DOI: 10.22059/ijswr.2018.226317.667621 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۸ (ص ۳۸-۲۵)

Determining the Most Important Soil Fertility Properties Affecting Rice Yield in Paddy Fields Using Principal Component Analysis

BAHAREH DELSOUZ KHAKI[1], NASER DAVATGAR[2*], NASER HONARJOO[3], AHMAD JALALIAN[4], HOSEIN TORABI GOL SEFIDI[5]

1. PhD Graduate, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Soil and Water Research Institute, agricultural research, education and extension organization (AREEO), Karaj, Iran
3. Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
4. Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
5. Assistant Professor, Department of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

(Received: Jan. 29, 2017- Revised: Jan. 15, 2018- Accepted: May. 22, 2018)

ABSTRACT

Multi-variate statistical methods such as principal component analysis (PCA) and regressions could be used to facilitate the interpretation of complex relationships. The objective of this study was to determine the most important soil fertility properties affecting rice yield in the paddy fields. For this purpose, soil samples were taken from the plow layers of 119 points with suitable distribution in the paddy fileds located in Shaft and Fouman cities of Guilan province. Then after, physical and chemical properties of the soil fertility were measured and analysed using descriptive statistics, principal component analysis and regression methods. Results showed that three PCs with eigen values greater than one named as “k and it’s preservation factors”, ”Total N and it’s provider factors” and ”P and Thickness of plow layer” are respectively explained more than 67.4% of the variability in the soil physical and chemical properties and 55% of the yield variability. In addition, the corresponded properties to the PCs explained 80% of the yield variability. Consequently, in order to increase the yield, management practices such as proper fertilizer applications of nitrogen, potassium and phosphorous and proper tillage for creating suitable plow layer are recommended.

Keyword: Guilan province, multivariate statistics, rice yield, soil physical and chemical properties

*Corresponding Author’s email: n.davatgar@areeo.ac.ir

تعیین مهمترین ویژگی‌های حاصلخیزی خاک مؤثر بر محصول برنج در اراضی شالیزاری با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی

بهاره دلسوز خاکی[۱]، ناصر دواتگر[۲]، ناصر هنرجو[۳]، احمد جلالیان[۴]، حسین ترابی گل سفیدی[۵]

۱. دانش‌آموخته دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، گروه علوم خاک، اصفهان، ایران

۲. دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، گروه علوم خاک، اصفهان، ایران

۴. استاد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، گروه علوم خاک، اصفهان، ایران

۵. استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران

(تاریخ ارسال: ۱۳۹۵/۱۱/۱۰- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۳/۱)

چکیده:

روش‌های آماری چند متغیره مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون‌ها می‌توانند برای تسهیل تفسیر روابط پیچیده استفاده شوند. هدف از این مطالعه تعیین مهمترین ویژگی‌های حاصلخیزی خاک، مؤثر بر محصول برنج در اراضی شالیزاری بود. به این منظور نمونه‌هایی از لایه شخم ۱۱۹ نقطه با توزیع جغرافیایی مناسب، در اراضی شالیزاری شهرستان‌های شفت و فومن استان گیلان برداشت شد. پس از آن، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مرتبط با حاصلخیزی خاک در این نمونه‌ها اندازه‌گیری و با استفاده از روش‌های آمار توصیفی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون تحلیل شدند. نتایج نشان داد سه مؤلفه اصلی با مقادیر ویژه بیشتر از یک مانند «پتاسیم و عوامل مؤثر در نگهداری آن»، «نیتروژن کل و عوامل مؤثر بر تأمین آن» و «فسفر قابل استفاده و ضخامت افق سطحی خاک»، بیشتر از ۶۷/۴ درصد از تغییرپذیری در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ۵۵ درصد از تغییرپذیری محصول برنج را توصیف می‌کنند. همچنین ویژگی‌های مرتبط با این مولفه‌ها ۸۰ درصد از تغییرپذیری محصول را توصیف نمودند. بنابراین برای افزایش محصول، عملیات مدیریتی مانند مصرف صحیح کودهای محتوی نیتروژن، پتاسیم و فسفر و خاک‌ورزی مناسب به منظور ایجاد لایه شخم مناسب توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: استان گیلان، آمار چند متغیره، محصول برنج، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محیطی و منبع اصلی تأمین‌کننده عناصر و آب برای رشد گیاه است (Ghaemi *et al*., 2014a). رابطه بین محصول و خاک بسیار پیچیده است و به رابطه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و دیگر فاکتورهای محیطی بستگی دارد (Sys *et al*., 1991). باقی ماندن پارامترهای خاک در سطح مطلوب یکی از موضوعات مهم مدیریتی است (Rajasekharan *et al*., 2013).

همبستگی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، زمینه‌های به‌کارگیری روش‌های مختلف را برای تفسیر و بررسی تغییرپذیری خاک‌ها فراهم آورده است. از جمله این روش‌ها، روش‌های چند متغیره است. یکی از اهداف آمار چندمتغیره، بررسی وابستگی‌ها بین متغیرهای مشاهده‌شده می‌باشد. روش‌های چند متغیره ابزاری مناسب برای تجزیه و تحلیل داده‌های خاک می‌باشند. یکی از روش‌های چند متغیره پرکاربرد در علوم خاک، روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)[۱] است. این روش از یک‌سو قادر به گروه‌بندی متغیرها بر طبق شباهت آن‌ها بوده، (Benites *et al*, 2010) و از سوی دیگر توانایی تعیین اهمیت نسبی بین این گروه‌ها را نیز دارند (Tabi *et al*, 2012). در واقع این روش یک فرایند آماری است که به منظور اجتناب از همپوشانی اطلاعات یک مجموعه، برای تبدیل یک مجموعه از مشاهدات با متغیرهای همبسته به مجموعه‌ای کوچکتر با متغیرهای غیر همبسته که مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Liu *et al*, 2003). به بیان دیگر

* نویسنده مسئول: n.davatgar@areeo.ac.ir

1 . Principal components analysis

هدف PCA، مانند سایر انواع تحلیل‌های عاملی، کاهش مجموعه بزرگی از داده‌ها به تعداد کمتری عامل کلی است که در PCA به این عامل‌ها مؤلفه (PC) گفته می‌شود (Biabangard, 2010). این مؤلفه‌های اصلی بیشتر تغییرات موجود در داده‌ها (بیشترین واریانس مجموعه داده‌ها) را توجیه می‌کنند و به راحتی در تحلیل‌های بعد، از جمله رگرسیون خطی چند متغیره[1] استفاده می‌گردند. هدف از رگرسیون چند متغیره شناخت روابط بین تعدادی متغیر غیر وابسته یا متغیر پیش‌بینی کننده و یک متغیر معیار یا وابسته است (Hill *et al*., 2006).

قبل از انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی لازم است دو موضوع بررسی گردند: ۱) کفایت نمونه‌برداری: برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی، از ضریبKMO[2] استفاده می‌گردد (Kaiser, 1974). ۲) رابطه قوی بین متغیرها که توسط آزمون مربع کای بارتلت (همان آزمون کرویت بارتلت)[3] بررسی می‌شود (Bartlett, 1954). از اساسی‌ترین اقدامات در تحلیل مؤلفه‌های اصلی، انتخاب مولفه‌ها است. مؤلفه‌هایی که دارای ارزش ویژه[4] یا بزرگتر از آن باشند، به عنوان مؤلفه اصلی انتخاب می‌شوند. همچنین از معیار انتخاب (SC) به منظور انتخاب و تفسیر ویژگی‌های مهم و کنترل‌کننده بیشترین تغییرات در هر مؤلفه استفاده می‌گردد (Ovalles and Collins, 1988).

در مطالعه‌ای که توسط Mallarino *et al*. (1999) انجام شد، با استفاده از آنالیز تحلیل عامل‌ها، سه عامل حاصلخیزی خاک، کنترل علف هرز و شرایط رشد سریع گیاه شناسایی شدند. این محققین توانستند با استفاده از رابطه رگرسیونی بین محصول ذرت با متغیرهای جدید، تغییرپذیری عملکرد را در اراضی مورد مطالعه تشریح نمایند.

در مطالعه دیگری، Kravchenko and Bullock (2000)، با استفاده از اطلاعات محصول گیاهان ذرت و سویا، میزان مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، غلظت فسفر و پتاسیم قابل استفاده خاک، روابط محصول و ویژگی‌های خاک را در مقیاس مزرعه‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد که ویژگی‌های خاک نزدیک به ۳۰٪ از تغییرپذیری محصول را توصیف می‌کنند. این مطالعه نشان داد که میزان مواد آلی بیشترین تأثیر را بر روی محصول در اراضی مورد مطالعه داشت.

در تحقیقی که توسط Yanai *et al* (2001) انجام شد، محصول برنج به عنوان متغیر وابسته و سه مؤلفه اصلی (شامل مواد آلی، عناصر بازی قابل‌تبادل و املاح محلول) به عنوان متغیرهای مستقل استفاده شدند. مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی محصول برنج با ضریب تبیین ۰/۴۳ بدست آمد. همچنین از بین مؤلفه‌های تعیین‌شده، مؤلفه مواد آلی به دلیل داشتن بیشترین ضریب رگرسیون در مدل بدست آمده، مهمترین عامل تعیین‌کننده میزان محصول شناخته شد.

روابط بین برخی از ویژگی‌های خاک و محصول سویا، توسط Cox *et al* (2003)، در سه مزرعه در منطقه می‌سی‌سی‌پی، با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییرپذیری محصول در این اراضی به شدت تحت تأثیر مشخصه‌های فیزیوگرافی از قبیل ارتفاع و شیب، بافت خاک و مشخصه‌های حاصلخیزی خاک از قبیل فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل استفاده قرار دارد.

در مطالعه‌ای که توسط Shukla *et al* (2004) انجام شد، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در توصیف‌پذیری ۱۴ ویژگی مختلف خاک‌های اوهایو آمریکا استفاده شد و تغییرات محصول ذرت به تغییرات ویژگی‌های خاک نسبت داده شد. آنالیز مؤلفه‌های اصلی نشان داد که ۴ مؤلفه اصلی با ارزش ویژه بزرگتر از یک، بیشتر از ۷۸٪ از تغییرپذیری در ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک را توصیف می‌کنند. استفاده از روش رگرسیون چند متغیره گام به گام[5]، نشان داد که عامل اول «اثر کود بر ویژگی‌های خاک» و عامل دوم «وضعیت آب و نفوذپذیری» ۳۶ درصد تغییرپذیری محصول گیاه را توصیف نمودند. بر پایه بیشترین ضریب رگرسیون بدست آمده در معادله، اثر کود بر ویژگی‌های خاک اصلی‌ترین عامل تعیین‌کننده میزان محصول گیاه شناخته شد.

در مطالعه‌ای دیگر، Kaspar *et al*. (2004) رابطه بین محصول دو گیاه ذرت و سویا را با مجموعه‌ای از متغیرهای حاصل از تحلیل عامل‌ها (مؤلفه‌های فیزیوگرافی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک) به مدت ۱۱ سال در مزرعه‌ای در آیوا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که تحلیل عامل‌ها در ارزیابی تغییرپذیری عملکرد نسبت به روابط ساده از توانایی بالاتری برخوردار است.

همچنین Ayoubi *et al* (2009) برای پیش‌بینی عملکرد گندم بر مبنای ویژگی‌های خاک، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده کردند. در این مطالعه هفت مؤلفه تشخیص داده شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی بیانگر آن بود که قسمت عمده

1 . multiple linear regressions
2. Kaiser- Meyer- Olkin
3. Kruit Bartlett Test
4. Eigen value
5. Stepwise

تغییرپذیری در مزرعه مورد بررسی، بوسیله عوامل حاصلخیزی ایجاد شده و با استفاده از مدل رگرسیونی حاصله ۵۷٪ تغییرپذیری محصول را توجیه نمودند.

در مطالعه‌ای که توسط Davatgar (2010) انجام شد، عوامل مؤثر بر محصول برنج با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی بررسی گردید. در این تحقیق بهترین پیش‌بینی عملکرد با استفاده از مؤلفه‌های عملیات مدیریتی و برهمکنش مؤلفه‌های مدیریتی و باروری خاک در سطح احتمال ۱۱ درصد با ضریب تبیین ۳۳ درصد بدست آمد.

تغییرپذیری محصول ذرت بر مبنای ویژگی‌های خاک، با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، توسط Ghaemi *et al.* (2014b) بررسی شد. در این مطالعه، چهار مؤلفه اصلی (ظرفیت بالای توصیف‌کننده حاصلخیزی خاک، ظرفیت متوسط توصیف‌کننده حاصلخیزی خاک، ظرفیت میزان نفوذپذیری خاک و ظرفیت میزان هم‌آوری خاک) شناسایی شدند و مدل پیش‌بینی عملکرد حاصله از این مطالعه، توانست ۷۷ درصد تغییرپذیری محصول ذرت را در مقیاس مزرعه‌ای توضیح دهد.

برنج (Oryza sativa L.) گیاهی مغذی و مهم برای بخش عظیمی از جمعیت جهان (Fageria *et al.*, 2003) و به عنوان یک محصول راهبردی عمدتاً در شمال ایران کشت می‌شود و دومین ماده غذایی اصلی بعد از گندم در این کشور است (Khush, 1993). استان گیلان به عنوان یکی از مهمترین استان‌های تولیدکننده برنج کشور محسوب می‌شود، به طوری که بیش از ۳۰ درصد برنج کشور در این استان تولید می‌شود (Azizi, 2007). علیرغم اهمیت این محصول، افزایش تولید آن به سبب محدودیت‌های فیزیکی منابع تولید مانند خاک با مشکل روبروست. از این رو به منظور استفاده صحیح از منابع و ارتقا کیفیت عملیات مدیریتی، شناسایی مهمترین عوامل خاک که تغییرپذیری محصول برنج را در مزرعه کنترل می‌کنند، ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به اهمیت شناخت عوامل خاکی مؤثر بر میزان محصول در اراضی شالیزاری، این مطالعه در راستای گروه‌بندی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی اندازه‌گیری شده خاک برای شناسایی مهم‌ترین ویژگی‌های حاصلخیزی خاک مؤثر بر تغییرپذیری محصول برنج در اراضی شالیزاری و پیش‌بینی مقدار محصول برنج بر اساس مهم‌ترین ویژگی‌های خاک، با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چند متغیره، در اراضی شالیزاری شهرستان‌های شفت و فومن استان گیلان انجام شد.

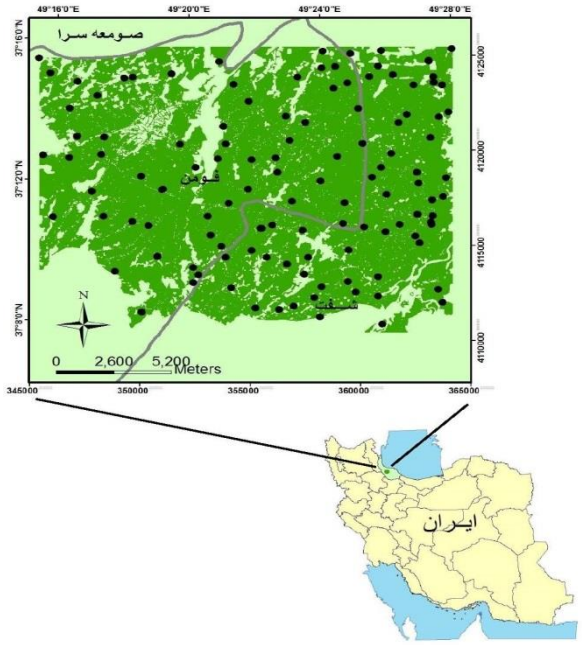
مواد و روش‌ها

توصیف موقعیت منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری‌ها

این مطالعه در شالیزارهای واقع در نیمه جنوبی دشت فومنات انجام شد. این ناحیه دارای خاک‌های آبرفتی مسطح و در محدوده دو شهر شفت و فومن، در استان گیلان در ′۷ و °۳۷ تا ′۱۵ و °۳۷ عرض شمالی و ′۱۵ و °۴۹ تا ′۲۸ و °۴۹ طول شرقی قرار دارد و مساحتی نزدیک به ۲۰ هزار هکتار را پوشش می‌دهد. بر اساس آمار سی ساله ایستگاه سینوپتیک رشت در این منطقه میانگین بارندگی سالانه حدود ۱۳۵۶ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه °۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس روش‌های طبقه‌بندی دومارتن و آمبرژه، بسیار مرطوب می‌باشد. همچنین طبق نقشه رژیم رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (بنایی،۱۳۷۷) خاک‌های منطقه مورد مطالعه در رژیم‌های رطوبتی آکوئیک و یودیک و رژیم حرارتی ترمیک قرار می‌گیرند و بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی، در رده-های انتی سول، اینسپتی سول و آلفی سول طبقه‌بندی می-شوند. و بر اساس سیستم WRB (World reference base for soil resources (WRB, 2014) خاک‌ها متعلق به گروه‌های Luvisols و Gleysols و بر اساس طبقه‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014) گروه‌های بزرگ Hapludalfs، Endoaqualfs و Humaquepts را شامل شده‌اند.

در منطقه مورد مطالعه کاربری اصلی اراضی، شالیزارهای برنج با روش آبیاری غرقابی می‌باشد. در این شالیزارها برنج (رقم هاشمی) کشت می‌شود و آماده‌سازی زمین (شخم، گل خرابی و صاف کردن زمین) هر ساله ۷ تا ۳۰ روز قبل از انتقال نشاء در اوایل بهار انجام می‌شود. در هر دوره از کشت در بیشتر اراضی کود اوره (۶۰ کیلوگرم در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۴۵ کیلوگرم در هکتار) استفاده می‌شود. همچنین برخی کشاورزان از ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم (پتاسیم سولفات) در هر هکتار استفاده می‌نمایند، از این رو نمونه‌برداری در یک مرحله، پیش از کود دهی (قبل از نشاکاری) انجام شد. از سویی از آنجا که بیش از ۹۰٪ کل طول ریشه برنج آبی در ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری از سطح خاک قرار دارد (De Datta *et al.*, 1988) و همچنین در برخی مناطق به دلایل مختلف از جمله نبود ماشین‌آلات مناسب شخم، عمق شخم کمتر از ۲۵ سانتی‌متر و در برخی دیگر از مناطق علیرغم ضخیم بودن نیمرخ خاک، عمق لایه شخم تنها ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر است، در حین برداشت نمونه‌ها، ضخامت

لایه شخم (افق Ap) اندازه‌گیری و ۱۱۹ نمونه خاک از این افق با توزیع جغرافیایی مناسب تهیه شد. شایان ذکر است که در هنگام نمونه‌برداری سعی شد نقاط از پیش تعیین‌شده (۱۱۹ نقطه با توزیع جغرافیایی یکنواخت) مورد نمونه‌برداری قرار گیرد لیکن به دلیل گستردگی اراضی مورد مطالعه، در برخی موارد نقاط مورد نظر برای نمونه‌برداری مناسب نبود که در نتیجه اقدام به نمونه‌برداری از نقطه‌ای دیگر تا حد امکان نزدیک به نقطه اصلی گردید. از جمله مواردی که موجب ترجیح سایر نقاط گردید می‌توان به متفاوت بودن شکل زمین به دلیل تراس‌بندی، پستی و بلندی‌های موضعی و وجود باغ‌های چای اشاره نمود. بنابراین در صورت عدم امکان برداشت در نقاط از پیش تعیین شده، مختصات جغرافیایی توسط GPS ثبت و نمونه‌برداری انجام شد. حداقل فاصله نقاط ۱۵۰ متر بوده است و نمونه‌برداری توسط مته (اوگر) انجام شد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری خاک در شکل (۱) نشان داده شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفتند. نیتروژن کل با استفاده از روش میکروکجلدال (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب به روش کالریمتری (Olsen and Sommers, 1982) و پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر در عصاره بدست آمده با استات آمونیوم ۱ نرمال (Sadusky *et al.*, 1987)اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی عصاره اشباع به روش هدایت سنجی(Rhoades, 1996) ، pH خاک در گل اشباع با استفاده از روش پتانسیومتری (Thomas, 1996) و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات آمونیوم (Sumner and Miller, 1996) اندازه‌گیری شد. مقدار کربن آلی به روش اکسیداسیون تر ((Nelson and Sommers, 1996 و بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986) تعیین شد. همچنین در هنگام برداشت محصول، نمونه‌های عملکرد منطبق با نقاط نمونه‌های خاک، در ابعاد ۰/۵ در ۰/۵ متر برداشت شده و به آزمایشگاه انتقال یافتند. پس از حذف دانه‌های پوک، وزن دانه‌های پر بعد از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در ۷۰ درجه سانتی‌گراد، تعیین شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و توزیع نقاط نمونه‌برداری خاک و گیاه در منطقه مورد مطالعه

آمار توصیفی

آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک شامل کرانه‌ها (حداقل و حداکثر)، آماره‌های مرکزیت (میانگین و میانه)، آماره‌های پراکندگی (واریانس، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی) و ضریب تغییرات (CV) محاسبه شدند. برای محاسبه این ویژگی‌ها از نرم‌افزار SPSS(17) استفاده شد. بررسی نرمال یا غیر نرمال بودن چولگی و کشیدگی بر اساس روش Balasundram, *et al.*, 2008 انجام شد. در این روش چنانچه انحراف معیار هر کدام از این آماره‌ها پس از ضرب در عدد ۱/۹۶، بزرگتر از عدد آن آماره باشد، ویژگی مورد بررسی با احتمال بیش از ۹۵ درصد نرمال است).

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

از تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای گروه‌بندی ۱۰ ویژگی خاک به عامل‌های آماری استفاده شد. PCA روشی برای کاهش داده است که هدف آن شناسایی تعداد کمتری متغیر استخراج شده از تعداد زیادی از متغیرهای اصلی به منظور ساده‌سازی

آنالیزهای بعدی داده‌ها است (Landau and Everitt, 2003; Pallant, 2005). علاوه بر آن از PCA در این مطالعه به عنوان مرحله مقدماتی در توسعه یک مدل پیش‌بینی استفاده شد.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی توسط نرم‌افزار SPSS(17) انجام شد. برای انتخاب تعداد مؤلفه‌های مؤثر، مؤلفه‌هایی انتخاب شدند که مقدار ارزش ویژه (Eigen Value) آن‌ها بیشتر از یک باشد. از آنجایی که واحدهای متغیرهای مورد بررسی همسان نبودند برای محاسبه مؤلفه‌های اصلی از ماتریس همبستگی[1] استفاده شد. مراحل تجزیه به مؤلفه‌های اصلی به ترتیب زیر انجام شد (Wuttichaikitcharoen and Babel, 2014):

۱) انتخاب مجموعه‌ای از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک برای مطالعه که شامل ۱۰ ویژگی خاک بود.

۲) تعیین ضریب KMO و آزمون کرویت‌بارتلت. به منظور ارزیابی شایستگی داده‌ها برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی از ضریب KMO (Kaiser, 1974) و به منظور بررسی رابطه قوی بین متغیرها (معناداری اطلاعات موجود در ماتریس همبستگی) از آزمون کرویت بارتلت (Bartlett, 1954) استفاده شد. این آزمون، این فرضیه که ماتریس همبستگی مشاهده شده، متعلق به جامعه‌ای با متغیرهای ناهمبسته است، را می‌آزماید. برای آن‌که یک مدل عاملی، مفید و دارای معنا باشد، لازم است متغیرها همبسته باشند. از این رو فرض صفر آزمون بارتلت این است که داده‌ها ناهمبسته‌اند و فقط با خودشان همبستگی دارند. بنابراین رد فرض صفر حاکی از آن است که ماتریس همبستگی دارای اطلاعات معنی‌دار است. پس وقتی فرض صفر رد و در نتیجه فرض مخالف تائید می‌شود یعنی بین متغیرها همبستگی معنی‌داری وجود دارد. از این رو مطلوب آن است که فرض صفر رد شود. در واقع معنادار بودن آزمون کرویت بارتلت حداقل شرط لازم برای انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. به همین دلیل قبل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تشکیل ماتریس همبستگی بین متغیرها ضروری است (Janson & Wichern,2014). در آزمون کرویت بارتلت اعداد با معنی‌داری بیش از ۹۵٪ ($p<۰/۰۵$) برای PCA مناسب است (Pallant, 2005). همچنین محدوده ضریب KMO از ۰ تا ۱ است و در صورتی که KMO بیشتر از ۰/۵ باشد داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهند بود (Hair *et al.*, 2006).

۳) بررسی ضرایب همبستگی در ماتریس همبستگی. قبل از انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی باید بررسی شود که متغیرها در ماتریس همبستگی، خیلی کم یا خیلی زیاد با هم همبستگی نداشته باشند. معیار همبستگی زیاد ضریب همبستگی کمتر از ۰/۸- و بیشتر از ۰/۸ (Field, 2009) می‌باشد. همچنین چنانچه ضرایب همبستگی یک متغیر بین ۰/۳- تا ۰/۳ باشد، نشان‌دهنده این است که آن متغیر برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی مناسب نیست (Tabachnick and Fidell, 2001).

۴) تعیین تعداد مولفه‌ها: در این مرحله مؤلفه‌هایی انتخاب می‌شوند که دارای واریانس (مقدار ویژه) بزرگ‌تر از یک باشند. مؤلفه‌های با مقدار ویژه بیشتر از یک، تغییرات کلی در اطلاعات را بیشتر از ویژگی‌های خاک به صورت فردی توصیف می‌کنند (Sharma, 1996). بنابراین فقط مؤلفه‌های با ارزش ویژه یک یا بیشتر از یک انتخاب می‌شوند (عامل‌هایی که دارای مقدار ویژه کمتر از یک هستند، بهتر از متغیر اصلی نیستند؛ زیرا هر متغیر اصلی دارای واریانس یک است).

۵) تعیین همبستگی بین مؤلفه‌های حاصل از تحلیل مولفه‌ها و متغیرهای اصلی که برای ساختن عامل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۶) دوران یا چرخش عامل از طریق واریماکس برای تفسیر بهتر عامل‌ها. برای تحلیل ساده‌تر عامل‌ها باید آن‌ها را چرخش دهیم. چرخش فرایند پیچیده‌ای است. بنابراین برای این که چرخش ساده‌تر صورت گیرد باید ابتدا بر اساس مقادیر ویژه، تعداد عامل‌هایی که چرخش می‌یابند را مشخص کنیم. در واقع چرخش عاملی، فرآیندی است برای تعدیل محور عامل به منظور دستیابی به عامل‌های معنی‌دار و ساده. همچنین تعیین نهایی تعداد عامل‌ها پس از دستیابی به ماتریس عاملی چرخش یافته امکان‌پذیر می‌باشد. در نهایت هر عامل باید فقط با چند متغیر همبستگی بالا داشته باشد (منظور از همبستگی همان بار عاملی متغیر روی عامل است). همچنین هر متغیر باید روی یک عامل بار عاملی بالا داشته باشد. اغلب شیوه‌های چرخش با توجه به این ملاک‌ها طراحی‌شده‌اند. چرخش واریماکس از جمله چرخش‌های متعامد است که در آنها عامل‌های به‌دست آمده با هم همبستگی ندارند.

۷) تعیین بار عامل‌ها[2] یا همان نمره عامل‌ها. قدرت رابطه بین عامل (متغیر پنهان) و متغیر قابل مشاهده بوسیله بار عاملی نشان داده می‌شود. به بیان دیگر بار عاملی، همبستگی بین متغیرهای اصلی و عوامل را نشان می‌دهد. همچنین مجذور بار عاملی نشان می‌دهد که چند درصد از واریانس در یک متغیر توسط آن عامل تبیین می‌شود. بار عاملی مقداری بین صفر و یک است. اگر بار عاملی کمتر از ۰/۳ باشد رابطه ضعیف در نظر

1 . Correlation matrix

2 . Factor loading

گرفته شده و از آن صرف‌نظر می‌شود. بار عاملی بین ۰/۳ تا ۰/۶ قابل‌قبول است و اگر بزرگتر از ۰/۶ باشد خیلی مطلوب است . (Kline, 2005)

۸) برآورد هر عامل با استفاده از ضرایب بار عاملی. یک مؤلفه می‌تواند با بررسی الگوی بارهای عاملی متغیرهای مشاهده شده مختلف بر روی آن عامل تفسیر و نامگذاری شود (Bartholomew *et al*., 2008). بدین صورت که ضریب بار عاملی هر متغیر اصلی برای هر یک از مولفه‌ها بررسی می‌گردد. متغیر اصلی بررسی شده به مولفه‌ای تعلق می‌یابد که بزرگترین ضریب بار عاملی آن متغیر را به خود اختصاص داده باشد.

با توجه به اینکه در تحلیل مؤلفه‌های اصلی، بین مؤلفه‌های حاصله همبستگی وجود ندارد (Ovalles and Collins, 1988) و هر مؤلفه ترکیب خطی از متغیرهای مورد بررسی می‌باشد، می‌توان رابطه آن را به‌صورت زیر نشان داد:

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

که در آن PC مؤلفه اصلی، aij ضریب یا بردار ویژه و Xi متغیر مورد نظر می‌باشد (Jolliffe, 1986). همچنین به منظور انتخاب و تفسیر ویژگی‌های مهم و کنترل‌کننده بیشترین تغییرات در هر مؤلفه، از معیار انتخاب (SC) استفاده گردید (Ovalles and Collins, 1988).

$$SC = 0.5\left(PC_{eigenvalue}\right)^{0.5} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در این رابطه SC معیار انتخاب، $PC_{eigenvalue}$ ارزش ویژه مؤلفه مربوطه می‌باشد. برای تعیین ترکیب خطی هر مؤلفه (رابطه ۱)، تنها ویژگی‌هایی انتخاب می‌شوند که قدر مطلق ضرایب آنها از مقدار معیار انتخاب محاسبه شده برای آن مؤلفه بیشتر است.

آنالیز رگرسیون چند متغیره

پس از استخراج مؤلفه‌های مهم، بین این مولفه‌ها با میزان عملکرد محصول، رگرسیون چند متغیره خطی به روش همزمان[1] و به کمک نرم‌افزار SPSS(17) انجام شد. در رگرسیون همزمان، همه متغیرهای غیر وابسته در یک زمان داخل معادله می‌شوند و هر متغیر پیش‌بینی کننده مانند بقیه متغیرهای غیر وابسته دیگر که واردشده‌اند، ارزیابی می‌شود. این روش برای زمانی که یک مجموعه کوچک از پیش‌بینی کننده‌ها وجود دارد و هنگامی‌که محقق نمی‌داند کدام متغیرهای غیر وابسته بهترین معادله پیش‌بینی را بوجود می‌آورند، مناسب است.

در این مطالعه علاوه بر اینکه صحت معادله با استفاده از ضریب تبیین (R^2) ارزیابی شد، به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها از معیارهای ME (میانگین خطا یا اُریب) و NRMSE (ریشه دوم میانگین مربعات خطا نرمال شده) که به ترتیب توسط روابط (۳) و (۴) محاسبه شده‌اند استفاده گردید. برای محاسبه این معیارهای مذکور ۲۰ درصد از داده‌ها که در مدل‌سازی وارد نشده‌اند مورد استفاده قرار گرفتند.

$$ME = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Pi - Qi) \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2} \times \frac{100}{\bar{O}_i} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

در این روابط Pi مقادیر پیش‌بینی شده، Qi مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به کار رفته و $\bar{Q}_i$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد. در شرایط ایده‌ال اگر پیش‌بینی بدون اُریب باشد، آنگاه ME محاسبه شده می‌بایستی برابر با صفر شود، بنابراین مقادیر کمتر ME ترجیح داده می‌شوند. اگرچه ارزش ME به مقیاس داده‌ها وابسته است. مقدار NRMSE نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌ها تا چه حد اندازه‌گیری‌ها را بیشتر یا کمتر تخمین زده‌اند. بنابراین مقادیر کمتر NRMSE محاسبه شده نشان‌دهنده نزدیکی بیشتر مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر اندازه‌گیری شده است. مقدار NRMSE ایده‌آل برای مدل‌سازی کمتر از ۱۰ درصد است. NRMSE در بازه‌های ۱۰ تا ۲۰ درصد و ۲۰ تا ۳۰ درصد به ترتیب نشان‌گر وضعیت مناسب و متوسط در پیش‌بینی و بیشتر از ۳۰ درصد نشان‌دهنده عدم اطمینان از پیش‌بینی است (Jamieson *et al*., 1991)

نتایج و بحث

توصیف آماری ویژگی‌ها

آمار توصیفی برای هر یک از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده و عملکرد دانه برنج، در جدول (۱) نشان داده شده است. ویژگی pH منطقه مورد مطالعه در دامنه ۵/۴۹ تا ۷/۵۳ و میانگین ۶/۶۳ است. Doberman and Fairhurst (2000) نشان دادند که pH در محدوده ۶ تا ۷ برای اراضی شالیزاری مناسب است. کربن آلی در منطقه مورد مطالعه در محدوده ۱/۰۳ تا ۴/۴۹ و میانگین ۲/۴۸ درصد می‌باشد. بر طبق مطالعات Doberman and Fairhurst (2000)، میانگین کربن آلی خاک در این منطقه برای رشد گیاه مطلوب است. میانگین غلظت نیتروژن کل ۰/۲۳ درصد و بیش از حد بحرانی نیتروژن[2] (۰/۲ درصد) می‌باشد.

1. Enter

۲ . با جستجو در مستندات علمی داخلی، برای عنصر نیتروژن در اراضی شالیزاری، حد بحرانی یافت نشد؛ اما بر پایه مکاتبات شخصی با اعضای هیات علمی موسسه تحقیقات برنج کشور، مقدار آن معمولا ۰/۲ درصد در نظر گرفته می‌شود.

میانگین غلظت فسفر قابل استفاده ۱۵/۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده که این مقدار نزدیک به حد بحرانی آن، ۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک (Karimi *et al*., 2013) می‌باشد. همچنین میانه آن ۱۱/۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است. مشاهدات میدانی نیز علائم کمبود شدید فسفر در گیاه و نیاز به استفاده از کود فسفر در برخی از مناطق مورد مطالعه را نشان داده است. میانگین و میانه غلظت پتاسیم قابل استفاده در منطقه بررسی شده، نزدیک به حد بحرانی ۱۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (Kavoosi and Malakouti, 2006) بود و نیاز گیاه برنج به این عنصر در نواحی که غلظت این عنصر کمتر از حد بحرانی باشد را تأمین نمی‌کند. ضخامت لایه شخم (Ap) در دامنه ۱۰ تا ۲۲ سانتی‌متر قرار داشت. این در حالی است که ضخامت کمتر از ۱۵ سانتی‌متر سبب ایجاد محدودیت در رشد گیاه برنج می‌شود (Dobermann and Oberthur, 1997). در چنین شرایطی حجم خاک قابل دسترس برای جذب عناصر غذایی محدود است.

جدول ۱-آماره‌های توصیفی ویژگی‌های مورد مطالعه

صفات	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	میانه	واریانس	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	CV(%)
TN	%	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۴	۰/۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۶	*۰/۵۲	-۰/۱۹	۲۵/۸۶
AP	mg kg^{-1}	۱۵/۶۴	۱/۹	۷۲/۳	۱۱/۲	۱۶۶/۴۶	۱۲/۹	*۲/۱۶	*۵/۲	۸۲/۴۹
AK	mg kg^{-1}	۱۳۹/۲۳	۵۵	۳۵۰	۱۳۴	۲۹۸۷/۸۵	۵۴/۶۶	*۱/۰۹	*۱/۳۰	۳۹/۲۶
EC	dS m^{-1}	۱/۲۷	۰/۱۲	۲/۷۱	۱/۱۹	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۴۴	-۰/۱۱	۴۰/۵۲
pH	_	۶/۶۳	۵/۴۹	۷/۵۳	۶/۶۵	۰/۲۸	۰/۵۲	-۰/۱۳	*-۱/۱۷	۷/۹۲
CEC	cmolc kg^{-1}	۲۹/۴۶	۱۰	۴۷	۲۹	۵۱/۲	۷/۱۶	۰/۲۵	۰/۳۵	۲۴/۲۹
OC	g kg^{-1}	۲/۴۸	۱/۰۳	۴/۴۹	۲/۳۸	۰/۵۱	۰/۷۲	۰/۴۳	-۰/۴۷	۲۸/۹۶
Sand	%	۱۵/۲۷	۳	۴۸	۱۲	۷۶/۸۴	۸/۷۷	*۱/۲۷	*۱/۵۶	۵۷/۳۹
Silt	%	۴۴/۹۷	۲۴	۵۸	۴۶	۳۸/۶۹	۶/۲۲	*-۰/۷	*۱/۱۶	۱۳/۸۳
clay	%	۳۹/۸۸	۱۹	۵۶	۴۱	۴۵/۸۶	۹/۳	-۰/۲۵	۰/۷۹	۲۳/۱۵
Z	cm	۱۵/۹۸	۱۰	۲۲	۱۶	۵/۵۷	۲/۳۶	-۰/۲۲	۰/۶۲	۱۴/۷۷
Y	Kg ha^{-1}	۳۶۹۰/۱۶	۲۱۷۹/۱۲	۴۷۷۱/۴	۳۷۶۹/۶	۶۲۸۸۶۱/۱۵	۷۹۳/۰	-۰/۴۴	-۰/۵۳	۲۱/۴۹

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، TN : نیتروژن، AP: فسفر قابل استفاده،AK: پتاسیم قابل استفاده EC: هدایت الکتریکی، pH: اسیدیته،CEC : گنجایش تبادل کاتیونی،OC: کربن آلی، Sand : شن، Silt : سیلت،Clay: رس خاک،Z: ضخامت لایه شخم، Y: عملکرد گیاه برنج

آماره ضریب تغییرات (CV) بدون بعد بوده و می‌توان از آن برای مقایسه تغییرات یک صفت در بین واحدهای نمونه-برداری دو یا چند جامعه آماری با مشاهدات ناهمگون یا نامتجانس (مثل واحدهای متفاوت متر و کیلوگرم) و یا مقایسه تغییرات بین صفات مختلف در یک واحد نمونه‌برداری که از نظر اندازه مشاهدات به طور قابل ملاحظه‌ای تفاوت دارند، استفاده کرد (Rezai, 2002؛ McBratney *et al*., 1997). به منظور مقایسه تغییرپذیری ویژگی‌های خاک در منطقه مطالعه، از ضریب تغییرات استفاده شد. بر اساس حدود پیشنهادی Wilding and Dress (1983)، ویژگی‌های با ضریب تغییرات کمتر از ۱۵٪ به عنوان تغییرپذیری کم، بین ۱۵ تا ۳۵٪ تغییرپذیری متوسط و بیشتر از ۳۵٪، تغییرپذیری زیاد در نظر گرفته می‌شود. کاهش ضریب تغییرات نشان‌دهنده تشابه بیشتر و یکنواختی بین داده‌ها است (Schoning, *et al*., 2006) که این امر با توجه به گروه‌بندی انجام شده، در مورد pH، ضخامت لایه شخم و درصد سیلت صادق است. از سوی دیگر CV زیاد در پتاسیم و فسفر قابل استفاده، نشان داد که در منطقه مورد مطالعه این عناصر غذایی تغییرپذیری قابل ملاحظه‌ای داشته که نشان‌دهنده اهمیت مدیریت عناصر غذایی ویژه مکان[1] (از طریق شناخت مهم‌ترین محدودیت‌های خاکی مؤثر بر محصول برنج) و توجه به ضرورت توصیه‌های کودی متفاوت و غیر یکنواخت برای کمک به بهبود تولید برنج در این منطقه است. توصیه‌های کودی یکنواخت منجر به بیش‌بود این عناصر غذایی در مناطقی می‌شود که غلظت عنصر غذایی در خاک از حد بحرانی بیشتر است. درحالی‌که در مناطق دچار کمبود، مقدار کود توصیه‌شده برای تأمین نیاز غذایی گیاه و رفع کمبود کافی نمی‌باشد.

چولگی بیشتر ویژگی‌های مرتبط با حاصلخیزی ذاتی خاک (رس، EC، pH، CEC، OC) و ضخامت لایه شخم، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نبود و میانگین آن‌ها به میانه نزدیک است، از این رو از توزیع نرمال پیروی می‌نمایند. اما

1 . Site-specific nutrient management (SSNM)

چولگی نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، شن و سیلت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بوده و از یک توزیع غیر نرمال برخوردار بودند. غیر نرمال بودن در توزیع فراوانی داده‌ها می‌تواند به علت غیریکنواختی واریانس، وجود جوامع فرعی و یا داده پرت باشد (Davatgar *et al*., 2006).

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

در این مطالعه، ۱۱۹ نمونه خاک وجود داشت که در آن‌ها ۱۰ متغیر اندازه‌گیری شده بودند. پیش از اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، مناسب بودن اطلاعات برای تحلیل ارزیابی شد. مقدار ضریب KMO در این مطالعه ۰/۶۲۶ و مقدار آماره بارتلت (۴۴۲/۳۱۹) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این نتایج نشان داد که تحلیل مؤلفه‌های اصلی می‌تواند برای کاهش تعداد داده و متغیرهای مورد مطالعه سودمند باشد. از سوی دیگر ماتریس ضریب همبستگی خطی بین ویژگی‌های خاک (جدول ۲) نشان داد که ۲۸ جفت مقایسه، از بین ۵۵ جفت، در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بودند که این مسئله احتمال موفقیت در کاهش داده‌ها از راه انجام تحلیل مؤلفه اصلی در جلوگیری از همبستگی‌های موازی بین داده‌ها را توجیه می‌نماید.

از ارزش مقدار ویژه به عنوان محکی برای تفسیر روابط بین متغیرهای خاک و مؤلفه‌ها استفاده شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که سه مؤلفه اول (PC1، PC2 و PC3) با مقدارهای ویژه بزرگ‌تر از یک، ۶۷/۴۳۳ درصد واریانس کل را برآورد می‌نمایند (جدول ۳). همان‌گونه که پیش از این اشاره شد، مقدار ویژه بزرگ‌تر از یک، در یک مؤلفه نشان‌دهنده آن است که آن مؤلفه، واریانس بیشتری را نسبت به یک متغیر انفرادی برآورد می‌کند. ترتیب اهمیت این مولفه‌ها بر مبنای مقدار ارزش ویژه آن‌ها در جدول (۳) نشان داده شد. همچنین ضرایب مؤلفه‌های اصلی متغیرهای مختلف در مؤلفه‌های مربوطه در جدول (۴) نشان داده شدند. اولین مؤلفه (PC1)، ۲۸/۰۵ درصد از کل واریانس را تشریح می‌کند و دارای بیشترین بار عاملی مثبت با درصد رس (۰/۷۸۶) و بعد از آن با پتاسیم قابل استفاده (۰/۷۷۳) و pH (۰/۷) و به دنبال آن بار منفی زیاد با درصد سیلت (۰/۷-) است. مؤلفه اول (PC1) از آنجا که دارای بار عاملی زیاد توسط پتاسیم و عوامل مربوط به نگهداری آن بود، به عنوان «پتاسیم و عوامل مؤثر در نگهداری آن» نام‌گذاری شد.

مؤلفه دوم (PC2)، که ۲۵/۰۵ درصد از کل واریانس را تشریح می‌کند، دارای بیشترین بار عاملی مثبت با کربن آلی (۰/۸۹۲) و بعد از آن با نیتروژن کل (۰/۸۷۰) است. Dobermann and Oberthur (1997) نشان دادند که کربن آلی مهم‌ترین منبع بومی تأمین‌کننده نیتروژن از خاک اراضی شالیزاری است. نیتروژن کل دارای همبستگی قوی معنی‌دار (۰/۹۳۶) با کربن آلی خاک است (جدول ۲). همچنین این مؤلفه بار عاملی مثبت با هدایت الکتریکی (۰/۷۲۳) دارد که نتیجه ضریب همبستگی خطی معنی‌دار (۰/۴۳) بین هدایت الکتریکی و مواد آلی است (جدول ۴). لازم به ذکر است که شوری خاک در شالیزارهای مورد مطالعه ناچیز بوده اما همبستگی بین هدایت الکتریکی و مواد آلی در خاک‌های شالیزاری به علت بالا بودن مقدار ماکرو مولکول‌های آلی دارای بار الکتریکی است که بر هدایت الکتریکی محلول خاک مؤثر است (Ponnamperuma, 1978). مؤلفه دوم (PC2)، با توجه به روابط بالا «نیتروژن کل و عوامل مؤثر بر تأمین آن» نام‌گذاری شد.

جدول ۲-ضرایب همبستگی خطی عملکرد برنج، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

متغیر	Y	silt	pH	OC	CEC	EC	Clay	Z	TN	AP	AK
Y	۱										
Silt	-۰/۰۸	۱									
pH	۰/۰۴	-۰/۳۱**	۱								
OC	۰/۳۱**	۰/۱۹	-۰/۴۶**	۱							
CEC	۰/۳۰**	-۰/۳۱**	۰/۱۸	۰/۳۲**	۱						
EC	۰/۲۳*	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۴۳**	۰/۳۸**	۱					
Clay	۰/۴۷**	-۰/۴۸**	۰/۴۸**	-۰/۱۱	۰/۳۷**	۰/۱۵	۱				
Z	۰/۲۶*	-۰/۱۰	-۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۳۰**	۱			
TN	۰/۲۵*	۰/۱۸	-۰/۴۷**	۰/۹۴**	۰/۲۷*	۰/۴۱**	-۰/۲۷**	۰/۰۷	۱		
AP	-۰/۴۶**	-۰/۰۶	۰/۱۰	-۰/۱۶	-۰/۰۶	۰/۰۵	-۰/۲۸*	-۰/۰۸	-۰/۰۹	۱	
AK	۰/۰۶	-۰/۴۰**	۰/۴۲**	-۰/۱۹	۰/۲۵**	۰/۰۸	۰/۵۱**	-۰/۰۴	-۰/۲۲*	۰/۱۶*	۱

*** و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد، Y: عملکرد برنج، Silt: سیلت (٪)، pH: اسیدیته (-)، OC: کربن آلی ($g\ kg^{-1}$)، CEC : گنجایش تبادل کاتیونی ($cmolc\ kg^{-1}$)، EC: هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)، Clay: رس خاک (٪)، Z: ضخامت لایه شخم (cm)، TN: نیتروژن (٪)، AP: فسفر قابل استفاده ($mg\ kg^{-1}$)، AK: پتاسیم قابل استفاده ($mg\ kg^{-1}$)**

جدول ۳- مقدار ویژه، سهم هر مؤلفه و واریانس تجمعی توصیف‌شده با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی

مولفه‌ها	مقدار ویژه	واریانس (٪)	واریانس تجمعی (٪)	معیار انتخاب (SC)
۱	۲/۸۰۵	۲۸/۰۵۴	۲۸/۰۵۴	۰/۲۹۹
۲	۲/۵۰۵	۲۵/۰۴۸	۵۳/۱۰۲	۰/۳۱۶
۳	۱/۴۳۳	۱۴/۳۳۱	۶۷/۴۳۳	۰/۴۱۸

جدول ۴-ضرایب مؤلفه‌های اصلی استخراج شده از روش چرخش واریماکس و میزان اشتراک واریانس برای ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

متغیر	واحد	PC3	PC2	PC1	میزان اشتراک واریانس
Z	Cm	۰/۶۹۵	۰/۰۴۳	۰/۱۴۰	۰/۵۰۴
Silt	%	-۰/۱۰۳	۰/۰۲۱	-۰/۷۰۰	۰/۵۰۱
Clay	%	۰/۴۳۱	۰/۰۱۱	۰/۷۸۶	۰/۸۰۳
OC	%	۰/۱۱۲	۰/۸۹۲	-۰/۳۰۲	۰/۹۰۰
CEC	cmole/kg	۰/۱۲۶	۰/۵۹۸	۰/۵۳۹	۰/۶۶۴
EC	dS/m	-۰/۰۵۸	۰/۷۲۳	۰/۲۱۱	۰/۵۷۰
pH	_	-۰/۱۱۳	-۰/۲۶۲	۰/۷۰۲	۰/۵۷۵
TN	%	-۰/۰۱۰	۰/۸۷۰	-۰/۳۷۴	۰/۸۹۸
AP	mg/kg	-۰/۸۰۷	-۰/۰۰۲	۰/۱۴۹	۰/۶۷۳
AK	mg/kg	-۰/۲۴۴	۰/۰۲۲	۰/۷۷۳	۰/۶۵۷

مؤلفه سوم (PC3)، که ۱۴/۳۳ درصد از کل واریانس را توجیه می‌کند، دارای بیشترین بار عاملی مثبت با ضخامت لایه شخم (۰/۶۹۵) است که بر روی کفه شخم قرار دارد و با گل خراب شدن آن محیطی نرم با مقاومت مکانیکی کم برای استقرار گیاه و به همین ترتیب نگهداری بهتر آب خاک فراهم می‌گردد. همچنین این مؤلفه دارای بیشترین بار عاملی منفی با غلظت فسفر قابل استفاده خاک (۰/۸۰۷-) می‌باشد. بنابراین PC3 به عنوان «فسفر قابل استفاده و ضخامت افق سطحی خاک » نام‌گذاری شد.

به منظور تفسیر ویژگی‌های مهم در هر مؤلفه، معیار انتخاب برای سه مؤلفه اصلی شناسایی‌شده محاسبه شد. همان‌گونه که در جدول (۳) نشان داده شده است، به دلیل اینکه از مؤلفه اول به سمت مؤلفه سوم، مقادیر بردار ویژه استفاده شده برای محاسبه SC کوچکتر می‌گردد، مقدار SC حاصله برای مؤلفه سوم بزرگتر می‌باشد. این مقادیر برای انتخاب ویژگی‌های مهم برای تفسیر هر مؤلفه استفاده می‌شوند. به عنوان مثال برای مؤلفه اول تنها متغیرهای Clay، AK، pH، Silt، CEC، OC و TN که ضریب آنها از معیار انتخاب محاسبه شده برای این مؤلفه (۰/۲۹۹) بزرگترند، در تفسیر این مؤلفه در نظر گرفته می‌شوند. به همین ترتیب مهم‌ترین ویژگی‌ها برای مؤلفه دوم OC، TN، EC و CEC و برای مؤلفه سوم AP، Z و Clay می‌باشند. بر این اساس ترکیب خطی (معادله وزنی) مؤلفه‌های اصلی شناسایی شده به صورت زیر می‌باشد:

$$PC_1 = -0.7Silt + 0.786Clay - 0.302OC + 0.539CEC + 0.702\,pH - 0.374TN + 0.773AK$$

(رابطه ۵)

$$PC2 = 0.892OC + 0.598CEC + 0.723EC + 0.87TN$$

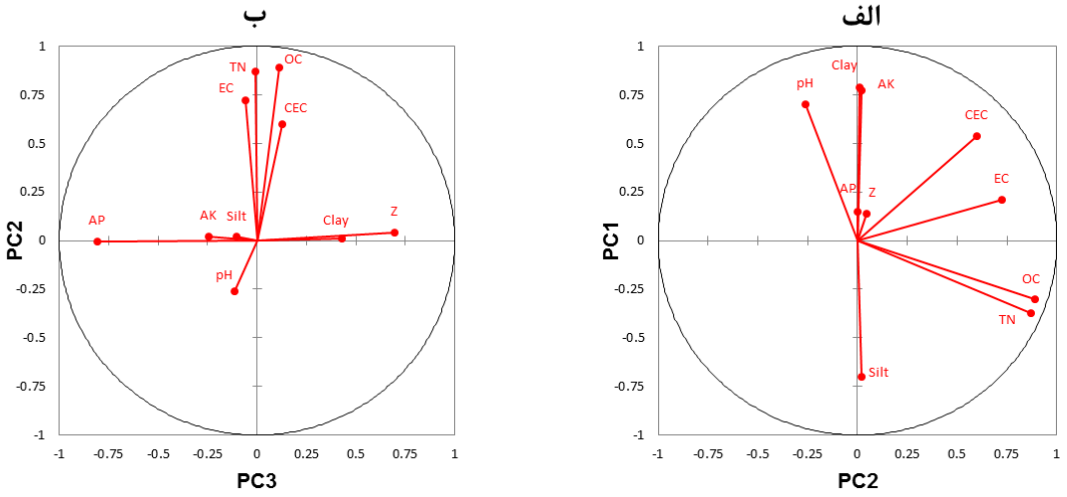
(رابطه ۶)

$$PC_3 = 0.695Z + 0.431Clay - 0.807AP$$

(رابطه ۷)

توزیع شماتیک وزن‌های سه مؤلفه اصلی در برابر همدیگر در شکل (۲) ارائه شده است. این نمودار رابطه بین ویژگی‌های خاک و مولفه‌ها را نمایش می‌دهد و به شناسایی ویژگی‌های مهم در هر مؤلفه کمک می‌نماید. بطوریکه ویژگی‌های با وزن‌های بیشتر، در فواصل دورتری نسبت به مرکز (نقطه صفر) قرار می‌گیرند. هرکدام از نمودارهای شکل (۲) ویژگی‌های خاک را نسبت به دو مؤلفه نشان می‌دهند و خطوط مدرج افقی و عمودی تعیین‌کننده منفی یا مثبت بودن و نیز بزرگی وزن هر ویژگی می‌باشند. بطوریکه خط مدرج عمودی تعیین‌کننده وضعیت و اهمیت ویژگی‌های خاک مولفه‌ای که در محور y نشان

داده شده است، می‌باشد و خط مدرج افقی مربوط به مولفه‌ای که در محور x نمایش داده شده، است. با توجه به این خطوط مدرج اهمیت ویژگی‌ها بنابر فاصله ویژگی‌ها نسبت به مرکز تعیین می‌گردد. به این صورت که یک ویژگی با بیشترین فاصله از مرکز، وزن بیشتری نسبت به سایر ویژگی‌ها داشته و در نتیجه اهمیت آن بیشتر خواهد بود. به عنوان مثال در شکل (۲-الف) مؤلفه اول در محور y قرار دارد. بنابراین خط تعیین‌کننده آن، خط مدرج عمودی بوده و همان‌گونه که مشاهده می‌گردد بنابر میزان فاصله از مرکز، ویژگی‌های مهم برای این مؤلفه به ترتیب Clay، AK، pH و Silt خواهد بود. همچنین Silt به دلیل قرار گرفتن در قسمت منفی خط مذکور، دارای وزن منفی بوده و از بین ویژگی‌های مهم این مؤلفه، به ترتیبClay و AK تغییرپذیری این مؤلفه را بیشتر توجیه می‌کند. به همین ترتیب با توجه به شکل (۲-ب)، همه ویژگی‌های مربوط به مؤلفه دوم دارای وزن مثبت بوده و بر اساس بیشترین فاصله از مرکز، OC و پس از آن TN با وزن بیشتر، بیشترین تغییرپذیری را در این مؤلفه توجیه می‌نمایند. همچنین خط مدرج افقی در شکل (۲-ب) ، نشان‌دهنده اهمیت ویژگی‌های مؤلفه سوم می‌باشد. بر این اساس AP با بار منفی، اما فاصله بیشتر از مرکز، به عنوان مهم-ترین ویژگی این مؤلفه شناسایی شد. به همین ترتیب متغیرهایی که به مرکز نزدیک‌تر می‌باشند، کمترین وزن را داشته (کمترین تغییرپذیری در هر مؤلفه را توجیه می‌کنند) و در جدول (۴) نیز مقدار وزن آن‌ها از مقدار معیار انتخاب کمتر است. چنین تفاسیری توسط Ovalles and Collins, 1988 و Ayoubi and Khormali (2009)، نیز ارائه شده است.



شکل ۲- نمودار وزن ویژگی‌های خاک برای سه مؤلفه شناسایی شده، (الف)مؤلفه ۱ در برابر مؤلفه ۲، (ب) مؤلفه ۲ در برابر مؤلفه ۳

با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تغییرات ناشی از مدیریت مزرعه عامل مهم تغییرپذیری ویژگی-های خاک در شالیزارهای مورد مطالعه به‌شمار می‌رود.

آنالیز رگرسیون چندگانه

نتیجه آنالیز رگرسیون چند متغیره با استفاده از تأثیر سه مؤلفه (PC1، PC2 و PC3) بر محصول برنج به روش همزمان، در رابطه (۸) نشان داده شد که در آن Y محصول برنج (kg/ha) است.

(رابطه ۸)

$$adj.R^2 = 0.55; P < 0.05$$

$$Y = 3728.1 + 610.8PC_1 + 103.6PC_2 + 146.1PC_3$$

ضریب تبیین رابطه بین محصول و سه مؤلفه، ۰/۵۵ است. این نتیجه نشان می‌دهد سه مؤلفه « پتاسیم و عوامل مؤثر در نگهداری آن»، « نیتروژن کل و عوامل مؤثر بر تأمین آن» و « فسفر قابل استفاده و ضخامت افق سطحی خاک»، ۵۵ درصد از تغییرپذیری محصول برنج را توصیف می‌کنند. اگرچه پیرامون پیش‌بینی محصول برنج با ویژگی‌های خاک به روش تحلیل مؤلفه‌ها در مقیاس مزرعه و ناحیه، منابع علمی کمی وجود دارد (Yanai *et al.*, 2001; Davatgar, 2010)، اما ضریب تبیین بدست آمده در این مطالعه بیشتر از ضریب تبیین (۰/۳۳) برآورد تأثیر مولفه‌ها بر محصول برنج توسط Davatgar (2010) و (۰/۴۱) بدست آمده توسط Yanai *et al* (2001) است. معیارهای ME و NRMSE محاسبه شده به منظور اعتبارسنجی مدل بدست آمده نیز، به ترتیب ۲۴۰/۸- و ۱۴/۸۷ بوده است که نشان می‌دهد مدل بدست آمده از دقت خوبی برخوردار بوده است.

تأثیر ویژگی‌هایی که بر پایه سه مؤلفه اصلی دارای بیشترین بار عاملی است (رس، کربن آلی، ضخامت لایه شخم، پتاسیم و فسفر قابل استفاده) بر محصول برنج از روش رگرسیون همزمان ارزیابی و در رابطه ۹ نشان داده شده است.

(رابطه ۹)

$$Y = 69.3Clay + 19.4AP + 0.54AK + 307.2Z - 55.6OC - 3953.6$$

$$adj.R^2 = 0.8; P < 0.05$$

ضریب تبیین این رابطه نشان داد که ۸۰ درصد از تغییرات محصول برنج بوسیله ویژگی‌هایی که بر پایه سه مؤلفه دارای بیشترین بار عاملی است قابل توصیف است. این در حالی است که ضریب تبیین مشخص‌شده بوسیله سه مؤلفه اصلی (۰/۵۵) بود. معیارهای ME و NRMSE محاسبه شده به منظور اعتبارسنجی مدل بدست آمده نیز، به ترتیب ۲۸۲/۳ و ۱۵/۲۷ بوده است که دقت خوب مدل بدست آمده را نشان می‌دهد. در مطالعات Davatgar (2010) و Yanai *et al* (2001) ارزیابی تأثیر ویژگی‌ها با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی فقط محدود به شناخت و تعیین تأثیر مولفه‌ها بر محصول گیاه بود، اما این نتایج نشان داد که استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (به عنوان گام میانی) در شناسایی ویژگی‌های مؤثر و سپس تعیین تأثیر تلفیقی این ویژگی‌ها بر محصول گیاه از طریق رگرسیون چند متغیره می‌تواند کارآمدتر باشد.

این نتایج نشان داد که بر تغییرپذیری محصول برنج در ناحیه مطالعه شده، ویژگی‌های متأثر از مدیریت مزرعه (مانند فسفر و پتاسیم قابل استفاده) به همراه ویژگی‌های ذاتی خاک (مانند رس، کربن آلی و ضخامت لایه شخم) مؤثر بودند.

بخش دیگری از تغییرپذیری محصول برنج که بر پایه رابطه (۹) متأثر از ویژگی‌های مؤثر در خاک نبود، می‌تواند در ارتباط با مشخصه‌های اقلیم، هوا، کیفیت آب، شرایط فیزیوگرافی، برهم‌کنش ژنوتیپ و محیط و مؤلفه‌های مدیریت مزرعه (تاریخ، تراکم کاشت، مبارزه با علف هرز، آفات و بیماری‌ها) باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اهمیت محصول برنج، این مطالعه با هدف شناسایی مهم‌ترین ویژگی‌های حاصلخیزی اراضی شالیزاری، با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چند متغیره انجام شد. بر مبنای ضریب تغییرات، مدیریت ویژه مکان عناصر غذایی و توجه به توصیه‌های کودی غیریکنواخت برای افزایش میزان محصول برنج در منطقه مطالعه می‌تواند مؤثر باشد. بررسی مؤلفه‌های اصلی شناسایی شده نشان داد که مدیریت مزرعه عامل مهم تغییرپذیری ویژگی‌های خاک در شالیزارهای مورد مطالعه بوده و مجموعه‌ای از ویژگی‌های خاک مانند «پتاسیم و عوامل مؤثر در نگهداری آن»، « نیتروژن کل و عوامل مؤثر بر تأمین آن» و «فسفر قابل استفاده و ضخامت افق سطحی خاک»، به طور معنی‌داری بر تغییرات محصول برنج در منطقه مطالعه مؤثر است. همچنین ویژگی‌هایی که بر پایه سه مؤلفه مذکور دارای بیشترین بار عاملی بودند، توانستند ۸۰ درصد از تغییرات محصول برنج را توصیف نمایند. به‌طور کلی ویژگی‌های مؤثر بر تغییرپذیری محصول برنج در ناحیه مطالعه شده، شامل ویژگی-های متأثر از مدیریت مزرعه (مانند فسفر و پتاسیم قابل استفاده) و ویژگی‌های ذاتی خاک (مانند رس، کربن آلی و ضخامت لایه شخم) بوده و روی هم رفته استفاده از کودهای محتوی پتاسیم و فسفر و نیز تعیین عمق شخم مناسب برای بهبود عملکرد برنج ضروری است.

REFERENCES

Ayoubi, S., Khormali, F. (2009). Spatial variability of soil surface nutrients using principal component analysis and geostatistics: A case study of appaipally village, Andhra pradesh, India. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12 (46), 609-622. (In Farsi)

Ayoubi, S., Zamani, S. M. and Khormali, F. (2009). Wheat yield prediction through soil properties using principle component analysis. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 40 (1), 51-57. (In Farsi)

Azizi, J. (2007). Economic evaluation of rice marketing strategies in guilan province. *Journal of agricultural sciences*, 12(4), 715-728. (In Farsi)

Balasundram, S. K., Husni , M. H. A. and Ahmad, O. H. (2008). Application of geostatistical tools of qualify spatial variability of selected soil chemical properties from a cultivated tropical peat. *Journal of Agronomy*, 7(1), 82-87.

Bartholomew, D. J., Steele,F., Moustaki,I and Galbaraite, J. I. (2008*). Analysis of multivariate social science data* (2th ed.). London: Chapman & Hall/CRC.

Bartlett, M. S.(1954). A note on the multiplying factors for various chi square approximations. *Journal of the Royal Statistical Society.*16, 296–298.

Benites, V. D. M., Moutta, R. D. O., Coutinho, H. L. D. C., and Balieiro, F. D. C. (2010). Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. *Revista Árvore*, 34(4).

Biabangard, E. (2010). *Research methods in psychology and education*. Tehran:Doran. (In Farsi)

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 (2th ed.). Agron. (No.2). (pp.9595-624). Am. Soc. Argon., Madison, WI, USA.

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.

Davatgar, N. (2010). Prediction of rice yield under water limited conditions using crop growth and yield models at regional scale. Ph. D. dissertation, University of Tabriz, Iran. (In Farsi)

Davatgar, N., Kavoosi, M., Alinia, M. H. and Paykan, M. (2006). Study of potassiun status and effect of physical and chemical properties of soil on it in paddy soils of guilan province. *Journal of Water and Soil Science*, 9(4), 71-89. (In Farsi)

De Datta, S. K., Buresh, R. J., Samson, M. I.and Wang, K. R. (1988). Nitrogen use efficiency and nitrogen-15 balances in broadcast-seeded flooded and transplanted rice. *Soil Science Society of America journal*, 52, 849-855.

Doberman, A.and Fairhurst, T. H. (2000). *Rice: Nutrient disorders & nutrient management*. International Rice Research Institute, Philippines.

Dobermann, A., Oberthur, T. (1997). Fuzzy mapping of soil fertility—a case study on irrigated rice land in the Phillipines. *Geoderma*, 77, 317–339.

Fageria, N. K., Slaton, N. A,. Baligar, V. C. (2003). Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability. *Advances in Agronomy*, 80, 63-152.

Field, A. (2009). Discovering statistics using SPSS (3th ed.). London: Sage.

Ghaemi, M., Astaraei, A. R., Emami, H., Nassiri Mahalati, M., and Sanaeinejad, S. H. (2014a). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds-east of Mashhad-Iran. *Journal of soil science and plant nutrition*, 14(4), 1005-1020.

Ghaemi, M., Astaraei, A., Nassisi, M. M., Sanaeinejad, S. and Emami, H. (2014b). Evaluation of maize yield variability based on soil properties and principal component analysis. *Journal of Water and Soil Science*. 28(4), 276-285. (In Farsi)

Gee, G. W., and Bauder J. W. (1986). Particle-size analysis. In: Klute A, editor. *Methods of soil analysis*,Part 1. (2th ed.). (pp. 383-411). Madison, WI, ASA/SSSA.

Hair, J. F., Black, B., Babin, B., Anderson, R. E. and Tatham, R. L. (2006). *Multivariate data analysis* (6th ed.). New Jersy: Prentice Hall.

Hill, T., Lewicki, P., and Lewicki, P. (2006). Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining. Tulsa : StatSoft, Inc.

Jamieson, P. D., Porter, J. R. and Wilson, D. R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, 27, 337–350.

Jolliffe, L. T. (1986). *Principal component analysis*. Springer-Verlag, New York, USA.

Kaiser, H. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39, 31–36.

Karimi, A. M., Kavoosi, M., and Shokri, V. H. (2013). Phosphorus critical concentration in paddy soils of guilan. *Water and soil science (agricultural science*), 23(1), 123-134. (In Farsi)

Kaspar, T. C., Fenton, D. J., Colvin, T. S, Karleno, D. L., Jaynes, D. B., and Meek, D. W. (2004). Relationships of corn and soybean yield to soil and terrain properties. Agronomy Journal, 96, 700-709.

Kavoosi, M., and Malakouti, M. J. (2006). Determination of potassium critical level with ammonium acetate extractant in Guilan rice fields. *Journal of Water and Soil Science*, 10(3), 113-123. (In Farsi)

Khush, G. S. (1993). Varietal needs for different environments and breeding strategies. In Muralidharan, K. and E.A. Siddiq (Eds.), *New Frontiers in Rice Research*. Directorate of Rice Research, Hyderabad, India. (pp. 68-75).

Kline, R. B. (2005). Principles and practice of structural equation modeling (2th ed.). New York: Guilford.

Kravchenko, A. N. and Bullock, D. G. (2000). Correlation of corn soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal*, 92, 75-83.

Landau, S. and Everitt, B. S. (2003). *A handbook of statistical analyses using SPSS*. London: CRC Press Company.

Liu, R. X., Kuang, J., Gong, Q., and Hou, X. L. (2003). Principal component regression analysis with SPSS. *Computer methods and programs in biomedicine*, 71(2), 141-147.

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.

Nelson, D. W., and Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis* part 3-chemical methods, (methodsofsoilan3). (pp. 961-1010).

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. (2th ed.). (pp. 403-430). Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.

Ovalles, F. A. and Collins, M. E. (1988). Variability of northwest Florida soils by principal component analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 52(5), 1430-1435.

Pallant, J. (2005). SPSS survival manual: a step by step guide to data analysis using spss. Buckingham: allen & unwin

Ponnamperuma, F. N. (1978). Electrochemical change in submerged soil and the growth of rice. *Soils and rice*, 421-441.

Rajasekharan, P., Nair, K. M., Rajasree, G., and Kutty,

M. N. (2013). Soil fertility assessment and information management for enhancing crop productivity in Kerala. *Kerala State Planning Board*.

Rezai, A. (2002). concepts of probability and statistics (3th ed.). mashhad. (In Farsi)

Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *methods of soil analysis* Part 3-Chemical Methods, (methodsofsoilan3). (pp. 417-435).

Sadusky, 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. (pp.1460-1465). *Soil Science Society of America Journa*. 51.

Sharma, S. (1996). *Applied multivariable techniques*. New York : John Wiley and Sons.

Schoning, I., Totsche, K.U. and Kogel-Knabner, I.. (2006). Small Scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested luvisol. *Geoderma*, 136, 631-642.

Shukla, M. K., Lal, R. and Ebinger, M. (2004). Principal component analysis for predicting corn biomass and grain yields. *Soil Science*, 169(3), 215-224.

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy* (12th ed.). U. S. Department of Agriculture, Natural Recourses Conservation Service.

Sumner, M. E., and Miller, W. P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of Soil Analysis* Part 3-Chemical Methods, (methodsofsoilan3). (pp.1201-1229).

Sys C., Van Ranst E., and Debaveye, J. (1991). *Land evaluation*. Part 1. Principles in land evaluation and crop production calculations. Brussels: University Ghent.

Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S. (2001). *Using multivariate statistics*. Boston: Allyn and Bacon.

Tabi, F. O., Omoko, M., Boukong, A., Mvondo Ze, A. D., Bitondo, D., and Fuh-Che, C. (2012). Evaluation of lowland rice (Oryza sativa) production system and management recommendations for Logone and Chari flood plain–Republic of Cameroon. *Agricultural Science Research Journals*, 2(5), 261-273.

Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis* Part 3-Chemical Methods, (methodsofsoilan3), (pp.475-490).

Wuttichaikitcharoen, P. and Babel, M. S. (2014). Principal component and multiple regression analyses for the Eestimation of suspended sediment yield in ungauged basins of northern Thailand. *Water*, 6(8), 2412-2435.

Wilding, L. P. and Dress, L. R. (1983). Spatial variability and pedology. In L.P. Wilding, N.E. Smeckand and G.F. Hall (Eds.), *Pedogenesis and Soil Taxonomy I*. Concepts and Interactions. Developments in Soil Science A (11). New York: Elsevier. (pp. 83-116)..

Yanai, J., Lee, C. K., Kaho, T., Iida, M., Matsui, T., Umeda, M. and Kosaki, T. (2001). Geostatistical analysis of soil chemical properties and rice yeild in a paddy fields and application to the analysis of yeild- determining factors. *Soil Science and Plant Nutrition*, 47, 291-301.