پژوهش‌های آبخیزداری شماره ۹۰، بهار ۱۳۹۰
(پژوهش و سازندگی)

تحلیل چندمعیاره مکانی (SMCE) و فنون تصمیم‌گیری در اولویت‌بندی حوزه آبخیز برای احداث سدهای اصلاحی توری‌سنگی

• **علی اکبر جمالی(نویسنده مسئول)**
استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد
• **جمال قدوسی**
استادیار بازنشسته مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری تهران
• **مهدی فرح‌پور**
استادیار موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور
تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۸۶ تاریخ پذیرش: مرداد ماه ۱۳۸۹
تلفن تماس: ۰۹۱۲۵۶۷۱۰۲۷
Email: jamaliaa@maybodiau.ac.ir

چکیده

مدیریت و برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز به دلیل تعدد عوامل، نیازمند استفاده از رایانه، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل چندمعیاره است. حوزه آبخیز حبله‌رود واقع در شمال گرمسار و غرب فیروزکوه به عنوان منطقه تحقیق انتخاب شد. برای تلفیق از مدل درختی ترکیب عوامل مکانی طبیعی، اقتصادی و محدودیت‌های مکانی استفاده شد. همه عوامل استانداردسازی و سپس وزن عوامل نیز با مقایسه زوجی در روش تحلیل سلسله مراتبی[1] (AHP) یا به‌طور مستقیم و با دخالت دادن نظر ساکنین و کارشناسان مربوطه، در حوزه آبخیز مشخص گردید. در مرحله بعد تلفیق لایه‌های عوامل با ارزیابی چند معیاره مکانی (SMCE)[2] انجام شد. خروجی، نقشه‌های شاخص مرکب، با پیوستار ارزشی صفر تا یک بودند که طبقه‌بندی گردیدند و نتیجه، به صورت اولویت‌بندی مکانی احداث سدهای توری‌سنگی در حوزه آبخیز مشخص شد. با تحلیل حساسیت وزن، اثر تغییر وزن عوامل بر ارزش‌های نقشه خروجی شاخص مرکب، بررسی و مؤثرترین عوامل مشخص شدند. نتایج نشان داد عواملی مانند مناطق فرسایشی یا جاده مؤثرتر بودند زیرا به‌طور گسترده‌تری حوضه را پوشش داده‌اند. حساسیت نسبتاً یکسانی در دو گروه عوامل طبیعی و اقتصادی وجود داشت که نشان‌دهنده انتخاب متعادلی از آن‌ها بود. این راهبرد و مدل ارائه شده برای برنامه ریزی مکانیابی سریع و دقیق در حوزه‌های آبخیز پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: تحلیل چندمعیاره مکانی، تصمیم‌گیری، اولویت‌بندی، حوزه آبخیز، حفاظت خاک، سد اصلاحی توری‌سنگی

www.SID.ir

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 90 pp: 1-9

Spatial multi criteria analysis and decision techniques in order to watershed prioritizing for gabion check dams building.

By: A. A. Jamalia, Assistant Professor of Watershed Management Dept., Islamic Azad University-Maybod Branch (Corresponding Author; Tel: +989125671027) J.Ghoddousi, Retired Assistant Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research institute, Tehran, Iran, M. Farahpourc, Assistant Professor of Research Institute of Forest and Rangelands, Tehran, Iran.

Compositing many spatial factors and constraints, management, planning and do right decision making in watersheds is very complicate and essentially need to apply computer, GIS and Multi Criteria Analysis (MCA). Hable Roud watershed was selected as study area that located in the north of Garmsar, and west of Firuzkouh. Numerous maps were used as spatial factors and constraints and a criteria tree model for compositing the natural spatial factors, economical spatial factors and spatial constraints were designed to determine suitable sites for gabion check dams construction. Factors were standardized Factors weighing were done by pairwise in analytic hierarchy process (AHP) and direct method. Factor layers were composited by spatial multi criteria evaluation (SMCE) in ILWIS. Outputs were composite index map (CIM) with continuous values from zero to one. This map was classified. By sensitivity analysis, the effect of changes in spatial factors weight was studied and more effectiveness factors were known. It was inferred the most effective factor are covering the basin vastly. Coincidence of implemented and recommended regions show suitability of this built system. Finally, recommended this scenario for gabion check dams building, watershed prioritizing and soil conservation planning. This scenario and model can make optimum program for watersheds accurately and fast.

Keywords: Spatial multi criteria analysis, Decision making, Prioritizing, Watershed, Soil conservation, Gabion check dam

مقدمه

بار رسوبی معلق در حوزه آبخیز حبله رود با بررسی آمار ثبت شده در ایستگاه بن کوه (با مساحت بالادست حدود ۳۰۰۰ کیلومتر مربع) از سال ۱۳۴۸ تا ۱۳۸۱ مقدار ۱۰/۲ تن در هکتار را نشان می‌دهد (بی‌نام، ۱۳۸۴) که این روند با رگرسیون خطی دبی و رسوب طی این سال‌ها افزایشی بوده، در صورتیکه Murgan (۱۹۸۶) تلفات مجاز خاک را برای حوضه‌های بزرگتر از ۱۰ کیلومتر مربع ۲ تن در هکتار دانسته است. با توجه به این موضوع و دیگر اینکه طرح‌های احداث سدهای توری‌سنگی در این حوضه اجرا شده و ادامه دارد، در این بررسی از فنون تصمیم برای یافتن مکان‌های مناسب این سازه‌ها استفاده شد. در اینجا از SMCE استفاده شده است که در تحلیل‌های آنالیز اراضی کاربرد دارد (Malczewski, ۲۰۰۴; Collins و همکاران ۲۰۰۱). در دهه‌های اخیر، تلفیق GIS[۳] و MCE[۴] به عنوان روشی برای ارزیابی تناسب اراضی و درنتیجه انتخاب سایت‌های بهینه برای انواع اهداف، امری عادی شده است (Buenrostro Delgado و همکاران ۲۰۰۸). یعنی MCE در محیط GIS (همان SMCE) روشی است برای تشخیص و ارائه راه حل‌های قیاسی در مسائل مکانی بر پایه ترکیب عوامل چندگانه که نهایتاً با نقشه نشان داده می‌شود (Malczewski، ۲۰۰۶). در تعیین معیارهای تصمیم نیز ناگزیر از نظر کارفرما و مسوولین امر باید استفاده کرد و همواره استانداردهای خاصی در این باره نباید جست. این موضوع در رشته‌های گوناگونی مثل مدیریت بازرگانی، ارتباطات بین الملل، توسعه سیاسی، مباحث مشارکت و به طور فزاینده‌ای در مدیریت منابع طبیعی کاربرد یافته است (Ianni, ۲۰۰۷; Ramirez, ۱۹۹۹; Nash و همکاران ۲۰۰۶).

همانطور که داده‌ها و روش‌های بهتر و فراوان‌تری امروزه در دسترس است و مرتب رشد می‌کنند، ارائه سامانه‌ها هم پیچیده و مشکل می‌شود. در این زمان واقع گرایی، ارتباطات و نرم افزارها نیز رشد کرده و به مدیریت کمک می‌کنند (Matthies و همکاران ۲۰۰۷). امروزه روش‌های جدید مکانیابی با تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره MCDA[۵] مطرح است و نمونه‌ای از آن کاربرد ASSESS[۶] (یک سامانه برای انتخاب سایت‌های مناسب) می‌باشد. AHP (تحلیل سلسله مراتبی) و ASSESS به طور گسترده که از فنون MCDA است برای سیاست گذاری‌های محیطی به کار برده می‌شود (Hill وهمکاران ۲۰۰۵). باید به این نکته نیز توجه داشت که برای ارزیابی فرسایش آبی، مقیاس منطقه ای مناسب است تا تصمیم‌گیری درست تری انجام شود، ولی از طرفی محدودیت‌ها به علت کمبود داده‌های در دسترس و افت کیفیت زیاد می‌شود. دورسنجی با تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه داده‌های مکانی برای چنین ارزیابی‌هایی مسلماً مناسب است. در مطالعه‌ای، سعی شد ابتدا رخساره‌های فرسایش و نواحی فرسایش یافته به علاوه ارزیابی اثرات خارجی فرسایش مثل رسوبگذاری و کیفیت آب ورودی به دریاچه‌ها بررسی شود. در مرحله دوم، عوامل کنترل کننده فرسایش ارزیابی شد. سپس چهار نوع عامل بررسی شد: توپوگرافی، خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و فعالیت‌های مدیریتی. بعد، نقشه فرسایش با توجه به اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره ای و دیگر منابع اطلاعاتی تهیه شد (Vrieling، ۲۰۰۶). در مطالعه‌ای دیگر در کنیا یک مدل سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی SDSS[۷] برای کمک به متخصصان کاربری زمین برای طبقه بندی کیفیت خاک، ارزیابی پایدار مدیریت زمین و تشخیص پتانسیل کاربری زمین در

Archive of SID

شکل ۱- تصویری از احداث سد توری‌سنگی در حوزه آبخیز حبله‌رود

واحدهای اراضی پیشنهادی، توسعه داده شد. دیاگرام‌های کیفیت خاک و نقشه‌های کیفیت اراضی به این ترتیب تهیه شد و این سامانه قابلیت انعطاف برای کاربرد در نقاط مختلف کنیا را داشت (Ochola و Kerkides، ۲۰۰۴). استفاده توام GIS و DSS [۸] برای تشخیص اولویت های حفاظت طبیعت در بقایای اکوسیستم‌ها در یک دره آلپی نیز بررسی شده است. در این منطقه اکوسیستم‌ها با شاخص‌های ظاهری اکولوژیکی ابتدا ارزیابی شدند سپس با استفاده از فنون تحلیل چند معیاره (MCA) رتبه بندی شدند. در نتیجه، میزان تاثیر فنون پشتیبانی تصمیم‌گیری برای فرسایش در برنامه‌ریزی کاربری زمین دربارهٔ حفاظت خاک با نمونه‌هایی مشخص شد (Geneletti، ۲۰۰۴). در مطالعه ای موردی در ناحیه آدوای اتیوپی SDSS و تحلیل چندمعیاره مکانی برای جابجا کردن محل‌های زراعی با توجه به توان آن‌ها در حفاظت خاک به کار برده شد. با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار IDRISI۳۲ ویرایش ۲ آن و همینطور با نظر مستقیم مالکان محلی فاکتورها و محدودیت‌ها تعیین شد. این‌ها بر پایه پوشش- کاربری زمین، ارتفاع، فرسایش پتانسیل، نزدیکی به جاده‌ها، آب و ارتباط با توان حفاظت خاک هر کاربری خاص بود. با این برنامه تخمین زده و پیش‌بینی شد فرسایش از $T.ha^{-1}yr^{-1}$ ۴/۵ به $T.ha^{-1}yr^{-1}$ ۱برسد (Dragan و همکاران ۲۰۰۳). در این تحقیق نیز حوزه آبخیز حبله رود به دلیل داشتن رخساره‌های حساس فرسایشی و گل آلودگی رودخانه حبله رود و اجرای برنامه‌های توری سنگی برای اولویت بندی با روش جدید انتخاب شد. ضرورت این مطالعات از آنجا بیشتر مشخص می‌شود که اکثر مطالعات پایه به تفصیل و جداگانه صورت می‌گیرد، پهنه‌بندی خطرات فرسایش، انجام می‌شود ولی مرحله تلفیق و برنامه ریزی به منظور کاهش فرسایش با توجه به مطالعات پایه و نقشه فرسایش تهیه شده با سرعت و دقت با استفاده از فنون جدید کمتر انجام می‌شود. انبوهی از داده‌ها توسط سازمان‌ها و مراکز مختلف پژوهشی در این باره جمع آوری شده است ولی لازم است با داده کاوی، و فنون نوین، به برنامه‌ریزی‌های لازم برای کاهش خطرات، بیشتر توجه شود. از طرفی برنامه‌ریزی در حوزه آبخیز، کاری پیچیده است و با دخالت عوامل و محدودیت‌های متعدد امکانپذیر است. بنابراین توجه به فنون تحلیل چند معیاره، راهی نو در برنامه‌ریزی و تعیین مکان‌های مناسب سدهای اصلاحی توری‌سنگی کنترل فرسایش خاک را مطرح می‌کند. سدهای اصلاحی توری‌سنگی در قسمت‌های زیادی از حوضه نیز ساخته شده و می‌شود که در مهار فرسایش و کنترل سیل نقش مهمی دارند. از شبکه سیمی گالوانیزه به صورت جعبه‌هایی که از سنگ پر می‌شوند ساخته شده، عمود بر جریان آبراهه احداث می‌شوند شکل ۱ که هدف تحقیق نیز استفاده از انبوه اطلاعات موجود، برای تحلیل چندمعیاره مکانی و فنون تصمیم‌گیری در اولویت‌بندی حوزهٔ آبخیز برای احداث سدهای اصلاحی توری‌سنگی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوضه حبله‌رود، مساحتی در حدود ۶۱۰۹ کیلومتر مربع دارد و در موقعیت ۳۵ درجه، ۱۳ دقیقه، ۵۵ ثانیه و ۳۵ درجه، ۵۷ دقیقه، ۳۱ ثانیه عرض شمالی و ۵۱ درجه، ۵۱ دقیقه، ۳۹ ثانیه و ۵۳ درجه، ۸ دقیقه، ۴۶ ثانیه طول شرقی، در شمال گرمسار و غرب فیروزکوه قرار دارد (شکل ۲). برخی اطلاعات مورد نیاز به صورت نقشه‌هایی از سازمان‌ها و شرکت‌های مرتبط با منابع طبیعی گرفته شده، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای زمینی تدقیق گردید. این حوضه به دشت کویر در جهت عمومی شمال به جنوب زهکش می‌شود. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۳۱۸ میلیمتر، میانگین دمای سالانه ۷/۸ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه با روش آمبرژه به سه ناحیه خشک سرد، نیمه خشک سرد و ارتفاعات کوهستانی تقسیم می‌شود. ارتفاع میانگین حوضه ۲۰۵۳ متر است. از نظر ژئومرفولوژی رخساره‌های توده سنگی، برونزد سنگی، دامنه منظم، واریزه، تپه، دشت‌های وسیع دامنه‌ای، دشت‌های میان‌کوهی،

www.SID.ir
Archive of SID

شکل ۲- موقعیت حوزه آبخیز حبله‌رود در ایران و استان تهران

مخروط افکنه و پادگانه‌های رودخانه ای جوان و مسیل‌ها مشاهده می‌شوند. کاربری‌هـا در حوضـه به صورت مرتع، رخنمون سـنگی با و بدون درخت، مسـکونی، بایر و زراعی دیم و آبی وجود دارد که در این مطالعه فقط مرتع در مدل وارد شد (بی‌نام، ۱۳۸۵).

روش‌های بررسی

روش‌های به کار رفته در این تحقیق شامل موارد زیر است:

گردآوری کلیه اطلاعات منطقه (نقشـه‌ها و جدول‌های اطلاعاتی مورد نیاز) و آماده سـازی آن‌ها: مثلاً حاشـیه یا حریم سـازی و رسـتری کردن نقشه‌ها با کاربرد یک نرم افزارGIS (شکل های ۳ و ۴).

طراحـی مدل تحلیل چندمعیاره مکانی به شـکل درخـت معیارها در SMCE نرم افزار ILWIS (شکل ۵).

استاندارد سازی فازی، وزن‌دهی عوامل و معیارها.

تلفیـق اطلاعات آماده شـده با کاربرد نرم افـزارGIS (در این تحقیق ILWIS) (شکل ۵).

اولویت‌بنـدی حـوزه آبخیـز با اسـتفاده از نقشـه شـاخص ترکیبی (شکل ۶).

آنالیز حساسیت عوامل در وزن‌دهی آن‌ها (شکل های ۸ ، ۹ و ۱۰).

نقشـه‌های عامل‌ها و محدودیت‌ها از نقشه‌های خام اولیه به دست آمد. با توجه به هدف اصلی که اولویت بندی مکانی احداث سدهای توری‌سنگی بـود، مدل درختـی تحلیـل و ترکیب نقشـه‌های عوامل مکانـی طبیعی (رسـوبدهی، شیب، رخسـاره ژئومرفولوژی)، اقتصادی (نزدیکی به روستا و بـه جاده) و محدودیت‌های مکانی (مکان‌هـای غیر از آبراهه‌های درجه دو، شـیب، رخساره ژئومرفولوژی، ارتفاع) طراحی شد. عوامل و محدودیت‌ها به صورت نقشـه‌های شـبکه ای یا رسـتری با انتخاب زمین مرجع یکسان و اندازه پیکسـل یکسان (تا پیکسل‌های نظیر هم بر هم منطبق شوند) آماده شد. نقشه پهنه بندی رسوبدهی به دست آمده از روش MPSIAC[9] به کار برده شـد. شـیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM)[10] به دست آمد. نزدیکی به روسـتا و به جاده با ایجاد منطقه حاشـیه‌ای یا حریم در اطراف آن‌ها در نرم‌افزار به دسـت آمد. سطح روستاها، جاده‌ها و کلاً عوامل محدودیت مثل پهنه‌هـای غیر از آبراهه‌های درجه دو، نیز کـه دخالتی در برنامه ندارند در حالت بولین[11] (صحیح و غلط) از برنامه حذف شدند. آبراهه‌های درجه ۲ در این مدل تصمیم، به دلیل انطباق اکثر طرح‌های اجرایی که طی بازدیدهای صحرایی از منطقه مشـخص شد انتخاب گردید. مدل درخت معیارها برای تحلیل‌هـای چندمعیاره از عوامل و محدودیت‌های مختلف مکانی مذکور، با برنامه نویسی ویژوال در محیط SMCE طراحی شد (شکل ۵).

استاندارد کردن فازی عوامل در محدوده ارزشی صفر تا یک انجام شد. این کار بر روی نقشـه‌ها برای ارائه نقشـه‌ای جدید با مقادیر استاندارد صفر تا یک اسـت. برای مقایسه درسـت عوامل مختلف لازم است ارزش‌های در محدوده‌هـای مختلـف و کم و زیاد در محدوده بین صفر و یک اسـتاندارد

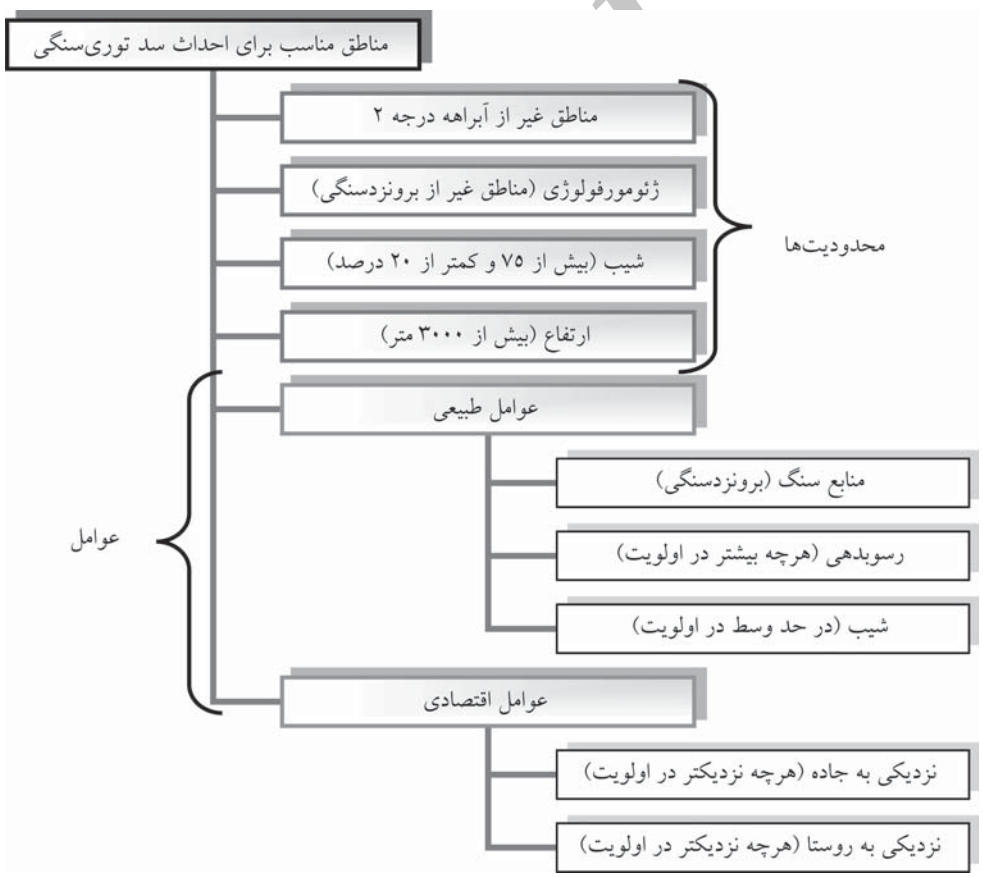
Archive

شوند. روش‌های بیشینه کردن و هدفی استفاده شد. از توابع خطی مستقیم (سود) یا غیرمستقیم (هزینه) در این‌باره استفاده شد. مثلاً نزدیکی به جاده رابطه عکس یا هزینه‌ای در استاندارد شدن ارزش‌ها می‌گیرد یعنی هر چه منطقه‌ای که برای احداث سد توری‌سنگی در نظر است فاصله کمتری از جاده داشته باشد ارزش بیشتری دارد. محدودیت‌ها استاندارد بولین می‌شوند و وزن‌دهی لازم ندارند.

روش‌های مستقیم و مقایسه زوجی از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در وزن دادن عوامل به کار برده شد. در تحلیل سلسله مراتبی، عوامل به صورت جفتی مقایسه می‌شوند و اهمیت نسبی عوامل در تعیین مناسب بودن یک پیکسل برای نوع خاصی از تصمیم برای تصمیم‌گیرنده ارزیابی می‌شود و فقط دو معیار، در یک زمان مقایسه می‌شود که البته ارزش‌های نسبی در مقیاس پیوسته‌ای از ۱ تا ۹ است. دسته‌بندی‌ها در یک ماتریس مربعی متقابل قرار می‌گیرند. تحلیل‌ها و بررسی‌ها در نرم افزار انجام می‌شود و وزن‌ها از ماتریس با بالاترین سازگاری به دست می‌آید و گروه‌بندی انجام می‌شود. باید دقت کرد که ناسازگاری در وزن‌دهی تا حد امکان از صفر تا ۰/۱ تغییرات داشته باشد (Saaty, ۱۹۹۴) که در وزن‌دهی عوامل طبیعی مقدار ناسازگاری ۰/۰۲۹۴ شد و در عوامل اقتصادی چون فقط دو عامل مقایسه گردید ناسازگاری مطرح نبود. این مقدار ناچیز ناسازگاری نشان دهنده سازگاری و منطقی بودن وزن‌دهی زوجی در این تحقیق است. وزن عوامل در دو گروه اصلی با روش مستقیم مشخص می‌شود (شکل ۵). در این روش اعداد صحیحی با توجه به اهمیت و اولویت عوامل به عوامل داده می‌شود و نرم افزار وزن نرمال عوامل (دامنه اعداد صفر تا یک) را محاسبه می‌کند، و پس از این مرحله تلفیق عوامل انجام می‌شود.

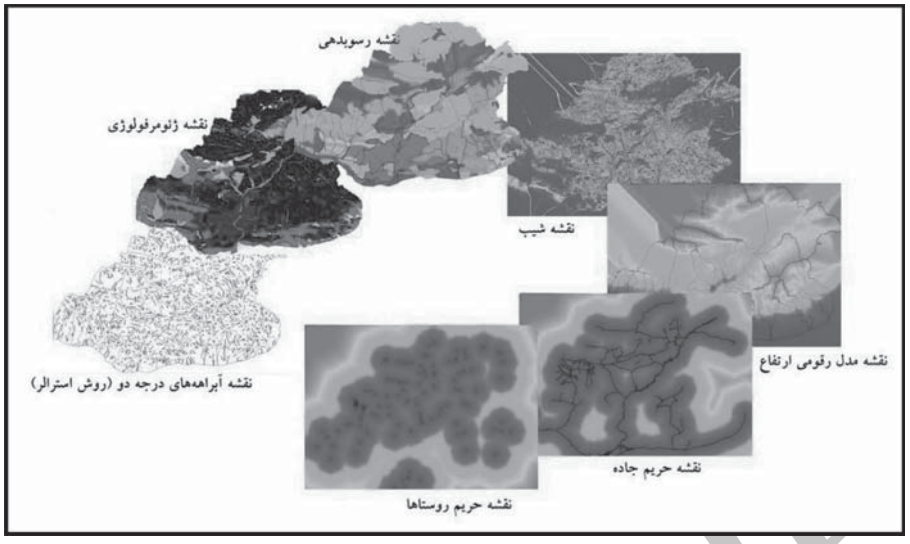
محدودیت‌ها، مناطقی اند که با گرفتن ارزش صفر حذف می‌شوند، بنابراین وزن دهی لازم ندارند. اینکه چه اندازه شیب یا چه مقدار فاصله از آب یا جاده یا دیگر موارد در تصمیم گیری‌ها لحاظ شود بیشتر به هدف کار و نظر کارفرما در طرح و وضعیت منطقه مربوط می‌گردد و عدد خاص و مشخص جهانی برای آن‌ها وجود ندارد، مثلاً شیب بالای ۷۵ درصد و کمتر از ۲۰ درصد به گفته (Cuskelly، ۱۹۶۹)، در برنامه ریزی‌های حفاظت خاک کمتر مطرح است و با بازدید از مناطقه مطالعاتی و بررسی نقشه شیب و طرح‌های نمونه اجرا شده، به عنوان منطقه حذف در نظر گرفته شد. شیب طولی کف آبراهه‌ها کم و ملایم است ولی آن‌ها به صورت عوارض خطی‌اند که در نقشه شیب، شیب آن‌ها لحاظ نشده‌است و شیب دامنه‌های منتهی به این آبراهه‌ها زیاد است. به همین دلیل شیب‌های بیش از شیب واقعی کف آبراهه‌ها در برنامه دخالت داده شد.

با توجه به طرح‌های اجرا شده و وضعیت منطقه، جایی که منابع

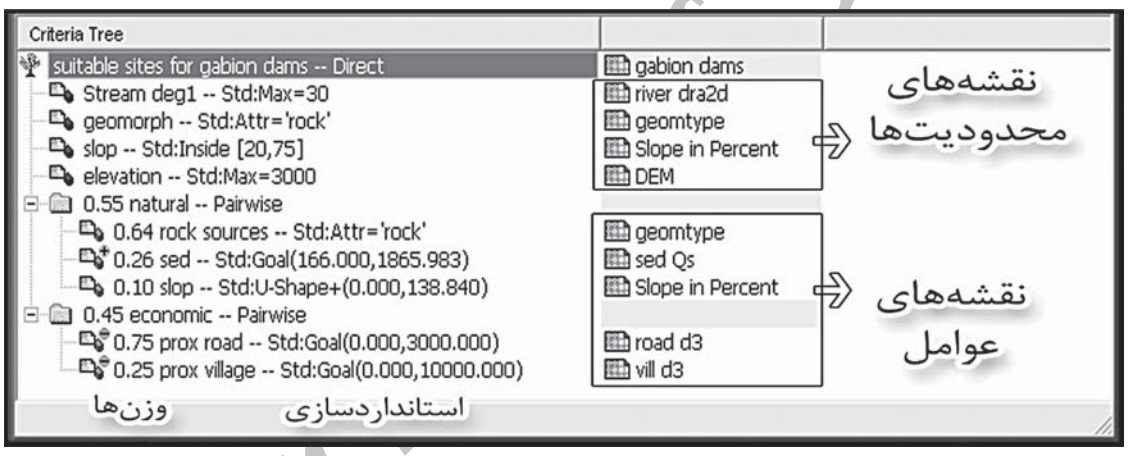


شکل ۳- طراحی مدل درختی با عوامل و محدودیت‌ها برای اولویت مکانی احداث سدهای توری‌سنگی

www.SID.ir



شکل ۴- نقشه‌های استفاده شده به عنوان عامل یا محدودیت در مدل درختی



شکل ۵- تشکیل مدل درختی در محیط ارزیابی چند معیاره مکانی (SMCE)

سنگ (برونزد سنگی) و جاده مختصری و آبراهه‌های درجه دو (طبق روش استرالر برای رتبه بندی آبراهه‌ها) وجود داشته باشد، مناسب احداث بندهای توری‌سنگی است. مدل مفهومی عوامل و محدودیت‌ها به صورت زیر طراحی شد (شکل ۳).

برای بررسی حساسیت و یافتن مؤثرترین عامل‌ها در این مدل، پیکسل‌های به‌دست آمده از نقشه‌های مرکب شاخص بررسی شد. ارزش (صفر تا یک) پیکسل‌های نقشه خروجی از ارزیابی چندمعیاره در نرم افزار اکسل برای بررسی، محاسبات و رسم نمودار در قالب جداول آورده شد. ستون ارزش پیکسل‌ها در ستون تعداد پیکسل‌ها ضرب شد و مجموع آن‌ها به‌دست آمد. این کار در مراحل مختلف وزن دهی مستقیم، برای بررسی حساسیت عامل‌ها انجام شد. در مرحله اول به‌طور مستقیم وزن همه عامل‌ها (عوامل طبیعی و اقتصادی اعم از زیر گروه‌ها و عوامل داخلی آن‌ها) یکسان و مساوی دو در نظر گرفته شد. در این باره از رابطه ۱ استفاده شد.

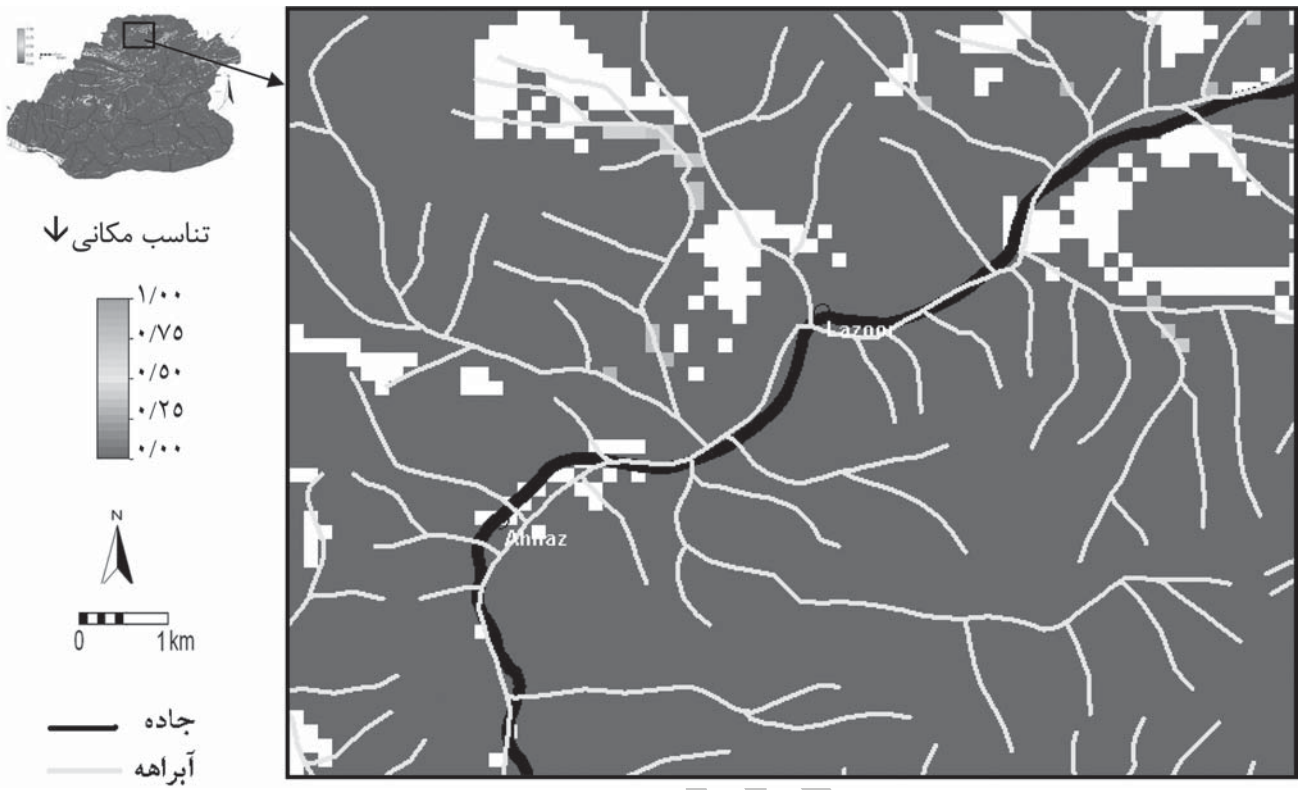
$$\Delta\% = \left(\frac{Run2 - Run1}{Run1}\right) \times 100$$

که در آن: $\Delta\%$ درصد نسبت اختلاف ارزش‌های نقشه خروجی در هر بار اجرای مدل است، Run1 جمع ارزش‌های نقشه خروجی از اجرای مدل در حالیکه وزن همه عوامل یکسان است، Run2 جمع ارزش‌های نقشه خروجی از اجرای مدل در حالیکه وزن یک عامل تغییر داده شده است که در نتایج، با نمودارهایی نشان داده شده‌اند.

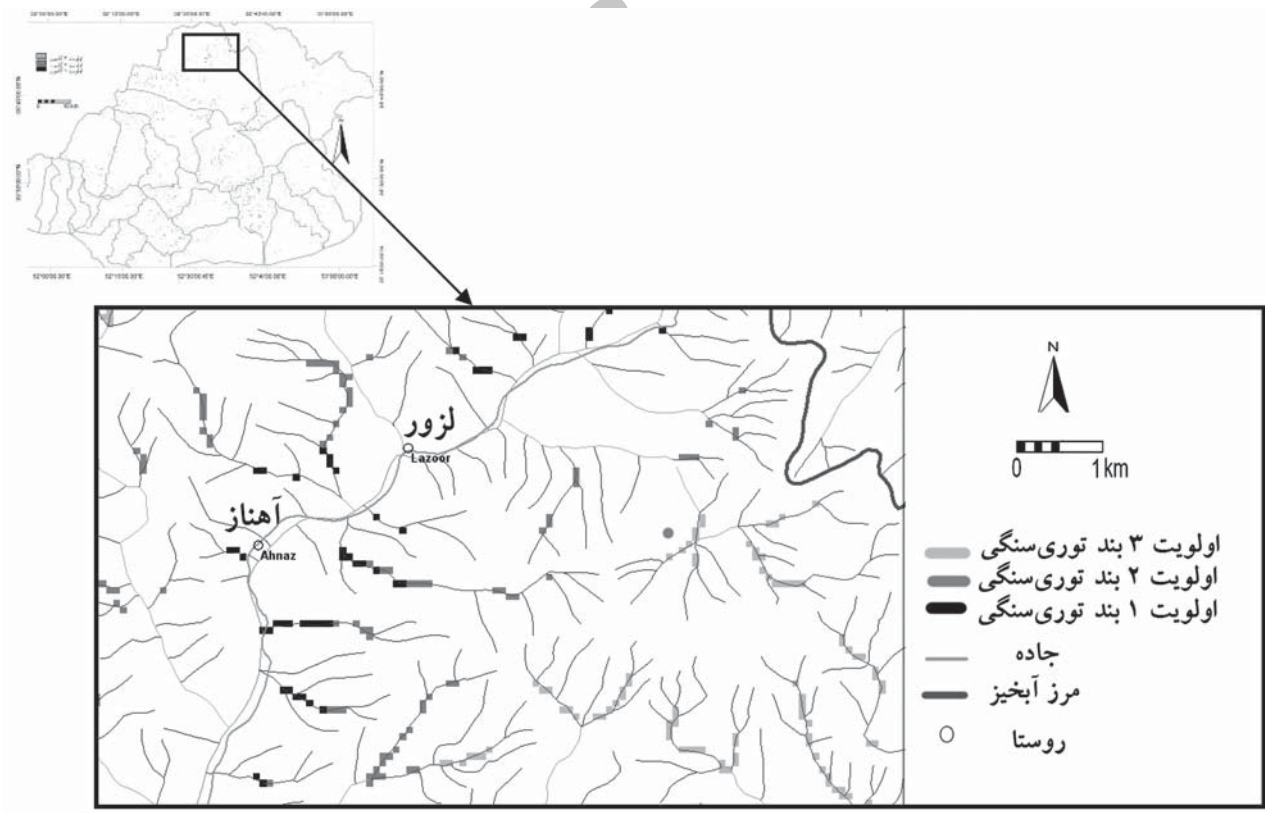
مشاهدات و نتایج

با ترکیب لایه‌های آماده شده، نقشه شاخص ترکیبی (CIM)[۱۲] (شکل ۶) حاصل شد که ارزش‌های ۰ تا ۱ داشت، جایی که ارزش صفر است نامناسب برای هدف مطرح شده است مناطق با ارزش ۱ مناسب ترین مناطق

پژوهش‌های آبخیزداری www.SID.ir



شکل ۶- نقشه شاخص ترکیبی که از ارزیابی چند معیاره مکانی به دست آمد



شکل ۷- نقشه نهایی اولویت بندی برای احداث سدها

www.SID.ir

برای هدف مطرح شـده اسـت یعنی به این ترتیب نقشه تناسب حاصل شده است. سپس تقسیم بندی‌های آن با توجه به ارزش پیکسل‌های نقشهٔ شاخص ترکیبی انجام شـد که حاصل آن نیز نقشـه نهایی اولویت بندی برای احداث سدهای توری‌سنگی بود (شکل ۷).

نتایج تحلیل حساسـیت در این باره نشـان داد که بـا کاهش وزن گروه عوامـل طبیعی و اقتصادی به ترتیـب ۱۰/۹۹ درصد کاهش و ۱۰/۹۸ درصد افزایش در ارزش‌های خروجی نقشـه شـاخص ترکیبی ایجاد شد. با افزایش وزن بـه ترتیـب ۶/۵۸ درصد افزایـش و ۶/۵۷ درصد کاهـش در ارزش‌های خروجی مدل مشـاهده شـد. اثر هر دو گروه عامل بر مدل یکسان بوده است (شکل ۸).

در گروه عوامل طبیعی عامل منابع سـنگ، رسـوبدهی و شـیب وجود داشت که با کاهش در وزن عامل منابع سنگ و شیب به میزان ۴/۱۳ درصد و ۱/۶۲ درصـد کاهش در خروجی مدل ایجاد شـد. ولی بـا کاهش در وزن عامل‌های منابع سـنگ و شـیب به‌اندازه ۳/۱۳ و ۱/۳۴ درصـد، افزایش در خروجی مدل ایجاد شـد و با افزایش در وزن عامل رسوبدهی به میزان ۴/۰۶ درصد کاهش در خروجی مدل ایجاد شد که در مجموع عامل شیب کمترین اثر و عامل رسوبدهی بیشترین اثر را در مدل داشته است (شکل ۹).

گروه عوامل اقتصادی شامل نزدیکی به جاده و نزدیکی به روستا بودند که بـا کاهش در وزن آن‌ها به ترتیب ۵/۷۲ درصد افزایش و ۳/۰۴ درصد کاهش در ارزش‌هـای خروجی مدل ایجـاد کردند. با افزایش در وزن آن‌ها به ترتیب ۱/۲۶ درصد کاهش و ۳/۹۷ درصد افزایش در خروجی ایجاد کردند. مشاهده می‌شود که هر دو به‌طور یکسانی بر مدل تأثیر داشته‌اند (شکل ۱۰).

شکل ۸- نمودار درصد حساسیت وزن گروه عوامل طبیعی و اقتصادی

شکل ۹- نمودار درصد حساسیت وزن گروه عوامل طبیعی

پژوهش‌های آبخیزداری www.SID.ir

شکل ۱۰- نمودار درصد حساسیت وزن گروه عوامل اقتصادی

بحث و نتیجه گیری

نقشه‌های شاخص ترکیبی برای برنامه‌ریزی، طبقه بندی شد. با این بررسی و تحلیل‌ها اولویت مناطق برای ساخت سدهای توری‌سنگی در حوزه آبخیز مشخص شد. در این مطالعه، اولویت بندی به طور منطقی در نظر گرفته شد چون عوامل و محدودیت‌های مختلف با تحلیل چندمعیاره به کار گرفته شد. در مقایسه این پژوهش با دیگر موارد می توان به تحقیقی اشاره کرد که در آن نیز از SMCE در شمال ایتالیا در دشت ساکار واقع در جنوب غربی تورینتو، که منطقه‌ای آلپی است، برای تلفیق معیارهای مطرح شده به کمک کارفرما استفاده کرد تا نقشه تناسب اراضی برای دفن زباله تهیه کند (Geneletti، ۲۰۰۹). به اظهار (Jamali و Abdolkhani A. ۲۰۰۹) در مطالعه‌ای دیگر در منطقه منشاد یزد تکنیک تصمیم‌گیری با عوامل و محدودیت های محیطی (دو دسته پلی‌گونی و خطی) مربوط به هدف تعیین مناطق حساس به لغزش با توجه به هدف، وضعیت منطقه و نوع داده‌ها، بررسی شده است. با دقت در مطالعات مذکور و مشابه می‌توان نتیجه گرفت که در انتخاب معیارها برای تصمیم‌گیری، چارچوب خاصی دیده نمی‌شود بلکه این موارد که بحث تصمیم‌گیری است در آن‌ها با توجه به خواسته کارفرمایان، شرایط منطقه و هدف تصمیم، معیارهای گوناگونی در نظر گرفته می‌شود و باید به آن توجه کرد. در قسمت تحلیل حساسیت مدل، مشاهده شد که عوامل مکانی اقتصادی، بیشترین تغییرات را در خروجی ایجاد کرده‌اند. این نتیجه به این دلیل امکان پذیر است که محل آبراهه‌ها (محل احداث سدهای اصلاحی توری سنگی) و شبکه جاده (به عنوان یک عامل مکانی اقتصادی) در قسمت‌های زیادی بر هم منطبق می‌شوند. به عبارتی، جاده که عامل اقتصادی مهمی است، منطبقتر از مثلا محل شیب های حساس یا محل برونزدگی‌های سنگی (چند پهنه محدود) به محل اجرای هدف تصمیم که آبراهه‌های درجه دو است می‌باشد و بدین ترتیب با توجه به تحلیل حساسیت، اثرگذارتر نیز تشخیص داده شده است. پس همین امر باعث می‌شود که ایجاد تغییراتی در وزن عامل جاده، تغییرات مؤثرتری بر نقشه خروجی در این برنامه ایجاد کند. یکی دیگر از عوامل مؤثر، عامل نزدیکی به روستاست که می‌تواند نشان دهنده پراکندگی یکنواخت روستاها در نزدیکی محل پیشنهاد سدهای توری‌سنگی باشد. بسته به هدف و شرایط طرح می‌توان عوامل و محدودیت‌ها را کم یا اضافه کرد یا در وزن‌ها تجدید نظر کرد. مثلاً در جایی لازم است مردم ساکن در حوضه طرحی را اجرا کنند و ایشان هم در صورت نزدیک بودن به مزرعه‌هایشان یا روستا حاضر به همکاری هستند که این موارد را می‌توان در نظر گرفت و دخالت داد. در این نوع طرح‌ها با داشتن لایه‌های اطلاعاتی و همینطور هدف‌های مختلف مثل کم کردن فرسایش، نزدیکی محل اقدامات حفاظتی به جاده‌ها و به روستا یا مناطق با اهمیت دیگری در تصمیمات، درباره انتخاب مکان‌های مناسب اقدام می‌شود. با طراحی این مدل، مسائل برنامه‌ریزی مکانی پیچیده آبخیز قابل حل و پاسخگویی می‌شود. از این طریق ارزیابی سریع طرح‌های اجرا شده هم ممکن می‌شود. می‌توان با نقشه تناسب بالقوه و نقشه محل اجرای طرح‌های قدیمی که با روش‌های سنتی یا غیر از این تهیه شده اند کار ارزیابی و تحلیل را آسانتر و سریعتر انجام داد. این مدل برای مناطق مشابه، فقط با تغییرات جزئی با توجه به هدف تصمیم، در وزن دهی‌ها توصیه می‌گردد.

پاورقی ها

1- Analytical hierarchy process
2- Spatial multi criteria evaluation
3- Geographic Information systems
4- Multi Criteria Eualuation
5- Multi - Criteria decision analysis
6- A system for Selecting suitase sites
7- Spatial Decision support system
8- Decision Support System
9- Modified pacific soulhwest inter Agency Commitee
10- Digital Elevation Model
11- Boolean
12- Composite Index Map

Archive of SID

منابع مورد استفاده

۱- بی‌نـام، (۱۳۸۴) آمار رقومی دبی و رسـوب، بخش پایگاه داده‌ها، مدیریت منابع آب کشور، وابسته به وزارت نیرو.

۲- بی‌نام، (۱۳۸۵) مطالعات مدیریت یکپارچه آب و خاک در حوزه آبخیز رودخانه حبله رود، اداره کل منابع طبیعی اسـتان تهران، بخش GIS، ، شـرکت مهندسـین مشاور رویان.

3- Buenrostro Delgado, O., Mendoza, M., Lopez Granados, E., Geneletti, D., (2008) Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. *Waste Management* 28, 1137–1146.

4- Collins, M.G., Steiner, F.R., Rushman, M.J., (2001) Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. *Environmental Management* 28 (5), 611–621.

5- Cuskelly, S. L., (1969) Erosion Control problem and practices on National forest Lands. *Transactions of the American society of Agricultural engineers* 12, 1, pp 69- 70.

6- Dragan, M., E. Feoli, Fernetti M.& Zerihun, W. (2003) Application of erosion decision support system (SDSS) to reduce soil erosion in northern Ethiopia, *Environmental Modelling & Software,* Volume 18, Pp 861-868.

7- Geneletti, D., (2004) *A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley, Land use Policy,* Volume 21, Issue 2, April, Pp 149-160.

8- Geneletti, D., (2009) Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to selectand rank inert landfill sites, *Waste Management,* xxx (2009) xxx–xxx.

9- Hill, M.J., Braaten, R. Simon, M. Brian, V. Lees G. & Sharma, S. (2005) Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the ASSESS analytic hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis *Environmental Modelling & Software*, Volume 20, Pp 955-976.

10- Ianni, E., (2007) *Integrated assessment of eco-social systems:* the case study of Aysen watershed (Chile) and Marano lagoon (Italy). PhD Thesis, Department of Biology, University of Trieste.

11- Jamali, A.A. and Abdolkhani, A. (2009) Preparedness Against Landslide Disasters with Mapping of Landslide Potential by GIS-SMCE (Yazd-Iran), *International Journal of Geoinformatics,* Vol. 5, No. 4, pp 25-31.

12- Malczewski, J., (2004) GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62 (2004), 3–65.

13- Malczewski, J., (2006) GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science* 20 (7), 703–726.

14- Matthies, M., Giupponi C.& Ostendorf, B. (2007) Environmental decision support systems: Current issues, methods and tools, *Environmental Modelling & Software*, Volume 22, Issue 2, Pp 123-127

15- Nash, R., Hudson, A., Luttrell, A., (2006) *Mapping Political Context A Toolkit for Civil Society Organisations*. Overseas Development Institute, London.

16- Ochola, W.O. & P. Kerkides, (2004) An integrated indicator-based spatial decision support system for land quality assessment in Kenya, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 45, Pp 3-26.

17- Ramirez, R., (1999) *Stakeholder analysis and conflict management.* In: Buckles, D. (Ed.), Cultivating Peace: Conflict and Collaboration in Natural Resource Management. International Development Research Centre/The World Bank, Ottawa/Washington.

18- Saaty, T.L. (1994) How to make a decision: the analytical hierarchy process. *Interfaces*, 24 (6, S): 19-43.

19- Vrieling, A., (2006) Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review, *Catena* 65 (2006) pp 2–18

Archive of SID