نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۸، مهر - آبان ۱۴۰۳، ص. ۶۵۴-۶۳۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 18, Oct.-Nov. 2024, p. 635-654

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی تاثیر پارامترهای مختلف بر میزان بهره‌وری گندم با استفاده از هوش مصنوعی

رامین فضل‌اولی*[۱]، شادی صراف[۲]، جواد وجاهت[۳]، علیرضا عمادی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷

چکیده

در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از هوش مصنوعی، بهره‌وری گندم در شهر ساری به عنوان محدوده مورد مطالعه با لحاظ سایر پارامترهای دخیل در تولید مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات خصوصیات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی چهار رقم گندم مورد مطالعه تحت تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و سطوح رطوبتی مختلف قابل‌ملاحظه و قابل‌تأمل بود به‌گونه‌ای که در اغلب موارد اثرات هر یک از تیمارهای مورد استفاده و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر روی خصوصیت مورد ارزیابی در سطوح مختلف ۱ و ۵ درصد خطا معنادار شد. عملکرد بیولوژیکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل موردنظر به ترتیب برای ارقام نیک‌نژاد، چمران، الوند و سرداری تحت شرایط خاک‌ورزی مرسوم و آبیاری معادل ظرفیت زراعی به ترتیب معادل ۱۶/۲۵، ۱۸/۵، ۱۶/۵ و ۱۷/۲ تن بر هکتار و تحت شرایط بدون خاک‌ورزی با تنش شدید دیم به ترتیب معادل ۸/۳، ۸/۲، ۸/۶ و ۹/۶ تن بر هکتار به دست آمد. روند تغییرات خصوصیات عملکردی برای ارقام دیم سرداری و الوند به‌مراتب کمتر از تغییرات مشاهده شده برای دو رقم آبی نیک‌نژاد و چمران بود و به‌طورکلی شرایط خاک‌ورزی مرسوم و حداقل تنش رطوبتی برای نیل به تولید قابل‌قبول برای ارقام مختلف ضروری خواهد بود و کاهش چشمگیری در خصوصیات عملکردی مورد انتظار اتفاق نیفتد. اثر ارقام کشت شده بیشتر بر خصوصیت وزن هزار دانه و ارتفاع موثر بود، به‌نحوی‌که به طور کلی این عامل از طریق فاکتورهای دیگر مانند تغییر در تراکم کشت گندم می‌تواند عملکرد بیولوژیکی و تولید کلی گیاه را یکسان نماید ولی بعضی از خصوصیات مانند تحت تنش قرار گرفتن رقم خاص مد نظر از قبیل ارقام سرداری و الوند مقاومت بیشتری از خود نشان دادند و عملکرد آنها تحت شرایط تنش با تغییرات کمتری نسبت به دو رقم چمران و نیک‌نژاد تولید زیستی و یا سایر خصوصیات مورد بررسی را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی، کشاورزی، گیاه، موجک، Matlab

مقدمه

موقعیت اقلیمی ایران منجر شده تا مسئله کمبود آب امری ذاتی در این خطه باشد، به‌نحوی‌که پیشینیان نیز این مهم را دریافته و اقدام به ابداع و حفر قنات به عنوان یکی از خلاقانه‌ترین و پیچیده‌ترین روش‌های استحصال آب نمایند. علاوه بر این آنچه که مبرهن است محدودیت در منابع و تاثیر پارامترهای فنی و اقتصادی در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌ها می‌باشد، به‌نحوی‌که بعضا اجرای یک پروژه به دلیل اعمال محدودیت‌های موجود توجیه‌ناپذیر تلقی می‌گردد. از این رو دستیابی به حداکثر میزان بهره‌وری با توجه به پتانسیل‌ها و ظرفیت‌های بالقوه و بالفعل نقش مهمی خواهد داشت. در عصر حاضر، علی‌رغم توسعه فناوری‌ها جهت استحصال آب با حجم و کمیت بیشتر، لحاظ عوامل موثری همچون صرفه اقتصادی، نیروی انسانی، شرایط کار، بهبود کیفیت تصفیه آب استخراجی و ... منجر به تمرکز بیشتر توجه‌ها به مفهوم بهره‌وری شده است. شرایط اقلیمی کشور منجر شده تا مفاهیمی مانند بهره‌وری، در حالات مختلف مصرف همواره حائز اهمیت بوده و به عنوان یکی از روش‌هایی محسوب شود که با صرف کمترین کارایی، بیشترین میزان عایدی را حاصل می‌نماید. شاخص بهره‌وری بیانگر سطح تعالی سیستم بوده به‌نحوی‌که ترکیبی از کارایی (انجام درست کار) و اثربخشی (انجام کار درست) را بیان می‌نماید (مردانی، ۱۴۰۰). بهره‌وری مقوله جدیدی نبوده و قدمت آن به پیدایش بشر بازمی‌گردد. اما مفهوم امروزه آن تقریبا به حدود دو قرن پیش یعنی انقلاب صنعتی و مفهومی است فراگیر و جامع که در سطوح مختلف هر جامعه‌ای مطرح می‌گردد.

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری ایران
(*- نویسنده مسئول: ثششهم:Email: raminfazl@yahoo.com)

سطوح ارتقای بهره‌وری در جامعه عبارتند از سطح فرد، خانواده، سازمان‌ها و کشور. در کشور ما با توجه به مسئله کمبود آب و دیگر نهاده‌ها، افزایش تولید به روش اول در درازمدت محدود و تا حدی دور از واقعیت به نظر می‌رسد، به همین خاطر با توجه به روش دوم برای افزایش تولید، باید به فکر افزایش بهره‌وری عوامل تولید در بخش کشاورزی به منظور افزایش عرضه بود. از طرفی آب یکی از عوامل مؤثر در تولید کشاورزی است و کشاورزی یک فعالیت پرمصرف در نهاده آب می‌باشد بطوری‌که تولید در این بخش بدون آب تقریباً غیرممکن است. اکثر تولیدات کشاورزی از طریق کشت آبی به‌دست می‌آیند و سهم این نوع کشت از سال ۱۹۶۰ تا به امروزه دائماً در حال افزایش می‌باشد. با ادامه روند رو به رشدی که در جمعیت جهان مشاهده می‌شود و به منظور تأمین نیاز سایر بخش‌ها، باید به سوی کاهش سهم آب بخش کشاورزی در جهان حرکت کرد. سهم آب کشاورزی در جهان در حدود ۲۷۰۰ میلیارد مترمکعب می‌باشد و پیش‌بینی می‌شود این رقم تا سال ۲۰۵۰ به دو برابر افزایش یابد، این در حالیست که سهم اراضی آبی به میزان ۲۰ درصد افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر جامعه جهانی به سمت استفاده کارا از منابع آب می‌رود.

مطابق با توضیحات ارائه شده، تعیین بهره‌وری رویکرد مناسبی در راستای حفظ منابع آبی به ویژه در بخش کشاورزی محسوب می‌شود. لذ اهمیت استقاده از روش‌های جدید نقش بسزایی خواهد داشت. پژوهش حاضر در این راستا و با هدف کاربرد هوش مصنوعی در تبیین میزان بهره‌وری آب به همراه لحاظ تمامی عوامل موثر در این امر صورت پذیرفته است. بررسی پیشینه پژوهش بخش مهمی در جایگاه موضوع داشته لذا پس از ارزیابی آن به یافته‌های به دست آمده پرداخته می‌شود.

رضایی و همکاران (۱۳۹۴) به نقش برهمکنش ژنتیک و کم‌آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب پرداختند. به منظور بررسی برهمکنش ژئوتیپ و کم‌آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب چغندرقند، آزمایشی در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ به سه سطح تیمار آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی صورت گرفت. نتاج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی از میزان بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد ریشه و شکر سفید کاسته شد، به‌طوریکه گیاهان در تیمار آبیاری کامل با ۵/۳ کیلوگرم ریشه به ازای هر مترمکعب آب، بیشترین میزان بهره‌وری آب را داشتند. در مجموع مشخص شد که تغییرات بهره‌وری آب گیاهان زراعی در شرایط کم‌آبیاری به خصوصیات ژنتیکی آن‌ها وابسته بوده و از الگوی یکسانی تبعیت نمی‌نماید.

افشاری‌پور و همکاران (۱۳۹۸) ارزیابی میزان بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل WATPRO در اراضی تحت کشت گندم در جیرفت را صورت دادند. بدین‌منظور تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در دوره کشت تا برداشت گندم در سال زراعی ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۶ دریافت و پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، اقدام به اجرای مدل WATPRO گردید. نتایج پژوهش نشان داد که بیشترین، کمترین و میانگین بهره‌وری به ترتیب ۰/۸، ۰/۴ و ۰/۵ کیلوگرم در مترمکعب بوده است. همچنین ضریب تعیین ۷۶/۵ درصد در بررسی رابطه بین میانگین NDVI و بهره‌وری آب به دست آمد.

جعفری و همکاران (۱۴۰۲) مقایسه و ارزیابی الگوریتم‌های LM، BR و GD شبکه عصبی مصنوعی در برآورد عملکرد گندم دیم بر اساس پارامترهای هواشناسی استان کرمانشاه را مطالعه نمودند. در این پژوهش، داده‌های هواشناسی مربوط به ۱۰ ایستگاه هواشناسی واقع در استان کرمانشاه (۱۳۹۸-۱۳۸۴) به عنوان داده‌های ورودی مورد نیاز مدل‌ها استفاده شد. پس از تعیین هم‌بستگی‌ها بین پارامترهای هواشناسی و میزان عملکرد گندم دیم، متغیرهای رطوبت نسبی و بارش تحت سه سناریو شامل ترکیب‌های مختلف از داده‌های ورودی انتخاب و مدل‌های مذکور برای هر کدام اجرا شد. مقایسه مقادیر تخمینی و مشاهداتی عملکرد گندم دیم نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول هر سه مدل بود؛ برای مرحله آزمون مقادیر R^2 برای بهترین ترکیب داده ورودی در سه الگوریتمBR ، GD و LM به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۶۴ و ۰/۷۴ و مقادیر RMSE نیز به ترتیب ۰/۰۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۸ تن بر هکتار بود. مقایسه نتایج ترکیب‌های مختلف داده ورودی نشان داد که پارامتر بارش دارای بیش‌ترین اهمیت در تخمین عملکرد گندم دیم می‌باشد، با این وجود استفاده از داده‌های بارش و رطوبت نسبی به‌صورت همزمان تحت سناریوی سوم به عنوان داده‌های ورودی مدل‌ها منجر به بیش‌ترین دقت می‌گردد. در نهایت شبکه تحت الگوریتم BR با ترکیب ورودی‌های بارش و رطوبت نسبی با مقادیر R^2 و RMSE برای مرحله آزمون به ترتیب برابر ۰/۸۵ و ۰/۰۹ تن بر هکتار، به عنوان مدل بهینه در تخمین عملکرد گندم دیم نسبت به سایر الگوریتم‌ها و ترکیبات ورودی شناخته شد.

تالاویا و همکاران (۲۰۲۰) اجرای هوش مصنوعی در کشاورزی برای بهینه‌سازی آبیاری و کاربرد سموم و علف‌کش‌ها را بررسی نمودند. هدف اصلی این مقاله، ممیزی کاربردهای مختلف هوش مصنوعی در کشاورزی از جمله آبیاری، علف‌های هرز، سمپاشی با کمک حسگرها و سایر ابزارهای تعبیه‌شده در روبات‌ها و پهپادها است. در این مقاله مروری بر سایر یافته‌های بسیاری از محققین صورت گرفته و آخرین روش‌های فعلی پیاده‌سازی اتوماسیون در کشاورزی، سیستم‌های وجین علف‌های هرز از طریق روبات‌ها و هواپیماهای بدون سرنشین ارائه شده است. روش‌های مختلف سنجش آب خاک همراه با دو تکنیک وجین خودکار مورد بحث قرار گرفته‌اند. پیاده‌سازی پهپادها مورد بحث قرار گرفته و روش‌های مختلف استفاده شده توسط پهپادها برای سمپاشی و نظارت بر محصول تبیین شده‌اند.

باومبل و همکاران (۲۰۲۲) نظارت و راهبردهای کنترل آبیاری هوشمند برای بهبود کارایی مصرف آب در کشاورزی دقیق را در قالب

مطالعه مروری بررسی نمودند. این مقاله به بررسی پیشرفته‌ترین راهبردهای نظارت هوشمند و کنترل آبیاری می‌پردازد که در سال‌های اخیر برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده شده است. ترکیب روش‌های پایش مبتنی بر خاک، گیاه و آب و هوا در یک محیط مدل‌سازی با کنترل پیش‌بینی مدل می‌تواند به طور قابل توجهی کارایی مصرف آب را بهبود بخشد.

دهقانی‌سانیچ و همکاران (۲۰۲۲) رویکرد یادگیری ماشین ترکیبی برای تخمین راندمان مصرف آب و بهبود بازده آن در کشاورزی را مورد ارزیابی قرار دادند. برای انجام تخمین، یک روش ترکیبی مبتنی بر سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) و الگوریتم بهینه‌سازی فصل‌ها (SO) پیشنهاد شد. با توجه به عوامل آبیاری و اقلیم، شش مدل مختلف برای ترکیب پارامترها در SO-ANFIS پیشنهاد شده است. سناریوهای معیار نتایج توجیه کرد که مدل NSI نسبت به روش‌های TSFI و BI به ترتیب WUE را ۱/۹ کیلوگرم بر متر مکعب و ۳/۱۳ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش داد و بازده را به ترتیب ۸/۵۷ و ۱۴/۳ درصد افزایش داد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که SO-ANFIS پیشنهادی از نظر معیار R^2 به ترتیب عملکرد ۰/۹۸۹ و ۰/۹۸۸ را در تخمین WUE و عملکرد روش آبیاری NSI به دست آورده است. نتایج تأیید کرد که SO-ANFIS از نظر معیارهای عملکرد بهتر از روش‌های مشابه عمل می‌کند.

وی و همکاران (۲۰۲۲) تاثیر آبیاری با آب شور یونیزه شده بر عملکرد پنبه و راندمان مصرف آب آن را بررسی نمودند. نتایج بهبود ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، ماده خشک اندام هوایی، تعداد غوزه در بوته و محتوای کلروفیل حاصل از تیمار یونیزه شده را نشان داد. علاوه بر این، تیمار یونیزه به طور موثر میزان تجمع نمک را از اواخر مرحله نهال تا برداشت ۱۲/۸٪ تا ۶۵٪ کاهش داد، به خصوص در ۵۶۲/۵ میلی‌متر از تیمار آب شور یونیزه شده. حداکثر بازده پنبه در ۴۸۷/۵ میلی‌متر از تیمار آب شور یونیزه، با افزایش میانگین ۱۹ درصدی در مقایسه با ۴۸۷/۵میلی متر تصفیه آب شور غیریونیزه به دست آمد. راندمان مصرف آب تحت تیمارهای آب شور یونیزه به طور قابل توجهی افزایش یافت. یک رابطه درجه دوم بین مقدار آبیاری و عملکرد پنبه مشاهده شد. بر اساس نمک خاک، عملکرد پنبه و راندمان مصرف آب آبیاری، مقدار آبیاری در ۴۸۷/۵ میلی‌متر برای سیستم‌های مالچ‌پاشی غشاء پلاستیکی آبیاری قطره‌ای آب شور یونیزه بهینه شد.

زیاش و همکاران (۲۰۲۳) نقش هوش مصنوعی در پیشبرد اهداف توسعه پایدار در بخش کشاورزی را بررسی نمودند. با توجه به شکاف فزاینده در تقاضا و عرضه کشاورزی در سراسر جهان، که با همه‌گیری کووید-۱۹ بیشتر شده است (این بیماری همه‌گیر پیشرفت به سوی اهداف توسعه پایدار (SDGs) را از مسیر دورتر خارج کرده است)، منجر گردید تا شکاف مالی (SDG) در سال از ۲/۵ تریلیون دلار (در حدود ۴/۲ تریلیون دلار) افزایش یابد. این امر نیازمند رویکردهای نوآورانه و مقرون به صرفه برای کشاورزی است.

کاتیمبو و همکاران (۲۰۲۳) ارزیابی الگوریتم‌های هوش مصنوعی با جذب داده‌های حسگر در تخمین تبخیر و تعرق محصول و شاخص تنش آبی برای مدیریت آب آبیاری را بررسی نمودند. در ارزیابی مدل‌ها از چهار شاخص عملکرد آماری شامل ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین درصد مطلق خطا (MAPE) استفاده شد. علاوه بر این، نمرات رتبه‌بندی بر روی نتایج آماری برای یافتن بهترین مدل کلی در همه ترکیب‌های ورودی انجام شد. بر اساس امتیازات رتبه‌بندی کل، CatBoost (RMSE بین ۰/۰۶ – ۰/۰۹) بهترین مدل در پیش‌بینی CWSI بود، در حالی که رگرسیون انباشته (RMSE بین ۰/۲۷ – ۰/۷۲ میلی‌متر) بهترین مدل برای تخمین ETc بود. تحقیقات آینده طراحی و ارزیابی IDSS را با استفاده از بهترین مدل‌های یادگیری ماشین شناسایی شده برای ایجاد بازخورد آب خاک و تنش گیاه برای برنامه‌ریزی خودکار آبیاری در نظر خواهد گرفت.

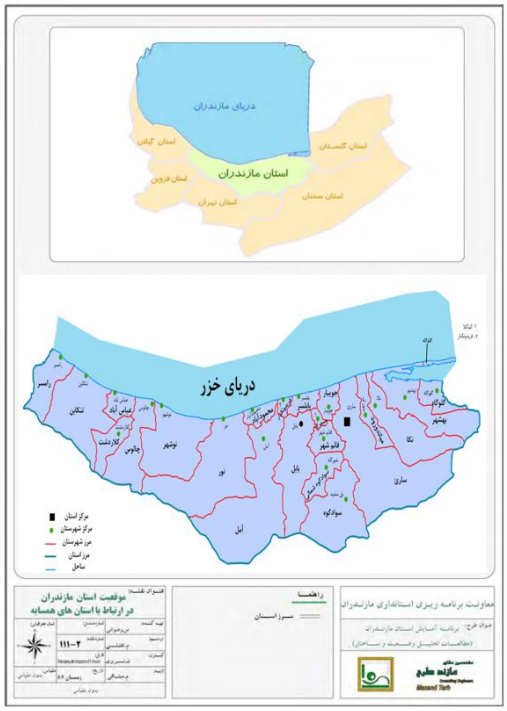
بررسی پیشینه ارائه شده بیانگر نقش قابل توجه فناوری‌های نوین در توسعه کشاورزی و به ویژه بهره‌برداری مناسب از نهاده‌ها به ویژه آب در حداکثر شرایط کاربرد می‌باشد. از این‌رو، در پژوهش حاضر رویکرد کلی مبتنی بر کاربرد روش‌های الگوریتم‌های هوش مصنوعی در تحلیل عملکرد گیاه گندم با هدف تبیین نقش آب با حداکثر بهره‌وری می‌باشد. در این تحقیق به منظور ارزیابی مطالعه موردی، شهر ساری انتخاب شده است. پس از صحت‌سنجی داده‌های مورد نظر با استفاده از تکنیک‌های آماری، از الگوریتم‌های هوش مصنوعی، مورد نظر استفاده شده است. با توجه به گستردگی الگوریتم‌هایی که قابلیت محاسبه داده در بستر هوش مصنوعی را دارا می‌باشند، الگوریتم‌های "تئوری موجک" و "پرسپترون چند لایه" به‌این‌منظور در نظر گرفته شد. با استفاده از نرم‌افزار برنامه‌نویسی Matlab، الگوریتم‌های مورد نظر تولید و اقدام به تحلیل داده‌ها در هر بخش شد. لازم به ذکر است که با توجه به گستره و تنوع کشت در بخش کشاورزی، سعی در انتخاب محصولی بوده که در محدوده مورد مطالعه از سطح زیر کشت قابل توجهی برخوردار بوده و قابلیت مقایسه با مقادیر مندرج در استانداردها و سایر نواحی کشور از جمله استان‌های مجاور و استان‌های دارای آب و هوای متفاوت با محدوده مورد مطالعه در این پژوهش را نیز داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

استان مازندران در محدوده جغرافیایی بین ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴

درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان دارای مساحتی بالغ بر ۲۳۸ هزار کیلومترمربع می‌باشد که حدود ۱/۴۶ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌گردد. ساری از لحاظ وسعت بزرگ‌ترین شهرستان استان مازندران محسوب می‌شود. این شهرستان با استان سمنان، شهرستان‌های نکا، جویبار، قائمشهر و سوادکوه همسایه می‌باشد. شهر ساری به عنوان مرکز استان، دارای نقش سیاسی، اداری و خدماتی می‌باشد. نقش شهر ساری در طرح کالبدی گیلان و مازندران به عنوان عملکرد اصلی صنعتی سطح یک، خدمات کشاورزی سطح یک و تجاری منطقه‌ای و در طرح کالبدی ملی از نظر سطح‌بندی به عنوان پایتخت منطقه‌ای سطح یک معرفی شده است. در شکل ۱ موقعیت استان مازندران و موقعیت شهرستان ساری مشخص شده است.



شکل ۱- موقعیت سیاسی استان مازندران و شهرستان ساری (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱)

مبانی نظری

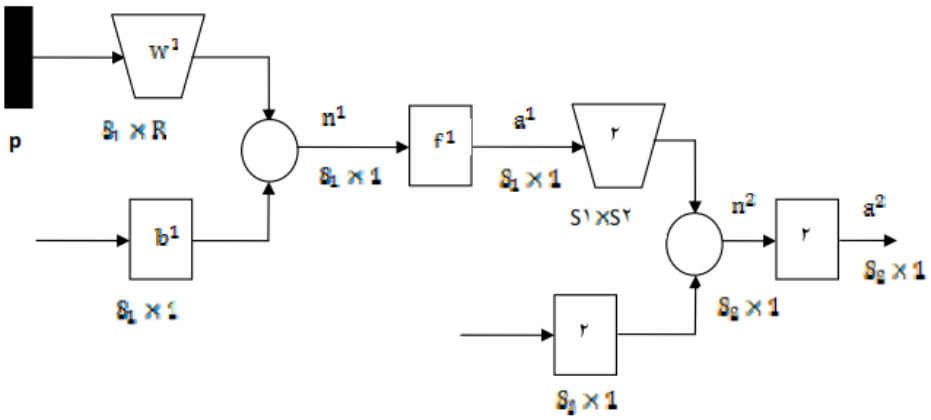
شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم‌های دینامیکی هوشمند مدل آزاد مبتنی بر داده‌های تجربی هستند که نیاز به برقراری هیچ پذیره‌ای ندارند و با پردازش بر روی‌داده‌های تجربی گردآوری‌شده، دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند.

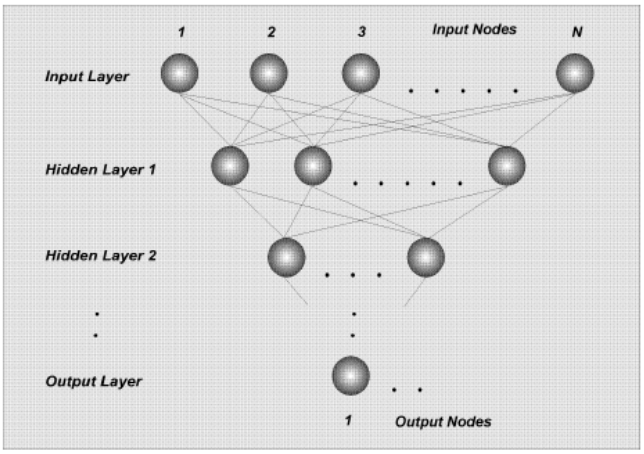
به منظور تحلیل جهت میزان بهره‌وری مصرف آب در هر یک از بخش‌های مورد نظر، از قابلیت‌های الگوریتم‌های هوش مصنوعی شامل روش‌های پرسترون چند لایه و روش تئوری موجک در محیط نرم‌افزار Matlab بهره‌گرفته شده است. علاوه بر این به منظور بررسی بیشتر به صورت موردی از سایر نرم‌افزارها و همچنین رویکردها در ارزیابی‌های ارائه شده بهره برده شده است. ساختار عصب مصنوعی از ترکیب نرون‌ها به وجود امده است. هر نرون کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. شبکه‌های عصبی معمولا دارای ساختار تک‌لایه و چندلایه می‌باشند. در این پژوهش از ساختار چندلایه استفاده شده که مورد بررسی اجمالی قرار می‌گیرد.

یک شبکه عصبی شامل اجزای سازنده لایه‌ها و وزن‌ها می‌باشد. رفتار شبکه نیز به ارتباط بین اعضا وابسته است. در حالت کلی، در شبکه‌های عصبی سه نوع لایه نرونی وجود دارد: لایه ورودی: لایه ورودی شبکه عصبی وظیفه توزیع مقادیر داده‌های ورودی به اولین لایه مخفی را بر عهده دارند. تعداد گره‌های لایه ورودی برابر با تعداد مقادیر داده‌های ورودی به مدل می‌باشد. لایه‌های پردازش‌گر مخفی: عملکرد این لایه‌ها به وسیله ورودی‌ها و وزن ارتباط بین آن‌ها و لایه‌های پنهان تعیین می‌کنند که چه وقت یک واحد پنهان باید فعال شود. انتخاب تعداد لایه‌های مخفی و تعداد گره‌های مخفی در هر لایه، مساله مهمی است. ساختار پردازش مخفی شبکه عصبی اختیاری می‌باشد، اما عوامل زیادی در انتخاب ساختار نقش دارند که شامل کمیت نمونه‌های آموزش، تعداد گره‌های ورودی و خروجی و

روابط بین داده‌های ورودی و خروجی می‌باشند. لایه خروجی: لایه‌ای که خروجی آن، خروجی نهایی شبکه باشد، به لایه خروجی موسوم است. عملکرد واحد خروجی بسته به فعالیت واحد پنهان و وزن ارتباط بین واحد پنهان و خروجی می‌باشد. در شکل شماره ۲ شبکه موجود دارای یک لایه میانی مشخص شده است. در شکل شماره ۳ نیز شبکه عصبی مصنوعی و لایه‌های ورودی، میانی و خروجی نشان داده شده است.



شکل ۲- شبکه پیش‌خور دولایه (Kisi et al., 2012)



شکل ۳- طراحی توپولوژی شبکه‌های عصبی مصنوعی (Kisi et al., 2012)

لازم به ذکر است که، شبکه‌های عصبی چند لایه نسبت به شبکه‌های عصبی تک‌لایه دارای توانایی بیشتری می‌باشند، لذا در این تحقیق شبکه عصبی چند لایه مورد استفاده قرار گرفته‌است.

شبکه موجک

موجک‌ها توابع خاص ریاضی با خواصی منحصربه‌فرد هستند که امکان پردازش و آنالیز داده‌ها را با گستردگی فراوان در سطوح مختلف دقت در زمان واحد فراهم می‌سازند. یک موجک، موجی است که دارای بقا زمانی محدود و متوسط صفر هست. موجک‌ها قابلیت جداسازی و تجزیه یک سیگنال به بسته‌های مختلف فرکانسی در بعد زمان را دارا می‌باشند.

موجک به معنی موج کوچک است و دارای سه مشخصه تعداد نوسان محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی در دامنه خود و میانگین صفر است. این سه ویژگی شرط لازم برای این است که تابعی بتواند به عنوان تبدیل موجک عمل کند که شرط مقبولیت نامیده شده و به صورت زیر بیان می‌شود (Kisi et al., 2012):

$$\int \psi(t)\,dt = 0 \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، $\psi(t)$ تابع موجکی می‌باشد.

این طرح در دو آزمایش کرت یک بار خرد شده در قالب بلوک کاملا تصادفی در ۴ تکرار به‌این‌صورت که یک آزمایش

بدون‌خاک‌ورزی و دیگری با خاک‌ورزی متداول صورت گرفت. تیمار آبیاری به عنوان کرت اصلی در چهار سطح آبیاری مطلوب، تنش ملایم رطوبتی، تنش شدید رطوبتی و بدون آبیاری از ابتدا تا انتهای فصل رشد (دیم) که به ترتیب آبیاری بر اساس ۱۰۰-۷۰-۴۰ درصد نیاز آبی می‌باشند، اعمال گردید.

نتایج و یافته‌ها

تغییرات خصوصیات موفولوژیکی و فیزیولوژیکی چهار رقم گندم مورد مطالعه تحت تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و سطوح رطوبتی مختلف قابل‌ملاحظه و قابل‌تأمل بود به‌گونه‌ای که در اغلب موارد اثرات هر یک از تیمارهای مورد استفاده و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر روی خصوصیت مورد ارزیابی در سطوح مختلف ۱ و ۵ درصد خطا معنادار گردید. اگرچه گندم تحمل بیشتری نسبت به غلات دیگر دارد، لیکن سطوح گوناگونی از تنش می‌توان عملکرد ان را تغییر دهد و عملکرد اقتصادی و مقرون‌به‌صرفه بودن آن را دچار تغییر و تحول نماید. در ادامه عوامل مورد ارزیابی برای هر تیمار در ارتباط رقم گندم کشت‌شده و سطوح به‌کاربرده شده ناشی از اعمال از تنش خشکی و عملیات خاک‌ورزی بیان گردیده است:

ارتفاع گیاه

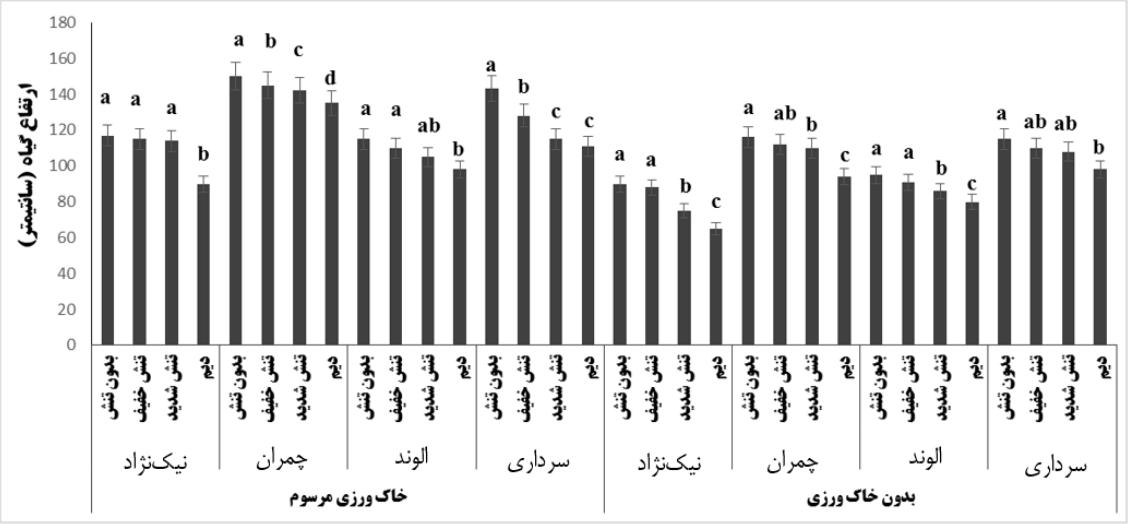
ارتفاع گیاه تحت شرایط متفاوت محیطی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی و تعیین اثرگذاری عوامل بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه می‌باشد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس، تأثیر رقم، تنش، اثرات متقابل خاک‌ورزی × رقم، بر صفت ارتفاع بوته در جدول شماره ۱ نشان داده‌شده است که در معنی‌داری اثرات تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشند و در اثر خاک‌ورزی، تراکم و اثر متقابل خاک‌ورزی × تنش و رقم × تنش و خاک‌ورزی × رقم × تنش معنی‌دار نیست.

جدول ۱- جدول اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی، رقم و نوع خاک‌ورزی بر ارتفاع گیاه گندم

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار f	Sig.
مدل اصلاح‌شده	۳۱	۴۵۹۰۹,۵	۱۴۸۰/۹	۳۴۳/۴	۰/۰۰۱**
اثرات متقابل	۱	۱۶۲۷۳۸۸/۴	۱۶۲۷۳۸۸/۴	۳۷۷۳۶۵,۴۲۷	۰/۰۰۱**
تنش خشکی	۳	۱۴۴۳/۶۹	۴۸۱/۳	۱۱۱/۵۹	۰/۰۰۱**
رقم	۳	۲۰۹۰۰,۲	۶۹۶۶/۷	۴۷/۱۶۱۵	۰/۰۰۱**
نوع خاک‌ورزی	۱	۲۲۶۸۴/۵	۲۲۶۸۴	۵۲۶۰/۱۷۴	۰/۰۰۱**
تنش * رقم	۹	۱۸/۸۷	۲,۰۹۷	۰/۸۵۶	۰/۸۸۰ns
تنش * نوع خاک‌ورزی	۳	۲۵/۱۸	۸,۳۹۶	۱/۹۴	۰/ ۱۲۷ns
رقم * نوع خاک‌ورزی	۳	۸۱۷/۵۶	۲۷۲,۵۲۱	۶۳/۱۹۳	۰/۰۰۱**
تنش *رقم * نوع خاک‌ورزی	۹	۱۹/۷۵	۲,۱۹۴	۰/۵	۰/ ۸۶۰ns
خطا	۹۶	۴۱۴/۰	۴,۳۱۲	–	–
کل	۱۲۸	۱۶۷۳۷۱۲/۲	–	–	–

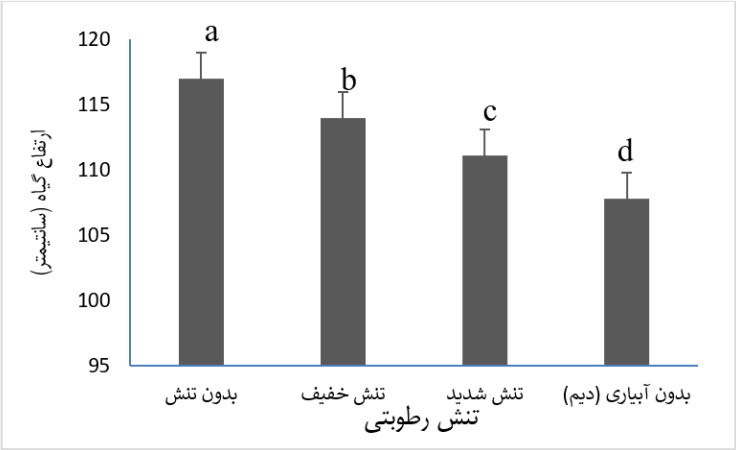
R^2= ۰/۹۹

بر اساس نتایج مقایسات میانگین، در همه‌ی سامانه‌های خاک-ورزی بیش‌ترین ارتفاع بوته متعلق به رقم چمران در شرایط بدون تنش مشاهده شد و کم‌ترین ارتفاع بوته در سامانه خاک‌ورزی مرسوم و رقم نیک‌نژاد تحت شرایط تنش شدید (دیم) مشاهده شد (شکل ۲). ارتفاع بوته در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و تنش‌های مختلف، متفاوت ارزیابی شد. همان‌گونه که در سامانه خاک‌ورزی مرسوم و نیز شرایط بدون خاک‌ورزی تمام رقم‌های کشت‌شده تحت شرایط تنش کاهش ارتفاع را نشان داده‌اند که این تغییر برای دو رقم نیک‌نژاد و چمران که رقم‌های آبی هستند بیشتر و محسوس‌تر بود. بنابراین اثر خاک‌ورزی به صورت بسیار مشخص‌تر دو رقم دیم و آبی را تحت تأثیر قرارداد. بر اساس نتایج، ارتفاع بوته‌های کشت‌شده در همه تنش‌های رطوبتی تحت تیماری خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تمام رقم‌ها در شرایط بدون خاک‌ورزی بود ارتفاع بوته‌های دیم رقم الوند و سرداری تحت خاک‌ورزی هم اختلاف معناداری را نسبت به شرایط بدون خاک‌ورزی نشان دادند و البته تغییرات ارتفاع تحت سطوح مختلف خشکی با روند نسبت ملایم‌تری نسبت به رقم‌های آبی کاهش نشان داد که مقاومت این رقم‌ها را نسبت به خشکی نشان می‌دهد (شکل ۳).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل سامانه خاک‌ورزی و نوع رقم بر ارتفاع بوته گندم

(مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و وجود حداقل یک حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد)



شکل ۳- مقایسه میانگین ارتفاع بوته گندم تحت تنش رطوبتی بدون در نظر گرفتن رقم

ارتفاع بوته نقش بسیار مهمی در ذخیره موادغذایی، انتقال مجدد آن در زمان پر شدن دانه و رشد گیاهان و عملکرد دانه دارد. بر اساس نتایج مطالعات مختلفی سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاهان کشت‌شده مانند بوته گندم و نخود داشته‌اند و میانگین ارتفاع بوته در شخم مرسوم بیش‌تر از سامانه بدون شخم گزارش‌شده است (Taner et al., 2015). توزیع یکنواخت آب در خاک و بهبود شرایط تهویه آن و کنترل بهتر علف هرز در این‌گونه سامانه‌های خاک‌ورزی دلیل بر بهبود رشد و افزایش ارتفاع گیاهان کشت‌شده می‌باشد (Guirgius et al., 2015).

گیاه گندم تحت تنش رطوبتی با مشکل اسمزی در اندام خود روبه‌رو خواهد شد و احتمالاً به همین دلیل باشد که ارتفاع و رشد گیاه تحت شرایط مختلف تنش رطوبتی و همچنین تحت تیمار خاک‌ورزی نامناسب کاهش رشد چشمگیری را نشان می‌دهد.

با این‌حال گزارش‌های دیگری هم در خصوص بی‌تأثیر بودن سامانه‌های خاک‌ورزی و نوع خاک‌ورزی بر ارتفاع گیاه کشت‌شده گزارش‌شده است. چنانچه در پژوهش‌های خوان‌پایه و جلالیان (۱۳۹۲) مشاهده شده است که سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه نخود نداشت، ولی بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع بوته متعلق به سامانه شخم کاهشی و بدون شخم بوده است. همچنین بر اساس نتایج آزمایش دیگری بیان‌شده که سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشته‌اند، اثر تنش خشکی بر ارتفاع گیاه و اثرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر نشان‌دهنده اثر عوامل بر ارتفاع گیاه می‌باشد که نشان می‌دهد گیاه و مخصوصاً رقم کشت‌شده بسیار تحت تاثیر تنش قرار می‌گیرد. تغییر ارتفاع بوته گندم

برای رقم‌هایی که ارتفاع بیشتری داشته‌اند محسوس‌تر بود چنانچه این تغییرات برای رقم سرداری که گونه‌های دیمی و چمران رقم آبی و دارای ارتفاع بیشتری نسبت به دو گونه دیگر هستند مشخص‌تر و این تغییرات معنی‌دار ارزیابی شد.

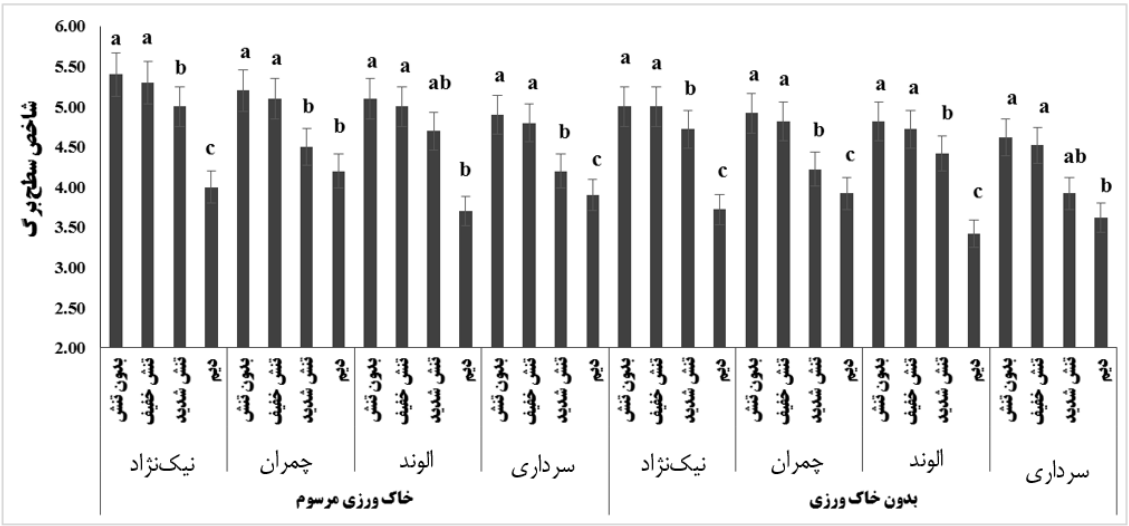
شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ، بیان‌کننده سطح یک طرف برگ به سطح زمین اشغال‌شده توسط محصول است. میزان یک این شاخص، مساوی یک واحد از مساحت سطح برگ در واحد سطح زمین است که به‌طور نظری می‌تواند تمام نور برخورد کرده به خود را دریافت نماید، ولی با توجه به شکل برگ، نازکی (نور عبور کرده)، زاویه و مقدار عمودی بودن برگ‌ها، به‌ندرت تمام نور را دریافت می‌کند. که معمولاً مساوی با ۵-۳ جهت تولید حداکثر ماده خشک برای اغلب محصولات کاشته شده لازم است. طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، تأثیر تنش و نوع خاک‌ورزی و اثر متقابل این دو بر صفت شاخص سطح برگ در سطح احتمال ۱ درصد و اثر رقم و اثرات متقابل خاک‌ورزی × رقم اختلاف معنی‌داری را نشان نداده است (جدول ۲).

جدول ۲- آنالیز اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی، رقم و نوع خاک‌ورزی بر شاخص سطح برگ گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار f	Sig.
مدل اصلاح‌شده	۳۱	۲۱۶۷۳۶/۳	۶۹۹۱/۷	۳/۱	۰/۰۲۱*
اثرات متقابل	۱	۳۴۹۵۷/۲	۳۴۹۵۷/۸	۳/۵	۰/۰۲۲*
تنش خشکی	۳	۲۹۹۶۴/۲	۹۹۸۸/۵	۱۲/۲	۰/۰۰۱**
رقم	۳	۷۴۹۱/۵	۲۴۹۷/۲	۱/۴	۰/۰۴۱ns
نوع خاک‌ورزی	۱	۱۰۴۰/۵	۱۰۴۰/۲	۴/۴۷	۰/۰۰۱**
تنش * رقم	۹	۳۱۲۱/۹	۳۴۷/۰	۲/۵	۰/۰۲۰*
تنش * نوع خاک‌ورزی	۳	۳۰۶/۶	۱۰۲/۵	۱۳/۶	۰/۰۰۲**
رقم * نوع خاک‌ورزی	۳	۱۰۲/۸	۳۴/+	۰/۷۲	۰/۰۰۱ns
تنش *رقم * نوع خاک‌ورزی	۹	۱۵۳/۷	۱۷/۵	۳/۷	۰/۰۲۰**
خطا	۹۶	۴۸۰/۶	۵/۲	–	–
کل	۱۲۸	۲۹۴۳۵۱/	–	–	–

R^2= ۰/۹۸



شکل ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش رطوبتی، خاک‌ورزی و رقم شاخص سطح برگ گیاه گندم

(مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و وجود حداقل یک حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد)

بر اساس نتایج مقایسات بیش‌ترین میـزان شـاخص سـطح بـرگ برای شرایط بدون تنش نسبت به سایر تنش‌هـای رطـوبتی مشـاهده شد. و همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص سطح برگ نیز به ترتیب در رقم نیک‌نژاد در شرایط نرمال رطـوبتی (۵/۴) و رقـم دیمـی الونـد (۳/۵) تحت شرایط تنش شـدید مشـاهده شـد کـه در شـرایط بـدون خاک‌ورزی اتفاق افتاد. بنابراین در این مطالعه تغییـرات ایـن شـاخص مجزای از ارقام کشت‌شده برای سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی مقادیر متفاوتی را نشان داد و بیش‌ترین تغییرات میزان شاخص سـطح بـرگ در سامانه بدون خاک‌ورزی تحت تـنش شـدید رطـوبتی حاصـل شـد (شکل ۴).

اثرات خاک‌ورزی بسـیاری از خصوصـیات مـورد ارزیـابی در ایـن پژوهش را دستخوش تغییـر قـرارداد، منجملـه شـاخص سـطح بـرگ بوته‌های گندم برای ارقام مختلف را می‌توان بیـان نمـود. نتـایج ایـن مطالعه نشان داد که آنچه بیشترین تأثیر را بـر شـاخص سـطح بـرگ گذاشته تنش خشکی بوده که در تمام سـطوح خـاک‌ورزی و بـر روی تمام ارقام کشت‌شـده مـؤثر بـوده اسـت. بـه‌طـورکلی در بسـیاری از مطالعات انجام‌شده در رابطه با تأثیر تنش رطوبتی بر شـاخص سـطح برگ برای انواع گیاهان زراعی مختلفی این تـأثیر منفـی مشـخص و گزارش‌شده است (Smith et al., 2019).

شاخص برداشت

بررسی تاثیرعامـل هـای رقـم، تـنش، خـاکورزی بـر خصوصـت شاخص برداشت نشان می‌دهد کـه هـر کـدام از عوامـل بـه صـورت جداگانه اثرات معنی‌داری بر این ویژگی داشته‌اند. اگرچـه تغییـرات در خصوص تاثیر عامل خاک‌ورزی نیـز وجـود داشـته امـا در اینجـا ایـن تغییرات معنادار نشده است. همچنین اثرات متقابل عوامل رقم، تـنش، خاکورزی به طور کلی معنی‌دار نبوده است و به نظر می‌رسد بیشـترین عامل اثرگذار بر این فاکتور تنش رطوبتی بوده است (جدول ۳).

جدول ۳- جدول آنالیز اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی، رقم و نوع خاک‌ورزی بر خصوصیت شاخص برداشت گیاه

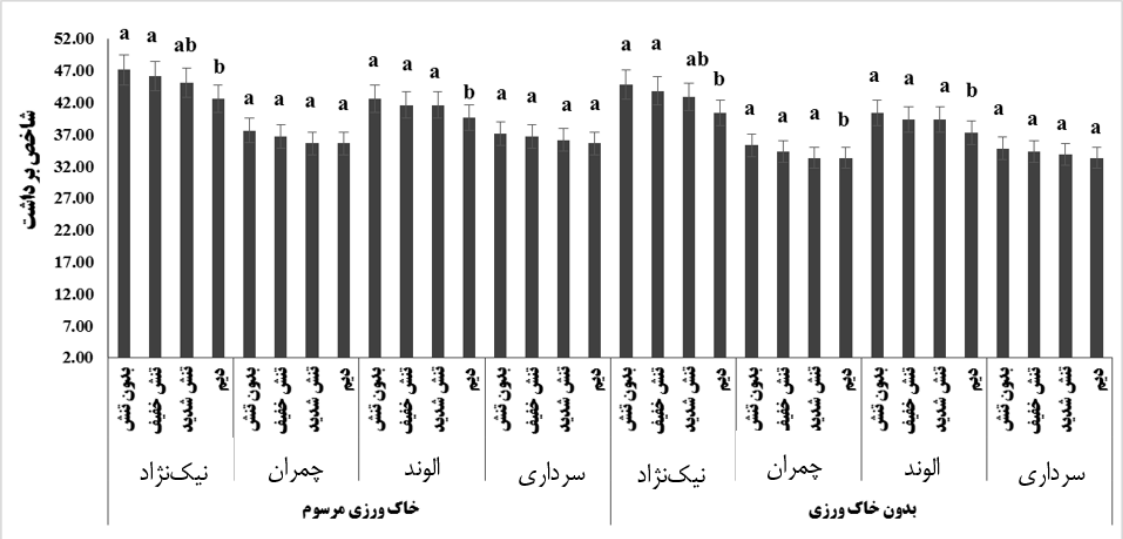
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار f	Sig.
مدل اصلاح‌شده	۳۱	۱۱۷۴۰۵۸/۷	۳۷۸۷۳/۵	۱/۸	۰/۰۱ *
اثرات متقابل	۱	۱۸۹۳۶۴/۴	۱۸۹۳۶۴/۶	۳/۵	۰/۰۰۱ **
تنش خشکی	۳	۱۶۲۳۱۲/۷	۵۴۱۰۴/۷	۴/۱	۰/۰۰۱ **
رقم	۳	۴۰۵۷۸/۶	۱۳۵۲۶/۵	۷/۴	۰/۰۰۱ **
نوع خاک‌ورزی	۱	۱۸۲۸/۵	۱۸۲۸/۷	۱/۰	۰/۰۳ ns
تنش * رقم	۹	۵۴۸۴/۴	۶۰۹/۶	۶/۴	۰/۰۰۱ **
تنش * نوع خاک‌ورزی	۳	۳۲۱/۵	۱۳۵/۳	۱/۳	۰/۰۲ *
رقم * نوع خاک‌ورزی	۳	۲۸۶/۷	۹۵/۷	۴/۲	۰/۰۲۲ ns
تنش *رقم * نوع خاک‌ورزی	۹	۲۱۴/۴	۲۴/۸	۱/۲	۰/۰۴۱ ns
خطا	۹۶	۱۶۳۲/۴	۱۷/۷	–	–
کل	۱۲۸	۱۵۷۶۰۴۱/۳	–	–	–

R^2= ۰/۹۶

طبق نتایج مقایسات میانگین، بدون در نظـر گـرفتن ارقـام مـورد کشت، نوسانات تغییر شاخص برداشت تحت تیمار تنش روند کاهشـی را نشان داده و بیشترین و کمترین میزان به ترتیب بدون در نظر گفتن ارقام و یا سطح شخم و خاک‌ورزی، مربوط به شـرایط بـدون تـنش و شرایط دیم بوده است. ارقام نیک‌نژاد و سـرداری بـالاترین مقـادیر را نشان داده که تحت شرایط بدون خاک‌ورزی نیز کاهش چشم‌گیری را نشان داده‌اند (شکل ۵).

شاخص برداشت یکی از پارامترهای مهم در پـیش‌بینـی و تعیـین عملکرد دانه است. این پارامتر تحت شـرایط مختلـف محیطـی تغییـر می یابد که ایـن شاخص برداشت یکی از معیارهای مهم فیزیولوژیکی در محصولات به شمار می‌آید و کارایی توزیع مواد ساخته‌شده در میان اندام‌های مختلف به‌ویژه اندام‌های اقتصادی مـوردنظر را نشان و ایـن نسبت بیانگر میزان کارایی گیاه در تبـدیل مـواد فتوسـنتزی بـه دانـه است.

عوامل گوناگونی این شاخص را تحت تأثیر قرار داده‌انـد. عـواملی ازجمله تنش رطوبتی، تراکم، رقم و خاک‌ورزی که هرکـدام بسـته بـه شرایط موجود تأثیر منحصربه‌فردی بر عملکرد گیاه داشته‌انـد. در ایـن میان کمبود یا کمبود منابع آب به‌عنوان یکی از جدی‌ترین پدیده‌هـای محیطی محسوب می‌شود که مـانع تولیـد محصـولات کشـاورزی در بسیاری از کشورها مـی‌شـود (El-Mouhamady et al., 2019) و از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر عملکرد گیاه می‌باشد که در این مطالعـه نیـز بدست آمد.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تنش، خاک‌ورزی و رقم بر شاخص برداشت گندم

بیومس تولیدی (عملکرد زیستی)

بیومس تولیدی گیاه به‌عنوان عامل اقتصادی برای کشت ارقام گیاه تحت تنش و انواع خاک‌ورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. بر اساس نتایج حاصله از جدول تجزیه واریانس، اثر هر کدام‌یک از تیمارها و نیز اثر متقابل خاک‌ورزی، تنش و رقم بر عملکرد زیستی گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است و اثر خاک‌ورزی و سایر اثرات متقابل دو یا سه‌گانه تیمارها نیز در سطح ۱ درصد خطا بر عملکرد زیستی معنی‌دار شده است (جدول ۴).

جدول ۲- آنالیز اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی، رقم و نوع خاک‌ورزی بر تولید زیست‌توده گیاه

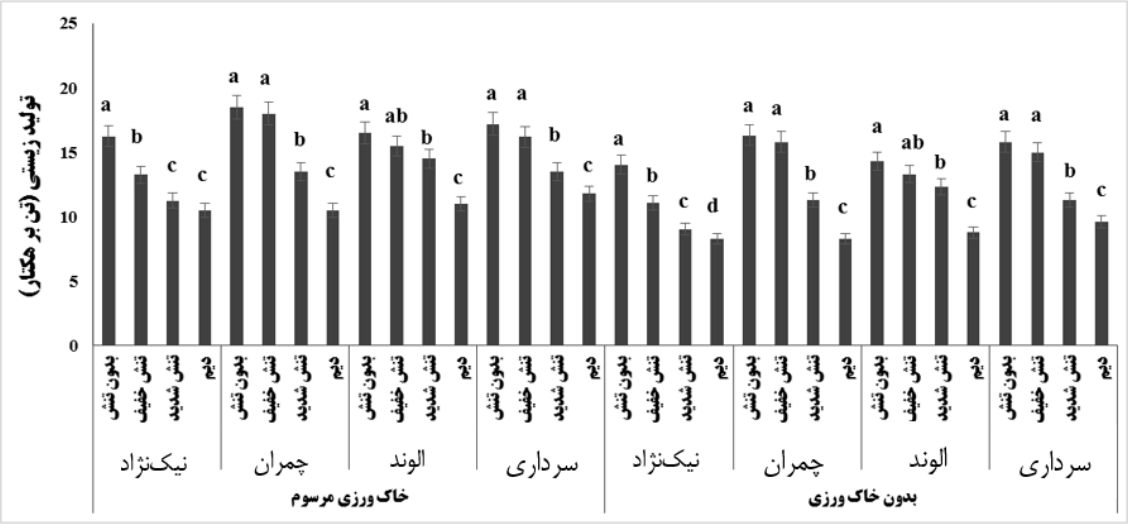
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار f	Sig.
مدل اصلاح‌شده	۳۱	۷۰۲۴۲/۵۸	۲۲۶۵/۸۹	۲۴/۳	۰/۰۰۱**
اثرات متقابل	۱	۶۶۹۰۴/۸	۶۶۹۰۴/۸۰	۷۱۱/۹	۰/۰۰۱**
تنش خشکی	۳	۳۱۷۱/۷۶	۱۰۵۷/۲۵	۱۱/۳۴	۰/۰۰۱**
رقم	۳	۱۶۴۰۴/۱۰	۵۴۶۸/۰۳	۵۸/۶۸	۰/۰۰۱**
نوع خاک‌ورزی	۱	۱۰۲۵۳/۱۲	۱۰۲۵۳/۱۲	۱۱۰/۰۲	۰/۰۰۱**
تنش * رقم	۹	۸۲۱۳/۹۹	۹۱۲/۶۶	۹/۸	۰/۰۰۱**
تنش * نوع خاک‌ورزی	۳	۴۵۳۲/۰۵	۱۵۱۰/۶۸	۱۶/۲	۰/۰۰۲**
رقم * نوع خاک‌ورزی	۳	۲۰۴۰۵/۳	۶۸۰۱/۷۶	۷۲/۹۹	۰/۰۰۱**
تنش *رقم * نوع خاک‌ورزی	۹	۷۲۶۲/۲۴	۸۰۶/۹۱	۸/۶۶	۰/۰۰۱**
خطا	۹۶	۸۹۴۵/۹۵	۹۳/۱۸	–	–
کل	۱۲۸	۱۴۶۰۹۳/۳۶	–	–	–

R^2= ۰/۸۹

نتایج مقایسات میانگین، بیانگر این است که عملکرد زیستی تمام ارقام کشت‌شده با عملیات خاک‌ورزی رابطه مستقیم و مثبتی دارد این عمل با افزایش عملکرد زیستی برای چهار رقم چمران، نیک‌نژاد، الوند و سرداری همراه بوده است. هرکدام یک از ارقام به‌صورت مجزا اختلاف معنی‌داری را بین تیمار خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی نشان داده‌اند. بنابراین بر اساس نتایج مقایسات میانگین ارقام در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی دارای عملکردهای زیستی متفاوتی بودند و به‌طورکلی رقم چمران و الوند به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد را در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی داشتند که البته رقم اولی آبی و رقم دومی دیم می‌باشد.

نتایج تحقیقات متعدد حاکی از آن است که سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر معنی‌دار بر عملکرد زیستی داشتند و بیش‌ترین زیست‌توده متعلق به سامانه‌خاک‌ورزی مرسوم بود و سامانه بی‌خاک‌ورزی تولید بسیار کمتری را نشان داده است.

اما به نظر می‌رسد اثرات متقابل بین تیمارهای مورد بررسی و یا نوع گیاهان کشت‌شده می‌تواند تأثیر خاک‌ورزی را تغییر دهد چنانچه در سایر پژوهش‌ها نیز تفاوت معنی‌داری در عملکرد ماده خشک تحت سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی مشاهده نشده است. علاوه بر این، وی در آزمایشی دیگر نشان داد که عملکرد دانه و زیست‌توده در تیمار بدون شخم و شخم کاهشی در مقایسه با تیمار خاک‌ورزی مرسوم به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد.



شکل ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل سامانه خاک‌ورزی و رقم بر عملکرد زیستی گندم

(مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و وجود حداقل یک حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد)

در کنار تأثیر تیمار خاک‌ورزی، تنش خشکی نیز اثرات معنی‌داری (در سطح ۱ درصد خطا) بر عملکرد ارقام گوناگون نشان داد. این تأثیرات بر ارقام آبی گندم مانند چمران و نیک‌نژاد بالطبع بیشتر از تأثیرگذاری بر ارقام دیم (الوند، سرداری) بود. کمترین میزان تولید بایومس گیاه تحت تأثیر تیمار تنش خشکی شدید (بدون آبیاری یا همان دیم) و برای تیمار بدون خاک‌ورزی به دست آمد. چنین اثراتی برای بسیاری از گیاهان زراعی مورد مطالعه گزارش‌شده است.

تعداد پنجه بارور در هر بوته

پنجه بارور در هر بوته نشان از شرایط ایده‌آل برای جذب مواد غذایی و آب از خاک و فضای کافی برای رشد گیاه می‌باشد که طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس این فاکتور تحت تأثیر خصوصیات و تیمارهای اعمال‌شده قرار گفته و اثرات رقم و اثرات متقابل رقم و خاک‌ورزی بر این فاکتور معنی‌داری نبوده اما اثرات سایر عوامل و تیمارها منجمله تنش و خاک‌ورزی و اثرات متقابل این دو در سطح معنی‌داری (خطای ۵ درصد) بر تعداد پنجه بارور در هر بوته معنی‌دار بوده است (جدول ۵).

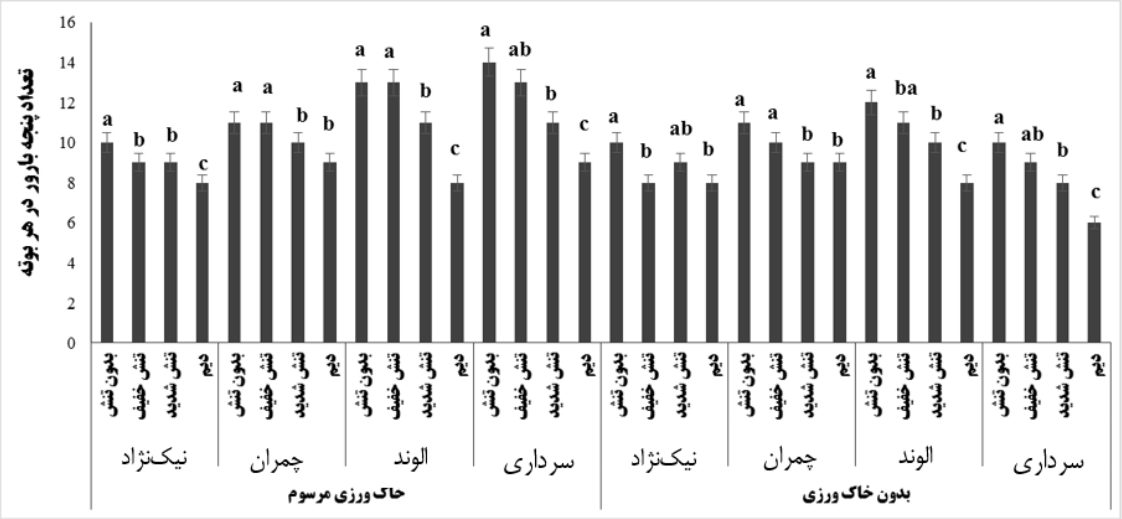
بر اساس نتایج مقایسات میانگین، به‌طورکلی در هر دو سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی رقم الوند و سرداری با میزان ۱۳ و ۱۴ پنجه بارور در هر بوته بیش‌ترین تعداد پنجه را نسبت به سایر ارقام و تحت سایر تیمارها داشت که تحت سامانه خاک‌ورزی مرسوم و بدون تنش رطوبتی قرار داشت و کم‌ترین تعداد پنجه نیز در رقم نیک‌نژاد و تحت شرایط تنش خشکی در شرایط خاک‌ورزی مرسوم اتفاق افتاد که معادل ۸ پنجه بارور در هر بوته بود.

تعداد پنجه کم و یا زیاد برای افزایش عملکرد دانه نامناسب است. مشاهدات همواره نشانگر آن بودند که اعمال تراکم‌های بالا در مزرعه منجر به کاهش تعداد پنجه در هر گیاه و افزایش تراکم پنجه در سطح مزرعه و کاهش تعداد دانه در هر خوشه می‌شود. در بررسی تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی در پژوهش حاضر مشاهده شد که بوته‌های گندم در شرایط بدون خاک‌ورزی تعداد پنجه کم‌تری نسبت به سامانه خاک‌ورزی مرسوم داشته‌اند. به‌طورکلی، خاک‌ورزی از طریق تأثیر بر مقاومت مکانیکی خاک، هوادهی خاک، پیوستگی و پایداری و اندازه منافذ و همچنین مقدار منافذ زیستی خاک، درجه حرارت خاک، میزان آب خاک، عناصر غذائی خاک و همچنین برهم‌کنش آن‌ها، می‌تواند میزان رشد ریشه و در نتیجه رشد بخش‌های هوایی گیاه را بهبود بخشد.

جدول ۵- جدول آنالیز اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی، رقم و نوع خاک‌ورزی بر تعداد پنجه بارور در هر بوته

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار f	Sig.
مدل اصلاح‌شده	۳۱	۶۴۲۸۱۶۰ /۵	۲۰۷۳۶۰ /۱۲	۳/۲۲	*۰/۰۱۳
اثرات متقابل	۱	۲۰۷۳۶۰/۴۲	۲۰۷۳۶۰/۲۴	۳/۱۲	*۰/۰۲۱
تنش خشکی	۳	۲۰۷۳۶۰/۱۲	۶۹۱۲۰/۱۳	۱۴/۲	**۰/۰۰۱
رقم	۳	۳۴۵۶۰/۴۲	۱۱۵۲۰/۲۲	۱/۴۰	ns۰/۰۴۲
نوع خاک‌ورزی	۱	۳۸۴۰/۵۲	۳۸۴۰/۱۲	۹/۳۰	*۰/۰۱۴
تنش * رقم	۹	۶۹۱۲/۶۵	۷۶۸/۲	۲/۱۰	*۰/۰۲
تنش * نوع خاک‌ورزی	۳	۱۱۵۲/۴۵	۳۸۴/۳۲	۳/۲۲	*۰/۰۲
رقم * نوع خاک‌ورزی	۳	۵۷۶/۳۲	۱۹۲/۲۱	۱/۹۸	ns۰/۰۳
تنش *رقم * نوع خاک‌ورزی	۹	۸۶۴/۵۴	۹۶/۱۲	۲/۳۱	*۰/۰۲
خطا	۹۶	۶۱۴۴/۲۵	۶۴/۲	–	–
کل	۱۲۸	۶۸۹۶۹۲۸ /۴۵	–	–	–

R^2= ۰/۹۴



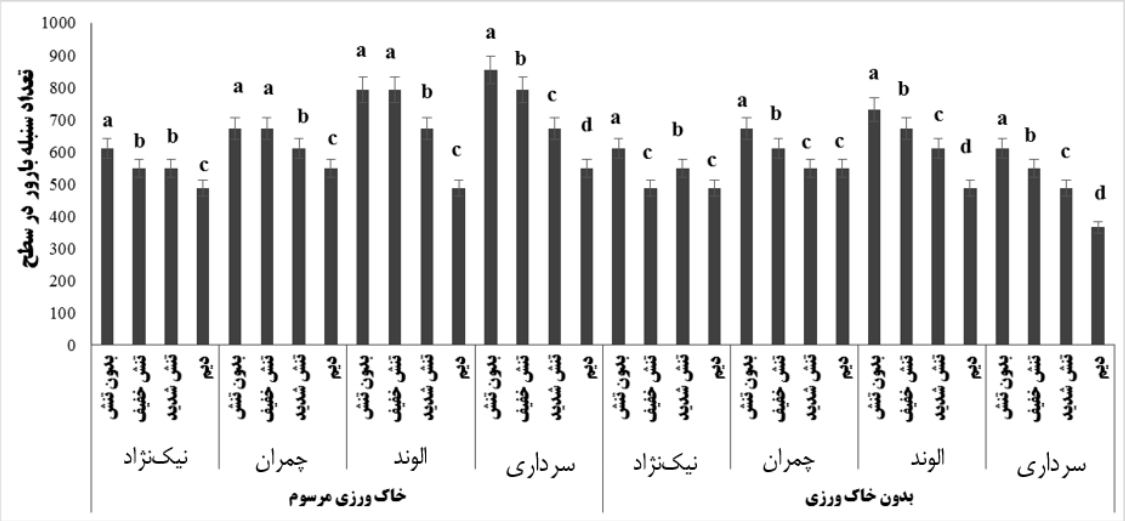
شکل ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل خاک‌ورزی، تنش و رقم بر تعداد پنجه بارور در بوته

(مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و وجود حداقل یک حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد)

بنابراین در این آزمایش تعداد پنجه بارور در بوته در سامانه خاک-ورزی مرسوم بیشتر از تعداد پنجه در شرایط بدون خاک‌ورزی بود. اثرات تنش خشکی نیز در بسیاری از مطالعات و تحقیقات برای کاهش تعداد پنجه‌زنی گیاهان مورد توجه و گزارش‌شده است.

میزان سنبله بارور در واحد سطح

تعداد سنبله بارو با تعداد پنجه در گیاهان زراعی غلات رابطه مستقیم داشته و در شرایط ایده‌ال تقریباً یکسان هستند. طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، تأثیر عامل تنش و سامانه خاک‌ورزی اثرات متقابل آن‌ها بر تعداد سنبله بارور در واحد سطح در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بوده است ولی اثر رقم بر این عامل محسوس نبوده است. بنابراین نتایج آنچه بیش‌ترین تأثیر را بر عامل تعداد سنبله بارور قرار دارد شرایط تنش‌زا می‌باشد. به همین‌ترتیب و بر اساس نتایج مقایسات میانگین، در بین ارقام مختلف و شرایط تنش یکسان، بیش‌ترین تعداد سنبله بارور در واحد سطح مربوط به رقم دیمی سرداری با میزان ۸۵۴ بوته در مترمربع و کمترین مربوط به رقم نیک‌نژاد با تعداد ۶۱۰ سنبله بارور در یک مترمربع بود که این مقادیر به ترتیب برای تنش شدید معادل ۵۴۹۹ و ۴۸۸ سنبله بوده است. تحت شرایط تنش شدید دیم و برای شرایط بدون خاک‌ورزی این دو مقدار به ترتیب معادل ۳۶۶ و ۴۸۷ سنبله در واحد سطح بوده است. بنابراین اثرات ارقام و تنش و خاک‌ورزی به‌صورت توأم موجب تغییر این فاکتور در گیاه گندم شده است (شکل ۸).



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تنش، خاک‌ورزی و رقم بر تعداد سنبله بارور در واحد سطح

طول سنبله

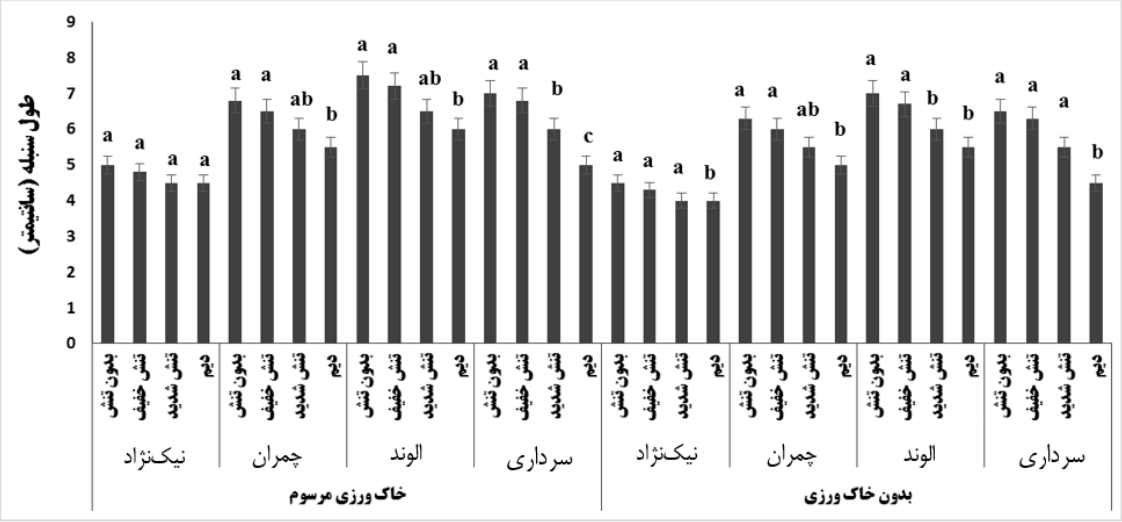
در یک رقم بخصوص از گندمیان طول سنبله تحت تأثیر عوامل متعددی متغیر خواهد بود که تأثیر بسزایی بر میزان تولید دانه خواهد داشت اما بین ارقام مختلف این موضوع کمی پیچیدگی ایجاد می‌کند. با این‌حال بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، تأثیر سامانه خاک‌ورزی و تنش را بر طول سنبله به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار نشان داده و البته اثر رقم نیز معنادار با توجه به ارقام مختلف دیمی و آبیاری نیز معنی‌دار بوده است. و همچنین طول سنبله تحت تمام اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه فاکتورهای رقم و تنش و خاک‌ورزی نیز معنی‌دار نشد. (جدول ۶).

جدول ٦- جدول آنالیز اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی، رقم و نوع خاک‌ورزی بر طول سنبله

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار f	Sig.
مدل اصلاح‌شده	۳۱	۲۹۵۰۲۳۶/۴	۹۵۱۶۹/۵	۳/۰۱	۰/۰۰۳**
اثرات متقابل	۱	۴۷۵۸۴۵/۲	۴۷۵۸۴۵/۶	۴/۳۲	۰/۰۲۱**
تنش خشکی	۳	۳۱۷۲۳۰/۳	۱۰۵۷۴۳/۲	۳/۴۴	۰/۰۰۱**
رقم	۳	۱۰۵۷۴۳/۷	۳۵۲۴۸/۹	۱۲/۴۳	۰/۰۰۲**
نوع خاکورزی	۱	۲۸۴۳/۵	۲۸۴۳/۸	۲/۲۰	۰/۰۱۴*
تنش * رقم	۹	۱۲۷۹۲/۶	۱۴۲۱/۶	۹/۴۲	۰/۰۰۲**
تنش * نوع خاک‌ورزی	۳	۴۵۴/۷	۱۵۱/۵	۲/۴۱	۰/۰۲*
رقم * نوع خاک‌ورزی	۳	۲۲۷/۴	۷۶/۳	۷/۷۰	۰/۰۳**
تنش *رقم * نوع خاکورزی	۹	۹۷/۲	۱۱/۳	۲/۴۱	۰/۰۲*
خطا	۹۶	۴۳۲/۷	۵/۲	–	–
کل	۱۲۸	۳۸۶۵۸۹۷/۴	–	–	–

R^2= ۰/۹۷

طبق نتایج مقایسات میانگین، بیش‌ترین طول سنبله (۷/۵سانتی‌متر) مربوط به‌رغم الوند تحت شرایط نرمال آبیاری در سامانه خاک‌ورزی مرسوم مشاهده‌شده که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از طول سنبله در شرایط بدون خاک‌ورزی (۷ سانتی‌متر) و تحت تنش شدید (۵/۵ سانتی‌متر) اتفاق افتاده است (شکل۹).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و تنش رطوبتی و رقم بر طول سنبله گندم

همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده با افزایش تنش رطوبتی، طول سنبله به‌طور معنی‌داری کاهش‌یافته و موجب کاهش میزان تعداد دانه در سنبله شده است.

تعداد دانه در سنبله

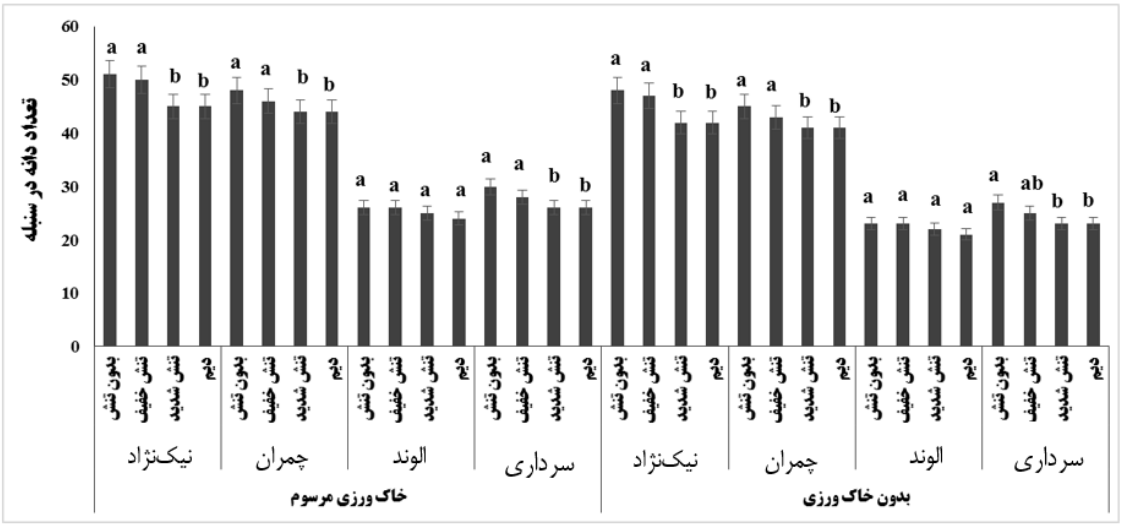
اگرچه تعداد دانه در سنبله تحت تأثیر رقم گیاه متغیر می‌باشد لیکن تحت تأثیر تیمارهای مختلف و تنش‌های محیطی تعداد آن از تعداد نرمال آن برای هر رقم کاهش پیدا خواهد نمود. طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، مجزای از رغم گندم، تعداد دانه تحت سطوح تنش خشکی تأثیر سامانه خاک‌ورزی، تنش و اثر متقابل این دو در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد دارای اختلاف معنادار بود (جدول ۷).

جدول ۷- جدول آنالیز اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی، رقم و نوع خاک‌ورزی بر تعداد دانه در هر سنبله

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار f	Sig.
مدل اصلاح‌شده	۳۱	۳۹۰۳۲۲۲۴۰۰ /۴	۱۲۵۹۱۰۴۰۰ /۰	۴/۸	۰/۰۰۱**
اثرات متقابل	۱	۲۸۳۲۹۸۴۰۰/۳	۲۸۳۲۹۸۴۰۰/۵	۵/۵۳	۰/۰۰۱**
تنش خشکی	۳	۱۶۹۹۷۹۰۴۰/۳	۵۶۶۵۹۶۸۰/۲۲	۶/۳۳	۰/۰۰۱**
رقم	۳	۲۸۳۲۹۸۴۰/۰۱	۹۴۴۳۲۸۰/۵	۱۸/۱۲	۰/۰۰۱**
نوع خاک‌ورزی	۱	۸۵۸۴۸۰/۲۳	۸۵۸۴۸۰/۸	۲/۴۷	۰/۰۲۱*
تنش * رقم	۹	۹۶۵۷۹۰/۳۲	۱۰۷۳۱۰/۹	۸/۴۲	۰/۰۰۱**
تنش * نوع خاک‌ورزی	۳	۶۴۳۸۶/۳۴	۲۱۴۶۲/۸	۳/۱۴	۰/۰۲۱*
رقم * نوع خاک‌ورزی	۳	۹۱۹۸/۵۲	۳۰۶۶/۵۴	۶/۴۵	۰/۰۰۱**
تنش *رقم * نوع خاکورزی	۹	۴۵۹۹/۴۲	۵۱۱/۴۲	۲/۱۴	۰/۰۵۰ns
خطا	۹۶	۷۰۰۸/۲۴	۷۳/۲۱	–	–
کل	۱۲۸	۴۳۸۶۷۳۹۱۴۱/۳	–	–	–

R^2= ۰/۹۱

همچنین با توجه به شکل ۱۰، بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله مربوط به کشت ارقام آبی نیک‌نژاد (۵۱) و چمران (۴۸) در سامانه خاک‌ورزی مرسوم تحت شرایط بدون تنش بوده و کم‌ترین تعداد دانه در سنبله نیز مربوط به کشت ارقام دیم الوند (۲۱) و سرداری (۲۳) در سامانه بی‌خاک‌ورزی با تحت تنش شدید رطوبتی مشاهده شد. بنابراین مطابق نتایج آماری به‌دست‌آمده بیشترین تأثیر منفی مربوط به تنش خشکی بوده که تعداد دانه را برای رقم آبی نیک‌نژاد از میزان ۵۱ به میزان ۴۵ برای شرایط خاک‌ورزی مرسوم کاهش داده است. این کاهش به همین ترتیب برای شرایط بدون خاک‌ورزی با کاهش نسبی روبه‌رو بوده است.



شکل ۱۰ - مقایسه میانگین اثر نوع رقم- تنش و خاک‌ورزی بر تعداد دانه در سنبله

(مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و وجود حداقل یک حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد)

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه یکی دیگر از اجزا عملکرد گیاهان است که توان‌زیستی گاه را نشان می‌دهد و این مهم برای انتخاب مرغوب‌ترین بذور برای کشت و یا نگهداری طولانی‌مدت بذور بسیار حائز اهمیت است. بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، تأثیر رقم، تنش، نوع خاک‌ورزی و اثر متقابل سطوح مختلف تیمارها بر وزن هزار دانه ارقام گندم را داده است. نتایج بررسی به ترتیب در سطح احتمال ۱ و برای اثر ترکیبی تنش و نوع خاک‌ورزی در سطح ۵ درصد معنی-دار است و تنها اثر ترکیبی خاک‌ورزی و تنش بر وزن هزار دانه ارقام معنادار نشده است (جدول ۸).

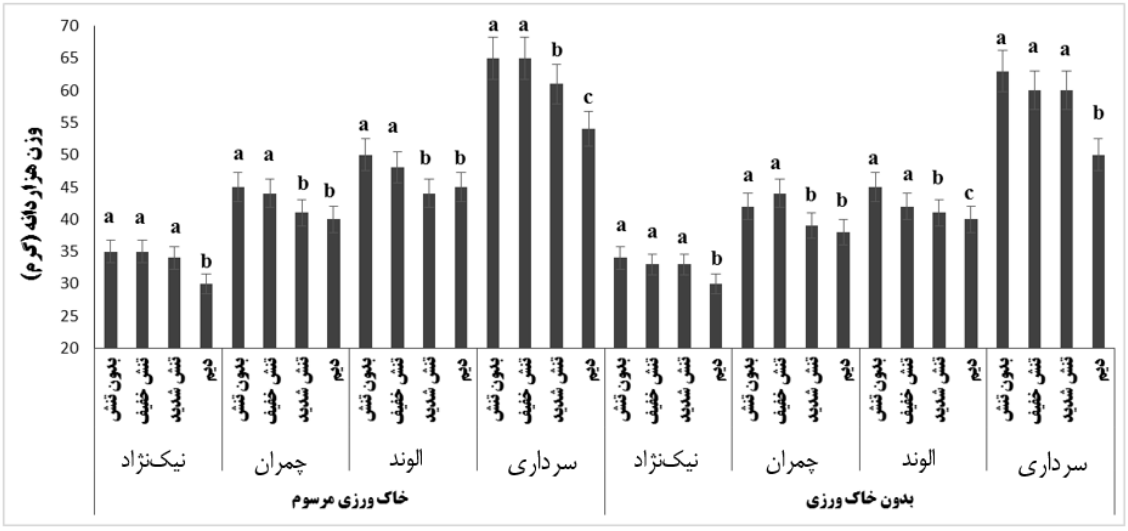
جدول ۸- جدول آنالیز اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی، رقم و نوع خاک‌ورزی بر وزن هزار دانه گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار f	Sig.
مدل اصلاح‌شده	۳۱	۱۲۴۷۶۱۵۴۶۰ /۴	۴۰۲۴۵۶۶۰ /۳	۴/۵	**۰/۰۰۱
اثرات متقابل	۱	۸۰۴۹۱۳۲۰/۵	۸۰۴۹۱۳۲۰/۸	۷/۴	**۰/۰۰۱
تنش خشکی	۳	۴۰۲۴۵۶۶۰/۸	۱۳۴۱۵۲۲۰/۵	۸/۶	**۰/۰۰۱
رقم	۳	۸۰۴۹۱۳۲/۶	۲۶۸۳۰۴۴/۷	۱۳/۸	**۰/۰۰۱
نوع خاک‌ورزی	۱	۲۰۶۳۸۸/۷	۲۰۶۳۸۸/۸	۲/۳	*۰/۰۲
تنش * رقم	۹	۱۸۵۷۴۹۲/۴	۲۰۶۳۸۸/۶	۱۴/۴	**۰/۰۰۱
تنش * نوع خاک‌ورزی	۳	۴۷۶۲۸/۶	۱۵۸۷۶/۴	۱/۶	ns۰/۰۴۱
رقم * نوع خاک‌ورزی	۳	۷۹۳۸/۵	۲۶۴۶/۸	۷/۸	**۰/۰۰۱
تنش *رقم * نوع خاکورزی	۹	۳۴۰۲/۲	۳۷۸/۵	۲/۵	*۰/۰۲
خطا	۹۶	۶۰۴۸/۵	۶۳/۸	–	–
کل	۱۲۸	۵۱۲۱۳۷۶۸۴۸ /۴۵	–	–	–

R^2= ۰/۹۱

بر اساس نتایج مقایسات میانگین در شرایط نرمال آبیاری و تحت شرایط خاک‌ورزی مرسوم، وزن هزار دانه رقم زراعی دیم سرداری (۶۴/۶ گرم) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از رقم الوند (۴۹/۵) و چمران (۴۵/۷ گرم) و نیک‌نژاد (۳۵/۸ گرم) بود (شکل۱۱). کمترین مقدار وزن هزار دانه مربوط به رقم نیک‌نژاد (۳۰/۲ گرم) تحت شرایط بدون خاک‌ورزی برای تنش شدید ارزیابی شد.

به‌طورکلی با توجه به مقایسات میانگین، بیشترین درصد تغییرات وزن هزار دانه برای دو رقم آبی نیک‌نژاد و چمران و کمترین تغییرات برای دو رقم دیم الوند و سرداری مشاهده گردید. اثرات نوع خاک‌ورزی در سطح ۵ درصد میزان وزن هزار دانه را تغییر داد و بیشترین تغییرات وزن هزار دانه مربوط به تنش‌های رطوبتی اعمال‌شده بود.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین وزن هزار دانه ارقام گندم تحت سطوح مختلف تنش رطوبتی و نوع خاک‌ورزی

(مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و وجود حداقل یک حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد)

وزن هزار دانه ارقام آبی مانند چمران و نیک‌نژاد به‌طورکلی بسیار کمتر از ارقام دیمی مانند الوند و سرداری می‌باشد. به‌طورکلی تمام سطوح تنش رطوبتی و نوع خاک‌ورزی اعمال‌شده در شرایط مزرعه مقدار وزن هزار دانه را تحت تأثیر خود قراردادند و تنش بیشترین اثر را داشت.

عملکرد دانه

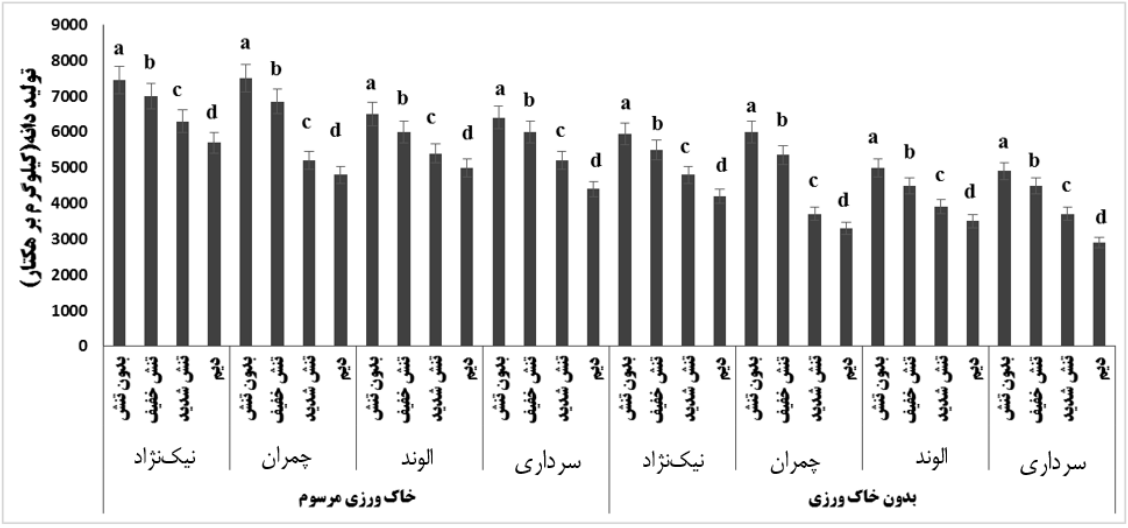
عملکرد دانه از مهم‌ترین فاکتورها در گزینش رقم پر محصول گندم تحت شرایط آب و هوایی خاص و تحت تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و رطوبتی می‌باشد تا از نظر اقتصادی سودآور باشد. طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، تأثیر رقم، سطوح تنش و خاک‌ورزی بر میزان عملکرد دانه در واحد سطح در سطح ۱ درصد معنادار شده است. همچنین اثر متقابل سه عامل خاک‌ورزی × رقم × تنش بر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۹).

جدول ۹- جدول آنالیز اثرات متقابل تیمارهای تنش خشکی، رقم و نوع خاک‌ورزی بر عملکرد دانه گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار f	Sig.
مدل اصلاح‌شده	۳۱	۹۳۳۸۶۴۳۲/۸۸	۶۸۳۶۳۷۲/۲۸	۵/۴	۰/۰۰۱**
اثرات متقابل	۱	۷۲۰۹۵۶۸/۷۱	۷۲۰۹۵۶۸/۷۱	۹/۴۲	۰/۰۰۱**
تنش خشکی	۳	۹۰۶۹۶۵۶/۲۳	۷۹۶۸۹۸۹۹۵۲	۱۱/۲۳	۰/۰۰۱**
رقم	۳	۷۳۳۶۰۸۹۶/۲۱	۷۲۴۴۵۳۶۳۲	۷/۱۲	۰/۰۰۱**
نوع خاک‌ورزی	۱	۳۴۹۳۳۷۶/۱۰	۳۴۹۳۳۷۶/۱۰	۲۱/۳۰	۰/۰۰۱**
تنش * رقم	۹	۳۵۴۳۰۴/۴۴	۴۹۲۸۲۵۶	۲۳/۲۱	۰/۰۰۱**
تنش * نوع خاک‌ورزی	۳	۲۸۱۶/۶۴	۲۱۴۲۷۲	۱۲/۰۵	۰/۰۰۲**
رقم * نوع خاک‌ورزی	۳	۵۶۸/۵۳	۱۷۸۵۶	۳۱/۲۴	۰/۰۰۱**
تنش *رقم * نوع خاکورزی	۹	۱۸۴/۵۱	۵۷۶	۹/۱۴	۰/۰۰۱**
خطا	۹۶	۱۴۴/۶۵	۶۴	–	–
کل	۱۲۸	۶۹۰۸۴۲۶۴۸۱۴۱ /۸	–	–	–

R^2= ۰/۹۶

بر اساس نتایج حاصله از این پژوهش کم‌ترین و بیش‌ترین عملکرد دانه به ترتیب از رقم نیک‌نژاد در سامانه خاک‌ورزی مرسوم (۷۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) و بی خاک‌ورزی (۵۹۵۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم چمران در سامانه خاک‌ورزی مرسوم (۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) بی خاک‌ورزی (۶۰۰۰ کیلوگرم) حاصل شد. همچنین برای رقم‌های دیم به ترتیب رقم الوند در سامانه خاک‌ورزی مرسوم (۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار) و بی خاک‌ورزی (۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم سرداری در سامانه خاک‌ورزی مرسوم (۶۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) بی خاک-ورزی (۴۹۰۰ کیلوگرم) حاصل شد که تماماً مربوط به شرایط بدون تنش می‌باشد.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل سامانه خاک‌ورزی و رقم بر عملکرد دانه

(مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت و وجود حداقل یک حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی-دار بین آن‌ها می‌باشد)

همان‌گونه که در این مطالعه تعیین گردید، علاوه بر خاک‌ورزی و یا تنش، ارقام مختلف پاسخ‌های متفاوتی را نسبت به شرایط محیطی و سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی می‌دهند. رشد ریشه گیاهان تحت تأثیر سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی که خاک در آن‌ها شرایط فیزیکی متفاوتی دارند، قرار می‌گیرند.

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گندم و به عبارتی عملکرد آن تحت تأثیر مستقیم تیمارهای مورد استفاده قرار گرفت و نه‌تنها هریک از تیمارهای مورداستفاده به‌صورت مجزا بر عامل‌های گیاهی مؤثر بودند بلکه در اغلب موارد تأثیر توأم و متقابل تیمارها نیز به‌صورت معنی‌داری عملکرد ارقام مختلف کشت‌شده گندم را تغییر داد. خصوصیت ارتفاع، عملکرد زیستی یا بایومس، عملکرد دانه گیاه به‌عنوان مهم‌ترین عامل گیاهی به‌صورت محسوس تفاوت معناداری را تحت ارقام مختلف، نوع خاک‌ورزی و تنش رطوبتی اعمال‌شده نشان داد. اثر ارقام کشت شده بیشتر بر خصوصیت وزن هزار دانه و ارتفاع موثر بود، به‌نحویکه به طور کلی این عامل از طریق فاکتورهای دیگر مانند تغییر در تراکم کشت گندم می‌تواند عملکرد بیولوژیکی و تولید کلی گیاه را یکسان نماید ولی بعضی از خصوصیات مانند تحت تنش قرار گرفتن رقم خاص مد نظر از قبیل ارقام دیمی مانند سرداری و الوند مقاومت بیشتری از خود نشان دادند و عملکرد آنها تحت شرایط تنش با تغییرات کمتری نسبت به دو رقم آبی چمران و نیک‌نژاد تولید زیستی و یا سایر خصوصیات مورد بررسی را نشان داد. خصوصیت طول سنبله و تعداد دانه در سبله نیز تحت تاثیر تنش‌های مورد بررسی و انواع خاکورزی و نیز بسته به رقم مورد کشت شده متغیر ارزیابی شد که البته این موضوع بسته به ۲ یا ۶ ردیف بودن سنبله در دو رقم دیمی و آبی تغییر در سایر خصوصیات را نشان خواهد داد اما به طور کلی شرایط خاکورزی و یا تنش اثرات معناداری را بر این خصوصیات نشان داد و سامانه بی خاکورزی تقریبا تمام خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی مورد ارزیابی را تحت تاثیر قرارداد. به طور کلی سامانه خاکورزی و شرایط بدون تنش (در محدوده FC) موجب بالاترین عملکرد هرکدام یک از ارقام کشت شده شده است و تحت شرایط تنش شدید و در شرایط بدون خاکورزی کمترین عملکرد و پایین‌ترین خصوصیات مورد ارزیابی

مشاهد شد لذا در صورت تمایل به سامانه‌های بدون خاکورزی باید حداقل خاکورزی نیمه حفاظتی اعمال شود تا میزان تولید کاهش چشمگیری نداشته باشد و در خصوص تنش رطوبتی نیز باید چنین اذعان نمود که تنش محدود با در نظر گرفتن سایر خصوصیات و موارد مد نظر در طول رشد گیاه می‌تواند اعمال شود که این محدود در حدود ۷۵ درصد ظرفیت زراعی خواهد بود تا تولید را نزدیک به حالت حداکثری نگه دارد. لذا در شرایط دیم برای کشت ارقام دیم حتما خاکورزی نیاز می‌باشد و ارقام آبی نیز در شرایط آبیاری کشت شوند که تحمل کمتر و تولید بالاتری نسبت به ارقام دیمی دارند. ارقام سرداری یک در صورت محیا بودن شرایط محیطی برای برداشت محصول بیشتر در شرایط دیم متواند مورد کشت قرار گیرد که ترجیحا تحت شرایط خاکورزی قرار داشته باشد و از بین دو رقم آبی نیز رقم نیک‌نژاد به نسبت به رقم چمران عملکرد بالاتری تحت سامانه خاکورزی و تحت آبیاری نرمال و یا تنش کم کشت شود. به طور کلی، برآیند تاثیر پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش تحت تاثیر دو عامل کلی خاک‌ورزی و تنش رطوبتی قرار گرفتند. تنش رطوبتی در میزان ماده خشک تولید شده، میزان محصول تولیدی در واحد سطح به میزان آب مصرفی و درسترسی به منبع آب نقش بسزایی داشته و ارزیابی بهره‌وری حسب نوع رقم بکار رفته، میزان تنش، وضعیت زمین و سایر عوامل دخیل متفاوت خواهد بود.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با حمایت مادی و معنوی حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در قالب طرح پژوهشی تحت قرارداد به شماره ۲۴-۱۴۰۱-۰۲ مورخ ۱۴۰۱/۱۲/۱۵ انجام شده است که به‌این‌وسیله مراتب تشکر و قدردانی نویسندگان اعلام می‌شود.

منابع

افشاری‌پور، ک.، حمزه، س.، علوی‌پناه، ک. و مقبلی‌دامنه، ا. ۱۳۹۸. ارزیابی میزان بهره‌وری آب کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل WATPRO در اراضی تحت کشت گندم در جیرفت، تحقیقات منابع آب ایران. ۵(۱): ۵۸-۴۵.

جعفری، م.، لیاقت، ع. و محتشمی، س. ۱۴۰۲. مقایسه و ارزیابی الگوریتم‌های LM، BR و GD شبکه عصبی مصنوعی در برآورد عملکرد گندم دیم بر اساس پارامترهای هواشناسی استان کرمانشاه. ۱۷(۳): ۵۴۴-۵۲۹.

خوان‌پایه، ا. و جلیلیان، ج. ۱۳۹۲. اثر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و پیش تیمار بذر بر برخی خصوصیات مورفولوژی و عملکرد نخود دیم، پژوهش در گیاهان زراعی. ۱(۲): ۴۳-۳۴.

رضایی، ج.، بنایان، م. و نظامی، ا. ۱۳۹۴. برهمکنش ژنتیک و کم-آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب، اولین کنگره ملی آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

صادقی، ح.، محمودی، ب. و پیشوائی، س. ۱۴۰۱. شیوه‌نامه تعیین و سنجش نماگرهای بهره‌وری استان‌ها، تهران: انتشارات سازمان ملی بهره‌وری ایران.

عبدالرحمنی، ب. و فیضی اصل، و. ۱۳۸۵. تاثیر تراکم بوته بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم با قدرت پنجه زنی متفاوت در شرایط دیم. نهال و بذر. بوم‌شناسی گیاهان زراعی. ۱۳(۲۲): ۵۵۸-۵۴۳.

عرب عامری، ر.، سلطانی، ا.، کامکار، ب.، زینلی، ا. و خاوری، ف. ۱۳۸۹. تعیین پارامترهای مدل‌سازی عملکرد براساس شاخص برداشت در گیاه گندم. نشریه تولید گیاهی. ۱۷(۲): ۱۵۰-۱۳۷.

مردانی، ط. ۱۴۰۰. بهره وری و کارآیی ثمربخش یک راهنمای عملی، تهران: انتشارات کنکاش.

نورمحمدی، ق. سیادت، ع و کاشانی، ع. ۱۳۸۰. زراعت غلات. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۲۳۴ص.نیازی فرد، ع. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی آخر فصل بر خصوصیات زراعی ارقام و لاین‌های آبی جو. فصلنامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی. ۱۲(۱): ۷۷-۶۹.

Bwambale, E., Abagale, F. K. and Anornu, G. K. 2022. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. Agricultural Water Management. 260: 107324.

Clegert, B., Bueno, C., Domingo, A., Layaoen, H. and Vial, L. 2016. Leaf emergence, tillering, plant growth, and yield in response to plant density in a high- yielding aerobic rice crop. Field crops research. 199: 52-64.

Dehghanisanij, H., Emami, H., Emami, S. and Rezaverdinejad, V. 2022. A hybrid machine learning approach for estimating the water-use efficiency and yield in agriculture. *Scientific* Reports. 12(1): 6728.

El-Mouhamady, A. B. A., Abdel-Rahman, H. M., Rizkalla, A. A. and El-Metwally, M. A. 2019. Assessment of Water Stress Tolerance in Wheat Genotypes Based on Half Diallel Analysis and DNA Fingerprinting. Pakistan Journal of Biological Sciences. 22: 103-116.

Fitzpatrick, J.L. 2013. Global food security: the impact of veterinary parasites and parasitologists. Veterinary parasitology. 195 (3-4): 233-248.

Guirgius, A.E., Aboukarima, A.M., Elmarazky, M.S. and Egela, M.I. 2015. Sunflower crop response to

application of pesticides and herbicides. Artificial Intelligence in Agriculture. 4: 58-73.

Smith, M. N., Stark, S. C., Taylor, T. C., Ferreira, M. L., de Oliveira, E., Restrepo-Coupe, N. and Figueira, M. 2019. Seasonal and drought-related changes in leaf area profiles depend on height and light environment in an Amazon forest. New Phytologist.

Wei, K., Zhang, J., Wang, Q., Guo, Y. and Mu, W. 2022. Irrigation with ionized brackish water affects cotton yield and water use efficiency. Industrial Crops and Products. *175*: 114244.

Wilhelm, W.W. 1998. Dry-matter partitioning and leaf area of winter wheat grown in a longterm fallow tillage comparison in the US Central Great Plains. Soil and Tillage Research. 49: 49-56.

Ziesche, S., Agarwal, S., Nagaraju, U., Prestes, E. and Singha, N. 2023. Role of Artificial Intelligence in Advancing Sustainable Development Goals in the Agriculture Sector. In The Ethics of Artificial Intelligence for the Sustainable Development Goals (pp. 379-397). Cham: Springer International Publishing.

furrow irrigation inflow rate and tillage system. Misr Journal of Agricultural Engineering. 25(1): 38-57.

Katimbo, A., Rudnick, D. R., Zhang, J., Ge, Y., DeJonge, K. C., Franz, T. E. and Duan, J. 2023. Evaluation of artificial intelligence algorithms with sensor data assimilation in estimating crop evapotranspiration and crop water stress index for irrigation water management. Smart Agricultural Technology. *4*:100176.

Kisi, O. and Cimen, M. 2012. Precipitation forecasting by using wavelet-support vector machine conjunction model. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 25(4): 783-792.

Taner, A., Arisoy, R. Z., Kaya, Y., Gültekin, I. and Partigöç, F. 2015. The effects of various tillage systems on grain yield, quality parameters and energy indices in winter wheat production under the rainfed conditions. Fresenius Environmental Bulletin. 24(4): 1463-1473.

Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H. and Shah, M., 2020. Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 18, Oct.-Nov. 2024, p. 635-654

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۸، مهر - آبان ۱۴۰۳، ص. ۶۵۴-۶۳۵

Evaluation of the Effect of Different Parameters on Wheat Productivity Using Artificial Intelligence

R. Fazloula[1*], Sh. Saraf[2], J. Vejahat[3], A.R. Emadi[4]
Recived: May.10, 2024 Accepted: Aug.28, 2024

Abstract

In the current research, using artificial intelligence, the productivity of wheat in the city of Sari as the study area has been investigated in terms of other parameters involved in production. The changes in the morphological and physiological characteristics of the four studied wheat cultivars under different tillage treatments and different moisture levels were noticeable and ponderable, so that in most cases the effects of each of the treatments used and also their mutual effects on the evaluated characteristic at different levels 1 and 5 the error percentage was significant. Biological performance as one of the most important factors considered for Niknejad, Chamran, Alvand and Sardari cultivars under conventional tillage and irrigation conditions equal to 16.25, 18.5, 16.5 and 17.2 tons per hectare respectively and Under the condition of no tillage with severe rain stress, 8.3, 8.2, 8.6 and 9.6 tons per hectare were obtained, respectively. The process of changes in performance characteristics for dry Sardari and Alvand cultivars was much less than the changes observed for the two Niknejad and Chamran blue cultivars, and in general, conventional tillage conditions and minimum moisture stress will be necessary to achieve acceptable production for different cultivars, and a significant reduction in Expected performance characteristics do not occur. The effect of cultivated cultivars was more effective on the characteristics of weight of 1000 seeds and height, so that in general this factor can equalize the biological performance and overall production of the plant through other factors such as changes in the density of wheat cultivation, but some characteristics such as being under stress The specific varieties in question, such as Sardari and Alvand varieties, showed more resistance and their performance under stress conditions showed less changes than Chamran and Niknejad varieties in terms of biological production or other investigated characteristics.

Keywords: Agriculture, Matlab, Plant, Tillage, Wavelet

1- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Master of Hydraulic Structures, Sari Agriculture Sciences and Natural Resource sciences University, Sari, Iran
3- Master of Hydraulic Structures, University of Tehran, Tehran, Iran
4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(*- Corresponding author email: raminfazl@yahoo.com)