تغییرپذیری مکانی عناصر غذایی قابل استفاده در خاک سطحی به‌کمک آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تکنیک زمین آمار(مطالعه موردی در منطقه آپاپیولی ، ایالت آندراپرادش هند)

شمس الله ایوبی[1*] و فرهاد خرمالی[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۴/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۸/۱۳)

چکیده

اهمیت و وجود تغییرات مکانی در خصوصیات خاک امری بدیهی به‌شمار می‌رود، با این حال درک فعلی از علل و منابع تغییرات کامل نیست. بررسی تغییرپذیری خاک در سطح مزرعه توسط آمار کلاسیک و زمین آمار قابل بررسی می‌باشد. این تحقیق به‌منظور تعیین عوامل کنترل کننده تغییرات مکانی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف به‌وسیله تلفیق آنالیز مؤلفه‌های اصلی به‌عنوان یک روش کلاسیک و روش زمین آمار در مزارع روستای آپاپیولی ایالت آندراپرادش هند صورت گرفته است. در مطالعات صحرایی در ۱۱۰ نقطه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شده و نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم،کلسیم، سدیم، منیزیوم، سولفات، بور، منگنز، روی و آهن قابل استفاده اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل‌های آمار کلاسیک و زمین آمار روی داده‌ها صورت گرفت. نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی نشان داد که چهار مؤلفه اول دارای ارزش ویژه بیش از یک بوده‌اند و جمعاً ۷۱/۶۴ درصد کل تغییرات را توجیه کرده‌اند. نتایج آنالیزهای زمین آماری روی سه مؤلفه اول نشان داد که هر سه مؤلفه بر اساس تغییرنمای سطحی ، همسانگرد بوده‌اند. مدل‌های برازش داده شده به هر سه مؤلفه از نوع کروی می‌باشند. مقدار دامنه تأثیر برای مؤلفه‌های اول و سوم نزدیک به هم بوده و به ترتیب معادل ۲۸۸ و ۳۹۳ متر می‌باشد. به‌نظر می‌رسدکه مهم‌ترین عناصر غذایی در این مؤلفه‌ها دارای دامنه تأثیر ۴۰۰-۳۰۰ متر هستند. در مقابل مؤلفه دوم که دارای دامنه تأثیر حدود ۸۷۷ متر می‌باشد، احتمالاً عناصر غذایی مهم در آن مانند آهن، منگنز و روی دارای دامنه تأثیر مشابهی در حدود ۹۰۰-۷۰۰ متر در مقیاس مطالعه هستند. مقایسه الگوی مکانی مؤلفه‌ها نشان می‌دهد که الگوی پراکنش مؤلفه اول و سوم که در آن مهم‌ترین عناصر غذایی نیتروژن کل، منیزیوم ،پتاسیم، مس، کلسیم و فسفر قابل استفاده هستند با الگوی کشت و ابعاد مزارع مطابقت دارد. این امر نشان دهنده آن است که تغییرپذیری عناصر مزبور عمدتاً تحت مدیریت زارعین قرار گرفته است. جهت رعایت بهینه مصرف عناصر غذایی بایستی میزان کوددهی توسط زارعین مورد بازنگری قرار گیرد. الگوی مؤلفه دوم با شکل قطعه‌بندی مزارع هم‌خوانی ندارد ولی با الگوی مکانی اسیدیته خاک در منطقه تطابق بسیار زیادی نشان می‌دهد. با توجه به این‌که مؤلفه دوم ترکیب خطی از عناصر مهم روی، آهن و منگنز می‌باشد لذا می‌توان نتیجه گرفت که توزیع مکانی عناصر مزبور عمدتاً توسط اسیدیته خاک کنترل شده است و مدیریت موضعی زارعین کم‌رنگ‌تر بوده است. در عین حال توزیع این عناصر نیز باید در نقاط بحرانی و کمتر از حد قابل قبول، مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تغییرپذیری مکانی، آنالیز مؤلفه اصلی، زمین آمار، عناصر غذایی خاک، آپاپیولی هند

۱. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و در حال حاضر استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ayoubi@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]

مقدمه

اهمیت وجود تغییرات مکانی در خصوصیات خاک امری بدیهی به‌شمار می‌رود. با آن‌که عوامل و علل تغییرات در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد ولی درک منابع ایجاد تغییرات ما را در مدیریت بهتر یاری می‌دهد. با تمام دانشی که بشر از طبیعت و محیط دارد ولی هیچ وقت نمی‌تواند درک کاملی از علل و منابع تغییرات متغیرها ارائه نماید. ولی با این وجود بشر سعی می‌کند درک خود را از محیط گسترش دهد. آگاهی از چگونگی تغییرات برای افزایش سوداوری و مدیریت کشاورزی پایدار ضروری می‌باشد. خصوصیات خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی از مقیاس‌های کوچک تا بزرگ می‌باشند که تحت تأثیر خصوصیات ذاتی(فاکتورهای تشکیل خاک مانند مواد مادری خاک) و خصوصیات غیر ذاتی(مانند عملیات مدیریتی خاک، کوددهی و تناوب زراعی) قرار می‌گیرد(۲۰). تغییرپذیری خصوصیات خاک در مزرعه می‌تواند در عملکرد خاک جهت جذب عناصر غذایی و رشد گیاه تأثیرگذار باشد(۲۲). لذا به‌منظور درک بهتر تأثیر فاکتورهایی مانند مدیریت و آلودگی و نهایتاً دست‌یابی به عملیات زراعی مناسب نیازمند مشخص کردن و کمی کردن غیریک‌نواختی خصوصیات خاک می‌باشیم(۷).

تغییرپذیری خصوصیات خاک در مزارع اغلب به‌وسیله روش‌های آمار کلاسیک بیان می‌شوند که در آن فرض بر توزیع تصادفی تغییرات درون واحدهای نقشه(Mapping units) می‌باشد(۷). یکی از آنالیزهای مهم که در توصیف تغییرپذیری خصوصیات خاک به‌کار گرفته شده ، آنالیز مؤلفه‌های اصلی(Principal Component Analysis) است که توسط محققین مختلف به‌کار گرفته شده است. تچینکوا و زک ضمن استفاده از آنالیزهای مؤلفه‌های اصلی تغییرپذیری مکانی ۱۶ متغیر خاک را مورد بررسی و تحلیل قرار دادند(۲۵). در ارتباط با توزیع مکانی عناصر سنگین و مکان‌یابی آنها مطالعات متعددی با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی صورت گرفته است (۴ و ۲۳). تاریک و همکاران (۲۷) با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی در پاکستان توانستند توزیع مکانی عناصر کمیاب را در خاک‌های مورد مطالعه بررسی کنند. شوکلا و همکاران(۲۲) در توصیف تغییرپذیری ۱۴ متغیر خاک‌های اوهایوی آمریکا از آنالیز مؤلفه‌های اصلی کمک گرفته و تغییرات تولید ذرت را به تغییرات خصوصیات خاک نسبت دادند. اوالز و کولین(۱۸) با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی نشان دادند که شن کل، شن ریز، رس و کربن آلی به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی‌های خاک، بخش اعظمی از تغییرات خصوصیات خاک را در سطح مزرعه توجیه کرده‌اند.

روش‌های متداول آمار کلاسیک، موقعیت مکانی نمونه‌های برداشت شده از محیط را در نظر نمی‌گیرد و هیچ‌گونه ارتباط ریاضی این تغییرات مکانی داده‌ها به‌عنوان تابعی از فاصله برقرار نمی‌شود. شاخه‌ای از علم آمار کاربردی به نام زمین آمار(Geostatistics) قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین گرهای آماری به‌منظور براورد خصوصیات مورد نظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد(۱۲). این روش قادر به تهیه نقشه‌های کمی با دقت معلوم در مورد خواص خاک و تغییرپذیری تولید بوده و لذا می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای انتخاب تیمار مزارع با نرخ متغیر در فاز اجرایی کشاورزی دقیق به‌کار گرفته شود.

علاوه بر تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک، برای برخی زارعین و محققین شناخت منبع این تغییرات و چگونگی وابستگی مکانی عناصر غذایی با همدیگر از اهمیت خاصی برخوردار است. برخی محققین علاقه مند به شناخت منشا تغییرات هستند. اگر فعالیت‌های بشری منجر به نقصان یا سمیت عنصری در بخشی از مزرعه شده باشد، لازم است که زارعین در نحوه مدیریت مزرعه بازنگری و تجدید نظر کنند. هر یک از عناصر غذایی خاک، الگوی پراکنش مکانی منحصر به فرد و کم وبیش متفاوتی با سایر عناصر دارد. با این همه شناخت الگوهای مشترک و منابع تغییر دهنده و یا کنترل کننده آنها می‌تواند ما را در مدیریت بهینه کمک نماید. این شناخت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]

به‌وسیله تلفیق روش‌های آمار چند متغیره و زمین آمار در تحلیل مکانی چند عنصر به‌طور هم‌زمان حاصل می‌گردد. این تکنیک که توسط برخی محققین مورد توجه قرار گرفته، تحت عنوان تکنیک زمین آمار چند متغیره(Multivariate Geostatistics) مشهور است(۱۳). کستریگنانو و همکاران(۸) ضمن انجام آنالیز زمین آمار چند متغیره به‌روش مؤلفه‌های اصلی روی ۱۰ خصوصیت فیزیکی و شیمیایی خاک در نواحی مرکزی ایتالیا نشان دادند که مؤلفه اصلی اول تنها با سدیم خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری ارتباط معنی‌داری داشته و این امر احتمالاً ناشی از این است که دامنه تأثیر خصوصیت و فرایندهای مؤثر برآن با سایر فاکتورها متفاوت می‌باشد. درحالی‌که مؤلفه دوم با CEC خاک ، نیتروژن کل و مقدار رس ارتباط معنی‌داری نشان داده است. فاک چینلی و همکاران(۱۰) ضمن انجام آنالیز زمین آمار چند متغیره پی بردند که مقادیر کروم، نیکل و کبالت در خاک با هم ارتباط دارند و از یک منشا تحت متأثر می‌شوند. آنها با انطباق نقشه مؤلفه اول روی نقشه زمین‌شناسی دریافتند که توزیع مکانی این سه عنصر توسط سازندهای زمین‌شناسی منطقه کنترل می‌شود. وبستر و همکاران(۲۸) نیز با مطالعه‌ای مشابه نشان دادند که توزیع کبالت و نیکل خاک که در مؤلفه اول ظاهر شده‌اند با نوع مواد مادری منطقه مرتبط هستند. بوچی و همکاران (۳) آنالیز زمین آمار چند متغیره را برای بررسی مکانی برخی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک در شمال ایتالیا مورد استفاده قرار داده و نتیجه گرفتند که تلفیق دانش متخصصین پدولوژی با تکنیک‌های زمین آماری می‌تواند در راستای بهبود مدیریت در سطح مزرعه مفید باشد. تا به حال در منطقه مورد مطالعه در ارتباط با تغییرپذیری عناصر غذایی و منشأ این تغییرات در راستای کشاورزی دقیق و مصرف بهینه کودها مطالعه‌ای انجام نگرفته است. به‌نظر می‌رسد استفاده از تکنیک زمین آمار چند متغیره بتواند در راستای شناخت تغییرپذیری مکانی عناصر غذایی مختلف قابل استفاده برای گیاه و بهبود مدیریت مناسب باشد. بنابراین این تحقیق به‌منظور بررسی مکانی عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف خاک با استفاده از تلفیق روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی و تکنیک زمین آمار در مزارع روستای آپاپیولی ایالت آندراپرادش هند صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه و مطالعات صحرایی

منطقه مورد مطالعه در ناحیه مهبوبناگر در ایالت آندراپرادش هند در روستای آپاپیولی قرار دارد. منطقه مورد مطالعه با مساحت تقریبی ۲۶۰ هکتار در عرض جغرافیایی ´۳۹ °۱۶ شمالی و طول جغرافیایی ´۵۴ °۷۷ شرقی قرار دارد.

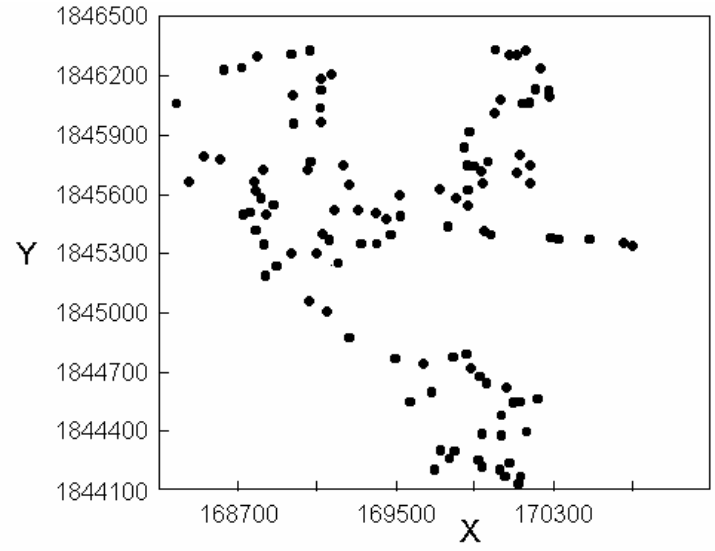
محصولات مهم منطقه مشتمل بر سورگوم، نخود و لوبیا چشم بلبلی می‌باشد. متوسط نزولات سالانه منطقه ۷۷۴ میلی‌متر است که ۷۷ درصد آن طی ماه‌های ژوئن تا سپتامبر ریزش می‌یابد. متوسط دمای سالانه °C ۲۶/۱ می‌باشد. در مرحله مطالعات صحرایی تعداد ۱۱۰ نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری در ماه می ۲۰۰۳ به‌صورت تصادفی و با حداقل فاصله ۵۰ متری و الگوی ارائه شده در شکل ۱ توسط اوگر برداشت گردید.

آنالیزهای آزمایشگاهی

نمونه‌ها پس از هواخشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و سپس آنالیزهای شیمیایی مربوطه روی آنها صورت گرفت. نیتروژن کل به‌روش کجلدال(۶)، فسفر قابل استفاده به‌روش اولسون(۱۷)، پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیوم قابل استفاده به‌روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم(۲۶)، سولفات قابل دسترس به‌وسیله عصاره‌گیری با کلسیم دی هیدروژن فسفات مونوهیدرات ($Ca[H_2PO_4].H_2O$)(۲۴)، بور قابل استفاده به‌وسیله عصاره‌گیری با آب جوشان(۱۴)، روی، آهن، منگنز و مس قابل استفاده به‌روش عصاره‌گیری با محلول DTPA (۱۵) اندازه‌گیری گردید.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]



شکل ۱. پراکنش جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در مزارع روستای آپاپولی هند

آنالیز مؤلفه‌های اصلی

هدف از تجزیه مؤلفه‌های اصلی آن است که واریانس موجود در داده‌های چند متغیره را در مؤلفه‌هایی تجزیه کند که اولین مؤلفه تا آنجا که ممکن است علت بیشترین واریانس موجود در داده‌ها باشد و به تدریج مؤلفه‌های بعدی واریانس کمتری از تغییرات را توجیه می‌کنند(۲۲). در این روش هر مؤلفه مستقل از مؤلفه‌های دیگر است. یعنی بین مؤلفه‌های حاصله هم‌بستگی وجود ندارد. اگر یک مجموعه p متغیری X_1، X_2،.....X_p داشته باشیم، تابع خطی زیر به‌عنوان مؤلفه اصلی اول شناخته می‌شود(۱):

$$PC_1= a_{11} X_1 + a_{21}X_2 + \dots + a_{p1} X_p \qquad [۱]$$

در معادله مزبور a_{ij} نظیر ضرایب رگرسیون، ثابت هستند(۱۸). اگر متغیرهای مستقل جدید را به‌صورت PC_1، PC_2، .... و PC_p داشته باشیم، در آن صورت کل واریانس موجود در داده‌ها را می‌توان توجیه کرد.

آزمون نرمالیته داده‌ها به‌روش کولموگروف –اسمیرنف و تعیین آماره‌های توصیفی عناصر غذایی، نظیر میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، دامنه، ضریب چولگی، ضریب کشیدگی و محاسبه مؤلفه‌های اصلی به کمک داده‌های اولیه توسط نرم افزار SPSS صورت گرفت. جهت انتخاب مؤلفه‌های مهم طبق نظر شارما(۲۱) مؤلفه‌هایی انتخاب شدند که مقدار ارزش ویژه (Eigenvalue)آنها از یک بیشتر باشد. در راستای تفسیر خصوصیات مهم در هر مؤلفه که بیشترین تغییرات را کنترل می‌کند، از معیار انتخاب(SC) به شرح زیر استفاده گردید(۹) :

$$SC= ۰/۵ / (\text{PC eigenvalue})^{1/2} \qquad [۲]$$

در این معادله PC eigenvalue ارزش ویژه مؤلفه مربوطه و SC معیار انتخاب می‌باشد.

آنالیزهای زمین آماری

تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات‌مکانی با استفاده از تغییرنما صورت می‌گیرد. تغییرنما تغییرات فاصله‌ای یا ساختار تغییرپذیری یک متغیر خاص را نشان داده و از ابزارهای‌اساسی زمین‌آمار جهت بررسی تغییرات‌مکانی خصوصیات خاک می‌باشد. هم‌چنین طبیعی‌ترین روش برای مقایسه دو کمیت، مثلاً دو مقدار Z(x) و Z(x+h) در دو نقطه یکی به مختصات x و دیگری x+h که به فاصله h از هم قراردارند، آن است که اختلاف آنها را بررسی‌کنیم. بدیهی است که علامت این اختلاف مهم نبوده و برای تجزیه و تحلیل، میانگین Z(xi+h)-Z(xi) موردنظر قرارمی‌گیرد. بنابراین بایستی میانگین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]

جدول ۱. توصیف آماری عناصر غذایی خاک در منطقه مورد مطالعه (غلظت عناصر برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد)(n=۱۱۰) (به جز نیتروژن که شامل نیتروژن کل خاک است، بقیه عناصر فرم قابل جذب برای گیاه می‌باشد).

عنصر	میانگین	میانه	مینیمم	ماکزیمم	دامنه	ضریب تغییرات	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
N	۴۵۶/۱۲	۴۵۲	۲۳۱	۸۳۱	۶۰۰	۰/۲۷	۰/۵۲	۰/۰۷
P	۴/۴۰	۴/۲۲	۰/۶	۱۸/۴۰	۱۷/۸۰	۰/۸۶	۰/۹۷	۳/۵۲
K	۱۰۱/۴۵	۹۶/۰۰	۰	۲۴۲	۲۴۲	۰/۴۰	۰/۶۶	۱/۳۱
Ca	۱۳۰۷	۸۱۸	۱۵۸	۵۰۵۱	۴۸۹۳	۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۵۹
Na	۳۵/۶۷	۲۶	۱	۱۸۹	۱۸۸	۰/۹۸	۰/۸۸	۲/۲۹
Mg	۱۵۲/۵۷	۱۳۲	۲۸	۵۷۹	۵۵۱	۰/۶۷	۰/۸۵	۲/۵۶
Cu	۰/۸۹	۰/۸۰	۰/۴۰	۲/۶۰	۲/۲۰	۰/۴۳	۰/۸۹	۲/۵۵
Fe	۹/۳۲	۹	۳/۱	۲۴/۱	۲۱	۰/۴۱	۰/۷۱	۰/۹۸
Mn	۱۸/۱۸	۱۷/۱	۵/۶	۳۷/۶	۳۲	۰/۴۷	۰/۳۳	-۰/۹۱
Zn	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۱۲	۰/۹۲	۰/۸۰	۰/۴۳	۰/۹۹	۲/۰۳
S	۵/۳۸	۴/۹۰	۲	۱۲/۷۰	۱۰/۷۰	۰/۳۴	۰/۹۵	۱/۵۶
B	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۴۹	-۰/۲۷	-۰/۴۵

$|Z(x)-z(x+h)|$ را برای تمام موقعیت‌های x و x+h محاسبه- کرده و در نظر بگیریم. از آنجایی که متوسط این کمیت، صفر و یا نزدیک به صفر است در عمل، مجذور اختلاف را در نظر می‌گیرند (۲). اگر فرض شود که جمعاً تعداد N(h) زوج‌نمونه که به فاصله بردار h از یکدیگر واقع شده‌اند در دست باشد، براساس این اطلاعات تغییرنما به‌صورت زیر خواهدبود

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}\left[Z(x_i+h)-Z(x_i)\right]^2 \qquad [۳]$$

مدل‌های برازش شده به تغییر نما به دو دسته بدون سقف و سقف دار تقسیم می‌شوند.در این تحقیق متغیرها عموماً از مدل کروی(Spherical) تبعیت کرده که معادله آن به شرح زیر است:

$$\gamma(h)=C\left(\frac{h}{a}-0/5\frac{h^3}{a^3}\right) \qquad h>a$$

$$\gamma(h)=C \qquad h\geq a \quad [۴]$$

در این معادله C حد آستانه و a دامنه تأثیر می‌باشد.جهت بررسی همسانگردی مؤلفه‌ها از تغییر نمای سطحی استفاده شد و پس از اطمینان از همسانگرد بودن آنها ، تغییرنمای همه‌جهته(Omni directional)برای سه مؤلفه مهم اول، ترسیم گردید. محاسبه و ترسیم تغییرنمای اولیه و تعیین پارامترهای آن

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]

جدول ۲. ارزش ویژه برای مؤلفه‌های اصلی مهم به همراه معیار انتخاب

مؤلفه	ارزش ویژه	واریانس توجیه شده%	واریانس تجمعی %	معیار انتخاب(SC)
PC1	۳/۷۹۱	۳۱/۵۸	۳۱/۵۸	۰/۲۵۷
PC2	۲/۸۵۲	۲۳/۷۶	۵۵/۳۵	۰/۲۹۶
PC3	۱/۱۱۱	۹/۲۵	۶۴/۶۱	۰/۴۷۴
PC4	۱/۰۱	۷/۰۳۳	۷۱/۶۴	۰/۵۴۴

با استفاده از برنامه رایانه‌ای VARIOWIN 2.2 صورت گرفت (۱۹)، به‌منظور بررسی اعتبار تغییرنما، انتخاب پارامترهای مدل به نحوی صورت گرفت که مدل بهینه نهایی، دارای شاخص‌های میانگین خطا(Mean Error) حداقل و نزدیک به صفر و واریانس نسبی(RV) نزدیک به یک باشد(۵).

$$ME=\Sigma^{n}_{i=1} (Z(xi)^{*} - Z(xi))/n \quad [۵]$$

$$RV= 1/n [\Sigma^{n}_{i=1} \{Z^{*} - Z\}^{2} / \delta_{k}^{2}(xi)] \quad [۶]$$

نتایج و بحث

توصیف آماری عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف قابل استفاده در جدول ۱ خلاصه شده است. در این جدول آماره‌های میانگین، حداقل و حداکثر و دامنه تغییرات هر عنصر در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. مقادیر ضریب تغییرات عناصر نشان می‌دهد که درصد تغییرات در منطقه از حداقل ۲۷ درصد برای نیتروژن کل تا حداکثر ۹۸ درصد برای سدیم می‌باشد. بر اساس طبقه بندی ارائه شده توسط ویلدینگ(۲۹) که بر مبنای مقادیر ضریب تغییرات صورت گرفته نیتروژن و سولفات دارای تغییرپذیری کم و سایر عناصر غذایی داری تغییرپذیری زیاد هستند. تغییرپذیری زیاد برخی عناصر نظیر سدیم، کلسیم و منیزیوم را می‌توان به قابلیت حلالیت زیاد آنها نسبت داد. ولی تغییرپذیری زیاد فسفر قابل استفاده که از عناصر کم تحرک می‌باشد قابل تأمل بوده و احیاناً توسط سطح مصرف کود توسط زارعین مختلف، تغییرپذیری زیادی از خود نشان می‌دهد. به‌طوری که در حداقل مقدار ۰/۶ تا حداکثر ۱۸/۴ پی پی ام در تغییر می‌باشد.نتایج آزمون نرمالیته کولموگروف-اسمیرنوف نشان می‌دهد که تمامی عناصر غذایی توزیعی تقریباً نرمال از خود نشان می‌دهند. مقادیر ضریب چولگی ارائه شده در جدول۱ (مقادیر بین ۱ و ۱-) نتیجه گیری مزبور را تایید می‌نماید(۸). هم‌چنین نزدیک بودن مقادیر میانگین هر عنصر با مقدار میانه دلیل دیگری بر این مدعاست(۱۱).

آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر اساس فرض در نظر گرفته شده(ارزش ویژه بالای ۱)، منجر به ایجاد ۴ مؤلفه اصلی گردید. مقادیر ارزش ویژه و واریانس مطلق توجیه شده توسط هر مؤلفه و هم‌چنین واریانس تجمعی در جدول۲ ارائه شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد ۴ مؤلفه اصلی (مؤلفه‌های اول تا چهارم) حدود ۷۱/۶۴ درصد تغییرات را توجیه کرده‌اند. شوکلا و همکاران(۲۲) نیز با فرض مزبور موفق به ارائه ۴ مؤلفه اصلی برای ۱۴ متغیر خاک شدند که جمعاً ۷۸ % تغییرات را توجیه کردند. همان‌طور که قبلاً عنوان شد و نتایج این تحقیق نیز نشان می‌دهد اولین مؤلفه بیشترین واریانس را توجیه کرده(۳۱/۵۸%) و به تدریج در سایر مؤلفه‌ها این درصد کاهش می‌یابد. مقادیر معیار انتخاب(SC) که از معادله ۲ و بر اساس مقادیر ارزش ویژه مؤلفه محاسبه شده‌اند نیز در جدول ۲ دیده می‌شوند.

همان‌طور که مقادیر ارائه شده نشان می‌دهد از مؤلفه اول به سمت مؤلفه چهارم مقدار معیار انتخاب(SC) افزایش می‌یابد. این نتیجه گیری با نتایج اوالز و کولین(۱۸) و کاکس و همکاران(۹) هم‌خوانی و مطابقت دارد. همان‌طور که قبلاً عنوان شد هر مؤلفه، ترکیب خطی از تمامی متغیرها با وزن‌های مختلف می‌باشد. جهت انتخاب خصوصیات مهم برای تفسیر در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]

جدول ۳. وزن‌های محاسبه شده مهم برای هر مؤلفه اصلی(انتخاب شده بر اساس معیار sc)

عنصر غذایی خاک	مؤلفه			
	PC1	PC2	PC3	PC4
N	۰/۷۸۵			
P	۰/۴۶۴	۰/۵۲۲		
K	۰/۷۲۲			
Ca	۰/۶۵۷	-۰/۶۳۹		
Na	۰/۲۶۵	-۰/۳۱۱		
Mg	۰/۸۲۸		۰/۶۵۳	
Cu	۰/۷۲۴			
Fe		۰/۷۱۹		
Mn		۰/۷۷۸		
Zn		۰/۸۱۴		
S	۰/۵۳۲	۰/۴۱۶		
B	۰/۵۴۰			۰/۷۰۷

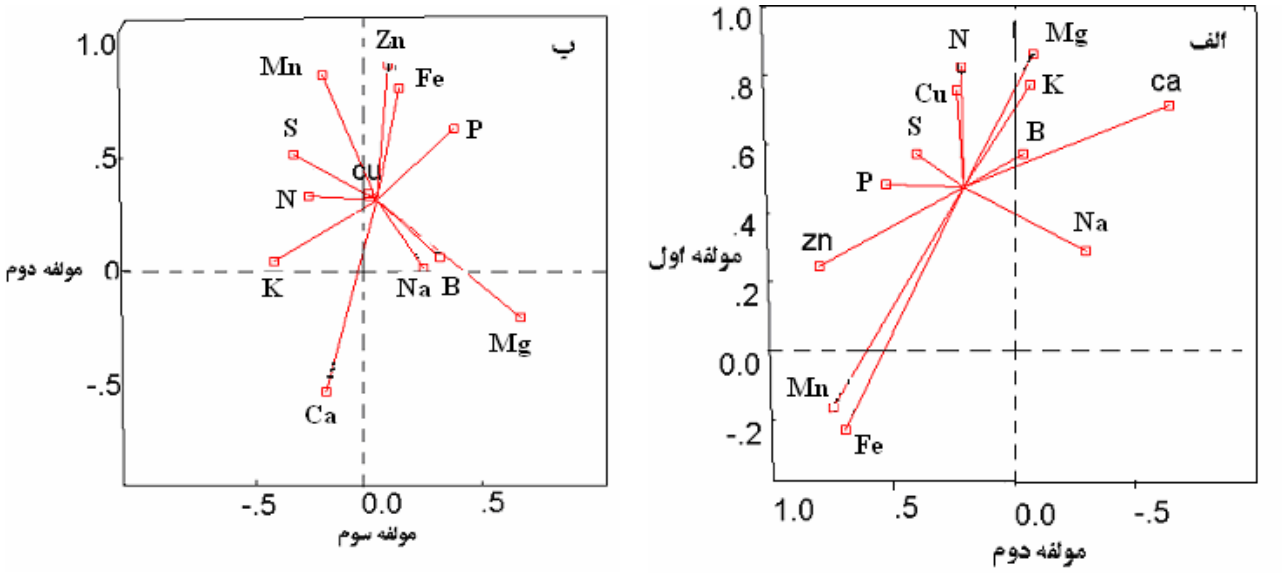
هر مؤلفه، از معیار انتخاب که برای هر مؤلفه در جدول ۲ ارائه گردید، استفاده شده است. با توجه به مقدار معیار انتخاب وزن‌هایی استخراج می‌شوند که در هر مؤلفه مقدار قدرمطلق وزن بیش از مقدار معیار انتخاب(SC) شده باشد.

بر اساس روش مزبور وزن عناصر مهم در هر مؤلفه در جدول ۳ ارائه شده است. به‌عنوان مثال در مؤلفه اول عناصر غذایی نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، کلسیم، سدیم ، منیزیوم، مس سولفات و بور دارای وزن بیشتری از معیار انتخاب این مؤلفه(۰/۲۵۷) بوده‌اند و به همین جهت سایر عناصر که دارای وزن کمتری نسبت به معیار انتخاب بوده‌اند در تفسیر مهم نبوده و در جدول نیز ارائه نشده‌اند. با افزایش شماره مؤلفه به سمت مؤلفه چهارم از تعداد خصوصیات مهم در مؤلفه کاسته شده به‌طوری که دو مؤلفه اول دارای عناصر بیشتری هستند. در مؤلفه سوم تنها عنصر غذایی مهم منیزیوم بوده است. وزن‌های ارائه شده در جدول ۳ به نحوی نشان دهنده ضریب هم‌بستگی بین مؤلفه و عنصر مورد نظر هستند(۲۲). برای کاهش بیشتر تعداد متغیرها می‌توان فاکتورهایی را مدنظر قرار داد که مقدار قدر مطلق ضریب مزبور در آنها بیش از ۰/۷۵ باشد(۱۸). به این ترتیب برای مؤلفه اول مهم‌ترین عناصر غذایی، نیتروژن کل و منیزیوم قابل استفاده می‌باشند. به عبارتی بیشترین واریانس تغییرات در مزارع مورد مطالعه به این دو متغیر مربوط می‌گردد.

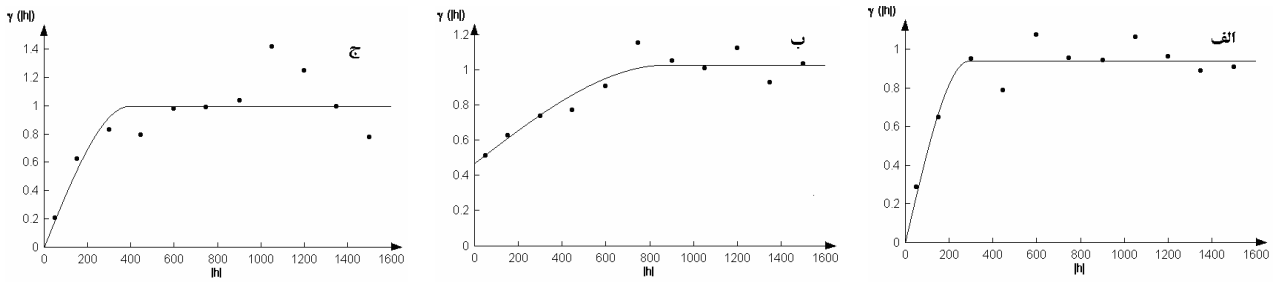
توزیع شماتیک وزن‌های سه مؤلفه اصلی در برابر همدیگر در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۲ الف مشاهده می‌شود عناصر غذایی منگنز و آهن برای مؤلفه اول دارای وزن منفی بوده(زیر خط نقطه چین افقی) و بقیه عناصر دارای وزن مثبت هستند. منیزیوم و نیتروژن که دارای بیشترین فاصله از این خط قرار دارند، دارای بیشترین وزن در مؤلفه اول بوده و بیشترین تغییرپذیری عناصر غذایی در منطقه را توجیه می نمایند. در مقابل عناصر آهن، منگنز و روی که دارای نزدیک‌ترین فاصله به خط مزبور هستند کمترین تغییرپذیری را در مؤلفه اول توجیه کرده و در جدول ۳ نیز لحاظ نشده‌اند. شکل ۲ الف هم‌چنین برای توزیع نسبی وزن هر عنصر در مؤلفه دوم قابل استفاده است. همان‌طور که شکل مزبور نشان می‌دهد عناصر بور، پتاسیم ، منیزیوم، نیتروژن و و مس که

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]



شکل ۲. توزیع شماتیک وزن عناصر مختلف در مؤلفه‌های اول و دوم و سوم



شکل ۳. تغییر نمای تجربی و مدل برازش داده شده به سه مؤلفه اصلی (الف: مؤلفه PC1، ب: مؤلفه PC2 ، ج: مؤلفه PC3)

نسبت به خط تبیین کننده این مؤلفه (خط نقطه چین عمودی در شکل ۲ الف) نزدیک‌تر هستند، دارای کمترین وزن بوده و در جدول ۳ نیز مقدار وزن آنها از مقدار معیار انتخاب کمتر بوده است. در شکل ۲ ب نیز نشان داده شده که مهم‌ترین عنصر با بیشترین وزن برای این مؤلفه سدیم بوده وسایر عناصر وزنی کمتر از معیار انتخاب داشته‌اند (جدول ۳). چنین تفاسیری توسط سایر محققین(۱۸) نیز ارائه شده است.

با توجه به این‌که قسمت اعظم واریانس تغییرات عناصر مورد مطالعه را سه مؤلفه اول توجیه کرده‌اند، آنالیزهای زمین آماری روی سه مؤلفه اول صورت گرفته است. آنالیزهای زمین آماری انجام شده روی مؤلفه‌های اصلی اول تا سوم نشان داد که هر سه مؤلفه بر اساس تغییرنمای سطحی دارای همسانگردی بوده و لذا از تغییرنمای همه جهته برای آنالیزهای بعدی استفاده گردید. جهت تعیین مقدار سمی واریانس از معادله۳ استفاده شده که توزیع گرافیکی آنها در مقابل فاصله h برای هر سه مؤلفه در شکل ۳ ارائه شده است. هم‌چنین در این شکل بهترین مدل‌های برازش داده شده به تغییرنمای تجربی نیز نشان داده شده است. مدل‌های برازش داده شده به هر سه مؤلفه از نوع کروی می‌باشند. بوچی و همکاران(۳) در مطالعه زمین آمار چنده متغیر خاک‌های شمال ایتالیا مدل نمایی(Exponential) را به مؤلفه‌های اول تا سوم برازش دادند. وبستر و همکاران(۲۸) نیزبا آنالیز زمین آماری روی مؤلفه‌ها، مدل دوساختاره کروی را برازش دادند که دامنه تأثیر کوتاه و بلند آن به ترتیب۲۰۰ و ۱۳۰۰ متر بوده است. یکی از مهم‌ترین

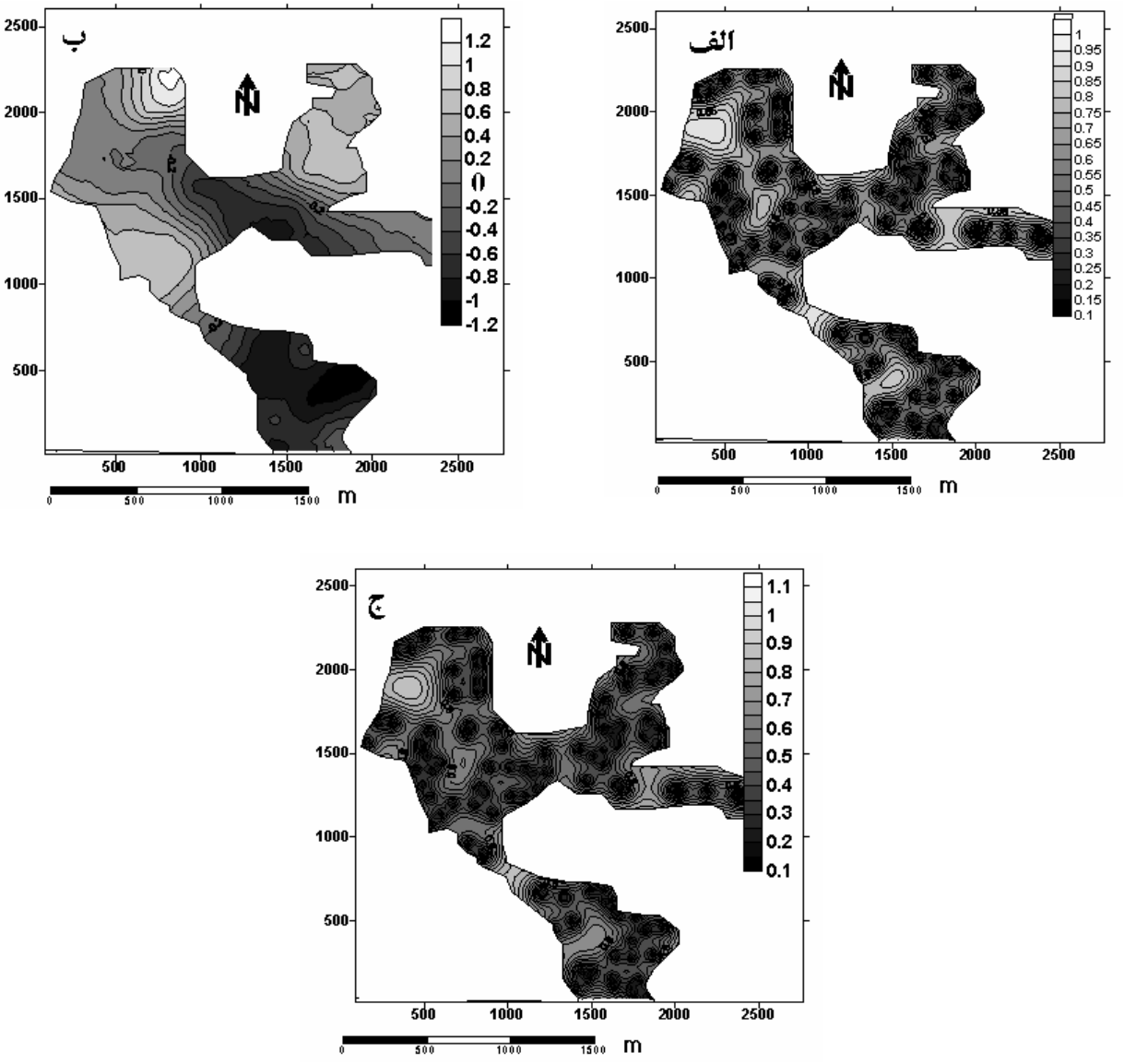
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]

جدول ۴. پارامترهای مدل تغییر نما برای سه مؤلفه اصلی اولیه و شاخص‌های اعتبار سنجی

مؤلفه	مدل	اثر قطعه‌ای	دامنه تأثیر (متر)	آستانه*	نسبت هم‌بستگی	ME	RV
PC1	کروی	۰/۰۰۱	۲۸۸	۰/۹۴۱	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۰/۹۹
PC2	کروی	۰/۴۷	۸۷۷	۱/۰۳	۰/۵۴	۰/۰۱۲	۱/۰۰
PC3	کروی	۰	۳۹۳	۱	۱	-۰/۰۳	۱/۰۰

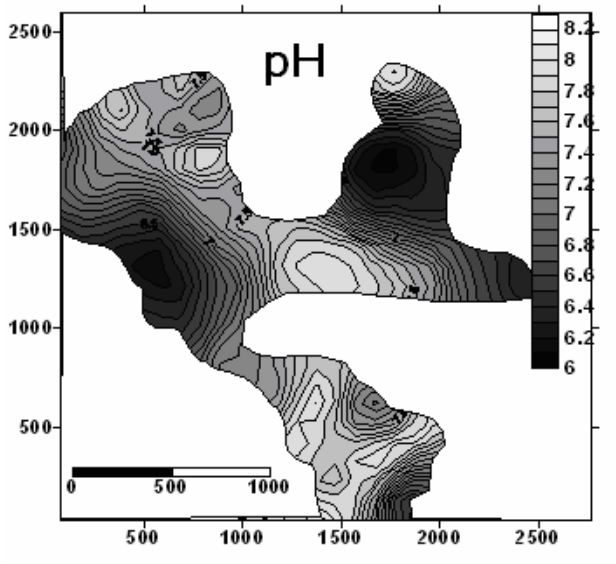
*: منظور مجموع اثر قطعه‌ای و سقف می‌باشد.



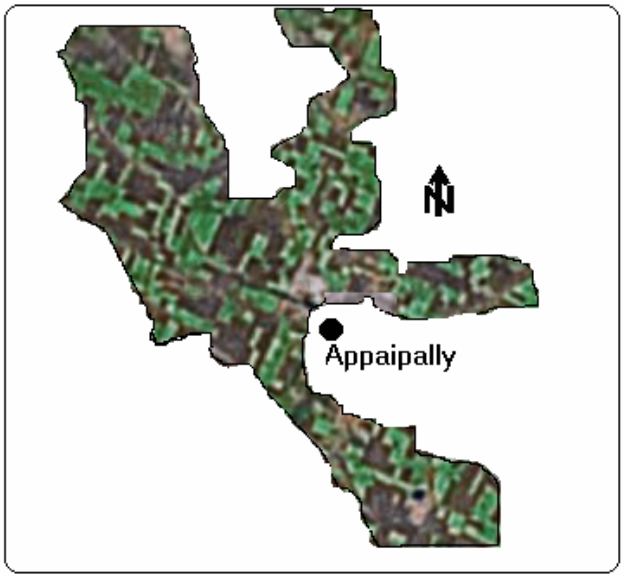
شکل ۴. توزیع مکانی مؤلفه‌های اصلی PC1(الف) ، PC2(ب) و PC3(ج)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]



شکل ۵. پراکنش مکانی pH خاک در منطقه مورد مطالعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری



شکل ۶. الگوی کشت موجود در منطقه

معیارهای مهم دامنه تأثیر هر مؤلفه می‌باشد که نشان دهنده حداکثر فاصله‌ای است که یک متغیر دارای وابستگی مکانی است و در ورای آن متغیر مورد نظر مستقل می‌گردد و فاقد وابستگی مکانی است. این مقدار برای مؤلفه اول و سوم نزدیک به هم بوده و به ترتیب معادل ۲۸۸ و ۳۹۳ متر می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که مهم‌ترین عناصر غذایی مؤثر در این مؤلفه‌ها دارای دامنه تأثیر ۳۰۰-۴۰۰ متر هستند. در مقابل مؤلفه دوم که دارای دامنه تأثیر حدود ۸۷۷ متر می‌باشد ، احتمالاًعناصر غذایی مهم در آن مانند آهن ، منگنز و روی دارای دامنه تأثیر مشابهی درحدود ۷۰۰-۹۰۰ متر در مقیاس مطالعه هستند. بوچی و همکاران(۳) در مطالعه خود نشان دادند که هر سه مؤلفه اول دارای دو دامنه تأثیر کوتاه و بلند معادل ۴۴ و ۱۱۷ متر بوده‌اند.

یکی دیگر از معیارهای مهم و قابل تأمل در مطالعات زمین آماری نسبت هم‌بستگی می‌باشد. این نسبت مقدار نسبی واریانس توجیه شده توسط مدل زمین آمار را نسبت به واریانس کل نشان می‌دهد و مقدار بیشتر آن نشان‌دهنده آن است که متغیر مورد نظر دارای وابستگی مکانی بیشتری می‌باشد(۱۶). در این مطالعه دو مؤلفه اول و سوم دارای وابستگی خیلی زیادی بوده و مؤلفه دوم از وابستگی مکانی متوسطی (نسبت هم‌بستگی=۰/۵۴) برخوردار می‌باشد. معیارهای اعتبارسنجی مدل‌های مزبور نیز در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مقادیر حداقل خطا(ME) نشان می‌دهد که هر سه مدل دارای تخمینی نااریب هستند و هم‌چنین مقادیر واریانس نسبی(RV) نزدیک به یک، مؤید دقت بالای تخمین، توسط این مدل‌ها می‌باشد.

بر اساس پارامترهای بهینه شده مدل‌های تغییرنما و به‌کمک تکنیک کریجینگ معمولی (Ordinary kriging) نقشه‌های پیوسته سه مؤلفه اصلی ترسیم شده است که توزیع مکانی آنها در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان‌طور که توزیع پراکنش مکانی آنها نشان می‌دهد مؤلفه اول و سوم با توجه به مقدار نسبی وابستگی مکانی مشابه (جدول ۴) و هم‌چنین دامنه تأثیر مشابه و نزدیک به هم دارای الگوی پراکنش مشابهی هستند ولی مؤلفه دوم با نسبت وابستگی کم و دامنه تأثیر بزرگ‌تر دارای الگویی متفاوت از دو مؤلفه دیگر می‌باشد.

مقایسه الگوی مکانی مؤلفه‌ها نشان می‌دهد که الگوی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]

پراکنش مؤلفه اول و سوم که در آن مهم‌ترین عناصر غذایی نیتروژن کل، منیزیوم، پتاسیم، مس، کلسیم و فسفر قابل استفاده هستند با الگوی کشت و ابعاد مزارع مطابقت دارد(شکل ۶). این امر نشان دهنده آن است که تغییرپذیری عناصر مزبور عمدتاً تحت مدیریت زارعین قرار گرفته است. جهت رعایت بهینه مصرف عناصر غذایی بایستی در میزان کوددهی توسط زارعین بازنگری صورت گیرد و کود دهی بر اساس نقشه‌های حاصله انجام پذیرد. الگوی مؤلفه دوم با شکل قطعه‌بندی مزارع هم‌خوانی ندارد. بدین منظور از بین عوامل کنترل کننده احتمالی، اسیدیته خاک مورد توجه قرار گرفت. مقایسه نقشه پراکنش اسیدیته خاک(شکل ۵) با پراکنش مؤلفه دوم نشان‌دهنده تطابق بسیار زیادی است به‌طوری‌که در نقاطی که مقدار مؤلفه بیشتر است مقدار pH کمتر است. با توجه به این‌که مؤلفه دوم ترکیب خطی از عناصر مهم روی، آهن و منگنز می‌باشد لذا می‌توان نتیجه گرفت که توزیع مکانی عناصر مزبور عمدتاً توسط اسیدیته خاک کنترل شده است و مدیریت موضعی زارعین کم‌رنگ‌تر بوده است. در عین حال توزیع این عناصر نیز باید در نقاط بحرانی و کمتر از حد قابل قبول باید مورد توجه قرار گیرد. وزن نسبتاً بالای فسفر و کلسیم در مؤلفه دوم نیز نشان دهنده این است که پراکنش مکانی این دو عنصر علاوه بر تأثیرپذیری از مدیریت به‌وسیله شرایط اسیدیته خاک هم کنترل شده است. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که ترکیب آنالیز مؤلفه‌های اصلی با تکنیک زمین آمار می‌تواند به خوبی در راستای عوامل کنترل کننده عناصر غذایی قابل استفاده گیاهان سود جست و آن را در راستای بهبود مدیریت به کار گرفت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از محققین و تکنسین‌های مرکز تحقیقات ICRISAT ایالت آندراپرادش هند جهت انجام مطالعات صحرایی و آنالیزهای شیمیایی خاک قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. فرشاد فر، ع. ا. ۱۳۸۰. *مبانی آمار چند متغیره*. انتشارات دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۲. مدنی، حسن.۱۳۷۳. *مبانی زمین‌آمار*. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

3. Bocchi, S., A. Castrignano, F. Fornaro and T. Maggiore. 2000. Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale. Eur. J. Agron. 13: 295-308.
4. Boruvka, L., O. Vacak and J. Jeilicka. 2005. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soil. Geoderma 28: 289-300.
5. Boucneau, G., M. Van Meirvenne, O. Thas and G. Hofman. 1998. Integrating properties of soil map delineation into ordinary kriging. Euro. J. Soil Sci. 49: 213-229.
6. Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Total nitrogen. PP. 595-624. *In*: A. L. Page (Ed.), Methods of Soil Analysis. Agron. No. 9, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., Am. Soc. Argon., Madison, WI, USA.
7. Cambardella, C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, D. L. Karlen, R. F. Turco and A. E. Konopka. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:1501- 1511.
8. Castringnano, A., L. Giugliarini, R. Risaliti, and N. Mattinelli. 2000. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. Geoderma 97:36-60.
9. Cox, M. S., P. D. Gerard, M. C. Wardlaw and M. J. Abshire. 2003. Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:1296-1302.
10. Facchinelli, A., E. Sachi and L. Mallen. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environ. Pollut. 114: 313-324.
11. Godwin, R. J. and P. C. H. Miller. 2003. A review of the technologies for mapping within- field variability, Biosyst. Eng. 84: 393-407.
12. Goovarets, P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford Univ. Press, UK.
13. Juang, K. W. and D. Y. Lee. 2000. Comparison of three nonparametric kriging methods for delineating heavy-metal contaminated soils. J. Environ. Qual. 29: 197-205.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]

14. Keren, R. and F. T. Bingham. 1985. Boron in water, soils and plants. Adv. Soil. Sci. 1: 229-276.
15. Lindsay, W.L. and W. A. Norvell. 1978. Development of DTPA soil test of Zn, Fe, Mn and Cu. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
16. Lopez-Granados, F., M. Jurado-Exposito, S. Atenciano, A. Garcia-Ferrer, M. S. De la Orden and L. Garcia-Torres. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. Plant and Soil 246: 97-105.
17. Olsen, S. R., and L.E., Sommers. 1982. Phosphorus. PP. 403-430. *In*: A. L. Page (Ed.), Methods of soil analysis, Agron. No. 9, Part2: Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
18. Ovalles, F. A. and M. E. Collins. 1988. Variability of northern Florida soils by principal component analysis. Soil. Sci. Soc. Am. J. 52: 1430-1435.
19. Pannatier, Y. 1996. VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D, Springer-Verlag Pub., New York.
20. Quine, T. A. and Y. Zhang. 2002. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties and crop production within an agricultural field in Devon,U.K. J. Soil and Water Conserv. 57: 50-60.
21. Sharma, S. 1996. Applied Multivariate Techniques. John Wiley & Sons Pub., New York.
22. Shukla, M. K., R. Lal and M. Ebinger. 2004. Principal component analysis for predicting corn biomass and grian yield. Soil Sci. 169: 215-224.
23. Skrbic, B., and A. Onjia. 2005. Multivariate analyses of micronutrient contents in wheat cultivated in Serbia. 1st International Food and Nutrition Congress. 15 June, Gebze Instit. Tecnol., Turkey.
24. Tabatabai, A. 1996. Available S, extraction with calcium phosphate monohydrate solution. *In*: Methods of Soil Analysis. PP: 940-940. SSSA Publication.
25. Tchienkoua, M. and W. Zeck. 2004. Statistical analysis of soil variability in humid forest landscape of central Cameron. International J. Appl. Earth Observ. and Geoinform. 5: 69-79.
26. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. PP: 159-165. Methods of Soil Analysis. Part II, SSSA . Adv. Agron. 38:45-91.
27. Traiq, S. R., M. H. Shah, N. Shaheen, A. Khalique and M. Jaffar. 2006. Multivariate analysis traces metal levels in tannery effluents in relation to soil and water: A case study from Peshawar, Pakistan. J. Environ. Manag. 79:112-122.
28. Webster, R., O. Atteia and J. P. Dumois. 1994. Coregionalization of trace metals in the Swiss Jura. Eur. J. Soil Sci. 45: 205-218.
29. Wilding, L. P. 1985. Spatial variability, Its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. *In*: D. R. Nielsen and J. Bouma (Eds.), Soil Variability. Pudo, Wagenigen, The Netherlands.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.46.16.0]