

ارزیابی تغییرپذیری عملکرد ذرت بر مبنای خصوصیات خاک و آنالیز مولفه های اصلی

مرجان قائمی^{*۱} - علیرضا آستارایی^۲ - مهدی نصیری محلاتی^۳ - سید حسین ثنائی نژاد^۴ - حجت امامی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۱۸

چکیده

اجرای یک برنامه‌ی مدیریتی موفق خاک و گیاه نیازمند آگاهی از کمیت و ویژگی های مکانی و میزان تاثیر آن ها بر عملکرد محصول است. خصوصیات خاک از مهمترین ویژگی های مکانی موثر بر تغییرپذیری عملکرد در مقیاس مزرعه ای می باشد. از این رو در این پژوهش، همبستگی های متقابل بین خصوصیات خاک از جنبه های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی با یکدیگر و با عملکرد ذرت با استفاده از آنالیز مولفه های اصلی (PCA) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور ۱۸ متغیر خاک و عملکرد ذرت در بخشی از اراضی کشاورزی مزرعه نمونه آستان قدس، شهرستان مشهد اندازه گیری شد. جهت کاهش تعداد متغیرهای مورد مطالعه و حذف اثر چند هم خطی بین متغیرها از آنالیز مولفه های اصلی استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل، ۴ مولفه اصلی با مقدار ویژه ≤ 1 و در برگیرنده ۶۷ درصد تغییرات داده های اندازه گیری شده انتخاب گردید. سپس خصوصیات خاک به مولفه های ظرفیت بالای توصیف کننده حاصلخیزی خاک، ظرفیت متوسط توصیف کننده حاصلخیزی خاک، ظرفیت میزبان نفوذپذیری خاک و ظرفیت میزبان هم آوری خاک گروه بندی شدند. نتایج نشان داد که مولفه ظرفیت بالای توصیف کننده حاصلخیزی خاک با ۴۳ درصد توصیف واریانس داده ها حدود ۷۷ درصد تغییر پذیری عملکرد ذرت را در مقیاس مزرعه ای می تواند توضیح دهد. بنابراین آنالیز مولفه های اصلی امکان توصیف قسمت اعظمی از تغییرپذیری عملکرد محصول را با حذف اثر چند هم خطی فراهم می سازد.

واژه های کلیدی: تجزیه مولفه های اصلی، خصوصیات خاک، عملکرد ذرت، مقیاس مزرعه ای

مقدمه

وجود افزایش اثر چند هم خطی^۷ کاربرد این متغیرها به عنوان ورودی روابط رگرسیونی چندمتغیره موجب ایجاد خطاهایی در تفسیر نتایج می شود. بنابراین نتایج حاصل از برآورد ضرایب و تفسیر حاصل از این روابط چندان کاربردی نمی باشد (۲۲). روش های آنالیز چند متغیره از قبیل آنالیز مولفه های اصلی^۸ (PCA) با حذف اثر هم خطی چارچوبی منطقی را برای مطالعه اثر متغیرهای موثر با همبستگی متقابل فراهم می آورد. هدف اصلی این آنالیز فشرده سازی اطلاعات موجود در متغیرهای اصلی است (۲۱). این روش توصیف ساختار واریانس یا کوواریانس مجموعه ای از پارامترهای مختلف را از طریق روابط خطی متغیرهای اولیه میسازد. آنالیز مولفه های اصلی تعداد متغیرها را به متغیرهای جدید غیرهمبسته به عنوان مولفه های اصلی دربرگیرنده واریانس کل مجموعه داده ها کاهش می دهد (۱۰).

واندر و بولرو (۳۲) آنالیز مولفه های اصلی (PCA) را برای تعیین فاکتورهای کیفیت خاک در اراضی ایلی نويز آمریکا تحت مدیریت

وجود راهکارهای مدیریتی مطلوب نیازمند آگاهی از اثرات متقابل ویژگی های مکانی^۶ با یکدیگر و عملکرد محصول است. نتایج آزمون خاک، عوارض زمینی و وجود آفات، بیماری ها و علف های هرز نمونه هایی از ویژگی های رایج موثر بر عملکرد در یک منطقه می باشند (۲۶). پژوهش های مختلف بر میزان اهمیت ویژگی های محلی در توصیف تغییرپذیری عملکرد در مقیاس مزرعه ای تاکید داشته اند (۱۴ و ۲۰). در اغلب موارد، تعداد زیادی از این متغیرها با یکدیگر همبستگی داشته و آنالیزهای همبستگی، وجود برخی از این متغیرهای همبسته را می توانند نشان دهند. در چنین شرایطی به دلیل

۱، ۲ و ۵ - به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول: (Email: Mghaemi270@gmail.com)

۳ - استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴ - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

7- Multicollinearity

8- Principal components analysis

6- Site variables

خصوصیات خاک موثر بر عملکرد ذرت با استفاده از آنالیز مولفه های اصلی در مقیاس مزرعه ای اجرا شد. از طرفی با شناسایی موثرترین ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بر عملکرد، رابطه مولفه های حاصل در توصیف تغییرپذیری عملکرد نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

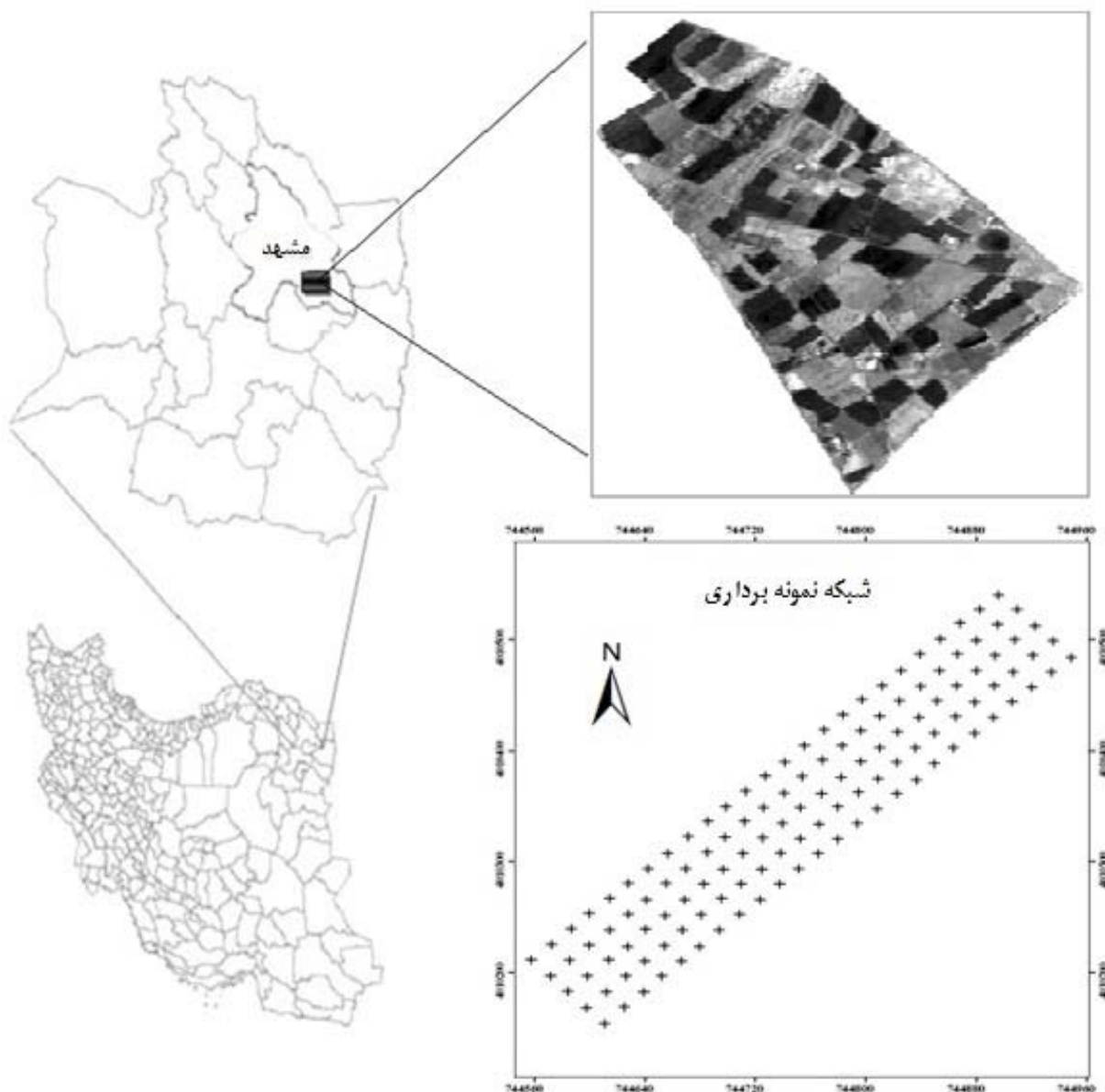
مواد و روش ها

پژوهش در بخشی از زمین های مزرعه نمونه آستان قدس رضوی واقع در جنوب شرقی مشهد در محدوده ۷۴۰۴۶۰ تا ۷۴۹۲۸۰ UTM شرقی و ۴۰۰۵۱۸۰ تا ۴۰۱۵۶۸۰ UTM شمالی اجرا شد (شکل ۱). این منطقه بر اساس طبقه بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و متوسط درجه حرارت سالانه آن حدود ۱۴ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه حدود ۲۵۰ میلی متر می باشد. زمین های کشاورزی این منطقه در برگیرنده انواع کشت آبی و دیم هستند که در آنها محصولات از قبیل یونجه، گندم، جو، ذرت، نخود و غیره کاشته می شوند. به منظور اجرای پژوهش حاضر، محدوده ای با مساحت ۵ هکتار از مزرعه ای به وسعت ۱۸ هکتار با تناوب کشت ذرت- گندم- آیش جهت عملیات نمونه برداری مشخص گردید. سپس ۱۲۵ نمونه مرکب خاک به روش نمونه برداری سیستماتیک در یک شبکه منظم (۵ زیر نمونه درون شبکه های m^2 ۴۰۰) خاک سطحی از عمق ۳۰-۳۰ سانتی متر جمع آوری شد. برای انجام تجزیه های آزمایشگاهی ابتدا نمونه های خاک هوا خشک گردیده و از الک دو میلیمتری عبور داده شدند و سپس هجده ویژگی فیزیکی، حاصلخیزی، شیمیایی و بیولوژیکی موثر بر عملکرد ذرت براساس روش های استاندارد اندازه گیری شدند.

بر این اساس پارامترهای شیمیایی از قبیل pH خاک و هدایت الکتریکی (EC_e) نمونه ها پس از اشباع خاک به مدت ۲۴ ساعت در عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه های pH متر و هدایت سنج الکتریکی (۲۵)، کربن آلی به روش والکلی و بلک (۳۱)، فسفر قابل دسترس به روش استخراج با بیکربنات سدیم (۲۴)، پتاسیم قابل دسترس به روش استخراج با استات آمونیوم (۲۵)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (۶) و عناصر کم مصرف (مس، منگنز، روی و آهن) با استفاده از DTPA (۱۸) تعیین شدند. پارامترهای فیزیکی فراوانی نسبی ذرات خاک به روش استاندارد هیدرومتری (۸)، رطوبت قابل استفاده گیاه در نمونه های دست نخورده از تفاضل رطوبت در مکش های ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (۱۶) و جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پوشش دادن با پارافین تعیین شدند (۳).

بدون شخم استفاده کردند. کاسک و همکاران (۷) نیز روابط بین برخی از خصوصیات خاک و عملکرد سویا را در سه مزرعه در منطقه می سی سی پی با استفاده از این روش مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که تغییرپذیری عملکرد در این اراضی به شدت تحت تاثیر مشخصه های زمینی از قبیل ارتفاع، شیب، بافت خاک و عوامل حاصلخیزی خاک از قبیل P، K، Ca و Mg است. اهمیت نسبی این متغیرها به ویژه عوامل حاصلخیزی در این اراضی بسیار متغیر بود. نتایج حاصل از پژوهش های مختلف نشان می دهد که تغییرات توزیع مکانی متغیرها در درون یک مزرعه به شدت زیاد بوده و تحت تاثیر مقیاس نمونه برداری می باشد (۲۷). شوکلا و همکاران (۲۹) از آنالیز فاکتورها برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در سیستم های مدیریتی مختلف استفاده کردند. نتایج آن ها نشان داد که کربن آلی خاک نقش موثری در کیفیت خاک اراضی مورد مطالعه دارد. جیانگ و تلن (۹) آنالیزهای چند متغیره فاکتورهای اصلی را برای تعیین خصوصیات خاک و عوارض زمینی موثر بر تغییرپذیری عملکرد ذرت و سویای اراضی میشیگان به کار گرفتند.

مالارینو و همکاران (۲۰) با استفاده از رابطه رگرسیونی عملکرد ذرت با مجموعه ای از متغیرهای جدید حاصل از آنالیز فاکتورها توانستند به سه فاکتور حاصلخیزی خاک، کنترل علف هرز و شرایط رشد سریع گیاه دست یابند و بر اساس آنها تغییرپذیری عملکرد را در کلیه اراضی توضیح دهند. کاسپار و همکاران (۱۳) رگرسیون بین عملکرد ذرت و سویا با مجموعه ای از متغیرهای مکانی حاصل از آنالیز فاکتورها (صفات زمینی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی) در مدت ۱۱ سال در مزرعه ای در آیوا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد که آنالیز فاکتورها در ارزیابی تغییرپذیری عملکرد نسبت به روابط ساده همبستگی از توانایی بالاتری برخوردار است. این محققین همچنین نشان دادند که عملکرد سویا نسبت به پنبه در سال های مرطوب تحت تاثیر pH بالا و موقعیت اراضی پست قرار می گیرد و این فاکتورها تاثیری بر عملکرد در سال های خشک ندارند. یافته های کراوچنکو و بولاک (۱۸) تاثیر متغیر شیب را در تغییرپذیری میزان عملکرد ذرت و سویا در نیمه غربی آمریکا نشان داد. به طوری که میزان عملکرد با کاهش شیب در شرایط رطوبتی نرمال و خشک افزایش می یابد. مطالعات کاسپار و همکاران (۱۴) در ایالت آیوا نشان داد که مشخصات زمینی از قبیل ارتفاع، شیب و میزان انحناء حدود ۷۸ درصد تغییرپذیری عملکرد ذرت را می توانند توصیف کنند. بنابراین آگاهی از عوامل موثر بر کیفیت خاک و میزان عملکرد در چگونگی مصرف نهاده ها و انتخاب گیاهان نقش به سزایی دارد. همچنین بررسی همبستگی متقابل بین چند متغیر با استفاده از آنالیز همبستگی بسیار دشوار است و به دلیل وجود اثر چند هم خطی تفسیر نتایج حاصل از روابط رگرسیونی بین متغیرهای موثر و عملکرد چندان کاربردی نمی باشد. این پژوهش با هدف بررسی رابطه متقابل بین



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

توزیع داده ها توسط مشخصه های آماری آن ها از قبیل میانگین، میانه، مقدار حداقل و حداکثر، چولگی، کشیدگی، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای هر متغیر نیز تعیین شد. آنالیز همبستگی بین خصوصیات خاک جهت بررسی وجود رابطه همبستگی مورد استفاده قرار گرفت.

در این تحقیق جهت ارزیابی متغیرهای موثر بر عملکرد محصول ذرت و کاهش تعداد متغیرها از آنالیز چندمتغیره مولفه اصلی (PCA) استفاده شد. با توجه به هدف پژوهش همه خصوصیات خاک در این آنالیز به عنوان داده های ورودی به کار گرفته شدند.

پارامترهای بیولوژیکی کربن فعال به روش اکسیداسیون با پرمنگنات پتاسیم (۳۳)، پتانسیل معدنی شدن نیتروژن توسط استخراج با کلرید پتاسیم (۱۵) و زیست توده میکروبی به روش تدخین- استخراج (۳۰) اندازه گیری شدند. جهت تعیین عملکرد بیولوژیکی ذرت قبل از رسیدگی فیزیولوژیک محصول (زرد شدن) و با توجه به تراکم بوته در مترمربع، در هر شبکه به طور تصادفی از یک ردیف به طول یک متر گیاهان از سطح زمین برداشت شدند. آنگاه نمونه ها پس از وزن به آون تا رسیدن به وزن ثابت در درجه حرارت ۶۰ درجه سانتیگراد انتقال داده شدند. در نهایت عملکرد برای هر شبکه به صورت وزن خشک گیاه بر حسب گرم در مترمربع محاسبه گردید.

جدول ۱- خصوصیات آماری پارامترهای خاک مورد مطالعه

متغیر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (%)	حداقل	حداکثر	میانگین	چولگی	کشیدگی
خصوصیات شیمیایی							
(dS/m) EC	۰/۹۲	۴۱	۱/۱۳	۳/۸۲	۲/۲۸	۰/۲۳	-۱/۵۸
pH	۰/۲۳	۳	۷/۲۱	۷/۹۵	۷/۵۵	۰/۱۳	-۱/۳۹
(%) OC	۰/۳۱	۳۵	۰/۳۱	۱/۵۲	۰/۸۹	۰/۱۶	-۰/۵۶
(mg/kg) NaHCO ₃ -P	۷/۲۹	۴۱	۵/۲۱	۲۸/۶۸	۱۷/۵۹	-۰/۰۳	-۱/۴۸
(mg/kg) NH ₄ OAC-K	۹۰/۵۱	۲۷	۲۰/۱۱	۴۵۹/۶۸	۳۳۱/۸۸	-۰/۱۳	-۱/۴۸
(%) N	۰/۰۳	۴۰	۰/۰۳	۰/۱۵۳	۰/۰۹	-۰/۰۴	-۱/۱۸
(mg/kg) DTPA-Fe	۰/۶۶	۲۴	۱/۵۶	۳/۷۲	۲/۷۸	-۰/۴۸	-۱/۳۳
(mg/kg) DTPA-Cu	۰/۳۷	۲۳	۰/۹۱	۲/۲۸	۱/۶۲	-۰/۱۹	-۱/۱۶
(mg/kg) DTPA-Mn	۳/۳۲	۴۸	۲/۱۳	۱۳/۳۴	۶/۹۵	۰/۰۹	-۱/۳۳
(mg/kg) DTPA-Zn	۰/۵۳	۴۷	۰/۵۰	۲/۳۸	۱/۱۳	۰/۷۵	-۰/۴۰
خصوصیات بیولوژیکی							
(mg/kg) AC	۱۰۸/۰۸	۲۴	۲۱۴/۴۶	۵۹۴/۶۵	۴۴۳/۴۱	-۰/۴۷	-۰/۹۰
(μgN/g) PMN	۱/۶۵	۳۲	۱/۶۰	۷/۳۰	۵/۲۴	-۰/۵۶	-۰/۹۷
(mg/kg) MBC	۶۲/۶۷	۴۳	۴۳/۶۸	۲۴۷/۹۲	۱۴۴/۵۲	-۰/۰۷	-۱/۲۵
خصوصیات فیزیکی							
(%) Clay	۵/۵۵	۳۶	۴/۷۲	۲۴/۷۲	۱۵/۳۶	-۰/۳۳	-۱/۱۴
(%) Silt	۴/۰۹	۸	۴۰/۰۰	۵۸/۰۰	۴۸/۶۲	۰/۲۰	-۰/۶۳
(%) Sand	۳/۱۶	۹	۲۹/۲۸	۴۳/۲۸	۳۶/۰۲	۰/۳۹	-۰/۳۱
(cm ³ /cm ³) AWC	۰/۰۲	۱۴	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۴۵	-۰/۹۱
(Mg/M ³) BD	۰/۰۷	۵	۱/۳۲	۱/۵۵	۱/۴۳	۰/۱۱	-۱/۳۷

با CV بیش از ۳۵ درصد دارای تغییر پذیری زیاد می باشد. از این رو مقدار ضریب تغییرات نشان دهنده آن است که اغلب خصوصیات مورد مطالعه از تغییر پذیری بالایی برخوردار می باشد. EC: هدایت الکتریکی؛ OC: کربن آلی؛ NaHCO₃-P، NH₄OAC-K، DTPA-Fe، DTPA-Cu، DTPA-Mn و DTPA-Zn: فرم های قابل جذب فسفر، پتاسیم، آهن، مس، منگنز و روی؛ N: نیتروژن کل؛ AC: کربن فعال؛ PMN: پتانسیل معدنی شدن نیتروژن؛ MBC: زیست توده میکروبی؛ AWC: رطوبت قابل استفاده گیاه؛ BD: جرم مخصوص ظاهری. pH و منگنز قابل جذب به ترتیب با ۳ درصد و ۴۸ درصد کمترین و بیشترین ضریب تغییرات را داشتند. بر این اساس از بین عناصر غذایی فسفر، نیتروژن، منگنز و روی و از میان خصوصیات شیمیایی کربن آلی و هدایت الکتریکی و از پارامترهای بیولوژیکی و فیزیکی زیست توده میکروبی و درصد رس خاک بیشترین ضریب تغییرات را نشان دادند. مقادیر چولگی و کشیدگی پارامترهای مورد مطالعه نرمال بودن داده های مورد مطالعه را تایید می کند.

آنالیز مولفه های اصلی بر روی داده های استاندارد شده و ماتریس همبستگی محاسبه شد (۲۹). با استفاده از ماتریس همبستگی، مولفه ها اصلی با مقدار ویژه بزرگتر مساوی یک انتخاب و سپس موثرترین ویژگی ها در هر مولفه بر مبنای ضرایب ویژه بالای ۰/۵ برای مطالعه روابط آن ها با عملکرد ذرت انتخاب شدند (۴) و چرخش Varimax برای تخمین سهم واریانس هریک از خصوصیات خاک در هریک از مولفه های اصلی استفاده شد (۱۲). برای تعیین چگونگی رابطه بین مولفه های اصلی در این تحقیق، آنالیز رگرسیون چند متغیره انجام گردید. با انتخاب مناسب ترین مولفه های اصلی برای برآورد عملکرد ذرت، معادله رگرسیون چند متغیره خطی (روش رگرسیون گام به گام) مناسب ارائه شد. معنی داری کلیه ضرایب تبیین در سطح ۵٪ و ۱٪ نیز مورد سنجش قرار گرفت.

نتایج و بحث

خلاصه آماره های توصیفی برای خصوصیات خاک در جدول ۱ ارائه شده است. براساس طبقه بندی وایلدینگ (۳۴) خصوصیات خاک

نولین و همکاران (۲۳) تغییرات درون مزرعه‌ای بالایی را برای فسفر و پتاسیم با CV متغیر از ۳۰ تا ۸۵ درصد و ۳۵ تا ۶۰ درصد را گزارش کرده‌اند. جدول ۲ نتایج حاصل از همبستگی بین خصوصیات مختلف خاک را نشان می‌دهد.

به طور کلی نتایج حاصل از همبستگی بین خصوصیات مختلف خاک میزان همبستگی بالا و معنی دار اغلب پارامترهای خاک را با یکدیگر نشان می‌دهد. بنابراین کاربرد این متغیرهای همبسته به عنوان ورودی رابطه رگرسیونی چندمتغیره با عملکرد به دلیل وجود اثر چند هم خطی بین متغیرهای مستقل موجب ایجاد خطا و ابهام در تفسیر نتایج می‌شود (۲۲). این مقادیر همبستگی بالا استفاده از روش‌های آنالیز چند متغیره از قبیل آنالیز مولفه های اصلی (PCA) با حذف اثر هم خطی بین متغیرها با همبستگی متقابل را ضروری می‌سازد (۱۰).

از آنجا که مولفه ها با مقدار ویژه > 1 بیانگر توصیف بخش کمتری از واریانس توسط آن مولفه نسبت به هر یک از متغیرهای مورد مطالعه است، بنابراین مولفه های اصلی با مقادیر ویژه ≤ 1 برای تفسیر انتخاب شدند (۲۸). نتایج حاصل از آنالیز مولفه های اصلی نشان داد که ۴ مولفه اصلی با مقدار ویژه ≤ 1 دربرگیرنده ۶۷ درصد تغییرات داده های اندازه گیری بودند (جدول ۳). بنابراین این آنالیز اختلاف ذاتی مجموعه داده های اصلی را به صورت آماری فشرده کرده و هر کدام از این مولفه‌ها در بردارنده اطلاعات جدیدی می‌باشند. به این دلیل که مولفه‌ها بر اساس مقدار اطلاعاتی که دارند مرتب می‌شوند، چند مولفه اول در این آنالیز دارای بیشترین حجم اطلاعات مجموعه‌ی متغیرهای مورد مطالعه هستند (۲۱) (شکل ۱). به طوری که در هنگام تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی، متغیرهایی که دارای همبستگی خیلی بالایی باشند، بعد از انجام PCA محورها به گونه‌ای تغییر جهت داده می‌شود که حداکثر واریانس به خود اختصاص دهند، برای مثال به نحوی که PC₁ در جهت بیشترین واریانس و PC₂ عمود بر PC₁ باشد. در امتداد PC‌های مراتب پایین تر، میزان واریانس (اطلاعات) کمتری وجود دارد، به عبارت دیگر PC₁، PC₂، و ... PC_n به ترتیب بیشترین واریانس را دارا می‌باشند (۲۱).

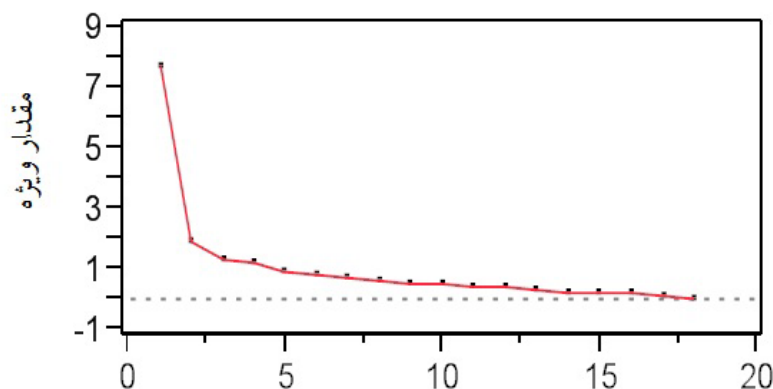
همان طور که مشاهده می‌شود PC₁ با ۴۳ درصد واریانس داده‌ها دارای دامنه اطلاعات وسیعتری نسبت به سایر مولفه ها می‌باشد (جدول ۳). PC₂، PC₃ و PC₄ به ترتیب با ۱۱، ۷ و ۶ درصد با ارزش ویژه بزرگتر از یک بیشترین واریانس را نسبت به مولفه های پایین تر نشان دادند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مولفه های پایین تر در توضیح میزان تغییرات مشارکت کمتری دارند به طوری که وجود تعداد متغیرهای کمتر با ضرایب ویژه بالای ۰/۵ این مساله را تایید می‌کند (۴).

جدول ۲- ضرایب همبستگی بین خصوصیات مختلف خاک

	pH	EC	P	K	OC	N	Fe	Mn	Zn	Cu	MBC	PMN	AC	Sand	Clay	Silt	AWC	BD
pH																		
EC	0.83**																	
P	-0.71**	-0.79**																
K	-0.71**	-0.79**	0.80**															
OC	-0.66**	-0.66**	-0.66**	0.79**														
N	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.88**													
Fe	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**												
Mn	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**											
Zn	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**										
Cu	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**									
MBC	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**								
PMN	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**							
AC	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**						
Sand	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**					
Clay	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**				
Silt	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**			
AWC	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**		
BD	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.83**	

جدول ۳- مقدار ویژه، سهم هر مولفه و واریانس تجمعی توصیف شده با استفاده از آنالیز مولفه های اصلی

مولفه ها	مقدار ویژه	سهم (%)	تجمعی (%)
PC ₁	۷/۷۴	۴۳/۰۲	۴۳/۰۲
PC ₂	۱/۹۳	۱۰/۷۱	۵۳/۷۲
PC ₃	۱/۳۰	۷/۲۵	۶۰/۹۷
PC ₄	۱/۱۶	۶/۴۶	۶۷/۴۳



شکل ۱- مقادیر ویژه همه مولفه های اصلی حاصل از آنالیز مولفه های اصلی

می‌تواند نشان دهد که با نتایج سپهری و همکاران (۱) مطابقت دارد. آن‌ها اظهار داشتند که میزان نیتروژن خاک و وجود تنش آبی بر عملکرد بیولوژیکی ذرت تاثیر بسزایی دارد. کربن آلی خاک با ضریب ویژه بالا نقش مهم این متغیر را در توصیف تغییرپذیری عملکرد محصول منطقه مورد مطالعه می‌تواند نشان دهد که با نتایج کاسپار و همکاران (۱۳) مطابقت دارد. مولفه دوم با متغیرهای پتاسیم و فسفر و آهن به عنوان مولفه ظرفیت متوسط توصیف کننده حاصلخیزی خاک^۳ در نظر گرفته شد. درصد شن و رس و جرم مخصوص ظاهری بیشترین ضرایب را در مولفه اصلی سوم با ۷ درصد توضیح واریانس کل نشان دادند. بنابراین مولفه اصلی سوم بیانگر وضعیت ظرفیت میزان نفوذپذیری خاک^۴ است.

مولفه اصلی چهارم با متغیرهای هدایت الکتریکی، درصد سیلت و رس نیز نشان دهنده وضعیت ظرفیت میزان هم آوری خاک^۵ می‌تواند باشد. به طور کلی نتایج حاصل از روش Varimax نشان داد که هر یک از متغیرها با یک مولفه همبستگی قوی تری نسبت به سایر مولفه‌ها داشته و تفکیک متغیرها به مولفه‌های اصلی را با توزیع مجدد واریانس امکان پذیر می‌سازد (۲۸).

ضرایب مولفه‌های حاصل از چرخش با استفاده از روش چرخش Varimax و میزان سهم^۱ هر یک از متغیرها در توضیح واریانس کل در جدول ۴ ارائه شده است. به طور کلی مقادیر حاصل از ضرایب ویژه در مولفه‌ها روابط پیچیده بین تعداد زیادی از متغیرها را نشان می‌دهند. مولفه اصلی اول با بیشترین مقدار ویژه (۷/۷۴) دربرگیرنده تعداد پارامترهای بیشتر با ضرایب ویژه بزرگتر نسبت به سایر مولفه‌ها می‌باشد. این مولفه به عنوان مولفه ظرفیت بالای توصیف کننده حاصلخیزی خاک^۲ دربرگیرنده خصوصیات شیمیایی از قبیل کربن آلی، نیتروژن کل، عناصر کم مصرف منگنز، مس و روی و خصوصیات بیولوژیکی زیست توده میکروبی، کربن فعال و پتانسیل معدنی شدن نیتروژن است.

وجود میزان آب قابل دسترس گیاه با ضریب ۰/۷۴ را می‌توان به همبستگی بالای این خصوصیت فیزیکی با متغیرهای شیمیایی و بیولوژیکی نسبت داد (جدول ۲). بنابراین متغیرها در هر مولفه بر مبنای ساختار همبستگی بین آن‌ها به مولفه‌های اصلی گروه بندی می‌شوند که نتایج بردجا و همکاران (۵) این مساله را تایید می‌کند. ضرایب بالای کربن آلی خاک، نیتروژن کل، آب قابل دسترس گیاه و پارامترهای بیولوژیکی اهمیت تاثیر این متغیرها را در عملکرد ذرت

3- Soil moderately descriptive fertility potential

4- Soil permeability potential

5- Soil aggregation potential

1- Communality

2- Soil highly descriptive fertility potential

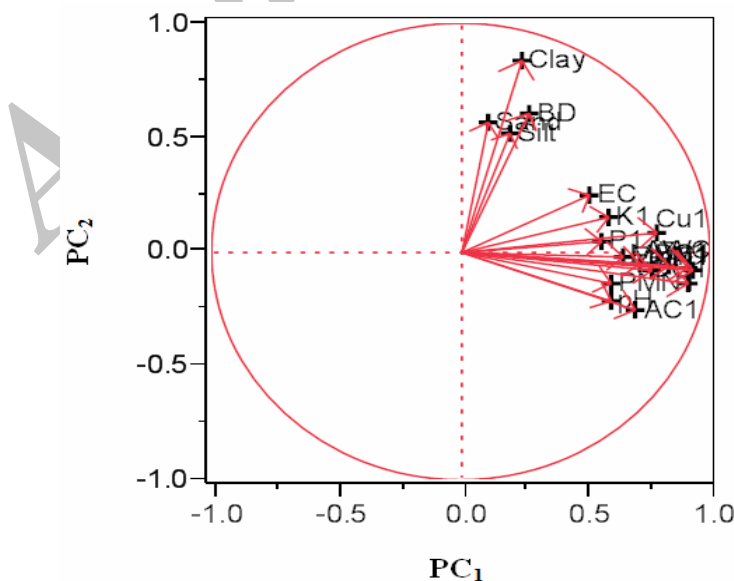
جدول ۴- ضرایب مولفه های حاصل از روش چرخش Varimax و مقدار سهم هر ویژگی (Communality) برای خصوصیات خاک مورد مطالعه

متغیرها	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	COM
pH	۰/۴۹۷	-۰/۴۱۵	-۰/۱۵۸	-۰/۰۶۹	۰/۴۴۹
EC (dS m ⁻¹)	۰/۳۴۲	-۰/۲۰۹	۰/۰۳۹	-۰/۵۸۸	۰/۵۰۸
(mg/kg) P	۰/۲۲۴	-۰/۷۸۱	۰/۰۱۹	-۰/۱۱۵	۰/۶۷۳
(mg/kg) K	۰/۲۵۰	-۰/۷۹۰	۰/۲۳۱	-۰/۰۰۷	۰/۷۳۸
(%) OC	۰/۹۱۰	-۰/۲۳۵	۰/۰۸۰	-۰/۰۶۹	۰/۸۹۰
(%) N	۰/۸۵۷	-۰/۳۵۷	۰/۱۱۵	-۰/۰۷۹	۰/۸۸۲
(mg/kg) Fe	۰/۳۹۰	-۰/۵۹۹	-۰/۱۲۳	-۰/۳۲۰	۰/۶۲۹
(mg/kg) Mn	۰/۶۸۹	-۰/۳۶۹	۰/۱۲۵	-۰/۰۱۸	۰/۶۲۷
(mg/kg) Zn	۰/۷۸۶	-۰/۲۹۷	۰/۱۴۷	-۰/۰۲۹	۰/۷۳۹
(mg/kg) Cu	۰/۶۴۵	-۰/۳۵۵	۰/۱۲۶	-۰/۲۷۷	۰/۶۳۵
(mg/kg) MBC	۰/۸۷۳	-۰/۲۹۲	۰/۱۳۴	-۰/۰۹۱	۰/۸۷۳
(μN/g) PMN	۰/۷۱۶	-۰/۱۱۶	-۰/۰۹۲	-۰/۲۵۹	۰/۶۰۲
(mg/kg) AC	۰/۷۴۱	-۰/۱۶۳	-۰/۰۷۶	-۰/۰۰۱	۰/۵۸۱
(%) Sand	۰/۰۳۸	۰/۰۱۴	۰/۷۰۶	-۰/۲۲۴	۰/۷۶۶
(%) Clay	۰/۰۲۵	-۰/۰۳۶	۰/۸۴۵	-۰/۵۳۰	۰/۷۸۱
(%) Silt	-۰/۰۱۹	-۰/۰۵۶	۰/۱۰۳	-۰/۸۳۴	۰/۷۰۹
(cm ³ cm ⁻³) AWC	۰/۷۴۳	-۰/۱۱۳	۰/۱۲۶	-۰/۰۷۸	۰/۵۸۷
(Mg M ⁻³) BD	۰/۱۲۸	-۰/۰۷۲	۰/۶۳۴	-۰/۲۳۶	۰/۴۷۹

PC: Principal component; COM: Communality

خطی از متغیرها است که دربرگیرنده حداکثر واریانس هر مجموعه به صورت بردارها با بهترین برازش در n مشاهده و p بعد می باشد. هر یک از این بردارها در فضای چند بعدی با یکدیگر متعامد هستند (۲۱). طول بردارها بیانگر شدت رابطه و زاویه بین دو بردار نشان دهنده درجه همبستگی است.

در شکل ۲ دایره همبستگی به عنوان نمایش شماتیکی از ضرایب و میزان همبستگی متغیرها با مولفه های اول و دوم حاصل از آنالیز مولفه های اصلی ارائه شده است. بردارها مقدار ضرایب (همبستگی) متغیرها با PC₁ (محور X) و PC₂ (محور Y) را نشان می دهند. نتایج حاصل از آنالیز مولفه های اصلی، تعدادی مولفه اصلی با ترکیب های



شکل ۲- دایره همبستگی و ضرایب ویژه بین خصوصیات خاک و مولفه های اصلی

اولیه را بیان کرد. از طرفی نتایج این تحقیق نشان داد که آنالیز مولفه های اصلی در ارزیابی تغییرپذیری عملکرد نسبت به روابط ساده همبستگی از توانایی بالاتری برخوردار است که با نتایج کاسپار و همکاران (۱۳) مطابقت دارد. پژوهش های متعددی این روش ها را برای مطالعه روابط پیچیده بین خصوصیات خاک و گیاه و عملکرد محصول جهت یافتن عوامل موثر بر عملکرد به کار برده اند (۵، ۹ و ۱۳). توصیف تغییرپذیری عملکرد با عوامل موثر بر عملکرد برای محصولاتی از قبیل ذرت (۱۴ و ۲۰)، پنبه (۱۱)، سورگوم (۱۹) و سویا (۱۴) انجام شده است.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ویژگی های منطقه ای از قبیل خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، حاصلخیزی و بیولوژیکی خاک در توصیف تغییرپذیری عملکرد در مقیاس مزرعه ای نقش مهمی را ایفا می کنند. در این راستا کربن آلی خاک، نیتروژن و زیست توده میکروبی بیشترین سهم را در توصیف واریانس کل را داشتند. همچنین خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه به مولفه های ظرفیت بالای توصیف کننده حاصلخیزی خاک، ظرفیت متوسط توصیف کننده حاصلخیزی خاک، ظرفیت میزبان نفوذپذیری خاک و ظرفیت میزبان هم آوری خاک گروه بندی شدند که مولفه ظرفیت بالای توصیف کننده حاصلخیزی خاک با ۴۳ درصد توصیف واریانس داده ها موثرترین مولفه در توصیف تغییرپذیری عملکرد ذرت شناخته شد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که آنالیز چند متغیره مولفه های اصلی امکان مطالعه روابط پیچیده بین خصوصیات خاک (متغیرهای همبسته) و گیاه با حذف اثر هم خطی و کاهش میزان خطا در تفسیرهای زراعی میسر می سازد. بنابراین با آگاهی از فاکتورهای موثر بر تغییرپذیری عملکرد می توان راهکارهای مدیریتی صحیحی را در چگونگی مصرف نهاده ها برای جلوگیری از کاربرد بی رویه کودها در اراضی کشاورزی ارائه کرد.

بنابراین بردارهای متغیرهای مورد مطالعه در مجاورت مولفه های اصلی همبستگی بالای بین آن متغیرها با هر مولفه اصلی نشان می دهد. حالت عمود (۹۰ درجه) بردارها با هر مولفه عدم همبستگی و حالت متضاد (۱۸۰ درجه) همبستگی منفی را بیان می کند (۲). نتایج حاصل از آنالیز مولفه های اصلی نشان داد که کربن آلی خاک، نیتروژن و زیست توده میکروبی با $COM > 0.85$ و pH خاک و جرم مخصوص ظاهری با $COM < 0.50$ به ترتیب بیشترین و کمترین سهم را در توصیف واریانس دارند. جانسون و ویچرن (۱۰) اظهار داشتند که میزان COM بالا بیانگر توصیف قسمت اعظمی از واریانس توسط یک متغیر است. بنابراین متغیر با COM بالاتر دارای درجه ارجحیت بیشتری (Preference) نسبت به متغیرهای با COM کمتر می باشد.

جهت بررسی رابطه بین عملکرد ذرت و چهار مولفه اصلی منتخب از آنالیز رگرسیون چندمتغیره خطی (روش رگرسیون گام به گام) استفاده شد. بر این اساس مولفه ها با همبستگی معنی دار با عملکرد حاصل نشان داد که مولفه ظرفیت بالای توصیف کننده حاصلخیزی خاک با ۴۳ درصد توصیف واریانس داده ها موثرترین مولفه در منطقه مورد مطالعه می باشد. مالارینو و همکاران (۲۰) مجموعه خصوصیات حاصلخیزی خاک را به عنوان عواملی موثر در ارزیابی تغییرات عملکرد ذرت معرفی کردند. بنابراین این مولفه با بیشترین تعداد متغیرها و بالاترین ضرایب نسبت به سایر مولفه ها حدود ۷۷ درصد تغییر پذیری عملکرد ذرت را در مقیاس مزرعه ای توضیح می دهد.

(۱) $R_{adj}^2 = 0.771$ $PC1 = 2412.45 + 322.54$ عملکرد در این تحلیل مشخص شد که پس از برازش، معادله ای با $R_{adj}^2 = 0.771$ و سطح معنی داری ($P < 0.0001$) مدل مطلوبی برای تخمین عملکرد ذرت محسوب می شود. آنالیز مولفه های اصلی بر مبنای ساختار واریانس مجموعه ای از متغیرها برای توصیف واریانس کل استفاده می شود. به طوری که با ترکیب خطی غیرهمبسته تعداد کمی از متغیرها می توان قسمت اعظم اطلاعات موجود در متغیرهای

منابع

- ۱- سپهری ع، مدرس ثانوی س.ع.م، قره یاضی ب. و یمینی ی. ۱۳۸۱. تاثیر تنش آب و مقادیر مختلف نیتروژن بر مراحل رشد و نمو، عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت، مجله علوم زراعی، ۴: ۱۸۴-۱۹۵.
- ۲- Abdi H. and Williams L.J. 2010. Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2: 433-459.
- ۳- Blake G.R. and Hartge K.H. 1986. Bulk density. p. 363-376. In: Klute, A. (ed.), Methods of Soil Analysis, Part I, ASA Monograph No. 9. Madison, WI.
- ۴- Borůvka L., Mládková L., Drábek O. and Vašát R. 2007. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics, Geoderma, 140: 374- 382.
- ۵- Brejda J.J., Moorman T.B., Karlen D.L. and Dao T.H. 2000. Identification of regional soil quality factors and

- indicators: I. Central and Southern High Plains. *Soil Science Society of America Journal*, 64: 2115–2124.
- 6- Bremner J.M. and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen-total. p. 595–624. In: Page, A.L., et al. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
 - 7- Cox M.S., Gerard P.D., Wardlaw M.C. and Abshire M.J. 2003. Variability of selected soil properties and their relationship with soybean yield. *Soil Science Society of America Journal*, 67: 1296–1302.
 - 8- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. p. 337–382. In: Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd ed.*, Agron. Mono-graph No. 9. ASA, Madison WI.
 - 9- Jiang P., and Thelen K.D. 2004. Effect of soil and topographic proper-ties on crop yield in a North-Central corn-soybean cropping system. *Journal of Agronomy*, 96:252–258.
 - 10- Johnson R.A. and Wichern D.W. 2002. *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
 - 11- Johnson R.M., Downer R.G., Bradow J.M., Bauer P.J. and Sadler E.J. 2002. Variability in cotton fiber yield, fiber quality, and soil properties in a south-eastern Coastal Plain. *Journal of Agronomy*, 94:1305–1316.
 - 12- Kaiser H.F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23: 187–200.
 - 13- Kaspar T.C., Pulido D.J., Fenton T.E., Colvin T.S., Karlen D.L., Jaynes D.B. and Meek D.W. 2004. Relationship of corn and soybean yield to soil and terrain properties. *Journal of Agronomy*, 96: 700–709.
 - 14- Kaspar T.C., Colvin T.S., Jaynes D.B., Karlen D.L., James D.E. and Meek D.W. 2003. Relationships between six years of corn yields and terrain attributes. *Precision Agriculture*. 4:87–101.
 - 15- Keeney D.R. and Bremner J.M. 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. *Journal of Agronomy*, 58: 498–503.
 - 16- Klute A. and Dirkson C. 1986. Hydraulic conductivity and diffu-sivity: laboratory methods. p.687–734. In: Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part I, ASA Monograph No. 9, Madison, WI*.
 - 17- Kravchenko A.N. and Bullock D.G. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Journal of Agronomy*, 92:75–83.
 - 18- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421–428.
 - 19- Machado S., Bynum E.D., Archer T.L., Bordovsky J., Rosenow D.T., Peterson C., Bronson K., Nesmith, R.J. Lascano D.M., Wilson L.T. and Segarra E. 2002. Spatial and temporal variability of sorghum grain yield: Influence of soil, water, pests, and diseases relationships. *Precision Agriculture*, 3:389–406.
 - 20- Mallarino A.P., Oyarzabal E.S. and Hinz P.N. 1999. Interpreting within-field relationships between crop yields and soil and plant variables using factor analysis. *Precision Agriculture*, 1: 15–25.
 - 21- Manly B.F.J. 1994. *Multivariate statistical methods (2th ed)*. Chapman and Hall.
 - 22- Neter J., Kutne M.H., Nachtsheim C.J. and Wasserman W. 1996. *Applied linear statistical models (4th ed.)*. Irwin Series in Statistics. Irwin Publ., Chicago, IL.
 - 23- Nolin M.C., Forand G., Simard R.R., Cambouris A.N. and Karam A. 2000. Soil specific relationships between corn/soybean yield, soil qual-ity indicators and climatic data. In P.C. Robert et al. (ed.) *Proc. 5th Int. Conf. on Precision Agric.*, Bloomington, MN. 16–19 July 2000. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
 - 24- Olsen S.R., Cole C.V., Watanable F.S. and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939*, Washington.
 - 25- Page A.L., Miller R.H. and Keeney D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of Aamerica, Madison, WI.
 - 26- Sawchik J. and Mallarino A.P. 2008. Variability of Soil Properties, Early Phosphorus and Potassium Uptake, and Incidence of Pests and Weeds in Relation to Soybean Grain Yield, *Journal of Agronomy*, 100:1450–1462.
 - 27- Sawchik J. and Mallarino A.P. 2007. Evaluation of zone soil sampling approaches for phosphorus and potassium based on corn and soybean response to fertilization, *Journal of Agronomy*, 99:1564–1578.
 - 28- Sharma S. 1996. *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley and Sons, New York.
 - 29- Shukla M.K., Lal R. and Ebinger M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Tillage Research*, 87:194–204.
 - 30- Vance E.D., Brookes P.C. and Jenkinson D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. *Soil biology and biochemistry*, 19: 703- 707.
 - 31- Walkely A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.
 - 32- Wander M.M. and Bollero G.A. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 961–971.
 - 33- Weil R.R., Islam K.R., Stine M.A., Gruver J.B. and Samson-Liebig S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture*, 18: 3-17.
 - 34- Wilding L.P. 1985. Spatial variability Its documentation, accommodation and implication to soil survey. p: 166-194. In D, R. Nielsen and J. Bouma (eds.). *Soil Spatial Variability*, Pudoc, Wageningen, the Netherlands.

Evaluation of Maize Yield Variability Based on Soil Properties and Principal Component Analysis

M. Ghaemi^{1*}- A. Astaraei²- M. Nassiri Mahalati³ - S.H. Sanaeinejad⁴- H. Emami⁵

Received:10-03-2013

Accepted:09-12-2013

Abstract

Successful implementation of soil and crop management program requires quantitative knowledge of site characteristics and interactions that affect crop yield. Soil properties are one of the most important site variables affecting within- field yield variability. The objective of this research was to identify intercorrelations among soil properties (chemical, physical and biological) using principal component analysis (PCA) and their relationships with maize yield variability in field. Site variables (18) and maize yield were measured in selected parts of Astan Quds agricultural fields in Mashhad city. The principal component analysis was used to reduce the site variables numbers and remove multicollinearity among variables. The first four PCs with eigenvalues >1 accounted for > 67% of variability in measured soil properties. Soil properties were grouped in four PCs as: (PC₁) Soil highly descriptive fertility potential, (PC₂) Soil moderately descriptive fertility potential, (PC₃) Soil permeability potential, (PC₄) Soil aggregation potential. The results showed that the factor of soil highly descriptive fertility potential explained 43% of variance and accounted for 77% of the yield variability in the field. Principal component analysis allows explaining a major part of crop yield variability by removing the multicollinearity.

Keywords: Field Scale, Maize yield, Principal component analysis, Soil properties

1,2,5- PhD Student, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

(*- Corresponding Author Email: mghaemi270@gmail.com)

3- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad