

پیش‌بینی عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی در برخی از مناطق غرب کشور

*سعید بازگیر^۱ و غلامعلی کمالی^۲

^۱کارشناس بخش هواشناسی کشاورزی سازمان هواشناسی کشور، ^۲دانشیار پژوهشکده هواشناسی و علوم جو

تاریخ دریافت: ۸۴/۹/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۸/۲۹

چکیده

یکی از مهمترین ابزارهای برنامه‌ریزی به‌منظور تأمین به موقع محصولات زراعی پیش‌بینی عملکرد این محصولات قبل از برداشت است. در این تحقیق پیش‌بینی عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum*) در شهرهای سنندج، قروه و بیجار در استان کردستان و کرمانشاه و کنگاور در استان کرمانشاه با استفاده از متغیرهای مختلف هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی برای سال‌های زراعی ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ انجام گرفت. براساس بیشترین ضریب همبستگی معنی‌دار، کمترین خطای معیار و همچنین کمترین انحراف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد از واقعی، مناسب‌ترین شاخص‌ها انتخاب و برای پیش‌بینی عملکرد محصول به‌کار برده شدند. شاخص‌های منتخب مدل‌های رگرسیونی شامل دمای حداقل روزانه، اختلاف جمعی دماهای حداکثر و حداقل روزانه، مقدار جمعی واحدهای حرارتی-نوری، ساعات آفتابی، درجه-روزهای جمعی رشد، میزان بارندگی و مقدار جمعی واحدهای حرارتی-آفتابی برای شهرهای مذکور بودند. پیش‌بینی عملکرد گندم در سنندج با استفاده از داده‌های مربوط به مرحله دوم رشد رویشی فعال پس از دوره خواب (۷ فروردین تا ۳۱ اردیبهشت)، برای قروه، مرحله زایشی (۱ تا ۳۰ خرداد)، برای کرمانشاه، مرحله زایشی (۱۱ اردیبهشت تا ۵ خرداد) و برای کنگاور مرحله دوم رشد رویشی فعال پس از دوره خواب (۲۴ اسفند تا ۱۰ اردیبهشت) انجام گرفت. در شهر بیجار به دلیل بالا بودن مقادیر انحراف نسبی مدلی مورد استفاده قرار ننگرفت. براساس این تحقیق در سنندج و قروه ۶۸ درصد، در کرمانشاه ۹۱ درصد و کنگاور ۸۱ درصد از تغییرات عملکرد محصول گندم دیم، به دلیل تغییرات پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های منتخب هواشناسی کشاورزی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی عملکرد گندم، شاخص‌های هواشناسی کشاورزی، مدل‌های آماری

مقدمه

خود این فرآیندها متأثر از فاکتورهای آب‌وهوایی می‌باشند، کمی‌سازی این فاکتورها و مطالعه روابط بین آنها با عملکرد، در استخراج مدل‌های آب‌وهوا-محصول بسیار ضروری است (کوچکی و همکاران، ۱۹۹۳؛ بایر و رابرتسون، ۱۹۶۷).

مدل‌های تحلیل آب و هوا-محصول ابزاری عملی برای تحلیل نمودن واکنش‌های گیاهی به تغییرات

پیش‌بینی عملکرد محصول به‌منظور برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مناسب‌تر، تهیه غذا، توزیع، قیمت‌گذاری و همچنین واردات و صادرات آن انجام می‌شود. از آنجا که عملکرد نتیجه برهم‌کنش فرآیندهای مختلف گیاه است و

* - مسئول مکاتبه: saeed_bazgeer@yahoo.com

استان کردستان) و ۱۰ ساله (شهرهای کرمانشاه و کنگاور استان کرمانشاه) و برقراری رابطه همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی با عملکرد گندم دیم از سال زراعی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۸۳-۱۳۸۲ (شهرهای سنندج، قروه و بیجار) و از سال زراعی ۷۴-۱۳۷۳ تا ۸۳-۱۳۸۲ (شهرهای کرمانشاه و کنگاور) امکان پیش‌بینی عملکرد این محصول در شهرهای مذکور مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور استخراج مدل‌های آماری پیش‌بینی عملکرد گندم از ۱۴ سال (از سال زراعی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۸۳-۱۳۸۲) آمار عملکرد محصول گندم دیم شهرهای سنندج، قروه و بیجار و همچنین ۱۰ سال آمار (از سال زراعی ۷۴-۱۳۷۳ تا ۸۳-۱۳۸۲) مربوط به شهرهای کرمانشاه و کنگاور تهیه شده از سازمان‌های جهاد کشاورزی استان‌های مربوطه استفاده گردید. دوره‌های فوق براساس دسترسی به آمار عملکرد گندم دیم انتخاب گردیدند. فصل رشد محصول گندم به ۶ مرحله فنولوژیکی برای مناطق استان کردستان از ۱۶ مهر (زمان کاشت) تا ۳۰ تیر (زمان برداشت) و برای مناطق استان کرمانشاه از ۱۰ آبان (زمان کاشت) تا ۲ تیر (زمان برداشت) تقسیم گردید. این مراحل برای مناطق استان کردستان شامل، مرحله رشد اولیه (از ۱۶ مهر تا ۱۵ آبان)، مرحله اول رشد رویشی قبل از دوره خواب (از ۱۶ آبان تا ۲۰ آذر)، دوره خواب (از ۲۱ آذر تا ۶ فروردین)، مرحله دوم رشد رویشی پس از دوره خواب (از ۷ فروردین تا ۳۱ اردیبهشت)، مرحله رشد زایشی (از ۱ خرداد تا ۳۰ خرداد) و مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی (از ۳۱ خرداد تا ۳۰ تیر) و برای مناطق استان کرمانشاه شامل، مرحله رشد اولیه (از ۱۰ آبان تا ۲ آذر)، مرحله اول رشد رویشی قبل از دوره خواب (از ۳ آذر تا ۲ دی)، دوره خواب (از ۳ دی تا ۲۳ اسفند)، مرحله دوم رشد رویشی پس از دوره خواب (از ۲۴ اسفند تا ۱۰ اردیبهشت)، مرحله رشد زایشی (از ۱۱ اردیبهشت تا ۵ خرداد) و

آب‌وهوایی است. فرآیندهای آماری متداول که اساس آنها روابط رگرسیونی است، به‌منظور ارزیابی ضرابی که واکنش‌های گیاه را به شاخص‌های هواشناسی کشاورزی مرتبط می‌سازد، مورد استفاده قرار می‌گیرند (بایر، ۱۹۷۷). براساس گزارش ویلیامز (۱۹۶۹) بیشترین همبستگی بین عملکرد گندم و بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل در کانادا در ماه ژوئن وجود داشت. ولی به این نتیجه رسید که همبستگی مثبت بارندگی و عملکرد محصول به‌دلیل وقوع مرحله رشد رویشی فعال و نیاز گیاه به بارندگی در ماه ژوئن بوده است. از طرف دیگر، منفی بودن همبستگی بین تبخیر و تعرق و عملکرد گندم در ماه ژوئن به‌دلیل بالا بودن تبخیر و تعرق پتانسیل و در نتیجه تشدید تنش گرمایی و هدر رفت آب خاک بوده است که افت عملکرد محصول را به‌دنبال داشته است.

بال و همکاران (۲۰۰۴) در استان پنجاب هندوستان به کمک رگرسیون چندگانه از پارامترهای آب‌وهوایی به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل آماری استفاده نمودند. آنها نشان دادند که ۶۹ درصد تغییرات عملکرد محصول گندم به‌دلیل تغییرات درجه حرارت حداقل روزانه و درجه-روزهای رشد می‌باشد. همچنین بازگیر (۲۰۰۵) نشان داد که بیشترین همبستگی بین عملکرد گندم با درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر، مقدار تجمعی واحدهای حرارتی آفتابی، مقدار تجمعی اختلاف درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه و مقدار تبخیر از تشت در شهرهای هوشیارپور^۱ و روپنگر^۲ ایالت پنجاب هندوستان وجود دارد. در این مطالعه دیده شد که ۶۱ درصد از تغییرات عملکرد محصول گندم به‌دلیل تغییرات پارامترهای مذکور بوده است.

در مطالعه حاضر سعی شده با استفاده از مدل‌های آماری (رگرسیونی) امکان پیش‌بینی میزان عملکرد محصول قبل از برداشت مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین با کمک آمار ۱۴ ساله (شهرهای سنندج، قروه و بیجار

هواشناسی مورد استفاده و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی انتخابی، اشاره‌ای مختصر به آنها می‌شود.
الف) پارامترهای هواشناسی: پارامترهای هواشناسی شامل دمای حداکثر (T_{max})، دمای حداقل (T_{min})، مجموع بارش روزانه (P) و ساعات آفتابی (SH) در تجزیه و تحلیل آماری بکار گرفته شدند.

ب- شاخص‌های هواشناسی کشاورزی

۱- درجه-روزهای رشد (GDD): درجه-روزهای رشد یا واحدهای حرارتی برای بیان رابطه بین مدت هر مرحله فنولوژی و درجه حرارت، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تعریف فرض بر این است که یک رابطه خطی بین رشد و درجه-روزهای رشد وجود دارد (ناتونسون، ۱۹۵۵). در تحقیقی در استان پنجاب کشور هندوستان نشان داده شد که GDD می‌تواند به‌عنوان بهترین شاخص برای پیش‌بینی مراحل مختلف فنولوژی گندم مورد استفاده قرار گیرد (هوندال، ۱۹۹۷).

یک درجه-روز رشد و یا واحد حرارتی عبارت است از متوسط دمای روزانه بالاتر از دمای پایه. از آنجا که شروع مرحله جوانه‌زنی گندم هنگامی آغاز می‌گردد که دمای محیط به بالاتر از ۵ درجه سانتی‌گراد برسد بنابراین در این مطالعه برای محاسبه GDD ، دمای پایه معادل ۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است (بازگیر، ۲۰۰۵؛ شارما، ۲۰۰۴؛ دبی و همکاران، ۱۹۸۷).

۲- اختلاف دماهای حداکثر و حداقل روزانه (TD): مقدار تجمعی اختلاف دماهای حداکثر و حداقل روزانه (TD) به‌عنوان یک متغیر مستقل جهت پیش‌بینی عملکرد گندم در معادلات رگرسیونی در نظر گرفته شد که مقدار آن بصورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$TD = \sum_a^b (T_{max} - T_{min}) \quad (1)$$

که در آن:

مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی (از ۶ خرداد تا ۲ تیر) بودند. به‌منظور به‌دست آوردن مدل نهایی پیش‌بینی عملکرد محصول، آنالیز آماری برای کلیه ۶ مرحله فوق صورت گرفت و در نهایت یکی از مراحل به‌عنوان زمان پیش‌بینی عملکرد انتخاب گردید. پایه و اساس آمار و اطلاعات مورد استفاده داده‌های روزانه هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی سسندج (با عرض جغرافیایی $20^{\circ} 35'$ و طول جغرافیایی $47^{\circ} 00'$ و ارتفاع $1373/4$ متر بالاتر از سطح تراز دریا)، قروه (با عرض جغرافیایی $10^{\circ} 35'$ و طول جغرافیایی $48^{\circ} 47'$ و ارتفاع 1906 متر بالاتر از سطح تراز دریا)، بیجار (با عرض جغرافیایی $37^{\circ} 35'$ و طول جغرافیایی $47^{\circ} 37'$ و ارتفاع $1883/4$ متر بالاتر از سطح تراز دریا)، کرمانشاه (با عرض جغرافیایی $21^{\circ} 34'$ و طول جغرافیایی $49^{\circ} 47'$ و ارتفاع $1318/6$ متر بالاتر از سطح تراز دریا) و کنگاور (با عرض جغرافیایی $30^{\circ} 34'$ و طول جغرافیایی $59^{\circ} 47'$ و ارتفاع 1468 متر بالاتر از سطح تراز دریا) برای سال‌های مورد نظر بود. آزمون‌های آماری همگنی، ایستایی و کفایت آمار بر روی داده‌های در اختیار انجام گردید.

برای نهایی نمودن انتخاب پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل‌های آماری رگرسیونی، روش‌های مختلف آماری مانند رگرسیون ساده خطی، ساده مرکب و روش پله به پله بکار برده شدند. معیار انتخاب متغیرهای مستقل هر یک از معادلات رگرسیونی پیش‌بینی عملکرد در شهرهای مختلف، معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی ساده (r)^۱ و مرکب (R)^۲ در سطوح ۵ و ۱ درصد، کمترین خطای استاندارد ($SEOE$)^۳ و همچنین کمترین انحراف نسبی داده‌های تخمین زده شده عملکرد از مقدار واقعی (RD)^۴ بوده است. به‌منظور آشنائی بیشتر با داده‌های

- 1- Simple linear correlation coefficient
- 2- Multiple linear correlation coefficient
- 3- Standard Error of Estimate
- 4- Relative Deviation

- 5- Growing-Degree Days
- 6- Temperature Difference

T_{min} و T_{max} = دماهای حداکثر و حداقل روزانه (درجه سانتی‌گراد)، a = تاریخ شروع مرحله فنولوژی، b = تاریخ پایان مرحله فنولوژی.

۳- واحدهای حرارتی - آفتابی (HTU)^۱ و واحدهای حرارتی - نوری (PTU)^۲: از آنجا که ورود و عبور از هر مرحله فنولوژی به دلیل تأثیر دما و طول دوره نوری صورت می‌گیرد، نیاز است که واحدهای حرارتی - نوری برای پیش‌بینی دقیق‌تر مراحل بلوغ و گلدهی بکار برده شوند (ردی و ردی، ۲۰۰۳). به‌طور کلی عبارت PTU است از حاصل ضرب GDD و ساعات آفتابی بالقوه (N) که تابع عرض جغرافیائی منطقه بوده و HTU عبارت است از حاصل ضرب GDD و مقدار ساعات آفتابی واقعی (n). بنابراین مقادیر PTU و HTU به‌صورت فرمول‌های ۲ و ۳ محاسبه می‌گردند:

$$PTU = \sum_a^b (GDD \times N) \quad (2)$$

$$HTU = \sum_a^b (GDD \times N) \quad (3)$$

که در آنها:

PTU = مقدار تجمعی واحدهای حرارتی-نوری (°C day hours)
 HTU = مقدار تجمعی واحدهای حرارتی-آفتابی (°C day hours)
 GDD = درجه-روز
 N = حداکثر ساعات آفتابی ممکن (بالقوه) که تابعی است از عرض جغرافیایی محل، $n =$
 ساعات واقعی آفتابی (بالفعل)، $a =$ تاریخ شروع مرحله فنولوژی، $b =$ تاریخ پایان مرحله فنولوژی.

۴- کمبود فشار بخار آب (VPD)^۳: کمبود فشار بخار آب نقش مهمی در تبخیر و تعرق گیاه دارد. در دمای ثابت، تغییرات رطوبت اتمسفری، با اثر بر روی فشار بخار آب واقعی (e_a) و گرادیان فشار بخار آب از برگ به سمت هوا، بر روی تبخیر و تعرق گیاه تأثیر می‌گذارد (رائو، ۲۰۰۳؛ کرامر، ۱۹۹۷). تفاوت بین فشار بخار آب

اشباع (e_s) و مقدار واقعی آن به‌عنوان کمبود فشار بخار در نظر گرفته می‌شود که از روابط ۴ و ۵ به‌دست می‌آید:

$$e_a = (RH_{mean} \times e_s) / 100 \quad (4)$$

$$VPD = e_s - e_a \quad (5)$$

که در این روابط: e_a = فشار بخار آب واقعی (میلی بار)، RH_{mean} = متوسط رطوبت نسبی هوا (درصد)، e_s = فشار بخار آب اشباع (میلی بار) که تابعی از دمای متوسط هوا است (میکایل، ۱۹۷۸).

محاسبه انحراف نسبی (RD)^۴: به‌منظور برآورد میزان خطای عملکرد تخمین زده شده (برآورد شده) توسط مدل‌های مختلف آماری، مقدار انحراف نسبی (RD) آنها از مقدار واقعی عملکرد برای سال‌های زراعی ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ نیز محاسبه گردید. به‌بیان دیگر، جهت بالا بردن اطمینان از کاربرد مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی عملکرد، اعتبارسنجی آنها ضروری است که به کمک محاسبه انحراف نسبی انجام می‌گیرد. این انحراف از رابطه ۶ محاسبه گردیده است:

$$RD = ((Y_e - Y_a) / Y_a) \times 100 \quad (6)$$

Y_e = مقدار عملکرد تخمین زده شده توسط مدل آماری (کیلوگرم در هکتار)، Y_a = مقدار عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آزمون همگنی داده‌ها نشان داد که داده‌ها در دوره اقلیمی انتخابی تصادفی بوده و کفایت داده‌ها و همچنین ایستایی آنها مورد تأیید قرار گرفت. داده‌های مراحل مختلف فنولوژی ایستگاه‌های سنندج، قروه، بیجار، کرمانشاه و کنگاور نیز در دوره اقلیمی مورد مطالعه به‌صورت عینی مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده بهترین زمان پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در سنندج در ابتدای مرحله زایشی یعنی ۱ خرداد (۲ ماه قبل از برداشت محصول) با استفاده از داده‌های هواشناسی مرحله دوم رشد رویشی پس از دوره خواب

1- Heliothermal Units
 2- Photothermal Units
 3- Water Vapour Pressure Deficit
 4- Relative Deviation

تجمعی واحدهای حرارتی- نوری (PTU) و ساعات آفتابی (SH) بودند. معادله نهایی رگرسیونی و همچنین مقادیر ضریب همبستگی چندگانه خطی (R)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب F و خطای معیار (SEOE) جهت پیش‌بینی عملکرد گندم دیم (Y) از رابطه ۸ به‌دست آمد (علامت یک ستاره به‌منظور معنی‌دار بودن معادله فوق در سطح ۵ درصد گذاشته شده است).

$$Y=15550.23-2786.01 T_{\min}-47.79 TD+6.59 PTU-79.82 SH \quad (8)$$

$$R=0.827 \quad R^2=0.683 \quad F=4.85^*$$

$$SEOE=152.5 \text{ kg/ha} \quad n=14$$

در این بررسی مشاهده شد که ۶۸ درصد تغییرات عملکرد محصول به‌دلیل تغییرات متغیرهای مستقل معادله رگرسیونی فوق می‌باشد، یعنی می‌توان ۶۸ درصد تغییرات عملکرد محصول گندم دیم در طول دوره رشد را به‌دلیل تغییرات دمای حداقل روزانه، مقدار تجمعی اختلاف دماهای حداکثر و حداقل، مقدار تجمعی واحدهای حرارتی- نوری و ساعات آفتابی در طول دوره رشد زایشی دانست. معادله فوق در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده و مقدار خطای استاندارد آن در هر هکتار معادل ۱۵۲/۵ کیلوگرم می‌باشد.

در شهرستان بیجار اگرچه ضرایب همبستگی مدل‌های رگرسیونی مختلف معنی‌دار بوده ولی به‌دلیل بالا بودن انحراف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد در سال‌های زراعی ۸۴-۱۳۸۳ (۶۳ درصد) و ۸۵-۱۳۸۴ (۳۶ درصد) از مقادیر واقعی، مدلی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد محصول مورد استفاده قرار نگرفت.

در شهر کرمانشاه بهترین زمان پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در انتهای دوره زایشی یعنی ۶ خرداد (شروع مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، ۲۸ روز قبل از برداشت محصول) با استفاده از داده‌های هواشناسی این مرحله یعنی از ۱۱ اردیبهشت تا ۵ خرداد انتخاب گردید. بر اساس معیارهای ذکر شده، درجه- روزهای رشد (GDD) به‌عنوان تنها متغیر مستقل مدل نهایی مورد استفاده قرار گرفت. مدل نهایی رگرسیونی و همچنین پارامترهای آماری مربوطه

(۷ فروردین تا ۳۱ اردیبهشت) انتخاب گردید. پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی که به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل نهایی مورد استفاده قرار گرفتند، عبارت از دمای حداقل روزانه (T_{\min})، مقدار تجمعی اختلاف دماهای حداکثر و حداقل (TD) و مقدار تجمعی واحدهای حرارتی- نوری (PTU) بودند. معادله نهایی رگرسیونی و همچنین مقادیر ضریب همبستگی چندگانه خطی (R)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب F و خطای معیار (SEOE) جهت پیش‌بینی عملکرد گندم دیم (Y) از رابطه ۷ به‌دست آمد (علامت دو ستاره به‌منظور معنی‌دار بودن معادله فوق در سطح ۱ درصد گذاشته شده است).

$$Y=34286.01-6485.27 T_{\min}-59.19 TD+8.62 PTU \quad (7)$$

$$R=0.827 \quad R^2=0.684 \quad F=7.22^{**}$$

$$SEOE=161.3 \text{ kg/ha} \quad n=14$$

در این بررسی مشاهده شد که ۶۸ درصد تغییرات عملکرد محصول گندم دیم به‌دلیل تغییرات متغیرهای مستقل معادله رگرسیونی فوق می‌باشد، یعنی می‌توان ۶۸ درصد تغییرات عملکرد محصول گندم دیم در طول دوره رشد را به‌دلیل تغییرات دمای حداقل روزانه، مقدار تجمعی اختلاف دماهای حداکثر و حداقل و مقدار تجمعی واحدهای حرارتی- نوری در طول دوره رشد رویشی دوم پس از دوره خواب دانست. معادله فوق در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و مقدار خطای استاندارد آن در هر هکتار معادل ۱۶۱/۳ کیلوگرم می‌باشد.

در رابطه با شهرستان قروه بهترین زمان پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در انتهای دوره زایشی یعنی ۳۱ خرداد (شروع مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی، یک ماه قبل از برداشت محصول) با استفاده از داده‌های هواشناسی این مرحله یعنی از ۱ تا ۳۰ خرداد انتخاب گردید. پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی که به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل نهایی مورد استفاده قرار گرفتند، عبارت از دمای حداقل روزانه (T_{\min})، مقدار تجمعی اختلاف دماهای حداکثر و حداقل (TD)، مقدار

جهت پیش‌بینی عملکرد گندم دیم (Y) از طریق رابطه ۹ به‌دست آمد.

$$Y=5786.17-14.28 \text{ GDD} \quad (9)$$

$$R=0.954 \quad R^2=0.910 \quad F=80.83^{**}$$
$$\text{SEOE}=130.45 \text{ kg/ha} \quad n=10$$

مشاهده می‌شود که ۹۱ درصد تغییرات عملکرد محصول به‌دلیل تغییرات متغیر مستقل معادله رگرسیونی فوق یعنی درجه- روزهای رشد در طول دوره رشد زایشی می‌باشد. معادله فوق در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و مقدار خطای استاندارد آن در هر هکتار معادل ۱۳۰/۵ کیلوگرم می‌باشد.

بهترین زمان پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در کنگاور ابتدای مرحله زایشی یعنی ۱۱ اردیبهشت (۵۴ روز قبل از برداشت محصول) با استفاده از داده‌های هواشناسی مرحله دوم رشد رویشی پس از دوره خواب (۲۴ اسفند الی ۱۰ اردیبهشت) انتخاب گردید. پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی که به‌عنوان متغیرهای مستقل مدل نهایی مورد استفاده قرار گرفتند، عبارت از میزان بارندگی (P) و مقدار تجمعی واحدهای حرارتی- آفتابی (HTU) بودند. معادله نهایی رگرسیونی و همچنین مقادیر ضریب همبستگی چندگانه خطی (R)، ضریب تبیین (R^2)، ضریب F و خطای معیار (SEOE) جهت پیش‌بینی عملکرد گندم دیم (Y) به شرح رابطه ۱۰ به‌دست آمد.

$$Y= - 1443.04+11.03 P+0.765 \text{ HTU} \quad (10)$$

$$R=0.898 \quad R^2=0.806 \quad F=16.57^{**}$$
$$\text{SEOE}=227.5 \text{ kg/ha} \quad n=10$$

در این بررسی مشاهده شد که ۸۱ درصد تغییرات عملکرد محصول گندم دیم به‌دلیل تغییرات متغیرهای مستقل معادله رگرسیونی فوق می‌باشد، یعنی می‌توان ۸۱ درصد تغییرات عملکرد محصول گندم دیم در طول دوره رشد را به‌دلیل تغییرات میزان بارندگی و مقدار تجمعی واحدهای حرارتی- آفتابی در طول دوره رشد رویشی دوم پس از دوره خواب دانست. معادله فوق در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و مقدار خطای استاندارد آن در هر هکتار معادل ۲۲۷/۵ کیلوگرم می‌باشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده و ضرایب هر یک از متغیرهای مستقل معادلات، دیده می‌شود که در شهرستان‌های سندج و قروه حداقل دمای روزانه (T_{\min}) با عملکرد همبستگی منفی داشته که احتمالاً به این دلیل می‌باشد که بالا بودن دمای حداقل در طول شب سبب افزایش سرعت تنفس و در نهایت کاهش انتقال مواد فتوسنتزی از برگ به دانه نتیجتاً کاهش عملکرد را به‌دنبال داشته است (مارسلوس و سینگل، ۱۹۷۲؛ آسانا و ویلیامز، ۱۹۶۵).

مقدار تجمعی اختلاف دماهای حداکثر و حداقل (TD)، با عملکرد همبستگی منفی داشته که ممکن است به‌دلیل بالا بودن دماهای حداکثر روزانه از یک طرف و پایین بودن دماهای حداقل در طول شب (بالا بودن دامنه شبانه روزی دما) باشد که در طول دوره زایشی سبب ایجاد تنش در گیاه و کاهش عملکرد محصول می‌گردد (دبی، ۱۹۸۷).

همبستگی مثبت بین عملکرد محصول و واحدهای حرارتی- نوری (PTU) ممکن است به‌دلیل آن باشد که چون گندم با روزهای بلند مرحله گلدهی را آغاز می‌نماید، بنابراین با افزایش طول روز گیاه زودتر این مرحله را پشت سر گذاشته و کمتر با درجه حرارت‌های بالا که سبب تنش‌های گرمایی شده، برخورد می‌نماید (ردی و ردی، ۲۰۰۳). در شهر قروه یک رابطه منفی بین میزان ساعات آفتابی و عملکرد محصول دیده می‌شود (رابطه ۸). افزایش بیش از حد ساعات آفتابی در طول مرحله رشد زایشی سبب افزایش تبخیر و تعرق گیاه و ایجاد تنش آبی می‌گردد که در نهایت افت عملکرد محصول را بدنبال خواهد داشت (آبات و همکاران، ۲۰۰۴؛ وارینگتون، ۱۹۷۷).

در شهر کرمانشاه یک همبستگی منفی معنی‌دار بین عملکرد گندم دیم و درجه- روزهای رشد (GDD) در طول دوره رشد زایشی به دست آمد. با توجه به نتیجه تحقیقات جوسکیو و همکاران (۲۰۰۱) افزایش درجه- روزهای رشد به‌منظور عبور گیاه در مرحله رشد زایشی

مستلزم تعداد روزهای بیشتر بوده که سبب مواجه شدن گیاه با دماهای بالا و استرس آبی و در نتیجه چروکیدگی شدن دانه گندم و افت عملکرد محصول خواهد گردید. در کنگاور بین میزان بارندگی (P)، مقدار تجمعی واحدهای حرارتی- آفتابی (HTU) و عملکرد گندم یک همبستگی مثبت معنی دار دیده شد که بیانگر واکنش مثبت گیاه به ساعات آفتابی بیشتر و همچنین میزان بارندگی در مرحله رشد رویشی در کنگاور می باشد.

تست مدل‌های پیشنهادی^۱: به منظور بررسی درجه اطمینان و پایداری مدل‌های رگرسیونی در پیش‌بینی عملکرد محصول اعتبارسنجی یکی از مراحل اساسی در انتخاب این گونه مدل‌ها می باشد. معنی دار بودن ضریب همبستگی و کمتر بودن خطای معیار یک مدل آماری بدون تست نمودن، دلیلی بر انتخاب آن در پیش‌بینی عملکرد محصول نمی باشد. بنابراین، جهت آزمون نمودن مدل‌های آماری به دست آمده و مقایسه مقادیر عملکرد تخمین زده شده توسط مدل برای سال‌های زراعی ۸۴-۱۳۸۳ و ۸۵-۱۳۸۴ (سال‌های فوق در محاسبات رگرسیونی جهت استخراج مدل پیش‌بینی عملکرد لحاظ نشده بودند) با مقادیر واقعی، ابتدا با قرار دادن مقادیر متغیرهای مستقل در معادلات رگرسیونی مربوطه، مقادیر عملکرد تخمین زده شده (برآورد شده) محصول توسط مدل را بدست آورده و سپس به کمک رابطه (۶)، انحراف نسبی مدل در تخمین مقادیر عملکرد از مقادیر واقعی محاسبه گردید. جدول ۱ این ارزیابی را نشان می دهد.

همان گونه که مشاهده می شود، مقادیر برآورد شده عملکرد گندم دیم توسط مدل آماری در سنندج برای سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ کمتر از مقدار واقعی (۱/۸- درصد) و در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ بیشتر از مقدار واقعی (۵/۴ درصد) می باشد، در حالی که در شهر قروه مقادیر تخمین زده شده عملکرد گندم دیم توسط مدل آماری برای سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ بیشتر از مقدار واقعی (۶/۵ درصد) و در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ کمتر از مقدار واقعی (۲۸/۵-

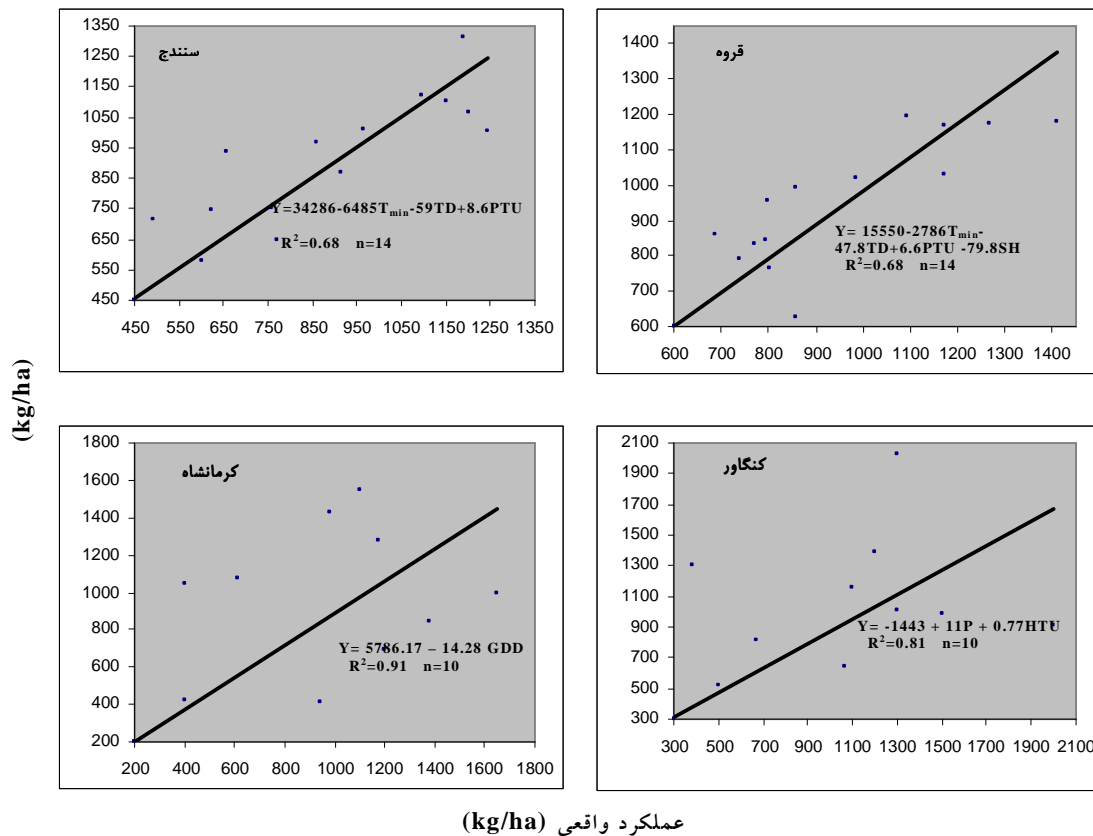
درصد) می باشد. در هر دو شهر سنندج و قروه مقادیر تخمین زده شده عملکرد در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ نسبت به سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ نزدیک تر به مقدار واقعی عملکرد می باشد. مقادیر برآورد شده عملکرد گندم دیم توسط مدل آماری در کرمانشاه در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ کمتر از مقدار واقعی (۲/۸- درصد) و در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ (۵۷/۰- درصد) می باشد و در شهر کنگاور مقادیر برآورد شده عملکرد گندم دیم توسط مدل آماری برای سال زراعی ۸۴-۸۳ بیشتر از مقدار واقعی (۸/۲ درصد) و در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ کمتر از مقدار واقعی (۱۵/۸- درصد) می باشد. در هر دو شهر کرمانشاه و کنگاور نیز مقادیر تخمین زده شده عملکرد در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ نسبت به سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ نزدیک تر به مقدار واقعی عملکرد می باشد. رفتار گیاه در مقابل شرایط آب و هوایی در طول دوره رشد همیشه یکسان نیست و در دامنه‌های مختلفی از متغیرهای آب و هوایی و آفت و بیماری‌ها متفاوت می باشد که بایستی در مدل پیش‌بینی عملکرد لحاظ گردد (ماهی، ۱۹۹۹). شکل ۱، مقادیر تخمین زده شده (برآورد شده) عملکرد گندم دیم در شهرهای سنندج، قروه، کرمانشاه و کنگاور را با استفاده از معادلات رگرسیونی در مقابل مقادیر واقعی عملکرد محصول (مشاهده شده) نشان می دهد.

از این مطالعه می توان نتیجه گرفت هنگامی که پارامترهای مؤثر آب و هوایی و همچنین شاخص‌های هواشناسی کشاورزی به دست آمده از آنها با یکدیگر در مدل آماری تلفیق گردند، پیش‌بینی عملکرد گندم دیم (پیش از برداشت آن) با دقت بهتری انجام می گیرد، اگرچه در مدل نهایی می بایست کلیه عوامل مؤثر بر عملکرد از قبیل رقم، بیماری‌ها و آفات و سایر عملیات کشاورزی به هنگام کاشت و داشت به صورت کمی شده لحاظ گردند. همچنین کوتاه بودن طول دوره آماری به عنوان یک محدودیت در چنین مطالعاتی سبب افزایش خطا می شود.

جدول ۱- ارزیابی مقادیر تخمین زده شده عملکرد گندم دیم توسط مدل های رگرسیونی در مناطق مختلف غرب کشور برای سال های زراعی ۱۳۸۳-۸۴ و ۱۳۸۴-۸۵.

منطقه	عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)		عملکرد تخمینی (کیلوگرم در هکتار)		انحراف نسبی (درصد)	
	۱۳۸۳-۸۴	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۳-۸۴	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۳-۸۴	۱۳۸۴-۸۵
سنندج	۱۱۰۵	۱۲۸۲	۱۰۸۵	۱۳۵۱	-۱/۸	۵/۴
قروه	۸۷۹	۱۲۸۴	۹۳۶	۹۱۸	۶/۵	-۲۸/۵
کرمانشاه	۱۱۰۰	۱۵۰۰	۱۰۶۹	۶۴۵	-۲/۸	-۵۷/۰
کنگاور	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۲۹۸	۱۲۶۳	۸/۲	-۱۵/۸

عملکرد برآورد شده



شکل ۱- مقایسه مقادیر برآورد شده عملکرد گندم دیم با مقادیر واقعی با استفاده از معادلات چندگانه رگرسیونی در شهرهای سنندج، قروه، کرمانشاه و کنگاور.

منابع

1. Abbate, P.E., Dardanelli, J.L., Cantarero, M.G., Maturano, M., Mechiori, R.J.M., and Suero, E.E. 2004. Climatic & water availability effects on water use efficiency in wheat. *Crop Sci.* 44: 474-483.
2. Asana, R.D., and Williams, R.F. 1965. The effect of temperature stress on grain development in wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 16: 1-13.
3. Baier, W. 1977. Crop-Weather models and their use in yield assessments. World Meteorological Organization, Rome. Tech Note 151. pp: 1-48.
4. Baier, W., and Robertson, G.W. 1967. Estimating yield components of wheat from calculated soil moisture. *Can. J. Plant. Sci.*, 47: 617-30.

5. Bal, S.K., Mukherjee, J., Mallick, K., and Hundal, S.S. 2004. Wheat yield forecasting models for Ludhiana district of Punjab state. *J. Agromet.* 6: 161-165.
6. Bazgeer, S. 2005. Land use change analysis in the sub mountainous region of Punjab using remote sensing, GIS & agro meteorological parameters. Ph.D. Dissertation, Punjab Agricultural University (PAU), Ludhiana, India. 128p.
7. Dubey, R.P., Kalubarme, M.H., Jhorar, O.P., and Cheema, S.S. 1987. Wheat yield models and production estimates for Patiala and Ludhiana districts based on Landsat - MSS and Agrometeorological data. Scientific Note: IRS-UP/SAC/CPF/SN/ 08/87, Space Applications Centre, Ahmedabad, India. 34p.
8. Hundal, S.S., Singh, R., and Dhaliwal, L.K. 1997. Agro-climatic indices for predicting phenology of wheat (*Triticum aestivum*) in Punjab. *J. Agric. Sci.* 67: 265-68.
9. Juskiw, P.E., Jame, Y.W., and Kryzanowski, L. 2001. Phenological development of Spring Barley in a short-season growing area. *Agron. J.* 93: 370-379.
10. Koocheki, A., Kamali, G.H.A., and Banaian, M. 1993. Simulation of primary production. The center of agrobiological research and department of theoretical production ecology, Wageningen, Netherlands. Published by World Meteorological Organization. Geneva, July. 219p. (Translated in Persian)
11. Kramer, P.J. 1997. Plant and soil water Relationships: A Modern Synthesis. Tata McGraw Hill Publishing Company Ltd, New Delhi, pp. 296-345.
12. Mahey, R.K. 1999. Acreage estimation and technique development for yield prediction through remote sensing. Final technical report: 8-10/95-AFC dt. 5.1.995/ICAR Adhoc Scheme, Dept. of Agronomy, Punjab Agricultural University, Ludhiana, India. 119p.
13. Marcellos, H. and Single, W.V. 1972. The influence of cultivar, temperature and photoperiod on post-flowering development of wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 23: 533-540.
14. Michael, A.M. 1978. Irrigation: Theory and Practice. Vikas Publishing House Pvt. Ltd, New Delhi, pp. 754-761.
15. Nuttonson, M.Y. 1955. Wheat climate relationships and use of phenology in ascertaining the thermal and photo-thermal requirements of wheat. American Institute of Crop Ecology, Washing DC. pp. 54-55.
16. Rao, G.S.L.H.V.P. 2003. Agricultural meteorology. Director of Extension, Kerala Agricultural University, Thrissur, Kerala, India. pp. 95-112.
17. Reddy, T.Y. and Reddi, G.H.S. 2003. Principles of Agronomy. Kalyani Publishers, Ludhiana, India. pp.48-77.
18. Sharma, A., Sood, R.K. and Kalubarme, M.H. 2004. Agrometeorological wheat yield forecast in Himachal Pradesh. *J. Agromet.* 6: 153-60.
19. Warrington. 1977. Crop phonological stages. *Aust. journal of Agri. Res.* 28:11-27.
20. Williams, G.D.V. 1969. Weather and Prairie wheat production. *Can. J. of Agril. Econ.* 27:99-109.

Wheat yield prediction using agro meteorological indices for some regions of the Western of the country

***S. Bazgeer¹ and G.H.A. Kamali²**

¹Agrometeorologist (Ph.D.) of Agricultural Meteorology Division of I.R. of Iran Meteorological Organization (IRIMO), Iran, ²Associate Prof., Atmospheric Science and Meteorological Research Center, (ASMERC), Iran

Abstract

Yield prediction before harvesting is one of the tools in order to make a plan for food production supply in future. Wheat yield prediction was carried out using different meteorological variables as well as agro meteorological indices in some regions in the western of the country including Sanandaj, Ghorveh, Bijar, Kermanshah and Kangavar for the years 2004-05 & 2005-06. On the basis of the highest correlation coefficients, the lowest standard error of estimate and relative deviation of predicted yield from actual yield using different statistical models, the best subset of agro meteorological indices were selected including daily minimum temperature, accumulated difference of maximum & minimum temperatures, accumulated photothermal units, sunshine hours, growing degree-days, total rainfall and accumulated heliothermal units. The results revealed that in Sanandaj district yield prediction was done using data related to second active vegetative stage of wheat (from 26th of March to 20th of May), for Ghorveh at reproductive stage (from 21st May to 19th of June), for Kermanshah at reproductive stage (from 30th April to 25th of May) and for Kangavar at second active vegetative stage (from 14th of March to 9th of May). In Bijar due to high values of relative deviation none of the models was used. The result showed that in Sanandaj and Ghorveh 68%, Kermanshah 91% and Kangavar 81% of wheat yield variability was accounted for variations in above agro meteorological indices.

Keywords: Wheat yield prediction; agrometeorological indices; statistical models.¹

1- Corresponding author, Email: saeed_bazgeer@yahoo.com