



ارزیابی پتانسیل توسعه کارست با استفاده از روش تلفیق فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: محدوده تاقدیس های سررود، ژرف و پشته داغ در

استان خراسان رضوی)

یوسفی سنگانی، ک^۱، محمدزاده، ح^۱، اکبری، م^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار، مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی (متآب)، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- کارشناسی ارشد مدیریت مناطق خشک و بیابانی، عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

Hydrologist517@yahoo.com

چکیده

کارست به عنوان یک سیمای پیچیده ی زمین شناسی به بهانه هایی با خصوصیات هیدرولوژیکی بسیار ویژه اطلاق می شود. در کشور ایران یکی از مهمترین منابع جهت تامین آب مورد نیاز، مناطق کارستی است. این تحقیق به بررسی عوامل موثر در توسعه و تشکیل کارست در محدوده کارستی تاقدیس سررود، ژرف و پشته داغ که از محدوده کلات نادری تا ۲۰ کیلومتری شهرستان در گز ادامه می یابد، پرداخته شده است. بدین منظور لایه های اطلاعاتی لیتولوژی، بارش، تراکم خطواره، میزان HCO_3^- ، دما، پوشش گیاهی و شیب توپوگرافی با استفاده از اطلاعات نقشه های زمین شناسی، توپوگرافی، تصاویر IRS (۲۰۰۵) و داده های پارامترهای هیدروژئولوژی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شده است. سپس این لایه ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به کمک نرم افزار Expert Choice و همچنین بازدید های میدانی و نظر کارشناسی وزن دهی گردیده است. بر این اساس نقشه هر عامل با توجه به اهمیت آن در توسعه کارست در محیط ArcGIS10 تهیه شده اند و به روش هم پوشانی فازی گاما با استفاده از تابع خطی موجود در این نرم افزار مدل توسعه کارست ارائه شده است. در نهایت برای صحت مدل از آمار چشمه ها با دبی های قابل توجه استفاده شده است.

کلمات کلیدی: کارست، روش تحلیل سلسله مراتبی، فازی، نقشه معیار، تصویر ماهواره ای و خراسان رضوی.

Evaluation of karst development potential using combined fuzzy and AHP method Case study: area of Sarrud, Zharf and PoshtehDagh anticlines in Khorasan Razavi province)

Abstract

Karst area refers to terrains with a complex geology and very especial hydrological characteristics.. In Iran one of the important water resources is karstic area. In this research, factors controlling the karst development in karstic area of Sarrud, Zharf and PoshtehDagh anticlines, from KalatNaderi to about 20 kilometers of Daregaz, were investigated. For this purpose, different information layers of precipitation, lineament density, HCO_3^- concentrations, temperature, vegetation cover, and the slope maps were prepared using information out of geology and topographic maps, hydrological parameters data, and IRS images using GIS. Then, these layers were weighted using Analytical Hierarchy Process (AHP) method and Expert Choice software. Accordingly, in respect to degree of importance of each factors in karst development, their maps were prepared in ArcGIS10 and then, the karst development model was prepared using overlapping fuzzy gamma method in the software. The model was verified using the data of springs with substantial discharge flow rate.

Key words: Karst, AHP method, Fuzzy, Criterion map, Satellite image & Khorasan Razavi.

مقدمه

کارست به عنوان یک سیمای پیچیده ی زمین شناسی به پهنه هایی با خصوصیات هیدرولوژیکی بسیار ویژه اطلاق می شود. ارائه تعریفی بسیار مختصر و مفید برای واژه کارست مشکل می باشد. زیرا کارست حاصل فرآیندهای متعددی است که در سنگهای انحلال پذیر مختلف و تحت شرایط اقلیمی و زمین شناسی گوناگون بوجود می آید (ملکی ۱۳۸۰). اشکال کارستی عمدتاً در سنگ های کربناته مانند سنگ آهک و دولومیت رخ می دهند، این اشکال گاهی در سازند های تبخیری مانند ژپس، انیدریت، هالیت و یا حتی در کوارتزیت ها هم تحت شرایط ژئوشیمیایی خاص بوجود می آیند (محمدی ۱۳۸۶). سازندهای کارستی ۱۱ درصد از رخنمون های سطحی در ایران را به خود اختصاص می دهند (افراسیابان ۱۳۷۷)، ولی متأسفانه تحقیقات بسیار کمی در مورد شناسایی ناهمواری های کارستی، مدیریت بهره برداری منابع آب کارست و جاذبه های توریستی آنها انجام شده است.

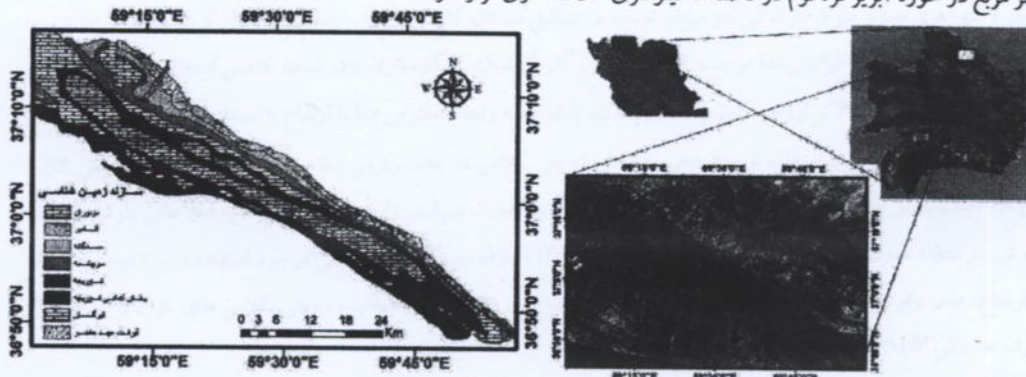
هانگ و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از تکنیک RS و GIS موقعیت و رابطه تشکیل غار با زون شکستگی را در منطقه کارستی حوضه سیومیو (Suoimuoi) واقع در شمال غربی ویتنام بررسی کردند. جهت استخراج خطوطاره ها از ترکیب باند پانکروماتیک سنجنده ETM⁷ با سایر باندها استفاده کردند و نشان دادند، زون شکستگی محل مناسب جهت توسعه غار است. همچنین نشان دادند، فاصله بین غارها و گسل ها بخوبی انطباق بین رخداد غارها و زون شکستگی ها را مشخص می سازند.

یکی از روش های مطالعه سازندهای کارستی، بررسی عوامل موثر بر توسعه کارست زایی است. عواملی که در توسعه و تشکیل کارست موثرند شامل: اقلیم، زمین شناسی و چینه شناسی، ساختار و تکنونیک، پوشش خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی و شیب منطقه می باشد. با توجه به موارد بیان شده و شناخت منطقه عوامل موثر در توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده و مورد بررسی قرار گرفت و مدل توسعه کارست تهیه شد.

مواد و روشها

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بین شهرستان های کلات نادری و درگز با موقعیت جغرافیایی ۴۶'، ۳۶° تا ۱۶'، ۳۷° عرض شمالی و ۲'، ۵۹° تا ۵۷'، ۵۹° طول شرقی در استان خراسان رضوی واقع شده است (شکل ۱). این محدوده شامل سه تاقدیس بهم چسبیده به طول حدودی ۹۴ کیلومتر می باشد که از سمت جنوب به شمال شامل تاقدیس های سررود، ژرف و پشته داغ که به ارتفاعات الله اکبر ختم می شود، می باشد. این محدوده با مساحت حدود ۸۴۸ کیلومتر مربع در حوزه آبریز قره قوم در فاصله ۶ کیلومتری کلات نادری قرار دارد.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه



از نظر زمین شناسی، محدوده مورد مطالعه در زون کپه داغ در محدوده ارتفاعات هزار مسجد و بزنگان واقع شده که از سمت شمالترب به جنوب شرق کشیده شده است. رخصاره های زمین شناسی در محدوده مورد مطالعه شامل سنگ های رسوبی از ژوراسیک تا عهد حاضر می باشد که با روند شمالغرب-جنوبشرق بصورت دیواره ای مرتفع حوزه آبریز قره قوم را به دو قسمت تفکیک می نماید (شکل ۲).

بحث و روش جمع آوری لایه های اطلاعاتی و مدل های مفهومی مورد استفاده در این تحقیق

یکی از روشهای وزندهی، روش مقایسه دوتایی پارامترهاست، که در این زمینه فرآیند سلسله مراتب تحلیلی (AHP) توسط ساعتی (۱۹۸۰) ارائه شد. این روش بر اساس قضاوت بین دو معیار خاص پایه ریزی شده، بدین صورت که کلیه پارامترها بصورت یک ماتریس در نظر گرفته شده و سپس دو به دو مقایسه شده و اعدادی از ۱ تا ۹ بر اساس روش ساعتی (جدول ۱) در نظر گرفته می شود. بعد اتمام مقایسه دو به دو پارامترها وزن هر پارامتر محاسبه می شود. در این مورد از نرم افزار Expert Choice که بر اساس روش AHP طراحی شده، جهت وزن دهی پارامترها استفاده شده است. در منطق فازی، هر منطقه با توجه به مقداری که معیار مورد را رعایت میکند، مقدار عضویتی می گیرد که بیان کننده میزان مطلوبیت آن ناحیه می باشد. یعنی عدد ۱ بالاترین مطلوبیت و عدد صفر فاقد مطلوبیت می باشد و طیفی از رنگ ها بین این دو عدد قرار می گیرند.

تهیه نقشه های معیار قابل مقایسه به روش AHP

عامل زمین شناسی

کارست رابطه مستقیم با سنگ های کربناته، بخصوص بیشتر با سنگ های آهکی و دولومیتی دارد. سنگ آهک مهمترین سنگی است که در فرآیند کارستی شدن کارساز است. سنگهای نمک، انیدرید و گچ نرم بوده و در مقابل فشار قابلیت انعطاف داشته، درز و شکاف کمتر در آنها توسعه می یابد، بدین جهت آب در آنها کمتر نفوذ کرده و تنها طبقات سطحی این سنگها در آب حل می شود که به علت نرم بودن، ناهمواری که در سطح آنها به وجود می آید دوامی ندارند و در نتیجه تخریب از بین می روند. جهت تهیه این لایه از نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ درگز، چناران، کلات نادری و قهقنه سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شده است، سپس سازندهای محدوده بر اساس درجه اهمیت آنها در میزان کارست زایی با استفاده از روش مقایسه زوجی وزن داده شد و بدین ترتیب نقشه لیتولوژی محدوده بر اساس روش AHP تهیه گردید.

عامل اقلیم

شرایط اقلیمی از طریق فاکتورهای دما و میزان بارندگی در میزان توسعه و تشکیل اشکال کارستی در این تحقیق در نظر گرفته شده است. توسعه کارست با دما رابطه عکس داشته بطوریکه افزایش دما موجب کاهش انحلال گاز کربنیک در آب باران و در نتیجه کاهش انحلال می شود. از اینرو به دماهای پایین ارزش بیشتر و به دماهای بالاتر ارزش کمتر داده شده است. با توجه به رابطه معکوس دما با ارتفاع با استفاده از آمار دمای ۱۲ ساله (۱۳۷۶-۱۳۸۸) رقومی دما تهیه شد. سپس با استفاده از وزن دهی به روش زوجی کلاس ها، مدل رقومی دما محدوده مورد مطالعه به روش AHP تهیه شد. با توجه به اینکه حجم بارش در توسعه کارست و پتانسیل آبهای کارستی اهمیت بسیاری دارد، اقدام به تهیه لایه اطلاعاتی بارش گردید. برای تهیه نقشه هم بارش در منطقه مورد مطالعه، از آمار بیست ساله (۱۳۶۷-۱۳۸۷) یازده ایستگاه باران سنجی موجود استفاده شد. با توجه به رابطه مستقیم بین بارش و ارتفاع، مدل رقومی ارتفاع منطقه، مدل رقومی بارش استخراج گردید. با اعمال مقایسه زوجی کلاس های باران بر روی مدل رقومی بارش، لایه باران به روش AHP بصورت تهیه گردیده است.

عامل توپوگرافی

این عامل بصورت لایه شیب سطح زمین در این تحقیق در نظر گرفته شده است. در شیب های کم بعلت نفوذپذیری بالاتر آب و در نتیجه بالاترین عمل انحلال، توسعه کارست بیشتر است. جهت تهیه لایه شیب منطقه ابتدا مدل رقومی ارتفاع منطقه (DEM) با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ اخذ شده از سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی تهیه شده است. سپس لایه اطلاعاتی شیب با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقه به روش AHP تهیه گردید.



عامل پوشش گیاهی کسب اطلاعات وضعیت پوشش گیاهی از قبیل میزان و پراکنش آنها، با توجه تاثیری که این عامل در کارستی شدن دارد از اهمیت زیادی

برخوردار است. بنابراین در نواحی جنگلی، توسعه کارست چشمگیر است. این لایه با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰: پوشش گیاهی سازمان مراتع، جنگلها و آبخیزداری، به روش AHP تهیه شده تطبیق داده شده است.

عامل ساختاری

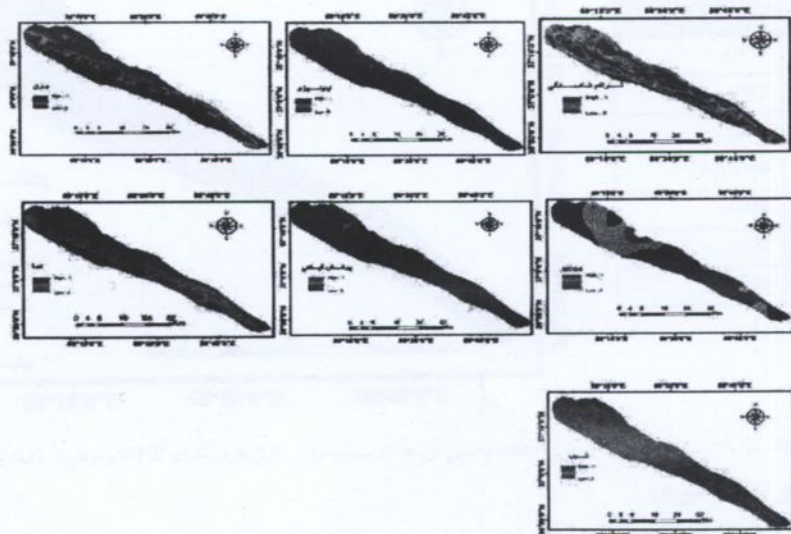
سیستم درز و شکستگی و همچنین گسل ها در انحلال وجهت یافتگی سیستم غارها و حفره های انحلالی نقش بسزایی داشته و الگوی ساختاری را آشکار می سازند. برای تهیه نقشه تراکم خطواره، ابتدا بایستی نقشه‌ی شکستگی‌های منطقه بر اساس شرایط منطقه و شناخت خصوصیات ساختاری آن استخراج گردد. نقشه‌ی شکستگی‌ها از پردازش تصویر باند PAN ماهواره IRS (۲۵ سپتامبر ۲۰۰۵) با قدرت تفکیک زمینی ۵/۸ متر بدست آمده است. در این راستا ابتدا در نرم افزار ENVI فیلترهای High pass و Directional، روی تصویر اعمال و سپس تصاویر بدست آمده جهت رقومی سازی شکستگی‌ها به نرم افزار ArcGIS10 انتقال یافتند. این نقشه برحسب درصد کلاس بندی شد و به تراکم بیشتر ارزش بیشتری تعلق گرفت و نقشه تراکم خطواره به روش AHP بدست آمد.

عامل هیدروشمی

بی کربنات: همانطور که میدانیم آب باران با کربن دی اکسید جو ترکیب شده و اسید کربنات (H_2CO_3) تشکیل می شود، بر اثر عبور آب، این اسید با کلسیم کربنات ($CaCO_3$) وارد واکنش شده و بی کربنات (HCO_3^-) ایجاد می شود. در نتیجه میزان بی کربنات (HCO_3^-) موجود در آب زیرزمینی مناطق آهکی نشانه انحلال آهک و توسعه کارست منطقه است، در نتیجه مناطق با میزان بالای HCO_3^- ارزش بیشتری در توسعه کارست شدگی دارند. بنابراین نقشه هم پتانسیل اسید کربنیک کارست با استفاده از داده های کیفی سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ چشمه های منطقه تهیه شد.

تهیه نقشه‌های معیار قابل مقایسه با استفاده از تابع عضویت فازی

جهت تهیه نقشه های فازی، بایستی نوع تابع فازی مورد بررسی قرار گرفته و تابع مناسب تر را برای معیار مورد نظر انتخاب نمود. در این تحقیق با استفاده از تابع عضویت فازی خطی (Fuzzy Linear) بعلت ساده تر بودن و انطباق آن با لایه ها، در محیط Arc GIS10 اقدام به تهیه لایه های مختلف (اشکال ۳ تا ۹) گردید.





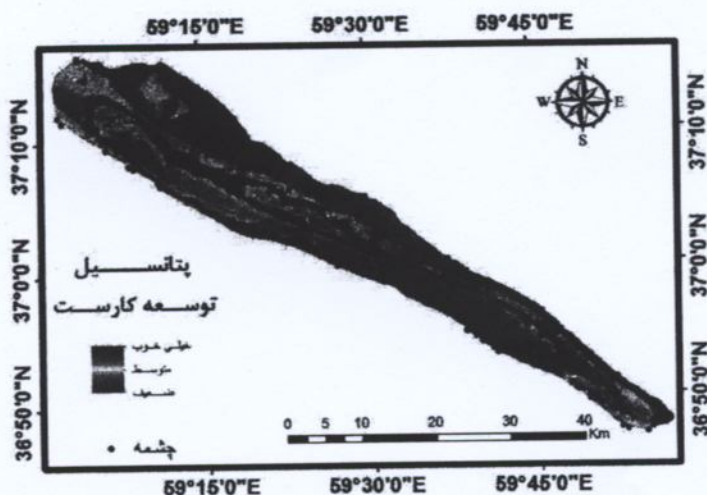
میزان برتری رتبه	کاملا مرجع	ترجیح خیلی قوی	ترجیح قوی	کمی مرجع	ترجیح یکسان	ترجیحات بین فواصل
۹	۷	۵	۳	۱	۸ و ۶، ۴، ۲	

وزن دهی به نقشه‌های معیار

با توجه به اینکه میزان تاثیر هر پارامتر در هدف مورد نظر متفاوت می‌باشد بنابراین، یکی از مراحل مهم پیش از تلفیق نقشه‌های معیار تعیین اهمیت نسبی هر یک از پارامترها و اختصاص وزن به هر کدام از آنها می‌باشد. جهت تعیین وزن هر یک از پارامترها ابتدا ماتریس پارامترها در نرم افزار Expert Choice تشکیل و مقایسه دویبدو پارامترها انجام شده است و اعدادی از ۱ تا ۹ بر اساس روش ساعتی (جدول ۱) با توجه به درجه اهمیت هر پارامتر نسبت به یکدیگر بر اساس شناخت منطقه و دانش کارشناسی اختصاص داده شده است. با اجرای این مقایسه ها در نرم افزار وزن های هر پارامتر را محاسبه می شود. بهترین گروه های وزنی اختصاص یافته به لایه های لیتولوژی، بارش، تراکم خطواره، HCO_3^- ، دما، پوشش گیاهی و شیب بصورت جدول (۲) می باشد. لایه لیتولوژی با توجه به اهمیت ماکزیمم آن در توسعه کارست بیشترین وزن را به خود اختصاص می دهد.

تلفیق نقشه های معیار به روش مدل فازی گاما

پس از تهیه لایه ها، جهت تلفیق و نتیجه مدل، ابتدا لایه ها به روش AHP وزن دهی شد و سپس وزن بدست آمده در هر لایه مربوطه ضرب شد، به این ترتیب لایه های مختلف با توجه به میزان اهمیت و تاثیر آن در توسعه کارست آماده شدند. جهت تلفیق و تهیه نقشه نهایی توسعه کارست، از مدل هم پوشانی به روش فازی از عملگر گاما ($\gamma=0.9$) بعلت سازگاری با لایه های مختلف استفاده شده است (شکل ۱۰).



جدول ۲- وزن نقشه های معیار به روش

پارامتر	وزن
لیتولوژی	۰/۴۲۲
بارش	۰/۲۳۱
تراکم خطواره	۰/۱۱۷
HCO_3^-	۰/۰۸۵
دما	۰/۰۶۳
پوشش گیاهی	۰/۰۴۴
شیب	۰/۰۳۷

شکل ۱۰- نقشه پتانسیل توسعه کارست به روش تلفیق فازی گاما و AHP و موقعیت چشمه های کارستی منطقه

صحت سنجی مدل و نتیجه گیری

جهت صحت سنجی مدل، لایه چشمه ها با مدل تطبیق داده شد. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می شود، بیشترین توسعه کارست در سازندهای مزدوران و سپس تیرگان مشخص گردیده، که با توجه به شناخت منطقه و آهکی بودن آنها تایید می شود. بعضی چشمه ها در سازند غیر آهکی واقع شده اند، که اغلب این چشمه ها دبی قابل توجه ندارند. جهت صحت باید از چشمه های با دبی بالا و همچنین وجود غارها استفاده کرد که بیشتر



چشمه های با دبی زیاد با نواحی کارستی منطبق هستند. وجود چشمه ها در سازند غیر آهکی به سبب وضعیت شیب لایه های زمین شناسی در پال های جانبی تاقدیس می باشد که لایه بعنوان لایه محدود کننده، روی لایه های آبدار عمل کرده و در نواحی دارای شکستگی چشمه رخ داده است. بنابراین جهت بررسی بیشتر در مورد حوزه آبخیز این چشمه ها نیاز به عملیات صحرایی و تهیه نقشه حوزه آبخیز چشمه ها دارد که در دستور کار قرار دارد. تهیه مدل توسعه کارست یکی از مراحل اولیه مطالعه سازندهای کارستی جهت مطالعات و پتانسیل یابی منابع آبی کارست های منطقه است. صحت این مدل فقط با ظهور یا نبود چشمه ها تایید نمی شود بلکه باید با بررسی و بازدید صحرایی مناطق پیش بینی شده در منطقه را از نظر آثار و مرحله کارستی شدن مورد مطالعه قرار داد. تهیه این مدل قبل از هر گونه مطالعه در مورد منابع کارست مناطق مختلف پیشنهاد می شود.

منابع

- محمدی، ز. ۱۳۸۶. کاربرد تکنیک های سنجش از دور و GIS در شناخت و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی مطالعه موردی تاقدیس گورپی- استان خوزستان. (پایان نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه شهید چمران اهواز.
- مرادی، ص، رضایی، م، پرهت، ج. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر عوامل مختلف در توسعه کارست پهنه های کارستی زاگرس در محدوده شیراز تا یاسوج با استفاده از اطلاعات رقومی سنجش از دور و GIS. بیست و نهمین گردهمایی گروه علوم زمین.
- افراسیابان، ا. ۱۳۷۷. اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع کارست در ایران: مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی. کرمانشاه. سازمان آب منطقه ای خراسان رضوی. ۱۳۹۰. آمار ایستگاههای باران سنجی و تبخیرسنجی محدوده کلات نادری و درگزر
- Hung. L. Q., Dinh. N. Q., Batelaan. O., Tam. V. T., & Lagrou. D., 2002; Remote sensing & GIS-based analysis of cave development in the Suoimuoi Catchment (Son La - NW Vietnam). *Journal of Cave & Karst Studies* 64(1): 23-33.
- Y., & Chang. D. Y., 1998; A discussion on Extent Analysis Method and applications of fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research* 450-456.
- Elaalem, M., 2010; The Application of Land Evaluation Techniques in Jeffara Plain in Libya using Fuzzy Methods. (Unpublished Doctoral Dissertation). University of Leicester