Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 53, No 2, Summer 2022 (109-125)
DOI: 10.22059/IJFCS.2021. 320033.654808

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۱ (ص۱۲۵-۱۰۹)

Effect of water stress on yield, yield components and photoassimilates partitioning of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) at reproductive stage

Sakineh Abdi
Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz.
(Received: March 10, 2021 - Accepted: July 8, 2021)

ABSTRACT

In order to determine the effect of water stress on yield, yield components and phtoassimilate of barley at flowering stage, a a split-plot field experiment was carried out based on randomized complete blocks design with three replications during 2018-2019 growing season. Irrigation treatments included normal irrigation and irrigation up to the flowering stage was the main plots and barley cultivars (Sahand, Bahman, Makui and Valfajr) were subplots. The results showed that 1000-grain weight of cultivars decreased 21.45% under stress conditions by compared to normal irrigation. Makoei cultivar had the highest decrease in grain yield with 23.55% reduction compared to other cultivars. Bahman and Makoei cultivars had the highest biological yield reduction. The highest biological yield was observed in Bahman cultivar under normal irrigation conditions. Under stress condition, the rate of remobilization increased in all parts and internods of the stem and cultivars. All cultivars had differences in the rate of remobilization from different parts of the stem, so that in the case of Valfajr and Sahand cultivars, the rate of penultimate remobilization was higher than peduncle. Bahman and Makui cultivars had high remobilization rate from peduncle and lower stem internodes. The remobilization efficiency of different stem internods had significantly increased under stress condition and the highest contribution of peduncle remobilization was obtained by Sahand cultivar under water stress conditions. Therefore, baseb on the yield indices and rate of remobilization of photosynthetic materials, Bahman and Sahand were identified as suitable barley cultivars under normal irrigation and water stress conditions, respectively.

Keywords: Flowering stage, peduncle, penultimate, remobilization efficiency, stem internodes

تأثیر تنش آبی بر عملکرد، اجزای عملکرد و تسهیم مواد فتوسنتزی رقم‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) در مرحله زایشی

سکینه عبدی
استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/٤/۱۷)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر تنش آبی در مرحله گلدهی بر انتقال مجدد ماده خشک از بخش‌های گوناگون ساقه جو، آزمایشی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله گلدهی) و کرت‌های فرعی شامل چهار رقم جو (سهند، بهمن، ماکوئی و والفجر) بودند. نتایج نشان داد که وزن هزار دانه رقم‌ها در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری کامل، ۲۱/٤۵ درصد کاهش داشت. بالاترین عملکرد دانه به رقم بهمن در شرایط آبیاری کامل و رقم سهند در شرایط تنش آبی تعلق داشت و رقم ماکویی با ۲۳/۵۵ درصد کاهش در عملکرد دانه، نسبت به بقیه رقم‌ها؛ بیشترین کاهش را در شرایط تنش آبی داشت. بیشترین کاهش عملکرد زیستی مربوط دررقم بهمن و ماکویی مشاهده شد. با اعمال تنش رطوبتی، میزان انتقال مجدد در تمام بخش‌ها و میان‌گره‌های ساقه افزایش داشت و بین رقم‌های گوناگون در میزان انتقال مجدد از بخش‌های گوناگون ساقه تفاوت‌هایی وجود داشت، به‌نحوی‌که در مورد رقم‌های والفجر و سهند، میزان انتقال پنالتیمت بالاتر از پدانکل بود و رقم‌های بهمن و ماکویی، میزان انتقال مجدد بالایی از پدانکل و میان‌گره‌های زیرین ساقه داشتند. کارایی انتقال مجدد میان‌گره‌های زیرین ساقه در تمام رقم‌های مورد مطالعه غیر از رقم والفجر، بالاترین مقدار را نسبت به کارایی انتقال مجدد پنالتیمت و پدانکل در شرایط تنش داشت. به‌طورکلی با در نظر گرفتن شاخص‌های عملکرد و میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، ارقام بهمن و سهند به‌عنوان رقم‌های مناسب جو به‌ترتیب در شرایط آبیاری کامل و تنش آبی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: پدانکل، پنالتیمت، کارایی انتقال مجدد، گلدهی، میان‌گره‌های ساقه.

* Corresponding author E-mail: s.abdi@tabrizu.ac.ir

مقدمه

ایران به علت موقعیت خاص جغرافیایی، دارای آب‌و-هوای مدیترانه‌ای است و اغلب مناطق آن جزو نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار می‌رود. تحت شرایط آب‌وهوای مدیترانه‌ای، با ورود غلاتی مانند جو به مرحله زایشی و پر شدن دانه، به‌تدریج از میزان بارندگی‌ها کاسته می‌شود و از طرفی دمای هوا، تبخیر و تعرق و در نتیجه نیاز آبی جو افزایش می‌یابد. پس گیاه تا حدودی با کمبود آب مواجه است و حدی از تنش آبی و گرمایی را تجربه می‌کند که این امر می-تواند سبب کاهش سرعت فتوسنتز و تسریع پیری برگ‌ها شود (Golabadi *et al*., 2015). بدین ترتیب، فتوسنتز جاری برای پر کردن دانه کافی نخواهد بود؛ بنابراین نیاز مقصد برای پر کردن دانه از طریق انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای پیش از مرحله گرده‌افشانی از میان‌گره‌های ساقه تأمین می‌شود (Zhang *at al*., 2015). انتقال مجدد و یا حرکت مجدد مواد پرورده به دانه‌ها، یکی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مهم در تشکیل عملکرد دانه غلات است و جزو سازوکارهای تحمل به خشکی و سازوکارهای جبرانی به‌منظور تأمین امنیت عملکرد دانه در نظر گرفته می‌شود (Alizadeh et al., 2014).

جو از نظر میزان تولید، پنجمین غله در جهان است، ولی از نظر اهمیت، پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.)، چهارمین غله مهم جهان به‌شمار می‌رود (FAO, 2017). در ایران نیز جو با سطح زیر کشت حدود ۱/۷ میلیون هکتار و تولید حدود ۳/۵ میلیون تن، دومین محصول بعد از گندم محسوب می‌شود (FAO, 2017). عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط تنش آبی به شدت وابسته به فرآیندهای تسهیم ماده خشک می‌باشد (Kage *et al*., 2004). مشارکت بیشتر مواد فتوسنتزی پیش از گرده‌افشانی در وزن نهایی دانه، اغلب برای گیاهانی که در معرض کمبود آب قرار می‌گیرند، مورد انتظار است و در چنین شرایطی عملکرد کمتری نیز به دست می‌آید (Lopez Pereia *et al*., 2008). به نظر پژوهشگران، شروع انتقال مجدد، هم‌زمان با شروع پیری برگ است و تسریع در پیری برگ، موجب افزایش میزان انتقال مجدد ذخایر فتوسنتزی می‌شود (Ehdaie *et al*., 2006). با توجه به تفاوت موجود بین رقم‌ها به نظر می‌رسد، رقم‌هایی که سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی را به اندام‌های اقتصادی خود (دانه در جو) اختصاص دهند، کاهش عملکرد کمتری را نسبت به شرایط آبیاری معمول خواهند داشت (Ezzat Ahmadi *et al*., 2009). در بررسی اثر تنش آبی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد در رقم‌های گوناگون گندم گزارش شده است که عملکرد دانه وزیست‌توده، شاخص برداشت، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در شرایط تنش آبی کاهش می‌یابد. در تنش خشکی، فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه کاهش می‌یابد و گیاه جهت تأمین نیاز دانه‌ها، از مواد ذخیره‌شده در ساقه و برگ‌ها استفاده می‌نماید و به همین دلیل، میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در تیمار آبیاری کامل به دلیل بالا بودن فتوسنتز جاری در مرحله پر شدن دانه، نسبت به شرایط تنش کمتر است (Murchie *et al*., 2002). عملکرد غلات، نه تنها به تجمع ماده خشک، بلکه به اختصاص مؤثر ماده خشک به بخش‌هایی از گیاه که از لحاظ اقتصادی اهمیت زیادی دارند وابسته است و این مورد، کلید پایداری عملکرد تحت شرایط تنش کمبود رطوبت می‌باشد. تجمع ماده خشک و انتقال مجدد آن در طول ساقه در شرایط تنش و غیر تنش متغیر است (Abdoli *et al*., 2015). معمولاً وزن میان‌گره‌های ساقه در دو تا سه هفته بعد از گلدهی افزایش می‌یابد و این موضوع بیشتر به‌دلیل تجمع کربوهیدرات‌های محلول مازاد بر نیاز دانه‌ها تا این مرحله در بخش‌های گوناگون ساقه می‌باشد. از سویی، میان‌گره‌های پایینی ساقه، محل اصلی ذخیره‌سازی و انتقال مواد پرورده در پیش از گلدهی و میان‌گره‌های بالایی ساقه، محل مهمی برای مواد ذخیره‌ای پس از گلدهی می‌باشند (Bagherikia *et al*., 2018). در بین رقم‌های جو، وجود تفاوت‌های معنی‌دار از نظر کارآیی ماده خشک انتقال یافته نشان داد که رقم‌های دارای میزان انتقال

ماده خشک بالاتر، از کارآیی بالاتر نیز برخوردار هستند. هم‌چنین میزان سهم ماده خشک انتقال‌یافته از ساقه در پر شدن دانه توسط ساقه در اثر تنش آبی، تغییر معنی‌داری پیدا نمود. اثر تنش آبی بر میزان سهم ماده خشک انتقال‌یافته در ژنوتیپ‌های گوناگون متفاوت بوده است (Bodakli *et al*., 2007). Golabadi *et al* (2015) گزارش داده‌اند که سهم ذخایر فتوسنتزی در عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، پنج تا ۲۰ درصد بود، ولی در شرایط تنش، به حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد افزایش یافت. در پژوهش دیگر مشخص شد که بیشترین ذخیره‌سازی و انتقال مجدد، مربوط به میان‌گره‌های پایین بوده است و میان‌گره‌های پنالتیمیت و پدانکل در رتبه‌های بعدی بودند (Ehdaie *et al*., 2006). همچنین ضمن اشاره به تفاوت‌های ژنوتیپی در گندم، به‌نژادی برای مشارکت بیشتر ذخایر ساقه در عملکرد دانه در راستای پایداری عملکرد در محیط‌های پر تنش، امری اجتناب‌ناپذیر عنوان شد (Ehdaie *et al*., 2008).

کمبود آب آبیاری به‌ویژه در اواخر دوره رشد جو که هم‌زمان با کاهش یا فقدان بارندگی است، یکی از مشکلات اساسی کشاورزان در تولید این محصول می‌باشد و از آن‌جا که بهبود محصولات زراعی بر اساس افزایش تجمع ماده خشک در دانه یا تغییر تسهیم ماده خشک بوده است و با توجه به این‌که شناخت صحیح فرآیندهای تسهیم و سازگاری آن‌ها به تنش آبی در شرایط کمبود آب می‌تواند در پیش‌بینی عملکرد و مدیریت گیاه زراعی مفید واقع شود. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی اثر تنش آبی در مرحله گلدهی بر نحوه توزیع مواد فتوسنتزی بین بخش‌های گوناگون ساقه و شناسایی تأثیرگذارترین بخش در عملکرد نهایی در رقم‌های گوناگون جو انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت کرت‌های خردشده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر و در مزرعه‌ای در استان آذربایجان‌شرقی در منطقه گرنگاه واقع در جنوب شهرستان اهر با مختصات ۳۸ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و چهار دقیقه طول شرقی اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری کامل و تنش آبی در مرحله گلدهی) و کرت‌های فرعی شامل چهار رقم جو (سهند، بهمن، ماکوئی و والفجر) بودند. بافت خاک محل اجرای آزمایش، رسی لومی با هدایت الکتریکی ۰/۵۲ دسی‌زیمنس بر متر، محتوی کربن آلی ۰/۷۸ درصد، اسیدیته ۷/۲۵، نیتروژن ۰/۰۳ درصد، فسفر ۹/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و پتاسیم ۳۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود.

عملیات آماده‌سازی بستر کشت شامل شخم و دیسک در نیمه اول آبان ماه سال ۱۳۹۷ انجام شد و ۲۵ تن کود دامی کاملاً پوسیده در هکتار نیز به خاک مزرعه اضافه شد. به‌منظور تقویت خاک زراعی و تامین عناصر مورد نیاز گیاه و با توجه به نتیجه آزمایش خاک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن خالص) پیش از کشت به زمین داده شد و کشت به‌صورت دستی انجام گرفت. هر واحد آزمایشی در ابعاد دو در سه متر در نظر گرفته شد و فاصله خطوط کشت ۲۵ سانتی‌متر و فاصله هر بوته در روی ردیف سه سانتی‌متر بود. همچنین مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار اوره در زمان طویل شدن ساقه‌ها و ۳۰ کیلوگرم در هکتار در زمان خوشه‌دهی به‌صورت سرک استفاده شد. مبارزه با علف‌های‌هرز به‌صورت وجین دستی انجام گرفت.

اولین آبیاری پس از کاشت بود و در شرایط مطلوب رطوبتی و بر اساس نیاز گیاه و به روش نشتی انجام شد. برای این منظور، از تانسیومتری استفاده شد که قبلا واسنجی شده بود و در واحدهای آزمایشی با آبیاری کامل در زمان ظرفیت زراعی (FC) بود. در تیمار تنش مرحله گلدهی، آبیاری از مرحله گلدهی (زمانی‌که پرچم‌های سنبلچه‌های وسط بیرون آمده بود) قطع شد و تا رسیدن آب به ۲۰ درصد ظرفیت زراعی، مصادف با بروز علائم شدید تنش آبی و پژمردگی برگ‌ها ادامه داشت. در این آزمایش، نیمه نخست هر کرت آزمایشی جهت مقایسه عملکرد و اجزای آن در نظر گرفته شد و تا پایان فصل هیچ‌گونه

نمونه‌برداری از آن قسمت انجام نشد و نیمه دوم هر کرت، به نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری صفات دیگر اختصـاص یافـت.

برای محاسبه عملکرد و اجزای آن، ابتدا از مساحت یک مترمربع از ردیـف‌هـای میانی هر واحد آزمایشی با رعایت اثر حاشیه، برداشت شد و نمونه‌های کف‌بر شده توزین شدند و عدد حاصله به‌عنوان عملکرد زیستی در واحد سطح ثبت شد و سپس دانه‌ها جـدا و وزن شـدند و عملکـرد دانه در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته محاسبه شد. از تقسیم عملکـرد دانـه بـر عملکـرد زیستی، شاخص برداشت به‌دست آمد. به‌طورکلی و با توجه به این‌که در اکثر گیاهان زراعی، وزن خشک ساقه از ابتدای فصل رشد تا مرحله گلدهی روند افزایشـی دارد و پس از این مرحله تا زمان رسیدگی به دلیل انتقال مواد ذخیره‌ای به اندام‌های زایشی و خشک شدن آن‌ها کاهش می‌یابد (Kooler *et al*., 1970)، تنها به بررسی وزن خشک بخش‌های گوناگون ساقه در مراحـل ده روز بعد از گرده‌افشانی و گلدهی و رسیدگی پرداخته شد. به‌منظور تخمین قدرت ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در میان گره‌های ساقه شامل پدانکل (میان‌گره اول از بالای ساقه) و پنالتیمیت (میان‌گره دوم از بالای ساقه) و میان‌گره‌های زیری (میان‌گره‌های پایین‌تر از پدانکل و پنالتیمیت) و قدرت انتقال مجدد آن‌ها، ۱۰ بوته کامل در مرحله گلدهی در هر کرت مشخص شدند و در دو مرحله یعنی ده روز بعد از مرحله گلدهی و مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (هنگامی‌که محور سنبله‌ها کاملاً رنگ سبز خود را از دست دادند)، برداشت شدند و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (این نمونه-برداری در هر دو شرایط شاهد و تنش آبی برای کلیه رقم‌های کشت‌شده انجام شد). پس از جداسازی سنبله و برگ‌ها، میان‌گره‌های ساقه (پدانکل، پنالتیمیت و میان‌گره‌های زیری)، توزین و وزن خشک هر میان‌گره به‌تفکیک یادداشت شد. میزان انتقال ماده خشک از اندام رویشی به دانه با استفاده از رابطه ۱ (Ding et al., 2016; Pampana *et al*., 2007) و کارایی انتقال مجدد و سهم انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه نیز از رابطه‌های ۲ و ۳ محاسبه گردید (Pampana *et al*., 2007; Li *et al*., 2018).

(۱) ماده خشک در مرحله رسیدگی (به‌جز دانه) - ماده خشک در مرحله گرده‌افشانی= میزان انتقال مجدد

(۲) ۱۰۰× وزن خشک اندام هوایی در مرحله گرده‌افشانی/ انتقال مجدد ماده خشک = کارایی انتقال ماده خشک

(۳) ۱۰۰× عملکرد دانه/ انتقال مجدد ماده خشک = سهم انتقال مجدد ماده خشک در عملکرد دانه

جهت تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های حاصل، از نرم‌افزار M STAT C و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار MINITAB 14 تائید شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش آبیاری × رقم بر صفات عملکرد دانه و زیستی، میزان و کارآیی انتقال مجدد پدانکل و پنالتیمیت و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه پدانکل، وزن خشک پدانکل و میان‌گره‌های زیرین ساقه ده روز بعد از گرده‌افشانی و وزن خشک پدانکل، پنالتیمیت و میان-گره‌های زیرین ساقه در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، کارآیی انتقال مجدد میان‌گره‌های زیرین ساقه و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه میان‌گره پنالتیمیت معنی‌دار بود (جدول ۱). در مورد صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، وزن خشک پنالتیمیت ده روز بعد از گرده‌افشانی و میزان و سهم انتقال مجدد میان‌گره‌های زیرین، اثرات ساده سطوح آبیاری و رقم معنی‌دار بودند (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری‌شده در جو.

Table 1. Variance analysis (ANOVA) of measured traits in barley.

S.O.V.	d.f.	Mean Square								
		Plant height	Number of grains per spike	Weight of 1000-grains	Grain yield	Biological yield	Harvest index	Dry weight (10 days after pollination)		
								Peduncle	Penultimate	Lower internodes
Replication	2	5.468 ^{ns}	7.559 *	0.373 ^{ns}	737.266 **	29.211 ^{ns}	16.111 ^{ns}	740.466 ^{ns}	147.248 ^{ns}	33.089 ^{ns}
Irrigation	1	218.4 **	15.714 *	602.9.4 **	63411.15 **	62093.95 **	139.684 *	8348.487 *	2418.034 **	321.274 ^{ns}
Error a	2	2.102	0.292	0.128	0.226	425.565	4.091	91.120	8.163	36.456
Cultivar	3	640.0 **	79.984 **	76.437 **	12040.412 **	5377.767 **	78.431 **	5829.799 **	16884.283 **	15372.405 **
Cultivar × Irrigation	3	4.843 ^{ns}	0.883 ^{ns}	14.368 ^{ns}	783.611 **	527.779 **	14.808 ^{ns}	299.880 *	180.217 ^{ns}	34.236 *
Error b	12	2.790	0.809	4.808	106.243	122.331	5.002	64.875	81.870	59.074
CV (%)		6.56	4.36	5.26	7.43	7.07	4.48	8.47	9.37	5.22

S.O.V.	d.f.	Dry weight at physiological maturity			Rate of remobilization			Remobilization efficiency			Contribution of remobilization		
		Peduncle	Penultimate	internodes	Peduncle	Penultimate	internodes	Peduncle	Penultimate	internodes	Peduncle	Penultimate	internodes
Replication	2	258.60 ^{ns}	50.52 ^{ns}	551.05 **	127.16 ^{ns}	38.122 ^{ns}	316.15^{ns}	0.295 ^{ns}	3.294 ^{ns}	74.034 *	0.820 ^{ns}	0.587 ^{ns}	17.030 **
Irrigation	1	1186.4 **	9493.89 *	10998.7 **	309.45 *	2327.35 ^{ns}	7560.4 **	356.12**	819.118 *	1399.4 **	319.66 **	520.429 *	459.72 **
Error a	2	64.37	120.02	1.34	11.925	145.691	39.012	1.726	27.011	0.887	0.339	7.980	0.081
Cultivar	3	434.22 **	1388.30 **	11028.43 **	8865.51**	20160.7 **	1371.7 **	408.50 **	1019.9 **	165.44**	173.39**	560.40 **	40.664 **
Cultivar × Irrigation	3	325.06 *	300.39 *	101.15 *	907.68**	863.32 **	160.62 ^{ns}	56.947 **	98.073 **	3.308 *	34.408 **	21.524 *	5.424 ^{ns}
Error b	12	64.81	52.43	28.35	15.647	118.813	94.264	2.563	9.796	13.612	0.830	5.945	5.142
CV (%)		6.23	5.00	6.65	6.91	8.81	20.78	9.89	7.03	19.28	8.34	9.86	17.72

*،

** و ^{ns}: به‌ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و غیر معنی‌دار.

*, ** and ^{ns}: Significant at the 5%,and 1% ofprobability levels and non-significant, respectively.

عملکرد دانه و اجزای آن

ارتفاع بوته

اعمال تنش آبی در مرحله گلدهی، باعث کاهش ارتفاع بوته به میزان ۸/۸۶ درصد شد که اختلاف معنی‌داری در برهمکنش رقم با تنش آبی وجود نداشت (جدول ۱، ۲) و طول بوته رقم‌های بهمن و ماکویی بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر، بیشتر از ارتفاع بوته رقم-های والفجر و سهند بود، به‌نحوی‌که در این پژوهش، کمترین ارتفاع بوته به رقم سهند تعلق داشت (جدول ۲). آب بین ۸۵ تا ۹۵ درصد از حجم بافت در حال رشد را تشکیل می‌دهد و بروز خشکی به کاهش پتانسیل تورگر در سلول گیاهی منجر می‌شود و با تأثیر بر رشد و نمو سلول‌های ساقه، از رشد طولی آن-ها جلوگیری می‌کند و سبب کاهش ارتفاع بوته می‌شود، به‌طوری‌که کاهش ارتفاع بوته و طول میان-گره در اثر کمبود آب و ایجاد خشکی را در پی دارد (Tousi-Mojarrad *et al*., 2007). غلات تا زمان گلدهی، بیشترین ارتفاع خود را به دست آورده‌اند و در مراحل باقی‌مانده رشد، تغییر چندانی در ارتفاع بوته حاصل نمی‌شود و از طرف دیگر، چون در پژوهش حاضر تنش آبی بعد از گلدهی اعمال شد، انتظار نمی-رفت که تفاوت زیادی بین دو شرایط تنش آبی و شرایط آبیاری کامل باشد، به‌طوریکه این اختلاف در حد ۸/۸۶ درصد بود. نتایج اغلب پژوهش‌ها هم نشان داده‌اند که تنش رطوبتی پیش از مرحله گرده‌افشانی غلاتی مانند گندم، باعث کاهش رشد و نمو و زیست-توده می‌شود (Richard *et al*., 2001). غیر از موارد استثنا، به نظر می‌رسد که رقم‌هایی با ارتفاع بیشتر، قابلیت بیشتری در شکل‌گیری عملکرد دانه به‌وسیله ذخایر ساقه داشته باشند که ممکن است به‌دلیل ذخیره بیشتر کربوهیدرات‌ها در ساقه این رقم‌ها باشد (Abdoli *et al*., 2015).

جدول ۲- تأثیر رژیم‌های آبیاری بر اجزای عملکرد و شاخص برداشت رقم‌های جو.

Table 2. Effect of irrigation regimes on yield components and harvest index of barley cultivars.

		Plant height (cm)	Number of grains per spike	Weight of 1000-grains (g)	Harvest index
Irrigation regime	Normal	68.16 a	21.42 a	46.72 a	66.62 a
	Stress	62.12 b	19.80 b	36.70 b	61.79 b
Cultivar	Valfajr	65.72 b	15.82 c	36.90 b	58.94 b
	Bahman	73.03 a	24.23 a	43.29 a	65.97 a
	Makui	71.42 a	22.46 a	41.41 ab	64.90 a
	Sahand	50.38 c	19.92 b	45.24 a	67.02 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letter(s) in the same columns are not significantly different at 5% of probability level, based on Duncan test.

تعداد دانه در سنبله

با اعمال تنش آبی در مرحله گلدهی، تعداد دانه در بوته ۷/۵۶ درصد کاهش یافت(جدول ۲). بین رقم‌های گوناگون نیز در مورد این صفت اختلاف معنی‌داری مشاهده شد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد دانه در سنبله رقم‌های بهمن (۲۴/۲۳) و ماکویی (۲۲/۴۶) و کمترین آن در رقم والفجر (۱۵/۸۲) مشاهده شد (جدول ۲). فروکتوزهای موجود در ساقه در اثر فعالیت آنزیم ساکارز فسفات سنتاز به ساکارز تبدیل و از طریق آوند آبکشی، راهی دانه‌های در حال رشد می‌شوند (Liu *et al*., 2015). در آندوسپرم دانه‌های در حال پرشدن نیز فعالیت آنزیم ساکارز سینتاز و آنزیم اینورتاز با شدت بیشتری صورت می‌گیرد تا ساکارز رسیده که حاصل فتوسنتز جاری و انتقال مجدد است را به گلوکز و فروکتوز تبدیل کند و در نهایت سبب انباشت مواد به فرم نشاسته و پرشدن آندوسپرم دانه شود (Mphande *et al*., 2016). به‌نظر می‌رسد با توجه به این‌که پتانسیل تولید دانه در مراحل پیش از گلدهی تعیین می‌شود، وقوع تنش رطوبتی در مرحله پس از گرده-افشانی، تأثیری بر تعداد دانه در سنبله نداشته باشد، ولی کاهش تعداد دانه در اثر اعمال تنش رطوبتی در مرحله گرده‌افشانی و پس از آن، ممکن است به دلیل اختلال در گرده‌افشانی، عقیم شدن دانه‌های گرده و

اختلال در فتوسنتز جاری و از طرفی انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده از بخش‌های گوناگون گیاهی از جمله ساقه‌ها باشد. برخورد زمان گرده‌افشانی با گرما و تنش آبی نیز منجر به عقیم ماندن گل‌ها می‌شود که به‌تبع آن، تعداد دانه در سنبله را به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌دهد (Ehdaie *et al*., 2008; Wu *et al*, 2015). نتیجه پژوهشی در روی جو نشان داد که تنش آبی، موجب کاهش تعداد دانه در سنبله به میزان ۱۴/۷ درصد نسبت به شرایط عدم تنش آبی شد (Ebadi *et al*., 2007).

وزن هزار دانه

با توجه به معنی‌دار نبودن برهمکنش رقم و تنش آبی بر وزن هزار دانه (جدول ۱)، بررسی مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که بین رقم‌های بهمن، ماکویی و سهند از نظر وزن هزار دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت و در بین رقم‌ها، کمترین مقدار وزن هزار دانه در رقم والفجر (۳۶/۹۰ گرم) مشاهده شد؛ این در حالی است که وزن هزار دانه رقم والفجر با رقم ماکویی اختلاف معنی‌داری نشان داد. وزن هزار دانه رقم‌ها در شرایط تنش نسبت به آبیاری کامل، ۲۱/۴۵ درصدی کاهش داشت. احتمالاً دلیل این واکنش، عدم تأمین مواد فتوسنتزی مورد تقاضای دانه‌ها می‌باشد، زیرا در این شرایط، فتوسنتز جاری به‌وسیله تنش رطوبتی و تنش گرمایی دچار اختلال می‌شود. علت این واکنش آن است که تنش آبی، موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود که به‌تبع آن، وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Emam *et al*., 2007). Akbari Moghaddam *et al* (2002) نشان دادند که قطع آبیاری در مرحله ظهور سنبله گندم، عملکرد دانه و زیست‌توده را به ترتیب ۳۶ و ۲۰ درصد کاهش داد. به‌طورکلی، وقوع تنش بلافاصله پیش از آبستنی، باعث کاهش تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله می‌شود. بعد از آن، تنش کمبود آب در گندم و جو روی اندازه دانه مؤثر است و حذف آبیاری در این دوره، موجب کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه در هکتار می‌شود (Nikolaeva *et al*., 2010). جو بیشترین حساسیت را به تنش آبی در طول دوره ساقه‌دهی، آبستنی و ظهور سنبله دارد. چنانچه وقوع تنش آبی، پیش و در طول دوره سنبله‌دهی رخ دهد، موجب بیشترین کاهش عملکرد می‌شود و نشان می‌دهد که زمان‌های گلدهی و گرده‌افشانی، حساس‌ترین دوره رشد و نمو جو به خشکی می‌باشند (Bauder, 2002). پس تنش رطوبتی پس از مرحله گرده‌افشانی، عملکرد را بیشتر از طریق کاهش وزن هزار دانه به شرط تعداد دانه مساوی در سنبله کاهش می‌دهد، زیرا در این مرحله، مواد فتوسنتزی به دانه‌ها منتقل می‌شوند؛ بنابراین هرگونه کاهش در میزان آب قابل‌دسترس گیاه، موجب کوچک و لاغر شدن دانه‌ها می‌شود (Dalvandi *et al*., 2013). نتایج پژوهش حاضر، به تأثیر عدم آبیاری در مرحله گلدهی بر روی وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله اشاره دارد (جدول ۲). کمبود آب به‌طور پیوسته (در طی فصل به‌صورت تدریجی اتفاق می‌افتد)، باعث ایجاد راه کارهای متعدد در گیاه از آن جمله کاهش تعداد دانه در سنبله می‌شود، تا از ایجاد دانه‌هایی با وزن هزار دانه پایین جلوگیری کند، اما وقوع ناگهانی کمبود آب، منجر به کاهش شدید در وزن هزار دانه می‌شود. کاهش تعداد دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در جو تحت شرایط کمبود آب، در پژوهش‌های دیگر نیز مشاهده شده است (Jahanbin, 2003; Saeidi *et al*., 2016).

عملکرد دانه

مقایسه میانگین داده‌های مربوط به برهمکنش رقم‌های گوناگون با سطوح گوناگون تنش نشان داد (جدول ۳) که بالاترین عملکرد دانه در رقم بهمن (۵۸۵/۸ گرم در متر مربع) و ماکویی (۵۵۸/۹ گرم در متر مربع) در شرایط آبیاری کامل مشاهده شد و کمترین مقدار آن به رقم والفجر (۳۹۵/۸ گرم در متر مربع) در شرایط تنش آبی در مرحله گلدهی تعلق داشت. کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری کامل برای رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند به‌ترتیب ۱۶/۶۳، ۱۸/۵۹، ۲۳/۵۵ و ۱۵/۸۷ درصد بود. می‌توان گفت که رقم ماکویی با ۲۳/۵۵ درصد کاهش در مقدار عملکرد دانه نسبت به بقیه

رقم‌ها، بیشترین کاهش را در شرایط تنش آبی داشته است (جدول ۳). در مجموع عملکرد تمام رقم‌ها در مواجهه با شرایط تنش آبی پس از گلدهی کاهش پیدا کرد که احتمالاً به‌خاطر کاهش میزان مواد فتوسنتزی تولیدی طی فرآیند فتوسنتز است که سبب کاهش وزن هزار دانه و به‌تبع آن عملکرد دانه می‌شود و حتی انتقال مجدد نیز نتوانسته است میزان کاهش عملکرد را جبران نماید (Abdoli *et al*., 2015; Tatar *et al*., 2016). با توجه به این‌که تنش آبی در مرحله گلدهی اعمال شد و عملکرد دانه بعد از این مرحله شکل می‌گیرد، بنابراین باعث می‌شود که عملکرد دانه به شدت تحت تأثیر تنش آبی قرار گیرد. مشخص شده است که تنش آبی در مراحل زایشی به‌صورت معنی‌داری موجب کاهش وزن خشک ساقه، زیست توده و عملکرد دانه شده است؛ همچنین تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه تحت تأثیر تنش آبی پس از گرده‌افشانی قرار می‌گیرد که در نهایت افت عملکرد را در پی خواهد داشت (Rezaei & Jabbari, 2015). میزان کاهش در عملکرد دانه جو در اثر اعمال تنش آبی در مرحله گلدهی، توسط محققین دیگر نیز بررسی شده و حدود ۱۶/۲ تا ۱۷ درصد عنوان شده است (Ebadi *et al*., 2012). در پژوهش حاضر، تنش رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در رقم‌ها شد و مقدار کاهش عملکرد دانه در رقم‌های مورد بررسی یکسان نبود؛ می‌توان چنین نتیجه گرفت رفتار رقم‌ها از نظر انتقال مجدد ذخایر موجود در اندام‌های هوایی در مرحله پر شدن دانه متفاوت می‌باشد.

جدول ۳- تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکردهای دانه و بیولوژیک رقم‌های جو.

Table 3- Effect of irrigation regimes on grain and biological yields of barley cultivars.

			Grain yield (g/m^2)	Biological yield (g/m^2)
Irrigation regime	Normal	Valfajr	476.6 c	792.0 c
		Bahman	585.8 a	868.1 a
		Makui	558.9 b	803.2 c
		Sahand	578.4 ab	835.4 b
	Stress	Valfajr	397.8 e	690.0 f
		Bahman	476.9 c	740.5 d
		Makui	427.3 d	709.8 e
		Sahand	486.6 c	751.5 d

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letter(s) in the same columns are not significantly different at 5% of probability level, based on Duncan test.

عملکرد زیستی

بالاترین عملکرد زیستی در رقم بهمن و در شرایط آبیاری کامل (۸۶۸/۱ گرم در متر مربع) و کمترین مقدار آن در رقم والفجر (۶۹۰/۰ گرم در متر مربع) و در شرایط اعمال تنش رطوبتی مشاهده شد (جدول ۳). به‌طورکلی نتایج مقایسه میانگین، حاکی از کاهش در مقدار عملکرد زیستی رقم‌ها در اثر تنش آبی بود که مقدار کاهش مربوط به رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند به‌ترتیب ۱۲/۸۸، ۱۴/۷۰، ۱۱/۶۳ و ۱۰/۰۴ درصد بود؛ بیشترین مقدار کاهش در رقم بهمن و کمترین آن در رقم سهند ثبت شد. در اثر قطع آبیاری، سطح برگ کل یک گیاه بعد از رسیدگی برگ‌ها به‌صورت ثابت باقی نمی‌ماند و تحت این شرایط، برگ‌ها پیر شده و ریزش می‌کنند و در نهایت سبب کاهش ماده خشک هر بوته می‌شوند. فرآیند ریزش برگ در طول تنش آبی تا حدود زیادی حاصل افزایش سنتز و حساسیت به هورمون اتیلن در درون گیاه است (Mousavi Nick & Mobser, 2007). ریزش برگ‌ها به عنوان یک سازوکار مؤثر جهت کاهش تعرق و اختلاف پتانسیل بین ریشه‌ها و برگ‌ها در شرایط تنش رطوبتی و یا به‌منظور انتقال مجدد مواد پرورده به دانه‌ها یا اندام‌های در حال رشد صورت می‌گیرد و تخصیص نسبتاً بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها، سبب کاهش عملکرد زیستی گیاه در شرایط فوق می‌شود (Emam & Zavareh, 2005). نتایج پژوهش Monajem *et al* (2011) نشان

داد که تنش آبی اعمال‌شده در مرحله گلدهی، کاهش ۵۱/۲ درصدی عملکرد دانه و ۴۳/۶ درصدی ماده خشک تک بوته را به‌دنبال داشت.

شاخص برداشت

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد (جدول ۲) که شاخص برداشت در اثر اعمال تنش آبی در مرحله گلدهی جو کاهش ۷/۲۵ درصدی داشت. در بین رقم‌ها نیز رقم والفجر شاخص برداشت کمتری نسبت به سایر رقم‌ها داشت و بین شاخص برداشت رقم‌های بهمن، ماکویی و سهند اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در پژوهش حاضر، تنش، عملکرد دانه و زیستی را کاهش داد؛ بنابراین شاخص برداشت نیز کاهش یافتن. نتایج Ebadi *et al.* (2012) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و شاخص برداشت، در شرایط بدون تنش مشاهده شد و تنش در مرحله گلدهی باعث کاهش در مقدار شاخص برداشت شد. Baheri *et al* (2005) نیز کاهش عملکرد دانه و زیستی و شاخص برداشت در جو را در اثر اعمال تنش آبی در مرحله گلدهی گزارش نمودند.

تخصیص مواد از ساقه به دانه

وزن خشک بخش‌های گوناگون ساقه

بیشترین وزن خشک پدانکل در زمان ده روز بعد از گرده‌افشانی، در رقم‌های بهمن (۳۷۵/۸ گرم در متر مربع) و سهند (۳۷۳/۱ گرم در متر مربع) در شرایط آبیاری کامل (جدول ۴) و کمترین آن مربوط در رقم والفجر (۲۷۵/۳ گرم در متر مربع) در شرایط اعمال تنش رطوبتی در مرحله گلدهی مشاهده شد (جدول ۴). مقدار کاهش وزن خشک پدانکل ده روز بعد از گرده‌افشانی در شرایط اعمال تنش نسبت به حالت آبیاری کامل در رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند به‌ترتیب ۶/۵۲، ۱۳/۴۱، ۹/۳۵ و ۱۲/۶۸ درصد بود که بیشترین درصد کاهش در وزن خشک پدانکل در شرایط تنش آبی نسبت به حالت بدون تنش در مرحله ده روز بعد از گرده‌افشانی، مربوط به رقم بهمن بود. این در حالی است که مقدار کاهش وزن خشک پنالتیمیت در مرحله ده روز بعد از گرده‌افشانی (جدول ۵) در حالت اعمال تنش نسبت به عدم آن، ۷/۲۰ درصد بود و در بین رقم‌ها، رقم بهمن دارای بیشترین وزن خشک پنالتیمیت در مرحله ده روز بعد از گرده‌افشانی نسبت به سایر رقم‌های مورد بررسی در این پژوهش بود. مقایسه میانگین داده‌های وزن خشک میان‌گره‌های زیرین ساقه در مرحله ده روز بعد از گرده‌افشانی نشان داد (جدول ۴) که بیشترین وزن خشک میان‌گره‌های زیرین در این مرحله، به رقم‌های بهمن و سهند در حالت آبیاری کامل و شرایط تنش آبیاری در مرحله گلدهی تعلق داشت. به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت که برای رقم‌های بهمن و سهند، اعمال تنش رطوبتی، تغییر معنی‌داری در وزن خشک میان‌گره‌های زیرین ساقه تا مرحله ده روز بعد از گرده‌افشانی نداشت. این حالت در مورد رقم والفجر نیز صادق بود، ولی رقم ماکویی در شرایط تنش نسبت به حالت آبیاری کامل کاهش ۷/۳۷ درصدی نشان داد.

وزن خشک پدانکل در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (جدول ۴) برای رقم‌های والفجر و ماکویی در شرایط آبیاری کامل، دارای بیشترین میزان بود که در مقایسه با وزن خشک پدانکل این رقم‌ها در زمان ده روز بعد از گرده‌افشانی، به‌ترتیب ۲۵/۵۳ و ۳۲/۵۶ درصد کاهش داشت. این در حالی است که کمترین مقدار وزن پدانکل در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در رقم سهند در شرایط تنش آبی ثبت شد که نسبت به حالت بدون تنش، کاهش ۲۴/۱۷ درصدی داشت؛ این کاهش برای رقم‌های والفجر، بهمن و ماکویی به‌ترتیب ۱۹/۸۴، ۱۲/۴۳ و ۱۸/۳۸ درصد بود. بنابراین می‌توان عنوان کرد که وزن خشک پنالتیمیت رقم سهند در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و در شرایط تنش نسبت به حالت بدون تنش، کاهش بیشتری نسبت به رقم‌های دیگر داشته است. وزن خشک پنالتیمیت رقم‌های بهمن، ماکویی و سهند در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در شرایط تنش و عدم آن، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴) و کاهشی در حدود ۱۷/۹۱ تا ۲۳/۵۶ درصد نشان دادند، درحالی‌که رقم والفجر با وزن پنالتیمیت ۱۹۶/۹ گرم در متر مربع در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در شرایط بدون تنش، بیشترین مقدار را داشت و با اعمال تنش، کاهش

۳۰/۵۷ درصدی از خود نشان داد. بیشترین مقدار وزن خشک سایر میان‌گره‌ها در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، به رقم سهند در شرایط بدون تنش تعلق داشت. وزن خشک میان‌گره‌های زیرین ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در شرایط تنش رطوبتی نسبت به آبیاری کامل برای رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند به‌ترتیب ۱۶/۵۹، ۲۰/۸۰، ۲۳/۱۹ و ۱۷/۴۰ درصد کاهش داشت.

جدول ۴- تأثیر رژیم‌های آبیاری بر وزن خشک میان‌گره‌های گوناگون ساقه رقم‌های جو.

Table 4. Effect of irrigation regimes on dry mater of stem internodes of barley cultivars.

			Dry weight (10 days after pollination)		Dry weight at physiological maturity		
			Peduncle (g/m^2)	Lower internodes (g/m^2)	Peduncle (g/m^2)	Penultimate (g/m^2)	Lower internodes (g/m^2)
Irrigation regime	Normal	Valfajr	294.5 c	212.5 b	219.3 a	196.9 a	207.4 d
		Bahman	375.8 a	287.2 a	200.4 b	156.3 b	253.9 b
		Makui	336.0 b	188.3 c	226.6 a	149.6 b	164.3 e
		Sahand	373.1 a	281.1 a	204.0 b	155.8 b	263.8 a
	Stress	Valfajr	275.3 d	209.3 b	175.8 c	136.7 c	173.0 e
		Bahman	325.4 b	282.9 a	175.5 c	128.3 cd	201.1 d
		Makui	304.6 c	174.4 d	166.5 cd	115.5 d	126.2 f
		Sahand	325.8 b	273.3 a	154.7 d	119.1 d	217.9 c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letter(s) in the same columns are not significantly different at 5% of probability level, based on Duncan test.

جدول ۵- تأثیر رژیم‌های آبیاری بر وزن خشک پنالتیمیت ده روز از گرده‌افشانی رقم‌های جو.

Table 5. Effect of irrigation regimes on penultimate dry weight, 10 days after anthesis of barley cultivars.

		Penultimate dry weight (10 days after pollination) (g/m^2)
Irrigation regime	Normal	278.58 a
	Stress	258.51 b
Cultivar	Valfajr	233.3 c
	Bahman	332.9 a
	Makui	217.7 c
	Sahand	290.2 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letter(s) in the same columns are not significantly different at 5% of probability level, based on Duncan test.

در پژوهش حاضر، وزن خشک بخش‌های گوناگون ساقه در اثر اعمال تنش آبی در هر دو مرحله ده روز بعد از گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک کاهش نشان داد و میزان این کاهش در تمام رقم‌ها در زمان رسیدگی فیزیولوژیک بیشتر از زمان ده روز بعد از گرده‌افشانی بود. با توجه به‌این‌که پرشدن سلول‌های آندوسپرمی، حدود دو هفته پس از گلدهی شروع می‌شود و تا این زمان، هنوز مخزن‌های قوی مواد فتوسنتزی فعال نشده‌اند، مازاد مواد فتوسنتزی جاری به‌ویژه برگ‌ها در ساقه تجمع می‌یابد، به‌طوری‌که حداکثر وزن ساقه جو در فاصله هفت تا ۲۰ روز پس از گلدهی به‌دست آمد و پس از آن روند نزولی داشت که به‌خاطر کاهش فتوسنتز جاری (در اثر پیرشدن برگ‌ها) و افزایش میزان انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از ساقه به دانه است (Ma *et al*., 2013). دلیل کاهش وزن خشک اندام‌های هوایی در شرایط تنش خشکی را می‌توان کاهش سطح برگ دانست که باعث کاهش دریافت نور و میزان فتوسنتز می‌شود (Ourcut & Nilsen, 2000). از طرفی دمای بالای برگ به علت بسته شدن روزنه‌ها تحت شرایط تنش آبی، به عنوان یکی از عوامل مهم کاهش میزان تولید ماده خشک در گیاهان مطرح شده است (Iramki *et al*., 2000). در شرایط تنش آبی، آب‌کشیدگی و کاهش حجم سلولی در اندام‌های هوایی، بیشتر از ریشه‌ها رخ

می‌دهد؛ بنابراین تحت این شـرایط، ذخـایر فتوسنتزی بیشتری به ریشه‌ها اختصاص داده می‌شود و وزن اندام‌های هوایی نقصان می‌یابد، گیاه بیشتر انرژی خود را صرف حفـظ و بقـا در شرایط تنش می‌کند و در نتیجه رشد و توسـعه سـلولی خـود را کنـد و در شرایط تنش شـدید، رشد را متوقـف مـی‌کنـد (Mousavi Nick & Mobser, 2007). در پژوهشی روی رقم‌های گوناگون جو و گندم عنوان شد که هنگامی‌که سرعت فتوسنتز گیاه در شرایط تنش رطوبتی با گرمای بعد از گلدهی کاهش می‌یابد، پر شدن دانه به‌صورت قابل‌توجهی وابسته به انتقال مجدد ذخایر ساقه می‌باشد؛ آن‌ها میزان مشارکت این ذخایر در شکل‌گیری عملکرد دانه در این شرایط را ۲۲ تا ۶۶ درصد وزن خشک دانه گزارش کردند (Blum, 2005) و از طرفی نیز، میان‌گره پدانکل پس از گرده‌افشانی به رشد و گسترش طولی و وزنی خود ادامه می‌دهد (Abdoli & Saeidi, 2012) و پس منبع مناسبی برای جذب مواد فتوسنتزی مازاد طی فتوسنتز است که می‌تواند از دلایل افزایش وزن آن نسبت به بقیه میان-گره‌ها در پژوهش حاضر باشد.

میزان، کارایی و سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه

رقم سهند در شرایط آبیاری کامل و تنش آبیاری، بیشترین میزان انتقال مجدد پدانکل (جدول ۶) را داشت که اختلاف معنی‌داری با میزان انتقال مجدد پدانکل در رقم بهمن در شرایط خشکی نداشت، درحالی‌که رقم والفجر در شرایط آبیاری کامل، کمترین را دارا بود. میزان انتقال مجدد رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند در شرایط اعمال تنش آبی در مرحله گلدهی نسبت به حالت آبیاری مطلوب، به‌ترتیب افزایش ۲۳/۰۹، ۱۶/۹۴، ۲۶/۴۴ و ۱/۱۸ درصدی داشت که حاکی از میزان انتقال مجدد بالای پدانکل در رقم ماکویی نسبت به سایر رقم‌ها است. رقم بهمن درشرایط اعمال تنش آبی، ، دارای میزان بالایی از انتقال مجدد پنالتیمیت بود (جدول ۶).

جدول ۶- تأثیر رژیم‌های آبیاری بر میزان، کارایی و سهم انتقال مجدد رقم‌های جو.

Table 6. Effect of irrigation regimes on rate, efficiency and contribution of remobilization of barley cultivars.

			Rate of remobilization (g/m^2)		Remobilization efficiency (%)			Contribution of remobilization (%)	
			Peduncle	Penultimate	Peduncle	Penultimate	Lower internodes	Peduncle	Penultimate
Irrigation regime	Normal	Valfajr	75.28 f	40.90 e	25.53 e	17.16 e	2.38 e	15.78 f	8.567 e
		Bahman	149.9 b	170.30 b	46.68 b	50.25 b	11.47 cd	29.94 c	32.96 b
		Makui	109.3 d	80.91 d	31.53 d	34.76 d	12.82 cd	19.56 e	14.46 d
		Sahand	169.1 a	140.8 c	45.38 b	47.51 bc	6.18 de	29.25 c	24.34 c
	Stress	Valfajr	98.54 e	92.05 d	35.94 c	40.28 cd	17.08 bc	24.77 d	23.17 c
		Bahman	175.3 a	193.00 a	50.08 b	59.43 a	28.90 a	31.43 bc	39.59 a
		Makui	138.2 c	89.48 d	45.36 b	43.67 c	27.71 a	32.36 b	20.96 c
		Sahand	171.1 a	164.60 bc	52.56 a	58.02 a	20.24 b	35.16 a	33.85 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letter(s) in the same columns are not significantly different at 5% of probability level, based on Duncan test.

میزان انتقال مجدد پنالتیمیت نیز مانند پدانکل در رقم والفجر کمترین مقدار را نشان داد. این میزان در شرایط تنش در رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند، به‌ترتیب ۱۲۵/۰۶، ۱۳/۳۲، ۱۰/۵۹ و ۱۶/۹۰ درصد آن نسبت به حالت عدم تنش افزایش داشت. میان‌گره‌های زیرین، نشان‌دهنده افزایش میزان انتقال مجدد ۱۷۸/۲۵ درصدی در شرایط اعمال تنش بودند (جدول ۷) و در بین رقم‌ها، رقم بهمن دارای بیشترین میزان انتقال مجدد میان‌گره‌های زیرین بود که اختلاف معنی‌داری با رقم‌های ماکویی و سهند نداشت. به‌طورکلی می‌توان مطرح کرد که با اعمال تنش رطوبتی در مرحله گلدهی، میزان انتقال مجدد در تمام بخش‌ها و میان‌گره‌های ساقه افزایش داشته است که رقم‌های گوناگون، تفاوت‌هایی در میزان انتقال

مجدد از بخش‌های گوناگون ساقه داشتند، به‌طوری‌که در مورد رقم‌های والفجر و سهند، میزان انتقال پنالتیمیت بالاتر از پدانکل بود و رقم‌های بهمن و ماکویی، میزان انتقال مجدد بالایی از پدانکل و میان-گره‌های زیرین ساقه داشتند. به‌طورکلی این آزمایش نشان داد که انتقال مجدد ماده خشک، نقش مهمی در عملکرد نهایی دانه ایفا می‌نماید. رقم‌هایی که توانایی بالایی در انتقال مجدد ماده خشک داشتند، دارای عملکرد نهایی بهتری بودند. تفاوت موجود بین میان-گره‌های گوناگون ساقه تا حدی قابل پیش‌بینی است، زیرا میزان کربوهیدرات‌ها در پدانکل تا بعد از گلدهی و زمانی که رشد آن کامل نشده است، ذخیره نمی-شود. با توجه به این موارد، به‌نظر می‌رسد که در هنگام بروز تنش آبی پس از گرده‌افشانی، پنالتیمیت از طریق انتقال مقدار بیشتر قند محلول به دانه‌های در حال رشد، سهم بیشتری در پرشدن دانه‌ها داشته باشد (Kulshrestha *et al*., 2013).

جدول ۷- تأثیر رژیم‌های آبیاری بر میزان و سهم انتقال مجدد میانگره‌های زیرین ساقه رقم‌های جو.

Table 7. Effect of irrigation regimes on rate of remobilization and contribution to lower stem internodes of barley cultivars.

		Rate of remobilization to lower internodes (g/m^2)	Contribution of remobilization to lower internodes (%)
Irrigation regime	Normal	19.91 b	3.52 b
	Stress	55.40 a	12.27 a
Cultivar	Valfajr	20.68 b	5.19 b
	Bahman	57.50 a	11.43 a
	Makui	36.11 ab	7.79 ab
	Sahand	36.33 ab	7.19 ab

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد و بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with the same letter(s) in the same columns are not significantly different at 5% of probability level, based on Duncan test.

احتمالاً بالا بودن میزان انتقال مجدد ماده خشک از میان‌گره پدانکل در برخی از رقم‌ها به این خاطر است که انتقال مجدد از این میان‌گره به‌دلیل نزدیکی به مخزن (دانه‌ها)، سریع‌تر است و با انرژی کمتر، مواد فتوسنتزی را به دانه منتقل می‌نماید (Mehrpouyan *et al*., 2012). همچنین Zhang *et al*. (2015) بیان کردند که میزان انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای از میان-گره‌های پایینی ساقه نسبت به میان‌گره‌های بالایی بیشتر است که این نتیجه با نتایج پژوهش حاضر مغایر است. در پژوهش حاضر، بین رقم‌ها به لحاظ نقش بخش‌های گوناگون ساقه در انتقال مجدد ماده خشک اختلاف وجود داشت، ولی به‌طورکلی تنش آبی در مرحله گلدهی، سبب افزایش میزان انتقال مجدد شد. مطابق با نتایج این پژوهش، در گیاه ذرت دانه‌ای گزارش شد که با افزایش شدت تنش آبی (کم‌آبیاری)، میزان و سهم توزیع مجدد در پر کردن دانه‌ها افزایش بافت (Madeh Khaksar *et al*., 2014). همچنین Ebadi *et al*. (2007) گزارش کردند که عدم آبیاری، باعث افزایش میزان انتقال مجدد ماده خشک از اندام-های متعدد گیاهی به دانه شد. سهم انتقال مجدد ماده خشک در شرایط عدم آبیاری و قطع آبیاری در مرحله گلدهی به‌ترتیب ۸۲/۵ و ۳۶/۵ درصد نسبت به آبیاری معمول در تولید جو بهاره بود. همچنین عنوان شد که عدم آبیاری دارای اثر مستقیم بر کاهش عملکرد دانه است و ژنوتیپ‌های جو بهاره مورد مطالعه، واکنش‌های متفاوتی نسبت به عدم آبیاری از خود نشان می‌دهند (Ebadi *et al*., 2007).

بیشترین مقدار کارایی انتقال مجدد پدانکل به رقم سهند در شرایط تنش آبی تعلق داشت (جدول ۶). در مورد کارایی انتقال مجدد پنالتیمیت، رقم سهند و بهمن در شرایط تنش برتر بودند و رقم‌های بهمن و ماکویی بیشترین کارایی انتقال مجدد میان‌گره‌های زیرین را در شرایط اعمال تنش آبی داشتند. کارایی انتقال مجدد بخش‌های گوناگون ساقه در شرایط تنش، افزایش معنی‌داری را نسبت به شرایط بدون تنش داشت (جدول ۶) به‌نحوی‌که این افزایش در

مورد بخش پدانکل رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند به‌ترتیب ۱۰/۴۱، ۳/۴، ۱۳/۸۳ و ۷/۱۸ درصد بود و در مورد کارایی انتقال مجدد پنالتیمیت این افزایش به‌ترتیب ۲۳/۱۲، ۹/۱۸، ۸/۹۱ و ۱۰/۵۱ درصد بود. کارایی انتقال مجدد میان‌گره‌های زیرین ساقه (جدول ۶) رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند به‌ترتیب ۱۴/۷، ۱۷/۴۳، ۱۴/۸۹ و ۱۴/۰۶ درصد افزایش داشت. با توجه به نتایج حاصل می‌توان عنوان نمود که کارایی انتقال مجدد میان‌گره‌های زیرین ساقه در تمام رقم‌ها غیر از رقم والفجر، بالاترین مقدار را نسبت به کارایی انتقال مجدد پنالتیمیت و پدانکل در شرایط تنش داشته است و در مورد رقم والفجر، کارایی انتقال مجدد پنالتیمیت بیشتر از پدانکل و میان‌گره‌های زیرین ساقه بود. بیشتر بودن کارایی انتقال مجدد ماده خشک در مرحله گلدهی به دلیل افزایش تقاضای دانه‌ها برای مواد فتوسنتزی و کاهش عرضه فتوسنتز جاری در مرحله گلدهی، منجر به افزایش کارایی انتقال مجدد ماده خشک شد. این وضعیت بیانگر آن است که تحت شرایط تنش خشکی در مرحله گلدهی، نسبت ماده خشک منتقل‌شده به ذخیره‌شده بیشتر می‌شود تا کاهش عملکرد دانه را تا حدی جبران نماید. بر اساس نتایج حاصل از پژوهش Ebadi *et al*. (2012)، در شرایط عدم آبیاری، کارایی ماده خشک انتقال‌یافته از اندام‌های گوناگون هوایی به دانه بیش از ۵۰ درصد افزایش داشت. در شرایط تنش رطوبتی، میزان انتقال مجدد ماده خشک از میان‌گره‌های پایین ساقه (میان‌گره‌های زیر پنالتیمیت) به دانه ۱۱ درصد، کارایی انتقال ۳۲ درصد و سهم آن در عملکرد دانه ۱۲۱ درصد افزایش یافتند. در بررسی اثر تنش آبی روی انتقال مجدد ترکیبات ذخیره‌ای ساقه گندم گزارش شده که علاوه بر بیشتر بودن میزان قندهای تجمع یافته در میان‌گره ماقبل آخر (پنالتیمیت) نسبت به میان‌گره آخر (پدانکل)، مقدار کربوهیدرات‌های منتقل‌شده به دانه نیز از این میان‌گره بیشتر بود (Wardlaw & Willenbrink, 2000). پاسخ رقم‌ها در این پژوهش به تنش آبی، متفاوت از یکدیگر بود، بااین‌حال کارایی انتقال مجدد در اکثر رقم‌ها افزایش یافت. این واکنش نشان دهنده آن است که رقم‌های گوناگون، تفاوت زیادی در ذخیره مواد فتوسنتزی و انتقال آن به‌طرف دانه دارند که منجر می‌شود تا در مواجهه با تنش آبی، واکنش متفاوتی را نیز نشان دهند (Kokas *et al*., 2016).

بیشترین سهم انتقال مجدد پدانکل در عملکرد دانه، مربوط دررقم سهند در شرایط تنش آبی (جدول ۶) و در مورد پنالتیمیت در رقم بهمن مشاهده شد. سهم انتقال مجدد میان‌گره‌های زیرین در عملکرد دانه رقم‌های بهمن، ماکویی و سهند، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشت (جدول ۷). به طورکلی سهم انتقال مجدد بخش‌های گوناگون ساقه در عملکرد دانه رقم‌های گوناگون جو مورد استفاده در پژوهش حاضر در شرایط تنش رطوبتی نسبت به حالت بدون تنش افزایش داشت. این افزایش در مورد پدانکل در رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند به‌ترتیب ۸/۹۹، ۱/۴۹، ۱۲/۸ و ۵/۹۱ درصد بود. سهم انتقال مجدد پنالتیمیت در عملکرد دانه رقم‌های والفجر، بهمن، ماکویی و سهند به‌ترتیب ۱۴/۶، ۶/۶۳، ۶/۵ و ۹/۵۱ درصد افزایش داشت؛ بنابراین سهم انتقال مجدد پنالتیمیت در رقم‌های والفجر، بهمن و سهند بیشتر از سهم انتقال مجدد پدانکل در عملکرد دانه بود. انتقال مجدد ترکیبات ذخیره شده در ساقه به دانه‌های در حال رشد، یکی از سازوکارهای درگیر در شکل‌گیری عملکرد اقتصادی و پایداری آن به‌ویژه در شرایط تنش رطوبتی پس از گرده‌افشانی است و می‌تواند به‌عنوان یک فرآیند مهم و پشتیبانی‌کننده تا حدود زیادی کاهش عملکرد دانه را جبران کند (Netanos & Koutroubas, 2012). مشخص شده است که سهم انتقال مجدد بخش‌های گوناگون گیاه گندم در شرایط مطلوب رطوبتی بین ۷/۴ تا ۱۹/۳ درصد و در شرایط کم‌آبی بین ۹/۶ تا ۲۲/۷ درصد است که نشان از افزایش سهم انتقال مجدد در شرایط تنش کم‌آبی دارد (Abdoli *et al*., 2015). در پژوهش Ehdaie *et al*. (2008) مشخص شد که در شرایط تنش آبی، سهم انتقال مجدد حتی ممکن است به بیش از ۴۰ درصد برسد. به‌طورکلی طول دوره تجمع مواد در بین میان-

گره‌ها، متفاوت است و برای میان‌گره‌های پایین‌تر، طولانی‌تر خواهد بود (Azhand *et al*., 2016)؛ هر چند که این تفاوت باعث ذخیره بیشتر در این میان‌گره‌ها نمی‌شود، زیرا متوسط سرعت ذخیره در میان‌گره‌های بالایی از جمله میان‌گره پدانکل بسیار بیشتر است. پدانکل یا بالاترین میان‌گره ساقه، به‌عنوان یکی از اندام‌های تأمین‌کننده کربن دانه در غلات محسوب می‌شود و در بسیاری از پژوهش‌ها، ارتباط این اندام با عملکرد و اجزای عملکرد مورد ارزیابی قرار گرفته است (Abdoli *et al*., 2015; Saeidi *et al*., 2016)، به‌طوری‌که تجمع مقادیر قابل‌توجه کربوهیدرات‌های مازاد بر نیاز گیاه در پدانکل و انتقال مجدد آن‌ها به دانه‌های در حال پرشدن، یکی از دلایل اهمیت این اندام در تعیین عملکرد دانه بیان شده است (Bagherikia *et al*., 2018). با توجه به این‌که انتقال مجدد ماده خشک از منبع به مخزن با صرف انرژی همراه است، نزدیک بودن این دو اندام به یکدیگر، یک مزیت برای گیاه تلقی می‌شود، به‌طوری‌که با صرف انرژی کم به‌ویژه در شرایط تنش، مقدار ماده خشک بیشتری از منبع به مخزن انتقال می‌دهد که این مورد نیز نشانگر اهمیت میان‌گره پدانکل است، زیرا این میان‌گره نسبت به سایر میان‌گره‌های ساقه، به سنبله (دانه‌ها) نزدیک است. در مقابل، گزارش‌هایی وجود دارد که سهم پدانکل در عملکرد گندم را ناچیز و یا در مقایسه با سایر میان‌گره‌ها، کم عنوان می‌کنند (Abdoli *et al*., 2015; Azhand *et al*., 2016).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به این‌که کشور ایران جزو نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد و این نواحی با محدودیت آب در مراحل انتهایی رشد جو مواجه هستند، رقم‌هایی برای کشت مناسب‌ترند که پیش از گرده‌افشانی، رشد رویشی مطلوبی داشته باشند و مقدار بیشتری قند در ساقه‌های خود ذخیره کنند تا عملکرد دانه باثبات‌تری در این شرایط تولید نمایند. بنابراین، شناسایی رقم‌های مقاوم به تنش آبی که علاوه بر فتوسنتز جاری مطلوب، از سازوکار انتقال مجدد جهت پایداری عملکرد بهره می‌گیرند، می‌تواند برای تولید در این مناطق سودمند باشد. در این پژوهش با اعمال تنش رطوبتی در مرحله گلدهی، میزان انتقال مجدد در تمام بخش‌ها و میان‌گره‌های ساقه افزایش داشته است که رقم‌های گوناگون، تفاوت‌هایی در میزان انتقال مجدد از بخش‌های گوناگون ساقه داشتند، به‌طوری‌که در مورد رقم‌های والفجر و سهند، میزان انتقال پنالتیمیت، بالاتر از پدانکل بود و در رقم‌های بهمن و ماکویی، انتقال مجدد از پدانکل و میان‌گره‌های زیرین ساقه بالا بود. سهم انتقال مجدد پنالتیمیت در رقم‌های والفجر، بهمن و سهند، بیشتر از سهم انتقال مجدد پدانکل در عملکرد دانه بود و بیشترین مقدار عملکرد دانه به رقم بهمن در شرایط آبیاری کامل و رقم سهند در شرایط تنش آبی تعلق داشت. در مجموع در این پژوهش و با در نظر گرفتن شاخص‌های عملکرد دانه و میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، ارقام بهمن و سهند به‌عنوان رقم‌های مناسب به‌ترتیب در شرایط آبیاری کامل و تنش آبی شناسایی شدند.

REFERENCES

1. Abdoli, M. & Saeidi, M. (2012). Using different indices for selection of resistant wheat cultivars to post anthesis water deficit in the west of Iran. *Annals of Biology Research*, 3 (3), 1322-1333.
2. Abdoli, M., Saeidi, M., Jalali-Honarmand, S., Mansourifar, S. & Eghbal Ghobadi, M. (2015). Evaluating the effect of water deficit and source limitation on grain yield and remobilization of dry matter at post anthesis in bread wheat cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 7 (2), 137-154. (In Persian with English abstract)
3. Akbari Moghaddam, H., Etesam, G., Etesam, R., Koohkan, Sh., Rostami, A. & Keikha, G. A. (2002). *Effect of moisture stress in different growth stages on grain yield in wheat cultivars*. Proceedings of the 7th Iranian Crop Science Congress, Karaj, Iran. (In Persian)

4. Alizadeh, A., Nabipoor, M. & Rahnama, A. (2014). Effect of different levels of potassium on soluble carbohydrate remobilization in two bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Plant Productions*, 37 (3), 69-82. (In Persian with English abstract)
5. Azhand, M., Jalali-Honarmand, S., Saeidi, M., Ghobadi, M., Chaghamirza, K. & Abdoli, M. (2016). Evaluation of storage capacity and stem reserves contribution to grain yield of bread wheat affected by terminal drought stress. *Journal of Plant Ecophysiology*, 7 (23), 1 -16. (In Persian with English abstract)
6. Bagherikia, S., Pahlevani, M. H., Yamchi, A., Zenalinezhad, K. & Mostafaie, A. (2018). Remobilization of stem soluble carbohydrates in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under terminal drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 7 (24), 53-72. (In Persian with English abstract)
7. Baheri, S. F., Javanshir, A., Kazemi, H. & Aharizad, S. (2005). The Effects of irrigation at different phenological stages on some traits in spring barley genotypes. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 36 (1), 169- 176. (In Persian)
8. Bauder, J. (2002). *When necessary, Just-in-time, irrigating can save water*. MSU Extension Publications. 406-994-3273.
9. Blum, A. (2005). Drought resistance, water use efficiency and yield potential-are they compatible, dissonant or mutually exclusive. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, 1159- 1168.
10. Bodakli, E., Celik, N., Turk, M., Bayram, G. & Tas, B. (2007). Effects of postanthesis drought stress on the stem-reserve mobilization supporting grain filling of two-rowed barley cultivars at different levels of nitrogen. *Journal of Biological Science*, 7 (6), 949-953.
11. Dalvandi, G., Ghanbari-Odivi, A., Farnia, A., Khaliltahmasebi, B. & Nabati, E. (2013). Effects of drought stress on the growth, yield and yield components of four wheat populations in different growth stages. *Advances in Environmental Biology*, 7 (4), 619-624.
12. Ding, J., Zir, Y., Li, C., Peng, Y., Zhu, X. & Guo, W. (2016). Dry Matter Accumulation, partitioning, and Remobilization in High-Yielding Wheat under Rice–Wheat Rotation in China. *Agronomy Journal*, 108, 604- 614.
13. Ebadi, A., Sahed, K. & Sangari, A. H. (2012). The effect of irrigation cut on dry matter remobilization and some of agronomy traits on spring barley. *Journal of Crop Production*, 4 (4), 19-37. (In Persian with English abstract)
14. Ebadi, A., Sajed, K. & Asgari, R. (2007). Effects of water deficit on dry matter remobilization and grain filling trend in three spring barley genotypes. *Journal of Food and Agriculture Environment*, 5, 359-362.
15. Ehdaie, B., Alloush, G. A. & Waines, J. G. (2008). Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserve to grain yield in wheat. *Field Crops Research*, 106, 34-43.
16. Ehdaie, B., Alloush, G. A., Madore, M. A. & Waines, J. G. (2006). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat. *Crop Science*, 46 (5), 2093-2103.
17. Emam, E. & Zavareh, M. (2005). *Tolerate of Drought in Plants*. Tehran University Publication, Iran p. 107-108. (In Persian with English abstract)
18. Emam, Y., Ranjbaran, A. M. & Baharani, M. J. (2007). Evaluation of yield and yield components in wheat genotypes under post-anthesis drought stress. *Journal of Science Technology and Agricultural Natural Resource*, 11, 1-3.
19. Ezzat Ahmadi, M., Noormohammadi, G., Ghodsi, M. & Kafi, M. (2009). Effects of water deficit and spraying of desiccant on yield, yield components and water use efficiency of wheat genotypes. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 12, 1399-1407.
20. Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). *Food outlook: Biannual report on global food markets*. FAO Trade and Markets Division, Rome.
21. Golabadi, M., Golkar, P. & Bahari, B. (2015). Remobilization assay of dry matter from different shoot organs under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy Research*, 13, 1202-1214.
22. Iramki, S. D., Haman, D. Z. & Bastug, R. (2000). Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal*, 92, 1221-1234.
23. Jahanbin, S. (2003). *Study of the effect of drought, temperature and salinity stresses on physiological indices and yield of hull-less barley genotypes* (*Hordeum vulgare* L.). Ph.D Thesis. Tarbiat Modares University, 216 pp. (In Persian with English abstract)
24. Kage, H., Kochler, M. & Stutzel, H. (2004). Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. *European Journal of Agronomy*, 20, 379-394.

25. Kokas, F., Vojta, P. & Galuszka, P. (2016). Dataset for transcriptional response of barley (*Hordeum vulgare*) exposed to drought and subsequent re-watering. *Data in Brief*, 8, 334-341.
26. Kooler, H. R., Nyquist, W. E. & Chorush, I. S. (1970). Growth analysis of the soybean community. *Crop Science*, 10, 407-412.
27. Kulshrestha, S., Tyagi, P., Sindhi, V. & Yadavilli, K. S. (2013). Invertase and its applications - A brief review. *Journal of Pharmacy Research*, 7 (9), 792-797.
28. Li, L., Ying, Y., Bo, K. T., Jun, G. J. & Bin. Z. J. (2018). Reducing nitrogen fertilization of intensive kiwifruit orchards decreases nitrate accumulation in soil without compromising crop production. *Journal of Integrative Agriculture*, 17 (6), 1421–1431.
29. Liu, J., Han, L., Huai, B., Zheng, P., Chang, Q., Guan, T., Li, D., Huang, L. & Kang, Z. (2015). Down-regulation of a wheat alkaline/neutral invertase correlates with reduced host susceptibility to wheat stripe rust caused by *Puccinia striiformis*. *Journal of Experimental Botany*, 281 (2), 428-436.
30. Lopez Pereia, M., Bereny, A., Hall, A. J. & Trapani, N. (2008). Contribution of pre-anthesis photoassimilates to grain yield: Its relationship with yield in Argentine sunflower cultivars released between 1930 and 1995. *Field Crops Research*, 105 (1-2), 88–96.
31. Ma, J., Huang, G. B., Yang, D. L. & Chai, Q. (2013). Dry matter remobilization and compensatory effects in various internodes of spring wheat under water stress. *Crop Science*, 5, 331-339.
32. Madeh Khaksar, A., Naderi, A., Ayeneband, A. & Lack, S. (2014). Interaction deficit irrigation and irrigation-cut on reserve materials redistribution, current photosynthesis, and its relation with yield of grain maize. *Crop Physiology Journal*, 6 (22), 53-68. (In Persian with English abstract)
33. Mehrpouyan, M., Mehrpouyan, M., Zakavati, B. & Ajalli, J. (2012). A survey on reserve remobilization from different aerial organs in 10 common wheat genotypes (*Tiriticum aestivum* L.) under with and without drought stress conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 2 (3), 69-82. (In Persian with English abstract)
34. Monajem, S., Ahmadi, A. & Mohammadi, V. (2011). Effect of drought stress reproductive stages on photoassimilates partitioning of rapeseed (*Brassica napus*), *Journal of Crop Production and Processing*, 3 (3), 163-178. (In Persian with English abstract)
35. Mousavi Nick, S. M. & Mobser, H. R. (2007). *Stress in Crop Plants and Facing with them*. Shoara Publication, Iran 368 pp. (In Persian)
36. Mphande, W., Nicolas, M. E., Seneweera, S. & Bahrami, H. (2016). Dynamics and contribution of stem water-soluble carbohydrates to grain yield in two wheat lines contrasted under drought and elevated CO2 conditions. *Plant Physiology*, 214 (2), 1037-1058.
37. Murchie, E., Yang, H. J., Hubbart, S., Horton, P. & Peng, S. (2002). Are there associations between grain-filling rate and photosynthesis in the flag leaves of field-grown rice? *Journal of Experimental Botany*, 53 (378), 2217-2224.
38. Netanos, D. A. & Koutroubas, S. D. (2012). Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 74, 93-101.
39. Nikolaeva, M. K., Maevskaya, S. N., Shugaev, A. G. & Bukhov, N. G. (2010). Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*. 57, 87-95.
40. Ourcut, D. & Nilsen, E. T. (2000). *Salinity and drought stress. In Physiology of Plants under Stress*. John Wiley and Sons Inc. KA/PP, p, 177-235.
41. Pampana, S., Mariotti, M., Ercoli, L. & Masoni, A. (2007). Remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by genotype and environment. *Italian Journal of Agronomy*, 3, 303-314.
42. Rezaei, Z. & Jabbari, F. (2015). Effect of drought stress on photo assimilate allocation of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 46 (2), 217-226. (In Persian)
43. Richard, R. A., Condon, A. G. & Rebetzke, G. J. (2001). *Traits to improve yield in dry environments*. In: Reynolds, M. P., J. U. Ortiz-Monasterio, and A., Mcnab (Eds). Application of physiology in wheat breeding. Mexico: CIMMYT, 88-100.
44. Saeidi, M., Mohammadi, M., Shafiei Abnavi, M., Eskandari Ghaleh, Z. & Abdoli, M. (2016). Effect of drought tension after flowering on storage capacity and the contribution of stem reserves in grain yield of wheat genotypes. *Crop Physiology Journal*, 30, 69-86. (In Persian with English abstract)
45. Tatar, Ö., Brück, H. & Asch, F. (2016). Photosynthesis and remobilization of dry matter in wheat as affected by progressive drought stress at stem elongation stage. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202, 292-299.

46. Tousi-Mojarrad, M. & Ghannadha, M. R. (2007). Evaluation grain yield potential and dry matter remobilization to grain in economical beard wheat variety under normal and water stress conditions. *Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences*, 4, 323-338. (In Persian with English abstract)
47. Wardlaw, I. F. & Willenbrink, J. (2000). Mobilization of fructan reserves and changes in enzyme activities in wheat stems correlate with water stress during kernel filling. *New Phytologist*, 148, 413-422.
48. Wu, X. J., Chen, X., Zeng, F. R. & Zhang, G. P. (2015). The genotypic difference in the effect of water stress after anthesis on the malt quality parameters in barley. *Journal of Cereal Science*, 65, 209-214.
49. Zhang, J., Chen, W., Dell, B., Vergauwen, R., Zhang, X., Mayer, J. E. & Van den Ende, W. (2015). Wheat genotypic variation in dynamic fluxes of WSC components in different stem segments under drought during grain filling. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1 -11.