

Application of Fuzzy Clustering in Continuous Classification: A Case study

H. Fahmi¹, A. D. Abdinia²

Abstract

Using continuous classification (specifically zonation in this study) it is possible to save continuity of changes in natural phenomena while representing them. Fuzzy Sets Theory is a proper tool to study and represent this continuity. As a case study in application of Continuous Zonation, fuzzy clustering among many other pattern recognition methods was applied to study erodability of Tajan river watershed. The results have been compared with traditional PSIAC method and have been represented as continuous erodability maps by using pixels value combination method. The maps show that even in area that a class is dominant, changes in erodability are visible. Also classes, which do not really exist and are only the artifacts of crisp boundary classification, are omitted. Transitional changes can be modeled similar to real gradual ones in nature.

Keywords: Fuzzy Clustering, Continuous Classification, Watershed.

کاربرد خوشه‌سازی فازی در پهنه‌بندی فرسایشی: مطالعه موردی

هدایت فهمی^۱، علی دلیر عبدی نیا^۲

چکیده

با استفاده از روش طبقه‌بندی (به طور خاص در این مطالعه، پهنه‌بندی) پیوسته، می‌توان ضمن نمایش تغییرات پدیده‌ها در طبیعت، پیوستگی این تغییرات را حفظ کرد. نظریه مجموعه‌های فازی، ابزار مناسبی برای مطالعه و نمایش این پیوستگی می‌باشد. به عنوان نمونه‌ای از کاربرد پهنه‌بندی پیوسته، خوشه‌سازی فازی که از جمله روش‌های تشخیص الگو می‌باشد، در مطالعه فرسایش پذیری حوضه آبریز تاجن به کار برده شده‌است. ضمن اینکه نتایج حاصله با نتیجه بدست آمده از روش سنتی PSIAC، مقایسه شده‌است و در نهایت، نتیجه کار به کمک روش ترکیب ارزش پیکسل‌ها، به صورت نقشه پهنه‌بندی پیوسته فرسایش‌پذیری، نمایش داده شده‌است. این نقشه‌ها نشان می‌دهند که فرسایش حتی در مناطقی که یک کلاس غالب است قابل بررسی و مشاهده گردیده‌است. همچنین کلاس‌هایی که به طور واقعی وجود ندارند و فقط به علت محدودیت‌های حاصل از طبقه‌بندی گسسته بوجود آمده، حذف گردیده‌است و تغییرات تدریجی کلاس‌ها همانگونه که در طبیعت وجود دارد نمایش داده شده‌است.

کلمات کلیدی: خوشه‌سازی فازی، طبقه‌بندی (پهنه‌بندی) پیوسته، فرسایش‌پذیری، حوضه آبریز

1- Ph.D. in Hydrology, Ministry of Energy, Iran
2- M.Sc. in Geology, Schlumberger Oilfield Services Co., Iran

۱- دکترای هیدرولوژی، وزارت نیرو
۲- کارشناس ارشد رسوب‌شناسی، شرکت شلمبرژه

۱- مقدمه

مقاله یاد شده به کار رفته، از روش پایگاه داده‌ها استفاده شده است و تقسیمات کلاس‌ها با استفاده از روش خوشه‌سازی فازی انجام می‌شود.

۳- تئوری مجموعه‌های فازی^۱

نظریه مجموعه‌های فازی که مفهوم توسعه یافته‌ای از نظریه مجموعه‌های قطعی یا کلاسیک می‌باشد، با مقاله بنیادی پرفسور لطفی عسکرزاده (Zadeh (1965 معرفی گردید.

در مجموعه‌های کلاسیک برای هر عضو تنها دو درجه عضویت وجود داشت، یک به معنای عضویت کامل در یک دسته و صفر به معنای عدم عضویت در مجموعه. در مجموعه‌های فازی به هر عضو یک درجه عضویت نسبت داده می‌شود که نشان می‌دهد آن عضو تا چه حد در یک مجموعه قرار می‌گیرد. باز هم درجه عضویت یک به معنای عضویت کامل و درجه عضویت صفر، به معنای عدم عضویت است، ولی درجه‌های بین این دو حد، عضویت بخشی را نشان می‌دهد. برای آشنایی بیشتر با مفاهیم بنیادی نظریه مجموعه‌های فازی از میان مراجع متعدد موجود (Zadeh (1965 و Kaufmann (1975 توصیه می‌شود.

۳-۱- کاربرد نظریه مجموعه‌های فازی در طبقه‌بندی

پیوسته

روش‌های مختلفی برای تعیین درجه عضویت یک عضو به یک مجموعه وجود دارد، که شامل استفاده از دانش فرد خبره بر اساس قواعد زبانی و پایگاه قواعد، و نیز استنتاج نتیجه از داخل خود داده، با یا بدون داشتن دانش پیشینی از روابط درون مجموعه می‌باشد. از میان روش‌های مختلف تشخیص الگو^۲، روش خوشه‌سازی فازی از جمله روش‌هایی است که با استفاده از منطق فازی و مفهوم تابع عضویت، در طبقه‌بندی پیوسته داده‌ها کاربرد دارد.

۳-۲- تحلیل خوشه‌ای^۳

تشخیص الگو (PR)، روشی است برای جستجوی ساختار در داده‌ها (Bezdek & Pal (1992. خوشه‌سازی یکی از روش‌های تشخیص الگو به طریق آموزش هدایت‌نشده است، که کاربردهای زیادی دارد. هدف از خوشه‌سازی داده‌ها، تقسیم آنها به کلاسها یا گروه‌های مختلف و دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها، براساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است. اولین موضوع در تحلیل

طبقه‌بندی، بخش بزرگی از علوم را تشکیل می‌دهد، و این به جهت نیاز بشر به ساده‌سازی پیچیدگی ذاتی طبیعت، به منظور مطالعه آن می‌باشد. روش‌های معمول طبقه‌بندی در اغلب موارد، شامل تقسیم پدیده‌های پیوسته به گروه‌های کاملاً جدا از یکدیگر، با مرزهای قطعی می‌باشد. این نوع تقسیم‌بندی، ناگزیر باعث از بین رفتن بخشی از اطلاعات می‌شود. با وجود اینکه این نوع طبقه‌بندی در طول تاریخ علم، موفقیت فراوانی داشته است و به طور عام به کار می‌رود، در پاره‌ای از موارد جوابگوی نیازها نبوده است یا طبقه‌بندی پیوسته نتایج مناسب‌تر و شاید ارزانتری را حاصل کرده است.

در این مقاله سعی شده است با ارائه نمونه‌ای از طبقه‌بندی پیوسته به کمک ریاضیات فازی، در مطالعه فرسایش‌پذیری حوضه آبریز رودخانه تجن، بخشی از مفاهیم مربوط به طبقه‌بندی پیوسته معرفی گردد.

۲- پیشینه مطالعات

مطالعه فرسایش‌پذیری تاریخیچه طولانی دارد و به خاطر نتایج مختلف و موثر آن، در حوضه‌های مختلف علمی مورد توجه بوده است. فرمول جهانی فرسایش یا USLE و روش PSIAC نتیجه این مطالعات بوده‌اند، رفاهی (۱۳۷۹)، Schwab, et al. (1993). ریاضیات فازی با مقاله Zadeh (1965 بنیاد نهاده شد. تشخیص الگو با استفاده از روش‌های فازی، با پایان‌نامه دکتری Bezdek (1973 گسترش یافت، گرچه پیش از آن باید مقاله Zadeh (1968 را به عنوان بنیاد کاربرد فازی در تشخیص الگو و خوشه‌سازی مطرح کرد. همچنین باید خاطر نشان کرد که مقاله بنیادی Zadeh (1965، خود در حین مطالعاتی در رابطه با تشخیص الگو به روش‌های ماشینی نگاشته شد.

کاربرد روش‌های فازی در علوم خاک توسط Burrough (1986 معرفی گردید. مطالعات مهم دیگر در این باره Burrough et al. (1997 و McBranty & Odeh (1997 می‌باشند. به عنوان مثالی از کاربرد روش‌های تشخیص الگو و خوشه‌سازی در علوم خاک می‌توان از McBratney & DeGrujiter (1992 و Nisar Ahmed et al. (2000 برای خوشه‌سازی فازی و Lagacherie et al. (1997 خوشه‌سازی غیر فازی نام برد. Mitra et al. (1998 مستقیماً به موضوع مطالعه حاضر می‌پردازد و مبنای شروع این مطالعه بوده است. در مطالعه حاضر با توسعه کاربرد روش‌های فازی به جای استفاده از مدل پایگاه قواعد زبانی که در

خوشه‌ای، تعیین ملاک شباهت است. در روش‌های معمول از ملاک‌هایی مانند ضرایب فاصله، ضرایب همبستگی و ضرایب اتحاد

برای تعیین شباهت استفاده می‌کنند حسنی‌پاک و شرف‌الدین (۱۳۸۰). در این مقاله روش تعیین شباهت با استفاده از ضرایب فاصله به کار رفته است.

در یک فضای m بعدی (m می‌توان برای مثال تعداد متغیرها باشد) به سادگی می‌توان پذیرفت که فاصله بین دو نقطه معیاری از اختلاف آنهاست. اولین و ساده‌ترین فاصله بین دو متغیر یا دو نمونه، فاصله اقلیدسی است که به طور عام در ریاضیات دکارتی به کار می‌رود.

۳-۳- خوشه‌سازی فازی^۴ (Grima, 2000)

این روش از جمله روش‌های خوشه‌سازی انعطاف‌پذیر است. روش‌های مختلف خوشه‌سازی فازی عبارتست از روش خوشه‌سازی فازی میان مرکز (Fuzzy C-Means or FCM)، روش خوشه‌سازی Mountain (Yager & Filev, 1994)، روش گوستافسون - کسل^۵ (Chiu, 1994) و روش گوستافسون - کسل (Gustafson & Kessel, 1979).

روش FCM نوع تغییر یافته‌ای از روش K-means است (Bezdek & Pal, 1992). در روش k-means هر نقطه تنها به یک خوشه تعلق دارد و مرز خوشه‌ها قطعی است. در روش FCM هر نقطه به طور بخشی به تمام خوشه‌ها تعلق دارد و میزان تعلق را درجه عضویت معین می‌کند. مجموع درجات عضویت برابر یک می‌باشد. در این روش، مانند روش K-Means تضمینی برای حصول راه حل بهینه وجود ندارد، بدین معنی که چون جواب‌های بدست آمده تا حدی وابسته به نقطه شروع انتخابی می‌باشد، همیشه جواب یکسان و در نتیجه بهترین جواب که جدایش بهینه خوشه‌ها است، حاصل نمی‌شود. همچنین در این روش خوشه‌های نیمه کروی تولید می‌شوند در نتیجه برای متغیرهایی که توزیع خوشه‌های آنها به شدت غیر کروی است، جواب‌های مناسبی نخواهد داشت. طریقه عمل حسنی‌پاک و شرف‌الدین (۱۳۸۰) در این روش بدین شکل است که برای n نمونه که برای هر یک m متغیر اندازه‌گیری شده‌است، c خوشه مفروض می‌گیریم و الگوریتم زیر را به کار می‌بریم:

۱- محل c خوشه را به طور تصادفی در فضای حاصلضرب انتخاب می‌کنیم.

۲- درجه عضویتی را برای هر نمونه، به طور تصادفی انتخاب می‌کنیم.

با استفاده از درجات عضویت و مختصات مرکز خوشه‌ها، مختصات جدید مرکز خوشه‌ها محاسبه می‌گردد.

۳- پس از محاسبه مراکز جدید خوشه‌ها لازم است درجه عضویت هر نمونه به هر مرکز خوشه جدید، بر مبنای فاصله اقلیدسی محاسبه می‌شود.

۴- تابع هدف که نشان‌دهنده میزان جدایش خوشه‌ها از هم است محاسبه می‌گردد.

۵- تکرار محاسبات از مرحله دوم تا چهارم، تا جایی که اختلاف بین دو مرحله متوالی محاسبه تابع هدف، کمتر از دقت مورد نیاز بشود. مثلاً اگر بخواهیم با دقت $0/01$ مراکز خوشه‌ها محاسبه شود، محاسبات باید آن قدر ادامه یابد تا اختلاف مقدار تابع هدف در دو مرحله متوالی، کمتر از $0/01$ بشود. چه در روش تحلیل خوشه‌ای بی‌انعطاف و چه در روش تحلیل خوشه‌ای فازی، تعداد مناسب خوشه‌ها براساس ملاحظات تجربی و یا به روش سعی و خطا تعیین می‌شود. برای جزئیات بیشتر، روش محاسبه و فرمول‌ها به حسنی‌پاک و شرف‌الدین (۱۳۸۰) مراجعه گردد.

۳-۳-۱- آزمون اعتبار خوشه‌ها

میزان اعتبار داده‌ها، متناسب بودن خوشه‌های تشکیل شده را بوسیله تخمین معیارهایی مانند فشردگی خوشه‌ها و فاصله بین خوشه‌ها تعریف می‌کند. عیب بزرگ این روش نیاز آن به تکرار خوشه‌سازی داده‌ها به هنگامی که تعداد متفاوتی خوشه بکار برده می‌شود، می‌باشد (Setnes, 1999) و (Gath & Geva, 1989).

دو روش متداول برای سنجش اعتبار خوشه‌ها عبارتند از آنتروپی کلاس‌بندی^۶ و ضریب جدایش^۷ که به ترتیب و جداگانه توابع کاهشی و افزایشی یکنواخت هستند. بنابراین حداقل آنتروپی کلاس‌بندی و حداکثر ضریب جدایش به طور مستقل جدایش بهینه را نشان می‌دهد. در صورت عدم استفاده از پارامترهای مناسب، یا آنتروپی کلاس‌بندی افزایش می‌یابد که به معنی تمایل به تعلق مساوی هر داده به تمامی مراکز خوشه‌ها است و یا ضریب جدایش کم حاصل می‌شود که به معنی تداخل بیش از حد خوشه‌ها در هم می‌باشد

۳-۳-۲- یکی کردن^۸ خوشه‌های منطبق

در این طریقه الگوریتم خوشه‌سازی با تعداد به قدر کافی خوشه آغاز می‌شود و سپس به طور متناوب این تعداد با پیوستن خوشه‌هایی که با معیارهای از پیش تعریف شده تطابق دارند، کاهش می‌یابد (Krishnapuram & Freg, 1992).

(Kaymak & Babuska, 1995)، (Setnes, 1999).

بررسی شکل شماره یک نشان می‌دهد که مرز سه کلاس انتخاب شده در اینجا کاملاً قطعی و ناگهانی است. باید توجه گردد که منظور از مرزهای ناگهانی، انتقال از یک کلاس به کلاس دیگر در یک مرز مشخص می‌باشد و نباید آنرا با تغییرات راست‌گوشه مرزها که ناشی از روش به کار رفته برای کلاس‌بندی فرسایش می‌باشد اشتباه کرد.

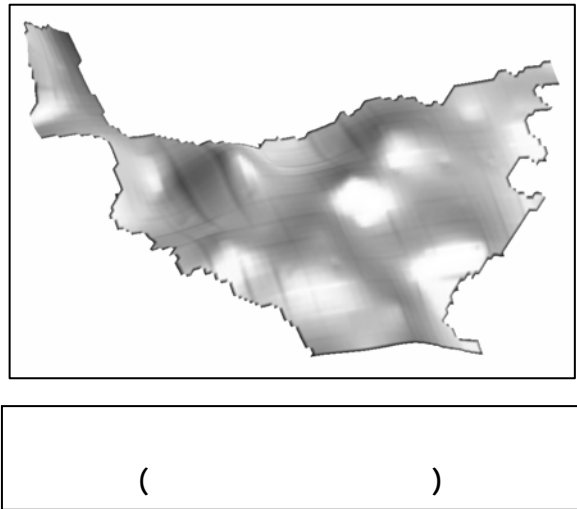
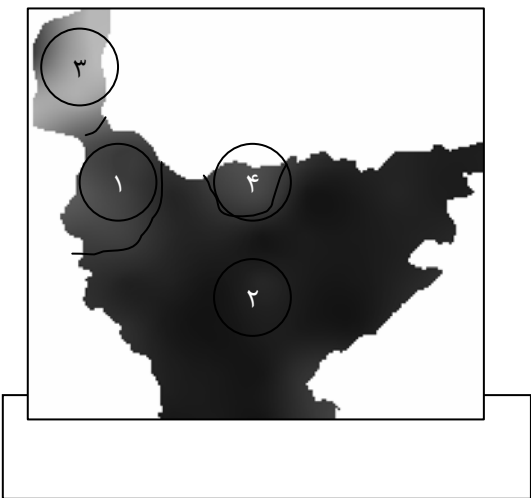
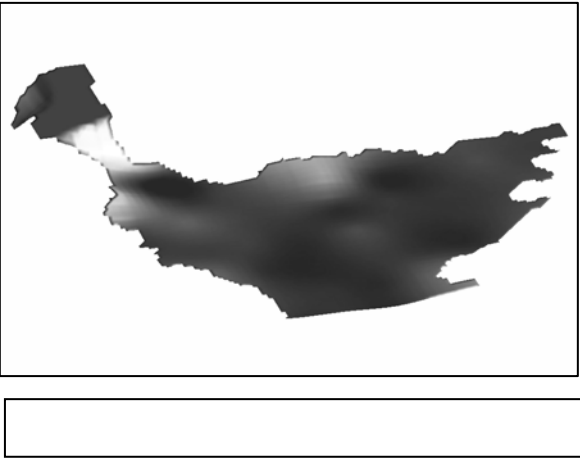
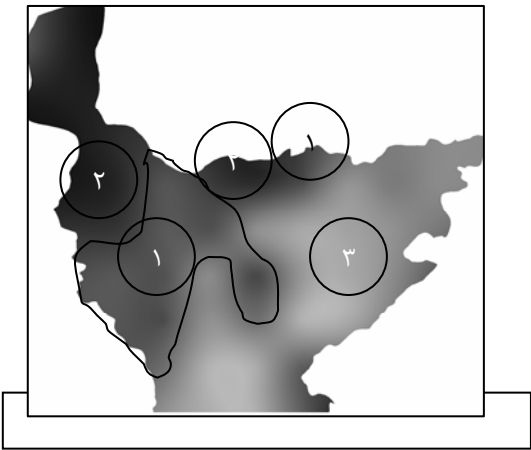
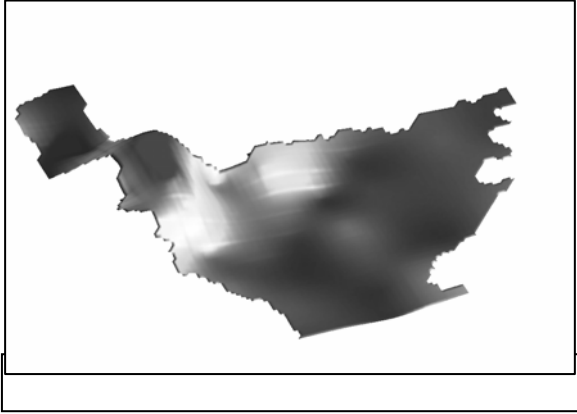
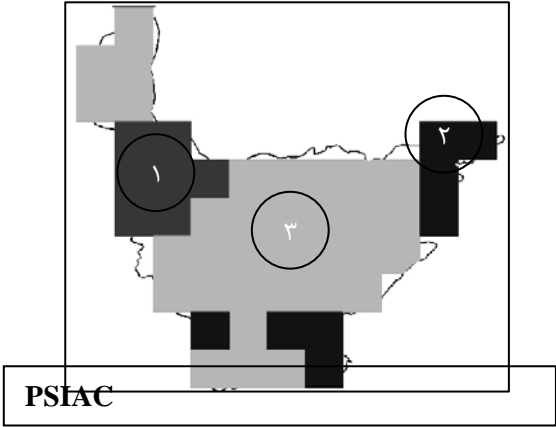
شکل ۲ و ۳ نتایج خوشه‌سازی با ۳ و ۵ مرکز را نمایش می‌دهند. مقایسه این دو با شکل ۱ که به عنوان مرجع به کار رفته، نشان می‌دهد که خوشه‌سازی با ۵ خوشه و سپس ترکیب خوشه‌های مشابه نتایج بهتر و نزدیکتر به روش مرجع ایجاد کرده است. باید توجه گردد که قاعدتا در استفاده عملی از این روش نقشه مرجعی وجود نخواهد داشت و باید با بررسی ویژگی‌های درونی داده‌ها، استفاده از روش‌های معتبر ریاضی بررسی صحت خوشه‌ها و نیز توجه به کاربرد مورد نظر، تعداد خوشه‌های مناسب و نحوه یکی کردن آنها تعیین گردد. در این مطالعه برای کنترل صحت نتایج از روش PSIAC استفاده شده که قبلاً در مناطق مختلف ایران و بویژه در منطقه مورد مطالعه به کار رفته و توسط کارشناسان مرتبط تایید گردیده‌است.

مقایسه بین شکل‌های ۱ و ۳ که در واقع هدف اصلی این مطالعه است قابلیت‌ها و ظرفیت‌های روش طبقه‌بندی پیوسته را نشان می‌دهد. شکل‌های ۴ تا ۶ نحوه توزیع درجه عضویت هر داده را به مراکز سه‌گانه خوشه‌ها نشان می‌دهد (ارتفاع هر نقطه نشان‌دهنده درجه عضویت است). همانگونه که ملاحظه می‌شود هر نقطه متناسب با درجه عضویت به خوشه، متعلق به تمامی کلاس‌ها است. شکل ۳ ترکیب رنگی اشکال ۴ تا ۶ است که در آن میزان عضویت به جای ارتفاع با شدت رنگ نشان داده شده‌است. به عنوان نمونه منطقه شمال-مرکز در شکل ۳ که با دایره مشخص شده است و نمایش‌دهنده یک منطقه با فرسایش نسبتاً بالا است به هیچ وجه در شکل ۱ قابل مشاهده نیست. در حالی که در شکل ۳ رنگ بفش حاصل، نتیجه ترکیب رنگ قرمز کلاس فرسایش متوسط و رنگ آبی کلاس فرسایش پایین است و گرچه هنوز آبی (فرسایش پایین) غالب است، می‌توان تشخیص داد که این محدوده فرسایش بیشتری نسبت به سایر نقاط هم کلاس در شکل ۱ دارد. همچنین در شکل ۳ در بدنه اصلی حوضه، یک کلاس کاملاً غالب وجود دارد که نشان‌دهنده فرسایش‌پذیری پایین است و از بخش نزدیک به مصب رودخانه متفاوت می‌باشد. در حالی که در شکل ۱، تفاوت جزئی بین بخش‌های داخل بدنه اصلی باعث شد که آنها در دو کلاس متفاوت قرار گیرند و از سوی دیگر بخش عمده از بدنه اصلی حوضه با بخش نزدیک به مصب رودخانه که اختلاف نسبتاً زیادی با هم دارند،

در این مطالعه ابتدا با توجه به داده‌های موجود، برای چهارگوش‌های ۱۰ کیلومتر در ۱۰ کیلومتری، در کل حوضه امتیاز متغیرهای نه گانه روش (PSIAC) رفاهی (۱۳۷۹) محاسبه شدند. سپس مجموع امتیاز هر خانه محاسبه گردید. با تعلق دادن رنگ‌های قرمز، آبی و سبز برای مناطق به ترتیب از فرسایش‌پذیری زیاد به کم، نتایج حاصل در شکل (۱) نمایش داده شد. این نتایج، با نتایج حاصل از مطالعات انجام شده توسط تماب که به صورت نقشه شماره ۳-۲-۲ در گزارش مطالعات حوضه تلفیق مازندران ارائه شده تماب (۱۳۷۵) و تماب (۱۳۷۶) انطباق دارد. سپس این عوامل نه گانه با کمک جعبه‌ابزار^۹ فازی نرم‌افزار MATLAB، به روش FCM خوشه‌سازی گردید.^{۱۰}

در اولین گام خوشه‌سازی با فرض وجود سه خوشه انجام گردید. مراکز خوشه حاصل در جدول (۱) ارائه شده‌است و توابع عضویت هر چهارگوش ۱۰×۱۰ کیلومتری، با استفاده از امکانات رستری نرم‌افزار ER-Mapper، به صورت شکل (۲) ترسیم شد. برای این کار از مفهوم ترکیب ارزش پیکسل‌ها^{۱۱} De Gruijter et al. (1997) استفاده شده‌است، که در آن رنگ قرمز^{۱۲} خوشه اول با مرکز A، رنگ آبی خوشه دوم با مرکز B و رنگ سبز خوشه سوم با مرکز C را نمایش می‌دهد. هرچند تطابق کلی در روندها بین شکل‌های (۱) و (۲) مشاهده می‌شود، مرزهای حاصل مناسب به نظر نمی‌آید. در گام دوم خوشه‌سازی با فرض پنج خوشه انجام گردید. مراکز خوشه‌ها در جدول (۲) آمده‌است. ترسیم توابع عضویت این پنج خوشه نشان داد که هم روند عمومی و هم مرزها با نتایج شکل (۱) منطبق است، ولی خوشه‌های ۳، ۴ و ۵ را می‌توان بر اساس اصل ترکیب خوشه‌های مشابه، (به منابع ذیل بخش اعتبار خوشه‌ها مراجعه شود)، باهم ترکیب کرد. سه کلاس نهایی با استفاده از نرم‌افزار ER-Mapper در شکل (۳) نمایش داده شده‌است، که در آن رنگ قرمز فرسایش‌پذیری متوسط، رنگ آبی فرسایش‌پذیری کم و رنگ سبز فرسایش‌پذیری خیلی کم را نشان می‌دهد. بدین ترتیب مناطق حد واسط با رنگ‌های حدواسط مانند زرد و بنفش نمایش داده می‌شود. درجه عضویت هر خوشه در محدوده حوضه در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده‌است. آزمون اعتبار داده‌ها به منظور بررسی صحت خوشه‌ها انجام گردید. برای خوشه‌سازی با سه مرکز میزان آنتروپی کلاس‌بندی و ضریب جدایش، برابر $H=0.861$ و $F=0.492$ محاسبه شد. برای خوشه‌سازی با پنج مرکز، آنتروپی کلاس‌بندی برابر $H=1.136$ و ضریب جدایش $F=0.309$ محاسبه گردید. با مقایسه این نتایج می‌توان گفت خوشه‌سازی اول آنتروپی کلاس‌بندی بهتری دارد در حالی که خوشه‌سازی دوم ضریب جدایش بهتری را نشان می‌دهد.

:



جدول ۱- مراکز خوشه‌ها در گام اول

خوشه	رنگ	نام متغیر و مختصات مرکز خوشه									
										فرسایش مرتفع	فرسایش رودخانه‌ای
A	قرمز	5.4	7.3	8.0	8.1	2.5	5.3	3.4	3.6	6.2	49.9
B	آبی	5.2	0.6	5.4	5.1	9.8	3.9	2.2	8.6	5.2	46.0
C	سبز	3.2	0.2	2.6	2.9	15.3	2.0	2.3	8.8	2.1	39.5

جدول ۲- مراکز خوشه‌ها در گام دوم

خوشه	رنگ	نام متغیر و مختصات مرکز خوشه									
										فرسایش مرتفع	فرسایش رودخانه‌ای
A	قرمز	9.4	7.7	9.4	6.2	5.1	4.4	4.0	5.9	8.7	60.8
B	آبی	0.8	8.0	7.0	9.7	0.5	6.3	3.0	0.7	5.0	40.9
C	آبی	5.6	0.2	5.6	5.4	9.2	4.0	2.0	9.3	5.2	46.6
D	آبی	3.3	0.2	4.6	4.7	18.2	3.5	2.7	6.0	4.7	47.8
E		3.4	0.1	1.4	2.3	12.9	1.5	2.1	9.8	0.9	34.4

اشتباهات حاصل از تصمیم‌گیری بر مبنای چنین طبقه‌بندی جلوگیری می‌کند.

۳- تغییرات تدریجی کلاس‌ها در مرزهای جغرافیایی همانگونه که در طبیعت رخ می‌دهد منعکس شده‌است و جایگزین مرزهای ناگهانی حاصل از روش PSAC می‌شوند.

در یک کلاس جای گرفته‌اند. به عنوان مثال با استفاده از این روش می‌توان حتی درون مناطق با فرسایش‌پذیری پایین، مناطق مستعد فرسایش را تشخیص داد و برای تغییرات بعدی تحت نظر گرفت یا روش‌های پیشگیرانه را در آنها اعمال کرد.

همچنین توجه به مرز کلاس‌های گوناگون در دو شکل یاد شده نشان می‌دهد در شکل ۳ همانگونه که در طبیعت رخ می‌دهد، تغییر از یک کلاس به دیگری تدریجی است. این موضوع علاوه بر انعکاس واقعی‌تر طبیعت در بررسی‌ها، می‌تواند کاربردهای عملی هم داشته باشد. تنها به عنوان مثال می‌توان به طرح‌های حفاظتی اشاره شود که در آن می‌توان با این روش یک محدوده مرزی برای منطقه مورد نظر بدست آورد و سپس با بررسی سایر عوامل محدود کننده (مثل توپو گرافی یا پوشش گیاهی)، منطقه مورد نظر را مرزبندی کرد.

پی‌نوشت‌ها

- 1-Fuzzy Sets theory
- 2-Pattern Recognition
- 3-Cluster Analysis
- 4-Fuzzy Clustering
- 5-Subtractive
- 6-Classification Entropy
- 7-Partitioning Coefficient
- 8-Merging
- 9-MATLAB Fuzzy Toolbox

۱۰- نرم افزار MATLAB، خوشه‌سازی فازی به روش FCM را با استفاده از ضرایب فاصله انجام می‌دهد. دستورات استفاده شده و مباحث نظری آن، در راهنمای همراه نرم‌افزار (MathWorks, 2001) به طور کامل شرح داده شده است.

11-Pixel Value Combination

۱۲- رنگ‌های اشاره شده در متن مربوط به نتایج حاصل از نرم‌افزار می‌باشد. در اینجا با توجه به اینکه شکل‌ها به صورت سیاه و سفید ارائه می‌شود، هر کلاس رنگی مطابق با خوشه مربوطه شماره گذاری شده و در شکل تعریف گردیده است.

۵- نتیجه‌گیری

از مجموعه مطالب یاد شده را می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از روش خوشه‌سازی فازی:

- ۱- تغییرات جزئی در فرسایش‌پذیری حتی در مناطقی که یک کلاس غالب است قابل بررسی و مشاهده بوده و بنابر این بدون از دست دادن اطلاعات موجود در دل داده‌ها، جدایش لازم برای کلاس‌بندی فرسایش‌پذیری حاصل می‌شود.
- ۲- کلاس‌هایی که به طور واقعی وجود ندارند و فقط به علت محدودیت‌های حاصل از طبقه‌بندی گسسته در حدهای بالا و پایین کلاس‌بندی بوجود آمده‌است حذف می‌گردد و از

۶- مراجع

- Proceedings of the IEEE*, San Diego, CA, USA, Vol.6, 761p.
- Kaufman, A. (1975), *Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets*, Academic Press, NewYork.
- Kaymak, U. and Babusœeka R. (1995), Compatible cluster merging for fuzzy modeling, *Proceedings FUZZ-IEEE/IFES'95*, Yokohama, Japan, pp. 897-904.
- Krishnapuram, R. and Freg, C-P. (1992), Fitting an unknown number of lines and planes to image data through, compatible cluster merging. *Pattern Recognition*, 25(4): pp. 385-400.
- Lagacherie, P., Gazemier, D. R., Van Gaans, P.F.M. and Burrough, P. A. (1997), "Fuzzy k-means Clustering of Fields in an Elementary Catchment and Extrapolation to a Large Area", *GEODERMA*, Volume 77, pp.197-216.
- MathWorks Co., Fuzzy Logic Toolbox for use with MATLAB, User's Guide (2001), MathWorks, (online version), 217p.
- McBratney, A. B. and De Gruijter, J. J. (1992), A Continuum Approach to Soil Classification by Modified Fuzzy k-means with Extragrades. *J. Soil Sci*, Vol.43, pp. 159-176
- McBratney, A. B. and Odeh, I. O. A. (1997), Application of Fuzzy Logic Sets in Soil Science: Fuzzy Logic, Fuzzy Measurement and Fuzzy Decisions, *GEODERMA*, Volume 77, pp. 85-113.
- Mitra, B., Scott, H. D., Dixon, J. C. and McKimmey, J. M. (1998), Applications of Fuzzy Logic to the Prediction of Soil Erosion in a Large Watershed, *GEODERMA*, Volume 86, pp.183-209
- Nisar Ahamed, T. R., Gopal Rao, K. and Murthy, J.S.R. (2000), Fuzzy Class Membership Approach to Soil Erosion Modeling, *AGRICULTURAL SYSTEMS*, Volume 63, pp.97-110.
- Schwab, G. O., Fangemeier, D. D., Elliot, W. J. and Frevert, R. K. (1993), *Soil and Water Conservation Engineering*, Fourth Edition, Wiley and sons, 507p.
- Setnes, M. (1999), Supervised Fuzzy Clustering for Rule Extraction. *Proceedings of FUZZIEEE' 99*, pp. 1270-1274, Seoul, Korea.
- Yager, R. R. and Filev, D. P. (1994), *Essentials of Fuzzy Modling and Control*, John Wiley and sons, Newyork, USA, 388p.
- Zadeh, L. A. (1965), Fuzzy Sets, *Information & Control*, Vol. 8, pp. 338-353
- Zadeh, L. A. (1968), Fuzzy Algorithms, *Information & Control*, Vol 12, pp 94-102
- حسنى پاك. ع. ا.، شرف‌الدين. م. (۱۳۸۰)، تحليل داده‌هاى اكتشافى، دانشگاه تهران، ۹۸۷ صفحه.
- رفاهى، حسينقى. (۱۳۷۹)، فرسايش آبى و کنترل آن، انتشارت دانشگاه تهران، ۵۵۱ صفحه.
- مرکز تحقيقات منابع آب (تماب)، (۱۳۷۵)، گزارش تلفيق مطالعات منابع آب حوزه رودخانه‌هاى مازندران، جلد دوم، بررسيها و مشخصات عمومى، ۲۱۷ صفحه.
- مرکز تحقيقات منابع آب (تماب)، (۱۳۷۶)، گزارش تلفيق مطالعات منابع آب حوزه رودخانه‌هاى مازندران، جلد سوم، تجزيه و تحليل آمار و اطلاعاتي بلان آبهاى سطحى و رسوب، ۱۵۷ صفحه.
- وزارت نيرو، (۱۳۷۳)، استانداردهاى مهندسى آب، فرسايش و رسوب، نشریه شماره ۹۳، ۹۵ صفحه.
- Bezdek. J. C. (1973), *Fuzzy Mathematics in Pattern Classification*, ph. D Dissertation, Cornell University Ithaca, NY.
- Bezdek. J. C. and Pal. S. K. (1992), *Fuzzy Models for Pattern Recognition*, IEEE Press, NewYork, 539p.
- Burrough, P. A. (1986), Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, *Monograph on Soil and Land Resources Survey*, No,12, Oxford University Press, Oxford, Great Britain. 194p.
- Burrough. P. A., van Gaana, P.F.M. and Hootamans, R. (1997), Continuous Classification in Soil Survey: Spatial Correlation, Confusion and Boundries, *GEODERMA*, Volume 77, pp. 115-135.
- Chiu, S. (1994), Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation, *Proceedings of 3rd International Conference on Fuzzy Systems*, Ed: Brenji et al., pp.1240-1245, *IEEE*, Orlando, USA
- De Gruijter, J. J., Walvoort, D. J. J. and Van Gaans, P.F.M. (1997), Continuous Soil Maps – a Fuzzy Set Approach to Bridge Aggregation Levels of Process and Distribution Models, *GEODERMA*, Volume 77, pp. 169-195.
- Gath, I. and Geva, A. B. (1989), "Unsupervised Optimal Fuzzy Clustering", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(7): pp. 773-781.
- Grima, M. A. (2000), *Neuro-Fuzzy Modeling in Engineering Geology*, A. A. Balkema, Brookfield, pp. 244.
- Gustafson D. E. and Kessel W. C. (1979), Fuzzy Clustering with a Fuzzy Covariance Matrix.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳ آبان ۱۳۸۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۲۵ اردیبهشت ۱۳۸۴