تحلیل آزمایش‌های گزینش شوری- کم آبیاری برای گندم بهاره در منطقه مشهد

امیر حق‌وردی[۱*]، بیژن قهرمان[۱]، محمد کافی[۲] و کامران داوری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۳/۱)

چکیده

هدف از این آزمایش بررسی کاربرد آزمایش گزینش (مرحله صفر روش رویه پاسخ) در تحلیل توأم تنش شوری و کم آبی گندم بهاره در منطقه مشهد و اشتقاق توابع تولید محصول است. آزمایش در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. دو منبع آب با سطوح شوری بدون محدودیت شوری (شوری ۰/۵ دسی زیمنس بر متر) و با شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر برای آبیاری انتخاب شدند. آزمایشی فاکتوریل با چهار متغیر، میزان آب آبیاری در مراحل مختلف رشد، بدون تکرار و در دو سطح از هر متغیر، ۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی، انجام پذیرفت. نقاط مرکزی فضای آزمایشی با دو تکرار جهت برآورد انحنا در رویه پاسخ برازش داده شده اضافه شد. نتایج نشان داد که تأثیرگذارترین متغیر در میزان محصول، میزان آب آبیاری در مرحله خوشه‌دهی و گل‌دهی بود. توابع تولید برازش داده شده با ضریب همبستگی ۰/۹۹ و ۰/۹۵ قادر به تخمین میزان محصول در کرت‌های آبیاری شده با آب شیرین و شور بودند. به طور کلی نتایج به‌دست آمده کارایی آزمایش گزینش را در تعیین اهمیت نسبی متغیرها و حذف متغیرهای کم تأثیر اثبات نمود.

واژه‌های کلیدی: آزمایش گزینش، تابع تولید آب، روش رویه پاسخ، شوری، کم آبیاری، گندم بهاره

۱. به ترتیب دانشجوی سابق دکتری، استاد و دانشیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استاد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amirhaghverdii@gmail.com

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]

مقدمه

کمبود آب تهدیدی اساسی برای بقای بشر، اکوسیستم طبیعی و بقای تمدن‌هاست. با تخصیص بیش از ۷۰ درصد از منابع آب به بخش کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک در دنیا، کشاورزی فاریاب اصلی‌ترین مصرف‌کننده آب می‌باشد (۱۱). بدیهی است که با توجه به افزایش تقاضا و کمبود منابع آب در دسترس باید استفاده بهینه از آب مد نظر قرار گیرد (۴). در بسیاری از نقاط خشک و نیمه خشک جهان مشکل شوری نیز وجود دارد و اغلب گیاهان به طور همزمان تحت تأثیر هر دو تنش شوری و کم آبی قرار می‌گیرند (۳). در ایران نیز حدود ۵۰ درصد از اراضی کشاورزی شور هستند و یا با مشکلاتی مرتبط با شوری مواجه می‌باشند (۱۰). کم آبیاری راه‌کاری بهینه تحت شرایط کمبود آب است که همراه با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش آن با گسترش سطح (بهره‌وری آب) می‌باشد. تحقیقات پراکنده‌ای در سطح دنیا و از جمله کشور ما در این خصوص انجام گرفته‌است (۱، ۲، ۵، ۷، ۱۴ و ۱۵). برای برنامه‌ریزی کم‌آبیاری باید تخمین‌های قابل اعتمادی از تابع تولید محصول داشت (۴). تحقیقات انجام شده در مورد گندم به عنوان مهم‌ترین محصول کشاورزی در ارتباط با مفاهیم کم‌آبیاری و تابع تولید بسیارند. اما تنها تعداد کمی از این تحقیقات تأثیر توأم شوری و کم‌آبیاری را بر عملکرد گندم به منظور ارائه تابع تولید محصول بررسی کرده‌اند.

هم‌چنین مرور منابع نشان می‌دهد که تحقیقات انگشت‌شماری روی گندم بهاره در ایران انجام پذیرفته (۲ و ۱۳) و در دیگر نقاط دنیا (۱۶) نیز بیش‌تر پژوهش‌ها روی گندم پاییزه بوده است (۱، ۵، ۶، ۷، ۱۵ و ۱۹). تحلیل توأم شوری و کم‌آبیاری بسیار مشکل می‌باشد. مهم‌ترین مشکل در راه انجام تحقیقی جامع، عدم امکان اجرای طرحی آزمایشی می‌باشد که بتواند تغییرات قابل قبولی از تنش‌های شوری و کم آبی را پوشش دهد. فرض تأثیر یکنواخت کم‌آبیاری در تمامی مراحل رشد در گیاهان زراعی پذیرفته شده نمی‌باشد (۱۲). از طرف دیگر، در نظر گرفتن مراحل مختلف رشد باعث می‌شود تعداد واحدهای آزمایشی مورد نیاز برای اجرای طرح به سرعت از منابع موجود (مالی، عملیاتی) فزونی گیرد. لذا بیشتر تحقیقات انجام شده به بررسی تعداد محدودی از حالات بیشمار ممکن کم‌آبیاری محدود می‌شوند.

براساس مطالب عنوان شده توسط ال جمال و همکاران (۸)، کلامپنر و سولومان (۹) سیصد تابع تولید آب- محصول مختلف را بررسی کردند. با این هدف که قابلیت اطمینان و انتقال‌پذیری آنها را مشخص نمایند. آنها دریافتند که تفاوت‌های معنی‌داری به صورت از سال به سال و مکان به مکان و مراحل مختلف رشد بین آنها مشاهده شد. ایگبادون و همکاران (۱۲) عنوان نمودند که هیچ تابع تولیدی به صورت جهانی موجود نمی‌باشد که برای تمامی مکان‌ها، گیاهان، اقلیم‌ها و فصل‌ها معتبر باشد. یک راه‌کار مفید برای تجزیه و تحلیل فرایندهایی که در آن عوامل بسیاری بر یک یا چند پاسخ به طور همزمان اثر می‌گذارند استفاده از روش رویه پاسخ (Response surface methodology) است. در واقع رویه پاسخ مجموعه‌ای از روش‌های مفید آماری و ریاضی برای توسعه، بهبود و بهینه‌سازی فرایندها می‌باشد (۱۷). مرور منابع نشان می‌دهد که تحقیقی برای ارائه توابع تولید آب- شوری توسط این روش تاکنون انجام نشده است و بیش‌ترین کاربردهای این روش تاکنون در صنعت بوده است. هدف اصلی از این پژوهش معرفی آزمایش‌های گزینش، یا همان مرحله صفر روش رویه پاسخ، به عنوان راه‌کاری مناسب جهت شناسایی متغیرهای مستقل مناسب و تعیین میزان تأثیر کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد گندم بهاره در منطقه مشهد و اندرکنش مراحل مختلف می‌باشد. هدف ثانویه از این پژوهش ارائه توابع تولید آب- محصول- شوری برای گندم بهاره با استفاده از رگرسیون و بر اساس نتایج آزمایش‌های گزینش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های گزینش

در ابتدای اجرای روش رویه پاسخ، بایستی مشخص شود که

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]

چه عواملی در فرایند مورد مطالعه مهم می‌باشند. غالباً در مطالعه رویه پاسخ تعداد زیادی از متغیرها موجودند که می‌توانند در پاسخ اثر بگذارند. این امر معمولاً منجر به انجام آزمایش‌هایی می‌شود که با هدف حذف عوامل بی‌اهمیت طراحی می‌شود. این نوع آزمایش عموماً آزمایش گزینش نامیده می‌شود. آزمایش گزینش به عنوان مرحله صفر در مطالعه رویه پاسخ نام‌گذاری می‌شود. عموماً در آزمایش‌های گزینش از طرح‌های فاکتوریل با دو سطح در هر k متغیر یا همان طرح‌های 2^k استفاده می‌شود. در اکثر موارد، منابع موجود تنها اجازه اجرای آزمایش‌هایی با یک تکرار را می‌دهند، مگر این‌که آزمایشگر تعدادی از عوامل اصلی را در نظر نگیرد. یک طرح 2^k یک تکراری برخی اوقات طرح فاکتوریل بدون تکرار نامیده می‌شود. مشکل اینجاست که تنها با انجام یک تکرار هیچ خطایی نمی‌تواند برآورد شود. یک روش برای تحلیل یک طرح فاکتوریل بدون تکرار این است که بر اساس اصل کمی آثار فرض کنیم برخی از آثار متقابل درجه بالا، ناچیز هستند و پس از شناسایی آنها میانگین مربعات این اثرات را برای برآورد خطا ترکیب نماییم.

طرح آزمایشی اجرا شده

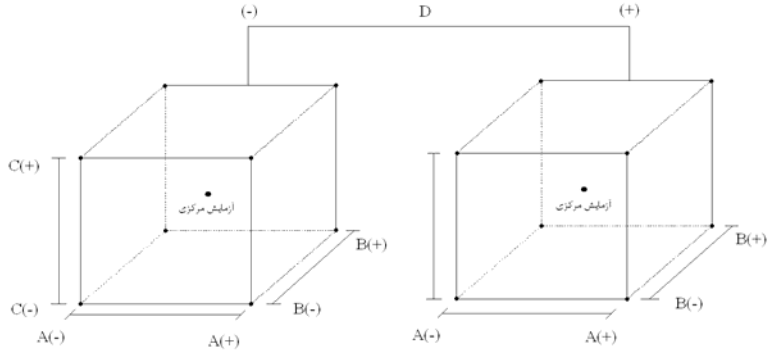
گام اول برای انجام آزمایش‌های گزینش، طراحی آزمایش است که خود شامل تعیین متغیرهای مستقل و پاسخ، انتخاب سطوح متغیرها و اضافه نمودن نقاط مرکزی می‌باشد. متغیرهای مستقل در این پژوهش میزان آب آبیاری در مراحل مختلف رشد بودند. دوره رشد به چهار مرحله مختلف تقسیم‌بندی شد و میزان آب آبیاری به عنوان متغیر مستقل (A، B، C و D) انتخاب شد. دوره‌های رشد بر اساس طبقه‌بندی زادوک تعیین شد (زادوک و همکاران، ۱۸). برای هر متغیر مستقل دو سطح ۲۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی کرت شاهد (عمق آب بهینه منطقاً از این بازه فراتر نخواهد رفت) در نظر گرفته شد. طرح پیاده شده از نوع فاکتوریل بدون تکرار بود. آزمایش‌های بالا برای دو منبع مختلف آب آبیاری با شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر و بدون محدودیت شوری (شوری ۰/۵ دسی زیمنس بر متر) تکرار شد. شکل ۱ نمایش سه بعدی طرح انجام شده می‌باشد. علامت‌های مثبت و منفی به ترتیب نمایشگر سطوح بالا (۱۰۰ در صد نیازآبی) و پایین (۲۰ در صد نیاز آبی) متغیرهای مستقل هستند. در آزمایش‌های گزینش فرض بر این است که پاسخ مورد نظر می‌تواند با استفاده از رابطه‌ای خطی به متغیرهای مستقل مرتبط شود. اما در واقعیت همیشه این فرض درست نمی‌باشد و معمولاً ارتباط متغیرهای مستقل و پاسخ گونه‌ای از رابطه غیر خطی می‌باشد. اضافه نمودن آزمایش‌های در مرکز فضای مورد مطالعه (نقاط مرکزی) که با نام آزمایش مرکزی در شکل ۱ نشان داده شده‌است می‌تواند درستی یا نادرستی فرض خطی بودن رابطه متغیرهای مستقل و پاسخ درست را نشان دهد. این آزمایش مرکزی بایستی در فاصله‌ای مساوی از دو سطح قبلی انتخاب شده برای هر متغیر مستقل و در میان آنها قرار بگیرد که در تحقیق حاضر برابر ۶۰ درصد نیاز آبی در هر مرحله رشد می‌باشد.

اجرای آزمایش

جهت اجرای آزمایش طراحی شده در مرحله نخست، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۸۹- ۱۳۸۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام پذیرفت. تمامی واحدهای آزمایشی در تاریخ ۱۳۸۸/۱۲/۲۳ به زیر کشت رفته و محصول به صورت دستی در تاریخ ۱۳۸۹/۴/۲ برداشت شد. گندم بهاره مورد نظر، گندم نان و از رقم مقاوم به شوری (Triticum-aestivun) انتخاب شد. طرح مذکور در ۳۶ کرت آزمایشی، هر یک با ابعاد ۴ مترمربع اجرا شد. تمامی تیمارها پس از سه برگی شدن گیاهان اعمال شدند. پیش از آن میزان آب آبیاری برای تمامی ۳۶ واحد آزمایشی برابر با نیاز آبی به صورت یکسان داده شد. میله‌های دستگاه TDR (مدل 6050x1) در هر کرت در اعماق ۲۰، ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری نصب و میزان قرائت TDR از کرت شاهد پیش از آبیاری ملاک تعیین نیاز آبی تمامی کرت‌ها بود. میزان آب آبیاری براساس کمبود رطوبت تا ظرفیت زراعی و در عمق توسعه ریشه تعیین شد.دور

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]



شکل ۱. نمایش شماتیک سه بعدی طرح انجام شده

آبیاری به صورت ثابت ۱۰ روزه و با توجه به دور آبیاری مرسوم در منطقه انتخاب شد. در مجموع ۷ بار آبیاری در طول مدت رشد پس از سه برگی شدن و اعمال تیمارهای خشکی و کم آبی انجام شد. برای جلوگیری از بارش باران و بر هم خوردن طرح، روی تمامی کرت‌ها با شروع دوره بارندگی (۱۳۸۹/۱/۱۶) پلاستیک کشیده شد و در اتمام بارندگی (۱۳۸۹/۲/۲۵) پلاستیک‌ها جمع شدند. سم‌پاشی، کوددهی و آماده‌سازی بستر قبل از کشت برای تمامی تیمارها به صورت یکسان انجام پذیرفت. برداشت محصول پس از اتمام فصل کشت با دست و از مربعی به مساحت یک مترمربع از وسط هر کرت انجام پذیرفت تا اثرات حاشیه‌ای حذف شوند. میزان عملکرد بدون حذف فضای پرت اختصاص یافته به جوی‌های آبیاری و محل‌های نصب میله‌های TDR محاسبه شد.

تحلیل آزمایش

اولین گام در تحلیل نتایج به‌دست آمده حذف آثار درجه بالای کم اهمیت به منظور تخصیص درجاتی از آزادی به خطا می‌باشد. در طرح آزمایشی انجام شده، چهار متغیر مستقل (A، B، C وD) وجود دارد و آزمایش‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند (طرح‌فاکتوریل دو سطحی) که قادر به اجرای تمامی حالات ترکیبی چهار متغیر (۱۶=2^4) با دو سطح و هم‌چنین برآورد اثرات (۱۵=۱-2^4) بین این چهار متغیر خواهیم بود. منظور از اثرات در اینجا اهمیت نسبی متغیرهای مستقل به صورت جداگانه و اهمیت اندرکنش بین آنها می‌باشد. در آزمایش انجام شده چهار اثر اصلی (A، B، C و D)، ۶ اثر متقابل درجه دو (AB، AC، BC، AD، BD و CD)، چهار اثر درجه ۳ (ABC،ABD و ACD) و یک اثر درجه ۴ (ABCD) برآورد شدند. راهکار استاندارد تعیین و حذف آثار کم اهمیت، رسم اثرات در کاغذ احتمالات نیمه نرمال می‌باشد. آثاری که روی یک خط مستقیم قرار بگیرند قابل حذف هستند. در گام دوم، تابع تولید اولیه با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی برازش داده شد و تحلیل پراش برای طرح انجام پذیرفت. با استفاده از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (معادله ۱)، میانگین خطای اریب (معادله ۲) و ضریب همبستگی (معادله ۳) کارایی مدل بررسی شد. در این مرحله در صورت مورد قبول نبودن مقادیر حاصله برای آماره‌های انتخابی، بایستی تابع تولید دوباره برازش داده شود و احتمال بهبود نتایج با اعمال تبدیل در فرم متغیرها و پاسخ (به عنوان مثال لگاریتمی) بررسی شود. در مرحله آخر اهمیت نسبی متغیرهای تأثیرگذار انتخابی مشخص و با توجه به نتایج حاصله از کرت‌های مرتبط با نقاط مرکزی در ارتباط با خطی بودن یا نبودن فضای آزمایشی تصمیم‌گیری شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(E_i - M_i\right)^2}{n}} \qquad [۱]$$

$$MBE = \sum_{i=1}^{n}\frac{E_i - M_i}{n} \qquad [۲]$$

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i - \bar{M})(E_i - \bar{E})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(M_i - \bar{M})^2 \sum_{i=1}^{n}(E_i - \bar{E})^2}} \quad [۳]$$

که در آنها E و M به ترتیب مقادیر تخمینی توسط تابع و مقادیر اندازه‌گیری شده محصول، $\bar{E}$ و $\bar{M}$ به ترتیب مقادیر متوسط تخمینی توسط تابع و اندازه‌گیری شده محصول و n تعداد زوج نقاط است.

نتایج و بحث

میزان آب آبیاری در نوبت‌های مختلف و دوره رشد گیاهی متناظر با آنها در جدول ۱ آورده شده است. مجموع میزان آب آبیاری نوبت اول و دوم متغیر A، مجموع آب آبیاری در نوبت سوم و چهارم متغیر B، مجموع آب آبیاری در نوبت پنجم و ششم متغیر C و آب آبیاری در نوبت هفتم متغیر D نام گرفتند و متغیرهای مستقل در این پژوهش بودند. بدین ترتیب متغیر A بیانگر میزان آب آبیاری در دوره‌های رشد گیاهچه‌ای و پنجه‌زنی، متغیر B بیانگر میزان آب آبیاری در دوره‌های ساقه‌دهی و ظهور برگ پرچمی، متغیر C بیان‌گر میزان آب آبیاری در دوره‌های سنبله‌دهی و گل‌دهی و متغیر D بیان‌گر میزان آب آبیاری در مرحله خمیری شدن و رسیدگی بودند. میزان محصول برداشت شده از یک مترمربع میانی هر کرت به عنوان پاسخ (متغیر وابسته) انتخاب شد.

شکل ۲ رسم آثار استاندارد شده روی کاغذ احتمالات نیمه نرمال را برای آزمایش‌های مرتبط با منابع آب شور و بدون محدودیت شوری نشان می‌دهد. در کرت‌هایی که با آب بدون محدودیت شوری آبیاری شدند تمامی اثرات درجه ۲ و بالاتر در امتداد یک خط راست واقع شده و لذا از فرایند ارائه تابع تولید حذف شدند. در مورد کرت‌هایی که با آب شور آبیاری شدند علاوه بر آثار درجه ۲ و بالاتر، متغیر D نیز دارای اثر نسبی کمتری در مقایسه با دیگر اثرات اصلی بود. بنابراین تنها سه متغیر C، B و A برای ارائه توابع تولید انتخاب شدند. حذف اثرات درجه دو و بالاتر و قرار گرفتن آنها در امتداد یک خط نشان می‌دهد که آنها در مقایسه با اثرات اصلی از درجه اهمیت کمتری برخوردارند. از لحاظ فیزیکی این امر نشان می‌دهد که میزان آب آبیاری داده شده به زمین در مراحل مختلف رشد تقریباً مستقل از یکدیگر عمل می‌نمایند و اثر هر یک از آنها بر میزان محصول بسیار بیشتر از اثرات متقابل آنها می‌باشد. این نتایج می‌تواند به طرح‌ریزی آزمایش‌ها برای مراحل بعدی روش رویه پاسخ کمک شایانی بنماید. علاوه بر این بایستی به این نکته توجه شود که در تحقیق حاضر تمامی متغیرهای مستقل در عالم واقعیت دارای یک ماهیت (آب آبیاری) بوده و لذا اثرات متقابل آنها ممکن است زیاد محل بحث نباشد. اما اگر این روش برای حالتی که متغیرهای مستقل از جنس‌های متفاوت بوده اجرا شود؛ مثلاً سطوح کوددهی و نیتروژن به آب آبیاری اضافه شود. مطمئناً حتی بررسی اثرات کوچک متقابل این متغیرها می‌تواند بر میزان محصول تأثیرگذار باشد. ترسیم اثرات نشان می‌دهد که متغیر C یا همان میزان آب آبیاری در دوره سنبله‌دهی و گل‌دهی در هر دو منبع آب شور و بدون محدودیت شوری بیش‌ترین تأثیر را بر میزان محصول دارد. دلیل کم اثر بودن متغیر D آن است که بر خلاف دیگر متغیرها که نشانگر میزان دو بار آب آبیاری هستند متغیر D تنها یک بار آبیاری را نشان می‌دهد. علاوه بر این تفاوت در نحوه جذب آب در کرت‌های شور و بدون محدودیت شوری و پاسخ‌های متفاوت رقم کشت شده گندم به وجود شوری در آب و خاک از جمله دلایلی است که این تفاوت‌ها را توجیه می‌کند.

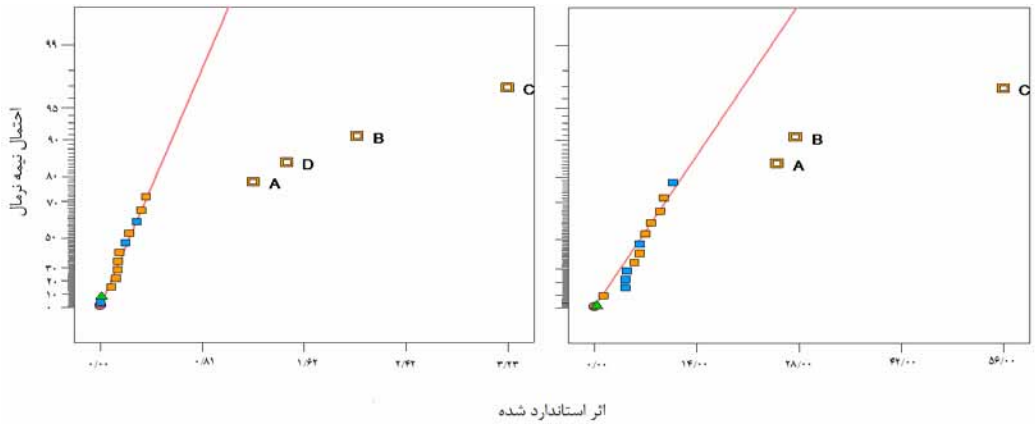
ژانگ و همکاران (۱۹) نشان دادند که بهترین ترکیب از مقادیر کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گندم زمستانه که به بیش‌ترین میزان محصول منجر شود کم آبیاری متوسط (۵۰-۶۰ درصد ظرفیت نگهداشت آب خاک) در مراحل میانی رشد (jointing) و مراحل پایانی رشد (مرحله خمیری و رسیدگی دانه) و عدم کم آبیاری در مراحل ظهور برگ پرچمی و سنبله‌دهی می‌باشد. یافته‌های ژانگ و همکاران (۱۹) به طور غیرمستقیم یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کند. نخجوانی مقدم و قهرمان (۷) در تحقیقی روی گندم زمستانه در مشهد

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]

جدول ۱. تاریخ و میزان آب آبیاری (میلی‌لیتر) بر اساس مراحل مختلف رشد بر اساس طبقه‌بندی زادوک

نوبت آبیاری	تاریخ آبیاری	مراحل رشد	میزان آب آبیاری کامل(+)	میزان آب آبیاری۰/۶	میزان آب آبیاری۰/۲(−)
۱	۱۳۸۹/۱/۲۴	رشد گیاهچه‌ای	۳۶/۰	۲۱/۶	۷/۲
۲	۱۳۸۹/۲/۳	پنجه زنی	۵۲/۰	۳۱/۲	۱۰/۴
۳	۱۳۸۹/۲/۱۳	ساقه‌دهی	۴۴/۰	۲۶/۴	۸/۸
۴	۱۳۸۹/۲/۲۳	ظهور و تورم برگ پرچمی	۸۴/۰	۵۰/۴	۱۶/۸
۵	۱۳۸۹/۳/۲	سنبله‌دهی	۶۱/۵	۳۶/۹	۱۲/۳
۶	۱۳۸۹/۳/۱۲	گلدهی	۱۱۲/۰	۶۷/۲	۲۲/۴
۷	۱۳۸۹/۳/۲۲	مرحله خمیری و رسیدگی	۱۴۸/۰	۸۸/۸	۲۹/۶



شکل ۲. ترسیم اثرات واحدهای آبیاری شده با آب شور (سمت راست) و آب بدون محدودیت شوری (سمت چپ)

دریافتند که با توجه به مقادیر ضرایب حساسیت تابع تولید آب‌استفاده شده، مراحل دانه‌بندی و گل‌دهی حساس‌ترین مراحل فصل رشد به تنش رطوبتی است.

آبخضر و قهرمان (۱) گزارش نمودند که مرحله خوشه‌دهی براساس نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای حساس‌ترین مرحله به کم آبی برای گندم زمستانه در منطقه مشهد می‌باشد. هم‌چنین آنها عنوان نمودند که بر اساس ضرایب به‌دست آمده برای توابع تولید آب- محصول مراحل‌ساقه‌دهی، خوشه‌دهی و تشکیل دانه دارای بیشترین مقادیر بوده و بنابراین حساسیت بیشتری به کم آبی نشان می‌دهند. مجموع میزان آب آبیاری در مرحله خوشه‌دهی و گل‌دهی یا همان متغیر C در پژوهش حاضر بیشترین تأثیر را بر میزان محصول داشت. این مطلب نشان می‌دهد که نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر همخوانی نسبتاً خوبی با نتایج پژوهش‌های پیشین دارد. شباهت‌ها در نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر و آبخضر و قهرمان (۱) و نخجوانی مقدم و قهرمان (۷) را می‌توان مرتبط با شباهت منابع خاک و آب و اقلیم در تمامی این تحقیقات دانست. برای تفاوت‌های اندک به‌دست آمده در نتایج اما چندین دلیل می‌توان ذکر نمود. ارقام گندم مورد مطالعه در تمامی این پژوهش‌ها متفاوت می‌باشد و این تفاوت بخشی از تفاوت نتایج را توجیه می‌کند. نکته دیگر این است که دو تحقیق پیشین روی گندم زمستانه انجام شده بود ولی تحقیق حاضر روی گندم

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]

بهاره انجام شده است. دوره رشد گندم بهاره بسیار کوتاه‌تر از گندم زمستانه می‌باشد و لذا مراحل مختلف رشد بسیار کوتاه و گاهی به سختی قابل تفکیک می‌باشند. این امر می‌تواند بر تأثیر کم آبیاری در مراحل مختلف رشد و تحلیل‌های صورت گرفته موثر باشد. به عنوان مثال در تحقیق نخجوانی مقدم و قهرمان (۷) طول مجموع دوره‌های گل‌دهی، دانه‌بندی و رسیدن دانه ۵۶ روز است. در صورتی که در تحقیق حاضر و در جدول ۱ نشان داده شده که در فاصله ۱۰ روزه آبیاری ششم و هفتم گیاه از مرحله گل‌دهی وارد مراحل خمیری و رسیدگی دانه شده است. این مطلب نشان می‌دهد که مرحله دانه‌بندی که در تحقیق نخجوانی مقدم و قهرمان (۷) مرحله حساس به تنش آبی معرفی شده در حقیقت در تحقیق حاضر بیشتر از متغیر D متأثر از متغیر C است و این مطلب توجیه دیگری در کم اثر بودن متغیر D می‌باشد.

مقایسه دقیق‌تر پژوهش حاضر با دو پژوهش پیشین تفاوت‌های بیشتری را میان روش پیشنهادی جدید با طرح‌های آزمایشی مرسوم آشکار می‌سازد. نتایج ارائه شده در تحقیقات پیشین بر مبنای ضرایب حاصله از روابط کلاسیک ارائه شده برای توابع آب- محصول است. این روابط به نوبه خود در تمامی مناطق درست نبوده و می‌توانند باعث خطا شوند. اما در تحقیق حاضر، نتایج ارائه شده به صورت مستقیم مبنی بر عملکرد واحدهای آزمایشی می‌باشد. هم‌چنین در دو تحقیق پیشین حالات در نظر گرفته شده برای تنش آبی در مراحل مختلف رشد بسیار محدود بوده و می‌توان گفت موضوع آن تحقیقات، بررسی تنش ثابت است. به عنوان مثال تیمارهای آزمایشی در پژوهش نخجوانی مقدم و قهرمان (۷) به تنش ثابت آبی و قطع آب در مراحل مختلف رشد اختصاص داشتند. ولی تحقیق حاضر به بررسی تنش متغیر در مراحل مختلف رشد می‌پردازد. روش نوین پیشنهادی برای آزمایش‌ها باعث شده که در نظر گرفتن تنش متغیر آبی در مراحل مختلف رشد با در نظر گرفتن تعداد نسبتاً محدودی واحد آزمایشی در این تحقیق انجام شود و بنابراین تحلیل منحصر به فرد نتایج بدون نیاز به ضرایب روابط کلاسیک آب- محصول میسر شود. این نتایج به خوبی کارآمدی آزمایش گزینش را در تحلیل اولیه تنش‌های آبی و شوری در مقایسه با طرح‌های آزمایشی معمول نشان می‌دهد. ضرایب و مؤلفه‌های رگرسیون برای توابع تولید ارائه شده برای منابع آب بدون محدودیت شوری و شور به ترتیب در معادلات ۴ و ۵ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که بر اساس نتایج اولیه، تبدیل ریشه دوم روی پاسخ (میزان محصول) در کرت‌های با منبع آب شیرین صورت پذیرفت و به همین خاطر مقادیر ضرایب برای این کرت‌ها متفاوت با کرت‌هایی است که با آب شور آبیاری شده بودند.

$$Y = (6.1864 + 0.0086A + 0.0099B + 0.0117C + 0.0063D)^2 \quad [۴]$$

$$Y = 37.8968 + 0.1779A + 0.1348B + 0.2022C \quad [۵]$$

نتایج تحلیل پراش برای آبیاری با آب شور و آب بدون محدودیت شوری در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. برای کرت‌های آبیاری شده با آب بدون محدودیت شوری، F مدل (۱۰۷/۳) ثابت می‌کند که مدل ارائه شده معنی‌دار می‌باشد. هم‌چنین برای کرت‌های آبیاری شده با منبع آب شور، F مدل (۳۱/۴) ثابت می‌کند که این مدل نیز معنی‌دار می‌باشد. مقادیر احتمال بزرگ‌تر از F که کوچک‌تر از ۰/۰۵ می‌باشند بیانگر عبارات معنی‌دار هستند. بنابراین در جداول ۲ و ۳ تمامی عبارات A، B، C و D معنی‌دار می‌باشند.

مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۱ بیانگر معنی‌دار نبودن عبارات است. مقادیر F انحنا (در جداول ۲ و ۳) نشان می‌دهد که انحنای معنی‌داری در هر دو مدل وجود دارد. هم‌چنین F عدم برازش نشان می‌دهد که عدم برازش نسبت به خطای خالص معنی‌دار نمی‌باشد. تحلیل پراش نشان می‌دهد که تمامی متغیرهای انتخاب شده معنی‌دار می‌باشند که به نوبه خود صحت فرایند پیشنهادی برای حذف متغیرهای کم تأثیر را نشان می‌دهد. ضرایب رگرسیون توابع تولید (معادلات ۴ و ۵) روندی مشابه را با شکل ۲ در مورد اهمیت نسبی متغیرهای انتخابی نشان می‌دهند. با این تفاوت که ضریب متغیر B از A بیشتر ولی اثر آن در شکل کمتر می‌باشد. این امر اثبات می‌کند که به‌طور کلی

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]

جدول ۲. نتایج تحلیل پراش برای آب شیرین

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P	
مدل	۷۲/۹	۴	۱۸/۲	۱۰۷/۳	$<۰/۱\times۱۰^{-۳}$	معنی‌دار
A	۵/۹	۱	۵/۹	۳۴/۷	$<۰/۱\times۱۰^{-۳}$	
B	۱۶/۶	۱	۱۶/۶	۹۷/۵	$<۰/۱\times۱۰^{-۳}$	
C	۴۱/۷	۱	۴۱/۷	۲۴۵/۴	$<۰/۱\times۱۰^{-۳}$	
D	۸/۸	۱	۸/۸	۵۱/۵	$<۰/۱\times۱۰^{-۳}$	
انحنا	۴/۱	۱	۴/۱	۲۴/۳	$۰/۳\times۱۰^{-۳}$	معنی‌دار
باقی مانده	۲/۰	۱۲	۰/۲			
عدم برازش	۲/۰	۱۱	۰/۲	۷/۷	$۲۷/۵\times۱۰^{-۲}$	بی معنی
خطای خالص	$۲/۴\times۱۰^{-۲}$	۱	$۲/۴\times۱۰^{-۲}$			
کل	۷۹/۲	۱۷				

جدول ۳. نتایج تحلیل پراش برای آب شور

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F	مقدار P	
مدل	۱۸۰۶۹/۰	۳	۶۰۲۳/۰	۳۱/۴	$<۰/۱\times۱۰^{-۳}$	معنی‌دار
A	۲۵۰۰/۰	۱	۲۵۰۰/۰	۱۳/۰	$۰/۳\times۱۰^{-۲}$	
B	۳۰۲۵/۰	۱	۳۰۲۵/۰	۱۵/۸	$۱/۶\times۱۰^{-۳}$	
C	۱۲۵۴۴/۰	۱	۱۲۵۴۴/۰	۶۵/۵	$<۰/۱\times۱۰^{-۳}$	
انحنا	۳۶۶۰/۳	۱	۳۶۶۰/۳	۱۹/۱	$۰/۸\times۱۰^{-۳}$	معنی‌دار
باقی مانده	۲۴۹۰/۸	۱۳	۱۹۱/۶			بی معنی
عدم برازش	۲۲۴۸/۸	۱۲	۱۸۷/۴	۰/۸	$۷/۲\times۱۰^{-۱}$	
خطای خالص	۲۴۲/۰	۱	۲۴۲/۰			
کل	۲۴۲۲۰/۰	۱۷				

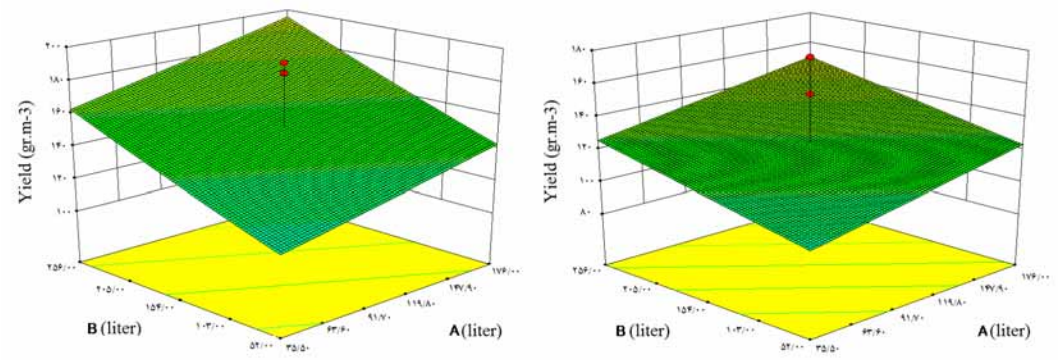
امکان تغییر در ترتیب اثرگذاری متغیرهای پیشنهادی وجود دارد. آماره‌های ارزیابی برای توابع تولید محصول برای هر دو منبع آب مورد استفاده در جدول ۴ نشان داده شده است. نگاهی کلی به آماره‌های جدول ۴ نشان می‌دهد که همبستگی مقادیر تخمینی و واقعی محصول بسیار خوب است و هم‌چنین تمایل معنی‌داری به بیش یا کم برآورد در هیچ کدام از توابع وجود ندارد. هم‌چنین مقادیر میانگین مربعات خطای به‌دست آمده حاکی از دقت قابل قبول هر دو تابع می‌باشد. معنی‌دار نبودن عدم برازش و هم‌چنین آماره‌های ارزیابی نشان داده شده در جدول ۳ توانایی بالای توابع تولید آب- محصول اشتقاقی را در توصیف فضای خطی تصمیم اثبات می‌کند. کیانی و همکاران (۵) نشان دادند که در پیش‌بینی تغییرات عملکرد گندم زمستانه به واسطه تغییرات رطوبت و شوری در خاک توابع تولید متعالی و درجه دوم نسبت به توابع خطی قابلیت بهتری دارند. میزان خطا در تابع آب شور در حدود ۳۰ درصد بیش‌تر از تابع آب شیرین است. پیچیده‌تر بودن فرایند جذب آب شور از شیرین و لذا غیر خطی بودن آن و هم‌چنین تأثیر منفی حذف متغیر D در تابع آب شور دلایلی است که این تفاوت خطا را توجیه می‌کند. شکل ۳ رویه پاسخ سه بعدی میزان محصول را برای هر دو منبع آبیاری در مقابل متغیرهای A و B نشان می‌دهد. توجه

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]

جدول ۴. آماره‌های ارزیابی توابع تولید ارائه شده برای هر دو منبع آب شور و بدون محدودیت شوری

	r	MBE	RMSE
مدل آب شیرین	$۹/۹\times۱۰^{-۱}$	$-۱/۱\times۱۰^{-۱}$	$۸۱/۱\times۱۰^{-۱}$
مدل آب شور	$۹/۵\times۱۰^{-۱}$	$<۰/۱\times۱۰^{-۱}$	$۱۱۷/۶\times۱۰^{-۱}$



شکل ۳. نمایش سه بعدی رویه پاسخ (میزان محصول) درجه اول برای توابع تولید در مقابل تغییرات متغیرهای مستقل A و B به همراه نقاط مرکزی. آب بدون محدودیت شوری (شکل سمت چپ)، آب شور (شکل سمت راست)

شود که حالات دیگری از ترکیب‌های دوتایی متغیرهای مستقل نیز وجود دارد که می‌تواند همانند ترکیب دو متغیر A و B در یک فضای سه بعدی در مقابل محصول نشان داده شود. فاصله نقاط مرکزی از رویه پیش‌بینی شده توسط توابع، به وضوح بیان‌کننده وجود انحنا در پاسخ است. این امر از لحاظ آماری نیز در جداول ۲ و ۳ اثبات شده است. این نتایج نشان می‌دهد که تابع خطی و آزمایش‌های دو سطحی تنها برای آزمایش‌های گزینش مناسب می‌باشند و رویه پاسخ واقعی خطی نمی‌باشد. به بیان دیگر فاصله نقاط مرکزی از رویه پاسخ دو نکته را نشان می‌دهد. ۱. برای برازش رویه پاسخی دقیق نیاز به مدل‌هایی غیر خطی و پیچیده‌تر از مدل درجه اول می‌باشد. ۲. با وجود خطای کم پیش‌بینی و پراکنش خوب داده‌های پیش‌بینی حول خط ۱:۱، نقاط مرکزی به وضوح خارج از رویه سه بعدی هستند.

کیانی و همکاران (۵) و کیانی و عباسی (۱۵) نشان دادند که توابع متعالی و درجه دوم برای اشتقاق توابع تولید محصول برای گندم زمستانه در شرایط توامان شوری و کم آبی عملکردی بهتر از توابع خطی دارند. شیب رویه در تابع آب بدون محدودیت شوری بیش‌تر از تابع آب شور است. دو دلیل برای این تفاوت می‌توان ذکر نمود: اول میزان محصول برای کرت شاهد در شرایط عدم محدودیت شوری بیش‌تر از کرت شاهد آبیاری شده با آب شور است. دوم کیانی و عباسی(۱۵) ثابت کردند که کاهشی که به دلیل تنش آبی در میزان محصول رخ می‌دهد قابل ملاحظه‌تر از تنش شوری می‌باشد. لذا ممکن است این مطلب نیز در تفاوت میان رویه‌ها مؤثر باشد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نتیجه‌گیری کلی زیر را در بر داشت:

۱. آزمایش‌های گزینش به عنوان مرحله صفر مطالعات رویه پاسخ روشی مناسب جهت تحلیل تنش‌های کم آبی و شوری می‌باشد. ۲. آزمایش‌های فاکتوریل بدون تکرار می‌توانند به عنوان راه‌کاری مفید جهت انجام طرح‌های وسیع به کار گرفته شوند. ۳. اصل کمی اثرات در تنش‌های کم آبی صادق می‌باشد و اثرات درجه بالای ناچیز به‌دست آمده در این پژوهش حاکی از ناچیز بودن تأثیر متقابل میزان آب آبیاری در مراحل مختلف رشد در مقایسه با اثرات مستقل میزان آب آبیاری می‌باشد. ۴.اضافه نمودن آزمایش‌های مرکزی به فضای تغییرات متغیرهای

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]

مستقل کاربرد بسیار خوبی در تعیین میزان انحنای پاسخ تولیدی (در این پژوهش میزان محصول) در مقابل تغییرات متغیرهای مستقل (در این پژوهش سطوح شوری و کم آبی) دارد. ۵ رابطه میزان محصول و میزان آب آبیاری در مراحل مختلف رشد رابطه‌ای غیرخطی است و مدل‌های خطی تنها برای برآوردهای اولیه مناسب می‌باشند.

منابع مورد استفاده

۱. آبخضر، ح.ر. و ب. قهرمان. ۱۳۸۲. تعیین ضرایب حساسیت گندم زمستانه به تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد در شرایط آب و هوایی مشهد. مجله پژوهش‌های زراعی ایران ۱(۱): ۳-۱۲.

۲. باغانی، ج. و م. قدسی.۱۳۸۳. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر ارقام گندم. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۵ (۱۹): ۱-۱۴.

۳. همائی، م. ۱۳۸۱. *واکنش گیاهان به شوری*. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران، ۹۷ صفحه.

۴. سپاسخواه، ع.، ع. توکلی و ف. موسوی. ۱۳۸۵. *اصول و کاربرد کم آبیاری*. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران، ۲۸۸صفحه.

۵. کیانی، ع.، م. میر لطیفی، م. همایی و م.ع. چراغی. ۱۳۸۴. تعیین بهترین تابع تولید آب- شوری گندم در منطقه شمال گرگان. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۶ (۲): ۱-۱۴.

۶. نخجوانی مقدم، م. م. و ب. قهرمان. ۱۳۸۳. بررسی اثر تنش آبی بر روی تبخیر- تعرق و شاخص‌های تولید گیاه گندم زمستانه. مجله علوم و صنایع کشاورزی ۱۸(۲): ۱۴۰-۱۴۸.

۷. نخجوانی مقدم، م. م. و ب. قهرمان.۱۳۸۴. مقایسه توابع تولید گندم زمستانه از آب در منطقه مشهد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۹(۳): ۲۷-۴۱.

8. Al-Jamal, M.S., T.W. Sammis, S. Ball and D. Smeal. 2000. Computing the crop water production function for onion. Agric. Water Manage. 46: 29–41.
9. Clumpner, G. and K. Solomon. 1987. Accuracy and geographic transferability of crop water production functions. In: Proc. Conf. on Irrig. Sys. for the 21st Century. Portland, 28–30 July, OR.
10. Droogers, P., H.R. Salemi and A. Mamanpoush. 2000. Exploring basin scale salinity problems using a simplified water accounting model: the example of Zayandeh Rud basin, Iran. Research Report 5. IWMI.
11. Fereres, E. and M. Auxiliadora Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. J. Experim. Bot. 58(2): 147–159.
12. Igbadun, H.E., A. K.P.R. Tarimo, B.A. Salim and H.F. Mahoo. 2007. Evaluation of selected crop water production functions for an irrigated maize crop. Agric. Water Manage. 94: 1–10.
13. Kafi, M. 2009. The Effects of Salinity and Light on Photosynthesis, Respiration and Chlorophyll fluorescence in Salt-tolerant and Salt-sensitive Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars. J. Agric. Sci. Technol. 11: 535-547.
14. Kang, S., L. Zhang, Y. Ling, X. Hu, H. Cai and B. Gu. 2002. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the loess plateau of China. Agric. Water Manage. 55: 203–216.
15. Kiani. R. and F. Abbasi. 2009. Assessment of the water-salinity crop production function of wheat using experimental data of the golestan province, Iran. Irrig. and Drain. 58: 445-455.
16. Lobell, B. and J.I. Ortiz-Monasterio. 2006. Evaluating strategies for improved water use in spring wheat with CERES David. Agric. Water Manage. 84: 249 – 258.
17. Myers, R.H., D.C. Montgomery and C.M. Anderson-Cook. 2009. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, 3rd ed., John Wiley and Sons Inc. Pub., USA.
18. Zadoks, J.C., T.T. Chang, C.F. Konzak. 1974. Weed Res. 14:415-421.
19. Zhang, B., F.M. Li, G. Huang, Z.Y. Cheng and Y. Zhang. 2006. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. Agric. Water Manage. 79: 28–42.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-07-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.18.2]