

Effect of Topography Indices and Soil Characteristics on Rainfed Wheat Yield in Loess Lands of Toshan Area, Northern Iran

MOHAMMAD AJAMI^{1,2}, AHMAD HEIDARI^{*1}, FARHAD KHORMALI², MANOUCHEHR GORJI¹, SHAMSOLLAH AYOUBI³

1 Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. Department of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received: July. 4, 2018- Revised: Feb. 22, 2019- Accepted: Aug. 27, 2019)

ABSTRACT

Topography by affecting soil quality can significantly affect the production of agricultural products. This study was conducted in Toshan area of Golestan province to evaluate the spatial variation of wheat production and to create regression models between the crop, soil, and topography characteristics. Wheat and soil sampling from different slope positions were collected randomly from 100 points. Soil physical-chemical analyses and wheat yield parameter measurements were carried out. The digital elevation model was prepared, and topographic attributes were calculated. The results showed that the highest total yield (14.53 t/ha) and grain yield (4.41 t/ha) were observed in <10% slope class, which showed a significant difference compared to steeper slopes. The highest (15.82 t/ha) and the lowest (5.68 t/ha) total mean yields were corresponded to paw slope and shoulder slope, respectively. The highest grain yield was obtained from the foot slope and paw slope. The amounts of mean grain yield were 4.61 t/ha in foot slope and 4.66 t/ha in paw slope. Curvature and wetness index had a remarkable relationship with wheat yield. According to the regression analyses, topography indexes have been able to explain the spatial variability of yield, indicating the importance of these factors' impact on water distribution in yield production process in the studied area. Increasing yield productions in low slope positions in this study was probably due to increasing in soil depth and plant available water, as well as accumulation of organic matter and nutrient elements such as nitrogen and potassium due to deposition of eroded materials in these positions.

Keywords: Slope position, Wetness index, Yield prediction.

تأثیر شاخص‌های توپوگرافی و خصوصیات خاک بر عملکرد گندم در اراضی لسی منطقه توشن، شمال ایران

محمد عجمی^۱، احمد حیدری^{۱*}، فرهاد خرمالی^۲، منوچهر گرجی^۱، شمس‌اله ایوبی^۲

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲. گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۲/۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۶/۵)

چکیده

توپوگرافی با اثرگذاری بر کیفیت خاک، می‌تواند تولید محصولات کشاورزی را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. به منظور ارزیابی تغییرات مکانی عملکرد گندم و ایجاد مدل‌های رگرسیونی بین عملکرد محصول و خصوصیات خاک و توپوگرافی، منطقه توشن در استان گلستان انتخاب گردید. نمونه‌برداری گندم و خاک به صورت تصادفی از ۱۰۰ نقطه از موقعیت‌های مختلف شیب صورت پذیرفت. تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و اندازه‌گیری مؤلفه‌های عملکرد گندم انجام شد. مدل رقومی ارتفاع تهیه شد و ویژگی‌های پستی و بلندی محاسبه گردید. بیشترین عملکرد کل و بیشترین عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۱۴/۵۳ و ۴/۴۱ تن در هکتار در اراضی با شیب کمتر از ۱۰ درصد به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با طبقه پرشیب نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین عملکرد کل با مقادیر میانگین ۱۵/۸۲ و ۵/۶۸ تن در هکتار به ترتیب مربوط به موقعیت‌های پنجه شیب و شانه شیب بود. بیشترین عملکرد دانه از موقعیت‌های پای شیب و پنجه شیب به دست آمد. مقادیر میانگین عملکرد دانه در پای شیب برابر با ۴/۶۱ و در پنجه شیب ۴/۶۶ تن در هکتار بود. انحنای سطح زمین و شاخص خیزی ارتباط قابل ملاحظه‌ای با عملکرد محصول گندم داشتند. بر طبق معادله‌های تجزیه رگرسیون شاخص‌های پستی و بلندی به خوبی قادر به توجیه تغییرپذیری مکانی عملکرد بودند که این امر نشان دهنده اهمیت این عوامل از طریق تأثیر بر توزیع رطوبت در فرآیند تولید محصول در منطقه مورد مطالعه است. افزایش مؤلفه‌های عملکرد گندم در این مطالعه که در قسمت‌های پایین شیب مشهود است را می‌توان به افزایش عمق خاک و آب قابل استفاده گیاه و تجمع بیشتر مواد آلی و عناصر غذائی نظیر نیتروژن و پتاسیم به واسطه فرآیند فرسایش و تجمع آن در این موقعیت‌ها مربوط دانست.

واژه‌های کلیدی: موقعیت شیب، شاخص خیزی، پیش‌بینی تولید

مقدمه

در مزارع کشاورزی، تغییرپذیری عملکرد تابعی از توپوگرافی مزرعه است (Jiang and Telen, 2004). توپوگرافی نقش مهمی بر میزان انرژی دریافتی، تغییرات دما و رطوبت، توزیع آب، ماده آلی، عناصر غذایی، بافت و سایر خصوصیات خاک و در نتیجه رشد گیاه داشته و از این طریق می‌تواند بر تغییرپذیری عملکرد و تولید مؤثر باشد (Florinsky et al. 2002; Iqbal et al., 2005). شیب، انحنای سطحی و ارتفاع از طریق اثرگذاری بر محتوای رطوبتی خاک، حفاظت عناصر غذایی و فرسایش خاک نقش مهمی در تغییرات مکانی رشد محصول ایفا می‌کنند (Chirinda et al., 2014). (Shabani et al., 2012) با مطالعه تأثیر ویژگی‌های پستی و بلندی و خاک بر عملکرد گندم در استان خراسان شمالی نتیجه گرفتند که ارتفاع و درصد کربنات کلسیم بیشترین همبستگی را با مؤلفه‌های عملکرد گندم داشتند.

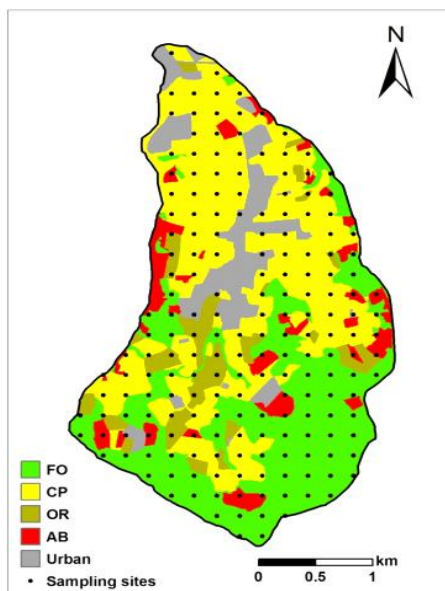
تولید محصولات کشاورزی نتیجه عملکرد پیچیده میان عوامل مختلف محیطی مانند توپوگرافی، خصوصیات خاک و عملیات مدیریتی است (Kravchenko et al., 2005). در مقیاس محلی که تغییرات اقلیمی اندک است، توپوگرافی و خصوصیات خاک عوامل تعیین کننده موفقیت دیم‌کاری هستند (Shabani et al., 2012). کیفیت خاک یکی از عوامل محیطی مهم و مؤثر در عملکرد گندم به شمار می‌آید. خاک‌های درشت بافت به دلیل ضعف عناصر غذایی و پایین بودن ظرفیت نگهداری آب و نیز خاک‌های با بافت خیلی ریز به دلیل محدودیت تهویه و نفوذپذیری کم مطلوب نیستند (Khajehpour, 2013). مطالعه (Pan et al., 2009) در چین در رابطه با نقش مواد آلی خاک در عملکرد غلات نشان داد همبستگی بسیار خوبی بین ماده آلی خاک و تولید وجود دارد.

ارتباط با توپوگرافی به ندرت صورت گرفته و در مورد اراضی لسی استان گلستان با اقلیم نیمه مرطوب، تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه انجام نشده است. بدین منظور هدف از پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات مکانی تولید گندم تحت تأثیر توپوگرافی و خصوصیات خاک در اراضی زراعی منطقه توشن است.

مواد و روش‌ها

مشخصات عمومی منطقه مورد مطالعه

زیر حوضه توشن با مساحت ۸۴۳ هکتار در جنوب غرب شهرستان گرگان (مرکز استان گلستان) در محدوده طول شرقی $54^{\circ} 24'$ تا $54^{\circ} 26'$ و عرض شمالی $36^{\circ} 46'$ تا $36^{\circ} 49'$ واقع شده است (شکل ۱). بارندگی متوسط سالیانه حدود ۶۲۰ میلی‌متر، میانگین دما ۱۶ درجه سانتی‌گراد، رژیم رطوبتی خاک زریک و رژیم حرارتی آن ترمیک می‌باشد. مواد مادری خاک‌ها را لس تشکیل داده است. اختلاف ارتفاع بین حداقل ارتفاع (۱۵۰ متر) و حداکثر ارتفاع (۶۰۰ متر) ۴۵۰ متر می‌باشد. شیب زمین بین صفر تا بیش از ۷۰ درصد تغییر می‌کند و اراضی شیب‌دار، تحت کشت انواعی از محصولات زراعی و گندم دیم واقع شده‌اند. جهت شیب در مزارع مورد مطالعه شرقی بوده است. خاک‌های مزارع مورد مطالعه در گروه بزرگ Calcixerepts طبقه‌بندی می‌شوند (Ajami et al., 2016; Ajami et al., 2018).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقشه منطقه مورد مطالعه
FO جنگل، CP زیرکشت، OR باغات، AB رهاشده

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

پس از انتخاب مزارع مناسب، نمونه‌برداری به صورت تصادفی از ۱۰۰ نقطه از موقعیت‌های مختلف شیب به انجام رسید. در هر نقطه و در مساحت پلات (یک مترمربع) سه نمونه خاک سطحی

خصوصیات خاک می‌تواند بسته به توپوگرافی منطقه در تغییر باشد (Mohammadi, 2008). ماده آلی که ظرفیت بالایی برای نگهداری آب دارد با تغییر وضعیت شیب توزیع متفاوتی را نشان می‌دهد (Timlin et al., 1998). مطالعه (Sinai et al., 1981) نشان داد مقدار رطوبت خاک همبستگی بالایی با انحنای سطح اراضی دارد. آن‌ها بالاترین عملکرد گندم را در شیب‌های مقعر مشاهده نمودند. در استان چهارمحال و بختیاری، Norouzi et al. (2010) طی مطالعه‌ای در رابطه با پیش‌بینی تولید گندم نتیجه گرفتند خصوصیات خاکی و توپوگرافی مانند میزان مواد آلی خاک، نیتروژن کل و شیب زمین از جمله عوامل مهمی هستند که می‌توانند بر میزان زیست‌توده، مقدار پروتئین دانه و عملکرد گندم تأثیر چشم‌گیری داشته باشند. نتایج حاصل از تحقیقات نشان داده است که عمق خاک، مقدار رس و کربن آلی خاک از قسمت محدب شیب به طرف گرده شیب و سپس به طرف موقعیت‌های پایین دست و مقعر شیب افزایش می‌یابد. این امر بیان‌گر اهمیت توپوگرافی در انتقال مواد و رسوبات و تأثیر بر تولید محصول می‌باشد (Florinsky et al., 2002).

شاخص‌های تولید و عملکرد نیز بسته به محل قرارگیری بر عوارض زمین در حال تغییر خواهند بود. به عبارت دیگر تغییر در موقعیت منظر در میزان عملکرد و تولید محصول اثر گذاشته و باعث به وجود آوردن الگوهای تغییرپذیری مختلفی در عملکرد محصول می‌گردد. برخی از مطالعات انجام شده حاکی از وجود رابطه و همبستگی معنی‌دار بین عملکرد گندم با طول شیب و شاخص خیزی (رطوبت) خاک است که دو عامل مهم توپوگرافی محسوب می‌شوند. نتایج حاصل از بسیاری از مطالعات حاکی از بالاتر بودن میزان محصول در بخش‌های پایینی شیب است (Mohammadi, 2008). این امر بیشتر ناشی از ضخیم‌تر بودن لایه سطحی خاک در این موقعیت‌ها و در نتیجه مناسب‌تر بودن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک حامی گیاه می‌باشد (Mohammadi, 2008).

گلستان در ردیف پنج استان اول کشور به لحاظ دارا بودن اراضی زیرکشت گندم قرار دارد که غالب آن دیم است. همچنین این استان مقام سوم را در تولید محصول گندم در سطح کشور از آن خود نموده است (Agricultural Ministry of Iran, 2014). به دلیل اهمیت محصول گندم در کشور و نیز در استان گلستان و از طرفی به دلیل این که بخش وسیعی از اراضی تپه‌ماهوری منطقه زیر کشت دیم این محصول درآمده‌اند، لذا مطالعه و ارزیابی تغییرات مکانی تولید گندم تحت تأثیر توپوگرافی برای تصمیم‌گیری‌های مدیریت اراضی و اکولوژیکی بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

در کشورمان تحقیقات با هدف تغییرپذیری تولید گندم در

جانشین کردن یون آمونیوم به جای کاتیون‌های قابل تبادل و با دستگاه فلیمفتومتر تعیین گردید (Richards, 1954). برای اندازه‌گیری غلظت قابل جذب عناصر کم‌مصرف خاک شامل آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) نیز از عصاره‌گیر DTPA و دستگاه جذب اتمی استفاده شد (Page et al., 1982).

اندازه‌گیری مؤلفه‌های عملکرد گندم

برای به دست آوردن عملکرد کل گندم، کل توده محصول که از هر پلات برداشته و خشک شده بود وزن گردید. برای عملکرد دانه، مجموع دانه‌های جدا شده از کاه و کلش توزین شدند. وزن هزاردانه نیز با توزین دانه‌های شمارش شده به دست آمد.

استخراج شاخص‌های پستی و بلندی

ابتدا مدل رقومی ارتفاع (DEM) حوضه با میان‌یابی خطوط میزان نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در نرم‌افزار ArcGIS و در پیکسل‌هایی به ابعاد ۱۰×۱۰ متر تهیه شد. سپس DEM با فرمت رستری وارد محیط نرم‌افزار SAGA-GIS شده و مشخصه‌های عارضه‌ای زمین مانند ارتفاع و درصد شیب از آن مشتق شد.

تجزیه‌های آماری و مدل‌سازی

پارامترهای آمار توصیفی شامل میانگین، میانه، کمینه، بیشینه، انحراف معیار (SD)، ضریب تغییرات (CV) و چولگی برای کلیه متغیرهای خاکی و مؤلفه‌های عملکرد گندم توسط نرم‌افزار SPSS محاسبه گردید. همچنین برای مقایسه خصوصیات مذکور بین وضعیت‌های مختلف مقایسه میانگین‌ها انجام شد. به این صورت که تجزیه واریانس در نرم‌افزار آماری انجام شده و سپس به روش آزمون دانکن در سطح معنی‌دار ۵ درصد، اثر شرایط گوناگون توپوگرافی روی پارامترهای خاک و عملکرد بررسی شد. همچنین برای مطالعه روابط بین متغیرهای مختلف خاکی، توپوگرافی و عملکرد، ضرایب همبستگی پیرسون به دست آمد.

جهت انجام مدل‌سازی و برقراری ارتباط بین عملکرد با متغیرهای محیطی از روش رگرسیون خطی چندمتغیره^۶ به روش گام به گام^۷ در نرم‌افزار SPSS استفاده شد و معادلات رگرسیونی معتبر تعیین گردیدند. ۸۰ درصد داده‌ها به منظور مدل‌سازی و ۲۰ درصد برای اعتبارسنجی گزینش شدند. در انجام فرایند اعتبارسنجی مدل‌ها از معیارهای میانگین خطا^۸ (ME) و ریشه میانگین مربعات خطا^۹ (RMSE) استفاده شد.

از لایه ۳۰-۰ سانتی‌متر برداشت شد و در نهایت یک نمونه ترکیبی از هر پلات آماده و در مجموع ۱۰۰ نمونه خاک جمع‌آوری گردید. مختصات جغرافیایی هر نقطه یا پلات با استفاده از GPS ثبت گردید (شکل ۱). در محدوده هر پلات، نمونه‌برداری از بخش هوایی گندم رقم مروارید در مرحله برداشت نیز صورت پذیرفت، به طوری که تمامی بوته‌های واقع در پلات با کمک داس از سطح خاک برش داده شده و پس از پاک‌سازی کامل از علف‌های هرز جمع‌آوری شدند.

پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، مقداری نمونه قبل از کوبیدن جدا شده و برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها در نظر گرفته شد. سپس کلیه نمونه‌ها جهت آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی هواخشک گردیده و پس از کوبیده شدن از الک ۲ میلی-متری عبور داده شدند.

توده‌های محصول گندم برداشت شده ابتدا برای محاسبه عملکرد کل در دستگاه خشک‌کن قرار گرفتند. سپس دانه‌ها با دقت بسیار بالا از کاه و کلش جدا شدند تا در تعیین عملکرد دانه و وزن هزاردانه استفاده شوند.

تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) تعیین گردید. جهت تفکیک ذرات شن از یکدیگر و تعیین شن خیلی درشت^۱ (VCS)، شن درشت^۲ (CS)، شن متوسط^۳ (MS)، شن ریز^۴ (FS) و شن خیلی ریز^۵ (VFS)، سوسپانسیون خاک و آب از الک‌های ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱ و ۰/۰۵ میلی‌متری (الک‌های شماره ۱۸، ۳۰، ۶۰، ۱۸۰ و ۲۷۰) عبور داده شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) جهت تعیین وضعیت پایداری خاکدانه‌ها به روش الک مرطوب اندازه‌گیری شد (Kemper and Rosenau, 1986) رطوبت اشباع خاک (SP) از مقادیر رطوبت و وزن خشک نمونه گل اشباع محاسبه گردید. pH خاک در گل اشباع تعیین شد (McLean, 1982). کربن آلی (OC) با روش والکلی-بلک اندازه‌گیری گردید (Nelson and Sommers, 1982). کربنات کلسیم معادل^۶ (CCE) به روش خنثی‌کردن مواد خنثی‌شونده با اسید کلریدریک صورت پذیرفت (Salinity Laboratory Staff, 1954). ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) مطابق با روش Chapman (1965) تعیین گردید. ازت کل (N) به روش کجدال (Bremner, 1996) و فسفر قابل استفاده (P) با استفاده از روش Olsen et al. (1954) اندازه‌گیری شد. پتاسیم قابل استفاده (K) نیز از طریق

6. Calcium Carbonate Equivalent
7. Multiple linear regression
8. Stepwise
9. Mean Error
10. Root Mean Square Error

1. Very Coarse Sand
2. Coarse Sand
3. Medium Sand
4. Fine sand
5. Very Fine Sand

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها

عملکرد گندم

نتایج آمار توصیفی مؤلفه‌های عملکرد صد نمونه گندم در جدول (۱) ارائه شده است. همان طور که مقادیر CV نشان می‌دهد مؤلفه‌های عملکرد کل و عملکرد دانه تغییرات نسبتاً زیادی را نشان می‌دهند. از دلایل اصلی این تغییرپذیری قابل توجه در منطقه، تأثیر زیاد پستی و بلندی بر جابه‌جایی و انتقال آب در

موقعیت‌های مختلف زمین‌نماست که به دنبال این فرآیند ویژگی‌های خاک نیز متفاوت می‌شوند (Norouzi *et al.*, 2009). میانگین وزن هزاردانه ۳۰/۵۰ گرم در مترمربع می‌باشد. وزن هزاردانه گندم از کمتر از ۲۵ گرم تا حدود ۵۵ گرم متغیر است (Khajehpour, 2013).

خصوصیات خاک

جدول (۲) توصیف آماری حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی صد نمونه خاک سطحی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- توصیف آماری مؤلفه‌های عملکرد گندم

واحد	میانگین	میانه	کمینه	بیشینه	SD	CV(%)	چولگی
عملکرد کل	۱۱/۶۶	۱۲/۱۳	۳/۵۲	۲۲/۳۶	۴/۵۱	۳۸	۰/۰۲
عملکرد دانه	۳/۷۵	۳/۸۵	۱/۳۰	۶/۶۱	۱/۲۹	۳۴	-۰/۰۶
وزن هزار دانه	۳۰/۵۰	۳۰/۵۲	۲۳/۵۸	۳۶/۸۰	۲/۸۱	۹	۰/۰۳

جدول ۲- توصیف آماری خصوصیات خاک مزارع (۱۰۰ نمونه خاک)

واحد	میانگین	میانه	کمینه	بیشینه	SD	CV(%)	چولگی
SP	۵۲/۲۵	۵۲/۲۰	۴۰/۳۰	۶۴/۵۰	۵/۲۸	۱۰	-۰/۰۵
رس	۲۹/۴۹	۲۸/۹۰	۱۷/۱۰	۴۳/۵۰	۶/۵۰	۲۲	۰/۴۷
سیلت	۶۰/۳۶	۶۱/۷۰	۴۱/۹۰	۷۲/۹۰	۷/۰۹	۱۱	-۰/۶۱
شن	۱۰/۱۴	۱۰/۷۰	۰	۱۶/۴۰	۳/۶۹	۳۶	-۰/۳۷
VCS	۶/۴۵	۶/۳۶	۰	۱۱/۰۶	۲/۱۳	۳۳	۰/۳۳
CS	۲/۱۱	۲/۱۷	۰	۴/۰۷	۰/۹۸	۴۶	۰/۱۶
MS	۱/۰۲	۰/۸۰	۰	۲/۵۵	۰/۶۶	۶۴	۰/۶۸
FS	۰/۷۱	۰/۵۰	۰	۲/۸۰	۰/۵۷	۷۹	۱/۹۲
VFS	۰/۳۶	۰/۲۰	۰	۱/۴۱	۰/۳۷	۱۰۰	۱/۵۲
MWD	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۶۶	۰/۱۴	۵۰	۰/۵۱
OC	۱/۶۶	۱/۷۹	۰/۳۹	۲/۸۰	۰/۵۸	۳۵	-۰/۲۶
pH	۷/۳۲	۷/۳۰	۶/۹۳	۷/۷۹	۰/۱۷	۲	۰/۱۰
EC	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۳۶	۲/۴۸	۰/۳۶	۴۵	۳/۰۶
CCE	۱۶/۳۹	۱۵/۳۵	۳/۰۰	۳۲/۴۰	۸/۱۵	۴۹	۰/۲۰
CEC	۲۲/۰۱	۲۱/۷۰	۱۰/۳۰	۴۹/۸۰	۶/۵۰	۲۹	۰/۸۸
N	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۲۴	۰/۰۵	۳۵	-۰/۲۶
P	۱/۹۳	۱/۶۶	۰/۹۸	۴/۴۸	۰/۷۴	۳۸	۱/۲۸
K	۱۲۹۲/۱۶	۱۲۶۴	۵۶۱	۲۸۰۹	۴۵۷/۲۹	۳۵	۰/۷۵
Fe	۱۵/۵۸	۱۵/۹۳	۴/۰۵	۲۸/۰۸	۶/۶۷	۴۲	۰/۱۰
Zn	۰/۳۷	۰/۲۶	۰/۰۱	۱/۵۷	۰/۳۷	۹۸	۱/۷۴
Cu	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۱۴	۱/۰۷	۰/۱۹	۵۴	۱/۷۰
Mn	۲/۹۸	۲/۸۰	۱/۲۵	۵/۴۰	۰/۹۷	۳۲	۰/۸۵

SP: رطوبت اشباع، VCS: شن خیلی درشت، CS: شن درشت، MS: شن متوسط، FS: شن ریز، VFS: شن خیلی ریز، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، OC: کربن آلی، EC: هدایت الکتریکی، CCE: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، N: ازت کل، P: فسفر قابل استفاده، K: پتاسیم قابل استفاده، Fe: آهن، Zn: روی، Cu: مس، Mn: منگنز.

جز pH نیز CV متوسط و زیادی را نشان می‌دهند. مقادیر چولگی نیز نشان می‌دهد بیشتر خصوصیات خاک‌های زراعی مورد مطالعه دارای توزیع نرمال هستند.

در میان خصوصیات فیزیکی، رس، اجزای مختلف شن و MWD از CV متوسط و بالایی برخوردار بوده و SP و سیلت CV پایینی را به خود اختصاص داده‌اند. کلیه خصوصیات شیمیایی به

ارتباط مؤلفه‌های عملکرد با توپوگرافی

مؤلفه‌های عملکرد همبستگی‌های منفی معنی‌داری با ارتفاع، درصد شیب، انحنای سطح زمین و فاکتور فرسایش‌پذیری و همبستگی مثبت معنی‌داری با شاخص خیزی دارند.

ضرایب همبستگی پیرسون بین مؤلفه‌های عملکرد گندم با شاخص‌های توپوگرافی در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین مؤلفه‌های عملکرد و شاخص‌های توپوگرافی

ارتفاع	درصد شیب	شاخص خیزی	شاخص قدرت جریان	انحنای سطح زمین	فاکتور فرسایش‌پذیری	سطح ویژه حوضه
عملکرد کل	۰/۷۴ **	۰/۶۸ **	۰/۶۱ **	۰/۰۳	۰/۵۱ **	۰/۰۷
عملکرد دانه	۰/۷۱ **	۰/۶۶ **	۰/۵۸ **	۰/۰۵	۰/۴۹ **	۰/۰۹
وزن هزار دانه	۰/۶۰ **	۰/۵۰ **	۰/۵۰ **	۰/۱۰	۰/۴۷ **	۰/۰۷

** معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ *** معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد

همبستگی منفی گزارش کردند.

همان‌طور که در جدول (۴) آمده است با افزایش ارتفاع، شاهد افزایش درصد شیب هستیم. این امر منجر به فرسایش بیشتر خاک سطحی، کاهش رطوبت قابل استفاده و در مجموع باروری کمتر خاک‌های مناطق مرتفع در مقایسه با نواحی پست می‌شود.

ارتفاع بیشترین میزان همبستگی را با مؤلفه‌های عملکرد دارد. ارتفاع یک رابطه منفی نسبتاً پایدار با عملکرد محصول دارد و در بیشتر موارد اثر ارتفاع بر عملکرد از طریق فراهمی رطوبت نمود می‌یابد (Kravchenko and Bullock, 2000). محققینی مانند Kumhálová et al. (2008)، Shabani et al. (2012)، Souza et al. (2010) نیز بین ارتفاع و عملکرد محصول یک

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های توپوگرافی در مزارع مورد مطالعه

ارتفاع	درصد شیب	شاخص خیزی	شاخص قدرت جریان	انحنای سطح زمین	فاکتور فرسایش‌پذیری	سطح ویژه حوضه
ارتفاع	۱					
درصد شیب	۰/۷۲ **	۱				
شاخص خیزی***	۰/۷۳ **	۰/۷۹ **	۱			
شاخص قدرت جریان***	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۱۶	۱		
انحنای سطح زمین	۰/۴۲ **	۰/۱۸	۰/۲۸ **	۰/۲۸ **	۱	
فاکتور فرسایش‌پذیری	۰/۵۷ **	۰/۸۷ **	۰/۶۰ **	۰/۳۱ **	۰/۱۵	۱
سطح ویژه حوضه	۰/۲۴ *	۰/۲۵ **	۰/۳۷ **	۰/۷۵ **	۰/۰۷	۰/۱۳

* معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ ** معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد؛ *** تمایل به تجمع آب $WI = \ln[A/tg(\beta)]$ ؛ مساحت، β زاویه شیب؛ **** شاخص قدرت جریان $SPI = A \cdot \tan(\beta)$ ؛ انحنای سطح زمین (انحنای خطوط تراز)؛ فاکتور فرسایش‌پذیری، بیانگر تأثیر طول شیب بر روی فرسایش خاک است؛ سطح ویژه حوضه، مساحت تقسیم بر کسینوس شیب؛

خصوصیات مهم و مؤثر در حاصلخیزی خاک مانند رس، MWD، عناصر غذایی پرمصرف، انواع عناصر غذایی کم مصرف و غیره در طبقه شیب کمتر از ۱۰ درصد اغلب با اختلاف معنی‌داری بیشتر از زمین‌های پرشیب است.

در مناطقی که زراعت دیم رایج است، رطوبت خاک یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده تولید محصول است و فرایندهایی که توزیع رطوبت خاک را کنترل می‌کنند تولید محصول را نیز تحت کنترل خود دارند. انحنای سطح زمین و شاخص خیزی، مؤلفه‌های مهمی از پستی و بلندی هستند که اثر قابل ملاحظه‌ای روی میزان رطوبت خاک و در نتیجه عملکرد

جداول (۵) و (۶) اثر درصد شیب بر مؤلفه‌های عملکرد گندم و خصوصیات مختلف خاک را نشان می‌دهند. با افزایش درصد شیب با روند کاهشی در اجزای مختلف عملکرد مواجه هستیم. بیشترین عملکرد کل و عملکرد دانه گندم در طبقات شیب کم و ملایم برآورد گردید که با اختلاف معنی‌داری در مقایسه با طبقه پرشیب بیشتر است نتیجه به دست آمده با یافته‌های (Kravchenko and Bullock, 2000) مطابقت دارد.

با افزایش درصد شیب به دلیل فرسایش خاک حاصلخیزی سطحی، باروری خاک در مقایسه با اراضی دارای شیب ملایم کمتر می‌شود. همان‌طور که در جدول (۵) نیز مشاهده می‌شود مقادیر

محصول دارند (Shabani *et al.*, 2012).

در نواحی مقعر علاوه بر تجمع رطوبت، فراهمی بیشتر اجزای مؤثر در حاصلخیزی خاک باعث افزایش عملکرد محصول گندم شده است. طبق مطالعه (Slobodian *et al.* (2002) توده زیرزمینی محصول در موقعیت‌های پای شیب ۲۹ درصد بیشتر از موقعیت‌های محدب شانه شیب بوده است. موقعیت شیب بیشترین تأثیر را روی عملکرد گندم دارد که این امر در نتیجه تغییر خصوصیات مانند ضخامت خاک سطحی و مقدار آب قابل دسترس خاک با تغییرات شیب در طول یک زمین‌نماست (Ciha, 1984).

همبستگی منفی اجزای عملکرد گندم در منطقه با انحنای سطح زمین نشان می‌دهد که با کاهش یا منفی شدن مقادیر انحناء یا به عبارتی با مقعر شدن سطح زمین، به دلیل تمرکز و نفوذ بیشتر آب، عملکرد افزایش می‌یابد. در وضعیت‌های محدب جریان آب پخشیده شده و نفوذ کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه (Mehnatkesh (2014 در رابطه با تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در تولید گندم در اراضی تپه‌ماهوری زاگرس مرکزی نشان داد که انحنای سطحی بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم داشت.

جدول ۵- مقایسه آماری مؤلفه‌های عملکرد در طبقات گوناگون شیب

واحد	کمتر از ۱۰ درصد	۱۰-۳۰ درصد	بیشتر از ۳۰ درصد
عملکرد کل	۱۴/۵۳ a	۱۳/۲۰ a	۷/۷۱ b
عملکرد دانه	۴/۴۱ a	۴/۳۱ a	۲/۶۲ b
وزن هزاردانه	۳۱/۹۸ a	۳۰/۸۶ a	۲۸/۹۰ b

اعداد دارای حروف غیرمشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد هستند.

جدول ۶- مقایسه آماری خصوصیات خاک مزارع گندم در طبقات گوناگون شیب

واحد	کمتر از ۱۰ درصد	۱۰-۳۰ درصد	بیشتر از ۳۰ درصد
SP	۵۵/۳۹ a	۵۲/۴۰ b	۴۹/۴۹ c
رس	۳۵/۱۹ a	۲۹/۷۷ b	۲۴/۴۹ c
سیلت	۵۳/۵۲ c	۶۱/۳۸ b	۶۴/۹۶ a
شن	۱۱/۲۷ a	۸/۸۳ b	۱۰/۵۳ ab
VCS	۶/۴۹ ab	۵/۳۹ b	۷/۲۶ a
CS	۲/۸۲ a	۱/۵۵ b	۱/۹۸ b
MS	۱/۳۳ a	۰/۸۳ a	۰/۹۴ a
FS	۱/۰۳ a	۰/۵۸ a	۰/۵۷ a
VFS	۰/۶۶ a	۰/۲۴ b	۰/۲۱ b
MWD	۰/۳۸ a	۰/۲۶ b	۰/۲۳ b
OC	۱/۹۲ a	۱/۷۲ a	۱/۳۸ b
pH	۷/۱۷ c	۷/۳۲ b	۷/۴۳ a
EC	۱/۰۵ a	۰/۷۴ b	۰/۶۳ b
CCE	۱۳/۵۰ b	۱۴/۴۸ b	۲۰/۷۴ a
CEC	۲۲/۶۰ ab	۲۳/۷۴ a	۱۹/۷۴ b
N	۰/۱۶ a	۰/۱۴ a	۰/۱۱ b
P	۲/۳۹ a	۱/۹۹ b	۱/۵۰ c
K	۱۴۹۳/۷۹ a	۱۴۷۱/۴۴ a	۹۴۰/۶۸ b
Fe	۱۷/۰۰ ab	۱۸/۴۴ a	۱۲/۳۴ b
Zn	۰/۵۰ a	۰/۴۳ a	۰/۲۳ a
Cu	۰/۵۱ a	۰/۳۱ b	۰/۲۸ b
Mn	۳/۶۴ a	۲/۶۹ b	۲/۶۸ b

اعداد دارای حروف غیرمشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد هستند. SP: رطوبت اشباع، VCS: شن خیلی درشت، CS: شن درشت، MS: شن متوسط، FS: شن ریز، VFS: شن خیلی ریز، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، OC: کربن آلی، EC: هدایت الکتریکی، CCE: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، N: ازت کل، P: فسفر قابل استفاده، K: پتاسیم قابل استفاده، Fe: آهن، Zn: روی، Cu: مس، Mn: منگنز.

و شانه شیب بود. نتیجه به دست آمده با یافته Reyniers *et al.* (2006) مطابقت دارد. بیشترین عملکرد دانه نیز از دو موقعیت پایین دست اراضی شامل پای شیب و پنجه شیب به دست آمد.

نتایج حاصل از تجزیه آماری مؤلفه‌های عملکرد گندم در چهار موقعیت شیب اراضی در جدول (۷) آمده است. بیشترین و کمترین عملکرد کل به ترتیب مربوط به موقعیت‌های پنجه شیب

(Nour-Mohammadi *et al.*, 1997).

بین شاخص خیسی و مؤلفه‌های عملکرد یک همبستگی مثبت معنی‌دار وجود داشت (جدول ۳). شاخص خیسی در یک نقطه بیان‌کننده تمایل زمین به انباشت آب در آن نقطه می‌باشد به طوری که هر چه شیب منطقه کمتر باشد این شاخص از مقدار بالاتری برخوردار است. همان‌طور که نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد یک همبستگی قوی منفی معنی‌دار بین شاخص خیسی با مؤلفه‌هایی از پستی و بلندی مانند ارتفاع، درصد شیب، انحنا، سطح زمین و فاکتور فرسایش‌پذیری در اراضی زراعی مورد مطالعه برقرار است. به عبارتی با کاهش ارتفاع و درصد شیب و نیز گودترشدن اراضی منطقه، شاخص خیسی افزایش یافته و عملکرد نیز افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از مطالعات Iqbal *et al.* (2005)، Norouzi *et al.* (2009) و Shabani *et al.* (2012) در مورد گندم و پنبه نیز نشان داد بین عملکرد این محصولات و شاخص خیسی رابطه مثبت وجود دارد.

ارتباط مؤلفه‌های عملکرد با خصوصیات خاک

جدول (۹) و (۱۰) ضرایب همبستگی پیرسون بین مؤلفه‌های عملکرد گندم با خصوصیات خاک‌ها را نشان می‌دهد. در میان خصوصیات فیزیکی خاک SP، رس، VFS و MWD و از بین خصوصیات شیمیایی خاک نیز OC، CEC، N، P، K، Fe، Cu و Mn همبستگی مثبت معنی‌داری را با اجزای مختلف عملکرد نشان داده‌اند.

افزایش مؤلفه‌های عملکرد گندم در این تحقیق که در پایین دست شیب مشهود است را باید ناشی از تقعر سطح زمین و در نتیجه افزایش آب قابل استفاده گیاه در این موقعیت‌ها دانست. در بسیاری از محیط‌ها، تفاوت‌های مکانی در ظرفیت نگهداری آب در زمین‌های کشاورزی دلیل اصلی تفاوت در عملکرد است (Johnen *et al.*, 2014). حتی کوچک‌ترین استرس کم آبی ممکن است دلیل اصلی تغییرپذیری مکانی عملکرد دانه شود (Basso *et al.*, 2011).

در مجموع نگاهی به خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در چهار موقعیت شیب حاکی از کیفیت بالاتر و حاصلخیزی بیشتر خاک در نقاط پایین دست یعنی پای شیب و پنجه شیب می‌باشد (جدول ۸).

مشاهدات میدانی پژوهش حاضر همچنین حاکی از آن بود که موقعیت شیب علاوه بر تأثیر بر مؤلفه‌های عملکرد، اندازه سنبله گندم را نیز تحت تأثیر قرار داده به طوری که بوته‌های گندم واقع در موقعیت پای شیب دارای سنبله‌های بزرگ‌تر و پربارتری در مقایسه با گندم روییده در شانه شیب می‌باشند. دلیل این امر را نیز احتمالاً باید ناشی از افزایش آب قابل استفاده و در نتیجه رشد مناسب بوته‌ها در نواحی پایین دست شیب دانست که آن نیز به دلیل تجمع رس، ماده آلی و فراهمی بیشتر عناصر غذایی در این ناحیه از اراضی است. کمبود آب نه تنها بر روی طول شدن ساقه بلکه بر روی تشکیل اندام‌های تولیدی گیاه نیز تأثیر منفی می‌گذارد، به طوری که سنبله‌هایی که در شرایط کم آبی به وجود می‌آیند بسیار کوچک هستند

جدول ۷- مقایسه آماری مؤلفه‌های عملکرد در موقعیت‌های گوناگون شیب

واحد	شانه شیب	پشت شیب	پای شیب	پنجه شیب
عملکرد کل	۵/۶۸ d	۷/۶۷ c	۱۴/۰۹ b	۱۵/۸۲ a
عملکرد دانه	۲/۰۱ c	۲/۶۱ b	۴/۶۱ a	۴/۶۶ a
وزن هزاردانه	۲۷/۶۷ b	۲۸/۷۴ b	۳۲/۱۰ a	۳۱/۵۱ a

اعداد دارای حروف غیرمشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد هستند.

را به طور شدیدی تحت تأثیر قرار خواهد داد. مطالعات مزرعه‌ای و شبیه‌سازی کشت گندم توسط (Jalota *et al.*, 2010) در ایالت پنجاب هندوستان نشان داد مقدار تولید در خاک‌های ریزبافت بالاتر است. عملکرد محصول گندم توسط اثرات متقابل محیط و ویژگی‌های محصول تعیین می‌شود. عواملی که ذخیره آب در خاک و نیز قابلیت استفاده آب را توسط گیاه افزایش دهند در زمره‌ی مهم‌ترین فاکتورها برای تولید گندم به حساب می‌آیند که بافت خاک یکی از آن‌هاست (He *et al.*, 2013). هم‌گام با افزایش میزان رس خاک، SP و همچنین ذخیره‌سازی OC و حفاظت از ماده آلی در برابر تجزیه‌های میکروبی ارتقاء خواهد یافت که

در بین خصوصیات خاک مقدار رس به شدت بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک اثرگذار است. رس می‌تواند تغییرات عملکرد را با افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی بهبود بخشد (Plante *et al.*, 2006). مناطقی از مزرعه که مقادیر رس بالاتری دارند می‌توانند آب بیشتری برای رشد گیاه نگه دارند (Cox *et al.*, 2003). در آلمان (Johnen *et al.*, 2014) با مطالعه فاکتورهای تعیین‌کننده عملکرد دانه گندم زمستانه گزارش کردند در میان خصوصیات فیزیکی خاک، بافت به دلیل تأثیر چشم‌گیری که بر میزان آب قابل استفاده گیاه می‌گذارد، رشد ریشه و در نتیجه عملکرد دانه

تغییرپذیری تولید محصول از طریق کنترل ظرفیت نگهداری آب خاک دارد (Norouzi et al., 2010).

همگی به تولید بیشتر محصول می‌انجامد. MWD نیز به عنوان شاخصی از ساختمان خاک اثرات قابل ملاحظه‌ای روی

جدول ۸- مقایسه آماری خصوصیات خاک مزارع گندم در موقعیت‌های گوناگون شیب

واحد	شانه شیب	پشت شیب	پای شیب	پنجه شیب
SP	۴۸/۴۵ b	۴۸/۹۲ b	۵۴/۸۵ a	۵۴/۰۷ a
رس	۲۶/۷۲ b	۲۳/۲۵ c	۳۲/۳۲ a	۳۴/۰۸ a
سیلت	۶۱/۴۸ b	۶۶/۴۵ a	۵۸/۷۴ b	۵۴/۸۰ c
شن	۱۱/۷۹ a	۱۰/۲۹ ab	۸/۹۳ b	۱۱/۱۱ ab
VCS	۸/۰۹ a	۷/۰۸ ab	۵/۸۱ b	۵/۵۰ b
CS	۲/۱۳ a	۱/۹۴ a	۱/۹۸ a	۲/۵۵ a
MS	۰/۹۱ b	۰/۹۸ ab	۰/۸۲ b	۱/۶۰ a
FS	۰/۴۷ b	۰/۶۳ b	۰/۵۵ b	۱/۳۵ a
VFS	۰/۱۲ b	۰/۲۶ b	۰/۳۲ b	۰/۷۵ a
MWD	۰/۲۶ b	۰/۲۱ b	۰/۲۷ b	۰/۴۰ a
mm				
OC	۱/۱۰ b	۱/۳۵ b	۱/۹۳ a	۱/۸۸ a
pH	۷/۴۰ a	۷/۴۶ a	۷/۲۷ b	۷/۱۷ c
EC	۰/۶۱ b	۰/۶۳ b	۰/۸۵ ab	۱/۰۳ a
dS/m				
CCE	۲۳/۹۰ a	۲۱/۲۳ a	۱۱/۰۳ c	۱۵/۳۷ b
CEC	۱۷/۲۴ c	۱۹/۷۲ bc	۲۵/۴۳ a	۲۱/۶۱ b
cmol(+)/kg				
N	۰/۰۹ b	۰/۱۱ b	۰/۱۶ a	۰/۱۶ a
mg/kg				
P	۱/۳۲ b	۱/۴۶ b	۲/۳۵ a	۲/۱۵ a
mg/kg				
K	۸۶۱/۳۳ c	۸۹۷/۳۲ c	۱۶۳۷/۰۲ a	۱۴۳۴/۰۰ b
mg/kg				
Fe	۱۱/۱۶ b	۱۲/۴۷ b	۲۰/۱۸ a	۱۴/۷۲ ab
mg/kg				
Zn	۰/۲۲ a	۰/۲۳ a	۰/۵۲ a	۰/۴۲ a
mg/kg				
Cu	۰/۲۳ b	۰/۲۹ b	۰/۳۷ ab	۰/۵۲ a
mg/kg				
Mn	۲/۶۹ b	۲/۶۲ b	۲/۸۷ b	۳/۸۵ a
mg/kg				

اعداد دارای حروف غیرمشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد هستند.

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین مؤلفه‌های عملکرد گندم و خصوصیات فیزیکی خاک

MWD	VFS	FS	MS	CS	VCS	شن	سیلت	رس	SP	
۰/۳۶**	۰/۳۴*	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۰۷	-۰/۴۴**	-۰/۱۰	-۰/۴۴**	۰/۵۵**	۰/۵۴**	عملکرد کل
۰/۳۲**	۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۳	-۰/۵۰**	-۰/۱۶	-۰/۴۰**	۰/۵۳**	۰/۵۲**	عملکرد دانه
۰/۴۳**	۰/۱۶	۰/۰۲	-۰/۰۳	۰/۰۷	-۰/۱۹	-۰/۰۶	-۰/۴۹**	۰/۵۸**	۰/۶۱**	وزن هزاردانه

* معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ ** معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین مؤلفه‌های عملکرد گندم و خصوصیات شیمیایی خاک

Mn	Cu	Zn	Fe	K	P	N	CEC	CCE	pH	OC	
۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۴۷**	۰/۷۳**	۰/۵۳**	۰/۶۲**	۰/۴۶**	-۰/۶۰**	-۰/۴۷**	۰/۶۲**	عملکرد کل
۰/۱۶	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۵۲**	۰/۷۲**	۰/۵۰**	۰/۵۷**	۰/۴۹**	-۰/۶۱**	-۰/۴۴**	۰/۵۷**	عملکرد دانه
۰/۳۳*	۰/۶۱**	۰/۲۸	۰/۵۲**	۰/۵۳**	۰/۳۱**	۰/۴۲**	۰/۴۴**	-۰/۵۵**	-۰/۴۲**	۰/۴۲**	وزن هزاردانه

* معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد؛ ** معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد

بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین کنترل فعالیت‌های میکروبی، نقش کلیدی در ظرفیت نگهداری آب و حاصلخیزی خاک ایفا می‌کند (Solomon et al., 2002; Evrendliek et al., 2004).

از طرف دیگر در میان خصوصیات مختلف خاک، سیلت،

همبستگی مثبت ماده آلی با مؤلفه‌های عملکرد از یک سو به دلیل نقش مثبت ماده آلی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و از سوی دیگر اثر آن به عنوان منبع عناصر غذایی می‌باشد. بر اساس گزارش (Pan et al., 2009) یک همبستگی قابل توجه بین مواد آلی خاک و تولید غلات وجود دارد. مواد آلی از طریق تأثیر

مؤلفه‌های عملکرد با خصوصیات خاک و شاخص‌های پستی و بلندی از اهمیت زیادی برخوردار است (Norouzi *et al.*, 2009). لذا بر اساس نتایج همبستگی‌ها، پارامترهای معنی‌دار برای هر کدام از مؤلفه‌های عملکرد انتخاب و در مدل‌سازی از آن‌ها استفاده شد. معادله‌های آنالیز رگرسیون و نتایج اعتبارسنجی مدل‌های به‌دست آمده به تفکیک متغیرهای مستقل خاکی، توپوگرافیکی و تلفیق آن‌ها در جدول (۱۱) آمده است.

مطابق با ضرایب تبیین، در مجموع ۳۳ تا ۶۴ درصد مؤلفه‌های مختلف عملکرد گندم در منطقه توسط مدل‌های به دست آمده توجیه می‌شوند. در این رابطه (Norouzi *et al.*, 2009) گزارش دادند مدل‌های مشابه ۴۵ تا ۷۸ درصد تولید گندم در منطقه اردل استان چهارمحال و بختیاری را توجیه نموده است. (Shabani *et al.*, 2012) نیز دریافتند معادله‌های رگرسیون نظیر این پژوهش ۴۳ درصد از تغییرات عملکرد کل و ۴۰ درصد از عملکرد دانه گندم در منطقه سیسب استان خراسان شمالی توجیه می‌کنند.

نتایج اعتبارسنجی مدل‌های به دست آمده نیز حاکی از صحت و دقت قابل قبول مدل‌ها در پیش بینی مؤلفه‌های مورد مطالعه بود. با توجه به نتایج ملاحظه می‌شود که ارتفاع نقش بسیار مهم و مؤثری در تولید گندم در منطقه مورد مطالعه دارد. همان‌طور که پیش از این نیز بحث شد ارتفاع از طریق تأثیر بر سایر شاخص‌های پستی و بلندی و خاکی (و نه از طریق ایجاد تفاوت‌های اقلیمی منطقه) می‌تواند اثر قابل ملاحظه‌ای بر تولید محصول به جای گذارد. نتیجه حاصله با گزارش (Shabani *et al.*, 2012) مطابقت دارد. استفاده از ویژگی‌های توپوگرافی به عنوان متغیرهای مستقل نشان می‌دهد ورود آن‌ها در مدل توانسته است عملکرد کل و دانه را توجیه نماید (جدول ۱۱).

pH و VCS، CCE همبستگی منفی معنی‌داری را با اجزای مختلف عملکرد نشان داده‌اند. افزایش مقدار ذرات معدنی درشت-تر خاک مانند سیلت و شن معمولاً ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی در خاک را کاهش داده و در نتیجه بر عملکرد محصول اثر منفی دارد. خاک‌های درشت بافت با مقدار رس کم و شن زیاد از توان تولید پایینی برخوردار می‌باشند (VanWambeke, 1992). pH نیز یکی دیگر از خصوصیات خاک است که با اجزای مختلف عملکرد در منطقه همبستگی منفی دارد. قابلیت استفاده عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان از جمله مواردی هستند که تحت تأثیر pH خاک قرار دارند (USDA, 1998). معمولاً با افزایش pH حلالیت عناصر غذایی کاهش می‌یابد (Malakouti *et al.*, 2008). خاک‌های زراعی مورد مطالعه در این پژوهش به طور میانگین دارای pH قلیایی (بیش از ۷) بودند که بیشتر ناشی از مقادیر بالای کربنات کلسیم در خاک‌های منطقه است. (Ayoubi *et al.*, 2009) نیز در بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر تولید جو در شمال ایران بین pH و عملکرد جو همبستگی منفی گزارش کردند.

افزایش کربنات‌ها در خاک در روند جذب عناصر غذایی به ویژه عناصر کم مصرف ایجاد اختلال می‌کند زیرا این عناصر در مجاورت آهک به صورت ترکیبات نامحلول در می‌آیند (Malakouti *et al.*, 2008). بنابراین همبستگی منفی CCE با مؤلفه‌های عملکرد را می‌توان به بالا بودن مقدار نسبی آهک در منطقه و اثرات منفی آن بر فراهمی عناصر غذایی نسبت داد. نتیجه به دست آمده با مطالعه (Shabani *et al.*, 2012) در منطقه سیسب استان خراسان شمالی مطابقت دارد.

مدل‌سازی رگرسیونی برای پیش‌بینی تولید

جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی تولید، وجود همبستگی بین

جدول ۱۱- مدل‌های رگرسیونی مؤلفه‌های عملکرد

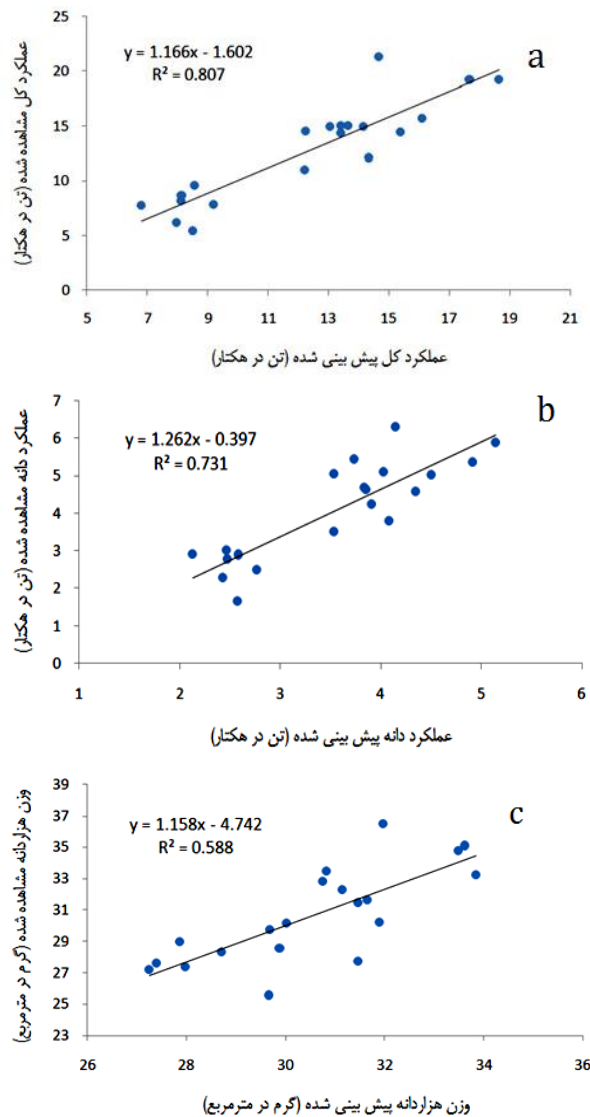
R ²	RMSE	ME	میانگین پیش‌بینی	میانگین مشاهده شده	مدل رگرسیون	متغیرهای مستقل
۰/۵۸	۲/۲۴	-۰/۱۶	۱۲/۵۹		Biomass = 0.005 (K) - 6.974 (pH) + 0.374 (OC) + 53.763	خاکی
۰/۶۲	۲/۹۰	-۰/۷۰	۱۲/۰۵	۱۲/۷۵	Biomass = - 0.108 (Elev) - 0.192 (Slope) - 234.792 (Curv) + 33.334	عملکرد کل (تن در هکتار)
۰/۶۴	۲/۰۷	-۰/۴۴	۱۲/۳۱		Biomass = - 0.132 (Elev) + 0.004 (K) + 30.508	خاکی و توپوگرافیکی
۰/۵۷	۱/۱۳	-۰/۸۶	۳/۲۱		Grain = 0.001 (K) - 2.357 (pH) + 0.038 (CEC) + 18.226	خاکی
۰/۵۹	۰/۹۳	-۰/۳۳	۳/۷۵	۴/۰۸	Grain = - 0.029 (Elev) - 71.628 (Curv) - 0.054 (Slope) + 9.485	عملکرد دانه (تن در هکتار)
۰/۶۱	۰/۸۸	-۰/۵۳	۳/۵۵		Grain = - 0.035 (Elev) + 0.001 (K) + 8.460	خاکی و توپوگرافیکی
۰/۴۲	۱/۷۶	-۰/۲۸	۳۰/۳۴		1000Seed = 0.206 (SP) - 0.179 (F) - 3.159 (pH) + 50.499	وزن هزاردانه (گرم در مترمربع)
۰/۳۳	۲/۲۶	۰/۰۹	۳۰/۷۲	۳۰/۶۳	1000Seed = - 0.094 (Elev) + 47.619	خاکی و توپوگرافیکی
۰/۵۰	۱/۹۲	-۰/۱۰	۳۰/۵۲		1000Seed = 0.229 (SP) - 0.064 (Elev) - 1.030 (P) - 0.141 (F) + 38.293	خاکی و توپوگرافیکی

عملکرد کل Biomass؛ عملکرد دانه Grain؛ وزن هزاردانه 1000Seed؛ شیب زمین Slope؛ ارتفاع Elev؛ انحنای سطح زمین Curv

است که تنها از عوامل محیطی استفاده شده و نقش عوامل وراثتی و ژنتیکی نادیده گرفته شده است. لحاظ نمودن ترکیبی از عوامل محیطی و گیاه‌شناسی احتمالاً موجب ارتقاء پیش‌بینی اجزای مختلف عملکرد خواهد شد.

در پژوهش حاضر ۳۶ تا ۶۷ درصد از تغییرات عملکرد (ضریب عدم تبیین) مربوط به تغییرات عواملی مانند مدیریت و خصوصیات وراثتی و گیاه‌شناسی گندم بوده است که در نظر گرفته نشده و بخشی دیگر از این موضوع را می‌توان به وجود روابط غیرخطی بین مؤلفه‌های عملکرد گندم و پارامترهای خاک و پستی و بلندی زمین نسبت داد.

شکل (۲) رابطه مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده را طبق معادله‌های رگرسیونی چندمتغیره و با استفاده از ۲۰ درصد نمونه‌های تصادفی کنار گذاشته شده برای اعتبارسنجی، نشان می‌دهد. برای این کار ابتدا مؤلفه‌های مختلف عملکرد برای این ۲۰ درصد از داده‌ها به وسیله مدل‌های رگرسیونی به دست آمده پیش‌بینی شد و سپس در مقابل مقادیر مشاهده شده بهترین خط عبوری از میان آن‌ها برآزش گردید. به‌طور کلی عملکرد یک پدیده غیرخطی و پیچیده است زیرا به عوامل مختلفی وابسته است و از سویی این عوامل نیز بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل مهم برای پایین بودن ضریب تبیین عملکرد در این پژوهش این



شکل ۲- مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده عملکرد کل (a)، عملکرد دانه (b) و وزن هزاردانه گندم (c) به روش رگرسیون چندمتغیره

مکانی تولید گندم برجای می‌گذارند. شیب نقش بسیار مهمی در مشخص نمودن وضعیت انحنای سطح زمین و شاخص خیزی و در نتیجه فرسایش خاک، حفظ رطوبت، رس و مواد آلی خاک

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان داد ویژگی‌های توپوگرافی از طریق تأثیر بر تغییرات رطوبتی و خصوصیات خاک‌ها نقش مهمی در تغییرات

عوامل مانند مدیریت در رشد و عملکرد محصولات کشاورزی در مقیاس اراضی مختلف، می‌توان با ورود چنین متغیرهایی به مدل بر اعتبار آن‌ها افزود. همان طور که نتایج نشان داد درصد ضریب تبیین برای پیش‌بینی عملکرد کل و دانه وقتی که فقط از متغیرهای خاکی استفاده شده است کمتر از مدل دیگر است. در نتیجه می‌توان اظهار داشت بدون انجام عملیات نمونه‌برداری خاک و تجزیه‌های وقت‌گیر و پرهزینه آزمایشگاهی، تنها با تهیه یک مدل DEM مناسب و استخراج شاخص‌های توپوگرافی بتوان پیش‌بینی نسبتاً قابل قبولی را برای عملکرد محصول گندم در شرایط مشابه اراضی توشن به دست آورد.

داشته و به این شکل عملکرد گندم دیم را در منطقه تعیین می‌نماید. به طور کلی وجود همبستگی‌های آماری بین مؤلفه‌های عملکرد و ویژگی‌های پستی و بلندی گویای این موضوع است که حرکت آب و فرایندهای هیدرولوژیکی و فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه بخش زیادی از تغییرپذیری مؤلفه‌های عملکرد را کنترل نموده است.

مطابق با مدل‌های پیش‌بینی تولید در این پژوهش، شاخص‌های پستی و بلندی به خوبی قادر به توجیه تغییرپذیری مکانی عملکرد است که این امر نشان‌دهنده اهمیت تأثیر بر توزیع رطوبت در فرآیند تولید محصول است. با توجه به نقش سایر

REFERENCES

- Agricultural Ministry of Iran, (2014). Office of statistics and information technology, bureau of agricultural statistics and information technology statistics. (In Farsi)
- Ajami, M., Heidari, A., Khormali, F., Gorji, M., and Ayoubi, Sh. (2016). Environmental factors controlling soil organic carbon storage in loess soils of a subhumid region, northern Iran. *Geoderma*, 281, 1-10.
- Ajami, M., Heidari, A., Khormali, F., Gorji, M., and Ayoubi, Sh. (2018). Effects of environmental factors on classification of loess-derived soils and clay minerals variations, northern Iran. *Journal of Mountain Science*, 15(5), 976-991.
- Ayoubi, Sh., Khormali, F., and Sahrawat K. L. (2009). Relationships of barley biomass and grain yields to soil properties within a field in the arid region: Use of factor analysis. *Acta Agriculture Scandinavica, Section B- Soil and Plant Science*, 59, 107-117.
- Basso, B., Ritchie, J. T., Cammarano, D., and Sartori, L. (2011). A strategic and tactical management approach to select optimal N fertilizer rates for wheat in a spatially variable field. *European Journal of Agronomy*, 35, 215-222.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54, 464-465.
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogene-total. In: Bigham, et al. (Eds.), *Methods of Soil Analyses, Part III, Chemical Methods*. SSSA, Madison, WI, 1085-1184.
- Chapman, H. D. (1965). Cation exchange capacity. In: *Methods of Soil Analysis. Part 2*. Black, C.A. (Ed.). *American Society of Agronomy*, Madison, Wisconsin, USA.
- Chirinda, N., Roncossek, S. D., Heckrath, G., Elsgaard, L., Thomsen, I. K., and Olesen, J. E. (2014). Root and soil carbon distribution at shoulderslope and footslope positions of temperate toposequences cropped to winter wheat. *Catena*, 123, 99-105.
- Ciha, A. J. (1984). Slope position and grain yield of soft white winter wheat. *Agronomy Journal*, 76, 193-196.
- Cox, M. S., Gerard, P. D., Wardlaw, M. C., and Abshire, M. J. (2003). Variability of selected soil properties and their relationships with soybean yield. *Soil Science Society of America Journal*, 67, 1296-1302.
- Evrendliek, F., Celik, I., and Kilic, S. (2004). Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forests, grassland and cropland ecosystems. *Journal of Arid Environments*, 59, 743-752.
- Florinsky, I. V., Eilers, R. G., Manning, G. R., and Fuller, L. G. (2002). Prediction of soil properties by digital terrain modelling. *Environmental Modelling & Software*, 17, 295-311.
- 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, 329-337.
- Iqbal, J., Read, J. J., Thomasson, A. J., and Jenkins, J. N. (2005). Relationships between soil-landscape and dryland cotton lint yield. *Soil Science Society of America Journal*, 69, 1-11.
- Jalota, S. K., Singh, S., Chahal, G. B. S., Ray, S. S., Panigrahy, S., Singh, B., and Singh, K. B. (2010). Soil texture, climate and management effects on plant growth, grain yield and water use by rainfed maize-wheat cropping system: Field and simulation study. *Agricultural Water Management*, 97, 83-90.
- Jiang, P., and Telen K. D. (2004). Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central cornsoybean cropping system. *Agronomy Journal*, 96, 252-258.
- Johnen, T., Boettcher, U., and Kage, H. (2014). An analysis of factors determining spatial variable grain yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy*, 52, 297-306.
- Kemper, W. D., and Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I: Physical Analysis*. Soil Science Society of America. Madison, WI, 425-442.

- Khajehpour, M. R. (2013). Cereal crops. Isfahan University of Technology. 763 p. (In Farsi)
- Kravchenko, A. N., and Bullock, D. G. (2000). Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal*, 92, 75-83.
- Kravchenko, A. N., Robertson, G. P., Thelen, K. D., and Harwood, R. R. (2005). Management, topographical, and weather effects on spatial variability of crop grain yields. *Agronomy Journal*, 97, 514-523.
- Kumhálová, J., Matejkova, S., Fiferová, M., Lipavsky, J. and Kumhála, F. (2008). Topography impact on nutrition content in soil and yield. *Plant Soil and Environment*, 54(6), p.255.
- Malakouti, M. J., Keshavarz, P., and Karimian, N. (2008). A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies & optimal fertilization for sustainable agriculture. Tarbiat Modares University Press. (In Farsi)
- McLean, E.O. (1982). Soil pH and lime requirement. In: Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed., *Agronomy*, 9, 199-224.
- Mehnatkesh, A. (2014). Determination of the most important factors on rainfed wheat production using sensitivity analysis in hilly land of central Zagros. *First National Conference on Soil and Water Management in Wheat Production*, Tehran, Iran. (In Farsi)
- Mohammadi, J. (2008). *Pedometrics (Terrain analysis)*. Pelk publications. 430 p. (In Farsi)
- Nelson, D. W., and Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed., *Agronomy*, 9, 539-579.
- Norouzi, M, Jalalian, A, Ayoubi, Sh, and Khademi, H. (2009). Relationship between Wheat Yield and Terrain Attributes in Ardal Region, Charmahal and Bakhtiari Province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12 (46), 759-770. (In Farsi).
- Norouzi, M., Ayoubi, Sh., Jalalian, A., Khademi, H. and Dehghani, A.A. (2010). Predicting rainfed wheat quality and quantity by artificial neural network using terrain and soil characteristics. *Acta Agriculturae Scandinavica*, Section B-Soil and Plant Science, 60(4), 341-352.
- Nour-Mohammadi, G., Siadat, A. and Kashani, A. (1997). *Agronomy (Vol. 1: Cereal crops)* Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran, 446 p. (In Farsi).
- Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., and Dean, L. A. (1954). Estimation of available P in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA circular*, 939, 1-19.
- Page, A. L., Miller, R. H. and Keeney, D. R. (1982). *Methods of Soil Analysis*. 2th ed. Part 2: Chemical and biological properties. Soil Sci Soc Am Inc. publisher.
- Pan, G., Smith, P., and Pan, W. (2009). The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129, 344-348.
- Plante, A. F., Conant, R. T., Stewart, C. E., Paustian, K., and Six, J. (2006). Impact of soil texture on the distribution of soil organic matter in physical and chemical fractions. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 287-296.
- Reyniers, M., Maertens, K., Vrindts, E., and DeBaerdemaeker, J. (2006). Yield variability related to landscape properties of a loamy soil in central Belgium. *Soil & Tillage Research*, 88, 262-273.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soil*. USDA Hand book, No. 60, Washington DC., 160 p.
- Salinity Laboratory Staff, (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, No. 60. USDA-NRCS, Washington DC.
- Shabani, A., Haghnia, Gh., 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)
- Sinai, G., Zaslavsky, D., and Golany, P. (1981). The effect of soil surface curvature on moisture and yield-Beer Sheba observation. *Soil Science*, 132(5), 367-375.
- Slobodian, N., VanRees, K., and Pennock, D. (2002). Cultivation-induced effects on belowground biomass and organic carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 924-930.
- Solomon, D., Fritzsche, F. Tekalign, M., Lemann J., and Zech, W. (2002). Soil organic matter composition in the subhumid Ethiopian highlands as influenced by deforestation and agricultural management. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 68-82.
- Souza, Z. M., Cerri, D. G. P., Magalhes, P. S. G., and Siqueira, D. S. (2010). Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. *Engenharia Agricola Ambiental*, 14, 1250-1256.
- Timlin, D. J., Pachepsky, Y., Snyder, V. A., and Bryant, R. B. (1998). Spatial and temporal variability of corn grain yield on a hillslope. *Soil Science Society of America Journal*, 62(3), 764-773.
- USDA (United States Department of Agriculture), (1998). *Soil Quality Information Sheet*. Soil Quality Resource Concerns: Soil Biodiversity.
- VanWambeke, A. (1992). *Soils of the Tropics - Properties and Appraisal*. McGraw-Hill, New York.