نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دوازدهم، شماره اول، بهار ۹۸
۱۴۳-۱۶۰
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.15630.2165

توصیف آماری متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک موثر بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم با استفاده از رگرسیون گام به گام

سرور خرم دل[1*]، جواد شباهنگ[2] و راحله احمدزاده قویدل[2]

[1]دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

[2]دکتری بوم‌شناسی زراعی گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۷/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نقشی کلیدی در درک تغییرات مکانی در بهره‌وری مزارع کشاورزی دارد (۲۵). تغییرات عملکرد تحت تأثیر عوامل مهمی همچون تغییرات مکانی بافت، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، فراهمی عناصر غذایی خاک و مدیریت زراعی می‌باشد (۴۹). تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به طور مستقیم بر رشد و عملکرد گیاه زراعی مؤثر می‌باشد (۱۸ و ۴۳). از این‌رو، درک تغییرات مکانی خصوصیات خاک در بوم‌نظام‌های زراعی برای بهینه‌سازی نهاده‌های کشاورزی و عملکرد ضروری می‌باشد که این تغییرات به طور معنی‌داری در بهره‌وری خاک در بوم نظام‌های زراعی تاثیر دارد (۱۸و ۳۴). بنابراین، اهداف این مطالعه شامل (۱) ارزیابی اثر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر شاخص‌های عملکرد گندم آبی و (۲) تعیین همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد این گیاه بودند.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری به روش تصادفی- سیستماتیک از ۵۰ مزرعه در استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. خصوصیات مورد مطالعه شامل بافت، ماده آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل دسترس، فسفر قابل دسترس، اسیدیته و نسبت کربن به نیتروژن خاک و عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن ۱۰۰۰ دانه و شاخص برداشت گندم بودند. به منظور تعیین رابطه بین پارامترهای خاک (متغیرهای مستقل) و شاخص‌های عملکرد گندم (متغیرهای وابسته) از رگرسیون چندگانه استفاده شد و برای شناسایی تأثیرگذارترین عوامل از بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر خصوصیات عملکرد، آنالیز رگرسیون گام به گام انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت گندم آبی به ترتیب برابر با ۳۸۱۶/۲۷ کیلوگرم بر هکتار، ۱۱۰۷۹/۰۷ کیلوگرم بر هکتار، ۳۴۱/۹۱ سنبله در متر مربع، ۳۷/۹۶ دانه در سنبله، ۳۸/۱۹ گرم و ۳۵/۷۲ درصد بدست آمد. بیشترین و کمترین ضریب تغییرات به ترتیب برای تعداد سنبله در مترمربع (۰/۷۸) و عملکرد بیولوژیکی (۰/۱۳) محاسبه شد. اثر بافت‌های مختلف خاک بر خصوصیات شیمیایی خاک و عملکرد گندم معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. بالاترین میزان ماده آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل دسترس و اسیدیته برای بافت رسی شنی به ترتیب برابر با ۲/۴۱ درصد، ۰/۳۱ درصد، ۱۹۹ پی‌پی‌ام، ۰/۰۵ پی‌پی‌ام و ۷/۵۶ بدست آمد. بالاترین عملکرد دانه براب بافت رسی (با ۴۳۱۳/۸۳ کیلوگرم بر هکتار) بیشترین عملکرد بیولوژیکی برای بافت لومی رسی سیلت (با ۱۱۹۲۴/۸۶ کیلوگرم بر هکتار) حاصل گردید. بالاترین ضریب همبستگی برای درصد ماده آلی با وزن هزار دانه ($r=$۰/۹۳۵**) بدست آمد.

*نویسنده مسئول: khorramdel@um.ac.ir

مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک موثر بر عملکرد دانه بر اساس آنالیز رگرسیون گام به‌ترتیب رتبه شامل درصد ماده آلی و فسفر قابل دسترس بودند.

نتیجه‌گیری: پایداری دراز مدت بوم‌نظام‌های زراعی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و به ویژه حاصلخیزی آن وابسته می‌باشد. مدیریت ضعیف خاک باعث تخریب خاک و کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شود. نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌کند که از رهیافت‌های مدیریت زراعی برای حفظ پایداری خاک و عملکرد بهره‌گیری شود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، تولید پایدار، رگرسیون چندگانه، ماده آلی

مقدمه

کیفیت خاک[1] یکی از مهمترین خصوصیات تأثیرگذار بر پایداری تولید محسوب می‌شود و حاصلخیزی شاخصی کیفی برای دستیابی به مدیریت پایدار است (۲۵). ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی یا ترکیبی از آنها بوده (۲، ۱۶، ۲۳، ۲۷ و ۴۰) که نسبت به نوع عملیات مدیریتی (۵۰) و تغییر کاربری زمین (۲) حساس هستند. بنابراین، ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به عنوان مبنای تولید، حفاظت و مدیریت صحیح آن برای حفظ کیفیت و ارتقاء حاصلخیزی الزامی است (۵۲). علاوه بر این، برنامه مدیریتی صحیح خاک و تغذیه گیاهی نیازمند آگاهی از کمیت متغیرهای مکانی و برهمکنش تأثیر بر عملکرد محصول است (۴۳). با توجه به عدم همگنی و غیریکنواختی خصوصیات خاک (۱۸)، به ویژه قبل از هر مطالعه پیشنهاد می‌شود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به طور نسبتاً جامع و دقیق ارزیابی و تعیین گردد (۳۴).

طی دو دهه اخیر ارزیابی تغییرپذیری مکانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های اراضی کشاورزی و مراتع اهمیت زیادی در مدیریت پایدار داشته است (۱۰، ۱۱ و ۳۲). شوکلا و همکاران (۲۰۰۶) با آنالیز شاخص‌های کیفیت خاک اظهار داشتند که کربن آلی خاک نقش مؤثری در بهبود کیفیت دارد (۴۵). کاکس و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی روابط بین خصوصیات خاک و عملکرد سویا نشان دادند که تغییرپذیری عملکرد به شدت تحت تأثیر مشخصه‌هایی از قبیل ارتفاع، شیب، بافت و عوامل حاصلخیزی خاک همچون محتوی N، P، K، Ca و Mg می‌باشد(۱۴). در مطالعه‌ای دیگر، کاسپار و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی همبستگی بین عملکرد ذرت و سویا با مجموعه‌ای از متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک نشان دادند که عملکرد سویا در سال‌های مرطوب تحت تأثیر اسیدیته بالا و موقعیت اراضی قرار می‌گیرد؛ در حالی‌که در سال‌های خشک این فاکتورها تأثیری بر عملکرد ندارند (۲۸).

در کشورهای در حال توسعه به دلیل مدیریت‌های انفرادی کشاورزان در مزارع کوچک، تغییرپذیری محتوی عناصر غذایی در خاک بسیار بیشتر از اراضی بزرگ است (۵۲). از طرفی به علت آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی و از طرفی، بهبود کارکردهای خاک، توجه به کیفیت آن دارای اهمیت اقتصادی نیز می‌باشد (۴۹). کیفیت خاک در اغلب اراضی کشاورزی تحت تأثیر عوامل محدود کننده‌ای از قبیل درجه حرارت، وضعیت نامناسب حاصلخیزی، ظرفیت نگهداری پایین آب، اسیدیته زیاد، کربن آلی پایین و غلظت بالای املاح و نمک قرار دارد. گیلیام و دیک (۲۰۱۰) نیز بر ناهمگنی توزیع مکانی عناصر غذایی

1. Soil quality indicators

در خاک تحت تاثیر نوع مدیریت زراعی تأکید کردند (۱۸). کشاورزان معمولاً منابع کودی را با نسبت‌های زیاد و ثابت و با اعمال مدیریت یکسان بدون توجه به نتایج آزمون خاک در هر فصل کشت مورد استفاده قرار می‌دهند. در حالی‌که به دلیل وجود تغییرپذیری خصوصیات خاک و تأثیر آن بر عملکرد، مصرف بهینه کودها در صورت کاربرد مقادیر متغیر آن حاصل می‌شود (۲۰، ۴۶ و ۵۲).

بر اساس آخرین گزارش موجود، سطح زیر کشت گندم آبی در کشور در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ برابر با ۲۰۴۵۴۶۸ هکتار و میزان تولید آن ۸۸۸۳۲۹۱ تن گزارش شده است. میزان تولید و سطح زیر کشت غلات در استان خراسان رضوی به‌ترتیب ۹۶۲۲۹۱ تن و ۳۵۳۳۸۴ هکتار می باشد که از این میزان سطح زیر کشت و تولید گندم آبی در این استان به‌ترتیب برابر با ۱۷۴۱۴۷ هکتار و ۵۹۶۶۴۵ تن گزارش شده شده است (۳۵).

بنابراین، با توجه به این مطلب که ارزیابی الگوهای تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک و عملکرد در بوم‌نظام‌های کشاورزی جهت بهره‌وری پایدار از منابع (۳۸) و کاهش هزینه‌های تولید اهمیت زیادی دارد، این مطالعه با هدف بررسی وضعیت عناصر غذایی خاک و درک فاکتورهای مؤثر بر کیفیت خاک و عملکرد گیاه گندم آبی، تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک در مزارع این گیاه در استان خراسان رضوی با استفاده از روش‌های آماری و رگرسیون گام به گام انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از ۵۰ مزرعه (با حداقل مساحت ۱/۵ هکتار به منظور ایجاد یکنواختی در داده‌برداری) در هشت شهرستان استان خراسان رضوی (شامل مشهد، نیشابور، سبزوار، تربت حیدریه، تربت جام، گناباد، بردسکن و فیض‌آباد) در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. لازم به ذکر است مزارع انتخابی از نظر نوع مدیریت زراعی همچون تاریخ کاشت، میزان مصرف کودهای شیمیایی، شیوه آبیاری، رقم (پیشگام) و غیره یکسان بودند. در ۱۵ نقطه از هر مزرعه به صورت سیستماتیک (۱۳) از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه ارسال و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شامل بافت، محتوی ماده آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل دسترس، فسفر قابل دسترس و اسیدیته اندازه‌گیری و محاسبه شد.

جهت تعیین محتوی کربن آلی خاک از روش اکسایش با دی‌کرومات استفاده شد (۴۸). به‌منظور محاسبهٔ مقدار مادهٔ آلی خاک از معادله (۱) استفاده شد (۳۹):

$$OM = OC \times 1.72 \quad \text{معادله (۱)}$$

که در این رابطه، OC و OM: به‌ترتیب مقدار کربن آلی (درصد) و مقدار مادهٔ آلی (درصد) در ذرات کمتر از ۰/۵ میلی‌متر خاک می‌باشد.

تعیین میزان نیتروژن با استفاده از کجلدال انجام شد (۵). میزان فسفر و پتاسیم نمونه خاک به ترتیب با استفاده از روش‌های اولسن (۱۹۵۴) و وارلی (۱۹۶۶) اندازه‌گیری شد (۳۷ و ۴۷).

در پایان فصل رشد گندم از همان ۱۵ نقطه مشخص شده در ۵۰ مزرعه ذکر شده در فوق، کوادرات‌هایی به اندازه یک مترمربع جهت تعیین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و اجزای عملکرد شامل تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و وزن ۱۰۰۰ دانه برداشت و اندازه‌گیری‌های مربوطه انجام شد. لازم به ذکر است بوته‌ها پس از برداشت هوا خشک و سپس شاخص‌های مربوطه اندازه‌گیری گردید.

برای شناسایی مهمترین خصوصیات شیمیایی مؤثر بر عملکرد و حذف متغیرهای غیرضروری، آنالیز

رگرسیون گام به گام انجام شد. بر این اساس، شاخص‌های عملکرد به‌عنوان متغیرهای وابسته و خصوصیات شیمیایی خاک به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. برای محاسبه عوامل مؤثر از فرم عمومی رگرسیون (معادله ۲) استفاده شد.

معادله (۲) $Y=f(x_1, x_2, \ldots. x_n)$

بر اساس آن، معادله رگرسیون خطی (معادله ۳) مدنظر قرار گرفت.

معادله (۳) $Y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+\ldots b_nx_n$

قابل ذکر است از آنجا که وزن داده‌ها با یکدیگر متفاوت بود، لذا داده‌ها استاندارد شدند تا ضریب ارائه شده از وزن تبعیت کند. تجزیه و تحلیل داده‌ها و آنالیز رگرسیون گام به گام به منظور گزینش متغیرها با نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. جهت تعیین ضرایب همبستگی خصوصیات شیمیایی خاک با ویژگی‌های عملکرد گندم آبی از نرم‌افزار Sigma Plot و روش پیرسون استفاده شد.

نتایج و بحث

میانگین خصوصیات شیمیایی خاک در مزارع گندم آبی در استان خراسان رضوی شامل میزان ماده آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل دسترس، فسفر قابل دسترس، اسیدیته و C:N به‌ترتیب ۱/۶۸ درصد، ۰/۱۸ درصد، ۱۳۸ پی‌پی‌ام، ۰/۰۸ پی‌پی‌ام، ۷/۳۳ و ۸/۶۴ محاسبه شد (جدول ۱). دامنه ضریب تغییرات برای خصوصیات خاک مزارع گندم در استان خراسان رضوی ۰/۶۳-۰/۰۱ محاسبه گردید که کمترین میزان مربوط به pH و بیشترین میزان برای فسفر قابل دسترس بدست آمد (جدول ۱).

جدول ۱- توصیف آماری متغیرهای عملکرد گندم آبی و خصوصیات شیمیایی خاک

Table 1. Statistical description of irrigated wheat yield and soil chemical criteria

متغیر Variable	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	ضریب تغییرات Coefficient variance	اشتباه استاندارد Standard error
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	1.68	2.41	0.95	0.24	0.05
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	0.18	0.31	0.05	0.48	0.01
پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	138.00	199.00	77.00	0.26	5.13
فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	0.08	0.15	0.01	0.63	0.0035
pH	7.33	7.56	7.10	0.01	0.02
C:N	8.64	16.40	0.88	0.54	1.33
عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	3811.27	4313.83	3308.70	0.20	102.37
عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	11079.07	11924.86	10233.28	0.13	198.40
تعداد سنبله در متر مربع Number of spikes per m^2	341.91	365.11	318.71	0.78	22.12
تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	37.96	48.89	27.03	0.45	7.13
وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	38.19	49.35	27.03	0.15	0.74
شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	35.60	38.80	32.39	0.16	0.83

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر بافت‌های مختلف خاک بر خصوصیات شیمیایی خاک و شاخص‌های عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی

Table 2- Mean comparisons for the effect of soil different textures on soil chemical criteria and yield indices of irrigated wheat in Khorasan-e Razavi Province

بافت Texture	لومی Loam	شنی لومی Loamy sand	رسی شنی Sandy clay	لومی شنی Sandy loam	رسی Clay	لومی رسی سیلت Silty clay loam	لومی رسی Clay loam	F
تعداد نمونه Sample number	8	5	4	5	5	14	9	
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	1.41b	1.75b	2.41a	1.49b	0.95c	1.49b	1.70b	35.13**
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	0.05c	0.16b	0.31a	0.13b	0.12bc	0.12bc	0.16b	125.78**
پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	122.33c	153.77b	199.00a	139.60bc	77.00d	132.0c	148.25b	45.09*
فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	0.13a	0.15a	0.14a	0.09ab	0.01b	0.08ab	0.14a	79.98**
pH	7.29ab	7.32ab	7.56a	7.10b	7.12b	7.36ab	7.45a	198.89**
C:N	16.40a	0.88d	4.52c	6.66b	4.60c	7.22b	6.18bc	204.34**
عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	3738.84b	3578.34bc	3506.68bc	3318.70d	4313.83a	3944.28b	3339.47d	398.78**
عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	11273.37b	10747.87c	10421.96cd	10245.12d	11118.12b	11924.86a	10233.28d	567.02**
تعداد سنبله در مترمربع Number of spikes per m^2	345.52b	334.02bc	329.02c	318.71d	365.11a	340.09b	325.21c	67.03**
تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	45.06ab	32.04c	29.21d	27.03d	48.89a	37.03b	30.01c	21.32**
وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	33.22b	47.21a	49.35a	27.03c	33.66b	34.18b	37.13b	23.12**
شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	33.17b	33.29b	33.65b	33.02bc	38.80a	33.10bc	32.63c	5.87*

* و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: are significant at 5 and 1 percent of probability levels, respectively.

میانگین عملکرد و اجزای عملکرد گندم آبی در بوم‌نظام‌های زراعی استان خراسان رضوی شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت به ترتیب برابر با ۳۸۱۶/۲۷ کیلوگرم بر هکتار، ۱۱۰۷۹/۰۷ کیلوگرم بر هکتار، ۳۴۱/۹۱ سنبله در متر مربع، ۳۷/۹۶ دانه در سنبله، ۳۸/۱۹ گرم و ۳۵/۷۲ درصد بدست آمد. دامنه ضریب تغییرات برای شاخص‌های عملکرد گندم در استان خراسان رضوی ۰/۷۸-۰/۱۳ تعیین شد که کمترین و بیشترین میزان به ترتیب مربوط به عملکرد بیولوژیکی و تعداد سنبله در متر مربع بود (جدول ۱).

اثر بافت‌های مختلف خاک بر خصوصیات شیمیایی خاک در مزارع گندم آبی در استان خراسان

رضوی معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود. به طوری‌که بالاترین میزان ماده آلی، نیتروژن کل، پتاسیم قابل دسترس و اسیدیته برای خاک رسی شنی به ترتیب برابر با ۲/۴۱ درصد، ۰/۳۱ درصد، ۱۱/۰۰ پی‌پی‌ام و ۷/۵۶ بدست آمد. همچنین بیشترین مقدار فسفر قابل دسترس (۰/۱۵ پی‌پی‌ام) برای خاک با بافت شنی لومی و بالاترین نسبت C:N برای بافت لومی (۱۶/۴۰) بدست آمد. کمترین مقادیر ماده آلی، پتاسیم قابل دسترس و فسفر قابل دسترس برای خاک رسی به ترتیب برابر با ۰/۹۵ درصد، ۷۷/۰۰ درصد و ۰/۰۱ پی‌پی‌ام بدست آمد. کمترین مقدار نیتروژن کل (۰/۰۵ درصد) مربوط به خاک لومی، اسیدیته (۷/۱۰) برای خاک لومی شنی و C:N (۰/۸۸) مربوط به خاک شنی لومی بود (جدول ۲).

بالاترین عملکرد دانه، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت برای خاک رسی به ترتیب برابر با ۴۳۱۳/۸۳ کیلوگرم بر هکتار، ۳۶۵/۱۱ سنبله در متر مربع، ۴۸/۸۹ دانه در سنبله و ۳۸/۸۰ درصد بدست آمد. بالاترین مقدار عملکرد بیولوژیکی و وزن هزار دانه به ترتیب مربوط به بافت خاک لومی رسی سیلت و رسی شنی به ترتیب برابر با ۱۱۹۲۴/۸۶ کیلوگرم بر هکتار و ۴۹/۳۵ گرم بود. کمترین عملکرد دانه، تعداد سنبله در متر مربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و شاخص برداشت برای خاک لومی شنی به ترتیب برابر با ۳۳۰۸/۷۰ کیلوگرم بر هکتار، ۳۱۸/۷۱ سنبله در متر مربع، ۲۷/۰۳ دانه در سنبله، ۲۷/۰۳ گرم و ۳۲/۳۹ درصد بدست آمد. کمترین عملکرد بیولوژیکی مربوط به خاک با بافت لومی رسی با ۱۰۲۳۳/۲۸ کیلوگرم بر هکتار بود (جدول ۲).

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین خصوصیات شیمیایی خاک با ویژگی‌های عملکرد گندم آبی

Table 3. Correlation coefficient between biochemical criteria of soil and yield characteristics of irrigated wheat

متغیر Variable	ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	pH	C:N
عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield (kg.ha^{-1})	0.809** 0.0001	0.778** 0.0001	-0.773** 0.0001	0.421** 0.002	0.388ns 0.105	-0.233ns 0.432
عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (kg.ha^{-1})	0.914** 0.0001	0.872** 0.0001	-0.883** 0.0001	0.428** 0.002	0.331ns 0.119	-0.688ns 0.213
تعداد سنبله در متر مربع Number of spikes per m^2	0.786** 0.0001	0.791** 0.0001	-0.784** 0.0001	0.523* 0.002	0.301ns 0.125	-0.112ns 0.621
تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	0.713** 0.0001	0.785** 0.0001	-0.813** 0.001	0.534* 0.023	0.219ns 0.523	-0.109ns 0.821
وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	0.935** 0.0001	0.874** 0.0001	-0.882** 0.0001	0.514** 0.0001	0.441ns 0.231	-0.627ns 0.123
شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	0.840** 0.0001	0.469** 0.001	-0.368** 0.009	0.324* 0.022	0.377ns 0.217	-0.195ns 0.176

*، ** و ns : به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار می‌باشند.

*, ** and * and ns: are significant at 5 and 1% probability levels and non significant, respectively.

همانگونه که در جدول ۳ نشان داده شده است. ضرایب همبستگی بین خصوصیات شیمیایی خاک با شاخص‌های عملکرد گندم آبی در تمام موارد بجز اسیدیته و C:N با شاخص‌های عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم آبی معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود. همچنین رابطه تمام خصوصیات شیمیایی خاک بجز

C:N و پتاسیم قابل دسترس خاک با عملکرد و شاخص‌های عملکرد دانه گندم مثبت تعیین گردید. در مقایسه سایر خصوصیات خاک بالاترین ضریب همبستگی برای درصد ماده آلی با وزن هزار دانه ($r=۰/۹۳۵^{**}$) بدست آمد. همچنین در مقایسه ضرایب همبستگی برای C:N با شاخص‌های عملکرد، کمترین ضریب برای عملکرد بیولوژیکی ($r=-۰/۶۸۸^{**}$) محاسبه شد (جدول ۳).

ضرایب ارائه شده برای محتوی ماده آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس خاک با عملکرد دانه معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۵$) بود. بالاترین ضریب برای محتوی ماده آلی (۰/۸۲) محاسبه شد. رابطه عملکرد دانه با کلیه خصوصیات خاک بجز محتوی پتاسیم قابل دسترس مثبت برآورد گردید. به طوری‌که به ازای افزایش هر واحد ماده آلی، فسفر قابل دسترس، نیتروژن کل و اسیدیته، عملکرد دانه به‌ترتیب ۱۰/۷۸، ۰/۰۸، ۲/۱۳ و ۱/۰۱ واحد افزایش و به ازای افزایش هر واحد پتاسیم قابل دسترس، این شاخص ۱/۱۳ واحد کاهش می‌یابد (جدول ۴). مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک موثر بر عملکرد دانه بر اساس آنالیز رگرسیون گام به گام به‌ترتیب رتبه شامل درصد ماده آلی و فسفر قابل دسترس بودند. میزان تغییرات این خصوصیات به تنهایی بر عملکرد دانه به‌ترتیب برابر با ۰/۶۵۶ و ۰/۰۳ تعیین گردید (جدول ۵).

جدول ٤- رابطه بین عملکرد دانه گندم آبی با خصوصیات شیمیایی خاک

Table 4. Relationship between seed yield of irrigated wheat and soil chemical properties

خصوصیات خاک Soil Particulars	ضریب استاندارد Standard coefficient	ضریب واقعی True coefficient	t_b
عرض از مبداء Intercept	-	172.345	1.62^{ns}
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	0.823	10.782	5.674**
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	0.124	2.126	3.128*
پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	-0.125	-1.128	-0.091^{ns}
فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	0.698	0.084	3.72*
pH	0.177	1.012	0.61^{ns}
مدل $R^2 = 0.81$ Model $R^2= 0.81$			

جدول ٥- مهمترین فاکتورهای شیمیایی خاک مؤثر بر عملکرد دانه گندم آبی حاصل از آنالیز رگرسیون گام به گام

Table 5. Important soil chemical factors on seed yield of irrigated wheat by using analysis using stepwise regression

متغیر خاک Soil variable	رتبه تأثیر Impact rating	ضریب تبیین جزئی Partial correlation coefficient	ضریب تبیین تجمعی Cumulative correlation coefficient	F
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	1	0.656	0.6556	90.12**
فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	2	0.031	0.686	3.036*

ضرایب محاسبه شده تنها برای محتوی ماده آلی و نیتروژن کل خاک با عملکرد بیولوژیکی گندم آبی معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۵$) بود. بالاترین ضریب برای ماده آلی (۱/۲۳) محاسبه شد. رابطه عملکرد بیولوژیکی با

کلیه خصوصیات خاک بجز محتوی پتاسیم قابل دسترس مثبت تعیین گردید. همچنین افزایش هر واحد ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و اسیدیته به‌ترتیب افزایش ۳۴/۰۱، ۹/۱۱، ۰/۱۲ و ۰/۰۸ واحدی عملکرد بیولوژیکی را به دنبال دارد. در حالی‌که با افزایش هر واحد پتاسیم قابل دسترس عملکرد بیولوژیکی ۱/۰۹ واحد کاهش می‌یابد (جدول ۶). مؤثرترین عامل شیمیایی خاک تاثیرگذار بر عملکرد بیولوژیکی بر اساس آنالیز رگرسیون گام به گام، درصد ماده آلی بود که تغییرات عملکرد بیولوژیکی به تنهایی تحت تأثیر این خصوصیت برابر با ۰/۸۸ بدست آمد (جدول ۷).

جدول ٦- رابطه بین عملکرد بیولوژیکی گندم آبی با خصوصیات شیمیایی خاک

Table 6. Relationship between biological yield of irrigated wheat and soil chemical properties

خصوصیات خاک Soil Particulars	ضریب استاندارد Standard coefficient	ضریب واقعی True coefficient	t_b
عرض از مبداء Intercept	-	-145.231	-1.66^{ns}
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	1.231	34.01	14.23**
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	1.001	9.112	4.078*
پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	-0.911	-1.089	-1.08^{ns}
فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	0.008	0.121	1.09^{ns}
pH	0.012	0.081	1.07^{ns}
	مدل $R^2 = 0.84$ Model $R^2 = 0.84$		

جدول ۷- مهمترین فاکتورهای شیمیایی خاک مؤثر بر عملکرد بیولوژیکی گندم آبی حاصل از آنالیز رگرسیون گام به گام

Table 7. Important soil chemical factors on biological yield of irrigated wheat by using analysis using stepwise regression

متغیر خاک Soil variable	رتبه تأثیر Impact rating	ضریب تبیین جزئی Partial correlation coefficient	ضریب تبیین تجمعی Cumulative correlation coefficient	F
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	۱	0. 878	0.878	3.14*

رشد و تولید گیاهان زراعی بستگی به ترکیب متعادلی از فراهمی عناصر غذایی در خاک و شرایط اقلیمی مناسب دارد. به‌طور کلی، دستیابی به تولید بهینه گیاه به همبستگی بین خصوصیات ژنتیکی گیاهان و عوامل خاک همچون ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر اسیدیته، ماده آلی و قابلیت جذب عناصر ارتباط دارد (۲۲). تغییرپذیری خصوصیات خاک نیز از طریق جذب عناصر بر رشد و عملکرد تاثیر دارد (۴۴). البته، عناصر غذایی نیز با یکدیگر اثر متقابل و معنی‌داری داشته که از طریق میزان فراهمی عناصر غذایی، رشد و عملکرد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهند (۱۷). در این میان، میزان ماده آلی به عنوان یکی از مهمترین عوامل خاک موثر بر رشد و عملکرد، به عنوان شاخص حاصلخیزی، سلامت و کیفیت خاک نیز مطرح می‌باشد (۲۲ و ۴۱). بررسی‌ها نشان داده است که محتوی کربن ذخیره شده در خاک و نیتروژن نقش مهمی در بهبود عملکرد دانه گندم به ویژه در مرحله پر شدن دانه (به عنوان یکی از مراحل حساس

رشدی این گیاه) در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفاء می‌کنند (۲۲).

نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی بوده که کمبود آن در بیشتر مزارع گندم و همچنین در مراحل مختلف رشد این گیاه گزارش شده است (۲۲). اثر نیتروژن بر بهبود عملکرد دانه به واسطه افزایش تعداد پنجه در واحد سطح، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه و میزان تجمع ماده خشک مورد تایید محققان می‌باشد (۲۲). همچنین معنی‌دار بودن تأثیر کودهای نیتروژنی بر افزایش عملکرد دانه و ماده خشک غلات در اغلب مطالعات تأیید شده است (۲۹ و ۳۵). اگرچه این امر بدیهی به‌نظر می‌رسد و محققین بخش عمده افزایش عملکرد غلات در دهه‌های اخیر را به کاربرد کودهای نیتروژنی مربوط می‌دانند (۱۹)، ولی دوبرمن و کاسمن (۲۰۰۴) بیان داشتند که بین میزان نیتروژن معدنی خاک (نیتروژن قابل استفاده) و مقدار نیتروژن کودی مورد نیاز گیاهان زراعی رابطه خطی معکوس وجود دارد که شیب این خط به گونه زراعی بستگی داشته و در مورد گندم حدود ۱ می‌باشد (۱۵).

کارآیی نامطلوب مصرف نیتروژن که عمدتاً ناشی از پایین بودن کارآیی جذب آن است، مهمترین عامل مصرف زیاد این نهاده می‌باشد (۱۲). کارآیی مصرف نیتروژن در غلات که در سال ۱۹۶۵ میلادی ۲۲۴ کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن مصرفی بوده که در سال ۱۹۸۵ به ۵۲ و در سال ۲۰۰۰ به ۴۴ کیلوگرم دانه به ازای کیلوگرم نیتروژن کودی تقلیل یافته است (۱۹). به‌علاوه، از آنجا که بهره‌وری نیتروژن در شرایط آزمایشی به‌مراتب بالاتر از مزارع است (۱۲)، کشاورزان معمولاً کود بیشتری نسبت به مقدار توصیه شده مصرف می‌کنند که به‌نوبه خود مشکلات جدی را برای محیط زیست و سلامتی انسان به‌وجود خواهد آورد. بر این اساس، از آنجا که پایداری درازمدت نظام‌های زراعی به کیفیت حاصلخیزی خاک وابسته می‌باشد (۲۶ و ۳۴) و با توجه به اهمیت نیتروژن در بهبود رشد و عملکرد گیاه (۲۲)، بکارگیری راهکارهای مدیریت زراعی این عنصر مانند تقسیط مصرف کود، همزمانی زمان مصرف کود با حداکثر نیاز گیاه به منظور افزایش کارایی مصرف نیتروژن حائز اهمیت می‌باشد. علاوه بر این، بکارگیری سیستم‌های خاکورزی حفاظتی و کاشت ارقام اصلاح شده با پتانسیل بالای کارایی مصرف نیتروژن نیز از دیگر راهکارهای مدیریتی دستیابی به این مهم در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشند.

فراهمی عناصر غذایی در خاک ارتباط زیادی با خصوصیات خاک همچون اسیدیته، شوری، میزان آهک و گچ، ماده آلی و سایر عوامل دارد که جذب عناصر را به میزان زیادی متأثر می‌سازد (۲۴). همیلتون و گیلبرت (۱۹۷۲) نتیجه گرفتند که مهمترین عامل ادافیکی مؤثر در جذب عناصر، اسیدیته می‌باشد (۲۷). نتایج هیو و همکاران (۱۹۸۸) مؤید آن است که در اسیدیته‌های پایین، عناصر آهن، مس، منگنز، بر و روی و در اسیدیته‌های خنثی، فسفر و نیتروژن و در اسیدیته‌های بالا پتاسیم، گوگرد، کلسیم، منیزیم و مولیبدن فراهمی بالاتری دارند (۲۴). اگرچه برخلاف نظر این محققان، اثر اسیدیته بر شاخص‌های عملکرد معنی‌دار نبود که این امر احتمالاً به میزان زیادی وابسته به موقعیت اقلیمی منطقه و تا حدودی مدیریت زراعی می‌باشد، با این‌وجود، به منظور دستیابی به عملکرد مطلوب در بوم‌نظام‌های زراعی بایستی خصوصیات شیمیایی خاک را مدنظر قرار داد و در صورت عدم وجود شرایط مناسب نسبت به اصلاح آن از طریق راهکارهای مدیریت زراعی به ویژه با تاکید بر کاهش خاکورزی و مصرف بقایای گیاهی و جانوری به منظور حفظ و بهبود ماده آلی اقدام نمود.

ضرایب ارائه شده برای محتوی ماده آلی، نیتروژن

کل، فسفر قابل دسترس و پتاسیم قابل دسترس خاک با تعداد سنبله در متر مربع معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. بالاترین ضریب برای محتوی نیتروژن کل خاک (۲/۹۱) محاسبه گردید. ارتباط بین تعداد دانه در سنبله با کلیه خصوصیات شیمیایی خاک بجز محتوی پتاسیم قابل دسترس خاک مثبت تعیین گردید. به‌طوری‌که به ازای افزایش هر واحد نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس و ماده آلی، تعداد سنبله در متر مربع به‌ترتیب ۷۱/۰۹، ۱۹/۳۱ و ۱۰/۰۱ واحد افزایش و به ازای هر واحد پتاسیم قابل دسترس، این صفت ۲/۵۱ واحد کاهش می‌یابد (جدول ۸). مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک موثر بر تعداد سنبله در متر مربع بر اساس آنالیز رگرسیون گام به گام به ترتیب رتبه شامل نیتروژن کل و درصد ماده آلی بودند. میزان این تغییرات به تنهایی بر تعداد سنبله در متر مربع به‌ترتیب برابر با ۰/۸۳ و ۰/۰۸ محاسبه شد (جدول ۹).

جدول ۸- رابطه بین تعداد سنبله در متر مربع گندم آبی با خصوصیات شیمیایی خاک

Table 8. Relationship between number of spikes per m^2 of irrigated wheat and soil chemical properties

خصوصیات خاک Soil criteria	ضریب استاندارد Standard coefficient	ضریب واقعی True coefficient	t_b
عرض از مبداء Intercept	-	180.12	-1.08ns
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	0.672	10.008	9.23**
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	2.913	71.088	14.65**
پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	-0.512	-2.512	4.11*
فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	2.128	19.312	5.12*
pH	0.123	1.612	0.04ns
مدل $R^2 = 0.84$ Model $R^2= 0.84$			

جدول ۹- مهمترین فاکتورهای شیمیایی خاک مؤثر بر تعداد سنبله در مترمربع گندم آبی حاصل از آنالیز رگرسیون گام به گام

Table 9. Important soil chemical factors on number of spikes per m^2 of irrigated wheat by using analysis using stepwise regression

متغیر خاک Soil variable	رتبه تأثیر Impact rating	ضریب تبیین جزئی Partial correlation coefficient	ضریب تبیین تجمعی Cumulative correlation coefficient	F
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	1	0.828	0.828	10.67**
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	2	0.0812	0.9092	3.78*

ضرایب ارائه شده برای محتوی ماده آلی، نیتروژن کل و پتاسیم قابل دسترس خاک با تعداد دانه در سنبله معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. بالاترین ضریب برای محتوی نیتروژن کل خاک (۷/۱۶) محاسبه گردید. ارتباط بین تعداد سنبله با کلیه خصوصیات شیمیایی خاک بجز محتوی پتاسیم قابل دسترس خاک مثبت تعیین گردید. به‌طوری‌که به ازای افزایش هر واحد نیتروژن کل و ماده آلی، تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب ۶۲/۱۰ و ۹/۰۱ واحد افزایش و به ازای هر واحد پتاسیم قابل دسترس، این صفت ۳/۰۸ واحد کاهش می‌یابد

(جدول ۱۰). مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک موثر بر تعداد سنبله در متر مربع بر اساس آنالیز رگرسیون گام به گام به ترتیب رتبه شامل نیتروژن کل و درصد ماده آلی بودند. میزان این تغییرات به تنهایی بر تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب برابر با ۰/۷۷ و ۰/۱۲ محاسبه شد (جدول ۱۱).

جدول ۱۰- رابطه بین تعداد دانه در سنبله گندم آبی با خصوصیات شیمیایی خاک

Table 10. Relationship between number of seeds per spike irrigated wheat and soil chemical properties

خصوصیات خاک Soil Particulars	ضریب استاندارد Standard coefficient	ضریب واقعی True coefficient	t_b
عرض از مبداء Intercept	-	154.21	-0.98ns
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	0.912	9.012	10.01**
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	7.155	62.103	16.73**
پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	-0.761	-3.081	4.31*
فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	1.092	4.872	2.16ns
pH	0.082	0.093	0.01ns
	مدل $R^2 = 0.84$ Model $R^2 = 0.84$		

جدول ۱۱- مهمترین فاکتورهای شیمیایی خاک مؤثر بر تعداد دانه در سنبله گندم آبی حاصل از آنالیز رگرسیون گام به گام

Table 11. Important soil chemical factors on number of seeds per spike of irrigated wheat by using analysis using stepwise regression

متغیر خاک Soil variable	رتبه تأثیر Impact rating	ضریب تبیین جزئی Partial correlation coefficient	ضریب تبیین تجمعی Cumulative correlation coefficient	F
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	1	0.767	0.798	9.45**
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	2	0.121	0.888	3.18*

ضرایب محاسبه شده برای خصوصیات شیمیایی خاک شامل درصد ماده آلی، محتوی نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس با وزن هزار دانه گندم آبی معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. رابطه وزن هزار دانه با کلیه خصوصیات شیمیایی خاک بجز محتوی پتاسیم قابل دسترس مثبت تعیین گردید. بیشترین ضریب در مقایسه خصوصیات شیمیایی خاک با وزن هزار دانه به‌ترتیب برای ماده آلی (۴/۱۳) محاسبه گردید. با افزایش هر واحد ماده آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل دسترس وزن هزار دانه به‌ترتیب ۲۱/۱۲، ۳/۰۸ و ۰/۱۵ واحد افزایش و به ازای افزایش هر واحد پتاسیم قابل دسترس وزن هزار دانه ۱/۰۸ واحد کاهش می‌یابد (جدول ۱۰). مهمترین خصوصیت شیمیایی خاک موثر بر وزن هزار دانه گندم آبی درصد ماده آلی تعیین گردید که میزان تغییرات این خصوصیت به تنهایی بر وزن هزار دانه برابر با ۰/۸۷۴ محاسبه شد (جدول ۱۱).

جدول ۱۲- رابطه بین وزن هزار دانه گندم آبی با خصوصیات شیمیایی خاک

Table 12. Relationship between 1000- seed weight of irrigated wheat and soil chemical properties

خصوصیات خاک Soil Particulars	ضریب استاندارد Standard coefficient	ضریب واقعی True coefficient	t_b
عرض از مبداء Intercept	-	-18.04	-0.09ns
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	4.128	21.121	28.11**
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	0.231	3.082	3.04*
پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	-0.548	-1.082	-1.93ns
فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	0.082	0.152	3.41*
pH	0.001	0.004	0.06ns
مدل $R^2 = 0.87$ Model $R^2 = 0.87$			

جدول ۱۳- مهمترین فاکتورهای شیمیایی خاک مؤثر بر وزن هزار دانه گندم آبی حاصل از آنالیز رگرسیون گام به گام

Table 13. Important soil chemical factors on 1000- seed weight of irrigated wheat by using analysis using stepwise regression

متغیر خاک Soil variable	رتبه تأثیر Impact rating	ضریب تبیین جزئی Partial correlation coefficient	ضریب تبیین تجمعی Cumulative correlation coefficient	F
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	1	0.874	0.874	28.12**

از آنجا که تشکیل دانه به عنوان انـدام زایشـی در گیاهان بستگی به فراهمـی عناصـر غـذایی و شـرایط محیطی مناسب در مرحله تبدیل مریستم رویشـی بـه زایشی و مراحل بعد از آن دارد (۴، ۸ و ۹)، لذا به نظر می‌رسد فراهمی عناصر غـذایی بـه ویـژه نیتـروژن و افزایش محتوی ماده آلی خاک با تاثیر مثبت بـر رشـد بوته‌ها، بهبود خصوصیات شیمیایی و تعـدیل شـرایط اقلیمی محیط به واسطه تعدیل دمای خـاک، تحریـک رشد رویشی و به تبع آن افزایش تولید مواد فتوسنتزی و مخازن زایشی را به دنبال داشـته اسـت. بررسـی‌هـا نشان داده است اجزایی از عملکرد که تا قبل از ظهور خوشه تعیین می‌شوند، مانند تعـداد و وزن انـدام‌هـای زایشی، بهبود شرایط محیطی و فراهمی عناصر غذایی موجب افزایش آنها می‌گردد (۷).

بررسی‌ها نشان داده است که عملکرد دانـه و وزن هزار دانه گندم به طور معنی‌داری تحـت تـاثیر بهبـود خصوصیات شیمیایی خاک و فراهمی عناصر غـذایی به واسطه مصرف کودهـای آلـی افـزایش یافـت (۱). علاوه بر این، از آنجا که برگرداندن بقایـای گیـاهی و مصرف کودهای آلی به خاک موجب افزایش محتـوی نیتروژن، پتاسیم و روی مـی‌شـود (۴۲)، ایـن راهکـار زراعی پایدار را به منظور بهبود وزن هزار دانه می‌توان مدنظر قرار داد که در نهایت، افزایش عملکرد را نیز به دنبال دارد.

ضـرایب محاسـبه شـده تنهـا بـرای خصوصـیات شیمیایی خاک شامل ماده آلی، نیتـروژن کـل و فسـفر قابل دسترس با شاخص برداشت گندم آبـی معنـی‌دار ($p\leq ۰/۰۵$) بود. بالاترین ضریب برای ماده آلی (۲/۳۲) بدست آمد. رابطه شاخص برداشـت بـا کلیـه عوامـل شـیمیایی مـورد بررسـی بجـز محتـوی پتاسـیم قابـل

دسترس مثبت تعیین گردید. همچنین به ازای افـزایش هر واحد ماده آلی، فسفر قابل دسترس، نیتروژن کل و اسیدیته، شاخص برداشـت بـه ترتیـب ۳۲/۲۰، ۶/۸۷، ۴/۴۵ و ۰/۲۱ واحد افزایش و با افـزایش هـر واحـد پتاسیم قابل دسترس این شاخص ۰/۶۷ واحد کـاهش می‌یابد (جدول ۱۲). مهمترین عامل خـاکی مـوثر بـر شاخص برداشت گندم درصد ماده آلی مـی‌باشـد کـه میزان تغییرات این خصوصیت به تنهایی بر این صفت برابر با ۰/۷۲۳ محاسبه گردید (جدول ۱۳).

جدول ١٤- رابطه بین شاخص برداشت گندم آبی با خصوصیات شیمیایی خاک

Table 14. Relationship between harvest index of irrigated wheat and soil chemical properties

خصوصیات خاک Soil Particulars	ضریب استاندارد Standard coefficient	ضریب واقعی True coefficient	t_b
عرض از مبداء Intercept	-	-231.232	-1.67^{ns}
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	2.321	32.195	14.39**
نیتروژن کل (درصد) Total N (%)	1.081	4.451	3.33*
پتاسیم قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available K (ppm)	-0.021	-0.672	-1.05^{ns}
فسفر قابل دسترس (پی‌پی‌ام) Available P (ppm)	1.176	6.873	7.77**
pH	0.321	0.211	0.09^{ns}
مدل $R^2 = 0.83$ Model $R^2= 0.83$			

جدول ۱۵- مهمترین فاکتورهای شیمیایی خاک مؤثر بر شاخص برداشت گندم آبی حاصل از آنالیز رگرسیون گام به گام

Table 15. Important soil chemical factors on harvest index of irrigated wheat by using analysis using stepwise regression

متغیر خاک Soil variable	رتبه تأثیر Impact rating	ضریب تبیین جزئی Partial correlation coefficient	ضریب تبیین تجمعی Cumulative correlation coefficient	F
ماده آلی (درصد) Organic matter (%)	1	0.723	0.723	82.09**

بررسی‌ها مؤید آن است که شـاخص برداشـت در غلات عمدتاً تحت تاثیر عوامل ژنتیکی است (۳۰) که در مقایسه با عملکرد دانه واکنش کمتـری نسـبت بـه مصـرف کودهـای مختلـف همچـون نیتـروژن نشـان می‌دهد. با این وجود، ارزیابی این شاخص در گیاهان زراعـی مـی‌توانـد از طریـق بکـارگیری راهکارهـای مدیریتی موجـب بهبـود نسـبی عملکـرد دانـه شـود. به‌علاوه افزایش عملکرد دانه و ماده خشک در پاسـخ به مصـرف کودهـای نیتروژنـی و سـایر راهکارهـای مدیریت زراعی تا حد زیادی همسان بوده که این امـر باعث بی‌تغییر ماندن شاخص برداشت مـی‌شـود (۲). پنگ و همکاران (۲۰۰۰) بیـان داشـتند کـه شـاخص برداشت بیش از تمـام عوامـل مـدیریتی تحـت تـأثیر پارامترهای وراثتی بوده و پتانسیل ژنتیکی این صـفت در تعداد زیادی از گیاهـان زراعـی بـه اشـباع رسـیده است (۳۸). یوآ و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش کردند که مدیریت زراعی تأثیر کمـی بـر افـزایش شـاخص برداشت داشته (۵۱) و ایـن صـفت فیزیولـوژیکی در گندم به‌طور معنی‌داری تحت کنترل ژنتیکی است (۲). با این وجود، بـر مبنـای نتـایج ایـن مطالعـه بـه نظـر

می‌رسد که افزودن ماده آلی می‌تواند از طریق بهبود شاخص برداشت نقش مفیدی در افزایش عملکرد دانه ایفا نماید که البته این امر می‌تواند از طریق تاثیر مثبت بر خصوصیات خاک، سلامت آن را بهبود داده و موجب ارتقای خدمات و کارکردهای آن در دراز مدت گردد.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این مطالعه روی ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی تحت تاثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از آنالیز گام به گام نشان داد که خصوصیات خاک به میزان زیادی عملکرد و اجزای آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به طوری‌که مهمترین متغیرهای خاک مؤثر بر عملکرد دانه به ترتیب شامل ماده آلی و فسفر قابل دسترس می‌باشد. همچنین مهمترین خصوصیات شیمیایی خاک موثر بر تعداد سنبله در متر مربع و تعداد دانه در سنبله به عنوان دو جزء مهم عملکرد به ترتیب رتبه شامل نیتروژن کل و ماده آلی می‌باشند. بر این اساس، از آنجا که پایداری درازمدت نظام‌های زراعی به کیفیت حاصلخیزی خاک وابسته می‌باشد و خاک نقش مهمی در بهبود سلامت و حفظ کارکردها و ارتقاء خدمات بوم‌نظام‌های زراعی ایفا می‌نماید، پیشنهاد می‌شود از راهکارهای زراعی مدیریت زراعی همچون تناوب زراعی به ویژه با گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و ارقام با کارایی جذب و مصرف نیتروژن بالاتر برای بهبود محتوی ماده آلی، حفظ پایداری درازمدت خاک و افزایش عملکرد بدون تخریب محیط زیست بهره‌گیری شود. علاوه بر این، بکارگیری این راهکارهای مدیریتی زراعی می‌تواند در راستای بهبود عملکرد پایدار دانه به طور ویژه‌ای مؤثر واقع شود. همچنین، توصیه می‌شود پژوهش‌هایی برای مقایسه کارآیی، سلامت خاک و جنبه‌های زیست محیطی مصرف نیتروژن و سایر کودهای شیمیایی با استفاده از فراتحلیل انجام گیرد که این اطلاعات امکانات وسیع‌تری را جهت طراحی و مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های کشاورزی کشور فراهم می‌سازد.

تشکر و قدردانی

بودجه این تحقیق از محل اعتبار طرح پژوهه شماره ۲/۴۴۷۰۵ مورخ ۱۳۹۶/۰۵/۱۸ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تامین شده که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Abd Elrahman, S.H., Mostafa, M.A.M., Taha, T.A., Elsharawy, M.A.O. and Eid, M.A. 2012. Effect of different amendments on soil chemical characteristics, grain yield and elemental content of wheat plants grown on salt-affected soil irrigated with low quality water. Ann. Agric. Sci., 57(2): 175–182.
2. Aparicio, V. and Costa, J.L. 2007. Soil quality indicators under continuous cropping systems in the Argentinean pampas. Soil Till. Res., 96: 155–165.
3. Austin, R.B., Bringham, J., Blackwell, R.D., Evans, L.T., Ford, M.A., Morgan, C.L., and Taylor, M. 1998. Genetic improvement in winter wheat yield since 1980 and associated physiological changes. J. Agric. Sci., 84: 675.
4. Ayoub, M., Guertin, S., Lussier, S., and Smith, D.L. 1994.Timing and level of nitrogen fertility effects on spring wheat yield in eastern Canada. Crop Sci., 34(3): 748-756.
5. Bremner, J.M. 1970. Nitrogen total, regular Kjeldahl method, In: Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agronomy 9(1). A.S.A. Inc., S.S.S.A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA, pp: 610-616.

6. Bruun, H.H. 2000. Patterns of species richness in dry grassland patches in anagricultural landscape. Ecography. 23: 641-650.
7. Cox, W.J., and Cherny, D.J.R. 2001. Row spacing, plant density and Nitrogen effects on corn silage. Agron. J., 93: 597-602.
8. Donald, C.M. 1986. The breeding of crop ideotypes. Euphytica. 17: 385-403.
9. Elhani, S., Martos, V., Rharrabi, Y., Royo, C., and Garciadel moral, L.F. 2007. Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum aestivum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. Field Crop Res., 103: 25-35.
10. Burgess, T.M., and Webster, R. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. J. Soil Sci., 31(2): 315–331.
11. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. J, Soil Sci. Soc. Am., 58: 1501-1511.
12. Cassman, K.G. Dobermann, A., and Walters, D.I. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency and nitrogen management. Ambio., 31: 132-140.
13. Chambers, J.C., and Brown, R.E. 1983. Methods for vegetation sampling and analysis on revegetated mined lands. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report. Int.
14. 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. Journal of Soil Science Soc. Am., 67: 1296–1302.
15. Dobermann, D.I., and Cassman, K.G. 2004. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production of United States and Asia. Plant Soil., 247: 153-175.
16. Drury, C.F., Zhang, T.Q., and Kay, B.D. 2003. The non-limiting and least limiting water range for soil nitrogen mineralization. Soil Sci. Soc. Am. J., 67: 1388-1404.
17. Facchinelli A., Sachi E. and Mallen L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environ. Pollut., 114: 313-324
18. Gilliam F.S., and Dick D.A. 2010. Spatial heterogeneity of soil nutrients and plant species in herb-dominated communities of contrasting land use. Plant Ecol., 209: 83–94
19. Good, A.G., Sherawat, A.K., and Muench, D.G. 2004. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? Trends Plant Sci., 9: 597-605.
20. Green, V.S., Cavigelli, M.A., Dao, T.H., and Flanagan, D.C. 2005. Soil physical properties and aggregate associated C, N, and P in organic and conventional cropping systems. Soil Sci., 170: 822-831.
21. Hamilton J.W., and Gilbert C.S. 1972. Composition of Wyoming range plant and soil. Agricultural Experiment Station. University of Wyoming. Res. J., 55:1-14.
22. Hay, R.K.M., and Porter, J.R. 2006. The Physiology of Crop Yield. 2nd Edition. Wiley-Blackwell, 330p.
23. Herrick, J.E., Brown, J.R., Tugel, A.J., Shave, P.L., and Havstad, K.M. 2002. Application of soil quality to monitoring and management: paradigms from rangeland ecology. Agron. J., 94: 3–11.
24. Hue N.V., Uchida R., and Ho M.C. 1998. Empirical models for the uptake of inorganic chemicals from soil by plants. U.S Department of Energy Office of Environmental Management, 120 p.
25. Jin, J., and Jiang, C. 2002. Spatial variability of soil nutrients and site-specific nutrient management in the P. R. China. Comput. Electron. Agric., 36: 165–172.
26. Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., and Schuman G.E. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for

evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J., 61: 4–10.
27. Karlen, D.L., Gardner, J.C., and Rosek, M.J. 1998. A soil quality framework for evaluating the impact of CRP. J. Prod. Agric., 11: 56–60.
28. Kaspar, T.C., Pulido, D.J., Fenton, T.E., Colvin, T.S., Karlen, D.L., Jaynes, D.B., and Meek, D.W. 2004. Relationship of corn and soybean yield to soil and terrain properties. Agron. J., 96: 700–709.
29. Kazemi Poshtmassari, H., Pirdashti,, H.A., Bahmanyar, M.A., and Nassiri, M. 2006. Study the effects of nitrogen fertilizer rates and split application on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Agric. J., 20(1): 68-78. (In Persian)
30. Kiniry, J.R, Bean, B., Xie, U., and Chen, P. 2004. Maize yield potential: Critical processes and simulation modeling in a high-yielding environment. Agric. Syst., 82: 45-56.
31. Kivinen, S., Luoto, M., Kuussaari, M., and Helenius, J. 2006. Multi-species richness of boreal agricultural landscapes: effects of climate, biotope, soil and geographic location. J. Biogeogr., 33: 862–875.
32. Kollias, V.J., Kalivas, D.P., and Yassoglou, N.J. 1999. Mapping the soil resources of a recent alluvial plain in Greece using fuzzy sets in a GIS environment. Eur. J. Soil Sci., 50: 261–273.
33. Liebig, M.A., Varvel, G.E., Doran, J.W., and Wienhold, B.J. 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western Corn Belt. Soil Sci. Soc. Am. J., 66: 596–601.
34. Mc Bratney, A.B., and Odeh, I.O.A. 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. Geoderma., 77: 85–113.
35. Ministry of Agriculture. 2018. Statistical Yearbook Crops. Deputy Mayor for Planning and Economic Development, The Information and Communication Technology (ICT) Center. 124 p. (In Persian)
36. Nahvi, M., Allahgholipour, M., Ghorbanpour, M., and Mehrgan, H. 2005. The effective of planting density and nitrogenous fertilizer rate for GRH1 rice hybrid. Agric. J., 66: 33-38. (In Persian)
37. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watenabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soil by Extraction With Sodium Bicarbonate, U.S. Department of Agriculture Cris 939. USA.
38. Peng, S., Laza, R., Visperas, R., Sanico, A., Cassman, K.G., and Khush, G. 2000. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. Crop Sci., 40: 307-314.
39. Pribyl, D.W. 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma., 156: 75-83.
40. Reynolds, W.D., Drury, C.F., Tan, C.S., Fox, C.A., and Yang, X.M. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma., 152: 252-263.
41. Rezaei, M., and Hemati, Z. 2002. Reaction of wheat yield to soil physical and chemical characteristics in Arak Fields. World Appl. Sci. J., 20(8): 1183-1187.
42. Sainju, U.M., Allen, B.L., Caesar-TonThat, T., and Lenssen, A.W. 2015. Dryland soil chemical properties and crop yields affected by long-term tillage and cropping sequence. Springerplus, 4: 320.
43. Sawchik, J., and Mallarino, A.P. 2008. Variability of soil properties, early phosphorus and potassium uptake, and incidence of pests and weeds in relation to soybean grain yield. Agron. J., 100(5) DOI: 10.2134/agronj2007.0303.
44. Shukla, M.K., Lal, R., and Ebinger, M. 2004. Principal component analysis for predicting corn biomass and grian yield. Soil Sci., 169: 215-224.
45. Shukla, M.K., Lal, R., and Ebinger, M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil Till. Res., 87: 194–204.
46. Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth,

R., Schindler, D., Schlesinger, W.H., Simberloff, D., and Swackhamer, D. 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. Sci., 292: 281-284.
47. Varley, J.A. 1966. Automatic methods for the determination of nitrogen, phosphorus and potassium in plant material. Analyst., 91: 119-126.
48. Walkley, A., and Black, I. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. Soc. Am. J., 37: 29-38.
49. Wander, M.M., Walter, G.L., Nissen, T.M., Billero, G.A., Andrews, S.S., and Cavanaugh-Grant, D.A. 2002. Soil quality: Science and process. Agronomy. 94: 23–32.
50. Wang, X.J., and Gong, Z.T. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma., 81: 339–355.
51. Yua, Y., Huang, Y., and Zhang, W. 2012. Changes in rice yields in China since 1980 associated with cultivar improvement, climate and crop management. Field Crop Res., 136: 65-75.
52. Zhang, Q., Yang, Z., Li, Y., Chen, D., Zhang, J., and Chen, M. 2010. Spatial variability of soil nutrients and GIS-based nutrient management in Yongji County, China. Int. J. Geogr. Inf. Sci., 24(7): 965–981.