



اثر تنش مکانیکی باد بر تعدادی از خصوصیات مورفولوژیک دو رقم گندم پابلند و نیمه پاکوتاه

ریحانه خواجه پور^۱، محمد کافی^۲، احمد نظامی^۲ و حمیدرضا خزاعی^۲

^۱ دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد،

^۲ استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۳۱

چکیده

سابقه و هدف: تنش‌های مکانیکی از جمله تنش باد می‌تواند نقش مهمی را در سازگاری و اکوفیزیولوژی گیاهان داشته باشند. به‌طور کلی کاهش ارتفاع ساقه، کاهش سطح برگ، افزایش قطر ساقه و کاهش وزن تر و خشک معمول‌ترین عکس‌العمل گیاهان در برابر تنش‌های مکانیکی باد می‌باشند. وزش باد موجب افزایش تنفس و تعرق گیاه، کاهش در محتوی آب گیاه، تغییر ترکیب شیمیایی دیواره سلولی و تغییر در میزان تولید هورمون‌های گیاهی می‌شود. علاوه بر این با افزایش شدت تنش باد ممکن است گیاهان دچار خوابیدگی شوند. خوابیدگی مانع از جریان آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و مانع از جریان مواد حاصل از فتوسنتز به ریشه‌ها یا دانه‌های در حال توسعه می‌شود که در نتیجه آن پر شدن دانه‌ها مختل می‌شوند. همچنین در نتیجه خوابیدگی مقدار رطوبت نسبی در یک جامعه گیاهی افزایش می‌یابد که رشد قارچ‌ها و گسترش بیماری‌ها از عواقب آن است. گندم گیاهی است که پس از سنبله‌دهی و سنگین شدن بخش انتهایی ساقه آن به خوابیدگی حساس‌تر می‌شود و باد شدید یکی از عوامل ورس در گندم می‌باشد. لذا اصلاح ارقام گندم به تنش باد یکی از اولویت‌های ارقام گندم در مناطق بادخیز کشور می‌باشد. از این‌رو این آزمایش با این هدف در دو رقم جدید و قدیم گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها: با توجه به مطالب ذکر شده، نظر به اهمیت ارزیابی اثرات تنش مکانیکی ناشی از وزش باد بر صفات رشدی و عملکردی گیاه گندم، آزمایشی در سال ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، به اجرا درآمد. آزمایش به صورت فاکتوریل سه عامل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل شدت جریان باد (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ متر بر ثانیه) و مدت زمان وزش آن (۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه) بود که بر روی دو رقم گندم روشن (پابلند و قدیمی) و سیروان (پاکوتاه و جدید) اعمال شدند. گیاهان در شرایط گلخانه رشد داده شدند و برای اعمال تیمارها گلدان‌ها در یک اتاقک مخصوص اعمال تنش مکانیکی باد قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ارتفاع گیاه، تعداد برگ، اندازه اولین میانگره بعد از اعمال تیمار، وزن خشک گیاه، محتوای نسبی آب برگ و مقدار فتوسنتز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر عوامل آزمایش قرار گرفتند. با افزایش سرعت وزش باد

در هر دو رقم سیروان و روشن از میزان صفات ذکر شده کاسته شد، اما روند کاهش آن در رقم سیروان نسبت به رقم روشن کمتر بود. در هر دو رقم بیشترین مقدار صفات ذکر شده در تیمار شاهد بدون وزش باد مشاهده شد. علاوه بر این با افزایش مدت وزش باد از مقدار صفات ذکر شده کاسته شد، این در حالی بود که این کاهش در ارقام سیروان و روشن با روندی مشابه نداشت و رقم سیروان کمتر تحت تأثیر مدت وزش باد قرار گرفت. با توجه به مشاهدات آزمایشی، می‌توان بیان کرد که خوابیدگی ناشی از وزش باد منجر به ایجاد خسارت مکانیکی در گیاه شد که به نظر می‌رسد با توجه به مقاومت بیشتر رقم سیروان در برابر خوابیدگی تأثیرپذیری این رقم نیز در برابر تنش مکانیکی حاصل از وزش باد نیز کمتر بود و در مجموع پاسخ بهتری را نشان داد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی رقم سیروان در مقایسه با رقم روشن، کمتر تحت تأثیر تنش باد قرار گرفت و روند کاهش مربوط به صفات ذکر شده در رقم سیروان از شدت کمتری برخوردار بود. رقم سیروان نیمه پاکوتاه بوده و در برابر خوابیدگی دارای مقاومت است، به همین دلیل به نظر می‌رسد در برابر افزایش سرعت و مدت وزش باد کمتر تحت تأثیر قرار گرفت.

کلمات کلیدی: خوابیدگی، خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی، سرعت باد

مقدمه

بافت‌های چوبی و استحکام دهنده نقش نگهداری گیاه

در هوا را به عهده دارند (۱۶؛ ۲۵).

به‌طور کلی معمول‌ترین و آشکارترین پاسخ‌های گیاهان به تنش‌های مکانیکی کاهش ارتفاع ساقه، کاهش سطح برگ، افزایش قطر ساقه و کاهش وزن تر و خشک می‌باشند (۳؛ ۲۹-۳۰). بیرو و همکاران (۱۹۸۰) مشاهده کردند که تنش‌های تماسی، کاهش طول شدن سلول‌های اپیدرمی، پوستی و کاهش تعداد سلول‌های بافت آوندی و مغز را به همراه داشت و این امر سبب کاهش رشد ساقه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) شد (۷). در آزمایشی اعمال تنش مکانیکی به‌صورت ۲۵ و ۷۰ بار خمیدگی روزانه در توتون (*Nicotina tabacum*)، سبب ایجاد ساقه‌های کوتاه‌تر و ضخیم‌تر گردید (۳).

علاوه بر پاسخ‌های مورفولوژیکی، گیاهان در پاسخ به وزش باد عکس‌العمل‌های فیزیولوژیک نیز دارند و وزش باد با افزایش تنفس و تعرق گیاه و کاهش در محتوی آب گیاهان همراه است (۲؛ ۸). هیچرت و همکاران (۱۹۸۳) تغییر در ترکیب شیمیایی دیواره

تغییرات مورفولوژیکی گیاهان در برابر تنش‌های مکانیکی ممکن است نقش مهمی در سازگاری و اکوفیزیولوژی آنها، خصوصاً در مناطق باد خیز ایفا کند. نیروی باد روی گیاهان دارای شدت و ضعف بوده و در واقع پاسخ گیاهان به نیروی باد یک پاسخ پویا است (۱۸). علاوه بر اثر نیروی جاذبه بر اندام‌های گیاهی، نیروی باد نیز می‌تواند با جابجا کردن برگ‌ها و ساقه‌ها نیروی مضاعفی را بر گیاه تحمیل کند در هوای آرام بر اثر وزن گیاه و همچنین معماری و طرز قرارگیری برگ‌ها و ساقه‌ها نوعی فشار مکانیکی روی گیاه وجود دارد. گیاه به این مقدار فشار سازگار بوده و ساختار داخلی ساقه و مورفولوژی گیاه برای تحمل این فشار و جلوگیری از خمیدگی و حفظ ساختار سلولی تکامل یافته است (۱۷). علاوه بر این گیاه برای به حداکثر رساندن جذب نور نیاز به حفظ آرایش هوایی برگ‌ها دارد (۲۵) که در این راستا فشار آماس،

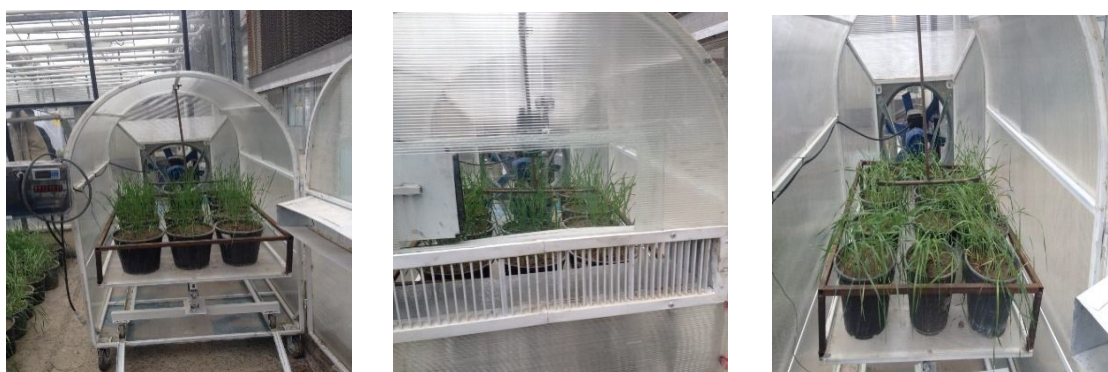
شناخت مکانیزم‌هایی که در نتیجه وقوع خوابیدگی باعث کاهش عملکرد می‌شوند می‌توانند در توصیف و پیش‌بینی کاهش عملکرد پس از خوابیدگی مفید باشد. با این حال مطالعات اندکی در مورد آگاهی از مکانیزم‌های کاهش عملکرد در نتیجه خوابیدگی در گندم انجام شده است (۶). نظر به اهمیت درک تأثیرات تنش مکانیکی باد روی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گندم و ارزیابی پاسخ گیاه در برابر آن، آزمایش حاضر با هدف مطالعه شدت و مدت وزش باد بر خصوصیات رشدی دو رقم گندم پابلند و نیمه پا کوتاه در شرایط کنترل شده اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور مطالعه اثر سرعت و مدت وزش باد روی برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی گندم، در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۳ انجام شد. به این منظور یک اتاقک مخصوص اعمال تنش مکانیکی (باد) با شرایط یکسان ساخته شد و تیمارها با استفاده از آن اعمال شدند (شکل ۱). آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل سرعت جریان باد (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ متر بر ثانیه)، مدت وزش (۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه) و دو رقم گندم روشن (پا بلند و قدیمی) و سیروان پا کوتاه و جدید) بودند. بذور دو رقم روشن و سیروان در گلدان‌های ۸ کیلوگرمی با قطر دهانه ۲۰ سانتی متری و ارتفاع ۳۰ سانتی متری محتوی خاک مزرعه در شرایط گلخانه با میانگین درجه حرارت $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ در روز و 20°C ± 15 در شب کشت شدند. در هر گلدان پس از سبز شدن گندم، تعداد ۱۰ گیاه باقی گذاشته و بقیه حذف شدند. آبیاری گلدان‌ها تا حد ظرفیت زراعی هر سه روز یکبار انجام شد.

سلولی در پاسخ به محرک‌های مکانیکی را گزارش کردند. آن‌ها با بررسی اثر تنش تکانی بر روی گوجه فرنگی دریافتند که ساقه‌های گیاهچه‌های تحت تنش مکانیکی ۱۵ درصد سلولز بیشتری نسبت به نمونه‌های بدون تنش داشتند، اما غلظت همی سلولز، لیگنین و سیلیس تغییر محسوسی نداشت (۱۹). نتایج جونز و میشل (۱۹۸۹) نشان داد که تنش مکانیکی از طریق خم و راست کردن شاخه‌های درخت سیب (*Malus domestica*) سبب افزایش تولید اتیلن و کاهش در انتقال اکسین شد (۲۰). میشل و میرز (۱۹۹۵) بیان کرد که تنش مکانیکی همچنین سبب توزیع کمتر مواد به بخش‌های زایشی و یا به تأخیر انداختن گلدهی می‌شود (۲۴).

خمش و یا شکست ساختاری را که موجب تغییر زاویه ساقه غلات از حالت عمودی می‌شود، خوابیدگی گفته می‌شود (۲۸). خوابیدگی می‌تواند در نتیجه خمیدگی ساقه (۲۶) و یا در نتیجه خروج ریشه از خاک (۱۱) رخ دهد. بسیاری از گیاهان زراعی از جمله گندم به‌طور ویژه به خوابیدگی ناشی از باد حساسیت دارند. خوابیدگی مانع از جریان آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و مانع از جریان مواد حاصل از آسیمیلایون به ریشه‌ها یا دانه‌های در حال توسعه می‌شود که در نتیجه آن پر شدن دانه‌ها مختل می‌شوند (۲۱). افزایش مقدار رطوبت ناشی از ورس در یک جامعه گیاهی، شرایط رشد قارچ‌ها و گسترده‌گی بیماری‌ها را فراهم نموده که هر کدام عامل محدودکننده در تشکیل و کیفیت دانه هستند (۲۲). مطالعات مختلف در مورد اثرات خوابیدگی روی عملکرد در شرایط طبیعی و شرایط مصنوعی کاهش تا ۸۰ درصد را در عملکرد گندم نشان داده‌اند (۱۳؛ ۱۵؛ ۳۱؛ ۳۳). میزان کاهش عملکرد به عواملی از قبیل مرحله رشدی وقوع خوابیدگی، زاویه خوابیدگی ساقه، طبیعی و یا مصنوعی بودن خوابیدگی و نوع رقم دارد (۱).



شکل ۱- اتاقک مخصوص اعمال جریان باد.
Figure 1. Special chamber for wind blowing.

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ به روش داپت و لیورا (۲۰۰۲) پس از اعمال تیمارها، ۸ دیسک برگ به قطر هفت میلی‌متر توسط پانچ از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته گیاهان در محدوده ساعت ۱۰ صبح انتخاب و توزین شدند. پس از توزین وزن تر، دیسک‌های برگ در آب مقطر به مدت ۱۲ ساعت، اشباع و سپس دوباره توزین شدند. نمونه‌های توزین شده سپس در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد آن به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها نیز تعیین شد. سپس محتوای رطوبت نسبی برگ طبق معادله یک به دست آمد (۱۲).

برای اعمال تیمارهای آزمایش، پس از رسیدن بوته به مرحله ۴ تا ۶ برگی، گلدان‌ها روی سینی مخصوص در اتاقک وزش باد که دارای فن مخصوص و دریچه‌های قابل کنترل بود، گذاشته شده و در معرض تیمارهای سرعت و مدت وزش باد قرار گرفتند. بعد از اعمال تیمارهای آزمایشی از هر گلدان تعداد سه گیاه برای اندازه‌گیری‌های فیزیولوژیک شامل محتوای نسبی آب برگ و مقدار فتوسنتز به آزمایشگاه منتقل شده و مابقی گیاهان موجود در گلدان‌ها برای اندازه‌گیری سایر صفات شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، اندازه اولین میانگره پس از اعمال تیمار، و وزن خشک تا پایان دوره رشد نگه داشته شدند.

$$\text{رابطه (۱)} \quad 100 \times (\text{وزن خشک} - \text{وزن تر اشباع} / \text{وزن خشک} - \text{وزن تر}) = \text{محتوای رطوبت نسبی برگ}$$

نور کافی دریافت نماید. اندازه‌گیری در ساعت ۱۱ تا ساعت ۱۳ انجام شد (۱۴).

جهت اندازه‌گیری صفات ارتفاع بوته، اندازه اولین میانگره پس از اعمال تیمار، و وزن خشک نیز از خط کش، کولیس و ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ استفاده شد.

برای اندازه‌گیری میزان فتوسنتز، بعد از قرار گرفتن گیاه در معرض تیمارهای آزمایشی از دستگاه فتوسنتز متر IRGA ADC Bio Scientific LTD ساخت کمپانی ADC کشور انگلستان استفاده شد. جهت این کار دومین برگ کاملاً توسعه یافته گیاه از بالا درون اتاقک اندازه‌گیری (چمبر)، طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگ به طرف بالا قرار گرفته تا

برای انجام آنالیزهای آماری ابتدا از نرمال بودن توزیع داده‌های خام اطمینان حاصل شد، پس از آن

باد بودند با حذف سطح صفر از فاکتور سرعت باد در نظر گرفته شده و محاسبات متعاقب آن بر این اساس انجام شد. علاوه بر این با توجه به این که تفاوت میان تیمارهای سطح صفر، صرفاً ناشی از خطای آزمایشی است، بنابراین درجه آزادی و مجموع مربعات آن‌ها در خطای آزمایشی ادغام شد. جداول و شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel 2007 رسم شدند.

نتایج و بحث

اثر رقم، سرعت و مدت وزش باد هر کدام تأثیرات معنی‌داری را روی محتوای نسبی آب برگ داشتند. علاوه بر این اثرات متقابل رقم در سرعت باد، رقم در مدت زمان وزش باد و سرعت باد در مدت زمان وزش باد نیز تفاوت معنی‌داری ($p \leq 0.01$) را در میانگین محتوای نسبی آب برگ ایجاد کردند (جدول ۱).

برای تجزیه و تحلیل نتایج از روش تجزیه واریانس و برای ارزیابی میانگین‌ها خطای معیار (Standard Error) مورد استفاده قرار گرفت. برای این کار از نرم‌افزار SAS v.9.1 استفاده شد.

با توجه به این که در این آزمایش یک تیمار شاهد بدون وزش باد (سطح صفر وزش باد) وجود داشت، بنابراین فاکتور مدت وزش باد در این سطح متغیر نبود (کرت غیر واقعی یا موهومی^۱)، از این رو جدول تجزیه واریانس با کمی تغییر ارائه شد. به این ترتیب که برای اثرات ساده طبق روال معمول درجه آزادی معمول در نظر گرفته شده و محاسبات مربوطه انجام شد. اما برای اثرات متقابلی که در آن‌ها کرت غیرواقعی (سطح صفر یا شاهد) وجود داشت، سطح صفر فاکتور سرعت باد در تقابل با سطوح مدت وزش باد حذف و درجه آزادی اثرات متقابلی که شامل سرعت باد (که دارای سطح صفر بود) در مدت وزش

جدول ۱- میانگین مربعات اثر رقم، سرعت و مدت وزش باد بر محتوای نسبی آب برگ، فتوسنتز، ارتفاع بوته، تعداد برگ، اندازه اولین میانگه پس از اعمال تیمار و وزن خشک گیاه دو رقم گندم.

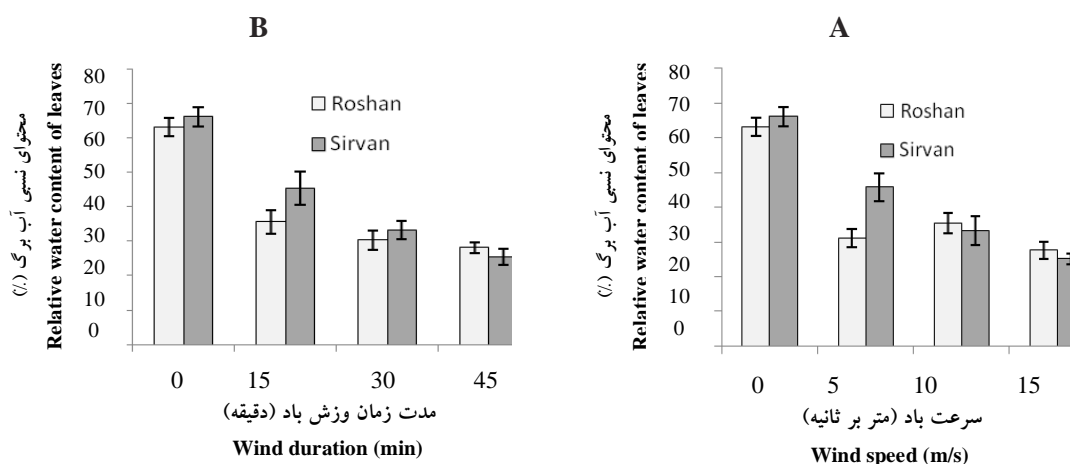
Table 1. The mean squares of the wind speed and duration on relative leaf water content, photosynthesis, plant height, leaf number per plant, size of the internodes after treatment and plant dry weight of two wheat cultivars.

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد برگ در بوته Leaf number per plant	ارتفاع گیاه Plant height	فتوسنتز Photosynthesis	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	اندازه میانگه Internodes size	وزن خشک گیاه Plant dry weight
رقم (A) Cultivar (A)	1	8.06**	140.454 ^{ns}	0.13 ^{ns}	167.33*	5.34**	75.48 ^{ns}
سرعت باد (B) Wind speed (B)	3	60.718**	2274.74**	50.64**	2249.15**	1.54**	3019.52**
A * B	3	3.2**	257.80**	7.60**	288.76**	0.26 ^{ns}	11.65 ^{ns}
مدت وزش (C) duration (C)	2	93.85**	1579.05**	56.90**	861.69**	2.04**	2988.82**
A * C	2	8.66**	194.41*	0.09 ^{ns}	174.90**	1.41**	45.12 ^{ns}
B * C	4	2.18*	56.43 ^{ns}	1.97*	244.41**	0.37 ^{ns}	82.41*
A * B * C	4	1.66 ^{ns}	93.46 ^{ns}	1.26 ^{ns}	24.67 ^{ns}	0.07 ^{ns}	37.83 ^{ns}
خطا Error	40	0.71	48.99	0.67	24.73	0.17	23.86
CV	--	7.34	10.75	12.32	13.75		12.43

***، ** و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار.

**، * and ns significant in probability level of 0.01, 0.05 and non-significant respectively

گیاهان ناشی از باد با افزایش در تنفس و تعرق گیاه و کاهش در محتوی آب گیاهان نیز همراه است (۲؛ ۸). در حقیقت خسارت ناشی از تنش باد در گیاهان زراعی می‌تواند در نتیجه خسارت ناشی از خراشیدگی در برگ‌ها و گیاهان جوان باشد (۳۲). برخی خراشیدگی‌ها می‌توانند منجر به آسیب کوتیکول و در نتیجه افزایش احتمال ورود پاتوژن‌ها به درون گیاه را به‌مراه داشته باشند. خراشیدگی می‌تواند در نتیجه سائیدگی قسمت‌های مختلف گیاه با یکدیگر یا در نتیجه برخورد گرد و غبار همراه با باد حاصل شود (۴).



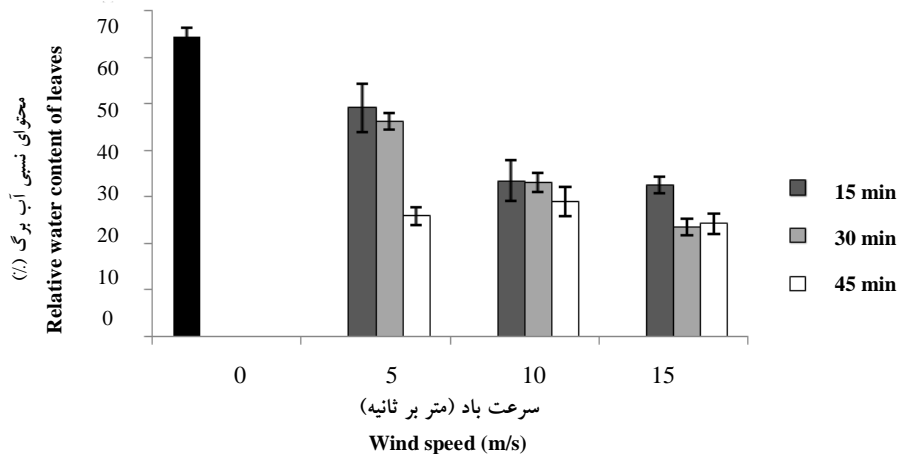
شکل ۲- اثرات متقابل رقم در سرعت باد (A) و رقم در مدت وزش باد (B) بر محتوی نسبی آب برگ در ارقام گندم. میله‌های عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای معیار (Standard error) می‌باشند.

Figure 2. The interaction of cultivar in wind speed (A) and cultivar in wind duration (B) on the relative water content of leaves in wheat cultivars. Vertical bars on the columns represent the standard error (SE).

۶۳/۷ درصد و در سرعت وزش ۱۵ متر بر ثانیه به ترتیب ۶۰/۰، ۵۵/۰ و ۶۲/۵ درصد بود). به نظر می‌رسد با افزایش سرعت باد میزان خسارت ناشی از تنش باد روی گیاه بیشتر شده و حتی در مدت زمان‌های کمتر وزش باد نیز این خسارت منجر به از دست رفتن بیشتر آب نسبت به شاهد شده است. باد همچنین می‌تواند باعث پارگی برگ در بسیاری از گونه‌های گیاهی شود و حتی در گراس‌ها باعث آسیب به کوتیکول در نتیجه تا خوردگی برگ‌ها و در نتیجه از دست دادن آب توسط گیاه حتی تا مرحله مرگ آن شود (۲۳).

میانگین محتوی نسبی آب برگ ارقام سیروان و روشن تحت تأثیر سرعت و مدت وزش باد قرار گرفت (شکل ۲ الف و ب). محتوی آب برگ در تیمارهای وزش باد نسبت به تیمار شاهد کاهش قابل توجهی را داشت. به طوری که در سرعت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ متر بر ثانیه باد ۵۰/۷، ۴۴/۰ و ۵۶/۲ درصد برای رقم روشن و ۳۰/۸، ۴۹/۸ و ۶۲/۰ درصد برای رقم سیروان کاهش در محتوی نسبی آب مشاهده شد. این در حالی بود که در بین تیمارهای وزش باد (شامل تیمارهای سرعت و مدت وزش باد) این تفاوت چندان قابل توجه نبود. تغییرات در مورفولوژی

اثرات متقابل سرعت و مدت وزش باد نشان داد که در شدت‌های ۵ و ۱۰ متر بر ثانیه، وزش باد به مدت ۴۵ دقیقه تأثیرات شدیدتری را نسبت به وزش ۱۵ و ۳۰ دقیقه‌ای باد، روی محتوی نسبی آب برگ داشته است (شکل ۳). در صورتی که در شدت وزش ۱۵ متر بر ثانیه، حتی مدت وزش ۱۵ دقیقه نیز تأثیرات قابل توجهی را روی محتوی نسبی آب برگ در مقایسه با تیمار شاهد داشت (درصد کاهش محتوی نسبی برگ نسبت به شاهد طی زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه، در سرعت وزش ۵ متر بر ثانیه به ترتیب ۲۳/۸، ۴۸/۳ و ۴۹/۵ درصد، در سرعت وزش ۱۰ متر بر ثانیه به ترتیب ۲۸/۴، ۴۸/۹ و

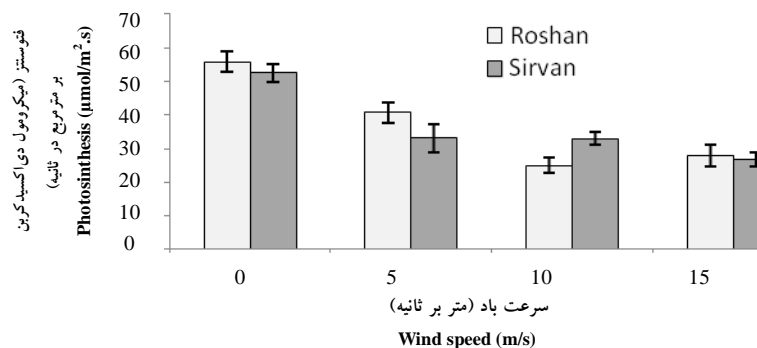


شکل ۳- اثرات متقابل سرعت و مدت وزش باد بر محتوای نسب آب برگ ارقام روشن و سیروان گندم. میله‌های عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده معیار (Standard error) می‌باشند.

Figure 3. The interaction of wind speed in wind duration on the relative water content of leaves in wheat cultivars. Vertical bars on the columns represent the standard error (SE).

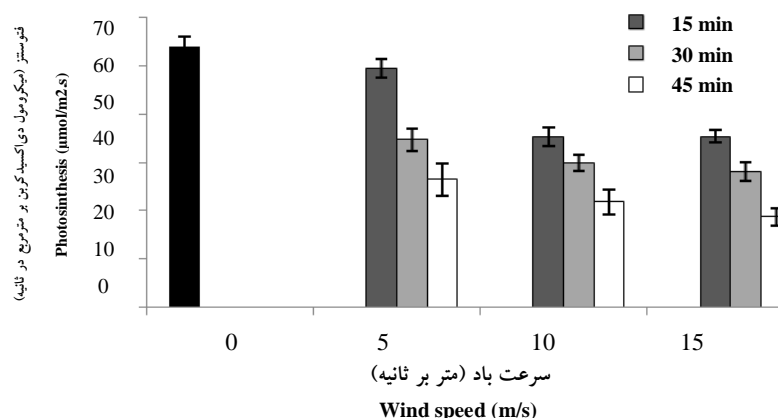
گیاه داشت و روند کاهشی با شدت بالاتری پیش می‌رفت و تنها در سرعت ۵ متر بر ثانیه به مدت ۱۵ ثانیه تأثیر کاهشی روی فتوسنتز برگ اندک بود. در این شرایط درصد کاهش فتوسنتز نسبت به شاهد طی زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه، در سرعت وزش ۵ متر بر ثانیه به ترتیب ۸/۵، ۳۴/۸ و ۳۴/۵ درصد، در سرعت وزش ۱۰ متر بر ثانیه به ترتیب ۳۵/۹، ۴۴/۷ و ۴۸/۱ درصد و در سرعت وزش ۱۵ متر بر ثانیه به ترتیب ۵۱/۲، ۵۹/۸ و ۶۵/۵ درصد بود (شکل ۵).

بررسی فتوسنتز ارقام مورد مطالعه در سرعت‌های مختلف باد نشان داد که با افزایش سرعت باد نسبت به تیمار شاهد، از میزان فتوسنتز کاسته شد که این کاهش در رقم روشن از شدت بیشتری برخوردار بود به طوری که درصد کاهش فتوسنتز نسبت به تیمار شاهد در سرعت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ متر بر ثانیه در رقم سیروان به ترتیب ۳۶/۹، ۳۷/۰ و ۴۸/۶ درصد و در رقم روشن ۲۷/۱۶، ۳۲/۵۵ و ۵۰/۱۵ درصد بود (شکل ۴). علاوه بر این هنگامی که شدت باد در مدت زمان‌های بیشتری وزیده می‌شد تأثیر شدیدتری را روی فتوسنتز



شکل ۴- اثرات متقابل رقم در سرعت باد بر میزان فتوسنتز ارقام روشن و سیروان گندم. میله‌های عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده معیار (Standard error) می‌باشند.

Figure 4. The interaction of cultivar in wind speed on the photosynthesis of wheat cultivars. Vertical bars on the columns represent the standard error (SE).

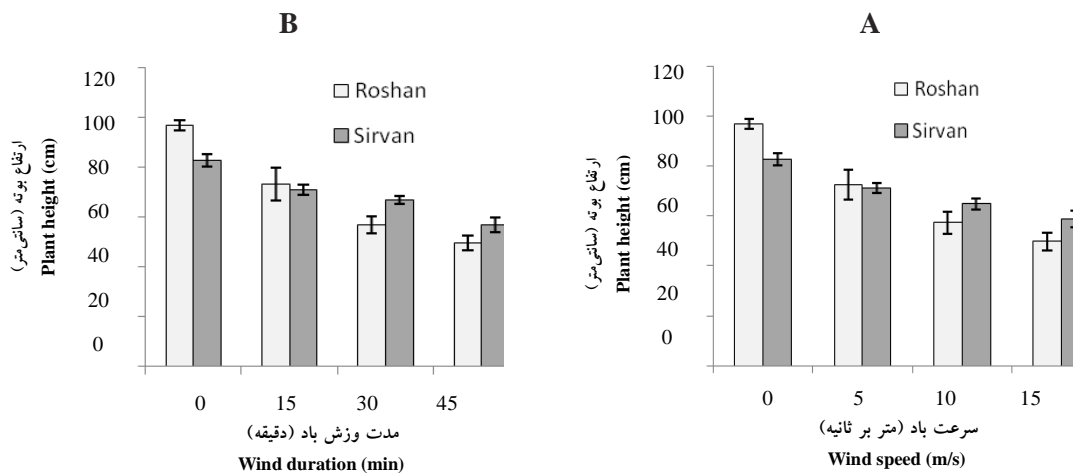


شکل ۵- اثر متقابل سرعت در مدت وزش باد بر میزان فتوسنتز ارقام گندم. میله‌های عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای معیاری (Standard error) می‌باشند.

Figure 5. The interaction of wind speed in wind duration on the photosynthesis in wheat cultivars. Vertical bars on the columns represent the standard error (SE).

و ۴۵ دقیقه به ترتیب ۲۵/۱، ۴۰/۷ و ۴۸/۴ درصد) متفاوت بود و رقم سیروان کمتر تحت تأثیر مدت وزش باد قرار گرفت (شکل ۶ ب). بیرو و همکاران (۱۹۸۰) کاهش طویل شدن سلول‌های اپیدرمی، پوستی و کاهش تعداد سلول‌های بافت آوندی و مغز را در نتیجه تنش تماسی مشاهده کردند که این امر کاهش رشد ساقه را به همراه داشت (۷). مشاهدات حین آزمایش نشان دادند که اعمال تیمارهای آزمایشی روی بوته‌های گندم منجر به خوابیدگی بوته شد. رقم سیروان رقم جدیدی است نیمه پاکوتاه که در برابر خوابیدگی دارای مقاومت است. احتمالاً دلیل تأثیرپذیری کمتر ارتفاع بوته در برابر افزایش سرعت و مدت وزش باد وجود صفت مقاومت در برابر خوابیدگی در این رقم باشد. بری و اسپینگ (۲۰۰۶) بیان کردند که عکس‌العمل گیاهان مختلف نسبت به خوابیدگی متفاوت است (۵).

ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات سرعت و مدت وزش باد قرار گرفت. همچنین اثرات متقابل رقم در سرعت باد و همچنین رقم در مدت وزش باد بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج نشان داد که در هر دو رقم سیروان و روشن، با افزایش سرعت وزش باد از ارتفاع گیاه کاسته شد، اما این روند کاهشی در رقم سیروان نسبت به رقم روشن کمتر بود. به طوری که درصد کاهش ارتفاع گیاه نسبت به شاهد در سرعت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ متر بر ثانیه در رقم سیروان به ترتیب ۱۴/۴، ۱۹/۱ و ۳۱/۱ درصد و در رقم روشن به ترتیب ۲۴/۲، ۴۱/۲ و ۴۸/۷ درصد بود (شکل ۶ الف). با افزایش مدت وزش باد نیز هر چند از ارتفاع بوته‌های گندم کاسته شد ولی این کاهش در ارقام سیروان (درصد کاهش ارتفاع گیاه نسبت به شاهد در مدت وزش باد ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه به ترتیب ۱۴/۱، ۲۱/۵ و ۲۹/۰ درصد) و روشن (درصد کاهش ارتفاع گیاه نسبت به شاهد در مدت وزش باد ۱۵، ۳۰

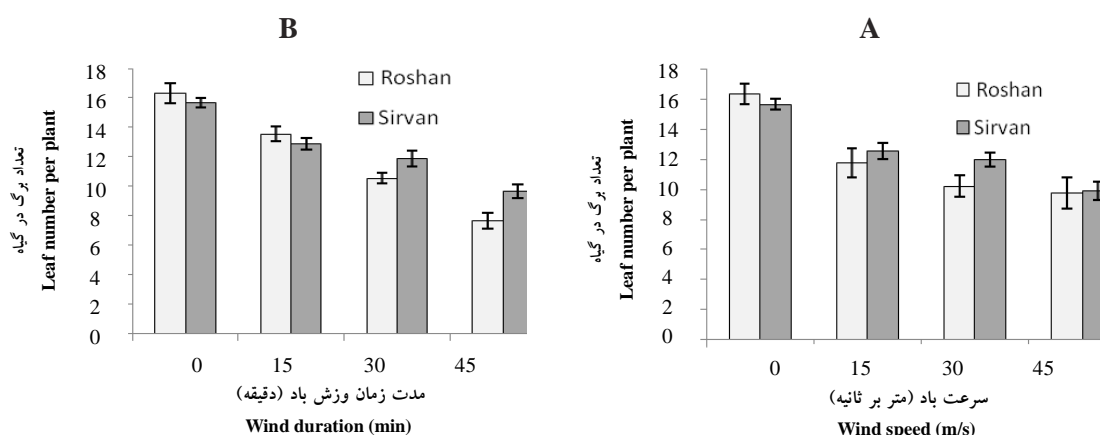


شکل ۶- اثرات متقابل رقم در سرعت باد (A) و رقم در مدت وزش باد (B) بر ارتفاع ارقام گندم. میله‌های عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای معیار (Standard error) می‌باشند.

Figure 6. The interaction of cultivar in wind speed (A) and cultivar in wind duration (B) on the plant height of wheat cultivars. Vertical bars on the columns represent the standard error (SE).

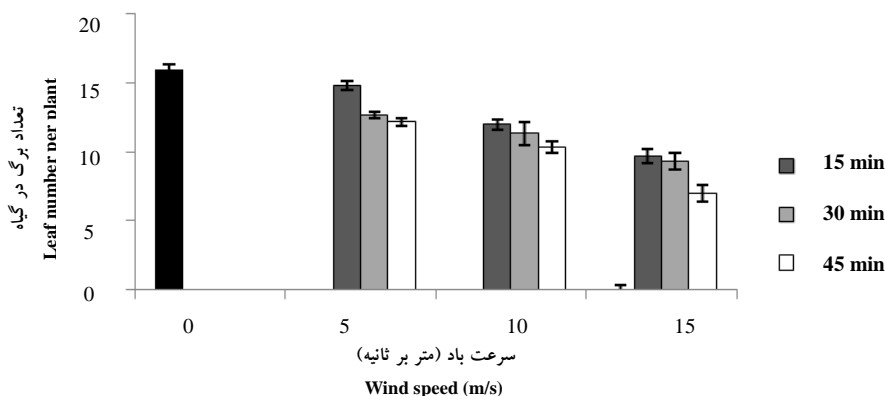
می‌رسد که این کاهش ارتفاع کاهش تعداد برگ در بوته را نیز به‌همراه داشته است نتایج مربوط به همبستگی صفات مورد آزمایش موید این مطلب است (جدول ۲). مقایسه میانگین تعداد برگ در سرعت و مدت زمان وزش باد و مقایسه آن با تیمار شاهد نشان داد که تأثیر مدت وزش باد در سرعت‌های مختلف متفاوت بود، به‌این ترتیب که با افزایش سرعت وزش این تأثیر افزایش یافته و میزان کاهش برگ در بوته بیشتر بود. به طوری‌که بیشترین تعداد برگ در تیمار شاهد و کمترین آن نیز در سرعت ۱۵ متر بر ثانیه و مدت زمان وزش ۴۵ دقیقه مشاهده شد (شکل ۸). با افزایش شدت و مدت وزش باد مقاومت گیاه در برابر تنش مکانیکی حاصل از وزش باد کمتر شده و در نتیجه افزایش خوابیدگی ساقه حاصل خواهد شد.

اثرات متقابل رقم در سرعت باد، رقم در مدت وزش باد و سرعت باد در مدت وزش باد تأثیر معنی‌داری بر روی تعداد برگ داشتند (جدول ۱). هرچند با افزایش سرعت وزش باد در هر دو رقم روشن و سیروان از تعداد برگ در بوته کاسته شد، اما شدت این کاهش در رقم روشن بیشتر از رقم سیروان بود. به طوری‌که افزایش سرعت باد به ۱۰ متر بر ثانیه سبب کاهش به ترتیب ۳۷ و ۲۳ درصدی تعداد برگ در مقایسه با شاهد در دو رقم روشن و سیروان شد (شکل ۷ الف). همچنین در رقم روشن افزایش مدت وزش باد به ۴۵ دقیقه، کاهش ۵۳ درصدی تعداد برگ را در مقایسه با شاهد به دنبال داشت، در صورتی‌که این کاهش در شرایط مشابه در رقم سیروان ۳۸ درصد بود (شکل ۷ ب). با توجه به کاهش ارتفاع گیاه در نتیجه افزایش سرعت و مدت وزش باد، به‌نظر



شکل ۷- اثرات متقابل رقم در سرعت باد (A) و رقم در مدت وزش باد (B) بر تعداد برگ ارقام گندم. میله‌های عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده معیار (Standard error) می‌باشند.

Figure 7. The interaction of cultivar in wind speed (A) and cultivar in wind duration (B) on the leaf number per plant of wheat. Vertical bars on the columns represent the standard error (SE).



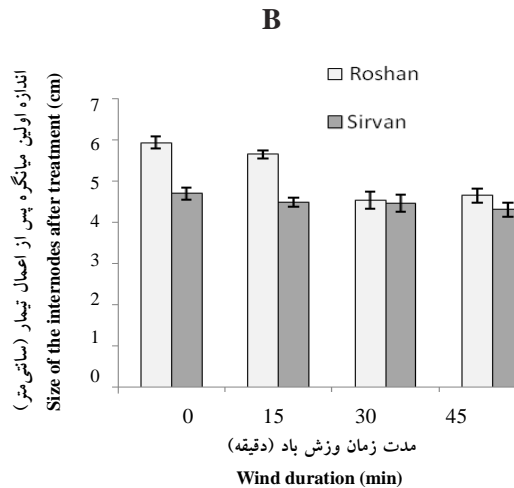
شکل ۸- اثرات متقابل سرعت و مدت وزش باد بر تعداد برگ ارقام گندم. میله‌های عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده معیار (Standard error) می‌باشند.

Figure 8. The interaction of wind speed in wind duration on the leaf number per plant in wheat cultivars. Vertical bars on the columns represent the standard error (SE).

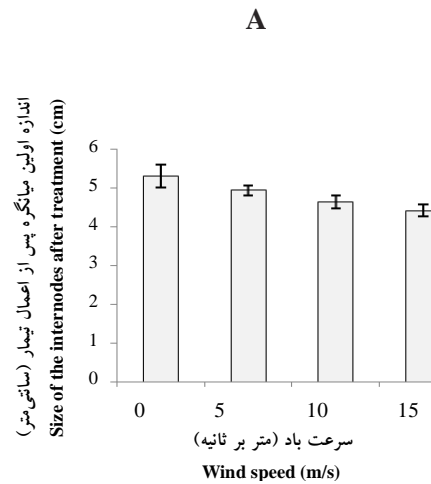
میانگرمه می‌شود (شکل ۹ الف). ممانعت سریع رشد میانگرمه، یک پاسخ سازگاری به تنش مکانیکی می‌باشد و مطالعات آناتومیکی نشان داده که این وقفه از ممانعت در گسترش سلولی نتیجه می‌شود (۹). بررسی اثر متقابل رقم در مدت وزش باد نیز نشان داد که طول میانگرمه اول در رقم سیروان تأثیر اندکی را با افزایش مدت وزش باد گرفت. این در حالی بود که پاسخ رقم روشن کاملاً متفاوت بود، به طوری که در تیمار شاهد و مدت زمان وزش ۱۵ دقیقه پاسخ گیاه

اندازه اولین میانگرمه پس از اعمال تیمار به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات رقم، سرعت و مدت وزش باد قرار گرفت. همچنین اثر متقابل رقم در مدت وزش باد اثر معنی‌داری را روی این صفت داشت (جدول ۱). اندازه اولین میانگرمه در تیمار شاهد بدون وزش باد بیشتر از زمانی بود که بوته‌های گندم تحت تأثیر سرعت‌های مختلف وزش باد قرار گرفتند، به طوری که سرعت‌های بالای باد (۱۰ و ۱۵ متر بر ثانیه) در مقایسه با تیمار شاهد منجر به کاهش اندازه

جهت تعیین استحکام ساقه هستند (۹). در برنج مقاومت در برابر شکستگی در میانگره‌های پایین دو برابر غلاف برگ و سه برابر میانگره‌های وسطی می‌باشد (۲۷). بنابراین تأثیرپذیری این صفت می‌تواند در پاسخ گیاه به تنش مکانیکی حاصل از باد تعیین کننده باشد.



اندک، ولی با افزایش طول مدت وزش باد به ۴۵ دقیقه فاصله میانگره اول از خاک کاهش (چند درصد نسبت به شاهد) پیدا کرد (شکل ۹ ب). به نظر می‌رسد که این امر ناشی از رفتار گیاه در جهت سازگاری با شرایط وزش طولانی مدت باد باشد. غلاف برگ و طول میانگره‌های پایین ساقه از صفات اصلی گیاه



شکل ۹- اثر سرعت باد (A) و اثر متقابل رقم در مدت وزش باد (B) بر فاصله میانگره اول از خاک در ارقام گندم. میله‌های عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای معیار (Standard error) می‌باشند.

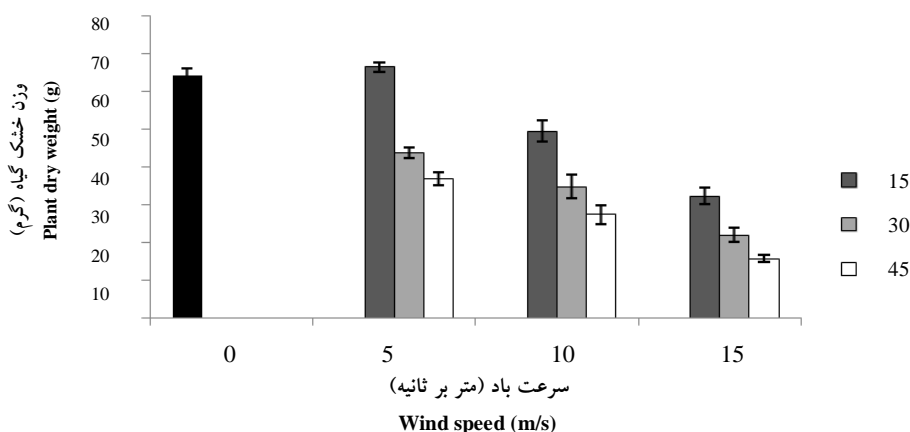
Figure 9. The effect of wind speed (A) and cultivar in wind duration (B) on the size of the internodes after treatment in Roshan and Sirvan cultivar of wheat. Vertical bars on the columns represent the standard error (Standard error).

سرعت وزش باد تأثیر کاهشی روی وزن خشک گیاه بیشتر شد، به این ترتیب که در زمان ۱۵ دقیقه وزش نیز کاهش معنی‌دار وزن خشک نسبت به شاهد مشاهده شد و در مدت زمان‌های بیشتر وزش باد نیز این کاهش ادامه پیدا کرد به طوری که درصد کاهش وزن خشک نسبت به شاهد طی زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه، در سرعت وزش ۱۰ متر بر ثانیه به ترتیب ۳۱/۶، ۴۵/۸ و ۶۵/۷ درصد و در سرعت وزش ۱۵ متر بر ثانیه به ترتیب ۴۲/۶، ۵۷/۴ و ۷۵/۵ درصد بود (شکل ۱۰). خوابیدگی در نتیجه تنش مکانیکی باد منجر به افقی شدن زاویه برگ می‌شود. این امر باعث سایه‌اندازی برگ‌ها روی یکدیگر و کاهش سطح برگ در معرض نور می‌شود. این در حالی است که فتوسنتز

وزن خشک گیاه نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر اثر متقابل سرعت و مدت وزش باد قرار گرفت (جدول ۱). بررسی تغییرات میانگین وزن خشک گیاه نشان داد که شدت باد در صورت وزش در مدت زمان بیشتر تأثیرات کاهشی شدیدتری را روی وزن خشک گیاه به همراه داشته است. به عنوان مثال سرعت ۵ متر بر ثانیه در صورتی که به مدت ۳۰ یا ۴۵ دقیقه باشد می‌تواند منجر به کاهش وزن خشک گیاه شود، در حالی که همین شدت در مدت زمان وزش ۱۵ دقیقه تأثیر معنی‌داری را در مقایسه با شاهد نداشت (درصد کاهش وزن خشک نسبت به شاهد در سرعت ۵ متر بر ثانیه طی مدت زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه به ترتیب صفر، ۲۲/۸ و ۴۹/۶ درصد بود). با افزایش

به این ترتیب میزان فتوستتوز کل کانوبی کاهش یافته و در نتیجه تولید ماده خشک کاهش می‌یابد (۶). همبستگی بالای وزن خشک گیاه و فتوستتوز (جدول ۲) نیز مؤید این امر است.

در برگ‌های در معرض نور نمی‌تواند کاهش فتوستتوز برگ‌های روی هم قرار گرفته را جبران کند (۱۰). این امر در نهایت موجب کاهش کارایی مصرف نور و در نتیجه کاهش فتوستتوز و ماده خشک تولیدی می‌شود.



شکل ۱۰- اثرات متقابل سرعت و مدت وزش باد بر وزن خشک ارقام گندم روشن و سیروان. میله‌های عمودی بر روی ستون‌ها نشان‌دهنده خطای معیار (Standard error) می‌باشند.

Figure 10. The interaction of wind speed in wind duration on the plant dry weight in Roshan and Sirvan cultivar of wheat. Vertical bars on the columns represent the standard error (Standard error).

همبستگی بین آن‌ها و اثرپذیری این صفات از یکدیگر است. نتایج همچنین نشان داد که رقم سیروان در مقایسه با رقم روشن، کمتر تحت تأثیر قرار گرفته و روند کاهشی مربوط به صفات ذکر شده در رقم سیروان از شدت کمتری برخوردار بود. مشاهدات حین آزمایش نشان دادند که اعمال تیمارهای آزمایشی روی بوته‌های گندم منجر به خوابیدگی بوته شد. رقم سیروان رقم جدیدی است نیمه پاکوتاه که در برابر خوابیدگی دارای مقاومت است. ظاهراً دلیل تأثیرپذیری کمتر ارتفاع بوته در برابر افزایش سرعت و مدت وزش باد وجود صفت مقاومت در برابر خوابیدگی در این رقم باشد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که پاسخ صفات مورد مطالعه از جمله ارتفاع بوته، تعداد برگ، اندازه اولین میانگره پس از اعمال تیمار، محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک گیاه و مقدار فتوستتوز، با افزایش سرعت باد و همچنین مدت زمان وزش باد در هر دو رقم گندم مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفتند. بررسی همبستگی بین صفات ذکر شده نشان داد که به‌جز در مورد صفت اندازه اولین میانگره پس از اعمال تیمار، در بین سایر صفات همبستگی معنی‌داری و بالایی وجود داشته است. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل اثرات کاهشی سرعت و مدت وزش باد روی صفات ذکر شده وجود

جدول ۲- همبستگی پیرسون بین صفات محتوای نسبی آب برگ، فتوسنتز، ارتفاع گیاه، تعداد برگ در اندازه اولین میانگره پس از اعمال تیمار و وزن خشک گیاه.

Table 2. Pearson correlations between the traits of wind speed and duration on relative water content of leaves, photosynthesis, plant height, leaf number per plant, size of the internodes after treatment, and plant dry weight of wheat.

وزن خشک گیاه Plant dry weight	اندازه اولین میانگره پس از اعمال تیمار Size of the internodes after treatment	تعداد برگ در بوته Leaf number per plant	ارتفاع گیاه Plant height	فتوسنتز Photosynthesis	محتوای نسبی آب برگ Relative water content of leaves
--	--	--	--	--	1
--	--	--	--	1	0.73**
--	--	--	1	0.79**	0.65**
--	--	1	0.79**	0.74**	0.67**
--	1	0.48**	0.45**	0.51**	0.35**
1	0.46**	0.86**	.84**	0.82**	0.73**

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۰/۰۱، ۰/۰۵ و غیر معنی دار.

**، * and ns significant in probability level of 0.01, 0.05 and non-significant respectively.

منابع

1. Acreche, M.M., and Slafer, G.A. 2011. Lodging yield penalties as affected by breeding in Mediterranean wheats. *Field Crops Res.* 122: 40-48.
2. Anten, N.P., Casado-Garcia, R., and Nagashima, H. 2005. Effects of mechanical stress and plant density on mechanical characteristics, growth, and lifetime reproduction of tobacco plants. *Am. Natu.*, 166: 650-660.
3. Anten, N.P., Casado-Garcia, R., Pierik, R., and Pons, T.L. 2006. Ethylene sensitivity affects changes in growth patterns, but not stem properties, in response to mechanical stress in tobacco. *Physiol. Planta.*, 128: 274-282.
4. Armbrust, D. 2000. Wind and Sandblast Damage to Grov'. *Annals of Arid Zone*, 39: 273-284.
5. Berry, P., and Spink, J. 2006. A physiological analysis of oilseed rape yields: past and future. *J. Agric. Sci.*, 144: 381-392.
6. Berry, P., and Spink, J. 2012. Predicting yield losses caused by lodging in wheat. *Field Crops Res.*, 137: 19-26.
7. Biro, R., Hunt, E., Erner, Y., and Jaffe, M. 1980. Thigmomorphogenesis: changes in cell division and elongation in the internodes of mechanically-perturbed or ethrel-treated bean plants. *Ann. Bot.*, 45: 655-664.
8. Boeger, M.R.T., and Poulson, M.E. 2003. Morphological adaptations and photosynthetic rates of amphibious *Veronica anagallis-aquatica* L. (Scrophulariaceae) under different flow regimes. *Aqua. Bot.*, 75: 123-135.
9. Chang, T.-T., and Vergara, B.S. 1972. Ecological and genetic information on adaptability and yielding ability in tropical rice varieties. *Rice Breed.* 431-453.
10. Choudhury, B.J. 2000. A sensitivity analysis of the radiation use efficiency for gross photosynthesis and net carbon accumulation by wheat. *Agric. Forest. Meteorol.* 101: 217-234.
11. Crook, M., and Ennos, A. 1996. Mechanical differences between free-standing and supported wheat plants, *Triticum aestivum* L. *Ann. Bot.* 77: 197-202.

12. Dhopte, A.M., and Livera, M.M. 2002. Principles and techniques for plant scientist: Agrobios (India).
13. Easson, D., White, E., and Pickles, S. 1993. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. *J. Agric. Sci.*, 121: 145-156.
14. Fischer, R., Rees, D., Sayre, K., Lu, Z.-M., Condon, A., and Saavedra, A.L. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. *Crop Sci.* 38: 1467-1475.
15. Fischer, R., and Stapper, M. 1987. Lodging effects on high-yielding crops of irrigated semidwarf wheat. *Field Crop Res.* 17: 245-258.
16. Fournier, M., Alméras, T., Clair, B., and Gril, J. 2014. Biomechanical action and biological functions. Pages 139-169 *The biology of reaction wood*: Springer.
17. Fournier, M., Dlouhá, J., Jaouen, G., and Almeras, T. 2013. Integrative biomechanics for tree ecology: beyond wood density and strength. *J. Exp. Bot.* 64: 4793-4815.
18. Gardiner, B., Berry, P., and Moulia, B. In press. Review: Wind impacts on plant growth, mechanics and damage. *Plant Sci.*
19. Heuchert, J., Marks, J., and Mitchell, C. 1983. Strengthening of tomato shoots by gyratory shaking. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 108: 801-805.
20. Jones, R.S., and Mitchell, C.A. 1989. Mechanical stress induced changes in cell wall extensibility compliances. *Plant Physiol. (rockville)* 4: 89-104.
21. Kashiwagi, T., Sasaki, H., and Ishimaru, K. 2005. Factors responsible for decreasing sturdiness of the lower part in lodging of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Prod. Sci.*, 8: 166-172.
22. Kono, M. 1995. Physiological aspects of lodging. *Science of the rice*, 2: 971-982.
23. Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B., and Ziegler, H., eds. 1981. *Physiological Plant Ecology* Berlin, Heidelberg: Springer.
24. Mitchell, C.A., and Myers, P.N. 1995. Mechanical stress regulation of plant growth and development. *Hort. Rev.* 17: 1-42.
25. Moulia, B., and Fournier, M. 2009. The power and control of gravitropic movements in plants: a biomechanical and systems biology view. *J. Exp. Bot.* 60: 461-486.
26. Neenan, M., and Spencer-Smith, J. 1975. An analysis of the problem of lodging with particular reference to wheat and barley. *J. Agric. Sci.* 85: 495-507.
27. Ookawa, T. 1992. Varietal difference of physical characteristics of the culm related to lodging resistance in paddy rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 61: 419-425.
28. Pinthus, M.J. 1973. *Lodging in Wheat, Barley, and Oats: the Phenomenon, its Causes, and Preventive Measures*: Academic Press.
29. Puijalón, S., and Bornette, G. 2006. Phenotypic plasticity and mechanical stress: biomass partitioning and clonal growth of an aquatic plant species. *Am. J. Bot.*, 93: 1090-1099.
30. Puijalón, S., Lena, J.-P., and Bornette, G. 2007. Interactive effects of nutrient and mechanical stresses on plant morphology. *Annals of botany*, 100: 1297-1305.
31. Stapper, M., and Fischer, R. 1990. Genotype, sowing date and plant spacing influence on high-yielding irrigated wheat in southern New South Wales. III. Potential yields and optimum flowering dates. *Crop Past. Sci.*, 41: 1043-1056.
32. Van Gardingen, P., and Grace, J. 1991. *Plants and Wind*, in: *Advances in Botanical Research*: Academic Press.
33. Weibel, R., and Pendleton, J. 1964. Effect of artificial lodging on winter wheat grain yield and quality. *Agr. J.* 56: 487-488.