نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال سوم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۲

ISSN 2251-7480

تعیین عوامل موثر بر توابع تولید اقلیمی جو دیم و تحلیل حساسیت آن در مناطق سرد و نیمه‌سرد استان لرستان

علیرضا توکلی[1*]، عبدالمجید لیاقت[2] و امین علیزاده[3]

۱) استادیار پژوهشی؛ بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی استان سمنان (شاهرود)؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: art.tavakoli@gmail.com

۲) استاد؛ گروه مهندسی آبیاری و آبادانی؛ دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی؛ دانشگاه تهران؛ کرج؛ ایران

۳) استاد؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه فردوسی مشهد؛ مشهد؛ ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۰۸/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۸

چکیده

شناخت عوامل موثر و برنامه‌ریزی برای مدیریت آنها و هماهنگ‌سازی عملیات زراعی با روند تغییرات عوامل موثر، منجر به بهبود شرایط تولید و پیش‌بینی دقیق‌تر تولید خواهد شد. رشد محصولات و تولید آنها در شرایط دیم، تابعی از تغییرات عوامل اقلیمی است. بدین منظور، آمار ۲۵ عامل هواشناسی دسته‌بندی شده همراه با آمار زراعی عملکرد جو دیم در شهرستان‌های الشتر، خرم‌آباد، الیگودرز و بروجرد به عنوان نمونه مناطق سرد و نیمه‌سرد استان لرستان برای سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۷۷ به کار گرفته شد. با استفاده از تجزیه علیت، ضریب همبستگی به دو بخش اثرات مستقیم و غیرمستقیم تفکیک شد. نتایج حاصل از هر یک از توابع تولید اقلیمی نشان‌دهنده نقش بارز کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در توابع تولید است. مدل‌های محلی نیاز به داده‌های ورودی کمتری دارند لیکن مدل منطقه‌ای نیازمند داده‌های اقلیمی بیشتری است. با تعیین شاخص بهره‌وری بارش در تمام این مناطق طی ۸ سال زراعی، بیشترین، کمترین و میانگین بهره‌وری بارش به ترتیب ۰/۳، ۰/۱۵ و ۰/۲۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب بارش به دست آمد که میانگین آن حدود ۶ درصد از میانگین کشوری (۰/۲۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب بارش) کمتر می‌باشد. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که دمای حداکثر، ساعات آفتابی، دمای حداکثر مطلق و کمبود فشار بخار اشباع دوره رشد، حساس‌ترین عامل اقلیمی هستند. توابع تولید اقلیمی ابزار مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد بوده و می‌تواند در فرآیند تصمیم‌گیری برای بهبود فعالیت‌های زراعی دیم به کار رود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری بارش؛ تجزیه علیت؛ عوامل اقلیمی

مقدمه

کشاورزی نقش کلیدی در توسعه اقتصادی (Word Bank, 2005) و نیز در کاهش فقر و تهیدستی افراد بشر دارد (Irz and Roe, 2000). ضرورت یافتن راه‌کار مناسب برای افزایش بهره‌وری آب از طریق بهبود ستاده‌های اقتصادی یا زراعی به ازای واحد آب مصرفی در هر دو سامانه زراعت آبی و دیم وجود دارد (Kassam *et al.*, 2007).

در زراعت دیم در استان لرستان و به عنوان بخشی از بالادست حوضه کرخه، بهره‌وری بارش نه تنها کم است بلکه دارای تغییرات شدیدی است که این موضوع متأثر از مدیریت زراعی ضعیف، محدودیت دسترسی به ماشین‌ها و ادوات زراعی، کمبود خدمات ترویج و نیز تغییرات مقدار و پراکنش بارش می‌باشد (Tavakoli *et al.,* 2010). برای افزایش و پایداری بهره‌وری بایستی به درآمد زارعین و ویژگی‌های محلی توجه داشت. تحت شرایط اقلیمی، شیوه‌های مدیریت آب باران بایستی با دیگر مدیریت‌های زراعی و اقلیمی تلفیق و سازگار شود تا سبب بهبود معیشت و پایداری آن گردد. غلات زمستانه از جمله مهم‌ترین محصولات زراعی در اراضی دیم با عملکرد اندک و متغیر هستند که در بیشتر این مناطق عملکرد این محصولات از ۱ تا ۲ تن در هکتار متغیر است در حالی که عملکرد قابل دسترس بیشتر از ٤ تن در هکتار می‌باشد (Falkenmark *et al.,* 2001). بهره‌وری بارش در شرایط حاضر برای محصولات دیم بالادست حوضه کرخه بین ۰/۲ تا ۰/۵ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر است در حالی که مقدار کل بارش سالانه بین ۳۵۰ تا بیش از ۵۰۰ میلی‌متر نوسان دارد.

زراعت دیم در مقابل تغییرات آب و هوایی آسیب‌پذیر بوده و تولید آن علاوه بر نقش مدیریت زراعی به تغییرات عوامل اقلیمی بستگی دارد. برای توسعه سامانه زراعت دیم، دو روش می‌تواند مورد توجه قرار گیرد: ۱) بیمه محصولات دیم در مقابل تنش‌ها و تغییرات آب و هوایی و پرداخت بیمه به خسارت دیدگان زراعت دیم ۲) انجام تحقیقات در زمینه خشکی و رسیدن به راهکارهایی برای رفع این معضل جهانی (Warrick and Bowden, 1981).

آسیب‌پذیری از تغییرات آب و هوایی از جمله عواملی است که همواره در میزان تولید غلات در بسیاری از مناطق مؤثر بوده است. این خطرپذیری شامل انحراف عوامل اقلیمی از وضعیت ایده‌آل و دامنه‌های نرمال آنها می‌شود. این دامنه‌ها به شرایط فیزیولوژیک و اکولوژیک محصولات مرتبط است و وضعیت ایده‌آل و دامنه‌های نرمال یک محصول با محصولات دیگر و حتی ارقام و واریته‌های دیگر همان محصول متفاوت و متمایز باشد.

میزان و پراکنش بارش و تغییرات دما 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 (Tavakoli *et al.,* 2010). 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 (Crossant *et al.,* 1998). 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 تقاضای تبخیری اتمسفر بالای برگ‌ها (تبخیر و تعرق بالقوه) از ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک تجاوز نموده و فراتر رود.

جو از غلات مهم در جهان است و به عنوان یکی از گیاهان بومی شده اولیه، در فرایندهای مختلف نقش دارد که از جمله آنها می‌توان به کاربرد آن در صنعت، استفاده در تعلیف دام و قرار داشتن در جیره غذایی انسان اشاره کرد. ضمن اینکه در گروه گیاهان علوفه‌ای نیز قرار می‌گیرد. اهمیت تأمین علوفه با توجه به نیاز آن برای تولید پروتئین حیوانی بر کسی پوشیده نیست. در مناطقی که بارندگی کافی ندارند و نوع خاک نیز برای تولید گندم مناسب نیست، جو جایگزین می‌شود. جو بعد از گندم دارای بیشترین سطح زیر کشت دیم در کشور است. گستره کشت جو نسبت به گندم وسیع‌تر است زیرا علاوه بر کشت در اراضی مستعد و حاصل‌خیز، در اراضی فقیر از نظر حاصل‌خیزی، شور و کم‌عمق و نیز آب شور قابل کشت است.

از آن جایی که عوامل اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تولید جو دیم می‌باشد و تنش رطوبتی و

دمایی از عمده عوامل پائین بودن عملکرد آن در واحد سطح است، از این نظر شناسایی و معرفی عوامل مؤثر اقلیمی بر عملکرد دانه و بهره‌وری بارش جو دیم، به منظور انجام مطالعات بیشتر در جهت کاهش صدمات ناشی از این عوامل بر تولید جو دیم در مناطق سرد و نیمه سرد استان لرستان از جمله اهداف عمده این بررسی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آمار هواشناسی شهرستان‌های الشتر، خرم‌آباد، الیگودرز و بروجرد به عنوان مناطق سرد و نیمه سرد استان برای سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۷۷ به همراه آمار زراعی عملکرد جو دیم طی این سال‌ها در هر یک از شهرستان‌ها به منظور مطالعه اثرات عوامل اقلیمی بر روی عملکرد دانه جو دیم در استان لرستان، جمع‌آوری شد. در این بررسی آمار ۲۵ عامل هواشناسی دسته‌بندی شد که عبارت بودند از: دمای حداکثر (Tmax)، دمای حداقل (Tmin)، دمای متوسط (Tmean)، رطوبت نسبی متوسط (RHmean)، ساعات واقعی آفتابی (n)، کل بارش سال زراعی (Prec)، مجموع بارش پاییزه (Pautumn)، مجموع بارش زمستانه (Pwinter)، مجموع بارش بهاره (Pspring)، شماره روز از اول مهر ماه تا اولین بارش ۱۰ میلی‌متری (Start rain)، شماره روز از اول مهر ماه تا آخرین بارش ۱۰ میلی‌متری (End rain)، دمای حداقل مطلق (Tmin-abs)، دمای حداکثر مطلق (Tmax-abs)، بارش آبان ماه (Paban)، بارش آذر ماه (Pazar)، بارش دی ماه (Pday)، بارش فروردین ماه (Pfarvardin)، بارش اردیبهشت ماه (Pordibehesht)، 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). داده‌های جمع‌آوری شده در این بررسی با استفاده از ضرایب همبستگی، همبستگی ساده و گام به گام مورد مطالعه قرار گرفت.

برای تخمین تابع تولید اقلیمی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد که حاوی مدل‌های مختلفی است. رابطه هر یک از عوامل آب و هوایی به عنوان متغیر مستقل، با عملکرد دانه جو دیم به عنوان تابع، از طریق همبستگی‌های 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 عامل‌ها، به تدریج و در گام‌های مختلف اقدام به حذف عوامل فاقد اثر معنی‌دار شد و در نهایت مدلی برازش داده شد که دارای بیشترین کارایی بوده است. پس از جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از تجزیه علیت[1]، 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، ۱۳۸۹). 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 جو دیم، به کمک نرم‌افزار SPSS از رگرسیون گام به گام استفاده شد.

نتایج و بحث

مقادیر میانگین و انحراف استاندارد عوامل به کار رفته در برآورد تابع تولید اقلیمی در جدول ۱ خلاصه شده است. مطابق با این جدول، میانگین عملکرد جو در چهار شهرستان طی ۸ سال منتهی به ۸۵-۱۳۸٤ برابر ۹۷۳

[1] Path analysis
[2] Correlation coefficient

کیلوگرم در هکتار است. متوسط دمای سالانه ۱٤/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش ٤۳۸ میلی‌متر است. سهم بارش پاییزه، زمستانه و بهاره به ترتیب ۳۰، ٤۵ و ۲۵ درصد است. اولین بارش پاییزه به طور کلی در دهه دوم ماه دوم پاییز اتفاق می‌افتد. سهم بارش آبان از کل بارش پاییزه برابر ۳٤ درصد و سهم بارش فروردین و اردیبهشت از کل بارش بهاره به ترتیب ۷۰ و ۲۷/۵ درصد بوده است. شناخت این عامل‌ها و مقادیر انحراف معیار هر یک، تحلیل معادلات و روابط مربوط به توابع تولید اقلیمی را آسان خواهد کرد.

جدول ۱. مقادیر میانگین و انحراف استاندارد عامل‌ها در برآورد مدل تولید جو در مناطق سرد و نیمه سرد لرستان

عامل	میانگین	انحراف معیار	واحد *	عامل	میانگین	انحراف معیار	واحد *
Yield	۱۰۲۷	۲۸۱/۹۳	Kg/ha	$T_{max-abs}$	۳۹/۵	۲/۳٦	°C
T_{max}	۲۲/۳	۲/۲۳	°C	P_{Aban}	٤٤/۲	۲۳/۸۵	mm
T_{min}	٦/٦۱	۲/٤۳	°C	P_{Azar}	۷۷/۸	۵۸/۸٤	mm
T_{mean}	۱٤/۵	۲/۰۱	°C	P_{Day}	٦۸/۰	۳۹/۲۹	mm
RH_{mean}	٤٤/۱	٦/٦٦	%	$P_{Far.}$	۷۸/۰	٤۰/۵۷	mm
n	۲٦۵/٤	۱۰/۰۷	hr	$P_{Ord.}$	۳۰/۷	۲۷/۹۰	mm
Preci.	٤۳۷/۹	۹۳/۷۳	mm	$T_{max-Aban}$	۱۸/٤	۲/۳٤	°C
P_{Autumn}	۱۲۹/۵	۷۲/۳٤	mm	$T_{max-Azar}$	۱۲/۲	۳/٦۰	°C
P_{Winter}	۱۹۵/۲	۷۲/۸۱	mm	$T_{max-Far.}$	۱۸/۳	۲/٤٦	°C
P_{Spring}	۱۱۱/٦	۵٤/۹۱	mm	$T_{max-Ord.}$	۲٤/۰	۲/٤٦	°C
P_{Start}	٤۸/۸	۱۸/٦۹	mm	$T_{max-Khor.}$	۳۱/۱	۲/۷۱	°C
P_{End}	۲۰۵/۷	۲۰/۷۵	mm	VPD	۱/٤۳	۰/۲۳	
$T_{min-abs}$	−۱۱/۵	۵/۳۰	°C	VPDcs (crop season)	۱/۰۷	۰/۱۹	

* kg/ha: کیلوگرم در هکتار، °C: درجه سانتی‌گراد، mm: میلی‌متر

برای تعیین میزان ارتباط واقعی بین عوامل ۲۵ گانه آب و هوایی فوق و عملکرد جو دیم در چهار شهرستان و ۸ سال داده (در مجموع ۳۲) از نرم‌افزار SPSS و رگرسیون چند متغیره استفاده شد. نتیجه تجزیه واریانس رگرسیون چند متغیره مدل Backward در جدول ۲، حاکی از معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ درصد است. ضریب تبیین تصحیح شده معادله رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در رابطه می‌تواند ۸۷ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری بطور کامل معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۲. تجزیه واریانس رگرسیون چند متغیره برای مدل تولید جو در مناطق سرد و نیمه سرد لرستان

منابع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
رگرسیون	۲۲۵۵۱٤۱	۱۰	۲۲۵۵۱٤/۱	**۲۲/۷
باقیمانده	۲۰۸۹۲۱/۳	۲۱	۹۹٤۸/٦	
کل	۲٤٦٤۰٦۲	۳۱		

R^2= ۰/۸۷ R^2_{adj}=۰/۹۲

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

ضرایب تابع اقلیمی تولید، تحلیل معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی عامل‌ها، 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 به شرح زیر است. ضرایب تابع تولید اقلیمی، ضریب همبستگی، اثر مستقیم عامل‌ها و نیز آزمون آماری t برای تعیین سطح معنی‌دار بودن عوامل موثر در تابع تولید اقلیمی جامع مناطق سرد و نیمه سرد در جدول ۳ آمده است.

تابع تولید اقلیمی بروجرد:

$$Yield_{boroujerd} = -2079.3 + 94.2\ RH_{mean} - 0.96\ P_{Autumn} - 584.7\ VPD_{cs} \qquad R^2 = 0.947 \quad R^2_{adj} = 0.908 \qquad (۱)$$

بین متوسط رطوبت نسبی هوا (**۰/۷۹۹) و کل بارش سال زراعی (**۰/۷۲۲) با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی‌داری مشاهده نشد.

ضریب تبیین تصحیح شده (adjusted coefficient of determination) رابطه رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در رابطه می‌تواند ۹۰/۸ درصد تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری کاملاً معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج نشان داد که ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضرایب متغیرهای مستقل متوسط رطوبت نسبی و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

تابع تولید اقلیمی خرم‌آباد:

$$Yield_{Khorramabad} = 2132.7 + 9.3\ Start\text{-}rain - 30.5\ T_{min\text{-}abs} + 2.4\ P_{Aban} + 1.9\ P_{Day} + 0.99\ P_{Ord} - 1442.3\ VPD_{cs} \qquad (۲)$$
$$R^2 = 1 \quad R^2_{adj} = 1$$

بین روز تا آخرین بارش موثر (**۰/۸۵) و بارش بهاره (*۰/۷۳۵) با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین تعداد ساعات آفتابی (*۰/۷۱۱-) با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد. بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی داری مشاهده نشد.

با توجه به ضریب تبیین تصحیح شده رابطه رگرسیونی تغییرات عوامل هواشناسی رابطه کل تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه می‌کند که از لحاظ آماری بطور کامل معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج نشان داد که ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضریب متغیر مستقل تاریخ شروع بارش و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در سطح احتمال یک درصد و ضریب متغیر مستقل دمای حداقل مطلق، بارش آبان ماه، بارش دی ماه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.

تابع تولید اقلیمی الیگودرز:

$$Yield_{Aligodarz} = 1569 + 79.6\ T_{min} + 50.2\ T_{max\text{-}abs} + 1.8\ P_{Day} - 1780.8\ VPD_{cs} \quad R^2 = 0.998 \quad R^2_{adj} = 0.995 \qquad (۳)$$

بین کل بارش سال زراعی (**۰/۹۲۵)، بارش دی ماه (*۰/۷۵۱) و روز تا آخرین بارش موثر (*۰/۷۸۹) با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین دمای حداکثر اردیبهشت ماه (*۰/۸۱۳-) و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول (*۰/۷۹٤-) با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد. بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی‌داری مشاهده نشد.

ضریب تبیین تصحیح شده رابطه رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در رابطه می‌تواند ۹۹/۵ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری بطور کامل معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج نشان داد که ضریب ثابت رابطه رگرسیونی غیر معنی‌دار و ضرایب متغیرهای مستقل دمای حداقل، دمای حداکثر مطلق، بارش دی ماه و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

تابع تولید اقلیمی الشتر:

$$Yield_{Aleshtar} = 42461 + 3.5\,P_{Day} - 98.6\,T_{\max-Aban} - 18384\;\; VPD_{cs} \quad R^2 = 0.875 \quad R^2_{adj} = 0.782 \qquad (٤)$$

بین کل بارش (**۰/۸٤٦) با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین تعداد ساعات آفتابی (*۰/۷۷۹-) با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد. بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی‌داری مشاهده نشد.

ضریب تبیین تصحیح شده رابطه رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در رابطه می‌تواند ۷۸/۲ درصد تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری بطور کامل معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج نشان داد که ضریب ثابت رابطه رگرسیونی در سطح احتمال یک درصد و ضرایب متغیرهای مستقل دمای حداکثر آبان،، بارش دی ماه و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است.

تابع تولید جامع منطقه‌ای:

$$\begin{aligned} Yield_{Cold-area} = {} & 6769.76 + 201.64\,T_{\max} + 53.35 T_{\min} - 6.52 RH_{mean} - 21.96 n + 0.59\,P_{Autumn} + 3.25 P_{Spring} - 31.67 T_{\min_abs} \\ & - 106.97 T_{\max-abs} - 5.36 P_{Aban} + 4.47 P_{Day} - 5.21\,P_{Ord.} - 22.44 T_{\max-Azar} - 678.74 VPD_{cs} \\ & R^2 = 0.92 \quad R^2_{adj} = 0.87 \end{aligned} \qquad (٥)$$

بین کل بارش (**۰/۷۳٤)، بارش زمستانه (**۰/۵۳٦)، متوسط رطوبت نسبی هوا (**۰/۵۲٦)، بارش بهاره (*۰/٤۲٦) و روز تا آخرین بارش موثر (*۰/٤۱۷)، دمای حداکثر مطلق (*۰/٤۱٦)، بارش آبان ماه (*۰/۳۵٤) و بارش فروردین ماه (*۰/۳۵۳) با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار و بین تعداد ساعات آفتابی (**۰/٦۹۱-) با عملکرد دانه، رابطه منفی و معنی‌دار وجود دارد. بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی‌داری مشاهده نشد.

ضریب تبیین تصحیح شده رابطه رگرسیونی نشان می‌دهد که تغییرات عوامل هواشناسی موجود در رابطه می‌تواند ۸۷ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد دانه را توجیه نمایند که از لحاظ آماری بطور کامل معنی‌دار می‌باشد. با بررسی ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، نتایج

نشان داد که ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضرایب متغیرهای مستقل دمای حداکثر، دمای حداقل، تعداد ساعات آفتابی، بارش بهاره، دمای حداقل مطلق، دمای حداکثر مطلق، بارش آبان ماه، بارش دی ماه و کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در سطح احتمال یک درصد و ضرایب متغیرهای مستقل متوسط رطوبت نسبی و بارش پاییزه و دمای حداکثر آذر ماه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

آنچه که از توابع تولید این مناطق و مدل جامع منطقه‌ای 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 روابط 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، ۱۳۸۸). ضمن اینکه در بیشتر این مناطق رطوبت نسبی، بارش بهاره و کل بارش دارای اثر مثبت می‌باشد.

جدول ۳. ضرایب تابع اقلیمی تولید جو، همبستگی و اثر مستقیم و آزمون آماری t برای مناطق سرد و نیمه سرد لرستان

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations R^2
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	٦٧٦٩/٧٦	١٤٤٩	–	٤/٧	٠/٠٠٠	
Tmax	٢٠١/٦٤	٤٣/٧	١/٨٧	٤/٦	٠/٠٠٠	^{ns}٠/٢٥١
Tmin	٥٣/٣٥	١٥/٤	٠/٥٤	٣/٥	٠/٠٠٣	^{ns}-٠/٠٦٧
RHmean	-٦/٥٢	٣/٣	-٠/١٨	-١/٩٦	٠/٠٦٥	**٠/٥٢٦
n	-٢١/٩٦	٣/١	٠/٩١	-٧	٠/٠٠٠	**-٠/٦٩١
P-Autumn	٠/٥٩	٠/٢٩	٠/١٨	٢	٠/٠٦١	^{ns}٠/١٠٢
P-Spring	٣/٢٥	٠/٥٧	٠/٧٤	٥/٧	٠/٠٠٠	*٠/٤٢٦
Tmin-abs	-٣١/٦٧	٦/١	-٠/٦٩	-٥/٢	٠/٠٠٠	^{ns}٠/١٠٤
Tmax-abs	-١٠٦/٩٧	٣٥/٥	-١/٠٥	-٣	٠/٠٠٨	*٠/٤١٦
P-Aban	-٥/٣٦	١	-٠/٥٣	-٥/٢	٠/٠٠٠	*٠/٣٥٤
P-Day	٤/٤٧	٠/٤٩	٠/٧٣	٩	٠/٠٠٠	**٠/٥٥٥
P-Ord.	-٥/٢١	١/٢٩	-٠/٦	-٤	٠/٠٠١	^{ns}٠/٢٥١
Tmax-azar	-٢٢/٤	١٠/٩٧	-٠/٣٤	-٢	٠/٠٥٦	^{ns}٠/٢٥١
VPDcs	-٦٧٨/٧	١٤٦/٥	-٠/٦٤	-٤/٦	٠/٠٠٠	^{ns}-٠/٠٦٧

ضرایب همبستگی بین عوامل اقلیمی و عملکرد نشان داد که بین متوسط رطوبت نسبی هوا (**٠/٥٢٦)، بارش زمستانه (**٠/٥٣٦) و کل بارش (**٠/٧٣٤) با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح آماری یک درصد و بین بارش بهاره (*٠/٤٢٦)، تاریخ آخرین بارش (*٠/٤١٧)، دمای حداکثر مطلق (*٠/٤١٦)، بارش آبان ماه (*٠/٣٥٤) و بارش فروردین ماه (*٠/٣٥٣) با عملکرد دانه، رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد وجود دارد.

ضرایب تابع تولید اقلیمی، ضریب همبستگی، اثر مستقیم عامل‌ها و نیز آزمون آماری t برای تعیین سطح معنی‌دار بودن عوامل موثر در تابع تولید اقلیمی جامع مناطق سرد و نیمه سرد در جدول ۳ و ٤ آمده است.

ضرایب همبستگی بین عوامل اقلیمی و عملکرد نشان داد که بین متوسط رطوبت نسبی هوا (**۰/۵۲۶)، بارش زمستانه (**۰/۵۳۶) و کل بارش (**۰/۷۳٤) با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح آماری یک درصد و بین بارش بهاره (*۰/٤۲٦)، تاریخ آخرین بارش (*۰/٤۱۷)، دمای حداکثر مطلق (*۰/٤۱٦)، بارش آبان ماه (*۰/۳٥٤) و بارش فروردین ماه (*۰/۳٥۳) با عملکرد دانه، رابطه مثبت و معنی‌دار در سطح آماری پنج درصد وجود دارد. بین ساعات آفتابی (**۰/٦۹۱-) و عملکرد دانه رابطه منفی و معنی‌دار در سطح آماری یک درصد وجود دارد. بین بقیه عوامل مورد بررسی با عملکرد دانه رابطه معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

با بررسی ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضرایب عوامل هواشناسی از طریق آزمون آماری t، در جدول ۳ نتایج نشان می‌دهد که ضریب ثابت رابطه رگرسیونی و ضرایب متغیرهای مستقل دمای حداکثر، دمای حداقل، تعداد ساعات آفتابی، بارش بهاره، دمای حداقل مطلق، دمای حداکثر مطلق، بارش آبان ماه، بارش دی ماه و کمبود فشار بخار دوره رشد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است و ضرایب متغیرهای مستقل متوسط رطوبت نسبی، بارش پاییزه و دمای حداکثر آذر ماه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۳).

با مقایسه نتایج 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 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 (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 جو دیم به شمار می‌رود.

وجود گزارش‌های مبنی بر اثر مثبت میزان بارندگی در افزایش عملکرد دانه غلات دیم در دامنه‌های بهینه، نتیجه این تحقیق را تائید می‌کند (سجادی، ۱۳٦۱، کافی و همکاران، ۱۳۷۹، Croisaant *et al.,* 1998).

بارندگی از طریق تحت تأثیر قرار دادن میزان رطوبت و دمای خاک می‌تواند در تولید عملکرد و اجزای عملکرد غلات دیم بسیار مؤثر واقع شود (Croisaant *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، ۱۳۷۹) و با افزایش میزان بارندگی و دما، میزان عملکرد گندم دیم نیز افزایش نشان داد (کافی و همکاران، ۱۳۷۹، سجادی، ۱۳٦۱). طلیعی (۱۳۷۸) به نقش بارش و دما در شرایط دیم کرمانشاه و تاثیر آن بر عملکرد محصولات دیم با توجه به الگوی احتمال وقوع بارش پرداخت.

Ren و همکاران (۲۰۰۸) روند تابع تولید گندم با عوامل اقلیمی را برای منطقه شان دونگ[1] چین تخمین زدند و تابع تولید اقلیمی به دست آمده تابعی از متوسط دمای هوا، کل بارش سال زراعی و ساعات آفتابی برای دوره زمانی فروردین تا خرداد بوده است. در بررسی عوامل مختلف بر عملکرد نشان داده شد که عوامل رطوبت خاک

1 Shandong

در زمان کاشت، تبخیر و تعرق فصلی، بارش ماه می و بارش ماه ژوئن دارای اثر معنی‌داری بر عملکرد بوده‌اند (Huang *et al.*, 2004).

تحلیل حساسیت مدل جامع

تحلیل حساسیت[1] 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 ۱۰±، ۱۵± و ۲۵± و ثابت نگه‌داشتن بقیه عامل‌ها، میزان عامل خروجی (عملکرد) برآورد شد و سپس با استفاده از رابطه زیر ضریب حساسیت عامل‌ها محاسبه شد.

$$S_{\alpha}^{F} = \frac{\%\ Change\ in\ F}{\%\ Change\ in\ \alpha} = \frac{\Delta F / F}{\Delta \alpha / \alpha} \qquad (1)$$

$\overline{S}_{\alpha}^{F}$: ضریب حساسیت ناشی از تغییرات عامل خروجی ناشی از تغییر یکی از عوامل ورودی، ΔF: اختلاف مقدار عامل خروجی قبل و بعد از تغییر عامل ورودی،F: متوسط عامل خروجی قبل و بعد از تغییر عامل ورودی، Δα: اختلاف مقادیر ورودی عامل ورودی و α: متوسط مقادیر ورودی یک عامل به مدل می‌باشند. در جدول ٤ دامنه تغییرات حساسیت ارائه شده است (Liu *et al.*, 2007).

جدول ٤. طبقه‌بندی حساسیت عوامل ورودی با ضریب حساسیت

دامنه تغییرات	$\overline{S}_{\alpha}^{F}=0$	$0<\overline{S}_{\alpha}^{F}<0/3$	$0/3<\overline{S}_{\alpha}^{F}<1/5$	$\overline{S}_{\alpha}^{F}>1/5$
شدت حساسیت	بدون حساسیت	حساسیت کم	حساسیت متوسط	حساسیت زیاد

مقادیر ضریب حساسیت محاسبه شده برای تعدادی از عوامل ورودی مدل تابع تولید اقلیمی مناطق سرد و نیمه سرد استان لرستان در تولید جو دیم، در جدول ۵ ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که حساس‌ترین عامل اقلیمی شامل دمای حداکثر، ساعات آفتابی، دمای حداکثر مطلق و کمبود فشار بخار اشباع دوره رشد است. در خصوص ساعات آفتابی، حساسیت مدل بیشتر به افزایش ساعات آفتابی است. مدل نسبت به بارش پاییزه، میانگین رطوبت نسبی، بارش آبان ماه، بارش اردیبهشت ماه حساسیت کمی دارد و برای بقیه عامل‌ها دارای حساسیت متوسط می‌باشد.

جدول ۵. میزان ضریب حساسیت عوامل ورودی

	+٪۱۰	-٪۱۰	+٪۱۵	-٪۱۵	+٪۲۵	-٪۲۵
Tmax	٤	۵/۷	۳/۷	-٦/٦	۳/۳	۹/۷
Tmin	۰/٤	۰/٤	۰/٤	۰/۳	۰/٤	۰/۳
RHmean	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳
n	-۹	-٤/٤	-۱۱/۸	-۳/۸	-۲۷/۱	-۳
P-Autumn	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
P-Spring	۰/٤	۰/٤	۰/٤	۰/٤	۰/٤	۰/۳
Tmin-abs	۰/٤	۰/٤	۰/٤	۰/٤	۰/٤	۰/۳
Tmax-abs	-۵/۸	-۳/٤	-۷	-۳	-۱۰/۸	-۲/۵
P-Aban	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۳	-۰/۲
P-Day	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۳
P-Ord.	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۱
Tmax-azar	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۲
VPDcs	-۰/۸	-۰/۷	-۰/۹	-۰/۷	-۱	-۰/٦

1 Sensitive analysis

کارآیی مدل تابع تولید اقلیمی

برای بررسی کارآیی توابع تولید محلی و منطقه‌ای (اقلیمی) نتیجه عملکرد واقعی و عملکرد پیش‌بینی شده با مدل‌ها، میزان و درصد اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی در جدول ٦ نشان داده شده است.

جدول ٦. نتیجه کاربرد مدل محلی و مدل جامع تولید جو برای مناطق سرد و نیمه سرد لرستان

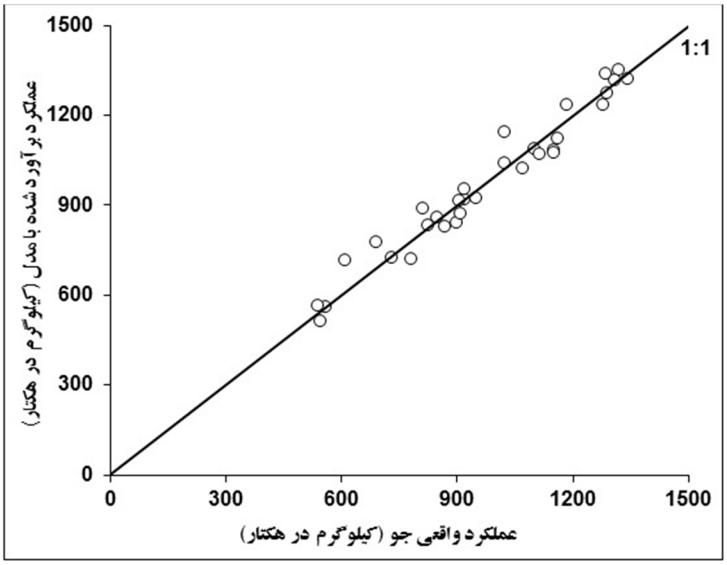
سال زراعی	شهرستان	بارش (میلی‌متر)	عملکرد واقعی (kg/ha)	بهره‌وری بارش (kg/m^3)	بر مبنای مدل محلی			بر مبنای مدل مناطق سرد استان		
					عملکرد برآورد شده (kg/ha)	اختلاف عملکرد برآورد شده از واقعی (kg/ha)	درصد خطای نسبی	عملکرد برآورد شده (kg/ha)	اختلاف عملکرد برآورد شده از واقعی (kg/ha)	درصد خطای نسبی
۱۳۷۷-۷۸	خرم‌آباد	۲۷۷	۷۸۰	۰/۲۸۱	۷۸۰	۰	۰	۷۲۱	۵۹	۷/٦
۱۳۷۸-۷۹	خرم‌آباد	۳۰۰	۹۰۰	۰/۳۰۰	۸۹۳	۷	۰/۷	۸٤۰	٦۰	٦/۷
۱۳۷۸-۸۰	خرم‌آباد	٤٤٦	۸۱۰	۰/۱۸۱	۸۱۵	-۵	-۰/٦	۸۸۹	-۷۹	-۹/۷
۱۳۸۰-۸۱	خرم‌آباد	۵۲٤	۱۱۰۰	۰/۲۱۰	۱۱۰۷	-۷	-۰/٦	۱۰۸۷	۱۳	۱/۱
۱۳۸۱-۸۲	خرم‌آباد	۳۸٦	۱۱۵۰	۰/۲۹۸	۱۱٤٦	٤	۰/۳	۱۰۸۵	٦۵	۵/٦
۱۳۸۲-۸۳	خرم‌آباد	٤۸۰	۱۳۲۰	۰/۲۷۵	۱۳۲۳	-۳	-۰/۲	۱۳۵۲	-۳۲	-۲/٤
۱۳۸۳-۸٤	خرم‌آباد	۵٤۰	۱۲۹۰	۰/۲۳۹	۱۲۸۵	۵	۰/٤	۱۲۷٤	۱٦	۱/۲
۱۳۸٤-۸۵	خرم‌آباد	٤۵۷	۱۳٤۲	۰/۲۹٤	۱۳٤۳	-۱	-۰/۱	۱۳۲۰	۲۲	۱/۷
۱۳۷۷-۷۸	الیگودرز	۲۳۸	۵٦۰	۰/۲۳۵	۵۷۱	-۱۱	-۲	۵٦۰	۵۵۹	۱/٤
۱۳۷۸-۷۹	الیگودرز	۲٦۰	۵٤۵	۰/۲۱۰	۵٤۰	۵	۱	۵٤۵	۵۱٤	۳۱/۱
۱۳۷۸-۸۰	الیگودرز	۳۷۰	۷۳۲	۰/۱۹۸	۷۲٤	۸	۱	۷۳۲	۷۲٤	۸/۳
۱۳۸۰-۸۱	الیگودرز	۵٦۱	۹۲۰	۰/۱٦٤	۹۳٤	-۱٤	-۱/۵	۹۲۰	۹۲۰	-۰/۳
۱۳۸۱-۸۲	الیگودرز	٤۰۵	۸۷۰	۰/۲۱۵	۸۷٦	-٦	-۰/۷	۸۷۰	۸۳۰	۳۹/۸
۱۳۸۲-۸۳	الیگودرز	۵۱۹	۱۰۷۰	۰/۲۰٦	۱۰٦۵	۵	۰/۵	۱۰۷۰	۱۰۲۳	٤۷/۵
۱۳۸۳-۸٤	الیگودرز	٤٤۰	۹۵۰	۰/۲۱٦	۹۵٦	-٦	-۰/٦	۹۵۰	۹۲۲	۲۸
۱۳۸٤-۸۵	الیگودرز	٤۹۸	۱۰۲٤	۰/۲۰٦	۱۰۱۱	۱۳	۱/۲	۱۰۲٤	۱۰٤۰	-۱۵/۹
۱۳۷۷-۷۸	بروجرد	۳۱۸	۵٤۰	۰/۱۷۰	۵۰۸	۳۲	٦	۵٦۷	-۲۷	-۵
۱۳۷۸-۷۹	بروجرد	٤۰٦	٦۱۰	۰/۱۵۰	٦٤۹	-۳۹	-٦/٤	۷۱٤	-۱۰٤	-۱۷/۱
۱۳۷۸-۸۰	بروجرد	٤۸۵	۸۵۰	۰/۱۷۵	۸۱٦	۳٤	٤	۸٦۰	-۱۰	-۱/۲
۱۳۸۰-۸۱	بروجرد	٤۵۲	۹۰۵	۰/۲۰۰	۹۳۷	-۳۲	-۳/۵	۹۱۳	-۸	-۰/۹
۱۳۸۱-۸۲	بروجرد	٤٤۰	۹۲۰	۰/۲۰۹	۱۰۱٦	-۹٦	-۱۰/٤	۹۵٤	-۳٤	-۳/۷
۱۳۸۲-۸۳	بروجرد	٤۷۵	۱۰۲۵	۰/۲۱٦	۱۰۰۵	۲۰	۲	۱۱٤۲	-۱۱۷	-۱۱/٤
۱۳۸۳-۸٤	بروجرد	۵۰۵	۱۱۱۵	۰/۲۲۱	۱۰۹۹	۱٦	۱/۵	۱۰۷۲	٤۳	۳/۹
۱۳۸٤-۸۵	بروجرد	٤۲۲	۱۱۵۰	۰/۲۷۳	۱۰۸۷	٦۳	۵/۵	۱۰۷۵	۷۵	٦/۵
۱۳۷۷-۷۸	الشتر	۲۹۷	٦۹۰	۰/۲۳۲	۷۰۱	-۱۱	-۱/٦	۷۷۵	-۸۵	-۱۲/۳
۱۳۷۸-۷۹	الشتر	۳٦۲	۸۲۵	۰/۲۲۸	۸۰۷	۱۸	۲/۲	۸۳۳	-۸	-۱
۱۳۷۸-۸۰	الشتر	۵۰۸	۹۱۰	۰/۱۷۹	۱۰۵۰	-۱٤۰	-۱۵/۳	۸۷۰	٤۰	٤/٤
۱۳۸۰-۸۱	الشتر	۵۱٦	۱۱٦۰	۰/۲۲۵	۱۱۳۰	۳۰	۲/٦	۱۱۲۱	۳۹	۳/٤
۱۳۸۱-۸۲	الشتر	۵۱۰	۱۱۸٦	۰/۲۳۳	۱۱۳٤	۵۲	٤/٤	۱۲۳٤	-٤۸	-٤
۱۳۸۲-۸۳	الشتر	۵۹۰	۱۲۸۰	۰/۲۱۷	۱۳۹۳	-۱۱۳	-۸/۸	۱۲۳٦	٤٤	۳/٤
۱۳۸۳-۸٤	الشتر	٤۷۹	۱۳۱۰	۰/۲۷٤	۱۲۲۷	۸۳	٦/٤	۱۳۱۷	-۷	-۰/۵
۱۳۸٤-۸۵	الشتر	۵٤۵	۱۲۸٦	۰/۲۳٦	۱۱۸٦	۱۰۰	۷/۸	۱۳۳۷	-۵۱	-٤

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 منطقه‌ای نیازمند داده‌های اقلیمی بیشتری است.

نکته قابل تاملی که در جدول ٦ وجود دارد میزان بهره‌وری بارش در این شهرستان‌ها طی ۸ سال زراعی است. بالاترین، کم‌ترین و میانگین بهره‌وری بارش به ترتیب ۰/۳، ۰/۱۵ و ۰/۲۲٤ کیلوگرم بر متر مکعب بارش

است که میانگین آن حدود ٦ درصد از میانگین کشوری (۰/۲۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب بارش) کم‌تر است. حداکثر، حداقل و میانگین عملکرد جو به ترتیب ۱۳٤۲، ٥٤۰ و ۹۷۳ کیلوگرم در هکتار و بیشترین، کم‌ترین و متوسط بارش در این مدت و در این مناطق به ترتیب برابر ۵۹۰، ۲۳۸ و ٤۳۸ میلی متر گزارش گردید.

خط ۱:۱ برای مقادیر واقعی عملکرد و مقادیر برآورد شده با مدل اقلیمی تابع تولید در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. خط ۱:۱ عملکرد واقعی جو و عملکرد پیش‌بینی شده با مدل جامع مناطق سرد و نیمه سرد لرستان

صحت‌سنجی کارایی مدل‌های محلی و مدل جامع

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] (League and Green, 1991).

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \qquad (۲)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|O_i - P_i| \qquad (۳)$$

$$MAXE = MAX\left(|O_i - P_i|\right)_{i=1}^{n} \qquad (٤)$$

$$RMSE\ (\%) = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}}\right) * 100 \ / \ \overline{O} \qquad (۵)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(|O_i - \overline{O}| + |P_i - \overline{O}|\right)^2} \qquad (٦)$$

مشخصه RMSE مقادیر کلی یا میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده عدم اطمینان مطلق مدل می‌باشد. هرچه RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است. مشخصه d یک عامل توصیفی و مقدار آن از $-\infty$ تا ۱+ تغییر می‌کند (Eitzinger *et al.*, 2004; Singh *et*

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

al., 2008). مقدار زیاد MAXE نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است.

آنالیز شاخص‌های آماری به تفکیک توابع تولید اقلیمی مناطق و نیز برای مدل جامع در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷. مقدار شاخص‌های آماری برای تعیین درجه اعتماد مدل‌ها در مناطق سرد و نیمه سرد استان

	d	EF	MAE	MAXE	RMSE (%)
خرم‌آباد	۱	۱	۳/۹	۷	۰/٤
الیگودرز	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۸/۵	۱٤	۱/۱
بروجرد	۰/۹۸٦	۰/۹٤۲	٤۱/٦	۹٦	۵/٤
الشتر	۰/۹٦۳	۰/۸۵	٦۸/۵	۱٤۰	۷/٦
مدل جامع	۰/۹۸۹	۰/۹۵۵	۹۳/۳	۱۱۷	۵

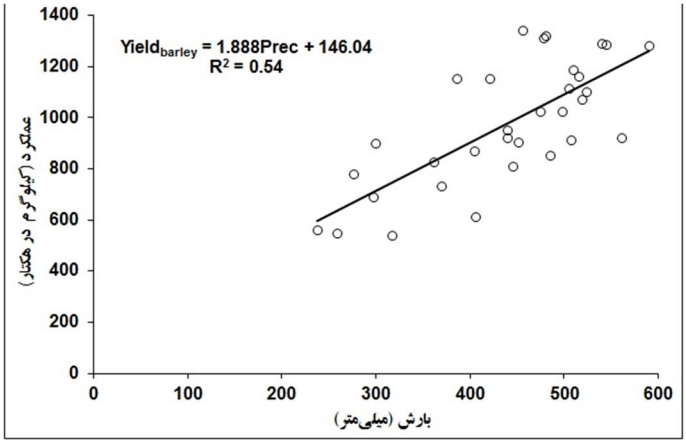
مطابق با جدول ۷، مقدار شاخص سازگاری (d) نزدیک ۱ است که نشان از سازگاری مدل در عملکرد پیش‌بینی شده با عملکرد واقعی دارد. حداکثر خطا (MAXE) نشان می‌دهد که مدل‌های محلی الیگودرز، بروجرد و الشتر از قابلیت بالایی در برآورد عملکرد دارد و با توجه به مقادیر RMSE در این مناطق، حاکی از سازگاری بالای توابع تولید شده است. هر چند که حداکثر خطا در تابع تولید تولید شده برای الشتر، بروجرد و تابع تولید مناطق سرد به ترتیب ۱٤۰-۹٦ کیلوگرم است لیکن میزان خطای آنها فقط در حد ۷/٦-۵ درصد است که برآورد مناسبی به شما می‌رود.

تابع حاصل از رابطه بارش- عملکرد جو در مناطق سرد و نیمه سرد استان لرستان خطی است و نشان‌دهنده این واقعیت است که با افزایش بارش عملکرد نیز افزایش می‌یابد (شکل ۲).

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، دست‌یابی به این هدف تسریع خواهد شد.

آنچه که حائز اهمیت و توجه است نقش و اثر منفی و معنی‌دار عامل کمبود فشار بخار دوره رشد محصول در تمام توابع تولید اقلیمی جو دیم مناطق سرد است. از آنجایی که این عامل مشتق شده از عوامل دیگر است به طور غیر مستقیم به نقش و اثر دمای هوا و رطوبت نسبی اشاره دارد.

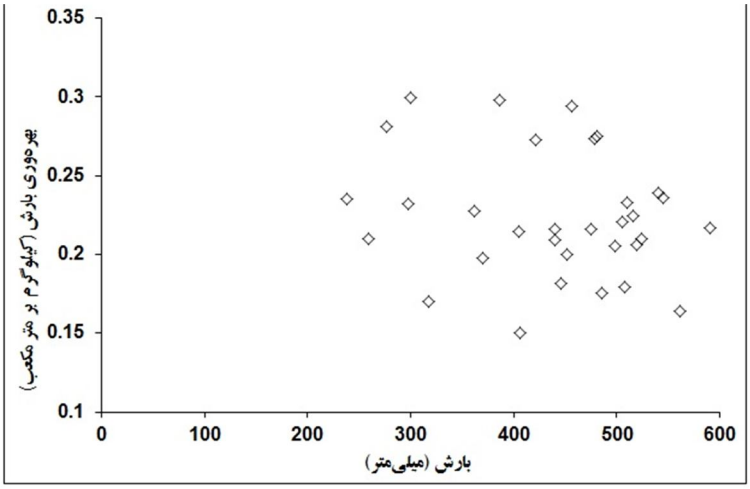
با توجه به مقادیر بهره‌وری بارش در مناطق سرد نشان داده می‌شود که در این مناطق، بهره‌وری بارش از متوسط کشوری کم‌تر است علت آن ضعف مدیریت بارش است که سبب شده تولید متناسب با بارش صورت نپذیرد. ضمن اینکه اینگونه نیست که با افزایش بارش، بهره‌وری بارش نیز افزایش یابد، بلکه یک رابطه درجه دوم بین بهره‌وری بارش – بارش در تولید جو دیم استان لرستان وجود دارد این روند در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲. رابطه بین بارش سالیانه و عملکرد جو دیم در مناطق سرد و نیمه سرد 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 کاهش عملکرد دانه آن خواهد شد (کافی و همکاران، ۱۳۷۹).

مطابق با جدول ۳، توابع تولید اقلیمی و شرح آنها، 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 محصولات دیم بسیار مؤثر واقع شوند. بنابراین، این دو عامل به غیر از تحت تأثیر قرار دادن اندام‌های رویشی و زایشی، بر رشد و نمو ریشه، میزان جذب آب و مواد غذایی و در نهایت عملکرد دانه مؤثر واقع می‌شوند (Croissant *et al.*, 1998). وجود رابطه معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۱ درصد بین دو عامل متوسط رطوبت نسبی هوا و مجموع بارندگی سال زراعی با عملکرد دانه توسط فیضی‌اصل و همکارن (۱۳۸۹) گزارش گردید.



شکل ۳. رابطه بین بارش و شاخص بهره‌وری بارش در تولید جو در استان لرستان

نتیجه‌گیری

ایجاد توابع تولید اقلیمی و به کارگیری آن در فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی کشاورزی، ابزار مناسبی برای پیش‌بینی عملکرد جو دیم است و نتایج نشان‌دهنده نقش بارز کمبود فشار بخار دوره رشد محصول (اول آبان تا آخر تیر ماه) در توابع تولید محلی و جامع منطقه‌ای مناطق سرد و نیمه سرد استان

است. مدل‌های محلی نیاز به داده‌های ورودی کم‌تری دارند لیکن مدل منطقه‌ای نیازمند داده‌های اقلیمی بیشتری است. میانگین بهره‌وری بارش برابر با ۰/۲۲٤ کیلوگرم بر متر مکعب بارش به دست آمد که حدود ٦ درصد از میانگین کشوری (۰/۲۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب بارش) کم‌تر می‌باشد. نتایج نشان داد که در فرآیند تحلیل حساسیت، دمای حداکثر، ساعات آفتابی، دمای حداکثر مطلق و کمبود فشار بخار اشباع دوره رشد، حساس‌ترین عامل اقلیمی هستند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج پروژه تحقیقاتی شماره ۸۹۰۰٦-۱۵-٤۹-٤ است که با اعتبارات و امکانات موسسه تحقیقات کشاورزی دیم و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود) اجرا گردید، بدین وسیله تشکر و قدردانی می شود.

فهرست منابع

اسدی، م.ا.، و عقیلی ر. ۱۳۸۸. بهره‌وری مصرف آب محصولات زراعی گندم، برنج، پنبه و ذرت در اراضی آبی دنیا و مقایسه آن با ایران. دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ص ۱۱۰-۹۳.

سجادی ا. ۱۳٦۱. فیزیولوژی رشد و نمو گندم. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ٦۲۲. ۳۳ ص.

طلیعی ع.ا. ۱۳۷۸. گزارش نهایی الگو و احتمالات ریزش بارندگی و تأثیر آن بر عملکرد دیمزارها. انتشارات مرکز تحقیقات کشاورزی کرمانشاه، ۷۰ص.

فیضی‌اصل، و.، جعفرزاده، ج.، عبدالرحمنی، ب.، موسوی، س.ب.، کریمی ا. ۱۳۸۹. مطالعه اثرات عوامل اقلیمی بر روی عملکرد گندم دیم رقم سرداری در منطقه مراغه. پژوهش‌های زراعی ایران، ۸(۱): ۱-۱۱.

قمقامی، م. و بذرافشان ج. ۱۳۹۱. پیش‌آگاهی وضعیت خشکسالی هواشناسی در گستره ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکف. مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۳): ۱۱-۱.

کافی، م.، گنجعلی، ع.، نظامی، ا.، شریعتمداری ف. ۱۳۷۹. آب و هوا و عملکرد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۳۱ صفحه.

Black, C.A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers. USA, 741pp.

Croissant, R.L., Peterson, G.A., and Westfall, D.G. 1998. Dryland Cropping Systems. Colorado State University, Cooperative Extension. Bulletin No. 0.516.

Eitzinger, J., Trnka, M., Hösch, J., Žalud, Z., and Dubrovský, M. 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.

Falkenmark, M., Patrick, F., Gunn, P., and Rockström, J. 2001. Water harvesting for upgrading rainfed agriculture: Problem Analysis and Research Needs. Stockholm International Water Institute, Stockholm, Sweden, SIWI report 11, 94pp.

Huang, M., Gallichand, J., and Zhong, L. 2004. Water–yield relationships and optimal water management for winter wheat in the Loess Plateau of China. Irrig Sci, 23: 47–54

Irz, X., and Roe, T. 2000. Can the world feed itself? Some insights from growth theory. Agrekon 39 (3), 513–528.

Kassam, A.H., Molden, D., Fereres, E., and Doorenbos, J. 2007. Water productivity: science and practice - introduction. Irrig Sci, 25:185–188

Kumar Das, D. 1997. Introductory Soil Science. Kalyani Publishers, India.

Liu, H.F., 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.

Loague, K., and Green, R.E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. J. of Contaminant Hydrology, 7: 51-73.

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 Geo information 10: 403–413

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

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.

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.

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.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Meteorol. Soc. 63:1309–1313.

World Bank. 2005. Agricultural Growth for the Poor: An Agenda for Development. World Bank, Washington, DC.

ISSN 2251-7480

Determination of effective parameters on climate production functions for rainfed barley and sensitive analysis at cold and semi-cold regions of Lorestan province

Alireza Tavakoli[1*], Abdolmajid Liaghat[2] and Amin Alizadeh[3]

1*) Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Semnan Province (Shahrood), Shahrood, Iran, Corresponding author email: art.tavakoli@gmail.com
2) Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology,University of Tehran, Karaj, Iran
3) Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 27-10-2013 Accepted: 19-03-2014

Abstract

Identifying of effective parameters and planning for their management and coordinating agronomic operation with trend changes of effective parameters leads to improving production baseline and prediction for future. Plant growth and crop production under rainfed is a function of changes in climatic factors. In order to determination of climate-yield production functions, analyzed eight crop seasons data (1998-2006) of 25 climate parameters and rainfed barley grain yields of four cold and semi-cold regions of Lorestan province. These regions were including Aleshtar, Khoram-Abad, Aligodarz and Boroujerd. By path analysis method, correlation coefficient separated to direct and indirect effects. Results showed that in local and common models of production functions, the role of crop season vapor pressure deficit is very important. The local models necessary small input data but common model need more input data. Rain water productivity of all regions determined for eight crop seasons, and amounts of maximum, minimum and average of rain water productivity were 0.3, 0.15 and 0.224 kg per cubic precipitation, which its average was 6 percent lower than national average (0.239 kg.m-3). The maximum temperature, sunshine, absolute maximum temperature and crop season vapor pressure deficit parameters were the most sensitive parameters on grain yield prediction. We conducted the climate-yield models are useful tools to predict rainfed barley yield and so to assist managers and farmers for making decisions in rainfed agronomic activity under climate parameters changes.

Keywords: climate parameters; path analysis; rain water productivity