علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۵ (ص ۳۹۱-۳۷۷) DOI: 10.22059/ijfcs.2016.60118

واکنش سه رقم گندم به رژیم‌های مختلف رطوبتی در مرحله‌های رویشی و زایشی در شرایط مزرعه

مهرانگیز پاپی[۱]، علی احمدی[۲*] و حسین رضا رفیعی[۳]
۱، ۲ و ۳. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استاد و کارشناس گروه زراعت و اصلاح نباتات،
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۲۷- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۳)

چکیده

با توجه به محدودیت جدی در منابع آبی کشور، تعیین کمینه میزان آب مورد نیاز محصولات زراعی برای دستیابی به عملکرد اقتصادی شایان پذیرش با بیشینه بازدهٔ مصرف آب اهمیت بالائی دارد. در این راستا پژوهشی در مزرعهٔ آموزشی-پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت خردشده، بر پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه رقم گندم پیشتاز، سیوند و پارسی (رقم‌های توصیه‌شده برای منطقهٔ مورد بررسی) به‌عنوان کرت اصلی و ۹ رژیم رطوبتی (ترکیبی از سه تیمار رویشی و سه تیمار مرحلهٔ زایشی) به‌عنوان کرت فرعی بودند. نتایج نشان داد افزایش فاصلهٔ آبیاری از ۷۰ به ۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A در مرحلهٔ رویشی، کاهش شایان‌توجهی در عملکرد به دنبال نداشت ولی افزایش فاصله از ۷۰ به ۱۱۰ میلی‌متر در همین مرحله از رشد، باعث ۱۴درصد کاهش عملکرد شد. به‌هرحال در هر گروه تیماری مرحلهٔ رویشی، افزایش فاصلهٔ آبیاری از ۷۰ به ۹۰ و حتی ۱۱۰ میلی‌متر در مرحلهٔ زایشی، کاهش معنی‌داری در عملکرد به دنبال نداشت. بیشترین کارایی مصرف آب از تیمارهای T_{79} و T_{711} به دست آمد. شاخص برداشت با افزایش تنش افزایش نشان داد. کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی با کاهش زیست‌توده و سطح سبز برگ همراه بود. در بین رقم‌های مورد بررسی، رقم پارسی بیشترین ذخیره‌سازی و کمترین میزان انتقال دوباره را نشان داد، درحالی‌که بیشترین انتقال دوباره مربوط به رقم پیشتاز بود که با عملکرد بالای این رقم در شرایط تنش همراه بود. با کاهش رژیم رطوبتی خاک ذخیره‌سازی روند کاهشی درحالی‌که انتقال دوباره روندی افزایشی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: زیست‌توده، شاخص برداشت، عملکرد، کارایی مصرف آب، گندم.

Response of three wheat cultivars to different moisture regimes during vegetative and reproductive stages under field conditions

Mehrangiz Papi[1], Ali Ahmadi[2*] and Hossein Reza Rafei[3]
1, 2, 3. Former M.Sc. Student, Professor and Technician, Department of Agronomy and plant Breeding, University Collage of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
(Received: Jun. 17, 2015 - Accepted: Jan. 23, 2016)

ABSTRACT

Under condition of limited water supply, determination of minimum water requisite to keep potential yield should be considered as an important target. With this respect, a field experiment was conducted at research farm of university college of agriculture and natural resources, university of Tehran, in 2012-2013, Karaj, Iran. The experiment was conducted in a split plot, based on randomized complete design with three replications. Three wheat cultivars, recommended for conditions similar to the experimental site, (Parsi, Sivand and Pishtaz) and nine moisture regimes (a combination of 3 at vegetative an 3 at reproductive stages) were arranged in main and sub plots, respectively. Increase in irrigation intervals from 70 to 90 mm, based on class A evaporation pot, during vegetative stage did not affect grain yield. Irrigation after 110 mm pot evaporation at this growth stage, however, reduced yield by 14%. At any moisture regimes during vegetative stage, increase in irrigation intervals from 90 to even 110 mm pot evaporation during reproductive stage, did not affect grain yield. The highest WUE were obtained in T79 and T711 treatments. Decrease in moisture regimes, in a range applied in this experiment, increased harvest index. Reduced grain yield was accompanied with decrease in biomass and leaf area under low moisture regimes. Among the cultivars, Parsi showed the highest value of stem reserve accumulation, but lowest value of remobilization. Highest stem reserve remobilization was found in Pishtaz which showed highest grain yield under reduced moisture regimes. Decrease in moisture regimes was accompanied with decline in stem reserves but increase in reserve remobilization.

Keywords: grain yield, moisture regimes, remobilization, stem reserves, wheat.

* Corresponding author E-mail: ahmadia@ut.ac.ir Tel: +98 912 238 1142

مقدمه

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین و شایع‌ترین علت‌های کاهش عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. در نواحی مرطوب نیز، توزیع نامناسب بارش در طی فصل‌های مختلف سال، منجر به ایجاد تنش خشکی در برخی از دوره‌های رشد گیاه زراعی می‌شود (Acevedo *et al.*, 2006). تنش خشکی انتهای فصل رشد در مناطق مدیترانه‌ای متداول است. در این مناطق بخش عمده‌ای از بارندگی سالیانه در زمستان و اوایل بهار نازل می‌شود و از اواسط بهار همزمان با کاهش بارندگی و رطوبت محیط، دمای هوا نیز به شدت افزایش می‌یابد. بخش گسترده‌ای از اراضی زیر کشت گندم ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (Rajaram *et al.*, 1995). در میان نهاده‌های کشاورزی (عامل‌های تولید)، آب، به‌ویژه در شرایط اقلیمی کنونی کشور، یکی از ارزشمندترین عامل‌های تولید بوده و لذا بازدهٔ استفاده از آن یکی از هدف‌های اصلی در تولید و از صفت‌های بسیار مهم مورد ارزیابی در تحقیقات مرتبط با تنش خشکی است. این صفت افزون بر اینکه ممکن است به ویژگی‌های رقم وابسته باشد، به شدت تحت تأثیر مدیریت آبیاری نیز قرار گرفته و میزان آن با میزان آب مصرفی و عملکرد دانه (بخش اقتصادی)، تعیین می‌شود (Ehdaie & Waines, 1993). ازآنجاکه در محاسبهٔ بازدهٔ مصرف آب عملکرد اقتصادی مدنظر است، هر رژیم رطوبتی که باعث افزایش زیست‌تودهٔ ناشی از رشد بخش‌های غیراقتصادی شود، هرچند ممکن است منجر به بهبود بازدهٔ استفاده از آب نشود. از سوی دیگر، با توجه به قانون بازدهٔ نزولی نهاده‌های تولید، افزایش عملکرد به ازای واحدهای اضافی آب مصرفی (بیشتر از یک حد معین)، روند کاهشی داشته و بازدهٔ مصرف این نهاده را کاهش خواهد داد. بنابراین به نظر می‌رسد که در شرایط متعارف زراعی، کم آبیاری در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب در مقایسه با شرایط آبی غیر محدودکننده، باعث افزایش بازدهٔ مصرف آب شود (Shobeiri *et al.*, 2006). درعین‌حال قابل پیش‌بینی است که افزایش شدت تنش از یک حد معین افزون بر کاهش عملکرد، بازدهٔ مصرف آب را نیز کاهش خواهد داد (Tabatabaei *et al.*, 2000). در آزمایشی روی ارزن نوتریفید مشاهده کردند با افزایش شرایط تنش اعمال‌شده از راه کم آبیاری، عملکرد کاهش، ولی کارایی مصرف آب افزایش پیدا کرد. نتایج تحقیقات Emam & Ranjbari (2000)، در ذرت دانه‌ای نیز نشان داد که تنش رطوبتی اعمال‌شده از راه تیمارهای کم آبیاری موجب کاهش عملکرد و افزایش کارایی مصرف آب شد (Ghanbarpuri & Sepahvand, 2003). از نتایج طرح مدیریت آبیاری گندم با اعمال تیمارهای آبیاری پس از ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت کلاس A گزارش کردند که تیمار آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر دارای بیشترین عملکرد، درصورتی‌که کارایی مصرف آب در تیمار آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی بیشینه بود (Montajabi, 2009). تأثیر چهار برنامهٔ آبیاری را بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم رقم مهدوی بررسی کرد. نتایج آبیاری پس از ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت کلاس A نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و کارایی مصرف آب به‌ترتیب از تیمارهای آبیاری پس از ۷۵ و ۱۲۵میلی‌متر تبخیر تجمعی به‌دست آمد.

انتخاب رژیم رطوبتی مطلوب تنها بر پایهٔ بازدهٔ مصرف آب منطقی نبوده و بر پایهٔ عملکرد به‌تنهایی نیز ممکن است منجر به بهبود بازدهٔ مصرف آب نشود. از میان معیارهای تعیین‌کنندهٔ میزان رطوبت در اختیار گیاه، تبخیر از تشت کلاس A، با ثابت در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک (به‌طور عمده بافت و مواد آلی) و رقم، از دیگر معیارهای اندازه‌گیری رطوبت خاک آسان‌تر و برای کشاورزان در دسترس‌تر بوده و امکان مدیریت آبیاری علمی را برای کشاورزان فراهم می‌کند. بررسی‌ها و مشاهده‌های میدانی از کشتزارهای کشور به‌ندرت مواردی را نشان می‌دهد که در آن برنامهٔ آبیاری بر پایهٔ معیار علمی (نیاز واقعی گیاه)، صورت گرفته باشد. لذا هدف از این تحقیق اعمال تیمارهای رطوبتی با توجه به حساسیت‌های متفاوت مرحله‌های مختلف رشد و روابط منبع- مخزن حاکم در گندم و ارزیابی رژیم‌های رطوبت بر پایهٔ نقطهٔ تعادل بین عملکرد و بازدهٔ مصرف آب صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعهٔ آموزشی پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج (۴۰ کیلومتری غرب تهران، ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقهٔ عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا)، انجام شد. این منطقه از نظر تقسیم‌بندی آب‌وهوایی بر پایهٔ طبقه‌بندی دومارتن پیشرفته جزء مناطق نیمه‌خشک به‌شمار آمده و میانگین بارندگی آن حدود ۲۵۰میلی‌متر است. برخی اطلاعات اقلیمی سال زراعی در جدول ۱ نشان داده شد.

جدول ۱. میانگین ماهیانهٔ دما و بارندگی و تبخیر در شهرستان کرج در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱.

Table1. Monthly mean temperature ,rainfall and evaporation in kara,j 2012-2013.

Month	Temperature (°C)	Rainfall (mm)	Evaporation (mm)
October	1.3	18.92	160.2
November*	28.9	11.38	80.1
December	30.2	7.47	-
January	70.2	2.23	-
February	25	4.39	-
March	40	9.73	-
April	32	14.09	93.9
May	20	19.18	196.1
June	2.2	25	314.1
July*	1.2	27.1	362
Total	251		1206.9

*: Plant date 30 November and harvest date 8 July.

زمین مورد کشت که در سال پیش آیش بود، با شخم اولیه (گاوآهن برگردان‌دار) و ثانویه (سیکلوتیلر HK31 شرکت تراشکدهٔ پنوماتیک)، آماده شد. پیش از شخم ثانویه با توجه به میزان‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ عنصرهای اصلی نیتروژن، فسفر و پتاس (NPk) در خاک محل آزمایش، ۱۰۰کیلوگرم سولفات پتاسیم (54kg K_2O) و ۱۰۰کیلوگرم سوپر فسفات تریپل (46kg P_2O_5) به خاک اضافه شد. کرت‌های آزمایشی (فرعی) به ابعاد ۱۵ مترمربع در نظر گرفته شد، فاصلهٔ بین کرت‌ها و تکرارها ۱/۵ متر تعیین شد. کشت با استفاده از دستگاه خطی کار (مدل17-17-K2.5) انجام گرفت و فاصلهٔ ردیف‌های کاشت ۱۲-۱۰سانتی‌متر و میزان بذر ۱۸۰کیلوگرم در هکتار بود. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده (split plot)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای رطوبتی به‌عنوان کرت فرعی و سه رقم گندم (پیشتاز، سیوند و پارسی)، که از رقم‌های قابل توصیه برای منطقه است، به‌عنوان کرت اصلی در نظر گرفته شد. سه رژیم رطوبتی (بر پایهٔ درصد رطوبت خاک و تبخیر از سطح تشتک تبخیر کلاس A)، در هر یک از مرحله‌های رویشی و زایشی به‌صورت ترکیبی (درمجموع ۹ تیمار) اعمال شد. تیمار شاهد بر پایهٔ میانگین دور آبیاری مرسوم در کشت گندم (هفت روز)، در نظر گرفته شد، که با در نظر گرفتن میزان تبخیر تجمعی از تشتک کلاس A در این دورهٔ زمانی، (در زمان آغاز تیمارها)، معادل ۷۰میلی‌متر تبخیر تجمعی محاسبه شد. تیمارهای بعدی رطوبتی بر پایهٔ ۹ و ۱۱ روز دور آبیاری در زمان آغاز تیمارها در نظر گرفته شد که به ترتیب معادل ۹۰ و ۱۱۰میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت کلاس A بود. سه تیمار رطوبتی بالا برای دورهٔ رویشی و برای دورهٔ پر شدن دانه به‌صورت ترکیبی در نظر گرفته شد. بدین ترتیب ۹ تیمار رطوبتی به شرح جدول ۲ به‌کاربرده شد. افزون بر میزان تبخیر از تشتک تبخیر در تعیین تیمارهای رطوبتی، درصد رطوبت خاک نیز در هر تیمار و پیش از هر بار آبیاری تیمارها اندازه‌گیری شد. بدین منظور در دوره‌های رویشی و زایشی هر بار سه نمونه خاک از عمق ۳۵-۳ سانتی‌متری (عمق گسترش ریشه)، از هر تکرار (درمجموع ۹ نمونه از سه تکرار)، تهیه و درصد رطوبت وزنی خاک محاسبه شد (جدول۳).

آبیاری هر کرت به‌صورت نشتی و کنترل‌شده، با استفاده از لوله‌های انتقال آب به‌گونه‌ای انجام شد که آب مورد نیاز هر کرت به‌طور یکنواخت در هر کرت توزیع شد. حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری برای هر کرت بر پایهٔ حجم آب مصرفی در واحد سطح از

راه آبیاری تحت‌فشار در شرایط مرسوم آبیاری در زراعت گندم تعیین شد. این حجم آب با توجه به دبی نازل‌های پاشنده و سطح زیر پوشش هر آبپاش و نیز زمان لازم برای رساندن رطوبت خاک در عمق گسترش ریشهٔ گندم به حد ظرفیت زراعی مزرعه تعیین شد. به این ترتیب برای هر کرت ۱۵ مترمربعی میزان ۱۰۲۲ لیتر آب در هر بار آبیاری محاسبه شد که این حجم آب با توجه به دبی آب انتقالی، با هشت دقیقه آبیاری هر کرت تأمین می‌شد. آخرین آبیاری مشترک همهٔ تیمارها (پیش از آغاز تنش)، در تاریخ ۱۳۹۲/۱/۱۷، پیش از آغاز ساقه‌دهی انجام شد. پس‌ازآن با گردآوری اطلاعات مربوط به تبخیر روزانه از ایستگاه هواشناسی واقع در مزرعهٔ آزمایشی و محاسبهٔ تبخیر تجمعی، تیمارهای گروهT_7 (T_{77}, T_{79}, T_{711})، با رسیدن میزان تبخیر تجمعی به ۷۰ میلی‌متر و تیمارهای گروهT_9 (T_{97}, T_{99}, T_{911}) ، و گروه T_{11} (T_{117}, T_{119}, T_{1111})، به‌ترتیب پس از رسیدن میزان تبخیر تجمعی به ۹۰ و ۱۱۰میلی‌متر آبیاری می‌شدند. در مرحلهٔ گلدهی همهٔ تیمارها بر مبنای ۷۰ میلی‌متر (شاهد)، آبیاری شدند. با آغاز دورهٔ پر شدن دانه، دوباره تیمارهای T-7 (T_{77}, T_{97}, T_{117})، T-9 (T_{79}, T_{99}, T_{119}) و T-11 (T_{711}, T_{911}, T_{1111})، پس از رسیدن میزان تبخیر تجمعی به‌ترتیب به ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر به شرح جدول ۲ اعمال شدند.

جدول ۲. مشخصات رژیم‌های رطوبتی اعمال‌شده در مرحلهٔ رویشی و زایشی گندم

Table 2. Moisture regime treatments applied at vegetative and reproductive stages in wheat

Moisture regime	Description
T_{77}	Irrigation at 70 mm evaporation based on class A evaporation pot during all growth stages.
T_{79}	Irrigation at 70 mm evaporation at vegetative stage and 90 mm evaporation at reproductive stage.
T_{711}	Irrigation at 70 mm evaporation at vegetative stage and 110 mm evaporation at reproductive stage.
T_{97}	Irrigation at 90 mm evaporation at vegetative stage and 70 mm evaporation at reproductive stage.
T_{99}	Irrigation at 90 mm evaporation at all growth stages.
T_{911}	Irrigation at 90 mm evaporation at vegetative stage and 110 mm evaporation atreproductive stage.
T_{117}	Irrigation at 110 mm evaporation at vegetative stage and 70 mm evaporation at reproductive stage.
T_{119}	Irrigation at 110 mm evaporation at vegetative stage and 90 mm evaporation at reproductive stage.
T_{1111}	Irrigation at 110 mm evaporation at all growth stages.

جدول ۳. میانگین درصد رطوبت وزنی به‌دست‌آمده در نمونه‌گیری خاک از رژیم‌های مختلف پیش از هر نوبت آبیاری گندم

Table 3. Mean soil moisture percent of irrigation treatment measured just befor next irrigation

Growth stage	Periodes of irrigation.	T_{77}	T_{79}	T_{711}	T_{97}	T_{99}	T_{911}	T_{117}	T_{119}	T_{1111}
Vegetative	1		12.22			10.08			9.9	
	2		12.44			9.9			9.5	
Average of vegetative stage			12.33			10.9			9.7	
	3	12.28	10	9	12.28	10	9	12.28	10	9
Reproductive	4	12.5	9.5	8/06	12.5	9.5	8.06	12.5	9.5	8.806
	5	12	-	-	12	-	-	12	-	-
Average of reproductive stage		12.26	9.75	8.53	12.26	9.75	8.53	12.26	9.75	8.53

For description of moisture regimes see table 2.

صفت‌های اندازه‌گیری‌شده به شرح زیر بود:

۱- میزان زیست‌توده در پایان دورهٔ رویشی: برای اندازه‌گیری زیست‌توده در پایان مرحلهٔ رویشی، از یک چهارگوش (کوادرات) ۰/۵مترمربع استفاده شد. بوته‌های درون چهارگوش کف بر شد، به آزمایشگاه انتقال داده شد و در پاکت‌های کاغذی درون آون ۷۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و پس از آن وزن خشک آن‌ها با ترازو به‌دست آمد.

۲- سطح سبز برگ: سطح سبز کل برگ‌ها در دو مرحلهٔ انتهای دورهٔ رویشی و بیست روز پس از گلدهی اندازه‌گیری شد. در هر مرحله ده بوته از هر کرت کف‌بر شد و به آزمایشگاه انتقال یافت و برگ‌های سبز بوته‌ها جدا و با (دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ)، اندازه‌گیری شد.

۳- ذخیره‌سازی کربن و انتقال دوبارهٔ آن: در هر کرت شمار بیست بوتهٔ هم‌اندازه انتخاب شد. بوته‌های انتخاب‌شده علامت زده شد و شمار ده بوته از آن‌ها در شانزده روز پس از گلدهی برداشت و به آزمایشگاه انتقال یافت و وزن خشک ساقه و برگ و سنبله اندازه‌گیری شد. وزن خشک ساقه‌ها در این مرحله به‌عنوان معیاری از

توان ذخیره‌سازی ساقه در رژیم‌های مختلف رطوبتی و رقم‌های مختلف در نظر گرفته شد (Ehdaie *et al.*, 2006a). ده بوتهٔ باقی‌مانده زمان رسیدگی فیزیولوژیک برداشت و به آزمایشگاه انتقال یافت. برگ، ساقه و سنبلهٔ بوته‌ها جدا و درون پاکت کاغذی در آون ۷۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت و پس از آن وزن خشک آن‌ها محاسبه شد. از تفاضل وزن خشک ساقه‌های برداشت‌شده در دو مرحله برای اندازه‌گیری انتقال دوباره استفاده شد (Blum, 1998):

انتقال دوبارهٔ کل = وزن خشک ساقه در زمان رسیدگی فیزیولوژیک- وزن خشک ساقه شانزده روز پس از گرده‌افشانی

۴- عملکرد، شاخص برداشت: برای اندازه‌گیری شاخص برداشت از یک چهارگوش با ابعاد ۱ مترمربع استفاده شد. بوته‌های درون چهارگوش کف بر شد و پس از خشک شدن در هوای آزاد، برای اندازه‌گیری زیست‌توده، توزین شد. عملکرد دانهٔ هر کرت نیز پس از کوبیدن بوته‌های هر کرت به‌وسیلهٔ کمباین، تعیین شد.

۵- کارایی مصرف آب: در هر بار آبیاری حجم آب مورد استفاده اندازه‌گیری شد و در پایان فصل با استفاده از جمع کل میزان آب مصرف‌شده، کارایی مصرف آب تعیین شد.

$$\text{کارایی مصرف آب} = \frac{\text{عملکرد (کیلوگرم)}}{\text{حجم آب مصرفی (مترمکعب)}}$$

همهٔ محاسبات آماری با نرم‌افزار MSTATC و برای رسم نمودارها و جدول‌های آماری نیز از برنامهٔ Microsoft Excel (2010) استفاده شد و برای مقایسهٔ میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و کارایی مصرف آب

نتایج تجزیهٔ واریانس عملکرد و کارایی مصرف آب در جدول ۴ نشان داده شده است. اثر متقابل رقم و رژیم رطوبتی بر عملکرد و کارایی مصرف آب معنی‌دار نبود ولی در برابر رقم‌های تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد از نظر عملکرد نشان دادند. بیشترین عملکرد مربوط به رقم پیشتاز (۸۹۷۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد در رقم پارسی (۶۲۷۰ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۱-الف). بیشترین کارایی مصرف آب نیز در رقم پیشتاز (۳/۰۳ کیلوگرم در مترمکعب) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با دو رقم دیگر داشت درحالی‌که رقم‌های پارسی و سیوند از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، اگرچه تفاوت عملکرد آن‌ها معنی‌دار بود (شکل ۲- الف).

رژیم‌های مختلف رطوبتی تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر عملکرد داشتند (جدول ۴). اگرچه بیشترین عملکرد در تیمار T_{77} (شاهد)، مشاهده شد، ولی این تفاوت با تیمارهای T_{79} و T_{711} از نظر آماری معنی‌دار نبود. به‌عبارت دیگر در گروه T_7، یعنی تیمارهایی که در مرحلهٔ رویشی آبیاری مرسوم در آن‌ها صورت گرفته، افزایش فاصلهٔ آبیاری در مرحلهٔ زایشی از ۷۰ به ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر که معادل ۹ و ۱۱ روز فاصلهٔ آبیاری در شرایط صحرایی موجود بود، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد نشد (شکل ۱-ب). این نتیجه بیانگر مقاومت نسبی مرحلهٔ پر شدن دانه به کاهش رطوبت خاک است. به عبارت دیگر چنانچه رشد رویشی در شرایط مطلوب انجام گیرد، گیاه گندم می‌تواند با سازوکارهای جبرانی کاهش نورساخت (فتوسنتز) ناشی از تنش خشکی آخر فصل را جبران کند. Papakosta & Gagianas (1991) اظهار داشته‌اند که در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای، تنش خشکی و گرما پس از گلدهی نورساخت را محدود می‌کند ولی در این شرایط عملکرد تا حد زیادی به انتقال دوبارهٔ مواد نورساختی پیش از گلدهی به دانه بستگی دارد. Winkel (1989)، دریافت که در غلات حساس‌ترین مرحله به خشکی حدفاصل بین سنبله رفتن تا گلدهی است. اما رقم‌هایی که پیش از گلدهی بتوانند زیست‌تودهٔ بالایی تولید و ذخیره‌سازی کربن در ساقه را افزایش دهند، جز رقم‌های مقاوم به خشکی به‌شمار می‌آیند. به‌طورکلی در شرایط تنش خشکی نورساخت جاری کاهش یافته ولی انتقال دوباره افزایش می‌یابد (Schynder, 1993). تنش خشکی، نورساخت را در طول پر شدن دانه کاهش داد ولی تبدیل ذخایر ساقه به قندهای محلول را تحریک کرده و انتقال دوبارهٔ این قندها به دانه را افزایش داد (Blum *et al.*, 2005).

جدول ۴. تجزیهٔ واریانس صفات ارزیابی‌شدهٔ گندم تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی.

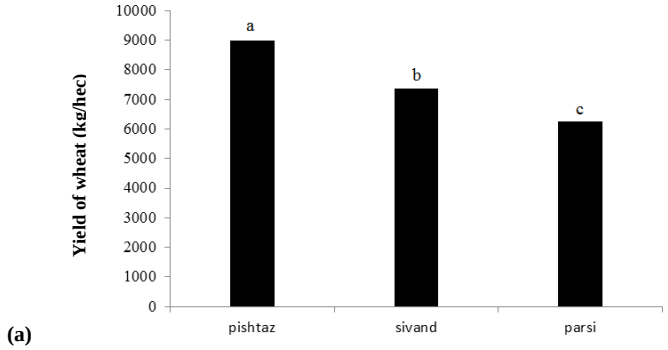
Table 4. Analysis of variance (mean square) of the wheat traits measured under different moisture regimes.

s.o.v	df	Mean squares					
		Grain yield	Water use efficiency	Harvest index	Biomass	Remobilization	Green leaf area at 20 day after pollination
Rep	2	0.030^{ns}	0.383^{ns}	122.332^{ns}	0.111^{ns}	2.033^{ns}	18.370^{ns}
Cultivar (A)	2	0.481*	5.465*	1120.378*	0.013^{ns}	10.329*	264.037*
Error	4	0.007	0.095	42.111	0.102	1.276	3.574
Moisture regime (B)	8	0.045*	0.897*	12.971^{ns}	0.724*	36.545*	739.222*
A × B	16	0.001^{ns}	0.019^{ns}	12.735*	0.015^{ns}	0.233^{ns}	23.523*
Error	48	0.001	0.018	6.815	0.015	0.343	7.131
Cv %		4.90	5.27	7.74	5.32	11.48	1.95

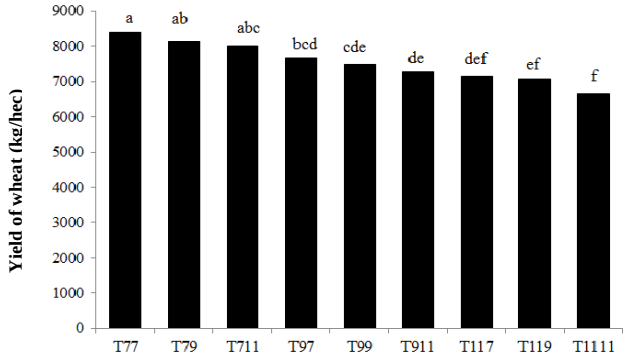
* وns : به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

*, ns :significant at 5% level, and non significant , respectively.

کارایی مصرف آب در تیمار شاهد (T_{77}) به‌طور معنی‌داری کمتر از دو تیمار دیگر (T_{79} و T_{711}) این گروه بود که با توجه به معنی‌دار نبودن تفاوت عملکرد، نتیجه‌ای قابل انتظار بود (شکل ۲-ب). به‌بیان‌دیگر کاهش رطوبت خاک در مرحلهٔ پر شدن دانه در حدی که باعث کاهش معنی‌دار عملکرد نشود لاجرم منجر به افزایش کارایی مصرف آب خواهد شد. به‌هرحال تفاوت کارایی مصرف آب در دو تیمار T_{79} و T_{711} معنی‌دار نبود که در ظاهر برخلاف انتظار است چراکه در تیمار T_{711}، فاصله‌های آبیاری دو روز (۲۰ میلی‌متر) بیشتر از T_{79} بوده و لذا درمجموع این تیمار باید میزان آب کمتری را دریافت کرده باشد. به‌رغم افزایش فاصلهٔ آبیاری، شمار آبیاری همچنان در دو تیمار T_{79} و T_{711} به یک اندازه صورت گرفت و لذا حجم آب مصرفی یکسان بود. آخرین آبیاری در تیمار T_{711} در مرحله‌های دیرتر گذارشناختی (فنولوژیکی) گیاه انجام گرفت که شاید ضرورتی بر انجام آن نبوده و با حذف آن می‌توان ضمن حفظ عملکرد، کارایی مصرف آب را در تیمار T_{711} نسبت به T_{79} افزایش داد. در گروه دوم از تیمارهای رطوبتی یعنی گروه T_9، گیاهان در مرحلهٔ رویشی با شرایط محدودتر رطوبتی نسبت به گروه T_7 روبه‌رو شدند. پس‌از آن همین گیاهان در مرحلهٔ زایشی همانند گروه اول در معرض سه رژیم رطوبتی معادل ۷۰، ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی (به‌ترتیب معادل۱۲/۲۶، ۹/۷۵ و ۸/۵۳ درصد رطوبت خاک) قرار گرفتند. در این حال نیز بین تیمارهای درون این گروه تفاوت معنی‌دار در میانگین عملکرد مشاهده نشد. به‌بیان‌دیگر افزایش فاصله‌های آبیاری از ۷۰ به ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر در مرحلهٔ زایشی، کاهش معنی‌داری در عملکرد به دنبال نداشت که نتیجهٔ کاربردی شایان‌توجهی از حیث صرفه‌جویی در مصرف آب دارد. مقایسه‌های درون این گروه نیز گویای مقاومت نسبی گندم در مرحلهٔ پر شدن دانه به کاهش رطوبت خاک در دامنهٔ مورد بررسی در این آزمایش دارد. به‌هرحال، میانگین عملکرد این گروه، ۷ درصد در مقایسه با گروه T_7 کاهش داشت. یعنی اینکه شرایط مطلوب رطوبت در مرحلهٔ رویشی باعث بهبود رشد، نورساخت و افزایش توان منبع شده که ظرفیت تولید را بالا می‌برد. به‌هرحال با توجه به میزان صرفه‌جویی در آب مصرفی و ارزش بالای این نهاده، این کاهش عملکرد شایان چشم‌پوشی است. پایین‌ترین رژیم رطوبتی این گروه (T_{911}) با پایین‌ترین تیمار رطوبتی گروه اول (T_{711}) تفاوت معنی‌داری نشان داد، اگرچه حتی در این حالت نیز میزان کاهش عملکرد ۹ درصد (۰/۸۶ تن در هکتار) بوده که این میزان کاهش برای شرایطی که محدودیت منابع آب عامل مهمی است، به سادگی شایان چشمپوشی است. افزایش معنی‌دار عملکرد در تیمار T_{79} در مقایسه با تیمار T_{99} بیانگر آن است که چنانچه در مرحلهٔ زایشی محدودیت آب بیشتری نسبت به مرحلهٔ رویشی وجود داشته باشد (امری مرسوم در کشتزارها) دور آبیاری ۷۰ میلی‌متری در مرحلهٔ رویشی قابل توصیه است. نبود تفاوت معنی‌دار تیمارهای T_{79} با T_{97} و نیز T_{711} با T_{99}، میزان سازگاری گندم به توزیع متفاوت رژیم رطوبتی در مرحله‌های مختلف رشد و انعطاف‌پذیری این گیاه زراعی را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد چنانچه گیاه گندم در مرحله‌ای از رشد با تنش خفیف خشکی روبه‌رو شود، در مرحله‌های بعدی می‌تواند آن را جبران کند.



(a)



(b)

شکل ۱. مقایسهٔ میانگین عملکرد رقم‌های (الف) و رژیم‌های مختلف رطوبتی (ب). ستون‌های دارای حرف‌های مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن)، تفاوت معنی‌داری ندارند. توصیف رژیم‌های رطوبتی در جدول ۲ آمده است.

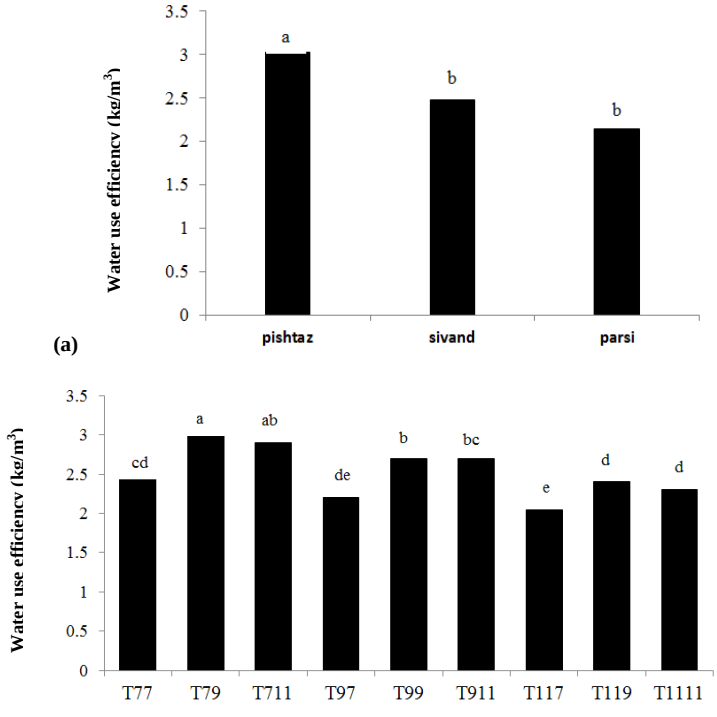
Figure 1. Mean comparison of yield of cultivars (a) and different moisture regimes (b). Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD Test). For description of moisture regimes see table 2.

شاخص برداشت و عملکرد زیست‌توده

نتایج تجزیهٔ واریانس صفات شاخص برداشت و عملکرد زیست‌توده در جدول ۴ نشان داده شده است. واکنش عملکرد زیست‌توده به تیمارهای رطوبتی، روندی یکسان با واکنش عملکرد ولی با شدت بیشتر نشان داد. یعنی تأثیر رژیم‌های رطوبتی بر عملکرد زیست‌توده بیشتر بود. عملکرد زیست‌توده از عامل‌های مهم تأثیرگذار روی عملکرد است. این صفت نشان‌دهندهٔ ظرفیت گیاه در جذب نور و تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی است (Reynolds *et al.*, 2009). کاهش عملکرد زیست‌تودهٔ گندم در شرایط محدودیت رطوبت توسط Emam *et al.* (2006) و Mohammadi *et al.* (2006)، نیز گزارش شده است. برخلاف عملکرد زیست‌توده، رقم‌ها و رژیم‌های رطوبتی اثر متقابل معنی‌داری از نظر شاخص برداشت نشان دادند. همچنین رقم‌های گندم آزمایش حاضر نیز از این نظر متفاوت بودند (جدول۴). بالاترین میزان شاخص برداشت متعلق به رقم پیشتاز و کمترین میزان مربوط به رقم پارسی بود. این نتایج با رتبه‌های عملکردی این رقم‌های هماهنگی داشت. این بدان معنی است که رقم‌ها با عملکرد بالاتر، توان تخصیص بیشتر مواد نورساختی به مخزن داشته که این توان تخصیص می‌تواند، برتری فیزیولوژیکی با اهمیتی به‌ویژه در شرایط محدودیت رطوبت باشد.

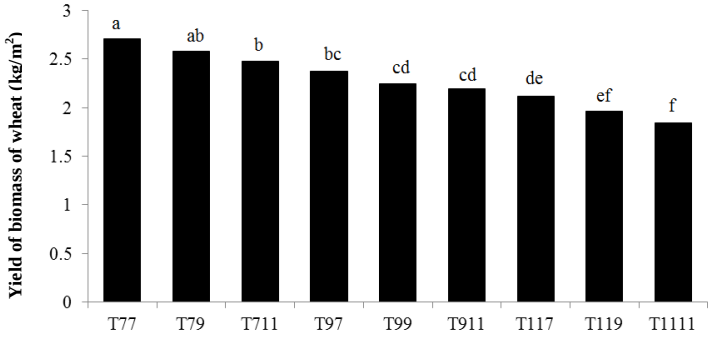
واکنش متفاوت رقم‌ها از نظر شاخص برداشت به رژیم‌های رطوبتی در شکل ۴ نشان داده شده است. رقم پیشتاز واکنش مثبتی به سطوح پایین‌تر رطوبتی نشان داد. به بیان دیگر بیشترین شاخص برداشت برای این رقم در گروه تیمارهای رطوبتی T_{11} مشاهده شد. Mohammadi *et al.* (2006)، نیز افزایش شاخص برداشت را در محیط‌های در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. Reynolds *et al.* (2005)، گزارش کردند که شاخص برداشت بالا در شرایط کم‌آبی ممکن است مربوط به سازگاری به تنش بوده و باعث

بهبود عملکرد در دورهٔ پر شدن دانه به خاطر انتقال دوبارهٔ ذخایر ساقه باشد. این گروه از تیمارها که در آن‌ها مرحلهٔ رویشی گیاه در معرض تنش رطوبتی قرار داده شد باعث کاهش شاخسارهٔ گیاه شد، درحالی‌که در مرحلهٔ زایشی افزون بر اینکه تیمارهای T_{117} و T_{119} شدت تنش کمتری داشتند، به‌طور عمده به کاهش رطوبت خاک مقاوم‌تر بودند. لذا نتیجهٔ کلی از این گروه تیمارهای رطوبتی، کاهش بیشتر رشد شاخساره و در نتیجه افزایش شاخص برداشت شد. به‌هرحال در مورد رقم پیشتاز به‌جز دو تیمار T_{119} و T_{1111}، دیگر تیمارهای رطوبتی تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت این رقم نداشتند. واکنش شاخص برداشت رقم‌های سیوند و پارسی به رژیم‌های رطوبتی، با رقم پیشتاز متفاوت بود. در مورد این دو رقم تیمارهای رطوبتی گروه T_{11} نیز بر شاخص برداشت تأثیری نداشته و میزان این صفت در همهٔ تیمارهای رطوبتی تفاوت معنی‌داری نشان نداد.



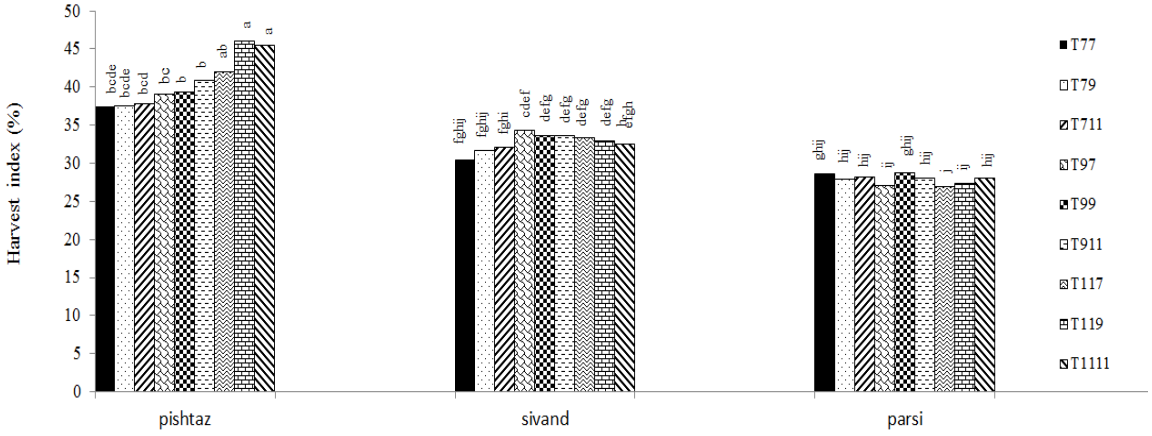
شکل ۲. مقایسهٔ میانگین کارایی مصرف آب در رقم‌های (الف) و رژیم‌های مختلف رطوبتی (ب). ستون‌های دارای حرف‌های مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن)، تفاوت معنی‌داری ندارند. توصیف رژیم‌های رطوبتی در جدول ۲ آمده است.

Figure 2. Mean comparison of water use efficiency in cultivars (a) and different moisture regimes (b). Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD Test). Description of moisture regimes in table 2.



شکل ۳. میانگین عملکرد زیست‌تودهٔ گندم در رژیم‌های مختلف رطوبتی. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن)، تفاوت معنی‌داری ندارند. توصیف رژیم‌های رطوبتی در جدول ۲ آمده است.

Figure 3. Mean comparison of yield of biomass of wheat in different moisture regimes. Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD Test). For description of moisture regimes see table 2.



شکل۴. اثر متقابل رقم و رژیم‌های رطوبتی بر شاخص برداشت گندم. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن)، تفاوت معنی‌داری ندارند. توصیف رژیم‌های رطوبتی در جدول ۲ آمده است.

Figure 4. Interaction of cultivar and moisture regimes on harvest index of wheat.Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD Test). For description of moisture regimes see table 2.

سطح سبز برگ در انتهای دورهٔ رویشی و بیست روز پس از گرده‌افشانی

توان منبع عامل بسیار مهم تعیین‌کنندهٔ ظرفیت تولید و پایداری آن در شرایط محدودیت رطوبتی است .سطح برگ یک مؤلفهٔ اصلی توان منبع است که در هر یک از دو مرحلهٔ رویشی و زایشی به ترتیب می‌تواند تعیین‌کنندهٔ اندازه و فعالیت مخزن باشد. اثرگذاری‌های سوء تنش خشکی بر عملکرد در هر یک از مرحله‌های رویشی و زایشی از راه تأثیر بر این مؤلفه می‌تواند باشد. لذا این صفت در مرحلهٔ پایان دورهٔ رویشی و در مرحلهٔ آغاز پر شدن دانه (فعالیت مخزن) ارزیابی شد. تجزیهٔ واریانس سطح سبز برگ در انتهای دورهٔ رویشی و بیست روز پس از گلدهی در جدول ۵ نشان داده شده است. اثر متقابل معنی‌داری بین رقم و رژیم رطوبتی از نظر سطح سبز برگ در پایان مرحلهٔ رویشی مشاهده نشد. رقم‌ها نیز از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری نشان ندادند، ولی اعمال رژیم‌های مختلف رطوبتی تأثیر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر این صفت به‌جای گذاشت (جدول ۵-الف). با افزایش دور آبیاری، سطح سبز برگ به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. این نتیجه با توجه به اینکه برگ‌ها در مرحلهٔ رویشی همچنان در حال رشد بوده و از فرآیندهای فیزیولوژیکی حساس به تنش خشکی است، قابل انتظار بود. ازآنجاکه میزان سطح سبز برگ بیانگر اندازهٔ منبع بوده و یک جزء مهم توان منبع است، لذا واکنش آن به تنش خشکی می‌تواند بخشی از واکنش رشد دانه (مخزن)، یا عملکرد را توجیه کند. تفاوت معنی‌دار عملکرد تیمار T_{77} با T_{97} و T_{117}، که هر سه تیمار در مرحلهٔ زایشی رژیم رطوبتی یکسانی داشته بوده‌اند، بیانگر تأثیر کاهش رطوبت خاک بر عملکرد از راه کاهش توان منبع بوده است (Racher *et al.*, 1995)، گزارش کردند کاهش در سطح سبز برگ با کمبود آب از علت‌های مهم کاهش عملکرد محصول از راه کاهش نورساخت است. دو تیمار T_{97} و T_{117} تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد نشان ندادند به‌رغم اینکه از نظر سطح سبز برگ متفاوت بودند. این نتیجه بیانگر اهمیت نسبی توان منبع است یعنی اینکه گیاه یا توان نورساختی مازاد بر نیاز داشته (محدودیت مخزن) و یا با استفاده از فرآیندهای جبرانی، کاهش نورساخت جاری را جبران کرده است. تحریک پیری یکی از اثرگذاری‌های بلندمدت تنش رطوبتی است. لذا در این بررسی افزون بر آنکه تأثیر کوتاه‌مدت تنش خشکی بر سطح سبز برگ در پایان مرحلهٔ رویشی بررسی شد، تأثیر بلندمدت‌تر آن نیز بررسی شد. در این حالت نه تنها اثر رقم و رژیم رطوبتی بلکه اثر متقابل رقم و رژیم رطوبتی نیز بر میزان سطح سبز برگ بیست روز پس از گلدهی معنی‌دار شد. به عبارت دیگر رقم‌های واکنش متفاوتی به رژیم‌های رطوبتی از نظر میزان سطح سبز برگ در این مرحله از رشد نشان دادند. چنین واکنش متفاوتی در شکل

۵-ب نشان داده شده است. به‌هرحال روند کلی تغییرپذیری سطح سبز برگ به رژیم‌های مختلف رطوبتی برای هر رقم، نزدیک به همسانی روند تغییر عملکرد در پاسخ به تیمارهای رطوبتی بود. اعمال رژیم‌های رطوبتی در مرحلهٔ رویشی، باعث کاهش سطح سبز برگ و توان منبع شده و در مرحلهٔ زایشی با تحریک و تسریع فرآیند پیری برگ‌ها، باعث کاهش عملکرد شد.

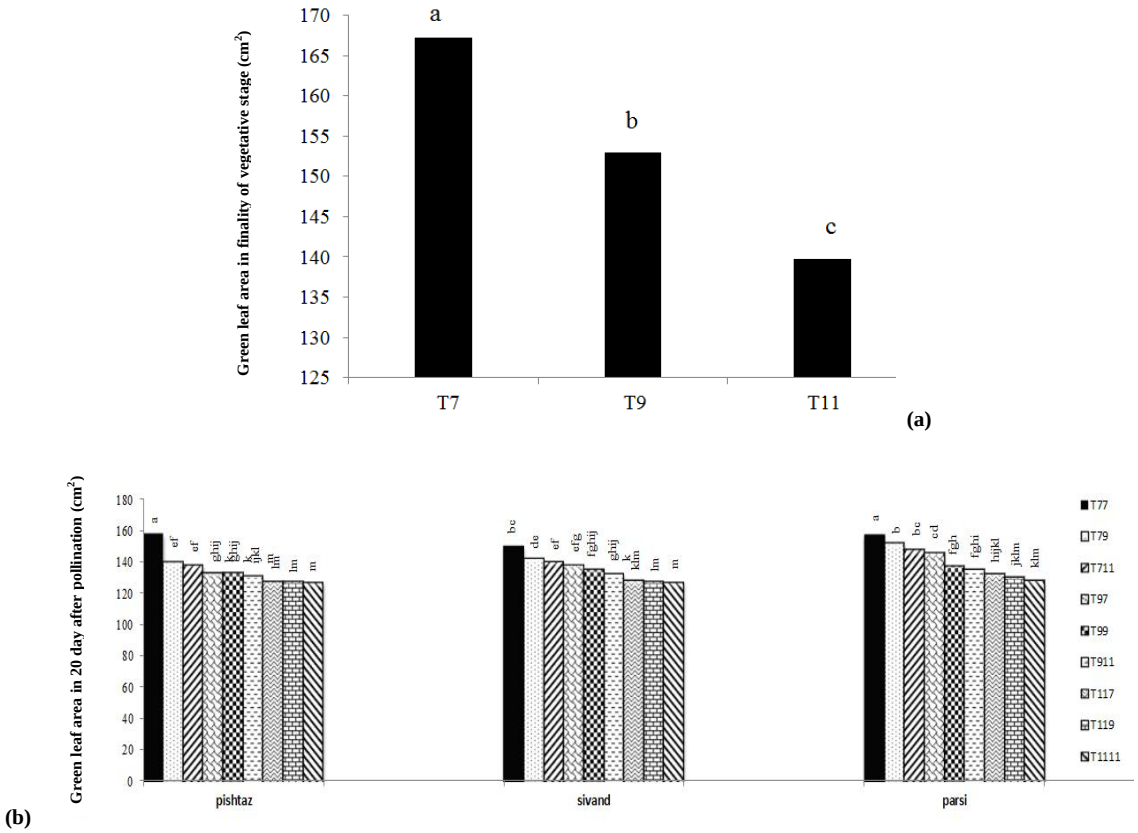
جدول ۵. تجزیهٔ واریانس صفات ارزیابی‌شدهٔ گندم در پایان دورهٔ رویشی.

Table 5. Analysis of variance (mean square) of wheat traits at late vegetative stage.

S.O.V	df	Mean squares		
		Green leaf area in finality of vegetative stage	Stem reserves	Biomass in finality of vegetative stage
Rep	2	15.148^{ns}	0.481^{ns}	799.239^{ns}
Cultivar (A)	2	118.926^{ns}	9.455*	93.573^{ns}
Error	4	28.926	0.469	218.583
Moisture regime (B)	2	1709.370*	45.545*	1685.155*
A×B	4	17.148^{ns}	1.292^{ns}	48.632^{ns}
Error	12	18.667	0.725	226.723
Cv (%)		2.82	4.65	2.85

*, ns: significant at 5% level, and non significant, respectively.

* و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

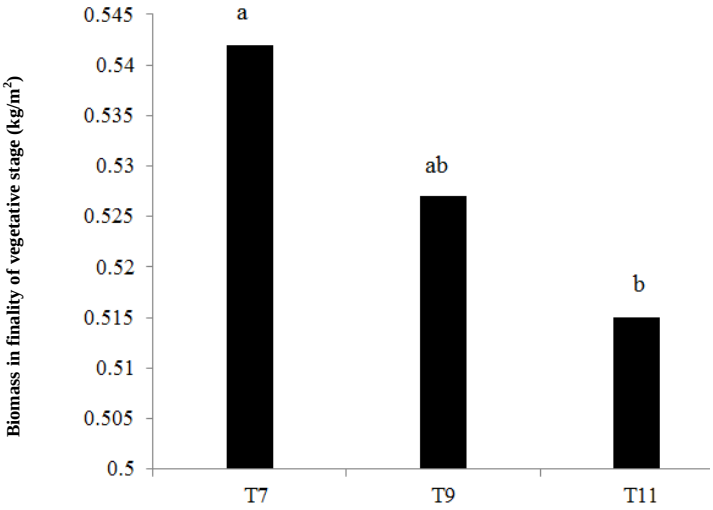


شکل ۵. مقایسهٔ میانگین سطح سبز برگ در انتهای دورهٔ رویشی (الف) و اثر متقابل رقم و رژیم‌های رطوبتی بر سطح سبز برگ گندم بیست روز پس از گرده‌افشانی (ب). ستون‌های دارای حرف‌های مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن)، تفاوت معنی‌داری ندارند. توصیف رژیم‌های رطوبتی در جدول ۲ آمده است.

Figure 5. Mean comparison of green leaf area at late vegetative stage (a) and interaction effect of cultivar and moisture regimes on green leaf area at 20 day after pollination of wheat (b).
Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD Test).
For description of moisture regimes in table 2.

میزان زیست‌توده در پایان مرحلهٔ رویشی

میزان زیست‌تودهٔ بالا در پایان مرحلهٔ رویشی بیانگر ظرفیت تولید گیاه برای تولید و حمایت از مخزن‌های زایشی است، که می‌تواند متأثر از رژیم رطوبتی در این مرحله از رشد باشد. نتایج تجزیهٔ واریانس میزان زیست‌توده در پایان دورهٔ رویشی در جدول ۵ نشان داده شده است. رقم‌ها از نظر میزان زیست‌توده در انتهای مرحلهٔ رویشی تفاوت معنی‌داری نداشتند ولی تأثیر رژیم‌های رطوبتی بر زیست‌توده در این مرحله در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل معنی‌داری بین رقم و رژیم رطوبتی مشاهده نشد. از سه گروه تیمار رطوبتی اعمال‌شده در مرحلهٔ رویشی، بیشترین میانگین زیست‌توده در انتهای دورهٔ رویشی (۰/۵۴۳ کیلوگرم در مترمربع)، با اعمال تیمارهای رطوبتی T_7 و کمترین میانگین (۰/۵۱۷کیلوگرم در مترمربع)، از تیمارهای رطوبتی T_{11} به‌دست آمد (شکل ۶). نخستین و حساس‌ترین واکنش نسبت به کمبود آب، کاهش در آماس یاخته و در نتیجه کاهش رشد است (Larcher, 1995). محققان زیادی کاهش میزان تولید زیست‌تودهٔ گندم را در شرایط کمبود آب گزارش کرده‌اند (Nagarajan *et al.*, 1999). میانگین میزان زیست‌تودهٔ تولیدشده از تیمارهای رطوبتی T_9 تفاوت معنی‌داری با دو گروه T_7 و T_{11} نداشت (شکل ۶). ازآنجاکه هر سه رقم مورد بررسی در تیمارهای رطوبتی T_7، بیشترین میانگین زیست‌توده و عملکرد دانه را تولید کرده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت داشتن زیست‌تودهٔ بالا پیش از گرده‌افشانی یعنی داشتن ظرفیت بالای رشد اولیه تا هنگام گلدهی، فرصت خوبی برای استفاده از رطوبت موجود در آغاز فصل رشد فراهم کرده است. میزان زیست‌تودهٔ تولیدشده در این مرحله که معرف توان منبع است هر چه بیشتر باشد، نورساخت جاری بیشتر شده و سهم نورساخت جاری در عملکرد دانه افزایش پیدا می‌کند.



شکل۶. مقایسهٔ میانگین میزان زیست‌تودهٔ گندم انتهای دورهٔ رویشی در رژیم‌های رطوبتی. ستون‌های دارای حرف‌های مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن)، تفاوت معنی‌داری ندارند. توصیف رژیم‌های رطوبتی در جدول۲ آمده است

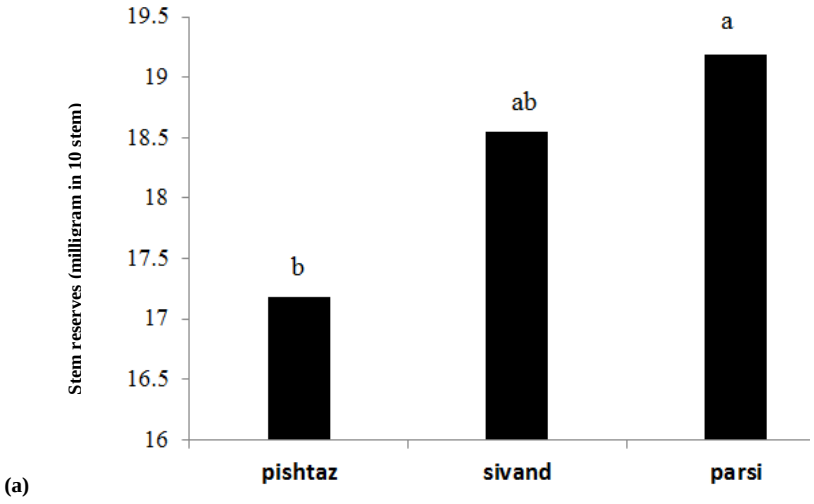
Figure 6. Mean comparison of biomass at late vegetative stage of wheatunder different moisture regimes. Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD Test). For description of moisture regimes in table 2.

ذخیره‌سازی کربن در ساقه و انتقال دوبارهٔ آن

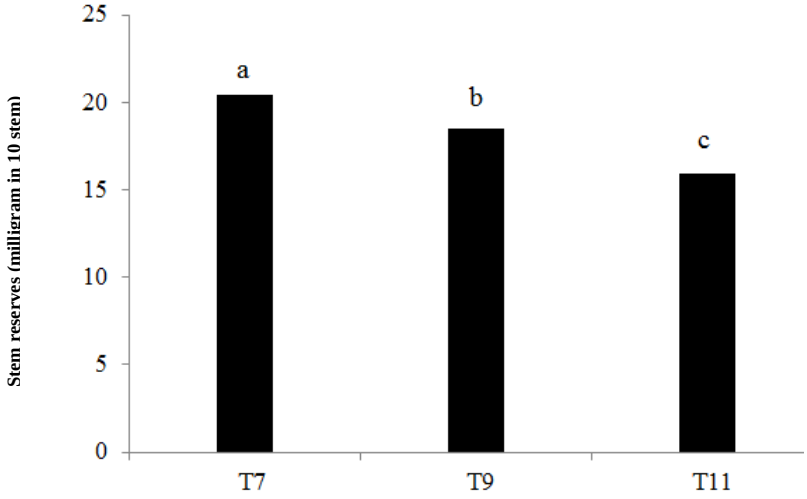
ذخیره‌سازی مواد نورساختی افزون بر نیاز در مرحلهٔ رویشی و پس‌از آن انتقال دوبارهٔ آن به مخزن‌های در حال رشد یکی از راهکارهای جبران کاهش نورساخت جاری در پایان مرحله‌های رشد، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی است. در این تحقیق وزن خشک ساقه در مرحلهٔ شانزده روز پس از گلدهی به‌عنوان معیاری از ذخیره‌سازی در نظر گرفته و بررسی شد. هم رقم‌ها و هم رژیم‌های رطوبتی از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری نشان دادند ولی اثر متقابلی از این لحاظ

مشاهده نشد (جدول ۵ و شکل‌های ۷- الف و ب). بیشترین میانگین وزن ساقه (۱۹/۱۹ میلی‌گرم در ده ساقه)، از رقم پارسی و کمترین میانگین آن (۱۷/۱۸ میلی‌گرم در ده ساقه)، از رقم پیشتاز به دست آمد و رقم سیوند از این نظر تفاوت معنی‌داری با دو رقم دیگر نداشت. گرچه بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب مربوط به رقم‌های پیشتاز و پارسی بود و وزن بیشتر ساقه در مرحلهٔ رویشی به منزلهٔ توان تثبیت بیشتر کربن (توان منبع بالاتر)، است، ولی نداشتن رابطهٔ آن با عملکرد بیشتر در این رقم‌ها، یا دلالت به محدودیت مخزن در استفاده از این ذخیره بوده و یا بیانگر آن است که کربن ذخیره‌شده قابلیت انتقال دوباره را نداشته و لذا از این منظر بدون ارزش فیزیولوژیک بوده است. بیشترین میانگین ذخیره‌سازی کربن در تیمارهای رطوبتی T_7 (۱۹/۲۳ میلی‌گرم در ده ساقه) و کمترین میانگین آن در تیمارهای رطوبتیT_{11} (۱۴/۲۶ میلی‌گرم در ده ساقه)، به دست آمد (شکل ۷-ب). علت افزایش ذخیره‌سازی در تیمارهای رطوبتی T_7 را می‌توان به شرایط مطلوب رطوبتی در مرحلهٔ رویشی که منجر به تثبیت بیشتر کربن شده است، نسبت داد. در چنین شرایطی مواد نورساختی افزون بر نیاز گیاه در ساقه‌ها ذخیره می‌شود (Blum, 1998). ساقه محل اصلی ذخیره‌سازی کربن پیش از گرده‌افشانی است، لذا وزن خشک بیشتر ساقه، می‌تواند یک صفت مطلوب و مرتبط با مقاومت به تنش خشکی و یا شرایط کاهش منبع باشد (Giunta *et al.*, 1995). از نظر توانایی انتقال دوباره، رقم پارسی کمترین میانگین انتقال دوباره و رقم پیشتاز بیشترین میانگین را داشت و از این نظر اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. رقم سیوند از نظر توانایی انتقال دوباره اختلاف معنی‌داری با دو رقم دیگر نداشت (شکل ۸-الف). ازآنجاکه میانگین عملکرد دانه در رقم پیشتاز بیشتر از رقم پارسی بوده است به‌احتمال توانایی بالای این رقم در انتقال دوبارهٔ کربن ذخیره‌شده در ساقه، نقش مؤثری در بهبود عملکرد دانهٔ آن داشته است، که هماهنگ با پاسخ سطح سبز برگ و عملکرد زیست‌توده به تیمارهای رطوبتی بود. رقم پیشتاز به دلیل توانایی انتقال دوبارهٔ بالاتر، عملکرد بیشتری داشت ولی وزن ساقهٔ پیشتاز از دو رقم دیگر کمتر بود، پس وزن ساقهٔ بالا به معنی انتقال دوبارهٔ بالاتر نیست. نکته‌ای که باید به آن توجه کرد این است که رابطهٔ ساده بین ذخیره‌سازی و انتقال دوباره در میان تحقیقات انجام‌شده در این زمینه دیده نمی‌شود. این به آن مفهوم است که نمی‌توان گفت رقم دارای ذخیره‌سازی زیاد کربن، انتقال دوبارهٔ بالا نیز دارد. ذخیره‌سازی کربن شرط لازم برای انتقال دوباره است ولی کافی نیست، زیرا ممکن است کربن به‌صورت ساختاری ذخیره شود و توانایی انتقال آن وجود نداشته باشد (Uzik & Zofajova, 2006). به‌هرحال برخی گزارش‌ها به همبستگی مثبت بین میزان ذخیره‌سازی و انتقال دوباره اشاره کرده‌اند (Ehdaie *et al.*, 2006b). بیشترین میانگین انتقال دوبارهٔ کربن در تیمار رطوبتی T_{1111} (۹/۰۲ میلی‌گرم در ده ساقه) و کمترین میانگین آن در تیمارهای رطوبتی T_{77} (۱/۲۶ میلی‌گرم در ده ساقه)، به دست آمد (شکل ۸-ب). در هر سه گروه تیمار رطوبتی اعمال‌شده در مرحلهٔ رویشی، با افزایش دور آبیاری در مرحلهٔ زایشی از ۷۰ به ۹۰ و ۱۱۰ میلی‌متر، انتقال دوباره افزایش پیدا کرد. مقایسهٔ تیمارهای گروهT_7 با دو گروه دیگر T_9 و T_{11} که در مرحلهٔ رویشی با کمبود آب روبه‌رو بودند و ذخیره‌سازی کمتری نسبت به گروه T_7 داشتند، نشان داد که انتقال دوباره در این دو گروه بیشتر از گروه T_7 بود. انتظار می‌رفت انتقال دوباره در تیمار T_{711} از دو تیمار T_{911} و T_{1111} بیشتر باشد چون تیمار T_{711} ذخیره‌سازی بیشتری نسبت به این دو تیمار داشت، ولی نتیجه‌ای برعکس آن مشاهده شد. این نتیجه نشان می‌دهد شرایط مطلوب رویشی و ذخیره‌سازی زیاد با افزایش انتقال دوباره هماهنگی ندارد، به‌طوری‌که بیشترین انتقال دوباره از تیمار T_{1111} به دست آمد. این روند افزایش انتقال دوباره با افزایش دور آبیاری، بخشی از علت شیب کند کاهش عملکرد به رژیم‌های رطوبتی اعمال‌شده را نشان می‌دهد (شکل ۸-ب). علت افزایش انتقال دوباره در تیمار رطوبتی T_{1111} را می‌توان به کاهش سرعت نورساخت گیاه (کمتر بودن میانگین سطح سبز برگ در این تیمار رطوبتی) و کاهش مواد پروردهٔ صادرشده از اندام‌های نورساخت‌کننده

به‌دانه‌های در حال رشد نسبت دارد. به‌احتمال این تغییر مانند یک پیام برای انتقال دوبارهٔ ترکیب‌های ذخیره‌ای ساقهٔ به‌دانه‌های در حال رشد عمل کرده است. در این راستا Yang *et al.* (2004)، گزارش دادند با توجه به کاهش نورساخت در اثر تنش خشکی و نیاز ثابت مخزن‌ها، به‌احتمال تنش خشکی در مرحلهٔ پر شدن دانه‌ها از راه تأثیر روی فعالیت برخی آنزیم‌های کلیدی مسیر ساخت ساکاروز (مانند ساکاروز فسفات سینتاز و فروکتان اگزوهیدرولاز)، و افزایش انتقال دوباره می‌تواند ظرفیت صادرات ساکاروز را افزایش دهد.



(a)



(b)

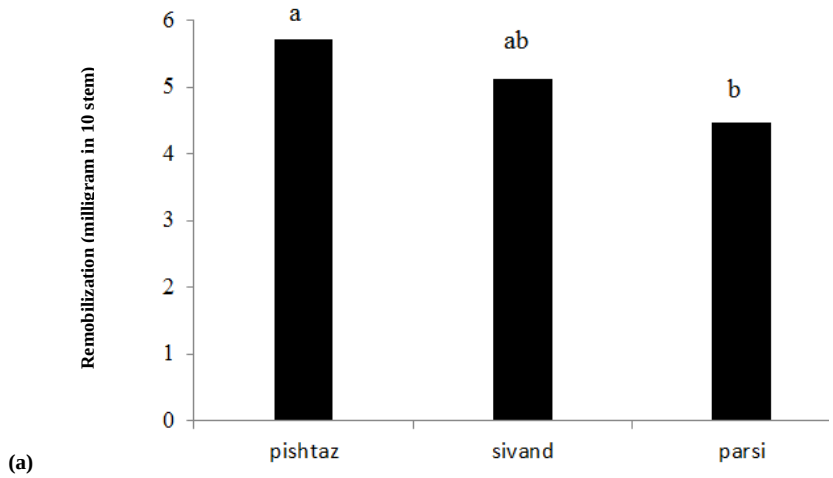
شکل ۷. مقایسهٔ میانگین ذخیره‌سازی در رقم‌های گندم (الف) و رژیم‌های مختلف رطوبتی (ب). ستون‌های دارای حرف‌های مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن)، تفاوت معنی‌داری ندارند. توصیف رژیم‌های رطوبتی در جدول ۲ آمده است.

Figure 7. Mean comparison of stem reserves in cultivars (a) and different moisture regimes (b). Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD Test). For description of moisture regimes see table 2.

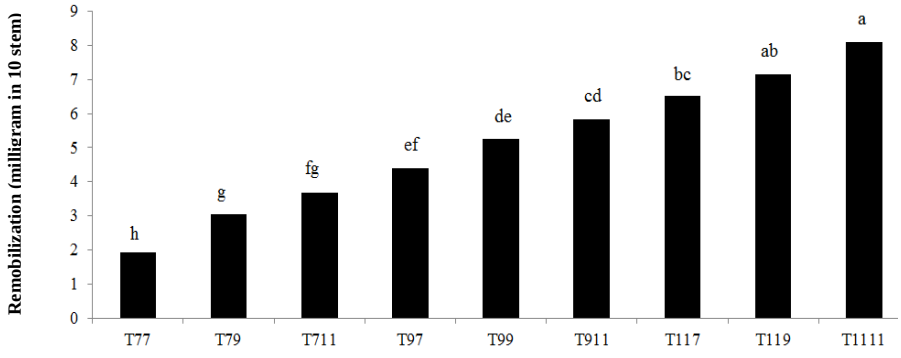
نتیجه‌گیری

آب، به‌ویژه در شرایط کنونی کشور، یکی از ارزشمندترین و کمیاب‌ترین نهاده در تولید محصول به شمار می‌آید و لذا به بیشینه رساندن بازدهٔ مصرف این نهاده باید به‌عنوان یک هدف راهبرد (استراتژیک) در تحقیقات کشاورزی تعیین شود. گیاهی مانند گندم، دارای ظرفیت توانمندی‌های بالقوهٔ جبرانی است که آن را قادر می‌سازد تا در محدوده‌هایی از تنش رطوبتی، ظرفیت تولید خود را حفظ کند. یافتن حد پایین این محدوده منجر به افزایش بازدهٔ مصرف آب خواهد شد.

در شرایط این تحقیق، در هر رژیم رطوبتی به کار برده شده در مرحلهٔ رویشی، افزایش دورهٔ آبیاری از ۷۰ تا ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشت کلاس A کاهش معنی‌داری در عملکرد به دنبال نداشت. لذا پس از مرحلهٔ گلدهی و تقسیم یاخته‌ای، انجام آبیاری پس از حدود ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی (معادل حدود ۹-۸ درصد رطوبت خاک در شرایط این آزمایش) ضمن حفظ عملکرد، بازدهٔ مصرف آب را افزایش خواهد داد. در مرحلهٔ رویشی، افزایش فاصلهٔ آبیاری از ۷۰ به ۹۰ میلی‌متر، اگرچه کاهش عملکرد محدودی (۹-۷ درصد) را به دنبال داشت اما این کاهش در مقایسه با صرفه‌جویی به‌عمل‌آمده در مصرف آب به آسانی قابل چشم‌پوشی است. با توجه به شیب تدریجی کاهش عملکرد با افزایش فاصله‌های آبیاری، امکان یافتن نقطهٔ تعادل بین هزینهٔ ناشی از مصرف آب اضافی و درآمد ناشی از عملکرد اضافی قابل تعیین است. کاهش تدریجی عملکرد با افزایش دور آبیاری با شیب افزایش انتقال دوباره همراه بود که اهمیت تمرکز بر این فرایند جبرانی ارزشمند در شرایط محدودیت رطوبت را گوشزد می‌کند. رقم پیشتاز با بالاترین عملکرد در این بررسی، بیشترین میزان انتقال دوباره را نشان داد.



(a)



(b)

شکل ۸. مقایسهٔ میانگین انتقال دوباره در رقم‌های گندم (الف) و رژیم‌های مختلف رطوبتی (ب). ستون‌های دارای حرف‌های مشترک از نظر آماری (آزمون دانکن)، تفاوت معنی‌داری ندارند. توصیف رژیم‌های رطوبتی در جدول ۲ آمده است.

Figure 8. Mean comparison of remobilization in cultivars (a) and different moisture regimes (b). Means with the same letter are not significantly different at 5% probability level (LSD Test). For description of moisture regimes see table 2.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی شمارهٔ ۲۱/۶/۷۱۰۱۰۱۹ دانشگاه تهران انجام شده است که بدین‌وسیله از مسئولان ذیربط در معاونت پژوهشی دانشگاه تهران، تشکر و قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

1. Acevedo, E., Paola, S. & Herman, S. (2006). Growth and wheat physiology, development Laboratory of soil-pkant-water relations. *Faculty of agronomy and Forestry Sciences University of Chile*. Casilla 1004. Santiago, Chile. 47 pp.
2. Blum, A. (1998). Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Science Direct*, 100, 77-83.
3. Blum, A., Mayer, J. & Goldan, G. (2005). The effect of grain number per ear (sink size), on source activity and its water relations in wheat. *Experimental Botany*, 39, 106-114.
4. Ehdaie, B. & Waines, J.G. (1993). Variation in water-use efficiency and its components in wheat: I. well watered pot experiment. *Crop Science*, 33, 294-299.
5. Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A. & Waines, J.G. (2006a). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. post anthesis changes in internode dry matter. *Crop Science*, 46, 735-746.
6. Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A. & Waines, J.G. (2006b). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: Π. Post anthesis changes in internode water-soluble carbohydrates. *Crop Science*, 46, 2093-2103.
7. Emam, Y. & Ranjbari, Gh. (2000). Effect of plant density and drought stress at regetative growth stage on yield, yield components, and water use efficiency in corn. *Iranian Journal of Crop Science*, 2, 51-62.
8. Emam, Y., Ranjbari, A. & Bahran, M.J. (2006). Evaluation of yield and yield components in wheat cultivars under post-anthesis drought stress. *Journal of Agricultural Science*. Tech. Nat. Res., 11, 317-328.
9. Ghanbarpoor, M. & Sepahvand, M. (2003). Management of wheat Irrigation. *The eighth congress of Iranian Soil Science*, 120-128.
10. Giunta, F., Motzo, R. & Deidda, M. (1995). Effect of drought on leaf area development, biomass production and nitrogen uptake of durum wheat grown in a meditrranean environment. Aust. *Journal of Agricultural Research*, 96, 99-111.
11. Larcher, W. (1995). *Physiological plant ecology*. Third edition.Berlin springer-verlag.
12. Mohammadi, A., Majidi, A., Bihamta, M. & Heidari Sharif abadi, H. (2006). Evaluation of drought stress on agro-morphological characteristics in som wheat cultivars. *Pajohesh and Sazandegi*, 73, 184-192.
13. Montajabi, N. (2009). Management of water usage to enhance the wheat performance and irrigation efficiency in Golpaygan district. *Journal of Water and Soil*, 18(1), 52-61.
14. Nagarajan, S., Rane, J., Maheswari, M. & Gambhir, P. (1999). Effect of post-anthesis water stress on accumulation of dry matter, carbon and nitrogen and their partitioning of dry matter, carbon and nitrogen and their partitioning in wheat varieties differing in drought tolerance. *Journal of Agronomy*. *Crop Science*, 183, 129-136.
15. Papakost, D.K. & Gagianas, A.A. (1991). Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and Losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Journal of Agronomy*, 83, 884-870.
16. Racher, R., Shewry, P. & Scofielf, G. (1995). Manipulation of leaf area and its effect on grain yield in droughted wheat. Aust. *Journal of Agronomy Research*, 34, 23-31.
17. Rajaram, S.H.J., Braum, M. & Tiger stedt, P.M.A. (1995). CIMMYT's approach to breed for drought tolerance. XIV EUCARPIA congress on adaptation in plant breeding. Jyvaskyla. Finland. *Euphytica*, 92, 1-2, 145-153.
18. Reynold, M.P., Pellergrineschi, A. & Skovmand, B. (2005). Sink –Limitation to yield and biomass: A summery of some investigations in spring wheat. *Annals Applied Biology*, 146(1), 39-49.
19. Reynolds, M.P. & Lopes, M.S. (2009). Partitioning of assimilates to deeper roots in associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. *Functional plant Biology*, 183, 129-136.
20. Schynder, H. (1993). The role of carbohydrate storage and redistribution in the source-sink relation of wheat and barley during grain filling. A review. *New Phytologist*, 23, 233-245.
21. Shobeiri, S., Ghassemi-Golezani, K. Golchin, A. & Saba, J. (2006). Effect of water limitation on growth and yield of three chick pea (*Cicer arietinum* L.) cultivars in zanjan. *Journal of Agricultural Science*. Natur. Resours, 14(2), 137-147.
22. Tabatabaei, S.A., Normohammadi, G.H., Hashemi Dezfoli, A. & Majidi Heravan, A. (2000). Evaluation of effect of different irrigation regimes and planting dates on different traits and water use efficiency of pearl millet (nutriphid variety). *Iranion Journal of Agricultural Science*, 31, 59-70.
23. Uzik, M. & Zofajova, A. (2006). Translocation and accumulation of dry matter in winter wheat genotypes. *Cereal Research Communications*, 34, 1013-1020.
24. Winkle, A. (1989). Breeding for drought tolerance in cereals. *Journal of Agricultural Science*, 16, 357-368.
25. Yang, J. & Zhang, J. (2006).Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist*, 169, 223-236.