

## ارائه رابطه رگرسیونی بین عملکرد گندم دیم و ویژگی‌های خاک در منطقه‌ای نیمه‌خشک در استان زنجان

فاطمه بابائی<sup>۱\*</sup>، علی‌رضا واعظی<sup>۲</sup>، مهدی طاهری<sup>۳</sup>، احسان زرین‌آبادی<sup>۴</sup>، سیده فاطمه اسلامی<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۲. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۳. عضو هیئت علمی مرکز پژوهش‌های کشاورزی زنجان، زنجان

۴. دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد علوم خاک دانشگاه زنجان

۵. دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد علوم خاک دانشگاه زنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۴/۲۳)

### چکیده

گندم دیم منبع غذایی اصلی غالب کشورهای در حال توسعه است که عوامل مختلفی بر تولید آن مؤثر است. هدف از این پژوهش ارائه مدلی است که عملکرد دانه گندم دیم را بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک برآورد کند. بدین منظور، مقادیر عملکرد دانه گندم دیم و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در سه تکرار به‌طور جداگانه در یک سال زراعی، ۱۳۹۳، در ۵۳ مزرعه گندم دیم، در سطح استان زنجان اندازه‌گیری شد. با به‌کارگیری روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی، مدلی برای بیان رابطه عملکرد دانه گندم دیم و ویژگی‌های خاک ارائه شد ( $R^2=0.6$  و  $n=40$ ). سیلت و کربنات کلسیم معادل، مؤثرترین عوامل بر عملکرد گندم دیم و ضرایب استاندارد شده آن‌ها در مدل برآوردکننده به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۲۴- بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل میزان سیلت، کربنات کلسیم معادل و پتاسیم به ترتیب اولویت تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه گندم دیم دارد.

**کلیدواژگان:** اعتبارسنجی ضربدری، تجزیه مؤلفه اصلی، رگرسیون حداقل مربعات جزئی.

### مقدمه

پیش‌بینی عملکرد گندم دیم به منزله محصول راهبردی در عصر حاضر که جمعیت کره زمین به ۷ میلیارد نفر رسیده و همچنان در حال افزایش است اهمیت بسیاری دارد (Rötter et al., 2011). طبق آخرین آمار سالانه وزارت جهاد کشاورزی (سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲)، سطح زیر کشت گندم دیم ۴۰۰۰۰۰۵ هکتار را شامل می‌شود که متوسط عملکرد دانه آن ۷۲۱ کیلوگرم در هکتار است (Jihad, 2014). تعیین عوامل مؤثر بر عملکرد گندم، گامی اساسی برای دستیابی به روش‌های افزایش تولید این محصول است.

عملکرد گندم دیم تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون عوامل اقلیمی، عوامل فیزیولوژیکی گیاه، ذخیره عناصر غذایی، مدیریت زراعی، مدیریت اراضی و وضعیت زمین و جزآن قرار می‌گیرد (Sadras and McDonald, 2012). ویژگی‌های خاک از عوامل مؤثر بر عملکرد محصول تحت شرایط دیم

محسوب می‌شود (Lobell et al., 2002). پژوهش‌های پیشین نشان داده است که عوامل مختلف خاکی مانند جرم مخصوص ظاهری (Hou et al., 2012)، بافت خاک، درصد ماده آلی (Diacono et al., 2012)، ازت (Asseng et al., 2001)، فسفر (Takahashi and Anwar, 2007)، پتاسیم (Baquei et al., 2006)، آهن و هدایت الکتریکی (Sadras et al., 2003) بر عملکرد گندم دیم تأثیر گذارند.

در میان ویژگی‌های خاک، بافت خاک مهم‌ترین عامل در تعیین عملکرد گیاه است، زیرا بر فرایندهای مختلف اکولوژیکی، پدرولوژیکی و ژئومورفیکی مانند نگه‌داشت آب، تبادل یونی و جذب عناصر غذایی تأثیر دارد (Chaudhari et al., 2008). در پژوهشی van Wambeke (1992) گزارش کرد که خاک‌هایی که بافت آن‌ها در ۱۰۰ سانتی‌متر اول درشت و دارای رس کمتر و شن بیش‌تری باشد، بارخیزی کمتری دارد. به عقیده برخی پژوهشگران، بافت خاک درشت‌تر و مواد آلی کمتر منجر به کاهش ظرفیت آب در دسترس خاک و افت محصول می‌شود (Stewart et al., 2002). در پژوهشی درباره خاک‌های شنی، نتیجه نشان داد که افزایش آب در دسترس گیاه و ناشی از

مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم و درصد رس خاک در کنار بارندگی در ماه‌های فروردین، خرداد، آبان و اسفند مهم‌ترین متغیرهای تعیین‌کننده عملکرد گندم دیم است (Tatari *et al.*, 2009).

اغلب مطالعات برای بررسی عملکرد گندم دیم در یک یا دو نوع بافت خاک انجام شده است و تنوع بافتی چندانی در آن‌ها دیده نمی‌شود (He *et al.*, 2013; He *et al.*, 2014; Sadras *et al.*, 2003). همچنین، تأثیر کل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر تغییرات عملکرد گندم دیم به‌طور هم‌زمان بررسی نشده است. از سوی دیگر، در بیشتر موارد سهم ویژگی‌های خاک از سهم سایر عوامل مؤثر بر عملکرد گندم دیم تمییز داده نشده است، چرا که عوامل اقلیمی، خود نقشی اساسی در تغییرات عملکرد گندم در یک منطقه دارد (Bannayan *et al.*, 2011). به هر حال برخلاف برخی ویژگی‌های خاک مانند ماده آلی، کنترل عوامل اقلیمی امکان‌پذیر نیست.

اهداف این پژوهش به شرح زیر است: ۱. بررسی اثر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با تأکید بر اجزای بافت خاک بر عملکرد دانه گندم در کشتزارهای دیم واقع در اقلیم نیمه‌خشک و ۲. ارائه و اعتبارسنجی و ارزیابی مدلی برای پیش‌بینی عملکرد دانه گندم دیم براساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شده.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

مطالعه حاضر در سال زراعی ۱۳۹۳ و در استان زنجان صورت گرفت. استان زنجان از جمله استان‌های شمال‌غرب کشور است که وسعت سطح زیر کشت گندم دیم آن در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲، ۳۷۹۱۶۶ هکتار با متوسط عملکرد ۷۱۲/۸۵ کیلوگرم در هکتار است (Jihad, 2014). بخشی از سطح استان زنجان که دیمزارها در آن منطقه تمرکز دارد، منطقه مطالعاتی انتخاب و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۳ به ۸۴ شبکه منظم به صورت ۶×۱۴ به ابعاد ۱۲ کیلومتر × ۱۲ کیلومتر شبکه‌بندی شد (شکل ۱). در بسیاری مطالعات نیز از روش شبکه‌بندی منظم برای بررسی عوامل تعیین‌کننده عملکرد در مقیاس بزرگ (منطقه‌ای) استفاده می‌شود (Vaezi and Bahrami, 2014). تغییرات پارامترهای اقلیمی اندک و در خور صرف‌نظر است. اقلیم استان با استفاده از لایه تهیه‌شده سازمان هواشناسی کل کشور به روش سیلیانینف (Selyaninov, 1928) بررسی شد که در برخی مطالعات برای بررسی اقلیم کشاورزی استفاده شده

افزایش میزان رس در این خاک‌ها موجب افزایش عملکرد دانه گندم دیم می‌شود (Wong and Asseng, 2006). برخی پژوهشگران نیز نتایج مشابهی را در این مورد گزارش کرده‌اند، به‌طوری‌که عملکرد دانه در خاک‌های رسی به‌طور معناداری بیشتر از خاک‌های شنی گزارش شده است (He *et al.*, 2013). با وجود این، برخلاف گزارش‌های پیشین، پژوهشگرانی نیز گزارش کرده‌اند که عملکرد دانه حاصل از خاک‌های رسی نسبت به خاک‌های درشت بافت به صورت معناداری کمتر است (Katerji and Mastrorilli, 2009). در تحقیقی (He *et al.*, 2014) گزارش کردند که عملکرد دانه گندم در خاک لوم سیلتی نسبت به خاک رسی تغییرپذیری بیشتری نسبت به مقدار باران رسیده دارد و گاهی عملکرد دانه گندم تولیدی بیشتری نسبت به خاک رسی دارد. بنابراین، پاسخ‌های متناقضی در مورد اثر بافت خاک بر عملکرد محصول گزارش شده است.

محققان در پژوهشی رابطه بین عملکرد گندم دیم و ویژگی‌های خاک شامل ماده آلی، آهک، ظرفیت تبادل کاتیونی، پتاسیم و منیزیم تبادلی، فسفر، روی، منگنز و مس را بررسی کردند و گزارش کردند که رابطه‌ای قوی بین ویژگی‌های خاک و عملکرد گندم دیم وجود ندارد (Bourenane *et al.*, 2004). همچنین، اثر ویژگی‌های خاک، متغیرهای اقلیمی، پستی و بلندی و دو شاخص پوشش گیاهی را به صورت هم‌زمان بر عملکرد گندم دیم با استفاده از تجزیه مؤلفه‌های اصلی<sup>۱</sup> (PCA) بررسی کردند. نتایج PCA نشان داد که پنج مؤلفه اصلی ۷۹ تا ۸۸ درصد از تغییرات عملکرد دانه گندم را توجیه می‌کند (Basso *et al.*, 2009). همچنین، در پژوهشی دیگر، اثر ویژگی‌های مختلف خاک از جمله سنگریزه، رس، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، اسیدپته، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، پتاسیم و فسفر در دسترس بر میزان عملکرد گندم دیم با استفاده از رگرسیون چندمتغیره بررسی شد. نتایج نشان داد که بین ویژگی‌های خاک تنها درصد آهک بر عملکرد گندم دیم تأثیرگذار بوده است (Shabani *et al.*, 2012). همچنین، در مطالعه دیگری، محققان به ترتیب با استفاده از چهار و پنج مؤلفه اصلی حاصل از PCA و روش رگرسیون گام‌به‌گام عملکرد دانه و زیست‌توده گندم دیم را بر اساس برخی ویژگی‌های خاک مدل‌سازی کردند ( $R^2=0/56$ ). به عقیده آن‌ها افزایش درصد شن، پتاسیم قابل استفاده، مواد آلی و نیتروژن کل بیشترین تأثیر را بر عملکرد دانه گندم دیم دارد (Ayoubi *et al.*, 2009). به عقیده برخی دیگر نیز مقدار رطوبت خاک در نقاط ظرفیت

اندازه‌گیری شد. سنگریزه به روش جرمی (Gee and Bauder, 1986)، جرم مخصوص ظاهری (BD) به روش استوانه فلزی (Blake and Hartge, 1986a) در کشتزارها، جرم مخصوص حقیقی (PS) به روش پیکنومتر (Blake and Hartge, 1986b)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWDwet) به روش الک تر (Angers and Mehuys, 1993)، رطوبت اشباع (θs) به روش گل اشباع (Rhoades, 1982)، رطوبت ظرفیت مزرعدهای (FC) و رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) به ترتیب در فشارهای ۰/۳ و ۱۵ بار با دستگاه صفحه فشار و غشای فشاری اندازه‌گیری و ظرفیت رطوبت در دسترس (AWC) از تفاضل آن دو محاسبه شد (Hillel, 1982). همچنین، pH خاک به روش گل اشباع (McLean, 1982) و هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع (Miller and Curtin, 2007)، مقدار ماده آلی (O.M) به روش سوزاندن تر (Nelson and Sommer, 1982)، درصد کربنات کلسیم معادل (ECC) به روش تیتراسیون (Nelson, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش باور (Klute, 1986)، فسفر (P) قابل جذب به روش اولسن (Olsen et al., 1954)، ازت (N) کل به روش کجلدال (Bremner and Mulvaney, 1982) و پتاسیم (K) قابل جذب به روش استات آمونیم (Thomas, 1982) اندازه‌گیری شد.

#### نمونه‌برداری گیاه و تعیین عملکرد دانه

همچنین، در هر مزرعه بوته‌های واقع در واحد سطح (۱ متر × ۱ متر) در سه تکرار برداشت و سپس، به آزمایشگاه منتقل شد. با توزین دانه در واحد سطح عملکرد دانه گندم در هکتار محاسبه شد. از هر مزرعه مورد مطالعه، نمونه خاک در سه تکرار تهیه شد.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

نمونه‌ها برای حذف داده‌های پرت به روش نمودار جعبه‌ای بررسی و از ۵۵ نمونه، ۵۳ نمونه برای اجرای مطالعات استفاده شد. مدل‌سازی شامل سه مرحله اصلی است: آموزش مدل<sup>۳</sup>، اعتبارسنجی<sup>۴</sup> و ارزیابی<sup>۵</sup> آن (Hastie et al., 2009).

ویژگی‌های مختلف خاک به خاطر ماهیت پیچیده آن آثار متقابل مختلفی برهم دارد. از این‌رو، استفاده از روش‌هایی که بتواند تعداد متغیرهای متعدد را به چند مؤلفه کاهش دهد، اخیراً در مطالعات خاک‌شناسی اهمیت یافته است (Blanco Canqui et al., 2012; Nautiyal et al., 2010).

است (Akimov, 2013; Chendev et al., 2014; Melkonyan, 2014). این روش بر اساس ضریب آبی حرارتی<sup>۱</sup> (HTC) است که به صورت معادله ۱ محاسبه می‌شود.

$$HTC = \frac{1 \cdot P}{\sum E} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن P میانگین بارندگی (میلی‌متر) و T مجموع واحدهای حرارتی مفید برای رشد گیاه (دمای فعال بزرگ‌تر از ۱۰ درجه) در طول دوره رشد است. در این سیستم تقسیم‌بندی اقلیم به صورت جدول ۱ است.

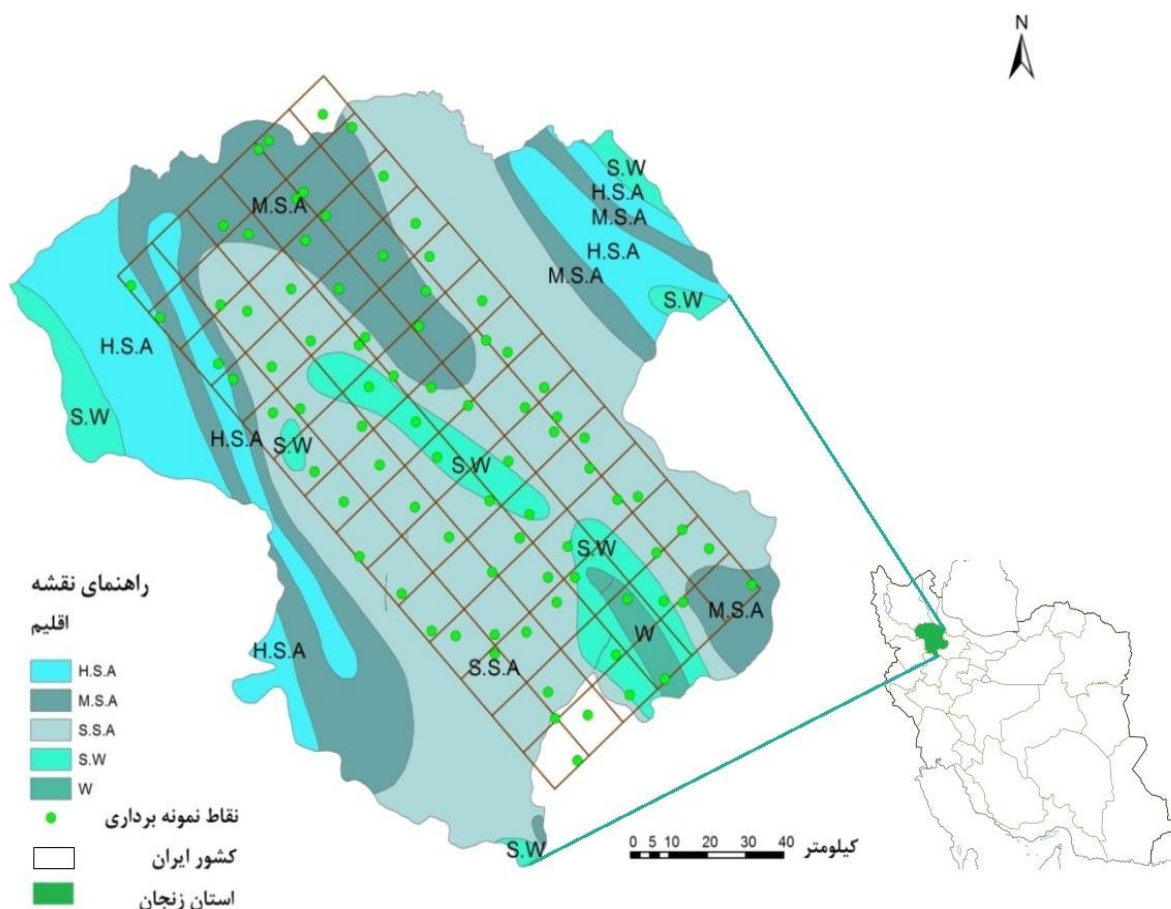
اقلیم	تقسیم‌بندی
نیمه‌خشک شدید	H.S.A
نیمه‌خشک میانه	M.S.A
نیمه‌خشک خفیف	S.S.A
نیمه‌مرطوب	S.W
مرطوب	W
خشک	A
فراخشک	A.A

طبق این روش اقلیم نیمه‌خشک خفیف (S.S.A) بیشترین مساحت استان زنجان را به خود اختصاص داده است. از این‌رو، پژوهش حاضر در این بخش از استان صورت گرفت تا اثر تغییرات پارامترهای اقلیمی بر نتایج مطالعه تأثیر چندانی نداشته باشد. ۵۵ شبکه در اقلیم نیمه‌خشک خفیف انتخاب شد. برای حذف اثر تغییرات شیب و توپوگرافی بر نتایج پژوهش، از هر شبکه، دیمزاری با شیب حدود ۰-۱ درصد به صورت تصادفی انتخاب شد با این فرض که در شیب‌های پایین تشکیل جریان‌های سطحی ناچیز (Seeling and Alfonso, 2007) و وضعیت عملکرد گندم تنها تحت تأثیر ویژگی‌های خاک است.

#### نمونه‌برداری خاک‌ها و تعیین ویژگی‌های آن‌ها

با مراجعه به منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر عمق توسعه ریشه گندم (Wilhelm et al., 1982) از دیمزار انتخابی در سه تکرار صورت گرفت و مختصات جغرافیایی هر مزرعه با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی<sup>۲</sup> (GPS) ثبت شد.

برای تعیین توزیع اندازه ذرات (PSD) درصد شن و سیلت و رس خاک به روش هیدرومتر (Gee and Or, 2002)



شکل ۱. نقشه میانگین بارندگی سالانه طولانی مدت و موقعیت نقاط نمونه برداری در سطح استان زنجان (منبع: نویسندگان)

در این میان، روش PCA برای کاهش تعداد متغیرها به چند مؤلفه اصلی شناخته شده است. هدف از تجزیه مؤلفه‌های اصلی، ارائه مؤلفه‌هایی است که همبستگی ندارند و ترکیبی خطی از متغیرهای ورودی دارای همبستگی است (Floch *et al.*, 2013). همبستگی بالا بین متغیرها موجب بالا رفتن واریانس خطای برآورد می‌شود؛ اما، این روش تنها روابط بین متغیرهای ورودی (ویژگی‌های خاک) را مشخص می‌کند و با خروجی مدل (عملکرد دانه گندم) ارتباطی ندارد؛ یعنی، تنها همبستگی ویژگی‌های خاک را در نظر می‌گیرد و عملکرد دانه گندم را در نظر ندارد. از این‌رو، برای مدل‌سازی روشی به عنوان رگرسیون حداقل مربعات جزئی<sup>۱</sup> (PLSR) معرفی شده است که در کنار تشابهی که با روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی دارد، محدودیت یادشده را نیز مرتفع می‌سازد و آماره مربع کای<sup>۲</sup> برای PLSR همیشه بزرگ‌تر از PCA است (Maitra and

Yan, 2008; Mehmood *et al.*, 2012). برای آموزش مدل پیش‌بینی‌کننده عملکرد گندم بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های نمونه برداری شده از روش PLSR استفاده شد. بدین منظور از ۵۳ نمونه خاک تهیه شده، ۴۰ نمونه به صورت تصادفی انتخاب و برای ارائه مدل به کار رفت و ۱۳ نمونه باقیمانده برای ارزیابی مدل استفاده شد. قبل از هر تجزیه و تحلیلی، برای آزمون برابری واریانس‌ها و مقایسه میانگین دو مجموعه، به ترتیب از روش آزمون  $F^3$  و آزمون  $t$  برای دو نمونه مستقل<sup>۴</sup> استفاده شد.

3. F Test  
4. 2 samples t-test  
5. Cross Validation  
6. Leave-group-out of size

1. Partial Least Square Regression  
2. Chi Square

مدل سازی انتخاب می شود (Maitra and Yan, 2008).

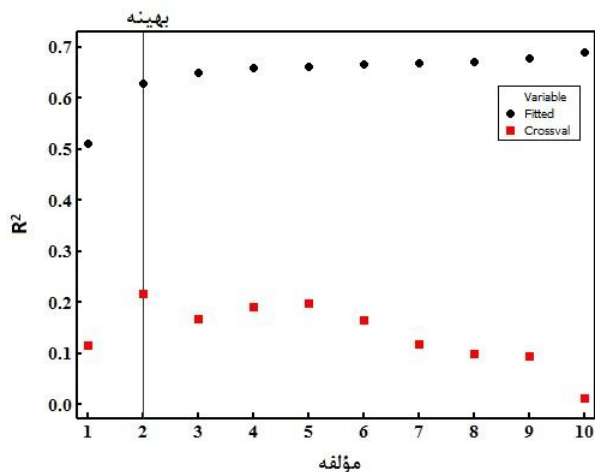
جدول ۲. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه (۵۵ نمونه خاک)

ویژگی خاک	واحد	میانگین	ضریب تغییرات
شن	درصد	۳۲/۰۶۶	۰/۴۳
سیلت	درصد	۲۰/۵۴	۰/۳۷
رس	درصد	۴۷/۲۲	۰/۳۲
سنگریزه	درصد	۷/۵۶	۰/۸۴
BD	گرم بر سانتی متر مکعب	۱/۴۲	۰/۰۹
PD	گرم بر سانتی متر مکعب	۲/۶	۰/۰۴
MWDwet	میلی متر	۰/۳۸	۰/۲۰
θs	درصد	۰/۴۵	۰/۱۲
FC	درصد	۰/۳۵	۰/۱۵
PWP	درصد	۰/۱۹	۰/۲۵
AWC	درصد	۰/۱۵	۰/۲۰
pH	-	۷/۶	۰/۰۲
EC	میکروزیمنس بر سانتی متر	۸۰۵/۴۹	۰/۵۵
CEC	میلی اکیوالان بر ۱۰۰ گرم	۱۵/۲۸	۰/۴۸
ECC	درصد	۲۰/۰۷	۰/۴۴
OM	درصد	۰/۶۴	۰/۲۸
N	درصد	۰/۰۸	۰/۲
P	درصد	۹/۳۲	۰/۴۳
K		۳۴۹/۱۵	۰/۳۲

جدول ۳. میانگین و ضریب تغییرات عملکرد دانه گندم دیم

F	t	ضریب تغییرات	میانگین	
۱/۰۱ <sup>ns</sup>	۱/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۵	۱۰۴۷/۷۹	عملکرد دانه گندم دیم ۴۰ نمونه
		۰/۱۳	۱۰۳۲/۳۴	عملکرد دانه گندم دیم ۱۳ نمونه

ns عدم معناداری



شکل ۲. انتخاب مدل برآورد عملکرد دانه گندم دیم بر اساس تعداد مختلف مؤلفه های اصلی با مقایسه R<sup>2</sup> مدل های برازش یافته (Fitted) و اعتبارسنجی آن ها (Crossval)

عملکرد گندم دیم بررسی می کند و در نهایت تعداد مؤلفه های قادر به پیش بینی دقیق تر عملکرد دانه گندم دیم را ارائه می دهد. در مرحله بعد، با همان روش کمترین مربعات جزئی، ۱۳ داده باقی مانده برای ارزیابی مدل ارائه شده تجزیه شد. از آماره های ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) و مجذور میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> (RMSE) برای بررسی ارزیابی دقت مدل استفاده شد. مقدار RMSE بر اساس معادله ۲ محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این معادله، P<sub>i</sub> و O<sub>i</sub> به ترتیب مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده است. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها و رسم نمودارها، از نرم افزار Minitab نسخه ۱۶ و R نسخه ۳/۲/۰ استفاده شد.

### نتایج و بحث

میانگین و ضریب تغییرات ویژگی های خاک های مورد مطالعه در جدول ۲ نمایش داده شده است. جدول ۲ نشان می دهد که به طور میانگین بافت خاک های مطالعاتی رسی و جزء خاک های آهکی (۱۰-۲۵ درصد کربنات کلسیم معادل) (FAO, 2006) و غیرشور (هدایت الکتریکی صفر تا ۲) (Bohn et al., 2002) است. در کل خاک های مورد مطالعه در شش کلاس بافتی قرار گرفت: رس (Clay)، لوم رسی (Clay loam)، لوم (Loam)، رس شنی (Sandy clay)، لوم رس شنی (Sandy clay loam) و لوم شنی (Sandy loam). جدول ۳ میانگین و ضریب تغییرات عملکرد گندم دیم و معناداری اختلاف میانگین و واریانس بین نمونه های مورد استفاده برای ارائه مدل و ارزیابی آن را نشان می دهد. نتایج آزمون F و t به ترتیب نشان داد که اختلاف معناداری بین واریانس و میانگین نمونه های مورد استفاده برای ارائه مدل و ارزیابی آن وجود ندارد.

نتایج LGOCV (شکل ۲) نشان داد که دو مؤلفه اصلی اول و دوم برای مدل سازی تغییرات عملکرد گندم دیم با استفاده از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه کفایت می کند و بهینه است. هر چند که ضریب تبیین حاصل از برازش مدل با سه مؤلفه (R<sup>2</sup> = ۰/۶۵) بیش از مدل دومؤلفه ای (R<sup>2</sup> = ۰/۶۳) بود، LGOCV نشان داد که مدلی که ترکیبی از سه مؤلفه اصلی است ضریب تبیین کمتری (R<sup>2</sup> = ۰/۱۷) نسبت به مدل دومؤلفه ای (R<sup>2</sup> = ۰/۲۲) دارد. زمانی که همبستگی بین متغیرهای ورودی قوی است، مؤلفه های اصلی کمتری برای

1. Root mean square error

مورد مطالعه توانست به صورت ترکیبی در قالب دو مؤلفه اصلی حدود ۶۰ درصد از تغییرات عملکرد گندم دیم را توجیه کند. این یافته با نتایج تحقیق Ayoubi و همکاران (2009) مطابقت نشان داد. هر چند که متغیرهای به کار برده شده آن‌ها و تعداد نقاط نمونه برداری متفاوت از ویژگی‌های خاکی مورد استفاده در این مقاله بود.

طبق جدول ۴، مؤلفه‌های اصلی اول و دوم با همدیگر قادر به توجیه حدود ۴۷ درصد از واریانس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی چهل خاک انتخاب شده برای مدل سازی بود. مدل حاصل از دو مؤلفه اصلی توانست حدود ۶۰ درصد از تغییرات عملکرد دانه گندم دیم را در چهل مزرعه مطالعاتی توجیه کند. این بدان معناست که ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های

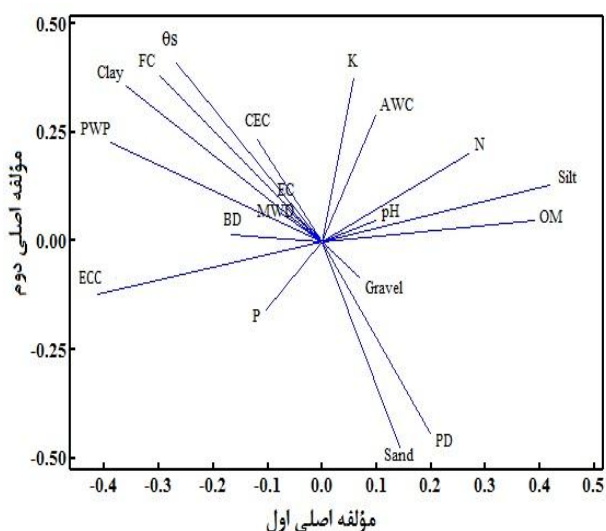
جدول ۴. تأثیر دو مؤلفه اصلی در تجزیه کم‌ترین مربعات جزیی و اعتبارسنجی ضربدری

PC	واریانس متغیرها	مجموع مربعات خطای مدل	R <sup>2</sup>	مجموع مربعات LGOCV	LGOCV R <sup>2</sup>
PC1	۰/۲۵	۵۵۰۱۹۹	۰/۴۹**	۷۴۷۹۶۶	۰/۳۱
PC2	۰/۴۷	۴۳۶۴۹۷	۰/۶**	۶۷۳۰۷۲	۰/۳۹*

\* معناداری در سطح احتمال ۹۵ درصد

\*\* معناداری در سطح احتمال ۹۹ درصد، PC1 مؤلفه اصلی اول و PC2 مؤلفه اصلی دوم

است (Ozturk et al., 2005; Rashid and Ryan, 2008).



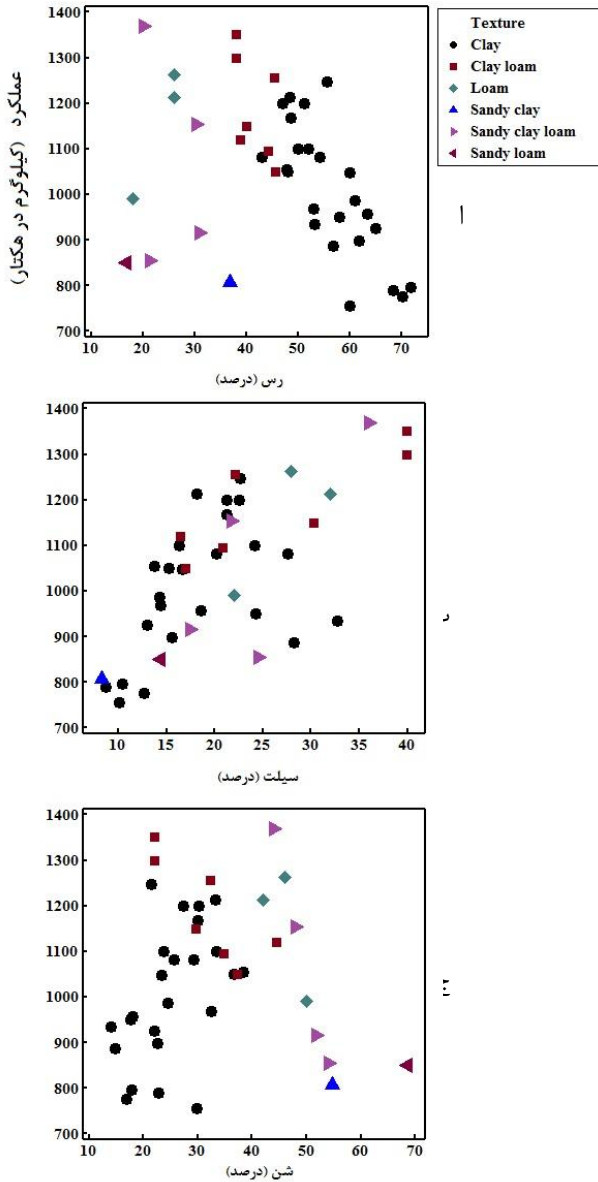
شکل ۳. شمای دوگانه مؤلفه‌های اصلی اول و دوم مدل ارائه شده برای برآورد عملکرد دانه گندم دیم

جدول ۵ ضرایب مدل رگرسیونی به همراه ضرایب استاندارد شده آن را نشان می‌دهد. در میان ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، سیلت و پتاسیم بیشترین مقادیر ضرایب استاندارد شده را در مدل رگرسیونی برآورد عملکرد دانه گندم دیم به خود اختصاص داد که به ترتیب در حدود ۰/۲۳ و ۰/۱۷ است. پتاسیم جزء عناصر غذایی ضروری و پرمصرف است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش سطح پتاسیم در دیمزارهای منطقه موجب افزایش عملکرد گندم دیم می‌شود. افزایش سطح پتاسیم خاک در اراضی دیم که گیاه تحت تنش خشکی است منجر به افزایش ماده خشک ساقه، خوشه، ریشه و کل زیست توده می‌شود. در نتیجه عملکرد دانه و زیست توده گندم و جذب

شکل ۳ سهم و نحوه تأثیر هر کدام از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها را در دو مؤلفه اصلی، همچنین هم‌راستایی موجود بین آن‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مؤلفه اصلی اول به نوبه خود سهم بیشتری در توجیه تغییرات عملکرد دانه گندم دیم دارد، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی که بیشترین سهم را در مؤلفه اول دارند، بیشترین تأثیر را در تعیین عملکرد دانه گندم دیم نیز دارند. در نتیجه، درصد سیلت، درصد ماده آلی، سپس ازت به ترتیب بیشترین ضرایب مؤلفه اصلی اول را به خود اختصاص داده که برابر با ۰/۴۲، ۰/۳۹ و ۰/۲۷ بود. کربنات کلسیم معادل نیز بیشترین سهم منفی (۰/۴۱-) را در مؤلفه اصلی اول شامل شد. در مؤلفه اصلی دوم، پتاسیم سهم مثبت بیشتری برابر با ۰/۳۷ داشت. درصد شن نیز در مؤلفه اصلی دوم سهم منفی بالایی (۰/۴۷-) نشان داد.

در خاک‌های با بافت درشت‌تر، گیاه به دلیل نگر داشت کم آب، همچنین به دلیل آبشویی بالای ازت و قابلیت دسترسی کم آن، با افت محصول روبه‌رو می‌شود. افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک نیز که به دلیل سبک‌بافت بودن خاک است ممکن است بر رشد گیاه تأثیر منفی بگذارد (Asseng et al., 2001). در شکل یاد شده، کربنات کلسیم معادل بیشترین ضریب منفی استاندارد شده را به خود اختصاص داد که برابر ۰/۲۴- بود که با یافته‌های Sadras و همکاران (2003) و Shabani و همکاران (2012) مطابقت داشت که آهک را جزء عوامل محدودکننده عملکرد دانه گندم دیم می‌دانند. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌هایی که خاک‌های آهکی برای رشد گیاه و عملکرد آن ایجاد می‌کند، تأثیر منفی بر وضعیت قابلیت دسترسی عناصر غذایی ضروری همچون فسفر، روی و آهن در خاک برای گیاه

تبخیر از سطح خاک زیاد، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک که گیاه با کمبود آب مواجه است، گیاه را با تنش رطوبتی بیشتری روبه‌رو می‌کند (Asseng et al., 2001).



شکل ۴. اثر اجزای رس (الف)، سیلت (ب) و شن (ج) بر عملکرد دانه گندم

طبق شکل ۴، افزایش درصد سیلت نیز موجب افزایش عملکرد بدون توجه به بافت خاک شده است، به صورتی که خط رگرسیونی برازش‌یافته بر آن دارای  $R^2$  برابر با ۰/۴۶ (n=۴۰) خواهد بود که به طور معناداری در سطح احتمال ۹۹ درصد رابطه درصد سیلت و میزان عملکرد گندم را توجیه می‌کند. افزایش درصد شن نیز در خاک‌های با بافت رسی موجب افزایش اندکی در عملکرد دانه گندم شده است ( $R^2 = 0/22$ ) (شکل ۴ج). با این حال، افزایش درصد شن در خاک‌های با بافت

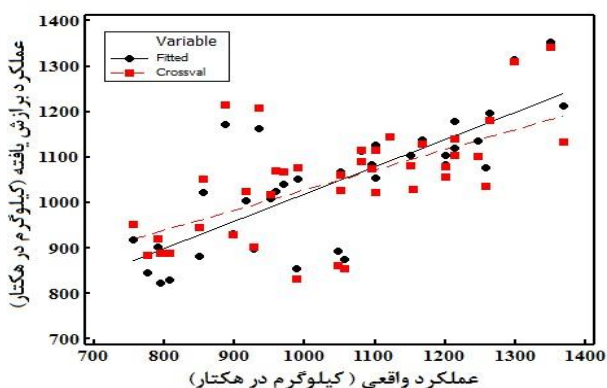
پتاسیم، فسفر و ازت در گیاه افزایش می‌یابد و منجر به کاهش آثار زیان‌بار تنش خشکی می‌شود (Baquei et al., 2006).

جدول ۵. ضرایب مدل رگرسیونی و ضرایب استاندارد شده مدل رگرسیونی

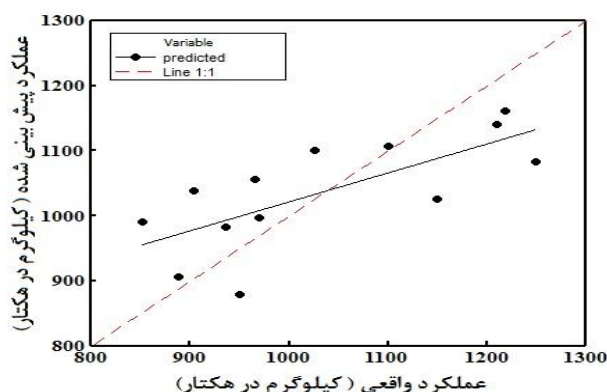
متغیرها	ضریب	ضریب استاندارد شده
ثابت	۱۰۵۵/۶۵	۰/۰۰۰۰
P	-۲/۲۹	-۰/۰۵۶۰۵
K	۰/۲۸	۰/۱۷۱۰۸۴
Clay	-۰/۸۶	-۰/۰۷۵۶۵
Sand	-۰/۶۲	-۰/۰۴۷۲۵
Silt	۴/۷۱	۰/۲۲۶۴۶۴
BD	-۸۱/۵۸	-۰/۰۵۹۹۴
PD	-۵۳/۵۱	-۰/۰۳۸۳۵
$\theta_s$	۹۶/۷۷	۰/۰۳۱۳۶۹
PWP	-۴۸۷/۵۲	-۰/۱۳۹۹۸
FC	-۱۵۶/۹۸	-۰/۰۴۹۲۸
AWC	۷۲۴/۴۶	۰/۱۳۲۹۶۱
EC	۰/۰۰	-۰/۰۱۳۶۴
pH	۱۰/۹۵	۰/۰۱۲۱۷۹
OM	۸۵/۷۴	۰/۰۸۹۶۱۴
N	۸۲۸/۷۸	۰/۰۶۹۹۰۳
ECC	-۴/۵۶	-۰/۲۴۰۶
CEC	۰/۸۲	۰/۰۳۴۳۶۵
MWD	۳/۰۷	۰/۰۱۰۷۱۳
Gravel	-۰/۷۱	-۰/۰۲۸۴۵

برای توضیح بهتر اثر اجزای بافت خاک بر عملکرد دانه گندم اثر درصد رس، سیلت و شن به تفکیک بافت‌های خاک (چهل نمونه خاک) بر عملکرد دانه گندم رسم شد (شکل ۴ الف، ب و ج). طبق شکل ۴ الف، افزایش درصد رس موجب کاهش عملکرد دانه گندم می‌شود. این کاهش در مورد بافت خاک‌های رسی (n=۲۴) به‌وضوح مشهود است. زمانی که خط رگرسیونی بین عملکرد دانه گندم و درصد رس خاک‌های با بافت رس رسم شد این خط  $R^2$  برابر با ۰/۵۸ داشت که در سطح احتمال ۹۵ درصد معنادار بود.

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، بافت خاک اثر چشمگیری بر سایر ویژگی‌های خاک از جمله ساختمان خاک، ظرفیت نگهداشت آب در خاک و وضعیت عناصر غذایی و جزآن دارد (He et al., 2014). در اراضی دیم کمبود آب بزرگ‌ترین محدودیت رشد گیاه است (Su et al., 2007). هر چند خاک رسی ظرفیت نگهداشت آب بالایی دارد، تبخیر از آن‌ها نیز بیشتر از خاک‌های سبک بافت است. از این‌رو خاک‌های رسی به دلیل



شکل ۵. برازش مدل (Fitted) و اعتبار سنجی ضربداری (Crossval) آن برای برآورد عملکرد دانه گندم دیم (n=۴۰)



شکل ۶. ارزیابی مدل برازش یافته برای پیش بینی عملکرد گندم دیم (n=۱۳)

### نتیجه گیری کلی

به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد گندم در خاک‌های مورد مطالعه واقع در اقلیم نیمه خشک خفیف بیشتر تحت تأثیر سیلت و کربنات کلسیم معادل قرار دارد. افزایش سیلت و کاهش کربنات کلسیم معادل موجب افزایش عملکرد دانه گندم دیم در منطقه مورد مطالعه می شود. همچنین، در این پژوهش بر اهمیت پتاسیم بر تولید گندم دیم تأکید شد که لزوم استفاده از آن را در اراضی با کمبود پتاسیم نمایان ساخت. با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می رسد که ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک قادر به توجیه ۶۰ درصد از تغییرات عملکرد گندم دیم در اراضی مناطق نیمه خشک خفیف است (P<۰/۰۱). علاوه بر این گمان می رود نتایج حاصل از این پژوهش بتواند در مدیریت و به زراعی مزارع کاشت گندم دیم استفاده شود. این پژوهش تنها اثر برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک را در منطقه دارای اقلیم و شیب یکسان بر عملکرد دانه گندم دیم بررسی می کند. بدیهی است که سایر عوامل از جمله پارامترهای اقلیمی مانند بارندگی و دما، وضعیت زمین، مدیریت زراعی و اراضی و جزآن ممکن است سهم مهمی در تعیین عملکرد گندم دیم داشته باشد که می توان در پژوهش های آتی به آن پرداخت.

سبک تر (لوم رسی، لوم و لوم رس شنی، n=۱۳) موجب کاهش عملکرد شد. چنانچه خط رگرسیونی بین عملکرد دانه گندم دیم و درصد شن خاک های با بافت های سبک تر رسم شود، خطوط حاصل دارای R<sup>2</sup> در حدود ۵۸/۵ تا ۹۹/۰ خواهد بود (خطوط رگرسیونی در شکل نشان داده نشده است).

جدول ۶. جدول تجزیه واریانس مدل رگرسیونی حداقل مربعات جزئی

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
رگرسیون	۲	۶۴۷۲۶۱	۳۲۳۶۳۰	۲۷/۴۳ **
خطا	۳۷	۴۳۶۴۹۷	۱۱۷۹۷	
کل	۳۹	۱۰۸۳۷۵۸		

\*\* معناداری در سطح احتمال ۹۹ درصد

طبق جدول ۶، تجزیه واریانس رگرسیون کمترین مربعات جزئی نشان می دهد که مدل سازی صورت گرفته بر اساس دو مؤلفه اصلی به طور معناداری در سطح احتمال ۹۹ درصد عملکرد دانه گندم دیم را پیش بینی می کند. شکل ۵ رابطه رگرسیونی برازش یافته و اعتبارسنجی ضربداری مدل را نشان می دهد. رابطه رگرسیونی برازش یافته به داده های آموزش مدل به صورت معادله ۳ است.  
(رابطه ۳)

$$Fitted\ yield = 0.597 \times Actual\ yield + 422$$

که در آن Actual yield عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) و Fitted yield عملکرد برازش یافته (کیلوگرم در هکتار) است. نتایج LOGCV نیز نشان داد که مدل ارائه شده به صورت معناداری در سطح احتمال ۹۵ درصد تغییرات عملکرد دیم را بر اساس دو مؤلفه اصلی پیش بینی می کند (R<sup>2</sup> = ۰/۳۹). شکل ۶ ارزیابی مدل ارائه شده را برای سیزده نقطه نشان می دهد. مقادیر RMSE برای ارزیابی مدل ارائه شده برابر ۸۵/۸ کیلوگرم در هکتار و میزان ضریب تبیین برابر ۵۲/۴ بود که در سطح احتمال ۹۵ درصد معنادار بود.  
رابطه رگرسیونی ارزیابی مدل به صورت معادله ۴ است.

(رابطه ۴)

$$Predicted\ yield = 0.4465 \times Actual\ yield + 575/3$$

که در آن Actual yield همان تعریف قبلی و Predicted yield عملکرد پیش بینی شده (کیلوگرم در هکتار) است. خط ۱:۱ در این شکل نشان می دهد که مدل تمام عملکردهای بالاتر از ۱۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (شامل چهار نقطه) را کمتر از مقدار واقعی پیش بینی می کند و عملکردهای کمتر از آن را به جز در یک نقطه (عملکرد ۹۵۳ کیلوگرم در هکتار) بیش از مقدار واقعی برآورد می کند.



## REFERENCES

- Akimov, L. M. (2013). Space-time patterns of atmospheric droughts in Voronezh oblast during growing period, *Arid Ecosystems*, 3 (2), 65-70.
- Angers, D. A. and Mehuys, G. R. (1993) Aggregate stability to water, In M. R. Carter (Ed.), *Manual on Soil Sampling and Methods of Analysis*. (pp. 651-657), Boca Raton, Florida, CRC Press.
- Asseng, S., Turner, N. C. and Keating, B. A. (2001). Analysis of water- and nitrogen-use efficiency of wheat in a Mediterranean climate, *Plant and Soil*, 233 (1), 127-143.
- 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)
- Bannayan, M., Sadeghi Lotfabadi, S., Sanjani, S., Mohamadian, A. and Aghaalikhani, M. (2011). Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast Iran, *International Journal of Biometeorology*, 55 (3), 387-401.
- Baquei, M. A., Karim, M. A., Hamid, A. and Tetsushi, H. (2006). Effects of Fertilizer Potassium on Growth, Yield and Nutrient Uptake of Wheat (*Triticum aestivum*) under. Water Stress Conditions, *South Pacific Studies*, 27 (1), 25-35.
- Basso, B., Cammarano, D., Chen, D., Cafiero, G., Amato, M., Bitella, G., Rossi, R. and Basso, F. (2009). Landscape position and precipitation effects on spatial variability of wheat yield and grain protein in Southern Italy, *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195 (4), 301-312.
- Blanco-Canqui, H., Claassen, M. and Presley, D. (2012). Summer cover crops fix nitrogen, increase crop yield, and improve soil-crop relationships, *Agronomy journal*, 104 (1), 137-147.
- Blake, G.R., and K.H. Hartge. (1986a) Bulk Density. Density. In A. Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part.I. Physical and mineralogical methods* (2nd ed.). Agronomy Monograph (9). (pp. 363-375). Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Blake, G.R., and K.H. Hartge. (1986b) Particle Density. In A. Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part.I. Physical and mineralogical methods* (2nd ed.). Agronomy Monograph (9). (pp. 377-382). Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Bohn, H. L., Myer, R. A. and O'Connor, G. A. (2002) *Soil Chemistry* (3rd ed.). Canada, John Wiley & Sons, Inc.
- Bourennane, H., Nicoulaud, B., Couturier, A. and King, D. (2004). Exploring the Spatial Relationships Between Some Soil Properties and Wheat Yields in Two Soil Types, *Precision Agriculture*, 5 (5), 521-536.
- Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. (1982) Total nitrogen. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (2nd ed.). Agronomy Monograph (9), (pp. 559-624), Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Chaudhari, S., Singh, R. and Kundu, D. (2008). Rapid textural analysis for saline and alkaline soils with different physical and chemical properties, *Soil Science Society of America Journal*, 72 (2), 431-441.
- Chendev, Y. G., Novykh, L. L., Sauer, T. J., Petin, A. N., Zazdravnykh, E. A. and Burras, C. L. (2014) Evolution of soil carbon storage and morphometric properties of afforested soils in the U.S. Great Plains. In A. E. Hartemink and K. McSweeney (Eds.), *Soil Carbon*. (pp. 475-482). New York, Springer.
- Collard, F., Saby, N. P. A., Forges, A. C. R. d., Lehmann, S., Paroissien, J. B. and Arrouays, D. (2014) Spatial prediction of soil organic carbon at different depths using digital soil mapping. In D. Arrouays, N. McKenzie, J. Hempel, A. R. de Forges, and A. B. McBratney (Eds.), *Global Soil Map: Basis of the global spatial soil information system*. (pp. 181-184). Boca Raton, Florida, USA.. CRC press.
- Diacono, M., Castrignanò, A., Troccoli, A., De Benedetto, D., Basso, B. and Rubino, P. (2012). Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach, *Field Crops Research*, 131 (0), 49-62.
- FAO. (2006) *Guidelines for Soil Descriptions*, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Floch, E. L., Trinchera, L., Guillemot, V., Tenenhaus, A., Poline, J. B., Frouin, V. and Duchesnay, E. (2013) Dimension Reduction and Regularization Combined with Partial Least Squares in High Dimensional Imaging Genetics Studies. In H. Abdi, W. W. Chin, V. E. Vinzi, G. Russolillo and L. Trinchera (Eds.). *New Perspectives in Partial Least Squares and Related Methods*. (pp. 147-158). New York, Springer.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986) Particle-size analysis. In A. Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part.I. Physical and mineralogical methods* (2nd ed.). Agronomy Monograph (9). (pp. 383-411). Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J. (2009) *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction: series in Statistic* (2nd ed.). New York, USA, Springer-Verlag
- He, Y. (2014). The effect of precipitation on vegetation cover over three landscape units in protected semi-arid grassland: Temporal dynamics and

- suitable climatic index, *Journal of Arid Environments*, 109, 74-82.
- He, Y., Hou, L., Wang, H., Hu, K. and McConkey, B. (2014). A modeling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rain-fed condition, *Science Report*, 4. Retrieved May 10, 2015, from <http://www.nature.com>
- He, Y., Wei, Y., DePauw, R., Qian, B., Lemke, R., Singh, A., Cuthbert, R., McConkey, B. and Wang, H. (2013). Spring wheat yield in the semiarid Canadian prairies: Effects of precipitation timing and soil texture over recent 30 years, *Field Crops Research*, 149 (0), 329-337.
- Hillel, D. (1982) Introduction to soil physics, New York, Academic Press.
- Hou, X., Li, R., Jia, Z., Han, Q., Wang, W. and Yang, B. (2012). Effects of rotational tillage practices on soil properties, winter wheat yields and water-use efficiency in semi-arid areas of north-west China, *Field Crops Research*, 129 (0), 7-13.
- Jihad, M. o. A. (2014) Agronomical statistics, 2012-2013 agronomical year. (In Farsi)
- Katerji, N. and Mastrorilli, M. (2009). The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: Results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region, *European Journal of Agronomy*, 30 (2), 95-100.
- Klute, A. (1986) Water retention. In A. Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part.I. Physical and mineralogical methods* (2nd ed.). Agronomy Monograph (9). (pp. 635-662). Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Lobell, D. B., Ortiz-Monasterio, J. I., Lee Addams, C. and Asner, G. P. (2002). Soil, climate, and management impacts on regional wheat productivity in Mexico from remote sensing: *Agricultural and Forest Meteorology*, 114 (1-2), 31-43.
- Maitra, S. and Yan, J. (2008). Principal Component Analysis and Partial Least Squares: Two Dimension Reduction Techniques for Regression Casualty Actuarial Society, *Discussion Paper Program*, 79-90.
- McLean, E. O. (1982) Soil pH and Lime Requirement. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (2nd ed). Agronomy Monograph (9). (pp. 199-224), Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Mehmood, T., Liland, K. H., Snipen, L. and Sæbø, S. (2012). A review of variable selection methods in partial least squares regression, *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 118, 62-69.
- Melkonyan, A. (2014). Environmental and socio-economic vulnerability of agricultural sector in Armenia, *Science of The Total Environment*, 488-489 (0), 333-342.
- Nautiyal, C. S., Chauhan, P. S. and Bhatia, C. R. (2010). Changes in soil physico-chemical properties and microbial functional diversity due to 14 years of conversion of grassland to organic agriculture in semi-arid agroecosystem, *Soil and Tillage Research*, 109 (2), 55-60.
- Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (2nd ed.). Agronomy Monograph (9), (pp. 81-197), Madison, Wisconsin. USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Nelson, D. W. and Sommer, L. E. (1982) Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (2nd ed.). Agronomy Monograph (9), (pp. 539-580), Madison, Wisconsin. USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watenabe, F. S. and Dean, L. A. (1954) Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. (no. 939) Washington D.C., Circular / United States Department of Agriculture.
- Ozturk, L., Eker, S., Torun, B. and Cakmak, I. (2005). Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil, *Plant and soil*, 269 (1-2), 69-80.
- Rashid, A. and Ryan, J. (2008) Micronutrient constraints to crop production in the near East, Micronutrient deficiencies in global crop production. (pp. 149-180), Springer.
- Rhoades, J. D. (1982) Soluble salts. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (2nd ed.). Agronomy Monograph (9), (pp. 167-179), Madison, Wisconsin. USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Rötter, R. P., Carter, T. R., Olesen, J. E. and Porter, J. R. (2011). Crop-climate models need an overhaul, *Nature Climate Change*, 1 (4), 175-177.
- Sadras, V., Baldock, J., Roget, D. and Rodriguez, D. (2003). Measuring and modelling yield and water budget components of wheat crops in coarse-textured soils with chemical constraints, *Field Crops Research*, 84 (3), 241-260.
- Sadras, V. o. and McDonald, G. (2012) Water use efficiency of grain crops in Australia: principles, benchmarks and management. CSIRO, Australia.
- Seeling, B. and Alfonso, J. (2007) Application of GIS to integrated pest management on U.S. fish and wildlife service land. In F. J. Pierce and D. Clay (Eds.). *GIS Applications in Agriculture*, Boca Raton, Florida. USA. CRC Press.

- Selyaninov, G. T. (1928). On agricultural climate valuation, *Processing Agricultural Meteorology*, 20, 165-177.
- Shabani, A., Haghnia, G., Karimi, A. and Ahmadi, M. M. (2012). Influence of Topography and Soil Characteristics on the Rainfed Wheat Yield in Sisab Region, Northeastern Iran, *Journal of Water and Soil*, 26 (4), 922-932. (In Farsi)
- Stewart, C., McBratney, A. and Skerritt, J. (2002). Site-Specific Durum Wheat Quality and Its Relationship to Soil Properties in a Single Field in Northern New South Wales, *Precision Agriculture*, 3 (2), 155-168.
- Su, Z., Zhang, J., Wu, W., Cai, D., Lv, J., Jiang, G., Huang, J., Gao, J., Hartmann, R. and Gabriels, D. (2007). Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China, *Agricultural Water Management*, 87 (3), 307-314.
- Takahashi, S. and Anwar, M. R. (2007). Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol, *Field Crops Research*, 101 (2), 160-171.
- Tatari, M., Koocheki, A. and Mahallati, M. N. (2009). Dryland wheat yield prediction using precipitation and edaphic data by applying of regression models, *Iranian Journal of Field Crop Research*, 7 (2), 357-365. (In Farsi)
- Thomas, G. W. (1982) Exchangeable cations. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties* (2nd ed.). Agronomy Monograph (9), (pp. 159-165), Madison, Wisconsin, USA. Agronomy Society of America and Soil Science Society of American.
- Vaezi, A. R., and Bahrami, H. A. (2014). Relationship between Soil Productivity and Erodibility in Rainfed Wheat Lands in Northwestern Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 1455-1466.
- van Wambeke, A. (1992) *Soils of the tropics: properties and appraisal*. New York, McGraw-Hill.
- Wilhelm, W., Mielke, L. and Fenster, C. R. (1982). Root development of winter wheat as related to tillage practice in western Nebraska, *Agronomy journal*, 74 (1), 85-88.
- Wong, M. T. F. and Asseng, S. (2006). Determining the Causes of Spatial and Temporal Variability of Wheat Yields at Sub-field Scale Using a New Method of Upscaling a Crop Model, *Plant and Soil*, 283 (1-2), 203-215.