیق نقشه‌ها، عملیات نمونه‌برداری از خاک و آنالیزهای آزمایشگاهی مربوطه انجام شد و پارامترهای ورودی مدل تهیه گردید. در فرایند شبیه‌سازی خاک پارامترهای عمق خاک، درصد اجزای بافت خاک، درصد ماده آلی خاک، درصد سنگ خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت خاک، ضریب آلبدو و ضرایب ابتدایی رطوبت خاک در پلی‌گون‌های ۱۴ گانه خاک اندازه‌گیری شد. محاسبه‌ی ضریب آلبدوی خاک توسط معادله‌ی بومر (۱۹۹۰) که تابعی از مواد آلی خاک است صورت پذیرفت.

با توجه به اینکه ورودی‌های مدل در ۳ بخش کلی قابل تعریف است لذا پس از تعریف مدل رقومی ارتفاع به عنوان مبنا برای تعریف حوضه‌ی آبریز و اجزاء شبکه‌ی هیدروگرافی آن، خصوصیات خاک منطقه و نقشه‌ی کاربری اراضی تعریف شد که کاربری‌های منطقه‌ی مطالعاتی شامل جنگل، مرتع و اراضی تحت کشت می‌باشند. به منظور تهیه و تکمیل فایل مدیریت حوضه‌ی مطالعاتی با استفاده از بازدیدهای میدانی و تصاویرماهواره‌ای سه نوع مدیریت و کاربری مشتمل بر پوشش جنگلی درختان برگ‌ریز با چرای دام، پوشش مرتعی فقیر دارای چرای دام و کشت توسط انسان شامل کشت تراس‌بندی

برنج و نیز کشت گندم دیم مشخص و شبیه‌سازی گردید. همچنین بواسطه‌ی تاثیرات معنی‌دار شرایط مدیریتی بر روی وضعیت رخدادهای فرسایشی، لذا در خط زمانی (Time line) کشت زراعی، عملیات آتش زدن اراضی و سوزاندن بقایای زراعی نیز تعریف و شبیه‌سازی شد. با وارد کردن ورودی‌های مدل و مشخص نمودن نقطه‌ی خروجی (Outlet) حوضه خود مدل به صورت اتوماتیک کل حوضه و دامنه‌ها را در آن شبیه‌سازی نمود، ویژگی بارز این مدل در مقایسه با مدل WEPP آن است که نیازی به تعریف دستی دامنه‌ها نبوده و خود مدل با دقت بالا این کار را انجام می‌دهد، همچنین از قابلیت‌های بالاتری جهت تعریف شبکه‌های هیدروگرافی (کانالی) برخوردار است (۱۳، ۱۴). در بخش TOPAZ مدل GeoWEPP، منطقه‌ی منبع بحرانی (CSA[1]) و منبع حداقل طول کانال (MSCL[2]) جهت ترسیم آبراهه‌ها و نیز نقطه‌ی خروجی حوضه تعریف شدند (۱۸). به بیان بهتر مدل GeoWEPP شبکه‌ی آبراهه‌ای را توسط دو پارامتر یعنی CSA و MSCL و بر اساس مدل رقومی ارتفاع منطقه، محاسبه و ترسیم می‌نماید. در واقع هر دو این پارامترها نیز تابعی از وضوح مدل رقومی ارتفاع منطقه هستند. در این پژوهش مقدار CSA معادل ۲۰ هکتار در نظر گرفته شد تا بدین ترتیب بحث تراکم در محاسبات و هزینه‌های اجرایی مدیریت شود. همچنین علیرغم اینکه پیش‌فرض مدل برای پارامتر MSCL برابر ۱۰۰ می باشد، در این پژوهش با توجه به ابعاد سازه و لزوم یافتن پیکسل‌های همسایه جهت تقرب جاده‌ها، این پارامتر ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد. به منظور شبیه‌سازی شبکه کانالی، دامنه‌ها، اقلیم و در نهایت کل حوضه آبریز تمامی لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل به همراه مدل رقومی ارتفاعی منطقه به عنوان ورودی‌های مدل مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش جهت بهینه‌سازی مکان مناسب برای احداث سازه‌ی حفاظتی گابیونی تعداد ۱۱۸ کانال و ۵۱۱۰ ساختگاه به‌عنوان کاندیدای احداث گابیون ایجاد و شبیه-سازی گردید به گونه‌ای که تمامی ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های ممکن ارزیابی شود.

بهینه‌سازی با تلفیق AHP و NSGA-II

به منظور انجام فرایند بهینه‌سازی و با توجه به تعدد اهداف در ابتدا از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی در نرم‌افزار اکسل، عوامل تاثیرگذار بر انتخاب مکان سازه‌ی گابیونی اولویت‌بندی شدند. عواملی که در تابع هدف به‌عنوان عوامل تاثیرگذار بر مکان بهینه‌ی احداث گابیون در نظر گرفته شد مشتمل بر فاصله از جاده، فاصله از منطقه مسکونی، حجم آب خروجی، باررسوب، طول کانال و فرسایش خاک کانال می‌باشند. در واقع تکنیک AHP یک روش برای تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده بر اساس محاسبات ریاضی است. تکنیک AHP رویکردهای دقیقی را برای کمی‌کردن وزن معیارها و تخمین ارتباط فاکتورها با استفاده از ماتریس زوجی فراهم می‌نماید (۸، ۱۹). استفاده از تکنیک AHP با هدف ساده‌سازی فرایند بهینه‌سازی و محدودکردن فضای تصمیم‌گیری انجام شد. سپس اتصال و ارتباط بین AHP و الگوریتم تکاملی NSGA-II در فضای نرم‌افزار Matlab صورت پذیرفت (شکل ۲).

همچنین پارامترهای مدل بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II شامل تعداد جمعیت[3]بهینه‌سازی، نرخ جهش[4] و نرخ ترکیب[5] در قالب یک تحلیل حساسیت اولیه تعیین گردید. در جدول (۱) مقادیر پیش فرض اولیه، بازه حدی و مقدار بهینه هر پارامتر در فرآیند تحلیل حساسیت آورده شده است. در مرحله‌ی بعد با توجه به مشخص شدن اولویت و تقدم عوامل تاثیرگذار و محدود شدن فضای تصمیم‌گیری توسط AHP، الگوریتم تکاملی NSGA-II مورد استفاده قرار گرفت و ایجاد سناریوهای متعدد در جبهه‌ی پارتو، در تعیین مکان بهینه‌ی سازه‌های گابیونی در حوضه‌ی مطالعاتی کمک نمود و در نهایت منطبق بر شبکه‌ی کانالی شبیه‌سازی

1- Critical source area
2- Minimum source channel length
3- Population size
4- Mutation rate
5- Crossover rate

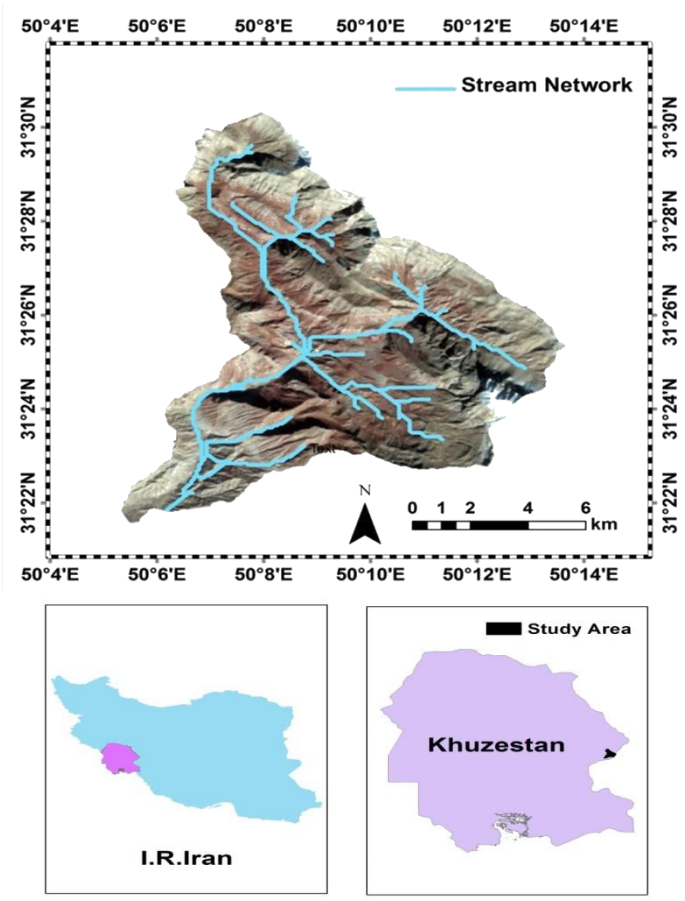
شده، کانال‌های بحرانی به‌عنوان ساختگاه‌های احداث گابیون به ترتیب اولویت مشخص شد.

سپس بر اساس خصوصیات توپوگرافیکی منطقه (نقشه‌ی شیب) و کمترین عرض کانال در کل طول هر کانال بحرانی، مکان دقیق احداث هر گابیون مشخص شد. پس از به‌دست آوردن اولویت‌های مکانی سازه‌ها به صورت کانال‌های بحرانی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مکان این سازه‌ها بر روی نقشه‌ی زمین‌مرجع شده‌ی حوضه به‌صورت نقطه مشخص شد.

جدول(۱) مقادیر پارامترهای الگوریتم NSGA-II مورد استفاده در مطالعه موردی

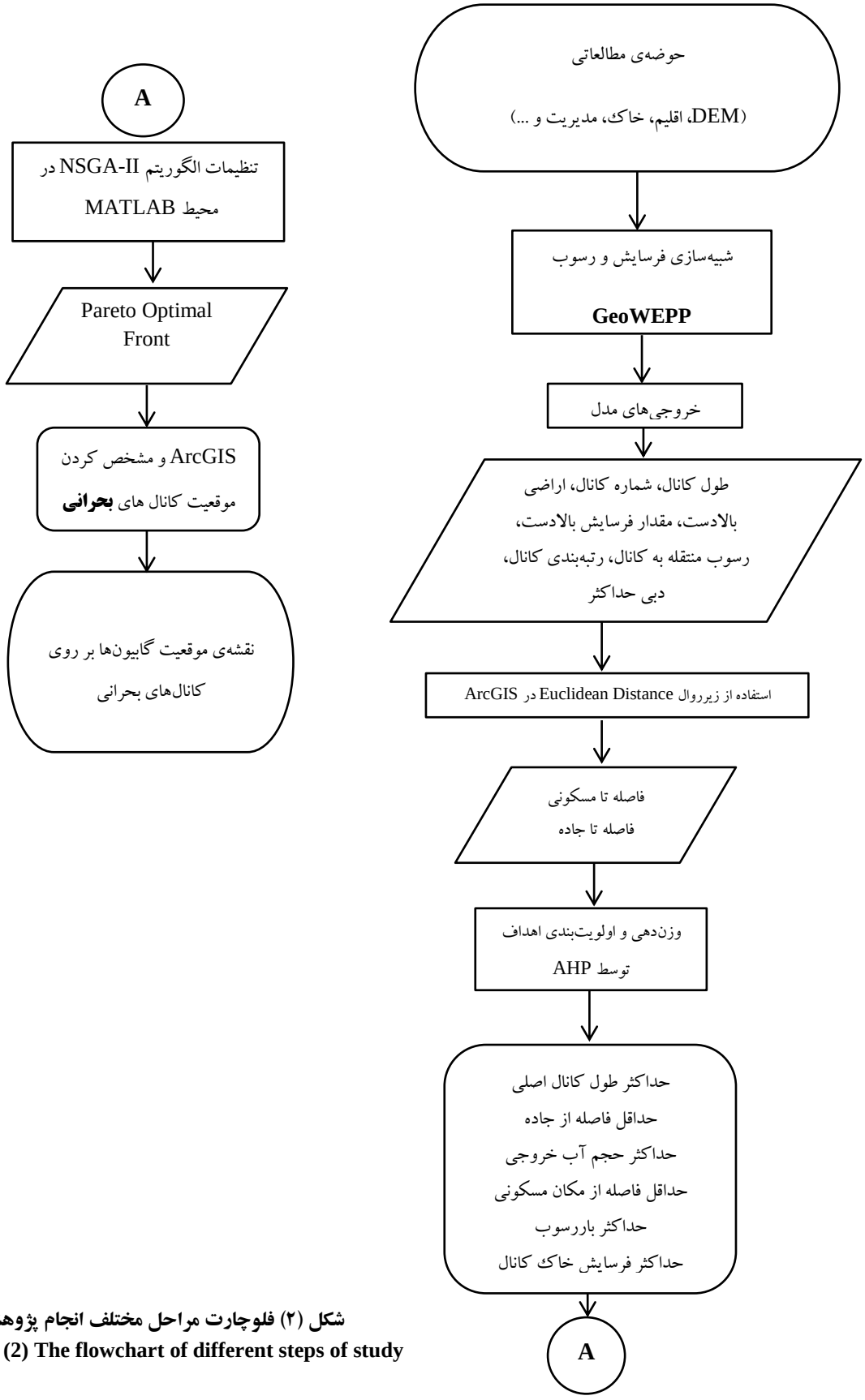
Table (1) The amount of NSGA-II algorithm in this study

Optimal value/مقدار بهینه	Default value/مقدار پیش‌فرض	Bound/بازه حدی	Parameter/پارامتر
100	60	40-120	Population size/تعداد جمعیت
0.5	0.5	0.2-0.8	Mutation rate/نرخ ترکیب
0.08	0.02	0.01-0.1	Crossover rate/نرخ جهش



شکل (۱) موقعیت جغرافیای و شبکه هیدروگرافی منطقه مطالعاتی

Figure (1) Geographical location and hydrographical network of the study area



شکل (۲) فلوچارت مراحل مختلف انجام پژوهش

Figure (2) The flowchart of different steps of study

نتایج و بحث

نقشه‌ی شبیه‌سازی باررسوب توسط GeoWEPP

یکی از اجزای اساسی در مدل GeoWEPP بخش دامنه است که هر دامنه دربرگیرنده لایه‌های اطلاعاتی می‌باشد و این دامنه‌ها در ارتباط با شبکه‌ی هیدروگرافی، کل حوضه آبریز را تشکیل داده‌اند و درنتیجه تاثیرات تمامی این دامنه‌ها بر روی باررسوب تولید شده و خروجی از حوضه محاسبه شده و در نظر گرفته می‌شود. نقشه‌ی باررسوب شبیه‌سازی شده توسط مدل فرسایشی GeoWEPP در شکل ۳ نشان داده شده است. همان گونه که شکل ۳ نشان می‌دهد بخش‌های رنگی همان باررسوب شبیه‌سازی شده در دامنه‌های تشکیل دهنده‌ی حوضه مطالعاتی می‌باشند و راهنمای نقشه بر اساس رنگ‌بندی‌های موجود میزان باررسوب تولید شده از هرکدام از این دامنه‌ها را نشان می‌دهد که در مجموع باررسوب کل حوضه در نقطه‌ی خروجی برآورد شده است. رنگ قرمز تیره نشان دهنده‌ی دامنه‌هایی است که بیشترین مقدار باررسوب را تولید می‌کنند و میزان باررسوب حاصله از آنها بالغ بر ۴ تن می‌باشد. همان گونه که نقشه‌ی ارائه شده نشان می‌دهد با توجه به وجود شیب‌های تند در حوضه‌ی مطالعاتی در بیشتر دامنه‌ها میزان تولید باررسوب در حد زیاد و به رنگ قرمز مشاهده می‌شود. نتایج پژوهش نشان داد که دامنه‌ها و کانال‌های مختلف در یک حوضه‌ی آبریز اولویت تاثیرگذاری متفاوتی بر روی نرخ وقوع فرسایش و در نتیجه تولید باررسوب دارا هستند که همین امر زمینه اولویت‌بندی در احداث و ساخت سازه‌های حفاظتی و یا کنترلی فرسایش را فراهم می‌سازد. در همین راستا رایس و همکاران[1] (۱۷) از مدل GeoWEPP برای تخمین عملکرد رسوب و رواناب در منطقه شرق مدیترانه استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از مدل GeoWEPP کمک شایانی را به مدیران در راستای ارزیابی وضعیت رسوب در حوضه‌های آبریز بزرگ می‌نماید. همچنین یاکسل و همکاران[2] (۲۱) برای بررسی رواناب و وضعیت باررسوب در حوضه از مدل GeoWEPP استفاده نمودند و نتایج حاصله نشان داد که این مدل قادر به ارزیابی وضعیت رواناب و باررسوب در حوضه است و می‌توان از نتایج آن جهت اتخاذ شیوه‌های مدیریتی مناسب در حوضه‌ها استفاده نمود.

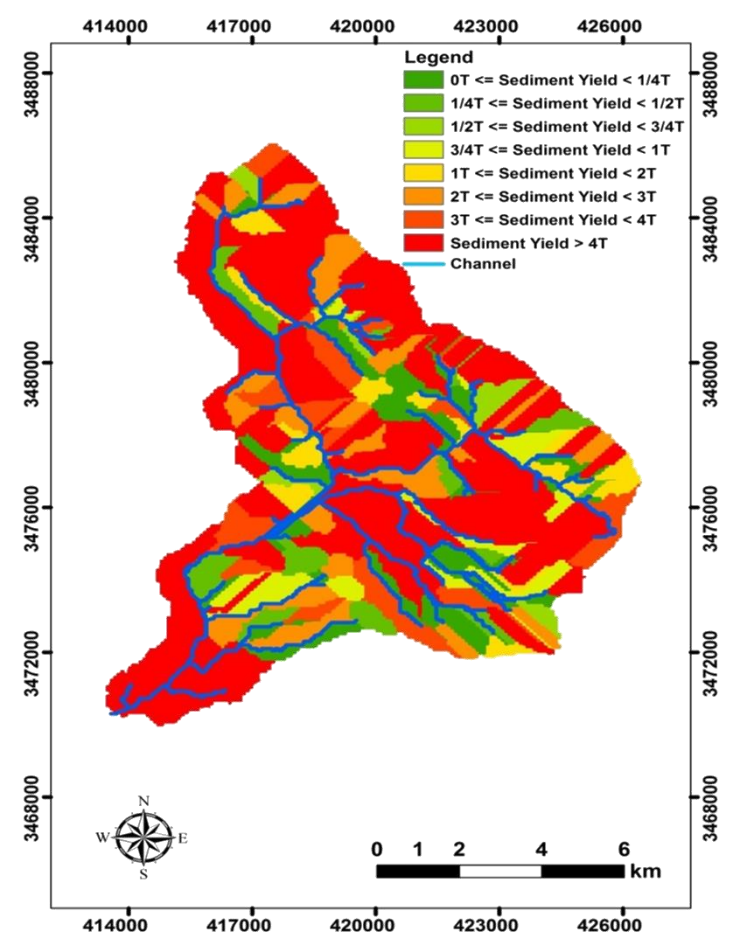
نتایج تلفیقی AHP و NSGA-II

نتایج آنالیز تحلیل سلسه مراتبی به صورت ماتریس مقایسه‌ی زوجی بین اهداف موجود در تابع هدف جهت اولویت‌بندی این عوامل ارائه شده است (جدول ۲). همان گونه که جدول شماره‌ی ۲ نشان می‌دهد رابطه‌ی ماتریسی بین این عوامل به‌گونه‌ای است که این عوامل از میزان تاثیرگذاری متفاوتی بر روی مکانیابی احداث سازه‌ی گابیونی برخوردار می‌باشند و با وزن‌دهی به این عوامل اولویت تاثیرگذاری آنها بر روی مکان احداث گابیون‌ها تعیین شد. با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی و محاسبات موجود در مبانی تحلیل سلسله مراتبی، اولویت‌بندی عوامل ۶گانه‌ی موثر بر روی مکانیابی احداث سازه‌ی گابیونی صورت پذیرفت که نتایج مربوط به این اولویت‌بندی در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

همان گونه که جدول ۳ نشان می‌دهد عامل طول کانال با درصد تقدم ۴۷/۶۰ درصد دارای بالاترین وزن و لذا بیشترین اثربخشی بر روی مکان احداث سازه‌ی گابیون است. همچنین پس از طول کانال اصلی که از وضعیت شبکه‌هیدروگرافی حوضه‌ی آبریز تبعیت می‌نماید، حجم آب خروجی با درصد تقدم ۲۳/۷۰ در اولویت دوم اهمیت قرار دارد. به همین ترتیب اولویت تاثیرگذاری عوامل در جدول ۳ ذکر شده است و بر اساس نتایج مندرج در این جدول عامل فاصله از مناطق مسکونی با درصد تقدم ۲/۴۰ درصد دارای کمترین میزان تاثیرگذاری بر روی مکان احداث گابیون است.

1- Reis *et al.*

2- Yuksel *et al.*



شکل (۳) نقشه‌ی توزیع مکانی بار رسوب شبیه سازی شده توسط مدل GeoWEPP

Figure (3) The map of spatial distribution of sediment yield, simulated using GeoWEPP model

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳، مجموع عوامل طول کانال اصلی و حجم آب خروجی که طبیعتا تعیین کننده‌ی باررسوب هستند از بیشترین میزان تاثیرگذاری برخوردار می‌باشند. بدین ترتیب بر اساس نتایج حاصله ضرورت دارد وضعیت شبکه‌ی هیدروگرافی حوضه‌ی مطالعاتی به دقت مورد توجه واقع شود و در طراحی‌ها لحاظ شود. همچنین فاصله از جاده با درصد تقدم ۱۰/۹۰ در اولویت سوم تاثیرگذاری قرار دارد که حاکی از اثربخشی این عامل در مکانیابی سازه‌ی گابیونی است، زیرا در اصول حفاظتی علاوه بر کانال اصلی و ویژگیهای آن، کنارجاده‌ها نیز در صورت عدم حفاظت به‌کمک گابیون‌ها، حجم قابل توجهی از رسوبات به‌فرم Washload تولید نموده و سبب افزایش میزان باررسوب می‌شود. در همین راستا کشتکار و همکاران[1] (۱۰) نیز طی پژوهشی از تحلیل سلسله مراتبی به منظور وزن‌دهی به عوامل موثر در مدیریت منابع حوزه آبخیز در طبس استفاده نمودند، نتایج نشان داد استفاده از این تکنیک می‌تواند روشی تحلیلی و کارآمد جهت ارزیابی عوامل موثر و در نهایت تعیین موثرترین عامل بر روی مقوله مدیریت حوزه آبخیز باشد. بدین ترتیب می‌توان ضمن مدیریت امکانات موجود در راستای کاهش هزینه‌ها و افزایش میزان راندمان شیوه‌های مدیریتی بکارگرفته شده گام‌های استواری را برداشت.

1- Keshtkar *et al.*

جدول(۲) ماتریس مقایسه‌ی زوجی گزینه‌های ارزیابی شده به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

Table (2) Pairwise comparison matrix of evaluated options by the AHP method

Factorعامل/	فاصله از جاده/ Distance from road	فاصله از منطقه مسکونی/ Distance from residents	حجم آب خروجی/ Volume discharge	بارسوب/ Sediment load	طول کانال/ Channel length	فرسایش خاک کانال/ Channel soil erosion
Distanceفاصله از جاده/ from road	1	9	0.5	1	0.11	2
فاصله از منطقه Distance from مسکونی/ residential area	0.11	1	0.14	0.14	0.12	0.25
حجم آب Volumeخروجی/ discharge	2	7	1	3	0.5	7
Sedimentبارسوب/ load	1	7	0.33	1	0.17	2
Channelطول کانال/ length	9	8	2	6	1	7
فرسایش خاک Channel soilکانال/ erosion	0.5	4	0.14	0.5	0.14	1

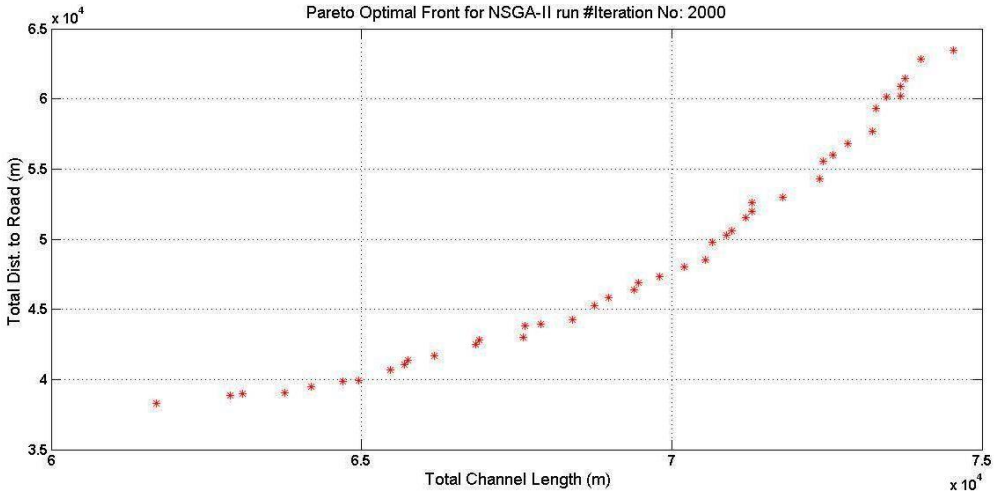
جدول(۳) وزن‌دهی نهایی و اولویت‌بندی گزینه‌های موثر بر مکان احداث سازه حفاظتی به روش AHP

Table (3) Weighting and prioritizing of effective factors on gabion placement using AHP

Factorعامل/	Priorityدرصد تقدم/	Prioritizeاولویت بندی/	(+)	(-)
Channel lengthطول کانال/	47.60	1	24.10	24.10
Volume dischargeحجم آب خروجی/	23.70	2	6.90	6.90
Distance from roadفاصله از جاده/	10.90	3	5.00	5.00
Sediment loadبار رسوب/	9.90	4	3.10	3.10
Channel erosionفرسایش خاک کانال/	5.50	5	2.00	2.00
Distance from residentialفاصله از مکان مسکونی/	2.40	6	1.70	1.70

با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی دو عامل به عنوان اهداف اصلی در نظر گرفته شد و بر اساس آن اولویت‌بندی جهت مکانیابی احداث سازه‌های حفاظتی توسط NSGA-II انجام پذیرفت. با لحاظ کردن دو عامل یعنی طول کانال اصلی به عنوان اولویت اول و حجم آب خروجی به عنوان اولویت دوم تعریف شد و بر اساس این اولویت‌ها آنالیز الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از این تکنیک تعداد ۱۰۰ سناریو بدست آمد که در این سناریوها تمامی حالات ممکنه که می‌تواند بر روی موقعیت احداث گابیون‌ها تاثیرگذار باشد در نظر گرفته شد. در گام بعد به منظور لحاظ کردن تمامی این سناریوها میانگین پارتو در قالب فاصله محاسبه شد و بر این اساس اولویت‌بندی برای احداث سازه‌ها صورت گرفت. در نهایت با ترسیم جبهه پارتو اولویت‌های احداث گابیون‌ها بر روی کانال‌های بحرانی در حوضه مشخص شد. کاظمی راد و حقیقی (۹) از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت انتخاب منطقه مناسب حفاظتی برای نواحی اطراف تالاب انزلی استفاده نمودند. نتایج نشان داد با استفاده از آنالیز سلسله مراتبی و لایه‌های اطلاعاتی GIS می‌توان اولویت مناطق را از لحاظ بحرانی بودن و تهدیدهای

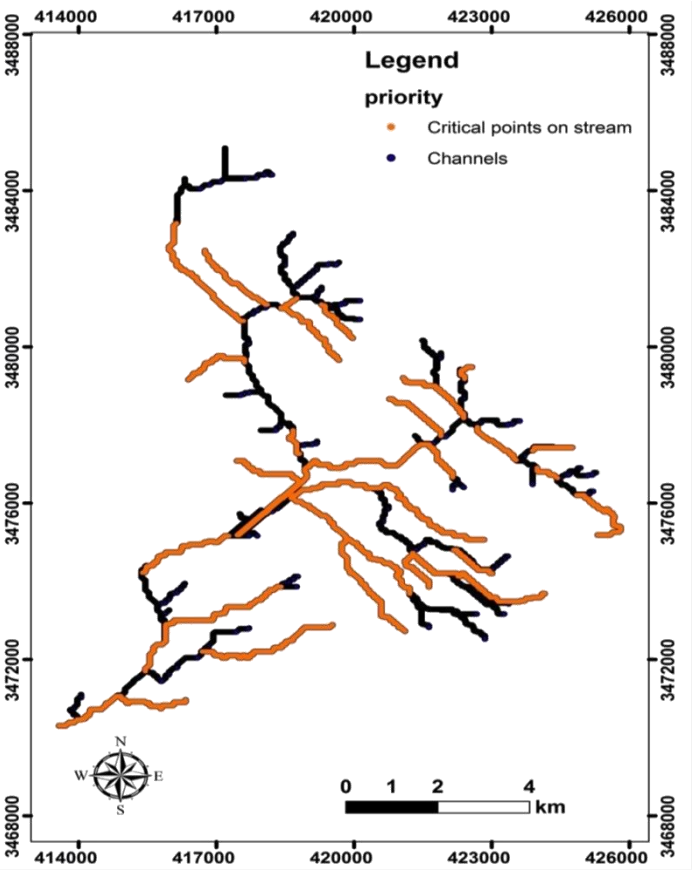
فرسایشی تعیین نمود و متناسب با شرایط حاکم بر آن‌ها و نیز منابع مالی در اختیار، اقدامات حفاظتی و کنترلی مناسب را برای آنها اتخاذ نموده و عملیاتی کرد. همچنین احمد و ورما (۲) مکان‌های مناسب برای ذخیره آب در حوضه‌ای واقع در کشور هندوستان را با استفاده از تلفیق GIS و روش AHP ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد پس از تعیین اولویت مناطق می‌توان مکان‌های مناسب برای سازه‌های ذخیره آب را تعیین کرد. در شکل ۴ شمایی از نمودار پارتو مربوط به عامل طول کانال اصلی در مقابله فاصله از جاده نمایش داده شده است که می‌تواند تاییدی بر تاثیرات عوامل انتخاب شده بر روی مکانیابی احداث سازه گابیونی باشد. همچنین با توجه به اینکه معیارهای اول و دوم (جدول ۲) همبستگی مثبتی دارند لذا نمی‌توانند به‌عنوان دو هدف متناقض در برابر هم تحلیل شوند، به همین دلیل در بهینه‌سازی دو هدفه‌ی انجام شده، معیارهای اول و سوم در نظر گرفته شده اند. شایان ذکر است که به دلیل پیچیدگی و چند بعدی شدن خروجی‌ها به صورت دو عاملی ارزیابی صورت گرفته و در شکل ۳ نمونه‌ای از آن نمایش داده شده است. در نهایت با استفاده از آنالیزهای الگوریتم NSGA-II اولویت‌های مربوط به احداث سازه‌ی گابیونی که شامل ۳۵ اولویت برای احداث می‌باشد، تعیین شد. بدین ترتیب موقعیت کانال‌های بحرانی (Critical channels) که در اولویت احداث سازه‌های گابیونی قرار می‌گیرند در شکل ۵ و به رنگ نارنجی نشان داده شده است. همان گونه که شکل ۵ نشان می‌دهد این نقشه از کانال‌ها تشکیل شده است که دقیقا موقعیت آن‌ها در حوضه مطالعاتی مشخص می باشد. یک بخش از این نقشه مربوط به کانال‌های تعریف شده در حوضه است که به رنگ آبی تیره هستند و بخش دیگر مربوط به کانال‌های بحرانی است که موقعیت آن‌ها بر روی نقشه GISای حوضه به رنگ نارنجی نمایش داده شده است. در واقع این نواحی نارنجی رنگ بر روی نقشه به عنوان کانال‌های بحرانی هستند که در اولویت ساخت سازه گابیونی قرار دارند. استفاده از تلفیق تکنیک‌های مذکور در این پژوهش، امکان تعیین موقعیت دقیق سازه‌های گابیونی را فراهم نمود که ماحصل آن افزایش بازدهی در اقدامات حفاظتی و نیز کاهش هزینه‌های حفاظتی و نیز هدفمند شدن آنها می‌باشد.



شکل (٤) نمودار پارتو بدست آمده از الگوریتم NSGA-II در آنالیز اهداف برای مکانیابی گابیون

Figure (4) Pareto diagram obtained from NSGA-II algorithm in objectives analysis for gabion placement

بدین ترتیب این امکان را برای مدیران و تصمیم‌گیران واحدهای اجرایی نظیر اداره آبخیزداری فراهم می نمایند تا با توجه به هزینه‌های ساخت گابیون‌ها که معمولا بر اساس حجم محاسبه می‌شود و همچنین بودجه‌ای که برای اجرای پروژه‌های حفاظت سازه‌ای تخصیص داده می شود نسبت به احداث این سازه‌ها بر اساس اولویت‌های مشخص شده اقدام نمایند. با توجه به اینکه احداث یک سازه‌ی حفاظتی نیازمند یک مکانیابی صحیح و منطقی می‌باشد و طول یک کانال در قالب کانال بحرانی یک موقعیت کلی از منطقه بحرانی است لذا در گام بعدی با بهره‌گیری از تکنیک‌های GISای موقعیت‌های دقیق این سازه‌ها بر روی کانال‌های بحرانی مشخص شد (۷). در این مرحله وضعیت نقشه‌ی شیب منطقه‌ی مطالعاتی و نیز خصوصیات مربوط به عرض کانال‌ها به عنوان ویژگیهای موثر در تعیین نقاط بحرانی در هر کانال درنظر گرفته شدند. با توجه به اینکه عرض کانال در مکان ساخت سازه به‌شدت حایز اهمیت است لذا کم عرض‌ترین بخش مقطع به عنوان مکان نهایی جهت ساخت گابیون در نظر گرفته شد و موقعیت آن در نقشه نمایش داده شد. در حقیقت این خروجی نهایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است زیرا علاوه بر مکان احداث هر سازه‌ی گابیونی بر روی شبکه‌ی هیدروگرافی حوضه‌ی مطالعاتی، اولویت‌بندی را نیز جهت احداث گابیون‌ها نمایش می‌دهد (شکل ۶). با استفاده از مقادیر شیب موجود در حوضه در طول یک کانال پرشیب‌ترین بخش کانال یا نقطه کانال که بالطبع دارای کمترین عرض می‌باشد به عنوان نقطه مورد نظر جهت احداث گابیون انتخاب شد.

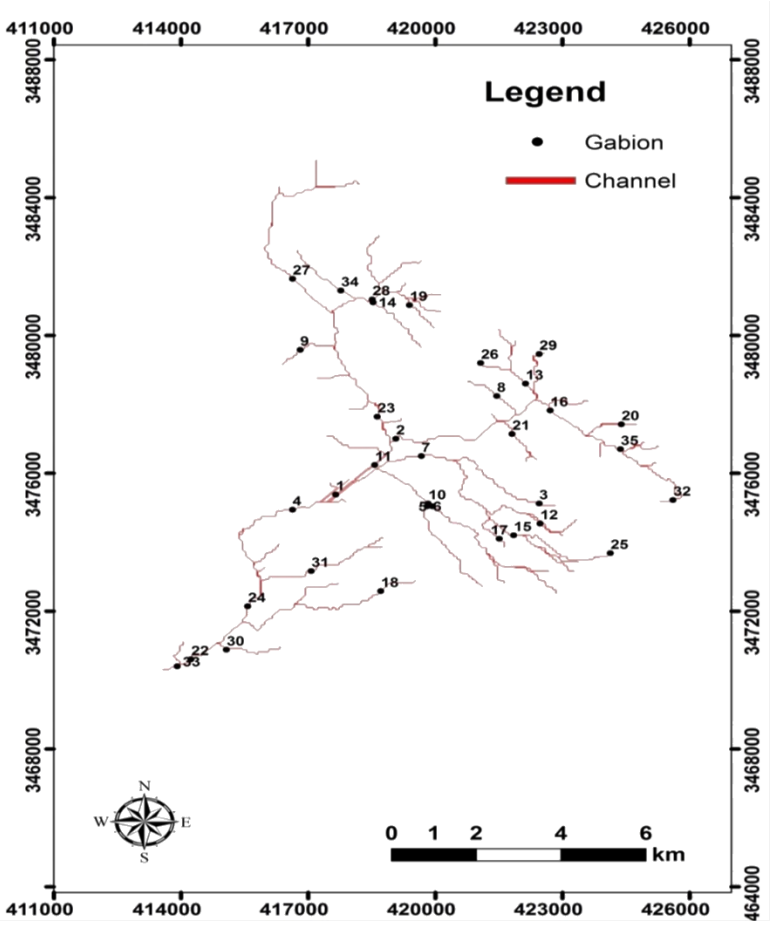


شکل (۵) نقشه‌ی موقعیت کانال‌های بحرانی اولویت دار جهت احداث سازه حفاظتی گابیونی

Figure (5) The spatial map of critical channels priority for gabion construction

بدین ترتیب با بهره گیری از تمامی اطلاعات موجود در حوضه‌ی مطالعاتی و تطبیق آنها بر روی یکدیگر موقعیت احداث سازه‌های گابیونی مشخص شد که به صورت نقاطی مشخص بر روی کانال‌های بحرانی می‌باشند و نقشه اولویت‌بندی مکان‌های احداث سازه‌های گابیونی در شکل ۶ نشان داده شده است.

این نقشه (شکل ۶) به عنوان نقشه اولویت‌بندی مکان‌های احداث سازه کنترل فرسایش آبی می‌باشد که شماره ۱ به عنوان بحرانی‌ترین نقطه است و به عنوان اولویت اول جهت احداث سازه می‌باشد. از عدد ۱ به سمت عدد ۳۵ از میزان اولویت ساخت سازه‌ی گابیونی کاسته می‌شود. این نقشه یک خروجی کاملا کاربردی و مدیریت محور است که علاوه بر نشان دادن مکان‌های احداث سازه‌های گابیونی، اولویت‌بندی احداث آن‌ها را نیز با کدهای ۱ تا ۳۵ نشان می‌دهد. لذا با توجه به اعتبارات و منبع مالی در اختیار، می‌توان عملیات ساخت این سازه‌ها را انجام داد.



شکل (٦) نقشه‌ی اولویت‌بندی مکانی احداث سازه‌های گابیونی بر روی کانال‌های بحرانی

Figure (6) The map of spatial priority for gabion construction on the critical channels

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که عامل توپوگرافی، ویژگیهای خاک سطحی گروه‌های بزرگ موجود در منطقه و نیز عامل کاربری اراضی بر روی وضعیت فرسایش و تولید باررسوب در منطقه تاثیرگذار است که تایید کننده‌ی آن، عدم یکنواختی توزیع مکانی فرسایش و رسوب در حوضه می-باشد. نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی و بهره‌گیری از ماتریس مقایسه‌ی زوجی نشان داد که بین عواملی که به عنوان اجزاء توابع هدف در نظر گرفته شده بود، طول کانال اصلی به عنوان اولویت اول (با درصد تقدم ۴۷/۶۰) و حجم آب خروجی به عنوان اولویت دوم (با درصد تقدم ۲۳/۷۰) انتخاب شدند که حاکی از تاثیرگذاری بیشتر این عوامل در تعیین اولویت‌ها می‌باشد. در نقشه‌ی باررسوب مناطقی که به رنگ قرمز هستند دارای شرایط بحرانی می‌باشند و بیشترین مقدار باررسوب را تولید می‌کنند که با توجه به ارتباط و انطباق آن بر شبکه‌ی کانالی به سادگی امکان تعیین کانال بحرانی و لذا پیاده سازی ساخت گابیون را بر روی آن کانال مشخص می‌سازد. ارائه‌ی نتایج با این دقت بالا و در قالب نقشه‌های رستری با موقعیت مکانی مشخص در حوضه، امکان مکانیابی سازه‌ها و روش‌های حفاظتی متناسب را فراهم می‌نماید که این امر ضمن بالا بردن بهره‌وری در روش‌های اجرا شده، به مدیریت هزینه‌های پروژه نیز کمک شایانی می نماید. همچنین بر مبنای اهداف تعریف شده و اولویت‌بندی اهداف، با استفاده از الگوریتم ژنتیک تعداد ۱۰۰ سناریو تعریف شد و در نهایت تاثیر میانگین تمامی این سناریوها بر روی مکانیابی سازه‌های گابیونی در نظر گرفته شد. نتایج نهایی حاکی از اولویت‌بندی کانال‌های بحرانی به عنوان نامزدهای احداث گابیون‌ها می‌باشد. با بهره‌گیری از نقشه‌ی شیب در نهایت کمترین عرض هر کانال به عنوان نقطه‌ی مورد نظر در طول کانال جهت احداث گابیون در نظر گرفته شد. بدین ترتیب بر روی یک نقشه که به عنوان نقشه اولویت‌بندی مکان‌های احداث گابیون‌ها می باشد، اعداد ۱ تا ۳۵ مشخص شده که هر کدام مربوط به یک کانال بحرانی می‌باشد. عدد ۱ بیانگر اولویت اول جهت احداث گابیون است که نشان می‌دهد بیشترین هزینه را می توان صرف این اولویت نمود زیرا شرایط آن از تمامی مناطق دیگر بحرانی‌تر است و لذا در اولویت اقدامات مدیریتی قرار دارد.

References

1. Afshar, A., Scardi, M., Jirani, F. 2011. Optimal design of detention ponds in watersheds using multi-objective ant community optimization algorithm and SWAT model. Journal of Environment Science and Technology. Volume 16, Special Issue 93: 121-132. (In Persian)

2. Ahmad, L., Verma, M. K. 2017. GIS based analytic hierarchy process in determination of suitable site for water storage. European Water, 60: 139-146.

3. Bhuyan, S. J., Kalita, P. K., Janssen, K. A., Barnes, P. L. 2002. Soil loss prediction with three erosion simulation models. Environmental Modelling & Software (17): 137-146.

4. Bridges, E.M., and Oldeman, L. R. 1999. Global assessment of human-induced soil degradation. J. Arid Soil Rehab., 13(4): 319–325.

5. Coello, C.A., Lamont G.B. and Van Veldhuizen D.A. 2007. Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems, second edition, Springer Science Business Media, LLC, 810 p.

6. 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(2): 182-197.

7. Emamgholi, M., Khosravi, K., & Sedaii, N. 2015. Suitable site selections for gabion check-dams construction using analytical hierarchy process and decision-making methods. Journal of Soil Environment, 1: 35-44**.**

8. Giri, S., Nejadhashemi, A. P. 2014. Application of analytical hierarchy process for effective selection of agricultural best management practices. J. Environ. Manage. 132: 165-177.

9. Kazemi Rad, L., Haghyghy, M. 2014. Integrated Analytical Hierarchy Process (AHP) and GIS for land use suitability analysis. World Applied Sciences Journal, 32(4): 587594.

10. Keshtkar., A. R., Shariatmadari, H., Naseri, H. R., Tazeh, M. 2017. Using hierarchical analysis process in watershed resource management. Journal of Soil and Water Sciences (Agriculture and Natural Sciences and Technologies). Year, 21, No. 4. (In Persian)

11. Long-Fei, W., Le-Yuan, Shi. 2013. Simulation optimization: A review on theory and applications. Acta Automatica Sinica, Vol 39, No 11: 1958-1968.

12. Maringanti, C. H., Chaubey, I., Popp, J. 2009. Development of a multiobjective optimization tool for the selection and placement of best management practices for nonpoint source pollution control. Water Resources Research, Vol 45: 1-15.

13. Nearing, M. A., Foster, G. R., Lanem, L. J., and Finkner, S. C. 1989. A process-based soil erosion model for USDA-water erosion prediction project technology. Transactions of the ASAE. 32(5): 1587-1593.

14. Nicks, A. D., Lane, L. J, Gander, G. A. 1995. Weather generator. Chapter 2 in USDA–water erosion prediction project. Hillslope profile and watershed model documentation. D.C. Flanagan M A, Nearing Eds. NSERL Report No. 10. West Lafayette, IND, USDA–ARS National Soil Erosion Research Laboratory.

15. Pandey, A., Himanshu., K. S., Mishra, S. k., Singh, V.P. 2016. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. Catena (147): 596-620.

16. Pramanik, M. K. 2016. Site suitability analysis for agricultural land use of Darjeeling district using AHP and GIS techniques. Modeling Earth Systems and Environment, 2(2): 1-22.

17. Reis, M., Altun Aladag, I., Bolat, N, Dutal, H. 2017. Using GeoWEPP model to determine sediment yield and runoff in the Keklik watershed in Kahramanmaras, Turkey. Šumarski list, 141 (11–12): 563–569.

18. Renschler, C. S., Flanagan, D. C., Engel, B. A., Frankenberger, J. R. 2002. GeoWEPP: The Geospatial interface to the Water Erosion Prediction Project. ASAE Paper No. 022171. St. Joseph, Mich.: ASAE. Paper No. 022171.

19. Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology 13: 234-281.

20. Stalling. J. H. 1975. Soil conservation, pp. 220. Englewood Cliffs, Prentice Hall, Inc. NJ.

21. Yuksel, A., Akay, A. E., Gundogan, R., Reis, M., Centiner, M. 2008. Application of GeoWEPP for determining sediment yield and runoff in the Orcan Creek watershed in Kahramanmaras, Turkey. Sensors, 8(2): 1222-1236.