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

پرویز شکاری و مجید باقرنژاد[۱]

چکیده

تغییردر ویژگی‌های خاک عمدتاً 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 خوشه بندی فازی در یک زیر حوزه در غرب ایران مورد بررسی قرار گرفت. خوشه‌بندی از طریق کمینه سازی یک تابع عینی در تعیین درجه عضویت هر پدان در هر یک از کلاس‌ها با نمای فازی ۱/۱۵ تا ۱/۵ انجام گرفت. پس از تعیین اعتبار خوشه‌بندی تعداد بهینه کلاس‌ها برای زیر مجموعه‌های کل، ریخت شناختی و بافت به ترتیب ۸، ۴ و۵ تعیین شد. نمودارهای درجات عضویت تخصیص 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، خوشه‌بندی فازی، طبقه‌بندی پیوسته، فضای رده‌بندی

مقدمه

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 تشدید 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 از ایران و از جمله مناطق غرب اشاره کرد (۱ و 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

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]

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 (۱۱ و ۱۷).

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 مناسبی 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 مابین دو یا چند کلاس (حالات حد واسط) 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.

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 مرجع بر اساس متغیرهای هیدرولوژیک به مساحت بزرگ‌تری تعمیم 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 غلظت آلاینده‌ها را نشان می‌داد (۸). کلاس‌های پیوسته و یک‌پارچه به دست آمده در طبقه بندی فازی دو مجموعه داده اقلیمی شاهد دیگری بر سازگاری این روش با سیستم‌های پیوسته طبیعی می باشد (۱۲). هدف این مقاله بررسی توانایی روش خوشه‌بندی 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.

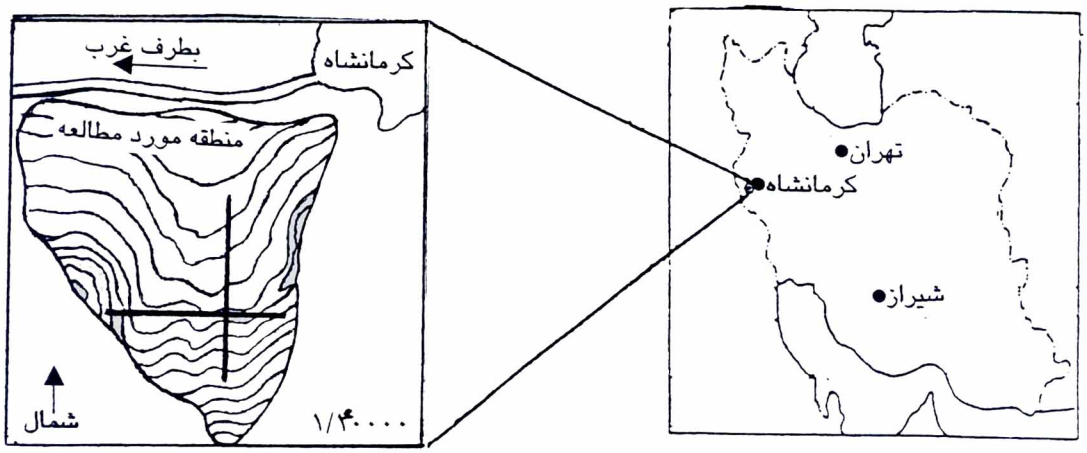
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، یک زیر حوزه کوچک در دامنه‌های غربی رشته کوه زاگرس است. این زیرحوزه در منطقه چشمه سفید کرمانشاه با عرض جغرافیایی ´۳۴°/۶۰ تا ´۳۴°/۶۴ شمالی و طول جغرافیایی ´۴۶°/۲۲ تا ´۴۶°/۳۶ شرقی، قرار دارد (شکل ۱). این زیر حوزه از نظر زمین شناختی، 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 دامنهٔ یک‌نواخت است که در پایین دست به یک پشته منشعب از

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و مقاطع نمونه‌برداری

تپه‌ها و دشت‌های دامنه‌ای منتهی می‌شود. شیب 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 راه‌کار 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 الارض ۲۰-۰ سانتی‌متر و تحت الارض ۶۰-۴۰ سانتی‌متر گرفته شد. تشریح شکل شناختی نیم‌رخ‌ها مطابق روش USDA (۱۹) انجام شد. برای تبدیل تیپ ساختمان خاک‌ها به متغیرهای کمّی از چهار کُد فازی به نام‌های Flattness, Verticality, Horizontality و Accomodation استفاده شد (۱۴). کُد رنگ 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 هوا خشک درصد شن، سلیت، رس (۷) و کربن آلی تعیین گردید. pH و قابلیت هدایت الکتریکی به ترتیب در تعلیق ۵ :۱ آب/ خاک (۱۳) و عصارهٔ ۵ :۱ آب/ خاک (۱۶) اندازه‌گیری شد. کربنات کلسیم معادل (۱۵) نیز در نمونه‌های تحت الارض تعیین گردید. پایداری خاکدانه‌ها در سه حالت خشک، مرطوب و خیس، نوع مواد مادری خاک‌ها و عمق سولوم نیز برحسب نوع متغیر، با مقیاس‌های اسمی (Nominal)، رتبه‌ای (Ordinal)، و نسبتی (Ratio) در تجزیهٔ داده‌ها به کار رفتند.

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]

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

$$J_E(M,c)=\alpha\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{c}m_{ij}^{\phi}\,d_{ij}^{2}+(1-\alpha)\sum_{i=1}^{n}m_{i*}^{\phi}\sum_{j=1}^{c}d_{ij}^{-2} \qquad [1]$$

که درآن:

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

c : تعداد کلاس‌ها،

n : تعداد افراد یا پدان‌ها،

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

Φ : نمای فازی که تعیین کنندهٔ درجهٔ فازی بودن کلاس‌های به دست است.

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

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

حداقل سازی معادله ۱ باحداقل کردن مقدار توابع زیر که مشتقات لاگرانژی آن هستند، برمبنای محاسبات عددی و به روش محاسبات تکراری صورت می‌گیرد.

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

$i=1,\ldots,n;\quad j=1,\ldots,c$

$$m_{i*}=\frac{\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\sum_{j=1}^{c}d_{ij}^{-2}\right)^{-1/(\phi-1)}}{\sum_{j=1}^{c}d_{ij}^{-2/(\phi-1)}+\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\sum_{j=1}^{c}d_{ij}^{-2}\right)^{-1/(\phi-1)}} \qquad [3]$$

$i=1,\ldots,n$

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

$j=1,\ldots,c$

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

۱. انتخاب تعداد کلاس‌ها به طوری که $1<c<n$.

۲. انتخاب نمای فازی بودن به طوری که $\Phi>1$.

۳. انتخاب یک معیار فاصله $d^2_{(x_i,c_{iv})}$.

۴. انتخاب یک مقدار برای توقف محاسبات (معمولاً $\varepsilon=0/001$).

۵. مقدار دهی ماتریس عضویت‌ها بر مبنای مقادیر تصادفی.

۶. محاسبهٔ مراکز کلاس‌ها با استفاده از معادلهٔ ۴ و مرحلهٔ ۵ بالا.

۷. محاسبه مجدد ماتریس عضویت‌ها با معادلهٔ ۲ با این قید که چنانچه $d_{ij}^2\cong 0$ آنگاه $m_{ij=0}$.

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

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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]

تعیین مقدار بهینه Φ از اهمیت زیادی برخوردار است، چون موازنهٔ بین تعداد کلاس‌ها و میزان همپوشی آنها را کنترل می‌کند. مقادیر متفاوت Φ توسط محققان گزارش شده است. در بسیاری کارها با داده‌های فرضی Φ =۲ 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: مجموعه داده‌های کل، مجموعه داده‌های ریخت شناختی و مجموعه 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 مجموعه داده، از توابع F´ (Fuzziness performance index)، H´(Mean partition entropy) و S (Separation distance) استفاده شد (۲ و۱۰). نحوه عمل بدین ترتیب است که تغییرات مقدار این توابع یا مشتق آنها برحسب 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 خوشه‌بندی شکل می‌گیرد، بنابراین آنها را معیارهای داخلی نیز نامیده‌اند (۳).

نتایج و بحث

در Φ = ۱/۱۲ و با فواصل قطری و ماهالانوبیس، 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 Φ =۱/۵ 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 و۱۰).

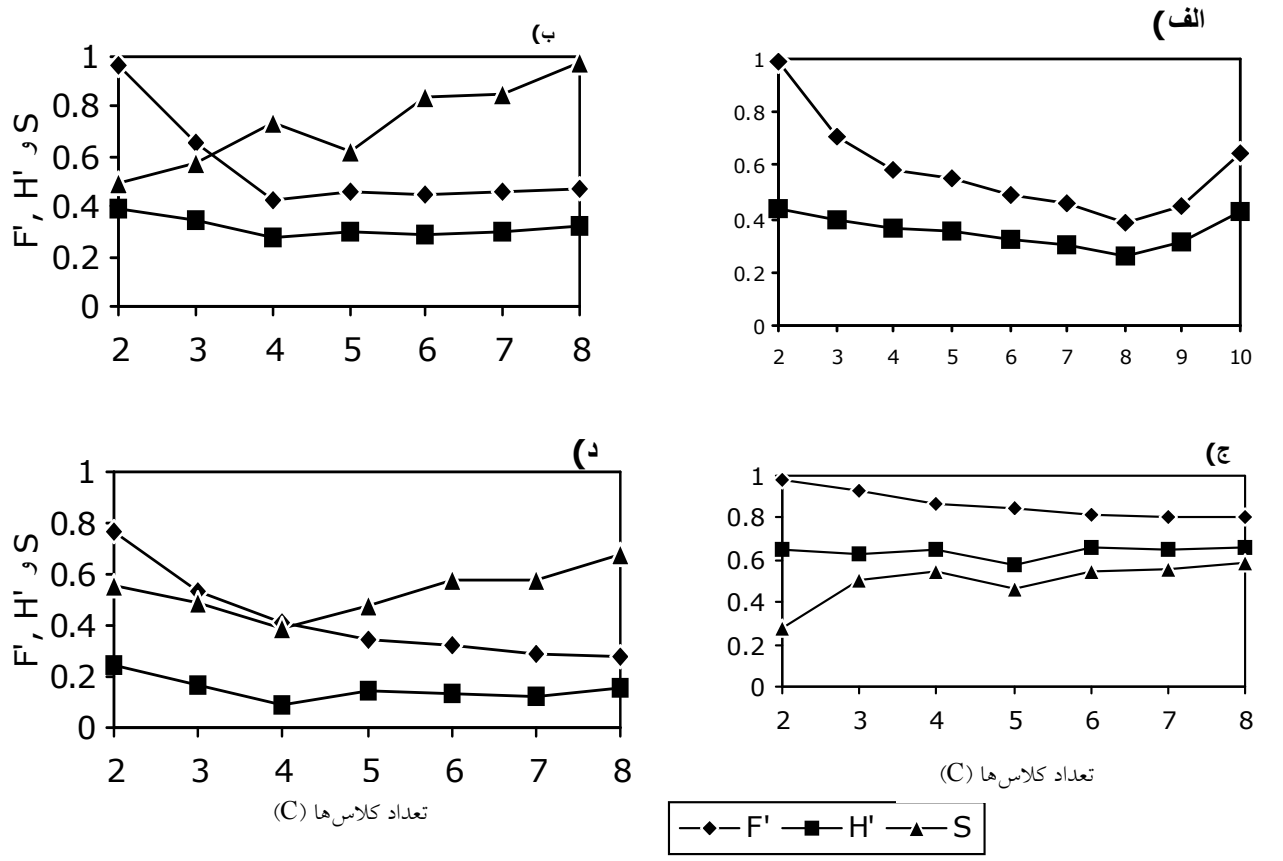
با انتخاب تعداد کلاس‌ها (c) بین ۲ تا ۱۰ برای مجموعهٔ کل و ۲ تا ۸ برای مجموعهٔ ریخت شناختی، الگوریتم FCM بر روی هر دو مجموعه با مقادیرΦ بین ۱/۱۲ تا ۱/۶ (۱/۱۲، ۱/۱۵، ۱/۱۹ ، ۱/۲ ، ۱/۳ ، ۱/۳۵ ، ۱/۴ ، ۱/۵ ، ۱/۶) با تابع فاصلهٔ قطری اجرا شد. علت انتخاب تابع فاصله قطری آن است که مطالعات اولیه نشانگر هم‌بستگی کم بین متغیرها در این دو مجموعه بود که به نوبه خود ناشی از یکسان نبودن نوع متغیرها می‌باشد. این درحالی است که بین متغیرها در مجموعهٔ بافت هم‌بستگی قابل توجهی وجود داشت. کلاس‌های قابل قبول برای دو مجموعهٔ فوق به ترتیب در Φ=۱/۲۷ برای مجموعه کل و Φ=۱/۴۵ برای مجموعه ریخت شناختی به دست آمد. در قدم بعدی، انتخاب تعداد بهینه کلاس‌ها در هر یک از دو مجموعه 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 ۲ب 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 را 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 Φ=۱/۱۶ و Φ=۱/۳ که ابتدا بر روی مجموعه بافت اعمال شد، تعداد بهینه کلاس‌ها به ترتیب ۴ و ۵ به دست آمد (شکل ۲ ج و د). بنابراین، مشکل بعدی تعیین بهترین ترکیب Φ و c از بین انتخاب‌های موجود برای مجموعه بافت می‌باشد. به این منظور، روشی که توسط مک براتنی و مور (۱۲) در طبقه‌بندی فازی دو مجموعه داده

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]



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)

اقلیمی به کار رفته است، مورد استفاده قرار گرفت. ثابت شده است که اگر مقدارΦ به بینهایت میل کند، مقدار معادله ۱ به صفر نزدیک می‌شود و این به معنای کاهش یکنوای (Monotonic) J_E 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 :

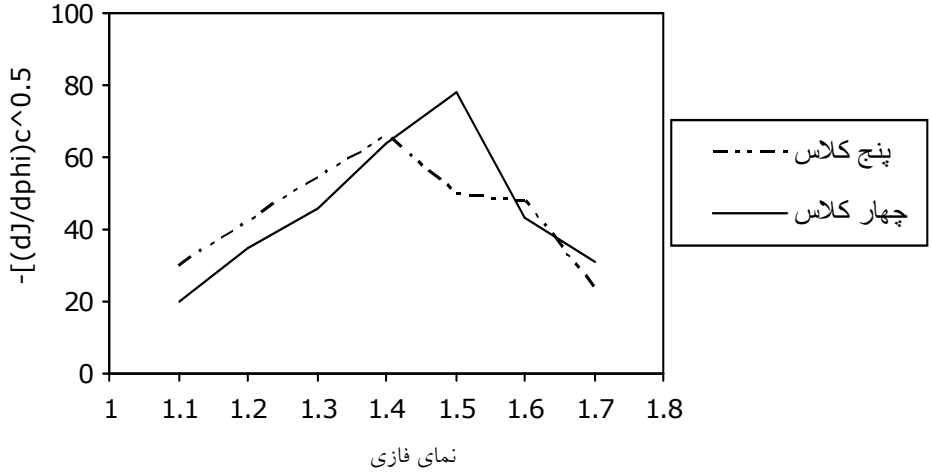
$$\frac{\partial JE}{\partial \phi} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{c} m_{ij}^{\phi}\log(m_{ij})d_{ij}^{2}$$
$$= \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{c}\left[m_{ij}\log(m_{ij})\right]\left[m_{ij}^{(\phi-1)}d_{ij}^{2}\right] \quad [۵]$$

با محاسبه مشتق فوق و سپس تعیین مقدار $[(\frac{\partial J_E}{\partial \Phi})c^{0.5}]-$ و رسم آن برحسب 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 $[(\frac{\partial J}{\partial \Phi})c^{0.5}]-$ کمتر باشد به عنوان تعداد بهینه کلاس‌ها قابل قبول خواهد بود. بر این اساس، مقادیر $[(\frac{\partial J}{\partial \Phi})c^{0.5}]-$ برای ۴ و ۵ کلاس در مجموعه بافت، به ازای۱/۷-۱/۱۵= Φ محاسبه و ترسیم گردید که در شکل ۳ منعکس است.

ملاحظه می‌شود که عبارت $[(\frac{\partial J}{\partial \Phi})c^{0.5}]-$ برای ۴ = c به ازای ۱/۵= Φ و برای ۵ = c به ازای ۱/۴= Φ حداکثر می‌باشد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]



شکل ۳. تغییرات $-[(\frac{\partial J}{\partial \Phi})c^{0/5}]$ بر حسب Φ برای تعداد چهار کلاس و پنج کلاس حاصل ازطبقه‌بندی فازی مجموعه بافت

هم‌چنین بیشینه تغییرات مشتق برای c = ۵ از c = ۴ کوچک‌تر است. بنابراین، ترکیب بهینه c و Φ برای مجموعه داده‌های بافت خاک به ترتیب c = ۵ و Φ =۱/۴ 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، درجهٔ 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 و۶). 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 نسبتاً خوب است. در برخی کلاس‌های مجموعه ریخت شناختی (شکل ۶) وجود قله‌های مرتفع وکوتاه دامنه مؤید پیوستگی کمتر می‌باشد که عمدتاً ناشی از طبیعت ناپیوسته متغیرهاست. 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 الارض 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).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]

جدول ۱. تشریح خصوصیات عمدهٔ مراکز دو کلاس B و A از مجموعهٔ کل

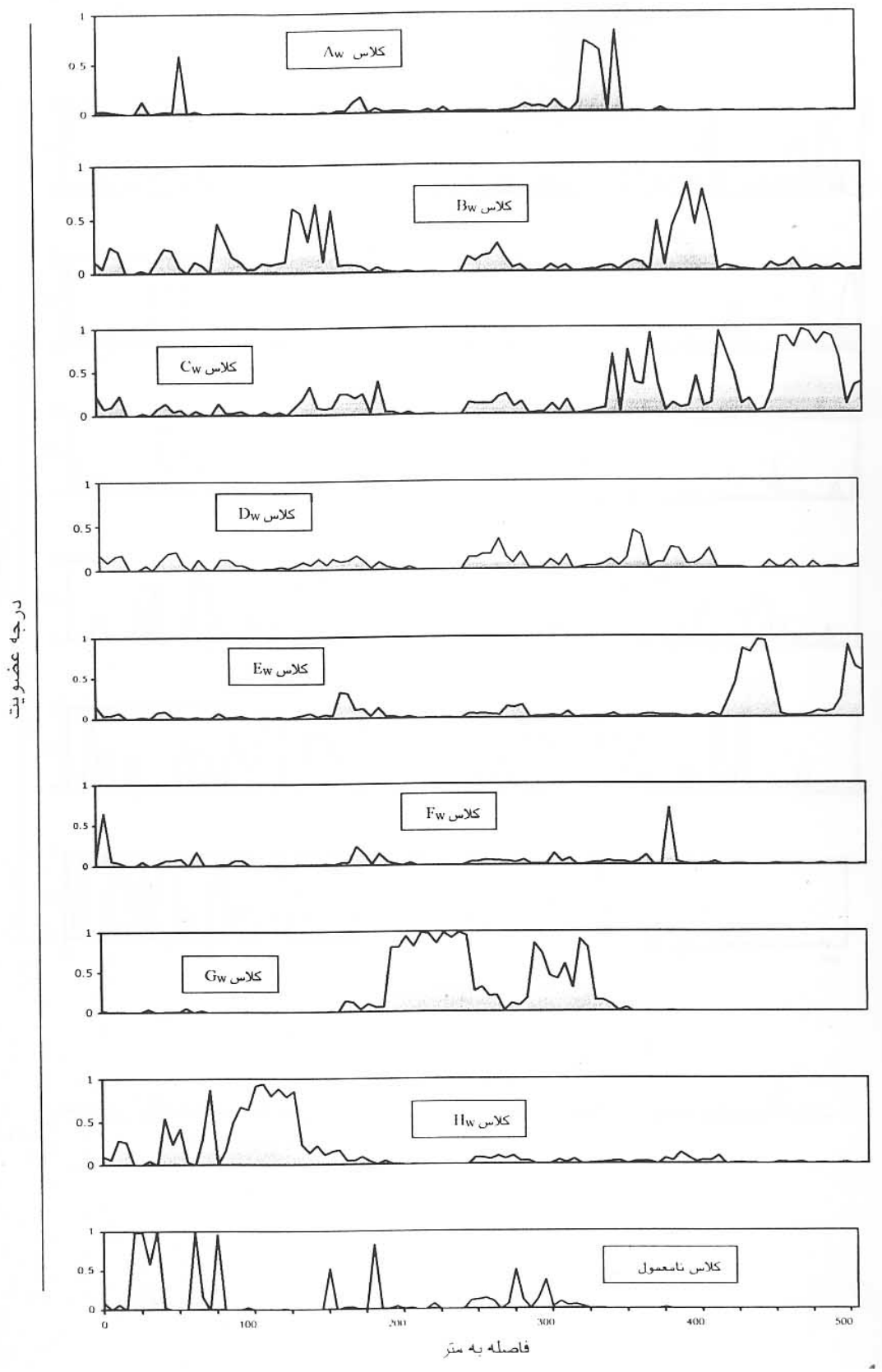
کلاس	ویژگی‌های مرکز کلاس
A_W	خاکی است کم عمق بـه رنگ قهوه‌ای مایل به زرد تیره (10YR 3.5/4.5) با بافت رسـی سـنگریزه دار (۳۳/۵٪) ساختمان کروی متـوسط با قـوام حد واسط و واکنش شیمیایـی ۸/۱ که بـر روی لایه‌ای به رنگ قهوه‌ای تیره مـایل به زرد (10YR3.5/4) با بافت رسـی تقـریباً بـدون ساختمان (تـوده‌ای) و واکنش شیمیایـی ۸/۲ قراردارد. عمق سولوم ۲۶ سانتی‌متـر که بر روی سنگ آهک و در شیب‌های تنـد ۲۳٪ تشکیل شده است.
B_W	خاکی است عمیـق به رنگ قهـوه‌ای (10YR 5/3) با بافت رسی (۱۰٪ سنگ ریزه) ساختمان کروی ریـز بـا قوام ضعیف و واکنش شیمیایی ۸/۱۴ که بر روی لایه‌ای به رنگ قهوه‌ای تیره تا قهوه‌ای تیـره مایـل بـه زرد (7.5YR 5/3) با بافت رسی و ساختمان مکعبی زاویـه‌دار متـوسط و واکـنش شـیمیایی ۸/۲ قـرار دارد. عمق سـولوم 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 مجموعهٔ داده‌های بافت و محل نسبی آنها در چشم انداز منطقه

	سطح الارض				تحت الارض			
کلاس	شن	رس	سیلت	سنگریزه	شن	رس	سیلت	کلاس بافت و مکان نسبی در منطقه
	٪				٪			
A_T	۱۴	۵۱	۳۵	۱۹	۱۴	۵۱	۳۵	رسی سنگریزه دار بر روی رسی - عمدتاً بر روی دامنه‌های با شیب تا ۸ ٪
B_T	۱۳	۵۰	۳۷	۲۲	۱۹	۵۱	۳۰	رسی سنگریزه دار بر روی رسی- دامنه‌های ناهموار تپه‌ها بویژه روی مقطع شرقی- غربی با شیب تا ۹ ٪
C_T	۱۸	۴۶	۳۶	۴۰	۱۸	۴۷	۳۵	رسی خیلی سنگریزه دار بر روی رسی- عمدتا بر روی پشته منشعب از تپه‌ها با شیب ۱۵- ۱۰ ٪
D_T	۱۸	۴۶	۳۶	۱۲	۱۷	۴۷	۳۶	رسی بر روی رسی- بر روی شیب‌های تند دامنه تپه ها با شیب بیش از ۱۷ ٪
E_T	۱۷	۴۳	۴۱	۱۸	۱۹	۴۸	۳۴	رسی بر روی رسی سیلتی- عمدتا بر روی مقطع شمالی- جنوبی بر روی شیب‌های تا ۷ ٪

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

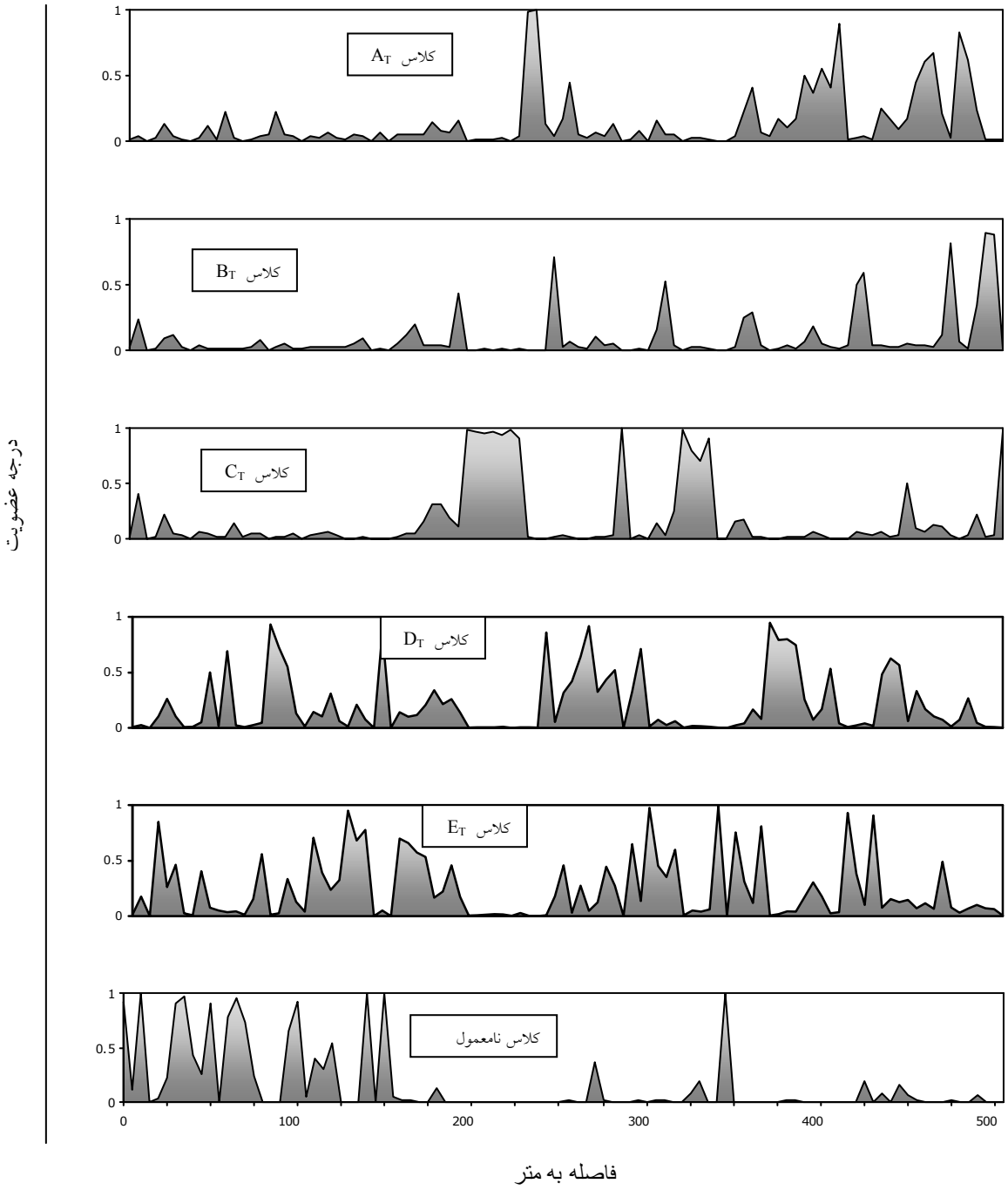
[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]



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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

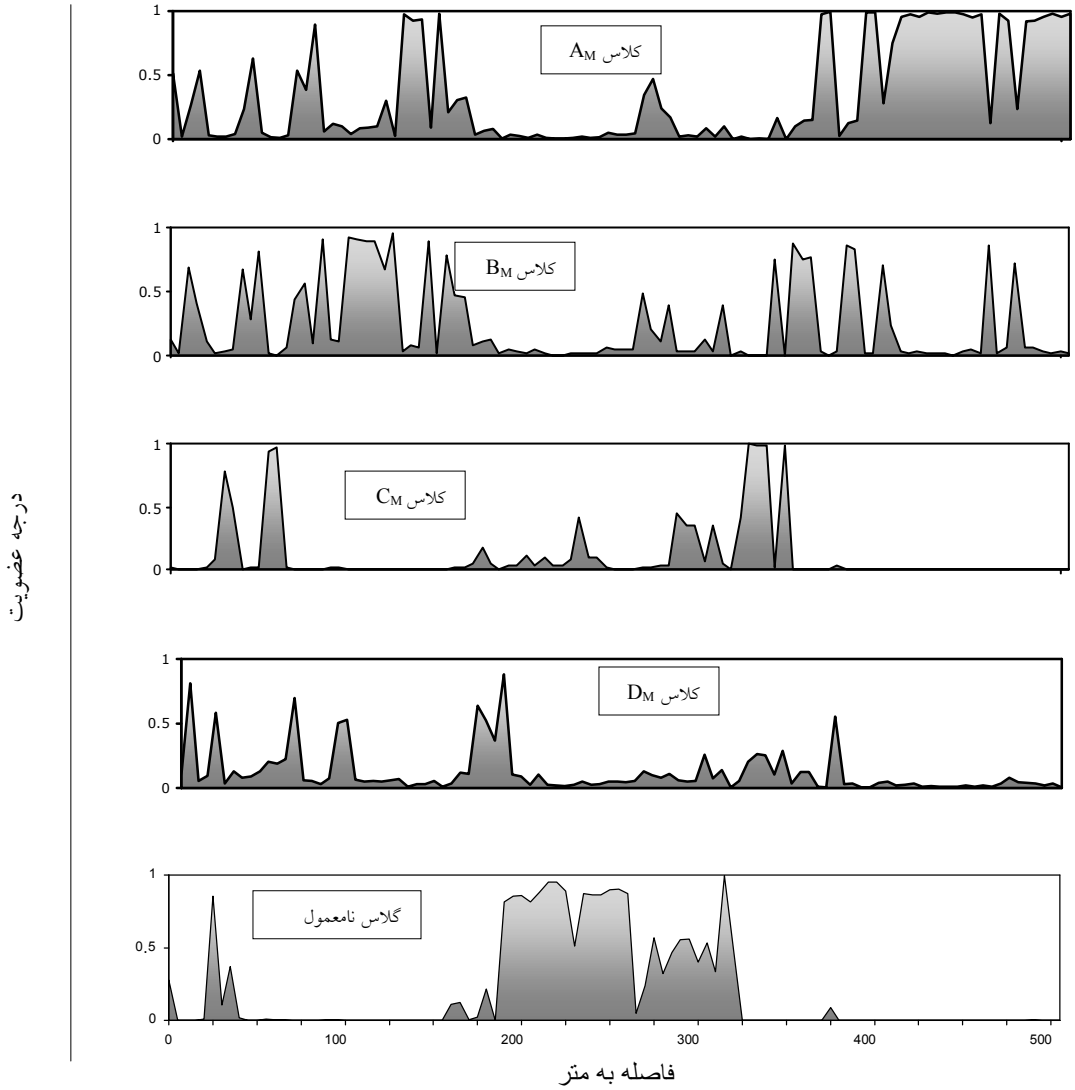
[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]



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

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]



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

دلیل این امر را می‌توان به تفاوت در میانگین سایر متغیرها (در این جا مقدار سنگریزه) در مراکز کلاس‌ها نسبت داد. متغیرهایی که در مراکز 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 عضویت، متغیرهای اندازه‌گیری شده در چند پدان با مقادیر عضویت بالا و پایین در یک کلاس با مراکز آن کلاس مورد مقایسه قرار گرفت. جدول ۳ نتایج این مقایسه را برای متغیرهای مجموعه بافت دربرخی 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 متناسب است. این موضوع در سایر مطالعات (۸ و ۱۲) هم گزارش شده و مؤید اعتبار خوشه‌بندی انجام شده می‌باشد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]

جدول ۳. مقایسهٔ 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 درمرکز کلاس
۴۷	۰/۹۸۱^{A}	شن سطح الارض	۱۵	۱۴/۵
۱۹۲	۰/۱۰۱.^{A}		۲۲	
۲۶	۰/۹۴۹^{E}	رس سطح الارض	۴۱	۴۳
۱۴	۰/۰۱۲^{E}		۵۱	
۱۶۵	۰/۹۱۲^{B}	سیلت سطح الارض	۳۹	۳۷
۶۲	۰/۱۶۰^{B}		۴۶	
۴۵	۰/۹۸۹^{C}	سنگریزه سطح الارض	۳۶	۴۰
۲۲۷	۰/۱۰۹^{C}		۲۶	
۱۰۵	۰/۹۲۲^{D}	شن تحت الارض	۱۷	۱۷/۵
۱۲۵	۰/۱۰۵^{D}		۲۰	
۱۲۸	۰/۹۳۶^{B}	رس تحت الارض	۵۰	۵۱
۱۲۰	۰/۰۲۴^{B}		۴۳	
۲۶	۰/۹۴۹^{E}	سیلت تحت الارض	۳۶	۳۴
۶۰	۰/۱۳۶^{E}		۴۳	

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 سنتی 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 مقدار 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 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. مقایسهٔ 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 پایین‌تر از مراکز کلیهٔ 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) .

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]

ارتباط کلاس‌های فازی با شکل اراضی

یکی از سؤالات 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 ۱و۲ علاوه بر میانگین کلاس‌ها موقعیت نسبی آنها در منطقه و شیب 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، شیب زمین مهم‌ترین عامل مؤثر در تمایز خاک‌ها در منطقه به نظر می‌رسد. مثلاً رس تحت الارض در شیب‌های کمتر بیشتر است (جدول ۲)، یا این که در برخی پدان‌ها در شیب کم دامنه‌ها توزیع مجدد آهک دیده می‌شود (جهت اختصار، مراکز کلیه کلاس‌ها در جدول ۱ ارائه نگردید). بنابراین می‌توان گفت که تغییرات موجود در خاک‌ها عمدتاً معلول اثر تعیین کننده درجه شیب بر فرایندهای خاکزایی در منطقه است.

انعکاس اثر شکل اراضی بر کلاس‌های خاک در نتایج حاصل از یک خوشه‌بندی کلاسیک (ناپیوسته) نیز تأیید شده است (۲۱). با این همه، رابطه خاک – شکل اراضی برایند اثر 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 طبقه بندی 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 عمده‌ترین امتیاز روش FCM نسبت به روش‌های متعارف است که در آنها از مرزها و مقادیر قراردادی برای جداسازی کلاس‌ها استفاده می‌شود.

وجود همپوشی در کلاس‌های حاصله سازگاری روش‌های فازی را با واقعیت تغییرات خاک نشان می دهد. هم‌چنین پیوستگی 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 تمایز خاک‌های منطقه به صورت تفاوت‌های فیزیکی و ریخت شناختی نشان می‌دادند. این رابطه تبعی به ماهیت ویژگی‌های به کار رفته در طبقه‌بندی بستگی دارد.

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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]

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 Phillippins. 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 cathment 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.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1384.9.4.5.4]