

# مکان‌یابی مخازن ذخیره آب با استفاده از GIS و روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS (مطالعه موردی: جنوب استان سیستان و بلوچستان)

علی جوزقی<sup>۱</sup>

ابوالفضل شمسایی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱۰/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۷/۱۲

\*\*\*\*\*

## چکیده

با توجه مطالعات اخیر، در سال ۲۰۲۵، کمبود آب در کشورهای فقیر که منابع محدودی دارند و جمعیت آنها به سرعت در حال افزایش است، نمود بیشتری پیدا خواهد کرد. بنابراین یک طرح درازمدت برای حفظ منابع آب لازم است. احداث سدهای مخزنی بزرگ بر روی رودخانه‌های دائمی کشور یکی از مهمترین طرح‌ها است و مرحله اصلی برای اجرای این طرح انتخاب مکان مناسب در حوزه آبریز می‌باشد. هدف از این مطالعه، کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و توسعه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس<sup>۳</sup> برای انتخاب و رتبه‌بندی محل احداث سد در منطقه جنوبی استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. با نظر کارشناسان و داده‌های موجود معیارهای تعیین مکان بهینه شامل معیارهای زمین شناسی، کاربری اراضی، رسوب، کیفیت آب، فرسایش، آب‌های زیرزمینی و هیدرولوژی انتخاب گردیده‌اند. برای مشخص کردن میزان اهمیت معیارهای ورودی از روش وزن‌دهی نسبی استفاده شده است. در ابتدا با پیاده کردن الگوریتم تاپسیس در محیط نرم افزار ArcGIS لایه‌ای تحت عنوان "نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل" که دارای مقادیر بین صفر و یک می‌باشد، ایجاد شده است. سپس با مدل‌سازی مسیر جریان آب و بررسی شرایط توپوگرافی منطقه و انجام محاسبات مربوط به ارتفاع و طول تاج سد و اعمال محدودیت حجم مخزن، ۱۵ گزینه که پتانسیل احداث سد در آنها وجود دارد، انتخاب و در آخر با یافتن مقادیر هر گزینه در لایه ایجاد شده، گزینه‌ها رتبه‌بندی شده‌اند. با توجه به نتایج بدست آمده گزینه A که نمایانگر سد کهیر است، با امتیاز ۰/۸۵ بهترین گزینه انتخابی و گزینه P - سمت شرق محدوده - با امتیاز ۰/۴۷ بدترین گزینه می‌باشد و همچنین در بین سدهای احداث شده در منطقه سد پیشین با امتیاز ۰/۶۲ بدترین سد انتخاب گردید و گزینه K با امتیاز ۰/۶۷ بر روی شاخه سمت راست رودخانه سرباز به عنوان گزینه پیشنهادی انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: تاپسیس، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سد، ArcGIS

\*\*\*\*\*

۱- کارشناس ارشد مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف Ali.jozaghi@gmail.com

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف shamsai@sharif.edu

## ۱- مقدمه

امروزه در دنیا آب و منابع آب، یکی از پایه‌های اصلی توسعه پایدار بشمار می‌روند. معطوف شدن توجهات به موضوع کنترل منابع آب عمدتاً به علت خطرات یا کمبودهایی است که از جانب آن دامنگیر نوع بشر می‌گردد و مواردی مانند سیلاب‌های مخرب، خشکسالی‌ها و نامناسب بودن کیفیت آب را شامل می‌گردد. هدف عمده برنامه‌ریزی سیستم‌های منابع آب، تبیین گزینه‌های ممکن طراحی و مدیریت طرح‌های منابع آب و معرفی مناسب‌ترین گزینه از لحاظ جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی آنها است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵).<sup>۱</sup> توزیع بارش در بسیاری از مناطق کشور به گونه‌ای است که در فصولی از سال بارش بیش از حد مورد نیاز و در فصول باقیمانده سال بارش کمتر از حد نیاز است. در این مناطق به منظور مدیریت منابع آب، روش ذخیره آب در فصول پرآبی و استفاده از آن در فصول کم‌آبی به کار می‌رود و برای این منظور اقدام به احداث سدهای مخزنی می‌نمایند (شکی، ۱۳۹۳).

احداث سدهای مخزنی بزرگ در مسیر رودخانه‌های دائمی موجود در کشور ایران با اهداف مختلفی انجام می‌پذیرد. با توجه به وضعیت اقلیمی کشور ایران، علاوه بر کمبود نزولات جوئی، جریان رودخانه‌ای در طول زمان دارای نوسانات زیادی می‌باشد. معمولاً حجم آب در فصل زمستان و بهار که مصرف پایین است، حداکثر است و در طول تابستان که نیاز مصرف زیاد است، تولید به حداقل می‌رسد. از طرفی ریزش باران‌های سیل‌آسا، در بعضی مناطق موجب بروز خسارت و اتلاف بخش عمده‌ای از آب‌های سطحی می‌شود. لذا کنترل سیلاب و ذخیره‌سازی و حفظ منابع آب جهت مصارف کشاورزی، صنعتی و شهری، جزء مهمترین اهداف برای احداث سد می‌باشند. در کنار ذخیره‌سازی آب و کنترل سیلاب‌ها می‌توان از انرژی پتانسیل نهفته در آب‌های ذخیره شده در پشت مخازن، به منظور تولید انرژی برق بهره گرفت (بخشکی و همکاران، ۱۳۹۳).

عملیات احداث سدها جزء طرح‌های زیر بنایی بوده و پیامدهای اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و زیست محیطی فراوانی دارد. از جمله این تأثیرات می‌توان به ایجاد تغییرات شدید در اکوسیستم منطقه، تغییر الگوی کشت زمین‌های مجاور، تغییر در محل سکونت افراد بومی، تغییر در وضعیت حیات موجودات واقع در مناطق پایین دست و ... اشاره کرد (بک و همکاران، ۲۰۱۲).<sup>۲</sup> بنابراین لازم است تا با توجه به آثار و تبعات احداث یک سد بر محیط پیرامون آن، در انتخاب مکان احداث آن مطالعات زیادی صورت پذیرد و با توجه به پارامترهای مختلف و مؤثر در تعیین مکان مناسب، اقدام به تصمیم‌گیری شود (وگا و همکاران، ۲۰۱۱).<sup>۳</sup> در صورتی که در انتخاب محل احداث سد، اشتباه صورت پذیرد، ممکن است علاوه بر هزینه‌های مالی، باعث ایجاد خسارات جبران ناپذیر بر محیط زیست منطقه، بروز خطرات جانبی و مشکلات اجتماعی در آن نواحی شود. چنانچه در پاره‌ای از موارد این امر منجر به عدم آنگیری مخزن سد در اثر نشست مخزن، تخریب سد در اثر سیلاب‌های منطقه، به زیر آب رفتن مناطق باستانی و تخریب شدید محیط زیست و ... شده است (براوین و همکاران، ۲۰۰۷).<sup>۴</sup> از این رو لازم است تا در انتخاب محل سد، پارامترها و شرایط مختلفی را مورد توجه قرار داد، تا بتوانیم بهترین محل را برای احداث سد در نظر بگیریم.

با توجه به مطالب ذکر شده، نیاز به ارائه معیارهایی مشخص جهت انتخاب گزینه‌ها و مقایسه آنها به صورت کمی، مشخص می‌باشد. سیستم اطلاعات جغرافیایی با قابلیت ذخیره‌سازی حجم بسیار زیادی از داده‌های مکانی و توصیفی و قابلیت مدل‌سازی مسائل مکانی و انجام آنالیزهای مختلف بر روی لایه‌های مختلف مکانی و توصیفی، امکان تصمیم‌گیری را برای انتخاب گزینه‌های مختلف جهت احداث سد و براساس معیارهای مختلف فراهم می‌کند. علاوه بر این، می‌توان نتایج حاصل را به صورت کمی ارائه

2- Beck M.W, et al.

3- Vega, D.C, et al.

4- Brauman, K.A., et al

1- Zhang, Y.M, et al.

تحقیق ابتدا ده نقشه معیار اقلیم، ناهمواری، تیپ اراضی، کاربری و پوشش موجود، دسترسی راه‌ها، دسترسی به انرژی، عرض جغرافیایی، ازدحام جمعیت، پهنه‌بندی زلزله و دسترسی به آب، با استفاده از نظرات چهار کارشناس و توسط روش‌های OWA و IOWA تهیه شده و در قالب سه فاکتور محیطی، اقتصادی و اجتماعی به روش Fuzzy TOPSIS وزن‌دهی و با هم ترکیب شده‌اند. مدل نهایی مناسب‌ترین مناطق جهت توسعه مسکونی را در مکان‌هایی نشان می‌دهد که اکثر معیارهای مذکور را برآورد می‌کنند. در جایی دیگر (کاظمی راد و همکاران، ۱۳۹۲) با استفاده از روش تصمیم‌گیری TOPSIS به پهنه‌بندی خشکسالی‌های استان گیلان پرداخته‌اند.

در این تحقیق، از طریق روش TOPSIS تحت نرم افزار MATLAB و با استفاده از ۹ عنصر جوی تأثیرگذار بر خشکسالی، رتبه‌بندی خشکسالی برای دوره آماری ۱۸ ساله صورت گرفته است.

جهت اعتبارسنجی روش پیشنهادی، داده‌های خروجی آن از طریق آزمون t با خروجی روش SIAP مورد مقایسه قرار گرفته و نشان داده شده که در سطح احتمال ۹۵ درصد، ارتباط معنی‌داری بین این دو روش وجود دارد. در نهایت با روش درون‌یابی IDW و با کمک نرم افزار ArcGIS، عمل پهنه‌بندی خشکسالی محدوده مورد مطالعه، برای سه دوره مجزا انجام گرفته است (فلاح و همکاران، ۱۳۹۲). با استفاده از GIS و روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS به تحقیق در مورد مکانیابی تصفیه‌خانه در جزیره قشم پرداخته‌اند. در این پژوهش معیارهای شیب، زمین‌شناسی، اختلاف ارتفاع نسبت به شهر، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شبکه حمل و نقل، فاصله از شهر قشم و لایه محدودیت‌ها، به عنوان معیارهای لازم جهت مکانیابی تصفیه‌خانه فاضلاب در نظر گرفته شده‌اند. این معیارها توسط تحلیل سلسله مراتبی وزن‌دهی و براساس تکنیک تاپسیس با یکدیگر تلفیق شده‌اند. در آخر مناسب‌ترین منطقه جهت احداث تصفیه‌خانه مشخص گردید.

نمود، که این مسأله، امکان مقایسه بین گزینه‌های مختلف را ایجاد می‌کند (جانستن و همکاران، ۱۹۹۸).<sup>۱</sup>

از آنجایی که معیارهای مختلفی در انتخاب محل مناسب احداث مخزن مؤثر است، لذا به منظور بررسی میزان تأثیر مستقل و توأم این معیارها، از روش «اولویت‌بندی بر اساس میزان شباهت به جواب ایده‌آل (TOPSIS)» استفاده می‌شود. این روش اولین بار توسط هوانگ و یون<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۱، معرفی گردید. اساس این روش، انتخاب گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از جواب ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده‌آل منفی، دارد. در این روش شاخصی تحت عنوان "نزدیکی نسبی گزینه نام به راه حل ایده‌آل ( $C_i^+$  or  $C_i^-$ )"، معرفی می‌گردد و گزینه‌ای که دارای بیشترین  $C_i^+$  است، انتخاب می‌شود (پی، ۲۰۱۵).<sup>۳</sup>

در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی در مورد استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس در انتخاب بهترین گزینه از میان چند گزینه انجام شده است. در اکثر این موارد انتخاب از میان تعداد محدودی گزینه انجام شده و بررسی بر روی بی‌نهایت گزینه انجام نشده است. (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۱) تلاش کرده‌اند تا با استفاده از مدل SLEMSA فرسایش در حوضه رومشگان را مدل‌سازی و با کمک روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS وضعیت فرسایش حوضه را بررسی کنند. پس از بررسی‌های انجام شده، مشخص می‌شود عامل توپوگرافی بیش از سایر عوامل در فرسایش‌پذیری حوضه مؤثر بوده و نقش اصلی را دارا می‌باشد. در آخر با استفاده از این روش تصمیم‌گیری آسیب‌پذیرترین حوضه در برابر فرسایش مشخص می‌شود. (طالع جنکانلو و همکاران، ۱۳۹۴) در مقاله‌ای تحت عنوان «ارزیابی تناسب اراضی مسکونی به روش فازی TOPSIS-OWA گروهی» با ترکیب روش تصمیم‌گیری چند معیاره گروهی-مکانی فازی TOPSIS-OWA و GIS به مدل‌سازی تناسب اراضی مسکونی ناحیه کرمانشاه پرداخته‌اند. در این

1- Johnston, K. , et al

2- Hwang & Yoon

3- Pei, Z.

نشان می‌دهد و بنابراین روش تاپسیس فازی رتبه‌بندی بهتری را نسبت به روش‌های کلاسیک دیگر ارائه می‌دهد.



نگاره ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان بدلیل موقعیت جغرافیایی خاصی که در آن واقع است جزء استان‌های گرم و خشک کشور محسوب می‌شود. کم آبی یکی از مشکلات اساسی مردم این استان بشمار می‌رود. توزیع و ذخیره مناسب آب در فصول پر آبی، یکی از اقدامات اساسی برای رفع این کمبودها می‌باشد. در این تحقیق سعی خواهد شد تا با استفاده از روش‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس، مدلی مناسب برای تعیین

(چودھاری و شانکار ۲۰۱۲)<sup>۱</sup> در مقاله ای تحت عنوان "ارزیابی و انتخاب مکان نیروگاه حرارتی با استفاده از روش TOPSIS و AHP در محیط فازی" تلاش کرده‌اند تا براساس معیارهای اجتماعی، فنی، اقتصادی، زیست محیطی و سیاسی به بررسی مکان مناسب جهت احداث نیروگاه حرارتی در کشور هند بپردازند. در این تحقیق جهت وزن‌دهی به معیارهای کمی و کیفی از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP در محیط فازی استفاده شده است. در آخر جهت رتبه‌بندی مکان‌ها روش تصمیم‌گیری TOPSIS مورد استفاده قرار گرفته است. (سنگال و همکاران ۲۰۱۴)<sup>۲</sup> با استفاده از روش تاپسیس در محیط فازی به رتبه‌بندی سیستم‌های تأمین انرژی تجدیدپذیر در ترکیه پرداخته‌اند. در این تحقیق معیارها با بهره‌گیری از روش آنتروپی شانون وزن‌دهی و تحلیل حساسیت براساس مقادیر ۰/۱، ۰/۵ و ۰/۹ انجام شده است. اولین معیار در رتبه‌بندی منابع انرژی تجدیدپذیر مقدار انرژی تولید شده می‌باشد و به دنبال آن معیارهای کاربری اراضی، هزینه‌های اجرا و نگهداری، ظرفیت نصب، بازدهی، دوره بازپرداخت، هزینه سرمایه‌گذاری، ایجاد شغل و مقدار دی‌اکسید کربن ساطع شده قرار دارند. با توجه به نتایج بدست آمده به ترتیب نیروگاه برقابی، نیروگاه گرمایی، رگولاتور و نیروگاه بادی مهمترین سیستم تأمین انرژی تجدیدپذیر تعیین می‌شوند. (یون جو کیم و همکاران ۲۰۱۳)<sup>۳</sup> در مطالعه‌ای تحت عنوان «رتبه‌بندی بهترین مکان‌ها برای احداث تصفیه‌خانه در حوضه آب شهری با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس در محیط فازی» تلاش کرده‌اند براساس معیارهای اجتماعی، فنی، اقتصادی و زیست محیطی بهترین گزینه را انتخاب کنند. در این مطالعه از توابع فازی مثلثی برای داده‌های ورودی استفاده شده و در ده منطقه در حوضه شهری کره جنوبی که مدلسازی هیدرولوژی در آن‌ها انجام شده بکار رفته است. نتایج شبیه‌سازی کمیت و کیفیت آب با کمک اعداد فازی یک تنوع چندین ساله مشخصی را

1- Choudhary, D. Shankar, R

2- Sengül, Ü, et al.

3- Kim, Y, et al

رتبه‌بندی می‌کنند. این روش اولین بار توسط هوانگ و یون<sup>۳</sup> در سال ۱۹۸۱، معرفی گردید. اساس این روش، انتخاب گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از جواب ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را از جواب ایده‌آل منفی، دارد. در این روش شاخصی تحت عنوان "نزدیکی نسبی گزینه نام به راه حل ایده‌آل" ( $C_i^+$  or  $C_i^-$ )، معرفی می‌گردد و گزینه‌ای که دارای بیشترین  $C_i^+$  است، انتخاب می‌شود.

اولین و مهمترین بخش این تحقیق آماده‌سازی داده‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS و پیاده‌سازی الگوریتم روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس در این محیط بر روی لایه‌ها می‌باشد. لایه‌های مکانی براساس معیارهای تحقیق که شامل هزینه تملک اراضی، کیفیت آب، میزان رسوب، زمین‌شناسی (میزان نفوذپذیری، عدم فرار آب از مخزن، پی مناسب)، شیب، فرسایش، میزان کمیت آب (میزان دبی) و آب‌های زیرزمینی می‌باشند، آماده‌سازی شده تا میزان مطلوبیت گزینه‌ها بر اساس این معیارها، سنجیده شود.

### ۳-۱- آماده‌سازی داده‌ها

اولین مرحله در آماده‌سازی داده‌ها تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های سطحی است. روش‌های مختلفی برای درون‌یابی فضایی نقاط وجود دارد، از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های معکوس وزنی فاصله، اسپلاین، مثلث بندی نامنظم و کریجینگ اشاره کرد. در این تحقیق برای ارزیابی و انتخاب بهترین روش درون‌یابی از روش اعتبار متقاطع استفاده شد.

بدین منظور تعدادی از مقادیر داده‌ها در هر معیار (دبی، کیفیت، رسوب و آب‌های زیرزمینی) به صورت موقت از مجموعه داده‌ها حذف شد و با استفاده از سایر نقاط برای آنها مقادیر جدیدی برآورد شد و در انتها برای تعیین میزان صحت نتایج و مقایسه روش‌ها از آزمون انحراف خطا<sup>۴</sup> و انحراف نتایج<sup>۵</sup> استفاده شد.

بهترین نقاط حوضه آبریز برای احداث سد، به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری تهیه کرد. با توجه به ضرورت‌های مطرح شده، اهداف تحقیق شامل موارد ذیل می‌باشد:

مرحله اول: پیاده‌سازی الگوریتم تاپسیس در نرم افزار ArcGIS

مرحله دوم: مدل سازی مسیر رودخانه‌ها و انتخاب نقاط بر اساس شرایط توپوگرافی مناسب در طول مسیر رودخانه‌ها  
مرحله سوم: تلفیق نقاط انتخابی در مرحله دوم با لایه ساخته شده در مرحله اول و تعیین امتیاز هر نقطه  
مرحله چهارم: رتبه‌بندی گزینه‌ها

### ۲- محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در بخش جنوبی استان سیستان و بلوچستان به مساحت ۳۱۹۷۴ کیلومتر مربع در شمال دریای عمان و در نواحی جنوبی شهرستان ایرانشهر و سراوان، قرار گرفته است. چهار رودخانه اصلی در این منطقه به نام‌های سرباز با متوسط دبی ۲۲۰، کاجو ۱۶۵، شی کلک ۹ و کهپر ۱۷۰ میلیون متر مکعب در سال می‌باشند، که تمام تحلیل‌ها در محدوده این چهار رودخانه انجام شد. (نگاره ۱)

### ۳- روش تحقیق و ابزارها

تصمیم‌گیری یکی از اساسی‌ترین موضوعاتی است که همواره بشر، حتی در زندگی روزمره خود با آن روبرو است. برای انجام یک کار خاص، ممکن است با گزینه‌های مختلفی مواجه شویم که از بین آنها باید بهترین گزینه را انتخاب نماییم. در واقع تصمیم‌گیری، به چگونگی انتخاب بهترین گزینه از میان گزینه‌های ممکن می‌پردازد. به طوری که گزینه‌های منتخب بتواند بیشترین سود و موفقیت را به همراه داشته باشد (کروهلینگ و مکاران، ۲۰۱۵).<sup>۱</sup>

تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است (MADM)<sup>۲</sup> که m گزینه برتر را با توجه به n معیار،

3- Hwang & Yoon

4- Root Mean Square Errors

5- Mean Deviation Errors

1- Krohling, A, et al

2- Multiple Attribute Decision Making

این مراحل برای تمام داده‌های نقطه‌ای ذکر شده انجام شد و بهترین روش برای هر معیار مشخص گردید. نتایج حاصل از این تحلیل در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲: روش‌های مختلف میان‌یابی بکار برده شده

روش میان‌یابی انتخاب شده	معیار
کریجینگ نمایی	میزان دبی رودخانه‌ها
کریجینگ نمایی	میزان رسوب منطقه
کریجینگ دایره‌ای	سطح آب زیرزمینی
کریجینگ نمایی	کیفیت آب

پس از انتخاب بهترین روش داده‌های حذف شده به داده‌های اصلی اضافه شد و مدل انتخابی به هر معیار برازش داده شد.

در مرحله بعد داده‌های مورد نظر به داده‌های رستری تبدیل شدند. داده‌های رستری نسبت به داده‌های برداری، انعطاف بیشتری در مدل‌سازی سطوح فراهم می‌کنند (برت و بوس، ۱۹۸۷). در این تحقیق، عمده پردازش‌ها و تحلیل‌ها براساس داده‌های رستری انجام شده است. با توجه به موضوع بحث که مکانیابی محور سد می‌باشد، ابعاد هر سلول در هر لایه ۱۰۰×۱۰۰ در نظر گرفته شد.

### ۲-۳- پیاده‌سازی الگوریتم تاپسیس

#### ۳-۲-۱- وزن‌دهی به معیارها

اولین گام در الگوریتم تاپسیس ایجاد ماتریس تصمیم و بردار وزن شاخص‌ها نسبت به هدف است. برای ساخت این ماتریس می‌بایست به مقادیر کمی و کیفی هر لایه وزنی تعلق گیرد. با توجه به اینکه وزن‌دهی لایه‌ها از مهمترین مراحل تصمیم‌گیری می‌باشد، لازم است تا در تعیین وزن هر یک از لایه‌ها دقت عمل بیشتری صورت پذیرد تا نتایج هر چه بیشتر با واقعیت همگام بوده و از صحت و دقت بالاتری برخوردار باشند.

برای وزن‌دهی به مقادیر از روش وزن‌دهی نسبتی<sup>۱</sup>

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Esi - Eoi)}{n}} \quad (1)$$

$$MDE = \frac{\sum_{i=1}^n (Esi - Eoi)}{n} \quad (2)$$

که در آن  $Esi$  مقدار نقاط برآورد شده با استفاده از روش‌های درون‌یابی و  $Eoi$  مقادیر واقعی نقاط است. پارامتر ارزیابی MDE نشان می‌دهد که بین مقدار برآورد شده و مشاهده شده چه میزان اختلاف وجود دارد. اگر مقدار برابر با صفر باشد نشان دهنده آن است که مقادیر نمونه خوب برآورد شده است. شاخص RMSE برای سنجش میزان دقت روش قابل استفاده می‌باشد. هرچه مقدار به صفر نزدیکتر باشد میزان دقت فضایی روش بیشتر بوده و هرچه از صفر دور شود از میزان دقت آن کاسته می‌شود (مقامی و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج حاصل از تحلیل روش‌های مختلف میان‌یابی با استفاده از شاخص‌های میزان خطا و انحراف نتایج مربوط به داده‌های میزان رسوب در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: نتایج مقایسه روش‌های مختلف درونیابی فضایی

روش	RMSE	MDE
معکوس وزنی فاصله	۰/۹۷	۰/۷۵
اسپلاین کششی	۰/۹۸	۰/۴۹
اسپلاین منظم	۰/۸۴	۰/۵۱
مثلث بندی نامنظم	۰/۹۸	۰/۱۱
دایره‌ای	۰/۸۵	۰/۲۳
	۰/۸۳	۰/۱
	۰/۸۵	۰/۴۱
	۰/۹	۰/۳۸

برای انتخاب بهترین روش میان‌یابی، ابتدا میزان انحراف نتایج روش‌ها با یکدیگر مقایسه و کمترین مقادیر انتخاب می‌گردد که در این مورد، روش کریجینگ نمایی و روش مثلث بندی نامنظم دارای کمترین مقادیر می‌باشند. سپس با مقایسه میزان خطای RMSE بهترین روش با کمترین میزان خطا انتخاب می‌شود، که در این مرحله روش کریجینگ نمایی انتخاب می‌گردد.



۳-۲-۲- ساخت لایه‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی  
در این مرحله لایه‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی ساخته شدند. یعنی به ازای هر کدام از معیارهایی که در بخش قبل نرمالیزه شدند، دو ماتریس (لایه) تهیه گردید، که در یکی مقدار همه سلول‌ها، ایده‌آل مثبت و در دیگری مقدار همه سلول‌ها ایده‌آل منفی می‌باشد. در این تحقیق برای تعیین مقادیر ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی به ترتیب از مقادیر ماکزیمم و مینیمم لایه‌های آماده‌شده، استفاده شد (رابطه ۳). مقادیر لایه‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی برای هر معیار در جدول (۳) نمایش داده شده است.

$$A^+ = [v_{s1}^+, \dots, v_{sj}^+, \dots, v_{sn}^+]; \quad v_{sj}^+ = \max\{v_{ij}\} \quad (3)$$

$$A^- = [v_{s1}^-, \dots, v_{sj}^-, \dots, v_{sn}^-]; \quad v_{sj}^- = \min\{v_{ij}\}$$

$v_{sj}^+$ : مقدار ایده‌آل مثبت هر معیار

$v_{sj}^-$ : مقدار ایده‌آل منفی هر معیار

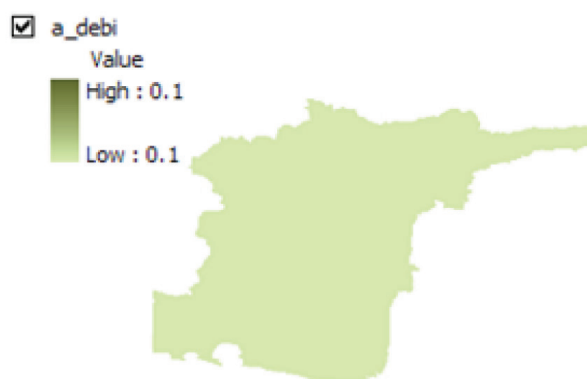
$v_{ij}$ : مقادیر هر سلول لایه

جدول ۳: مقادیر لایه‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

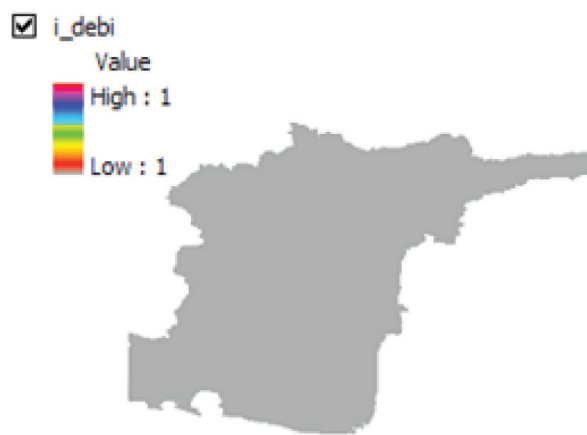
معیار	ایده‌آل مثبت	ایده‌آل منفی
آب زیرزمینی	۱	۰/۱
کل مواد جامد محلول	۱	۰/۱
درصد سدیم محلول	۰/۵	۰/۱
رسوب	۱	۰/۱
PH	۱	۰/۷
کاربری اراضی	۱	۰/۱
دبی	۱	۰/۱
زمین‌شناسی	۱	۰/۱
فرسایش	۱	۰/۱
هدایت الکتریکی	۰/۷	۰/۱
شیب	۱	۰/۱

۳-۲-۳- محاسبه فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی  
برای بدست آوردن فاصله هر گزینه از ایده‌آل‌های مثبت و منفی، دو روش وجود دارد: روش اقلیدسی و روش بلوکی. در اینجا رابطه مربوط به روش اقلیدسی بیان

استفاده می‌شود. این روش با دادن امتیازی دلخواه به مهمترین معیار آغاز می‌شود و سپس به ترتیب اهمیت، امتیازهای پایین‌تر به معیارهای با اهمیت کمتر داده می‌شود. در نهایت از امتیاز در نظر گرفته شده برای کم اهمیت‌ترین معیار، به عنوان نقطه شاخص برای محاسبه نسبت‌ها استفاده می‌شود. در نهایت امتیاز هر معیار بر امتیاز کم اهمیت‌ترین معیار تقسیم شده که این مقدار برابر نسبت  $W_j / W^*$  است که  $W^*$  کم اهمیت‌ترین امتیاز و  $W_j$  امتیاز معیار زام است. این نسبت‌ها تمایل نسبی تغییرات را از بدترین حالت تا بهترین حالت نشان می‌دهند. پس از محاسبه وزن‌ها به این روش، آنها از طریق تقسیم هر وزن به کل، نرمال می‌شوند (مالچسکی، ۱۹۹۹).



نگاره ۲: لایه‌های ایده‌آل منفی (لایه دبی)



نگاره ۳: لایه‌های ایده‌آل مثبت (لایه دبی)

می‌گردد (کروهلینگ و همکاران، ۲۰۱۵):

(۴) فاصله گزینه نام از ایده آل مثبت

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{sj}^+)^2}$$

(۵) فاصله گزینه نام از ایده آل منفی

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_{sj}^-)^2}$$

$V_{ij}$ : مقادیر هر سلول از معیارها

$V_{sj}^+$ : مقدار ایده‌آل مثبت هر معیار

$V_{sj}^-$ : مقدار ایده‌آل منفی هر معیار

$S_i^+$ : فاصله از ایده‌آل مثبت

$S_i^-$ : فاصله از ایده‌آل منفی

$n$ : تعداد معیارها

در این مرحله فاصله معیارها از ایده‌آل مثبت و منفی

محاسبه شدند. با پیاده کردن روش اقلیدسی بر روی لایه‌های

ساخته شده در محیط نرم‌افزار، می‌توان به دو لایه مجزا

دست یافت که در یکی مقادیر هر سلول آن نشان‌دهنده  $S_i^+$

و در دیگری نشان‌دهنده  $S_i^-$  باشد. در نگاره‌های (۴) و (۵)

لایه‌های فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی نشان داده شده‌اند.

### ۳-۲-۴- محاسبه شاخص نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل

این شاخص جهت ترکیب کردن مقادیر  $S_i^+$  و  $S_i^-$  و

در نتیجه مقایسه گزینه‌ها نسبت به هم تعریف می‌شود، که

با رابطه (۶) قابل محاسبه است (کروهلینگ و همکاران، ۲۰۱۵):

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (6)$$

با استفاده از رابطه (۶) شاخص "نزدیکی نسبی گزینه نام

به راه‌حل ایده‌آل" محاسبه می‌شود. خروجی این رابطه لایه‌ای

است که مقادیر روی هر سلول آن نشان‌دهنده ارزش آن سلول

برای احداث سد بر طبق معیارهای ذکر شده در بالا می‌باشد.

### ۳-۳- انتخاب مناطق مناسب، از نظر شرایط توپوگرافی

از آنجا که شرایط توپوگرافی منطقه از جمله مسیر

رودخانه‌ها، فاصله میان دره‌ها جزء جدایی‌پذیر در انتخاب

مکان احداث سد می‌باشد، در این مرحله با استفاده از نقشه

DEM منطقه مسیر جریان رودخانه‌ها مدل‌سازی می‌شود. با

توجه به اینکه مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث سد، مناطق

دره‌ای و تنگه‌ها می‌باشند، تمرکز اولیه، برای یافتن نقاطی با

این ویژگی می‌باشد.

جدول ۴: لیست مشخصات گزینه‌ها بر اساس شرایط توپوگرافی

نام	مساحت مخزن	حجم مخزن	ارتفاع ماکزیمم	طول تاج
A	۴۸۱۳۲۲۸	۲۳۴۵۲۵۹۱۲	۵۰	۳۶۵
B	۳۰۰۰۰۳۱	۲۱۴۵۶۶۸۷۵	۹۰	۷۸۱/۳
C	۳۳۸۸۳۷۳	۲۴۱۵۶۵۴۳	۹۰	۷۶۶/۱
D	۱۲۰۸۹۷۳۳	۱۵۰۹۳۴۲۰۶	۱۰۰	۱۴۶۲/۴
E	۱۲۴۱۵۱۵	۳۷۱۹۱۹۷۱	۴۰	۱۳۳۵/۹
F	۱۴۱۸۴۲۰	۴۷۰۵۷۴۲۸	۶۰	۷۹۲/۱
G	۱۰۵۰۲۰۰۷	۹۱۹۹۲۶۱۲۰	۱۹۰	۱۳۰۲/۴
H	۳۳۹۳۱۹۱	۱۱۶۲۷۹۲۸۷	۴۰	۳۴۸/۸
I	۱۸۶۸۹۳۵	۴۹۵۹۲۳۷۴	۳۰	۱۴۷۹/۸
K	۵۲۳۵۴۱۰	۲۶۶۶۲۹۳۲۱	۱۵۰	۱۱۱۸/۳
L	۳۹۳۸۳۸۳	۲۲۵۹۶۴۳۰۰	۸۰	۸۷۶/۷
M	۹۰۵۱۳۱	۱۲۹۰۵۴۷۱	۲۰	۳۴۳/۸
N	۷۴۹۸۹۱۷	۲۷۲۰۵۹۱۲	۵۰	۳۹۶/۸
O	۲۵۲۸۰۱۶	۱۴۷۵۸۱۹۴۵	۹۰	۱۴۸۸/۳
P	۳۵۱۱۷۱۱۰	۱۸۶۰۲۷۵۹۴	۷۰	۱۳۴۱/۹

پس از بررسی بر روی این لایه، ۱۶ نقطه در مسیر

رودخانه‌ها استخراج شد. در این مرحله با برنامه‌نویسی

در محیط نرم‌افزار Python2.4 و با اعمال محدودیت حجم

مخزن (ده میلیون متر مکعب) و طول حداکثر تاج سد (۱/۵)

کیلومتر) تعداد گزینه‌ها به ۱۵ عدد کاهش یافت. جدول (۴)

مشخصات گزینه‌های انتخابی را نشان می‌دهد.

### ۳-۴- رتبه‌بندی نقاط منتخب با استفاده از نتایج

#### الگوریتم تاپسیس

در مرحله آخر با استفاده از مختصات نقاط انتخابی مکان

هر نقطه بر روی لایه ایجاد شده در مرحله قبل (نزدیکی نسبی

به راه‌حل ایده‌آل) مشخص و مقادیر هر گزینه از لایه، برداشت

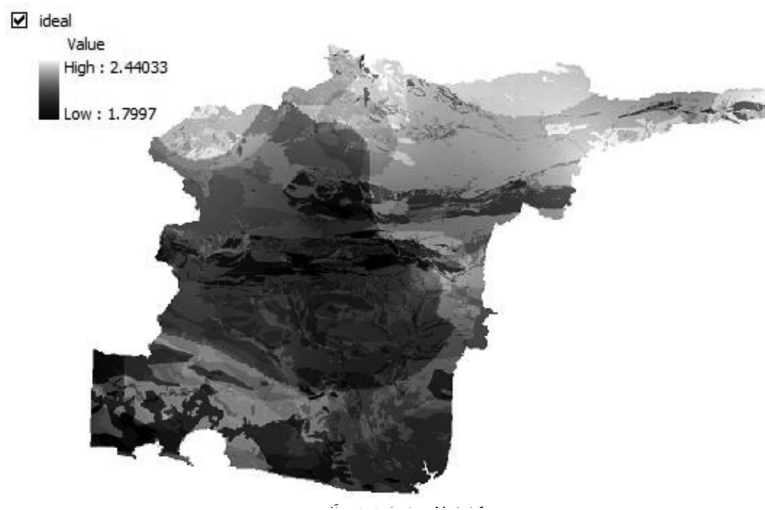
شد. گزینه‌هایی که دارای مقادیر بیشتری می‌باشند در رتبه

بهتری نسبت به گزینه‌هایی که دارای مقدار کمتری هستند، قرار

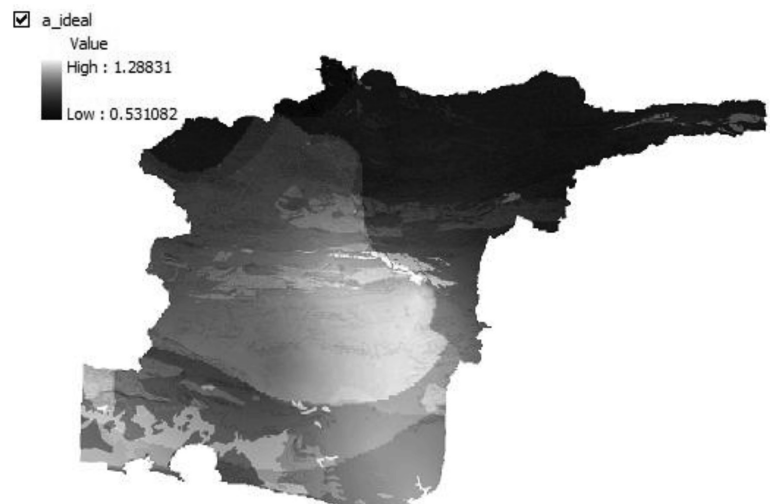
می‌گیرند. جدول (۵) نتایج تلفیق گزینه‌ها با لایه نزدیکی نسبی

به راه‌حل ایده‌آل و رتبه‌بندی گزینه‌ها را نشان می‌دهد.

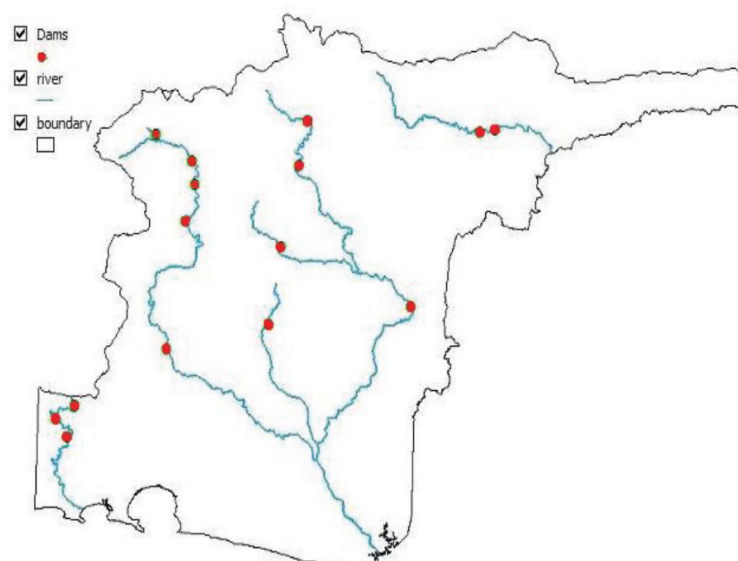




نگاره ۴: لایه فاصله از ایده آل مثبت



نگاره ۵: لایه فاصله از ایده آل منفی



نگاره ۶: نمایش موقعیت نقاط در محدوده مطالعاتی

رودخانه سرباز از بین دو گزینه پیشنهادی K و I، گزینه K به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد و در صورت نیاز احداث سد بر روی این شاخه، این گزینه پیشنهاد می‌شود. (و) در مسیر رودخانه‌هایی که سدهای لندن، شی کلک و پیشین احداث شده‌اند با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه گزینه پیشنهادی دیگری وجود ندارد.

#### ۵- منابع و مآخذ

- ۱- انتظاری نجف‌آبادی. م، غلامی. م، (۱۳۹۱)، "برآورد فرسایش در حوضه رومشگان با استفاده از مدل‌های TOPSIS و SLEMSA" فصل نامه علمی-پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی. سال دوم، شماره ۷، پاییز ۱۳۹۱، صفحات ۸۵-۹۶.
- ۲- شکی. ف، (۱۳۹۳)، "واکاوی مکانی روزهای بارندگی در ایران"، دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، سال ۱، شماره ۱، پاییز و زمستان ۱۳۹۳، صفحات ۲۶-۳۷.
- ۳- طالع جنکانلو. ع، طالعی. م، کریمی. م، (۱۳۹۴)، "ارزیابی تناسب اراضی مسکونی به روش فازی TOPSIS OWA گروهی". نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره چهارم، شماره ۴، اردیبهشت ۱۳۹۴، صفحات ۲۹-۴۶.
- ۴- فلاح. م، فرج زاده. م، وقارفرد. ح، نیک خصلت. ع، (۱۳۹۲)، "مکانیابی تصفیه‌خانه فاضلاب با تکنیک TOPSIS و GIS (مطالعه موردی جزیره قشم)"، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال دهم، شماره ۳۷، بهار ۱۳۹۲، صفحات ۱۰۹-۱۲۶.
- ۵- کاظمی راد. ل، غمگسار. م، حقیقی. م، (۱۳۹۲)، "کاربرد روش تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS در پهنه‌بندی خشکسالی‌های استان گیلان". فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۴۴، زمستان ۱۳۹۲، صفحات ۲۰۳-۲۱۷.
- ۶- مقامی. ی، قضاوی. ر، ولی. ع، شرفی. س، (۱۳۹۰)، "ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور پهنه‌بندی کیفیت آب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: شهرستان

جدول ۵: رتبه‌بندی نقاط منتخب با استفاده از الگوریتم تاپسیس

اولویت	امتیاز	نام	اولویت	امتیاز	نام
۹	۰/۶۴۷۸۹۱	F	۱	۰/۸۵۵۶۵۹	A
۱۰	۰/۶۳۹۰۱۶	I	۲	۰/۸۳۲۱۸۸	M
۱۱	۰/۶۲۳۸۱۷	N	۳	۰/۸۰۸۶۸۱	L
۱۲	۰/۶۰۴۸۱۲	E	۴	۰/۷۸۶۲۳۸	B
۱۳	۰/۴۹۹۹۹۷	D	۵	۰/۷۴۶۷۲۱	H
۱۴	۰/۴۹۸۲۰۱	O	۶	۰/۷۴۶۰۶۲	C
۱۵	۰/۴۷۳۷۰۶	P	۷	۰/۶۷۵۱۵۱	K
			۸	۰/۶۵۳۹۷۰	G

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس و براساس معیارهای مختلف، مناسب‌ترین مکان برای احداث یک سد مخزنی با هدف آبیاری کشاورزی و شرب، تعیین شود.

الف) پنج نقطه M، L، H، A و N به ترتیب مکان سدهای کهیر، زبردان، لندن، شی کلک و پیشین می‌باشد که با توجه به تحقیقات انجام شده، رتبه‌بندی این پنج سد به صورت زیر بدست آمد:

پیشین > زبردان > لندن > شی کلک > کهیر

ب) پنج گزینه برتر در منطقه براساس روش تاپسیس به ترتیب A، M، L، B و H می‌باشند و همچنین با توجه به نتایج می‌توان گفت سد کهیر بهترین سد احداث شده در منطقه بر اساس معیارهای تحقیق می‌باشد.

ج) بر اساس نتایج بدست آمده بر روی رودخانه کهیر از بین سه گزینه پیشنهادی A، B و C، گزینه A که نمایانگر سد کهیر می‌باشد به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد.

د) بر اساس نتایج بدست آمده بر روی رودخانه کاجو از بین پنج گزینه پیشنهادی D، E، F، G، H، گزینه H که نمایانگر سد زبردان می‌باشد به عنوان بهترین گزینه انتخاب شد.

ه) بر اساس نتایج بدست آمده بر روی شاخه سمت راست

Analysis", Published simultaneously in Canada, copyright © 1999 by John Wiley & Sons, INC ,page 180-181.

16- Pei. Z, (2015), "A note on the TOPSIS method in MADM problems with linguistic evaluations", Applied Soft Computing, Volume 36, Issue null, Pages 24-35.

17- Sengül. Ü, Eren. M, Eslamian Shiraz. S.h, Gezder. V, (2015) "Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey", Renewable Energy, Volume75, Pages 617-625.

18- Vega. D.C, Alpizar. F, (2011), "Choice Experiments in Environmental Impact Assessment: The Toro 3 Hydroelectric Project and the Recreo Verde Tourist Center in Costa Rica", Environment for Development , Efd DP11-04.

19- Zhang. Y.M, Huang. G, Lu. H.W, Li. He, (2015), "Planning of water resources management and pollution control for Heshui River watershed, China: A full credibility-constrained programming approach", Science of The Total Environment, Volumes 524-525, Pages 280-289.

آباد)، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۲. شماره

پیاپی ۴۲. شماره ۲. تابستان ۱۳۹۰، صفحات ۱۷۱-۱۸۲

۷- یخکشی. م، مفتاح هلقی. م، ظهیری. ع، یخکشی. م، مددی. م، (۱۳۹۳)، « نقش احداث سد مخزنی نرمآب بر کاهش پهنه سیل و خسارات وارده به اراضی پایین دست»، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم.

شماره ۱۶. تابستان ۱۳۹۳، صفحات ۲۴-۳۶.

8- Beck. M. W, Claassen. A. H, Hundt. P. J, (2012), «Environmental and livelihood impacts of dams: common lessons across development gradients that challenge sustainability», International Journal of River Basin Management, Pages 1-20.

9- Bratt. S, Booth. B, (1987), "using ArcGIS 3D Analyst", Printed in the United States of America. Copyright © 2000-2004 ESRI , no 77-106.

10- Brauman. K.A et al, (2007), "The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services", Annual Review of Environment and Resources, Vol 32, Pages 67- 98.

11- Choudhary. D, Shankar. R, (2012), "An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India", 8th World Energy System Conference, Volume 42, Issue 1, Pages 510-521.

12- Johnston. K, Ver Hoef. Jay M, Krivoruchko. K, Lucas. N, (1998), «Using ArcGIS Geostatistical Analyst», Printed in the United States of America, Copyright © 2001, 2003 ESRI, no 49-58.

13- Kim, Yeonjoo. Chung, Eun-Sung. Jun, Sang-Mook . Kim, Sang Ug, (2013), "Prioritizing the best sites for treated wastewater instream use in an urban watershed using fuzzy TOPSIS", Resources, Conservation and Recycling, Volume 73, Pages 23-32.

14- Krohling. A, Renato. G. C, Pacheco. André, (2015), "A-TOPSIS - An approach Based on TOPSIS for Ranking Evolutionary Algorithms", Procedia Computer Science, Volume 55, Pages 308 - 317.

15- Malczewski. J, (1999), "GIS and MultiCriteria Decision

