مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۹) ۱، ۱۳۸۸ (۵۷-۵۱)

پیش بینی عملکرد گندم با استفاده از ویژگی های خاک به کمک تجزیه به مؤلفه های اصلی

شمس الله ایوبی[۱*]، سارا محمد زمانی[۲] و فرهاد خرمالی[۳]

[۱]استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲]دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و [۳]دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

بررسی رابطه بین عملکرد محصول و خصوصیات خاک برای شناسایی و تشخیص علل اساسی تغییرپذیری عملکرد و اجرای مدیریت صحیح مزارع مفید می باشد. این تحقیق، در یک مزرعه گندم تحت مدیریت زارع در شهر سرخنکلاته واقع در ۲۵ کیلومتری شهرستان گرگان، در شمال شرقی ایران انجام شد. نمونه برداری خاک از روی یک شبکه سیستماتیک- آشیانه ای در پلاتی به ابعاد ۱۰۰ در ۱۸۰ متر و از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک (جمعاً ۱۰۱ نقطه) اندکی پس از کاشت گندم در اواخر پاییز انجام گرفت. نمونه برداری از گندم نیز در پلات یک متر مربع با مرکزیت ۱۰۱ نقطه نمونه برداری در اواخر خرداد ماه صورت پذیرفت. نتایج آماری نشان داد تمامی متغیرها از توزیع نرمال برخوردار بودند. pH کمترین ضریب تغییرات و عملکرد دانه بیشترین ضریب تغییرات را دارا هستند. برای تجزیه مؤلفه های اصلی هفت مؤلفه در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین جهت تفسیر خصوصیات مؤثر بر یک مؤلفه از شاخص معیار انتخاب یا SC استفاده شد. بدین ترتیب بردار ویژه برای هر مؤلفه اصلی بر اساس مقادیر بیشتر از مقدار معیار انتخاب در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد متغیرهای حاصلخیزی خاک نظیر فسفر قابل استفاده (۰/۸۴۷)، مواد آلی (۰/۸۱۰)، نیتروژن کل(۰/۷۴۲)، پتاسیم قابل استفاده (۰/۷۲۷) و CEC (۰/۷۲۵) دارای وزنهای بالاتری نسبت به متغیرهای دیگر بوده و بنابراین سهم بیشتری در تغییرپذیری خاک داشته اند. بر این اساس می‌توان گفت تغییرپذیری ناشی از مدیریت عامل مهم تغییرپذیری خصوصیات خاک و عملکرد در مزرعه مورد مطالعه بشمار می رود. نتایج تجزیه به مؤلفه های اصلی بیانگر آن بود که قسمت عمده تغییرپذیری در مزرعه بوسیله فاکتورهای حاصلخیزی ایجاد شده و در مجموع مدلهای رگرسیونی حاصله ۵۷٪ تغییرپذیری عملکرد کل را توجیه نمودند.

واژه‌های کلیدی: پیش بینی، عملکرد گندم ، تجزیه مؤلفه اصلی، سرخنکلاته

مقدمه

مدیریت ویژه مکانی مستلزم شناخت تغییرپذیری خاک در جهت مصرف بهینه نهاده ها می باشد(Shukla et al., 2004). شناسایی فاکتورهای خاکی به عنوان مبنای تصمیم های مدیریتی اغلب بدلیل اثرات متقابلی که بین آنها وجود دارد و عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می دهد، فرآیند پیچیده ای است. برای تأثیر بهتر برنامه های مدیریت زراعی، باید تغییرپذیری خاک وویژگی های خاکی محدود کننده عملکرد را مد نظر قراردارد (Yemefack et al., 2005). تغییرپذیری خاک بوسیله مجموعه فاکتورهای مختلف ایجاد می شود. اثرات متقابل بین مواد مادری، توپوگرافی، پوشش گیاهی، شخم، کوددهی و تاریخچه کشت و کار و غیره می تواند تغییرپذیری ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک را در مزارع تحت تأثیر قرار دهد(Cox et al., 2003). این تغییرپذیری بر عواملی نظیر حرکت آب و مواد غذایی و توزیع مجدد و قابلیت دسترسی آنها برای گیاه همچنین رشد ریشه و تغذیه و پاسخ به سیستمهای مدیریتی و مقاومت در برابر تخریب تـأثیر گذار می باشد(Shukla et al., 2004). در عین حال همیشه یک مجموعه کامل از داده ها در تجزیه و تحلیل ها بکار نمی رود زیرا انتخاب ویژگی های به هدف مطالعه بستگی دارد (Fax and Metla,2005؛ Ovalles and Collins, 1988). هنگامی که تعداد زیادی متغیر را اندازه می گیریم، یک سری مشکلات عملی بوجود می آید و تعداد روابط نیز بیش از تصور خواهد بود، لذا نیاز به تکنیک هایی است که تعداد داده ها را کاهش دهد.از جمله این روشها تجزیه مؤلفه های اصلی (Principal component analysis, PCA) می‌باشد که هدف اصلی آن این است که تعداد متغیرها را برای تحقیقات بیشتر کاهش داد بطوری که تا آنجا که ممکن است اطلاعات موجود در متغیرها را حفظ کرد. یعنی مجموعه متغیرهای اصلی را به یک مجموعه کوچکتری تبدیل کرد، به

* پست الکترونیک مکاتبه کننده ayoubi@cc.iut.ac.ir

نحوی که این مجموعه کوچک بیشتر تغییرات موجود در داده ها را توجیه می کند(Cox et al., 2003; Jiang and Telen, 2004). تجزیه به مؤلفه های اصلی توسط محققان مختلف در توصیف تغییرپذیری ویژگی های خاک به کار گرفته شده است. Tchienkoua and Zeck (۲۰۰۴) با استفاده از تجزیه مؤلفه های اصلی تغییرپذیری مکانی ۱۶ ویژگی خاک را مورد بررسی قرار دادند. در ارتباط با توزیع مکانی عناصر سنگین مطالعات متعددی با استفاده از تجزیه مؤلفه های اصلی صورت گرفته است (Boruvka et al, 2005 ؛ Fachinelli et al., 2001;). Skrbic and Onjia, 2007برخی محققین با استفاده از تجزیه مؤلفه های اصلی در پاکستان توانستند توزیع مکانی عناصر کمیاب را در خاکهای مورد مطالعه بررسی کنند (Triaq et al., 2005). Shukla et al. (۲۰۰۴) در توصیف تغییرپذیری ۱۴ ویژگی مختلف خاک های اوهایوی آمریکا از تجزیه به مؤلفه های اصلی کمک گرفته و تغییرات عملکرد ذرت را به تغییرات ویژگی های خاک نسبت دادند. Ovalles and Collins (۱۹۸۸) با استفاده از تجزیه به مؤلفه های اصلی نشان دادند که شن کل، شن ریز، رس و کربن آلی به عنوان مهمترین ویژگی های خاک، بخش اعظمی از تغییرات ویژگی های خاک را در سطح مزرعه توجیه نموده اند.

با توجه به اینکه تا به حال در منطقه مورد مطالعه در ارتباط با تغییرپذیری ویژگی های خاک و ارتباط آنها با محصول و منشأ این تغییرات در سطح مزرعه مطالعه ای انجام نگرفته است، این تحقیق با هدف شناسایی مهمترین ویژگی های خاکی مؤثر در تغییرپذیری خاک و عملکرد محصول و ایجاد رابطه و مدل بین ویژگی های خاک و عملکرد محصول با استفاده از تجزیه به مؤلفه های اصلی در منطقه سرخنکلاته در استان گلستان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، نمونه برداری و تجزیه های آزمایشگاهی

منطقه مورد مطالعه در مجاورت شهر سرخنکلاته در حدود ۲۵ کیلومتری شمال شرق شهرستان گرگان واقع شده است (شکل ۱). از لحاظ موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ´ ۵۴°۳۳ و عرض جغرافیایی ´ ۳۶°۵۳ قرار دارد. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۳۰ متر، متوسط بارندگی ۵۷۰ میلیمتر می باشد. متوسط حداکثر و حداقل درجه حرارت سالانه به ترتیب ۳۷ و ۳/۱ درجه سانتی گراد است. اقلیم منطقه طبق روش طبقه بندی دو مارتن و کوپن مدیترانه ای و بر اساس روش آمبروژه نیمه مرطوب معتدل محسوب می شود. از لحاظ واحد فیزیوگرافی منطقه سرخنکلاته، جزء دشتهای دامنه‌ای (Piedmont plain) محسوب می شود و مواد مادری آن دارای منشاء لسی می باشد. طبق طبقه بندی آمریکایی ، خاک منطقه مورد مطالعه بصورت Fine, mixed, mesic, Fluventic Haploxerepts طبقه بندی می شود (Soil Survey Staff, 2003).

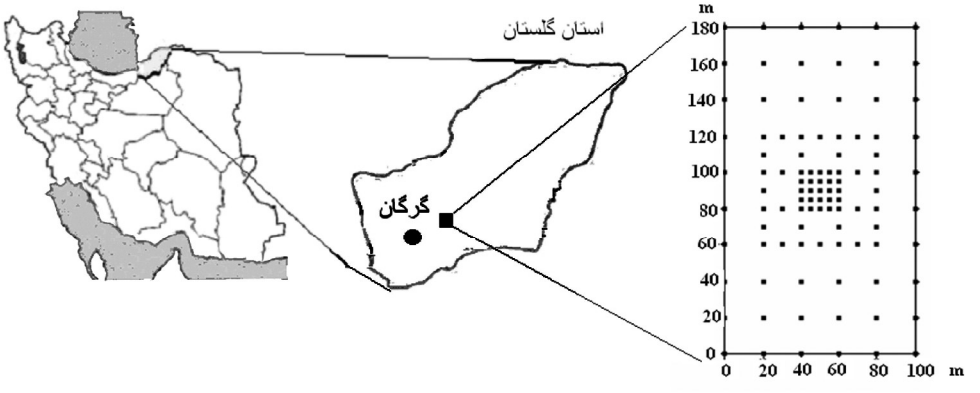
برای انجام تحقیق پلاتی به ابعاد ۱۰۰ در ۱۸۰ متر در یک مزرعه گندم تحت مدیریت زارع انتخاب شد. این مزرعه دارای شیب کمتر از ۱ درصد بوده و مدیریت مصرف کود در منطقه بر اساس توصیه های کودی مرکز تحقیقات منطقه صورت گرفته است. آبیاری به صورت ترکیبی از دیم و آبیاری کمکی در مواقع مورد نیاز به صورت غرقابی صورت گرفته است. جهت کشت بذر از بذرکار استفاده شده است. جهت نمونه برداری از خاک در پلات مورد نظر شبکه بندی بصورت سیستماتیک – آشیانه ای به ابعاد ۲۰ در ۲۰ متر (۶۰ نقطه)، ۱۰ در ۱۰ متر (۲۴ نقطه) و ۵ در ۵ متر (۱۷ نقطه) و جمعاً در ۱۰۱ نقطه بوسیله دوربین و متر انجام شد. شکل ۱ نمایی از الگوی نمونه برداری را نمایش می دهد. نمونه برداری از خاک اندکی بعد از کاشت بوسیله مته (اوگر) از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر از نقاط با مختصات معلوم (جمعاً ۱۰۱ نقطه) صورت گرفت. نمونه ها هوا خشک گردیده و سپس از الک دو میلیمتری عبور داده شدند. pH در حالت گل اشباع و هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، مواد آلی به روش اکسیداسیون تر (Page et al., 1987) و نیتروژن کل با استفاده از روش میکروکجلدال (Bremner and Mulvaney,1982). فسفر قابل جذب به روش کالریمتری (Olsen and Sommers, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی با عصاره گیری با استات سدیم pH = ۸/۲ (Page et al., 1987) و پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر در عصاره بدست آمده با استات آمونیوم ۱ نرمال اندازه گیری شد (Page et al., 1987) . بافت خاک با روش هیدرومتری انجام شده (Day, 1965) و وزن مخصوص ظاهری با استفاده از روش کلوخه و پارافین اندازه گیری شد (Black, 1986). در خرداد ماه ۱۳۸۴، بمنظور تعیین عملکرد گندم، بوته های واقع در پلات یک متر مربع با مرکزیت ۱۰۱ نقطه نمونه برداری برداشت و میزان عملکرد کل، عملکرد دانه و شاخص برداشت محاسبه گردید (Miller et al., 1988).

تجزیه و تحلیل آماری داده ها:

به منظور بررسی چگونگی توزیع داده ها و دستیابی به خلاصه ای از اطلاعات آماری هر خصوصیت، توزیع فراوانی با کمک ویژگیهای آن شامل میانگین، میانه، حداقل، حداکثر،

انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی توسط نرم افزار SPSS (۱۹۹۹)بررسی قرار گرفت. جهت بررسی آزمون نرمال بودن توزیع متغیرها، آزمون کولموگروف- اسمیرونوف استفاده شد. همچنین به بررسی رابطه رگرسیون بین عملکرد و پارامترهای خاک و در واقع توجیه تغییرات عملکرد و واریانس موجود در داده ها و در نهایت مدلسازی و ایجاد یک معادله خطی که بتوان از آن برای پیش بینی عملکرد استفاده کرد. تجزیه به مولفه های اصلی (PCA) و تجزیه رگرسیون چند متغیره توسط نرم افزار SPSS انجام شد. در تجزیه به مولفه های اصلی، اولین مؤلفه (PC1) تا آنجا که ممکن است علت بیشترین واریانس موجود در داده ها می باشد، دومین مؤلفه علت بیشترین واریانس ممکن بعد از مؤلفه اول و الی آخر می باشد. بعلاوه در این روش هر مؤلفه مستقل از مؤلفه های دیگر است یعنی بین مؤلفه ها همبستگی وجود ندارد (Cox et al., 2003 ؛ Ovalles and Collins, 1988). هر مؤلفه ترکیب خطی از متغیرهای مورد بررسی است که می توان رابطه آن را بصورت زیر نمایش داد(Jolliffe, 1986):

$$PC = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + ... + a_{ij}X_j \qquad (۱)$$



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نمایی از شبکه نمونه برداری

که در این رابطه PC مؤلفه اصلی، a_{ij} ضریب یا بردار ویژه و X_jمتغیر مورد نظر می باشد (Ovalles and Collins, 1988).در مطالعه حاضر، جهت انتخاب تعداد مؤلفه های مؤثر، مؤلفه هایی انتخاب شدند که مقدار ارزش ویژه (Eigenvalue) آنها از یک بیشتر باشد. بدین منظور حداقل واریانس توصیف شده معادل ۹۰ درصد به عنوان مرز بحرانی در نظر گرفته شد و جهت تفسیر خصوصیات مؤثر در یک مؤلفه که بیشترین تغییرات را کنترل می کند از شاخص انتخاب ذیل استفاده شد (Ovalles and Collins, 1988; Cox et al., 2003):

$$SC = 0.5(PC_{eigenvalue})^{0.5} \qquad (۲)$$

در این معادله، SC شاخص انتخاب، PC مؤلفه اصلی و Eigenvalue همان واریانس کل می باشد. از آنجایی که واحدهای متغیرهای مورد بررسی همسان نبودند برای محاسبه مؤلفه‌های اصلی از ماتریس همبستگی (Correlation matrix) استفاده شد. پس از استخراج مؤلفه های اصلی مهم، بین مؤلفه هایی که در حال حاضر هیچ گونه همبستگی ندارند با میزان عملکرد محصول رگرسیون چند متغیره خطی به روش گام به گام و به کمک نرم افزار SPSS انجام شد. به منظور اعتبار سنجی مدل ها از معیارهای ME(میانگین خطا) و RMSE(جذر مجموع مربعات خطا) که به ترتیب توسط معادلات زیر محاسبه شده اند استفاده گردید. بدین منظور برای اعتبار سنجی مدل تعداد ۲۰ سری از داد ها که در مدل سازی وارد نشده اند برای محاسبه شاخص های مزبور مورد استفاده قرار گرفتند.شاخص ME نشان دهنده ناریب بودن تخمین و RMSE باید حداقل بوده و نمایانگر دقت تخمین می باشد.همچنین از شاخص r^2 نیز بدین منظور استفاده گردید(Sinowski and Auerswald, 1999).

$$ME = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n}(Z(x_i)^* - Z(x_i)) \qquad (۳)$$

$$RMSE = \{\frac{1}{n} \times [\sum_{i=1}^{n} Z(x_i)^* - Z(x_i)]^2\}^{\frac{1}{2}} \qquad (۴)$$

که در این معادلات Z(xi)* و Z(xi) به ترتیب مقادیر تخمین زده شده و واقعی عملکرد در هر نقطه (xi) است.

نتایج و بحث

توصیف آماری متغیرها

توصیف آماری خصوصیات خاک و عملکرد محصول در جدول ۱ خلاصه شده است. بطور کلی در بین متغیرهای مورد مطالعه، pH دارای کمترین ضریب تغییرات(۰/۵۹ درصد)و عملکرد دانه

دارای بیشترین ضریب تغییرات (۲۰/۴۰ درصد)می باشد. طبق طبقه بندی ارائه شده توسط Wilding (۱۹۸۵) چنانچه CV کمتر از ۱۵٪ باشد تغییرپذیری کم، بین ۱۵ تا ۳۵٪ تغییرپذیری متوسط و چنانچه بیش از ۳۵٪ گردد، تغییرپذیری زیاد می‌باشد. بر این اساس متغیرهای عملکرد دانه و عملکردکل دارای تغییرپذیری متوسط بوده و سایر متغیرها تغییرپذیری کمی دارند. بطور کلی، مقادیر ضریب تغییرات ویژگی های خاک مورد مطالعه از مقادیر گزارش شده در منابع علمی کمتر است که می‌تواند بدلیل استفاده طولانی مدت و مدیریت یکنواخت اراضی مورد مطالعه باشد که منجر به یکنواختی خاک رویی گردیده است. Paz-Gonzalez et al. (۲۰۰۰) نتیجه مشابهی را گزارش کردند. تست نرمالیته داده ها بوسیله آزمون کولموگروف-اسمیرونوف نشان داد که تمامی متغیرها از توزیع نرمال برخوردار هستند. بعلاوه مقادیر چولگی ارائه شده در جدول ۱ نیز نتایج آزمون نرمالیته را تأیید می نماید که در تمامی متغیرها بین ۱- و ۱+ قرار دارد. همچنین نزدیک بودن مقادیر میانگین هر متغیر با مقدار میانه دلیل دیگری بر این مدعاست (Godwin and Miller, 2003).

روابط همبستگی بین دادها در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که نتایج ارائه شده در این جدول نشان می دهد از بین ۶۶ جفت مقایسه تعداد ۴۷ مقایسه در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی دار هستند. که این مسئله احتمال کاهش داده ها برای انجام آنالیز مولفه اصلی را در جلوگیری از همبستگی های موازی بین داده ها را توجیه می نماید. در این جدول همبستگی بالائی بین ماده آلی و ازت کل نشاندهنده آن است که مقدار ازت در مزرعه توسط ماده آلی کنترل شده است. همچنین همبستگی بالای ماده آلی با مقدار رس و CEC نقش رسها را در نگهداری بیشتر ماده آلی و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی تائید می نماید.

تجزیه به مؤلفه های اصلی

با در نظر گرفتن ارزش ویژه بالای یک، هفت مؤلفه اصلی در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۳). همانطور که نتایج نشان می دهد هفت مؤلفه اصلی حدود ۸۵/۱۵ درصد تغییرات را توجیه کرده اند. بطور کلی، یک ویژگی مهم در مورد هر مؤلفه اصلی، واریانس آن می باشد. مؤلفه های اصلی، اغلب بر اساس کاهش واریانس مرتب می شوند. مهمترین مؤلفه اصلی، مؤلفه اول است که بیشترین واریانس را دارد در حالیکه مؤلفه آخر اهمیت کمتری دارد(Ovalles and Collins, 1988). همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می گردد، اولین مؤلفه دارای بیشترین و آخرین مؤلفه دارای کمترین واریانس و به ترتیب برابر ۱۹/۲۱ و ۶/۰۳ می باشد. همچنین جهت تفسیر ویژگی های مؤثر در یک مؤلفه از شاخص معیار انتخاب یا SC استفاده شد که در جدول ۳ نشان داده شده است که از مؤلفه اول به سمت مؤلفه آخر مقدار معیار انتخاب (SC) افزایش می یابد. این نتیجه گیری با نتایجOvalles and Collins (۱۹۸۸) و Cox et al.(۲۰۰۳) همخوانی و مطابقت دارد. همانطور که قبلاً عنوان شد هر مؤلفه، ترکیب خطی از تمامی متغیرها با وزنهای مختلف می باشد. جهت انتخاب ویژگی های مهم برای تفسیر در هر مؤلفه، با توجه به مقدار معیار انتخاب مقادیر بردار ویژه (Eigen vector) یا وزن‌هایی استخراج می شوند که در هر مؤلفه مقدار قدر مطلق وزن، بیش از مقدار معیار انتخاب (SC) شده باشد. بر این اساس مقادیر بردار ویژه یا وزن متغیرها در جدول ۴ ارائه شده است.

به عنوان مثال در مؤلفه اول، متغیرهای موادآلی ، نیتروژن کل ، شن کل و پتاسیم قابل دسترس دارای وزن بیشتری از معیار انتخاب این مؤلفه (۰/۳۶۱) بوده اند و به همین جهت سایر متغیرها که دارای وزن کمتری نسبت به معیار انتخاب بوده اند در تفسیر مهم نبوده و در جدول نیز ارائه نشده اند. با افزایش شماره مؤلفه به سمت مؤلفه آخر از تعداد ویژگی های مهم در مؤلفه کاسته شده بطوری که دو مؤلفه اول دارای متغیرهای بیشتری هستند. در مؤلفه های ۶ و ۷ تمامی مقادیر بردار ویژه دارای مقادیر کوچکتری از SC مربوطه هستند و در نتیجه مقادیر آنها در این قسمت وارد نمی شود. بعبارت دیگر واریانس مولفه‌ها کم است و قابل صرفنظر می‌باشد. آنگاه تغییرات در مجموعه داده ها با تعداد مؤلفه کمتری بیان میشود. برای کاهش بیشتر تعداد متغیرها می توان فاکتورهایی را مد نظر قرار داد که مقدار قدر مطلق ضریب مزبور در آنها بیش از ۰/۷۵ باشد (Ovalles and Collins, 1988). بدین ترتیب برای مؤلفه اول مهمترین متغیرها مواد آلی و نیتروژن کل می باشند. به عبارتی بیشترین واریانس تغییرات ویژگی های خاک در مزرعه مورد مطالعه به این دو متغیر مربوط می شود.

نمودار مربوط به وزن خصوصیات خاک در ارتباط با سه مؤلفه اول در شکل (۲) نشان داده شده است. این نمودار رابطه بین خصوصیات خاک و مؤلفه ها را نمایش می دهد و به شناسایی خصوصیات مهم در هر مؤلفه کمک می نماید، بطوریکه خصوصیات با وزنهای بیشتر یا مقادیر بردار ویژه بزرگتر، در فواصل دورتری نسبت به مرکز مختصات هر مؤلفه قرار می گیرند. در شکل ۲ الف، در رابطه با مؤلفه ۱، متغیر مواد آلی و بعد از آن نیتروژن دارای بیشترین وزن با مقدار مثبت می باشند و در مؤلفه ۲ متغیرهای EC، رس و جرم مخصوص

ظاهری دارای بیشترین وزن با مقادیر مثبت می باشند، در حالیکه pH دارای مقدار وزنی منفی می باشد. در شکل (۲- ب) در ارتباط با مؤلفه ۲، مجدداً متغیرهای EC، رس و جرم مخصوص ظاهری با مقادیر مثبت و pH با مقدار منفی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده اند و در ارتباط با مؤلفه ۳، متغیرهای CEC و فسفر با مقادیر مثبت و جرم مخصوص ظاهری، EC و pH با مقادیر منفی، وزن های بالاتری را نشان می دهند.

جدول ۱- توصیف آماری متغیرهای خاک و محصول

متغیر	واحد متغیر	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (٪)	انحراف معیار	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
pH	-	۷/۸۶	۷/۸۶	۷/۷۵	۷/۹۶	۰/۵۹	۰/۰۴۷	-۰/۱۰۶	-۰/۵۰۲
EC	dSm^{-1}	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۶۴	۱/۰۵	۱۱/۲۰	۰/۰۹۳	۰/۳۲۲	-۰/۰۳۳
شن	(٪)	۲/۱۷	۲/۱۷	۱/۹۰	۲/۳۶	۴/۰۱	۰/۰۸۷	-۰/۶۰۰	۱/۱۷۹
رس	(٪)	۵۶/۳۲	۵۶/۰۸	۵۳/۱۸	۵۹/۵۰	۲/۰۲	۱/۱۴۰	۰/۴۷۷	۰/۳۰۸
جرم مخصوص ظاهری	$g\ cm^{-3}$	۱/۸۰	۱/۸۱	۱/۶۵	۱/۸۵	۲/۳۳	۰/۰۴۲	-۰/۷۰۱	۱/۹۹۰
فسفرقابل استفاده	$mg\ kg^{-1}$	۲۷/۱۶	۲۷/۴۰	۲۴/۰۰	۲۹/۵۰	۴/۶۸	۱/۲۷۱	-۰/۳۸۵	-۰/۷۶۱
پتاسیم قابل استفاده	$mg\ kg^{-1}$	۳۳۴/۵۹	۳۳۵/۲۶	۳۲۱/۱۱	۳۵۲/۵۶	۲/۴۳	۸/۱۲۷	۰/۲۳۰	-۰/۵۷۸
مواد آلی	(٪)	۲/۵۷	۲/۵۸	۱/۸۲	۳/۰۰	۸/۵۲	۰/۲۱۹	-۰/۴۱۶	۰/۱۰۷
نیتروژن کل	(٪)	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۹۱	۰/۱۷۸	۸/۴۶	۰/۰۱۱	۰/۳۷۹	۴/۰۱۱
CEC	$Cmol(+)\ Kg^{-1}$	۳۱/۰۶	۳۱/۱۰	۲۸/۷۵	۳۲/۶۵	۲/۵۵	۰/۷۹۳	-۰/۵۱۹	۰/۴۲۱
عملکرد دانه	$gr\ m^{-2}$	۴۵۸/۶۵	۴۴۶/۸۸	۲۵۸/۸۶	۶۹۹/۱۵	۲۰/۴۰	۹۳/۵۸۲	۰/۲۱۷	-۰/۶۷۱
عملکرد کل	$gr\ m^{-2}$	۸۷۷/۷۳	۸۵۵/۰۰	۵۴۵/۰۰	۱۲۳۵/۰۰	۱۵/۳۸	۱۳۵/۰۰	-۰/۰۳۴	-۰/۵۱۵

جدول ۲- ضرائب همبستگی بین ویژگی های خاک و بین مولفه های عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه

متغیر	pH	EC	Sand	Clay	BD	P_{ava}	K_{ava}	OM	TN	CEC	Grain	Biom
pH	۱											
EC	۰/۰۲	۱										
Sand	۰/۱۷	۰/۲۲*	۱									
Clay	۰/۱۶	۰/۲۵*	۰/۷۶**	۱								
BD	۰/۰۹	۰/۱۲	-۰/۴۵**	۰/۳۵**	۱							
P_{ava}	-۰/۵۳**	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۱۳	۱						
K_{ava}	۰/۳۵**	۰/۳۷**	-۰/۵۶**	۰/۴۵**	۰/۲۰	۰/۰۲	۱					
OM	۰/۱۳	۰/۱۴	-۰/۶۵**	۰/۶۷**	-۰/۵۷**	۰/۶۸**	۰/۳۵**	۱				
TN	۰/۱۲	۰/۱۷	-۰/۵۹**	۰/۶۶**	-۰/۵۵**	۰/۵۶**	۰/۳۴**	۰/۹۱**	۱			
CEC	۰/۳۴**	۰/۱۲	-۰/۷۶**	۰/۳۹**	۰/۱۵	۰/۲۳*	۰/۵۶**	۰/۵۶**	۰/۴۹**	۱		
Grain	۰/۰۲	-۰/۲۷*	۰/۶۲**	۰/۵۹**	۰/۳۷**	۰/۲۶*	۰/۷۸**	۰/۷۹**	۰/۷۹**	۰/۲۶*	۱	
Biom	۰/۱۰	-۰/۳۲**	۰/۶۵**	۰/۵۶**	۰/۳۴**	۰/۲۳*	۰/۷۹**	۰/۸۵**	۰/۸۳**	۰/۲۵*	۰/۸۹**	۱

در این جدول علائم استفاده شده عبارتند از: pH: اسیدیته خاک، EC: هدایت الکتریکی خاک، sand: شن، Clay: رس، BD: جرم مخصوص ظاهری خاک، Pava: فسفر قابل دسترس، Kava: پتاسیم قابل دسترس، OM: ماده الی، TN: نیتروژن کل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، Grain: عملکرد دانه، Biom: عملکرد کل، *و ** : به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد

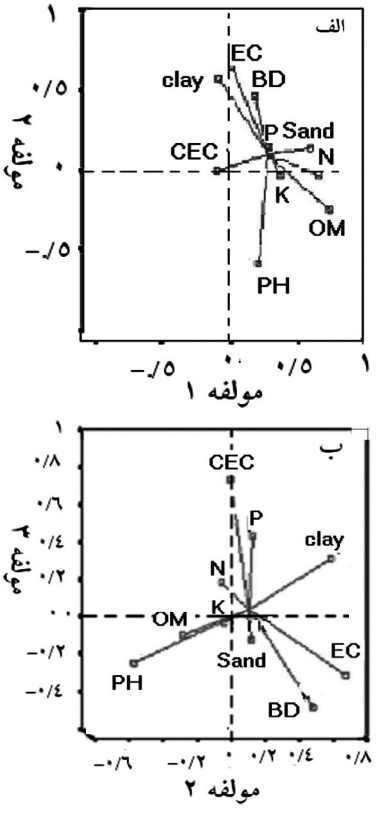
به طورکلی می توان گفت متغیرهای حاصلخیزی خاک مثل فسفر قابل استفاده، مواد آلی ، نیتروژن کل ، پتاسیم قابل استفاده و CEC دارای وزن های بالاتری نسبت به متغیرهای دیگر بوده و بنابراین سهم بیشتری در تغییرپذیری خاک داشته‌اند. بر این اساس می‌توان گفت تغییرپذیری ناشی از مدیریت عامل مهم تغییرپذیری خصوصیات خاک در مزرعه مورد مطالعه به شمار می رود. در حالیکه سهم کمتری از واریانس کل نمونه توسط مولفه های پایین تر توجیه می‌شوند و بنابراین مشاهده می‌شود که تعداد کمی از متغیرها درآنها شرکت دارند. در این رابطه، نتایج حاصل با نتایج Jiang and Telen (۲۰۰۴) همخوانی دارد.

جدول۳- تعداد مؤلفه ها، محاسبه SC، واریانس کل و واریانس تجمعی

مؤلفه اصلی (PC)	SC	واریانس کل	واریانس تجمعی
PC۱	۰/۳۶۱	۱۹/۲۱	۱۹/۲۱
PC۲	۰/۳۹۶	۱۵/۸۹	۳۵/۱۰
PC۳	۰/۴۴۲	۱۲/۸۰	۴۷/۹۰
PC۴	۰/۴۷۷	۱۰/۹۶	۵۸/۸۶
PC۵	۰/۴۸۱	۱۰/۸۱	۶۹/۶۷
PC۶	۰/۵۱۴	۹/۴۵	۷۹/۱۲
PC۷	۰/۶۰۱	۶/۰۳	۸۵/۱۵

جدول ۴- مقادیر بردار ویژه برای پارامترهای انتخاب شده در PCA

متغیر	مولفه				
	PC۱	PC۲	PC۳	PC۴	PC۵
pH		-۰/۵۰۶			
EC		-۰/۶۶۷			
شن کل	۰/۵۵۹				
رس		۰/۵۵۹	۰/۴۹۴		
وزن مخصوص ظاهری		-۰/۶۲۲			
فسفر قابل استفاده					۰/۸۴۷
پتاسیم قابل استفاده	۰/۴۷۶			۰/۷۲۷	
مواد آلی	۰/۸۱۰				
نیتروژن کل	۰/۷۵۲				
CEC			۰/۷۲۵	۰/۵۰۷	



شکل ۲- نمودار وزن خصوصیات خاک برای ۳ مولفه اول، (الف) مؤلفه ۱ در برابر مؤلفه ۲، (ب) مولفه ۲ در برابر مولفه ۳.

معادله وزنی مربوط به هر یک از مؤلفه های اصلی نیز بصورت زیر می باشد:

$$PC_1 = 0.559sand + 0.476K + 0.81OM + 0.25N \quad (۵)$$

$$PC_2 = -0506pH - 0.667EC + 0.559Clay + 0.622BD \quad (۶)$$

$$PC_3 = 0.494Clay + 0.725CEC \quad (۷)$$

$$PC_4 = 0.727K + 0.507CEC \quad (۸)$$

$$PC_5 = 0.847P \quad (۹)$$

تجزیه به مولفه های اصلی بعنوان متغیرهای مستقل در رگرسیون چند متغیره به روش گام به گام در برابر عملکرد دانه، GY، و عملکردکل، TY، بعنوان متغیرهای وابسته بکار گرفته شد که معادله های حاصل بصورت زیر می باشند:

$$GY=479.956+43.585PC_1+28.420PC_2- 24.657PC_3+21.954PC_4 \quad (۱۰)$$

$$R^2 = 0.56^{**}$$

$$TY=906.692+65.962PC_1+37.862PC_2- 23.905PC_3+23.037PC_4+17.814PC_5 \quad (۱۱)$$

$$R^2 = 0.57^{**}$$

به منظور اعتبار سنجی مدل های بدست آمده، شاخص های RMSE ، ME و r محاسبه شدند. برای این منظور عملکرد دانه محاسبه شده با استفاده از مدل با عملکرد واقعی در ۲۰ نقطه مورد مقایسه قرار گرفت. جدول ۵ خلاصه اعتبار سنجی مدل ها را نشان میدهد. با توجه به مقادیر کم RMSE , ME و مقدار بالای r می توان نتیجه گرفت که مدلهای بدست آمده برای عملکرد دانه و عملکرد کل ناریب بوده و از دقت خوبی برخوردار است. در مجموع معادلات به دست آمده در مورد عملکرد دانه و عملکرد کل به ترتیب ۵۶٪ و ۵۷٪ تغییرپذیری را توجیه می‌نماید. این نتایج با یافته‌های Cox et al.(۲۰۰۳) که در این زمینه r^2 مشابهی بدست آورده اند، مطابقت می‌کند.

جدول ۵- اعتبار سنجی مدل حاصل از عملیات PCA

متغیر	شاخص آماری		
	ME	RMSE	r
عملکرد دانه	۰/۸۲۱	۰/۹۰۶	۰/۹۴۶**
عملکرد کل	۰/۷۳۴	۰/۸۵۶	۰/۹۲۶**

**معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

نتیجه گیری

نتایج حاصل از تجزیه به مؤلفه های اصلی و رگرسیون چند متغیره نشان می دهد قسمت عمده تغییرپذیری عملکرد کل و عملکرد دانه در مزرعه مورد مطالعه بوسیله فاکتورهای حاصلخیزی خاک ایجاد شده است. در عین حال این تکنیک ها توانستند حداکثر ۵۷٪ تغییرپذیری عملکرد را توجیه نمایند و بنابراین بخش دیگری از تغییرپذیری به عوامل مدیریتی برمی گردد که قادر به در نظر گرفتن آنها نبوده ایم. از جمله این عوامل می توان به عمق کاشت و قوه نامیه بذر، تراکم دانه در واحد سطح و غیره اشاره نمود. همچنین مدیریت کوددهی و آبیاری مزرعه که احتمالا" قسمت هایی از مزرعه کود و آب بیشتر یا کمتری دریافت نموده اند و در نتیجه توزیع یونها و عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار داده اند، نیز از جمله عوامل مهم و مؤثر در توجیه تغییرپذیری می باشد.

REFERENCES

Black, C. A. (1986) *Methods of soil analysis*. Part 1. (pp.545-566). Ser. No. 9. ASA. Madison, WI.

Boruvka, L., Vacak, O. and Jeilicka, J. (2005). Principle component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soil. *Geoderm*, 28, 289-300.

Bremner, J. M. and Mulvaney. C. S. (1982). Total Nitrogen. In: A. L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis*. P Part 2: Chemical and microbiological properties, 2nd ed., Agron. (No.2). (pp.9595-624). Am. Soc. Argon., Madison, WI, USA.

Cox, M. S., Gerard, P. D. and Wardlaw, M. C and Abshire, M. J. (2003). Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. *Soil Sci. Soc. Am. J*., 67, 1296-1302.

Day, R. (1965). Particle fractionation and particle size analysis. In: C. A. Black et al (ed.) *Methods of Soil Analysis*. (Part 1. (pp. 545-566). Ser. No. 9. ASA. Madison, WI.

Fachinelli, A., Sacchi, E. and Mallen, L. (2001). Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*, 114, 313-324.

Fox, G. A. and Metla, R. (2005). Soil property analysis using principle component analysis, soil line and regression models. *Soil Sci. Soc. Am. J.,* 69, 1782-1788.

Godwin, R. J. and Miller P. C. H. (2003). A review of the technologies for mapping within- field variability, *Biosyst. Eng*. 84:393-407.

Jiang, P. and Telen, K.D. (2004). Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn- soybean cropping system. *Agron. J*., 96, 252-258.

Jolliffe, I. T. (1986). *Principle Component Analysis*. Springer-Verlag.

Miller, M. P. Singer, M. J. Nielson, D. R. (1988). Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 52, 1133-1141.

Olsen, S. R., and Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. In: A. L. Page (ed.). *Methods of Soil Analysis*, Agron. (No. 9). (Part 2): Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed., (pp. 403-430). Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.

Ovalles, F. A. and Collins, M. E. (1988). Variability of northwest Florida soils by principle component analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J*., 52, 1430-1435.

Page, M. C. Sparks, D. L. Noll, M. R. and Hendricks, G. J. (1987). Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic Coastal plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J*. 51, 1460-1465.

Paz-Gonzalez, A., Viera, S. R. and Toboada Castro, M. T. (2000). The effect of cultivation on the spatial variability of selected properties of an umbric horizon. *Geoderma*, 97, 273-292.

Shukla, M., K. Lal, R. and Ebinger, M. (2004). Principle component analysis for predicting corn biomass and grain yields. *Soil Science*, 169, 215-224.

Sinowski, W. and Auerswald, K. (1999). Using relief parameters in a discriminate analysis to stratify geological areas with different spatial variability of soil properties. *Geoderma*, 89, 113– 128.

Skrbic, B. and Onjia, A. (2007). Multivariate analysis of micronutrient content in wheat cultivated in Serbia. *Food Control*, 18, 338-345.

Soil Survey Staff. (2003). *Keys to Soil Taxonomy*, USDA, NRCS, Washington DC.

SPSS for windows. (1999). Release. 7 (Nov 141996), Copyright SPSS, Inc.

Tchienkoua, M. and Zeck, W. (2004). Statistical analysis of soil variability in humid forest landscape of central Cameron. *International of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5, 69-79.

Traiq, S. R. Shah, M. H. Shaheen, N. Khalique, A. Manzoor, S. and Jaffar, M. (2005). Multivariate analysis traces metal levels in tannery effluents in relation to soil and water: A case study from Peshawar, Pakistan. *Journal of Environmental management*, 79, 20–29.

Wilding, L. (1985). Spatial variability. Its documentation, accommodation, and implication to soil surveys. In: D. R. Nielson and J. Bouma (Eds*). Soil Variability*, Pudo, Wagenigen, the Netherlands.

Yemefack, M., Rossiter, D. G. and Njomgang, R. (2005). Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma*,125,117-14.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.