University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Underestimation of Remobilization at Entire Stem Level in Rainfed Barley Cultivars with Simultaneous Photoassimilates Accumulation and Remobilization in Their Internodes

Mehdi Joudi [1] ✉ | **Asghar Mehraban** [2]

1. Corresponding Author, Department of Plant Science and Medicinal Herbs, Meshgin-Shahr Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: 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

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: February 16, 2025
Revised: November 18, 2025
Accepted: June 04, 2026

Keywords:
Barley,
remobilization,
stem internodes,
subtropical climates,
underestimatation.

Extended Abstract

Introduction. The accumulation of photo-assimilates in stem internodes and their remobilization to developing grains are among the most important physiological traits contributing to productivity and stress tolerance in winter cereals. The accumulation and remobilization of photo-assimilates can be assessed either at the entire-stem or at individual internode levels. In barley, it is possible for dry matter accumulation and remobilization to occur simultaneously within different stem internodes, such that remobilization takes place in the lower internodes while photo-assimilate accumulation continues in the upper internodes. Under such conditions, measuring assimilate storage and remobilization solely at the entire-stem level may lead to an underestimation of their actual magnitudes. Therefore, the objective of the present study was to compare the extent of assimilate accumulation and remobilization estimated at the entire-stem level with that obtained from individual stem internodes in barley cultivars grown under rainfed conditions across regions with contrasting climatic conditions.

Materials and Methods. Eight barley cultivars were grown under rainfed conditions during the 2023–2024 growing season in two locations with contrasting climatic conditions, namely Meshgin-Shahr, characterized by a Mediterranean climate, and Jafarabad-Moghan, representing a subtropical climate. The experiment was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with three replications. At anthesis, five uniform main stems were randomly harvested at ground level from each plot, and repeated at seven-day intervals until physiological maturity. The sampled stems were transferred to the laboratory and dried in a forced-air oven at 65°C for 48 h. Thereafter, each stem was separated into its constituent internodes, including the peduncle, penultimate internode, and lower internodes, and the dry weight of each segment was determined individually. The sum of the dry weights of all internodes was considered as the entire-stem weight. Dry matter remobilization of the entire-stem and individual internodes was calculated as the difference between their maximum dry weight and their weight at physiological maturity. Cumulative internode remobilization was estimated as the sum of dry matter remobilized from the peduncle, penultimate internode, and lower internodes. The contribution of remobilization to grain yield was calculated by dividing the amount of remobilized dry matter (either from the entire-stem or from individual internodes) by grain yield and expressing the result as a percentage. Likewise, the cumulative contribution of internodes was obtained by summing the contributions of the peduncle, penultimate, and lower internodes.

Results and Discussion. The maximum dry weights of the peduncle, penultimate, and lower internodes in the Meshgin-Shahr experiment were 175, 173, and 329 mg, respectively, whereas the corresponding values in the Moghan experiment were 59, 73, and 295 mg, respectively. Depending on the location and cultivar, the maximum dry weights of individual internodes and the entire stem were attained at different times. The mean amounts of dry matter remobilized from the peduncle, penultimate, and lower internodes under the conditions of Meshgin-Shahr were 47, 55, and 113 mg, respectively, while the corresponding values in Moghan were 19, 27, and 81 mg, respectively. These findings highlight the important role of the lower internodes in dry matter remobilization in barley grown under both Mediterranean and subtropical climatic conditions. Therefore, lower internodes with greater length and higher specific weight are desirable, as they can accumulate larger amounts of photo-assimilates prior to anthesis and subsequently remobilize these reserves more efficiently to the developing grains during the post-anthesis period. The mean cumulative internode remobilization (i.e., the sum of dry matter remobilized from the peduncle, penultimate, and lower internodes) among cultivars grown in Meshgin-Shahr and Moghan was 214 and 127 mg, respectively. The mean dry matter remobilization estimated at the entire-stem level was 201 mg in Meshgin-Shahr and 121 mg in Moghan, which were 13 and 6 mg lower than the corresponding values obtained from cumulative internode remobilization, respectively.

Conclusion. A cultivar-wise comparison between stem remobilization and cumulative internode remobilization revealed that, in Meshgin-Shahr, the amount of dry matter remobilization estimated from the entire stem was underestimated in all cultivars except two, relative to the actual remobilization represented by cumulative internode remobilization. The greatest discrepancies between stem remobilization and cumulative internode remobilization were observed in cultivars Mahtab (38 mg), Oxin (29 mg), and Fardan (18 mg). Similarly, under Moghan conditions, stem-based estimates of remobilization were lower than cumulative internode remobilization in all cultivars.

Cite this article: Joudi, M., & Mehraban, A. (2026). Underestimation of remobilization at entire stem level in rainfed barley cultivars with simultaneous photoassimilates accumulation and remobilization in their internodes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *57*(2), 85-101. DOI: 10.22059/ijfcs.2026.390173.655127.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: 10.22059/ijfcs.2026.390173.655127

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

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 مشگین‌شهر، 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@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۴

کلیدواژه‌ها:
آب و هوای نیمه‌گرمسیری،
انتقال مجدد،
برآورد کمتر،
جو،
میانگره‌های ساقه.

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 به‌صورت دیم در شهرستان مشگین‌شهر و جعفرآباد مغان در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ کاشته شدند. تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در سطح ساقه و میانگره‌های آن (پدانکل، پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین) به‌صورت وزنی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در بیشتر ارقام کشت‌شده در شرایط مشگین‌شهر و مغان، فرایند ذخیره‌سازی و انتقال مجدد به‌طور 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 یک 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.

استناد: جودی، م.، و مهربان، ا. (۱۴۰۵). برآورد کمتر انتقال مجدد در سطح ساقه در ارقام جو با ذخیره‌سازی و انتقال مجدد همزمان مواد فتوسنتزی در میانگره‌ها. *علوم گیاهان زراعی ایران*، *۵۷*(۲)، ۸۵-۱۰۱. DOI: 10.22059/ijfcs.2026.390173.655127

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

CC BY NC

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 دارد. سطح زیر کشت جو در کل دنیا ۴۶ میلیون هکتار بوده که حدود ۱۴۶ میلیون تن دانه 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 که کربوهیدرات‌های محلول در آب مازاد بر نیاز خود را به‌صورت فروکتان، گلوکوز، فروکتوز و ساکاروز در میانگره‌های ساقه ذخیره کنند. در مراحل پایانی رشد و زمانی که فتوسنتز جاری کاهش می‌یابد، کربوهیدارت‌های ذخیره‌شده تجزیه شده و بعد از تبدیل به ساکارز 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 کربوهیدارت‌های 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 نموی، ساختار میانگره‌های زیرین زودتر توسعه یافته و در مقابل، میانگره‌های بالایی و به‌ویژه پدانکل بعد از گرده‌افشانی به حداکثر اندازه خود می‌رسند. این بدان معنی است که میانگره‌های زیرین زودتر از میانگره‌های بالایی به عنوان مخزن (دریافت‌کننده مواد فتوسنتزی) و سپس منبع (صادرکننده مواد فتوسنتزی در طی فرایند انتقال مجدد) عمل می‌کنند (Wakabayashi *et al*., 2022). محققان تسهیم مواد فتوسنتزی را در قسمت‌های مختلف دو رقم گندم و تحت تیمارهای کودی و نوع شخم مطالعه 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 و گزارش کردند که حداکثر وزن پدانکل و میانگره ماقبل آخر (پنالتی‌میت) در فاصله زمانی ۷–۲۱ روز بعد از گرده‌افشانی به‌دست آمد، ولی حداکثر وزن میانگره‌های زیرین در تمامی ارقام و لاین‌ها در فاصله زمانی ۱۴–۲۸ روز بعد از گرده‌افشانی مشاهده شد. این محققان بیان کردند تاخیر در به‌حداکثر 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، Ehdaie *et al*. (2006a) 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 که 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 گزارش‌ها 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 عموما 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 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).

اخیرا محققان گزارش کردند که در گیاه گندم، فرایند تجمع و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی می‌تواند به‌طور همزمان اتفاق افتد؛ در حالی‌که در میانگره‌های پایین ساقه، انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده 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 کشت‌شده 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 شد. 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 به‌صورت 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 شامل سه تکراربود. در هر دو مکان، زمین آزمایش آیش بوده و در سال قبل هیچ نوع زراعتی در آن انجام نشده بود. زمین مذکور در اواسط مهرماه سال ۱۴۰۲ با استفاده از گاوآهن 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 به‌صورت دستی کاشته شدند. در هر کرت آزمایشی، چهار ردیف با فواصل بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر کاشته شد. طول ردیف‌های کاشت دو متر بود. پس از کاشت، هیچ نوع آبیاری انجام نشد و تنها منبع تامین آب گیاهان، نزولات جوی بود. علف‌های‌هرز به‌صورت دستی کنترل شدند.

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

Table 1. Meteorological data recorded at the Meshgin-Shahr and Parsabad-Moghan meteorological stations during the 2023–2024 growing season.

	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	16.1
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	75
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.

Table 2. Barley cultivars used in the Meshgin-Shahr and Moghan experiments during the 2023–2024 growing season.

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
Jolgeh	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 یک بار تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت. در آزمایش مشگین‌شهر، تعداد دفعات نمونه‌برداری برای کلیه ارقام به استثنای سه رقم، شش بار بود. رقم اکسین به دلیل گرده‌افشانی زودهنگام، 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 زودهنگام، شش بار نمونه‌گیری شدند (جدول ۴). ساقه‌های کف‌بر شده در هر مرحله، بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شده و جهت خشک‌شدن 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 شد. سپس ساقه به میانگره‌های تشکیل‌دهنده آن یعنی پدانکل (اولین میانگره زیر سنبله)، پنالتی‌میت (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 پنالتی‌میت در رسیدگی – حداکثر وزن پنالتی‌میت در بعد از گرده‌افشانی = انتقال مجدد از پنالتی‌میت
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 پنالتی‌میت + 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 به‌صورت جداگانه بررسی شود (Joudi *et al*., 2024). بدین منظور، در هر مرحله از نمونه‌برداری، وزن خشک پدانکل، پنالتی‌میت، میانگره‌های زیرین و ساقه به‌صورت 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 پنالتی‌میت به‌دست 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؛ به‌عبارتی 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 به‌دست 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 به‌صورت درصد بیان شد (Joudi *et al*., 2025). مشارکت

تجمعی میانگره‌ها نیز حاصل جمع مشارکت پدانکل، پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین بود. داده‌ها در هر مکان به‌صورت 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. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. وزن میانگره‌ها 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). اگرچه علت تنوع در وزن میانگره‌ها در گیاهانی مانند گندم و جو کاملا مشخص نشده است، ولی تفاوت در صفات فیزیولوژیکی ارقام مانند سرعت فتوسنتزی، بارگیری ساکارز، آنزیم‌های ساخت کربوهیدرات محلول و به‌ویژه فروکتان (Joudi *et al*., 2012) و نیز تفاوت در ویژگی‌های مورفولوژیکی بین ارقام مانند طول و وزن مخصوص میانگره و ساقه (Saint Pierre *at al*., 2010) از دلایل چنین موضوعی می‌تواند باشد.

حداکثر وزن پدانکل، بسته به مکان و رقم، در زمان‌های متفاوتی به‌دست آمد. در آزمایش مشگین‌شهر، حداکثر وزن پدانکل در شش رقم در ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی و در دو رقم در ۲۸ روز بعد از گرده‌افشانی به‌دست آمد. در شرایط مغان، حداکثر وزن پدانکل در پنج رقم در زمان گرده‌افشانی، یک رقم در هفت روز بعد از گرده‌افشانی و در دو رقم در ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی به‌دست 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، به‌تدریج و تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک کاهش یافت (جداول۳ و ۴).

۳-۱-۲. وزن پنالتی‌میت

در زمان گرده‌افشانی، بالاترین و پایین‌ترین وزن پنالتی‌میت در آزمایش مشگین‌شهر به‌ترتیب ۱۵۰ (رقم برزین) و ۶۳ (رقم خرم و فردان) میلی‌گرم و در آزمایش مغان به‌ترتیب ۱۱۹ (رقم برزین) و ۴۸ (رقم جلگه و قافلان) میلی‌گرم بود. ارقام کشت‌شده در مشگین‌شهر و مغان، حداکثر وزن پنالتی‌میت خود را در زمان‌های متفاوتی به‌دست 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 میانگره در پنج رقم در زمان گرده‌افشانی، در دو رقم در هفت روز و در یک رقم در ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی رویت شد. حداکثر وزن پنالتی‌میت در شرایط مشگین‌شهر بین ۲۵۶-۱۲۱ میلی‌گرم و در شرایط مغان بین ۱۱۹-۴۸ میلی‌گرم متغیر بود (جداول ۳ و ۴). Sarabadani Tafresh *et al*. (2019) در تحقیقی که روی چهار رقم و دو 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 به‌دست 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 پایین‌بودن 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 و۴). کاهش در وزن میانگره‌ها به دلیل تجزیه قندهای محلول تجمع‌یافته در میانگره‌های 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 هشت رقم جو کاشته‌شده در شرایط دیم در شهرستان مشگین‌شهر در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲.

Table 3. Mean dry matter accumulation, remobilization, and contribution to grain yield in the stem and its internodes of eight barley cultivars grown under rainfed conditions in Meshgin-Shahr during the 2023–2024 growing season.

		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						
Jolgeh	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 به‌صورت 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 ٤. میانگین تجمع، انتقال مجدد و مقدار مشارکت در ساقه و میانگره‌های آن در هشت رقم جو کاشته‌شده در شرایط دیم در شهرستان جعفرآباد–مغان در سال زراعی ۱۴۰۳–۱۴۰۲.

Table 4. Mean dry matter accumulation, remobilization, and contribution to grain yield in the stem and its internodes of eight barley cultivars grown under rainfed conditions in Jafarabad-Moghan during the 2023–2024 growing season.

		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						
Jolgeh	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							

ادامه جدول ٤

Table 4. Continued

		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 به‌صورت 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 مشگین‌شهر 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 مشگین‌شهر، حداکثر وزن میانگره‌های زیرین در یک رقم در هفت روز بعد از گرده‌افشانی، در پنج 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 چهار رقم در زمان گرده‌افشانی و در چهار رقم دیگر در هفت روز بعد از آن دیده شد. حداکثر وزن میانگره‌های زیرین در شرایط مشگین‌شهر 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 مشگین‌شهر به‌ترتیب ۱۷۵، ۱۷۳ و ۳۲۹ میلی‌گرم و در شرایط مغان به‌ترتیب ۵۹، ۷۳ و ۲۹۵ میلی‌گرم می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که مقدار تجمع مواد فتوسنتزی در میانگره‌های زیرین هم در شرایط مشگین‌شهر 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 مشگین‌شهر 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. به‌طور میانگین، وزن ساقه در آزمایش مشگین‌شهر تا ۱۴ روز بعد از گرده‌افشانی 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 دو روز بعد از گرده‌افشانی افزایش یافته و به عدد ۴۲۱ میلی‌گرم رسید که تنها افزایش چهار درصدی را نسبت به زمان گرده‌افشانی نشان می‌دهد.

در شرایط مشگین‌شهر، سهم پدانکل، پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین در شکل‌گیری حداکثر وزن ساقه به‌ترتیب ۲۶، ۲۶ و ۴۹ درصد و در شرایط مغان به‌ترتیب 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 معمولا از دو یا سه میانگره تشکیل می‌شوند. زمان تشکیل این میانگره‌ها در اوایل فصل بهار می‌باشد. در شرایط ایران (کشت دیم و آبی)، معمولا 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 می‌شود. بنابراین تعداد بیشتر میانگره‌ها، شرایط محیطی مناسب برای ذخیره‌سازی و نیز زمان طولانی ذخیره‌سازی باعث می‌شود که سهم قابل توجهی از وزن ساقه به‌ویژه در شرایط مغان به میانگره‌های زیرین تعلق یابد.

در آزمایش مشگین‌شهر ارقام برزین، جلگه و قافلان به‌ترتیب با ۸۴۶، ۸۰۵ و ۷۵۳ میلی‌گرم و در شرایط مغان ارقام برزین، اکسین و قافلان به‌ترتیب 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 تجمعی

میانگین ارقام از نظر مقدار انتقال مجدد پدانکل در آزمایش مشگین‌شهر و مغان به‌ترتیب ۴۷ و ۱۹ میلی‌گرم بود. مقدار انتقال مجدد بالای پدانکل در شرایط آزمایشی مشگین‌شهر هماهنگ با ذخیره‌سازی بالای مواد فتوسنتزی در این میانگره بود. زمانی که ارقام به‌صورت جداگانه در مشگین‌شهر و مغان مورد بررسی قرار گرفتند، مشخص شد مقدار انتقال مجدد پدانکل در آزمایش مشگین‌شهر بین ۷۶-۲۴ و در شرایط مغان بین ۲۵-۱۳ میلی‌گرم متغیر بود (جداول ۳ و ۴).

همیانگین انتقال مجدد پنالتی‌میت بین هشت رقم جو کاشته‌شده در آزمایش مشگین‌شهر ۵۵ میلی‌گرم و در آزمایش مغان ۲۷ میلی‌گرم بود. مقدار این متغیر در آزمایش مشگین‌شهر از ۲۵ (رقم اکسین) تا ۸۷ میلی‌گرم (رقم جلگه) و در شرایط مغان از ۱۶ (رقم

آرتان) تا ۴۶ میلی‌گرم (رقم برزین) متفاوت بود (جداول ۳ و ۴). تفاوت در مقدار انتقال مجدد می‌تواند به تفاوت در غلظت کربوهیدرات‌های محلول در میانگره‌های ساقه نسبت داده شود (Ehdaie *et al*., 2066a; Ruuska *et al*., 2006). کربوهیدرات‌های محلول حدود ۵۰-۲۱ درصد وزن خشک میانگره‌های ساقه را تشکیل می‌دهند. این کربوهیدارت‌ها در طول پر شدن دانه از ساقه و میانگره‌های تشکیل‌دهنده آن به دانه‌ها انتقال می‌یابند (Gurumurthy *et al*., 2023; Ehdaie *et al*., 2008). در این راستا، مقایسه محتوای سلولز و همی‌سلولز در ساقه ارقام گندم با محتوای بالا و پایین کربوهیدرات محلول نشان داد که در گروه با کربوهیدرات‌های بالا مقدار پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی (سلولز و همی‌سلولز) به مراتب پایین‌تر بود (Xue *et al*., 2008). همچنین تفاوت ارقام در تعداد دانه و اندازه دانه‌ها (قدرت مخزن) نیز می‌تواند باعث تنوع در مقدار انتقال مجدد ارقام شود (Joudi *et al*., 2025).

میانگین انتقال مجدد از میانگره‌های زیرین در آزمایش مشگین‌شهر ۱۱۳ میلی‌گرم و در شرایط مغان ۸۱ میلی‌گرم بود که به مراتب بیشتر از میانگین انتقال مجدد از میانگره‌های بالایی بود. ترتیب میانگین انتقال مجدد هم در آزمایش مشگین‌شهر و هم در آزمایش مغان به‌صورت میانگره‌های زیرین > پنالتی‌میت > 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 میانگره‌های زیرین گیاه جو را هم در مناطق با آب و هوای مدیترانه‌ای و هم نیمه‌حاره‌ای نشان می‌دهد. Ehdaie *et al*. (2006b) بر این باورند که شرایط مناسب آب و هوایی در زمان تشکیل میانگره‌های زیرین اجازه ذخیره‌سازی مناسب قندها در آنها و سپس انتقال مجدد ذخایر به دانه‌ها را می‌دهد. بنابراین ضروری است که میانگره‌های زیرین دارای طول و وزن مخصوص بالایی باشند تا بتوانند قبل از گرده‌افشانی حداکثر مواد فتوسنتزی را ذخیره کرده و بعد از گرده‌افشانی با توان بالایی ذخایر خود را به دانه‌ها صادر کنند (Joudi *et al*., 2024; Joudi *et al*., 2025). در بین ارقام مطالعه‌شده، جلگه و فردان در شرایط مشگین‌شهر و اکسین و قافلان در شرایط مغان بیشترین انتقال مجدد از میانگره‌های زیرین داشتند (جداول ۳ و ۴).

میانگین انتقال مجدد تجمعی (مجموع انتقال مجدد پدانکل، پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین) در بین ارقام رشد یافته در مشگین-شهر و مغان به‌ترتیب ۲۱۴ و ۱۲۷ میلی‌گرم بود. سهم پدانکل، پنالتی‌میت و میانگره‌های زیرین در شکل‌دهی مجموع انتقال مجدد (انتقال مجدد تجمعی) در شرایط مشگین‌شهر به‌ترتیب ۲۱، ۲۶ و ۵۳ درصد و در شرایط مغان به‌ترتیب ۱۵، ۲۱ و ۶۴ درصد بود. علت پایین‌بودن مشارکت پدانکل و پنالتی‌میت در شرایط مغان احتمالا به دلیل افزایش شدید دمای هوا در هنگام شکل‌گیری و تکامل پدانکل و پنالتی‌میت باشد (جدول ۱). چنین شرایطی منجر به کوچک‌ماندن میانگره‌ها و کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی در آنها می‌شود. همچنین به دلیل شرایط نامساعد محیطی ظرفیت فتوسنتزی گیاه نیز کاهش یافته و مواد فتوسنتزی کمتری در آنها تجمع می‌یابد. این عوامل باعث می‌شود که مقدار انتقال مواد فتوسنتزی از میانگره‌های 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 مشگین‌شهر 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 می‌تواند از طریق مجموع انتقال مجدد میانگره‌ها و هم از طریق تغییرات وزن خشک کل ساقه برآورد شود. اخیرا Joudi *et al*. (2024) گزارش کردند که استفاده از تغییرات وزن خشک کل ساقه برای اندازه‌گیری انتقال مجدد باعث برآورد کمتر این صفت از حد واقعی می‌شود. 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 به‌ترتیب ۱۳ و ۶ میلی‌گرم پایین‌تر بود. مقایسه مقدار انتقال مجدد ساقه و تجمعی به‌صورت جداگانه در مناطق مورد آزمایش نشان داد که در منطقه مشگین‌شهر، مقدار انتقال مجدد ساقه در کلیه ارقام به استثنای 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 استثنای 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 پنالتی‌میت) دیرتر تکمیل می‌شود. لذا در حالی‌که میانگره‌های پایینی شروع به انتقال مجدد مواد ذخیره‌شده 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 به‌طور 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 شد 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 متفاوت‌بودن 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 روشن‌شدن موضوع، ضروری است که سرعت و دوام فتوسنتزی و قدرت مخزن (اندازه و فعالیت مخزن) ارقام مورد مطالعه قرار گیرد (Joudi *et al*., 2024).

۳-۴. 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 به‌دست آمد. عموما مقدار این صفت در جوهای شش‌ردیفه، بیشتر از دوردیفه بود. ارقام برزین، مهتاب و اکسین به‌ترتیب با ۲۲۲۰، ۱۶۱۰ و ۱۶۰۰ میلی‌گرم در آزمایش مشگین‌شهر و ارقام برزین، اکسین و جلگه به‌ترتیب 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 به‌ترتیب ۳/۳، ۳/۸ و ۷/۹ درصد و در شرایط مغان به‌ترتیب ۲/۱، ۳/۰ و ۹/۱ درصد بود. در تحقیقی که 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 کسب‌شده 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 شد که مقدار مشارکت ساقه (در عملکرد دانه) نیز کمتر از حد واقعی آن (مشارکت تجمعی میانگره‌ها) محاسبه شود. هر چه 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 کشت‌شده در شرایط مشگین‌شهر و مغان فرایند ذخیره‌سازی و انتقال مجدد به‌طور 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 شد که مقدار خطا در برآورد مجموع انتقال مجدد از میانگره‌ها نسبتا 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 می‌شود که انتخاب ارقام در برنامه‌های اصلاحی با چالش مواجه شود. بنابراین ضروری است این صفات در سطح میانگره‌ها اندازه‌گیری شده و مجموع میانگره‌ها برای برآورد صفت در سطح ساقه اصلی استفاده شود. در تحقیق حاضر، هم در شرایط مشگین‌شهر و هم در شرایط مغان، مقدار ذخیره‌سازی و انتقال مجدد در میانگره‌های زیرین بیشتر بود. لذا میانگره‌های 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.

۵. تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی از طرح پژوهشی با شماره قرارداد ۱۴۰۳/د/۹/۱۰۶۹۹ استخراج گردیده است.

۶. منابع

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., Mclntyre, 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., Mclntyre, 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.