تأثیر روش‌های برنامه‌ریزی آبیاری بر عملکرد و کارآیی مصرف آب گندم

اژدر عُنّابی میلانی[1*] و صدقعلی زمانی

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی و دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز.
a_o_milani@yahoo.com
کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی.
sedgaliali@yahoo.com

چکیده

این پژوهش به‌منظور ارزیابی تأثیر روش‌های برنامه‌ی آبیاری روی عملکرد و کارآیی مصرف آب گندم و تعیین روش مناسب برنامه‌ریزی آبیاری آن در منطقه‌ی سعیدآباد آذربایجانشرقی در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و ۴ تکرار انجام شد. آبیاری‌هادر تیمارهای I_1 و I_2 به‌ترتیب زمانیکه نسبت عمق آبیاری به تبخیر از تشت کلاسA به ۰/۸ و ۱ می‌رسید شروع می‌شد، در تیمارهای I_3 و I_4 آبیاریها به‌ترتیب در پتانسیل آب خاک معادل ۴۰- و ۶۰- کیلوپاسکال انجام شد، در تیمارهای I_5 و I_6 آبیاری‌هابه‌ترتیب در دو رطوبت ۴۰ و ۶۰ درصد آب قابل استفاده در ناحیه ریشه صورت گرفت، در تیمارهای I_7 و I_8 در درجه-روز تنش (SDD[2]) انباشته‌ی به‌ترتیب ۸ و ۱۲ مبادرت به آبیاری شد و در تیمارهای I_9 و I_{10} نیز آبیاری‌ها بر اساس مراحل رشد نبات انجام شد به این‌ترتیب که در تیمار I_9 ،دو آبیاری در مراحل آغاز ریشه‌دوانی و گلدهی و در تیمار I_{10} ، چهار آبیاری در مراحل آغاز ریشه‌دوانی، پایان پنجه‌زنی، آبستنی و مرحله‌ی شیری انجام گرفت.نتایج نشان داد که اختلاف تیمارها از نظر عملکرد بیولوژیک و دانه، کارآیی مصرف آب، وزن هزاردانه، درصد پروتئین دانه و شاخص برداشت معنی‌دار (در سطح یک و پنج درصد) بود.در این میان،تیمار I_2 (نسبت عمق آبیاری به تبخیر معادل یک) بیشترین عملکرد بیولوژیک و دانه و وزن هزاردانه، تیمار I_9 (دو آبیاری در مراحل آغاز ریشه‌دوانی و گلدهی) بیشترین‌کارآیی مصرف آب، تیمار I_{10} (چهار آبیاری در مراحل آغاز ریشه‌دوانی، پایان پنجه‌زنی، آبستنی و مرحله‌ی شیری) بیشترین درصد پروتئین دانه و تیمار I_3 (آبیاری توسط تانسیومتر در پتانسیل ۴۰-کیلوپاسکال) بیشترین شاخص برداشت را بخود اختصاص دادند. در کل با توجه به تعداد دفعات آبیاری، حجم آب مصرفی، عملکرد دانه، کارآیی مصرف آب و سادگی روش، تیمار I_3 به‌نظر مناسب‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب خاک، پروتئین، تبخیر، درجه-روز تنش، رطوبت خاک، شاخص برداشت.

۱- آدرس نویسنده مسئول: مرکز تحققات کشاورزی استان آذربایجان شرقی
*دریافت:آبان ۱۳۹۱و پذیرش:آبان ۱۳۹۳

[2] Stress Degree Day

مقدمه

برنامه‌ی صحیح و دقیق برای آبیاری به‌طوری‌که از یک طرف گیاهان دچار تنش رطوبتی نشوند و از طرف دیگر مصرف بی‌رویه‌ی آب موجبات هدر رفت آنرا پدید نیاورد، از اولویت خاصی برخوردار است. هدف برنامه‌ریزی آبیاری به حداکثر رساندن کارآیی آبیاری با بکار بردن مقدار دقیق آب مورد نیاز محصول و رساندن رطوبت خاک به حد مطلوب است (هیلل، ۱۹۹۰). بعلت ضرورت استفاده‌ی بهینه از منابع محدود آب، تعیین روشی که بتوان بوسیله‌ی آن کارآیی آبیاری را افزایش داد ضروری است.

به‌دلیل اهمیت فراوان تعیین زمان صحیح آبیاری و مقدار آب لازم برای رشد بهینه‌ی گیاه به‌طوری‌که گیاه دچار تنش رطوبتی نشود و از آبیاری بیش از حد نیاز اجتناب گردد، کوششهای زیادی برای دستیابی به روش‌های مطلوب تعیین برنامه‌ی آبیاری صورت گرفته است که هر یک از آنها می‌تواند وضعیت رطوبتی خاصی را در نیمرخ خاک و منطقه‌ی ریشه‌ی گیاه ایجاد کرده و تأثیر قابل‌توجهی روی جذب آب بوسیله‌ی ریشه و درنتیجه عملکرد محصول داشته باشد(کمپل و کمپل، ۱۹۸۲؛ هیرمن و همکاران، ۱۹۹۰؛ هسیائو، ۱۹۹۰؛ جکسون، ۱۹۸۲؛ مارتین، ۲۰۰۹؛ استگمن،۱۹۸۳؛تیلور و اشکرافت، ۱۹۷۲).

بعضی از این روشها براساس ارزیابی وضعیت آب خاک می‌باشد (برونر، ۲۰۰۱) که اندازه‌گیری و پایش رطوبت و یا پتانسیل آب خاک از جمله‌ی آنهاست.

در روش اول با تعیین رطوبت و خصوصیات هیدرولیکی خاک منطقه ریشه و نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد، زمان و مقدار آب لازم برای رشد بهینه‌ی گیاه تعیین می‌شود (کمپل و کمپل، ۱۹۸۲). در روش دوم با اندازه‌گیری پتانسیل آب خاک و پتانسیل آستانه‌ای برای گیاهان مختلف، زمان مناسب آبیاری تعیین می‌شود (کمپل و کمپل، ۱۹۸۲؛تیلور و اشکرافت، ۱۹۷۲). مقدار پتانسیل آستانه‌ای برای گیاهان مختلف و مراحل رشد آنها توسط تیلور و اشکرافت (۱۹۷۲) ارائه شده است. از روشهای دیگر برای تعیین برنامه‌ی آبیاری، ارزیابی وضعیت گیاه می‌باشد (جونز، ۲۰۰۴). استفاده از وضعیت آبی گیاه از جمله پتانسیل آب برگ (هسیائو، ۱۹۹۰؛استگمن،۱۹۸۳؛استگمن و همکاران، ۱۹۷۶) و اختلاف دمای سایبان گیاه[3] و هوا (هیرمن و همکاران، ۱۹۹۰؛جکسون، ۱۹۸۲) اهمیت و کاربرد بیشتری دارند.زمانی که پتانسیل آب برگ از یک حد آستانه‌ای که برای محصولات مختلف تعیین و ارائه شده است کمتر شود، نشانه‌ی قرار گرفتن گیاه در تنش رطوبتی معینی بوده و زمان آبیاری خواهد بود.

در روشهای مبتنی بر اندازه‌گیری دمای سایه‌بان گیاهی از مفاهیم مختلفی استفاده شده است که از آن جمله می‌توان اختلاف انباشته‌ی بین درجه حرارت سایه‌بان گیاه و هوا(SDD) (جکسون، ۱۹۸۲؛ استگمن،۱۹۸۳)، اختلاف درجه حرارت انباشته بین سایه‌بان گیاه در حال تنش و سایه‌بان گیاه خوب آبیاری شده (TSD[4]) (جکسون، ۱۹۸۲)، تغییرات دمای سایه‌بان گیاه (CTV[5]) (جکسون، ۱۹۸۲) و بالاخره شاخص تنش آبی گیاه (CWSI[6]) (هیرمن و همکاران، ۱۹۹۰؛ جکسون، ۱۹۸۲) را نام برد.از روشهای دیگر که بطور وسیع برای تعیین برنامه‌ی آبیاری بکار می‌روند استفاده از شرایط آب و هوائی و میزان تبخیر-تعرق است. در این روش میزان تبخیر-تعرق با مدل مناسبی برآورد شده و از روی آن مقدار آب مورد نیاز محصول و زمان آبیاری تعیین می‌گردد (دورنباس و کاسام، ۱۹۷۹؛ استگمن، ۱۹۸۳؛تیلور و اشکرافت، ۱۹۷۲).

در مطالعه انجام شده در مشهد هفت تیمار آبیاری شامل سه تیمار ۱۰۰، ۸۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه و چهار تیمار قطع آبیاری در مراحل به‌ترتیب ساقه‌دهی، گل‌دهی، دانه‌بندی و رسیدن دانه روی گندم زمستانه مورد

[3] Canopy
[4] Temperature Stress Day
[5] Canopy Temperature Variability
[6] Crop Water Stress Index

ارزیابی قرار گرفت و مقدار شاخص تنش آبی گیاه برای هر یک از تیمارها محاسبه گردید، در این پژوهش رابطه عملکرد و تبخیر-تعرق واقعی گندم با شاخص CWSI معنی‌دار بدست آمد (نخجوانی مقدم، ۲۰۰۸). در گلپایگان برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تبخیر از تشت کلاس A صورت گرفت و چهار تیمار دور آبیاری بعد از به‌ترتیب ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلیمتر تبخیر با هم مقایسه گردید، نتایج نشان داد که اثر تیمارها بر عملکرد، میزان پروتئین دانه و کارائی مصرف آب معنی دار است و در کل آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر تبخیر مناسب‌ترین تیمار و برنامه‌ریزی آبیاری برای گندم در منطقه معرفی گردید (منتجبی، ۲۰۰۹).

در پژوهشی در هندوستان چهار روش برنامه‌ریزی آبیاری گندم یعنی نسبت عمق آبیاری به تبخیر انباشته از تشت، مکش آب خاک، رطوبت قابل استفاده‌ی خاک و مراحل رشد هرکدام در دو سطح مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت نتایج نشان داد که اختلاف عملکرد دانه هم در سطوح بالای هر چهار روش و هم در سطوح پائین آنها یکسان بوده و اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی اختلاف عملکرد در هر روش بین دو سطح آن معنی‌دار است (پراساد و همکاران، ۱۹۸۹).

در پژوهشی در آریزونای آمریکا برنامه‌ریزی آبیاری گندم با دو روش مدیریت زارع و روش رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت نتایج حاکی از برتری روش برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از رطوبت خاک بود به‌طوری‌که در روش زارع (سه آبیاری) در کل ۴۹/۵ سانتیمترآب مصرف شده بود و ۴/۱ تن در هکتار عملکرد بدست آمده بود درحالی‌که در روش استفاده از رطوبت خاک برای برنامه‌ریزی آبیاری با مصرف ۳۶/۳ سانتیمتر آب، ۵/۱ تن در هکتار عملکرد تولید شده بود (بیگز و کلارک، ۱۹۸۶).

در آزمایشی دیگر در همین منطقه سه تخلیه رطوبتی ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد خاک برای برنامه‌ریزی آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت نتایج نشان داد که اختلاف عملکرد تیمار ۴۰ درصد با تیمار ۶۰ درصد معنی‌دار است (کلارک و کارپنتر، ۱۹۹۱). در پژوهشی روش پتانسیل آب خاک (تانسیومتر) در مقابل روش تشت تبخیر برای برنامه‌ریزی آبیاری مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص شد که روش تانسیومتر نسبت به روش تشت تبخیر برتری دارد (اسلابرت، ۱۹۸۷). در هندوستان برای تعیین شاخص تنش آبی گیاه گندم از حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی برای برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار گرفت و در این راستا تخلیه‌های ۱۰، ۴۰ و ۶۰ درصد به همراه آبیاری کامل (نگهداشتن رطوبت خاک در گنجایش مزرعه‌ای) و بدون آبیاری تیمارهای آزمایش را تشکیل می‌دادند (گونتیا و تیواری، ۲۰۰۸). در پژوهش دیگری در هندوستان اثر فواصل آبیاری بر مقدار آب مصرفی گندم و عملکرد محصول مورد ارزیابی قرار گرفت و بیشترین عملکرد از آبیاری با فواصل پنج هفته بدست آمد.

در این مطالعه اختلاف تیمار آبیاری برابر با تبخیر و آبیاری بمیزان نصف تبخیر از نظر عملکرد و اجزاء عملکرد معنی‌دار نبود (خان و همکاران، ۲۰۰۷). در ازبکستان برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تخلیه رطوبتی در گندم و پنبه مورد مطالعه قرار گرفت نتایج نشان داد که آبیاری در ۷۵، ۷۵ و ۶۰ درصد رطوبت گنجایش مزرعه‌ای بترتیب در سه مرحله‌ی رشد اصلی بیشترین بهره‌وری گندم را داشته است (ایبراقیموف و همکاران، ۲۰۰۳).

در پژوهشی در داکوتای شمالی روشهای مختلف برنامه‌ریزی آبیاری شامل روش تبخیر-تعرق (آبیاری به میزان نصف تبخیر-تعرق)، شاخص تنش آبی گیاه (۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶)، مکش خاک (۳۰ و ۵۰ کیلوپاسکال) و مدل رشد CERES با تیمار شاهد (تخلیه ۴۰ درصد آب قابل استفاده) مورد مقایسه قرار گرفت.براساس مقدار عملکرد بدست آمده به ازای تبخیر-تعرق واحد، روش مکش خاک در ۵۰ کیلوپاسکال بهترین روش بود بطوریکه ضمن تولید ۱۲/۲ تن در هکتار، مقدار آب مصرفی ۴۰ درصد کمتر از شاهد بود. در این بررسی تمامی تیمارها بجز شاخص تنش آبی گیاه ۰/۶ نسبت به

شاهد آب کمتری را مصرف کرده بودند درحالیکه عملکرد محصول کاهش نیافته بود (استیل و همکاران، ۱۹۹٤).درشمال چین از تشت تبخیر برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده شد و نتایج حاکی از رضایت بخش بودن این روش داشت بطوریکه نتایج تشت تبخیر بسیار نزدیک به تبخیر-تعرق واقعی محصول بود (لیو و کانگ، ۲۰۰۷).در شمال غربی کلرادو پنج تیمار آبیاری بر اساس تبخیر-تعرق شامل آبیاری به میزان ۰، ۰/۳۳، ۰/٦۷، ۱ و ۱/۳۳ برابر تبخیر-تعرق بر روی گندم مورد بررسی قرار گرفت و از نظر عملکرد ترتیب تیمارها بقرار ET ۰/۳۳، ET ۱ ET ۰/٦۷ ET ۱/۳۳ ET ۰ بود (الکایسی و همکاران، ۱۹۹۷).نتایج بدست آمده در پژوهشی برای مقایسه شاخص تنش آبی و رطوبت نیمرخ خاک برای برنامه‌ریزی آبیاری کلزا در آلمان نشان داد که در روش شاخص تنش آبی هر چند که تعداد آبیاری بیشتر از روش رطوبت خاک بود ولی در کل مقدارآب مصرفی در آبیاری کمتر بود و به همین دلیل کارآیی مصرف آب بیشتر بود (کرمونا و همکاران، ۲۰۰٤).

با در نظر گرفتن این مسئله که بیشتر زارعین گندمکار، آبیاریهای خود را بر اساس مراحل رشد انجام می‌دهند، هدف این پژوهش مقایسه‌ی پنج روش مذکور با روش مرسوم منطقه (آبیاری بر اساس مراحل رشد نبات) و ارزیابی آنها با یکدیگر بر مبناء اجزاء عملکرد، مصرف آب و کارآیی مصرف آب بوده است.

مواد و روشها

این تحقیق در منطقه‌ی سعیدآباد (مرکز آموزش کشاورزی استان آذربایجانشرقی) واقع در ۲۰ کیلومتری شرق تبریز با طول جغرافیائی ´۳۵ °٤٦ شرقی و عرض جغرافیائی ´۵۹ °۳۷ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۸۰۰ متر، در خاکی با بافت لوم در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با ده تیمار در چهار تکرار و بمدت سه سال از پائیز سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ انجام شد.تیمارهای آبیاری شامل پنج روش آبیاری هر کدام در دو سطح (ده تیمار) بود که بصورت خلاصه در جدول (۱) آمده است.تیمارهای آبیاری از اوایل هر سال و با شروع فصل رشد اعمال گردیدند. عمق آب آبیاری برای تمام تیمارها ثابت و برابر نصف آب قـابل استفاده در منطقه‌ی ریشه بود (دورنباس و کاسام، ۱۹۷۹؛ موزیک و پورتر، ۱۹۹۰؛استگمن،۱۹۸۳).

در پائیز هر سال قبل از کاشت برای تعیین خصوصیات فیزیک و شیمیائی خاک محل آزمایش، نیمرخی در نزدیکی مزرعه‌ی انتخابی حفر و از لایه‌های آن، نمونه‌هائی برای تعیین خصوصیات فیزیک و شیمیائی تهیه شد. همچنین از کلیه‌ی لایه‌های نیمرخ، نمونه‌های بهم نخورده برای تعیین رطوبت گنجایش مزرعه‌ای و نقطه‌ی پژمردگی دائم و چگالی ظاهری بوسیله‌ی استوانه‌های نمونه‌برداری تهیه و رطوبت آنها در مکشهای ۳۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال بوسیله‌ی دستگاه صفحه‌ی فشاری[7] تعیین شد.میانگین مشخصات شیمیائی و فیزیکی خاک و آب آبیاری در سه سال آزمایش بترتیب در جداول (۲، ۳ و ٤)آمده است.

بعد از آماده نمودن قطعه زمین مورد نظر و شخم و دیسک و تسطیح آن، کرت بندی به تعداد ٤۰ کرت به ابعاد ۲۰ (۵×٤) مترمربع صورت گرفت. پس از تسطیح کرتها تمامی کود فسفره و پتاسه به‌طور یکنواخت طبق معادله کودی $N_{140}\ P_{40}\ K_{130}$ از منابع سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم در سطح کرتها پخش و با خاک سطحی مخلوط شد سپس شیارهائی به فواصل ۲۵ سانتیمتری ایجاد و بذر گندم رقم الوند با تراکم ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بصورت خطی در داخل شیارها کاشته شد. بعد از کاشت، یک سوم از کود ازته از منبع سولفات آمونیم بطور یکنواخت به تمام کرتها داده شد و تمام کرتها بطور یکنواخت آبیاری شدند.

[7] Pressure Plate

جدول ۱- تیمارهای آبیاری

روش آبیاری	زمان آبیاری	تیمار	عمق آب آبیاری ID
آبیاری براساس نسبت عمق آب آبیاری (ID) به تبخیر انباشته از تشت طبقه A (CPE)	ID/ CPE =۰/۸	I_1	نصف آب قابل استفاده تا عمق موثر ریشه(۵۰ ٪ AW)
	ID/ CPE =۱	I_2	
آبیاری براساس پتانسیل آب خاک (SWP) در عمق ۰/۲۵ متر	SWP =-۴۰kPa	I_3	AW ٪ ۵۰
	SWP =-۶۰kPa	I_4	
آبیاری براساس رطوبت نیمرخ خاک (SWC) تا عمق موثر ریشه	SWC =٪ ۴۰AW	I_5	AW ٪ ۶۰
	SWC =٪ ۶۰ AW	I_6	AW ٪ ۴۰
آبیاری براساس درجه‌ی حرارت سایه‌بان گیاهی	SDD =۸	I_7	AW ٪ ۵۰
	SDD =۱۲	I_8	
آبیاری براساس مراحل مختلف رشد نبات	آغاز ریشه دوانی + مرحله‌ی گلدهی	I_9	AW ٪ ۵۰
	آغاز ریشه‌دوانی + مرحله‌ی پایانی پنجه‌زنی + مرحله‌ی آبستنی + مرحله‌ی شیری	I_{10}	

SWP: Soil Water Potential, SWC: Soil Water Content, ID: Irrigation Depth, CPE: Cumulative Pan Evaporation

جدول ۲ - مشخصات شیمیائی خاک محل انجام پژوهش

عمق (cm)	هدایت الکتریکی (dS/m)	واکنش گل اشباع	مواد خنثی شونده (٪)	کربن آلی (٪)	ازت کل (٪)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم در کیلوگرم)	مس (میلی‌گرم در کیلوگرم)	منگنز (میلی‌گرم در کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۰-۲۵	۲/۶۳	۷/۷	۱۰/۶	۱/۴۱	۰/۱۰	۲۰/۱	۵۲۸	۰/۶۲	۰/۷۴	۸/۲	۰/۴۸
۲۵-۴۵	۳/۰۱	۷/۹	۱۳/۸	۰/۸۹	۰/۰۴	۶/۱	۲۷۴	۰/۶۴	۱/۰۸	۴/۶	۰/۴۰
۴۵-۷۵	۶/۸۴	۸/۰	۱۹/۴	۰/۵۰	۰/۰۴	۲/۱	۲۰۰	۰/۴۲	۰/۸۲	۱/۲	۰/۰۶
۷۵-۱۰۰	۵/۲۹	۸/۱	۱۲/۳	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۹	۲۱۸	۰/۴۸	۰/۸۴	۰/۵	۰/۰۴
۱۰۰-۱۵۰	۷/۸۸	۷/۹	۶/۷	۰/۱۴	۰/۰۱	۱/۳	۲۴۴	۰/۷۴	۰/۴۸	۰/۵	۰/۰۲

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی خاک محل انجام پژوهش

عمق cm	درصد اشباع	تجزیه‌ی مکانیکی: درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	طبقه بافتی	چگالی ظاهری (g/cm^3)	رطوبت (درصد وزنی): FC	PWP
۰-۲۵	۴۱	۴۲	۳۹	۱۹	لوم	۱/۱۵	۲۵/۷	۱۳/۴
۲۵-۴۵	۴۰	۴۱	۳۵	۲۴	لوم	۱/۳۱	۲۴/۷	۱۶/۷
۴۵-۷۵	۳۹	۵۰	۲۸	۲۲	لوم	۱/۲۹	۲۶/۴	۱۵/۵
۷۵-۱۰۰	۳۴	۶۰	۲۷	۱۳	لوم شنی	۱/۲۵	۲۵/۸	۱۳/۰
۱۰۰-۱۵۰	۳۲	۵۲	۳۲	۱۶	لوم	۱/۳۲	۱۹/۴	۱۰/۸

جدول ۴- مشخصات شیمیائی آب مورد استفاده در آبیاری

هدایت الکتریکی dS/m	pH	کربنات CO_3^{2-} (میلی‌اکی والان در لیتر)	بیکربنات HCO_3^-	کلر Cl^-	سولفات SO_4^{2-}	مجموع آنیونها	کلسیم + منیزیم $Mg^{2+} + Ca^{2+}$	سدیم Na^+	مجموع کاتیونها	S.S.P.	S.A.R.
۱/۱۴	۷/۷	۰/۰	۳/۵	۸/۰	۰/۳	۱۱/۸	۶/۰	۴/۹	۱۰/۹	۴۱	۲/۱

برای تعیین عمق آب آبیاری در هر مرحله‌ی آبیاری ابتدا عمق ریشه‌دوانی محصول با حفر نیمرخ ریشه‌ی یکی از بوته‌های حاشیه‌ی کرت، بوسیله‌ی خط‌کش اندازه‌گیری و از طریق رابطه‌ی زیر آب قابل استفاده در آن عمق تعیین گردید:

$$AW = \frac{(\overline{FC} - \overline{PWP})\overline{Db} \cdot D}{100} \quad (۱)$$

در این رابطه D عمق مؤثر ریشه‌دوانی بر حسب سانتیمتر و $\overline{FC}$ ، $\overline{PWP}$ و $\overline{Db}$ بترتیب میانگین‌های وزنی رطوبت گنجایش مزرعه‌ای و نقطه‌ی پژمردگی دائم برحسب درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب تا عمق D می‌باشد.

بعد از تعیین AW و با این تصور که آبیاری باید زمانی که نصف آب قابل استفاده تخلیه شده است صورت گیرد (۵، ۱۶ و ۲۴)، از رابطه‌ی زیر عمق آب آبیاری تعیین شد:

$$ID = \frac{AW}{2} \quad (۲)$$

پس از تعیین ID بطور مرتب و با افزایش عمق ریشه‌دوانی و اندازه‌گیری تبخیر انباشته از تشت طبقه A (CPE)، زمانیکه نسبت ID/CPE به ۰/۸ و ۱ می‌رسید به‌ترتیب تیمارهای I_1 و I_2 آبیاری می‌شدند.بعنوان مثال زمانیکه آب قابل استفاده در ناحیهٔ ریشه (D = ۲۰) ۶۰ میلی‌متر باشد (AW = ۶۰)، طبق رابطهٔ ۲ عمق آبیاری ۳۰ میلی‌متر بوده (ID = ۳۰) و بر اساس روابط زیر در تیمارهای I_1 و I_2 بترتیب از هر ۳۷/۵ و ۳۰ میلی‌متر تبخیر، آبیاری صورت می‌گرفت:

$$I_1: \frac{ID}{CPE} = 0.8 \Rightarrow CPE = \frac{ID}{0.8} = \frac{30}{0.8} = 37.5^{mm}$$

$$I_2: \frac{ID}{CPE} = 1 \Rightarrow CPE = ID = 30^{mm}$$

در تیمارهای I_3 و I_4 ، در هر کرت آزمایشی یک عدد تانسیومتر در عمق ۲۵ سانتیمتری خاک قرار داده شده بود و زمانی‌که متوسط مکش خاک در چهار تکرار در تیمارهای I_3 و I_4 بترتیب به ۴۰ و ۶۰ کیلوپاسکال می‌رسید آبیاری صورت می‌گرفت.

در تیمارهای I_5 و I_6 از منطقه‌ی ریشه نمونه‌برداری شده و زمانی که متوسط رطوبت ناحیه‌ی ریشه در چهار تکرار بترتیب به ۴۰ و ۶۰ درصد آب قابل استفاده می‌رسید مبادرت به انجام آبیاری می‌شد. در این تیمارها بدلیل تعیین رطوبت ناحیه‌ی ریشه، مقدار تخلیه‌ی حقیقی تعیین و عمق آبیاری‌ها طوری انجام گرفت که رطوبت ناحیه‌ی ریشه به گنجایش مزرعه‌ای برسد.

در تیمارهای I_7 و I_8 ، دمای سایه‌بان گیاهی[8] بوسیله‌ی دستگاه دماسنج مادون قرمز دستی Raytek مدل Raynger ST™در حداکثر دمای هوا (ساعت یک تا سه بعد از ظهر) اندازه‌گیری شد و زمانی که میزان درجه–روز تنش (SDD) بترتیب به ۸ و ۱۲ رسید آبیاری تیمارها به عمق ۵۰ درصد آب قابل استفاده در ناحیه‌ی ریشه، انجام گرفت:

$$SDD = \sum (T_c - T_a) \quad (۳)$$

در رابطه‌ی اخیر T_c و T_a بترتیب دمای سایه‌بان و دمای هوا در زمان حداکثر دمای هوا بر حسب سلسیوس می‌باشد. دمای هوا نیز بوسیله‌ی دماسنج جیوه‌ای که در یک جعبه اسکرین در نزدیکی مزرعه قرار داده شده بود اندازه‌گیری می‌شد.

در تیمارهای I_9 و I_{10} آبیاری‌ها بر اساس مراحل فنولوژیکی رشد نبات صورت گرفت. درتیمار I_7 درمجموع دو آبیاری در طول فصل رشد در مراحل آغاز ریشه‌دوانی و مرحله‌ی گلدهی انجام گرفت و در تیمار I_8 چهار آبیاری در مراحل آغاز ریشه‌دوانی، مرحله‌ی پایانی پنجه‌زنی، مرحله‌ی آبستنی و مرحله‌ی شیری صورت گرفت. آبیاری مرحله‌ی آغاز ریشه‌دوانی در این دو تیمار با بقیه‌ی تیمارها بصورت یکنواخت بعد از کاشت انجام شد ولی در بقیه‌ی مراحل، عمق آبیاری به میزان ۵۰ درصد

[8] Canopy Temperature

آب قابل استفاده رعایت شد.

آبیاری به روش ثقلی انجام شد به‌طوری‌که بعد از مشخص شدن زمان و عمق آبیاری، حجم آب آبیاری توسط WSC فلوم اندازه‌گیری و به کرت‌های آزمایشی داده شد.

در طول فصل رشد به‌موازات اعمال تیمارهای آبیاری، عملیات دیگر مانند کودپاشی سرک در دو مرحله‌ی ساقه رفتن و تشکیل سنبله (یک سوم از کود ازته در هر مرحله) و وجین علفهای هرز نیز صورت گرفت.

بعد از رسیدن محصول و خشک شدن کامل بوته‌ها، محصول کرتها با حذف حاشیه در سطح ۱۰ متر مربع برداشت و توزین شد (عملکرد بیولوژیک) سپس محصول هر کرت بوسیله‌ی خوشه‌کوب بطور مجزا بوجاری شده و وزن دانه‌ها تعیین گردید (عملکرد دانه)، از محصول هر کرت نمونه‌هائی برای تعیین درصد پروتئین به آزمایشگاه منتقل شد. ضمناً وزن هزاردانه نیز با شمردن سه نمونه صدتایی برای تمام نمونه‌ها تعیین شد.

بعداز اندازه‌گیریهای اجزاء عملکرد و محاسبه‌ی کارآیی مصرف آب، نتایج بدست آمده بوسیله‌ی بسته‌ی نرم افزاری MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و تجزیه‌ی آماری سالیانه و مرکب سه سال بر روی داده‌ها انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد

عملکرد بیولوژیک و دانه بین تیمارهای آبیاری در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار داشته و در بین آنها تیمار I_2 (ID/CPE=۱)با ۱۷/۰ تن در هکتار عملکرد بیولوژیک و ٦/۲۲ تن در هکتار عملکرد دانه و تیمار I_9 (۲ آبیاری بر اساس مراحل رشد) با ۵/۷٤ تن در هکتار عملکرد بیولوژیک و ۱/۷۳ تن در هکتار عملکرد دانه بترتیب بیشترین و کمترین عملکرد را داشتند نقطه قابل توجه این‌که تیمار I_2 با تیمارهای I_1 و I_3 تفاوت معنی‌داری نداشته و هر سه در یک گروه آماری قرار گرفتند جدول (۵). مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج پراساد و همکاران (۱۹۸۹) نشان داد که اختلاف چشمگیر دارد. پراساد و همکاران (۱۹۸۹) چهار روش آبیاری یعنی نسبت عمق آبیاری به تبخیر انباشته از تشت، مکش آب خاک، رطوبت قابل استفاده‌ی خاک و مراحل رشد هرکدام در دو سطح را با هم مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که اختلاف عملکرد دانه هم در سطوح بالای هر چهار روش و هم در سطوح پائین آنها یکسان بوده و اختلاف معنی‌دار وجود ندارد ولی اختلاف عملکرد در هر روش بین دو سطح آن معنی‌دار است.

در حالی‌که نتایج پژوهش ما نشان داد که در بعضی از سطوح بالا و پائین تیمارها اختلاف بین روشهای آبیاری معنی‌دار بوده و اختلاف در بین دو سطح یک روش معنی‌دار نیست و بر عکس در بعضی از آنها اختلاف بین دو سطح در یک روش آبیاری معنی‌دار بوده ولی بین دو روش آبیاری اختلاف معنی‌دار وجود ندارد جدول (۵).

معنی‌داری اختلاف عملکرد روش آبیاری رطوبت خاک با مراحل رشد با یافته‌های بیگز و کلارک (۱۹۸٦) مطابقت دارد. کلارک و کارپنتر (۱۹۹۱) بین رطوبت قابل استفاده ٤۰ و ٦۰ درصد اختلاف معنی‌دار بدست آوردند درحالی‌که در پژوهش ما اختلاف عملکرد بین رطوبت ٤۰ و ٦۰ درصد معنی‌دار نبود که علت امر عدم اختلاف زیاد عمق آبیاری بین دو سطح می‌باشد که تنها ۱۰٪ است یعنی توزیع ذرات خاک در محدودهٔ توسعهٔ ریشه به‌ترتیبی بوده است که اختلاف مکش بین رطوبت ٤۰ و ٦۰ درصد آب قابل استفاده، قابل توجه نباشد.

یعنی گیاه اختلاف محسوسی در جذب آب در دو حالت ٤۰٪ و ٦۰٪ آب قابل استفاده نداشته و این امر در حجم آب مصرفی و به تبع آن در عملکرد نیز قابل مشاهده است.عدم اختلاف معنی‌دار تیمار I_3 با تیمارهای I_1 و I_2 از نظر عملکرد و مصرف آب کمتر در این تیمار نشان می‌دهد که کارآئی روش تانسیومتر نسبت به روش تشت تبخیر بیش‌تر است این نتایج با نتایج بدست آمده

توسط اسلابرت (۱۹۸۷) و استیل و همکاران (۱۹۹٤) کاملا منطبق است.

عدم اختلاف معنی‌دار عملکرد بین روش رطوبت خاک در ٤۰درصد و روش SDD برابر۱۲ و مصرف آب کمتر در روش SDDتوسط کرمونا و همکاران (۲۰۰٤) در مورد کلزا به اثبات رسده است.

اختلاف دو سطح روش آبیاری ID/CPE، از نظر عملکرد بیولوژیک و دانه معنی‌دار نبود که با یافته‌های عنابی میلانی (۲۰۰۱)، رضوی (۱۹۹۵)، سید حریری (۱۹۹۲)، عقدائی (۱۹۹۳)، خان و همکاران (۲۰۰۷)، اهلیق و لمرت (۱۹۷٦)، پریهار و همکاران (۱۹۷٦) و اشنایدر و همکاران (۱۹٦۹) مطابقت دارد زیرا در اکثر مطالعات ثابت شده است که تبخیر–تعرق محصول گندم بین ۰/۷ تا ۰/۸ تبخیر از تشت طبقه A می‌باشد و آبیاری بیشتر از آن باعث نفوذ عمقی خواهد بود.

نتایج نشان داد که بغیر از روشهای ID/CPE و رطوبت خاک، در بقیه‌ی روشهای آبیاری، اختلاف بین دو سطح در هر روش از نظر عملکرد بیولوژیک و دانه معنی‌دار بوده است که نشانگر این مطلب است که در سطوح کم نسبت به سطوح بالای هر روش، محصول در تنش آبی بیشتری قرار گرفته است. اختلاف تیمارهای I_4 تا I_{10} با تیمارهای I_1 ، I_2 و I_3 (بویژهI_2) نشان می‌دهد که در تمامی این تیمارها گیاه دچار تنش رطوبتی بوده و مقدار آب داده شده، نیاز آبی آنرا مرتفع نکرده است.

مقدار آب مصرف شده

با توجه به اختلاف در روش‌های برنامه‌ریزی آبیاری، نتایج نشان داد که حجم آب مصرف شده بصورت آبیاری در بین تیمارها اختلاف زیادی دارد جدول(۵).بیشترین عمق آبیاری مربوط به تیمار I_2 (ID/CPE=۱) معادل ٦۹۸۹ مترمکعب در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار I_9 (دو آبیاری بر اساس مرحله رشد) با ۲۹٤ متر مکعب در هکتار بود. باتوجه‌به نیاز آبیاری گندم در دشت تبریز که در حدود ٤۰۰۰ متر مکعب در هکتار می‌باشد (عنابی میلانی، ۲۰۰۰؛فرشی و همکاران، ۱۹۹۸)، مشخص است که در تیمارهای I_1 و I_2 آبیاری بیش از حد و در تیمارهای I_4 تا I_{10}آبیاری کمتر از نیاز محصول صورت گرفته است.

تنها در روش آبیاری استفاده از پتانسیل آب خاک بوسیله‌ی تانسیومتر در ٤۰–کیلوپاسکال(I_3) نیاز آبیاری محصول با عمق آبیاری تقریبا یکسان بوده است و اختلاف معنی‌دار عملکرد در این تیمار با تیمارهای I_4 تا I_{10} و عدم اختلاف معنی‌دار با تیمارهای I_1 و I_2 نیز نشانگر همین مطلب است که نیاز آبیاری واقعی گندم در منطقه تقریباً در محدوده‌ی ٤۰۰۰ مترمکعب در هکتار می‌باشد چرا که افزایش عمق آبیاری (آنچه‌که در تیمارهای I_1 و I_2 اتفاق افتاده) نتوانسته عملکرد را بطور معنی‌داری افزایش دهد در حالیکه کاهش مقدار آب آبیاری عملکرد را تحت‌الشعاع قرار داده و بطور معنی‌داری کاهش داد(آنچه‌که در تیمارهای I_4 تا I_{10} رخ داده است).

میانگین بارش در طول فصل رشد گندم، ۱۹٤ میلیمتر اندازه‌گیری شد که با احتساب مقدار عمق آبیاری، کل آب مصرفی (ET) در تیمارهای I_1 تا I_{10} برابر ٦۹٦۹، ۸۳۵۲، ٥٦۳٤، ۳۹۲۹، ۳٥۲۳، ۳۷۳٦، ۲٦۱۹، ۲٤٤٤، ۱٦٥۷ و ۱۹۸۰مترمکعب در هکتار بود. متوسط میزان تبخیر نیز از کاشت تا برداشت برابر ۷۸۳/۳ میلیمتر شد و میزان تبخیر–تعرق به تبخیر از تشت طبقه A از تیمار I_1 تا I_{10} بترتیب ۰/۸۹، ۱/۰۷، ۰/۷۲، ۰/٥۰، ۰/٤٥، ۰/٤۸، ۰/۳۳، ۰/۳۱، ۰/۲۱ و ۰/۲٥ بدست آمد جدول (۵).

کارآیی مصرف آب

نتایج نشان داد که کارآیی مصرف آب همبراساس عملکرد بیولوژیک و هم دانه در بین تیمارهای آزمایشی در سطح یک درصد معنی‌دار بود جدول (۵). در بین تیمارهای آبیاری تیمار I_9 با ۲٤/۳ و ۷/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب بترتیب براساس عملکرد بیولوژیک و دانه، بیش‌ترین و تیمار I_2 با ۲/٥۲ و ۰/۹۳ کیلوگرم بر مترمکعب بترتیب براساس عملکرد بیولوژیک و دانه،

کم‌ترین کارآیی مصرف آب را داشته‌اند جدول (۵). پراساد و همکاران (۱۹۸۹) نیز در آزمایش خود بیشترین کارآیی مصرف آب را با دو آبیاری در مراحل ظهور ریشه‌چه‌ی اولیه و مرحله‌ی گلدهی بدست آوردند و نتیجه گرفتند که این دو مرحله، مراحل بسیار بحرانی برای آبیاری بوده و آبیاری در این دو مرحله کارآیی را بسیار افزایش می‌دهد.در تیمارهای I_1 و I_2 ، حجم آبیاری بیشتر از نیاز آبیاری محصول بود و احتمالاً نفوذ عمقی بوقوع پیوسته و این امر در کارآیی مصرف آب خود را نشان داد به‌طوری‌که کارآیی مصرف آب در این دو تیمار کمتر از تیمارهای دیگر بود.

کارآیی مصرف آب بر پایه‌ی عملکرد دانه گندم در نقاط مختلف دنیا از ۰/٤٤ کیلوگرم بر مترمکعب (جنسن و اسلتن، ۱۹٦۵) تا ۱/۹ کیلوگرم بر متر مکعب (رائو و بهاروج، ۱۹۸۱) گزارش شده است. مقادیر کارآیی مصرف آب، زمانی که آبیاری در مراحل حساس به تنش محصول صورت می‌گیرد، بسیار زیاد است (اهلیق و لمرت، ۱۹۷٦؛ پراساد و همکاران، ۱۹۸۹؛ رائو و بهاروج، ۱۹۸۱؛اشنایدر و همکاران، ۱۹٦۹).

مقدار کارآیی مصرف آب بین دو سطح در هر روش آبیاری در هیچ یک از روشها معنی‌دار نگردید و این حاکی از این مطلب است که افزایش مقدار مصرف آب از سطح پائین به سطح بالا در هر روش همان‌قدر نیز عملکرد را افزایش داده است، که با نتایج پراساد و همکاران (۱۹۸۹) مطابقت ندارد چرا که آنها به این نتیجه رسیدند که در هر روش آبیاری کارآیی مصرف آب در پریدهای کم‌آبیاری همواره بیشتر از پریدهای بالاتر می‌باشد. بالا بودن کارآیی مصرف آب در روش مبتنی بر گیاه (شاخص تنش آبی) نسبت به روش رطوبت خاک توسط کرمونا و همکاران (۲۰۰٤) در گیاه کلزا به اثبات رسیده است که با نتایج ما مطابقت دارد.

وزن هزاردانه

نتایج نشان داد که تاثیر تیمارهای برنامه‌ریزی آبیاری بر وزن هزاردانه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است جدول (۵) و تیمار I_2 با ٤۲/٤ گرم بیشترین و تیمار I_{10} با ۳٤/۹ گرم کمترین وزن هزاردانه را داشته‌اند. پراساد و همکاران (۱۹۸۹) نیز به این نتیجه رسیدند که اختلاف وزن هزاردانه بین دو سطح روشهای پتانسیل آب خاک و رطوبت خاک معنی‌دار نبوده ولی در روشهای ID/CPE و مراحل فیزیولوژیکی این اختلاف معنی‌دار است ودر این دو روش اخیر وزن هزاردانه در سطوح بالای هر روش بیشتر از سطوح پائین آن است.عدم اختلاف معنی‌دار وزن هزاردانه بین تیمار I_1 و I_2 با نتایج آزمایش عنابی میلانی (۲۰۰۱) مطابقت دارد، وی که در آزمایش خود چهار سطح ID/CPE یعنی ۰/٤، ۰/٦، ۰/۸ و ۱ را با هم مقایسه نموده بود، اختلاف معنی‌داری از نظر وزن هزاردانه بدست نیاورد.

شاخص برداشت

نتایج نشان داد که به‌غیر از تیمارهای I_9 و I_{10} بقیه‌ی تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند و اختلاف معنی‌داری ندارند جدول (۵). این بدان معنی است که در تیمارهای غیر از I_9 و I_{10} تأثیر اختلاف حجم آب مصرفی بر روی عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه یکسان بوده است.

یعنی مصرف آب زیاد مثلاً در تیمارهای I_1 و I_2 همانقدر که عملکرد دانه را افزایش داده به همان اندازه عملکرد کاه و کلش را نیز بالا برده و در نتیجه شاخص برداشت مانند تیمارهائی که کمتر آبیاری شده‌اند مثل I_7 و I_8 ثابت باقی مانده است. اما در تیمار I_9 و I_{10} کاهش آب مصرفی هر چند که کل عملکرد را کاهش داده است اما عملکرد دانه را نسبت به عملکرد بیولوژیک بیشتر کاهش داده و در نتیجه شاخص برداشت نیز تحت تأثیر قرار گرفته و نسبت به تیمارهای دیگر پائین‌تر بوده است.متوسط شاخص برداشت در این آزمایش (۰/۳۵) در کل کمتر از شاخص برداشت بهینه می‌باشد بررسی منابع مختلف نشان می‌دهد که ارقامی که عملکرد بالائی دارند شاخص

برداشتی بین ۰/۳۸ تا ۰/۵ دارند. بیشترین شاخص برداشت گزارش شده ۰/٦ می‌باشد (هنکس و سورنسن، ۱۹۸٤) در مقابل کمترین شاخص برداشت که در حدود ۰/۲ می‌باشد از مانهاتان آمریکا (اسرار و کانماسو، ۱۹۸۵) و جنوب ایران (پوستچی و همکاران، ۱۹۷۲) گزارش شده است.

پروتئین

نتایج نشان داد اثر تیمارهای آبیاری از نظر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود و در این میان تیمار I_{10} با ۱٦/۲ درصد و تیمار I_1 با ۱٤/۱ درصد بترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان پروتئین دانه را داشتند جدول (۵).

مقایسه مقدار آب مصرفی بین تیمارها و درصد پروتئین دانه نشان داد که میزان پروتئین دانه با حجم آب مصرفی نسبت معکوس داشته و در تیمارهائی که مصرف آب بالاتری داشتند میزان پروتئین کمتر بوده است (ضریب همبستگی ۰/۹۲) که با یافته‌های موزیک و پورتر (۱۹۹۰) مطابقت دارد چرا که مشخص شده است که عملکرد پائین که از کمبود آب در مرحله‌ی پرشدن دانه ناشی می‌شود باعث افزایش میزان پروتئین دانه می‌گردد. همچنین ثابت شده است که اگر کاهش عملکرد در اثر تنش شدید آبی باشد، بکار بردن ازت عملکرد را افزایش نمی‌دهد بلکه میزان پروتئین دانه را افزایش می‌دهد در حالیکه در شرایط بدون تنش آب، کاربرد نیتروژن عملکرد را افزایش می‌دهد بدون آنکه تأثیر قابل توجهی روی پروتئین داشته باشد (اک، ۱۹۸٦).

جدول ۵ - نتایج ادغام شده‌ی اجزاء عملکرد، مقدار آب مصرفی و کارآیی مصرف آب در تیمارهای مختلف

تیمار#	عملکرد (ton/ha)				مقدار آب آبیاری (m³/ha)@		تعداد آبیاری	عمق متوسط آبیاری(mm)	ET/Ep*	کارآیی مصرف آب (kg/m³)بر اساس عملکرد				وزن هزار دانه (g)		پروتئین دانه (%)		شاخص برداشت	
	بیولوژیک		دانه							بیولوژیک		دانه							
I_1	۱۵/۴	AB	۵/۶۰	AB	۵۶۰۶	AB	۲۸	۲۰/۰	۰/۸۹	۲/۸۵	E	۱/۰۴	F	۴۱/۷	[!]AB	۱۴/۱	D	۰/۳۷	A
I_2	۱۷/۰	A	۶/۲۲	A	۶۹۸۹	A	۳۵	۲۰/۰	۱/۰۷	۲/۵۲	E	۰/۹۳	F	۴۲/۴	A	۱۴/۳	CD	۰/۳۷	A
I_3	۱۵/۴	AB	۵/۷۴	AB	۴۲۷۱	AB	۲۱	۲۰/۳	۰/۷۲	۳/۸۰	D	۱/۴۰	E	۳۸/۴	BCD	۱۴/۷	BCD	۰/۳۸	A
I_4	۱۱/۹	CD	۴/۳۰	CD	۲۵۶۶	C	۱۳	۱۹/۷	۰/۵۰	۴/۶۹	C	۱/۷۵	DE	۴۰/۹	ABC	۱۵/۳	ABC	۰/۳۷	A
I_5	۱۲/۰	CD	۴/۲۵	CD	۲۱۶۰	C	۷	۳۰/۹	۰/۴۵	۷/۰۴	C	۲/۵۵	D	۳۸/۵	BCD	۱۵/۶	AB	۰/۳۵	AB
I_6	۱۲/۸	BC	۴/۷۶	BC	۲۳۷۳	BC	۹	۲۶/۴	۰/۴۸	۶/۲۹	C	۲/۳۲	D	۳۹/۸	ABCD	۱۶/۱	A	۰/۳۶	A
I_7	۱۱/۰	CD	۴/۱۳	CD	۱۲۵۶	C	۶	۲۰/۹	۰/۳۳	۱۴/۲۰	B	۵/۳۴	BC	۳۷/۴	DE	۱۶/۱	A	۰/۳۷	A
I_8	۷/۸	EF	۲/۸۳	EF	۱۰۸۱	D	۵	۲۱/۶	۰/۳۱	۱۴/۴۲	B	۵/۲۹	C	۳۹/۳	ABCD	۱۵/۷	AB	۰/۳۷	A
I_9	۵/۷	F	۱/۷۳	F	۲۹۴	D	۲	۱۴/۷	۰/۲۱	۲۴/۲۵	A	۷/۳۸	A	۳۵/۰	E	۱۵/۸	AB	۰/۳۰	BC
I_{10}	۱۰/۰	DE	۲/۹۱	DE	۶۱۷	D	۴	۱۵/۴	۰/۲۵	۱۷/۶۹	A	۵/۲۸	AB	۳۴/۹	E	۱۶/۲	A	۰/۲۹	C
$LSD_{0.01}$	۲/۵۶		۱/۱۶											۳/۴۰		۱/۰۸			
سال اول	۱۲/۸	A	۵/۰۲	A		A				۷/۳۶	B	۲/۴۶	B	۴۰/۳	A	۱۵/۰	B	۰/۳۸	A
سال دوم	۱۰/۲	B	۳/۶۵	B		B				۱۵/۹۶	A	۵/۶۵	A	۳۴/۸	B	۱۵/۲	AB	۰/۳۶	AB
سال سوم	۱۲/۷	A	۴/۰۶	A		B				۶/۰۰	B	۱/۸۷	B	۴۱/۴	A	۱۵/۹	A	۰/۳۲	B
$LSD_{0.01}$	۱/۸۴		۰/۹۳							۳/۰۸		۰/۸۳		۳/۹۳		۰/۷۷			
$LSD_{0.05}$																		۰/۰۴	
C.V. (%)	۱۹/۹		۲۵/۵							۲۷/۹		۲۵/۹		۷/۷		۶/۵		۱۴/۹	

- شرح تیمارها در جدول (۱) آمده است.

@- آبیاریهای یکنواخت اولیه بعد از کاشت پائیزه در مقدار آب آبیاری منظور نشده‌اند.

! -گروهبندیدانکنبعدازتبدیلداده‌هاصورتگرفتهاست.

*- میانگین بارندگی مؤثر و تبخیر، از کاشت تا برداشت در سه سال آزمایش بترتیب ۱۳۶ و ۷۸۳ میلیمتر بود و در محاسبه‌ی ETمجموع مقدار آب آبیاری و بارندگی منظور شده است

فهرست منابع

۱. رضوی، ر.۱۳۷٤. تعیین میزان حساسیت گندم به آب در مراحل مختلف رشد. انتشارات مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی، نشریهٔ شمارهٔ ۷٤/٤٥۱. تهران.

۲. سیدحریری، ع.۱۳۷۱. بررسی اثرات آب آبیاری و کود بر روی گندم. مجموع مقالات پنجمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.کرمان: ۱۰-۲.

۳. عقدائی، م. ۱۳۷۲. تعیین نیاز آب و کود ارقام گندم (عدل و آزادی). انتشارات مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی، نشریهٔ شمارهٔ ۷۱/۲٥٥. تهران.

٤. عنّابی میلانی، ا. ۱۳۸۰. بررسی اثرات متقابل آب و ازت در عملکرد محصول گندم و آبشوئی ازت. انتشارات مرکز اطلاعات و مدارکعلمیکشاورزی، نشریهٔ شماره ۸۰/٤۰۳. تهران، ایران.

٥. عنّابی میلانی، ا. ۱۳۸۳. تعیین و ارزیابی ضریب گیاهی در طول دوره‌ی رشد برای گندم در دشت تبریز. گزارش نهائی طرح تحقیقاتی.نشریه شماره ۸۳/۷۹۳ . مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی، تهران، ایران.

٦. فرشی،ع.ا.،م.ر. شریعتی، ر. جارالله‌ی، م.ر. قائمی،م. شهابی‌فر و م.م. تولائی. ۱۳۷٦. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده‌ی زراعی و باغی کشور. جلد اول. انتشارات نشر آموزش کشاورزی. کرج.٦۲۹ صفحه.

۷. منتجبی، ن. ۱۳۸۸. اثر چهار برنامه آبیاری بر عملکرد و کارآیی آب مصرفی گندم در گلپایگان. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان. قابل دسترس در:
http://www.jkmt.ir/images/sub/Maghale/hkhEsf/Dem2-08-119.pdf

۸. نخجوانی مقدم، م.م. و ب. قهرمان. ۱۳۸۷. ارزیابی دمای پوشش سبز جهت زمان بندی آبیاری و عملکرد گیاه گندم زمستانه. مجله علوم و صنایع کشاورزی ویژه آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۱ صفحات ۱۱۲-۱۰۱.

9. Al-Kaisi, M.M., A. Berrada, and M. Stack. 1997. Evaluation of irrigation scheduling program and spring wheat yield response in southwestern Colorado. Agricultural Water Management 34: 137- 148.
10. Asrar, G., and E.T. Kanemasu. 1985. Seasonal distribution of water use and photosynthetic efficiencies in winter wheat. Proc. Int. Conf. Crop Water Requirements, Paris. 11-14 Sept.
11. Biggs, N. and L. Clark. 1986. Comparison of irrigation scheduling methods on wheat. Forage and Grain Report 57-60. Available at: http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/200544/1/370067-057-060.pdf
12. Broner, I. 2001. Irrigation scheduling. Colorado State University Cooperative Extension. No. 4.708. Available online at: http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/04708.html. Accessed 12 November 2012.
13. Campbell, G.S., and M.D. Campbell. 1982. Irrigation scheduling using soil moisture measurements: Theory and practice. P. 25-42. *In* D. Hillel (ed.). Advances in irrigation. Vol. 1. Academic Press, New York.
14. Clark, L.J. and E.W. Carpenter. 1991. The use of AZSCHED to schedule irrigations on wheat. Forage and Grain Report 51-54. Available at: http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/201381/1/370090-051-054.pdf. Accessed 15 January 2014.
15. Cremona, M.V., H. Stützel and H. Kage. 2004. Irrigation Scheduling of Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) Using Crop Water Stress Index. HortScience 39(2): 276-279.
16. Doorenbos, J., and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. FAO Irrig. Drain.

Pap. 33. FAO, Rome.
17. Eck, H.V. 1988. Winter wheat yield response to nitrogen and irrigation. Agron. J. 80: 902-908.
18. Ehlig, C.F., and R.D. LeMert. 1976. Water use and productivity of wheat under five irrigation treatments. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:750-755.
19. Gontia, N.K. and K.N. Tiwari. 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. Agric. Water Manage 95 (10): 1144-1152.
20. Hanks, R.J., and R.B. Sorensen. 1984. Harvest index as influenced in spring wheat by water stress. p. 205-209. *In* W. Day and R.K. Atkins (ed.) Wheat growth and modeling. NATO ASI Series A: Life Sciences Vol. 86. Plenum Press, New York.
21. Heerman, D.F., D.L. Martin, R.D. Jackson, and E.C. Stegman. 1990. Irrigation scheduling controls and techniques. *In* B.A. Stewart et al. (ed.). Irrigation of agricultural crops. Agronomy 30: 509-535.
22. Hillel, D. 1990. Role of irrigation in agricultural system. In B.A. Stewart et al. (ed.).Irrigation of agricultural crops. Agronomy 30: 5-30.
23. Hsiao, T.C. 1990. Measurements of plant water status. *In* B.A. Stewart et al. (ed.). Irrigation of agricultural crops. Agronomy 30: 243- 279.
24. Ibragimov, N., S. Evett, Y. Esanbekov, B. Kamilov, and L. Heng. 2003. Cotton and winter wheat irrigation scheduling improvements in Uzbekistan. In "Understanding & Addressing Conservation and Recycled Water Irrigation", Proceedings of the International Irrigation Association Technical Conference. Pp. 26-34. November 2003. Available at: www.cprl.ars.usda.gov/pdfs/IA03-0410.pdf
25. Jackson, R.D. 1982. Canopy temperature and crop water stress. P. 43-85. *In* D. Hillel (ed.). Advances in irrigation. Vol. 1. Academic Press, New York.
26. Jensen, M.E., and W.H. Sletten. 1965. Evapotranspiration and soil moisture-fertilizer interrelations with irrigated winter wheat in the southern High Plains. U.S. Dept. Agric. Conserv. Res. Rep. 4.
27. Jones, H.G. 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. Journal of Experimental Botany 55(407): Water-Saving Agriculture Special Issue, pp. 2427–2436.
28. Khan, M.J., Sarwar T., Shahzadi A. and A. Malik. 2007. Effect of different irrigation schedules on water use and yield of wheat. Sarhad J. Agric. 23(4): 1061-1066.
29. Liu, H.J. and Y. Kang. 2007. Sprinkler irrigation scheduling of winter wheat in the North China Plain using a 20 cm standard pan. Irrigation Science 25(2): 149-159.
30. Martin, E.C. 2009. Methods of measuring for irrigation scheduling—WHEN Arizona Cooperative Extension, College of Agriculture and Life Sciences, Bulletin AZ1220, Arizona Water Series No.30 available at: http://itc.tamu.edu/documents/extensionpubs/University%20of%20Arizona/az1220.pdf
31. http://www.jkmt.ir/images/sub/Maghale/hkhEsf/Dem2-08-119.pdf
32. Musick, J.T., and K.B. Porter. 1990. Wheat. *In* B.A. Stewart et al. (ed.). Irrigation of agricultural crops. Agronomy 30: 597- 638.
33. Poostchi, I., I. Revohani, and K. Razmi. 1972. Influence of levels of spring irrigation and fertility on yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under semiarid conditions. Agron. J. 64: 438-440.
34. Prasad, U.K., T.N. Prasad, R.D. Pandey, and M. Ehsanullah. 1989. Irrigation-scheduling methods for wheat (*Triticum aestivum*) in calcareous soil of Bihar. Indian J. Agriculture Sciences. 59(7): 438-441.
35. Prihar, S.S., K.L. Khera, E.S. Sandhu, and B.S. Sandhu. 1976. Comparison of

irrigation schedules based on pan evaporation and growth stages in winter wheat. Agron. J. 68: 650-653.
36. Rao, Y.G., and R.B.L. Bhardwaj. 1981. Consumptive use of water, growth and yield of *aestivum* and *durum* wheat varieties at varying levels of nitrogen under limited and adequate irrigation situations. Indian J. Agron. 26: 243-250.
37. Schneider, A.D., J.T. Musick, and D.A. Dusek. 1969. Efficient wheat irrigation with limited water. Trans. ASAE 12:23-26.
38. Slabbert, MJ. 1987. A comparison of irrigation scheduling by tensiometer versus evaporation pan. South African Avocado Growers' Association Yearbook 10:54-56. Available at: http://www.avocadosource.com/WAC1/WAC1_p054.htm. Accessed 15 January 2014.
39. Steele, D.D., E.C. Stegman, and B.L. Gregor. 1994. Field comparison of irrigation scheduling methods for corn. Transactions of the ASAE 37(4): 1197-1203.
40. Stegman, E.C. 1983. Irrigation scheduling: Applied timing criteria. P. 1-30. *In* D. Hillel (ed.). Advances in irrigation. Vol. 2. Academic Press, New York.
41. Stegman, E.C., L.H. Schiele, and A. Bauer. 1976. Plant water stress criteria for irrigation scheduling. Trans. ASAE. 19: 850-855.
42. Taylor, S.A., and G.L. Ashcroft. 1972. Physical edaphology. The physics of irrigated and nonirrigated soils. W.H. Freeman and company. Sanfrancisco. P. 414-450.