



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "تحقیقات کاربردی اکوفیزبولوژی گیاهی"

دوره ششم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۸

<http://arpe.gonbad.ac.ir>

تغییرات سیستم ریشه‌ی ارقام گندم نان در سطوح مختلف تنش خشکی و رابطه‌ی آن با عملکرد

کامبیز پوری^۱، عادل سی و سه مرده^{۲*}، یوسف سهرابی^۲، افشین سلطانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

^{۲،۳} دانشیاران، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

^۴ استاد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۲۷

چکیده

مقدمه: خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی تولید گندم در سراسر جهان است و رشد گندم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هرچند ایران جزو کشورهای خشک محسوب می‌شود، اما می‌توان با برنامه‌ریزی از کاهش تولید جلوگیری کرد.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی روی سیستم ریشه‌ی گندم و رابطه‌ی آن با عملکرد دانه آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ در گرگان انجام شد. در این تحقیق که در دو بخش کشت گلدانی و کشت مزرعه انجام شد تعداد هشت رقم گندم و چهار سطح خشکی (۱/۰-، ۰/۳۹- و ۱/۵- مگاپاسکال و بدون آبیاری) در کشت گلدانی و دو بخش آبیاری و بدون آبیاری در کشت مزرعه مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: در این مطالعه میانگین وزن ریشه از سطح تنش ۱/۰- مگاپاسکال (شاهد) به سمت تیمار بدون آبیاری به ترتیب معادل ۱/۱۲، ۰/۹۸، ۰/۹۰ و ۱/۰۷ گرم در بوته بود. با توجه به نتایج این تحقیق افزایش تنش خشکی موجب کاهش وزن خشک ریشه شد، به طوری که در لایه ۰-۳۰ وزن ریشه در تیمار بدون آبیاری ۳۹ درصد کم‌تر از شاهد بود. در اکثر سطوح تنش رقم دیم کوه‌دشت پایین‌ترین وزن خشک ریشه را داشت. به طور کلی ارقام حساس به خشکی در تمامی تیمارها وزن خشک ریشه‌ی بیش‌تری از ارقام متحمل داشتند. با افزایش وزن ریشه عملکرد دانه در شرایط آبی افزایش و در شرایط بدون آبیاری کاهش داشت. میانگین عملکرد دانه در شرایط آبیاری ۶۲۳۷ و در شرایط بدون آبیاری ۴۷۵۷ کیلوگرم در هکتار بود.

نتیجه‌گیری: افزایش وزن ریشه در تنش موجب کاهش عملکرد دانه خواهد شد؛ بنابراین به نظر می‌رسد، در جریان اصلاح و گزینش ارقام گندم برای شرایط دیم مد نظر قراردادن اندازه‌ی سیستم ریشه مفید و کارآمد خواهد بود.

* نویسنده مسئول: a33@uok.ac.ir

واژه‌های کلیدی: اندام زایشی، تخصیص اسیمیلات، تنش خشکی، حجم ریشه، وزن خشک ریشه

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی تولید گندم در سراسر جهان است (Cattivelli *et al.*, 2008)؛ و رشد گندم را در تمام مراحل فنولوژیکی تحت تاثیر قرار می‌دهد (Farooq *et al.*, 2014). هرچند ایران از نظر نزولات آسمانی دچار محدودیت است؛ اما با برنامه‌ریزی اصولی می‌توان تا حدودی از کاهش تولید جلوگیری کرد (Tadayon and Emam, 2008). بیش‌ترین بازده رطوبت، زمانی به‌دست می‌آید که از آب محدود موجود در خاک، حداکثر جذب توسط گیاه صورت گیرد که این خصوصیت تنها از طریق مکانیسم‌های مرتبط با سیستم ریشه حاصل خواهد شد (Ganjeali *et al.*, 2007). خشکی روی بسیاری از صفات فیزیولوژیک ریشه از جمله تخصیص ماده‌ی خشک و رشد (Eyshi Rezaei, 2015) و عمق نفوذ ریشه و توسعه‌ی آن (Szegetes *et al.*, 2003; Yordanov *et al.*, 2000) مؤثر است. گیاهان عمدتاً از طریق تغییرات سیستم ریشه نسبت به شرایط خشک سازگار می‌شوند، به‌طوری‌که انعطاف‌پذیری سیستم ریشه‌ای با مقاومت به خشکی و عملکرد بالا در گندم تحت شرایط تنش خشکی همبستگی مثبت دارد (Rajaie *et al.*, 2015).

ساختار ریشه مانند تراکم، طول و توزیع سیستم ریشه که در سازگاری گیاه به شرایط نامطلوب محیطی مانند تنش خشکی نقش مؤثری ایفا می‌کند (Streda *et al.*, 2011) و توسط برهم‌کنش ژن‌ها و محیط کنترل می‌شود (Gruber *et al.*, 2013). برخی محققین معتقدند که ریشه‌های گسترده با استفاده از رطوبت ذخیره شده در لایه‌های پایین خاک در دوره‌ی پرشدن دانه که گیاه با خشکی انتهای فصل مواجه است، موجب بهبود عملکرد خواهد شد. (Jackson *et al.*, 2000; Kamoshita *et al.*, 2002; Reynolds *et al.*, 2007; Wasson *et al.*, 2012). از طرفی گزارش شده است که سیستم ریشه‌ی توسعه‌یافته در همه‌ی شرایط محیطی موجب بهبود عملکرد نخواهد شد (Passioura, 1982; Waines and Ehdaie, 2007; Ma *et al.*, 2008). نامبردگان معتقدند که سیستم ریشه‌ی گندم بزرگ‌تر از نیاز آن برای جذب آب و املاح است و رقیبی برای اندام زایشی در جذب اسیمیلات تولید شده می‌باشد، بنابراین کاهش سیستم ریشه می‌تواند موجب هدایت اسیمیلات بیشتر به سمت دانه و نهایتاً افزایش و پایداری عملکرد در شرایط نامساعد محیطی شود. در همین رابطه گزارش شده است که ریشه‌ها دو برابر اسیمیلات بیشتر برای تولید یک واحد وزن خشک در مقایسه با اندام هوایی مصرف می‌کنند (Passioura, 1982). همچنین گزارش شده است که بیش از ۲۰ درصد مواد فتوسنتزی از نوک ریشه‌ها به بیرون تراوش می‌کند، پس احتمال دارد که گیاهان با سیستم ریشه‌ی بزرگ‌تر رأس بیشتری داشته و سرعت تراوش و هدر رفت اسیمیلات بالاتری نیز داشته باشند (Siddique, 1990).

ارقام، واکنش‌های متفاوتی به تنش خشکی شدید نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که عملکرد ارقام جدید همواره از ارقام قدیمی بیشتر بوده است (Ziloe *et al.*, 2014). بنا به گزارش برخی محققان علت این مشاهده کوتاه‌تر شدن طول دوره‌ی رشد و نمو گیاه به جهت فرار از خشکی در ارقام جدید است (Blum, 1996). بهترین راه برای افزایش عملکرد، تولید و پایداری محصول در شرایط کمبود آب افزایش کاشت ارقام متحمل به خشکی عنوان شده است (Siddique *et al.*, 2000). اثبات شده است که ویژگی‌های ریشه در تعیین واکنش بعضی گیاهان به

خشکی بسیار مهم‌تر از خصوصیات اندام هوایی می‌باشد (Kano *et al.*, 2011). اهدایی و همکاران (Ehdaie *et al.*, 2010) گزارش کردند که کمبود آب منجر به کاهش بیوماس اندام هوایی و بیوماس ریشه می‌شود، هرچند در ارتباط با ریشه تفاوت‌های معنی‌داری در واکنش ارقام مختلف گندم به تنش خشکی وجود دارد. ایشان در همین زمینه بیان نمودند که در ژنوتیپ‌های مختلف گندم اختلاف معنی‌داری در بیوماس ریشه، وزن خشک ریشه‌ی سطحی و وزن خشک ریشه‌های عمیق مشاهده شده است. با توجه به اهمیت ساختار سیستم ریشه‌ی گندم در عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی و مشکلات مطالعه‌ی آن، این تحقیق با هدف ارزیابی تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی روی رشد سیستم ریشه و عملکرد ارقام حساس و متحمل گندم نان در دو بخش کشت گلدانی و مزرعه‌ای در گرگان صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۹۶-۹۵ به اجرا درآمد. شهرستان گرگان در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳/۳ متر از سطح دریا واقع شده، دارای آب و هوای گرم و معتدل و رطوبت نسبی ۷۹ درصد بوده و متوسط بارندگی سالانه آن ۵۵۴ میلی‌متر می‌باشد. در این طرح از ارقام آبی و دیم رایج منطقه که دارای عملکرد بالا بوده استفاده گردید که شامل N-87-20 و مروارید به‌عنوان ارقام آبی نیمه پابلند و رقم گنبد و لاین N-91-8 به‌عنوان رقم و لاین آبی نیمه پاکوتاه (گروه حساس به خشکی) و همچنین ارقام کوهدشت و کریم به‌عنوان ارقام دیم نیمه پابلند و ارقام قابوس و آفتاب به‌عنوان ارقام دیم نیمه پاکوتاه (گروه متحمل) بود.

آزمایشات گلدانی: سقف گلخانه‌ی مورد نظر با نایلون پلاستیکی شفاف پوشیده شده و تمامی قسمت‌های آن از چهار طرف باز بود. سقف پلاستیکی در روزهای آفتابی جمع و در روزهای بارانی پخش شد. سطوح تنش در نظر گرفته شده برای این بخش شامل آبیاری در ۱/۱ MPa - (۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک به‌عنوان شاهد)، ۰/۳۹ MPa - (تنش کم)، ۱/۵ MPa - (تنش شدید) و قطع آبیاری پس از شروع تنش بود. در ابتدای طرح، خاک مورد نظر با مقداری ماسه به نسبت ۱:۳ مخلوط شده (سه نسبت خاک یک نسبت ماسه) و سپس نمونه‌ای از این خاک و ماسه‌ی مخلوط شده جهت تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱). این بخش از مطالعه با ۳۲ تیمار در ۴ چهار تکرار به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکیوشیمیایی خاک مورد آزمایش (از عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری)

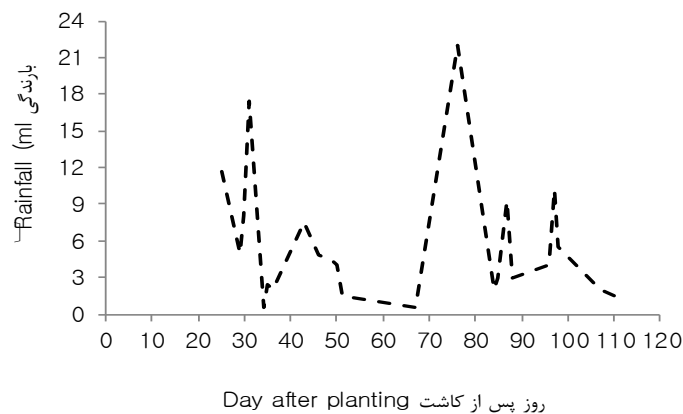
Table 1- Physicochemical characteristics of the experimental soil (depth of 0-60 cm)

بافت خاک	سیلت	رس	شن	pH	EC (dS/m)	کربن آلی	نیتروژن	رطوبت
Soil texture	Silt (%)	Clay (%)	Sand (%)			O.C. (%)	N (%)	Moisture (%)
لومی	34	22	44	7	4.1	0.74	0.07	7.3

گلدان‌های انتخاب شده برای این بخش از نوع کیسه‌های پلاستیکی شفاف با عمق ۱۱۰ و قطر ۱۰ سانتی‌متر بود. در انتهای تمامی گلدان‌ها گلدان پلاستیکی کوچک حاوی چند سوراخ برای خروج آب اضافی درون گلدان،

قرار داده شد. با توجه به نتایج آزمون خاک ۵۰ درصد کود نیتروژن و کود فسفر توصیه شده با خاک سطحی مخلوط شد. پس از آماده‌سازی گلدان‌ها میزان بذر لازم برای هر گلدان با در نظر گرفتن ۳۵۰ بوته در مترمربع و قطر گلدان محاسبه، و تعداد ۳ بذر در هر گلدان در عمق ۲ سانتی‌متری خاک در تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۱۰ کشت شد. سقف پلاستیکی تا رسیدن به مرحله‌ی اعمال تنش برداشته شد به طوری که بوته‌ها تا آن مرحله کاملاً در شرایط طبیعی (از نظر بارش و درجه‌ی حرارت) رشد نمودند. در مرحله‌ی ۲ برگ‌ی علف‌های هرز از گلدان‌ها حذف شد. در مرحله‌ی شروع ساقه‌روی ۵۰ درصد باقیمانده‌ی کود نیتروژن توصیه شده به صورت محلول در آب استفاده گردید. شکل یک میزان بارندگی از مرحله‌ی کاشت تا زمان نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

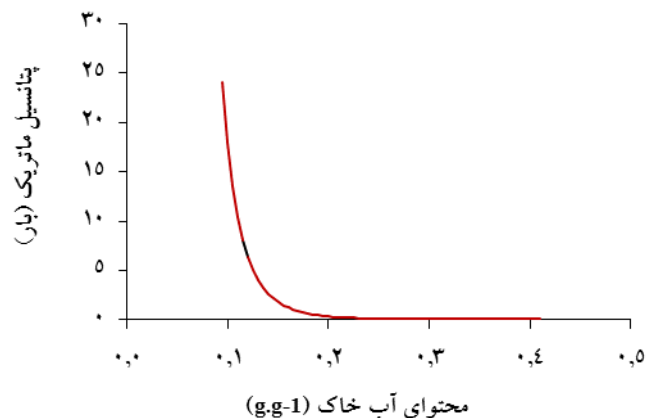
اعمال تنش: سطوح مختلف تنش با شروع مرحله‌ی ساقه‌روی با استفاده از منحنی آب خاک (شکل ۲) و محاسبه‌ی درصد آب خاک در سطوح مختلف تنش اعمال شد. به این منظور از نرم‌افزار PsyCalc (Soltani and Maddah, 2009) استفاده گردید، به گونه‌ای که ابتدا با ورود اطلاعات خاک مورد نظر (درصد رس، درصد ماسه و وزن مخصوص ظاهری خاک) به نرم‌افزار درصد آب خاک در پتانسیل‌های مورد نظر به دست آمد.



شکل ۱- میزان بارندگی از کاشت تا نمونه‌برداری

Figure 1- Precipitation from planting to sampling

آب موجود در خاک در پتانسیل 0.1 MPa معادل $16/5\%$ ، پتانسیل 0.39 MPa معادل 13% و در پتانسیل 1.5 MPa معادل $10/5\%$ وزنی بود (شکل ۲). سپس درصد آب خاک و وزن خاک گلدان در ظرفیت زراعی معادل $20/5\%$ و 14 کیلوگرم تعیین شد. درصد آب گلدان در پتانسیل‌های مورد نظر با استفاده از منحنی آب خاک محاسبه و زمان آبیاری گلدان‌ها در هر پتانسیل برای رسیدن به ظرفیت زراعی، با کسر درصد آب از درصد آب در ظرفیت زراعی به دست آمد. بنابراین در پتانسیل‌های 0.1 MPa ، 0.39 MPa و 1.5 MPa زمانی که وزن گلدان به ترتیب به $13/4$ ، $12/8$ و $12/5$ کیلوگرم رسید آبیاری تا رسیدن به ظرفیت زراعی انجام شد.



شکل ۲- منحنی آب خاک مورد آزمایش

Figure 2- Water soil curve

آزمایشات مزرعه‌ای: پس از انتخاب قطعه‌ی مورد نظر کودهای شیمیایی مطابق توصیه‌ی کودی آزمایشگاه استفاده و سپس شخم و دیسک در حالت گاورو برای آماده‌سازی بستر کشت انجام شد. هر بخش آبی و دیم به چهار بلوک شمالی-جنوبی و هر بلوک نیز به هشت کرت تقسیم شد. این بخش از تحقیق به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. بذور قبل از کشت با قارچ‌کش دیویدند به نسبت دو در هزار ضدعفونی و با تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع با فاصله‌ی بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر در تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۰۳ کشت گردید. در مرحله‌ی پنجه‌زنی و آبستنی وجین دستی علف‌های هرز انجام شد. طرح در شروع مرحله‌ی گرده‌افشانی جهت پیشگیری از بیماری‌های قارچی با قارچ‌کش تیلت (یک لیتر در هکتار) و برای کنترل خسارت آفات با حشره‌کش دیازینون (یک لیتر در هکتار) سمپاشی شد. به سبب رخداد مطلوب بارندگی در سال اجرای طرح تنها یک مرتبه آبیاری به صورت غرقابی در بخش آبی در مرحله‌ی گرده‌افشانی صورت پذیرفت. در مرحله‌ی رسیدگی برداشت تعیین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با برداشت یک مترمربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه و تعیین وزن دانه‌ی آن انجام گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱)، مقایسه‌ی میانگین داده‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: در این مطالعه بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه در شرایط آبیاری با ۷۳۳۱ و ۵۵۷۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در ارقام گنبد و کوه‌دشت و در شرایط بدون آبیاری با ۴۸۴۴ و ۴۶۵۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در ارقام قابوس و N-87-20 به دست آمد (جدول ۳). میانگین عملکرد دانه در شرایط آبیاری ۶۲۳۷ و با ۲۳/۷ درصد کاهش در شرایط بدون آبیاری به ۴۷۵۷ کیلوگرم در هکتار رسید. کاهش عملکرد ارقام حساس در شرایط

بدون آبیاری ۲۹ درصد و ارقام متحمل ۱۷ درصد بود که مطابق با نتایج به‌دست آمده در آزمایشات رجایی و همکاران (Rajaie *et al.*, 2015) بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه گندم نان در مزرعه

Table 2- Analysis of variance (MS) of studied traits of bread wheat in field

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	6	1058 **	913.9 **	5.09 **
تنش Stress	7	1318 **	134.2 **	14.43 **
رقم Cultivar	1	7652 **	701.7 **	1052.25 **
تنش × رقم Cultivar × Stress	7	4882 **	134.5 **	43.7 **
خطا Error	90	12.6	70.1	0.28

ns, * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

جدول ۳- مقایسه‌ی میانگین اثر تنش و رقم بر صفات مورد مطالعه گندم نان در مزرعه

Table 3- Mean comparison of effect of stress and cultivar on studied traits of bread wheat in field

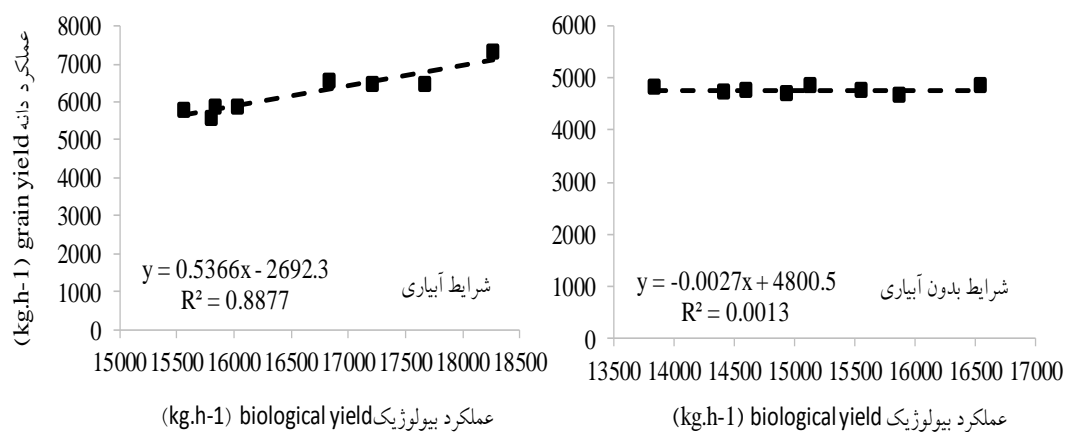
تیمار Treatment	ارقام Cultivars	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
Irrigated	N-87-20	17648 b	6443 cd	36.8 d
	Gonbad	18258 a	7331 a	40.1 a
	Morvarid	17216 c	6470 bc	38.1 c
	N-91-8	16838 d	6559 b	39.1 b
	Koohdash	15810 g	5575 g	34.7 e
	Karim	15836 f	5874 e	36.8 d
	Qabus	16030 e	5881 e	36.7 d
	Aftab	15564 h	5767 ef	37.2 d
No Irrigated	N-87-20	15808 b	4653 c	28.8 e
	Gonbad	16539 a	4841 c	29.1 e
	Morvarid	15547 c	4743 b	31.0 d
	N-91-8	14929 e	4677 c	31.2 d
	Koohdash	14575 f	4740 b	33.3 b
	Karim	14430 g	4733 b	33.1 b
	Qabus	15152 d	4844 a	32.1 c
	Aftab	13849 h	4826 a	35.1 a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

احتمالاً کاهش سطح سبز و به تبع آن فتوسنتز جاری در شرایط بدون آبیاری انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف گیاه و در نهایت عملکرد دانه را کاهش داده است. در همین رابطه بوداک و همکاران (Budak *et al.*, 2013) گزارش کردند که رخداد تنش خشکی از مرحله گل‌دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک موجب تسریع پیری برگ و کاهش وزن دانه‌های تولید شده می‌شود. همچنین گزارش شده است که مقدار افت عملکرد در واکنش به تنش خشکی بستگی به رقم گندم داشته (Dencic, 2000) و عواملی مثل رشد ساقه و ریشه (Moemeni *et al.*, 2008) و یا کاهش مواد فتوسنتزی ساخته شده در واحد سطح برگ (Passioura, 1988) در شرایط تنش خشکی می‌توانند از دلایل افت عملکرد محسوب شوند.

عملکرد بیولوژیک: بالاترین و پایین‌ترین عملکرد بیولوژیک ارقام در شرایط آبیاری و بدون آبیاری در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین عملکرد بیولوژیک ارقام در شرایط آبیاری ۱۶۶۵۰ کیلوگرم در هکتار بود و در شرایط بدون آبیاری با حدود نه درصد کاهش به ۱۵۱۰۳ کیلوگرم در هکتار رسید. در ارقام حساس و متحمل در شرایط بدون آبیاری نسبت به شرایط آبیاری به ترتیب ۱۰ و ۸ درصد کاهش داشت که با نتایج به‌دست آمده در آزمایشات ما و همکاران (Ma *et al.*, 2013) مطابقت داشت. از آن‌جا که اختلاف شرایط آبیاری و بدون آبیاری تنها در یک مرتبه آبیاری آن هم پس از مرحله گرده‌افشانی بود، عدم اختلاف چشمگیر در عملکرد بیولوژیک بین دو شرایط در ارقام حساس و متحمل قابل پیش‌بینی بود. شکل ۳ رابطه‌ی عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه را نشان می‌دهد. در شرایط آبیاری با افزایش عملکرد بیولوژیک عملکرد دانه افزایش یافت؛ اما در شرایط دیم تغییری مشاهده نشد. به نظر می‌رسد در شرایط دیم اندام هوایی توسعه‌یافته تأثیری بر عملکرد دانه ندارد.



شکل ۳- رابطه‌ی عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه در مزرعه
Figure 3- Relationship between grain and biological yield

شاخص برداشت: بالاترین و پایین‌ترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری معادل ۴۰/۱ و ۳۴/۷ درصد به ترتیب در ارقام گنبد و کوه‌دشت و در شرایط بدون آبیاری معادل ۳۵/۱ و ۲۹/۱ درصد بود که به ترتیب در ارقام آفتاب و گنبد مشاهده شد (جدول ۳). میانگین شاخص برداشت در شرایط آبیاری و بدون آبیاری به ترتیب معادل ۳۷/۴ و ۳۱/۷ درصد بود که کاهش حدود ۱۵ درصدی در شرایط بدون آبیاری داشت که با مشاهدات به‌دست آمده از

تحقیقات رجایی و همکاران (Rajaie *et al.*, 2015) و کوچکی و همکاران (Kochaki *et al.*, 2003) مطابقت دارد. میانگین شاخص برداشت ۴۰/۱۸ در شرایط آبیاری و ۳۶/۴ درصد در شرایط تنش خشکی توسط رجایی و همکاران (Rajaie *et al.*, 2015) نیز گزارش شده است. با توجه به نتایج ارقام حساس از شرایط آبیاری به بدون آبیاری حدود ۲۱ درصد و ارقام متحمل حدود نه درصد کاهش نشان داد. میانگین شاخص برداشت ارقام حساس در شرایط آبیاری و بدون آبیاری به ترتیب حدود ۳۸/۵ و ۳۰ درصد و ارقام متحمل ۳۶/۳ و ۳۳/۴ درصد بود. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد دلیل اصلی ثبات عملکرد ارقام متحمل در شرایط بدون آبیاری حفظ شاخص برداشت بوده است که علی‌رغم کاهش تقریباً یکسان عملکرد بیولوژیک هر دو گروه در این شرایط، شاخص برداشت بالای ارقام متحمل موجب پایداری عملکرد دانه در این ارقام شده است.

طول ریشه: با توجه به نتایج این تحقیق در تیمار شاهد بیش‌ترین و کم‌ترین طول ریشه در ارقام مروارید و کوهدشت (به ترتیب ۱۳۲/۲ و ۹۵/۰ سانتی‌متر)، در پتانسیل ۰/۳۹ MPa - در ارقام آفتاب و کوهدشت (به ترتیب ۱۲۱/۵ و ۹۴/۲ سانتی‌متر)، در پتانسیل ۱/۵ MPa - در ارقام آفتاب و کوهدشت (به ترتیب ۱۳۲/۷ و ۱۰۴/۵ سانتی‌متر) و در تیمار بدون آبیاری در لاین N-91-8 و رقم کوهدشت (به ترتیب ۱۲۱ و ۱۰۷ سانتی‌متر) به دست آمد. در مقایسه‌ی ارقام بین سطوح مختلف تنش بیش‌ترین طول ریشه (۱۳۲/۷ سانتی‌متر) در رقم آفتاب و در تنش ۱/۵ MPa - و کم‌ترین طول ریشه (۹۴/۲ سانتی‌متر) در رقم کوهدشت و در تنش ۰/۳۹ MPa - مشاهده گردید (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه گندم نان در گلخانه

Table 4- Analysis of variance (MS) of studied traits of bread wheat in green house

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی DF	طول ریشه Root length	وزن خشک ریشه Root dry matter	حجم ریشه Root volume
بلوک Block	3	248.6 **	0.063 *	0.56 ^{ns}
تنش Stress	3	849.4 **	0.470 **	34.52 **
رقم Cultivar	7	673.2 **	1.380 **	21.25 **
تنش × رقم Cultivar × Stress	21	290.6 **	0.200 **	2.96 **
خطا Error	93	37.74	0.024	0.48

ns, * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at the level of five and one percent probability, respectively.

جدول ۵- مقایسه‌ی میانگین اثر تنش و رقم بر صفات مورد مطالعه گندم نان در گلخانه

Table 5- Mean comparison of effect of stress and cultivar on studied traits of bread wheat in green house

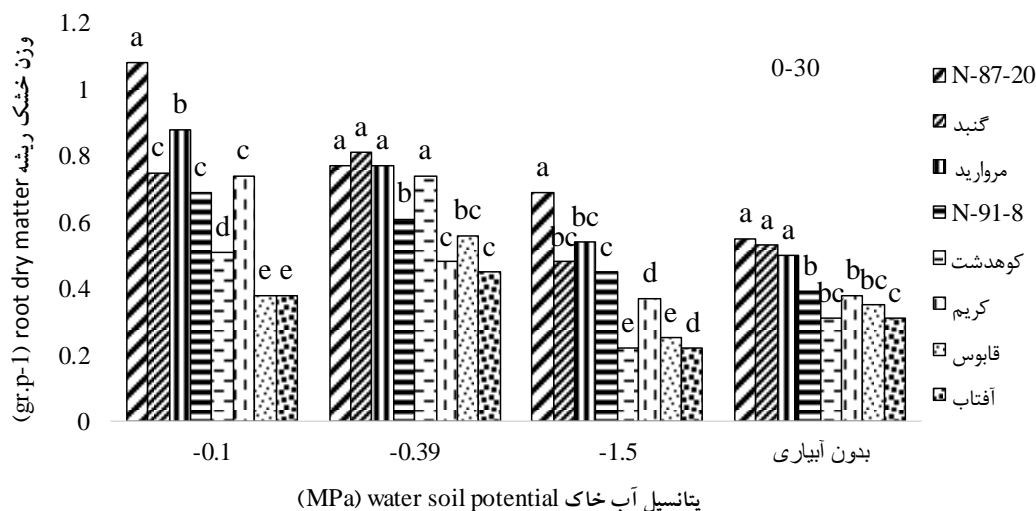
تنش Stress	ارقام Cultivars	طول ریشه Root length	وزن خشک ریشه Root dry matter	حجم ریشه Root volume
-0.1 مگاپاسکال (MPa)	N-87-20	125.2 abc	2.1 a	12.2 a
	Gonbad	116 c	1.2 c	7.5 cd
	Morvarid	132.2 a	1.4 b	9.2 b
	N-91-8	119.5 bc	1.1 c	8.5 bc
	Koohdash	95.0 d	0.6 d	7.5 cd
	Karim	124.5 abc	0.9 c	7.0 de
	Qabus	126.5 abc	0.7 d	7.2 cde
-0.39 مگاپاسکال (MPa)	Aftab	98.0 abc	0.7 d	6.2 e
	N-87-20	103.2 cd	1.04 bc	7.0 bc
	Gonbad	100.0 d	1.15 ab	7.5 ab
	Morvarid	113.7 ab	1.32 a	8.2 a
	N-91-8	111.0 bc	1.03 bc	7.5 ab
	Koohdash	94.2 d	1.05 bc	6.7 bcd
	Karim	103.0 cd	0.68 d	6.0 d
-1.5 مگاپاسکال (MPa)	Qabus	112.0 bc	0.95 c	7.2 bc
	Aftab	121.5 a	0.67 d	6.5 cd
	N-87-20	119.7 bc	1.3 a	8.7 a
	Gonbad	109.0 de	0.8 cd	5.5 d
	Morvarid	126.0 ab	1.1 b	7.5 b
	N-91-8	124.2 b	0.9 bc	6.2 c
	Koohdash	104.5 e	0.4 e	4.7 e
No irrigated	Karim	120.7 bc	0.7 cd	6.0 cd
	Qabus	115.5 cd	0.6 d	4.5 e
	Aftab	132.7 a	0.6 d	5.7 cd
	N-87-20	119 ab	1.63 a	8.0 a
	Gonbad	116 abc	1.57 a	6.5 b
	Morvarid	108 c	1.12 b	7.0 b
	N-91-8	121 a	0.88 bc	5.7 c
Koohdash	107 c	0.73 c	5.0 d	
Karim	109 bc	0.87 c	4.7 de	
Qabus	119 a	1.05 b	5.7 c	
Aftab	107 c	0.77 c	4.2 e	

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at the %5 probability level (LSD Test).

وزن خشک و حجم ریشه: بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد به ترتیب در ارقام N-87-20 و کوهدشت (۲/۱ و ۰/۶ گرم در بوته)، در تیمار -0.39 MPa در ارقام مروارید و آفتاب (۱/۳۲ و ۰/۶۷ گرم در بوته)، در تیمار -1.5 MPa در ارقام N-87-20 و کوهدشت (۱/۳ و ۰/۴ گرم در بوته) و در تیمار بدون آبیاری در ارقام N-87-20 و کوهدشت (۱/۶۳ و ۰/۷۳ گرم در بوته) مشاهده گردید (جدول ۵). در مقایسه‌ی ارقام بین سطوح

تنش نیز بیش‌ترین وزن خشک ریشه (۲/۱۳ گرم در بوته) در رقم N-87-20 و تیمار شاهد و کم‌ترین (۰/۴۵ گرم در بوته) در رقم کوهدشت در تیمار ۱/۵ MPa - به‌دست آمد (جدول ۵). میانگین وزن ریشه از شاهد به سمت تیمار بدون آبیاری به‌ترتیب معادل ۱/۱۲، ۰/۹۸، ۰/۹۰ و ۱/۰۷ گرم در بوته بود (جدول ۵). با توجه به نتایج این تحقیق در اکثر سطوح تنش رقم دیم کوهدشت پایین‌ترین وزن خشک ریشه را داشت. به‌طور کلی ارقام حساس به خشکی در تمامی تیمارها وزن خشک ریشه‌ی بیش‌تری از ارقام متحمل داشتند. مطابق با نتیجه‌ی به‌دست آمده در این تحقیق گزارش شده است که در مزرعه واریته‌های گندم با سیستم ریشه‌ی کوچک (اغلب متحمل به خشکی)، پرمحصول هستند و توانایی بالایی در مقاومت به خشکی نسبت به واریته‌های با سیستم ریشه‌ی بزرگ (حساس به خشکی) دارند، در همین رابطه عنوان شده است که سیستم ریشه‌ی بزرگ منجر به مصرف سریع آب خاک می‌شود که مناسب برای سطوح دیم و نیمه خشک نیست (Ma et al., 2013). در مقایسه‌ی وزن ریشه در لایه‌های مختلف خاک، بیش‌ترین وزن خشک در همه‌ی تیمارها و ارقام در لایه‌ی ۰-۳۰ سانتی‌متری به‌دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که در لایه‌ی ۰-۳۰ سانتی‌متری وزن خشک ریشه روندی مشابه با وزن خشک کل ریشه دارد که نشان می‌دهد، وزن ریشه در این لایه اثر تعیین‌کننده روی وزن کل ریشه دارد (شکل ۴).



شکل ۴- وزن خشک ریشه در پتانسیل‌های اسمزی مورد مطالعه (لایه‌ی ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Figure 4- Root dry matter in different osmotic potential (0-30 cm)

بنابراین زمانی که از وزن خشک ریشه در این لایه بحث می‌شود، می‌توان تا حدودی نتایج آن را به وزن کل ریشه تعمیم داد. اهمیت این مسئله به‌دلیل مشکلات مطالعه‌ی ریشه است؛ چرا که در لایه‌های پایین‌تر خاک نمونه‌برداری و مطالعه‌ی ریشه به‌دلیل مقدار پایین و قطر کم آن بسیار سخت بوده و در مواقعی نتایج به‌دست آمده قابل استناد نخواهد بود. مشابه با این نتایج گزارش شده است که اختلاف مشاهده شده در وزن خشک ریشه در گندم به لایه‌ی بالایی خاک (۰-۳۰ سانتی‌متری) محدود می‌شود و وزن خشک ریشه در لایه‌های پایین‌تر خاک

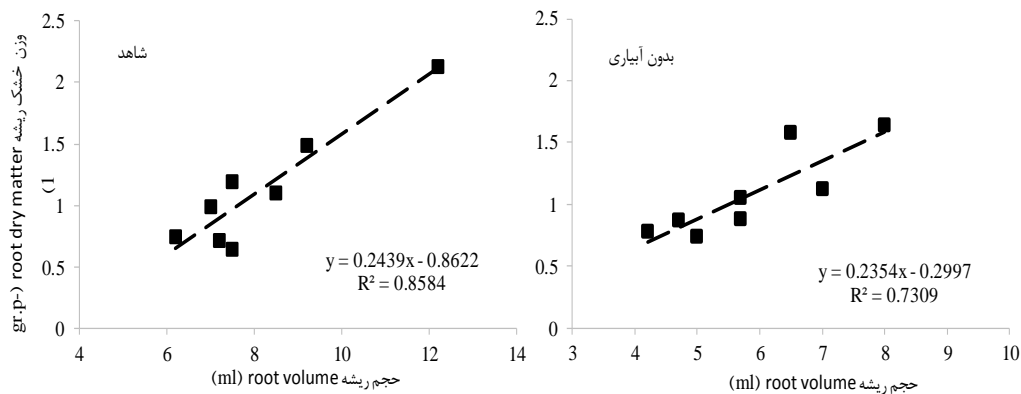
مشابه بوده است (Miralles *et al.*, 1997; Siddique, 1990). مطالعه‌ی تغییرات وزن خشک ریشه در لایه‌های مختلف نشان داد که وزن ریشه در تیمار بدون آبیاری (تنش شدید) در لایه‌ی پایینی خاک (در این مطالعه ۹۰-۶۰ سانتی‌متری) افزایش می‌یابد، در صورتی‌که در لایه‌ی میانی (در این مطالعه ۶۰-۳۰ سانتی‌متری) این مقدار در تیمار تنش کم و متوسط کاهش و در تنش شدید افزایش یافت، اما در لایه‌ی سطحی خاک بیش‌ترین وزن خشک ریشه در تیمار شاهد مشاهده شد.

این نتایج نشان داد که با افزایش تنش وزن خشک ریشه در لایه‌ی بالایی خاک کاهش یافته ولی در لایه‌ی میانی و به‌خصوص لایه‌ی پایینی افزایش می‌یابد که احتمالاً به‌دلیل تجمع رطوبت در اعماق بوده که گیاه جهت استفاده از آن انشعابات ریشه را در آن قسمت افزایش می‌دهد. کاهش وزن خشک ریشه در لایه‌ی سطحی در ارقام حساس با شیب بیش‌تری صورت گرفت، به طوری‌که در این مطالعه وزن ریشه‌ی ارقام حساس در این لایه در تیمار شاهد معادل ۰/۸۵ و در تیمار بدون آبیاری معادل ۰/۴۹ گرم در بوته بود که کاهش ۴۲ درصدی را نشان می‌دهد، در مقابل وزن ریشه‌ی ارقام متحمل در این لایه در تیمار شاهد معادل ۰/۵ و در تیمار بدون آبیاری معادل ۰/۳۳ گرم در بوته بود که ۳۲ درصد کاهش را نشان داد. این کاهش وزن ریشه‌ی سطحی در ارقام حساس شاید نتیجه‌ی حساسیت این ارقام به تنش باشد، همچنین این نتیجه نشان‌دهنده‌ی این مطلب است که ارقام حساس امروزی در شرایط مطلوب رطوبتی وزن ریشه‌ی بالایی در لایه‌ی سطحی خاک دارند؛ اما در شرایط تنش که رطوبت این لایه به‌سرعت تخلیه می‌شود، توسعه‌ی ریشه را در این لایه کاهش می‌دهند؛ چرا که این ارقام اغلب در شرایطی رشد کرده و انتخاب و اصلاح می‌شوند که برای جذب آب نیازی به داشتن بیوماس ریشه‌ی زیاد در لایه‌های پایینی خاک نیست (Waines and Ehdaie, 2007).

مطابق با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه ثابت شده است که آبیاری مکرر موجب تقویت رشد ریشه در لایه‌ی بالایی خاک شده و در شرایط خاک خشک توزیع ریشه در اعماق تحریک می‌شود (Wang *et al.*, 2014). بیش‌ترین و کم‌ترین حجم ریشه در تیمار شاهد با ۱۲/۲ و ۶/۲ میلی‌لیتر به‌ترتیب در ارقام N-87-20 و آفتاب، در پتانسیل ۰/۳۹ MPa - با ۸/۲ و ۶/۰ میلی‌لیتر به‌ترتیب در ارقام مروارید و کریم، در پتانسیل ۱/۵ MPa - با ۸/۷ و ۴/۵ میلی‌لیتر به‌ترتیب در ارقام N-87-20 و قابوس و در تیمار بدون آبیاری با ۸/۰ و ۴/۲ میلی‌لیتر به‌ترتیب در ارقام N-87-20 و آفتاب مشاهده گردید (جدول ۵). بین سطوح تنش نیز بیش‌ترین حجم ریشه در تیمار شاهد و رقم N-87-20 و کم‌ترین حجم در تیمار بدون آبیاری و رقم آفتاب مشاهده شد (جدول ۵). حجم ریشه نیز همانند وزن در تنش کم (۰/۳۹ MPa -) و متوسط (۱/۵ MPa -) کاهش یافت و در تنش شدید (بدون آبیاری) اندکی افزایش نشان داد (جدول ۵).

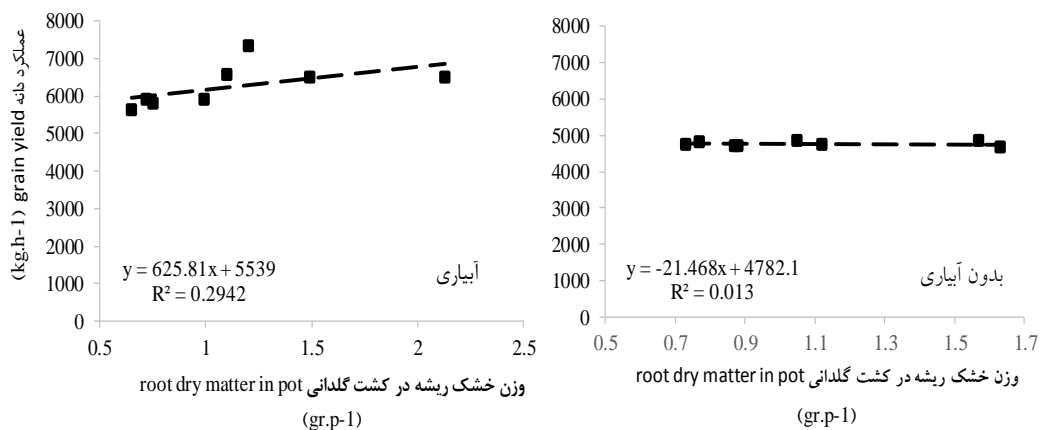
افزایش وزن خشک ریشه در ارتباط با افزایش حجم احتمالاً ناشی از افزایش سطح ریشه و در نتیجه بهبود جذب آب و عناصر غذایی بوده است. در همین رابطه گزارش شده است که جذب منابع با افزایش سطح ریشه افزایش می‌یابد که این عمل موجب افزایش حجم ریشه و در نتیجه افزایش وزن خشک اندام هوایی خواهد شد در عوض، مازاد اسیمیلات تولید شده در نتیجه‌ی رشد اندام هوایی، ممکن است در ریشه‌ها تجمع یابد که وزن خشک ریشه را افزایش می‌دهد (Narayanan *et al.*, 2014). رابطه‌ی حجم و وزن ریشه در شکل ۵ ارائه شده است.

با افزایش وزن خشک ریشه (در گلدان) عملکرد دانه‌ی ارقام در مزرعه در شرایط آبیاری افزایش یافت اما در شرایط بدون آبیاری همبستگی بین این دو مشاهده نشد (شکل ۶). احتمالاً در شرایط آبیاری به جهت فراهمی رطوبت افزایش حجم و وزن ریشه موجب افزایش جذب و در نتیجه افزایش عملکرد دانه شده است اما در شرایط محدودیت رطوبت افزایش سیستم ریشه موجب افزایش مصرف اسیمیلات شده بدون آن که جذب رطوبت و عناصر بیشتری داشته باشد، به این ترتیب مواد غذایی که می‌توانست صرف تولید دانه‌ی بیشتر شود به مصرف افزایش سیستم ریشه شده است. هم‌چنان که عنوان شده است، سیستم ریشه‌ی گیاهان و از جمله گندم بزرگ‌تر از نیاز آن برای جذب آب و املاح است و رقیبی برای اندام زایشی در جذب اسیمیلات تولید شده به حساب می‌آید، بنابراین کاهش سیستم ریشه می‌تواند موجب هدایت اسیمیلات بیشتر به سمت دانه و نهایتاً افزایش و پایداری عملکرد در شرایط نامساعد محیطی شود (Waines and Ehdaie, 2007; Ma *et al.*, 2008).



شکل ۵- رابطه‌ی حجم و وزن ریشه (در گلدان)

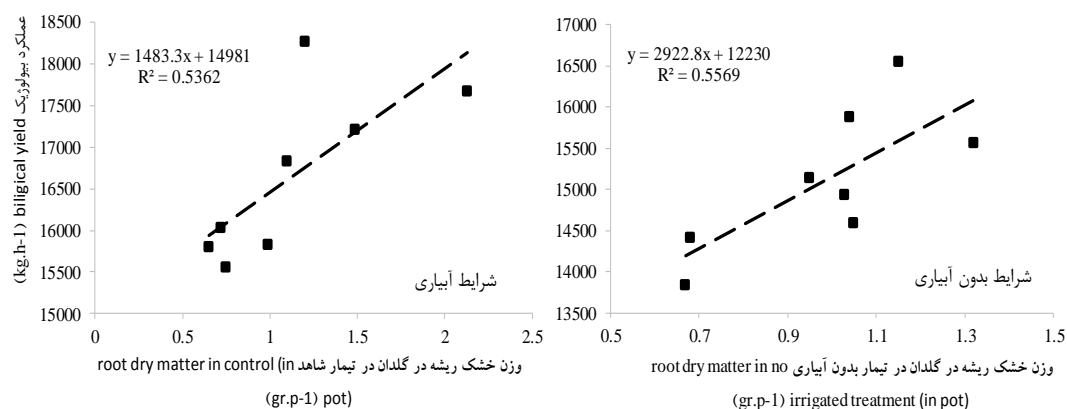
Figure 5- Relationship between root volume and dry matter (in pot)



شکل ۶- رابطه‌ی وزن خشک ریشه (در گلدان) و عملکرد دانه (در مزرعه)

Figure 6- Relationship between root dry matter (in pot) and grain yield (in field)

در این مطالعه افزایش وزن ریشه موجب افزایش وزن اندام هوایی در هر دو شرایط آبیاری و بدون آبیاری شد (شکل ۷)، که احتمالاً جذب ریشه‌ای و انتقال اسیمیلات تولیدی از بخش هوایی به ریشه موجب توسعه‌ی هر دو عضو شده است. همبستگی مثبت بین وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی توسط محققین گزارش شده است (Serraj *et al.*, 2004; McPhee, 2005).



شکل ۷- رابطه‌ی وزن خشک ریشه (در گلدان) و عملکرد بیولوژیک (در مزرعه)

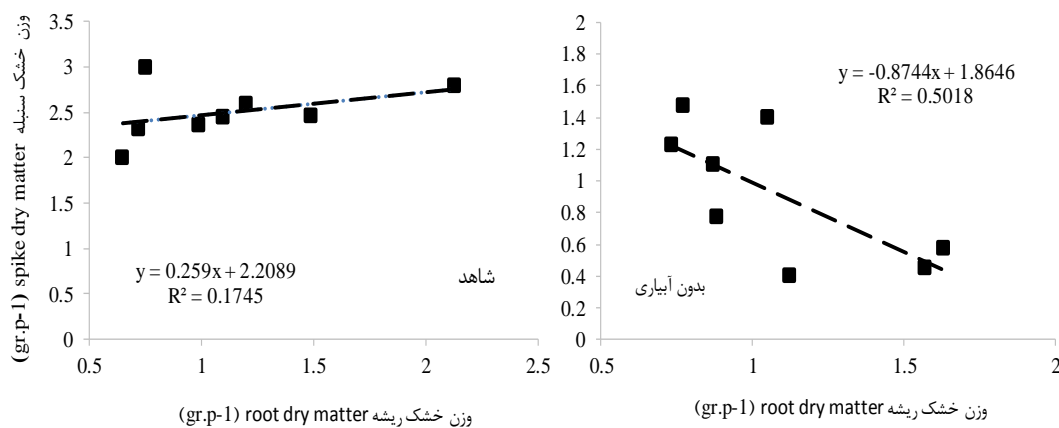
Figure 7- Relationship between root dry matter (in pot) and biological yield (in field)

بررسی وزن اندام زایشی در مقابل وزن ریشه در مرحله‌ی گرده‌افشانی در شکل ۸ ارائه شده است. با توجه به نتایج در تیمار شاهد با افزایش وزن ریشه، وزن سنبله در بوته نیز افزایش یافت، اما با افزایش تنش تغییر وزن سنبله روند معکوس پیدا کرد به‌گونه‌ای که در پتانسیل‌های -0.39 MPa و -1.5 MPa وزن خشک سنبله با شیب کند (داده‌ها گزارش نشده است) و در تیمار بدون آبیاری (تنش شدید) با شیب شدید کاهش یافت (شکل ۸). هر چند وزن خشک ریشه در تیمار بدون آبیاری بیش‌تر از پتانسیل‌های -0.39 MPa و -1.5 MPa بود (جدول ۵) اما وزن بیش‌تر ریشه تأثیری روی وزن سنبله در این تیمار نداشت. مطابق با این نتایج نارایانان و همکاران (Narayanan *et al.*, 2014) گزارش کردند که وزن سنبله در گندم با افزایش تنش خشکی به‌شدت کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه افزایش تنش خشکی موجب کاهش وزن ریشه گردید. روند تغییرات وزن ریشه در لایه سطحی (۰-۳۰) و وزن کل کاملاً مشابه است. وزن خشک ریشه‌ی ارقام حساس در لایه‌ی سطحی تیمار شاهد بیش‌تر از ارقام متحمل بود. با افزایش وزن ریشه عملکرد بیولوژیک افزایش یافت (شکل ۷)؛ اما وزن سنبله در گرده‌افشانی و عملکرد دانه در مزرعه کاهش یافت (شکل‌های ۶ و ۸). بنابراین در شرایط تنش خشکی سیستم ریشه‌ی گسترده علی‌رغم تأثیر مثبت روی اندام هوایی صفت مناسبی محسوب نمی‌شود. در این مطالعه شاخص برداشت در شرایط بدون آبیاری پایین‌تر از شرایط آبیاری بود (جدول ۲). احتمالاً افزایش وزن سنبله موجب افزایش تعداد و وزن دانه

و نهایتاً شاخص برداشت خواهد شد، بنابراین کوچک‌تر شدن سیستم ریشه و تغییر مسیر بیش‌تر اسمیلات تولیدی به سمت سنبله به جای ریشه در شرایط تنش منجر به افزایش عملکرد در این شرایط خواهد شد. هم‌چنان که در این مطالعه به‌دست آمد افزایش وزن ریشه در تنش موجب کاهش عملکرد دانه خواهد شد؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد، در جریان اصلاح و گزینش ارقام گندم برای شرایط دیم مد نظر قراردادن اندازه‌ی سیستم ریشه مفید و کارآمد خواهد بود.



شکل ۸- رابطه‌ی وزن خشک ریشه و سنبله (در گلدان)

Figure 8- Relationship between root and spike dry matter (in pot)

منابع

- Blum A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20: 135-140.
- Budak H., Kantar, M., Kurtoglu, K.Y. 2013. Drought tolerance in modern and wild wheat. *The Scientific World Journal*, 10: 548246
- Cattivelli L., Rizza F., Badeck F. W., Mazucotelli E., Mastrangelo A. N., Francia E., Mare C. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crop Research*, 105: 1-14.
- Dencic S., Kastori R., Kobilski B., Buggan B. 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica*, 113: 43-52.
- Ehdaie B., Merhaut D.J., Ahmadian S., Hoops A.C., Khuong T., Layne A.P., Waines J.G. 2010. Root system size influences water-nutrient uptake and nitrate leaching potential in wheat. *Agronomy and Crop Science*, 196: 455-466.
- Eyshi Rezaei E., Siebert E., Ewert E. 2015. Impact of data resolution and drought stress simulated for winter wheat in Germany. *European Journal of Agronomy*, 65: 69-82.
- Farooq M., Hussain M., Kadambot H., Siddiqe M. 2014. Drought stress in wheat during flowering and grain-filling periods. *Critical Reviews in Plant Science*, Pp: 331-349.
- Ganjeali A., Kafi M., Bagheri A. 2007. Approaches from root studies on chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Agricultural Sciences*, 13 (1): 179-189. (In Persian).

- Gruber B.D., Giehl R.F.H., Friedel S., Wirén N.V. 2013. Plasticity of the Arabidopsis Root System under Nutrient Deficiencies. *Plant Physiology*, 163: 161-179.
- Jackson R.B., Sperry J.S., Dawson T.E. 2000. Root water uptake and transport: physiological processes in global predictions. *Trends in Plant Science*, 5: 482-488.
- Kamoshita A., Wade L.J., Ali M.L., Pathan M.S., Zhang J., Sarkarung S., Nguyen H.T. 2002. Mapping QTLs for root morphology of a rice population adapted to rained lowland conditions. *Theoretical and Applied Genetics*, 104: 880-893.
- Kano M., Inukai Y., Kitano H., Yamauchi A. 2011. Root plasticity as the key root trait for adaptation to various intensities of drought stress in rice. *Plant Soil*, 342: 117-128.
- Koocheki A.R., Yzdansepas H., Nikkhah R. 2003. Effects of terminal drought on grain yield and some morphological traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Science*, 8 (1): 14-29.
- Ma S.C., Xu B.C., Li F.M., Liu W.Z., Huang Z.B. 2008. Effects of root pruning on competitive ability and water use efficiency in winter wheat. *Field Crops Research*, 105: 56-63.
- Ma Sh C., Li F.M., Yang S.J., Li C.X., Xu B.C., Zhang X.C. 2013. Effects of root pruning on non-hydraulic root-sourced signal, drought tolerance and water use efficiency of winter wheat. *Journal of Integrative Agriculture*, 12 (6): 989-998.
- McPhee K. 2005. Variation for seedling root architecture in the core collection of pea germplasm. *Crop Science*, 45: 1758-1763.
- Miralles D.J., Slafer G.A., Lynch V. 1997. Rooting patterns in near-isogenic lines of spring wheat for dwarfism. *Plant and Soil*, 197: 79-86.
- Moemeni A., Afuni D., Zarei G. 2008. Comparison of yield and genetic features of some advanced lines of wheat under late season drought. *Journal of Crop Science*, 5: 63-71.
- Narayanan S., Mohan A., Gill K.S., Prasad P.V.V. 2014. Variability of Root Traits in Spring Wheat Germplasm. *POLS ONE*, 9 (6): 1-15.
- Passioura J. B. 1982. Roots and drought resistance. *Agricultural Water Management*, 7: 265-280.
- Passioura J. B. 1988. Root signals control leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soils. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15: 687-693.
- Rajaie M., Tahmasebi S., Bidadi M. J., Zare K., Sarfarazi Sh. 2015. The effect of terminal drought stress on yield and yield components of wheat genotypes. *Cereal Research*, 5 (4): 341-352. (In Persian)
- Reynolds M., Dreccer F., Trethowan R. 2007. Drought adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany*, 58: 177-186.
- Serraj R., Krishnamurthy L., Kashiwagi J., Kumar J., Chandra S. 2004. Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research*, 88: 115-127.
- Siddique K. H. M., Belford R. K., Tennant D. 1990. Root: shoot ratios of old and modern, tall and semi-dwarf wheats in a mediterranean environment. *Plant and Soil*, 121: 89-98.
- Siddique M.R.B., Hamid A., Islam M.S. 2000. Drought stress effects on water relation of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41: 35-39.
- Soltani A., Maddah V. 2009. Simple application for educations and research in agriculture. *Scientific Society of Ecological Agriculture of Iran*.
- Streda T., Dostal V., Hajzler M., Chloupek O. 2011. Yield and quality of spring barley in relation to root system size. *Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkautzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs*, Pp: 167-170.

- Szegletes Z., Erdei L., Tari I., Cseuz L. 2000. Accumulation of osmoprotectants in wheat cultivars of different drought tolerance. *Cereal Research Communications*, 28: 403-410.
- Tadayon M. R. Emam Y. 2008. Effect of supplementary irrigation and amount of available water on yield, its components and physiological characteristics of two rainfed wheat cultivars. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11 (42): 145-156. (In Persian).
- Waines J.G., Ehdaie B. 2007. Domestication and Crop Physiology: Roots of Green-Revolution Wheat. *Annals of Botany*, 100: 991-998.
- Wang C., Liu W., Li, Q., Ma D., Lu H., Feng W., Xie Y., Zhu Y., Guo T. 2014. Effects of different irrigation and nitrogen regimes on root growth and its correlation with above-ground plant parts in high-yielding wheat under field conditions. *Field Crop Research*, 165: 138-149.
- Wasson A.P., Richards R.A., Chatrath R., Misra S.C., Prasad S.V.S., Rebetzke G.J., Kirkegaard J.A., Christopher J., Watt M. 2012. Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, 63: 3485-3498.
- Yordanov I., Velikova V., Tsonev T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 187-206.
- Ziloee N., Ahmadi A. Joudi M. 2014. Evaluation of phenology relationship with yield potential and drought stress tolerance in some of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes and varieties in Iran. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 45 (4): 531-540.