نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۲، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴، ص. ۱۰ - ۱

Water Management in Agriculture
Vol. 2, No. 1, Spring and Summer 2015, p. 1 - 10

بررسی مزرعه‌ای عملکرد و بهره‌وری آب ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان

وحید رضا وردی نژاد[۱*]، محمد رضایی[۲]

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر مقدار آب آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب ارقام مختلف گندم نان، آزمایش مزرعه‌ای طی سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی میاندوآب واقع در استان آذربایجان غربی انجام گردید. سطوح مختلف آبیاری شامل I_1، I_2، I_3 و I_4 به ترتیب ۷۰، ۱۰۰،۱۳۰ و۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A بر روی ده ژنوتیپ معمول گندم نان شامل؛ زرین، شهریار، الوند، سرداری، C-80-4، C-81-10،C-81-4، C-83-3، C-83-8 و C-84-9 اعمال شد. رقم بهینه عملکرد محصول، در سطح آبیاری I_1، ژنوتیپ زرین با عملکرد ۷۱۵۹/۷ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. متوسط بهره‌وری آب ده ژنوتیپ برای سطوح آبیاری I_1، I_2، I_3 و I_4 به ترتیب ۰/۹۸، ۱/۳۸، ۱/۳۶ و ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. بیشترین بهره‌وری آب مربوط به سطح I_4 و ژنوتیپ C-84-9 با ۱/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد. بر اساس نتایج، تحت تابع هدف سود خالص، ژنوتیپ زرین در سطح آبیاری I_1؛ اما باهدف حداکثر سازی بهره‌وری آب، ارقام C-83-8 و C-84-9 در سطح آبیاری I_4 پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تابع تولید- آب، سود خالص، کم‌آبیاری

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمبود آب همواره یکی از محدودیت‌های توسعه کشاورزی بوده، لذا ارتقای بهره‌وری آب در این مناطق از اهمیت بسزایی برخوردار است. با توجه به متفاوت بودن پاسخ ارقام مختلف یک محصول نسبت به تنش‌های محیطی، یکی از عوامل مهم در ارتقای بهره‌وری آب، انتخاب رقم مناسب یک محصول می‌باشد. امروزه با افزایش روزافزون جمعیت و نیاز به غذا و محدودیت منابع آب، ارزش ماده حیاتی گندم بیش‌ازپیش روشن‌شده است؛ به‌طوری‌که بیش از افزایش عملکرد در واحد سطح، افزایش عملکرد به ازای واحد حجم آب مصرفی اهمیت یافته است. به همین علت افزایش بهره‌وری آب از طریق مصرف بهینه آب و کود و استفاده از ارقام مناسب از اهداف محققان می‌باشد (انابی میلانی، ۱۳۸۱). کشت گندم سالانه حدود ۵۰٪ از زمین‌های زراعی ایران را به خود اختصاص می‌دهد (رضایی، ۱۳۸۹). برای ارتقای بهره‌وری آب، آگاهی از رابطه‌ی بین مصرف آب و عملکرد محصول تحت عنوان تابع تولید محصول، ضروری می‌باشد. توابع تولید محصول رابطه کمی ریاضی بین عملکرد محصول و عوامل تولید (نهاده‌های مصرفی) بوده که در واقع نرخ تبدیل عوامل تولید، به عملکرد را مشخص می‌کند. توابع تولید عموماً برحسب حداقل عوامل که متغیر و درعین‌حال تحت کنترل هستند، برآورد می‌شود. مناطق خشک و نیمه‌خشک، مقدار آبیاری، از تأثیرگذارترین عامل بر تولید می‌باشد و رابطه کمی ریاضی بین عملکرد محصول و آب مصرفی می‌باشد. این رابطه به‌صورت رابطه بین عملکرد محصول با میزان آب آبیاری، رابطه بین عملکرد محصول با میزان تبخیر و تعرق و یا توابع نسبی عملکرد محصول با میزان آب آبیاری یا تبخیر و تعرق مشخص می‌گردد (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به سطح کشت گندم در کشور و کمبود منابع آب در بیشتر مناطق، بهینه‌سازی آبیاری و بهره‌وری آب این محصول حائز اهمیت می‌باشد. عملکرد و بهره‌وری آب گندم، تحت تأثیر نوع و واریته محصول نیز می‌باشد؛ به‌طوری‌که برخی از ارقام آن به خشکی و تنش آبی مقاوم بوده و برخی ارقام، حساس به کم‌آبی باشند (رضایی، ۱۳۸۹). بهره‌وری آب کشاورزی، به مقدار عملکرد یا ارزش عملکرد به ازای واحد حجم آب مصرفی بوده که به‌صورت مختلف تعریف می‌گردد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲):

$$WP_{ET} = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{ET(m^3\,ha^{-1})} \qquad (۱)$$

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(* نویسنده مسئول: Email: rezaverdinejad@gmail.com)
۲- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجانغربی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۲۵

که در آن ET،WP_{ET} و Y به ترتیب بهره‌وری تبخیر و تعرق، مقدار تبخیر و تعرق طی فصل زراعی و وزن خشک اندام هوایی گیاه (یا مقدار محصول قابل‌عرضه به بازار) می‌باشند. اگر مقدار آبیاری و بارش به‌عنوان آب مورداستفاده گیاه در نظر گرفته شود، بهره‌وری مصرف آب (WP_{I+P}) به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Kijne *et al.*, 2003):

$$WP_{I+P} = \frac{Y(kg\,ha^{-1})}{[I+P](m^3\,ha^{-1})} \qquad (۲)$$

که در آن I و P مقدار آبیاری و بارندگی در طول فصل زراعی می‌باشند. در شرایطی که میزان بارش اندک است WP_{I+P} به WP_I تبدیل می‌شود. با توجه به اهمیت اقتصادی تولیدات کشاورزی، صورت کسر معادلات (۱) و (۲) به‌صورت ارزش عملکرد محصول تعریف می‌شود که در این صورت می‌توان بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری (WP_E) را به‌صورت رابطه (۳) تعریف کرد (Kijne *et al.*, 2003):

$$WP_E = \frac{Y(\$kg^{-1}\times kg\,ha^{-1})}{[I+P](m^3\,ha^{-1})} \qquad (۳)$$

که در آن $ ارزش ریالی فروش محصول می‌باشد. اگر در صورت کسر هزینه‌های تولید در نظر گرفته شود، سود خالص به ازای واحد آب مصرفی به دست می‌آید. بهره‌وری آب کشاورزی در مقیاس مزرعه در منطقه برخوار اصفهان در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ متوسط WP_I و WP_{ET} برای گندم را ۰/۴۹ و ۰/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش گردید (Vazifedoust *et al.*, 2008). بهره‌وری مصرف آب گندم (WP_{ET}) در چین طی ۹ تحقیق انجام‌شده طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۳ بین ۰/۸۴ تا ۱/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد. این رقم در هند بین ۰/۶۴ تا ۱/۱۹ و در ترکیه ۱/۳۳ تا ۱/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد (Zwart and Bastiaanssen, 2004). نتایج ۸۴ تحقیق در زمینه بهره‌وری آب طی ۲۵ سال اخیر در نقاط مختلف روی محصول گندم نشان می‌دهد که متوسط WP_{ET} گندم ۱/۰۹ با دامنه ۰/۶ تا ۱/۷ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در بررسی بهره‌وری آب در شبکه آبیاری آبشار اصفهان، مقدار متوسط بهره‌وری آب گندم (WP_{I+P}) برای سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ برابر ۰/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد (وردی نژاد و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه تأثیر ژنوتیپ‌های مختلف گندم نان بر عملکرد و بهره‌وری آب، آزمایش مزرعه‌ای به‌منظور استخراج توابع تولید ژنوتیپ‌های مختلف محصول انجام گرفت و بر اساس این توابع، عملکرد و بهره‌وری گندم مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای طی سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی میاندوآب با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۶ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه و ارتفاع ۱۱۴۲ متر از سطح دریا، واقع در جنوب استان آذربایجان غربی انجام شد. بافت خاک محل آزمایش سیلتی بوده و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه‌شده است. خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مطابق جدول ۲ می‌باشد. مطابق این جدول، هدایت الکتریکی آب آبیاری برابر ۱/۷۵ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. در این تحقیق سطوح مختلف آبیاری I_1، I_2، I_3 و I4 به ترتیب شامل: ۷۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A بر روی ده ژنوتیپ گندم نان شامل زرین، شهریار، الوند، سرداری، C-80-4،C-81-10،C-81-4،C-83-3،C-83-8 و C-84-9 در چهار تکرار انجام گردید. تاریخ کاشت در ۲۰ مهر و با بذور ضدعفونی شده ژنوتیپ‌های گندم و با تراکم کاشت ۴۵۰ بذر در مترمربع (حدود ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) انجام گردید. پس از کاشت، یک نوبت آبیاری در پاییز جهت سبز شدن گیاهچه ها و استقرار آن‌ها در خاک انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصل از ایستگاه هواشناسی واقع در محل آزمایش و جمع‌آوری داده‌های هواشناسی، برنامه‌ریزی آبیاری بر طبق تبخیر از تشتک کلاس A تعیین گردید. بر اساس تحقیقات صورت گرفته، ضریب تشتک تبخیر ایستگاه مذکور ۰/۸ محاسبه گردیده است. جهت یکسان نمودن حجم آب آبیاری در کرت‌ها از کنتور و لوله‌های آبیاری تحت‌فشار استفاده شد تا در تمام فصل زراعی مقدار آب مصرف‌شده در هر کرت بر طبق سطوح مختلف تبخیر از تشتک، ثابت باشد. بازده آبیاری به توجه به کنترل دقیق آب کاربردی و نیز در نظر گرفتن روش کرتی، برابر ۰/۹۵ لحاظ گردید. بر اساس مطالعات صورت گرفته، بیشتر محققین رابطه‌ی غیرخطی درجه دوم را برای عملکرد محصول- مقدار آب آبیاری پیشنهاد کرده‌اند (سپاس خواه و همکاران، ۱۳۸۵). در این تحقیق نیز این رابطه، به‌عنوان رابطه‌ی تابع تولید محصول-آب در نظر گرفته شد و برای ارقام مختلف گندم نان، استخراج گردید. تابع هزینه نیز مطابق بیشتر تحقیقات به‌صورت خطی در نظر گرفته شد (رابطه ۵).

$$Y_i = \alpha_i I^2 + \beta_i I + \gamma_i \qquad (۴)$$

$$C = a + bI \qquad (۵)$$

که در آن I عمق آب آبیاری طی فصل رشد (میلی‌متر)، Y عملکرد محصول (کیلوگرم بر هکتار)، α، β و γ پارامترهای تابع تولید، C تابع هزینه (ریال بر هکتار) محصول گندم، a هزینه‌های ثابت (ریال بر هکتار)، b ضریب هزینه‌های متغیر (ریال بر هکتار بر میلی‌متر) و

اندیس i مربوط به نوع ژنوتیپ می‌باشند. برای تعیین عمق آبیاری و ژنوتیپ بهینه بر اساس توابع عملکرد محصول، یک تابع هدف غیرخطی به‌منظور حداکثر سازی سود خالص، به‌صورت رابطه زیر تعریف گردید:

$$\text{Max } NB = P_i(\alpha_i I^2 + \beta_i I + \gamma_i) - [a + bI] \qquad (۶)$$

که در آن NB سود خالص در واحد سطح (ریال بر هکتار)، P_i قیمت فروش محصول (ریال بر کیلوگرم)، I عمق آب آبیاری (میلی‌متر) (متغیر تصمیم) و اندیس i مربوط به نوع ژنوتیپ می‌باشند. به‌منظور حل مسئله بهینه‌سازی از نرم‌افزار Lingo استفاده گردید. برای بررسی و تحلیل بهره‌وری آب، تابع هدف بهره‌وری به‌صورت رابطه‌ی زیر تعریف گردید:

$$\text{Max } WP_{I+P} = \frac{Y_i}{10 \times (I+P)} = \frac{\alpha_i I^2 + \beta_i I + \gamma_i}{10 \times (I+P)} \qquad (۷)$$

که در آن WP بهره‌وری فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب) و ۱۰ ضریب تبدیل می‌باشد. برای کد نویسی این مسئله نیز از نرم‌افزار Lingo استفاده گردید. با توجه به یکسان فرض کردن هزینه‌های تولید برای ژنوتیپ‌های مختلف، استفاده از بهره‌وری فیزیکی و نیز بهره‌وری اقتصادی نتایج مشابهی را خواهد داشت. لذا تنها از بهره‌وری فیزیکی استفاده گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق (cm)	بافت خاک	شوری عصاره اشباع اولیه (dS/m)	چگالی ظاهری (gcm^{-3})	FC (cm^3cm^{-3})	PWP (cm^3cm^{-3})	درصد اشباع
۰-۳۰	لوم سیلتی	۱/۷۶	۱/۲۴	۳۱/۱	۱۳/۶	۵۵
۳۰-۶۰	لوم سیلتی	۱/۵	۱/۳۸	۳۳/۲	۱۴/۲	۴۸
۶۰-۹۰	لوم سیلتی	۱/۴۲	۱/۴۸	۳۸/۷	۱۲/۱	۴۵

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری محل طرح

EC (dSm^{-1})	pH (-)	کربنات (meq/L)	بیکربنات (meq/L)	کلرید (meq/L)	کلسیم (meq/L)	منیزیم (meq/L)	سدیم (meq/L)
۱/۷۵	۷/۶	۰	۸/۴	۱۱/۱	۴/۸	۵/۲	۷/۲

نتایج و بحث

تابع تولید ژنوتیپ‌های گندم نان نسبت به آب

ده ژنوتیپ مختلف در این مطالعه، شامل: زرین، شهریار، الوند، سرداری، C-80-4، C-81-10، C-81-4، C-83-3، C-83-8 و C-84-9 به ترتیب با G1، G2، G3، G4، G5، G6، G7، G8، G9 و G10 نام‌گذاری گردید. بیشترین عملکرد گندم نان تحت سطح آبیاری I_1، در رقم G1 و برابر ۷۱۵۹/۷ کیلوگرم بر هکتار حاصل شد. تحت عمق آبیاری مذکور، بیشترین عملکرد بعد از رقم G1، مربوط به G2 و G10 بوده که عملکرد به ترتیب ۶۵۲۲/۲ و ۶۲۹۲/۹ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. کمترین عملکرد در سطح آبیاری مذکور، مربوط به رقم G4 با عملکرد ۳۰۸۵/۵ کیلوگرم بر هکتار بوده که نشان می‌دهد این ژنوتیپ (سرداری)، از عملکرد پایین برخوردار است. در تیمار آبیاری I_2 (عمق آبیاری ۳۸۷/۷ میلی‌متر)، بیشترین و کمترین عملکرد محصول به ترتیب مربوط به G7 و G4 و با عملکرد ۶۲۰۰/۵ و ۳۲۲۲/۱ کیلوگرم بر هکتار می‌باشند. با افزایش تنش آبی و در تیمار آبیاری I_3، بیشترین و کمترین عملکرد محصول به ترتیب مربوط به G6 و G4 و با عملکرد ۴۹۲۸/۰ و ۲۹۲۱/۹ کیلوگرم بر هکتار محاسبه گردید. نهایتاً در تیمار آبیاری I_4، بیشترین و کمترین عملکرد محصول به ترتیب مربوط به G10 و G3 و با عملکرد ۴۳۲۷/۸ و ۱۹۰۶/۲ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. نتایج فوق نشان

می‌دهند که بااینکه ژنوتیپ G1 در آبیاری کامل عملکرد خوبی دارد اما در صورت کم‌آبیاری، ژنوتیپ برتر نمی‌باشد و لازم است که با توجه به‌شدت کم‌آبیاری، از ارقام بهینه برای این منظور استفاده گردد. نتایج مذکور به‌صورت نقطه‌ای و برای چهار نقطه، ارائه گردید؛ اما به‌منظور تحلیل اقتصادی، نیاز به تابعی پیوسته می‌باشد تا اینکه اثر عمق آبیاری در بازه‌ای از عمق آبیاری، بررسی گردد. برای این منظور توابع تولید محصول استخراج گردید. تابع برازش غیرخطی درجه دوم، در اکثر تیمارها همبستگی بالا نشان داد. حداقل ضریب R^2 مربوط به G7 و برابر ۰/۹۰۶ به دست آمد. در جدول ۳ مقادیر ضرایب تبیین به‌منظور نکویی برازش ارائه‌شده است. توابع تولید ارقام مختلف در شکل ۱ ارائه گردیده است. معادلات توابع تولید ده ژنوتیپ به‌صورت روابط ۸ الی ۱۷ می‌باشند.

$$Y_1 = -0.02I^2 + 27.3I - 2220.8 \quad (۸)$$

$$Y_2 = -0.04I^2 + 49.04I - 7079.9 \quad (۹)$$

$$Y_3 = -0.052I^2 + 54.7I - 8146.4 \quad (۱۰)$$

$$Y_4 = -0.015I^2 + 14.78I - 189.5 \quad (۱۱)$$

$$Y_5 = -0.057I^2 + 56.88I - 7586.7 \quad (۱۲)$$

$$Y_6 = -0.030I^2 + 31.46I - 1986.99 \quad (۱۳)$$

$$Y_7 = -0.046I^2 + 46.16I - 5139.97 \quad (۱۴)$$

$$Y_8 = -0.056I^2 + 58.48I - 8607.4 \quad (۱۵)$$

$$Y_9 = -0.007I^2 + 11.86I + 1807.5 \quad (۱۶)$$

$$Y_{10} = -0.010I^2 + 14.3I + 1382.1 \quad (۱۷)$$

برای تحلیل اقتصادی علاوه بر تابع تولید، نیاز به هزینه‌های ثابت، متغیر و قیمت فروش محصول می‌باشد. در سال زراعی مذکور قیمت تضمینی خرید گندم ۳۰۵۰ ریال بر کیلوگرم بوده است. تابع هزینه که شامل هزینه‌های ثابت و متغیر در واحد سطح می‌باشد، بر اساس هزینه‌های آماده‌سازی زمین، کاشت، داشت، برداشت، زمین، آبیاری و آب‌بهای ارائه‌شده توسط جهاد کشاورزی آذربایجان غربی در سال ۱۳۸۷، محاسبه گردید (رابطه‌ی ۱۸):

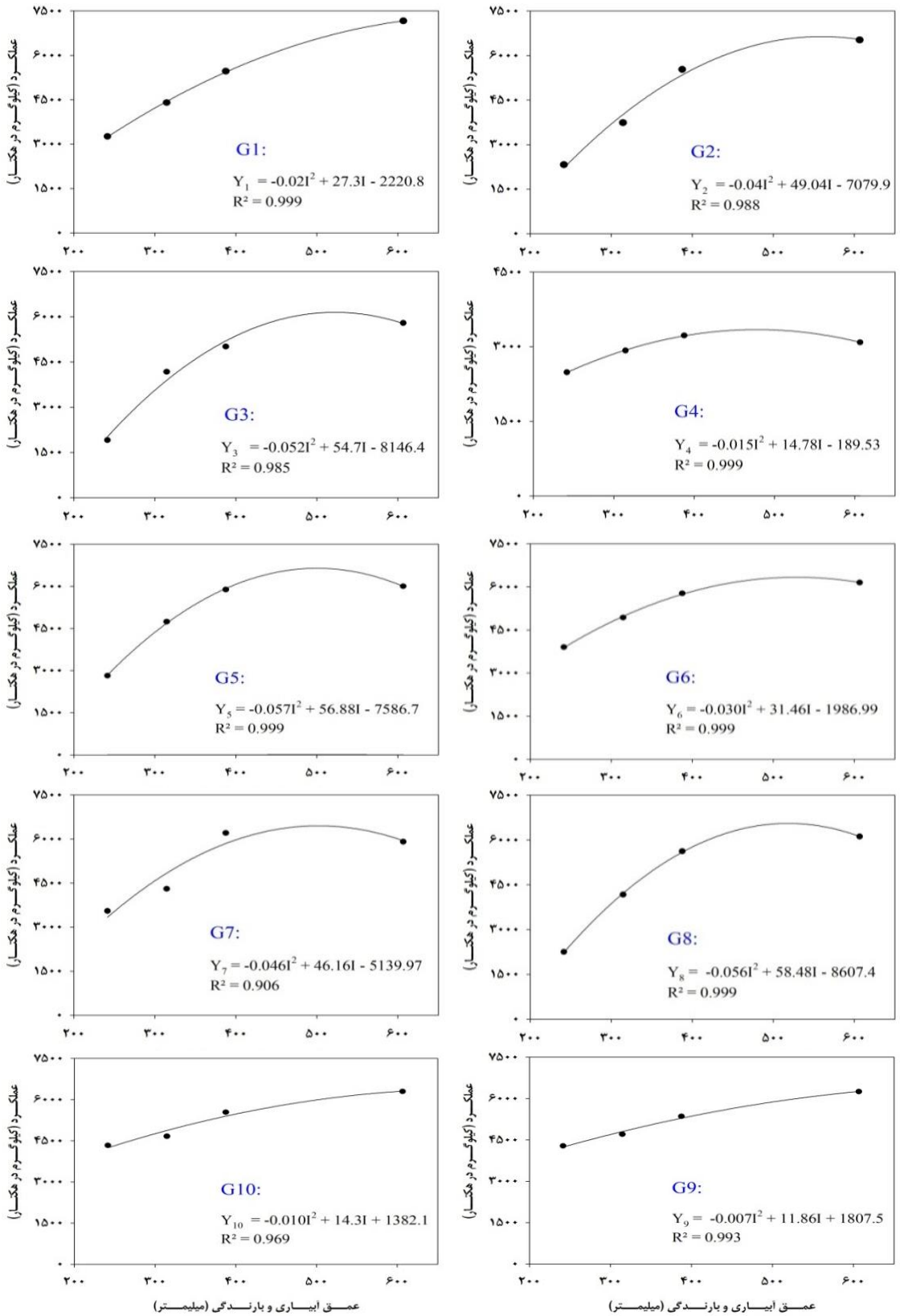
$$C = 6132110 + 1550I \quad (۱۸)$$

که در آن ۶۱۳۲۱۱۰ هزینه‌های ثابت (ریال بر هکتار) و ۱۵۵۰ ضریب هزینه‌های متغیر (ریال بر هکتار بر میلی‌متر) می‌باشند.

ژنوتیپ بهینه با هدف سود خالص

چنانچه ذکر شد، ژنوتیپ بهینه گندم نان در سطح آبیاری I_1، رقم G1 با عملکرد ۷۱۵۹/۷ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. در شرایط کم‌آبیاری و بر اساس نتایج مدل بهینه‌سازی سود خالص (NB)، نتایج مدل نشان داد که در شرایط موجود برای هزینه‌های متغیر (آب و آبیاری) و نیز وجود آب کافی، کم‌آبیاری توصیه نمی‌شود. در این حالت نیز رقم بهینه، رقم G1 بوده و مقدار سود خالص حاصل از کشت این ژنوتیپ ۱۴/۸×۱۰^۶ ریال بر هکتار می‌باشد. درصورتی‌که کمبود آب داشته باشیم و انجام عمل کم‌آبیاری الزامی باشد، در این صورت در سطوح مختلف کم‌آبیاری، ژنوتیپ‌های مختلف پیشنهاد می‌گردد.

تحت کم‌آبیاری ۹۰٪ آبیاری کامل، ژنوتیپ بهینه G1 و میزان سود خالص ۱۴/۰×۱۰^۶ ریال بر هکتار به دست آمد. تحت کم‌آبیاری ۸۰٪ آبیاری کامل، ژنوتیپ بهینه G5 و سود خالص برابر ۱۳/۲×۱۰^۶ ریال بر هکتار؛ تحت کم‌آبیاری ۷۰٪ آبیاری کامل، ژنوتیپ بهینه G5 و سود خالص برابر ۱۲/۴×۱۰^۶ ریال بر هکتار؛ تحت کم‌آبیاری ۶۰٪ آبیاری کامل، ژنوتیپ بهینه G7 و سود خالص برابر ۱۰/۲۸×۱۰^۶ ریال بر هکتار و در حالت اعمال کم‌آبیاری ۵۰٪ آبیاری کامل، ژنوتیپ بهینه G10 و سود خالص ۸/۰۳×۱۰^۶ ریال بر هکتار محاسبه گردید. با اعمال کم‌آبیاری ۴۰٪ آبیاری کامل، رقم بهینه G9 و سود خالص حاصل از کشت آن ۶/۵۲×۱۰^۶ ریال بر هکتار به دست می‌آید. بررسی‌های فوق نشان می‌دهند که با ۱۰٪ کاهش در آب مصرفی، سود خالص ۵/۴٪ کاهش و با کاهش ۲۰ درصدی آب مصرفی، سود خالص ۱۰/۸٪ کاهش خواهد یافت؛ اما بااین‌حال در صورت وجود آب کافی، کم‌آبیاری در این منطقه توصیه می‌گردد که دلیل اصلی آن ارزان بودن هزینه‌های متغیر (عمدتاً آب‌بها) در این منطقه است. در جدول ۴ ژنوتیپ بهینه تحت کم‌آبیاری مختلف، به‌صورت جزئی ارائه‌شده است. ژنوتیپ‌های G9 و G10، تحت تنش‌های شدید، مقاوم بوده و عملکرد قابل‌قبول دارند.


G1:
$Y_1 = -0.02I^2 + 27.3I - 2220.8$
$R^2 = 0.999$
G2:
$Y_2 = -0.04I^2 + 49.04I - 7079.9$
$R^2 = 0.988$
G3:
$Y_3 = -0.052I^2 + 54.7I - 8146.4$
$R^2 = 0.985$
G4:
$Y_4 = -0.015I^2 + 14.78I - 189.53$
$R^2 = 0.999$
G5:
$Y_5 = -0.057I^2 + 56.88I - 7586.7$
$R^2 = 0.999$
G6:
$Y_6 = -0.030I^2 + 31.46I - 1986.99$
$R^2 = 0.999$
G7:
$Y_7 = -0.046I^2 + 46.16I - 5139.97$
$R^2 = 0.906$
G8:
$Y_8 = -0.056I^2 + 58.48I - 8607.4$
$R^2 = 0.999$
G10:
$Y_{10} = -0.010I^2 + 14.3I + 1382.1$
$R^2 = 0.969$
G9:
$Y_9 = -0.007I^2 + 11.86I + 1807.5$
$R^2 = 0.993$
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
عمق آبیاری و بارندگی (میلیمتر)

شکل ۱- توابع تولید ژنوتیپ‌های مختلف (G1 تا G10) گندم نان نسبت به عمق آبیاری

جدول ۳- مقادیر ضرایب تبیین حاصل از برازش غیرخطی درجه دوم در ارقام مختلف

رقم گندم	مقدار ضریب تبیین (R^2)
G1	۰/۹۹۹
G2	۰/۹۸۸
G3	۰/۹۸۵
G4	۰/۹۹۹
G5	۰/۹۹۹
G6	۰/۹۹۹
G7	۰/۹۰۶
G8	۰/۹۹۹
G9	۰/۹۹۳
G10	۰/۹۶۹

جدول ٤- ژنوتیپ بهینه گندم نان تحت سطوح کم‌آبیاری مختلف باهدف سود خالص

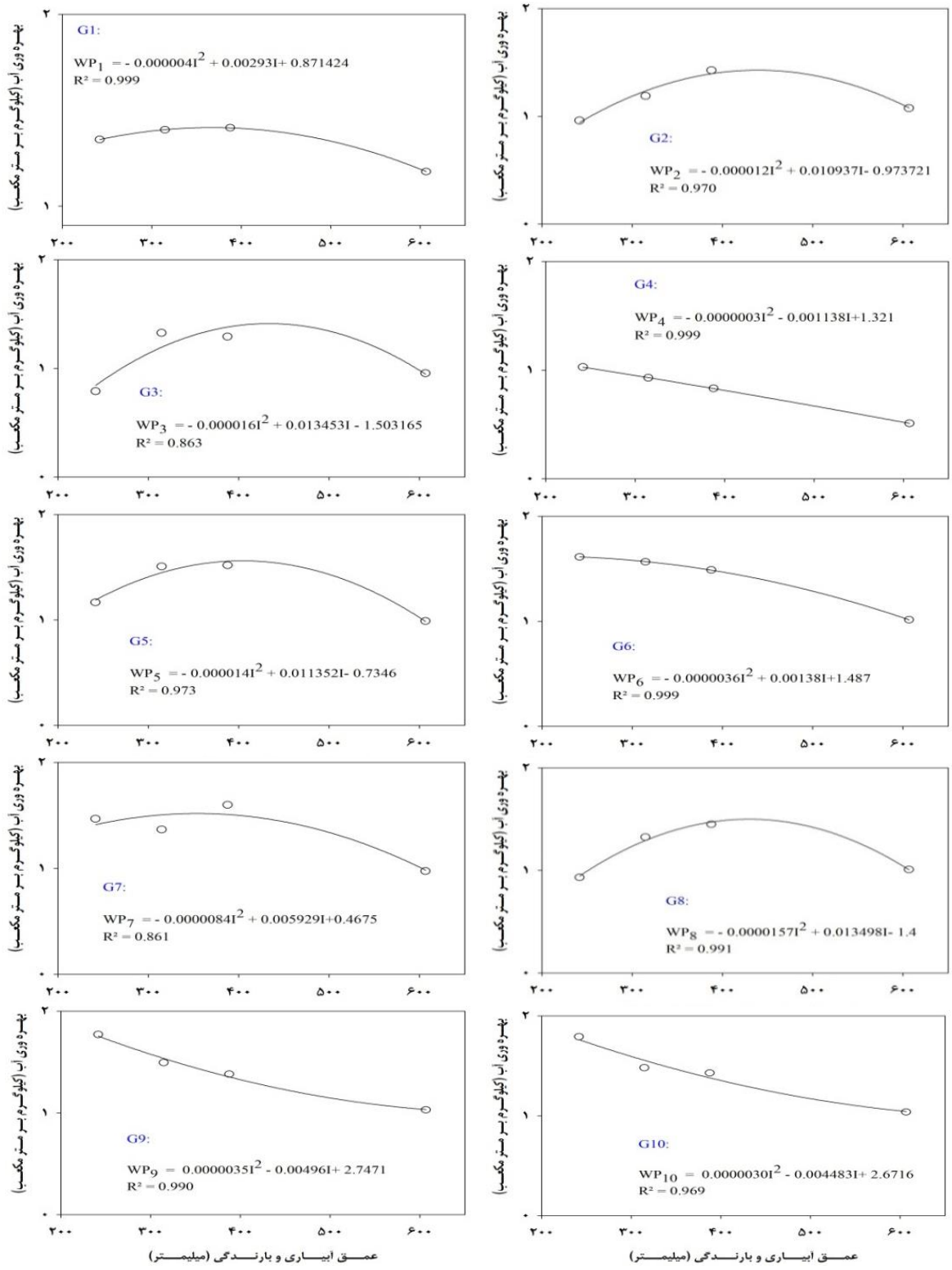
سطح کم‌آبیاری (٪)	۹۵	۹۰	۸۵	۸۰	۷۵	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵
ژنوتیپ بهینه‌ی مدل	G1	G1	G1	G5	G5	G5	G5	G7	G6	G10	G10	G9	G9
سود خالص × ۱۰^{۶}*	۱۴/۴۵	۱۴/۰۰	۱۳/۴۴	۱۳/۲۲	۱۲/۹۷	۱۲/۳۹	۱۱/۴۹	۱۰/۲۸	۹/۱۲	۸/۰۴	۷/۲۹	۶/۵۳	۵/۷۷
کاهش سود خالص (٪)	۲/۳۶	۵/۴۰	۹/۱۹	۱۰/۶۸	۱۲/۳۶	۱۶/۲۸	۲۲/۳۶	۳۰/۵۴	۳۸/۳۸	۴۵/۶۸	۵۰/۷۴	۵۵/۸۸	۶۱/۰۱

* برحسب ریال بر هکتار

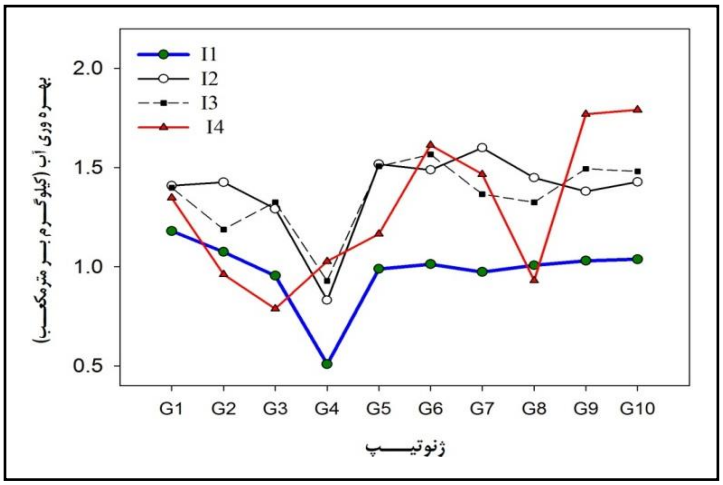
بهره‌وری آب

برای استخراج توابع بهره‌وری فیزیکی آب گندم نان نیز تابع برازش غیرخطی درجه دوم، انطباق قابل‌قبولی برداده‌ها نشان داد. توابع بهره‌وری مستخرج برای ژنوتیپ‌های مختلف به همراه تابع و ضریب تبیین، در شکل ۲ ارائه‌شده است. با توجه به شکل ۲، مقدار بهره‌وری آب در شرایط تنش شدید، کم و با افزایش مقدار آب، افزایش‌یافته و سپس کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه ژنوتیپ‌های G9 و G10، مقاوم به کم‌آبی هستند، روند تابع بهره‌وری آن‌ها متفاوت با سایر ژنوتیپ‌ها بوده و در تنش‌های شدید، بهره‌وری بالایی دارند. در سطح آبیاری I_1، حداقل و حداکثر بهره‌وری آب به ترتیب مربوط به G4 و G1 با بهره‌وری ۰/۵۱ و ۱/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. روند تغییرات بهره‌وری برای ژنوتیپ‌های مختلف در سطوح آبیاری مختلف، به‌صورت شکل ۳ می‌باشد. با توجه به شکل، مقدار بهره‌وری از رقم G5 تا G10 تغییرات اندکی نسبت به همدیگر دارند. به‌طورکلی اعمال کم‌آبیاری باعث افزایش بهره‌وری آب گردید. بر اساس شکل ۳، حداقل بهره‌وری در سطح آبیاری I_1 به‌دست‌آمده است. به‌طورکلی بهره‌وری (در اکثر ژنوتیپ‌ها) در تیمارهای I_2 تا I_4، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به تیمار I_1 نشان داد. متوسط بهره‌وری آب در تیمارهای I_1 تا I_4، به ترتیب ۰/۹۸، ۱/۳۸، ۱/۳۶ و ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد؛ اما بااین‌حال، تغییرات بهره‌وری از یک ژنوتیپ به ژنوتیپ دیگر، در یک سطح آبیاری معین قابل‌ملاحظه می‌باشد. در سطح آبیاری I_2 بیشترین بهره‌وری برابر ۱/۶ کیلوگرم بر مترمکعب و مربوط به G7، در سطح I_3 بیشترین بهره‌وری برابر ۱/۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب و مربوط به G6 و در سطح I_4 بیشترین بهره‌وری برابر ۱/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب و مربوط به G10 به دست آمد. در سود خالص، بااینکه ژنوتیپ بهینه در سطح آبیاری I_1 قرار دارد؛ اما در بهره‌وری آب، با کاهش آب مصرفی، بهره‌وری افزایش نشان داد (البته نه در تمام ژنوتیپ‌ها). ازنظر عملکرد و سود خالص بااینکه ژنوتیپ‌های G9 و G10 در کم‌آبی شدید در حد بهینه نبودند اما ازنظر بهره‌وری، ژنوتیپ‌های بهینه بوده و میزان بهره‌وری آن‌ها به ترتیب ۱/۷۷ و ۱/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. بر اساس تابع هدف بهره‌وری آب، ژنوتیپ بهینه بهره‌وری آب تحت سطوح مختلف

آبیاری، در جدول ۵ ارائه گردیده است. با متغیر قرار دادن عمق آبیاری، حداکثر بهره‌وری قابل‌دستیابی برابر ۲/۰۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب بوده که در عمق آبیاری ۱۸۰ میلی‌متر و در ژنوتیپ G9 به دست آمد.



شکل ۲-توابع بهره‌وری آب ژنوتیپ‌های مختلف (G1 تا G10) گندم نان



شکل ۳- مقایسه‌ی بهره‌وری فیزیکی آب در ارقام مختلف گندم نان در سطوح مختلف آبیاری

جدول ۵- ژنوتیپ بهینه و مقدار بهره‌وری بهینه‌ی (کیلوگرم بر مترمکعب) گندم نان تحت سطوح کم‌آبیاری

سطح کم‌آبیاری (٪)	۹۵	۹۰	۸۵	۸۰	۷۵	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵
ژنوتیپ بهینه	G1	G1	G1	G5	G5	G5	G5	G7	G6	G10	G10	G9	G9
بهره‌وری فیزیکی آب	۱/۲۲	۱/۲۶	۱/۳۰	۱/۳۶	۱/۴۳	۱/۴۸	۱/۵۲	۱/۵۳	۱/۵۵	۱/۵۸	۱/۶۶	۱/۷۶	۱/۸۹

نتیجه‌گیری

با هدف حداکثر سازی عملکرد در واحد سطح، کم‌آبیاری پیشنهاد نمی‌شود. باهدف عملکرد در واحد سطح، G1 ژنوتیپ بهینه در سطح آبیاری I_1 با عملکرد ۷۱۵۹/۷ کیلوگرم بر هکتار و مقدار سود خالص حاصل از کشت این ژنوتیپ ۱۴/۸×۱۰۶ ریال بر هکتار حاصل گردید. بهره‌وری آب در این شرایط و برای ژنوتیپ مذکور برابر ۱/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. باهدف حداکثر سازی بهره‌وری آب، حداکثر بهره‌وری آب در شرایط کم‌آبیاری به دست آمد. حداکثر بهره‌وری در ژنوتیپ G9 برابر ۲/۰۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب در عمق آبیاری ۱۸۰ میلی‌متر به دست آمد. با مقایسه‌ی ارقام مربوط به بهره‌وری آب با تحقیقات پیشین، ارقام به‌دست‌آمده در حالت کم‌آبیاری بیشتر به دست آمد؛ اما در حالت آبیاری کامل با نتایج تحقیقات قبلی مشابه می‌باشد. البته بیشتر تحقیقات صورت گرفته در مقیاس شبکه و تحت مدیریت زارعین بوده اما تحقیق حاضر در قالب طرح آزمایشی انجام گردید.

مراجع

احسانی، م؛ و خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

انابی میلانی، ا. ۱۳۸۱ ارزیابی تأثیر رژیم‌های آبیاری در اجزاء عملکرد و کارایی مصرف آب در گندم در یک خاک شور. مجله علوم خاک و آب، ۱۶: ۱۲۱- ۱۳۵.

سپاس خواه، ع.ر.، توکلی، ع.ر. و موسوی، ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم‌آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

رضایی، م. ۱۳۸۹. ارزیابی جذب عناصر غذایی و تغییرات کیفیت دانه ژنوتیپ‌های گندم نان در پاسخ به کمبود آب. پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

وردی نژاد، و.، سهرابی، ت.، حیدری، ن.، عراقی نژاد، ش. و مأمن پوش، ع.ر. ۱۳۸۹. بررسی عرضه و تقاضا و برآورد بهره‌وری آب کشاورزی در حوزه آبریز زاینده‌رود (مطالعه موردی: شبکه آبیاری سمت راست آبشار). آبیاری و زهکشی ایران، ۲ (۳): ۸۸-۹۹.

Kijne, J., Barker, R., and Molden, D. 2003. Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. Comprehensive assessment of Water Management in Agriculture, Series No. 1, CABI press, Wallingford, UK, 352 p.

Vazifedoust, M., Van Dam, J.C. Feddes, R.A., and Feizi, M. 2008. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. Agricultural Water Management, 95: 89-102.

Zwart, J.S., and Bastiaanssen, G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management, 69: 115–133.

Water Management in Agriculture
Vol. 2, No. 1, spring and Summer 2015, p. 1 - 10

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۲، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴، ص. ۱۰ - ۱

Field Investigation of Yield and Water Productivity for Various Bread Wheat Genotypes

V. Rezaverdinejad [1*] and M. Rezaei[2]

Abstract

In order to investigate the effects of water quantity on grain yield and water productivity of bread wheat genotypes, a field experiment was conducted in agricultural research center in Miandoab, located in West Azerbayjan during 1386-87. Different water level includes I_1, I_2, I_3 and I_4 corresponding with 70, 100, 130 and 160 mm evaporation from class A pan, was applied on ten genotypes of bread wheat includes: Zarrin, Shahriyar, Alvand, Sardari, C-80-4, C-81-10, C-81-4, C-83-3, C-83-8 and C-84-9. Optimal yield genotype was Zarrin and gained in I_1 irrigation level with 7159.7 $Kgha^{-1}$. The average water productivity of ten genotypes calculated for I_1, I_2, I_3 and I_4 about 0.98, 1.38, 1.36 and 1.29 Kgm^{-3}. The maximum water productivity gained 1.79 Kgm^{-3} for C-84-9 genotype in I_4 irrigation level. Based on results, under net benefit objective function the Zarrin genotype in I_1 level and under net water productivity objective function the C-83-8 and C-84-9 genotypes in I_4 level were purposed.

Keywords: Crop Water Production Function, Deficit irrigation, Net Benefit, Water Productivity

1-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran-(*Corresponding author: Email: rezaverdinejad@gmail.com)

2-Assistant Professor, West Azarbayjan Agricultural and Natural Resources Research Center, Urmia, Iran

Received: July 1, 2015
Accepted: November 16, 2015