نقش پراکندگی مکانی و نوسان‌های زمانی پارامترهای اقلیمی در عملکرد گندم دیم (مطالعه موردی: شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین)

مسعود جلالی
استادیار گروه جغرافیایی طبیعی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
غلام حسن محمدی*
دکترای اقلیم‌شناسی، کارشناس هواشناسی اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی، تبریز، ایران
عاطفه حسینی صدر
مربی گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور تهران، تهران، ایران
حسین خوشوقتی
مربی گروه علوم کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۲۰

چکیده

نظر به اهمیت پراکندگی مکانی و نوسان‌های زمانی عناصر اقلیمی در تولیدهای دیم؛ در پژوهش حاضر با بررسی پراکندگی مکانی عناصر آب و هوایی در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین و نوسان‌های زمانی آن‌ها در ارتباط با نیازهای اقلیمی گندم دیم؛ میزان تأثیر آن‌ها در عملکرد این محصول استراتژیک مورد مطالعه قرار گرفت. پراکندگی مکانی پارامترهای بارشی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به نقشه تبدیل شه و نوسان‌های سال‌به‌سال بارش و دما از طریق ترسیم نمودار مورد ارزیابی قرار گرفت. با بهره‌گیری از نیازهای رویشی (شرایط اقلیمی مطلوب) گندم دیم، چگونگی تأمین نیازهای آب و هوایی این گیاه ارزشمند تحلیل شد. در مرحله بعد جهت شناسایی نقش پارامترهای آب و هوایی در عملکرد گندم دیم و تعیین بهترین مدل پیش‌بین‌گر؛ رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام برای ۱۶ پارامتر اقلیمی و میانگین عملکرد گندم دیم در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین اجرا گردید. نتایج نهایی نشان‌دهنده این واقعیت هستند که نقش هر یک از عناصر اقلیمی بارش و دما، متناسب با مراحل مختلف رشد، متفاوت است. هرچند میانگین بارش سالانه در منطقه مورد مطالعه مطلوب به نظر می‌رسد ولی تغییرات زیاد آن از سالی به سال دیگر و همچنین وقوع مقدار کمی از آن در ماه خرداد محدودیت اصلی بارش برای کشت گندم دیم است. عنصر اقلیمی دما در منطقه مورد مطالعه در مراحل جوانه‌زنی و پر شدن دانه شرایط مطلوبی را ایجاد می‌کند ولی در مرحله گلدهی شرایط دمایی منطقه سردتر از آستانه‌های مطلوب فیزیولوژیکی گندم می‌باشد. همچنین اجرای رگرسیون چندمتغیره، مدلی را با ۷ پارامتر آب و هوایی ارائه داد که می‌تواند در سطح اطمینان ۹۵٪ نقش پارامترهای اقلیمی را در میزان عملکرد گندم دیم تبیین کند.

واژگان کلیدی: گندم دیم، پارامترهای اقلیمی، تغییرات مکانی، نوسان‌های زمانی، رگرسیون چندمتغیره، کلیبر و خدا آفرین.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۱۶۴۷۰۷۲
E-mail: Gh.mohammadi88@gmail.com

مقدمه

دیم‌کاری در ایران از سابقه طولانی برخوردار بوده و نقش مهمی را در تأمین غذای مردم ایفا می‌کند. میزان تولید در دیم‌زارها صرف‌نظر از ساختمان ژنتیکی گیاه به مدیریت صحیح و بهره‌وری بهینه از عوامل مختلف محیطی به‌ویژه شرایط آب و هوایی بستگی دارد. در این میان تغییرات مکانی و نوسان‌های سال‌به‌سال و یا دوره‌ای شرایط اقلیمی نقش بسیار مؤثری در میزان برداشت گندم دیم دارند؛ بنابراین شناخت و آگاهی از ویژگی‌های مذکور در هر منطقه، کارشناسان و برنامه ریزان کشاورزی را در استفاده از توانایی‌های اقلیمی هر منطقه و دوری از محدودیت‌های آن یاری می‌رساند. در این پژوهش قصد داریم با بررسی نحوه توزیع جغرافیایی (مکانی) پارامترهای آب و هوایی مؤثر درکشت و تولید گندم دیم و نوسان‌های سال‌به‌سال آن‌ها در ارتباط با نیازهای اقلیمی این گیاه؛ در منطقه‌ای که دارای شرایط اقلیمی به خصوصی است (منطقه کلیبر و خدا آفرین)؛ به نقش و اهمیت تغییرات مکانی و نوسان‌های زمانی پارامترهای اقلیمی در میزان برداشت گندم دیم پرداخته شود.

مطالعات مختلف و متنوعی در سراسر دنیا بر روی رابطه بین عوامل اقلیمی و رشد و نمو گیاه در دیم‌کاری صورت گرفته است. لوین[1] (۱۹۷۴) در شمال منطقه نِگِو، مطالعاتی در زمینه رطوبت خاک و اثرات خشکی بر روی محصول گندم انجام داد. این منطقه دارای آب و هوایی نیمه‌خشک با بارندگی ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است. این محقق رابطه بین تعداد روزهایی که گندم تحت تنش خشکی بوده است را با کاهش میزان تولید محصول به دست آورد. لاماسون[2] (۱۹۷۴) آثار تغییرات بارندگی بر موفقیت کشت در مونتانای شرقی را مطالعه کرده و ثابت کرده که احتمال به دست آوردن عملکرد بالا در این منطقه در هر ۲۳ سال یک‌مرتبه است در حالی که نابودی کامل محصول ناشی از خشکی را می‌توان در ۷ سال یک‌بار انتظار داشت. بالا[3] و همکاران (۱۹۷۵) طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ در منطقه مارتون واسار مجارستان اثر متغیرهای اقلیمی بارش و ساعات آفتابی را بر روی گندم زمستانه مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این پژوهش حاکی از وجود همبستگی منفی بین بارندگی و عملکرد محصول و همبستگی مثبت بین عملکرد با درجه حرارت سالانه بود. هاولیک[4] (۱۹۸۵) از طریق روش تجزیه‌وتحلیل همبستگی، تأثیر آب و هوا را بر عملکرد محصول‌های زراعی بر اساس انحراف عملکرد محصول از خط رگرسیون بررسی کرده است. زانگ[5] (۱۹۹۴) آزمایش‌های متعددی برای تعیین آثار تغییرات دما و بارندگی روی رشد و نمو گندم زمستانه در کشور چین انجام داد. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات درجه حرارت نسبت به بارندگی از اهمیت بیشتری بر روی عملکرد دانه برخوردار است. نورود[6] (۲۰۰۰: ۱۲۷ تا ۱۲۱) تأثیر پارامترهای اقلیمی را بر روی مناطق کشت دیم در دشت‌های بزرگ ایالت کانزاس آمریکا مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسید که تبخیر و بارندگی نسبت به سایر عناصر اقلیمی، بیشترین تأثیر را در طول مراحل رشد گندم دیم دارند.

1- Lewin
2- Lammason
3- Balla
4- Haulicek
5- Zhang
6- Norwood

ویرون[1] و همکاران (۲۰۰۴: ۱۸۵-۱۸۲) بر اساس مقادیر بارش منطقه کشت گندم پامپاس را به ۵ ناحیه تقسیم نموده است. راتو[2] (۲۰۰۵: ۱۵) نیز با تحلیل مقادیر بارش سالانه و ماهانه، هندوستان را به ۹ ناحیه اگروکلیمایی کشت گندم تقسیم‌بندی کرده است.

در ایران اولین پژوهش‌ها در زمینه اقلیم‌شناسی کشاورزی می‌توان به مطالعه لماس[3] (۱۹۷۴، ترجمه خلیلی، ۱۳۵۰) در ایجاد رابطه بین محصول و بارندگی در ایران، صرفاً مجموع بارندگی سپتامبر-ژوئن مؤثر است. همچنین سازمان هواشناسی کشور با همکاری شراکت کوانتا[4] (۱۳۵۴) شرایط کشت ۱۵ محصول مهم زراعی ایران را طی طرح پژوهشی مورد مطالعه قرار داده‌اند. دین پژوه و موحد دانش (۱۳۷۵: ۳۶-۲۵) پژوهشی با عنوان تعیین مناطق مساعد برای کشت غلات دیم بر اساس مقادیر بارش سالانه و بارش ماه‌های ژوئن و ژوئیه در آذربایجان انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نقش بارش در مناطق با کشت دیم بیشتر از سایر پارامترهای اقلیمی است. کمالی (۱۳۷۶) در پژوهشی ارزشمند نیازهای اکولوژیکی گندم دیم در غرب کشور را در مراحل مختلف رشد تعیین کرده است. مظفری (۱۳۸۰) در رساله دکتری خود قابلیت‌های محیطی کشت گندم دیم سرداری را در رابطه با شرایط جوی در منطقه کرمانشاه – صحنه مورد ارزیابی قرار داده است. ایشان برای این منظور دو عنصر مهم اقلیمی یعنی دما و بارش مورد بررسی قرار داده و نشان داده‌اند که علیرغم تأمین حداقل بارش سالانه مورد نیاز عملیات دیم‌کاری (۲۵۰ میلی‌متر) در سطح منطقه، توزیع زمانی بارش نشان می‌دهد که آب مورد نیاز عملیات دیم‌کاری در سطح منطقه تأمین نمی‌شود. عزیزی و همکاران (۱۳۸۲: ۲۳) با استفاده از مدل رگرسیونی به بررسی ارتباط بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد گندم دیم در دشت سیلاخور استان لرستان پرداخته‌اند. ایشان با به‌کارگیری پارامترهای میزان بارش پاییزه و بهاره، تعداد روزهای یخبندان بهاری، اولین بارش پاییزه و تعداد روزهای بارانی بالای یک میلی‌متر دورهٔ مرطوب سال، نشان داده‌اند که بین عملکرد گندم دیم و متغیرهای میزان بارش پاییزه و بهاره و همچنین تعداد روزهای بارانی دورهٔ مرطوب سال، ارتباط مستقیم وجود دارد؛ اما بین متغیرهای تعداد روزهای یخبندان بهاری و تأخیر در اولین بارش پاییزه، ارتباط معکوس برقرار است. همچنین با توجه به ضریب تبیین در معادله رگرسیونی مذکور، مشخص شد که تنها ۴۷٪ از تغییرات عملکرد گندم توسط متغیرهای اقلیمی مورد استفاده در مدل رگرسیونی توجیه می‌شوند و ۵۳٪ از تغییرات عملکرد دیم به پارامترهای دیگری وابسته است. ابدالی (۱۳۸۷: ۲) نقش عناصر اقلیمی در تعیین مناطق مستعد کشت گندم دیم در استان آذربایجان‌شرقی را با استفاده از GIS مورد مطالعه قرار داده‌اند. توکلی (۱۳۸۸: ۲) معیارهای اقلیمی مؤثر در میزان عملکرد محصول گندم دیم و با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره در منطقه ارسباران مطالعه کرده و بدون اشاره به میزان اثرگذاری؛ نشان داد که بین عملکرد گندم دیم و متغیرهای اقلیمی از جمله میزان بارش پاییزه، بهاره و میانگین بارندگی سالانه ارتباط مستقیم وجود دارد.

---

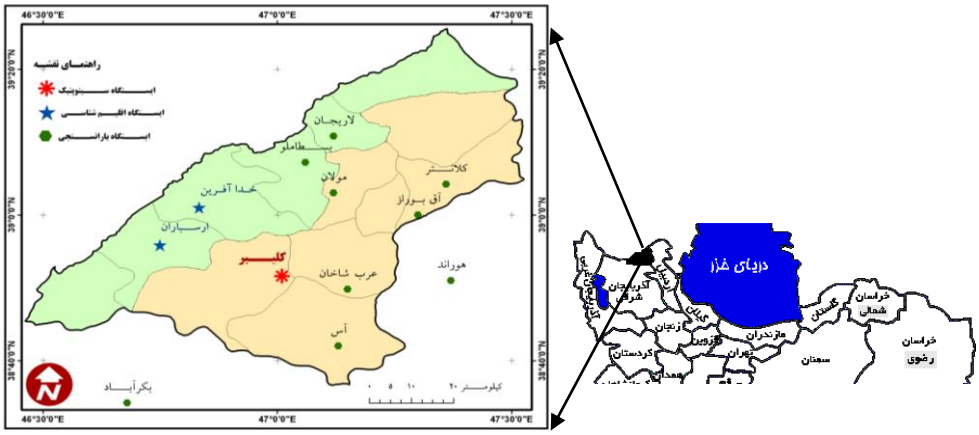
[1]- Veron
[2]- Rathove
[3]- Lemas
[4]- Kovanta

در میان مطالعات بی‌شماری که در سال‌های اخیر در زمینه اقلیم‌شناسی کشاورزی گندم دیم انجام‌شده است مطالعه‌ی حاضر از چند نظر با آن‌ها متفاوت بوده و حائز اهمیت است؛ اولاً منطقه کلیبر و خدا آفرین به دلیل واقع‌شدن در گوشه شمال‌غرب کشور و همچنین عدم وجود داده‌های هواشناسی با دوره آماری طولانی از دید بسیاری از پژوهشگران اقلیم‌شناسی کشاورزی از جمله دین پژوه و موحد دانش (۱۳۷۵) و ابدالی (۱۳۸۷) غایب مانده است. تنها در مطالعه توکلی (۱۳۸۸) به ایستگاه کلیبر اشاره شده و به‌صورت نقطه‌ای و بدون توجه به نیازهای اقلیمی گندم دیم در تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گرفته است؛ بنابراین، اقلیم کشاورزی این منطقه در ارتباط با گندم دیم برای کاربران چندان روشن نیست. به نظر می‌رسد در میان مطالعات انجام شده در دسترس در مورد آگروکلیمای گندم دیم موضوع نوسان‌های سال‌به‌سال پارامترهای هواشناسی (مخصوصاً بارش) که یکی از ویژگی‌های اصلی اقالیم نیمه‌خشک بوده و در میزان برداشت محصول نقش تعیین کننده‌ای دارد، چندان توجهی نشده است. لذا با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه دارای شرایط آب و هوایی خاصی بوده و در سال‌های اخیر اطلاعات هواشناسی ثبت شده آن به حد قابل قبولی رسیده است، ضرورت انجام پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

در این پژوهش قصد بر آن است تا با بررسی پراکندگی مکانی و توزیع زمانی پارامترهای آب و هوایی در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین در طی سال‌های گذشته؛ نحوه تأمین نیازهای اقلیمی گندم دیم در این منطقه مورد تحلیل قرار گیرد. همچنین با برقرار روابط رگرسیونی بین اطلاعات اقلیمی و میزان عملکرد گندم دیم؛ مؤثرین پارامترها شناسایی‌شده و معادله پیش‌بین‌گر تدوین شود.

داده‌ها و روش‌ها

شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین با وسعت تقریبی ۳۷۲۰ کیلومتر مربع، ۷/۹ درصد از مساحت کل استان آذربایجان-شرقی را تشکیل می‌دهد که در محدوده جغرافیایی ۳۹ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به همراه پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده (منبع: نگارندگان)

در این پژوهش جهت مطالعه نقش تغییرات مکانی و نوسان‌های دمایی پارامترهای هواشناسی در کشت گندم دیم از ۷ فاکتور بارشی و ۹ فاکتور دمایی استفاده شده است. برای هماهنگی بیشتر شرایط آب و هوایی با میزان عملکرد، کلیه داده‌های هواشناسی بر اساس سال زراعی تنظیم شدند. اطلاعات بارش بعد از استخراج و تحلیل توصیفی در نرم‌افزار Excel، نتایج اولیه به محیط GIS انتقال داده شد و در این محیط با درون‌یابی[1] داده‌ها با استفاده از تابع کریجینگ معمولی[2]، نقشه‌های اولیه در فرمت رستر و با اندازه پیکسل ۱۰۰ متر تهیه شد. پس از تهیه نقشه‌ها در فرمت رستری، میانگین و انحراف معیار فاکتورهای مورد مطالعه با استفاده از روش میانگین‌گیری وزنی با به‌کارگیری قابلیت‌های نرم‌افزار ARC GIS محاسبه شده و نهایتاً نقشه‌های اولیه با توجه به نیازهای رطوبتی گندم در مراحل رشد و شرایط اقلیم منطقه در کلاسه‌های مشخص طبقه‌بندی شدند. خروجی اطلاعات مذکور به‌خوبی می‌توانست تغییرات مکانی پارامترهای مورد مطالعه را در منطقه نشان دهد. یادآور می‌شود که در منطقه مورد مطالعه به دلیل کمبود داده‌های هواشناسی موجود از تعداد ایستگاه‌ها و طول دوره آماری متفاوتی برای بررسی فاکتورهای بارشی و دمایی استفاده گردیده است. به‌گونه‌ای که برای مطالعه اقلیم بارش از ۱۳ ایستگاه هواشناسی با دوره آماری ۲۲ ساله (از سال زراعی ۶۹-۱۳۶۸ تا ۹۰-۱۳۸۹) و برای بررسی شرایط دمایی از تنها ایستگاه هواشناسی سینوپتیک موجود در منطقه یعنی کلیبر و با دوره آماری ۱۲ ساله (سال‌های زراعی ۷۹-۱۳۷۸ تا ۹۰-۱۳۸۹) استفاده شده است.

متغیرهای بارشی مورد مطالعه در این تحقیق عبارت‌اند از: بارش سال زراعی، بارش پاییزه، بارش بهاره و بارش ژوئن (خرداد)، تاریخ اولین بارش پاییزه (بر اساس تاریخ ژولیوسی)، مقدار اولین بارش پاییزه و شاخص شدت خشک‌سالی و متغیرهای دمایی شامل: میانگین حداقل دمای روزانه در مرحله جوانه‌زنی، میانگین دمای روزانه در مرحله جوانه‌زنی، تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۲۵ درجه در مرحله گلدهی، تعداد روزهای با دمای حداقل روزانه پایین‌تر از ۸ درجه در مرحله گلدهی، میانگین دمای روزانه در مرحله گلدهی، تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۳۰ درجه

1- Interpolate
2- Ordinary Kriging

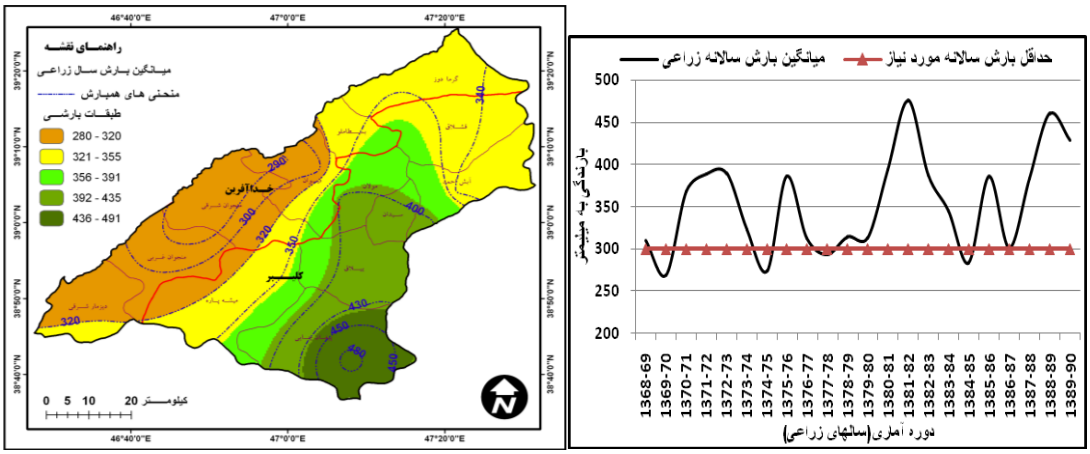
در مرحله پر شدن دانه، میانگین حداکثرهای دمای روزانه در مرحله پر شدن دانه، میانگین دمای روزانه در مرحله پر شدن دانه می‌باشند. برای آگاهی از وضعیت شدت خشک‌سالی‌های منطقه مورد مطالعه ابتدا میانگین بارش برای تک‌تک ماه‌ها محاسبه‌شده و شاخص خشک‌سالی SPI بر روی میانگین‌های بارش منطقه اجرا گردید. بدین شرح که برای مطابقت کامل محاسبات مذکور با بارش طول دوره رشد گندم دیم؛ SPI نه ماهه (مهرماه سال زراعی تا خرداد سال زراعی) بر روی‌داده‌ها اجرا شد. در این مطالعه برای بررسی تأثیر تغییرات مکانی و نوسان‌های زمانی پارامترهای آب و هوایی در عملکرد گندم دیم و تعیین میزان اثر پارامترهای مذکور و احیاناً حذف عناصری که تأثیر معنی‌داری در عملکرد ندارند، از مدل رگرسیون گام‌به‌گام[1] استفاده شد. به دلیل دخالت داشتن چندین پارامتر اقلیمی در عملکرد گندم، لازم است ضمن بررسی تأثیر تک‌تک عناصر در میزان برداشت گندم؛ تأثیر ترکیبی چند عنصر باهم نیز مدنظر قرار گیرد. با در نظر گرفتن قابلیت‌های آماره‌ی رگرسیون گام‌به‌گام، این مدل بهترین روش برای دستیابی به هدف مورد نظر در این پژوهش است.

یافته‌های پژوهش

بارش سالانه مهم‌ترین متغیر اقلیمی در کشت گندم دیم محسوب می‌شود (رستگار، ۱۳۷۱: ۴۵) از نظر میزان رطوبت، گندم در زراعت دیم حداقل به ۳۰۰ میلی‌متر باران در طول دوره رشد احتیاج دارد (بهنیا، ۱۳۷۶). برای مطالعه پراکندگی مکانی بارش در منطقه مورد مطالعه، میانگین بارش سالانه‌ی زراعی ایستگاه‌های موجود در محیط سامانه‌های جغرافیایی (GIS) به نقشه تبدیل شد (شکل ۲؛ سمت چپ). نتایج نشان داد که بیشترین مقدار بارندگی در ایستگاه آس به میزان ۴۹۲/۳ میلی‌متر و کمترین مقدار بارش ۲۸۰/۱ میلی‌متر در ایستگاه خدا آفرین است. نتایج حاصل از تهیه نقشه هم‌بارش سالانه حاکی از این است که میانگین بارش سال زراعی در منطقه کلیبر و خدا آفرین ۳۵۳/۲ میلی‌متر با انحراف معیار ۴۸/۴۲ می‌باشد[2]. اکثر مناطق دارای بارندگی بیش از ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشند و تنها در بخش‌های کوچکی از شمال غرب منطقه در سواحل کم ارتفاع ارس بارندگی به ۲۸۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد. لذا با توجه به نیازهای رطوبتی گندم دیم؛ در اکثر مناطق مورد بررسی در این پژوهش نیازهای بارشی این محصول تأمین می‌شود و تنها در بخش‌هایی از شمال‌غرب، شمال و شمال‌شرق محدودیت‌های جزئی وجود دارد.

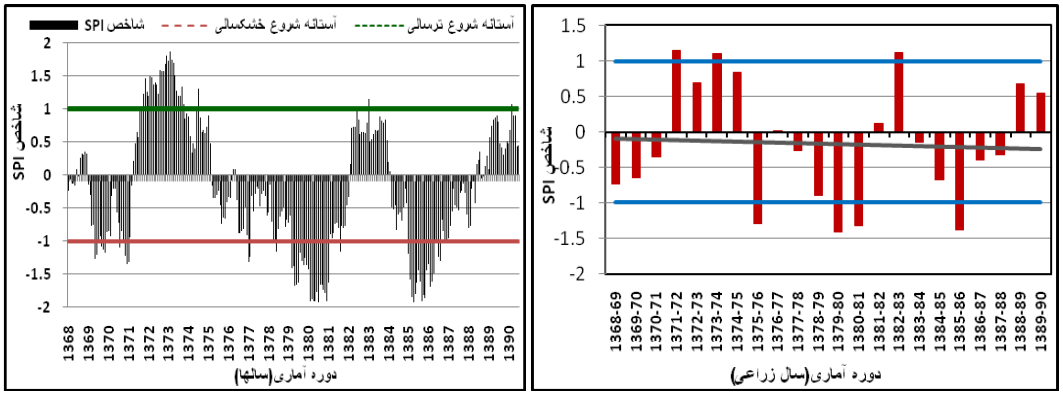
1- Stepwise Regression

۲- آماره‌های ارائه‌شده در این مورد؛ بر اساس میانگین وزنی است که از طریق مساحت‌های واقع شده در مابین منحنی‌های هم ارزش بارشی و در محیط ARC GIS محاسبه شده است.



شکل ۲: نقشه پراکندگی مکانی میانگین بارش سالانه‌ی زراعی (سمت چپ) و نمودار نوسان‌های سال‌به‌سال آن (سمت راست) در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین (منبع: نگارندگان)

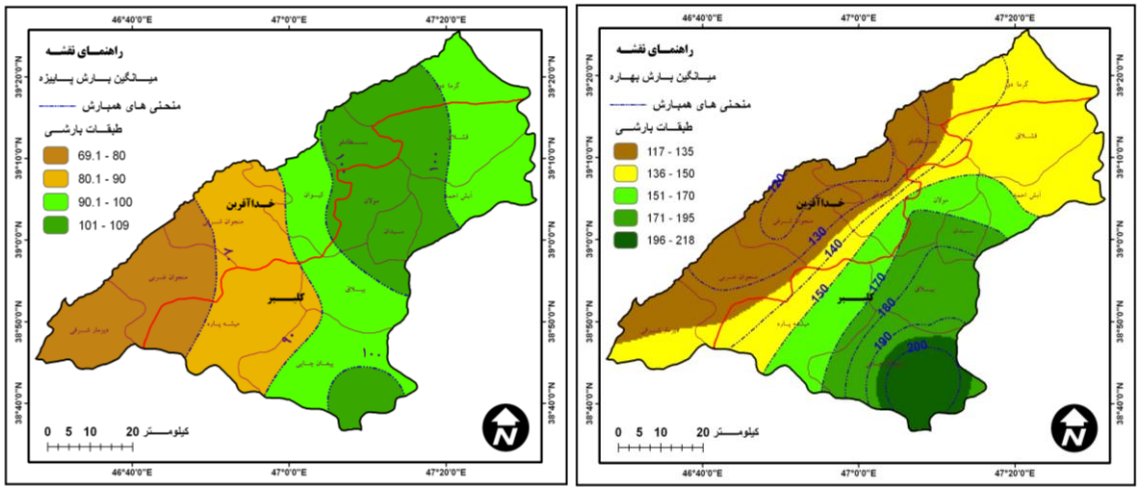
علاوه بر پراکندگی مکانی بارش؛ نوسانات زمانی آن (نوسان سال‌به‌سال) یکی از عوامل اصلی کنترل کننده عملکرد گندم در سال‌های مختلف است. بدین منظور میانگین بارندگی منطقه مورد مطالعه به‌صورت سال‌به‌سال استخراج و به‌صورت نمودار در شکل ۲«سمت راست» ارائه شد. همان‌طور که مشخص است نوسان‌های زمانی بارش طوری است که حتی در کمترین مقدار (سال زراعی ۷۰-۱۳۶۹ به میزان ۲۶۹/۴ میلی‌متر) می‌تواند حداقل نیاز این گیاه را تأمین کند. در این میان‌دوره‌های زراعی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۷۳-۱۳۷۲ و ۸۱-۱۳۸۰ تا ۸۳-۱۳۸۲ و سه سال پایانی با بارندگی‌های بیش از ۳۵۰ میلی‌متر، سال‌های مساعد برای تولید گندم دیم بوده‌اند. خشک‌سالی یک ویژگی طبیعی و برگشت‌پذیر اقلیمی است و تقریباً در تمامی رژیم‌های اقلیمی رخ می‌دهد (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۳). مطالعه وقوع خشک‌سالی سالانه (۱۲ ماهه) برای بررسی وضعیت کل سال و خشک‌سالی ماهانه برای شناسایی وقوع یا عدم وقوع دوره خشک در طول دوره رشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای دستیابی به این موضوع میانگین بارندگی ماهانه و سالانه منطقه مورد مطالعه با به‌کارگیری شاخص خشک‌سالی SPI مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن در نمودارهای شکل ۳ نشان داده‌شده است.



شکل ۳: نمودار تغییرات خشک‌سالی‌های سالانه‌ی زراعی (شدت خشک‌سالی ۱۲ ماهه؛ سمت راست) و ماهانه (تداوم خشک‌سالی؛ سمت چپ) به همراه خط روند آن در منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

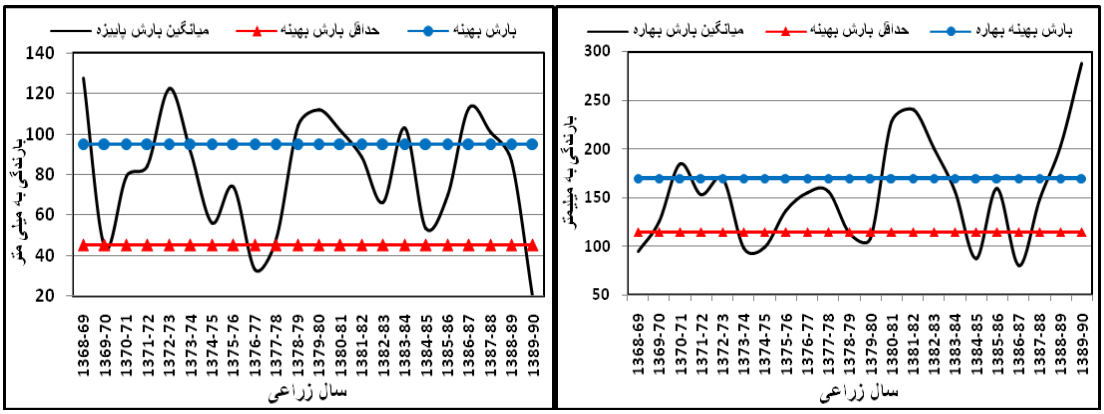
در شاخص خشک‌سالی SPI اعداد کوچک‌تر از صفر میل به خشکی را نشان داده و اعداد به سمت بالاتر از صفر میل به ترسالی را نشان می‌دهند. ولی وقوع خشک‌سالی زمانی به‌طور معنی‌دار قابل‌تصور است که اعداد استخراج‌شده از ۰/۹۹- کوچک‌تر باشند؛ بنابراین مهر و موم‌هایی که در آن‌ها اعداد شاخص SPI بین ۰/۹۹ تا ۰/۹۹- باشند در محدوده تقریباً نرمال قرار دارند (بداق جمالی و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۳). در بررسی چگونگی وقوع خشک‌سالی‌های سالانه چنانچه در شکل ۳ (سمت راست) نیز مشخص است سه سال با شرایط نسبتاً تر در سال‌های زراعی ۷۲-۱۳۷۱؛ ۷۵-۱۳۷۴ و ۸۳-۱۳۸۲ به وقوع پیوسته است در حالی که ۴ مورد شرایط نسبتاً خشک مشاهده شده است. هدف از استخراج شاخص خشک‌سالی ماهانه بررسی تداوم دوره‌های خشک یا تر و شناسایی وقوع دوره‌های خشک یا تر کوتاه‌مدت در داخل سال‌های زراعی است. چنانکه در شکل ۴ (سمت چپ) نیز مشاهده می‌شود ایجاد شاخص ماهانه خشک‌سالی بهتر از شاخص سالانه وضعیت خشک‌سالی و طول دوره دوام خشک‌سالی و ترسالی‌ها را آشکار می‌سازد. با دقت در ستون‌های ایجاد شده می‌توان فهمید که در داخل دوره‌های خشک یا تر، دوره‌های کوتاه مدت نسبتاً تر و یا خشک‌تر وجود داشته است که در این نمودار به‌صورت بریدگی‌هایی در بطن آن‌ها مشخص شده است. در بررسی این نمودار همانند نمودار قبلی می‌توان پایداری نسبی بارش‌ها را در محدوده نرمال و همچنین روند ملایم رو به خشکی منطقه مورد مطالعه را از دید شاخص خشک‌سالی مشاهده نمود. در زراعت دیم علاوه بر مجموع بارندگی سالانه، توزیع بارش در طول مراحل رشد بر عملکرد تأثیر بسزایی دارد (گوپتا، ۱۳۶۶: ۹۵-۹۰). زیرا غالباً توزیع بارندگی از لحاظ زمانی و مکانی بسیار نامنظم است. در این قسمت برای مطالعه چگونگی توزیع بارش در طول سال زراعی، توزیع مکانی و زمانی بارش‌ها در فصول پاییز، بهار و خرداد ماه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شرایط بهینه گندم زمستانه تا اواخر فصل پاییز (قبل از شروع یخبندان) باید ۳ تا ۴ پنجه زده باشد تا بتواند سرمای زیر صفر زمستان را به‌خوبی سپری کند (زرین، ۱۳۷۹: ۷۸)؛ به‌عبارت‌دیگر مراحل جوانه‌زنی و پنجه‌زنی در فصل پاییز باید صورت گیرد. سازمان هواشناسی مقدار بارش مناسب پاییزه (بارش جوانه‌زنی و پنجه‌زنی) را ۴۰ تا ۶۰ میلی‌متر پیشنهاد کرده است. بر اساس مطالعات انجام یافته در ایران توسط گیوی (۱۳۷۶: ۷۹-۷۸) مناسب‌ترین بارش پاییزه ۴۵ تا ۹۵ میلی‌متر تعیین شده است. در بررسی پراکندگی مکانی بارش پاییزه (شکل ۴؛ سمت چپ) مشخص شد که میانگین بارش پاییزه در منطقه کلیبر و خدا آفرین ۹۱/۹ میلی‌متر با انحراف میانگین ۱۰/۶ می‌باشد. حداقل میزان بارندگی حدود ۶۹ تا ۸۰ میلی‌متر در قسمت‌های غربی منطقه مورد مطالعه و بیشترین مقدار در بخش شرقی، مرکزی و جنوب وجود دارد که می‌تواند نیازهای رطوبتی گندم دیم را به‌صورت بهینه تأمین نماید. هرچند که محدودیت‌های بسیار جزئی در بخشه‌ای کوچکی از غرب منطقه مشاهده می‌شود. با دقت در شکل ۵(سمت چپ) مشاهده می‌گردد که تغییرات قابل ملاحظه‌ای در میانگین بارش پاییزه در طی ۲۲ سال گذشته اتفاق افتاده است (انحراف معیار تغییرات سال‌به‌سال بارش پاییزه ۲۹/۳ است). با لحاظ نیازهای رطوبتی گندم دیم در طول رشد پاییزه مشاهده می‌شود که در اکثر مهر و موم‌ها نیازهای رطوبتی گیاه به‌استثناء چند سال تأمین گردیده است. مشخص

است که میانگین بارش‌ها در سال‌های زراعی ۷۰-۱۳۶۹ و ۷۷-۱۳۷۶ و ۷۸-۱۳۷۷ و خصوصاً در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ میانگین بارش پاییزه کمتر از حداقل نیازهای رویشی گندم در رشد پاییزه دریافت کرده‌اند.



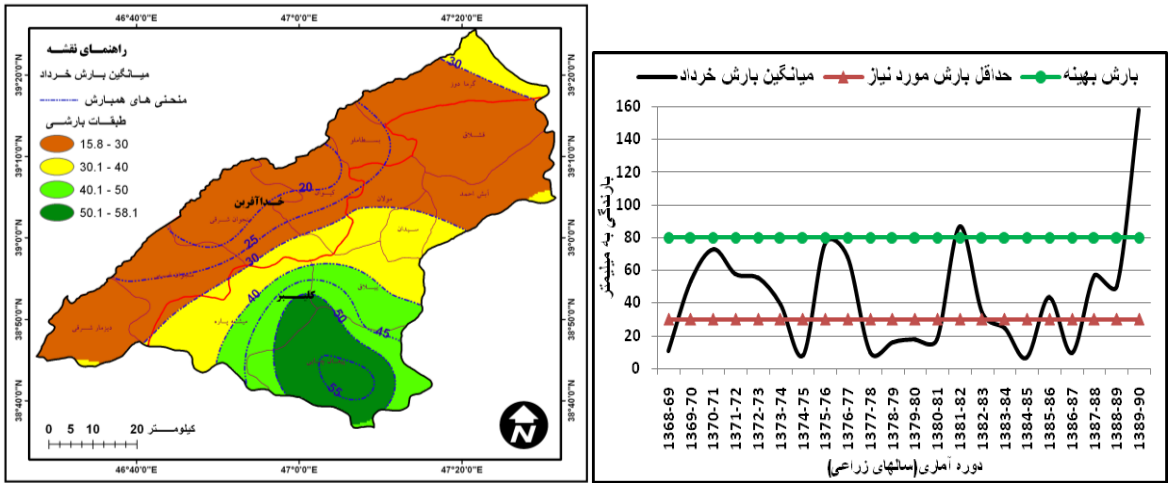
شکل ۴: نقشه پراکندگی مکانی میانگین بارش پاییزه (سمت چپ) وبهاره (سمت راست) در منطقه موردمطالعه (منبع: نگارندگان)

بر اساس مطالعات گیوی (۱۳۷۶: ۸۱) بارش مناسب بهاره (مجموع بارش مرحله گل‌دهی و دانه دهی) ۱۱۵ الی ۱۷۰ میلی‌متر پیشنهاد شده است. بازگیر (۱۳۷۸: ۶۱) بدون اشاره به مقدار بارش، ۳۷ تا ۴۰ درصد، نسبت بارش بهاره به بارش سالیانه را بارش مناسب بهاره تعیین کرده است. در بررسی پراکندگی میانگین بارش بهاره حداقل مقدار بارندگی در ایستگاه خدا آفرین ۱۱۷/۹ میلی‌متر و بیشترین میزان بارش ۲۱۷/۹ میلی‌متر در ایستگاه آس مشاهده می‌شود. با دقت در نقشه پراکندگی مکانی بارش بهاره (شکل ۴؛ سمت راست)؛ به نظر می‌رسد حتی در خشک‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه (از لحاظ بارش بهاره) حداقل نیازهای رشد بهاره گندم دیم تأمین می‌گردد. نتایج حاصل از اجرای فرامین آماری در محیط ARC GIS حاکی از آن است که میانگین بارش بهاره در منطقه مورد مطالعه ۱۵۱/۶ میلی‌متر با انحراف معیار ۲۴/۱۶ است. لذا اکثر مناطق این شهرستان‌ها در شرایط مساعد قرار داشته و فقط در بخشه‌ای کوچکی از سواحل رودخانه ارس محدودیت‌های جزئی وجود دارد. در بررسی تغییرات میانگین بارش بهاره از سالی به سال دیگر (نمودار شکل ۵؛ سمت راست) مشخص شد که نوسان‌های بارش بهاره در این منطقه چشمگیر بوده (انحراف معیار برابر ۵۳/۹ است) و مشاهده می‌شود که در ۷ سال از ۲۲ سال گذشته میانگین بارش کمتر از حداقل نیاز رطوبتی گندم دیم بوده است. هر چند که در ۶ سال از دوره آماری بارندگی در وضعیت بسیار مساعد قرار داشته است. در این میان بارندگی بهاره سال ۱۳۹۰ با ۲۸۸ میلی‌متر به‌طور محسوسی از میانگین بالاتر بوده است.



شکل ۵: نمودار نوسان‌های سال‌به‌سال میانگین بارش پاییزه (سمت چپ) و بهاره (سمت راست) در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین در فاصله سال‌های ۶۹-۱۳۶۸ تا ۹۰-۱۳۸۹ (منبع: نگارندگان)

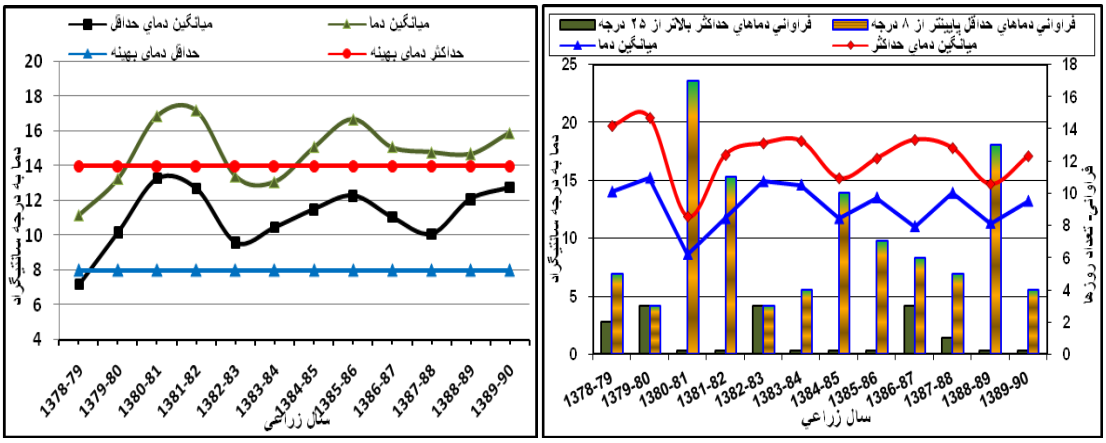
بارش در ماه ژوئن (خرداد) عاملی است که باعث تعیین تعداد و وزن دانه‌های گندم می‌شود. بر اساس مطالعات دین پژوه و موحد دانش (۱۳۷۵: ۷۸) در شمال‌غرب کشور و کاظمی راد و علیجانی (۱۳۷۷: ۱۲-۵) در استان آذربایجان‌غربی گندم دیم در این ماه در مرحله پر شدن دانه است لذا کمبود یا کاهش بارندگی سبب کاهش تعداد و وزن دانه‌ها می‌گردد. اهمیت بارش در این مرحله از رشد گندم به حدی است که در بعضی از مطالعات با استناد به بارش ژوئن (خرداد)، مناطق مستعد کشت گندم دیم را مشخص کرده‌اند. در بررسی میانگین بارش خرداد ماه مشخص شد که کمترین مقدار بارندگی در ایستگاه خدا آفرین (۱۵/۷ میلی‌متر) بوده و بیشترین بارندگی‌ها در ایستگاه‌های آس و کلیبر با ۵۸/۱ و ۵۴/۸ میلی‌متر بارش می‌باشند. با دقت در نقشه پراکندگی بارش (شکل ۶؛ سمت چپ) مشاهده شد که میانگین بارش خرداد ۳۲/۸ میلی‌متر با انحراف معیار ۱۰/۴ است که اکثر مناطق نوار شمالی منطقه مورد پژوهش با دریافت بارندگی کمتر از ۳۰ میلی‌متر دارای محدودیت‌های قابل ملاحظه‌ای برای توسعه دانه‌های گندم می‌باشند. همچنین در هیچ‌یک از مناطق میانگین بارندگی به حد بهینه نمی‌رسد. با یک محاسبه ساده می‌توان به این نتیجه رسید که تنها ۲۱/۶ درصد کل بارش بهار در ماه خرداد اتفاق می‌افتد و این خود باعث افت عملکرد گندم دیم می‌گردد. نمودار شکل ۶ «سمت راست» حاکی است که اولاً نوسان بارش خرداد از سالی به سال دیگر بسیار زیاد بوده (انحراف معیار ۳۵/۶) و در اکثر مهر و موم‌ها پایین‌تر از حداقل بارش بهینه مورد نیاز گندم بوده است؛ و تنها در ۳ یا ۴ سال این بارندگی به مقدار بهینه یا بیشتر از آن رسیده است.



شکل ۶: مانند شکل ۲ ولی برای بارش خرداد (ژوئن) (منبع: نگارندگان)

– درجه حرارت یکی از عوامل تعیین کننده در جغرافیای گیاهان زراعی است. برای هر گونه گیاهی، آستانه‌های حرارتی معینی تعریف شده است. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، دما در هر یک از مراحل رشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است ولی در این بین مراحلی وجود دارد که به دلیل حساس بودن گیاه به تغییرات آب و هوایی، اهمیت بیشتری دارد. به همین دلیل در این تحقیق، شرایط دمایی ایستگاه کلیبر را با توجه به نیازهای حرارتی گندم دیم در مراحل جوانه زنی (کاشت-تاسه برگه شدن)، دوره گلدهی (گرده افشانی) و دوره پر شدن دانه، مورد بررسی قرار می‌گیرد (بازگیر، ۱۳۷۸).

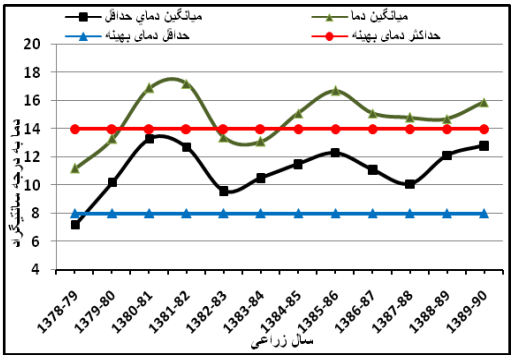
دما در مراحل ابتدایی رشد گیاه، به‌ویژه در دوره کاشت تا سبز شدن، اثر قابل‌توجه بر گیاهان سبز دارد. بر اساس تحقیق انجام شده به‌وسیله راد مهر (۱۳۷۶: ۴۵) مناسب‌ترین دما برای جوانه‌زنی گندم، ۱۵ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. کمالی (۱۳۷۶) در غرب کشور دمای مناسب جوانه‌زنی گندم دیم را ۸ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد تعیین کرده است به شرطی که دمای حداقل شبانه‌روزی به صفر یا زیر صفر درجه سانتی‌گراد نرسد. مشخص است که برای مطالعه وضعیت دمایی در مرحله جوانه‌زنی گندم دیم نیاز به داشتن اطلاعات کافی در مورد زمان واقعی وقوع این مرحله در منطقه مورد مطالعه است. بدین منظور با در نظر گرفتن تجربیات کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان کلیبر مشخص شد که جوانه‌زنی گندم دیم این منطقه در فاصله ۱۰ تا ۲۵ مهر اتفاق می‌افتد. برای بررسی وضعیت دما در مرحله جوانه‌زنی، میانگین دمای روزانه و حداقل دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک کلیبر در بازه‌ی زمانی فوق‌الذکر استخراج گردید. نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۷؛ سمت چپ نشان داده‌شده است.



شکل ۷: نمودار نوسان‌های دمایی ایستگاه سینوپتیک کلیبر در دوره جوانه‌زنی (سمت چپ) و گلدهی (سمت راست) گندم دیم در فاصله سال‌های زراعی ۷۹-۱۳۷۸ تا ۹۰-۱۳۸۹ (منبع: نگارندگان)

در بررسی حداقل دماهای مشاهده‌شده مشخص شد که در هیچ‌یک از مهر و موم‌ها دمای حداقل روزانه به زیر صفر درجه سانتی‌گراد نرسیده است و میانگین دما در این دوره ۱۴/۸ درجه سلسیوس محاسبه‌شده است. دقت در نمودار نوسان‌های دما در مرحله جوانه‌زنی نشان می‌دهد که در اکثر مهر و موم‌ها میانگین دما بیشتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد بوده و محیط مناسبی را برای جوانه کردن و رشد اولیه گیاه گندم ایجاد می‌کند و همچنین دماهای حداقل نیز رویش اولیه‌ی گیاه گندم را تهدید نمی‌کند.

از دیگر مراحل حساس فِنولوژی گندم، دوره گلدهی است. در این مرحله از رشد گندم چنانچه دماهای حداکثر روزانه از ۲۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر برود، سبب عقیمی اندام‌های نر در گندم می‌گردد (وَرینگتُن، ۱۹۷۷؛ کرامِر، ۱۹۹۷). همچنین اگر دمای هوا در این مرحله از رشد به ۸ درجه سانتی‌گراد یا کمتر برسد باعث سرمازده شدن گندم میشود که در نهایت باعث افت عملکرد محصول می‌گردند. طبق نظر کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان کلیبر دوره گلدهی گندم دیم در منطقه مورد مطالعه دوره‌ی ۲۰ روزه‌ی ۱۰ تا ۳۰ اردیبهشت است. نتایج زیر از بررسی نوسان‌های فاکتورهای دمایی در مرحله گلدهی (شکل ۷؛ سمت راست) قابل استخراج است: الف- مقادیر میانگین دمای روزانه در بازه زمانی گلدهی در شرایط مناسب قرار گرفته و محدودیتی برای رشد گندم دیم ایجاد نمی‌کند. ب- تنها در ۳ سال از ۱۲ سال مورد بررسی دماهای حداکثر در دوره گلدهی از ۲۵ درجه سلسیوس تجاوز کرده و بیشترین فراوانی آن ۳ روز از ۲۱ روز بوده است. لذا این مسئله یک محدودیت قابل اغماض محسوب می‌شود. ج- موضوع مهم در دوره گلدهی این منطقه فراوانی قابل ملاحظه دماهای حداقل زیر ۸ درجه می‌باشد. در همه مهر و موم‌ها دما در این دوره به زیر ۸ درجه افت کرده که بیشترین فراوانی آن در سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ به مدت ۱۷ روز از ۲۱ روز بوده است؛ بنابراین احتمال سرمازدگی گیاه گندم در مرحله گلدهی زیاد است.



شکل ۸: مانند شکل ۷ برای مرحله گلدهی گندم دیم

درجه حرارت‌های ۳۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر در مرحله پر شدن دانه سبب افت عملکرد محصول می‌شود؛ زیرا افزایش دما سبب افزایش تبخیر- تعرق گیاه و تنش آبی می‌گردد که سبب چروکیده شدن دانه‌ها شده و کاهش وزن هزار دانه و نهایتاً عملکرد در واحد سطح می‌گردد[۱] (کمالی، ۱۳۷۶؛ بازگیر، ۱۳۷۸؛ کرامِر، ۱۹۹۷). طبق مطالعه سبحانی (۱۳۸۴) دماهای مطلوب برای رشد گندم در مرحله پر شدن دانه ۱۴ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. با این دید نوسان‌های دمای متوسط روزانه، میانگین حداکثر دمای دوره پر شدن دانه (۱۰ تا ۲۵ خرداد) و فراوانی روزهایی که دمای حداکثر بالاتر از ۳۰ درجه در دوره آماری مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۸). مشخص شد که میانگین دما در دوره پر شدن دانه در همه مهر و موم‌ها در بازه دمایی بهینه قرار داشته و شرایط مساعدی از این لحاظ برای رشد گندم ایجاد می‌کند. در بررسی دماهای حداکثر روزانه در دوره پر شدن دانه مشاهده می‌شود که در تعدادی از مهر و موم‌ها دمای حداکثر از ۳۰ درجه بالاتر رفته و تنگناهایی برای رشد بهینه گندم ایجاد می‌کند. ازجمله در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ در ۵ روز از ۱۵ روز حداکثر دمای روزانه از ۳۰ درجه بالاتر رفته است. با این وجود دماهای حداکثر روزانه محدودیت جزئی را برای رشد گندم دیم ایجاد می‌کند.

پارامترهای آب و هوایی یکی از مؤثرترین فاکتورها در رشد و عملکرد محصول‌های کشاورزی به‌ویژه کشت‌های دیم می‌باشند. بدین‌جهت در مطالعه حاضر، ضمن بررسی توزیع زمانی و مکانی پارامترهای آب و هوایی در تولید گندم دیم؛ نقش پارامترهای مذکور با استفاده از مدل‌های همبستگی پیرسون و رگرسیون چند متغیره گام‌به‌گام مورد تحلیل قرار گرفت. نتیجه اجرای همبستگی بین ۱۶ فاکتور آب و هوایی با میزان عملکرد گندم دیم به روش پیرسون حاکی از وجود رابطه معکوس بین پارامترهای میانگین دمای روزانه در مرحله پر شدن دانه (ضریب همبستگی ۰/۵۴۹- با سطح معنی‌داری ۰/۰۶۵) و تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در مرحله پر شدن دانه (ضریب همبستگی ۰/۵۴۰- با سطح معنی‌داری ۰/۰۷۰) با میزان عملکرد است (جدول ۱)؛ بنابراین با توجه به عدم معنی‌داری همبستگی ایجادشده در سطح اطمینان ۹۹ یا ۹۵ درصد؛ می‌توان نتیجه گرفت که هرچند بعضی از پارامترهای هواشناسی

[۱] - وزن هزار دانه یکی از شاخصه‌ای عملکرد است.

در میزان عملکرد تأثیر نسبتاً بیشتری دارند ولی باید دقت شود که میزان برداشت گندم دیم نتیجه تأثیر هم‌زمان و متقابل کلیه پارامترهای هواشناسی و محیطی بوده و تنها با استناد به یک فاکتور اقلیمی نمی‌توان میزان عملکرد را تخمین زد.

در این مطالعه برای پاسخ دادن به این سؤال که آیا در منطقه مورد مطالعه نوسان‌هایت آب و هوایی تأثیر معنی‌داری در عملکرد گندم دیم دارد یا نه از تحلیل رگرسیون چند متغیره گام‌به‌گام استفاده شده است. نتایج حاصله بدین شرح تحلیل می‌گردد: با اجرای روش رگرسیون در گام اول تعداد مدل‌های قابل تعریف تعیین شده و در جدول ANOVA معروف است کفایت تک‌تک مدل‌ها به همراه فاکتورهای اقلیمی انتخاب‌شده در هر مدل ارائه شد. جدول مذکور نشان می‌دهد که مدل چهارم (مدل d) که شامل ۷ فاکتور اقلیمی میانگین دمای روزانه در مرحله پر شدن دانه مقدار اولین بارندگی پاییزه، مقادیر بارش پاییزه، تاریخ وقوع اولین بارش پاییزه و تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مرحله گلدهی، شاخص خشک‌سالی SPI و مقدار بارندگی خرداد است؛ با توجه به میزان P-Value (۰/۰۲۴) مؤثرترین مدل برای پیش‌بینی انتخاب شده است که در سطح اطمینان ۹۵٪ قابل اعتماد است.

جدول ۱: مقادیر ضریب همبستگی پیرسون و معنی‌داری تأثیر فاکتورهای آب و هوایی بر میزان عملکرد گندم دیم در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین (منبع: نگارندگان)

همبستگی با عملکرد گندم	پارامترهای آماری	پارامترهای اقلیمی	همبستگی با عملکرد گندم	پارامترهای آماری	پارامترهای اقلیمی
-۰.۰۰۴	همبستگی پیرسون	میانگین دمای روزانه در مرحله جوانه‌زنی	۰.۲۹۹	همبستگی پیرسون	بارش سال زراعی
۰.۹۹۱	معنی‌داری		۰.۱۷۶	معنی‌داری	
۱۲	تعداد داده‌ها		۲۲	تعداد داده‌ها	
-۰.۰۰۵	همبستگی پیرسون	تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۲۵ درجه در مرحله گلدهی	۰.۲۸۳	همبستگی پیرسون	بارش پاییزه
۰.۹۸۸	معنی‌داری		۰.۲۰۲	معنی‌داری	
۱۲	تعداد داده‌ها		۲۲	تعداد داده‌ها	
-۰.۰۷۲	همبستگی پیرسون	میانگین حداکثر دمای روزانه در مرحله گلدهی	۰.۲۷۳	همبستگی پیرسون	بارش بهاره
۰.۸۲۵	معنی‌داری		۰.۲۱۹	معنی‌داری	
۱۲	تعداد داده‌ها		۲۲	تعداد داده‌ها	
۰.۲۳۶	همبستگی پیرسون	تعداد روزهای با دمای حداقل روزانه پایین‌تر از ۸ درجه در مرحله گلدهی	-۰.۰۰۳	همبستگی پیرسون	بارش خرداد
۰.۴۶۰	معنی‌داری		۰.۹۸۸	معنی‌داری	
۱۲	تعداد داده‌ها		۲۲	تعداد داده‌ها	
-۰.۰۳۲	همبستگی پیرسون	میانگین دمای روزانه در مرحله گلدهی	۰.۱۱۹	همبستگی پیرسون	شاخص خشک‌سالی SPI
۰.۹۲۲	معنی‌داری		۰.۵۹۸	معنی‌داری	
۱۲	تعداد داده‌ها		۲۲	تعداد داده‌ها	
-۰.۵۴۰	همبستگی پیرسون	تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۳۰ درجه در مرحله پر شدن دانه	۰.۰۶۴	همبستگی پیرسون	تاریخ اولین بارش پاییزه
۰.۰۷۰	معنی‌داری		۰.۷۷۶	معنی‌داری	
۱۲	تعداد داده‌ها		۲۲	تعداد داده‌ها	
-۰.۴۸۵	همبستگی پیرسون	میانگین حداکثر دمای روزانه در مرحله پر شدن دانه	-۰.۰۰۷	همبستگی پیرسون	میزان اولین بارش
۰.۱۱۰	معنی‌داری		۰.۹۷۴	معنی‌داری	
۱۲	تعداد داده‌ها		۲۲	تعداد داده‌ها	
-۰.۵۴۹	همبستگی پیرسون	میانگین دمای روزانه در مرحله پر شدن دانه	-۰.۰۴۹	همبستگی پیرسون	میانگین حداقل دمای روزانه در مرحله جوانه‌زنی
۰.۰۶۵	معنی‌داری		۰.۸۸۱	معنی‌داری	
۱۲	تعداد داده‌ها		۱۲	تعداد داده‌ها	

همچنین در جدولی دیگر معنی‌داری اثرگذاری تک‌تک پارامترهای اقلیمی تشکیل دهنده هر یک از مدل‌ها نشان داده شده است (ضمیمه‌ی شماره ۴). با دقت در این جدول مشخص شد که فاکتورهای تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مرحله گلدهی و میانگین دمای روزانه در مرحله پر شدن دانه در سطح اطمینان ۰/۹۹ و فاکتورهای مقادیر بارش پاییزه، مقدار بارندگی خرداد در سطح اطمینان ۰/۹۵ و پارامترهای شاخص خشک‌سالی و تاریخ وقوع اولین بارش پاییزه در سطح اطمینان ۰/۹۰ در عملکرد گندم دیم تأثیر دارند.

جدول ۲: جدول آزمون کفایت مدل‌های ارائه شده توسط رگرسیون به روش تحلیل واریانس (ANOVA) به همراه فاکتورهای اقلیمی انتخاب شده برای آن‌ها (منبع: نگارندگان)

ANOVA[e]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1513478	10	151347.768	2.328	.473[a]
	Residual	65023.24	1	65023.237		
	Total	1578501	11			
2	Regression	1513185	9	168131.620	5.148	.173[b]
	Residual	65316.34	2	32658.169		
	Total	1578501	11			
3	Regression	1513031	8	189128.845	8.666	.051[c]
	Residual	65470.16	3	21823.386		
	Total	1578501	11			
4	Regression	1487384	7	212483.463	9.328	.024[d]
	Residual	91116.67	4	22779.169		
	Total	1578501	11			

مدل اول (a) متشکل از پارامترهای میانگین دما در مرحله پر شدن دانه، مقدار اولین بارش پاییزه، میانگین حداقل دما در مرحله جوانه‌زنی، میزان بارش پاییزه، تاریخ اولین بارش پاییزه، تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مرحله گلدهی، شاخص خشک‌سالی SPI، مقدار بارش خرداد، میانگین دما در مرحله جوانه-زنی و میزان بارش بهاره است.

مدل دوم (b) متشکل از پارامترهای میانگین دما در مرحله پر شدن دانه، مقدار اولین بارش پاییزه، میزان بارش پاییزه، تاریخ اولین بارش پاییزه، تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مرحله گلدهی، شاخص خشک‌سالی SPI، مقدار بارش خرداد، میانگین دما در مرحله جوانه‌زنی و میزان بارش بهاره است.

مدل سوم (c) متشکل از پارامترهای میانگین دما در مرحله پر شدن دانه، مقدار اولین بارش پاییزه، میزان بارش پاییزه، تاریخ اولین بارش پاییزه، تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مرحله گلدهی، شاخص خشک‌سالی SPI، مقدار بارش خرداد و میزان بارش بهاره می‌باشد.

مدل چهارم (d) متشکل از پارامترهای میانگین دما در مرحله پر شدن دانه، مقدار اولین بارش پاییزه، میزان بارش پاییزه، تاریخ اولین بارش پاییزه، تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بالاتر از ۲۵ درجه در مرحله گلدهی، شاخص خشک‌سالی SPI، مقدار بارش خرداد است.

نهایتاً با در نظر گرفتن نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون چند متغیره گام‌به‌گام؛ معادله پیش‌بین‌گر زیر برای تخمین عملکرد گندم دیم در منطقه مورد مطالعه حاصل شد:

$$Y=4628.7 + 8.08X_1 - 6.24X_2 + 194.7X_3 - 16.28X_4 - 41.9X_5 - 237.6X_6 - 165X_7$$

که در آن: Y= عملکرد گندم دیم (کیلوگرم در هکتار)؛

X_1= مقدار بارش پاییزه (میلی‌متر)؛

X_2= مقدار بارش خرداد (میلی‌متر)؛

X_3= وضعیت خشک‌سالی دوازده ماهه (شاخص SPI)؛

X_4= تاریخ وقوع اولین بارش پاییزه (بر اساس تاریخ ژولیوسی)؛

X_5 = مقدار اولین بارش پاییزه (میلی‌متر)؛

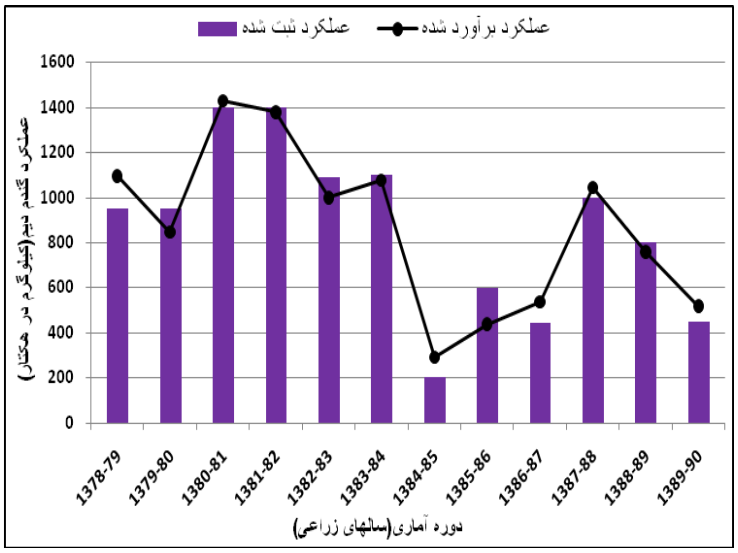
X_6= تعداد روزهای با دمای حداکثر روزانه بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در مرحله گلدهی؛

X_7= میانگین دمای روزانه در مرحله پر شدن دانه (درجه سانتی‌گراد).

برای ارزیابی توانایی رابطه فوق در برآورد عملکرد گندم دیم در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین؛ این رابطه را بر روی داده‌های سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ به ترتیب زیر اجرا شد:

$$Y_{۱۳۸۱-۸۲}= 4628.7 + (8.08\times88.5) - (6.24\times86.7) + (194.7\times0.12) - (16.28\times30) - (41.9\times8) - (237.6\times0) - (165\times15.9)$$

با انجام رابطه فوق می‌توان مقدار ۱۳۷۹/۰۳۶ را برآورد کرد که در مقایسه با عدد ثبت شده توسط سازمان جهاد کشاورزی (۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار)؛ بسیار نزدیک و در حد قابل قبولی است. در انتها با هدف مقایسه داده‌های ثبت شده توسط سازمان جهاد کشاورزی و مقادیر برآورد شده توسط مدل، از طریق ترسیم نمودار مورد تحلیل قرار گرفت (شکل ۹) که نشان‌دهنده‌ی توانمندی بسیار بالای این رابطه در تخمین میزان عملکرد گندم دیم در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۹: نمودار مقایسه مقادیر ثبت‌شده عملکرد گندم دیم با مقادیر برآورد شده توسط مدل رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین (منبع: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

علیرغم اینکه کلیه پارامترهای آب‌وهوایی بر رشد و تولید محصول‌های زراعی تأثیر دارند ولی مشخص است که پارامترهایی که مستقیماً با نیازهای اقلیمی گیاه مرتبط هستند، اثرگذارترند. بدین‌جهت در مطالعه حاضر ضمن بررسی توزیع زمانی و مکانی پارامترهای آب و هوایی در تولید گندم دیم؛ نقش پارامترهای مذکور با استفاده از مدل‌های

همبستگی پیرسون و رگرسیون چند متغیره‌ی گام‌به‌گام مورد تحلیل قرار گرفته و معادله تخمین میزان برداشت تدوین شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد میانگین بارش سالانه حدود ۳۵۰ میلی‌متر است که به استثنای بخش‌های کوچکی از سواحل ارس، اغلب مناطق بارش مناسبی دریافت می‌کنند. نوسان‌های زمانی مقادیر بارش طوری است که حتی در سال‌های کم‌بارش نیز تا حدی نیازهای آبی گندم دیم را تأمین می‌کند. نتایج اجرای شاخص SPI نشان داد هرچند تمایل به خشکی در منطقه مورد مطالعه با شیب ملایمی مشاهده می‌شود با این وجود خشک‌سالی‌های (ترسالی‌های) شدید در دوره آماری مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود. به لحاظ اهمیت رژیم بارش در رشد و عملکرد گندم دیم، بها بازارهای فصلی نیز مورد بررسی شد. میانگین بارش فصل پاییز حدود ۹۰ میلی‌متر محاسبه شد که تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای از سالی به سال دیگر دارد. به‌طوری‌که در برخی از مهر و موم‌ها نیاز رویشی این گیاه در این فصل تأمین نمی‌شود. مقدار بارش بهاره (با میانگین ۱۵۱/۶ میلی‌متر) حتی در خشک‌ترین بخشه‌ای منطقه مورد مطالعه در حد مطلوبی تأمین می‌شود. به لحاظ اهمیت بارش خرداد در تعیین دانه‌های گندم؛ بررسی مقادیر بارش این ماه‌نشان داد که میانگین بارش این ماه حدود ۳۰ میلی‌متر است که نوسان‌های سال‌به‌سال آن زیاد است. لذا در هیچ‌یک از مناطق بارندگی‌ها نیاز آبی گندم را به‌طور کامل تأمین نمی‌کند. به‌طور خلاصه با وجود اینکه در اکثر سال‌ها نیاز آبی گندم دیم در حد نسبتاً مطلوبی تأمین می‌شود، لکن نوسانات زیاد بها بازارها از سالی به سال دیگر و کاهش قابل‌توجه بارندگی در مرحله پر شدن دانه (خرداد)؛ محدودیت اصلی بارش برای کشت گندم دیم است. میانگین دما در مرحله جوانه‌زنی ۱۴/۸ میلی‌متر محاسبه شد که شرایط مطلوبی را فراهم ساخته است. در مرحله گلدهی باوجوداینکه میانگین و حداکثر دمای روزانه شرایط مطلوبی را برای گندم دیم ایجاد می‌کند ولی افت مکرر حداقل دما به زیر ۸ درجه سانتی‌گراد؛ احتمال سرمازده شدن گندم را افزایش می‌دهد.

هر چند میانگین دما در دوره پر شدن دانه در اغلب مهر و موم‌ها در بازه دمایی بهینه قرار دارد اما دماهای حداکثر روزانه در تعدادی از مهر و موم‌ها به بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد رسیده و بعضاً محدودیت‌هایی را برای پر شدن کامل دانه‌های گندم ایجاد می‌کند. با این توصیف عنصر اقلیمی دما در منطقه مورد مطالعه در مراحل جوانه‌زنی و پر شدن دانه شرایط نسبتاً مطلوبی را ایجاد می‌کند ولی در مرحله گلدهی شرایط دمایی منطقه سردتر از آستانه‌های مطلوب فیزیولوژیکی گندم است. همچنین اجرای رگرسیون چندمتغیره، مدلی را با ۷ پارامتر آب و هوایی ارائه داد که می‌تواند در سطح اطمینان ۹۵٪ نقش پارامترهای اقلیمی را در میزان عملکرد گندم دیم تبیین کند. اعمال ضرایب به دست آمده بر روی‌داده‌های اقلیمی برای سال‌های گذشته نشان داد این معادله قادر است میزان عملکرد گندم دیم را با دقت بسیار بالایی تخمین بزند. لذا می‌توان این معادله را برای برآورد عملکرد گندم دیم شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین قبل از برداشت محصول به کار بست.

مقایسه پژوهش حاضر با پژوهش‌های پیشین در خصوص کشت دیم گندم حاکی است این پژوهش از یافته‌های تعدادی از مطالعات پیشین (شرکت کوانتا، ۱۳۵۴؛ گوپتا، ۱۳۶۸؛ کمالی، ۱۳۷۶) برای تعیین آستانه‌های مورد نیاز برای کشت گندم دیم در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. لذا از این لحاظ مطالعه حاضر ادامه پژوهش‌های پیشین و

تکمیل کننده آن‌ها به لحاظ ارزیابی میزان استعداد اراضی برای کشت گندم دیم است. نتایج این پژوهش در زمینه پهنه-بندی پتانسیل‌های اقلیمی کشت گندم دیم (بازگیر، ۱۳۷۸؛ سبحانی، ۱۳۸۴؛ محمدی، ۱۳۸۵ و ابدالی، ۱۳۸۶) متفاوت بوده و اغلب میزان تأمین (عدم تأمین) نیازهای آب و هوایی این گیاه مورد تحلیل قرار گرفته است. در این پژوهش نوسان‌های زمانی پارامترهای جوی فارغ از میانگین‌های محاسبه شده مورد توجه قرار گرفته است که این رویکرد علمی در مطالعات پیشین چندان مورد توجه نبوده است. با توجه به تغییرپذیر بودن شرایط جوی از سالی به سال دیگر در اقلیمی مانند ایران، اهمیت توجه به نوسان‌های اقلیمی در کشت محصول‌های دیم مبرهن است. در این مطالعه پارامترهای جوی تخصصی برای مراحل مختلف فنولوژیک گندم دیم استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت که این رویکرد نیز در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه بوده است. نهایتاً اینکه در این مطالعه رابطه‌ای تدوین شد که قادر است با ضریب اطمینان قابل قبولی میزان عملکرد گندم دیم را قبل از برداشت محصول برآورد کند.

منابع

۱- ابدالی، حسین؛ (۱۳۸۶): نقش عناصر اقلیمی در تعیین مناطق مستعد کشت گندم دیم با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان آذربایجان‌شرقی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

۲- بازگیر، سعید؛ (۱۳۷۸): بررسی پتانسیل اقلیمی زراعت گندم دیم (مطالعه موردی استان کردستان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۳- بداق جمالی، جواد؛ مهدی آسیایی؛ سیما صمدی نقاب و سهیلا جوانمرد؛ (۱۳۸۴): مدیریت ریسک خشک‌سالی (شناخت و راهکارها)، انتشارات سخن گستر.

۴- بهنیا، محمدرضا؛ (۱۳۷۶): غلات سردسیری (چاپ دوم) انتشارات دانشگاه تهران.

۵- توکلی، اصغر؛ (۱۳۸۸): تأثیر پارامترهای آب و هوایی در میزان تولید گندم دیم در ارسباران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر.

۶- دین پژوه، یعقوب و علی اصغر موحد دانش؛ (۱۳۷۵): تعیین مناطق مساعد برای تولید غلات دیم با توجه به بهابازارهای ماهانه آذربایجان‌شرقی، غربی و اردبیل، مجله نیوار، شمارهٔ ۳، صفحات: ۳۸-۲۵.

۷- راد مهر، محمد؛ (۱۳۷۶): تنش گرما بر فیزیولوژی رشدونمو گندم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۸- رستگار، محمدعلی؛ (۱۳۷۱): دیم‌کاری، انتشارات برهمند.

۹- زرین، آذر؛ (۱۳۷۹): مدل‌سازی میزان عملکرد محصول گندم دیم با توجه به پارامترهای اقلیم‌شناسی کشاورزی در استان آذربایجان غربی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، گروه جغرافیای طبیعی.

۱۰- سازمان هواشناسی کشور (شرکت کوانتا)؛ (۱۳۵۴): مطالعه اقلیم کشاورزی ۱۵ محصول زراعی کشور، انتشارات هواشناسی کشور.

۱۱- سبحانی، بهروز و رسولی، علی‌اکبر؛ (۱۳۸۴): پهنه‌بندی آگروکلیماتیک استان اردبیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در محیط GIS، رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.

۱۲- سرمدنیا و کوچکی؛ (۱۳۶۶): جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

۱۳- عزیزی، قاسم و یاراحمدی، داریوش؛ (۱۳۸۲): بررسی ارتباط پارامترهای اقلیمی و عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل رگرسیون (مطالعه موردی دشت سیلاخور)، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۴۴، صص ۲۹-۲۳.
۱۴- کاظمی راد، مظفر و بهلول علیجانی؛ (۱۳۷۷): تعیین زمان و منطقه مساعد کشت گندم دیم در آذربایجان‌غربی بر اساس توزیع دما و بارش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت‌معلم تهران.
۱۵- کمالی، غلامعلی؛ ۱(۳۷۶): بررسی اکولوژیکی توانائی‌های دیمزارهای غرب کشور از نظر اقلیمی و با تأکید خاص بر گندم دیم، رساله دکتری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
۱۶- گوپتا. یو. اس؛ (۱۳۶۸): جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم، ترجمه سرمرنیا، غلامحسین، عوض کوچکی، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه مشهد.
۱۷- گیوی، جواد؛ (۱۳۷۶): ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای نباتات زراعی، موسسه تحقیقات آب‌وخاک، نشریه شماره ۱۰۱۵.
۱۸- لماس، ج. (۱۳۵۰): پیش‌بینی عملکرد گندم در ایران بر مبنای بارندگی، ترجمه علی خلیلی، نشریه هواشناسی سازمان هواشناسی کل کشور.
۱۹- محمدی، غلام حسن؛ (۱۳۸۵): بررسی پتانسیل اقلیمی کشت گندم دیم در استان آذربایجان‌غربی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی.
۲۰- مظفری، غلامعلی؛ (۱۳۸۰): ارزیابی قابلیت‌های محیطی کشت گندم دیم–اقلیم شناسی کشاورزی– مطالعه موردی کرمانشاه، رساله دکتری دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت‌معلم تهران.
۲۱- مظفری، غلامعلی و هوشنگ قائمی؛ (۱۳۸۱): تحلیل شرایط بارش در سطح نواحی دیم خیز (مورد مطالعه: شرق کرمانشاه)، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۴۲، صص ۱۱۹-۱۰۳.

22- Balla, L. L. Sumacs and J. Plester. (1975): Effect of Meteorological Factors on Yield of Winter Wheat at Martovasar, Ace Agronomical Academia Scietiarum Hungarica, 21:386-390.
23- Kramer, P.J. (1997): Plant and Soil Water Relationships: A Modern Synthesis. Tata Mc Grew Hill Publishing Company Ltd. New Delhi, pp. 296- 345.
24- Lam Mason, T. (1974): The Influence of Prosperity in Eastern Montana, Canada Journal of Plant Science, PP: 1878-1974.
25- Lewin, j. (1974): Simple Soil Water Simulation Model for Assessing the Irrigation Requirement of Wheat, Journal Record Management, 22(4), PP: 201-213.
26- Norwood, Charles, A. (2000): Dry Land Winter Wheat as Affected by Previous Crops, Agronomy Journal.
27- Rathove, P. S. (2005): Techniques and Management of Field Crop Production. Agro Bios, Indian.
28- Robertson G. W. (1974): Heat Yields for 50 Years at Swift Current. Saskatchewan in relation to weather, Canada Journal of Plant Science, Vol. 54, PP: 26-39.
28- Veron, Santiago R. (2004): International Variability of Wheat Yield in The Navigating Pampas During The 20th Century, Agricultural Ecosystem and Environment. Vol. PP: 103-122.
29- Warrington, (1977): Crop Phonological Stages, Australian Journal of Agricultural Research, No.28: 11-27.
30- Zhang, Y. (1994): Numerical Experiments For The Impacts of Temperature and Precipitation on The Growth and Development of Winter Wheat. Journal of Environment Science, 5:194-200.