

تعیین ارتباط شرایط آب و هوایی با تولید محصول جو دیم (مطالعه موردی: آذربایجان شرقی)

مجتبی شکوهی^{1*} و سیدحسین ثنایی نژاد²

تاریخ دریافت: 1392/12/10

تاریخ پذیرش: 1393/06/17

چکیده

دمای هوا و بارندگی به عنوان دو متغیر مهم آب و هوایی تأثیرات قابل توجهی بر تغییرات عملکرد محصول دارند. در این مطالعه رابطه بین عملکرد محصول جو دیم با دمای هوا و بارندگی در چهار منطقه استان آذربایجان شرقی (تبریز، مراغه، میانه و سراب) با استفاده از تحلیل همبستگی و تحلیل کای اسکور تکرار شونده مورد ارزیابی قرار گرفت. تحلیل کای اسکور تکرار شونده ارتباط سال‌های با عملکرد پایین و بالا را با عوامل اقلیمی نشان می‌دهد. رابطه عملکرد محصول و متغیرهای اقلیمی تعریف شده در بین مناطق تقریباً دارای الگوی مشابه هستند. در کلیه مناطق مهمترین عامل اقلیمی محدود کننده تولید محصول، وقوع دماهای بسیار پایین در بهمن‌ماه (مقادیر آستانه در محدوده، $T_{min} \leq -10^{\circ}C$ تا $T_{min} \leq -20^{\circ}C$)، دماهای بالا پیش از شروع فصل زمستان (مقادیر آستانه در محدوده، $T_{max} \geq 15^{\circ}C$ تا $T_{max} \geq 20^{\circ}C$) و دماهای بسیار بالا (مقادیر آستانه در محدوده، $T_{max} \geq 25^{\circ}C$ تا $T_{max} \geq 35^{\circ}C$) در مرحله گل‌دهی (اوایل اردیبهشت الی اوایل خرداد) است. شب‌های خنک (مقادیر آستانه در محدوده، $T_{min} \leq 10^{\circ}C$ تا $20^{\circ}C$) در مرحله رسیدن (اوایل خرداد الی اوایل مرداد) و بارندگی مناسب (مقادیر آستانه در محدوده، $pp \geq 5/8mm$ تا $pp \geq 10/6mm$) در اوایل کاشت سبب افزایش عملکرد می‌شود. مرحله گل‌دهی در کلیه مناطق مرحله‌ای حساس بوده که دمای‌های بالا به همراه بارندگی کم اثر شدیدی بر کاهش عملکرد دارند. تعیین تأثیر دما و بارندگی بر عملکرد محصول می‌تواند اطلاعات مفیدی فراهم آورد تا با اتخاذ شیوه‌های مدیریتی مناسب اثرات نامطلوب این فاکتورها را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: بارندگی، تحلیل کای اسکور تکرار شونده، دما

مقدمه

سبب کاهش عملکرد می‌شود (Plaut et al., 2004). اطلاعات دقیق از اثرات آب و هوایی بر عملکرد برای بیشتر محصولات در بسیاری از مناطق در دسترس نیست (McKeown et al., 2006). با آگاهی از چگونگی رابطه عملکرد محصولات کشاورزی با دمای هوا و بارندگی در طی مراحل مختلف رشد و نمو در هر منطقه، می‌توان کاهش یا افزایش عملکرد محصول را توجیه کرد و در پی آن سیاست‌های متناسب با منطقه مورد بررسی را اتخاذ کرد.

مطالعات هی و همکاران (He et al., 2013) نشان داد بارندگی اوایل دوره رشد بیشترین اثر را بر عملکرد گندم بهاره در دشت‌های کانادا دارد. نیلسن و همکاران (Nielsen et al., 2010) با استفاده از روابط خطی بین بارش و عملکرد محصول ذرت، دوره‌های حساس بارش در دشت‌های آمریکا را تعیین کردند. آنها بالاترین همبستگی را در دوره‌های شش هفتگی حد فاصل 16 جولای تا 26 آگوست گزارش کردند. کوچر و همکاران (Kutcher et al., 2010) رابطه

عملکرد محصولات کشاورزی تحت تأثیر عوامل اقلیمی متعددی است که از بین آنها بارندگی و دمای هوا بیشتر مورد توجه محققان بوده است (Kutcher et al., 2012; Zarebyaneh et al., 2010). آب و هوای نامساعد مثل دماهای بسیار بالا یا بسیار پایین و یا تنش آبی نقش مهمی در مراحل مختلف رشد و نمو داشته و بر عملکرد محصول جو و گندم تأثیر گذارند (McMaster et al., 2003). هر گونه تغییر در شرایط آب و هوایی محلی به ویژه در مراحل حساس رشد و نمو محصولات منتج به کاهش شدید عملکرد می‌شود (Bannayan et al., 2010). کمبود بارش و افزایش دما به کرات در مرحله پر شدن دانه گندم در بسیاری از مناطق رخ می‌دهد و

1 و 2- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول: (Email: mojtabashokohi@gmail.com)

رشد و نمو محصول در چهار منطقه آذربایجان شرقی (تبریز، میانه، مراغه، سراب) است. با شناخت دوره‌های حساس به عوامل دمایی و بارندگی و تعیین عوامل محدود کننده عملکرد در طی رشد، امکان اتخاذ تصمیم مناسب جهت انجام امور مدیریتی و زراعی فراهم می‌شود.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه تأثیر متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی بر عملکرد جو دیم در چهار منطقه استان آذربایجان شرقی (تبریز، مراغه، میانه و سراب) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه سال تأسیس ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه متفاوت بود، بنابراین طول دوره آماری در دسترس جهت بررسی‌ها در هر منطقه متفاوت بوده است. مشخصات جغرافیایی، اقلیمی و طول دوره آماری استفاده شده در تحلیل‌ها در جدول 1 ارائه شده است. داده‌های عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و داده‌های روزانه دمای حداقل، حداکثر ($^{\circ}\text{C}$) و بارندگی (mm) به ترتیب برای هر منطقه از سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی و سازمان هواشناسی کشور گردآوری شد. متوسط عملکرد منطقه در محدوده 645 تا 728 کیلوگرم بر هکتار است (جدول 2). همبستگی بین عملکرد محصول و متغیرهای اقلیمی ارزیابی شد. به منظور تحلیل همبستگی نه متغیر اقلیمی توصیفی از داده‌های روزانه دما و بارش تعریف شد. این متغیرها در جدول 3 تعریف شده است.

عملکرد کلزا با درجه حرارت و بارش را بررسی کردند و اثر منفی درجه حرارت بالا و بارش کم و اثر مثبت بارش کمی بیشتر از حد نرمال و دمای پایین‌تر از حد نرمال را گزارش کردند. آنها پی بردند دمای بیش از 30 درجه سانتی‌گراد و بارش کم در شروع آغاز مرحله گل‌دهی محصول، سبب کاهش عملکرد می‌شود. لاندائو و همکاران (Landau et al., 2000) به اثرات منفی بارش قیل و در طول دوره گل‌دهی گیاه گندم و نیز دوره پر شدن دانه و اثر مثبت دما در دوره پر شدن دانه در انگلستان اشاره دارند.

سهرابی و همکاران (Sohrabie et al., 2012) نشان دادند هرچه اقلیم منطقه در استان همدان سردتر باشد، میزان تأثیر بارش - های فصل پاییز بر عملکرد گندم بیشتر است و با گرم‌تر شدن اقلیم، اهمیت بارش‌های فصل زمستان افزایش می‌یابد. مساعدی و همکاران (Mosaedi et al., 2008) نشان دادند که بارندگی ماه‌های خرداد، آبان و آذر برای گندم و ماه‌های اولیه و آخر دوره رشد برای جو بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد دارند. طلیعی و همکاران (Talliee et al., 2003) تأثیر بارندگی و درجه حرارت را بر عملکرد محصول گندم دیم در استان کرمانشاه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بارندگی بیش از درجه حرارت بر عملکرد محصول گندم دیم موثر است و بارندگی در اواخر دوره رشد اثر بیشتری نسبت به افزایش بارندگی در اوایل دوره رشد و نمو گندم دارد. مطالعات ذکر شده حاکی از آن بود که پاسخ عملکرد محصول در هر منطقه و در هر مرحله رشد و نمو محصول متفاوت است.

هدف این مطالعه، شناسایی و تبیین ارتباط سری داده‌های عملکرد جو دیم پاییزه با عوامل دمایی و بارندگی در دوره‌های مختلف

جدول 1- مشخصات جغرافیایی، اقلیمی و طول دوره آماری مورد بررسی برای هر منطقه
Table 1 - Details of geographic and climatic variables and the study period for each site

دوره آماری Data period	متوسط دمای حداکثر ($^{\circ}\text{C}$) Average maximum temperature ($^{\circ}\text{C}$)	متوسط دمای حداقل ($^{\circ}\text{C}$) Average minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$)	متوسط بارندگی (میلیمتر) Average rainfall (mm)	ارتفاع (متر) Elevation (m)	طول جغرافیایی (درجه شرقی) Long (E)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی) Lat (N)	ایستگاه Stations
-1977 2004	18.1	7	277	1361	46.28	38.08	تبریز Tabriz
-1987 2004	16	1.3	238	1682	47.53	37.93	سراب Sarab
-1984 2004	18.3	7.7	327	1477	46.27	37.4	مراغه Maragheh
-1987 2004	20.4	7.2	284	1110	47.7	37.45	میانه Miyaneh

طبقه‌بندی متغیرهای دمای حداکثر و حداقل (برای هر منطقه محدودهای متفاوت) در طبقات با فاصله 5 °C (Bannayan et al., 2011) و بارندگی در طبقات با فاصله 0/2 میلی‌متر (Kutcher et al., 2010) (در محدوده 0 تا 32 میلی‌متر) می‌باشد. در مرحله بعد جدول فراوانی تجمعی طبقات مختلف متغیرها برای تمام روزهای یک پنجره متحرک³ سه هفتگی (یک هفته به جلو) در هر یک از گروه عملکردی تشکیل شد و در نهایت، مقادیر χ^2 برای گروه‌های عملکردی بالا و پایین طبق معادله (1) برای هر طبقه از متغیرها تولید شد (Caprio, 1966).

$$\chi^2 = \frac{(O_{yi} - T_{yi})^2}{T_{yi}} + \frac{(O_{ni} - T_{ni})^2}{T_{ni}} \quad (1) \text{ معادله}$$

که در این معادله، O_{yi} و O_{ni} : به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر مشاهده شده برای سال‌ها با عملکرد پایین (یا بالا) و سال‌ها با عملکرد نرمال در آم طبقه متغیر و T_{yi} و T_{ni} : به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر مورد انتظار برای سال‌ها با عملکرد پایین (یا بالا) و سال‌ها با عملکرد نرمال در آم طبقه متغیر است.

طبقه متغیری که مقدار χ^2 برای آن به حداکثر خود برسد، به عنوان مقدار آستانه آن متغیر تعریف شد (Kutcher et al., 2010). حداقل مقدار χ^2 برای معنی‌داری در درجه آزادی یک و سطح احتمال یک درصد برابر مقادیر بیشتر مساوی از هفت و یا مقادیر کمتر مساوی از 7- است و دوره‌ای معنادار لحاظ شد که حداقل برای یک هفته مقدار χ^2 در این محدوده قرار گیرد (Caprio, 1966). در سال‌ها با عملکرد بالا یا پایین چنانچه برای یک مقدار آستانه، تعداد روزها بیشتر از تعداد روزهای مورد انتظار باشد، χ^2 مثبت و در غیر این صورت منفی لحاظ شد. تعداد روزهای بیشتر بدین معنی است که برای یک مقدار آستانه معین، تعداد روزها در سال‌ها با عملکرد بالا یا پایین نسبت به شرایط مورد انتظار آن طبقه متغیر بیشتر است. روزهای کمتر بدین معنی است که برای یک مقدار آستانه معین، تعداد روزها در سال‌ها با عملکرد بالا یا پایین نسبت به شرایط مورد انتظار آن طبقه متغیر کمتر است. برای آشنایی بیشتر از جزئیات تحلیل χ^2 تکرار شونده به (Caprio & Quamme, 1999; Caprio, 1966) مراجعه کنید.

جدول 2- متوسط عملکرد برای هر منطقه

Table 2 - Average yield for each site

ایستگاه	میان‌ه	مراغه	سراب	تبریز
Stations	Miyaneh	Maragheh	Sarab	Tabriz
متوسط عملکرد (Kg/ha)	645	728	694	661
average yield (Kg/ha)				

ضریب همبستگی r و P -value به عنوان معیاری از معنی‌داری لحاظ شد. تعداد روزهای با دمای حداکثر بیش از 30 درجه سانتی‌گراد ($D_{max} > 30$) بر اساس مطالعات کوچر و همکاران (Kutcher et al., 2010) و بنایان و همکاران (Bannayan et al., 2011) به عنوان یک متغیر اقلیمی در نظر گرفته شد. در این مطالعه، دمای شبانه و دما در طول روز به ترتیب اشاره به دمای حداقل روزانه و دمای حداکثر روزانه دارد.

کای اسکور تکرار شونده (χ^2)

در این مطالعه برای شناسایی و تبیین ارتباط سری داده‌های عملکرد محصول جو دیم پاییزه با عوامل دمایی و بارندگی روزانه در دوره‌های مختلف رشد و نمو از روش آماری کای اسکور تکرار شونده¹ استفاده شد. با استفاده از این روش می‌توان روابط علت و معلولی را تعیین و ارتباط عملکرد محصول و عوامل آب و هوایی را نشان داد (Caprio & Quamme, 2006). روش کای اسکور تکرار شونده اولین بار توسط کاپریو (Caprio, 1966) توسعه یافت و از آن زمان به بعد برای محصولات مختلف در مناطق مختلف به کار گرفته شد (Kalma et al., 1992; Caprio & Quamme, 1999 & Kutcher ; 2002 & 2006; McKeown et al., 2005 & 2006; et al., 2010; Bannayan et al., 2011). از آنجا که ممکن است گذشت زمان و ظهور تکنولوژی‌های نو سبب ایجاد روند در سری داده‌های عملکرد محصول شود (Wu et al., 2004)، در ابتدا روند موجود در سری داده‌ها بررسی شد تا در صورت وجود روند سری عملکرد روندزادی² شود. البته در سری داده‌ها عملکرد در کلیه مناطق روندی مشاهده نشد. سپس داده‌های عملکرد بر حسب کم به زیاد رتبه‌بندی شده و بالاترین و پایین‌ترین چارک به ترتیب در گروه سال‌هایی با عملکرد بالا و پایین، و مابقی سال‌ها که نیمی از آنها را شامل می‌شود، به عنوان سال‌هایی با عملکرد نرمال لحاظ شد. قدم بعدی

1- Iterative Chi-square

2- Detrended

3- Sliding window moving

نتایج و بحث

تحلیل همبستگی

توان با جزئیات بیشتری ارتباط عملکرد با بارش و دما را طی دوره رشد توصیف نمود. نتایج تحلیل همبستگی در نتایج تحلیل کای اسکور تکرار شونده مستتر است. به عبارتی نتایج تحلیل همبستگی در راستای نتایج تحلیل χ^2 تکرار شونده است. از این رو، بحث این قسمت در ادامه به همراه نتایج و بحث تحلیل χ^2 تکرار ارائه می‌شود.

تحلیل χ^2 تکرار شونده

تحلیل χ^2 تکرار شونده رابطه سال‌ها با عملکرد پایین و بالا را نسبت به دمای حداکثر و حداقل و بارندگی روزانه، در طی رشد محصول در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل‌های 1 و 2). در این مطالعه تولید مقادیر χ^2 برای دمای حداقل بر اساس روش دمای پایین به بالا (فراوانی تجمعی صعودی طبقات دما) و برای دمای حداکثر و بارندگی به صورت دما و بارندگی بالا به پایین (فراوانی تجمعی نزولی طبقات دمای حداکثر و بارندگی) صورت پذیرفت. جو دیم معمولاً در مناطق مورد بررسی در نیمه‌های مهرماه کاشت و اوایل مرداد برداشت می‌شود. مراحل فنولوژی جو دیم (جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، توسعه ساقه، گل‌دهی و رسیدن دانه) بر اساس مشاهدات محلی تعیین شد و تاریخ وقوع آنها بر روی شکل‌های 1 و 2 نمایش داده شد.

ضریب همبستگی (r) متغیرهای اقلیمی تعریف شده در مناطق مختلف با عملکرد محصول جو دیم در جدول 3 ارائه شده است. در تمام مناطق همبستگی معنی‌داری بین عملکرد و متوسط دمای حداقل دوره رشد (T_{min}) وجود ندارد. تمام مناطق (به جز تبریز) دارای همبستگی معنی‌داری بین عملکرد و متوسط دمای حداقل فصل بهار (T_{min}) هستند. به طوری که با افزایش متوسط دمای حداقل فصل بهار در این مناطق عملکرد کاهش می‌یابد. در تمام مناطق همبستگی معنادار منفی بین عملکرد و متغیرهای متوسط دمای حداکثر فصل بهار (T_{max}) و تعداد روزهای با دمای حداکثر بیش از 30 درجه سانتی‌گراد ($D_{max}>30$) وجود دارد. در تمام مناطق همبستگی معنادار مثبتی بین عملکرد و متغیرهای کل مقدار بارندگی دوره رشد (ppc)، بارندگی فصل بهار (pps) و بارندگی فصل پاییز (ppf) وجود دارد. در بین مناطق تنها سراب دارای همبستگی معنادار مثبت با بارندگی فصل زمستان (ppw) است. آنچه در کل می‌توان بیان نمود، وجود همبستگی بین عملکرد با بارندگی فصل بهار و پاییز و متوسط دمای حداکثر و حداقل فصل بهار در تمام مناطق مورد مطالعه است. در ادامه با انجام تحلیل کای اسکور تکرار شونده به صورت روزانه می-

جدول 3- تحلیل همبستگی عملکرد سالانه محصول و متغیرهای اقلیمی

Table 3- Correlation analysis of annual crop yield and climate indicators

متغیرهای اقلیمی Climatic indicators						ایستگاه Stations			
T_{max}	T_{min}	pps	ppw	ppf	$D_{max}>30$	T_{max}	T_{min}	ppc	
ضریب همبستگی (r)									
Correlation coefficients (r)									
-0.59**	-0.46*	0.60**	0.17	0.46*	-0.56**	-0.38	-0.21	0.56**	مراغه
-0.69**	-0.54*	0.46*	0.30	0.48*	-0.64**	-0.45	-0.13	0.65**	میانه
-0.58*	-0.42*	0.45*	0.54*	0.46*	-0.79**	-0.70**	-0.23	0.65**	سراب
-0.46*	-0.30	0.44*	0.31	0.46*	-0.41*	-0.20	-0.04	0.54**	تبریز
									Tabriz

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 0/05 و 0/01 درصد

* and ** significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.a) ppc: بارندگی دوره رشد، T_{min} : متوسط دمای حداقل دوره رشد، T_{max} : متوسط دمای حداکثر دوره رشد، $D_{max}>30$: تعداد روزهای با دمای حداکثر بیش از 30درجه سانتی‌گراد، ppf: بارندگی فصل پاییز، ppw: بارندگی فصل زمستان، pps: بارندگی فصل بهار، T_{min} : متوسط دمای حداقل بهار، T_{max} : متوسط دمای حداکثر بهارa) ppc: growing season total precipitation, T_{min} : growing season averaged daily minimum temperature, T_{max} : growing season averaged daily maximum temperature, $D_{max}>30$: the number of days with maximum temperature higher than 30 °C in the year, ppf:Autumn total precipitation, ppw: Winter total precipitation, pps: Spring total precipitation, T_{min} : Spring averaged daily minimum temperature, T_{max} : Spring averaged daily maximum temperature

$T_{min} \leq -17^{\circ}\text{C}$ و $T_{min} \leq -20^{\circ}\text{C}$ نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال هستند.

وجود شب‌های خنک‌تر در مرحله رسیدن دانه (اوایل خرداد تا اوایل مرداد) برای مناطق مراغه ($T_{min} \leq 20^{\circ}\text{C}$) و سراب ($T_{min} \leq 10^{\circ}\text{C}$) سبب افزایش عملکرد محصول جو دیم شده است در حالیکه در میانه کمبود وقوع شب‌های خنک ($T_{min} \leq 13^{\circ}\text{C}$) در مرحله رسیدن دانه سبب کاهش عملکرد محصول شده است. به نظر می‌رسد افزایش دمای شبانه (دمای حداقل) منتج به کاهش عملکرد شود. نتایج تحلیل همبستگی نیز نشان داد با افزایش دمای شبانه (دمای حداقل) در فصل بهار عملکرد کاهش می‌یابد. دمای شبانه بالا سبب افزایش تنفس نگهداری گیاه و کاهش فتوسنتز خالص می‌شود و می‌تواند منجر به کاهش عملکرد شود (Jones, 1983). در حالی که دمای پایین‌تر سبب افزایش دوره رشد دانه و منجر به افزایش عملکرد می‌شود (Sofield, 1974).

در مرحله رسیدگی دانه گندم، افزایش دمای شبانه سبب افزایش میزان تنفس نگهداری گیاه شده و منجر به کاهش تولید بیوماس و عملکرد محصول می‌شود (Ryan, 1991; Rosenzweig et al., 1996).

دمای حداکثر روزانه

در تبریز برای سال‌های با عملکرد پایین در دوره‌های 12-25 آذر، 26 فروردین الی 22 اردیبهشت، 30 اردیبهشت الی 12 خرداد به ترتیب دارای روزهای بیشتر با دمای $T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ، $T_{max} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ، $T_{max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ است. در حالی که برای سال‌های با عملکرد بالا طی دوره 3-17 دی روزهای کمتری با $T_{max} \geq 10^{\circ}\text{C}$ وجود دارد (شکل 1 سمت راست تبریز).

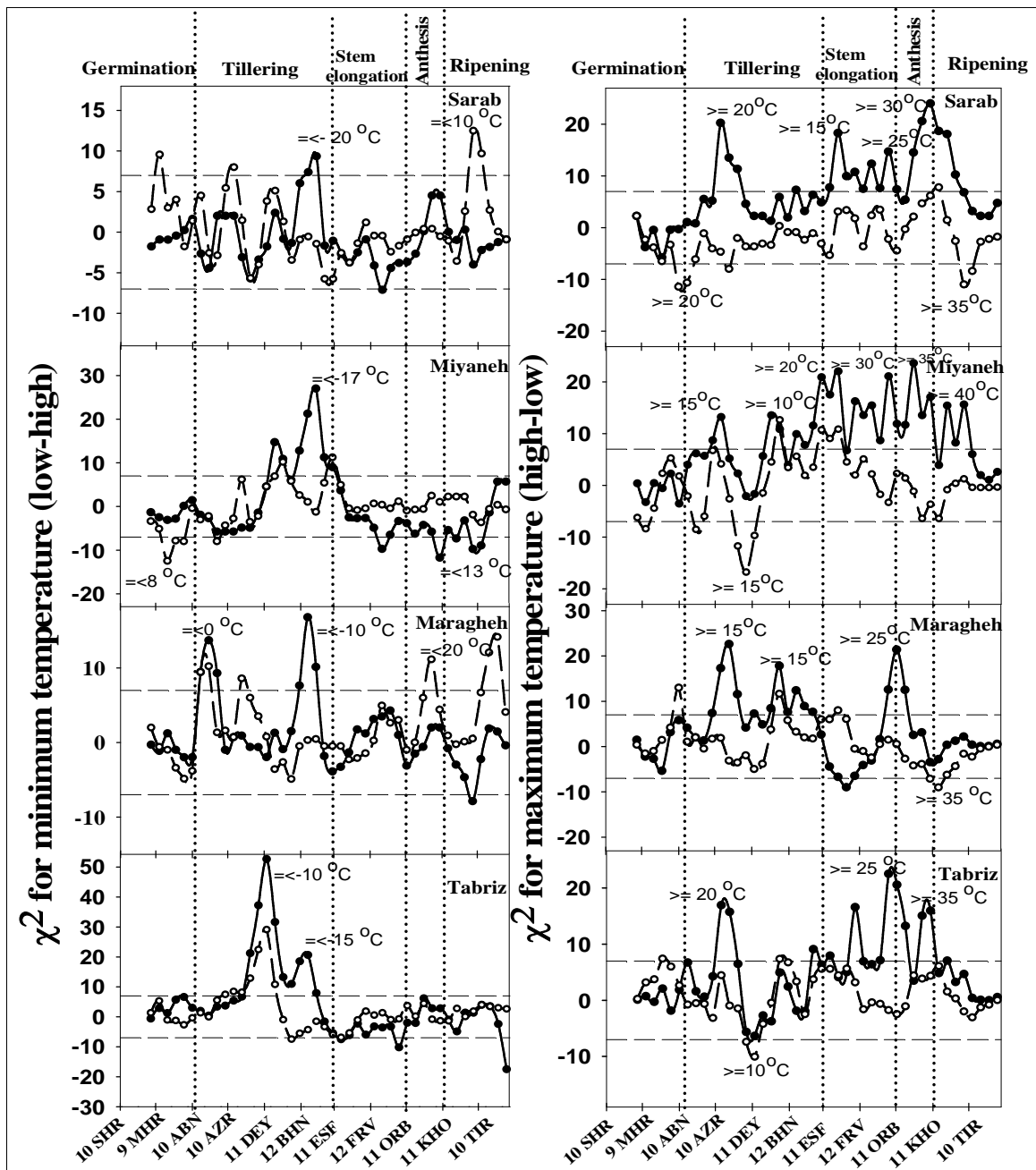
در مراغه برای سال‌های با عملکرد پایین طی دوره‌های 5 آذر تا 2 دی، 25 دی الی 6 اسفند، 2 - 22 اردیبهشت به ترتیب دارای روزهای بیشتری با دمای $T_{max} \geq 15^{\circ}\text{C}$ ، $T_{max} \geq 15^{\circ}\text{C}$ ، $T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ است. در حالی که برای سال‌های با عملکرد بالا طی دوره 6-19 خرداد دارای روزهای کمتری با $T_{max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ است (شکل 1 سمت راست مراغه).

البته مناطق تبریز، مراغه، میانه دارای اقلیم مشابهی هستند و به همین علت تاریخ وقوع مراحل فنولوژی در آنها تقریباً یکسان است، اما برای سراب به علت تفاوت دمایی دارای تاخیر زمانی یک تا دو هفته در تاریخ وقوع مراحل فنولوژی است.

دمای حداقل روزانه

در تبریز برای سال‌های با عملکرد پایین طی دوره‌های، 26 آذر الی 8 بهمن و 9 - 29 بهمن به ترتیب دارای تعداد روزهای بیشتری با دماهای، $T_{min} \leq -10^{\circ}\text{C}$ و $T_{min} \leq -15^{\circ}\text{C}$ نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال هستند (شکل 1 سمت چپ تبریز). تعداد روزهای بیشتر با دمای $T_{min} \leq 0^{\circ}\text{C}$ و $T_{min} \leq -10^{\circ}\text{C}$ به ترتیب طی دوره‌های، 14 آبان تا 4 آذر و 9 - 29 بهمن در مراغه برای سال‌های با عملکرد پایین رخ داد. در حالی که برای سال‌های با عملکرد بالا طی دوره 17-30 تیر دارای تعداد روزهای بیشتری با دماهای، $T_{min} \leq 20^{\circ}\text{C}$ است (شکل 1 سمت چپ مراغه). در میانه برای سال‌های با عملکرد پایین طی دوره‌های، 18 دی الی 13 اسفند و 3 - 16 تیر به ترتیب دارای تعداد روزهای بیشتری با $T_{min} \leq -17^{\circ}\text{C}$ و تعداد روزهای کمتری با $T_{min} \leq 13^{\circ}\text{C}$ نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال هستند (شکل 1 سمت چپ میانه). برای سال‌های با عملکرد بالا طی دوره‌های، 16 مهر الی 6 آبان دارای تعداد روزهای کمتری با $T_{min} \leq 8^{\circ}\text{C}$ است (شکل 1 سمت چپ میانه). تعداد روزهای بیشتر با دمای $-20^{\circ}\text{C} \leq T_{min}$ طی دوره 16 - 29 بهمن در سراب برای سال‌های با عملکرد پایین رخ می‌دهد. در حالی که برای سال‌های با عملکرد بالا طی دوره 27 خرداد تا 9 تیر (مرحله رسیدن دانه) دارای تعداد روزهای بیشتری با $T_{min} \leq 10^{\circ}\text{C}$ وجود دارد (شکل 1 سمت چپ سراب).

مناطق زیر کشت جو دیم در این مطالعه با دمای پایین و یخبندان زمستانه مواجه هستند. دماهای پایین در زمستان به ویژه در بهمن ماه در تمام مناطق، سبب کاهش عملکرد محصول جو دیم شده است. تحمل به یخ‌زدگی و بقا در زمستان صفت پیچیده‌ای است که به عوامل متعددی مانند ژنوتیپ، خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی، وضعیت خاک، پوشش برف و نوسانات آب و هوایی بستگی دارد (Ganj Khanloo et al., 2012). برای سال‌های با عملکرد پایین در تبریز، مراغه، میانه و سراب در بهمن ماه به ترتیب دارای روزهای بیشتری با دمای $T_{min} \leq -15^{\circ}\text{C}$ ، $T_{min} \leq -10^{\circ}\text{C}$ ،



شکل 1- نتایج تحلیل کای اسکور تکرار شونده برای عملکرد محصول جو دیم در تبریز، مراغه، میانه و سراب

Fig. 1- Results of the iterative Chi-square analysis for rainfed barley yield crop on Tabriz, Maragheh, Miyaneh and Sarab
 سمت راست: دمای حداکثر روزانه، سمت چپ: دمای حداقل روزانه. مقادیر آستانه بر روی نمودار نشان داده شده است. خطوط تیره افقی [---] نشان دهنده حداقل مقدار χ^2 برای معنی داری در سطح یک درصد است. مراحل فنولوژی (جوانه زنی، پنجه زنی، توسعه ساقه گل دهی و رسیدن) بر روی نمودارها مشخص شده است. SHR (شهریور ماه)، MHR (مهر ماه)، ABN (آبان ماه)، AZR (آذر ماه)، DEY (دی ماه)، BHN (بهمن ماه)، ESF (اسفند ماه)، FRV (فروردین ماه)، ORB (اردیبهشت ماه)، KHO (خرداد ماه)، TIR (تیر ماه) سالها با عملکرد پایین (●) سالها با عملکرد بالا (○)

Right: daily maximum temperature, left: daily minimum temperature. Cardinal value shown on plots. Dashed lines [---] indicate statistically significant Chi-square values at $p \leq 0.01$. Phenological stages (germination, tillering, stem elongation, anthesis and ripening) shown on plots. SHR (September), MHR (October), ABN (November), AZR (December), DEY (January), BHN (February), ESF (March), FRV (April), ORB (May), KHO (June), TIR (July). High yield years: (○); Low yield years: (●)

گل‌دهی در گندم سبب کاهش تعداد دانه‌ها و عملکرد نهایی محصول می‌شود (Jenner et al., 1990). دمای بالا پیش از گل‌دهی محصول جو و گندم سبب کاهش تعداد دانه و در نتیجه سبب کاهش عملکرد محصول می‌شود (Ugarte et al., 2007). برای سال‌های با عملکرد پایین طی مرحله گل‌دهی تا مرحله رسیدن دانه (اوایل اردیبهشت تا اوایل خرداد) دمای هوا در تمام مناطق (به جز مراغه) افزایش می‌یابد و به حد بحرانی 30°C (Tewolde et al., 2006) و بیشتر می‌رسد. در مرحله گل‌دهی وجود تعداد روزهای بیشتر با دماهای بالا، 35°C $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ و $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ به ترتیب در تبریز، مراغه، میانه و سراب در کاهش عملکرد محصول نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال تأثیرگذار است. نتایج تحلیل همبستگی نیز نشان داد با افزایش متوسط دمای حداکثر فصل بهار (T_{\max}) عملکرد کاهش می‌یابد. دوره‌های با دمای بالا ($30-38^{\circ}\text{C}$) از مرحله گل‌دهی تا رسیدن دانه در محصول گندم سبب کاهش عملکرد می‌شود (Tewolde et al., 2006). افزایش دما سبب افزایش آهنگ دوره رشد شده و دوره بعد از گل‌دهی را کوتاه می‌کند و در نهایت، سبب کاهش عملکرد گندم می‌شود (Sofield et al., 1974). مک کایگ (McCaig, 1997) نشان داد دمای بیش از 20°C در زمان گل‌دهی محصول گندم در کانادا تأثیر منفی بر عملکرد دارد.

دمای بالا و کمبود بارندگی در اواخر بهار به همراه تبخیر و تعرق بالا در زمان رسیدن دانه از خصوصیات مناطق مورد بررسی است. در شروع مرحله رسیدن دانه و بعد از آن (دهه اول خرداد تا دهه اول مرداد) وجود تعداد روزهای با دماهای بالا، $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 40^{\circ}\text{C}$ و $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ به ترتیب در تبریز، میانه و سراب بر کاهش عملکرد محصول موثر است. میانه در مرحله رسیدن نسبت به سایر مناطق روزهای بیشتری با دماهای بالاتری را تجربه می‌کند و این شاید دلیلی بر کمتر بودن متوسط عملکرد در این منطقه باشد. درحالی‌که برای سال‌های با عملکرد بالا در مراغه و سراب در مرحله رسیدن دانه دارای تعداد روزهای کمتری با دمای بالا هستند و به نظر می‌رسد بالاتر بودن متوسط عملکرد در این مناطق به این دلیل باشد. نتایج تحلیل همبستگی نیز نشان داد که با افزایش تعداد روزهای با دمای حداکثر بیش از 30 درجه سانتی‌گراد ($D_{\max} > 30$) عملکرد کاهش می‌یابد. دوره‌های کوتاه مدت با دمای بیشتر از 30°C در مرحله رسیدن دانه اثرات منفی بر عملکرد غلات دارد (Passarella

تعداد روزهای بیشتر با دمای $T_{\max} \geq 15^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 10^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ و $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ به ترتیب طی دوره‌های، 5-18 آذر، 25 دی الی 8 بهمن، 16 بهمن الی 27 اسفند، 5 فروردین الی 8 اردیبهشت و 9 اردیبهشت الی 12 خرداد برای سال‌های با عملکرد پایین در میانه رخ می‌دهد. در حالی که برای سال‌های با عملکرد بالا طی دوره 26 آذر الی 17 دی دارای تعداد روزهای کمتری با $T_{\max} \geq 15^{\circ}\text{C}$ و 7-27 اسفند دارای روزهای بیشتری با $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ است (شکل 1 سمت راست میانه).

در سراب برای سال‌های با عملکرد پایین طی دوره‌های، 12 آذر تا 2 دی، 14 اسفند الی 18 فروردین، 19 فروردین الی 15 اردیبهشت و 23 اردیبهشت 2 تیر به ترتیب دارای روزهای بیشتری با دمای $T_{\max} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 15^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ و $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ است. در حالی که برای سال‌های با عملکرد بالا طی دوره‌های، 7-20 آبان و 3-16 تیر به ترتیب دارای روزهای کمتری با $T_{\max} \geq 20^{\circ}\text{C}$ و با $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ است (شکل 1 سمت راست سراب).

برای ایجاد مقاومت گیاه به سرما وجود دوره‌های سرمای ملایم (بالتر از صفر) در ابتدای رشد گیاه الزامی است، در این حالت پدیده خوسرمایی در گیاه القاء شده و گیاه قادر خواهد بود که شرایط سخت زمستان را تحمل کند (Azizi et al., 2007). بنابراین، پیش از شروع فصل زمستان وجود تعداد روزهای بیشتر با دماهای بالا، $T_{\max} \geq 20^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 15^{\circ}\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 15^{\circ}\text{C}$ و $T_{\max} \geq 20^{\circ}\text{C}$ به ترتیب در تبریز، مراغه، میانه و سراب سبب می‌شود پدیده خوسرمایی در گیاه القاء نشود و گیاه نتواند شرایط سخت زمستان را تحمل کند و در نهایت عملکرد محصول کاهش یابد. در حالیکه وجود تعداد روزهای کمتری با دماهای بالا، $T_{\max} \geq 10^{\circ}\text{C}$ و $T_{\max} \geq 15^{\circ}\text{C}$ (به ترتیب در تبریز و میانه) در اوایل زمستان سبب ایجاد پدیده خوسرمایی شده و این سال‌ها نشان دهنده عملکرد بالا است.

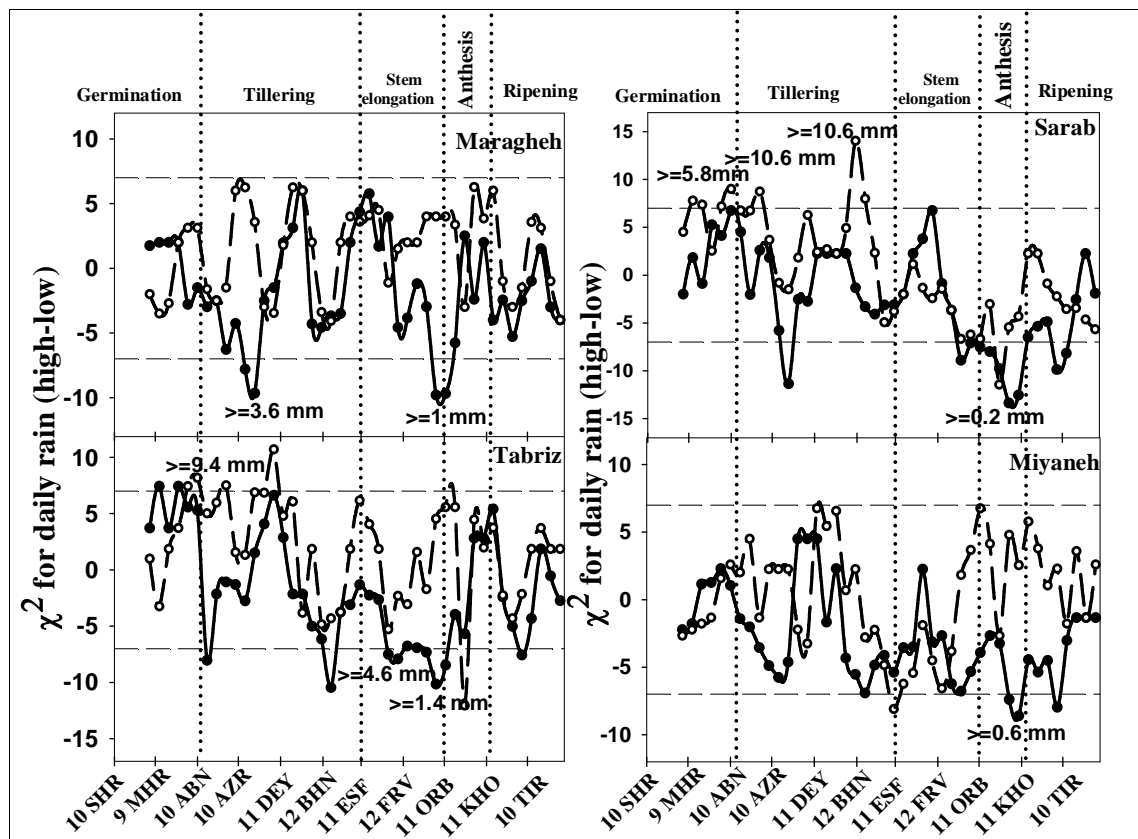
در مرحله توسعه ساقه تا کمی پیش از شروع گل‌دهی (اوایل اسفند تا اوایل اردیبهشت) وجود تعداد روزهای بیشتر با دماهای بالا بر کاهش عملکرد محصول جو داریم در تمام مناطق (به جز مراغه) موثر است. در میانه نسبت به سایر مناطق تعداد روزهای بیشتری با دمای بحرانی ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) در این دوره رخ می‌دهد. دمای بالا از شروع توسعه ساقه تا گل‌دهی بر روی تعداد دانه و عملکرد غلات تأثیر منفی دارد (Slafer, 2003). دمای بالا بین دوره توسعه ساقه تا

روزهای کمتری با بارندگی $PP \geq 4/6$ mm و $PP \geq 1/4$ mm است. در حالی که برای سال‌های با عملکرد بالا طی سی‌ام مهرماه الی سیزدهم آبان دارای روزهای بیشتر با بارندگی $PP \geq 9/4$ mm است (شکل 2 تبریز). تعداد روزهای کمتری با بارندگی $PP \geq 3/6$ mm و $PP \geq 1$ mm به ترتیب طی دوره‌های 12-25 آذر و 15-2 اردیبهشت در سال‌های با عملکرد پایین در مراغه رخ می‌دهد. درحالی‌که برای سال‌های با عملکرد بالا الگوی بارندگی تفاوتی با سال‌های نرمال ندارد (شکل 2 مراغه).

(et al., 2008). دماهای بالا طی پر شدن و رسیدن دانه سبب کاهش عملکرد محصول گندم می‌شود (Plaut et al., 2004). دمای بالا زمان پر شدن دانه را کوتاه کرده و در نتیجه کربن کمتری از طریق فتوسنتز جذب شده و در نتیجه باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود (Calderini et al., 2006).

بارندگی روزانه

در تبریز برای سال‌های با عملکرد پایین طی دوره‌های، 27 اسفند تا 11 فروردین و 26 فروردین الی 15 اردیبهشت، به ترتیب دارای



شکل 2 - نتایج تحلیل کای اسکور تکرار شونده برای عملکرد محصول جو دیم در تبریز، مراغه، میانه و سراب برای بارندگی روزانه
 Fig. 2- Results of the iterative Chi-square analysis for rainfed barley yield crop on Tabriz, Maragheh, Miyaneh and Sarab for daily precipitation

مقادیر آستانه بارندگی بر روی نمودار نشان داده شده است. خطوط تیره افقی [---] نشان دهنده حداقل مقدار χ^2 برای معنی داری در سطح یک درصد است. مراحل فنولوژی (جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، توسعه ساقه گل‌دهی و رسیدن) بر روی نمودارها مشخص شده است. SHR (شهریور ماه)، MHR (مهر ماه)، ABN (آبان ماه)، AZR (آذر ماه)، DEY (دی ماه)، BHN (بهمن ماه)، ESF (اسفند ماه)، FRV (فروردین ماه)، ORB (اردیبهشت ماه)، KHO (خردادماه)، TIR (تیرماه). سال‌ها با عملکرد بالا (○); سال‌ها با عملکرد پایین (●)

Cardinal value shown on plots. Dashed lines [---] indicate statistically significant Chi-square values at $p \leq 0.01$. Phenological stages (germination, tilling, stem elongation, anthesis and ripening) shown on plots. SHR (September), MHR (October), ABN (November), AZR (December), DEY (January), BHN (February), ESF (March), FRV (April), ORB (May), KHO (June), TIR (July). High yield years: (○); Low yield years: (●)

افزایش چشمگیر عملکرد جو دیم می‌شود. مطالعات سبزی‌پرور و همکاران (Sabziparvar et al., 2013) نیز نشان داد که بارندگی ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم دیم در استان همدان دارد.

برای سال‌های با عملکرد پایین آنچه در تمام مناطق مشترک بوده و نمود می‌یابد، کمبود تعداد روزهای بارانی (با بارندگی، $1/4\text{mm}$ $PP \geq 1\text{mm}$ ، $PP \geq 0/6\text{mm}$ و $PP \geq 0/2\text{mm}$ به ترتیب در تبریز، مراغه، میانه و سراب) به همراه فزونی روزهای با دماهای بالا ($T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$ ، $T_{\max} \geq 35^\circ\text{C}$ و $T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$) به ترتیب در تبریز، مراغه، میانه و سراب) در مرحله گل‌دهی (اوایل اردیبهشت تا اوایل خرداد) است. در کلیه مناطق کمبود رطوبت از یک طرف و دمای بالا از طرف دیگر، در مرحله گل‌دهی سبب کاهش عملکرد شده است. البته جداسازی اثر تنش حرارتی و رطوبتی در شرایط طبیعی م است (Plaut et al., 2004) اما به طور کلی اثر ترکیبی تنش رطوبتی و حرارتی بسیار شدیدتر از اثرات تک تک آنها است (Baker et al., 1996). می‌توان گفت که در کلیه مناطق مرحله گل‌دهی یکی از حساس‌ترین مراحل به تنش رطوبتی و حرارتی بوده که به شدت عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سلافر و راوسون (Slafer & Rawson, 1994) نیز نشان دادند که مرحله گلدهی گندم حساس‌ترین مرحله به اثرات محیطی است که بر عملکرد محصول است. مک‌کایگ (McCaig, 1997) نیز نشان داد که بیشترین همبستگی بین متغیرهای آب و هوایی و عملکرد محصول گندم در کانادا تقریباً در طی مرحله گل‌دهی رخ می‌دهد. مطالعه توکلی (Tavakoli, 2012) نیز تأیید نمود که مرحله گل‌دهی حساس‌ترین مرحله به تنش آبی در گندم و جو است.

نتیجه‌گیری

بدون شک تغییرات عملکرد جو دیم در مناطق مورد مطالعه تحت تأثیر عوامل متفاوتی است. در این تحقیق اثرات متغیرهای همچون نوع خاک، تغییرات دمایی، آفات و امراض محصول و شیوه‌های مدیریتی در نظر گرفته نشده است. نتایج تحلیل کای اسکور تکرار شونده نشان داد، می‌توان در طی رشد، دوره‌های تأثیرگذار عوامل دمای و بارندگی بر عملکرد محصول را شناسایی کرد. نتایج تحلیل کای اسکور تکرار شونده نشان داد مهمترین عامل بالاتر بودن متوسط

در سراب برای سال‌های با عملکرد پایین طی دوره 26 فروردین الی 12 خرداد دارای روزهای کمتری با بارندگی $PP \geq 0/2\text{mm}$ است. برای سال‌های با عملکرد بالا طی دوره‌های 9-22 مهر، 30 مهر الی 13 آبان و 9 بهمن-22 بهمن، به ترتیب دارای روزهای بیشتری با بارندگی $PP \geq 5/8\text{mm}$ ، $PP \geq 10/6\text{mm}$ و $10/6\text{mm}$ $PP \geq 0/6\text{mm}$ است (شکل 2 سراب). در میانه در سال‌ها با عملکرد پایین طی دوره 30 اردیبهشت تا 12 خرداد دارای روزهای کمتری با بارندگی $PP \geq 0/6\text{mm}$ است (شکل 2 میانه).

برای سال‌های با عملکرد بالا تعداد روزهای بیشتری با بارندگی $PP \geq 9/4\text{mm}$ و $PP \geq 10/8\text{mm}$ به ترتیب در تبریز و سراب در اوایل کاشت رخ می‌دهد. این نشان می‌دهد رطوبت مناسب در اوایل کاشت سبب افزایش عملکرد جو دیم می‌شود. تحلیل همبستگی نیز نشان داد که بارندگی فصل پاییز سبب افزایش عملکرد می‌شود. نتایج تحلیل همبستگی و تحلیل کای اسکور تکرار شونده نشان دادند در بین مناطق مورد بررسی تنها برای سراب که دارای اقلیم نیمه خشک فراسرد است، بارندگی بیشتر در فصل زمستان سبب بهبود عملکرد می‌شود. رطوبت کافی در زمان کاشت سبب استقرار گیاه و به جلو افتادن پنجه‌زنی گیاه و کاهش اثرات خسارت سرما و بهبود عملکرد محصول می‌شود (Tavakoli, 2012). نتایج مطالعه زارع ایبانه و همکاران (Zareabyaneh et al., 2012) نیز نشان داد بارندگی اوایل دوره رشد بیشترین همبستگی را با عملکرد جو دیم در منطقه همدان دارد. یائو و همکاران (Yau et al., 2011) بیان نمودند وجود رطوبت کافی بعد از کاشت در نواحی مدیترانه‌ای عملکرد جو را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. از طرف دیگر برای سال‌های با عملکرد پایین تعداد روزهای کمتری با بارندگی $PP \geq 1/4\text{mm}$ ، $PP \geq 1\text{mm}$ و $PP \geq 0/6\text{mm}$ و $PP \geq 0/2\text{mm}$ به ترتیب در تبریز، مراغه، میانه و سراب در طی مرحله گل‌دهی (اوایل اردیبهشت تا اوایل خرداد) رخ می‌دهد و این نشان می‌دهد علاوه بر بارندگی اوایل کاشت، بارندگی در مرحله گل‌دهی نیز بر عملکرد تأثیرگذار است. مطالعات مساعدی و همکاران (Mosaedi et al., 2008) نیز نشان می‌دهد بارندگی ماه‌های اولیه و اواخر کشت جو بیشترین تأثیر را بر عملکرد دارد. تحقیقات توکلی (Tavakoli, 2012) نشان داد عدم رطوبت کافی در زمان کاشت و گل‌دهی شدیداً بر عملکرد تأثیر می‌گذارد و بنابراین تک آبیاری در زمان کاشت و یک آبیاری در زمان گل‌دهی سبب

در اوایل کاشت (اواخر مهرماه) یا در زمان گل‌دهی (اوایل اردیبهشت الی اوایل خرداد) اقدام به یک تک‌آبیاری کند. تعیین اهمیت دمای هوا و بارندگی طی دوره رشد و شناسایی دوره‌های تأثیرگذار بر عملکرد محصول جو دیم می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای کشاورزان و سیاست‌گذاران فراهم آورد تا با اتخاذ شیوه‌های مدیریتی مناسب از اثرات نامطلوب متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصول بکاهند.

عملکرد در مراغه وجود شبه‌های خنک و روزهای کمتری با دمای $(T_{max} \geq 35^{\circ}\text{C})$ در مرحله رسیدن دانه (اوایل خرداد الی اوایل تیر) است و از طرف دیگر وجود شبه‌های گرمتر و روزهای بیشتر با دمای $(T_{max} \geq 40^{\circ}\text{C})$ در مرحله رسیدن دانه سبب ایجاد کمترین متوسط عملکرد در میانه است. بارندگی اوایل دوره کاشت و در زمان گل‌دهی سبب بهبود عملکرد شده است. کشاورز می‌تواند در صورت عدم بارش

منابع

- Azizi, H., Nezami, A., Nassiri Mahallati, M., and Khazaie, H.R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum Aestivum* L.) cultivars under controlled conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 5: 109-120. (In Persian with English Summary)
- Baker, R.J. 1996. Oslo and Biggar spring wheats respond differently to controlled temperature and moisture stress. Canadian Journal of Plant Science 76: 413-416.
- Bannayan, M., and Sanjani, S. 2011. Weather conditions associated with irrigated crops in an arid and semi arid environment. Agricultural and Forest Meteorology 151: 1589-1598.
- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Sadeghi, Lotfabadi S., and Mohammadian, S. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. Field Crops Research 118: 105-114.
- Calderini, D.F., Reynolds, M.P., and Slafer, G.A. 2006. Source-sink effects on grain weight of bread wheat, durum wheat and triticale at different locations. Australian Journal of Agricultural Research 57: 227-233.
- Caprio, J.M., and Quamme, H.A. 2006. Influence of weather on apricot, peach and sweet cherry production in the Okanagan Valley of British Columbia. Canadian Journal of Plant Science 86: 259-267.
- Caprio, J.M. 1966. A statistical procedure for determining the association between weather and non-measurement biological data. Agricultural Meteorology 3: 55-72.
- Caprio, J.M., and Quamme, H.A. 1999. Weather conditions associated with apple production in the Okanagan Valley of British Columbia. Canadian Journal of Plant Science 79: 129-137.
- Caprio, J.M., Quamme, H.A. 2002. Weather conditions associated with grape production in the Okanagan Valley of British Columbia and potential impact of climate change. Canadian Journal of Plant Science 82: 755-763.
- Ganjkanloo, E., Mohammadi, S.A., Moghaddam, M., Ghassemi Golezani, K., Shakiba, M.R., and Yousefi, A. 2012. Genetic Diversity in Barley as Revealed by Microsatellite Markers and Association Analysis of These Markers by Traits Related to Freezing Tolerance. Seed and Plant Improvement Journal 28 :101-114. (In Persian)
- He, Y., Wei, Y., Depauw, R., Qian, B., Lemke, R., Singh, A., Cuthbert, R., Mcconkey, B., and Wang, H. 2013. Spring Wheat Yield in the Semiarid Canadian Prairies : Effects of Precipitation Timing and Soil Texture over Recent 30 Years. Field Crops Research 149: 329-337.
- Jenner, C.F., Ugalde, T.D., and Aspinall, D. 1990. Starch synthesis in the kernel of wheat under high temperature conditions. Australian Journal of Plant Physiology 21: 791-806.
- Jones G.J. 1983. Plants and microclimate. Cambridge University Press, New York, NY 342 pp.
- Kalma, J.D., Laughlin, G.P., Caprio, J.M., and Hamer, P.J. 1992. The Bioclimatology of Frost. Springer-Verlag, New York, NY, 205 pp.
- Kutcher, H.R., Warland, J.S., and Brandt, S.A. 2010. Temperature and precipitation effects on canola yields in Saskatchewan, Canada. Agricultural and Forest Meteorology 150: 161-165.
- Landau, S., Mitchell, R. A.C., Barnett, V., Colls J.J., Craigon, J., and Payne, R.W. 2000. A parsimonious, multiple-regression model of wheat yield response to environment. Agricultural and Forest Meteorology 101: 151-166.
- McCaig, T.N. 1997. Temperature and precipitation effects on durum wheat grown in southern Saskatchewan for fifty years. Canadian Journal of Plant Science 77: 215-223.
- McKeown, A., Warland, J., and McDonald, M.R. 2005. Long-term marketable yields of horticultural crops in southern Ontario in relation to seasonal climate. Canadian Journal of Plant Science 85: 431-438.
- McKeown, A.W., Warland, J., and McDonald, M.R. 2006. Long-term climate and weather patterns in relation to crop

- yield: a mini review. *Canadian Journal of Botany* 84: 1031-1036.
- McMaster, G.S., and Wilhelm, W.W. 2003. Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving simulation models. *Journal of Agricultural Science* 141: 129-147.
- Mosaedi, A., and Kahe, M. 2008. The Assessing Precipitation Effects on Yield Productions of Wheat and Barley in Golestan Province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 15: 206-218. (In Persian with English Summary)
- Nielsen, D.C., Halvorson A.D., and Vigil, M.F. 2010. Critical precipitation period for dryland maize production. *Field Crops Research* 118: 259-263.
- Passarella, V. S., Savin, R., and Slafer, G. 2008. Are temperature effects on weight and quality of barley grains modified by resource availability? *Australian Journal of Agricultural Research* 59: 510-516.
- Plaut, Z., Butow, B.J., Blumenthal, C.S., and Wrigley, C.W. 2004. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. *Field Crops Research* 86: 185-198.
- Rosenzweig, C., and Tubiello, F.N. 1996. Effects of changes in minimum and maximum temperature on wheat yields in the central USA simulation study. *Agricultural and Forest Meteorology* 80: 215-230.
- Ryan, M. 1991. Effects of climate change on plant respiration. *Ecological Applications* 1: 157-167.
- Sabziparvar, A.A., Torkaman, M., and Maryanaji, Z. 2013. Investigating the Effect of Agroclimatic Indices and Variables on Optimum Wheat Performance (Case study: Hamedan Province). *Journal of Water and Soil* 26: 1554-1567. (In Persian with English Summary)
- Slafer, G.A. 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Annals of Applied Biology* 142:117-128.
- Slafer, G.A., and Rawson, H. 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologist and modellers. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 393-426.
- Sofield, I., Evans, L.T., and Wardlaw, I.F. 1974. The effect of temperature and light on grain filling in wheat. In: R.L., Bieleski et al. (Eds.). *Mechanisms of Regulation of Plant Growth*. Bulletin of the New Zealand Society 12. R. Wellington.
- Sohrabie Mollayousef, S., Fakheri Fard, A., and Bozorg Haddad, O. 2012. Assessment the effect of intermittent rainfall of autumn and winter on annual dry farming yield by using the Time-Rain Indicator (RTI). *Journal of Water and Soil* 26: 75-84. (In Persian with English Summary)
- Talliee, A.A., and Bahramy, N. 2003. The Effects of Rainfall and Temperature on the Yield of Dryland Wheat In Kermanshah Province. *Journal of Water Research in Agriculture (Journal of Soil and Water Sciences)* 17: 106-113. (In Persian with English Summary)
- Tavakoli, A.R. 2012. Single irrigation and sowing date for rainfed barley in Maragheh region and estimation of production functions. *Journal of Agricultural Engineering Research* 13: 39-56. (In Persian with English Summary)
- Tewolde, H., Fernandez, C.J., and Erickson, C.A. 2006. Wheat cultivars adapted to postheading high temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science* 192: 111-120.
- Ugarte, C., Calderini, D.F., and Slafer, G.A. 2007. Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale. *Field Crops Research* 100: 240-248.
- Yau, S., Nimah, M., and Farran, M. 2011. Early sowing and irrigation to increase barley yields and water use efficiency in Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management* 98: 1776-1781.
- Zareabyaneh, H., Bayat Varkeshi, M., and Ildoromi, A. 2012. Assessment of the effect of some climatic parameters, and ENSO phenomenon on wheat and barley yield (Case Study: Region of Hamedan). *Iranian Water Research Journal* 5: 181-192. (In Persian)
- Wu, H., Hubbard, K.G., Wilhite, D.A. 2004. An agricultural drought risk-assessment model for corn and soybeans. *International Journal of Climatology* 24: 723-741