

## بررسی روند تغییرات برخی از شاخص‌های رشدی گندم تحت شرایط کم آبی

حمید دهقان‌زاده<sup>۱</sup> و منوچهر جم‌نژاد<sup>۲</sup>

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر تیمارهای کم آبیاری بر شاخص‌های رشدی سه رقم گندم نان (*Triticum aestivum* L.)، آزمایشی در سال‌های زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی نراق به صورت کرت‌های خرد شده، بر پایه طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار به اجرا درآمد. کرت‌های اصلی شامل زمان آبیاری (آبیاری پس از ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشک تبخیر کلاس A) و کرت‌های فرعی شامل ارقام گندم (مهدوی، سپاهان و بک کراس روشن) بودند. تیمارهای آبیاری پس از ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر جمعی، از نظر هیچ یک از شاخص‌های رشدی تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی، افزایش فاصله دو آبیاری از ۹۰ به ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر جمعی، باعث کاهش معنی‌دار در شاخص‌های رشدی داشت. در شرایط تیمارهای آبیاری ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر جمعی، روند تغییرات شاخص سطح برگ، ماده خشک کل، سرعت آسیمیلایون خالص و سرعت رشد محصول مشابه بود. در حالی که در همه نمونه‌برداری‌ها با افزایش فاصله دو آبیاری از ۹۰ به ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر جمعی، کاهش قابل ملاحظه‌ای در روند تغییرات شاخص‌های رشدی مشاهده گردید. روند تغییرات سرعت رشد محصول با تغییرات شاخص سطح برگ موزون بود ولی با سرعت آسیمیلایون خالص هماهنگی کمتری مشاهده شد. بنابراین ممکن است در شرایط آب و هوایی مشابه با انجام آبیاری بر اساس دوره زمانی ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر کلاس A صفات مورد بررسی تفاوت معنی‌داری نداشته باشند، یعنی با کاهش ۲۲ درصد در مصرف آب آبیاری، در شاخص‌های رشدی و عملکرد محصول تغییراتی حاصل نشود.

واژه‌های کلیدی: سرعت آسیمیلایون خالص، شاخص سطح برگ، کم آبیاری، گندم، ماده خشک کل.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱

۱- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نراق، نراق، ایران h.dehghanzadeh@iau-Naragh.ac.ir

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساوه، ساوه، ایران.

**مقدمه**

آنالیزهای رشدی به منظور مطالعه واکنش ارقام محصولات زراعی به شرایط محیطی و جهت یافتن عواملی که در بهبود عملکرد اقتصادی دارای اهمیت هستند، به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. در برنامه‌های اصلاحی، آنالیزهای رشدی می‌توانند در تعیین صفاتی که با عملکردهای بالا تحت شرایط محیطی خاص ارتباط دارند مفید باشد (Clark et al., 1984). عملکرد محصولات زراعی به وسیله انرژی تابشی و کارایی تبدیل این انرژی به ماده خشک در شرایط تنش خشکی محدود می‌شود (Karimi and Siddique, 1991). کاهش سطح برگ یک مکانیزم عمومی اجتناب از تنش خشکی است (Clark et al., 1984). گزارش‌هایی از کاهش سطح برگ و دوام آن تحت شرایط تنش رطوبتی وجود دارد (Ali et al., 1999; Hirasawa et al., 1998). علی و همکاران (Ali et al., 1999)، با اعمال تیمارهای عدم آبیاری به مدت ۴۰ روز از شروع رشد برگ زیرین برگ پرچم و شروع رشد برگ پرچم گزارش کردند که در هر دو تیمار سرعت توسعه برگ کاهش یافت و شاخص سطح برگ (LAI)<sup>۱</sup> در تیمار شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای تنش بود. آن‌ها کاهش معنی‌دار در LAI در شرایط تنش را که نتیجه پیری تدریجی و از دست رفتن برگ‌های پیرتر بود، به عنوان یکی از مکانیسم‌های سازگاری گیاه به تنش خشکی بیان کردند. کمبود آب، تأثیر ویژه‌ای بر کاهش میزان سرعت آسیمیلسیون خالص (NAR)<sup>۲</sup> دارد (Hirasawa et al., 1998). هیراساوا و همکاران (Hirasawa et al., 1998) با اعمال تیمارهای تنش خشکی (عدم آبیاری) و آبیاری کامل (آبیاری دو تا سه بار در هفته) تا قبل از گل‌دهی، گزارش کردند که در زمان ۳۸ روز بعد از کاشت، میزان NAR در تیمار تنش نسبت به آبیاری کاهش یافت. از طرفی میزان LAI هم در این مرحله کمتر بود. کاهش LAI نتیجه کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش NAR نتیجه زیادی افت فتوسنتز در نیمروز و بعد از ظهر در گیاهان تحت تنش به واسطه بسته شدن روزنه‌ها و افزایش تنفس بیان گردید.

کاهش سرعت رشد محصول (CGR)<sup>۳</sup> در برخی از بررسی‌ها گزارش شده است (Hirasawa et al., 1998; Karimi and Siddique, 1991). تنش خشکی از طریق کاهش شاخص سطح برگ و کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه سبب کاهش سرعت رشد محصول و در نهایت کاهش ماده خشک و عملکرد نهایی می‌شود (Karimi and Siddique, 1991). با این حال ناکاگامی و همکاران (Nakagami et al., 2004) گزارش کردند که تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمار آبیاری به میزان ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، در هر دو مرحله رشدی شامل، یک ماه قبل از گل‌دهی و مرحله اواسط رسیدگی تا انتهای رشد، دارای سرعت رشد محصول بیشتری بود. آن‌ها زیادت بودن LAI (به واسطه حفظ مقادیر بالاتر نیتروژن و تأخیر در پیری) و NAR (به واسطه غلظت بالاتر کلروفیل و سرعت فتوسنتزی بالاتر) را علت افزایش CGR در تیمار تنش ملایم بیان کردند. بررسی روند تغییرات شاخص‌های رشد سه رقم گندم نان به منظور آگاهی از ارتباط این صفات با عملکرد بر اثر تأثیر تیمارهای کم آبیاری از اهداف این تحقیق می‌باشد.

**مواد و روش‌ها**

آزمایش در سال‌های زراعی ۸۷-۱۳۸۶ و ۱۳۸۸-۱۳۸۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی نراق انجام گرفت. ارتفاع محل آزمایش ۱۵۹۵ متر از سطح دریا می‌باشد. خاک محل اجرای طرح دارای بافت لوم سیلتی رسی<sup>۴</sup>، pH حدود ۷/۱ و EC حدود ۱/۷ دسی زیمنس بر متر بود. آزمایش به صورت طرح آماری کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در چهار تکرار اجرا گردید. عامل اصلی شامل آبیاری پس از ۷۰ (I<sub>1</sub>)، ۹۰ (I<sub>2</sub>) و ۱۱۰ (I<sub>3</sub>) میلی‌متر تبخیر جمعی از تشتک تبخیر کلاس A و عامل فرعی شامل ارقام سپاهان، مهدوی و بک‌کراس روشن بودند. هر کرت فرعی شامل ۱۲ خط کاشت شش متری با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. فواصل کرت‌های فرعی از یکدیگر یک متر و فواصل کرت‌های اصلی از یکدیگر دو متر در نظر گرفته شدند. نیاز کودی با توجه به تجزیه خاک، به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار

<sup>3</sup> Crop Growth Rate<sup>4</sup> Clay Silty Loam<sup>1</sup> Leaf Area Index<sup>2</sup> Net Assimilation Rate

$$LAI = e^{a_1 + b_1 t + c_1 t^2} \quad (2)$$

$$W = e^{a_2 + b_2 t + c_2 t^2} \quad (3)$$

$$NAR = (b_2 + 2c_2 t) e^{(a_2 - a_1) + (b_2 - b_1) + (c_2 - c_1) t^2} \quad (4)$$

$$CGR = NAR \times LAI = (b_2 + 2c_2 t) e^{a_2 + b_2 t + c_2 t^2} \quad (5)$$

در روابط فوق  $W$  ماده خشک کل بر حسب گرم،  $t$  زمان بر حسب روز،  $LAI$  شاخص سطح برگ،  $NAR$  سرعت آسیمیلاسیون خالص،  $CGR$  سرعت رشد محصول و  $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$  ضرایب رگرسیون هستند.

### نتایج و بحث

#### عملکرد و اجزای عملکرد

تیمار آبیاری تأثیر معنی داری بر تعداد سنبله در واحد سطح داشت (جدول ۱). تیمار آبیاری پس از ۷۰ و ۹۰ میلی متر تبخیر، اختلاف معنی داری بر تعداد سنبله نگذاشت، اما با تأخیر آبیاری به ۱۱۰ میلی متر تبخیر، تعداد سنبله در واحد سطح کاهش معنی داری یافت (جدول ۲). ظاهراً با کاهش فاصله دو آبیاری، شرایط رطوبتی مناسب تری برای پنجه زنی فراهم شده و تعداد پنجه های بارور افزایش یافته است. این نتایج با گزارش های علی و همکاران (Ali et al., 1999) همسو می باشد.

تیمار آبیاری تأثیر معنی داری بر تعداد دانه در سنبله داشت (جدول ۱). بین تیمار آبیاری پس از ۷۰ و ۹۰ میلی متر تبخیر، اختلاف معنی داری در تعداد دانه در سنبله مشاهده نشد. اما با افزایش فاصله دو آبیاری به ۱۱۰ میلی متر تبخیر، تعداد دانه در سنبله کاهش معنی داری یافت (جدول ۲). این نتایج با گزارشات گوتیر و همکاران (Guttieri et al., 2001) مطابقت دارد. ناکاگامی و همکاران (Nakagami et al., 2004) در مطالعات خود عدم وجود تفاوت معنی دار در تعداد دانه در سنبله در تیمار آبیاری به میزان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و آبیاری کامل را به واسطه کمی شدت تنش و بهبود سیستم ریشه ای در تیمار تنش گزارش کردند که با نتایج این بررسی مطابقت دارد. تعداد کمتر دانه در سنبله در اثر تنش خشکی می تواند به علت عقیم شدن گل های انتهایی سنبله باشد (Moustafa et al., 1996).

تیمار آبیاری تأثیر معنی داری بر وزن هزار دانه داشت (جدول ۱). بین تیمار آبیاری پس از ۷۰ و ۹۰ میلی متر تبخیر،

اکسید فسفر ( $P_2O_5$ ) از منبع سوپر فسفات تریپل و مقدار ۷۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به صورت قبل از کاشت و هم چنین ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به صورت سرک از منبع اوره و در هنگام شروع رشد بهاره تأمین گردید. کاشت با دست و تراکم حدود ۴۰۰ بذر در متر مربع و در هر دو سال در تاریخ ۱۵ آبان صورت گرفت. در طول دوره رشد، مراقبت های زراعی به طور یکنواخت برای همه کرت های آزمایشی انجام گردید. تیمارهای آبیاری در طول رشد برای همه تیمارها به طور منظم اعمال شدند. تیمارهای آبیاری نیز از هنگام شروع رشد بهاره اعمال گردیدند. به منظور تعیین مقدار آب در هر آبیاری، در مراحل ساقه رفتن، گرده افشانی و پر شدن دانه، عمق توسعه ریشه برآورد و سپس با استفاده از رابطه (۱) میزان آب مصرفی در هر آبیاری جهت کرت های اصلی برآورد و در هنگام آبیاری از طریق سرریز به کرت ها وارد گردید (Hassan Li, 2000).

$$VW = [(FC - SM) \cdot Bd \cdot D \cdot A] \quad (1)$$

در این رابطه  $VW$  حجم آب مصرفی در هر آبیاری (بر حسب متر مکعب)،  $FC$  درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی،  $SM$  درصد وزنی رطوبت خاک در هنگام نمونه برداری،  $Bd$  جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)،  $D$  عمق توسعه ریشه گیاه (متر) و  $A$  مساحت کرت اصلی (متر مربع) می باشد. برای مشخص کردن درصد وزنی رطوبت خاک به منظور محاسبه میزان آب مورد نیاز، از سه قسمت مختلف هر کرت نمونه هایی تا عمق توسعه ریشه با اوگر برداشت و بلافاصله وزن مرطوب آن توزین و سپس به مدت ۱۲ ساعت در آون با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس خشک گردید (Khajooe Nejad, 2005). از زمان اعمال تیمارهای آبیاری، به فواصل زمانی هر ۲۰ روز از سطحی معادل ۰/۱ متر مربع نمونه هایی برداشت و سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل AM-300 اندازه گیری شد. وزن خشک نمونه ها از طریق قرار دادن آن ها در داخل آون و دمای ۷۵ درجه سلسیوس و به مدت ۴۸ ساعت به دست آمد. برای تعیین تغییرات شاخص سطح برگ، روند تجمع ماده خشک کل، سرعت آسیمیلاسیون خالص و سرعت رشد محصول، به ترتیب از روابط (۲)، (۳)، (۴) و (۵) ارایه شده توسط کریمی و سیدیک (Karimi and Siddique, 1991) استفاده شد.

هم دارای میانگین شاخص سطح برگ کمتر و هم دارای حداکثر شاخص سطح برگ کمتری بود. این امر می‌تواند به دلیل کاهش سرعت رشد و از طریق کاهش فشار تورگر ایجاد شده باشد (Li et al., 1998). مجموع این عوامل تفاوت معنی‌داری را بین تیمارهای آبیاری  $I_1$  و  $I_2$  با تیمار  $I_3$  از نظر حداکثر شاخص سطح برگ و میانگین شاخص سطح برگ در میانگین دو سال موجب شد (جدول ۲). بنابراین گیاه در تیمار  $I_3$  قادر به جذب حداکثر تشعشع نبوده است. علی و همکاران (Ali et al., 1999) هم در مطالعه خود کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ در شرایط تنش خشکی را به واسطه پیری تدریجی و از دست رفتن برگ‌ها گزارش کردند. ناکاگامی و همکاران (Nakagami et al., 2004)، عدم تفاوت معنی‌دار در شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری کامل و آبیاری به میزان ۸۰ درصد ظرفیت زراعی را گزارش کردند که با نتایج این آزمایش همسو می‌باشد. آن‌ها علت را در کافی نبودن شدت تنش، توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای و حفظ مقادیر بالای نیتروژن برگ در تیمار تنش بیان کردند.

ارقام یک‌کراس روشن، مهدوی و سپاهان بترتیب دارای بیشترین تا کمترین میانگین شاخص سطح برگ و هم‌چنین دارای بیشترین تا کمترین حداکثر شاخص سطح برگ در میانگین دو سال بودند (جدول ۲). با این حال تفاوت معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد (جدول ۱).

#### ماده خشک کل

روند تجمع ماده خشک سال نشان داد که در تیمار  $I_3$ ، تجمع ماده خشک از ۱۶۵ روز پس از سبز شدن تا ۲۱۰ روز پس از سبز شدن به‌طور خطی افزایش یافت و از ۲۲۵ روز پس از سبز شدن تا هنگام برداشت کاهش یافت (شکل ۲). در تیمار  $I_1$  و  $I_2$ ، تجمع ماده خشک از حدود ۱۷۰ روز پس از سبز شدن تا ۲۳۰ روز پس از سبز شدن به‌طور خطی افزایش یافت و در حدود ۲۴۵ روز پس از سبز شدن تا مرحله برداشت شروع به کاهش نمود (شکل ۲). کاهش ماده خشک کل بعد از رسیدن به حداکثر می‌تواند به دلیل ریزش برگ‌های مسن و حذف ماده خشک آن‌ها باشد (Hossein Poor et al., 2003). در تیمار  $I_1$  و  $I_2$  روند تجمع ماده خشک شباهت زیادی با یکدیگر داشت و در تمام مراحل رشد تیمار  $I_1$  بر تیمار  $I_2$  برتر بود. در تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$ ، در مقایسه با تیمار  $I_3$ ، از ابتدای رشد سرعت افزایش شاخص سطح برگ بیشتر بود (شکل ۲). از

اختلاف معنی‌داری در وزن هزار دانه مشاهده نشد، اما با افزایش فاصله دو آبیاری به ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، وزن هزار دانه کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۲). این نتایج با یافته‌های گوتیر و همکاران (Guttieri et al., 2001) مبنی بر کاهش وزن دانه با افزایش تنش خشکی مطابقت دارد. وانگ و همکاران (Wang et al., 1996) علت کاهش وزن دانه ناشی از تنش خشکی را تسریع پیری گیاه و کاهش ظرفیت فتوسنتزی آن بیان کردند.

تیمار آبیاری تاثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشت (جدول ۱). بین تیمار آبیاری پس از ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر اختلاف معنی‌داری در عملکرد دانه مشاهده نشد، اما با افزایش فاصله آبیاری از ۹۰ به ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). کاهش عملکرد دانه در تیمار آبیاری پس از ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر، در اثر کاهش تعداد سنبله بارور در واحد سطح، کاهش تعداد دانه در سنبله و کاهش وزن هزار دانه بود (جدول ۲). این نتایج با مطالعات گوتیری و همکاران (Guttieri et al., 2001) مبنی بر کاهش عملکرد دانه در اثر تنش خشکی مطابقت دارد.

#### روند تغییرات شاخص سطح برگ

روند تغییرات شاخص سطح برگ نشان داد که در تیمار  $I_3$ ، شاخص سطح برگ از حدود ۱۶۰ روز پس از سبز شدن شروع به افزایش زیاد کرد و در ۱۹۵ روز بعد از سبز شدن به حداکثر میزان خود رسید و از ۲۰۵ روز بعد از سبز شدن به سرعت کاهش یافت (شکل ۱). در تیمار  $I_1$  و  $I_2$  از حدود ۱۵۵ روز پس از سبز شدن سرعت افزایش شاخص سطح برگ شدت گرفت و تا حدود ۱۹۵ روز پس از سبز شدن به حداکثر خود رسید و از ۲۱۰ روز پس از سبز شدن شروع به کاهش نمود (شکل ۱). در تیمار  $I_3$ ، شاخص سطح برگ در هیچ مرحله‌ای از رشد به ۳ نرسید و این در حالی بود که تیمار  $I_1$  و  $I_2$  بترتیب دارای حداکثر شاخص سطح برگ به میزان  $4/8$  و  $4/5$  بودند (جدول ۲). هر چند میانگین شاخص سطح برگ در تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  به ترتیب  $2/63$  و  $2/41$  بود (جدول ۲)، افزایش شاخص سطح برگ در این تیمارها روند مشابهی داشت و به‌طور تقریبی در تمام مراحل رشد تیمار  $I_1$  بر تیمار  $I_2$  برتر بود (شکل ۱). در تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  در مقایسه با تیمار  $I_3$ ، از ابتدای رشد سرعت افزایش شاخص سطح برگ بیشتر بود (شکل ۱). نتایج نشان داد با افزایش فاصله آبیاری به  $I_3$ ، گیاه

سرعت آسیمیلایسیون خالص منفی شد (شکل ۳). در دو تیمار  $I_1$  و  $I_2$  روند سرعت آسیمیلایسیون خالص شباهت زیادی داشت و تا ۱۶۰ روز پس از سبز شدن سرعت آسیمیلایسیون خالص افزایش یافت (شکل ۳)، که همزمان با شروع رشد خطی شاخص سطح برگ بود (شکل ۱). سپس تا ۲۱۰ روز پس از سبز شدن و حدود ۵۰ روز در مقادیر بالا حفظ شد و این زمان با زمان حداکثر شاخص سطح برگ مطابقت داشت (شکل ۱). حفظ مقادیر بالای سرعت آسیمیلایسیون خالص با وجود شاخص سطح برگ بالا در تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  ممکن است به دلیل تداوم فتوسنتز و باز بودن روزنه‌ها در مدت زمان طولانی‌تر ناشی از شرایط رطوبتی مساعد باشد. با وجود مقادیر بیشتر حداکثر سرعت آسیمیلایسیون خالص در تیمار  $I_3$  در مقایسه با تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  (شکل ۳)، سرعت کاهش آسیمیلایسیون خالص در تیمار  $I_3$  در مقایسه با تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  با شدت بیشتری کاهش یافت (شکل ۳). این نتایج با گزارشات هیراساوا و همکاران (Hirasawa et al., 1998) و مصطفی و همکاران (Moustafa et al., 1996) مطابقت دارد.

#### سرعت رشد محصول

روند تغییرات سرعت رشد محصول نشان داد که در همه مراحل رشد، سرعت رشد محصول در تیمار  $I_3$  پایین‌تر از تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  بود (شکل ۴). هرچند بین تیمار  $I_1$  و  $I_2$  تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، روند تغییرات سرعت رشد محصول در این دو تیمار شباهت زیادی داشت و در همه مراحل تیمار  $I_1$  بر تیمار  $I_2$  برتر بود. میزان سرعت رشد محصول در تیمار  $I_3$  در ۱۹۰ روز پس از سبز شدن و در تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  در ۲۰۰ روز پس از سبز شدن حداکثر بود (شکل ۴). کاهش سرعت رشد محصول در تیمار  $I_3$  در مقایسه با تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  بعد از رسیدن به حداکثر با شدت بیشتری ادامه یافت، به طوری که در تیمار  $I_3$  در حدود ۲۰۸ روز پس از سبز شدن و در تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  در حدود ۲۳۰ روز پس از سبز شدن منفی شد (شکل ۴). روند تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای آبیاری با روند تغییرات شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری (شکل ۱) هماهنگ‌تر بود و هماهنگی کمتری با روند تغییرات سرعت آسیمیلایسیون خالص داشت (شکل ۳) که با نتایج حسین‌پور و همکاران (Hossein Poor et al., 2003) مطابقت دارد. بنابراین، شاخص سطح برگ نقش

طرفی در تیمار  $I_3$ ، روند کاهش ماده خشک کل از زمان وقوع حداکثر تا برداشت، بسیار شدیدتر از تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  بود (شکل ۲). ریزش بیشتر برگ‌های گیاه تحت شرایط تنش خشکی را می‌توان علت کاهش بیشتر وزن خشک کل در تیمار  $I_3$  بیان نمود (Ali et al., 1999). این نتایج با گزارشات باجی و همکاران (Bajji et al., 2001) و موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2009) مبنی بر کاهش ماده خشک تولیدی در شرایط تنش مطابقت دارد. مجموع این عوامل باعث شد که تیمارهای  $I_1$  و  $I_2$  اختلاف معنی‌داری با تیمار  $I_3$  در ماده خشک کل تولیدی در زمان برداشت داشته باشند (جدول ۲). روند تغییرات ماده خشک کل در تیمارهای آبیاری در میانگین دو سال (شکل ۲) شباهت زیادی به روند تغییرات شاخص سطح برگ در میانگین دو سال دارد (شکل ۱). می‌توان این‌گونه استنباط نمود که با افزایش فاصله آبیاری، شاخص سطح برگ کاهش (شکل ۱) و با کم شدن ظرفیت فتوسنتزی، ماده خشک تولیدی هم کاهش می‌یابد (شکل ۲).

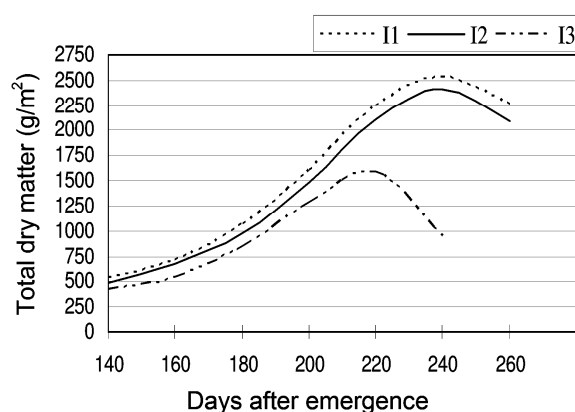
ارقام بک کراس روشن و سپاهان به ترتیب دارای بیشترین و کمترین ماده خشک کل در هنگام برداشت بودند (جدول ۲). بیشتر بودن میانگین شاخص سطح برگ و حداکثر شاخص سطح برگ در رقم بک کراس روشن (جدول ۲) و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی آن، می‌تواند دلیل افزایش ماده خشک تولیدی در رقم بک کراس روشن باشد. با این حال تفاوت ارقام معنی‌دار نبود (جدول ۱).

#### سرعت آسیمیلایسیون خالص

روند تغییرات سرعت آسیمیلایسیون خالص تیمارهای آبیاری در میانگین دو سال نشان داد که در تیمار  $I_3$ ، تا حدود ۱۶۵ روز پس از سبز شدن سرعت آسیمیلایسیون خالص افزایش یافت (شکل ۳) و این زمان با زمانی که شاخص سطح برگ شروع به رشد خطی نمود، مطابقت دارد (شکل ۱). این روند سپس تا ۱۹۵ روز پس از سبز شدن و به مدت ۳۰ روز در سطح بالایی حفظ شد و از ۱۹۵ روز پس از سبز شدن که همزمان با حداکثر شاخص سطح برگ بود (شکل ۱) به دلیل افزایش سایه‌اندازی برگ‌ها و دریافت نور کمتر توسط برگ‌هایی که در قسمت‌های زیرین پوشش گیاهی قرار دارند، سرعت آسیمیلایسیون خالص کاهش یافت. از ۲۰۵ روز پس از سبز شدن، ظاهراً به دلیل زرد شدن برگ‌ها و کاهش فتوسنتز ناشی از بسته شدن نیم‌روزی روزنه‌ها به واسطه دماهای بالا (Hirasawa et al., 1998)،

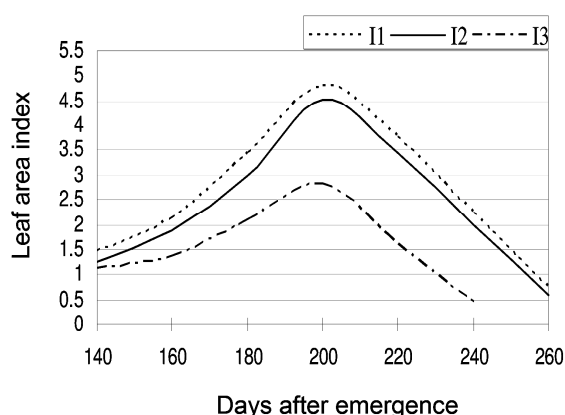
به طور کلی، نتایج نشان داد که با افزایش فاصله آبیاری از  $I_1$  به  $I_2$ ، کاهش شاخص سطح برگ، سرعت آسیمیلاسیون خالص و سرعت رشد محصول معنی‌دار نبود. این عکس العمل باعث شد به دلیل حفظ توان فتوسنتزی؛ عملکرد و اجزای عملکرد دانه در تیمار  $I_2$  کاهش معنی‌داری نداشته باشد (جدول ۲). با افزایش فاصله آبیاری به  $I_3$  شاخص سطح برگ، سرعت آسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد محصول، عملکرد و اجزای عملکرد دانه کاهش معنی‌داری داشت. بنابراین ممکن است در شرایط آب و هوایی مشابه با انجام آبیاری بر اساس ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر کلاس A (تیمار  $I_2$ )، ضمن کاهش ۲۲ درصد در مصرف آب آبیاری، شاخص‌های رشدی و عملکرد دانه هم تحت تأثیر قرار نگیرد.

اصلی را در تعیین سرعت رشد محصول داشته است. کریمی و سیدیک (Karimi and Siddique, 1991) هم کاهش معنی‌دار سرعت رشد محصول را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. هیراساوا و همکاران (Hirasawa *et al.*, 1998) کاهش سرعت رشد محصول در شرایط تنش خشکی را به واسطه کاهش شاخص سطح برگ و کاهش سرعت آسیمیلاسیون خالص گزارش کردند. پایین بودن دوام و کمی حداکثر شاخص سطح برگ در تیمار  $I_3$  (شکل ۱)، سبب کاهش تولید ماده خشک (شکل ۲) و در نتیجه کاهش سرعت رشد محصول شده‌اند (شکل ۴). این واکنش موجب شد که عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه در تیمار  $I_3$  نسبت به تیمار  $I_1$  به ترتیب ۵۸ و ۶۵ درصد کاهش یابند (جدول ۲). کریمی و سیدیک (Karimi and Siddique, 1991) هم کاهش ماده خشک تولیدی در شرایط تنش خشکی را به دلیل کاهش سرعت رشد محصول گزارش کردند.



شکل ۲- تغییرات ماده خشک کل در تیمارهای آبیاری

Figure 2. Changes of total dry matter in irrigation treatments



شکل ۱- تغییرات شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری

Figure 1. Changes of leaf area index in irrigation treatments

جدول ۱ - تجزیه واریانس تیمارهای مختلف برای صفات مورد اندازه‌گیری

S.O.V.	D.F.	Mean Squares								
		1000 grain weight	Number of grains/ear	Number of ears/m <sup>2</sup>	Grain yield	CGR	NAR	TDW	LAI	MLAI
Year (Y)	1	0.20 <sup>ns</sup>	147.60 <sup>**</sup>	241925 <sup>**</sup>	6917806 <sup>*</sup>	29.07 <sup>**</sup>	4.340 <sup>**</sup>	31138124 <sup>**</sup>	0.316 <sup>*</sup>	1.301 <sup>**</sup>
Error <sub>1</sub>	6	31.20	15.33	33029	3774161	6.36	1.210	10473578	0.121	0.950
Irrigation (A)	2	792.36 <sup>**</sup>	318.12 <sup>**</sup>	3146080 <sup>**</sup>	203053204 <sup>**</sup>	154.60 <sup>**</sup>	5.960 <sup>**</sup>	868813622 <sup>**</sup>	1.820 <sup>**</sup>	6.960 <sup>**</sup>
Y×A	2	83.67 <sup>**</sup>	9.07 <sup>ns</sup>	15285 <sup>ns</sup>	3424221 <sup>ns</sup>	0.51 <sup>ns</sup>	0.265 <sup>ns</sup>	1527562 <sup>ns</sup>	0.063 <sup>ns</sup>	0.083 <sup>ns</sup>
Error <sub>2</sub>	12	22.50	24.09	7179	1028941	1.52	0.880	8804347	0.036	0.201
Cultivar (C)	2	137.11 <sup>**</sup>	284.00 <sup>**</sup>	29493 <sup>*</sup>	2645256 <sup>*</sup>	0.82 <sup>ns</sup>	0.311 <sup>ns</sup>	12512583 <sup>ns</sup>	0.094 <sup>ns</sup>	0.172 <sup>ns</sup>
Y×C	2	1.27 <sup>ns</sup>	62.95 <sup>**</sup>	1075 <sup>ns</sup>	1181934 <sup>ns</sup>	3.04 <sup>*</sup>	0.179 <sup>ns</sup>	6793086 <sup>ns</sup>	0.075 <sup>*</sup>	0.149 <sup>*</sup>
A×C	4	25.50 <sup>ns</sup>	8.07 <sup>ns</sup>	3097 <sup>ns</sup>	951136 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	0.023 <sup>ns</sup>	8289307 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.042 <sup>ns</sup>
Y×A×C	4	11.38 <sup>ns</sup>	10.14 <sup>ns</sup>	4934 <sup>*</sup>	186455 <sup>ns</sup>	0.77 <sup>ns</sup>	0.159 <sup>ns</sup>	7061145 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>
Error <sub>3</sub>	36	12.59	14.17	564	736084	1.01	0.126	380763	0.011	0.065
C.V. (%)	-	10.6	9.8	4.3	12.2	9.9	10.1	3.5	4.8	6.3

ns, \*, \*\*: Non significant and significant at 5 and 1% levels of probability, respectively.

CGR= Crop Growth Rate LAI= Leaf Area Index

NAR= Net Assimilation MLAJ= Maximum Leaf Area Index

TDW= Total Dry Weight

ns, \* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی در ارقام گندم با اعمال مقادیر مختلف آبیاری

Table 2. Mean comparison of wheat cultivars' traits at the irrigation regimes applied.

Treatment	1000 grain weight(g)	Number of grains/ear	Number of ears/m <sup>2</sup>	Number of Grain yield (Kg/ha)	CGR (g.m <sup>-2</sup> .day <sup>-1</sup> )	NAR (g.m <sup>-2</sup> leaf.day <sup>-1</sup> )	TDW (Kg/ha)	LAI	MLAI
<b>Irrigation</b>									
I <sub>1</sub>	38.35 <sup>a</sup>	40.4 <sup>a</sup>	627 <sup>a</sup>	9115 <sup>a</sup>	12.97 <sup>a</sup>	4.03 <sup>a</sup>	22247 <sup>a</sup>	2.63 <sup>a</sup>	4.79 <sup>a</sup>
I <sub>2</sub>	36.24 <sup>a</sup>	41.4 <sup>a</sup>	623 <sup>a</sup>	8861 <sup>a</sup>	12.80 <sup>a</sup>	4.18 <sup>a</sup>	20795 <sup>a</sup>	2.36 <sup>a</sup>	4.54 <sup>a</sup>
I <sub>3</sub>	25.71 <sup>b</sup>	33.6 <sup>b</sup>	398 <sup>b</sup>	3120 <sup>b</sup>	4.65 <sup>b</sup>	2.38 <sup>b</sup>	9176 <sup>b</sup>	1.57 <sup>b</sup>	2.82 <sup>b</sup>
<b>Cultivar</b>									
Roshan back cross	36.01 <sup>a</sup>	34.7 <sup>b</sup>	591 <sup>a</sup>	7355 <sup>a</sup>	10.72 <sup>a</sup>	3.78 <sup>a</sup>	17943 <sup>a</sup>	2.33 <sup>a</sup>	4.23 <sup>a</sup>
Sepahan	30.06 <sup>b</sup>	43.0 <sup>a</sup>	494 <sup>b</sup>	6464 <sup>b</sup>	10.05 <sup>a</sup>	3.34 <sup>a</sup>	16458 <sup>a</sup>	2.10 <sup>a</sup>	3.90 <sup>a</sup>
Mahdavi	34.22 <sup>a</sup>	37.7 <sup>b</sup>	563 <sup>a</sup>	7276 <sup>ab</sup>	10.66 <sup>a</sup>	3.46 <sup>a</sup>	17817 <sup>a</sup>	2.13 <sup>a</sup>	4.02 <sup>a</sup>

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

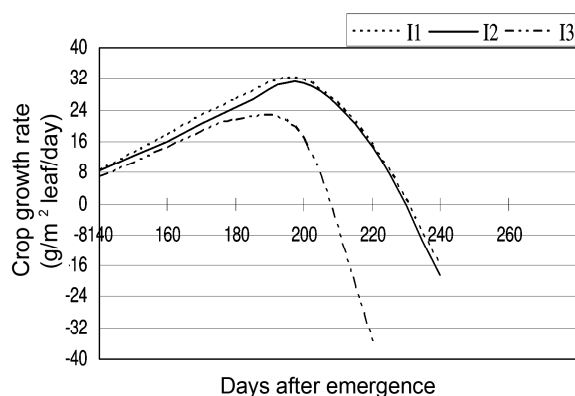
Means with the same letter(s) in each column are not significantly different at the 5% of probability level.

I<sub>1</sub>= 70 mm evaporation      LAI= Leaf Area Index      MLAI= Maximum Leaf Area Index

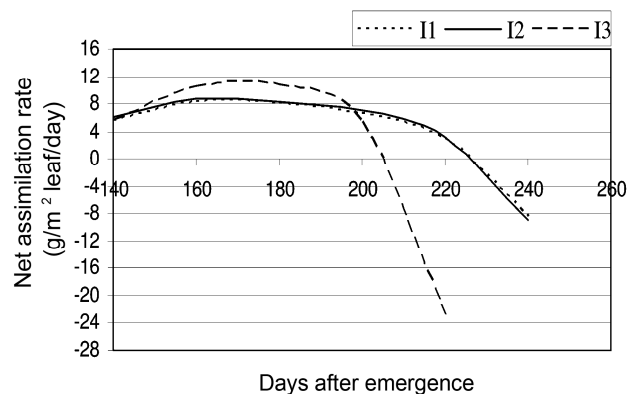
I<sub>2</sub>= 90 mm evaporation      CGR= Crop Growth Rate      NAR= Net Assimilation Rate

I<sub>3</sub>= 110 mm evaporation      TDW= Total Dry Weight





شکل ۴- تغییرات سرعت رشد محصول در تیمارهای آبیاری  
**Figure 4. Changes of crop growth rate in irrigation treatments**



شکل ۳- تغییرات سرعت آسیمیلسیون خالص در تیمارهای آبیاری  
**Figure 3. Changes of net assimilation rate in irrigation treatments**

## References

- Ali M, Jensen CR, Mogensen VO, Andersen MN, Henson IE (1999) Root signaling and osmotic adjustment during intermittent soil drying sustain grain yield of field grown wheat. *Field Crops Research* 62: 35-52.
- Bajji M, Lutts S, Kinet J (2001) Water deficit effect on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three wheat cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science* 160: 669-681.
- Clark JM, Smith TFT, McCaig TN, Green DG (1984) Growth analysis of spring wheat cultivars of varying drought resistance. *Crop Science* 24: 537-541.
- Guttieri MJ, Stark JC, O'Brien K, Souza, E (2001) Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science* 41: 327-335.
- Hassanli AM (2000) Different methods of water measurement. Shiraz University Publication. 345 pp.
- Hirasawa T, Nakahara M, Isumi T, Iwamoto Y, Ishihara K (1998) Effect of pre-flowering soil moisture deficits on dry matter production and ecophysiological characteristics in soybean plants under well irrigated conditions during grain filling. *Plant Production Science* 1: 8-17.
- Hosein Poor T, Siadat SA, Mamghani R, Rafiei M (2003) Study some effective morphological and physiological traits on yield and yield components of wheat genotype under deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Science* 10: 23-36. [In Persian with English Abstract].
- Karimi MM, Siddique KHM (1991) Crop growth and relative growth rate of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agricultural Research* 42: 13-20.
- Khajooe Nejad JCH, Kazemi H, Aliari H, Javanshir A, Arvin MCH (2005) Effect of different irrigation levels and plant densities on growth and yield of soybean cultivars. *The Scientific Journal of Agriculture* 27: 67-88. [In Persian with English Abstract].
- Li J, Lee YRG, Assmann SM (1998) Guard cells possess a calcium-dependent protein Kinase that phosphorylates the KAT1 potassium channel. *Plant Physiology* 116: 785-795.
- Mousavi SGH, Mirhadi MJ, Siadat SA, Noor Mohammadi GH, Darvish F (2009) Effect of water stress and nitrogen on yield and water use efficiency of sorghum and millet. *Journal of Modern Science of Sustainable Agriculture* 15: 101-114. [In Persian with English Abstract].
- Moustafa MA, Boersma LB, Kyonstad WE (1996) Response of four spring wheat cultivars to drought stress. *Crop Science* 36: 982-986.
- Nakagami K, Okawa TO, Hirasawa T (2004) Effect of a reduction in soil moisture from one month before flowering through ripening on dry matter production and ecophysiological characteristics of wheat plants. *Plant Production Science* 7: 143-154.
- Wang CY, Ma Y, Zhou S (1996) Study on effect of soil drought stress on winter wheat senescence. *Acta Agricultural University of Henan* 30: 309-313.