

برآورد کمتر انتقال مجدد در سطح ساقه در ارقام جو با ذخیره‌سازی و انتقال مجدد همزمان مواد فتوسنتزی در میانگره‌ها

مهدی جودی^۱ | اصغر مهربان^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشکین شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: joudi@uma.ac.ir
۲. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران. رایانامه: a.mehraban@arceo.ac.ir

چکیده:

استفاده از وزن ساقه برای اندازه‌گیری انتقال مجدد در ارقامی از جو که دارای ذخیره‌سازی و انتقال مجدد همزمان در میانگره‌های خود هستند، باعث می‌شود که میزان انتقال مجدد مواد پرورده به دانه‌ها کمتر برآورد شود. هدف تحقیق حاضر مقایسه مقدار ذخیره‌سازی و انتقال مجدد در سطح ساقه و در سطح میانگره‌های ساقه ارقام جو رشد یافته در مناطق با آب و هوای متفاوت بود. تعداد هشت رقم جو به صورت دیم در شهرستان مشکین شهر و جعفرآباد مغان در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ کاشته شدند. تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در سطح ساقه و میانگره‌های آن (پدانکل، پنالتی میت و میانگره‌های زیرین) به صورت وزنی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در بیشتر ارقام کشت شده در شرایط مشکین شهر و مغان، فرایند ذخیره‌سازی و انتقال مجدد به طور همزمان رخ می‌داد. در این ارقام، استفاده از ساقه برای اندازه‌گیری انتقال مجدد، مقدار این صفت را کمتر از حد واقعی نشان داد. بسته به رقم و شرایط آزمایش، مقدار انتقال مجدد از ۱ تا ۳۸ میلی‌گرم، کمتر برآورد شد. بنابراین ضروری است انتقال مجدد مواد پرورده در گیاه جو در سطح میانگره‌ها اندازه‌گیری شده و مجموع انتقال مجدد از میانگره‌ها برای برآورد میزان انتقال مجدد در سطح ساقه استفاده شود.

کلید واژه‌ها: آب و هوای معتدل و نیمه‌گرمسیر، برآورد کمتر انتقال مجدد، جو، میانگره‌های ساقه.

Underestimation of remobilization at entire stem level in rainfed barley cultivars with simultaneous photoassimilates accumulation and remobilization in their internodes

Mehdi Joudi^{1✉} | Asghar Mehraban² |

1. Corresponding Author, Department of Plant Science and Medicinal Herbs, Meshgin-Shahr Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: joudi@uma.ac.ir
2. Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ardabil, Iran. Email: a.mehraban@areeo.ac.ir

Abstract

To measure carbohydrate remobilization, the analysis of the entire stem yields underestimated results in barley cultivars with simultaneous photoassimilates accumulation and remobilization in their internodes. The aim of this research was to compare the amount of photoassimilates storage and remobilization at the entire stem and at the internode's level of different rainfed barley cultivars grown under different climates.

Eight barley cultivars were cultivated under rainfed conditions in Meshginshahr and Jafarabad-Moghan during 2023-2024 growing season. Photoassimilate accumulation and remobilization were measured at the entire stem and its internodes (peduncle, penultimate, and lower internodes) based on dry weight changes.

Results showed that in the majority of cultivars grown at Meshginshahr and Moghan regions, photoassimilates accumulation and remobilization occurred simultaneously. In such cultivars, employing the entire stem for measuring photoassimilates remobilization underestimated its value. Depending on the cultivars and the environmental conditions, the amount of underestimated remobilization was also found to range from 1 to 38 mg. Therefore, it is necessary to measure remobilization amount at the level of internodes and use their sum to estimate the trait amount at the entire stem level.

Keyword: Barley, Mediterranean and subtropical climates, Stem internodes, Underestimated remobilization.

۱. مقدمه

جو به عنوان یکی از مهمترین گیاهان زراعی از لحاظ سطح زیر کشت و میزان تولید در جهان بوده و نقش مهمی را در تامین نیاز غذایی انسان و دام داشته است. سطح زیر کشت جو در کل دنیا ۴۶ میلیون هکتار بوده که در حدود ۱۴۶ میلیون تن دانه را تولید می‌کند. در کشور ایران، سطح زیر کشت این گیاه حدود ۱/۶۵ میلیون هکتار و میزان تولید سه میلیون تن گزارش شده است (FAO, 2023).

غلات معتدله همانند جو این توانایی را دارند تا کربوهیدرات‌های محلول در آب مازاد بر نیاز خود را به صورت فروکتان، گلوکوز، فروکتوز و ساکاروز در میانگره‌های ساقه ذخیره کنند. در مراحل پایانی رشد و زمانی که فتوسنتز جاری کاهش می‌یابد، کربوهیدرات‌های ذخیره شده تجزیه شده و بعد از تبدیل به ساکاروز به دانه‌های در حال پر شدن صادر می‌شوند (Zhang et al., 2015). مطالعات نشان داده است ذخایر ساقه جو می‌توانند تا ۲۴ درصد در شرایط دیم، ۵۰ درصد در شرایط آبی و تا ۶۰ درصد در شرایط تنش خشکی انتهای فصل در عملکرد نهایی دانه مشارکت کنند (Abdi, 2022; Przulj & Momcilovic, 2001). همچنین، گزارش شده است در حالیکه فرایندهای مختلف گیاهی از جمله فتوسنتز جاری در شرایط تنش متوقف می‌شوند، فرایند انتقال مجدد کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای تحت تاثیر قرار نگرفته و تا انتهای چرخه رشد گیاه ادامه پیدا می‌کند (Thakur & Rane, 2020). بنابراین مطالعه و اندازه‌گیری صحیح مقدار ذخیره‌سازی و انتقال مجدد اهمیت بسیار مهمی در برنامه‌های اصلاحی و تولید ارقام متحمل به تنش خشکی دارد.

ساقه جو شامل میانگره‌های پدانکل (بالاترین میانگره زیر سنبله)، پنالتی‌میت (میانگره زیر پدانکل) و زیرین می‌باشد. تجمع ذخایر در یک میانگره زمانی آغاز می‌شود که آن میانگره به حداکثر طول و اندازه خود رسیده باشد (Joudi & Van den Ende, 2018). از نظر نمودی، ساختار میانگره‌های زیرین زودتر توسعه یافته و در مقابل، میانگره‌های بالایی و بخصوص پدانکل در بعد از گرده‌افشانی به حداکثر اندازه خود می‌رسند. این بدان معنی است که میانگره‌های زیرین زودتر از میانگره‌های بالایی به عنوان مخزن (دریافت کننده مواد فتوسنتزی) و سپس منبع (صادرکننده مواد فتوسنتزی در طی فرایند انتقال مجدد) عمل می‌کند (Wakabayashi et al., 2022). محققان تسهیم مواد فتوسنتزی را در قسمت‌های مختلف دو رقم گندم و تحت تیمارهای کودی و نوع شخم مطالعه کرده و گزارش کردند که پدانکل و پنالتی‌میت در ۲۰ روز بعد از گرده‌افشانی یعنی پنج روز دیرتر از میانگره‌های زیرین به حداکثر وزن خود رسیدند. آنها همچنین اشاره کردند که مقدار مشارکت میانگره‌های زیرین در عملکرد بیشتر از میانگره‌های بالایی بود (Chen et al., 2014). همچنین در تحقیقی دیگر گزارش شد که ذخایر قندی در میانگره‌های زیرین ساقه زودتر تجزیه شده و به طرف دانه‌ها منتقل شدند (Li et al., 2013). با این وجود، پژوهشگران ایرانی در یک آزمایش گلخانه‌ای تغییرات وزن میانگره‌های مختلف ساقه را در چهار رقم و دو لاین جو تحت شرایط فاریاب و تنش خشکی انتهای فصل رشد مطالعه کرده و گزارش کردند که حداکثر وزن پدانکل و میانگره ماقبل آخر (پنالتی‌میت) در فاصله زمانی ۲۱-۷ روز بعد از گرده‌افشانی بدست آمد، ولی حداکثر وزن میانگره‌های زیرین در تمامی ارقام و لاین‌ها در فاصله زمانی ۲۸-۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی مشاهده شد. این محققان بیان کردند تاخیر در به حداکثر رسیدن وزن میانگره‌های زیرین در قیاس با میانگره‌های بالایی نشان می‌دهد انتقال ذخایر میانگره‌های زیرین به دانه پس از انتقال ذخایر پدانکل و پنالتی‌میت و با کمی تاخیر صورت می‌گیرد (Sarabadani Tafresh et al., 2019). در همین راستا، Ehdai et al. (2006a) بر روی ۱۱ رقم گندم مطالعه کرده و از تنوع ژنتیکی فراوان برای الگوی تجمع و انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول در آب در میانگره‌های ساقه خبر دادند. نامبردگان، به عنوان مثال، بیان کردند حداکثر مقدار کربوهیدرات‌های محلول در آب در میانگره‌های زیرین در چهار رقم در زمان گرده‌افشانی، در چهار رقم دیگر در ۱۰ روز بعد از گرده‌افشانی و در سه رقم مانده در ۲۰ روز بعد از گرده‌افشانی

مشاهده شد. این گزارشات نشان می‌دهد که الگوی تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در میانگره‌های ساقه بسته به رقم و شرایط محیطی، متغیر است.

اندازه‌گیری مقدار تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در ساقه عموماً به دو روش انجام می‌شود. در روش اول، غلظت و محتوای کربوهیدرات‌های محلول در آب در ساقه اندازه‌گیری می‌شود که نیازمند مواد شیمیایی و دستگاه‌های پیشرفته آزمایشگاهی بوده و اجرای آن نیاز به زمان و هزینه بسیاری دارد (Ehdaie et al., 2006a; Ehdaie et al., 2008). در روش دوم، وزن خشک ساقه در بعد از گرده‌افشانی اندازه‌گیری شده و مقدار انتقال مجدد از طریق تغییرات وزن خشک ساقه محاسبه می‌شود (Ehdaie et al., 2006b; Ma et al., 2014; Tapha et al., 2022). پژوهش‌گران استرالیایی روش وزنی را یک روش سریع و کم‌هزینه برای گزینش ارقام گندم از لحاظ غلظت کربوهیدرات‌های محلول در آب عنوان کرده‌اند (Xue et al., 2009). روش وزنی اندازه‌گیری، می‌تواند در دو حالت انجام شود. در حالت اول، تغییرات وزن خشک در سطح کل ساقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. ولی چون تغییرات در وزن یک میانگره مستقل از میانگره دیگر است، لذا در حالت دوم، تغییرات وزن خشک در سطح میانگره‌های ساقه اندازه‌گیری می‌شود (Ehdaie et al., 2006a,b; Tapha et al., 2022).

اخیراً محققان گزارش کردند که در گیاه گندم، فرایند تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی می‌تواند به طور همزمان اتفاق افتد. در حالیکه در میانگره‌های پایین ساقه، انتقال مجدد مواد ذخیره شده شروع شده بود، میانگره‌های بالایی همچنان کار ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی را انجام می‌دادند. در چنین شرایطی، اگر مقدار ذخیره‌سازی و انتقال مجدد در سطح ساقه اندازه‌گیری شود، باعث برآورد کمتر این صفات از حد واقعی می‌شود (Joudi et al., 2024; Joudi et al., 2025). این نتایج دارای اهمیت فراوان بوده و ضرورت اجرای آن را در گیاهان مشابه از جمله جو بیان می‌کند. هدف تحقیق حاضر مقایسه مقدار ذخیره‌سازی و انتقال مجدد در سطح ساقه و میانگره‌های ساقه ارقام جو کشت شده در شرایط دیم مناطق با آب و هوای متفاوت بود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در دو مکان مشگین‌شهر و دشت مغان انجام گردید. شهرستان مشگین‌شهر در مرکز استان اردبیل واقع بوده و دارای آب و هوای معتدل با زمستان‌های سرد است. در مقابل، دشت مغان در شمال استان اردبیل قرار گرفته و دارای آب و هوای نیمه‌گرمسیر - گرمسیر با زمستان نیمه‌سرد می‌باشد. مشخصات آب و هوای مناطق در طول آزمایش به صورت ماهیانه در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش مشگین‌شهر در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی مشگین‌شهر و آزمایش مغان در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی مغان واقع در جعفرآباد انجام شد. در تحقیق حاضر تعداد هشت رقم جو در شرایط دیم مورد بررسی قرار گرفتند. مشخصات ارقام جو در جدول ۲ نشان داده شده است. طرح آزمایشی مورد استفاده بلوک‌های کامل تصادفی و تعداد تکرار ۳ بود. در هر دو مکان، زمین آزمایش آیش بوده و در سال قبل هیچ نوع زراعتی در آن انجام نشده بود. زمین مذکور در اواسط مهر ماه سال ۱۴۰۲ با استفاده از گاواهن برگرداندار شخم زده شد. تسطیح لازم با استفاده از ماله انجام و سپس مزرعه کرت‌بندی شد. هیچ نوع کود دامی یا شیمیایی مورد استفاده قرار نگرفت. مقدار بذر مورد نیاز هر رقم با در نظر گرفتن وزن هزار دانه آن محاسبه شد. بذور ارقام در اوایل آبان ۱۴۰۲ در شهرستان مشگین‌شهر و در اواسط آبان همان سال در دشت مغان و به صورت دستی کاشته شدند. در هر کرت آزمایشی، ۴ ردیف با فواصل بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر کاشته شد. طول ردیف‌های کاشت ۲ متر بود. پس از کاشت، هیچ نوع آبیاری انجام نشد و تنها منبع تامین آب گیاهان، نزولات جوی بود. علف‌های هرز بصورت دستی کنترل شدند.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی اخذ شده از ایستگاه‌های هواشناسی مشگین‌شهر و پارس‌آباد-مغان در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲

	Minimum air temperature (°C)		Maximum air temperature (°C)		Mean air temperature (°C)	
	Meshginshahr	Moghan	Meshginshahr	Moghan	Meshginshahr	Moghan
	23Oct-21Nov 2023	9.6	10.1	19.1	22.1	14.4
22Nov-21Dec 2023	3.7	3.7	13.4	15.4	8.5	9.6
22Dec-20Jan 2023	1.3	0.1	10.9	12.4	6.1	6.3
21Jan-19Feb 2024	-0.7	0.5	7.1	12	3.2	6.3
20Feb-19Mar 2024	-1.6	1.2	8.1	11.6	3.2	6.1
20Mar-19Apr 2024	5.1	7	15.7	20.6	10.4	13.8
20Apr-20May 2024	8.9	11.6	19.6	24.6	14.3	18.1
21May-20Jun 2024	13.1	17	24.7	32.1	18.9	24.5
21June-21Jul 2024	15.2	20.3	26.1	33.8	20.7	27

	Rain and snow(mm)		Total evaporation (mm)		Relative humidity (%)	
	Meshginshahr	Moghan	Meshginshahr	Moghan	Meshginshahr	Moghan
	23Oct-21Nov 2023	7.3	1.9	115	55.9	47
22Nov-21Dec 2023	12.7	11.8	77	16.5	46	76
22Dec-20Jan 2023	46	27.2	-	-	51	75
21Jan-19Feb 2024	27.6	18.2	-	-	61	77
20Feb-19Mar 2024	21.8	34.7	-	-	60	77
20Mar-19Apr 2024	59.2	27.1	36.2	65	56	74
20Apr-20May 2024	91.3	38.4	131	141	57	71
21May-20Jun 2024	115.5	9	162	210	58	64
21June-21Jul 2024	65	33	192	256	57	60

جدول ۲. ارقام جو مورد استفاده در آزمایش مشگین‌شهر و مغان در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲

Barley Cultivars	Characteristics	Suitable cultivation areas
Barzin	Six rowed	Tropical and subtropical
Oxin	Six rowed	Tropical and subtropical
Khoram	Two rowed	Tropical and subtropical
Fardan	Two rowed	Tropical and subtropical
Jolghch	Six rowed	Moderate and cold
Mahtab	Six rowed	Moderate and cold
Artan	Two rowed	Moderate and cold
Ghaflan	Two rowed	Moderate and cold

در زمان گرده‌افشانی (Zadoks GS 65, Zadoks *et al.*, 1974)، تعداد پنج عدد ساقه اصلی یکسان از هر کرت کفبر شده و این نمونه‌برداری با فاصله هر هفت روز یکبار تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت. در آزمایش مشگین‌شهر، تعداد دفعات نمونه‌برداری برای کلیه ارقام به استثناء سه رقم، شش بار بود. رقم اکسین به دلیل گرده‌افشانی زود هنگام، هفت بار و ارقام خرم و فردان نیز هشت بار نمونه‌برداری شدند (جدول ۳). در آزمایش مغان، بیشتر ارقام در فاصله گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک، پنج بار نمونه‌برداری شدند، ولی ارقام اکسین، خرم و فردان به دلیل گرده‌افشانی زود هنگام، شش بار نمونه‌گیری شدند (جدول ۴). ساقه‌های کفبر شده در هر مرحله، بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و جهت خشک شدن در داخل آون با

دمای ۶۵ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. سپس سنبله از ساقه جدا شده و وزن خشک آن ثبت شد. در مرحله بعدی، غلاف برگ از روی ساقه حذف گردید. سپس ساقه به میانگره‌های تشکیل‌دهنده آن یعنی پدانکل (اولین میانگره زیر سنبله)، پنالتی میت (دومین میانگره زیر سنبله) و میانگره‌های زیرین (شامل دو تا چهار میانگره پایین) تفکیک شد. وزن هر کدام از میانگره‌ها با استفاده از ترازوی با دقت هزارم گرم اندازه‌گیری شد. مجموع وزن میانگره‌ها به عنوان وزن ساقه در نظر گرفته شد. مقدار انتقال مجدد از میانگره‌ها و ساقه با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Ehdaie et al., 2006b; Joudi et al., 2024):

وزن پدانکل در رسیدگی - حداکثر وزن پدانکل در بعد از گرده‌افشانی = انتقال مجدد از پدانکل
وزن پنالتی میت در رسیدگی - حداکثر وزن پنالتی میت در بعد از گرده‌افشانی = انتقال مجدد از پنالتی میت
وزن میانگره‌های زیرین در رسیدگی - حداکثر وزن میانگره‌های زیرین در بعد از گرده‌افشانی = انتقال مجدد از میانگره‌های زیرین
وزن ساقه در رسیدگی فیزیولوژیک - حداکثر وزن ساقه در بعد از گرده‌افشانی = انتقال مجدد از ساقه
انتقال مجدد از میانگره‌های زیرین + انتقال مجدد از پنالتی میت + انتقال مجدد از پدانکل = انتقال مجدد تجمعی

جهت مقایسه مقدار ذخیره‌سازی و انتقال مجدد در سطح ساقه و میانگره‌ها، ضروری است که تغییرات وزن این اندام‌ها در هر مکان آزمایشی به صورت جداگانه بررسی شود (Joudi et al., 2024). بدین منظور، در هر مرحله از نمونه‌برداری، وزن خشک پدانکل، پنالتی میت، میانگره‌های زیرین و ساقه به صورت ستونی و زیر یکدیگر نوشته شد. سپس اطلاعات مربوط به کلیه مراحل نمونه‌گیری از زمان گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک کنار یکدیگر قرار داده شد (جداول ۳ و ۴). در مرحله بعدی، حداکثر وزن میانگره‌ها و ساقه مشخص شد. چنانچه در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده است، بسته به رقم، الگوی متفاوتی در به حداکثر رسیدن وزن خشک میانگره‌ها و ساقه دیده می‌شود. در برخی از ارقام، حداکثر وزن خشک کلیه میانگره‌ها و ساقه در یک زمان مشخص (همزمان) حاصل شده است. در چنین شرایطی مجموع انتقال مجدد از میانگره‌ها (انتقال مجدد تجمعی) و انتقال مجدد از ساقه یکسان خواهد بود و کاربرد ساقه باعث برآورد کمتر انتقال مجدد از حد واقعی نخواهد شد. در سایر ارقام، حداکثر وزن خشک میانگره‌ها و ساقه در زمان‌های متفاوتی حاصل شده است. این احتمال وجود دارد که حداکثر وزن خشک ساقه زودتر از حداکثر وزن خشک پدانکل و یا پنالتی میت بدست آید. همچنین این احتمال وجود دارد که حداکثر وزن خشک ساقه دیرتر از حداکثر وزن خشک میانگره‌های زیرین مشاهده شود. در هر دو حالت اخیر، مقدار انتقال مجدد تجمعی بیشتر از انتقال مجدد ساقه خواهد بود. به عبارتی دیگر، استفاده از ساقه در این ارقام، مقدار انتقال مجدد را کمتر از حد واقعی آن نشان خواهد داد (Joudi et al., 2024).

با توجه به اینکه ساختار سنبله در زمان گرده‌افشانی تکمیل می‌شود، لذا عملکرد دانه در ساقه از تفاوت وزن سنبله در زمان رسیدگی فیزیولوژیک و زمان گرده‌افشانی بدست آمد (Ehdaie et al., 2008). مقدار مشارکت انتقال مجدد در عملکرد دانه، از تقسیم مقدار انتقال مجدد (میانگره یا ساقه) بر عملکرد دانه، محاسبه و به صورت درصد بیان شد (Joudi et al., 2025). مشارکت تجمعی میانگره‌ها نیز حاصل جمع مشارکت پدانکل، پنالتی میت و میانگره‌های زیرین بود. داده‌ها در هر مکان به صورت مجزا تجزیه و تحلیل شد. جهت مقایسه میانگین تکرارها، حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد محاسبه شد. از نرم‌افزارهای SAS، Excel و Word برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، رسم نمودارها و جداول استفاده شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

۳-۱. وزن میانگرمه ها و ساقه

۳-۱-۱. وزن پدانکل:

در زمان گرده‌افشانی، وزن پدانکل بین ۱۴۲-۳۸ میلی‌گرم در آزمایش مشگین‌شهر و بین ۷۶-۲۸ میلی‌گرم در آزمایش مغان متغیر بود (جداول ۳ و ۴). اگر چه علت تنوع در وزن میانگرمه‌ها در گیاهانی مانند گندم و جو کاملاً مشخص نشده است، ولی تفاوت در صفات فیزیولوژیکی ارقام مانند سرعت فتوسنتزی، بارگیری ساکاروز، آنزیم‌های ساخت کربوهیدرات محلول و بخصوص فروکتان (Joudi *et al.*, 2012) و نیز تفاوت در ویژگی‌های مورفولوژیکی بین ارقام مانند طول و وزن مخصوص میانگرمه و ساقه (Saint Pierre *et al.*, 2010) از دلایل چنین موضوعی می‌تواند باشد.

حداکثر وزن پدانکل، بسته به مکان و رقم، در زمان‌های متفاوتی بدست آمد. در آزمایش مشگین‌شهر، حداکثر وزن پدانکل در ۶ رقم در ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی و در ۲ رقم در ۲۸ روز بعد از گرده‌افشانی بدست آمد. در شرایط مغان، حداکثر وزن پدانکل در ۵ رقم در زمان گرده‌افشانی، ۱ رقم در ۷ روز بعد از گرده‌افشانی و در ۲ رقم در ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی بدست آمد. گزارش‌های قبلی بیان کرده‌اند که علت افزایش در وزن پدانکل در بعد از گرده‌افشانی تکمیل ساختار پدانکل و نیز تجمع کربوهیدرات‌های مازاد بر نیاز گیاه در آن می‌باشد (Wakabayashi *et al.*, 2022). وزن خشک پدانکل بعد از حصول حداکثر وزن خود، به تدریج و تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک کاهش یافت (جداول ۳ و ۴).

۳-۱-۲. وزن پنالتی‌میت:

در زمان گرده‌افشانی، بالاترین و پایین‌ترین وزن پنالتی‌میت در آزمایش مشگین‌شهر به ترتیب ۱۵۰ (رقم برزین) و ۶۳ (رقم خرم و فردان) میلی‌گرم و در آزمایش مغان به ترتیب ۱۱۹ (رقم برزین) و ۴۸ (رقم جلگه و قافلان) میلی‌گرم بود. **ارقام کشت شده در مشگین‌شهر و مغان، حداکثر وزن پنالتی‌میت خود را در زمان‌های متفاوتی بدست آوردند.** در آزمایش مشگین‌شهر، حداکثر وزن پنالتی‌میت در چهار رقم در روز ۱۴، در سه رقم در روز ۲۱ و در یک رقم در روز ۲۸ بعد از گرده‌افشانی حاصل شد. در آزمایش مغان، حداکثر وزن این میانگرمه در ۵ رقم در زمان گرده‌افشانی، در دو رقم در ۷ روز و در یک رقم در ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی رویت شد. حداکثر وزن پنالتی‌میت در شرایط مشگین‌شهر بین ۱۲۱-۲۵۶ میلی‌گرم و در شرایط مغان بین ۱۱۹-۴۸ میلی‌گرم متغیر بود (جداول ۳ و ۴). Sarabadani Tafresh *et al.* (2019) در تحقیقی که بر روی ۴ رقم و ۲ لاین جو در شرایط آبی و تنش خشکی انتهای فصل انجام دادند، گزارش کردند حداکثر وزن پدانکل و پنالتی‌میت در فاصله زمانی ۲۱-۷ روز پس از گلدهی بدست آمد. نامبردگان اشاره کردند که حداکثر وزن پدانکل در شرایط آبی بین ۳۷۰-۱۲۰ میلی‌گرم و در شرایط تنش بین ۳۸۰-۱۱۰ میلی‌گرم متغیر بود. همچنین حداکثر وزن پنالتی‌میت در شرایط آبی بین ۳۸۰-۱۳۰ و در شرایط تنش بین ۴۲۰-۱۲۰ میلی‌گرم گزارش شد. علت پایین بودن وزن پدانکل و پنالتی‌میت در تحقیق حاضر می‌تواند به ارزیابی ارقام تحت شرایط دیم نسبت داده شود. وزن پنالتی‌میت پس از رسیدن به حداکثر مقدار خود تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک کاهش یافت (جداول ۳ و ۴). کاهش در وزن میانگرمه‌ها به دلیل تجزیه قندهای محلول تجمع یافته در میانگرمه‌های ساقه و انتقال آنها به دانه‌های در حال پر شدن می‌باشد (Joudi & Van den Ende, 2018).

جدول ۳. میانگین تجمع، انتقال مجدد و مقدار مشارکت در ساقه و میانگره‌های آن در ۸ رقم جو کاشته شده در شرایط دیم در شهرستان مشگین شهر در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳

		Weight at anthesis (mg)	Weight at 7 DAA (mg)	Weight at 14 DAA (mg)	Weight at 21 DAA (mg)	Weight at 28 DAA (mg)	Weight at 35 DAA (mg)	Weight at 42 DAA (mg)	Weight at 49 DAA (mg)	Rem. (mg)	Cum. Rem. (mg)	Entire stem and Cum. Rem. differences	Con. (%)	Cum. Con. (%)	Entire stem and Cum. Rem. Con. differences
Barzin	Peduncle	92	123	231	199	195	187	-	-	44			2		
	Penultimate	150	163	250	256	213	181	-	-	75			3.4		
	Lower In.	301	304	365	354	240	253	-	-	112			5		
	Entire stem	543	590	846	809	649	621	-	-	225	231	-6	10.1	10.4	-0.3
Grain per spike							2220								
Oxin	Peduncle	82	148	196	163	154	123	120	-	76			4.8		
	Penultimate	106	124	170	177	163	153	152	-	25			1.6		
	Lower In.	191	199	223	246	211	212	135	-	111			6.9		
	Entire stem	379	471	589	586	527	489	406	-	183	212	-29	11.4	13.3	-1.9
Grain per spike							1600								
Khoram	Peduncle	60	77	70	86	86	65	64	52	34			3		
	Penultimate	63	94	111	118	121	98	87	82	39			3.5		
	Lower In.	103	161	216	243	209	208	192	140	103			9.2		
	Entire stem	226	332	396	446	416	371	343	273	173	176	-3	15.4	15.7	-0.3
Grain per spike									1120						
Fardan	Peduncle	38	72	99	106	117	112	95	93	24			2.3		
	Penultimate	63	103	138	105	107	110	101	81	57			5.5		
	Lower In.	156	237	272	222	222	176	166	138	134			12.9		
	Entire stem	257	412	509	432	446	398	362	312	197	215	-18	18.9	20.7	-1.8
Grain per spike									1040						
Jolgher	Peduncle	73	121	200	197	163	150	-	-	50			3.2		
	Penultimate	100	126	211	180	139	124	-	-	87			5.6		
	Lower In.	256	276	394	285	238	248	-	-	146			9.4		
	Entire stem	429	523	805	662	541	523	-	-	282	283	-1	18.2	18.2	0
Grain per spike							1550								

ادامه جدول ۳															
		Weight at anthesis (mg)	Weight at 7 DAA (mg)	Weight at 14 DAA (mg)	Weight at 21 DAA (mg)	Weight at 28 DAA (mg)	Weight at 35 DAA (mg)	Weight at 42 DAA (mg)	Weight at 49 DAA (mg)	Rem. (mg)	Cum. Rem. (mg)	Entire stem and Cum. Rem. differences	Con. (%)	Cum. Con. (%)	Entire stem and Cum. Rem. Con. differences
Mahtab	Peduncle	142	195	228	208	200	163	-	-	65			4		
	Penultimate	132	172	177	144	159	112	-	-	65			4		
	Lower In.	218	257	211	207	198	178	-	-	79			4.9		
	Entire stem	492	624	616	559	557	453	-	-	171	209	-38	10.6	12.9	-2.3
	Grain per spike						1610								
Artan	Peduncle	68	133	160	157	120	132	-	-	28			2.2		
	Penultimate	89	131	156	127	116	104	-	-	52			4		
	Lower In.	307	350	425	369	349	311	-	-	114			8.8		
	Entire stem	464	615	741	653	585	547	-	-	194	194	0	15	15	0
	Grain per spike						1290								
Ghaflan	Peduncle	81	129	181	133	126	130	-	-	51			5		
	Penultimate	113	137	140	146	107	107	-	-	39			3.8		
	Lower In.	405	414	432	402	328	329	-	-	103			10		
	Entire stem	598	680	753	681	561	567	-	-	186	193	-7	18	18.7	-0.7
	Grain per spike						1030								
LSD	Peduncle	34	54	52	58	48	43	-	-	19			2.6		
	Penultimate	32	43	68	63	45	71	-	-	18			1.9		
	Lower In.	118	148	181	228	152	179	-	-	23			3.9		
	Entire stem	137	207	265	288	184	245	-	-	95	40		6.7	7.6	
	Grain per spike						510								

توجه: اعدادی که به صورت ضخیم نوشته شده‌اند، حداکثر وزن ساقه و میانگره‌های ساقه را نشان می‌دهد.
 DAA: روز بعد از گرده‌افشانی؛ Rem: انتقال مجدد؛ Cum Rem: انتقال مجدد تجمعی؛ Con: مشارکت انتقال مجدد در عملکرد دانه؛ Cum Con: مشارکت تجمعی انتقال مجدد میانگره‌ها در عملکرد دانه؛ Lower In: میانگره‌های زیرین.

جدول ۴. میانگین تجمع، انتقال مجدد و مقدار مشارکت در ساقه و میانگره‌های آن در ۸ رقم جو کاشته شده در شرایط دیم در شهرستان جعفرآباد-مغان در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳

		Weight at anthesis (mg)	Weight at 7 DAA (mg)	Weight at 14 DAA (mg)	Weight at 21 DAA (mg)	Weight at 28 DAA (mg)	Weight at 35 DAA (mg)	Rem. (mg)	Cum. Rem. (mg)	Entire stem and Cum. Rem. differences	Con. (%)	Cum. Con. (%)	Entire stem and Cum. Rem. Con. differences
Barzin	Peduncle	67	52	38	38	42	–	25			2		
	Penultimate	119	77	75	73	73	–	46			3.6		
	Lower In.	367	316	288	290	270	–	97			7.6		
	Entire stem	553	444	402	401	385	–	168	168	0	13.2	13.2	0
	Grain per spike					1270							
Oxin	Peduncle	76	78	79	71	69	63	16			1.4		
	Penultimate	59	76	69	65	62	47	29			2.5		
	Lower In.	264	344	292	257	253	224	120			10.4		
	Entire stem	399	499	441	393	384	335	164	165	-1	14.3	14.3	0
	Grain per spike					1150							
Khoram	Peduncle	62	59	39	42	42	38	24			4.6		
	Penultimate	68	80	55	54	53	55	25			4.8		
	Lower In.	193	207	176	170	168	136	71			13.6		
	Entire stem	323	346	270	266	262	229	117	120	-3	22.5	23	-0.5
	Grain per spike					520							
Fardan	Peduncle	63	49	36	42	44	42	21			2.3		
	Penultimate	67	53	44	42	45	44	23			2.5		
	Lower In.	236	237	230	205	201	192	45			4.9		
	Entire stem	365	339	310	289	290	279	86	89	-3	9.3	9.7	-0.4
	Grain per spike					920							
Jolghah	Peduncle	56	52	47	36	43	–	13			1.3		
	Penultimate	48	48	61	42	41	–	20			2.1		
	Lower In.	294	272	277	270	229	–	65			6.7		
	Entire stem	398	372	385	348	314	–	84	98	-14	8.7	10.1	-1.4
	Grain per spike					970							

		Weight at anthesis (mg)	Weight at 7 DAA (mg)	Weight at 14 DAA (mg)	Weight at 21 DAA (mg)	Weight at 28 DAA (mg)	Weight at 35 DAA (mg)	Rem. (mg)	Cum. Rem. (mg)	Entire stem and Cum. Rem. differences	Con. (%)	Cum. Con. (%)	Entire stem and Cum. Rem. Con. differences
Mahtab	Peduncle	45	52	61	49	43	—	18			1.9		
	Penultimate	82	69	69	67	44	—	38			4		
	Lower In.	271	277	257	237	224	—	53			5.6		
	Entire stem	398	398	387	353	311	—	87	109	-22	9.2	11.5	-2.3
	Grain per spike								950				
Artan	Peduncle	46	32	32	27	22	—	24			4.1		
	Penultimate	49	42	39	40	33	—	16			2.8		
	Lower In.	303	268	225	225	213	—	90			15.5		
	Entire stem	398	342	295	293	268	—	130	130	0	22.4	22.4	0
	Grain per spike								580				
Ghaflan	Peduncle	28	35	26	26	21	—	14			1.9		
	Penultimate	48	47	30	34	28	—	20			2.7		
	Lower In.	333	320	298	250	229	—	104			14		
	Entire stem	410	403	355	309	278	—	132	138	-6	17.8	18.6	-0.8
	Grain per spike								740				
LSD	Peduncle	32	23	15	11	19	—	9			3.0		
	Penultimate	25	18	15	29	24	—	7			2.1		
	Lower In.	37	66	76	79	40	—	15			6.8		
	Entire stem	58	89	93	91	55	—	32	21		11	10.9	
	Grain per spike								340				

توجه: اعدادی که به صورت ضخیم نوشته شده‌اند، حداکثر وزن ساقه و میانگره‌های ساقه را نشان می‌دهد.

DAA: روز بعد از گرده‌افشانی؛ Rem: انتقال مجدد؛ Cum Rem: انتقال مجدد تجمعی؛ Con: مشارکت انتقال مجدد در عملکرد دانه؛ Cum Con: مشارکت تجمعی انتقال مجدد میانگره‌ها در عملکرد دانه؛ Lower In: میانگره‌های زیرین.

۳-۱-۳. وزن میانگره‌های زیرین:

در زمان گرده‌افشانی، وزن میانگره‌های زیرین بین ۴۰۵-۱۰۳ میلی‌گرم در آزمایش مشکین‌شهر و بین ۳۶۷-۱۹۳ میلی‌گرم در آزمایش مغان متغیر بود. حداکثر وزن میانگره‌های زیرین، بسته به مکان و رقم، در زمان‌های متفاوتی مشاهده شد. در آزمایش مشکین‌شهر، حداکثر وزن میانگره‌های زیرین در یک رقم در ۷ روز بعد از گرده‌افشانی، در ۵ رقم در ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی و در دو رقم در ۲۱ روز بعد از گرده‌افشانی مشاهده شد. در شرایط مغان، حداکثر وزن میانگره‌های زیرین ۴ رقم در زمان گرده-افشانی و در ۴ رقم دیگر در ۷ روز بعد از آن دیده شد. حداکثر وزن میانگره‌های زیرین در شرایط مشکین‌شهر بین ۴۳۲-۲۴۳ میلی‌گرم و در شرایط مغان بین ۳۶۷-۲۰۷ میلی‌گرم متغیر بود.

زمانی که میانگین ارقام بررسی شد، مشخص گردید که حداکثر وزن پدانکل، پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین در شرایط مشکین‌شهر به ترتیب ۱۷۵، ۱۷۳ و ۳۲۹ میلی‌گرم و در شرایط مغان به ترتیب ۵۹، ۷۳ و ۲۹۵ میلی‌گرم می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که مقدار تجمع مواد فتوسنتزی در میانگره‌های زیرین هم در شرایط مشکین‌شهر و هم در آزمایش مغان به مراتب بیشتر از میانگره‌های بالایی است.

۳-۱-۴. وزن ساقه:

در زمان گرده‌افشانی، مقدار وزن ساقه در شرایط مشکین‌شهر از ۲۲۶ (رقم خرم) تا ۵۹۸ میلی‌گرم (رقم قافلان) و در شرایط مغان از ۳۲۳ (رقم خرم) تا ۵۵۳ میلی‌گرم (رقم برزین) متغیر بود (جداول ۳ و ۴). پس از گرده‌افشانی، تغییرات در ذخایر میانگره‌های ساقه، باعث تغییر در وزن کل ساقه شد. بطور میانگین، وزن ساقه در آزمایش مشکین‌شهر تا ۱۴ روز بعد از گرده-افشانی اضافه شده و به عدد ۶۶۴ میلی‌گرم رسید که نسبت به زمان گرده‌افشانی افزایش ۳۶ درصدی را نشان می‌دهد. همچنین وزن ساقه در آزمایش مغان تا ۲ روز بعد از گرده‌افشانی افزایش یافته و به عدد ۴۲۱ میلی‌گرم رسید که تنها افزایش ۴ درصدی را نسبت به زمان گرده‌افشانی نشان می‌دهد.

در شرایط مشکین‌شهر، سهم پدانکل، پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین در شکل‌گیری حداکثر وزن ساقه به ترتیب ۲۶، ۲۶ و ۴۹ درصد و در شرایط مغان به ترتیب ۱۴، ۱۷ و ۷۰ درصد بود. اما بسته به رقم، سهم میانگره‌های مختلف در تشکیل وزن نهایی ساقه متغیر بود (جداول ۳ و ۴). میانگره‌های زیرین معمولاً از دو یا سه میانگره تشکیل می‌شوند. زمان تشکیل این میانگره‌ها در اوایل فصل بهار می‌باشد. در شرایط ایران (کشت دیم و آبی)، معمولاً بارندگی بهاره در اوایل بهار و در زمان شکل‌گیری میانگره‌های زیرین وجود دارد. با توجه به اینکه تجمع مازاد مواد فتوسنتزی در یک میانگره پس از تکمیل ساختار میانگره و رسیدن به حداکثر طول آن میانگره انجام می‌شود (Joudi et al., 2025)، لذا به نظر می‌رسد تجمع کربوهیدرات‌های مازاد بر نیاز گیاه در میانگره‌های زیرین در شرایط مطلوب محیطی انجام می‌گردد. بنابراین تعداد بیشتر میانگره‌ها، شرایط محیطی مناسب برای ذخیره‌سازی و نیز زمان طولانی ذخیره‌سازی باعث می‌گردد که سهم قابل توجهی از وزن ساقه بخصوص در شرایط مغان به میانگره‌های زیرین تعلق یابد.

در آزمایش مشکین‌شهر ارقام برزین، جلگه و قافلان به ترتیب با ۸۴۶، ۸۰۵ و ۷۵۳ میلی‌گرم و در شرایط مغان ارقام برزین، اکسین و قافلان به ترتیب با ۵۵۳، ۴۹۹ و ۴۱۰ میلی‌گرم بیشترین وزن ساقه را داشتند. همانند وزن میانگره‌ها، وزن ساقه نیز بعد از رسیدن به حداکثر مقدار خود به تدریج و تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک کاهش یافت (جداول ۳ و ۴).

۳-۲. انتقال مجدد میانگره‌ها و انتقال مجدد جمعی:

میانگین ارقام از نظر مقدار انتقال مجدد پدانکل در آزمایش مشکین‌شهر و مغان به ترتیب ۴۷ و ۱۹ میلی‌گرم بود. مقدار انتقال مجدد بالای پدانکل در شرایط آزمایشی مشکین‌شهر هماهنگ با ذخیره‌سازی بالای مواد فتوسنتزی در این میانگره بود. زمانی

که ارقام به صورت جداگانه در مشگین شهر و مغان مورد بررسی قرار گرفتند، مشخص شد مقدار انتقال مجدد پدانکل در آزمایش مشگین شهر بین ۷۶-۲۴ و در شرایط مغان بین ۲۵-۱۳ میلی گرم متغیر بود (جداول ۳ و ۴). میانگین انتقال مجدد پنالتمیت بین ۸ رقم جو کاشته شده در آزمایش مشگین شهر ۵۵ میلی گرم و در آزمایش مغان ۲۷ میلی گرم بود. مقدار این متغیر در آزمایش مشگین شهر از ۲۵ (رقم اکسین) تا ۸۷ میلی گرم (رقم جلگه) و در شرایط مغان از ۱۶ (رقم آرتان) تا ۴۶ میلی گرم (رقم برزین) متفاوت بود (جداول ۳ و ۴). تفاوت در مقدار انتقال مجدد می تواند به تفاوت در غلظت کربوهیدرات های محلول در میانگه های ساقه نسبت داده شود (Ehdaie et al., 2006a; Ruuska et al., 2006). کربوهیدرات های محلول حدود ۵۰-۲۱ درصد وزن خشک میانگه های ساقه را تشکیل می دهند. این کربوهیدرات ها در طول پراش دانه از ساقه و میانگه های تشکیل دهنده آن به دانه ها انتقال می یابند (Gurumurthy et al., 2023; Ehdaie et al., 2008). در این راستا، مقایسه محتوای سلولز و همی سلولز در ساقه ارقام گندم با محتوای بالا و پایین کربوهیدرات محلول نشان داد که در گروه با کربوهیدرات های بالا مقدار پلی ساکاریدهای دیواره سلولی (سلولز و همی سلولز) به مراتب پایین تر بود (Xue et al., 2008). همچنین تفاوت ارقام در تعداد دانه و اندازه دانه ها (قدرت مخزن) نیز می تواند باعث تنوع در مقدار انتقال مجدد ارقام گردد (Joudi et al., 2025).

میانگین انتقال مجدد از میانگه های زیرین در آزمایش مشگین شهر ۱۱۳ میلی گرم و در شرایط مغان ۸۱ میلی گرم بود که به مراتب بیشتر از میانگین انتقال مجدد از میانگه های بالایی بود. ترتیب میانگین انتقال مجدد هم در آزمایش مشگین شهر و هم در آزمایش مغان به صورت میانگه های زیرین < پنالتمیت < پدانکل بود که با گزارش سایر محققان در گندم و جو مطابقت دارد (Sarabadani Tafresh et al., 2019; Joudi et al., 2010). این نتایج اهمیت میانگه های زیرین گیاه جو را هم در مناطق با آب و هوای مدیترانه ای و هم نیمه حاره ای نشان می دهد. Ehdaie et al. (2006b) بر این باورند که شرایط مناسب آب و هوایی در زمان تشکیل میانگه های زیرین اجازه ذخیره سازی مناسب قندها در آنها و سپس انتقال مجدد ذخایر به دانه ها را می دهد. بنابراین ضروری است که میانگه های زیرین دارای طول و وزن مخصوص بالایی باشند تا بتوانند در قبل از گرده افشانی حداکثر مواد فتوسنتزی را ذخیره کرده و در بعد از گرده افشانی با توان بالایی ذخایر خود را به دانه ها صادر کنند (Joudi et al., 2024; Joudi et al., 2025). در بین ارقام مطالعه شده، جلگه و فردان در شرایط مشگین شهر و اکسین و قافلان در شرایط مغان بیشترین انتقال مجدد از میانگه های زیرین داشتند (جداول ۳ و ۴).

میانگین انتقال مجدد تجمعی (مجموع انتقال مجدد پدانکل، پنالتمیت و میانگه های زیرین) در بین ارقام رشد یافته در مشگین شهر و مغان به ترتیب ۲۱۴ و ۱۲۷ میلی گرم بود. سهم پدانکل، پنالتمیت و میانگه های زیرین در شکل دهی مجموع انتقال مجدد (انتقال مجدد تجمعی) در شرایط مشگین شهر به ترتیب ۲۱، ۲۶ و ۵۳ درصد و در شرایط مغان به ترتیب ۱۵، ۲۱ و ۶۴ درصد بود. علت پایین بودن مشارکت پدانکل و پنالتمیت در شرایط مغان احتمالاً به دلیل افزایش شدید دمای هوا در هنگام شکل گیری و تکامل پدانکل و پنالتمیت باشد (جدول ۱). چنین شرایطی منجر به کوچک ماندن میانگه ها و کاهش ظرفیت ذخیره سازی در آنها می گردد. همچنین به دلیل شرایط نامساعد محیطی ظرفیت فتوسنتزی گیاه نیز کاهش یافته و مواد فتوسنتزی کمتری در آنها تجمع می یابد. این عوامل باعث می گردد که مقدار انتقال مواد فتوسنتزی از میانگه های بالایی به شدت کاهش یابد. زمانی که ارقام از نظر مقدار انتقال مجدد تجمعی مقایسه شدند، مشخص شد که ارقام جلگه و برزین در آزمایش مشگین شهر و ارقام برزین و اکسین در آزمایش مغان بالاترین مقدار انتقال مجدد تجمعی را داشتند (جداول ۳ و ۴).

۳-۳. انتقال مجدد ساقه و برآورد کمتر مقدار انتقال مجدد در سطح آن:

انتقال مجدد ساقه، هم می تواند از طریق مجموع انتقال مجدد میانگه ها و هم از طریق تغییرات وزن خشک کل ساقه برآورد شود. اخیراً Joudi et al. (2024) گزارش کردند که استفاده از تغییرات وزن خشک کل ساقه برای اندازه گیری انتقال مجدد

باعث برآورد کمتر این صفت از حد واقعی می‌گردد. در همین راستا مقدار انتقال مجدد ساقه در ارقام جو محاسبه شده و با انتقال مجدد تجمعی میانگره‌ها مورد مقایسه قرار گرفت.

میانگین انتقال مجدد ساقه در آزمایش مشگین‌شهر ۲۰۱ میلی‌گرم و در آزمایش مغان ۱۲۱ میلی‌گرم بود که در مقایسه با انتقال مجدد تجمعی در این مناطق به ترتیب ۱۳ و ۶ میلی‌گرم پایین‌تر بود. مقایسه مقدار انتقال مجدد ساقه و تجمعی به صورت جداگانه در مناطق مورد آزمایش نشان داد که در منطقه مشگین‌شهر، مقدار انتقال مجدد ساقه در کلیه ارقام به استثناء رقم جلگه و رقم آرتان کمتر از حد واقعی (انتقال مجدد تجمعی میانگره‌ها) محاسبه شده بود. بیشترین تفاوت بین انتقال مجدد ساقه و انتقال مجدد تجمعی در ارقام مهتاب (۳۸ میلی‌گرم اختلاف)، اکسین (۲۹ میلی‌گرم اختلاف) و فردان (۱۸ میلی‌گرم اختلاف) مشاهده شد. همچنین در شرایط مغان، مقدار انتقال مجدد از سطح ساقه در کلیه ارقام به استثناء ارقام برزین و آرتان کمتر از انتقال مجدد تجمعی بود. بیشترین تفاوت این دو متغیر در رقم مهتاب (۲۲ میلی‌گرم تفاوت) و جلگه (۱۴ میلی‌گرم تفاوت) مشاهده شد (جداول ۳ و ۴). Joudi et al. (2024) در تحقیقی سه ساله که در کرج و مغان انجام دادند، تعداد ۱۸ رقم گندم را مطالعه کرده و گزارش کردند بسته به رقم و شرایط محیطی، تجمع مواد فتوسنتزی در میانگره‌های ساقه و سپس انتقال مجدد آنها در سه حالت متفاوت انجام می‌شود. در حالت اول تجمع مواد فتوسنتزی در تمام میانگره‌های ساقه در یک زمان خاص (همزمان) به اتمام می‌رسد که نتیجه آن شروع همزمان انتقال مجدد در تمامی میانگره‌ها است. تحت این شرایط مقدار انتقال مجدد ساقه برابر با مجموع انتقال مجدد از میانگره‌های آن (انتقال مجدد تجمعی) خواهد بود. این حالت در ارقام جلگه و آرتان در شرایط مشگین‌شهر و در ارقام برزین و آرتان در شرایط مغان دیده شد (جداول ۳ و ۴).

در حالت دوم، ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در میانگره‌های پایین ساقه زودتر ولی در میانگره‌های بالایی (پدانکل و پالتی‌میت) دیرتر تکمیل می‌شود. لذا در حالیکه میانگره‌های پایینی شروع به انتقال مجدد مواد ذخیره شده می‌کنند، میانگره‌های بالایی همچنان کار ذخیره‌سازی را انجام می‌دهند. تا زمانی که مقدار انتقال مجدد از میانگره‌های زیرین کمتر از مقدار ذخیره‌سازی در میانگره‌های بالایی باشد، وزن ساقه کل افزایش خواهد یافت. در نتیجه با کاربرد ساقه کل برای محاسبه انتقال مجدد، بخشی از انتقال مجدد از میانگره‌های زیرین در محاسبه انتقال مجدد لحاظ نمی‌شود. بنابراین مقدار انتقال مجدد ساقه کل کمتر از مجموع انتقال مجدد از میانگره‌ها (انتقال مجدد تجمعی) خواهد شد. **این حالت، در هیچ کدام از ارقام مورد بررسی مشاهده نشد (جداول ۳ و ۴).**

در حالت سوم، همانند حالت دوم، میانگره‌ها به طور همزمان به حداکثر ذخیره‌سازی نمی‌رسند. یعنی در میانگره‌های پایینی انتقال مجدد و در میانگره‌های بالایی ذخیره‌سازی انجام می‌شود. ولی مقدار انتقال مجدد از میانگره‌های پایینی بیشتر از مقدار ذخیره‌سازی در میانگره‌های بالایی است، بنابراین وزن ساقه کل کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که اگر ساقه کل جهت محاسبه انتقال مجدد استفاده شود، حداکثر وزن میانگره‌های بالایی (یا تجمع‌دهنده) در محاسبه انتقال مجدد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و بنابراین مقدار انتقال مجدد ساقه کل کمتر از مجموع انتقال مجدد از میانگره‌ها خواهد بود. چنین شرایطی در ارقام برزین، خرم، فردان، مهتاب و قافلان در آزمایش مشگین‌شهر و در ارقام اکسین، جلگه و قافلان در آزمایش مغان مشاهده شد (جداول ۳ و ۴).

رقم مهتاب در آزمایش مغان تنها رقمی بود که در آن تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی هم بر اساس حالت دوم و هم حالت سوم انجام گرفت که هماهنگ با گزارش سایر محققان در گندم می‌باشد (Joudi et al., 2024). همچنین، الگوی تجمع و آزادسازی مواد فتوسنتزی در یک رقم در شرایط مشگین‌شهر (اکسین) و در دو رقم در شرایط مغان (خرم و فردان) از هیچ کدام از سه حالت ذکر شده تبعیت نکرد (جداول ۳ و ۴). علت متفاوت بودن الگوی ذخیره‌سازی و انتقال مجدد در ارقام مختلف جو نامشخص است. این احتمال وجود دارد که وقوع همزمان ذخیره‌سازی و انتقال مجدد در ارقامی از جو اتفاق می‌افتد که

مقدار تقاضا برای ذخایر ساقه پایین (حالت دوم) یا متوسط (حالت سوم) باشد. حالت اول (اتمام همزمان ذخیره‌سازی در همه میانگره‌ها و آغاز انتقال مجدد در آنها) نیز احتمالا در ارقامی از جو مشاهده می‌شود که در آنها مقدار تقاضا (از طرف دانه) برای ذخایر ساقه بالا باشد. جهت روشن شدن موضوع، ضروری است که سرعت و دوام فتوسنتزی و قدرت مخزن (اندازه و فعالیت مخزن) ارقام مورد مطالعه قرار گیرد (Joudi et al., 2024).

۴-۳. عملکرد دانه ساقه اصلی و درصد مشارکت انتقال مجدد در عملکرد دانه:

عملکرد دانه ساقه اصلی از تفاوت وزن خشک سنبله در زمان رسیدگی فیزیولوژیک و گرده‌افشانی بدست آمد. عموماً مقدار این صفت در جوهای شش‌ردیفه، بیشتر از دوردیفه بود. ارقام برزین، مهتاب و اکسین به ترتیب با ۲۲۲۰، ۱۶۱۰ و ۱۶۰۰ میلی‌گرم در آزمایش مشگین‌شهر و ارقام برزین، اکسین و جلگه به ترتیب با ۱۲۷۰، ۱۱۵۰ و ۹۷۰ میلی‌گرم در آزمایش مغان صاحب بیشترین عملکرد دانه در ساقه اصلی شدند (جداول ۳ و ۴).

میانگین مقدار مشارکت انتقال مجدد پدانکل، پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین در عملکرد دانه ساقه اصلی در آزمایش مشگین‌شهر به ترتیب ۳/۳، ۳/۸ و ۷/۹ درصد و در شرایط مغان به ترتیب ۲/۱، ۳/۰ و ۹/۱ درصد بود. در تحقیقی که بر روی چهار رقم جو تحت شرایط آبی و تنش خشکی آخر فصل رشد انجام شد، گزارش گردید که بیشترین مقدار مشارکت هم در شرایط آبی و هم در شرایط تنش مربوط به میانگره پدانکل بوده و میانگره پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین در رتبه‌های بعدی بودند که مغایر با نتایج کسب شده در تحقیق حاضر می‌باشد (Abdi, 2022). در مقابل، تعدادی دیگر از محققان گزارش کرده‌اند که بالاترین درصد مشارکت در گیاه گندم و جو مربوط به میانگره‌های زیرین بود (Sarabadani Tafresh et al., 2019; Joudi et al., 2025). زمانی که مشارکت تجمعی میانگره‌های ساقه (پدانکل، پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین) در عملکرد دانه بررسی شد، مشخص شد در شرایط مشگین‌شهر بیشترین مقدار مشارکت تجمعی با مقدار ۲۰/۷ درصد مربوط به رقم فردان (دو ردیفه) و در شرایط مغان با مقدار ۲۳ درصد مربوط به رقم خرم (دو ردیفه) بوده است (جداول ۳ و ۴). برآورد کمتر انتقال مجدد در سطح ساقه موجب گردید که مقدار مشارکت ساقه (در عملکرد دانه) نیز کمتر از حد واقعی آن (مشارکت تجمعی میانگره‌ها) محاسبه گردد. هر چقدر مقدار انتقال مجدد ساقه کمتر از حد واقعی محاسبه شده بود، به همان اندازه، مقدار مشارکت ساقه نیز کمتر برآورد شد. بیشترین اختلاف بین مقدار مشارکت ساقه و مقدار مشارکت تجمعی در شرایط مشگین‌شهر (با ۲/۳ درصد اختلاف) و مغان (با ۲/۳ درصد اختلاف) مربوط به رقم مهتاب بود (جداول ۳ و ۴).

۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در بیشتر ارقام کشت شده در شرایط مشگین‌شهر و مغان فرایند ذخیره‌سازی و انتقال مجدد به طور همزمان اتفاق می‌افتد. در حالیکه که انتقال مجدد در میانگره‌های زیرین شروع شده بود، ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در پدانکل و پنالتی‌میت همچنان ادامه داشت. در چنین شرایطی، اگر ساقه برای اندازه‌گیری مقدار انتقال مجدد مورد استفاده قرار گیرد، مقدار این صفت را کمتر از حد واقعی نشان خواهد داد. در تحقیق حاضر، ارقام جو در شرایط دیم کشت شده بودند. در گیاهان دیم، مقدار تجمع مواد فتوسنتزی در میانگره‌ها و مقدار آزادسازی آنها به مراتب پایین‌تر از گیاهان آبی است. در چنین شرایطی، استفاده از ساقه موجب گردید که مقدار خطا در برآورد مجموع انتقال مجدد از میانگره‌ها نسبتاً پایین باشد. تحت شرایط آبی که پتانسیل ذخیره‌سازی و انتقال مجدد به مراتب بیشتر از شرایط تنش و دیم می‌باشد، استفاده از ساقه برای برآورد انتقال مجدد، مقدار آن را به مراتب پایین‌تر از حد واقعی نشان خواهد داد (Joudi et al., 2024). این امر باعث می‌گردد که انتخاب ارقام در برنامه‌های اصلاحی با چالش مواجه گردد. بنابراین ضروری است این صفات در سطح میانگره‌ها اندازه‌گیری شده و مجموع میانگره‌ها برای برآورد صفت در سطح ساقه اصلی استفاده گردد.

در تحقیق حاضر، هم در شرایط مشکین شهر و هم در شرایط مغان، مقدار ذخیره سازی و انتقال مجدد در میانگرمهای زیرین بیشتر بود. لذا میانگرمهای زیرین باید دارای طول، وزن و وزن مخصوص بالایی باشند تا بتوانند در اول فصل رشد فعال (اول فصل بهار) مقادیر مناسبی از مواد فتوسنتزی را ذخیره کرده و در انتهای فصل فعالانه آن را به دانه‌ها ارسال نمایند.

غیر قابل استناد

- Abdi, S., (2022). Effect of water stress on yield, yield components and photoassimilates partitioning of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) at reproductive stage. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53 (2), 109 – 125. (In Persian).
- Chen, W., Deng, X. P., Eneji, A. E., Wang, L. L., Xu, Y., & Cheng, Y. (2014). Dry matter partitioning across part of wheat internode during the grain filling period as influenced by fertilizer and tillage treatments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45, 799–1812.
- Ehdaie, B., Alloush, G.A., & Waines J.G. (2008). Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. *Field Crops Research*, 106, 34–43.
- Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A., & Waines J.G. (2006a). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water soluble carbohydrates. *Crop Science*, 46, 2093–2103.
- Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A., & Waines J.G. (2006b). Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: I. Postanthesis changes in internode dry matter. *Crop Science*, 46, 735–746.
- FAO., (2023) Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>.
- Gurumurthy, S., Arora, A., Krishna, H., Chinnusamy, V., & Hazra K.K. (2023). Genotypic capacity of post-anthesis stem reserve mobilization in wheat for yield sustainability under drought and heat stress in the subtropical region. *Frontiers in Genetics*, 14, 1180941.
- Joudi, M., & Van den Ende, W. (2018). Genotypic variation in Pre- and Post-anthesis dry matter remobilization in Iranian wheat cultivars: Associations with stem characters and grain yield. *Czech Journal of Genetic and Plant Breeding*, 54(3), 123–134.
- Joudi, M., Ahmadi, A., Mohamadi, V., Abbasi, A., Vergauwen, R., Mohamadi, H., & Van den Ende, W. (2012). Comparison of fructan dynamics in two wheat cultivars with different capacities of accumulation and remobilization under drought stress. *Physiologia Plantarum*, 144, 1–12.
- Joudi, M., Ahmadi, A., Mohammadi, V., Abbasi, A., Mohammadi, H., Esmailpour, M., Bayat, Z., & Torkashvand, B. (2010). Evaluation of stem reserves accumulation and remobilization in Iranian wheat cultivars under irrigated and post-anthesis drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41 (2), 315–328. (In Persian).
- Joudi, M., Esmailpour, M., Mohammadi, V., & Ahmadi, A. (2024). Employing entire stem might underestimate the amount of carbohydrate remobilization in wheat. *Cereal Research Communications*, 52, 1163–1174.
- Joudi, M., Esmailpour, M., Mohammadi, V., & Ahmadi, A. (2025). Post-anthesis dry matter dynamics in the internodes of wheat cultivars grown under contrasting conditions: associations among agro-physiological traits. *Cereal Research Communications*, 53:309–323.
- Li, H., Cai, J., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., & Cao, W. (2013). Carbohydrates accumulation and remobilization in wheat plants influenced by combined waterlogging and shading stress during grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(1), 38–48.
- Ma, J., Huang, G.B., Yang, D.L., & Chai, Q. (2014). Dry matter remobilization and compensatory effects in various internodes of spring wheat under water stress. *Crop Science*, 54, 331–339.
- Przulj, N., & Momcilovic, V. (2001). Genetic variation for dry matter and nitrogen accumulation and translocation in two-rowed spring barley. I. Dry matter translocation. *European Journal of Agronomy*, 15, 241–254.
- Ruuska, S.A., Rebetzke, G.J., van Herwaarden, A.F., Richards, R.A., Fettell, N.A., Tabe, L., & Jenkins, C.L.D. (2006). Genotypic variation in water-soluble carbohydrate accumulation in wheat. *Functional Plant Biology*, 33(9), 799–809.
- Saint Pierre, C., Trethowan, R., & Reynolds, M. (2010). Stem solidness and its relationship to water-soluble carbohydrates: association with wheat yield under water deficit. *Functional Plant Biology*, 37, 166–174.
- Sarabadani Tafresh, R., Shobbar, Z.S., Shahbazi, M., Bihamta, M.R., & Sharbatkhari, M. (2019). Evaluation of stem reserves and remobilization in barley lines and cultivars under terminal drought stress. *Plant Process and Function*, 8 (32), 279–298. (In Persian).
- Thakur, V., & Rane, J. (2020). Assimilate limitation factors under environmental stresses. *Journal of Cereal Research*, 12(3), 213–228.

- Thapa, S., Rudd, J.C., Jessup, K.E., Liu, S., Baker, J.A., Devkota, R., & Xue, Q. (2022). Middle portion of the wheat culm remobilizes more carbon reserve to grains under drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(6): 795–804.
- Wakabayashi, Y., Morita, R., Yamagishi, J., & Aoki, N. (2022). Varietal difference in dynamics of non-structural carbohydrates in nodal segments of stem in two varieties of rice (*Oryza sativa* L.) at pre- and post-heading stages. *Plant Production Science*, 25(1), 30–42.
- Xue, G.P., McIntyre, C.L., Rattey, A.R., van Herwaarden, A.F., & Shorter, R. (2009). Use of dry matter content as a rapid and low-cost estimate for ranking genotypic differences in water-soluble carbohydrate concentration in the stems and leaf sheath of *Triticum aestivum*. *Crop and Pasture Science*, 60, 51–59.
- Xue, G.P., McIntyre, C.L., Jenkins, C.L.D., Glassop, D., van Herwaarden, A.F & Shorter R. (2008). Molecular dissection of variation in carbohydrate metabolism related to water-soluble carbohydrate accumulation in stems of wheat. *Plant Physiology*, 146, 441–454.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., & Konzak, C.F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415–421.
- Zhang, J., Chen, W., Dell, B., Vergauwen, R., Zhang, X., Mayer, J.E., & Van den Ende, W. (2015). Wheat genotypic variation in dynamic fluxes of WSC components in different stem segments under drought during grain filling. *Frontiers in Plant Science*, 6, 624.

غیر قابل استناد