

رابطه روند تجمع ماده خشک با توزیع برخی از عناصر غذایی ماکرو و میکرو در بخش‌های مختلف سنبله و سنبلچه گندم

مسعود اسدی داشبلاغ^۱، داود ارادتمند اصلی^۱ و مجتبی یوسفی راد^۱

چکیده

تحقیقات صورت گرفته درباره نحوه توزیع عناصر غذایی و رابطه آن با روند تجمع ماده خشک در بخش‌های مختلف سنبله گندم بسیار کم است، در حالی که برای افزایش عملکرد دانه بدون ایجاد اثر منفی در کیفیت غذایی، داشتن این اطلاعات بسیار مهم است. در این تحقیق سعی بر آن بود که چگونگی توزیع عناصر پر نیاز نظیر پتاسیم (K) و کلسیم (Ca) و کم نیاز مثل منگنز (Mn) و روی (Zn) در بخش‌های مختلف سنبله (شامل بخش‌های پایینی، میانی و بالایی) و هم‌چنین در دانه‌های مختلف هر سنبلچه (شامل دانه‌های بزرگ و کوچک) در طی روزهای پر شدن دانه بعد از گل‌دهی، در دو رقم مهدوی و فلات مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد که سنگین‌ترین دانه‌ها در قسمت میانی سنبله و سبک‌ترین دانه‌ها در بخش بالایی محور سنبله یافت می‌شوند. بین مقادیر عناصر ماکرو و میکرو در بخش‌های مختلف سنبله با وزن دانه همبستگی مثبت وجود داشت. مقدار غلظت این عناصر در بخش‌های میانی سنبله بیشتر از بخش‌های دیگر بود. نتایج هم‌چنین نشان داد که میزان منگنز و روی در طی دوره پر شدن دانه کاهش یافت. کاهش معنی‌دار غلظت عناصر ماکرو و میکرو مغذی در دانه‌های دور از محور سنبله نسبت به دانه‌های نزدیک به محور سنبله مشاهده شد. میزان کاهش غلظت عناصر نسبت به موقعیت قرارگیری دانه‌ها در روی سنبلچه در مقایسه با محور سنبله بیشتر بود. در این آزمایش بین دو رقم مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری در نحوه توزیع عناصر غذایی در طول محور سنبله و سنبلچه دیده نشد.

واژه‌های کلیدی: گندم، ماکرومغذی، میکرومغذی، ماده خشک، سنبله، سنبلچه.

اسدی داشبلاغ، م. رابطه روند تجمع ماده خشک با توزیع برخی از عناصر غذایی...

مقدمه و بررسی منابع

گندم نان^۱ بی شک در بین گیاهانی که به عنوان منابع غذایی در سطح گسترده کشت می شود، نقش عمده ای ایفا می کند و احتمالاً محوری برای شروع کشاورزی بوده است (۸). اطلاعات کمی درباره همبستگی بین توزیع ماده خشک و غلظت ماکرو و میکرو مغذی در دانه ها در موقعیت های مختلف سنبله، و چگونگی تجمع آن ها در طی دوران رسیدن دانه در دسترس می باشد. (۳). دانه های درون سنبله از نظر سرعت تجمع ماده خشک با یکدیگر متفاوتند و دانه های نزدیک به محل اتصال سنبلچه با محور سنبله و بخش مرکزی سنبله معمولاً سرعت رشد بالاتری نسبت به دانه های دورتر دارند (۹). نتایج تحقیقات انجام شده نشان می دهد که طول دوره پر شدن دانه توسط عواملی مانند وضعیت عناصر غذایی گیاه، تقاضای مخزن زایشی برای مواد پرورده و درجه حرارت هوا تعیین می شود (۹).

اطلاعات کمی در خصوص تفاوت غلظت روی و منگنز در سنبله و دانه های گندم و عوامل ژنتیکی مؤثر بر آن وجود دارد (۱۵). منگنز و روی نقش مهمی در فیزیولوژی گیاهان بازی می کنند، زیرا کوفاکتور بسیاری از آنزیم ها هستند (۱). منگنز یک ماده معدنی در بسیاری از آنزیم های مهم و پروتئین هاست و به موجب آن در بسیاری از تشکیلات فیزیولوژیکی اندام ها حضور دارد (۱۸). منگنز در فرآیند اکسایش - کاهش در سیستم انتقال الکترون فتوسنتزی دخالت دارد، این عنصر نقش مهمی در فتوسیستم II به منظور تجزیه نوری آب داشته و عامل پیوند ATP و آنزیم فسفوکیناز و فسفوترانسفراز و همچنین فعال کننده IAA اکسیداز است. گندم، سیب زمینی، سویا، یولاف، سورگوم و چغندر قند بیشترین حساسیت را به کمبود منگنز نشان می دهند (۷). روی مانند منگنز و منیزیم بر روی آنزیم ها نقش دارد و آنزیم کربنیک آنهیدراز توسط عنصر روی فعال می شود (۲۰، ۱۷). روی نقش مهمی در سنتز نشاسته و پروتئین بازی می کند و از این رو غلظت کم روی، تجمع اسیدهای آمینه را در بافت های گیاهی افزایش می دهد (۱۳). در مقایسه با سایر گونه های غلات مانند چاودار، تریتی کاله و جو، گندم حساسیت بیشتری به کمبود دارد (۲). مصرف کودهای حاوی عناصر کم مصرف

علاوه بر افزایش تولید و غنی سازی بذرها ی گندم به دلیل ذخیره سازی این عناصر به ویژه منگنز و روی باعث افزایش ریشه دهی می شود. در صورت محلول پاشی با عناصر ریز مغذی در زمان گل دهی گندم، بروز شرایط فوق حتمی خواهد بود (۱۶). پتاسیم در حفظ توازن آبی گیاه، فعال کردن آنزیم ها، ساخت پروتئین، فتوستتزر برگ ها، تنظیم فشار اسمزی، گسترش سلولی، باز و بسته شدن روزنه ها و نیز در تجمع و انتقال کربوهیدرات های ساخته شده از طریق آوند آبکش نقش دارد (۱۷). پتاسیم در ساخت و فعال کردن آنزیم نترات ردکتاز و هم چنین بر شدت فتوستتزر از طریق تأثیر بر کارکرد روزنه ها اثر دارد (۱۲). کلسیم نیز در گیاه، در پایداری دیواره سلولی و نفوذپذیری غشاء، افزایش جوانه زنی، رشد دانه گرده، توازن کاتیون - آنیون، تنظیم فشار اسمزی، فعال کردن آنزیم های مؤثر در تقسیم میتوز و تکثیر سلولی نقش ایفا می کند. کلسیم با متصل کردن زنجیره های پکتینی و تیغه میانی سبب استحکام دیواره سلولی می شود و هم چنین بر فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز (در جوانه زنی بذور غلات) تأثیر دارد (۱۱).

هدف از انجام این آزمایش تعیین روند تجمع غلظت عناصر ماکرو و میکرو در دانه های مربوط به بخش های مختلف سنبله و سنبلچه دو رقم گندم و همچنین ارتباط بین نحوه تجمع ماده خشک و عناصر در دانه های بخش های مختلف سنبله و سنبلچه می باشد.

مواد و روش ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه در سال زراعی ۸۶ - ۱۳۸۵ انجام شد. عرض جغرافیایی محل انجام آزمایش ۳۵ درجه و ۲ دقیقه شمالی و طول آن ۵۰ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۵۵ متر از سطح دریا می باشد. میانگین میزان بارش در این منطقه ۲۰۶ میلی متر در سال و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۸ درجه سلسیوس می باشد. بافت خاک لومی شنی و pH آن ۸ می باشد.

آزمایش به صورت کرت های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اصلی در این آزمایش مقادیر مختلف کود کامل فوسامکود با سه سطح صفر (شاهد، F₀)، سه (F₁) و چهار (F₂) لیتر در هکتار و فاکتور فرعی ارقام گندم نان مهدوی (V₁) و

1. *Triticum aestivum* L.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد (جدول شماره ۱)، بین ارقام مختلف از نظر عملکرد دانه تفاوت معنی داری در سطح یک درصد وجود داشت. هم چنین اعمال تیمارهای مختلف کودی نیز اختلاف معنی داری را در عملکرد دانه نشان داد. با بررسی جدول مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد (جدول شماره ۲) مشاهده می شود که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب به میزان ۴۴۹۶ و ۳۲۳۴ کیلوگرم در هکتار در نتیجه اعمال تیمار استفاده از سه لیتر کود کامل در رقم مهدوی و تیمار شاهد در رقم فلات حاصل شده است. احتمالاً مصرف کود کامل در مرحله گل دهی به صورت محلول پاشی باعث بهبود تجمع مواد پرورده در دانه ها گردیده است و عملکرد دانه را بالا برده است، نتایج مشابهی توسط ال بدری^۱ و همکاران (۱۹۹۵) و کالایسی^۲ و همکاران (۱۹۹۹) ارایه شده است، هر چند احتمال تأثیر مثبت مصرف کود کامل بر روی شاخص هایی نظیر شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR)، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR) نیز می تواند دلیلی دیگر بر افزایش میزان فتوسنتز برگ پرچم و در نتیجه افزایش عملکرد دانه باشد که توسط چاندرکومار^۳ و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است.

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد (جدول شماره ۱) بین ارقام مختلف از نظر وزن هزار دانه اختلاف معنی داری را در سطح احتمال یک درصد نشان داد. در این جدول هم چنین تفاوت معنی داری بین ارقام مشاهده می شود، بدین معنی که رقم مهدوی بیشترین وزن هزار دانه و رقم فلات کمترین وزن هزار دانه را دارند. در رقم فلات با مصرف کود کامل وزن هزار دانه به میزان ۱۸/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش نشان داد. هم چنین نتایج این تحقیق نشان داد که سنگین ترین و سبک ترین دانه ها به ترتیب در بخش میانی و بالایی محور سنبله وجود دارند که با نتایج کالدرینی و موناسترئو^۴ (۲۰۰۳) مطابقت دارد (نمودار ۱).

با توجه به نتایج این آزمایش بیشترین و کمترین مقدار تجمع ماده خشک در دانه به ترتیب در ارقام مهدوی و فلات

فلات (V₂) در نظر گرفته شد. اعمال تیمار (محلول پاشی کود) در زمان گل دهی صورت گرفت. ۶ بار نمونه برداری جهت محاسبه روند تجمع ماده خشک و تعیین غلظت عناصر در دانه های مختلف در فاصله زمانی یک هفته پس از گل دهی کامل به فاصله هر ۷ روز یکبار تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک انجام گرفت. جهت محاسبه عملکرد و اجزای عملکرد، نمونه هایی از هر کرت در سطح یک متر مربع در زمان رسیدگی برداشت شدند. در این آزمایش ساقه های اصلی هر بوته در مرحله ساقه دهی مشخص و علامت گذاری شد و پس از گل دهی نمونه برداری ها طبق فواصل زمانی گفته شده از این ساقه ها صورت پذیرفت. سنبله های اصلی نمونه برداری شده هر کرت به آزمایشگاه منتقل و جداسازی دانه های سنبله و سنبله چه انجام و دانه ها شمارش و پس از خشک کردن در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت جهت تعیین روند تجمع ماده خشک، توزین شدند. سپس باقی مراحل که شامل آسیاب کردن، تهیه خاکستر، هضم و عصاره گیری می باشند انجام گرفت و غلظت عناصر طبق روش زارکیناس^۱ و همکاران (۱۹۸۷) اندازه گیری شد. سنبله گندم در این تحقیق بر طبق روش لی^۲ و همکاران (۲۰۰۰) به سه بخش پایینی^۳، میانی^۴ و بالایی^۵ و دانه های هر سنبله چه هم به دو قسمت دانه بزرگ^۶ و دانه ریز^۷ تقسیم شد. برای تعیین میزان غلظت عناصر ماکرومغذی و میکرومغذی به ترتیب از دستگاه فلیم فتومتر (فاطر الکترونیک - ۴۳۰) و جذب اتمی (AA240 - Varian) استفاده گردید.

برای محاسبه سرعت پر شدن دانه ها، شیب منحنی رشد دانه در روزهای ۱۴، ۲۱ و ۲۸ پس از گل دهی که رشد دانه سریع می باشد، محاسبه شد و از رابطه زیر طول مدت پر شدن دانه ها نیز به دست آمد.

سرعت پر شدن دانه × طول مدت پر شدن دانه = وزن نهایی دانه
تجزیه و تحلیل داده ها به کمک نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین ها به روش آزمون دانکن در سطح یک درصد انجام گرفت.

1. El-Badry
2. Kalayci
3. Chandrekumar
4. Calderini and Monasterio

1. Zarcinas
2. Li
3. Proximal
4. Middle
5. Distal
6. Bold
7. Small

می‌کند (نمودار ۲- MnV_1 و MnV_2) که این نتایج با گزارش کالدیرینی و موناستریو (۲۰۰۳) مطابقت دارد. روند تجمع عنصر روی در دانه‌ها نیز در ارقام مورد مطالعه ثابت بود (نمودار ۲- ZnV_1 و ZnV_2)، که لیو^۱ و همکاران (۲۰۰۶) هم نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که بین توزیع عنصر روی و ماده خشک در بخش‌های مختلف سنبله و سنبلچه همبستگی وجود دارد، هر چند مثبت یا منفی بودن این همبستگی هنوز کاملاً مشخص نیست، اما احتمال همبستگی مثبت بین روی و ماده خشک را از روی واکنش عمومی مکانیسم انتقال روی به دانه‌ها می‌توان متصور بود. در تحقیقات انجام شده توسط لیو و همکاران (۲۰۰۶) و گاروین^۲ و همکاران (۲۰۰۶) نیز نتایج مشابهی از نظر نحوه توزیع عنصر روی و رابطه آن با چگونگی تجمع ماده خشک در طول محور سنبله و سنبلچه گزارش شده است.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به دست آمده در این آزمایش همبستگی مثبتی بین نحوه تجمع ماده خشک در بخش‌های مختلف محور سنبله گندم (پایینی، میانی و بالایی) و دانه‌های مختلف روی محور سنبلچه (بزرگ و کوچک) و نحوه توزیع نهایی عناصر پر مصرف (K و Ca) و کم مصرف (Mn و Zn) مشاهده گردید. با افزایش تجمع ماده خشک در مخزن‌های اقتصادی (دانه‌ها)، میزان تجمع این عناصر نیز افزایش پیدا کرد. نتایج نشان‌دهنده بیشترین غلظت این عناصر در بخش میانی سنبله و در دانه‌های بزرگ در مقایسه با کمترین میزان غلظت این عناصر در بخش بالایی سنبله در دانه‌های کوچک بود. هر چند در این آزمایش استفاده از کود کامل، احتمالاً به دلیل زمان مصرف نتوانست باعث افزایش معنی‌دار عملکرد نهایی گردد اما توانست بر کیفیت محصول تولیدی از نظر میزان تجمع عناصر در تمامی بخش‌های سنبله و سنبلچه تأثیر مثبت بگذارد.

با توجه به اهمیت تجمع عناصر غذایی در بخش‌های مختلف سنبله پیشنهاد می‌گردد که عناصر بیشتری در شرایط مختلف نظیر مدیریت کود، تنش‌های متفاوت، آبیاری و غیره مورد بررسی قرار گیرند.

مشاهده شد که علت آن‌را می‌توان در سرعت پرشدن دانه‌های بزرگ بخش میانی سنبله رقم مهدوی نسبت به رقم فلات دانست. سرعت و طول مدت پر شدن دانه، در دانه‌های بخش مرکزی نسبت به بخش بالا و پایین سنبله و در دانه‌های بزرگ نسبت به دانه‌های کوچک واقع در سنبلچه‌ها دارای بیشترین میزان می‌باشند. هم‌چنین در اثر مصرف کود کامل مقدار ماده خشک در دانه‌های بزرگ بخش میانی سنبله بالا رفت اما در سایر بخش‌ها تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد که به نظر می‌رسد علت آن تأثیر کود در سرعت پر شدن دانه‌ها باشد، چرا که در دانه‌های کوچک بخش بالایی سنبله سرعت پر شدن دانه‌ها کم می‌باشد.

موقعیت دانه مهم‌ترین منبع تغییر برای غلظت پتاسیم و کلسیم می‌باشد. با بررسی نمودار روند تجمع عناصر ماکرو و میکرو در بخش‌های مختلف سنبله و سنبلچه ارقام گندم (نمودار ۲) مشاهده می‌شود که روند تجمع عنصر پتاسیم در رقم مهدوی در روزهای پس از گل‌دهی به صورت نزولی است، در حالی که در رقم فلات، در مدت مشابه، این روند ابتدا کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد (نمودار ۲- KV_1 و KV_2). غلظت پتاسیم در روزهای پس از گل‌دهی در بخش میانی سنبله به مراتب بیشتر از سایر بخش‌های سنبله بود و در رقم مهدوی غلظت پتاسیم دانه‌ها تا پایان دوره افزایش چندانی را نشان نداد اما در رقم فلات غلظت پتاسیم دانه‌ها ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت (نمودار ۲- KV_1 و KV_2)، کروپ و همکاران (۲۰۰۲) و هم‌چنین کالدیرینی و موناستریو (۲۰۰۳) نیز گزارش کردند که روند تجمع پتاسیم در دوران پر شدن دانه در ارقام مورد مطالعه در انتهای دوره به صورت افزایشی است. غلظت عنصر کلسیم در روزهای پس از گل‌دهی در رقم مهدوی در بخش‌های مختلف سنبله و سنبلچه ثابت بود، در حالی که در رقم فلات غلظت کلسیم با گذشت زمان روندی نزولی داشت (نمودار ۲- CaV_1 و CaV_2). در رقم مهدوی در بخش‌های میانی و بالایی محور سنبله از میزان کلسیم کاسته شد، اما در بخش پایین میزان کلسیم افزایش یافت و در رقم فلات ابتدا بر میزان کلسیم دانه‌های بزرگ افزوده شد و در پایان دوره رسیدگی دانه از میزان کلسیم دانه‌ها کاسته شد (نمودار ۲- CaV_1 و CaV_2)، نتایج مشابهی توسط کالدیرینی و موناستریو (۲۰۰۳) گزارش شده است.

با بررسی روند تجمع عنصر منگنز در بخش‌های مختلف سنبله و سنبلچه در روزهای پس از گل‌دهی مشخص شد که در ارقام مورد مطالعه تجمع عنصر منگنز روندی نزولی را طی

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گندم در تیمارهای مختلف کودی

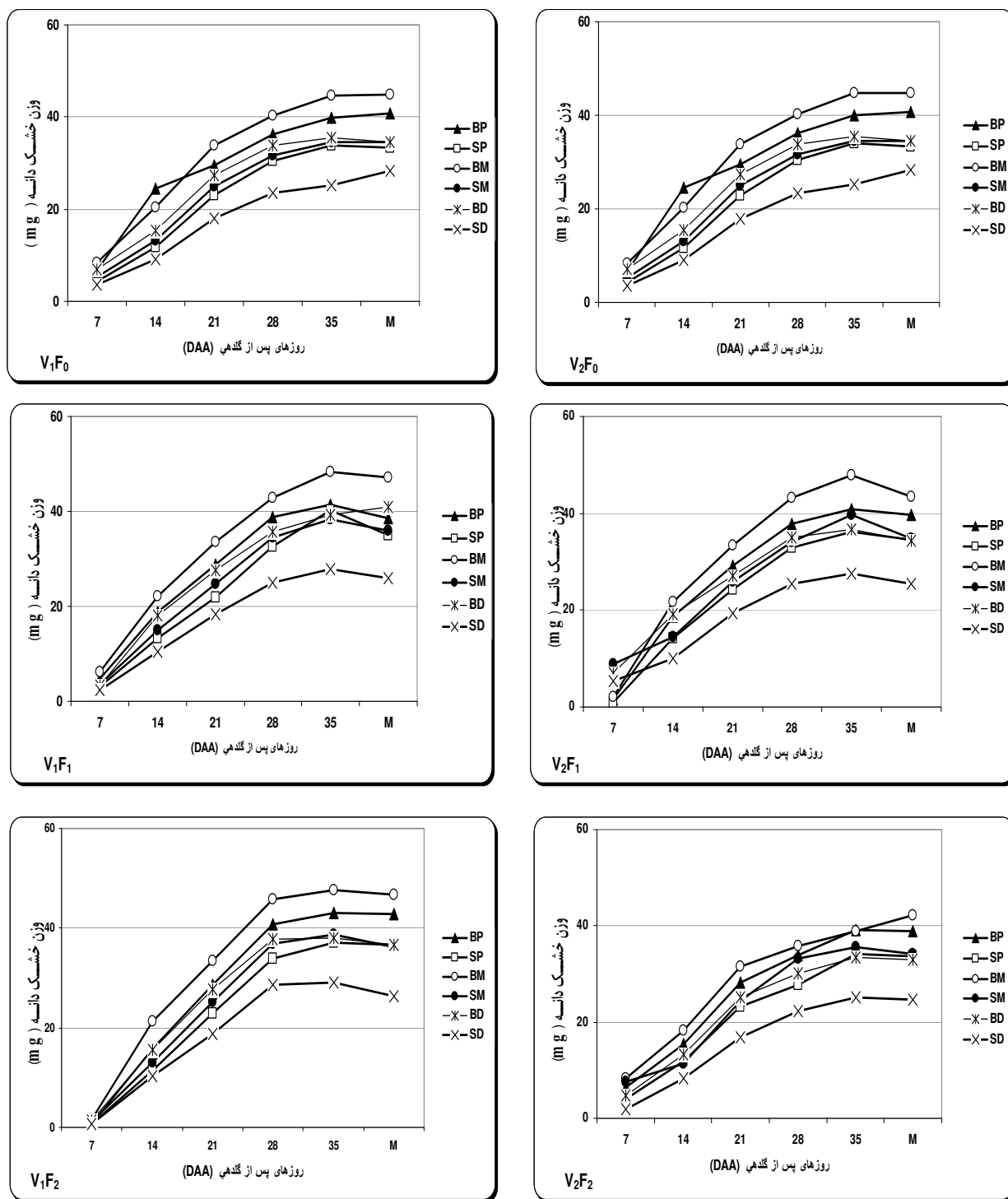
شاخص برداشت (درصد)	عملکرد بیولوژیک (kg.ha^{-1})	تعداد دانه	وزن هزار دانه (میلی گرم)	عملکرد دانه (kg.ha^{-1})	درجه آزادی	منابع تغییرات
۶/۰۲۲ ^{ns}	۳۲۶۶۸۲/۸۲ ^{ns}	۱۴/۵۶۵ ^{ns}	۵/۰۵۶ ^{ns}	۶۵۴۲۸۰/۱۴ ^{ns}	۲	تکرار
۱۲/۲۱۴ ^{ns}	۶۶۲۹۶۶/۵۶*	۹/۱۳۵ ^{ns}	۱/۰۵۶ ^{ns}	۸۱۴۸۰۳/۳۴*	۲	کود دهی (A)
۸/۰۳۰	۵۳۰۸۷/۹۰	۲۵/۲۷۵	۲/۸۸۹	۱۱۷۷۰۵/۹۸	۴	خطای اصلی (A)
۶/۳۴۹ ^{ns}	۱۳۲۹۰۴/۵۲ ^{ns}	۱۰/۲۹۱ ^{ns}	۲۱۳/۵۵۶**	۱۴۰۲۷۵۶/۰۶**	۱	رقم (B)
۱/۵۱۲ ^{ns}	۱۵۶۷۸۹/۰۴ ^{ns}	۴۹/۷۵۲ ^{ns}	۲/۳۸۹ ^{ns}	۲۸۱۰۱۳/۱۶ ^{ns}	۲	کود * رقم (AB)
۱۸/۰۸۱	۱۱۰۳۳۳/۷۲	۲۸/۷۲۳	۷/۲۷۸	۶۸۹۹۹/۷۳	۶	خطای فرعی (B)
۱۰/۹۳	۱۵/۶۷	۱۴/۰۶	۷/۳۱	۷/۱۱		اشتباه آزمایشی

ns ، ** و * به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح یک و پنج درصد می باشد.

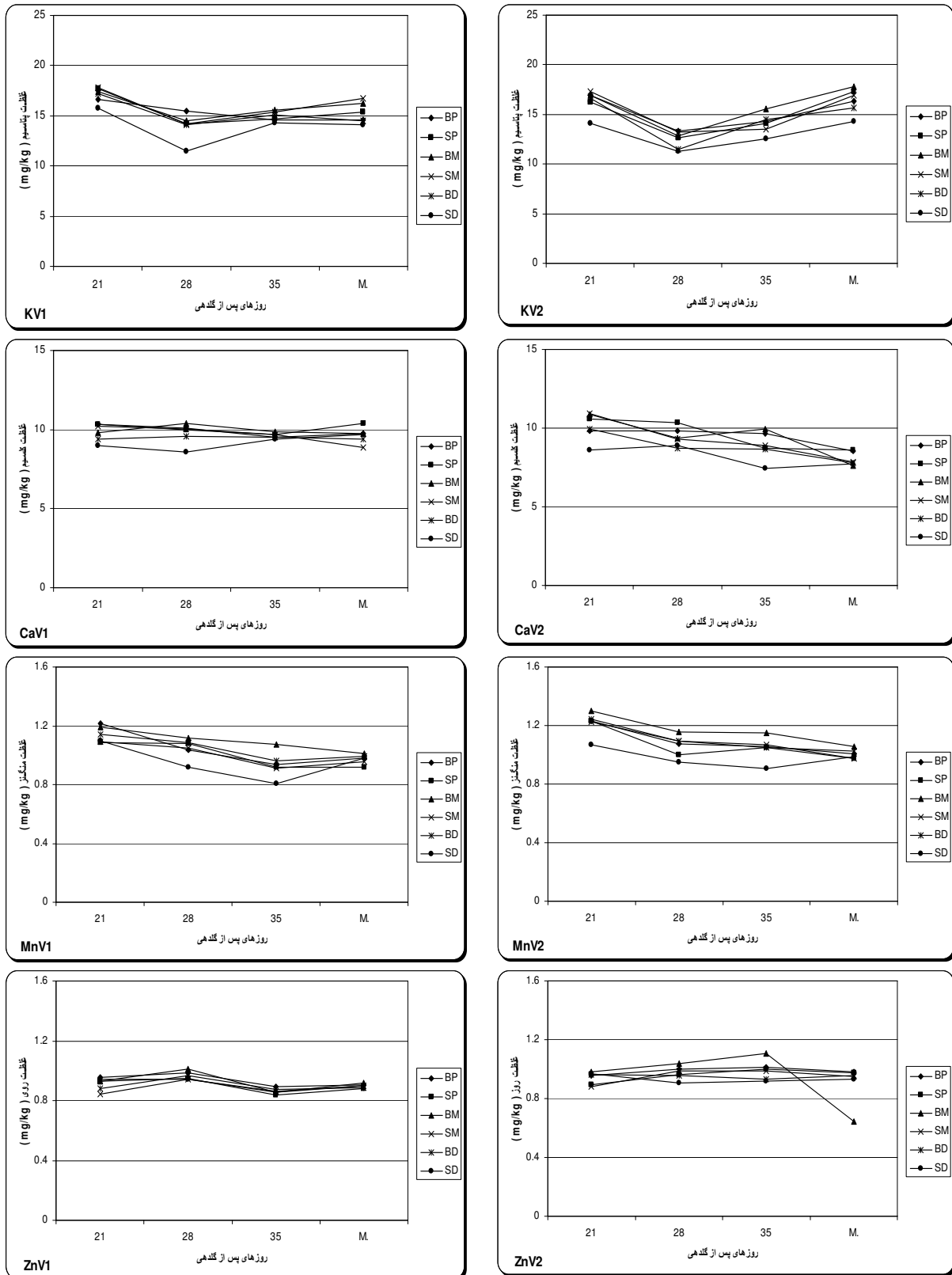
جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد در تیمارهای مختلف کودی

شاخص برداشت (درصد)	عملکرد بیولوژیک (kg.ha^{-1})	تعداد دانه	وزن هزار دانه (میلی گرم)	عملکرد دانه (kg.ha^{-1})	کوددهی	رقم
۳۸/۷۶ a	۲۴۱۴ a	۳۵/۵۴ a	۴۰/۳۳ a	۴۰۸۶ a	F0	V1
۴۱/۱۴ a	۲۵۴۶ a	۳۸/۸۷ a	۴۰/۶۷ a	۴۴۹۶ a	F1	
۳۹/۶۸ a	۲۲۵۸ ab	۳۷/۶۷ a	۴۰ a	۳۵۲۰ b	F2	
۳۶/۵۶ a	۱۸۵۰ ab	۳۴/۶۸ a	۳۳/۶۷ b	۳۲۳۴ b	F0	V2
۳۸/۶۸ a	۱۹۹۳ ab	۴۲/۸۷ a	۳۲/۳۳ b	۳۵۰۰ b	F1	
۳۸/۵۹ a	۱۶۵۶ b	۳۹/۰۷ a	۳۴/۳۳ b	۳۳۴۶ b	F2	

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.



شکل ۱- منحنی روند تجمع ماده خشک دانه در موقعیت‌های مختلف سنبله و سنبله در ارقام مختلف گندم در روزهای پس از گل‌دهی در سطوح مختلف استفاده از کود کامل (V1 رقم مهدوی، V2 رقم فلات، BP و SP به ترتیب دانه‌های بزرگ و کوچک بخش پایینی سنبله، BM و SM به ترتیب دانه‌های بزرگ و کوچک بخش میانی سنبله، BD و SD به ترتیب دانه‌های بزرگ و کوچک بخش بالایی سنبله، F1، F0 و F2 به ترتیب معرف تیمار شاهد و استفاده از سه و چهار لیتر کود کامل فوسامکو در هکتار می‌باشند).



شکل ۲- منحنی روند تجمع عناصر ماکرو و میکرو مغذی در بخش‌های مختلف سنبله و سنبلیچه ارقام گندم در روزهای پس از گل‌دهی (V1 رقم مهدوی، V2 رقم فلات، BP و SP به ترتیب دانه‌های بزرگ و کوچک بخش پایینی سنبله، BM و SM به ترتیب دانه‌های بزرگ و کوچک بخش میانی سنبله، BD و SD به ترتیب دانه‌های بزرگ و کوچک بخش بالایی سنبله، Ca، K، Mn و Zn به ترتیب غلظت عناصر پتاسیم، کلسیم، منگنز و روی می‌باشند).

منابع

1. Brown, P. H., Bellaloui, N., Wimmer, M. A., Bassil, E. S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F. and Romheld, V. 2002. Boron in plant biology. *Plant Biology* 4: 205–223.
2. Cakmak, I., Torun, B., Erenoglu, B., Ozturk, L., Marschner, H., Kalayci, M. and Ekiz, H. 1998. Morphological and physiological differences in cereals in response to zinc deficiency. *Euphytica* 100: 349-357.
3. Calderini, D. F. and Monasterio, I. O. 2003. Grain position affects grain macronutrient and micronutrient concentration in wheat. *Crop Science* 43: 141–151.
4. Chandrekumar, K., Halepyati, A. S., Desai, B. K. and Pujari, B. T. 2004. Influence of integrated management of nutrients on growth and productivity of wheat. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences* 17(1): 89-92.
5. El-Badry, O. Z. 1995. Effect of nitrogen and copper fertilization on yield and quality. *Mostohor* 33 (3): 1017-1024.
6. Garvin, D. F., Welch, R. M. and Finlay, J. W. 2006. Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm. *Journal of Science, Food, Agriculture* 86: 2213-2220.
7. Graham, R. D., Hannam, R. J. and Uren, N. C. 1988. Manganese in soil and plants. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, the Netherland.
8. Harlan, J. F. 1981. The early history of wheat: *Wheat Science Today and Tomorrow*. L. T. Kalayci M., B. Torun, S. Eker, M. Aydin, L. Ozturk and I. Cakmak (eds.), Grain yield, zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soil in field and greenhouse. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 1–19.
9. Kafi, M., Jafarnejad, A. and Jami Elahmadi, M. 2005. *Wheat (Ecology, Physiology, Yield)*. Ferdowsi University of Mashhad Press. 478 Pp. [In Persian with English Abstract].
10. Kalayci, M., Torun, B., Eker, S., Aydina, M., Ozturk, L. and Cakmak, I. 1999. Grain yield zinc efficiency and zinc concentration of wheat cultivars grown in a zinc-deficient calcareous soils in field and greenhouse. *Field Crops Research* 63: 87-98.
11. Khoshgoftar, A. M. 2007. *Principle of plant nutrition*. Isfahan University of Technology Press. 462 Pp. [In Persian with English Abstract].
12. Korb, N., Jones, C. and Jacobsen, J. 2002. Potassium cycling, testing, and fertilizer recommendations. *Nutrient Management Module* 5: 1–12.
13. Kostas, B. S. and Dordas, C. 2006. Effect of foliar applied boron, manganese and zinc on tan spot in winter durum wheat. *Crop Protection* 25: 657–663.
14. Li, A. G., Hou, Y. S., Wall, G. W., Trent, A., Kimball, B. A. and Pinter, P. J. 2000. Free-air CO₂ enrichment and drought stress effects on grain filling rate and duration in spring wheat. *Crop Science* 40: 1263-1270.
15. Liu, Z. H., Wang, H. Y., Wang, X. E., Zhang, G. P., Chen, P. D. and Liu, D. J. 2006. Genotypic and spike positional difference in grain phytase activity, phytate, inorganic phosphorus, iron, and zinc content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 44: 212–219.
16. Malakuti, M. J. and Tehrani, M. M. 2005. Effect of micronutrients on the yield and quality of agricultural products. *Tarbiat Modares University Press*. 398 Pp. [In Persian with English Abstract].
17. Mirania, K. and Habibzade, F. 2006. *Plant nutrient manual*. Tak Rang Press. 132 Pp. [In Persian with English Abstract].
18. Rennan, G. O. A., De-S. Dias, F., Macedo, S. M., Dos-Santos, W. N. L. and Ferreira, S. L. C. 2007. Method of development for the determination of manganese in wheat flour by slurry sampling flame atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry* 101: 397–400.
19. Zarcinas, B. A., Cartwright, B. and Spouncer, L. R. 1987. Nitric acid digestion and multielement analysis of plant material by inductively coupled plasma spectrometry. *Soil Science* 18: 131–146.
20. Zyayyan, A. 2003. Using energy-efficient elements in agriculture. *Agricultural Education, Extension and Research Organization*. 207 Pp. [In Persian with English Abstract].