توابع تولید برای برآورد عملکرد دانه گندم دیم در مناطق سرد و نیمه سرد استان لرستان

علیرضا توکلی[1] *، عبدالمجید لیاقت، امین علیزاده

عضو هیات علمی (استادیار پژوهش) بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود)؛
art.tavakoli@gmail.com
استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران؛
aliaghat@ut.ac.ir
استاد آبیاری دانشگاه فردوسی مشهد؛
alizadeh@gmail.com

چکیده

رشد و نمو محصولات و تولید آنها در شرایط دیم تابعی از تغییرات عوامل اقلیمی است. شناخت عامل‌های موثر و برنامه‌ریزی برای مدیریت آنها و یا تطابق فعالیت‌های زراعی با روند تغییرات آنها، منجر به بهبود شرایط تولید و پیش‌بینی تولید خواهد شد. بر این اساس 25 عامل آمار هواشناسی دسته‌بندی شده همراه با آمار زراعی عملکرد گندم دیم در شهرستان‌های الشتر، خرم‌آباد، الیگودرز و بروجرد به عنوان نمونه مناطق سرد و نیمه سرد استان لرستان برای سال‌های زراعی 85-1377 برای تخمین توابع تولید اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفت. در تخمین تابع تولید اقلیمی رابطه هر یک از عوامل آب و هوایی به عنوان متغیر مستقل با عملکرد دانه گندم دیم به عنوان تابع از طریق رگرسیون‌های خطی و غیر خطی تعیین گردید. با استفاده از تجزیه علیت، ضریب همبستگی به دو بخش اثرات مستقیم و غیر مستقیم تفکیک شد. نتایج نشان داد که آنچه که در توابع تولید شهرستان‌های مناطق سرد و نیمه سرد استان به عنوان مدل محلی قابل دریافت است نقش کمبود فشار بخار دوره رشد محصول (اول آبان تا آخر تیر ماه) است. با تعیین میزان شاخص بهره‌وری بارش در این شهرستان‌ها طی 8 سال زراعی مشخص شده است که بیشینه، کمینه و میانگین بهره‌وری بارش به ترتیب 0/341، 0/132 و 0/234 کیلوگرم بر متر مکعب بارش است که میانگین آن حدود 20 درصد از میانگین کشوری (0/292 کیلوگرم بر متر مکعب بارش) کم‌تر می‌باشد. نتیجه تحلیل حساسیت نشان داد عامل‌های دمای حداکثر، ساعات آفتابی، بارش پاییزه و دمای حداکثر آبان، حساس‌ترین عوامل اقلیمی هستند، لذا شناخت عوامل اقلیمی موثر و تعیین میزان و نوع اثرگذاری آنها، به بهره‌برداران این بخش کمک می‌کند تا از طریق اصلاح عملیات زراعی مانند اصلاح تاریخ کاشت، اصلاح ارقام و عملیات بهبود ظرفیت آب خاک، عوامل با اثر منفی را کنترل و اثربخشی عوامل با اثر مثبت را بهبود بخشند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری بارش، تحلیل حساسیت، تجزیه علیت، کمبود فشار بخار، عوامل اقلیمی

---

1. آدرس نویسنده مسؤول: شاهرود کیلومتر 3 جاده بسطام مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود)- کدپستی: 313-36155- صندوق پستی: 313-36155

* دریافت: فروردین، 1391 و پذیرش: بهمن، 1391

مقدمه

غلات مهم‌ترین گروه مواد غذایی است که در دنیا کشت و کار می‌شود. زراعت گندم از سایر غلات اهمیت بیشتری داشته و نزدیک به 30 درصد از سطح زیرکشت و کل تولید غلات را در جهان به خود اختصاص داده است (19). به طوری که 58 درصد صادرات گندم جهان در انحصار چهار کشور امریکا، آرژانتین، کانادا و استرالیا است (1). گندم از جمله معدود نباتاتی است که کشت آن در شرایط اقلیمی بسیار متنوع و گسترده امکان‌پذیر است. معمولاً گندم به هوای خنک و مرطوب در اوایل فصل رویش و گرم و خشک در مراحل آخر رشد، به ویژه در خلال دانه بستن نیاز دارد. در چنین شرایط که غالباً خاص نواحی خشک با زمستان‌های ملایم است، گندم در شروع فصل مرطوب و خنک، کشت شده و دانه بستن و رسیدن محصول با آغاز فصل خشک انجام می‌گیرد. به هر حال، در اغلب موارد شرایط اقلیمی طی فصل زراعی با شرایط مطلوب رشد گندم فاصله بسیار زیادی دارد (15).

نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در گریت پلین[1] آمریکا نشان می‌دهد که زراعت دیم در مقابل تغییرات آب و هوایی آسیب‌پذیر بوده و تولید آن علاوه بر میزان نیتروژن خاک به تغییرات عوامل اقلیمی بستگی دارد. برای توسعه سامانه زراعت دیم، سیاست دولت و برنامه‌های آن در این مناطق اندیشیدن راهکارهایی است تا فشارهای ناشی از تنش‌های آب و هوایی را در این دشت‌ها و یا در هرجای دیگر به حداقل رسانده و یا کاهش دهد. معمولاً برای این کار دولت آمریکا از دو روش کمک می‌گیرد. 1) بیمه محصولات دیم در مقابل تنش‌های آب و هوایی و پرداخت بیمه به خسارت دیدگان زراعت دیم 2) انجام تحقیقات در زمینه خشکی و رسیدن به راهکارهایی برای رفع این معضل جهانی (20). مشاهدات نشان می‌دهد که دشت‌های وسیع آمریکا به‌ویژه در قسمت‌های شمالی که از لحاظ اقتصادی نقش بسیار مهمی در تولیدات زراعت دیم دارد، بسیار حساس به نوسانات آب و هوایی بوده و از این طریق شدیداً زراعت دیم را در این مناطق تحت تأثیر قرار می‌دهد (12و 22). از سوی دیگر اغلب مدل‌های آب و هوایی مدعی هستند که کره زمین در حال گرم شدن بوده و در اثر فرآیند جهانی گرم شدن، خشکی اتفاق می‌افتد که اگر چنین باشد بررسی این موضوع تأکید بیشتری بر فشارهای جدید بالقوه بر زراعت دیم در اغلب نقاط دنیا دارد (14).

آسیب‌پذیری از تغییرات آب و هوایی از جمله عواملی هست که همواره در میزان تولید غلات در بسیاری از مناطق مؤثر بوده است. این خطرپذیری در یک تعریف کلی شامل کلیه علایم مربوط به عوامل اقلیمی است که از وضعیت ایده‌آل خود انحراف پیدا می‌کند. در عمل برای عوامل اقلیمی دامنه‌هایی (حد بالا و پائین) تعیین می‌شود که عوامل مختلف اقلیمی در آن قابل تغییر می‌باشند. محدودیت‌های دامنه اکولوژیک همان نقاط بحرانی هستند که برای محصولات زراعی قابل قبول می‌باشند. در عمل منظور از خطرپذیری آب و هوایی، آن دسته از عوامل اقلیمی هستند که مقدار آنها خارج از دامنه اکولوژیک قرار می‌گیرد و کمیت و کیفیت فرایند رشد و نمو را تحت تأثیر قرار می‌دهد (8).

میزان و پراکنش بارش و تغییرات دمای هوا از جمله دو عامل بسیار مهم آب و هوایی هستند که از طریق تحت تأثیر قرار دادن میزان رطوبت و دمای خاک می‌توانند در تولید عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم بسیار مؤثر واقع شوند (19). این دو عامل به غیر از تحت تأثیر قرار دادن اندام‌های رویشی و زایشی گندم، بر رشد و نمو ریشه این گیاه و میزان جذب آب و مواد غذایی نیز مؤثر می‌باشند (4). قابلیت دسترسی به آب، عامل مهمی در تعیین میزان عملکرد گندم در اکثر نقاط جهان به شمار می‌رود. کمبود یا تنش رطوبت هنگامی افزایش می‌یابد که

[1]. Great plain

تقاضای تبخیری اتمسفر بالای برگ‌ها (تبخیر و تعرق بالقوه) از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک تجاوز نموده و فراتر رود. از سوی دیگر، اگرچه گندم زمستانه سازش نسبتاً خوبی به سرما نشان می‌دهد، لیکن برودت زیاد و خشکی فیزیولوژیک به بافت‌های گندم پائیزه صدمه زده و گاهاً اثرات سوء سرمازدگی زمستانه، بیش‌تر از صدمات ناشی از آفات و بیماری‌ها است. نتایج پژوهش‌های انجام گرفته، نشان می‌دهد که در دامنه‌های بهینه با افزایش میزان بارندگی و دما میزان عملکرد گندم دیم نیز افزایش نشان می‌دهد (8 و 15). به طور کلی کسب مقادیر بهینه اجزای عملکرد گندم دیم از دو طریق امکان‌پذیر است که عبارتند از: حمایت از تشکیل یک جزء عملکرد و جلوگیری از کاهش اجزای تشکیل شده عملکرد. شناخت اجزای عملکرد در یک محصول خاص، این اجازه را به پژوهشگر می‌دهد تا از روش‌های جبران کننده کاهش اجزای عملکرد، به منظور حذف بخشی از اثرات نامطلوب آب و هوا و رسیدن به سطح بهتری از پتانسیل عملکرد استفاده کند (8).

از آن جایی که عوامل اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تولید گندم دیم می‌باشد و تنش رطوبتی و دمایی از عمده عوامل پائین آمدن عملکرد آن در واحد سطح است، لذا شناسایی و معرفی عوامل مؤثر اقلیمی بر عملکرد دانه و بهره‌وری بارش گندم دیم، به منظور انجام مطالعات بیشتر در جهت کاهش صدمات ناشی از این عوامل بر تولید گندم دیم در استان لرستان از طریق روش‌های زراعی و اصلاح نبات یکی از اهداف عمده این بررسی می‌باشد.

روش اجرای تحقیق

به منظور مطالعه اثرات عوامل اقلیمی بر روی عملکرد دانه گندم دیم در استان لرستان، آمار هواشناسی شهرستان‌های الشتر، خرم‌آباد، الیگودرز و بروجرد به عنوان مناطق سرد و نیمه سرد استان برای سال‌های زراعی 85-1377 به همراه آمار زراعی عملکرد گندم دیم طی این سال‌ها در هر یک از شهرستان‌ها جمع‌آوری شد. داده‌های جمع‌آوری شده در این بررسی با استفاده از ضرایب همبستگی، رگرسیون ساده و رگرسیون گام به گام مورد مطالعه قرار گرفت. در این بررسی 25 عامل آمار هواشناسی دسته‌بندی شد که در جدول 1 دسته‌بندی شده است.

جدول 1- عوامل هواشناسی مورد بررسی برای تعیین تابع تولید اقلیمی

عامل هواشناسی	اجزای مورد بررسی
دما	دمای حداکثر (Tmax)، دمای حداقل (Tmin)، دمای متوسط (Tmean)، دمای حداقل مطلق (Tmin-abs)، دمای حداکثر مطلق (Tmax-abs)، دمای حداکثر آبان (Tmax-aban)، دمای حداکثر آذر (Tmax-azar)، دمای حداکثر فروردین (Tmax-farvardin)، دمای حداکثر اردیبهشت (Tmax-ordibehesht)، دمای حداکثر خرداد (Tmax-khordad)، کمبود فشار بخار سال زراعی (VPD)، کمبود فشار بخار دوره رشد محصول (اول آبان تا آخر تیر) (VPD-crop season)
بارش	کل بارش سال زراعی (Prec)، مجموع بارش پاییزه (Pautumn)، مجموع بارش زمستانه (Pwinter)، مجموع بارش بهاره (Pspring)، بارش آبان ماه (Paban)، بارش آذر ماه (Pazar)، بارش دی ماه (Pday)، بارش فروردین ماه (Pfarvardin)، بارش اردیبهشت ماه (Pordibehesht)
رطوبت نسبی	رطوبت نسبی متوسط (RHmean)
ساعات آفتابی	ساعات واقعی آفتابی (n)
شماره روز	شماره روز از اول مهر ماه تا اولین بارش 10 میلی‌متری (Start rain)، شماره روز از اول مهر ماه تا آخرین بارش 10 میلی‌متری (End rain)،

برای تخمین تابع تولید اقلیمی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد که حاوی مدل‌های مختلفی است. رابطه هرکدام از عوامل آب و هوایی به عنوان متغیر مستقل با عملکرد دانه گندم دیم به عنوان تابع از طریق رگرسیون‌های خطی و غیر خطی و با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Curve expert مورد مطالعه قرار گرفت. آنچه که در این پژوهش از آن استفاده شد مدل Backward است که پس از وارد کردن تمام عوامل، به تدریج و در گام‌های مختلف اقدام به حذف عوامل فاقد اثر معنی‌دار شد و نهایتاً مدلی برازش داده شد که دارای بیشترین کارایی بوده است. پس از جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از تجزیه علیت[1] و ضریب همبستگی[2] به دو بخش اثرات مستقیم و غیر مستقیم تفکیک شد که اثر مستقیم نشان‌دهنده اثر مستقیم عامل آب و هوایی مورد مطالعه و اثر غیر مستقیم نشان‌دهنده اثرات غیر مستقیم سایر عوامل آب و هوایی از طریق عامل آب و هوایی مورد نظر بر روی عملکرد بوده است (فیضی‌اصل و همکاران، 1389). برای انجام تجزیه علیت نیز از دو نرم‌افزار SPSS و Excel استفاده شد. به منظور تعیین ارتباط واقعی موجود بین عوامل آب و هوایی مورد مطالعه و عملکرد دانه گندم دیم، به کمک نرم‌افزار SPSS از رگرسیون گام به گام استفاده شد.

در جدول 2 مقادیر میانگین و انحراف استاندارد عوامل به کار رفته در برآورد تابع تولید اقلیمی نشان داده شده است. مطابق با این جدول، میانگین عملکرد گندم در چهار شهرستان طی 8 سال منتهی به 85-1384 برابر 1027 کیلوگرم در هکتار وسهم بارش پاییزه، زمستانه و بهاره به ترتیب 30، 45 و 25 درصد است. اولین بارش پاییزه عموماً در دهه دوم ماه دوم پاییز اتفاق می‌افتد. سهم بارش آبان از کل بارش پاییزه برابر 34 درصد و سهم بارش فروردین و اردیبهشت از کل بارش بهاره به ترتیب 70 و 27/5 درصد بوده است. شناخت این عوامل و مقادیر انحراف معیار هر یک تحلیل معادلات مربوط به توابع تولید اقلیمی را آسان خواهد کرد.

جدول 2- مقادیر میانگین و انحراف استاندارد عوامل در برآورد مدل تولید گندم در مناطق سرد و نیمه سرد لرستان، N= 32

عامل	میانگین	انحراف معیار (SD)	عامل	میانگین	انحراف معیار (SD)
Yield	1027/0	281/93	$T_{max-abs}$	39/5	2/36
T_{max}	22/3	2/23	P_{Aban}	44/2	23/85
T_{min}	6/61	2/43	P_{Azar}	77/8	58/84
T_{mean}	14/5	2/01	P_{Day}	68/0	39/29
RH_{mean}	44/1	6/66	$P_{Farvardin}$	78/0	40/57
n	265/4	10/07	$P_{Ord.}$	30/7	27/90
Preci.	437/9	93/73	$T_{max-Aban}$	18/4	2/34
P_{Autumn}	129/5	72/34	$T_{max-Azar}$	12/2	3/60
P_{Winter}	195/2	72/81	$T_{max-Far.}$	18/3	2/46
P_{Spring}	111/6	54/91	$T_{max-Ord.}$	24/0	2/46
P_{Start}	48/8	18/69	$T_{max-Khor.}$	31/1	2/71
P_{End}	205/7	20/75	VPD	1/43	0/23
$T_{min-abs}$	-11/5	5/30	VPDcs (crop season)	1/07	0/19

[1]. Path analysis
[2]. Correlation coefficient

نتایج و بحث

برای تعیین میزان ارتباط واقعی بین عوامل 25 گانه آب و هوایی فوق و عملکرد گندم دیم در چهار شهرستان و 8 سال داده (جمعاً 32) از نرم‌افزار SPSS و رگرسیون چند متغیره استفاده شد. جدول 3 نشان‌دهنده نتیجه تجزیه واریانس رگرسیون چند متغیره مدل Backward است که حاکی از معنی‌دار بودن در سطح احتمال 1 درصد است. ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj})[3] معادله رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در معادله می‌تواند 87 درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری کاملاً معنی‌دار می‌باشد.

ضرایب تابع اقلیمی تولید، تحلیل معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی فاکتورها، سهم اثر مستقیم عوامل مدخل در توابع تولید و نیز نتیجه آزمون آماری t برای تعیین سطح معنی‌دار بودن عوامل موثر در تابع تولید اقلیمی به تفکیک برای شهرستان‌های بروجرد، خرم‌آباد، الیگودرز و الشتر در جدول 4 نشان داده شده است. نتیجه تحلیل هر یک از توابع در جدول 5 خلاصه شده است اما آنچه که از توابع تولید این مناطق برمی‌آید این است که کمبود فشار بخار دوره رشد محصول (اول آبان تا آخر تیر ماه) دارای نقش موثر است که با اثر منفی معنی‌دار در تمام معادلات خودنمایی می‌کند. افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی سبب افزایش کمبود فشار بخار اشباع شده و نتیجه آن افزایش تبخیر است. کمبود فشار بخار با عملکرد محصول و به تبع آن با بهره‌وری آب رابطه معکوس دارد (اسدی و عقیلی، 1388). ضمن اینکه در بیشتر این مناطق رطوبت نسبی، بارش بهاره و کل بارش دارای اثر مثبت می‌باشد.

جدول 3- تجزیه واریانس رگرسیون چند متغیره برای مدل تولید گندم در مناطق سرد و نیمه سرد لرستان، N = 32

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
رگرسیون	2255141	10	225514/1	**22/7
باقیمانده	208921/3	21	9948/6	
کل	2464062	31		
R^2= 0/92 R^2_{adj}=0/87				** معنی‌دار در سطح احتمال 1 درصد:

ضرایب تابع اقلیمی تولید، ضریب همبستگی، اثر مستقیم عامل‌ها و نیز آزمون آماری t برای تعیین سطح معنی‌دار بودن عوامل موثر در تابع تولید اقلیمی عمومی مناطق سرد و نیمه سرد در جدول 4 و 5 نشان داده شده است.

[3]. adjusted coefficient of determination

جدول 4- ضرایب تابع اقلیمی تولید گندم، همبستگی و اثر مستقیم و آزمون آماری t برای مناطق سرد و نیمه سرد لرستان

Correlations R^2	Sig.	t	Standardized Coefficients	Unstandardized Coefficients		
			Beta	Std. Error	B	
	0/002	3/57	-	۱۱۱۶/۴	۳۹۸۷/۵	(Constant)
ns-0/032	0/002	3/45	0/66	24/0	82/8	Tmax
**0/439	0/031	2/31	0/21	3/9	9/0	RHmean
**-0/644	0/000	-4/56	-0/49	3/0	-13/8	n
ns0/224	0/000	-4/80	-1/31	1/1	-5/1	P-Autumn
**0/635	0/015	-2/65	-0/47	0/9	-2/4	P-Spring
ns0/221	0/000	4/47	1/22	1/3	5/8	P-Azar
*0/364	0/000	6/51	0/50	0/6	3/6	P-Day
**0/561	0/000	4/91	0/78	1/1	5/4	P-Farvardin
ns-0/147	0/002	-3/58	-0/57	19/1	-68/4	Tmax-Aban
*-0/296	0/001	-3/67	-0/50	10/7	-39/2	Tmax-Azar

ns ، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ضرایب همبستگی بین عوامل اقلیمی و عملکرد نشان می‌دهد که بین متوسط رطوبت نسبی هوا، بارش بهاره، بارش آبان، بارش دی و بارش فروردین با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین تعداد ساعات آفتابی و دمای ماکزیمم آذر با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد. بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی داری مشاهده نشد (جدول 4 و5).

جدول 5- توابع تولید اقلیمی گندم دیم در مناطق مختلف سرد و نیمه سرد استان لرستان

بروجرد	$(1)\ Wheat-Yield_{boroujerd}=290.1+88.5RH_{mean}-24.5T_{\max-Far}-44.9T_{\max-Khor}-824VPD_{cs} \qquad R^2=0.99 \quad R^2_{adj}=0.98$
بر حسب ضریب همبستگی	بین متوسط رطوبت نسبی هوا، کل بارش سال زراعی و بارش بهاره با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین دمای ماکزیمم اردیبهشت و دمای ماکزیمم خرداد با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد.
برحسب تجزیه علیت	ضریب تبیین تصحیح شده (R^2_{adj}) معادله رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در معادله می‌تواند 98 درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری کاملاً معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج نشان داد که ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب متغیرهای مستقل دمای حداکثر فروردین ماه و دمای حداکثر خرداد ماه غیر معنی دار و ضرایب متغیرهای مستقل متوسط رطوبت نسبی و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.
خرم‌آباد	$(2)\ Wheat-Yield_{Khorramabad}=3920.4+1.7P_{Winter}-2397.9VPD_{cs} \qquad R^2=0.86 \quad R^2_{adj}=0.80$
بر حسب ضریب همبستگی	بین متوسط رطوبت نسبی هوا، کل بارش سال زراعی، بارش بهاره و روز تا آخرین بارش موثر با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین تعداد ساعات آفتابی، دمای ماکزیمم اردیبهشت و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد.
برحسب تجزیه علیت	ضریب تبیین تصحیح شده معادله رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در معادله می‌تواند 80 درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری کاملاً معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج نشان داد که ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضریب متغیر مستقل کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در سطح احتمال یک درصد و ضریب متغیر مستقل بارش زمستانه در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار است.
الیگودرز	$(3)\ Wheat-Yield_{Aligodarz}=23094-1032T_{\min}+1.5P_{Winter}+2.4P_{Far.}+32.1T_{\max-Far}-1729VPD_{cs} \qquad R^2=1 \qquad R^2_{adj}=0.99$
بر حسب ضریب همبستگی	بین متوسط رطوبت نسبی هوا، کل بارش سال زراعی و روز تا آخرین بارش موثر با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین دمای حداکثر، دمای ماکزیمم اردیبهشت، دمای ماکزیمم خرداد، کمبود فشار بخار و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد. بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی داری مشاهده نشد.
برحسب تجزیه علیت	ضریب تبیین تصحیح شده معادله رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در معادله می‌تواند 99 درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری کاملاً معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج نشان داد که ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب متغیرهای مستقل دمای حداقل، بارش زمستانه و بارش فروردین ماه، دمای حداکثر فروردین ماه و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار است.
الشتر	$(4)\ Wheat-Yield_{Aleshtar}=3953+1.9P_{Winter}+4.4P_{Spring}-24.7T_{\min-abs}+5.6P_{Ord}-9131VPD_{cs} \qquad R^2=0.99 \quad R^2_{adj}=0.99$
بر حسب ضریب همبستگی	بین متوسط رطوبت نسبی هوا، بارش بهاره، بارش آبان، بارش دی و بارش فروردین با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین تعداد ساعات آفتابی و دمای ماکزیمم آذر با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد. بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی داری مشاهده نشد.

برحسب تجزیه علیت	ضریب تبیین تصحیح شده معادله رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در معادله می‌تواند 99 درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری کاملاً معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج نشان داد که ضریب ثابت معادله رگرسیونی غیر معنی دار و ضرایب متغیرهای مستقل بارش زمستانه و بارش بهاره در سطح احتمال یک درصد و ضرایب متغیرهای مستقل دمای حداقل مطلق، بارش اردیبهشت ماه و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار است.
مناطق سرد لرستان	$Wheat\text{-}Yield_{Cold\text{-}area} = 3987.5 + 82.8T_{\max} + 9RH_{mean} - 13.8n - 5.1P_{Autumn} - 2.4P_{Spring} + 5.8P_{Azar} + 3.6P_{Day} + 5.4P_{Far.} - 68.4T_{\max\text{-}aban} - 39.2T_{\max\text{-}azar}$ (5) $R^2 = 0.92 \quad R^2_{adj} = 0.87$
بر حسب ضریب همبستگی	بین متوسط رطوبت نسبی هوا، بارش بهاره، بارش آبان، بارش دی و بارش فروردین با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین تعداد ساعات آفتابی و دمای ماکزیمم آذر با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد. بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی داری مشاهده نشد.
برحسب تجزیه علیت	ضریب تبیین تصحیح شده معادله رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در معادله می‌تواند 87/5 درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری کاملاً معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج نشان داد که ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب متغیرهای مستقل دمای حداکثر، تعداد ساعات آفتابی، بارش پاییزه، بارش آذر ماه، بارش دی ماه، بارش فروردین ماه، دمای حداکثر آبان ماه و دمای حداکثر آذر ماه در سطح احتمال یک درصد و ضرایب متغیرهای مستقل متوسط رطوبت نسبی و بارش بهاره در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار است (جدول 4).

با بررسی ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، در جدول 4 نتایج نشان می‌دهد که ضریب ثابت معادله رگرسیونی و ضرایب متغیرهای مستقل دمای حداکثر، تعداد ساعات آفتابی، بارش پاییزه، بارش آذر ماه، بارش دی ماه، بارش فروردین ماه، دمای حداکثر آبان ماه و دمای حداکثر آذر ماه در سطح احتمال یک درصد و ضرایب متغیرهای مستقل متوسط رطوبت نسبی و بارش بهاره در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار است (جدول 4 و5). با مقایسه نتایج به دست آمده از طریق رگرسیون گام به گام و تجزیه علیت می‌توان چنین استنباط کرد که در رگرسیون گام به گام، عوامل تأثیرگذار به صورت مستقیم در عملکرد دانه لحاظ گردیده است، این در حالی است که در تجزیه علیت عوامل تأثیرگذار به صورت مستقیم و یا از طریق سایر عوامل بر روی عملکرد دانه شناسایی و معرفی می‌گردد.

از طریق ضرایب همبستگی خطی می‌توان تأثیر عوامل محدود کننده (Limiting factors) آب و هوایی را در تغییر عملکرد دانه از طریق تغییر عمومی این عوامل مورد مطالعه و شناسایی قرار داد (Black, 1993; Kumar Das, 1997). با توجه به اینکه در مناطق خشک و نیمه خشک، آب به عنوان اولین عامل محدود کننده رشد محصولات کشاورزی به شمار می‌رود (سالاردینی، 1371؛ Tavakoli et al., 2010, Saradon and Gianibelli, 1992). از نتایج به دست آمده از طریق رگرسیون گام به گام می‌توان چنین استنباط نمود که از بین عوامل اقلیمی مورد مطالعه در این بررسی، بارش و اجزای آن جزو مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش عملکرد دانه گندم دیم به شمار می‌رود. وجود گزارشات مختلف مبنی بر اثر مثبت میزان بارندگی در افزایش عملکرد دانه گندم دیم در دامنه‌های بهینه، نتیجه این تحقیق را تائید می‌کند (سجادی، 1361، کافی و همکاران، 1379، Croissant et al., 1998).

هم‌چنین رن و همکاران روند تابع تولید گندم با عوامل اقلیمی را برای منطقه شان دونگ[1] چین تخمین زدند و تابع تولید اقلیمی برای گندم زمستانه به دست آمد که تابعی از متوسط دمای هوا، کل بارش سال زراعی و ساعات آفتابی برای دوره زمانی فروردین تا خرداد بوده است (Ren et al., 2008). در بررسی فاکتورهای مختلف بر عملکرد گندم نشان داده شد که عامل‌های رطوبت خاک در زمان کاشت، تبخیر و تعرق فصلی، بارش ماه می و بارش ماه ژوئن دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد بوده‌اند (Huang et al., 2004).

بارندگی از طریق تحت تأثیر قرار دادن میزان رطوبت و دمای خاک می‌تواند در تولید عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم بسیار مؤثر واقع شود (Croissant, *et al.*, 1998). نتایج پژوهش‌های انجام گرفته بر روی محصولات مختلف در روسیه نشان می‌دهد که عواملی نظیر بارندگی و هم‌چنین دماهای بالاتر از حد بهینه از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تشکیل سطح برگ و عملکرد گیاهان از جمله ارقام مختلف گندم بوده است (کافی و همکاران، 1379) و با افزایش میزان بارندگی و دما، میزان عملکرد گندم دیم نیز افزایش نشان خواهد داد (سجادی، 1361؛ کافی و همکاران، 1379). طلیعی (1378) به نقش بارش و دما در شرایط دیم کرمانشاه و تاثیر آن بر عملکرد محصولات دیم با توجه به الگوی احتمال وقوع بارش پرداخت.

کارآیی مدل تابع تولید اقلیمی

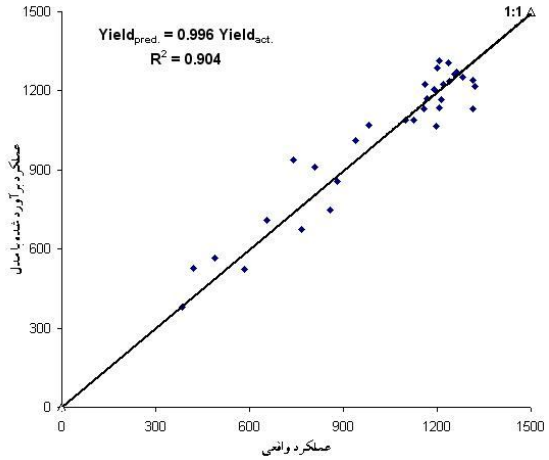
برای بررسی کارآیی توابع تولید محلی و عمومی، نتیجه عملکرد واقعی و عملکرد پیش‌بینی شده با مدل‌ها، میزان و درصد اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی در جدول 6 نشان داده شده است.

[1]. Shandong

جدول 6- نتیجه کاربرد مدل محلی و مدل عمومی تولید گندم برای شهرستان‌های مناطق سرد و نیمه سرد لرستان

					بر مبنای مدل محلی				بر مبنای مدل مناطق سرد استان			
سال زراعی	شهرستان	بارش (میلی‌متر)	عملکرد واقعی (kg/ha)	بهره‌وری بارش (kg/m^3)	عملکرد برآورد شده (kg/ha)	اختلاف عملکرد برآورد شده از واقعی (kg/ha)	درصد خطای نسبی	عملکرد برآورد شده (kg/ha)	اختلاف عملکرد برآورد شده از واقعی (kg/ha)	درصد خطای نسبی
1377-78	خرم‌آباد	277	585	0/21	707	-122	-21	524	61	10
1378-79	خرم‌آباد	300	810	0/27	704	106	13	912	-102	-13
1378-80	خرم‌آباد	446	980	0/22	1098	-118	-12	1069	-89	-9
1380-81	خرم‌آباد	524	1214	0/23	1222	-8	-1	1167	47	4
1381-82	خرم‌آباد	386	1314	0/34	1299	15	1	1131	183	14
1382-83	خرم‌آباد	480	1262	0/26	1240	22	2	1272	-10	-1
1383-84	خرم‌آباد	540	1315	0/24	1388	-73	-6	1241	74	6
1384-85	خرم‌آباد	457	1320	0/29	1141	179	14	1219	101	8
1377-78	الیگودرز	238	385	0/16	390	-5	-1/2	382	3	1
1378-79	الیگودرز	260	765	0/29	763	2	0/2	674	91	12
1378-80	الیگودرز	370	857	0/23	858	-1	-0/1	748	109	13
1380-81	الیگودرز	561	1100	0/20	1099	1	0/1	1088	12	1
1381-82	الیگودرز	405	1158	0/29	1165	-7	-0/6	1134	24	2
1382-83	الیگودرز	519	1124	0/22	1121	3	0/3	1088	36	3
1383-84	الیگودرز	440	1205	0/27	1205	0	0/0	1137	68	6
1384-85	الیگودرز	498	1190	0/24	1189	1	0/1	1205	-15	-1
1377-78	بروجرد	318	420	0/13	425	-5	-1/2	526	-106	-25
1378-79	بروجرد	406	740	0/18	723	17	2/3	938	-198	-27
1378-80	بروجرد	485	940	0/19	965	-25	-2/7	1012	-72	-8
1380-81	بروجرد	452	1196	0/26	1203	-7	-0/6	1067	129	11
1381-82	بروجرد	440	1205	0/27	1173	32	2/7	1316	-111	-9
1382-83	بروجرد	475	1200	0/25	1235	-35	-2/9	1288	-88	-7
1383-84	بروجرد	505	1220	0/24	1220	0	0/0	1227	-7	-1
1384-85	بروجرد	422	1168	0/28	1145	23	2/0	1169	-1	0
1377-78	الشتر	297	490	0/16	483	7	1/5	564	-74	-15
1378-79	الشتر	362	654	0/18	643	11	1/7	710	-56	-9
1378-80	الشتر	508	880	0/17	901	-21	-2/4	858	22	2
1380-81	الشتر	516	1160	0/22	1153	7	0/6	1224	-64	-5
1381-82	الشتر	510	1235	0/24	1254	-19	-1/5	1306	-71	-6
1382-83	الشتر	590	1254	0/21	1237	17	1/3	1265	-11	-1
1383-84	الشتر	479	1283	0/27	1254	29	2/2	1252	31	2
1384-85	الشتر	545	1240	0/23	1258	-18	-1/4	1238	2	0

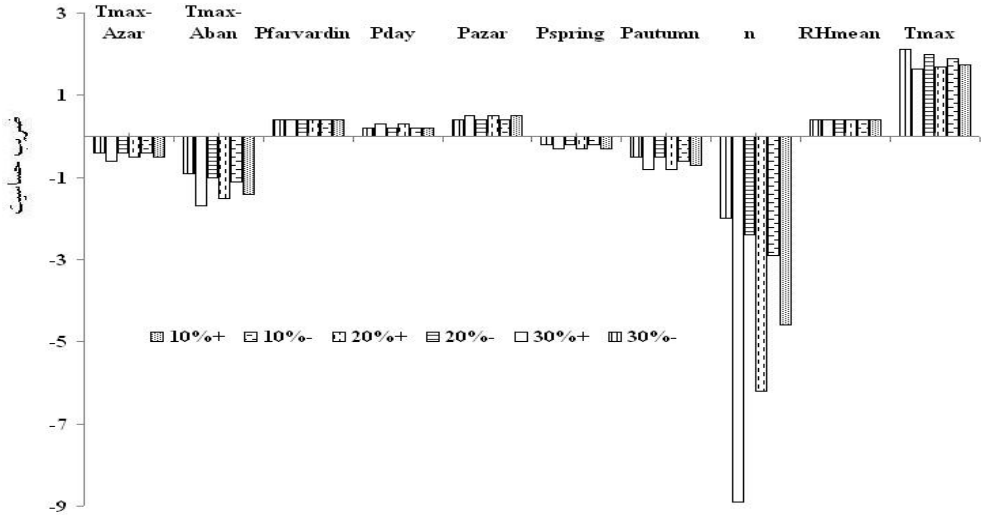
هر دو سری مدل‌ها از قابلیت بالایی در تخمین عملکرد برخوردار بوده و می‌توانند به کار گرفته شوند. مدل‌های محلی نیاز به داده‌های ورودی کم‌تری داشته ولی مدل عمومی نیازمند داده‌های اقلیمی بیشتری است. خط 1:1 برای مقادیر واقعی عملکرد مشاهده شده ($Yield_{act.}$) و مقادیر پیش‌بینی شده ($Yield_{pred.}$) با مدل عمومی تابع تولید در شکل 1 نشان داده شده است. رابطه خطی قوی بین داده‌های مشاهده شده و داده‌های واقعی وجود دارد که بیانگر عملکرد مطلوب تابع تولید استخراجی است.



شکل 1- خط 1:1 عملکرد واقعی گندم و عملکرد پیش‌بینی شده با مدل عمومی مناطق سرد و نیمه سرد لرستان

تحلیل حساسیت مدل بیانگر تاثیر تغییرات داده‌های ورودی بر داده‌های خروجی است. برای تعیین میزان حساسیت خروجی‌های مدل نسبت به داده‌های ورودی، در سه حالت تغییر داده‌های ورودی به میزان 10±، 20± و 30± درصد و ثابت نگه‌داشتن بقیه عامل‌ها، میزان خروجی (عملکرد) برآورد شد.

دامنه تغییرات ضریب حساسیت بدین صورت است که معادل صفر نشان دهنده عدم حساسیت، بین صفر و 0/3 حساسیت کم، بین 0/3 و 1/5 حساسیت متوسط و بیشتر از 1/5 حساسیت زیاد را بیان می‌کند (10). نتایج نشان می‌دهد که در فرآیند تحلیل حساسیت، عامل‌های دمای حداکثر، ساعات آفتابی، بارش پاییزه و دمای حداکثر آبان حساس‌ترین عوامل اقلیمی هستند (شکل 2).



شکل 2 – نتیجه تحلیل حساسیت عوامل اقلیمی موثر در مدل عمومی

صحت‌سنجی کارایی مدل‌های محلی و مدل عمومی

برای ارزیابی و صحت‌سنجی کارایی مدل‌های محلی و مدل مناطق سرد و نیمه سرد استان از مشخصه‌های آماره‌ای مختلفی استفاده شد. مشخصه‌های آماره‌ای به کار رفته برای برازش مدل با مقادیر واقعی عبارت بود از: میانگین خطای مطلق[1]، حداکثر خطای مطلق[2]، ریشه دوم خطای میانگین مربعات[3]، شاخص ویل‌موت[4] یا شاخص سازگاری (Willmott, 1982) و کارایی مدل[5] (Loague and Green, 1991).

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \qquad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|O_i - P_i| \qquad (7)$$

$$MAXE = MAX\left(|O_i - P_i|\right)_{i=1}^{n} \qquad (8)$$

$$RMSE(\%) = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}}\right) * 100/\overline{O} \qquad (9)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|O_i - \overline{O}\right| + \left|P_i - \overline{O}\right|\right)^2} \qquad (10)$$

که در آن P_i: مقدار پیش‌بینی شده، O_i: مقدار اندازه‌گیری شده (مشاهده شده)، $\bar{O}_i$: میانگین مقادیر مشاهده شده، n: تعداد نمونه‌ها است.

مشخصه RMSE مقادیر کلی یا میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که نشان دهنده عدم اطمینان مطلق مدل می‌باشد. هرچه RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است. مشخصه d یک عامل توصیفی است که مقدار آن از ∞- تا 1+ تغییر می‌کند (Eitzinger et al., 2004; Singh et al., 2008). مقدار زیاد MAXE نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است.

[1]. Mean absolute error = MAE
[2]. Maximum absolute error =MAXE
[3]. Root mean square error = RMSE
[4]. Index of agreement = d
[5]. Efficiency = EF

جدول 7- مقدار شاخص‌های آماری برای تعیین درجه اعتماد مدل‌های محلی و مدل مناطق سرد و نیمه سرد استان

سال	d	EF	MAE	MAXE	RMSE (%)
خرم‌آباد	0/96	0/834	80/4	179	9
الیگودرز	1	1	2/5	7	0/3
بروجرد	0/998	0/994	18	35	2/1
الشتر	0/999	0/996	16/1	29	1/7
مدل عمومی	0/977	0/904	64/6	198	7/9

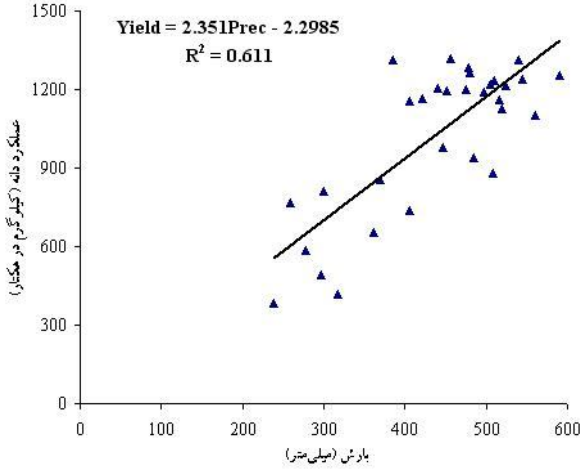
آنالیز شاخص‌های آماری در جدول 7 ارائه شده است. مقدار شاخص سازگاری (d) نزدیک 1 است که نشان از سازگاری مدل در عملکرد پیش‌بینی شده با عملکرد واقعی دارد. ماکزیمم خطا (MAXE) نشان می‌دهد که مدل‌های محلی الیگودرز، بروجرد و الشتر از قابلیت بالایی در برآورد عملکرد دارد و با توجه به مقادیر RMSE در این مناطق، حاکی از سازگاری بالای توابع تولید شده است. هر چند که ماکزیمم خطا در تابع تولید تولید شده برای خرم‌آباد و تابع تولید مناطق سرد به ترتیب 179 و 198 کیلوگرم است اما میزان خطای آنها فقط در حد 9 و 7/9 درصد است که برآورد مناسبی به شما می‌رود.

کاربرد مدل مناطق سرد و نیمه سرد استان برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم خارج از دوره آماری 8 ساله حاکی از این است که سازگاری مناسبی برای خرم‌آباد وجود دارد و برای دیگر مناطق بین 15 تا 27/5 درصد خطا وجود دارد (جدول 8). لذا به نظر می‌رسد که برای خرم‌آباد مدل مناطق سرد و برای شهرهای الیگودرز، بروجرد و الشتر مدل محلی مناسب‌تر است.

جدول 8- کاربرد مدل مناطق سرد و نیمه سرد استان برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم خارج از دوره آماری 8 ساله

منطقه	سال زراعی	عملکرد واقعی ($Kg.ha^{-1}$)	عملکرد برآورد شده ($Kg.ha^{-1}$)	درصد خطای نسبی
خرم‌آباد	1375-76	1115	1155	-3/6
خرم‌آباد	1376-77	1248	1188	4/8
الشتر	1376-77	1256	1444	-15
بروجرد	1376-77	1125	1434	-27/5
الیگودرز	1376-77	995	1145	-15

تابع حاصل از رابطه بارش- عملکرد گندم در مناطق سرد و نیمه سرد استان لرستان خطی است و نشان‌دهنده این واقعیت است که با افزایش بارش عملکرد نیز افزایش می‌یابد (شکل 3). بدیهی است که هر چه میزان بارش افزایش می‌یابد احتمال دستیابی به یکنواختی پراکنش بارش بیش‌تر خواهد شد و البته در صورتی که سهم بارش‌های بهاره و پاییزه بیش‌تر شود (از جمله اعمال آبیاری تکمیلی در این دو مقطع زمانی) دست‌یابی به این هدف تسریع خواهد شد.



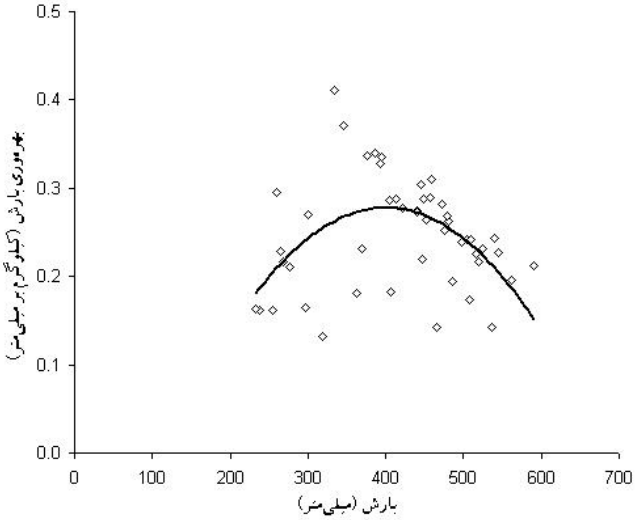
شکل 3- رابطه بین بارش سالیانه و عملکرد گندم دیم در مناطق سرد و نیمه سرد استان لرستان

در توابع محلی تولید اقلیمی گندم دیم مناطق سرد، عامل کمبود فشار بخار دوره رشد محصول خودنمایی می‌کند که حائز اهمیت و توجه است. با توجه به مقادیر بهره‌وری بارش در مناطق سرد نشان داده می‌شود که در این مناطق، بهره‌وری بارش از متوسط کشوری کم‌تر است علت آن ضعف مدیریت بارش است که سبب شده تولید متناسب با بارش صورت نپذیرد. ضمن اینکه اینگونه نیست که با افزایش بارش، بهره‌وری بارش نیز افزایش یابد، بلکه یک رابطه درجه دوم بین بهره‌وری بارش – بارش در تولید گندم دیم استان لرستان وجود دارد این روند در شکل 4 نشان داده شده و معادله حاکم بر آن به صورت زیر است:

(11)

$$RWP_{wheat} = -0.319 + 0.003\,\mathrm{Prec} - 3.47\times10^{-6}\,\mathrm{Prec}^2$$

$$R^2 = 0.5 \qquad SE = 0.055$$



شکل 4- رابطه بین بارش و شاخص بهره‌وری بارش در تولید گندم در استان لرستان

کمبود یا تنش رطوبتی برای گیاه زمانی اتفاق می‌افتد که تبخیر تعرق واقعی از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک بیشتر شود و این عامل باعث کاهش رشد اندام‌های هوایی و ریشه گندم و در نهایت افت عملکرد دانه آن خواهد شد (8). اثرات تلفیقی هم‌سو[12] و اثرات تلفیقی ناهم‌سو[13] تعدادی از عوامل آب و هوایی از طریق یکدیگر بر روی عملکرد دانه مشخص گردیده است. در غلات دو عامل تعداد دانه در واحد سطح و وزن دانه تعیین کننده، عملکرد اقتصادی است که واکنش آنها نسبت به شرایط مختلف آب و هوایی بسیار سریع و حساس می‌باشد (8).

مطابق با جدول 5 و توضیحات آن، بارندگی و دما از جمله دو عامل بسیار مهم آب و هوایی هستند که به طور مستقیم یا غیر مستقیم (از طریق کمبود فشار بخار اشباع) از طریق تحت تأثیر قرار دادن میزان رطوبت و دمای خاک می‌توانند در تولید عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم بسیار مؤثر واقع شوند. بنابراین، این دو عامل به غیر از تحت تأثیر قرار دادن اندام‌های رویشی و زایشی گندم، بر رشد و نمو ریشه این گیاه، میزان جذب آب و مواد غذایی و در نهایت عملکرد دانه گندم دیم مؤثر واقع می‌شوند (4). مطابق مطالعه صورت گرفته در مراغه توسط فیضی اصل و همکارن (6) نشان داده شد که در رگرسیون ساده از کل عوامل مورد مطالعه تنها بین دو عامل متوسط رطوبت نسبی هوا و مجموع بارندگی سال زراعی با عملکرد دانه رابطه معنی‌دار از لحاظ آماری در سطح احتمال 1 درصد وجود داشت.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که مدل عمومی هر چند که نیازمند داده‌های اقلیمی بیشتری است، اما در برآورد عملکرد می‌تواند موثر واقع شود. بیشینه، کمینه و میانگین بهره‌وری بارش در تولید گندم دیم مناطق مورد مطالعه به ترتیب 0/341، 0/132 و 0/234 کیلوگرم بر متر مکعب بارش است که میانگین آن حدود 20 درصد از میانگین کشوری (0/292 کیلوگرم بر متر مکعب بارش) کم‌تر می‌باشد. در فرآیند تحلیل حساسیت، نشان داده شد که دمای حداکثر، ساعات آفتابی، بارش پاییزه و دمای حداکثر آبان حساس‌ترین عامل اقلیمی هستند. توابع تولید اقلیمی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم محسوب شده و می‌تواند در مدیریت زراعی و تعدیل اثرات عوامل اقلیمی موثر باشد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج پروژه تحقیقاتی شماره 89006-15-49-4 است که با اعتبارات و امکانات موسسه تحقیقات کشاورزی دیم و مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود) اجرا گردید، بدین وسیله تشکر و قدردانی می شود.

[12] - Synergistic
[13] - Antagonistic

منابع مورد استفاده:

1. Aldaya, M.M., Allan, J.A., and Hoekstr, A.Y. 2010. Strategic importance of green water in international crop trade. Ecological Economics, 69: 887–894.
2. Asadi, M.A., and Aghili, R. 2009. Water productivity for wheat, rice, cotton and maize crops at world irrigated areas and compare with national data. 12th national seminar of Iranian National Committee of Irrigation and Drainage, pp 93-110. (in Farsi)
3. Black, C.A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers. USA.
4. Croissant, R.L., Peterson, G.A., and Westfall, D.G. 1998. Dryland Cropping Systems. Colorado State University, Cooperative Extension. Bulletin No. 0.516
5. Eitzinger, J., M. Trnka, J. Hösch, Z. Žalud, and M. Dubrovský. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecol. Modell. 171:223–246.
6. Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Abdolrahmani, B., Mousavi, S.B., and Karimi, E. 2010. Study effects of climate parameters on grain yield of rainfed wheat (Sardari cultivar) at Maragheh region. Iranian J. of Field Crops Research, 8(1): 1-11.
7. Huang, M., Gallichand, J., and Zhong, L. 2004. Water–yield relationships and optimal water management for winter wheat in the Loess Plateau of China. Irri. Sci, 23: 47–54
8. Kafi, M., Ganjali, A., Nezami, A., and Shariatmadari, F. 1990. Weather parameters and crops yields. Mashhad Jahad e Daneshgahi press, 31p. (in Farsi)
9. Kumar Das, D. 1997. Introductory Soil Science. Kalyani Publishers, India.
10. Liu HF,. Genard M Guichard S and Bertin N, 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes. Journal of Experimental Botany 58(13): 3567-3580.
11. Loague, K., and Green, R.E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. J. Contam.
12. Popper, D.E., and Popper, F.J. 1987. The Great Plains: from dust to dust. Planning (December): 1318.
13. Ren, J., Chen, Z., Zhou, Q., and Tang, H. 2008. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 10: 403–413
14. Rosenzweig, C., and Reibsame, W.E. 1989. Great Plains. p. 353-370. In: Lawson, M.P., and M.E. Baker (Eds.). The Great Plains: Perspectives and Prospects. Lincoln: University of Nebraska Press.
15. Sajadi, A. 1982. Growth physiologic of wheat. Soil and Water Research Institute, paper No 622, 33p. (in Farsi)
16. Saradon, S.J., and Gianibelli, M.C. 1992. Effect of foliar spraying of urea during or after anthesis on dry matter and nitrogen accumulation in the grain of two wheat cultivars of *T. aestivum L.* Fer .Res. 31: 79-84
17. Singh, A.K., Tripathy, R., and Chopra, U.K. 2008. Evaluation of CERES Wheat and CropSyst models for water—Nitrogen interactions in wheat crop. Agric. Water Manage. 95:776–786.
18. Taliei, A.A. 1999. Final report of pattern and probability of rainfall and its effects on rainfed crops yields. Kermanshah Agricultural Research Center, 70p. (in Farsi)
19. Tavakoli, A.R., Oweis, T., Ashrafi, Sh., Asadi, H., Siadat, H., and Liaghat, A. 2010. Improving rainwater productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh river basin of Iran. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria, 123pp.

20. Warrick, R.A., and Bowden, M.J. 1981. The changing impacts of drought in the Great Plains. p. 111-137. In: Lawson, M. P., and M. E. Baker (eds.). The Great Plains: Perspectives and Prospects. Lincoln: University of Nebraska Press.
21. Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Meteorol. Soc. 63:1309–1313.
22. Worster, D. 1979. Dust Bowl: The Southern Great Plains in the 1930. New York: Oxford University Press.