

## مکان یابی اجرای پروژه های بند سنگ-سیمان و بند گابیونی به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)

• مهشید سوری (نویسنده مسئول)

استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه و دانش آموخته دکتری دانشگاه تهران

• محمد جعفری

استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

• حسین آذرینوند

دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

• جمال قدوسی

عضو هیات علمی مرکز حفاظت آب و خاک

• مهدی فرح پور

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع

تاریخ دریافت: تیر ماه ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: شهریور ماه ۱۳۹۰

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۵۲۷۹۰۸۶

Email: m.souri@urmia.ac.ir

### چکیده

بالا بودن میزان فرسایش، کمبود آب و پائین بودن میزان رطوبت در خاک مناطق نیمه خشک، از عوامل محدودکننده در احیا و اصلاح آنها به حساب می آید. با توجه به معضل میزان فرسایش و پایین بودن رطوبت در خاک مناطق مورد بحث، اجرای پروژه های بند سنگ-سیمان و بند گابیونی می تواند یکی از راهکارهای بسیار مناسب برای کاهش فرسایش، تقویت آبخاوها و سفره های آب زیرزمینی در چنین مناطقی باشد. از طرفی مدیریت و تصمیم گیری در انتخاب مکانهای مناسب اجرای چنین پروژه هایی با در نظر گرفتن اینکه باید داده های مکانی و معیارهای متعددی در این انتخاب در نظر گرفته شوند، کار دشواری است. این معیارها شامل معیارهای فنی و اقتصادی-اجتماعی است. برای انجام این پژوهش، حوزه میخوران به مساحت ۹۰۹۲/۲۲ هکتار در استان کرمانشاه، در نظر گرفته شد. در این تحقیق بمنظور تصمیم گیری در خصوص مکانیابی مناطق مناسب اجرای پروژه های بند سنگ-سیمان و بند گابیونی، از داده های مکانی متعدد نظیر داده های زمین شناسی، خاکشناسی، هیدرولوژی، توپوگرافی و... به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در سه مرحله مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که پردازش داده های مکانی در محیط نرم افزاری GIS-ARC و GIS-GEOMATICA+PCI انجام گرفته است. مرحله اول شامل تعیین سطوح سلسله مراتبی متشکل از هدف، معیارها، زیرمعیارها، و عوامل است. طی مرحله دوم، استانداردسازی عوامل و وزندهی معیارها و زیرمعیارها بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها با ارزشهای ارجحیتی یک تا نه، و نرخ ناسازگاری کمتر از یک دهم در محیط نرم افزاری GIS-ARC و به کمک زیر برنامه AHP انجام پذیرفت. در مرحله آخر، پس از تلفیق این لایه ها، نقشه نهایی مکانهای بهینه اجرای پروژه های بند سنگ-سیمان و بند گابیونی، تهیه گردید. استفاده از این الگو برای مکانیابی سایر پروژه هایی که بر مبنای تجزیه و تحلیل داده های مکانی انجام می شوند، باعث استفاده بهینه از داده های مکانی و صرفه جویی در زمان و هزینه است.

کلمات کلیدی: داده های مکانی، مکانیابی بهینه، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، بند سنگ-سیمان، بند گابیونی.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 97 pp: 83-91

### Determining suitable locations for small dams using analytical hierarchy process and geographical information systems (Case study: Kermanshah Province)

By: Souri M. Assistant Professor of Faculty of Natural Resources, University of Urmia, (Corresponding Author; Tel: +989125279086), Jafari M. Professor of Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Azarnivand, H. Associate Professor of Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Ghodousi J. Scientific Member of Water & Soil Conservation Institute of Tehran, Farahpour, M. Scientific Member of Rangeland & forestry Investigation Institute of Tehran

High level of erosion, water deficiency and low soil moisture, are considered as limiting factors in recovery and reform of semi-arid rangeland areas. Considering the problem of erosion, water deficiency and low soil moisture in lands discussed, small dams' projects can be one of suitable strategies to compensate for increasing the groundwater resources in such areas. On the other hand, considering several criteria that must be considered in this selection, it is difficult to choose the appropriate locations to execute projects such as Small Dams. These factors include Technical and Social-Economical criterias. In this study, in order to locate suitable areas for building small dams, Analytical Hierarchy Process has been used in three stages. Meykhoran region in Kermanshah Province was considered to do this research. The first stage involves determining hierarchical levels consisting of object, criterias, Subcriterias, and factors. During the second stage, standardization of criterias on the basis of Fuzzy Logic, weighting criterias and Subcriterias based on Analytical Hierarchy Process, and paired comparisons of criterias and subcriterias with preference values of one to nine with incompatibility rate of less than one tenth were done in ARC-GIS software environment by using AHP subprogram. In the final step, after integration of these layers, the final maps of optimal sites for building small dams were prepared. Using this template to locate other natural resources projects will help to optimize using data, saves time, and decrease costs.

**Key words:** Optimize Positioning, Analytical Hierarchy Process, Geographical Information Systems, Small Dams.

#### مقدمه

کشور ایران در منطقه نیمه خشک جهان قرار گرفته است که میانگین بارندگی سالیانه آن حدود ۲۵۵ میلیمتر است. این مقدار بارش کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان می باشد (۱۲). رشد سریع جمعیت، افزایش نیاز به مواد غذایی، و تخریب منابع آب و خاک سبب شده است که حفاظت خاک، تأمین آب و بهره وری بهینه از این عنصر حیاتی، به ضرورتی اجتناب ناپذیر تبدیل شود. در مناطقی که ریزشهای جوی ضمن ناچیز بودن، دارای پراکنش نامناسب نیز می باشند، حجم قابل توجهی از رواناب تولیدی بصورت جریانهای سیلابی از دسترس خارج می گردد. در چنین شرایطی مهار و بهره برداری از این آبها کلید حل مسائل فرسایش و کم آبی قلمداد می گردد. لذا باید عرصه های مناسب اجرای پروژه هایی از قبیل: بند سنگ-سیمان و بند گابیونی شناسایی شوند. چون در چنین مناطقی آب از یک طرف مهمترین عامل محدودکننده توسعه پایدار بوده و از طرف دیگر در صورت عدم مدیریت مناسب به عامل مهم تخریب و ایجاد خسارت تبدیل می گردد. از سوی دیگر، به دلیل متعدد بودن معیارها و شاخص ها (نظیر معیارهای ژئومورفولوژی، اقلیمی، هیدرولوژی، پوشش گیاهی، ...) در انتخاب نوع عملیات کارآمد و مناسبترین مناطق برای طراحی و اجرای آنها، عملاً انتخاب محل ها و نوع عملیات با دقت مورد انتظار از نظر علمی که بتواند نیازها را بر طرف نماید با مشکل روبرو می باشد. به طور کلی مجموعه عملیات مربوط به جمع آوری و ذخیره و ترکیب داده ها و اطلاعات و همچنین تجزیه و تحلیل آنها به منظور مکان یابی

محل های اجرای پروژه های منابع طبیعی با تکیه بر مطالعات صحرایی با توجه به حجم لایه های اطلاعاتی و لزوم تلفیق آنها، مبتنی بر روش های سنتی دشوار بوده و ممکن است موجب بروز خطا گردد ضمن آنکه نیاز به زمان طولانی دارد. بنابراین ایجاد یک سیستم دقیق با کارایی بالا در رابطه با اطلاعات در برنامه ریزی ها واجد اهمیت بسیار زیادی است.

در این راستا، استفاده از تکنیک هایی مانند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۲</sup> از یکسو موجب امکان پردازش و تجزیه و تحلیل داده های پر حجم و در ارتباط با یکدیگر می شود و از سوی دیگر با این روش، بررسی معیارها و شاخص ها به طور جامع و در تقابل با یکدیگر جهت دستیابی به هدف موضوع تحقیق حاضر، با دقت زیاد امکان پذیر بوده و علاوه بر افزایش سرعت انجام کار و افزایش دقت نتایج، امکان تهیه نقشه پهنه بندی مناطق مناسب پروژه هایی از قبیل بند سنگ-سیمان و بند گابیونی را فراهم می کند.

چنین روش هایی با ترکیب عواملی از قبیل هوش انسان، اطلاعات، تکنولوژی و نرم افزار به تصمیم گیران در بکارگیری داده ها و مدل ها برای حل مسائل پیچیده کمک می کند. مدیران را در انتخاب بهترین تصمیم از بین چندین راهکار یاری میرساند. این سیستم، سیستم بسیار انعطاف پذیری است بطوری که می تواند با پیشرفت تکنولوژی تکامل یابد (۱۴). بنابراین بدلیل ویژگی های برجسته این روش، در این تحقیق از این روش بمنظور مکان یابی پروژه های بند سنگ-سیمان و بند گابیونی در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

چهارمعیار شامل هزینه، حفاظت خاک، کاهش سیلاب، تولیدات زراعی و دامی را در نظر گرفت. و بر اساس نظرات کارشناسان مختلف دانشگاهی و اجرائی اقدام به ارزیابی گزینه‌ها از طریق ماتریس مقایسه زوجی گردید، که پس از انجام محاسبات، هزینه بعنوان مهمترین معیار و عملیات بیولوژیک بعنوان بهترین طرح بر اساس معیارهای مورد نظر معرفی گردید. وی چنین نتیجه گرفته که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است.

Antonella و همکاران (۲۰۰۹)، به منظور مکانیابی یک پارک محلی در ایتالیا، از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری و همچنین فرآیند AHP و ایجاد مدل شاخه درختی و تجزیه و تحلیل داده‌ها و تحلیل حساسیت برای طراحی عناصر پارک و تلفیق لایه‌ها استفاده کردند.

Rao و همکاران (۲۰۰۹)، در انگلستان برای آنالیز و مدیریت عملیاتی پروژه‌های آبی در حوزه رودخانه‌های Thames و Mekong از سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری استفاده کردند. ایشان بر اجرای پروژه‌ها از طریق آزمایش دقیق گزینه‌ها، و درگیری مستقیم ذینفعان در فرآیند تصمیم‌گیری تأکید داشتند و به این نتیجه رسیدند که سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری در مدیریت مؤثر پروژه‌های آب نقش مهمی ایفا می‌کند.

با توجه به موارد ارائه شده، در این پژوهش با استفاده از این روش، مکان بهینه پروژه‌های بند سنگ-سیمان و بند گابیونی تعیین شده است.

## مواد و روش‌ها

### شرایط منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز میخوران با مساحت ۹۰۹۲/۲۲ هکتار در محدوده شمال غربی استان کرمانشاه قرار گرفته و از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۵۶' ۳۸" و ۴۷° تا ۰۳' ۴۷" و ۴۷° طول شرقی و ۲۵' ۵۶" و ۳۴° تا ۰۹' ۰۴" عرض شمالی واقع شده است. از نظر هیدرولوژیکی حوزه مطالعاتی میخوران یکی از سرشاخه‌های رودخانه گاو رود می‌باشد. براساس روش دومارتن اصلاح شده، اقلیم حوزه میخوران به دو بخش اصلی ارتفاعات و نیمه خشک سرد تقسیم می‌گردد. حوزه میخوران در زون ساختمانی سندنجد-سیرجان واقع شده است. کاربری‌ها در حوزه بصورت مرتع، رخنمون سنگی، مسکونی، زراعت آبی، و زراعت دیم می‌باشد.

### روش تحقیق

بطور خلاصه مراحل تحقیق برای مکان‌یابی پروژه‌های بند سنگ-سیمان و بند گابیونی بصورت زیر انجام شده است:

**الف- جمع آوری اطلاعات مورد نیاز حوزه مطالعاتی:** در این مرحله برخی از مشخصات و ویژگی‌های منطقه تحقیق، از جمله خصوصیات اقلیمی، توپوگرافی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، و کاربری اراضی از گزارش‌های مطالعاتی انجام شده در زمینه منابع طبیعی استخراج شد.

**ب- عملیات صحرایی:** به منظور بررسی پارامتر فیزیکی بافت خاک حوزه آبخیز میخوران، اقدام به بازدید صحرایی از منطقه مورد مطالعه گردید و در هر یک از ۲۶ واحد کاری حوضه آبخیز اقدام به حفر ۴ پروفیل در دو عمق ۲۰- و ۶۰-۲۰ سانتیمتری در سطح حوزه گردید و در مجموع ۲۰۸ نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه بافت خاک به روش دانسیتمتری تعیین گردید.

در این زمینه خیرخواه (۱۳۸۶) در تحقیقی با عنوان استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی، به منظور مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در منطقه نطنز از سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده کرده است.

نکته‌ای که در اینجا شایان ذکر است اینست که روی هم انداختن اطلاعات در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی بدون تحلیل و انجام عملیات ارزیابی چند معیاره نمی‌تواند برنامه ریزی و تصمیم‌دهی را ارائه دهد چون اطلاعات گوناگون از جنس و با واحدهای مختلف می‌باشد. همچنین وقتی عوامل و معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری دخالت می‌کنند باید اولویت و وزن آنها نسبت به هم معین شوند. یعنی نباید انگاشت که همه عوامل به یک اندازه در تصمیم‌گیری وزن دارند (۲).

همانطور که گفته شد، زمانی که چندین معیار برای مکان‌یابی در نظر گرفته می‌شود، کار مکان‌یابی پیچیده می‌گردد و پیچیدگی کار زمانی بالا می‌گردد که معیارها با هم در تضاد و یا از جنس‌های مختلف باشند. در این هنگام کار ارزیابی و مقایسه از حالت ساده تحلیل که ذهن قادر به انجام است خارج شده و به ابزار تحلیل قوی‌تر و کارا نیاز خواهد بود. AHP، یکی از کارآمدترین ابزارهای تعاملی سیستم‌های تصمیم‌یار مکانی است (۱۵). زیرا این فرآیند روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۸). این روش، ابتدا در سال ۱۹۸۰، توسط توماس. ال. ساعتی برای بیان تصمیم‌گیرهای چند معیاره پیشنهاد شد و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است (۱۶). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مبتنی بر نظریه ساده‌ای است که بر سه اصل شامل تجزیه، قضاوت مقایسه‌ای و ترکیب یا سنتز سلسله مراتبی اولویت‌ها استوار است. در یک فرآیند AHP، در بالاترین سطح، هدف قرار دارد و در سطوح بعدی، به ترتیب معیارها، زیرمعیارها، و عوامل قرار گرفته‌اند. این فرآیند متکی بر معیارهای مشخص است که با یک مقیاس نسبی قابل اندازه‌گیری است و در آن تصمیم‌گیرندگان باید مقایسه‌ای بصورت دو به دو برای معیارها داشته باشند. در جریان فرآیند AHP معیارها ابتدا بصورت کیفی بوده و سپس با بهره‌گیری از جدول ساعتی بصورت کمی ارائه می‌شوند. در این فرآیند نسبت ناسازگاری آنگونه‌ای تعیین می‌شود که اگر میزان آن کمتر از یک دهم باشد، این نسبت دلالت بر سطح قابل قبول سازگاری مقایسه‌های دو به دو دارد (۱۰).

عبدی (۱۳۸۴)، برای ارائه روشی جهت طراحی شبکه جاده جنگلی با حداقل هزینه ساخت و رعایت حفظ اصول و معیارهای فنی از روش AHP در محیط GIS بهره‌گرفت. وی در تحقیق خود معیارهای شیب، عرض دامنه، جهت جغرافیایی و نوع خاک منطقه را حائز اهمیت دانسته و از آنها استفاده کرده است. ایشان پس از طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری طبقات داخلی نقشه‌ها با استفاده از نظرات متخصصان، از فرآیند AHP و روش مقایسات زوجی استفاده نمود. وی برای تلفیق معیارها با توجه به اهمیتشان از روش ارزیابی چندمعیاره در نرم‌افزار EDRISI استفاده کرد.

اوژن (۱۳۸۷) تحقیقی بر روی حوزه آبخیز ریمله در استان لرستان انجام داد. براساس تکنیک AHP در حوزه مورد مطالعه برای حل مشکلات موجود ابتدا تعدادی گزینه شامل عملیات مکانیکی، عملیات بیولوژیک و عملیات عمرانی و خدماتی را انتخاب کرد. سپس برای انتخاب بهترین گزینه

ج- ساخت لایه های اطلاعاتی مورد نیاز: در این مرحله اقدام به تهیه نقشه های شیب: با استفاده از نقشه از مدل رقومی ارتفاع، نقشه رتبه بندی آبراهه ها: براساس روش استدلال، تهیه نقشه زمین شناسی: در محیط نرم افزاری PCI GEOMATICA با استفاده از زیر برنامه ORTHO ENGINE، تهیه نقشه خاک شناسی: لایه اطلاعاتی بافت خاک نیز بر اساس اطلاعات جمع آوری شده حاصل از عملیات صحرایی و آزمایش فیزیکی خاک، و پس از تهیه فایل مربوط به موقعیت پروفیل های حفر شده و با به کارگیری توابع مختلف روش میانمایی کریجینگ، تهیه گردید. لازم به ذکر است آنالیز نرمال بودن داده ها بکمک نرم افزار MINITAB انجام شده است. انجام تحلیل های زمین آماری نیز بوسیله نرم افزار GS+ انجام شد. تهیه نقشه ضریب جریان سیلابی: نقشه سیل خیزی واحدهای هیدروژئیک با استفاده

$$C_F = \frac{\bar{X}}{A^{0.3}} = 2.4 \quad \text{تهیه شد (Y)}$$

از رابطه

که در آن  $C_F$  ضریب سیل خیزی،  $\bar{X}$  میانگین سیل یا سیل با دوره بازگشت دو سال بر حسب مترمکعب در ثانیه و  $A$  مساحت حوزه به کیلومتر مربع می باشد. تهیه نقشه فرسایش و رسوب: با توجه به نوع جنس سنگ های منطقه که عمدتاً کربستیک و دولومیتی است، از مدل EPM برای تهیه نقشه استفاده شده است. تهیه نقشه کاربری اراضی: لایه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، بر اساس نقشه منابع و قابلیت استفاده از اراضی و همچنین استفاده از نرم افزار GOOGLE EARTH تهیه گردید. تهیه نقشه حریم جاده ها و روستاها: برای ساخت نقشه حریم از نقشه توپوگرافی در محیط Arc GIS استفاده شد. تهیه نقشه میزان مشارکت مردمی و میزان تراکم: لایه های میزان مشارکت مردمی و میزان تراکم جمعیت نیز با توجه به پاسخ های نظرسنجی که در مورد پروژه های مورد نظر با استفاده از روش پرسشنامه و مصاحبه و مراجعه به ۳۰ بهره بردار نمونه در هر روستا و نیز مصاحبه با مطلعین و شورای روستا، تهیه گردید.

د- طراحی مدل شاخه درختی: در طراحی مدل شاخه درختی ارتباط هر عنصر با سایر عناصر در ساختار رده ای و در سطوح مختلف (هدف اصلی، معیارها، زیرمعیارها و عوامل) مشخص گردیده و ارتباط هدف اصلی موجود از مساله با پایین ترین رده موجود از سلسله مراتب تشکیل شده دقیقاً مشخص می شود.

ه- استانداردسازی عوامل: استانداردسازی هر یک از عوامل از طریق وزندهی مستقیم و با استفاده از روش رتبه بندی از صفر تا یک انجام گردید. در این روش، رتبه بندی هر معیار مورد نظر بر حسب اولویت تصمیم گیران صورت می پذیرد. در این راستا، هم از رتبه بندی مستقیم<sup>۴</sup> (که در آن نمره ۱ معرف بیشترین اهمیت تا نمره صفر که بیانگر کمترین اهمیت است) و هم از رتبه بندی معکوس<sup>۵</sup> می توان استفاده کرد. به منظور استانداردسازی عوامل، در ابتدا لایه اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل پروژه های مختلف را در محیط ArcGIS وارد نموده و سپس ارزش های جدید را براساس روش رتبه بندی وارد می نماییم که در نتیجه نقشه حاصل بصورت کلاسه بندی و استاندارد تهیه می شود.

و- وزن دهی و تعیین نرخ ناسازگاری- وزن دهی زیرمعیارها و تعیین نرخ ناسازگاری: اقدام به وزندهی زیرمعیارها به کمک زیربرنامه AHP می گردد. بمنظور بهره گیری از این زیربرنامه، وزندهی بکمک روش

مقایسات زوجی انجام پذیرفت. در این روش فقط دو زیرمعیار در یک زمان با یکدیگر مقایسه می شوند، که البته ارزشهای نسبی در مقیاس پیوسته ای از یک نهم تا ۹ است. لازم به ذکر است که پس از وزندهی، نرخ ناسازگاری وزنها مورد بررسی قرار می گیرد. بایستی توجه داشت که نرخ ناسازگاری در وزندهی تا حد امکان از صفر تا یک دهم تغییرات داشته باشد. به منظور وزندهی زیرمعیارها، در زیر برنامه AHP لایه های استاندارد شده مربوط به هر کدام از زیرمعیارها انتخاب شده و به ستون توصیف گر اضافه می گردد. در این مرحله ماتریس ارجحیت زیرمعیارها را تکمیل نموده و فرمان محاسبه اجرا می گردد

- وزندهی معیارها و تعیین نرخ ناسازگاری: پس از وزن دهی زیرمعیارها، و تعیین نرخ ناسازگاری آنها، در گام بعد، نقشه های تحلیل سلسله مراتبی معیارها که در مرحله قبل آماده شده است را کلاسه بندی کرده و نقشه های کلاسه بندی شده تحلیل های سلسله مراتبی تهیه می شود. لازم است که اهمیت معیارها با ملاحظه هدف اصلی مشخص شود. بنابراین اقدام به وزندهی معیارها به کمک زیربرنامه AHP می گردد. در این مرحله نیز وزنه های نرمال معیارها و همچنین نرخ ناسازگاری آنها توسط نرم افزار محاسبه و ارائه می شود.

ز- تهیه نقشه های پهنه بندی: پس از تعیین وزنه های نرمال معیارها و اطمینان از مناسب بودن نرخ ناسازگاری آنها، نرم افزار با اعمال وزنه های نرمال معیارهای مربوط به هر یک از پروژه های ذخیره نزولات جوی، نقشه نهایی پهنه بندی مکانهای مناسب هر یک از پروژه ها را ایجاد می نماید.

ح- اعتبارسنجی روش: پس از تهیه نقشه پهنه بندی نظارت نشده مناطق مناسب عملیات، از طریق انتخاب کاملاً تصادفی حداقل ده نقطه برای هر یک از عملیات در منطقه تحقیق، با انجام بازدیدهای میدانی و کنترل عوامل مشارکت کننده در تعیین مناسب بودن هر محل برای نوع خاصی از عملیات، اعتبار نقشه پهنه بندی تعیین گردیده است.

## نتایج

پس از بررسی خصوصیات منطقه تحقیق، نتایج به شرح زیر ارائه می گردد: میان یابی بافت خاک: به منظور تهیه نقشه بافت عمق اول خاک پس از بررسی و با توجه به نرمال بودن داده ها و ترسیم واریوگرام ها، بهترین نتایج از تابع کروی با ضریب همبستگی ۰/۸۹۰ و مجموع مربعات خطا ۰/۲۲ بدست آمد.

به منظور تهیه نقشه بافت عمق دوم خاک پس از بررسی و با توجه به نرمال بودن داده ها و ترسیم واریوگرامها، بهترین نتایج از تابع نمایی با ضریب همبستگی ۰/۹۱۵ و مجموع مربعات خطا ۰/۱۶ بدست آمد.

## ترسیم مدل شاخه درختی

با توجه به هدف، وضعیت منطقه و داده های موجود که در بخش مواد و روشها تشریح شدند، مدل شاخه درختی برای مکانیابی عملیات بندهای سنگ-سیمان و گابیونی طراحی گردید (شکل ۱).

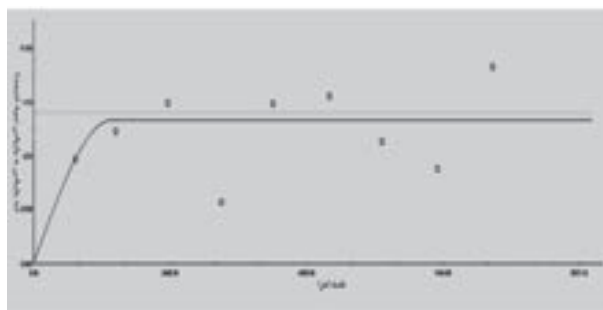
## استانداردسازی عوامل

برای عوامل شیب، ارتفاع، نوع رسوبات، کاربری اراضی، حریم روستا، تراکم

جدول ۱- اجزای مربوط به تغییر نمای (واریوگرام) انتخاب شده برای تولید نقشه بافت عمق اول

مدل تغییر نما	$C_0$	$C_0+C$	$a_0$	$E_f$	$C/C_0+C$	$R^2$	$R_{ss}$
کروی *	۰/۰۰۱۸	۰/۱۰۶۲۵	۲۱۱۰۰	۶۳۳۰۰	۰/۵۰۲	۰/۸۹۰	۰/۲۲

$C_0$ : عرض از مبدأ بر حسب متر،  $C$ : سقف یا بخش ساختاری مدل بر حسب متر،  $a_0$ : پارامتر فاصله (دامنه تغییرات) مدل بر حسب متر،  $E_f$ : شعاع تأثیر عوامل اثرگذار بر متغیر بر حسب متر،  $R^2$ : ضریب همبستگی، و  $R_{ss}$ : مجموع مربعات خطا.



نمودار ۱- مدل تغییرنمای برازش داده شده (خط) بر مدل تغییرنمای تجربی (نقطه) برای بافت عمق اول

اقتصادی-اجتماعی (کاربری اراضی، حریم روستا، تراکم جمعیت، حریم جاده و مشارکت مردمی) پروژه بند سنگ-سیمان و وزندهی زیر معیارهای هیدرولوژی (ضریب سیل خیزی، میزان دبی، درجه آبراهه)، خاک (بافت، میزان فرسایش)، اقتصادی-اجتماعی (کاربری اراضی، حریم روستا، تراکم جمعیت، حریم جاده و مشارکت مردمی) پروژه بند گابیونی آرایه گردیده است (شکل های ۲ تا ۷).

#### وزندهی معیارها و تعیین نرخ ناسازگاری

مطابق روش تشریح شده در بخش مواد و روشها، وزندهی به معیارهای اصلی پروژه ها انجام شده و نتایج محاسبه نرخ ناسازگاری از نرم افزار اخذ گردید. نتایج حاصل برای پروژه بند سنگ- سیمان در (شکل ۸) و برای پروژه بند گابیونی در (شکل ۹) ارائه شده است.

جمعیت، حریم جاده و مشارکت مردمی، بافت خاک، میزان فرسایش، درجه آبراهه ها، دبی و ضریب سیل خیزی استانداردسازی براساس روش مندرج در بخش مواد و روش ها انجام شده است. در ادامه روند کار به صورت نمونه برای عوامل درجه آبراهه ها و ارتفاع پروژه بند سنگ-سیمان و عوامل کاربری اراضی و درجه آبراهه ها برای پروژه بند گابیونی ارائه گردیده است (اشکال ۱ تا ۴).

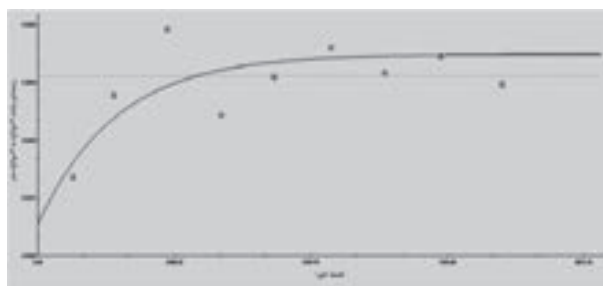
#### وزندهی و تعیین نرخ ناسازگاری

##### وزندهی زیرمعیارها و تعیین نرخ ناسازگاری

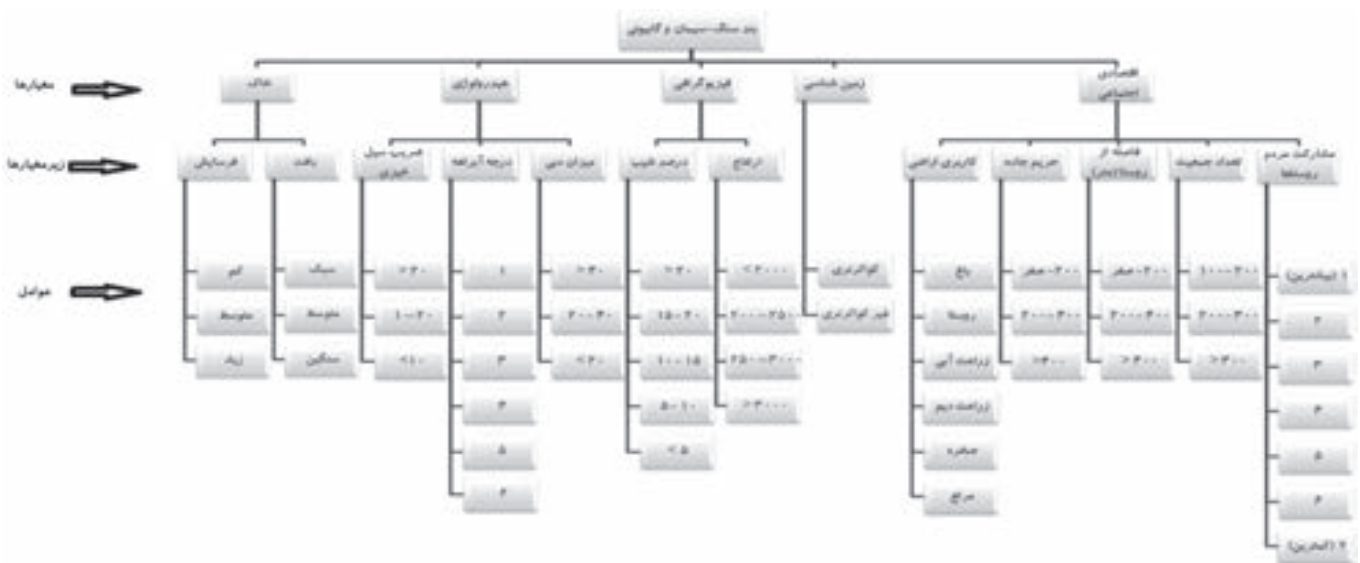
مطابق روش تشریح شده در بخش مواد و روش ها، وزندهی به زیرمعیارهای مرتبط با معیارهای اصلی پروژه ها انجام شده و نتایج محاسبه نرخ ناسازگاری از نرم افزار اخذ گردید. در ادامه روند کار برای وزندهی زیر معیارهای خاک (بافت، میزان فرسایش)، فیزیوگرافی (ارتفاع و شیب)،

جدول ۲- اجزای مربوط به تغییر نمای (واریوگرام) انتخاب شده برای تولید نقشه بافت عمق دوم

مدل تغییر نما	$C_0$	$C_0+C$	$a_0$	$E_f$	$C/C_0+C$	$R^2$	$R_{ss}$
نمایی *	۰/۰۱۳۸	۰/۰۷۱۷۱	۲۱۱۰۰	۶۳۳۰۰	۰/۵	۰/۹۱۵	۰/۱۶



نمودار ۲- مدل تغییرنمای برازش داده شده (خط) بر مدل تغییرنمای تجربی (نقطه) برای بافت عمق دوم



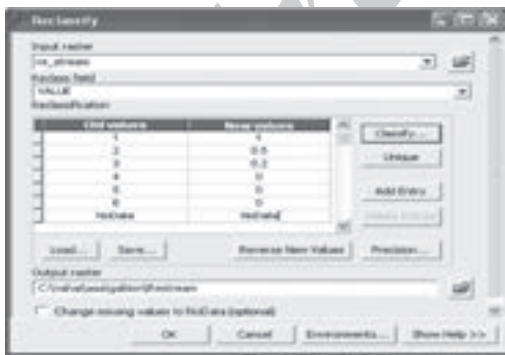
شکل ۱- مدل شاخه درختی برای پروژه های بند سنگ-سیمان و بند گابیونی



تصویر ۲- رتبه بندی عامل ارتفاع بمنظور مکان یابی پروژه بند سنگ-سیمان



تصویر ۱- رتبه بندی عامل درجه آبراهه ها بمنظور مکان یابی پروژه بند سنگ-سیمان



تصویر ۴- رتبه بندی درجه آبراهه ها بمنظور مکان یابی پروژه بند گابیونی



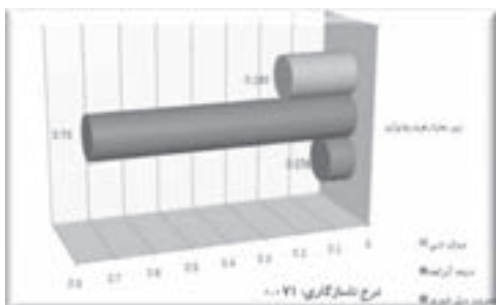
تصویر ۳- رتبه بندی کاربری اراضی بمنظور مکان یابی پروژه بند گابیونی

### بحث

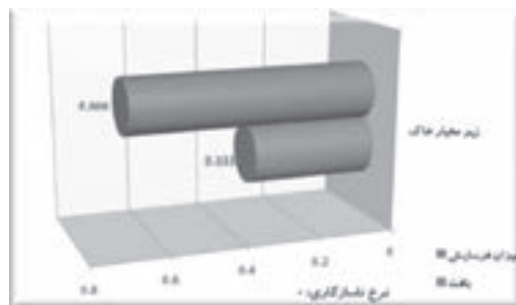
جهت تهیه برخی از لایه‌های اطلاعاتی به عنوان داده‌های اطلاعاتی اولیه مورد نیاز فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بمنظور مکانیابی پروژه‌های بندهای سنگ و سیمان و گابیونی در حوزه آبخیز میخوران، از تحلیل‌های زمین‌آماري در محیط نرم‌افزاری GIS+ استفاده گردید. بطور مشابه، زارع

### تهیه نقشه پهنه بندی

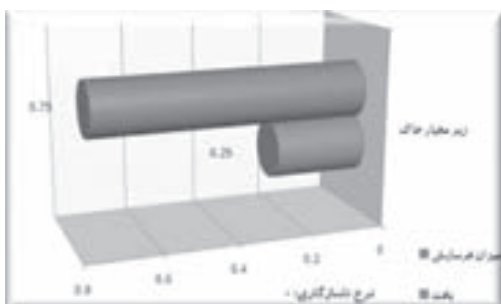
در نهایت به کمک نرم‌افزار با اعمال وزنهای نرمال معیارها، نقشه نهایی پهنه‌بندی مکانهای مناسب پروژه بندهای سنگ و سیمان به صورت (شکل ۱۰) و برای پروژه بند گابیونی به صورت (شکل ۱۱) تهیه شد.



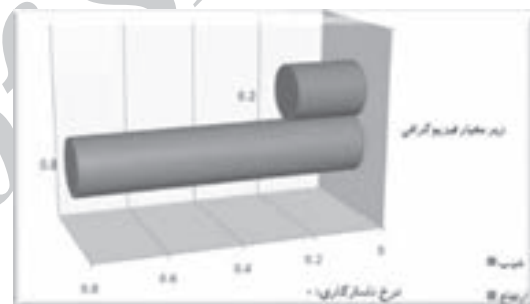
شکل ۳- وزن های نرمال و نرخ ناسازگاری زیر معیارهای خاک بند سنگ-سیمان



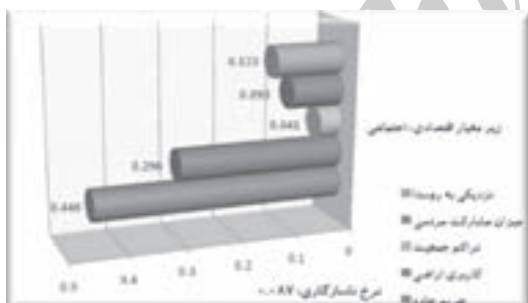
شکل ۲- وزن های نرمال و نرخ ناسازگاری زیر معیارهای هیدرولوژی بند گابیونی



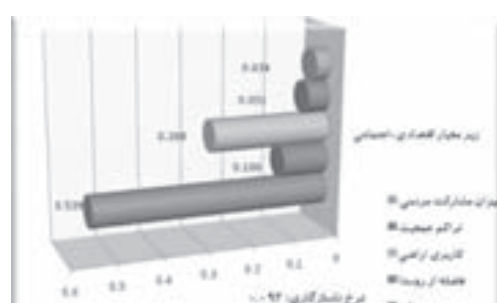
شکل ۵- وزن های نرمال و نرخ ناسازگاری زیر معیارهای خاک بند سنگ-سیمان



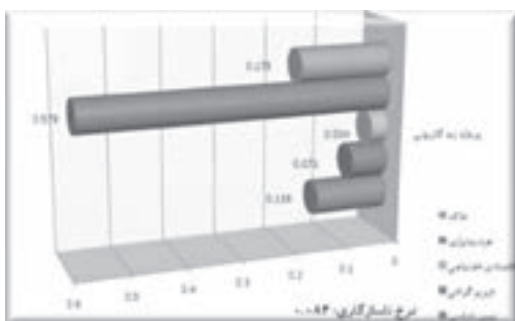
شکل ۴- وزن های نرمال و نرخ ناسازگاری زیر معیارهای فیزیوگرافی بند گابیونی



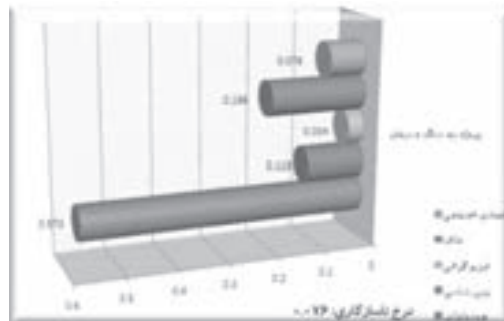
شکل ۷- وزن های نرمال و نرخ ناسازگاری زیر معیارهای اقتصادی-اجتماعی بند سنگ-سیمان



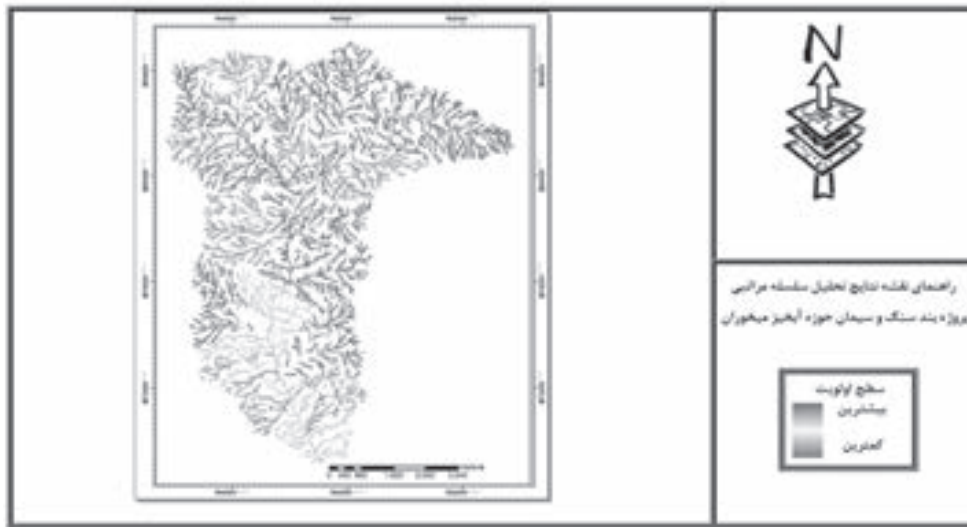
شکل ۶- وزن های نرمال و نرخ ناسازگاری زیر معیارهای اقتصادی-اجتماعی بند گابیونی



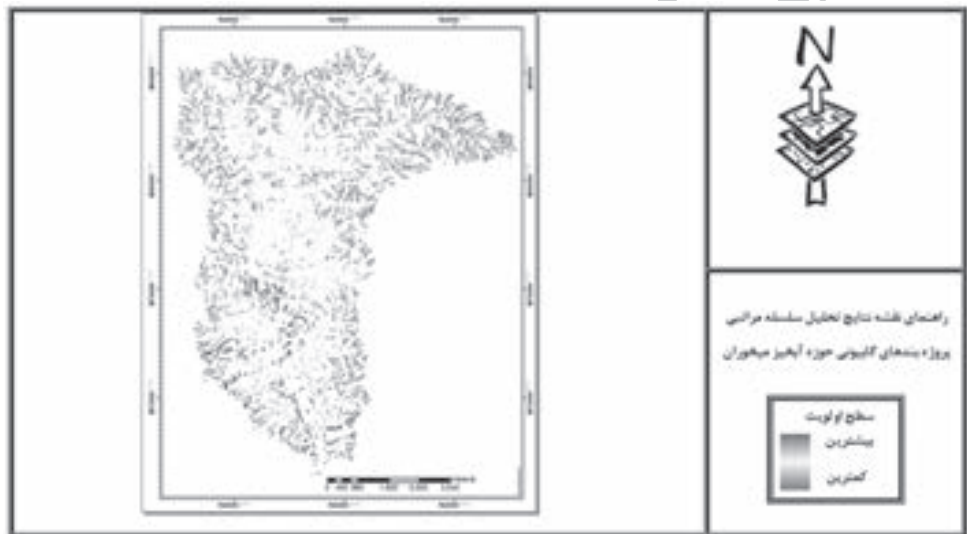
شکل ۹- وزن های نرمال و نرخ ناسازگاری معیارهای پروژه بند سنگ-سیمان



شکل ۸- وزن های نرمال و نرخ ناسازگاری معیارهای پروژه بند گابیونی



شکل ۱۰- نقشه پهنه بندی نقاط مناسب بندهای سنگ و سیمان در حوزه آبخیز میخوران



شکل ۱۱- نقشه پهنه بندی نقاط مناسب بندهای گابیونی در حوزه آبخیز میخوران

انجام دادند، جهت بررسی معیارهای هیدرولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی، از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. در نتایج بدست آمده در مرحله وزندهی معیارها، نرخ ناسازگاری معیارهای بند سنگ و سیمان ۰/۰۷۶ و نرخ ناسازگاری معیارهای پروژه بند گابیونی ۰/۰۸۴ محاسبه شده است که این ارقام تأییدکننده صحت وزندهی انجام شده می باشد. خدادوست (۱۳۸۸)، نیز حداکثر نرخ ناسازگاری قابل قبول برای تجزیه و تحلیل را یک دهم بیان نموده و در تحقیق خود نیز نرخ ناسازگاری معیارهای ژئومرفولوژی، هیدرواقلیم، زیست محیطی، کاربری اراضی، شبکه انتقالی، و هزینه اقتصادی را ۰/۰۷ محاسبه نموده که قابل قبول بوده است. در این تحقیق معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار بر مکانیابی انجام پروژه ها در قالب پنج معیار و سیزده زیرمعیار شناسایی و تحلیل شدند که این فرآیند تأییدکننده فرضیه اول تحقیق مبنی بر تعدد معیارها و زیرمعیارهای دخیل در انتخاب مکان های مناسب برای اجرای پروژه ها می باشد. با توجه به نتایج تحقیق از میان معیارهای

چاهوکی (۱۳۸۵) نیز به منظور تهیه لایه های اطلاعاتی خاکشناسی در مدل سازی پراکنش گونه های گیاهی مراتع مناطق خشک و نیمه خشک، از روش تحلیل های زمین آماری بهره گرفت. همچنین، سلاجقه (۱۳۸۸) نیز در بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر روند تغییرات کمی و کیفی آب های زیرزمینی دشت بم، از تحلیل های زمین آماری در محیط نرم افزاری GIS+ استفاده نموده است. پس از تهیه لایه های اطلاعاتی مورد نیاز، با بکارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، شامل طراحی مدل شاخه درختی، استانداردسازی داده ها، وزندهی به معیارها و زیرمعیارها، و تعیین نرخ ناسازگاری، اقدام به تهیه نقشه های پهنه بندی مکانهای مناسب اجرای پروژه ها گردید. در همین راستا، خیرخواه (۱۳۸۷) نیز در تحقیقی از روش تحلیل سلسله مراتبی در مکان یابی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی در منطقه نظنز استفاده نموده است. Molina و همکاران (۲۰۱۰)، نیز در تحقیقی که به منظور مدیریت منابع آب در اسپانیا



- ۲- جمالی علی اکبر، (۱۳۸۶) سامانه تصمیم یار مکانی در تعیین مناطق مناسب عملیات بیولوژیک و مکانیکی حفاظت خاک. رساله دکتری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی.
- ۳- جمالی علی اکبر، (۱۳۸۷) فنون تحلیل چندمعیاره مکانی، تصمیم، تحلیل سلسله مراتبی و استانداردهای فازی در تعیین بحرانی ترین چراگاه های حوزه آبخیز. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۵، شماره ۴.
- ۴- خیرخواه زککش مسعود، (۱۳۸۷) استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت بندی مکان های مناسب احداث سد زیرزمینی. مجله علمی پژوهشی پژوهش و سازندگی، شماره ۷۹.
- ۵- قاسمی هدی، (۱۳۸۹) مدیریت جامع منابع آب با استفاده از روش DSS. مطالعه موردی: حوزه کاشان. رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۶- کارآموز محمد، (۱۳۸۷) چالش های کاربرد رویکردهای نوین در مدیریت منابع آب ایران. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
- ۷- فتحی بنی اردلانی علی عباس، (۱۳۸۷) مکان یابی عرصه های مستعد پخش سیلاب با استفاده از RS&GIS، مطالعه موردی: حوضه آبخیز چننداب شهرستان پاکدشت. پایان نامه کارشناسی ارشد GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- 8- Assimacopoulos, D. (2005) An integrated decision support system for evaluation of water management strategies. *Journal of Water Practice & Technology*, 11(1). pp:15-32
- 9- Antonella, Z., Sharifi, A.M., Andrea, G.F. (2008) Application of Spatial Multi-Criteria Analysis to Site Selection for A Local Park: A Case study in The Bergamo Province, Italy. *Journal of Operational Research*, 158, pp:1-18
- 10- Cimren, E., B., Catay, E., Budak (2007) Development of a Machine Tool Selection System Using AHP. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35, pp: 363-376.
- 11- Dragan M., E. Feoli M., Ferneti and W., Zerihun (2003) Application of an Erosion Decision Support System (SDSS) to Reduce Soil Erosion in Northern Ethiopia. *Journal of Environmental Modeling and software*. Volume 18, pp: 861-868
- 12- Farahpour M. (2002) *A Planning Support System for Rangeland Allocation in Iran*, PhD thesis, Wageningen University, ITC Netherlands, 186 pp.
- 13- Graymore, M.L.M., Wallis, A.M., Richards, A.J., (2009) *A Regional Sustainability: A GIS-Based Multiple Criteria Analysis Decision Support System for Progressing Sustainability*. *Ecological Complexity* 6, pp: 453-462.
- 14- Maia, R., Schumann, A (2007) DSS Application to the Development of Water Management Strategies in Ribeiras Algarve River Basin. *Journal of Water Resources Management*. 21(5): 897-907.
- 15- Marinoni, O. (2004). Implementation of the Analytical Hierarchy Process with VBA in ArcGIS. *Journal of Computers and Geosciences*. 30(6), pp: 637-646.
- 16- Moreno-Jimenez, J.M (2005) A Spreadsheet Module for Consistent Consensus Building in AHP-Group Decision making. *Journal of Group Decision and Negotiation*, 14, pp: 89-108.

اقتصادی - اجتماعی، اقلیم، هیدرولوژی، خاک و فیزیوگرافی، معیار هیدرولوژی با وزن نرمال ۰/۵۷۹ بیشترین تأثیر و معیار فیزیوگرافی با وزن نرمال ۰/۰۷۱ کمترین تأثیر را بر مکانیابی اجرای پروژه بند گابیونی دارا هستند. همچنین از بین معیارهای تأثیرگذار بر مکانیابی اجرای پروژه بند سنگ-سیمان، معیار هیدرولوژی با وزن نرمال ۰/۵۷۳ بیشترین تأثیر و معیار فیزیوگرافی با وزن نرمال ۰/۰۳۴ کمترین تأثیر را دارا هستند. این مطلب نشان دهنده صحت فرضیه دوم این تحقیق است که بیان می کند معیارهای موثر در مکان یابی پروژه ها دارای وزن های یکسانی نیستند. پس از تعیین مکانهای مناسب برای هر پروژه مجدداً اقدام به اعتبارسنجی روش از طریق بازدیدهای صحرایی از مناطقی که توسط نرم افزار بعنوان مناطق با اولویت بالا در اجرای پروژه ها انتخاب شده بودند، گردید. در این سلسله بازدیدها، اجرای پروژه ها با توجه به خصوصیات ظاهری و فیزیکی منطقه مورد بازدید، امکانسنجی گردید. صحت نتایج برای پروژه های تعریف شده ۹۱ درصد برای پروژه بند گابیونی و ۸۰ درصد برای پروژه بند سنگ-سیمان محاسبه گردید. این نتایج تأییدکننده فرضیه شماره سه تحقیق، مبنی بر اینکه سامانه تصمیم یار مکانی قابلیت تعیین مناطق مناسب اجرای پروژه های بند گابیونی و بند سنگ-سیمان را دارد، می باشد. در جمع بندی عوامل تأثیرگذار بر کاهش اعتبار نتایج تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه پهنه بندی اجرای پروژه ها در حوزه آبخیز میخوران، مشخص شد که عامل کوچک بودن مقیاس نقشه، مهمترین منبع خطا است. کوچک بودن مقیاس نقشه باعث حذف بخشی از اطلاعات واقعی منطقه از نقشه های مورد استفاده می شود. نتایج حاصل مبین این مطلب است که روش مورد استفاده از اعتبار بالایی در پهنه بندی مناطق مناسب برای اجرای پروژه های بند گابیونی و بند سنگ-سیمان برخوردار بوده و بکارگیری فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی را بعنوان یک سیستم تصمیم یار مکانی مؤثر در مکانیابی این پروژه ها تأیید می نماید. پیشنهاد می شود مکانیابی چنین عملیاتی، در صورت امکان با بکارگیری سایر تکنیکهای تعاملی سامانه های تصمیم یار مکانی مانند TOPSIS و یا SAW در منطقه حوزه آبخیز میخوران انجام شده و نتایج حاصل به منظور انتخاب کارآمدترین تکنیک مکانیابی با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مقایسه شوند. همچنین پیشنهاد می شود برای افزایش دقت نتایج در تحقیقات آتی، از نقشه های پایه با مقیاس بزرگتر استفاده شود.

## پاورقی ها

- 1- Analytical Hierarchy Process
- 2- Geographical Information System
- 3- Consistency Ratio
- 4- Straight ranking
- 5- Inverse ranking
- 6- new value
- 7- Reclass
- 8- Descriptor

## منابع مورد استفاده

- ۱- اورژن محمد، جلیلیان حجت ا...، رستمی نژاد قباد، (۱۳۸۷) فرآیند تحلیل سلسله مراتبی رهیافتی به سوی مدیریت جامع حوزه آبخیز. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.