

تحلیل زمین‌شیمیایی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با محتوای فلزات سنگین در خاک‌های تحت آبیاری بلندمدت با پساب شهری

هوشنگ قمرنیا^{۱*}، فاطمه ساسانی^۱ و بهمن یارقلی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲۲)

چکیده

شناخت مناطق همگن خاک برای اعمال مدیریت‌های مکان‌محور، به‌خصوص در مناطقی که دستخوش فعالیت‌های مختلف بشری قرار می‌گیرد، حائز اهمیت است. این موضوع با استفاده از روش‌های تحلیل چندمتغیره شامل تحلیل عامل، تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی و تحلیل k متوسط در اراضی کشاورزی تحت آبیاری بلندمدت (بیش از ۴۰ سال) با پساب شهری در منطقه شهر ری در جنوب تهران مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از مدل تحلیل عامل، هشت عامل به‌عنوان هشت گروه زمین‌شیمیایی برای توصیف حدود ۶۰ درصد از کل واریانس مربوط به ۳۷ پارامتر فیزیکی و شیمیایی خاک استخراج شد. اهم این گروه‌ها، شامل عناصر غذایی خاک (N و OM، OC)، عناصر کم‌مصرف معدنی (B و Mn)، قدرت جذب خاک (Sand، Silt، Clay و CEC)، شوری و فشار اسمزی (EC، OP و TDS) و سدیمی شدن خاک (Na و SAR) هستند. مقادیر حداکثر ضرایب Cophenet و Silhouette، به‌ترتیب معادل ۰/۷۷ و ۰/۸۳، انتخاب روش اتصال متوسط را در تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی و تعداد سه خوشه در جمعیت‌های ۱۹، ۱۸ و ۳۴ واحد نقشه‌ای را در روش k متوسط دیکته کرد. روش پلیگون تیسن در GIS، برای تفکیک گروه‌های زمین‌شیمیایی در قالب واحدهای نقشه‌ای به کار گرفته شد. این خروجی که در واقع ترکیب مدل‌های تحلیل چندمتغیره و نمایش بصری آن در GIS تحت واحدهای نقشه‌ای تفکیک شده از منطقه مورد مطالعه است، می‌تواند فعالیت‌های مدیریتی مناسب را برای مناطق تحت هر خوشه ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک، تحلیل عامل، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، k متوسط

۱. گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی

۲. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hghamarnia@razi.ac.ir

مقدمه

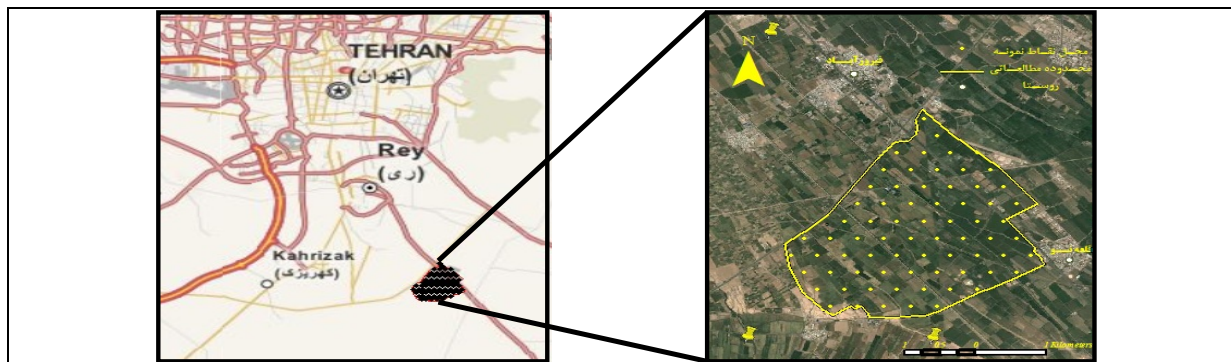
بلندمدت با پساب شهری روی کارکرد کیفی خاک در اراضی خشک و نیمه‌خشک وجود ندارد. همچنین، پیش از این، تفکیک منطقه‌ای اراضی بر اساس ترکیب خروجی مدل‌های تحلیل چندمتغیره و ارائه آن به صورت منطقه‌بندی نقشه‌ای صورت نگرفته است. هدف این مطالعه، تحلیل زمین‌شیمیایی بر اساس مدل‌های تحلیل چندمتغیره شامل تحلیل عامل و روش‌های خوشه‌بندی سلسله مراتبی و k متوسط به صورت توأمان روی اراضی کشاورزی تحت آبیاری بلندمدت با پساب شهری است. از اهداف دیگر این مطالعه، ارائه نقشه تفکیک زیرگروه‌های منطقه‌ای با الگوی زمین‌شیمیایی مشابه در اراضی تحت آبیاری بلندمدت با پساب شهری بود که بر اساس آن می‌توان نقشه منطقه‌ای مدیریت‌های یکسان در حوضه مورد مطالعه را ارائه داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۱۰ کیلومتری جنوب شهر ری در استان تهران، اراضی حدفاصل روستاهای فیروزآباد و قلعه‌نو به وسعت ۸۶۱ هکتار است. این اراضی در مختصات عرض جغرافیایی $35^{\circ} 30' 51''$ تا $35^{\circ} 30' 58''$ شمالی و طول جغرافیایی $51^{\circ} 30' 50''$ تا $51^{\circ} 30' 55''$ شرقی قرار دارند. متوسط دمای سالانه منطقه ۲۰/۱ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی متوسط سالانه آن معادل ۱۲۴/۱ میلی‌متر بوده که بیش از ۷۵ درصد آن بین ماه‌های آبان تا اسفند ریزش می‌کند. بیش از ۴۰ سال است که بخشی از پساب‌های شهر تهران اعم از آب‌های سطحی همراه با پساب خانگی از طریق چند کانال به تبعیت از شیب غالب حوضه به سمت جنوب حوضه و اراضی کشاورزی شهر ری هدایت می‌شود. منطقه مورد مطالعه بخشی از این اراضی است که انتقال پساب به آن از طریق کانال فیروزآباد صورت می‌گیرد. با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک و محدودیت منابع آب این مناطق (اعم از سطحی و زیرزمینی) و اولویت استفاده از این منابع برای تأمین آب شرب شهر تهران و حومه، استفاده از پساب‌های ورودی به منطقه برای کشاورزی به یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر برای بقای

پساب‌های شهری در بسیاری از کشورها، بالاخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، برای کشاورزی و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این منابع، حاوی عناصر غذایی بوده که برای رشد گیاهان حائز اهمیت است (۲۵). استفاده و رهاسازی پساب در اراضی کشاورزی، همچنین یک گزینه اقتصادی و عملی‌تر در مدیریت آن است (۲۶). محیط پذیرنده این منابع، با وجود آلاینده‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی دستخوش تغییرات زیادی می‌شود. آگاهی از تغییرات حاصله در خاک برای انتخاب و تصمیم‌گیری پیرامون کارآمدترین روش استفاده از پساب ضروری است (۱). به عبارت دیگر، اراضی تحت آبیاری با پساب شهری به علت ورود مجموعه زیادی از عناصر و گاهی در دامنه‌های خارج از حدود مجاز تعریف شده آبیاری، نیازمند تحلیل وضعیت و کارکرد کیفی خاک در اثر استفاده بلندمدت از آن است. مدل‌های تحلیل چندمتغیره، تکنیک‌هایی هستند که عامل‌های دخیل در تغییرپذیری خاک را استخراج می‌کنند (۱۹). وانگ و همکاران در ارزیابی کیفی خاک‌های تحت آبیاری بلندمدت پساب در منطقه بیکرفیلد کالیفرنیا، از روش‌های تحلیل چندمتغیره، برای انتخاب حداقل ویژگی مناسب از میان ۲۹ ویژگی اندازه‌گیری شده دریافتند که کیفیت خاک منطقه مربوطه را می‌توان با مقایسه تخلخل قابل زهکشی، pH، EC، منیزیم، فسفر و روی ارزیابی کرد (۳۳). شوکلا و همکاران، شاخص‌های کیفی خاک را با استفاده از روش تحلیل عامل (Factor Analysis) و در پنج عامل شامل هدایت آب، هوادهی خاک، اتصال منافذ خاک، بافت خاک و وضعیت رطوبتی، بررسی و ارائه کردند (۲۷) دوس و گونتی‌لک در تحقیقی، با استفاده از تحلیل چندمتغیره روی تعیین نقش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در پیش‌بینی رفتار بلندمدت خاک‌های تحت آبیاری بلندمدت با پساب، خاک‌ها را گروه‌بندی کرده و و تأثیرگذارترین عامل‌ها را در این زمینه مشخص کردند (۴). دیگر پژوهشگران نیز با استفاده از یک یا دو مدل از مدل‌های چندمتغیره، تحلیلی از روابط میان مشخصه‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک ارائه دادند (۱، ۱۵ و ۱۹). بررسی مطالعات نشان می‌دهد که اطلاعات کافی در زمینه اثرات آبیاری



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه

از دستگاه GPS مکان‌یابی و سپس برداشت شد. روش نمونه برداری به صورت ترکیبی از حداقل پنج نمونه در عمق ۰-۲۵ سانتی متری بود که حدود عمق تجمع فلزات سنگین است (۲، ۶ و ۱۷). در آزمایشگاه، نمونه‌های خاک در مجاورت هوا خشک و پس از آن به آرامی خرد شده و از الک دو میلی متری عبور داده شد. قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی در نسبت ۱:۵ آب به خاک سنجیده شد. pH عصاره اشباع با استفاده از دستگاه pH متر به دست آمد (۳۰). کلاس بافتی نمونه‌ها به روش هیدرومتری تعیین شد (۹). کربن آلی به روش اکسیداسیون مرطوب و سرد تعیین شد (۳۱). وزن مخصوص ظاهری به روش پیکنومتر و هدایت هیدرولیکی به روش بار افتان تعیین شد. رطوبت خاک در FC و PWP در نقاط ۰/۳ و ۱۵ بار توسط دستگاه صفحات فشاری قرائت شد. ضریب یکنواختی خاک با استفاده از منحنی دانه‌بندی و از نسبت d_{60} (قطر دانه مربوط به ۶۰ درصد تجمعی خاک عبوری) به d_{10} (قطر دانه مربوط به ۱۰ درصد تجمعی خاک عبوری) به دست آمد. میزان پتاسیم و سدیم محلول با استفاده از دستگاه فلیم‌فوتومتر (مدل JENWAY PFP7 ساخت کشور استرالیا) تعیین شد (۱۲). مقدار Ca^{2+} به روش تیتراسیون با EDTA و مقدار Mg^{2+} با اندازه‌گیری مقدار $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ به روش تیتراسیون برگشتی و کسر Ca^{2+} به دست آمد (۲۳). با در دست داشتن مقادیر، Na^+ ، Ca^{2+} و Mg^{2+} مقدار SAR تعیین شد. میزان ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی کاتیون‌های تبادلی با استات آمونیم

کشاورزی منطقه و معیشت کشاورزان تبدیل شده است. روش آبیاری از نوع کرتی و زمان آبیاری مطابق با نوع محصول و شیوه آبیاری با دوره‌های مشخص آبیاری صورت می‌پذیرد. زهکشی منطقه از نوع طبیعی و مطابق شیب منطقه از شمال به جنوب است. کشت غالب منطقه شامل گندم، جو، ذرت و برنج است. شکل (۱)، منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

طرح نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها

در این تحقیق، برای تعیین طرح نمونه‌برداری از نرم‌افزار طرح بصری نمونه (VSP-Visual Sample Plan) استفاده شد. این نرم‌افزار، یکی از ابزارهای انتخاب تعداد و موقعیت‌های صحیح نمونه‌برداری‌های زیست‌محیطی است که با اجرای آزمون‌های آماری روی نقشه محدوده مورد مطالعه، نقاط نمونه‌برداری را در حدود آماری قابل اعتماد به منظور تصمیم‌سازی ارائه می‌دهد (۱۴). نرم‌افزار طرح بصری نمونه از رویکرد برنامه‌ریزی مصوب آژانس حفاظت محیط زیست (EPA- Environmental Protection Agency) برای جمع‌آوری داده و تصمیم‌گیری استفاده می‌کند که از آن به فرایند اهداف کیفی داده (DQO - Data Quality Objectives) تعبیر می‌شود (۷). مطابق با خروجی طرح نمونه‌برداری، تعداد ۷۱ نقطه توسط نرم‌افزار VSP روی محدوده مطالعاتی مشخص شد که با استخراج مختصات نقاط، نمونه‌های خاک پس از پایان دوره کشت تابستانه و در آغاز فصل زراعی جدید ۹۴-۱۳۹۳ با استفاده

زمین‌شیمیایی (Geochemical) تقریباً یکسان صورت گرفت. روش تحلیل خوشه‌بندی نیز سعی دارد بردارهای مشاهداتی مشابه را مشخص و آنها را به خوشه‌هایی گروه‌بندی کند. روش خوشه‌بندی درختی، داده‌ها را در دامنه‌ای از مقیاس‌ها با ایجاد یک درخت خوشه یا دندانه (Dendrogram)، گروه‌بندی می‌کند که نمایش بصری گام‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی (Clustering Analysis Hierarchical) است. روش خوشه‌بندی غیرسلسله‌مراتبی k-متوسط (k-means) نیز یک روش افرازی است که اجازه می‌دهد مشاهدات از یک خوشه به خوشه‌ای دیگر بر اساس فاصله اقلیدسی انتقال یابند (۲۱). در این مطالعه، ماتریس ضرایب نمرات عاملی (مقادیر استاندارد شده همه عامل‌ها منتج از تحلیل عامل برای هر نمونه و یا واحد نقشه‌ای) برای ارزیابی تأثیر هر عامل بر الگوی زمین‌شیمیایی خاک تعیین شد. این ماتریس، به‌عنوان ورودی تحلیل خوشه‌ای مورد استفاده قرار گرفت تا گروه‌های زمین‌شیمیایی مختلف با خوشه‌بندی نمونه‌هایی که رفتار زمین‌شیمیایی آنها مشابه است، ایجاد شود. تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی بر اساس ضریب همبستگی Cophenet در درخت خوشه به‌صورت ضریب همبستگی میان فواصل Cophenetic به‌دست آمده از درخت خوشه و فواصل اصلی (عدم تشابهات) استفاده شده برای درخت محاسبه می‌شود. در واقع، این ضریب میزان درستی درخت را در بیان عدم تشابهات میان مشاهدات نشان می‌دهد. برای یک حل خوب، این ضریب باید نزدیک به یک باشد که برای مقایسه الگوریتم‌های مختلف خوشه‌بندی استفاده می‌شود (۳۰). به‌منظور خوشه‌بندی داده‌های منطقه مورد مطالعه به روش k متوسط، با اجرای دستورات مربوطه در Matlab، از شاخص Silhouette برای ارزیابی تعداد خوشه بهینه استفاده شد که تعداد خوشه متناظر با نزدیک‌ترین مقدار این شاخص به عدد یک مدنظر قرار گرفت (۱۸). تهیه و تحلیل‌های نقشه‌ای در محیط نرم‌افزار ARCGIS ۱۰/۱ صورت گرفت.

تعیین شد (۲۸). اندازه‌گیری فسفر قابل جذب به روش اولسن با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Scan ۱۰۰ Carry ساخت کارخانه VARIAN کشور استرالیا) تعیین شد (۲۰). نیتروژن نیتراته با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مورد سنجش قرار گرفت (۱۰). مقدار کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید تعیین شد (۱۶). میزان Cl^- عصاره خاک به روش تیتراسیون با AgNO_3 ، مقدار HCO_3^- عصاره خاک به روش تیتراسیون با اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال، SO_4^{2-} به روش کدورت‌سنجی و کربنات CO_3^{2-} عصاره خاک به روش تیتراسیون با اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال تعیین شد (۱۲). برای تعیین مقادیر Fe, Mn, B و محتوای فلزات سنگین، به روش هضم با اسیدنیتریک غلیظ با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Spectra AA ۲۲۰ ساخت کارخانه VARIAN - کشور استرالیا) تعیین شد (۲۲).

تحلیل آماری

برای تعیین اثر تصادفی استفاده از پساب روی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از آماره‌های توصیفی شامل میانه و میانگین برای تعیین تمایل مرکزی داده‌های هر متغیر و بیشینه، کمینه، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای توصیف درجه تغییرپذیری مشخصه‌های خاک تعیین شد (۱). تحلیل تک‌متغیره در شرایط اندازه‌گیری نمونه‌های متعدد برای یک متغیر مناسب‌تر هستند. ابزار تحلیل چندمتغیره، درک بهتری از فرایندهای اکوسیستم خاک که مستلزم جمع‌آوری مشخصه‌های مختلفی از این محیط است، فراهم می‌آورد (۲۴). از جمله روش‌های تحلیل چندمتغیره، تحلیل عامل و تحلیل خوشه‌ای است. تحلیل عامل (Factor Analysis)، روشی آماری است که بیشترین اطلاعات را از داده‌ها استخراج می‌کند و بر مفهوم واریانس مشترک پارامترها (Communality) استوار است و هر متغیر مشاهده‌ای، بر اساس چندمتغیر غیر مشاهده‌ای یا عامل پنهان ارائه می‌شود. تحلیل عامل برای ایجاد گروه‌های مختلف پارامترها با الگوی

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی

متغیرهای اندازه‌گیری شده برای ۷۱ نقطه نمونه برداری شامل ۳۷ متغیر مرتبط با مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی، میکروالمان‌ها، ماکروالمان‌ها و فلزات سنگین بوده که شرح این متغیرها و آماره‌های توصیفی آنها در جدول (۱) آمده است.

ضریب تغییرات که نسبت انحراف معیار به میانگین است، مبین درصد اندازه‌گیری مفید پارامتر مربوطه در تغییرپذیری کلی و نشانگر همگونی متغیر در سطح مورد مطالعه است. ضریب تغییرات کمتر از ۱۰ درصد، مبین تغییرپذیری کم، بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد، نشانگر تغییرپذیری متوسط و بالاتر از ۱۰۰ درصد، تغییرپذیری بالا را نشان می‌دهد (۳۲). مقدار این ضریب برای اجزای بافت خاک، اسیدیته، درصد اشباع و چگالی حقیقی خاک پایین و زیر ۱۰ درصد است. سایر پارامترها دارای ضریب تغییرات بین ۱۲ تا ۷۱ درصد و در دامنه ضریب تغییرات متوسط قرار می‌گیرند.

مدل تحلیل عامل

تحلیل عامل، مطابق با مفاهیم ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها، برای تشکیل گروه‌های مختلف عناصر شیمیایی با الگوی زمین‌شیمیایی مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرد. قبل از اجرای دستورات مدل در Matlab، می‌بایست کلیه داده‌های خام پیش پردازش شده تا منابع نامناسب تغییرات و یا نویزها که ممکن است بر نتایج تحلیل تأثیر بگذارند، حذف شود (۴). پردازش‌های قابل انجام، شامل تبدیل لگاریتمی و استانداردسازی داده‌ها است. تبدیل لگاریتمی به منظور نرمال بودن توزیع داده‌ها و استانداردسازی داده‌ها نیز به دلیل واحدهای مختلف اندازه‌گیری متغیرها، روی کلیه گروه‌های داده‌ای انجام گرفت. نتایج تحلیل اجرا شده در نرم‌افزار Matlab در جدول (۲) ارائه شده است. مطابق این جدول، حدود ۶۰ درصد واریانس داده‌های منطقیه مورد مطالعه، تحت هشت عامل برای هر یک از متغیرها بارگذاری شده‌اند. واریانس مشترک که مجموع مربعات ضرایب بارگذاری

است، در ستون آخر جدول آمده است و برای هر متغیر، مبین واریانس مشترک توصیف شده به وسیله عامل‌ها است. مطابق با جدول (۲)، گروه‌های زمین‌شیمیایی زیر قابل تفکیک است:

الف- گروه مواد مغذی خاک شامل OM، OC و N که با ضرایب بارگذاری بالای ۸۰ درصد، توصیف کننده مواد بهبود دهنده وضعیت فیزیکی خاک (مواد آلی) و مواد مغذی (نیترژن) است. ب- گروه میکروالمان‌ها و ریزمغذی‌های معدنی که شامل Mn و B است که از عناصر مهم و مورد نیاز گیاهان در فرایندهای فیزیولوژیکی-متابولیسمی هستند (۳). ج- گروه قدرت جذب خاک که شامل متغیرهای بافت خاک (Silt، Clay و Sand) و ظرفیت تبادل کاتیونی است. هر چه بافت خاک ریزتر باشد، با وجود جایگاه‌های بیشتر جابه‌جایی کاتیون، دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتری خواهد بود. د- گروه شوری و فشار اسمزی با متغیرهای EC، OP و TDS که همگی مرتبط با قدرت جذب املاح از عصاره اشباع خاک است و با افزایش شوری و فشار اسمزی، این ویژگی کاهش می‌یابد. ه- گروه فلزات سنگین Cu و Zn و میکروالمان Fe، که این گروه نیز در زمره بخش دوم میکروالمان‌های مورد نیاز گیاه قرار می‌گیرد. فلزات سنگین Zn و Cu نیز با پذیرش زمین‌شیمیایی مشابه در این گروه قرار می‌گیرند. و- گروه Ni و Ca که با قرار گرفتن در یک گروه و مشابهت شناخته شده پیشین پیرامون خاصیت ذاتی و وابستگی آنها به عامل‌های درونی، می‌توان آنها را در یک گروه قرار داد.

شایان ذکر است که با کاهش درصدهای واریانس در عامل‌های انتهایی، میزان این ارتباط و همسانی متغیرهای مربوطه نیز کم می‌شود. همچنان که این گروه ۵/۹۳ درصد از ۶۰ درصد واریانس تخصیص این هشت عامل را به خود اختصاص داده است. ز- گروه سدیمی شدن خاک، شامل متغیرهای Na و SAR که وضعیت سدیمی شدن خاک را مشخص می‌کنند. این دو متغیر در گروه بندی زمین‌شیمیایی متغیرها، با طبیعت و کاربرد مشابه در این گروه قرار گرفته‌اند. ح- گروه فلزات سنگین Cd و Pb که با بارگذاری‌های کمتر و درصد واریانس حداقلی این هشت عامل (۴/۶۷) در این گروه قرار می‌گیرند. این دو عنصر نیز

جدول ۱. آماره‌های توصیفی پارامترهای موردنظر خاک در منطقه مطالعاتی

پارامتر	نام اختصاری	واحد	بیشینه	کمینه	میانه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)
هدایت الکتریکی	EC	dS/m	۲/۲۰	۰/۹۷	۱/۳۵	۱/۳۸	۰/۲۵	۱۸
اسیدیته	pH	-	۸/۹	۶/۹	۷/۹	۷/۹	۰/۵۶	۷
رس	Clay	%	۴۰/۴۰	۳۳/۴۰	۳۷/۴۰	۳۷/۰۳	۱/۶۹	۵
سیلت	Silt	%	۵۰/۶۰	۳۸/۰۰	۴۳/۰۰	۴۳/۰۸	۲/۴۴	۶
شن	Sand	%	۲۳/۶۰	۱۵/۰۰	۲۰/۶۰	۱۹/۸۹	۱/۶۵	۸
کربن الی	OC	%	۳/۴۱	۰/۳۷	۱/۳۱	۱/۴۶	۰/۶۴	۴۴
ماده آلی	OM	%	۵/۸۵	۰/۱۶۴	۲/۲۴	۲/۵۱	۱/۰۹	۴۴
چگالی حقیقی	ρ_s	gr cm ⁻³	۲/۶۹	۲/۵۲	۲/۶۱	۲/۶۱	۴	۲
هدایت هیدرولیکی اشباع	K _s	mm h ⁻¹	۲۳/۶۵	۸/۵۳	۱۴/۲۷	۱۴/۸۸	۳/۴۲	۲۳
ظرفیت زراعی	FC	%	۴۴/۹۱	۲۹/۶۷	۳۶/۴۷	۳۷/۳۳	۴/۹۶	۱۵
نقطه پژمردگی	PWP	%	۱۳/۹۰	۱۱/۳۷	۱۲/۵۱	۱۲/۸۷	۲/۹۲	۱۲
ضریب دانه‌بندی	Cu	-	۱۴/۸	۴/۳۴	۹/۳۵	۹/۲۰	۲/۱۳	۲۳
کل مواد جامد محلول	TDS	mg L ⁻¹	۱۷۳/۴۴	۶۲/۰۸	۸۶/۰۸	۸۹/۱۱	۱۹/۹۸	۲۲
فشار اسمزی	OP	bar	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۱	۲۴
درصد اشباع	SP	%	۶۸/۴۳	۵۸/۰۳	۶۳/۱۵	۶۲/۵۷	۲/۴۴	۴
سدیم	Na	meq L ⁻¹	۱۲/۳۲	۳/۴۸	۸/۲۱	۸/۲۶	۲/۱۰	۲۵
کلسیم	Ca	meq L ⁻¹	۱/۸۲	۰/۰۹	۰/۹۶	۰/۸۴	۰/۳۳	۳۹
منیزیم	Mg	meq L ⁻¹	۱/۳۵	۰/۰۴	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۲۹	۷۱
نسبت جذب سدیمی	SAR	(meq L ⁻¹) ^{۰/۵}	۲/۰/۰۸	۳/۳۴	۸/۲۱	۸/۲۵	۳/۶۱	۳۳
ظرفیت تبادل کاتیونی	CEC	meq ۱۰۰gsoil	۱۹/۱۰	۱۱/۹۰	۱۵/۰۱	۱۵/۳۰	۱/۸۰	۱۲
پتاسیم	K	mg kg ⁻¹	۲۹۷/۵۶	۵۶/۷۱	۷۹/۷۷	۹۹/۸۳	۵۳/۹۸	۵۴
فسفر	P	mg kg ⁻¹	۶۶	۲	۱۴	۱۶	۱۱/۷۹	۷۱
ازت	N	%	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۰۵	۴۵
آهک	CaCO ₃	%	۳/۱۲	۰/۷۵	۲/۳۷	۲/۳۸	۰/۴۱	۱۷
کلر	Cl ⁻	meq L ⁻¹	۴/۶	۱/۰۲	۲/۹۵	۲/۹۰	۰/۷۲	۲۴
بی‌کربنات	HCO ₃ ⁻	meq L ⁻¹	۰/۲۲	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۳	۳۲
سولفات	SO ₄ ⁻²	meq L ⁻¹	۱۶/۵۸	۹/۵۸	۱۲/۲۳	۱۲/۱۵	۱/۵۶	۱۳
نترات	NO ₃ ⁻	ppm/kg	۵۰/۰۰	۳۲/۰۰	۳۸/۵۰	۳۸/۷۹	۳/۶۳	۹
منگنز	Mn	mg kg ⁻¹	۲۴/۵۱	۷/۹۵	۱۴/۳۹	۱۴/۷۸	۴/۳۷	۳۰
آهن	Fe	mg kg ⁻¹	۱۵۷۵/۰۰	۱۰۰/۳۰	۵۷۷/۵۰	۶۲۸/۹۸	۳۸۳/۴۸	۶۱
بر	B	mg kg ⁻¹	۴۱/۶۷	۱۲/۷۲	۱۹/۶۲	۲۲/۱۱	۷/۵۶	۳۴
مس	Cu	mg kg ⁻¹	۱/۶۵	۰/۱۹	۰/۹۹	۱/۰۲	۰/۲۹	۲۸
روی	Zn	mg kg ⁻¹	۶۳/۳	۱۴/۵	۳۱/۹	۳۳/۱	۱۰/۵۶	۳۲
کادمیم	Cd	mg kg ⁻¹	۰/۴۸	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۰۶	۲۱
نیکل	Ni	mg kg ⁻¹	۱۳۷/۰۰	۴۶/۰۰	۸۶/۰۰	۸۷/۳۰	۱۸/۸۴	۲۲
سرب	Pb	mg kg ⁻¹	۱۱۶/۰۰	۳۵/۰۰	۵۵/۰۰	۵۷/۷۰	۱۵/۴۵	۲۷
جیوه	Hg	mg kg ⁻¹	۰/۴۱	۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۰۸	۳۴

جدول ۲. مقادیر بارهای عامل‌های مشترک تحلیل عامل مشخصه‌های خاک منطقه مورد مطالعه

پارامتر	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵	عامل ۶	عامل ۷	عامل ۸	واریانس اشتراکی
EC	۰/۱۱۳	-۰/۲۰۲	۰/۰۵۶	۰/۴۷۲	-۰/۰۸۳	۰/۱۳۶	۰/۳۶۳	۰/۴۵۲	۰/۶۴۱
pH	-۰/۰۴۹	۰/۱۷۹	-۰/۰۲۷	۰/۱۸۸	۰/۰۹۹	۰/۰۳۱	۰/۰۲۸	۰/۱۷۴	۰/۱۱۲*
Clay	-۰/۰۶۳	۰/۰۰۹	-۰/۰۷۷	۰/۰۶۰	-۰/۰۴۳	-۰/۰۲۰۲	۰/۱۰۱	-۰/۰۴۶	۰/۶۶۶
Silt	-۰/۰۰۹	-۰/۰۳۴	-۰/۰۶۶۷	-۰/۰۱۵۰	۰/۰۷۶	۰/۳۳۱	-۰/۲۶۸	-۰/۰۵۸	۰/۶۶۰
Sand	۰/۰۴۵	۰/۰۱۲	۰/۰۹۸۱	۰/۰۶۴	-۰/۰۱۴	-۰/۰۸۲	۰/۱۲۱	۰/۰۶۸	۰/۹۹۵
OC	۰/۹۹۲	-۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۰۷۶	۰/۰۲۷	-۰/۰۴۲	۰/۰۲۱	۰/۰۵۳	۰/۹۹۷
OM	۰/۹۹۳	-۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۰۷۶	۰/۰۲۷	-۰/۰۴۲	۰/۰۲۱	۰/۰۵۳	۰/۹۹۸
ρ_s	۰/۰۹۴	۰/۰۱۳	۰/۱۷۸	۰/۰۸۷	۰/۰۸۶	۰/۰۵۹	۰/۰۱۳	۰/۱۶۲	۰/۰۸۵*
K_s	۰/۰۳۰	-۰/۰۲۵	۰/۰۷۰	-۰/۰۱۰	۰/۰۵۲۱	۰/۱۱۶	-۰/۴۱۳	-۰/۱۶۲	۰/۴۶۶*
FC	۰/۰۰۴	۰/۲۳۲	۰/۰۴۵	۰/۱۱۸	۰/۰۵۱	۰/۰۵۶۶	-۰/۲۰۷	۰/۰۹۸	۰/۴۴۵*
PWP	-۰/۰۰۶	۰/۲۳۷	۰/۰۵۷	-۰/۰۴۲	۰/۰۳۲	۰/۲۶۹	۰/۰۰۷	۰/۰۹۲	۰/۱۴۳*
C_u	۰/۰۴۹	۰/۰۹۸	۰/۰۳۴	-۰/۰۶۶	-۰/۰۰۴	-۰/۱۴۵	۰/۴۳۱	۰/۰۶۰	۰/۲۲۸*
TDS	۰/۱۳۸	-۰/۰۵۸	۰/۱۱۵	۰/۹۲۸	۰/۰۳۰	۰/۰۰۱	۰/۰۳۸	-۰/۰۹۹	۰/۹۰۸
OP	۰/۱۰۵	-۰/۰۵۶	۰/۰۵۰	۰/۹۷۱	۰/۰۴۹	۰/۰۱۵	۰/۰۳۶	-۰/۱۷۵	۰/۹۹۴
SP	-۰/۰۲۵	-۰/۱۸۹	۰/۰۱۷	-۰/۱۵۰	-۰/۱۸۳	۰/۱۶۲	-۰/۲۲۱	۰/۰۶۸	۰/۱۷۲*
Na	۰/۰۸۹	-۰/۱۷۰	-۰/۱۶۳	۰/۱۶۲	۰/۰۴۱	-۰/۱۴۹	۰/۰۵۴۱	-۰/۰۵۸۵	۰/۷۵۰
Ca	-۰/۰۸۹	۰/۰۲۱	-۰/۰۴۵	-۰/۱۶۶	۰/۰۷۰	-۰/۰۵۸۹	-۰/۴۲۲	-۰/۱۱۴	۰/۵۸۱
Mg	۰/۱۴۹	-۰/۲۶۴	-۰/۲۱۷	۰/۰۲۳	۰/۰۳۲	۰/۰۱۱	-۰/۴۵۶	۰/۰۴۳	۰/۳۵۰*
SAR	۰/۱۰۲	-۰/۲۳۰	-۰/۰۵۰	۰/۱۵۸	-۰/۰۰۳	۰/۲۴۰	۰/۸۶۸	-۰/۲۶۲	۰/۹۷۰
CEC	-۰/۰۸۶	۰/۰۶۶	۰/۸۹۰	-۰/۰۶۴	۰/۰۲۴	۰/۰۸۸	-۰/۱۰۹	-۰/۱۳۳	۰/۲۰۶
K	-۰/۰۸۸	-۰/۱۸۵	-۰/۰۴۰	۰/۰۶۰	۰/۲۵۵	۰/۰۰۶	-۰/۰۲۹	-۰/۱۲۷	۰/۱۲۹*
CL	۰/۰۳۰	-۰/۲۱۴	-۰/۱۵۳	۰/۰۳۱	۰/۰۴۰	۰/۱۰۱	-۰/۰۳۳	-۰/۰۷۱	۰/۰۸۸*
N	۰/۸۵۰	۰/۰۳۳	۰/۰۵۵	۰/۰۷۷	-۰/۰۳۹	۰/۰۷۴	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۷۳۸
P	-۰/۰۶۳	-۰/۳۱۲	۰/۰۰۲	-۰/۰۲۵	۰/۳۷۸	۰/۰۵۳	۰/۰۳۶	-۰/۰۴۳	۰/۲۵۰*
CaCO ₃	۰/۱۷۶	-۰/۰۵۵	-۰/۰۶۵	-۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	-۰/۰۴۲	۰/۱۵۸	۰/۰۳۱	۰/۰۶۶*
HCO ₃ ⁻	-۰/۱۸۲	۰/۰۷۷	۰/۰۸۳	-۰/۰۷۵	-۰/۰۳۵۰	-۰/۰۹۵	۰/۰۸۳	-۰/۰۱۹	۰/۱۹۰*
SO ₄ ⁻²	-۰/۰۰۵	-۰/۱۳۷	۰/۰۵۷	-۰/۲۹۷	-۰/۰۶۷	۰/۰۷۹	۰/۰۲۸	-۰/۰۶۵	۰/۱۲۶*
NO ₃ ⁻	۰/۰۳۵	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	-۰/۱۹۵	-۰/۰۱۸	-۰/۱۸۰	-۰/۰۰۲	-۰/۲۵۵	۰/۱۳۸*
Mn	-۰/۰۵۰	۰/۹۵۲	-۰/۰۰۷	۰/۰۷۸	۰/۰۶۴	۰/۲۱۵	۰/۰۶۰	۰/۰۶۳	۰/۹۷۳
Fe	۰/۰۲۹	۰/۲۴۵	۰/۰۴۷	-۰/۰۳۳	۰/۴۲۰	۰/۲۳۴	-۰/۰۵۲	۰/۰۹۴	۰/۳۰۷*
B	-۰/۰۵۰	۰/۹۱۲	-۰/۰۰۴	۰/۰۲۷	۰/۱۸۲	۰/۳۵۰	-۰/۰۵۰	-۰/۰۴۰	۰/۹۹۵
Cu	-۰/۱۱۲	۰/۲۴۴	۰/۰۰۳	۰/۰۷۵	۰/۹۲۳	۰/۰۰۴	۰/۰۶۴	۰/۲۲۳	۰/۹۸۴
Zn	۰/۰۵۸	۰/۱۹۹	۰/۰۹۹	۰/۰۷۳	۰/۷۱۸	-۰/۱۵۰	۰/۱۷۳	۰/۰۸۲	۰/۶۳۲
Cd	۰/۰۳۶	۰/۰۸۲	۰/۰۹۳	-۰/۰۳۷	۰/۰۲۶	۰/۰۴۱	-۰/۰۵۶	۰/۳۷۱	۰/۱۶۱
Ni	-۰/۰۹۱	۰/۰۱۳	۰/۰۸۸	۰/۰۳۲	۰/۱۱۹	۰/۷۶۳	-۰/۰۴۱	۰/۱۷۵	۰/۶۴۵
Pb	۰/۰۹۴	۰/۰۳۳	-۰/۲۰۷	-۰/۰۸۲	۰/۰۴۲	-۰/۰۶۹	۰/۰۱۰	۰/۴۱۵	۰/۲۳۸
Hg	-۰/۰۱۹	-۰/۰۸۸	۰/۱۰۸	-۰/۰۳۳	-۰/۰۳۷	-۰/۰۵۲۹	۰/۰۸۷	۰/۲۴۶	۰/۳۷۰*

مشارکت آن در بارگذاری مرتبط با هر عامل است (۱۳). ارقام این ستون نشان می‌دهد که بیشتر متغیرهای با واریانس مشترک زیر ۵٪ نتوانسته‌اند در مدل تحلیل عامل شرکت کنند. این

در وضعیت قدرت‌های بارگذاری کمتر، به‌میزان کمتری مشابهت زمین‌شیمیایی را ارائه داده‌اند. ستون آخر با مقادیر واریانس مشترک هر یک از عامل‌ها، مبین اهمیت نسبی هر متغیر بر اساس

جدول ۳. بخشی از ماتریس مقادیر امتیازهای عاملی (ماتریس نمرات) مدل تحلیل عامل مشخصه‌های خاک منطقه مورد مطالعه

واحد نقشه‌برداری	عامل ۱	عامل ۲	عامل ۳	عامل ۴	عامل ۵	عامل ۶	عامل ۷	عامل ۸
۱	۰/۶۴۳۳۸	۱/۱۰۱۰۳	۲/۹۹۱۲۰	۰/۷۶۷۰۶	۲/۰۹۲۷	-۲/۱۹۰۵۴	۰/۴۲۵۲	۰/۸۷۳۸۰
۲	۰/۳۶۸۳۳	۰/۹۴۹۹۴	۰/۲۷۵۵۶	۰/۳۲۰۵۷	-۱/۵۰۶۰۷	-۱/۳۳۰۶۷	۱/۸۲۸۵۹	-۱/۴۲۸۲۴
۳	۰/۳۰۶۷۴	۱/۳۴۱۲۰	۰/۹۵۰۴۶	۰/۷۲۹۶۸	-۰/۸۱۱۷۸	-۱/۳۱۷۹۹	۰/۶۶۵۹۹	۲/۲۰۸۱۱
۷۱	-۱/۰۴۴۸۴	-۰/۴۴۰۵۸	۰/۱۰۵۷۳	۰/۱۰۹۸۳	-۰/۳۶۴۸۹	۱/۵۰۶۰۷	۰/۳۹۹۵۴	-۰/۳۳۶۰۶

جدول ۴. ضریب Cophenet خوشه‌بندی‌های مختلف سلسله‌مراتبی

فاصله نقاط	فاصله اقلیدسی	فاصله اقلیدسی استاندارد شده	فاصله کسینوسی	فاصله همبستگی
نوع خوشه‌بندی				
اتصال انفرادی	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۲۴	۰/۲۴
اتصال کامل	۰/۵۳	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۵۱
اتصال متوسط	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۵۴	۰/۵۵
روش وارد	۰/۴۳	۰/۴۳	-	-

خوشه‌ای می‌شود.

روش‌های سلسله‌مراتبی

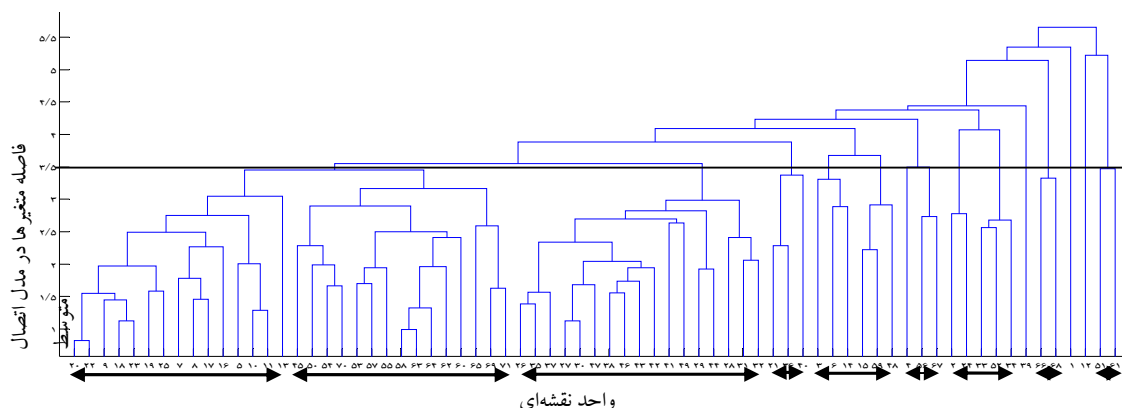
مقادیر ضریب همبستگی Cophenet برای روش‌های مختلف خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی در نرم‌افزار Matlab و با روش‌های مختلف محاسبه فواصل نقاط به شرح جدول (۴) است که مقدار آن، در روش اتصال متوسط با محاسبه از روش فاصله اقلیدسی حداکثر است. برخی مطالعات، ساختارهای دیگر از جمله وارد را برتر دانسته‌اند که از مربع فاصله اقلیدسی برای معیار تشابه استفاده می‌کند (۵).

شکل (۲)، نمودار دندان‌ای را بر اساس خوشه‌بندی اتصال متوسط ارائه می‌دهد که نمایش بصری گام‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی است. در این شکل، واحدهای نقشه‌ای مطابق با معیار تشابه در روش اتصال متوسط، در سطوح مختلف قابل طبقه‌بندی است. این مطالعه با ۳۷ متغیر مطالعاتی، نمودار دندان‌ای مترکم‌تر و به عبارت دیگر، گروه‌بندی‌های بیشتری را نسبت به مطالعات میکو و همکاران با ۹ متغیر و گالگو و

موضوع بدان معناست که رفتار زمین‌شیمیایی آنها کم و بیش نامنظم بوده است و لذا می‌بایست به صورت منفرد بررسی شوند (۸). جدول (۳)، مقادیر امتیازهای عاملی (Scores Factor) را در مدل تحلیل عامل برای ۷۱ واحد نقشه‌ای منطقه مورد مطالعه با مرکزیت نمونه برداشت شده (۷۱ واحد نقشه‌ای، معادل ۷۱ نمونه آماری) را ارائه می‌دهد و به بیان دیگر، برآوردی از عامل‌های پنهان مطالعه شده برای این واحدها است.

تحلیل خوشه‌ای

تحلیل خوشه‌ای، با تفاوت نه چندان زیادی از لحاظ کارکرد و هدف با تحلیل عامل، روشی دیگر برای تأیید نتایج گروه‌بندی متغیرها است (۱۸). تحلیل خوشه‌ای برای شناسایی گروه‌های نسبتاً همگن مورد استفاده قرار گرفت (۱۱). برای ایجاد مناطق نمونه‌برداری که یک یا بیش از یک عامل در آن حائز اهمیت است، ماتریس نمرات عامل تشکیل و سپس یک تحلیل خوشه‌ای روی این داده‌ها انجام شد (۸ و ۳۴). در این بخش، نتایج جدول (۳)، به‌عنوان گروه‌های نقشه‌ای وارد مدل تحلیل



شکل ۲. نمودار دندانهای واحدهای نقشه‌ای منطقه مورد مطالعه به روش اتصال متوسط

جدول ۵. ضریب Silhouette با انتخاب تعداد مختلف خوشه

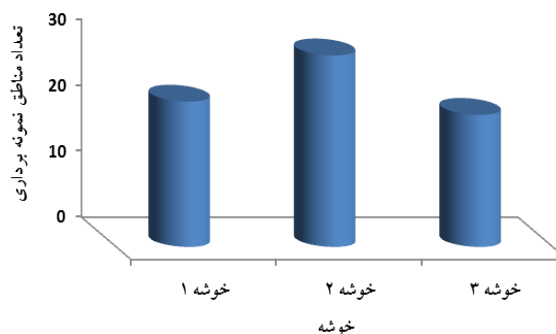
تعداد خوشه	۲	۳	۴	۵
شاخص Silhouette	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۷۲	۰/۶۳

بر اساس این الگوریتم، تعداد ۷۱ واحد نقشه‌ای بر اساس حداکثر ضریب Silhouette در سه خوشه مجزا طبقه‌بندی شد. شکل (۳)، تعداد واحد نقشه‌ای متعلق به هر خوشه را نشان می‌دهد.

منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش تیسن و مطابق با مراکز نمونه‌برداری به زیر مناطقی تقسیم شد و خروجی روش خوشه‌بندی k متوسط در نقشه منطقه اعمال شد. شکل (۴)، تقسیم‌بندی منطقه را بر اساس این روش نشان می‌دهد (۱/۱۰ ARC/INFO). ارائه محدوده واحدهای نقشه‌ای با روش تیسن برای این مطالعه با تعداد نمونه‌های بالا امکان تحلیل بهتر مکانی را نسبت به مطالعات ادهیکاری و همکاران و همچنین گالگو و همکاران ارائه می‌دهد (۱ و ۸)

نتیجه‌گیری

این مطالعه با اندازه‌گیری دامنه گسترده‌ای از متغیرهای خاک در اراضی تحت آبیاری با پساب شهری، به دنبال طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه در دو شکل اثرگذارترین متغیرها با استفاده از روش تحلیل عامل و همچنین گروه‌بندی مناطق مشابه با استفاه از روش

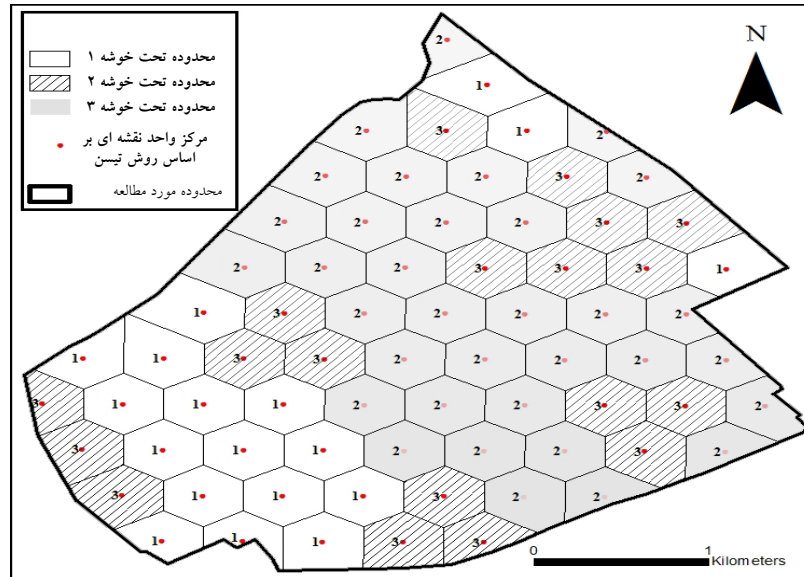


شکل ۳. خوشه‌بندی روش غیرسلسله مراتبی k متوسط

همکاران با ۲۳ متغیر نشان می‌دهد (۸ و ۱۵).

روش غیر سلسله مراتبی k متوسط

به منظور خوشه‌بندی داده‌های منطقه مورد مطالعه به روش k متوسط، دستورات مربوطه در Matlab اجرا شد و ارزیابی تعداد خوشه بهینه با شاخص Silhouette صورت گرفت (۲۹). جدول (۵)، مقادیر این ضریب را در تعداد مختلف خوشه‌گیری از مجموع نمونه‌ها و ضریب Silhouette متناظر با آن را نشان می‌دهد. بالاترین مقدار این ضریب، مربوط به تعداد خوشه سه است.



شکل ۴. تفکیک منطقه مورد مطالعه بر اساس روش خوشه‌بندی k متوسط

اجرا، سطوح مختلفی از این خوشه‌بندی ارائه شد. چنین خوشه‌بندی، مدیریت‌های محلی و خرده مالکیت‌ها را در بر می‌گیرد. واحدهای نقشه‌ای در روش k متوسط و بر اساس شاخص‌های مربوطه به سه خوشه تقسیم و در قالب نقشه ارائه شد. نتایج این تحقیق هم برای برنامه‌ریزان بخش اجرا در هدایت و کیفیت پساب شهری هدایت شده به اراضی کشاورزی در مدیریت کلان منطقه‌ای حائز اهمیت است و هم برای کشاورزان محلی تا با شناخت مهم‌ترین فاکتورهای کیفی تأثیرگذار در اراضی، نسبت به مدیریت آن اقدام لازم را به عمل آورند.

خوشه‌بندی بود. مدل تحلیل عامل توانست از میان ۳۷ پارامتر مطالعه شده، هشت گروه از پارامترها را به صورت مواد مغذی خاک، عناصر کم‌مصرف معدنی، قدرت جذب خاک، شوری و فشار اسمزی، فلزات سنگین و سدیمی شدن خاک شناسایی کند. این نتیجه‌گیری، طیف وسیع پارامترهای اندازه‌گیری شده را به تعداد محدودتری متغیر خلاصه کرد تا امکان ارزیابی کارکرد خاک در آبیاری بلندمدت با پساب با تعداد کمتری از متغیرها امکانپذیر شود. روش‌های خوشه‌بندی توانستند واحدهای نقشه‌ای را خوشه‌بندی کنند و در روش سلسله مراتبی، بسته به شاخص فاصله‌ای و بر اساس مدیریت قابل

منابع مورد استفاده

1. Adhikari, P., M. K. Shukla, J. G. Mexal and P. Sharma. 2011. Assessment of the soil physical and chemical properties of desert soils irrigated with treated wastewater using principal component analysis. *Soil Science* 176(7): 356-366.
2. Aghabarati, A., S. M. Hosseini and H. Maralian. 2008. Heavy metal contamination of soil and olive trees (*Olea europaea* L.) in suburban areas of Tehran, Iran. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences* 2: 323-329.
3. Alloway, B. J. 2008. Micronutrients and crop production: An introduction. PP. 1-39. In: Alloway, B. J. (Eds.), *Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production*, Springer, New York.
4. Dawes, L. and A. Goonetilleke. 2006. Using multivariate analysis to predict the behaviour of soils under effluent irrigation. *Water Air Soil Pollution* 172(1): 109-127.
5. Einax, J. W. and U. Soldt. 1999. Geostatistic and multivariate statistical methods for the assessment of polluted

- soil-merits and limitations. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 49: 79-91.
6. Elbana, T. A., M. A. Ramadan, H. M. Gaber, M. H. Bahnassy, F. M. Kishk and H. M. Selim. 2013. Heavy metals accumulation and spatial distribution in long term wastewater irrigated soils. *Journal of Environmental Chemical Engineering (JECE)* 1(4): 925-933.
 7. EPA. 2006. Guidance on Systematic Planning Using the Data Quality Objective Process. EPA QA/G-4. Washington, DC.
 8. Gallego, J. L. R., A. Ordonez and J. Loreda. 2002. Investigation of trace element sources from an industrialized area (Aviles, northern Spain) using multivariate statistical methods. *Environment International* 27(7): 589-596.
 9. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. PP. 383-411. In: Klute, A. (2nd Ed.), *Methods of Soil analysis*. Part 1. American Society of Agronomy, ASA. Madison, WI.
 10. Harrow, W. R. A., G. R. Webster and R. R. Cairns. 1983. Relationship between exchangeable sodium and sodium adsorption ratio in a solonchic soil association. *Canadian Journal of Soil Science* 63(3): 461-467.
 11. Hu, Y., X. Liu, J. Bai, K. Shih, E. Y. Zeng and H. Cheng. 2013. Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environmental Science and Pollution Research* 20(9): 6150-6159.
 12. ISRIC. International Soil Reference and Information Center. 1986. Procedure for Soil Analysis. Wageningen, Agriculture University.
 13. Joreskog, K. 1977. Factor analysis by least squares and maximum likelihood methods, volume III. In: Enslin, K., A. Ralston and H. Wilf. (Eds.), *Statistical Methods for Digital Computers*. Wiley, New York.
 14. Matzke, B. D., L. L. Nuffer, J. E. Hathaway, L. H. Sego, B. A. Pulsipher, S. McKenna, J. E. Wilson, S. T. Dowson, N. L. Hassig, C. J. Murray and B. Roberts. 2010. Visual Sampling Plan Version, 6.0 user's guide. United States Department of Energy, PNNL-19915.
 15. Mico, C., L. Recatala, M. Peris and J. Sanchez. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere* 65(5): 863-872.
 16. Moore, T. J., R. H. Loeppert, L. T. West and C. T. Hallmark. 1987. Rotine method for calcium carbonate equivalent of soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 18(3): 265 - 277.
 17. Nawaz, A., K. Khurshid, M. S. Arif and A. M. Ranjha. 2006. Accumulation of heavy metals in soil and rice plant (*Oryza sativa* L.) irrigated with industrial effluents. *International Journal of Agriculture and Biology* 8(3): 391-393.
 18. Nicholson, F. A., S. R. Smith, B. J. Alloway, C. Carlton-Smith and B. J. Chambers. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment* 311(1-3): 205-219.
 19. Olorunlana, F. A. 2015. Factor analysis of soil spatial variability in Akoko region of Ondo state, Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning* 8(1): 12-15.
 20. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. Government Printing Office, Washington, DC, USDA .
 21. Rencher, A. C. 1998. Multivariate Statistical Inference and Applications. New York, John Wiley.
 22. Richards, B. K. and T. S. Steenhuis. 1998. Metal mobility at an old heavy metal loaded sluge application site. *Environmental Pollution* 99(2): 365-377.
 23. Schouwenburg, J. C. V. 1960. Micro-EDTA titration of calcium. magnesium interference. *Journal of Analytical Chemistry* 32: 709-710.
 24. Sena, M. M., R. T. S. Frighetto, P. J. Valarini, H. Tokeshi and R. J. Poppi. 2002. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. *Soil and Tillage Research* 67(2): 171 -181.
 25. Sharma, R. K., M. Agrawal and F. M. Marshall. 2006. Heavy metals contamination in vegetables grown in waste water irrigated areas of Varanasi, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 77(2): 312-318.
 26. Samaila, K. I., N. D. Marcus and J. I. Kukwi. 2011. The influence of wastewater on soil chemical properties on irrigated fields in Kaduna South Township, North Central Nigeria. *Sustainable Development in Africa* 13(6): 91-101.
 27. Shukla, M. K., R. Lal and M. Ebinger. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research* 87(2): 194-204.
 28. Summer, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. PP: 1205- 1230. In: Sparks, D. L. (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. SSSSA Book Series, Madison, WI.
 29. The Mathworks. Inc. 2003. Statistics Toolbox: For Use with Matlab (User's Guide). Ver. 4.0.
 30. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. PP. 475-490. In: *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods, SSSA, Madison, WI.
 31. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid tritration method. *Soil Science* 37: 29-38.
 32. Wang, S. Q., S. L. Zhu and C. H. Zhou. 2001. Characteristics of spatial variability of soil thickness in China.

- Geographical Research* 20(2): 161–167.
33. Wang, Z. A., C. Chang, L. Wu, and D. Crowley. 2003. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. *Geoderma* 114(3-4): 261–278.
34. Wu, C. and L. Zhang. 2010. Heavy metal concentrations and their possible sources in paddy soils of a modern agriculture zone, south-eastern China. *Environmental Earth Sciences* 60: 45-56.

Geochemical Analysis of Soil Physicochemical Properties and Heavy Metals Content in the Long- term Wastewater-irrigated Soils

H. Ghamarnia^{1*}, F. Sasani¹ and B. Yargholi²

(Received: July 29-2016 ; Accepted: May 12-2018)

Abstract

Exploring the homogenous regions for site specific management is important, especially in the areas under different anthropogenic activities. This was investigated using multi-way analysis including Factor Analysis, Hierarchical Clustering Analysis and k means in the areas under long-term wastewater irrigation over a period of more than 40 years, in Shahre Rey, south of Tehran. By using Factor Analysis model, eight factors as eight geochemical groups were extracted to explain approximately 60% of the total variance related to 37 soil physicochemical properties. The most important groups included the nutrient elements (OM, OC and N), micronutrients (Mn and B), soil water adsorption capacity (Clay, Silt, Sand and CEC), salinity and osmotic pressure (EC, OP and TDS) and sodification (SAR and Na). The maximum values of Cophenet and Silhouette coefficients were equal to 0.77 and 0.83, respectively, dictating the selection of the average linkage approach in Hierarchical Clustering Analysis and three clusters in the k-average method with 19, 24 and 34 mapping units. The Thiessen Polygons method in GIS was applied to separate the geochemical groups in the form of mapping units. This output, which was, in fact, the combination of multi-way models and its visual representation in GIS under separated mapping units of study area, could present suitable management activities for the areas under each cluster.

Keywords: Soil physicochemical properties, Factor Analysis, Hierarchical Clustering Analysis, k means

1. Department of Water Resources Engineering, Compus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.

2. Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Karaj, Iran.

*: Corresponding Author, Email: hghamarnia@razi.ac.ir