

بررسی کاربرد روش فازی (Fuzzy) در طبقه‌بندی خاک‌ها، مطالعه موردی: چشم‌های سفید کرمانشاه

پرویز شکاری و مجید باقرنژاد^۱

چکیده

تغییر در ویژگی‌های خاک عمدها حالت پیوسته دارد. روشی که بتواند این پیوستگی را در نظر بگیرد، قادر به ارائه تصویر واقعی‌تری از الگوی پراکنش خاک‌ها چه در فضای رده‌بندی و چه در فضای جغرافیایی خواهد بود. منطق پیوسته فازی چنین دیدگاهی را فراهم می‌کند. در این مطالعه کارآیی این نگرش با انجام نوعی خوشبندی فازی در یک زیر حوزه در غرب ایران مورد بررسی قرار گرفت. خوشبندی از طریق کمینه سازی یک تابع عینی در تعیین درجه عضویت هر پدان در هر یک از کلاس‌ها با نمای فازی $1/15$ تا $1/5$ انجام گرفت. پس از تعیین اعتبار خوشبندی تعداد بهینه کلاس‌ها برای زیر مجموعه‌های کل، ریخت شناختی و بافت به ترتیب $4/8$ و $5/5$ تعیین شد. نمودارهای درجات عضویت تشخیص یافته به هر پدان در نمای اراضی منطقه نشانگر وجود همپوشی بین کلاس‌ها و پیوستگی قابل توجه بود. با توجه به تمایز کم خاک‌های منطقه و شباهت زیاد خواص آنها، روش مذکور از حساسیت بالایی در تشخیص تیپ‌های مختلف خاک برخوردار است. به علاوه بین کلاس‌های فازی حاصله و شکل اراضی نیز ارتباط وجود داشت. کاربرد این روش در تهیه سیستم‌های طبقه‌بندی و نیز نقشه‌های پیوسته خاک با سطح نگرشی در حد پدان قابل بررسی است.

واژه‌های کلیدی: تابع عینی، خوشبندی فازی، طبقه‌بندی پیوسته، فضای رده‌بندی

مقدمه

از ایران و از جمله مناطق غرب اشاره کرد (۱۸). در نتیجه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند رنگ، استحکام، بافت، کربنات کلسیم معادل و ظرفیت تبادل کاتیونی و حتی ویژگی‌های ریخت شناختی که از معیارهای اصلی در طبقه‌بندی و نقشه برداری خاک‌ها هستند، کاملاً نزدیک به هم است. حتی در مناطق مرطوب که تمایز خاک‌ها در نمای اراضی بیشتر است، مرز بین خاک‌ها اغلب مبهم

تغییر در ویژگی‌های خاک اغلب حالت تدریجی و پیوسته دارد (۴). اگرچه تغییرات ناگهانی نیز در خاک‌ها دیده می‌شود، ولی چنین حالاتی استثنایی هستند (۱۱). در برخی مناطق ویژگی‌های محلی، تغییرات پیوسته را در خاک‌ها تشید کرده و مرز میان آنها را کاملاً مبهم جلوه می‌دهند. به عنوان مثال می‌توان به آهک زیاد (تا بیش از ۵۰٪) و مواد مادری ریز بافت در بخش زیادی

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

روش‌های فازی در زمینه‌های بسیاری با موفقیت به کار گرفته شده‌اند. به عنوان مثال کاربرد روش فازی در تهیه نقشه خاک بر اساس تغییرات ازت، کربن آلی و بافت منجر به ایجاد کلاس‌هایی شد که ضمن پیوسته بودن، تغییر پذیری خاک را بسیار بیشتر از کلاس‌ها در روش متعارف آشکار نمودند (۲۰). در مطالعه دیگر طبقه‌بندی فازی مزارع در یک زیر حوزه کوچک مرتع بر اساس متغیرهای هیدرولوژیک به مساحت بزرگ‌تری تعیین داده شد. نتایج نشانگر خطای کمتر در کلاس‌ها و قابلیت نقشه کشی بهتر آنها نسبت به روش‌های سنتی بود (۱۰). در یک بررسی روی آلودگی خاک با فلزات سنگین، ترکیبی از روش‌های فازی و درونیابی زمین آماری به کار رفت و نقشه مرکب حاصله به خوبی تغییرات ناگهانی و تدریجی غلط از اینده‌ها را نشان می‌داد (۸). کلاس‌های پیوسته و یکپارچه به دست آمده در طبقه‌بندی فازی دو مجموعه داده اقلیمی شاهد دیگری بر سازگاری این روش با سیستم‌های پیوسته طبیعی می‌باشد (۱۲). هدف این مقاله بررسی توانایی روش خوش‌بندی فازی در طبقه‌بندی مجموعه‌های مختلفی از داده‌های خاک‌های منطقه مورد مطالعه و یافتن ارتباط بین کلاس‌های فازی حاصله با شکل اراضی به عنوان مهم‌ترین عامل بیرونی موثر در تمایز خاک‌هاست.

مواد و روش‌ها

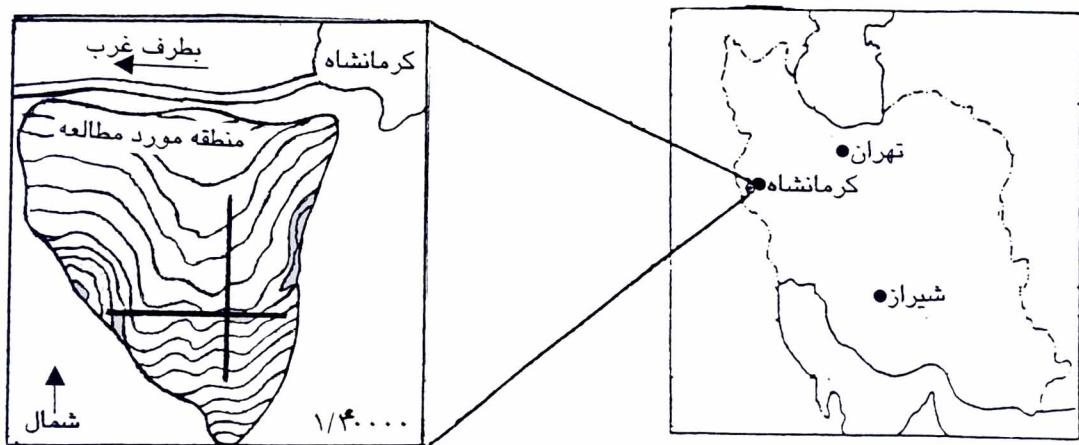
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، یک زیر حوزه کوچک در دامنه‌های غربی رشته کوه زاگرس است. این زیر حوزه در منطقه چشممه سفید کرمانشاه با عرض جغرافیایی $46^{\circ} 22'$ تا $46^{\circ} 36'$ شمالی و طول جغرافیایی $34^{\circ} 60'$ تا $34^{\circ} 64'$ شرقی، قرار دارد (شکل ۱). این زیر حوزه از نظر زمین‌شناختی، در منطقه رادیولاریت کرمانشاه (۱) قرار داشته و عمدتاً متشکل از سنگ آهک با درون لایه‌هایی از سیلیس (چرت) می‌باشد. به لحاظ فیزیوگرافی، منطقه متشکل از تپه‌های مدور با شیب دامنه یکنواخت است که در پایین دست به یک پسته منشعب از

می‌باشد (۵). در واقع ابهام و دو گانگی جزء لاینفک سیستم‌های طبیعی از جمله خاک بوده و از ساختار پیوسته این سیستم‌ها ناشی می‌شود (۱۰). در این میان، چالش اصلی نحوه برخورد با ابهام موجود در بازشناخت مرز بین خاک‌های مختلف است. به عقیده بسیاری از پژوهشگران (۴، ۱۱، ۲۰ و ۲۱)، سیستم‌های سنتی طبقه‌بندی و نقشه‌برداری خاک‌ها در اغلب موارد سازگاری خوبی با واقعیت ندارند. شاهد این ناسازگاری وجود ناخالصی در واحدهای نقشه کشی و مرزهای ناگهانی و اختیاری در نقشه‌های خاک و هدر رفت مقدار زیادی اطلاعات در فضای رده بندی است (۱۷ و ۱۱).

دلیل اصلی ناسازگاری آن است که یک ماهیت پیوسته (پیوستار Continuum) مانند خاک را نمی‌توان با مدل‌هایی که بر مبنای منطق دو ارزشی و ناپیوسته استوارند، به طور مناسب تشریح کرد. به عنوان مثال در منطق دو ارزشی قضاوت در تعلق یک پدان به یک کلاس خاک یا واحد نقشه کشی بر مبنای مقادیر صفر و یک (هست و نیست) صورت می‌گیرد. در این صورت برای خاک‌هایی با مشخصات مایین دو یا چند کلاس (حالات حد وسط) جایگاهی وجود ندارد. اصولاً، علت کاربرد منطق دو ارزشی حاکمیت آن بر تفکر بشری در طول تاریخ و هم‌چنین ساده بودن مدل‌های مبتنی بر آن می‌باشد (۱۱). از جمله این مدل‌ها، روش‌های سلسله مراتبی (Heirarchical) معمول در طبقه‌بندی هستند که هر چند در زیست‌شناسی با موفقیت به کار رفته‌اند، ولی کاربرد آنها در طبقه‌بندی خاک‌ها موفقیت آمیز نبوده است (۴ و ۲۱).

نظریه مجموعه‌های فازی بر منطق فازی (چند ارزشی) استوار بوده و اساساً به منظور اقدام در شرایط ابهام ارائه گردیده است. در این نظریه، هر فرد هم‌زمان در مجموعه‌های (کلاس‌های) مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. به دیگر سخن، کلاس‌ها همپوشی داشته و بنابراین پیوسته هستند. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو حد را می‌پذیرند. به عبارت دیگر، منطق دو ارزشی خود حالت خاصی از درجات عضویت در یک مجموعه فازی است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و مقاطع نمونه‌برداری

تبديل تیپ ساختمان خاک‌ها به متغیرهای کمی از چهار گذشتۀ فازی به نام‌های Flattness، Verticality، Horizontality و Accommodation استفاده شد (۱۴). گذرنگ خاک‌ها ابتدا به روش مانسل به دست آمده و سپس برای یکنواختی بیشتر در مقیاس به روش CIELab (۱۱) تبدیل گردید. پس از جداسازی سنگریزه در نمونه‌های خاک سطحی، در نمونه‌های هواخشک درصد شن، سلیت، رس (۷) و کربن آلی تعیین گردید. pH و قابلیت هدایت الکتریکی به ترتیب در تعلیق ۱:۵ آب/خاک (۱۳) و عصارة ۱:۵ آب/خاک (۱۶) اندازه‌گیری شد. کربنات کلسیم معادل (۱۵) نیز در نمونه‌های تحت ارض تعیین گردید. پایداری خاکدانه‌ها در سه حالت خشک، مرطوب و خیس، نوع مواد مادری خاک‌ها و عمق سولوم نیز بر حسب نوع متغیر، با مقیاس‌های اسمی (Nominal)، رتبه‌ای (Ordinal) و نسبتی (Ratio) در تجزیه داده‌ها به کار رفته‌است.

طبقه‌بندی فازی خاک‌ها

برای پردازش داده‌ها از دیدگاه فازی سه نگرش کلی Knowledge-based، الگوریتمی و شبکه‌های عصبی وجود دارد. روش به کار رفته در این بررسی، نوعی تجزیه

تیپ‌ها و دشت‌های دامنه‌ای متهی می‌شود. شبیه نقاط نمونه‌برداری از کمتر از ۵ تا بیش از ۲۰ درصد متغیر است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه به ترتیب زریک و ترمیک تعیین شده است (۱۸).

نمونه‌برداری و آزمایش‌ها

برای پوشش دادن تغییرات در نمای اراضی، نیم‌رخ‌های خاک در امتداد دو مقطع عمود برهم در جهات شمال - جنوب و غرب - شرق، حفر شدند (شکل ۱). الگوی نمونه‌برداری مقطعی، به عنوان الگوی مناسب در بسیاری از مطالعات تغییرات خاک‌ها به کار رفته است (۳، ۷ و ۲۱). نمونه‌های خاک به روش آشیانه‌ای دو مرحله‌ای که در آن هر زوج نمونه ۲ متر و هر دو زوج نمونه متوالی ۸ متر فاصله داشتند، برداشته شد. نمونه‌برداری آشیانه‌ای به عنوان یک راه کار مناسب در بازنمایی تغییرات محلی و منطقه‌ای خاک‌ها توصیه شده است (۱۴). نمونه‌های خاک از نیم‌رخ‌های حفر شده (۱۰۲ نیم‌رخ روی مقطع شمال - جنوب و ۱۴۰ نیم‌رخ روی مقطع غرب - شرق) از سطح ارض ۰-۲۰ سانتی‌متر و تحت ارض ۴۰-۶۰ سانتی‌متر گرفته شد. تشریح شکل شناختی نیم‌رخ‌ها مطابق روش USDA (۱۹) انجام شد. برای

$$m_{ij} = \frac{\left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \sum_{j=1}^c d_{ij}^{-\gamma} \right)^{-1/(\phi-1)}}{\sum_{j=1}^c d_{ij}^{-\gamma/(\phi-1)} + \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \sum_{j=1}^c d_{ij}^{-\gamma} \right)^{-1/(\phi-1)}} \quad [3]$$

$i = 1, \dots, n$

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n [m_{ij}^\phi - (1-\alpha)\alpha^{-1}d_{ij}^{-\gamma} m_{i*}^\phi] x_i}{\sum_{i=1}^n [m_{ij}^\phi - (1-\alpha)\alpha^{-1}d_{ij}^{-\gamma} m_{i*}^\phi]} \quad [4]$$

$j = 1, \dots, c$

روش تکرار برای حل معادلات فوق در الگوریتم تعدیل شده FCM که در زیر منعکس است، مستتر می‌باشد.

۱. انتخاب تعداد کلاس‌ها به طوری که $n < c < 1$.
۲. انتخاب نمای فازی بودن به طوری که $\Phi > 1$.

۳. انتخاب یک معیار فاصله $d_{(x_i, c_{iv})}^\phi$.

۴. انتخاب یک مقدار برای توقف محاسبات (ممولاء).

$. = 0.001$

۵. مقدار دهی ماتریس عضویت‌ها بر مبنای مقادیر تصادفی.

۶. محاسبه مراکز کلاس‌ها با استفاده از معادله ۴ و مرحله ۵ بالا.

۷. محاسبه مجدد ماتریس عضویت‌ها با معادله ۲ با این قید که چنانچه $d_{ij}^\phi \leq d_{ik}^\phi$ آن‌گاه $m_{ij} = 0$.

۸. اگر تفاوت ماتریس مقادیر عضویت در دو محاسبه متوالی کوچکتر یا مساوی باشد، الگوریتم متوقف شده، در غیر این صورت محاسبات از مرحله ۶ تکرار می‌شود.

برنامه FuzME3 که به زبان فرتون و در محیط ویندوز نوشته شده برای پردازش داده‌ها استفاده شده است. مهم‌ترین پارامتر در حل معادله ۱ مقدار Φ می‌باشد که تعیین کننده درجه همپوشی کلاس‌هاست. بدین معنی که چنانچه خیلی بزرگ باشد، کلاس‌ها به طرف همپوشی کامل خواهند رفت و در نهایت الگوریتم همه داده‌ها را در یک کلاس قرار خواهد داد. از طرف دیگر در مقادیر نزدیک به یک خوش‌بندی از حالت فازی خارج شده و کلاس‌ها فاقد همپوشی خواهند بود. بنابراین

خوش‌بندی (Cluster analysis) غیر سلسله مراتبی (Non-hierarchical) است که در آن کلاس‌های حاصله همپوشی دارند. روش مذکور از روش‌های الگوریتمی پردازش داده‌ها از دیدگاه منطق فازی است که بر مبنای حداقل سازی معادله ۱ انجام می‌شود. حل این معادله براساس الگوریتم تعدیل شده (Fuzzy C-Means with Extragrades) FCM به کلاس‌هایی شامل تعدادی کلاس معمولی (Normal) و یک کلاس نامعمول (Extragrade) شامل افرادی با مقادیر بسیار دور از میانگین کلاس‌های معمولی طبقه‌بندی می‌کند.

$$JE(M, c) = \alpha \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c m_{ij}^\phi d_{ij}^\gamma + (1-\alpha) \sum_{i=1}^n m_{i*}^\phi \sum_{j=1}^c d_{ij}^\gamma \quad [1]$$

که در آن:

$J_E(M, C)$: مجموع مربعات خطای داخل کلاس‌ها،

c : تعداد کلاس‌ها،

n : تعداد افراد یا پدان‌ها،

m_{ij} : مقدار عضویت فرد i در کلاس j ،

Φ : نمای فازی که تعیین کننده درجه فازی بودن کلاس‌های به دست است.

d_{ij} : فاصله آماری مقدار یک ویژگی در یک فرد با مقدار همان ویژگی در مرکز کلاس j ، و

α : پارامتر تعیین کننده میانگین عضویت فرد i در کلاس نا معمول است.

حداقل سازی معادله ۱ با حداقل کردن مقدار توابع زیر که مشتقهای لاغرانژی آن هستند، بر مبنای محاسبات عددی و به روش محاسبات تکراری صورت می‌گیرد.

$$m_{ij} = \frac{d_{ij}^{-\gamma/(\phi-1)}}{\sum_{j=1}^c d_{ij}^{-\gamma/(\phi-1)} + \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \sum_{j=1}^c d_{ij}^{-\gamma} \right)^{-1/(\phi-1)}} \quad [2]$$

$i = 1, \dots, n ; j = 1, \dots, c$

و ۲ تا ۸ برای مجموعهٔ ریخت شناختی، الگوریتم FCM بر روی هر دو مجموعه با مقادیر Φ بین ۱/۱۲ تا ۱/۶ و ۱/۱۲، ۱/۱۵، ۱/۱۹، ۱/۲۳، ۱/۳۵، ۱/۴، ۱/۵، ۱/۶) با تابع فاصلهٔ قطری اجرا شد. علت انتخاب تابع فاصلهٔ قطری آن است که مطالعات اولیه نشانگر همبستگی کم بین متغیرها در این دو مجموعه بود که به نوبه خود ناشی از یکسان نبودن نوع متغیرها می‌باشد. این در حالی است که بین متغیرها در مجموعهٔ بافت همبستگی قابل توجهی وجود داشت. کلاس‌های قابل قبول برای دو مجموعهٔ فوق به ترتیب در $\Phi = 1/27$ برای مجموعهٔ کل و $\Phi = 1/45$ برای مجموعهٔ ریخت شناختی به دست آمد. در قدم بعدی، انتخاب تعداد بهینه کلاس‌ها در هر یک از دو مجموعهٔ فوق مورد بررسی قرار گرفت.

به این منظور، مقادیر S , H' , F' به ازای تعداد کلاس‌ها محاسبه و ترسیم شد (شکل ۲). در شکل ۲ الف مقادیر مشتق‌ها در تعداد ۸ کلاس کمینه بوده و تعداد بهینه کلاس‌ها را برای مجموعهٔ کل نشان می‌دهد. در شکل ۲ ب نیز موارد مشابه برای مجموعهٔ ریخت شناختی نشان داده شده و تعداد ۴ کلاس به عنوان تعداد بهینه کلاس‌ها قابل انتخاب است. قابل ذکر آن که تغییرات S بهینه کلاس‌ها ۵ نشان داد ولی بررسی دقیق مراکز کلاس‌ها تعداد ۴ کلاس را تأیید نمود.

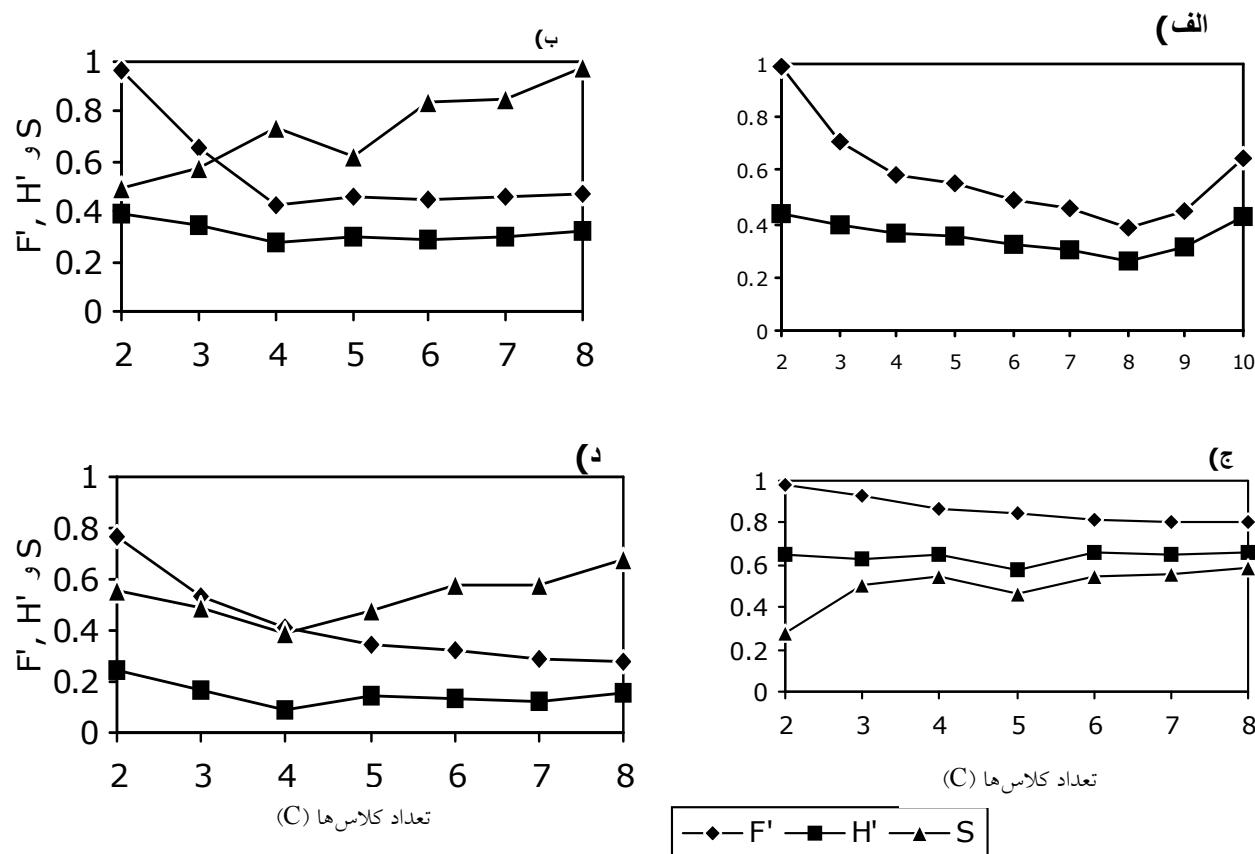
در مورد مجموعهٔ بافت نتایج تجزیه داده‌ها با دو مجموعهٔ فوق متفاوت بود، به طوری که کلیه مقادیر Φ آزمایش شده منجر به ایجاد کلاس‌های قابل قبول گردید. علت این امر ماهیت عددی و واریانس نسبتاً بالا در متغیرهای این مجموعه است که مانع از بروز مشکلات مربوط به حداقل سازی و تقسیم بر صفر می‌شود. به ازای مقادیر $\Phi = 1/16$ و $\Phi = 1/3$ که پذیری ترکیب Φ و به دست آمد (شکل ۲ ج و د). بنابراین، مشکل بعدی تعیین بهترین ترکیب Φ و از بین انتخاب‌های موجود برای مجموعهٔ بافت می‌باشد. به این منظور، روشی که توسط مک براتنی و مور (۱۲) در طبقه‌بندی فازی دو مجموعهٔ داده

تعیین مقدار بهینه Φ از اهمیت زیادی برخوردار است، چون موازنۀ بین تعداد کلاس‌ها و میزان همپوشانی آنها را کنترل می‌کند. مقادیر متفاوت Φ توسط محققان گزارش شده است. در بسیاری کارها با داده‌های فرضی $\Phi = 2$ را مناسب دانسته‌اند (۲ و ۱۱) ولی در سایر مطالعات (۸) مقدار بهینه Φ بین ۱/۳ تا ۱/۴۵ گزارش شده است. بر این اساس مقادیر متفاوتی از Φ در پردازش زیر مجموعه‌های مختلف داده‌ها شامل: مجموعهٔ داده‌های کل، مجموعهٔ داده‌های ریخت شناختی و مجموعهٔ داده‌های بافت مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی مقدار مطلوب Φ در دامنه ۱/۱۵ تا ۱/۵ به دست آمد. به منظور تعیین تعداد بهینه کلاس‌ها از بین کل گروه‌بندی‌های انجام شده برای هر مجموعهٔ داده، از توابع F' (Separation distance) S (Mean partition entropy) H' استفاده شد (۲ و ۱۰). نحوه عمل بدین ترتیب است که تغییرات مقدار این توابع یا مشتق آنها بر حسب کلاس بندی‌هایی که در Φ معین حاصل شده‌اند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد بهینه کلاس‌ها با کمینه مشتقات مذکور انطباق دارد. مقادیر این توابع همگی بر اساس اطلاعات به دست آمده از فرایند خوش‌بندی شکل می‌گیرد، بنابراین آنها را معیارهای داخلی نیز نامیده‌اند (۳).

نتایج و بحث

در $\Phi = 1/12$ و با فواصل قطری و ماهالانویس، هیچ کلاسی در مجموعه‌های کل و ریخت شناختی حاصل نشد. علت این پدیده را می‌توان به تقسیم بر صفر توسط برنامه کامپیوتری ربط داد که با نزدیک شدن مقدار Φ به ۱ صورت می‌گیرد (معادلات ۲ و ۳). هم‌چنین به ازای $\Phi = 1/5$ و بالاتر از آن، مقادیر عضویت در تمام کلاس‌ها یکسان بود، بنابراین کلاس‌ها بیش از حد فازی بودند. موارد مشابه در مطالعات دیگر گزارش شده است (۳ و ۱۰).

با انتخاب تعداد کلاس‌ها (۵) بین ۲ تا ۱۰ برای مجموعهٔ کل



شکل ۲. تغییرات F' , H' و S بر حسب تعداد کلاس‌ها برای زیر مجموعه‌های: کل با نمای فازی ۱/۲۷ (الف)، ریخت شناختی با نمای فازی ۱/۴۵ (ب)، و بافت با نمای فازی ۱/۱۶ (ج) و ۱/۳ (د)

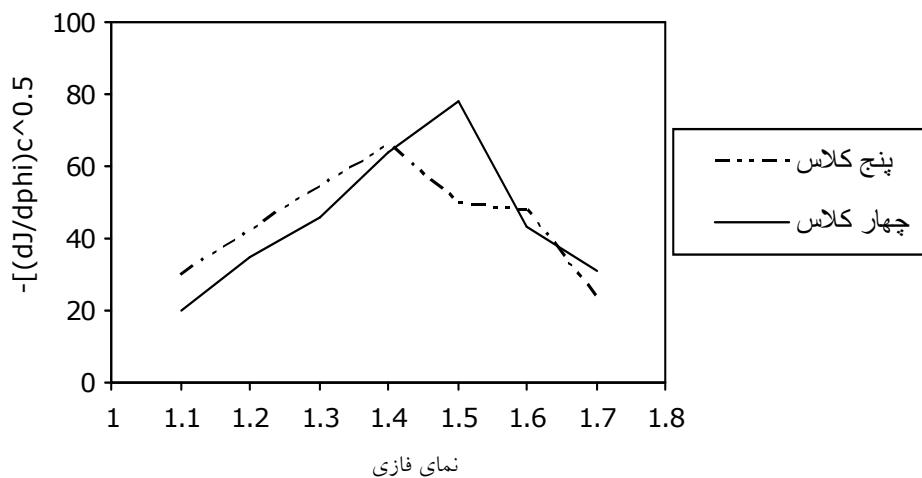
با محاسبه مشتق فوک و سپس تعیین مقدار $\left[\frac{\partial J_E}{\partial \Phi}\right]^{c^{1/5}}$ رسم آن بر حسب مقادیر Φ برای هر یک از تعداد کلاس‌های قابل قبول به دست آمده، می‌توان تعداد بهینه کلاس‌ها را مشخص کرد. تعداد کلاسی که در آن بیشینه مقدار $\left[\frac{\partial J}{\partial \Phi}\right]^{c^{1/5}}$ - کمتر باشد به عنوان تعداد بهینه کلاس‌ها قابل قبول خواهد بود. بر این اساس، مقادیر $\left[\frac{\partial J}{\partial \Phi}\right]^{c^{1/5}}$ - برای ۴ و ۵ کلاس در مجموعه بافت، به ازای $\Phi = 1/15 - 1/7$ محاسبه و ترسیم گردید که در شکل ۳ منعکس است.

ملاحظه می‌شود که عبارت $\left[\frac{\partial J}{\partial \Phi}\right]^{c^{1/5}}$ - برای $c = 4$ به ازای $\Phi = 1/5$ و برای $c = 5$ به ازای $\Phi = 1/4$ حداقل می‌باشد.

اقلیمی به کار رفته است، مورد استفاده قرار گرفت. ثابت شده است که اگر مقدار Φ به بینهایت میل کند، مقدار معادله ۱ به صفر نزدیک می‌شود و این به معنای کاهش یکنواخت J_E (Monotonic) با Φ است (۲). به همین دلیل می‌توان فرض کرد که بهترین تعداد کلاس‌ها در مجموعه داده مورد نظر همراه با یک تغییر بزرگ در شیب J_E یا مشتق آن همراه است. با مشتق گیری از J_E نسبت به Φ می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} \frac{\partial J_E}{\partial \Phi} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c m_{ij}^\phi \log(m_{ij}) d_{ij}^\chi \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c [m_{ij} \log(m_{ij})] [m_{ij}^{(\phi-1)} d_{ij}^\chi] \end{aligned}$$

[۵]



شکل ۳. تغییرات $[(\frac{\partial J}{\partial \Phi})c^{0.5}]$ بر حسب Φ برای تعداد چهار کلاس و پنج کلاس
حاصل از طبقه‌بندی فازی مجموعه بافت

نسبتاً خوب است. در برخی کلاس‌های مجموعه ریخت شناختی (شکل ۶) وجود قله‌های مرتفع و کوتاه دامنه مؤید پیوستگی کمتر می‌باشد که عمده‌تاً ناشی از طبیعت ناپیوسته متغیرهای است. نکته دیگر آن که درجه همپوشی بین کلاس‌ها در طول دو مقطع نمونه‌گیری تفاوت داشت. به عبارت دیگر تغییرات خاک‌ها در نمای اراضی منطقه در دو جهت نمونه‌گیری متفاوت بود. این تفاوت در تحلیل زمین آماری داده‌ها هم تأیید شد. تغییرات ناهمگون خاک‌ها در جهات مختلف معمولاً دیده می‌شود و در مطالعات زیادی گزارش شده است (۴، ۹ و ۱۴).

مراکز کلاس‌ها

جدول ۱ خصوصیات عمدهٔ مراکز ۲ کلاس از ۸ کلاس مشخص شده در مجموعه داده‌های کل را نشان می‌دهد. در جدول ۲ نیز مراکز کلاس‌های پنجگانه مجموعه بافت ارائه شده است. در جدول اخیر، مقادیر مراکز کلاس‌های بافت برای برخی متغیرها مثلاً رس تحت ارض در کلاس‌های C و D چندان متفاوت نیست (اعداد گرد شده‌اند). با این حال، پدان‌هایی با ویژگی‌های نزدیک به مراکز این کلاس‌ها در کلاس‌های متفاوتی قرار گرفته‌اند (شکل ۶).

هم‌چنین بیشینه تغییرات مشتق برای $c = 5$ از $c = 4$ کوچک‌تر است. بنابراین، ترکیب بهینه c و Φ برای مجموعه داده‌های بافت خاک به ترتیب $c = 5$ و $\Phi = 1/4$ است.

کلاس‌های فازی حاصله

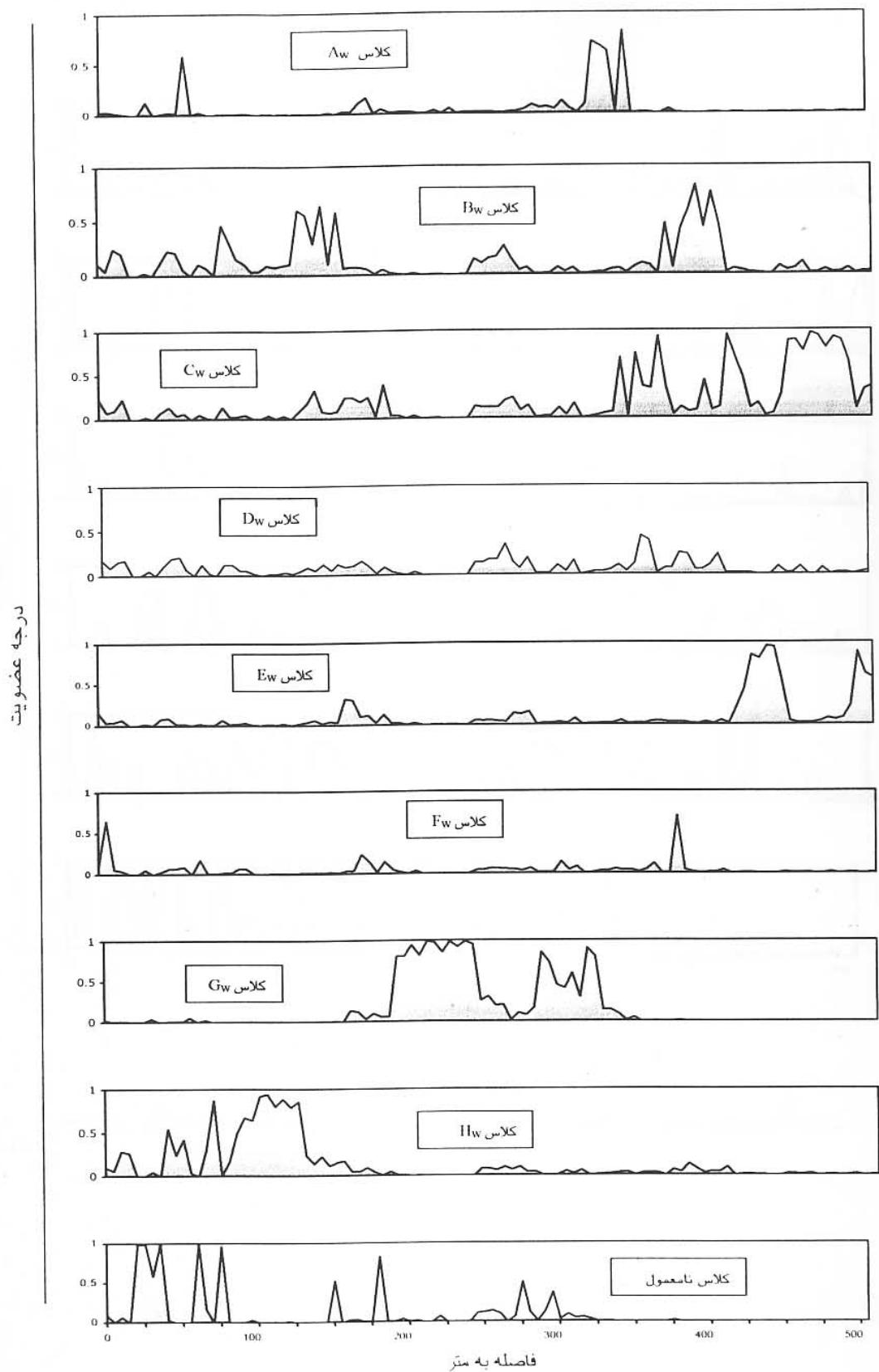
به طور کلی طبقه‌بندی فازی یک مجموعه داده منجر به تولید یک ماتریس مقادیر عضویت و یک ماتریس شامل مراکز کلاس‌ها می‌گردد. مقادیر عضویت، درجه تعلق هر فرد را به هر یک از کلاس‌های فازی که نسبت به مراکز کلاس‌ها محاسبه شده، نشان می‌دهند. مراکز محاسبه شده برای هر کلاس مشخصه آن کلاس می‌باشد. به منظور بررسی توزیع خاک‌های مختلف در طول مقاطع نمونه‌گیری، نمودار درجات عضویت پدان‌ها در هر کلاس بر حسب فاصله روی مقاطع ترسیم شد که جهت اختصار تنها نمودارهای مقطع شمال - جنوب ارائه گردید (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). با توجه به نمودارها مشخص است که اولاً کلاس‌های حاصله پیوستگی خوبی دارند و دوماً بین کلاس‌ها همپوشی وجود دارد. چنین همپوشی و پیوستگی در کلاس‌های به دست آمده از FCM در سایر مطالعات (۴، ۶، ۱۰) هم به دست آمده است. پیوستگی در کلاس‌های نامعمول نیز

جدول ۱. تشریح خصوصیات عمدۀ مراکز دو کلاس B و A از مجموعه کل

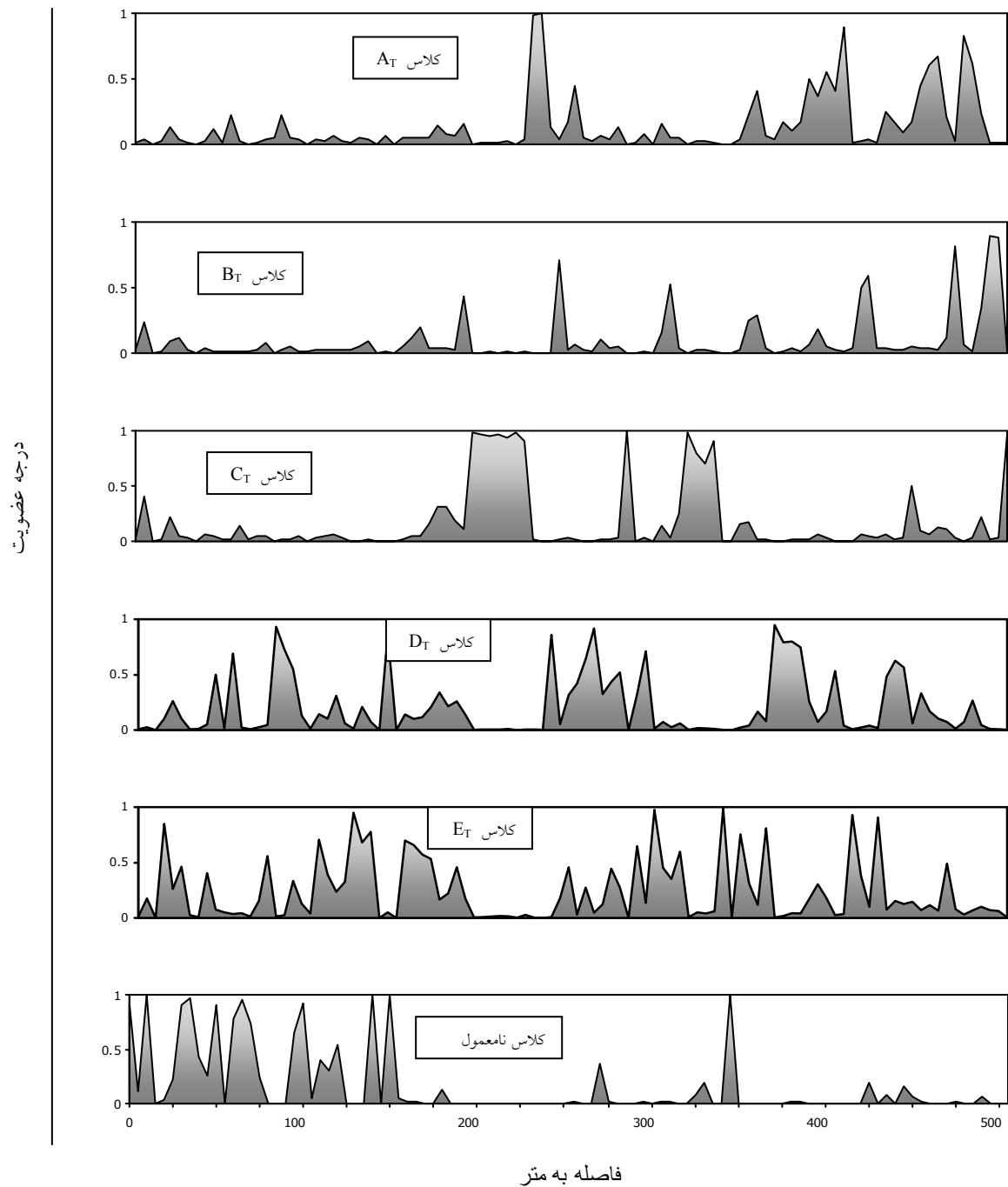
کلاس	ویژگی‌های مرکز کلاس
A _W	خاکی است کم عمق به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد تیره (10YR 3.5/4.5) با بافت رسی سنگریزه دار (٪.۳۳/۵) ساختمان کروی متوسط با قوام حد واسط و واکنش شیمیایی ۸/۱ که بر روی لایه‌ای به رنگ قهوه‌ای تیره مایل به زرد (10YR 3.5/4) با بافت رسی تقریباً بدون ساختمان (توده‌ای) و واکنش شیمیایی ۸/۲ قرار دارد. عمق سولوم ۲۶ سانتی‌متر که بر روی سنگ آهک و در شیب‌های تند واکنش شیمیایی ۸/۲ تشکیل شده است.
B _W	خاکی است عمیق به رنگ قهوه‌ای (5/3 10YR) با بافت رسی (٪.۱۰ سنگ ریزه) ساختمان کروی ریز با قوام ضعیف و واکنش شیمیایی ۸/۱۴ که بر روی لایه‌ای به رنگ قهوه‌ای تیره تا قهوه‌ای تیره مایل به زرد (7.5YR 5/3) با بافت رسی و ساختمان مکعبی زاویه‌دار متوسط و واکنش شیمیایی ۸/۲ قرار دارد. عمق سولوم ۷۵ سانتی‌متر که بر روی سنگ آهک و با شیب ۵-۱۱٪ تشکیل شده است.

جدول ۲. مراکز پنج کلاس فازی به دست آمده برای مجموعه داده‌های بافت و محل نسبی آنها در چشم انداز منطقه

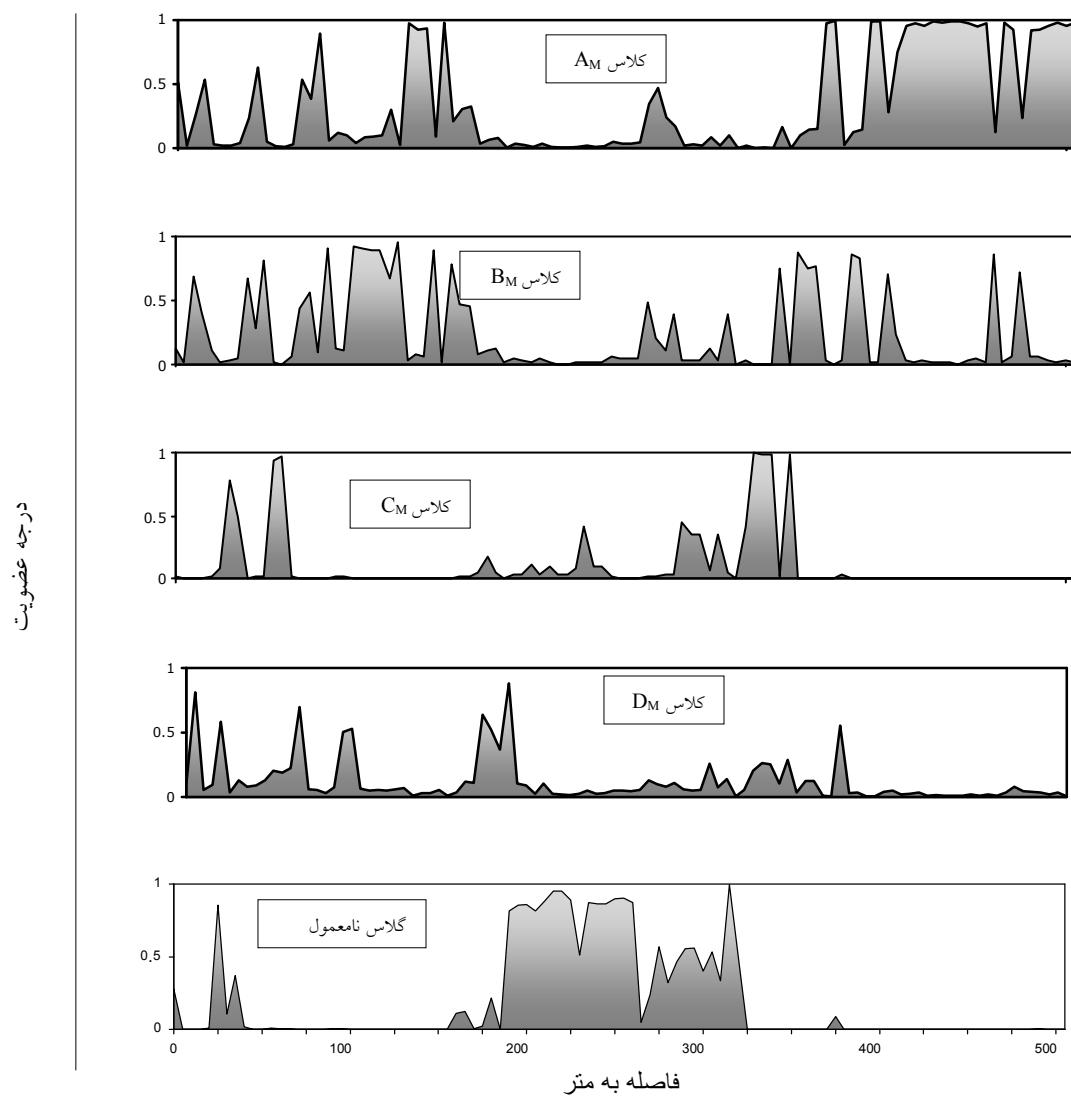
کلاس	تحت الارض					سطح الارض				
	کلاس بافت و مکان نسبی در منطقه	شن	رس	سیلت	کلاس بافت و مکان نسبی در منطقه	شن	رس	سیلت	سنگریزه	٪
A _T	رسی سنگریزه دار بر روی رسی - عمدتاً بر روی دامنه‌های با شیب تا ۸٪	۳۵	۵۱	۱۴	۱۹	۳۵	۵۱	۱۴	۱۹	۳۵
B _T	رسی سنگریزه دار بر روی رسی - دامنه‌های ناهموار تپه‌ها بوزیره روی مقطع شرقی - غربی با شیب تا ۹٪	۳۰	۵۱	۱۹	۲۲	۳۷	۵۰	۱۳	۱۲	۳۷
C _T	رسی خیلی سنگریزه دار بر روی رسی - عمدتاً بر روی پشهه منشعب از تپه‌ها با شیب ۱۰-۱۵٪	۳۵	۴۷	۱۸	۴۰	۳۶	۴۶	۱۸	۱۸	۳۶
D _T	رسی بر روی رسی - بر روی شیب‌های تند دامنه تپه‌ها با شیب بیش از ۱۷٪	۳۶	۴۷	۱۷	۱۲	۳۶	۴۶	۱۸	۱۸	۳۶
E _T	رسی بر روی رسی سیلتی - عمدتاً بر روی مقطع شمالی - جنوبی بر روی شیب‌های تند	۳۴	۴۸	۱۹	۱۸	۴۱	۴۳	۱۷	۱۷	۴۱



شکل ۴. درجات عضویت حاصل از طبقه‌بندی فازی مجموعه کل در مقطع شمال - جنوب



شکل ۵. درجات عضویت حاصل از طبقه‌بندی فازی مجموعه بافت در مقطع شمال - جنوب



شکل ۶. درجات عضویت حاصل از طبقه‌بندی فازی مجموعه شکل شناختی در مقطع شمال – جنوب

عضویت، متغیرهای اندازه‌گیری شده در چند پدان با مقادیر عضویت بالا و پایین در یک کلاس با مرکز آن کلاس مورد مقایسه قرار گرفت. جدول ۳ نتایج این مقایسه را برای متغیرهای مجموعه بافت در برخی از پدان‌ها نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که درجه عضویت هر پدان در یک کلاس خاص با فاصله مقدار متغیر مورد نظر از میانگین آن در مرکز کلاس مناسب است. این موضوع در سایر مطالعات (۸ و ۱۲) هم گزارش شده و مؤید اعتبار خوشبندی انجام شده می‌باشد.

دلیل این امر را می‌توان به تفاوت در میانگین سایر متغیرها (در اینجا مقدار سنگریزه) در مرکز کلاس‌ها نسبت داد. متغیرهایی که در مرکز کلاس‌های مختلف تفاوت چشمگیر دارند از اهمیت زیادی برخوردارند (۱۰). به طور کلی تغییرات ناگهانی برخی ویژگی‌ها و تدریجی برخی دیگر در خاک کاملاً عادی است (۹) و لحاظ کردن آن نشانگر حساسیت و تناسب روش فازی می‌باشد.

به منظور ارزیابی عملکرد FCM در اختصاص درجات

جدول ۳. مقایسه مقادیر میانگین در مراکز پنج کلاس فازی بافت با برخی از پدانها و اثر آن بر درجه عضویت

شماره پدان	کلاس و درجه عضویت	متغیر بافت	مقدار متغیر بافت در پدان	مقدار متغیر بافت	مقدار متغیر بافت	شماره پدان
۴۷	۰/۹۸۱ ^A	شن سطح الارض	۱۵	۲۲	۱۴/۰	۱۴/۰
۲۶	۰/۹۴۹ ^E	رس سطح الارض	۴۱	۵۱	۴۳	۴۳
۱۶۵	۰/۹۱۲ ^B	سیلت سطح الارض	۳۹	۴۶	۳۷	۳۷
۴۵	۰/۹۸۹ ^C	سنگریزه سطح الارض	۳۶	۲۶	۴۰	۴۰
۱۰۵	۰/۹۲۲ ^D	شن تحت الارض	۱۷	۲۰	۱۷/۵	۱۷/۵
۱۲۸	۰/۹۳۶ ^B	رس تحت الارض	۵۰	۴۳	۵۱	۵۱
۲۶	۰/۹۴۹ ^E	سیلت تحت الارض	۳۶	۴۳	۳۴	۳۴

خیلی کم است در یک کلاس به نام کلاس نامعمول قرار می‌گیرند. در واقع وجه مشترک پدانها در این کلاس مقادیر دور از مراکز کلاس‌های عادی است. بنابراین، مرکزی برای میانگین مقادیر در آن وجود ندارد. مقایسه مقدار برخی متغیرها در مراکز کلاس‌های عادی با پدان‌های نامعمول نشان داد که پدان‌های تخصیص یافته به این کلاس به ازای یک یا چند متغیر مقادیر بالا یا پایین دارند. مثلاً پدان‌های کلاس نامعمول در مجموعه بافت مقادیر شن، سیلت، رس یا سنگریزه خیلی بالا یا خیلی پایین تر از مراکز کلیه کلاس‌های عادی داشتند. نتایج مشابه در سایر مطالعات گزارش شده است (۱۱ و ۱۴). به تعبیری این کلاس شامل پدان‌هایی است که به صورت ناخالصی بین سایر واحدهای طبقه‌بندی پخش شده‌اند. این کلاس با واحد Soil Complex در نقشه‌های خاک متعارف قابل مقایسه است (۱۴).

نتیجه عملی این نکته آن است که روش فازی در پیش‌بینی ویژگی‌های خاک هر پدان در واحدهای نقشه کشی یا رده‌بندی تغییرپذیری خاک را در نظر گرفته و بسیار نزدیک به واقعیت عمل می‌کند. حال آن که در روش ستی فرض بر آن است که تمام نقاط موجود در یک واحد نقشه کشی دارای خواص یکسان و منطبق با نیم‌رخ شاهد بوده و بنابراین پیش‌بینی هر ویژگی برای تمام نقاط یکسان است (۴).

قابل ذکر آن که مقادیر عضویت پایین در جدول ۳ به معنی عضویت آن پدان در کلاس مربوطه نیست و معمولاً آستانه مقادیر عضویت در تعلق یک فرد به یک کلاس ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (۱۱).

کلاس نامعمول

پدان‌هایی که به هیچ کلاسی تعلق نداشته یا درجه عضویت آنها

فرایندها از یک طرف و پاسخ خاک از طرف دیگر می‌باشد که برای ویژگی‌های مختلف متفاوت است (۱۴)، به همین دلیل پیوستگی کلاس‌های فازی تابعی از نوع ویژگی‌های به کار رفته در طبقه‌بندی است.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این بررسی نشان داد که با استفاده از روش FCM در طبقه‌بندی چند متغیره خاک، می‌توان کلاس‌های پیوسته و قابل قبولی که دارای همپوشی هستند به دست آورد. این کلاس‌ها که به طور طبیعی و به صورت زیر ساختارها (زیر مجموعه‌ها) در مجموعه اصلی داده‌ها وجود دارند و در حین فرایند طبقه‌بندی بازشناسی و مشخص می‌شوند. این ویژگی عمدترين امتياز روش FCM نسبت به روش‌های متعارف است که در آنها از مرزها و مقادير قراردادي برای جداسازی کلاس‌ها استفاده می‌شود.

وجود همپوشی در کلاس‌های حاصله سازگاری روش‌های فازی را با واقعیت تغیيرات خاک نشان می‌دهد. هم‌چنان‌پیوستگی قابل توجه به دست آمده در این کلاس‌ها بیانگر سهولت ارائه نتایج به شکل نقشه می‌باشد.

کلاس‌های فازی اثر شکل اراضی را به عنوان عامل بیرونی در تمايز خاک‌های منطقه به صورت تفاوت‌های فیزیکی و ریخت شناختی نشان می‌دادند. این رابطه تبعی به ماهیت ویژگی‌های به کار رفته در طبقه‌بندی بستگی دارد.

ارتباط کلاس‌های فازی با شکل اراضی

یکی از سوالات اساسی که باید در طبقه‌بندی پاسخ داده شود، آن است که آیا کلاس‌های حاصله اطلاعاتی راجع به فرایندهای به وجود آورنده آنها در خود دارند یا خیر؟ (۱۱). اگر بین فرایندها و کلاس‌ها رابطه‌ای برقرار باشد بایستی مشخص شود. در مرحله بعد باید رابطه بین عوامل بیرونی و فرایندها را جستجو کرد. چنانچه این عوامل به راحتی قابل مشاهده و اندازه‌گیری باشند، می‌توان رابطه‌ای بین کلاس‌ها و عوامل بیرونی به دست آورد. رابطه حاصل در طبقه‌بندی و نقشه برداری سریع مجموعه‌های داده مفید خواهد بود، و این از اهداف اساسی هر سیستم طبقه‌بندی است (۵). در جداول ۱ و ۲ علاوه بر میانگین کلاس‌ها موقعیت نسبی آنها در منطقه و شبیه نیز مشخص شده است. از آنجا که مواد مادری خاک‌ها در کل منطقه (به جز بخش انتهایی مقاطع که مواد آبرفتی است) تا حد زیادی یک‌نواخت است، شبیه زمین مهم‌ترین عامل مؤثر در تمایز خاک‌ها در منطقه به نظر می‌رسد. مثلاً رس تحت الارض در شبیه‌های کمتر بیشتر است (جدول ۲)، یا این که در برخی پدان‌ها در شبیه کم دامنه‌ها توزیع مجدد آهک دیده می‌شود (جهت اختصار، مراکز کلیه کلاس‌ها در جدول ۱ ارائه نگردید). بنابراین می‌توان گفت که تغیيرات موجود در خاک‌ها عمده‌تاً معلوم اثر تعیین کننده درجه شبیه بر فرایندهای خاک‌زایی در منطقه است.

انعکاس اثر شکل اراضی بر کلاس‌های خاک در نتایج حاصل از یک خوش‌بندی کلاسیک (نایپوسته) نیز تأیید شده است (۲۱). با این همه، رابطه خاک - شکل اراضی برایند اثر

منابع مورد استفاده

۱. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۳۶۰. گزارش مطالعات خاک‌شناسی نیمه تفصیلی دشت‌های حسن آباد، تالان دشت، کرند و بیونیج (استان کرمانشاهان). نشریه فنی شماره ۶۰۱، وزارت کشاورزی، ۸۵ صفحه.
2. Bezdek, J. C. 1981. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. Plenum Press, New York. 256 pp.
3. Burrough, P. A., P. F. M. van Gaans and R. Hosstmans. 1997. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries. Geoderma 77: 115-135.

4. De Gruijter, J. J., D.J.J. Walvorrt and F.P.M. van Gaans. 1997. Continuous soil maps: a fuzzy set approach to bridge the gap between aggregation levels of process and distribution models. *Geoderma* 77: 169-195.
5. De Bruin, S. and A. Stein. 1998. Soil-landscape modeling using fuzzy c-means clustering of attribute data derived from a Digital Elevation Model (DEM). *Geoderma* 83: 17-33.
6. Dobermann, A., T. Oberthur. 1997. Fuzzy mapping of soil fertility- a case study on irrigated riceland in the Phillipins. *Geoderma* 77: 317-339.
7. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1990. Particle-size analysis. pp. 383-411. In: A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical properties. SSSA monograph No. 9. 2nd ed., Madison, WI.
8. Hendricks Franssen, H. J. W. M., A. C. van Eijnsbergen and A. Stien. 1997. Use of spatial prediction techniques and fuzzy classification for mapping soil pollutants. *Geoderma* 77: 243-262.
9. Hole, F.D. and J. B. Campbell. 1985. *Soil Landscape Analysis*. Rowman and Allanheld, Totowa, NJ.
10. Lagacherie, P., D. R. Cazemier, P. F. M. van Gaans and P. Burrough. 1997. Fuzzy k-means clustering of fields in an elementary catchment and extrapolation to a larger area. *Geoderma* 77: 197-216.
11. McBratney, A. B. and J. J. DeGruijter. 1992. A continuum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragrades. *J. Soil Sci.* 43: 159-175.
12. McBratney, A. B. and A. W. Moore. 1985. Application of fuzzy sets to climatic classification. *Agric. For. Meteorol.* 35: 165-185.
13. McLean, O. P. 1990. Soil pH and lime requirement . pp: 199-224. In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and biological properties. SSSA Monograph No. 9. 2nd ed., Madison, WI.
14. Odeh, I. O. A., D. J. Chittleborough and A. B. McBratney. 1991. Elucidation of soil-landform interrelationships by canonical ordination analysis. *Geoderma* 49:1-32.
15. Richards, L. A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Handbook No. 60. U.S. Govt. Printing Office, Washington, DC. 160 pp.
16. Rhoades, J. R. 1990. Soluble salts. pp. 167-180. In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.). *Methos of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and biological properties. SSSA Monograph No. 9. 2nd ed. Madison, WI.
17. Salehi, M. H., M. Karimian Eghbal and H. Khademi. 2003. Comparison of soil variability in a detailed and reconnaissance soil map in central Iran. *Geoderma* 111: 45-56.
18. Shekaari, P. 1994. Genesis, morphology and mineralogy of soils of Hasan-abad plain (Kermanshah province). M.Sc. Thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran.
19. Soil Survey Staff. 1962. *Soil Survey Manual*. Handbook 18, Govt Printing Office pub., Washington D.C.
20. Van Alphen B. J. and J. J. Stoorvogel. 2000. A functional approach to soil characterization in support of precision agriculture. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 1706-1713.
21. Young, F. J. and R. D. Hammer. 2000. Defining geographic soil boundaries by landscape position, Soil Taxonomy, and cluster analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 989-998.