

مدل‌سازی و پیش‌بینی عملکرد گندم دیم با توجه به دوره‌های فنولوژیکی رشد گیاه (مطالعه‌ی موردی: استان کردستان)

منوچهر فرج‌زاده اصل* - دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه تربیت مدرس
اسدا... خورانی - استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه هرمزگان
سعید بازگیر - استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران
پرویز ضیائیان - استادیار گروه جغرافیای دانشگاه تربیت معلم

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۸/۳۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۲/۲۲

چکیده

این مطالعه، به منظور مدل‌سازی آماری و پیش‌بینی عملکرد محصول گندم دیم در استان کردستان، بر مبنای شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و پارامترهای اقلیمی انجام شده است. به این منظور مدل رگرسیون خطی داده‌های عملکرد محصول گندم دیم، برای سال‌های ۷۰ تا ۱۳۸۲ محاسبه شد. متغیرهای مستقل در این مطالعه، شامل ۵ شاخص هواشناسی کشاورزی و ۱۲ پارامتر اقلیمی هستند که هر کدام برای ۶ مرحله‌ی فنولوژیکی رشد محصول - از کاشت تا برداشت - کل فصل رشد و نیز مجموع مرحله‌ی دوم رویشی پس از خواب و مرحله‌ی زایشی استخراج شده‌اند (در مجموع ۸ مرحله از رشد گیاه). با توجه به زیاد بودن متغیرهای مستقل، این متغیرها به روش گام‌به‌گام (stepwise) وارد مدل رگرسیونی شده و بهترین متغیرهای مستقل پیش‌بینی‌کننده برای هر مرحله و هر ایستگاه با توجه به مقادیر ضریب تعیین (R^2)، R ، و خطای معیار (SEOE) انتخاب شدند؛ سپس از بین مدل‌های ارائه شده برای مراحل رشد، بهترین مدل برای هر شهرستان و کل استان انتخاب شد و برای آزمون آنها اقدام به تخمین محصول برای سال‌های ۸۳ تا ۱۳۸۵، با این مدل‌های بهینه شد. نتایج حاصل از این مدل‌ها نشان می‌دهند که ۸۱، ۷۰/۲، ۸۲/۲، ۷۱، ۸۰، ۹۰/۶، ۶۵/۶ درصد تغییرات عملکرد محصول گندم دیم، به ترتیب در شهرستان‌های بانه، مریوان، دیواندره، بیجار، قروه، سقز، سنندج با پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی استخراج شده، انجام می‌شود. همچنین بهترین مرحله‌ی فنولوژیکی برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در شهرستان‌های سقز، قروه و بیجار، مرحله‌ی زایشی (۲۲ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد) است. این زمان برای شهرستان بانه، مرحله‌ی دوم رشد رویشی پس از مرحله‌ی خواب (۲۶ اسفند تا ۲۱ اردیبهشت) و برای شهرستان مریوان مرحله‌ی خواب (۲۲ آذر تا ۲۵ اسفند) است. برای شهرستان‌های سنندج و دیواندره بهترین مدل رگرسیونی با استفاده از داده‌های کل فصل رشد انتخاب شد.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی عملکرد گندم دیم، شاخص‌های هواشناسی کشاورزی، مدل‌های آماری.

مقدمه

تولیدات کشاورزی همیشه با احتمال خطر در زمینه‌ی نوسان آب‌وهوا و تغییرات بازارهای بین‌المللی همراه بوده است (Labus, et al., 2002). گرچه این احتمال خطر، هرگز به‌طور کامل حذف نمی‌شود، اما می‌توان با شناخت پارامترهای مختلف مؤثر در رشد گیاه و محصول و تخمین میزان محصول قبل از فصل برداشت، آنها را به حداقل رساند. در این میان نقش آب‌وهوا به‌خصوص در کشت محصولات دیم بسیار بارزتر است. پیش‌بینی محصول و ابزار تحلیل احتمال خطر نوسان محصول، در مناطقی که دارای نشانه‌های نوسان و فشارهای اقلیمی هستند، بیشتر گسترش یافته‌اند (Qian, et al., 2009). در ایران نیز، با وجود اقلیم نیمه‌خشک و نوسان فراوان سالانه و بیشتر از یک سال عوامل اقلیمی، توجه به پیش‌بینی محصول قبل از فصل برداشت کاملاً احساس می‌شود.

رشد جمعیت در کشور، نیاز به محصولات استراتژیک کشاورزی مانند گندم را افزایش داده است. بیش از ۶۰ درصد از اراضی کشاورزی کشور، زیر کشت گندم دیم است. از مجموع سطح زیر کشت سالانه‌ی استان کردستان، ۷۱/۳ درصد به گندم، اختصاص دارد که ۹۲/۷۵ درصد آن به‌صورت دیم کشت می‌شود. این میزان برابر ۱۱/۸۳ درصد سطح زیر کشت و ۱۳/۶۷ درصد میزان تولید گندم کل کشور بوده است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۸). این وضعیت توجه به پیش‌بینی محصول قبل از فصل رشد را ضروری ساخته است.

مظفری (۱۳۸۰) تنش آبی را (به‌جز ابتدای فصل رشد) مشکل اصلی دیم‌کاری در استان کرمانشاه دانسته و با استفاده از شاخص درجه‌ی روزهای رشد، مراحل مختلف رشد گندم دیم را تعیین نموده است. مدل‌هایی که در زمینه‌ی کشاورزی ارائه می‌شوند، به‌طور کلی شامل مدل‌های آماری ساده، مدل‌های تعیین شاخص و مدل‌های فیزیکی است (Norman, 1979). بیشتر مدل‌های هواشناسی - محصول از نوع مدل‌های آماری یا مدل‌های تجربی هستند. ویژگی عمده‌ی آنها سادگی و ارتباط مستقیم بین محصول و یک یا چند پارامتر محیطی است. در این زمینه، مطالعات فراوانی برای ایجاد ارتباط رگرسیونی بین شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و مراحل مختلف رشد محصول انجام شده است (Saini and Dadhwal, 1986). ساستری و چاکراواری شش شاخص مختلف هواشناسی کشاورزی محاسبه‌ی انرژی را برای تعیین مراحل رسیدگی و زایشی سه نوع مختلف گندم در دهلی به‌کار بردند (Sastry and Chkrvarty, 1982). بازگیر، برای پیش‌بینی محصول گندم در بخش‌هایی از ایالت پنجاب، مدل‌های رگرسیونی مختلفی ارائه کرد (Bazgeer, 2005). همچنین بازگیر و همکاران با شاخص‌های مختلف هواشناسی کشاورزی برای استان‌های همدان و کردستان به پیش‌بینی محصول گندم اقدام کردند (Bazgeer, et al., 2007; Bazgeer, et al., 2008). کمالی و بازگیر، (۱۳۸۷) عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی را در برخی از بخش‌های استان‌های کرمانشاه و کردستان پیش‌بینی کردند (کمالی و بازگیر، ۱۳۸۷). در تمام مطالعات ذکر شده، طول فصل رشد به‌مراحل تقسیم و مرحله‌ی مناسب برای پیش‌بینی انتخاب شده است. فرج‌زاده و زرین، (۱۳۸۱) با استفاده از چند پارامتر اقلیمی، عملکرد محصول گندم دیم در استان آذربایجان غربی را مدل‌سازی کردند (فرج‌زاده و زرین، ۱۳۸۱). عزیزی و یاراحمدی، به بررسی پارامترهای اقلیمی و عملکرد گندم دیم در دشت سیلاخور با مدل‌های رگرسیونی اقدام کردند (عزیزی و یاراحمدی، ۱۳۸۱).

کاربرد شاخص‌های گیاهی مختلف استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، مانند شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و ورود آنها به‌عنوان یک متغیر مستقل در مدل‌های رگرسیونی باعث بهبود دقت آنها شده است (کین و همکاران، ۲۰۰۹). هاث و کارلیل در مطالعه‌ی پیش‌بینی محصول گندم در دو فصل کوتاه رشد (در ۹ استان) و فصل بلند (در ۱۹ استان)، برای ایران تحلیل رگرسیون چندمتغیره را به‌کار بردند و در این مطالعه شاخص NDVI را نیز به‌عنوان یک متغیر مستقل وارد مدل کردند (Hath and Carlyl, 2003). بوکن و شانگوئیچ، برای بهبود مدلی که شامل داده‌های ماهیانه‌ی اقلیمی می‌شد، از داده‌های روزانه و همچنین شاخص NDVI استفاده کرده و مدل نهایی آنها از دقت بالاتری برخوردار بود (Boken and Shaykewich, 2002).

با این وجود، مشکلات مختلفی باعث شد استفاده از داده‌های سنجش از دور در پیش‌بینی محصول در منطقه‌ی مورد مطالعه رایج نشود؛ مانند، کمبود تصاویر با توان تفکیک فضایی بالا، دوره‌ی زمانی مناسب و بلندمدت برای مطالعات اقلیم کشاورزی، برخی محدودیت‌ها در استخراج شاخص‌های مرتبط در قبل و اوایل فصل رشد و همچنین کاهش اثر پیش‌بینی‌کنندگی در زمان نزدیک به فصل برداشت (Haboudane et al., 2004).

یکی از مشکلات قابل ذکر در مطالعات انجام شده‌ی پیشین، پایین بودن دقت مدل‌های رگرسیونی ارائه شده است. در این مطالعات بر شاخص‌های هواشناسی کشاورزی پارامترهای اقلیم‌شناسی تأکید شده است. این مطالعه با هدف افزایش دقت و کاهش میزان خطای مدل رگرسیونی با مطالعه‌ی هم‌زمان شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و پارامترهای اقلیم‌شناسی انجام شده است. از دیگر اهداف مهم این مطالعه، تعیین مرحله‌ی فنولوژیکی و زمان مناسب برای پیش‌بینی میزان عملکرد با توجه به شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و پارامترهای اقلیم‌شناسی است که در مطالعات دیگر کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

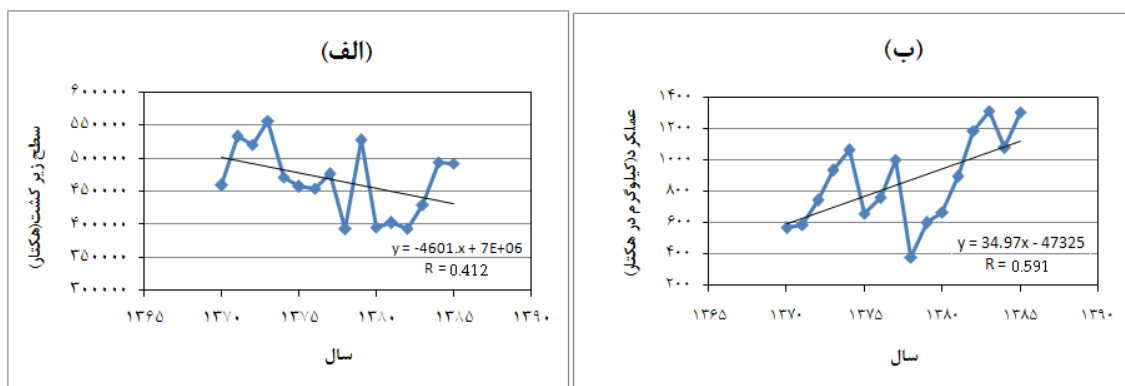
مواد و روش‌ها

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این منطقه در موقعیت جغرافیایی بین ۳۴ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۲). یکی از محصولات عمده‌ی کشاورزی در استان کردستان، گندم دیم است که بیشترین سطح زیر کشت استان را به خود اختصاص داده است. این میزان در سال زراعی ۸۴-۸۵ برابر ۸۳/۱۱ درصد سطح زیر کشت و ۱۳/۶۷ درصد میزان تولید گندم دیم کل کشور بوده است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۸).

داده‌های عملکرد گندم دیم استان کردستان

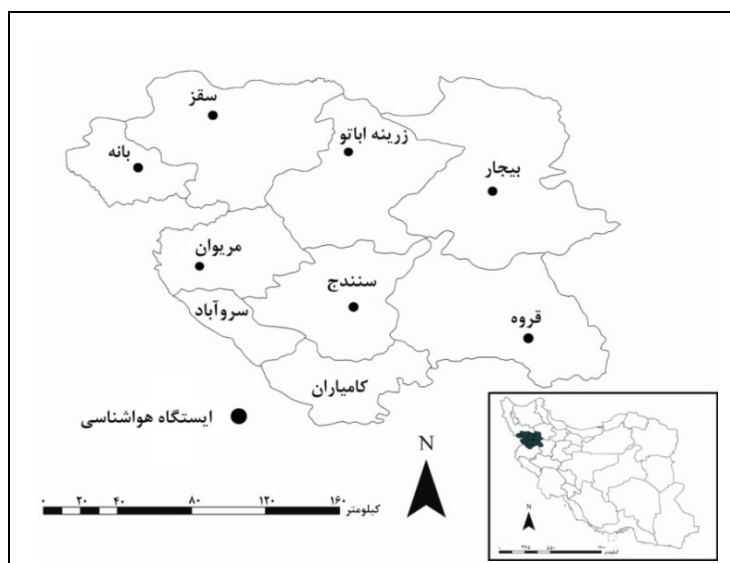
داده‌های عملکرد گندم دیم در کلیه‌ی شهرستان‌های استان کردستان، شامل، بیجار، سنندج، سقز، قروه، مریوان، برای سال‌های زراعی ۶۹-۱۳۷۰ تا ۸۵-۱۳۸۴ و شهرستان‌های دیواندره و کامیاران برای سال‌های زراعی ۷۷-۱۳۷۶ تا ۸۵-۱۳۸۴ از وزارت جهاد کشاورزی به‌دست آمد. به‌دلیل کامل نبودن آمار عملکرد و عدم وجود ایستگاه هواشناسی در شهرستان کامیاران، مدل‌سازی آماری برای این شهرستان انجام نشد. با توجه به این که آمار عملکرد شهرستان سقز،

شهرستان بانه را هم شامل می‌شد، برای مدل‌سازی آماری شهرستان بانه نیز از آمار عملکرد شهرستان سقز استفاده شد.



شکل ۱. (الف) روند تغییرات سطح زیر کشت، (ب) میزان عملکرد گندم دیم، در استان کردستان در دوره‌ی مورد مطالعه

در دوره‌ی مورد مطالعه، تحلیل‌های اولیه‌ی روندی پرنوسان و ضعیف و درعین‌حال رو به افزایش را در میزان عملکرد محصول گندم دیم استان کردستان، نشان می‌دهد ($P < 0.05$). درحالی‌که سطح زیر کشت گندم دیم استان تقریباً ثابت مانده است و روند افزایشی یا کاهش‌ی معناداری (در سطح معناداری ۰/۰۵) نداشته است (شکل ۱).



شکل ۲. نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده

داده‌های هواشناسی مورد استفاده

کلیه‌ی داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک، بانه، بیجار، سنندج، سقز، قروه، مریوان و زرینه‌اباتو (شهرستان دیواندره) از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۵ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. نواقص آماری موجود به روش همبستگی و نزدیک‌ترین همسایه‌ها بازسازی شد. با توجه به تأسیس ایستگاه هواشناسی مریوان از سال ۱۳۷۱ مدل‌سازی این شهرستان با داده‌های موجود انجام شد.

متغیرهای مستقل

متغیرهای مهم هواشناسی که بر رشد گیاه و میزان محصول تأثیرگذارند عبارت‌اند از، تابش خورشید، دما، بارش (مقدار و پراکندگی آن)، رطوبت نسبی و سرعت باد (Hages & Kanemenasu, 1977; Reddy & Reddi, 2003; Meena & Dahama, 2004). به این ترتیب متغیرهای فوق و پارامترهای مرتبط با آنها در نظر گرفته شد و برای شناسایی اثر برخی پارامترهای پنهان از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی مختلف استفاده شده است. بنابراین متغیرهای مستقل این مطالعه عبارت‌اند از:

الف) شاخص‌های هواشناسی کشاورزی استخراج شده که شامل موارد زیر هستند:

TD مجموع اختلاف دمای حداکثر و حداقل روزانه در هر مرحله‌ی فنولوژیکی که به‌صورت زیر استخراج شد.

$$TD = \sum_a^b (T_{\max} - T_{\min}) \quad (۱)$$

در این معادله T_{\max} دمای حداکثر، T_{\min} دمای حداقل (درجه‌ی سانتی‌گراد)، a تاریخ شروع و b تاریخ اتمام هر مرحله‌ی فنولوژیکی است.

GDD^۱ مجموع درجه‌ی روزهای رشد برای هر مرحله‌ی فنولوژیکی که از معادله‌ی زیر به‌دست آمد (Gilmor and Roger, 1958).

$$GDD = \sum_a^b \left[\left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_b \right] \quad (۲)$$

T_{\max} = حداکثر دمای روزانه برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد، T_{\min} = حداقل دمای روزانه برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد و T_b = دمای پایه (پایین‌ترین دمایی که فرض می‌شود هیچ رشدی در دمای پایین‌تر از آن صورت نمی‌گیرد)، b = تاریخ خاتمه‌ی مرحله‌ی رشد مورد نظر و a = تاریخ شروع مرحله‌ی رشد مورد نظر.

با توجه به نظر نوتونسون دمای پایه‌ی گندم ۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است (Nottonson, 1955).

HTU^۲ مجموع واحدهای حرارتی - آفتابی برای هر مرحله‌ی فنولوژیکی که از معادله‌ی (۳) به‌دست آمد (Reddy and Reddi, 2003).

PTU^۳ مجموع واحدهای حرارتی - نوری برای هر مرحله‌ی فنولوژیکی که از معادله (۴) به‌دست آمد (Reddy and Reddi, 2003).

$$HTU = \sum_a^b (GDD * n) \quad (۳)$$

$$PTU = \sum_a^b (GDD * N) \quad (۴)$$

1. Growing-Degree Days

2. Heliothermal Units

3. Photothermal Units

N حداکثر ساعت‌های آفتابی ممکن و n ساعت‌های آفتابی واقعی است.

VPD^۱ مجموع کمبود فشار بخار آب برای هر مرحله‌ی فنولوژیکی که از معادله زیر به دست آمد (Kramer, 1977).

$$VPD = \sum_a^b (e_s - e_a) \quad (۵)$$

$$e_a = (RH_{mean} * e_s) / 100 \quad (۶)$$

در این معادله، e_s فشار بخار آب اشباع (میلی‌بار) که تابعی از دمای متوسط هواست (Allen et al., ۲۰۰۰) و e_a

فشار بخار آب واقعی و RH_{mean} میانگین رطوبت نسبی هوا (درصد) است.

ب) پارامترهای اقلیم‌شناسی که شامل موارد زیر هستند:

T_{max} = میانگین حداکثر دمای روزانه در هر مرحله‌ی فنولوژیکی؛ T_{min} = میانگین حداقل دمای روزانه در هر

مرحله‌ی فنولوژیکی؛ R = مجموع بارش در هر مرحله‌ی فنولوژیکی؛ PET = میانگین تبخیر و تعرق به‌روش پنمن -

مانتیس در هر مرحله‌ی فنولوژیکی که با استفاده از نرم‌افزار CropWat استخراج شد؛ PET (total) = مجموع تبخیر و

تعرق به‌روش پنمن - مانتیس در هر مرحله‌ی فنولوژیکی که با استفاده از نرم‌افزار CropWat استخراج شد؛

R(day) = تعداد روزهایی که رخداد بارش (بیش از ۰/۱ میلی‌متر) در هر ایستگاه ثبت شده است؛ SH = مجموع میزان

ساعت‌های آفتابی واقعی در هر مرحله‌ی فنولوژیکی؛ RH = میانگین درصد رطوبت نسبی در هر مرحله‌ی فنولوژیکی؛

$T_{abs(min)}$ = کمترین دمای ثبت شده در هر مرحله‌ی فنولوژیکی؛ $T_{abs(max)}$ = بیشترین دمای ثبت شده در هر مرحله‌ی

فنولوژیکی؛ FF = میانگین سرعت روزانه‌ی باد در هر مرحله‌ی فنولوژیکی؛ $FF_{abs(max)}$ = حداکثر مطلق سرعت باد در هر

مرحله‌ی فنولوژیکی.

شکل ۲ مدل مفهومی مطالعه انجام شده را نشان می‌دهد. در این مطالعه ابتدا با توجه به داده‌های ایستگاه‌های

هواشناسی موجود و داده‌های عملکرد گندم داریم برای هر شهرستان دوره‌ی آماری مشترک برای مطالعه انتخاب شد.

سپس با توجه به متفاوت بودن اثر پارامترهای مختلف اقلیمی در هر مرحله از رشد گیاه، فصل رشد به ۶ مرحله‌ی

فنولوژیکی مختلف تقسیم شد. این مراحل شامل مرحله‌ی کاشت تا سه برگی شدن (۱۶ مهر تا ۱۶ آبان)، مرحله‌ی اول

رشد رویشی (۱۷ آبان تا ۲۱ آذر)، مرحله‌ی خواب (۲۲ آذر تا ۲۵ اسفند)، مرحله‌ی دوم رشد رویشی پس از خواب (۲۶ اسفند

تا ۲۱ اردیبهشت)، مرحله‌ی زایشی (۲۲ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد) و مرحله‌ی رسیدگی کامل (۲۱ خرداد تا ۲۰ تیر) هستند.

آغاز و پایان مراحل فوق با بررسی منابع و اسناد موجود و پیشنهاد سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان (کمالی و

بازگیر، ۱۳۸۷؛ بازگیر و همکاران، ۲۰۰۸) و برای رقم سرداری که بالاترین رقم کاشت در اراضی دیم استان است، تعیین

شده است. این مراحل، متوسط طول دوره‌ی هر مرحله در سطح استان است، همچنین با مدل‌سازی برای کل دوره‌ی

رشد و مجموع مراحل ۴ و ۵ تلاش شده است که بهترین متغیرهای مستقل برای شهرستان‌های مختلف معرفی شود.

سپس فرضیه‌های اصلی مدل رگرسیونی شامل فرض نرمال بودن، فرض خطی بودن، فرض ثابت بودن واریانس و

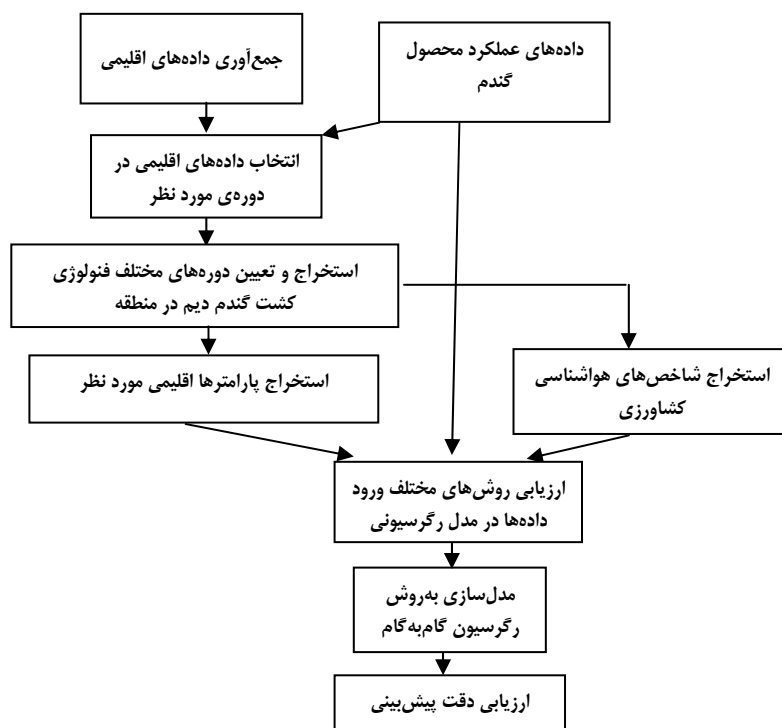
فرض استقلال داده‌ها مورد بررسی و تأیید قرار گرفت. در مرحله‌ی بعد، ابتدا تمام روش‌های ورود اطلاعات به مدل‌های

رگرسیون مورد آزمون قرار گرفت و روش رگرسیون گام‌به‌گام برای مدل‌سازی انتخاب شد. به دلیل بالا بودن تعداد متغیرهای مستقل، برای ورود اطلاعات به مدل رگرسیونی از روش گام‌به‌گام استفاده شده است. زمانی که تعداد متغیرهای مستقل زیاد باشد، متداول‌ترین روش برای پیدا کردن معادله‌ی رگرسیونی روش گام‌به‌گام است (منصوفی، ۱۳۸۷). با استفاده از این مدل، امکان پیش‌بینی عملکرد گندم، قبل از فصل برداشت در استان کردستان مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از آمار ۱۳ ساله (۱۱ ساله برای شهرستان مریوان) عملکرد محصول استفاده شد و رابطه‌ی همبستگی بین میزان عملکرد و پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی برقرار گردید و دقت مدل‌های به‌دست آمده برای سال‌های ۸۳ تا ۱۳۸۵ مورد آزمون قرار گرفت.

در مطالعات مدل‌سازی رگرسیونی، مرحله‌ی مهم سنجیدن درجه‌ی اطمینان و اعتبار مدل ارائه شده است (کمالی و بازگیر، ۱۳۸۷). به این منظور، در این مطالعه، آمار ثبت شده عملکرد گندم در شهرستان‌های فوق برای سه سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ تا ۸۳-۱۳۸۲ با آمار تخمینی استخراج شده از مدل‌های ارائه شده، مقایسه شد. لازم به توجه است که این سه سال در مدل‌سازی دخالت داده نشده‌اند. برای این مقایسه از معادله (۷) استفاده شد.

$$RD = ((Y_e - Y_a) / Y_a) \times 100 \quad (7)$$

در این معادله RD = انحراف نسبی از میزان واقعی محصول، Y_a = میزان عملکرد ثبت شده و Y_e = میزان عملکرد تخمینی استخراج شده از مدل است. نتایج این معادله در جدول ۳ ارائه شده است.



شکل ۲. مدل مفهومی استخراج و توسعه‌ی مدل پیش‌بینی عملکرد گندم

یافته‌های تحقیق

تشریح عملکرد محصول در منطقه‌ی مورد مطالعه

با توجه به جدول ۱ و شکل شماره ۱، بررسی اولیه‌ی داده‌های میانگین عملکرد گندم دیم در استان کردستان نشان می‌دهد که در غرب استان، میانگین عملکرد گندم دیم در هکتار بیشتر از شرق و مرکز است. بیشترین میزان میانگین عملکرد مربوط به شهرستان بانه (با میزان ۹۹۴ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در شهرستان بیجار (با میزان ۷۸۱ کیلوگرم در هکتار) است. در استان کردستان نیز، میزان بارندگی تقریباً از شمال غربی به جنوب شرقی دارای روند کاهشی است و مرحله‌ی چهارم فنولوژیکی یا مرحله‌ی دوم رشد رویشی پس از خواب (۲۶ اسفند تا ۲۱ اردیبهشت)، از بیشترین میانگین بارندگی برخوردار است. کمترین میزان بارش نیز در مرحله‌ی ششم فنولوژیکی (مرحله‌ی رسیدگی) دریافت می‌شود. همچنین، میانگین دمای روزانه‌ی منطقه از شمال به جنوب دارای روند افزایشی است؛ به طوری که دیواندره در شمال با کمترین و سنندج در مرکز بیشترین میزان میانگین دمای روزانه را دارند. وضعیت دما و بارش منطقه با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی، عرض جغرافیایی و جهت ورود توده‌های بارشی وارد شده به منطقه قابل تفسیر است و می‌تواند تا حدودی ارتباط بارش، دما و میزان عملکرد را نشان دهد.

جدول ۱. وضعیت دما، بارش و عملکرد محصول در منطقه‌ی مورد مطالعه

شهرستان	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	میانگین دمای روزانه (درجه‌ی سانتی‌گراد)	میانگین بارش روزانه در فصل رشد (میلی‌متر)
بانه	۹۹۴/۳	۱۰/۶	۱/۴۸
قروه	۸۵۳/۱	۱۱/۶	۱/۳۷
سقز	۸۲۳/۶	۱۰/۶	۱/۴
بیجار	۷۸۱/۷	۱۱/۱	۱/۲۴
سنندج	۷۹۵/۴	۱۴/۱	۱/۲۳
مریوان	۹۶۷	۱۲/۹	۱/۴۳
دیواندره	۸۶۴	۷/۹۵	۱/۲۸

استخراج بهترین زمان پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در منطقه

نتایج مدل‌سازی رگرسیونی انجام شده، بهترین زمان برای پیش‌بینی عملکرد محصول گندم دیم با استفاده از پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی برای شهرستان‌های سقز، قروه و بیجار داده‌های مرحله‌ی زایشی (۲۲ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد) را نشان داد. این زمان برای شهرستان بانه، در مرحله‌ی دوم رشد رویشی (۲۶ اسفند تا ۲۱ اردیبهشت) و برای شهرستان مریوان مرحله‌ی خواب (۲۲ آذر تا ۲۵ اسفند) است. در این مراحل فنولوژیکی، گیاه به فصل برداشت نزدیک شده و درصد خسارت‌های ناشی از حوادث اقلیمی و یا بیماری‌ها کاهش یافته است. برای شهرستان‌های

سندج و دیواندره بهترین مدل رگرسیونی با استفاده از داده‌های کل فصل رشد ساخته شد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که زمان مناسب برای پیش‌بینی عملکرد، با استفاده از پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی در شهرستان‌های غربی منطقه، در مراحل فنولوژیکی ۳ و ۴، یعنی قبل از سایر شهرستان‌ها انجام می‌شود، این امر احتمالاً به دلیل شرایط بارش و دما و اثر شرایط محلی و توپوگرافی است.

مدل‌های ارائه شده و بررسی متغیرهای مستقل

با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود که متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی عملکرد گندم در شهرستان سقز عبارت‌اند از، مجموع کمبود فشار بخار آب، مجموع تبخیر و تعرق و بیشترین دمای ثبت شده در مرحله‌ی زایشی فصل رشد. این متغیرها حدود ۹۰/۶ درصد تغییرات عملکرد گندم در فصل رشد را نشان می‌دهند. این معادله در سطح ۰.۱/ معنادار است. به علاوه، بررسی متغیرهای مستقل و ضرایب آنها در مدل‌های رگرسیونی به دست آمده نشان می‌دهد، در این شهرستان، در مرحله‌ی زایشی، کمبود فشار بخار آب و میزان عملکرد محصول گندم در رابطه‌ی معکوسی دارند، اما حداکثر دمای ثبت شده و مجموع تبخیر و تعرق به روش پنمن - مانتیس با میزان محصول رابطه‌ی مستقیمی دارد. با توجه به این که ارتفاع ایستگاه هواشناسی شهرستان سقز ۱۹۶۰ متر است، رابطه‌ی عملکرد محصول با حداکثر دمای ثبت شده رابطه‌ی مستقیمی است. همچنین این مدل نشان می‌دهد که رابطه‌ی تبخیر و تعرق با میزان عملکرد در این شهرستان، مستقیم بوده و دلیل آن، در اختیار بودن آب برای تبخیر و تعرق است. بنابراین، شرایط کوهستانی منطقه و وضعیت دما و بارش، مانع ایجاد استرس آبی به گیاه می‌شود.

جدول ۲. مدل‌های رگرسیونی ارائه شده برای همه شهرستان‌های مورد مطالعه و مرحله‌ی فنولوژیکی مناسب برای پیش‌بینی عملکرد گندم

ایستگاه	مرحله فنولوژیکی	عرض از مبدأ	متغیرهای مستقل و ضرایب مربوطه	R	R ²	SEOE (kg/ha)	F	سطح معناداری
سندج	کل دوره	-۳۳۱۸/۸۴۸	$(R(\text{day}))^1 [19.851] + (T_{\text{max}})^2 [128.850]$	۸۱	۶۵/۶	۱۶۰/۳۸	۹/۵۵۴	۰/۰۵
سقز	۵	-۷۹۳/۸۰۲	$(VPD5)^3 [-6.744] + (PET(\text{total}5))^4 [12.251] + (T_{\text{abs}(\text{max})5})^5 [47.752]$	۹۵/۲	۹۰/۶	۷۱/۶۱	۲۸/۹۶	۰/۰۱
قروه	۵	-۸۷۴۲/۸۳۷	$(RH5)^6 [73.604] + (T_{\text{max}}5)^7 [305.167]$	۸۹/۵	۸۰	۱۴۱/۸۷	۲۰/۰۲۲	۰/۰۱
بیجار	۵	۱۲۵۱/۱۶۱	$(FF_{\text{abs}(\text{max})5})^8 [-66.023] + (R5)^9 [4.552]$	۸۴/۳	۷۱	۱۶۴/۵۹	۱۲/۲۴	۰/۰۵
دیواندره	کل دوره	۳۱۸۹/۹۰۹	$(R)^{10} [1.136] + (T_{\text{absmax}})^{11} [-90.881]$	۹۰/۷	۸۲/۲	۱۲۹/۰۵	۳۳/۰۸۸	۰/۰۱
مریوان	۳	۳/۲۵۳	$(R3)^{12} [1.598] + (T_{\text{min}3})^{13} [-70.640]$	۸۳/۸	۷۰/۲	۱۴۱/۱۴	۹/۴۳۴	۰/۰۱
بانه	۴	۶۲۵/۸۱۱	$(FF4)^{14} [205.648] + (T_{\text{abs}(\text{min})4})^{15} [45.536]$	۹۰	۸۱	۱۴۳/۶۴	۲۱/۲۸	۰/۰۱

۱) مجموع روزهای بارانی کل فصل رشد؛ ۲) میانگین حداکثر دمای روزانه کل فصل رشد؛ ۳) مجموع کمبود فشار بخار آب در مرحله‌ی ۵ فنولوژیکی؛ ۴) مجموع تبخیر و تعرق به روش پنمن - مانتیس در مرحله‌ی ۵ فنولوژیکی؛ ۵) بیشترین

دمای ثبت شده در مرحله ۵ فنولوژیکی؛ ۶) میانگین رطوبت نسبی در مرحله ۵ فنولوژیکی؛ ۷) میانگین حداکثر دمای روزانه در مرحله ۵ فنولوژیکی؛ ۸) حداکثر مطلق سرعت باد در مرحله ۵ فنولوژیکی؛ ۹) مجموع بارش در مرحله ۵ فنولوژیکی؛ ۱۰) مجموع بارش کل فصل رشد؛ ۱۱) بیشترین دمای ثبت شده کل فصل رشد؛ ۱۲) مجموع بارش در مرحله ۳ فنولوژیکی؛ ۱۳) میانگین حداقل دمای روزانه در مرحله ۳ فنولوژیکی؛ ۱۴) میانگین سرعت روزانه باد در مرحله ۴ فنولوژیکی؛ ۱۵) کمترین دمای ثبت شده در مرحله ۴ فنولوژیکی.

متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی عملکرد گندم در شهرستان قروه شامل: رطوبت نسبی و میانگین حداکثر دمای روزانه در مرحله‌ی زایشی است و این دو متغیر مستقل با میزان عملکرد محصول رابطه‌ی مستقیم دارند. این دو متغیر ۸۰ درصد تغییرات عملکرد گندم در فصل رشد را نشان می‌دهند. این معادله در سطح ۰/۰۱ معنادار است. در شهرستان بیجار نیز متغیرهای مستقل پیش‌بینی‌کننده‌ی عملکرد گندم در فصل رشد را حداکثر مطلق سرعت باد با یک ارتباط معکوس، و مجموع بارش با ارتباط مستقیم با میزان عملکرد، در مرحله‌ی زایشی تشکیل داده‌اند. این دو متغیر ۷۱ درصد تغییرات عملکرد گندم در فصل رشد را تبیین می‌کنند. این معادله در سطح ۰/۰۵ معنادار است. با توجه به این‌که شهرستان بیجار از کم‌باران‌ترین شهرستان‌های استان است، سرعت باد می‌تواند باعث تبخیر و تعرق بیشتر شود، همچنین ارتباط معکوس میزان عملکرد با حداکثر مطلق باد، به دلیل خوابیدگی ساقه و آسیب فیزیکی به گیاه و نیز افزایش تنش گرمایی و یا سرمای به گیاه است (بهنیا، ۱۳۸۱). همچنین، متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی عملکرد گندم در شهرستان بانه، میانگین سرعت روزانه‌ی باد و کمترین دمای ثبت شده در مرحله‌ی دوم رویشی هستند. این دو متغیر مستقل با میزان عملکرد رابطه‌ی مستقیمی دارند. برخلاف شهرستان بیجار، شهرستان بانه، یکی از پر باران‌ترین شهرستان‌های استان بوده و مدل استخراج شده نشان می‌دهد که تبخیر و تعرق از مشکلات رشد گندم در این مرحله از رشد نیست. بنابراین، رابطه‌ی مستقیم میانگین سرعت باد با میزان عملکرد می‌تواند به دلیل افزایش فتوسنتز به واسطه‌ی افزایش میزان جذب دی‌اکسیدکربن و در نتیجه، افزایش تعرق باشد (Sahu, 2003). این دو متغیر ۸۰ درصد تغییرات عملکرد گندم در فصل رشد را تبیین می‌کنند. این معادله، در سطح ۰/۰۱ معنادار است. در شهرستان مریوان متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی عملکرد گندم، شامل: مجموع بارش و میانگین حداقل دمای روزانه در مرحله‌ی فنولوژیکی خواب هستند. ارتباط این متغیرها با میزان عملکرد گندم برای میانگین میزان بارش، مستقیم بوده و برای میانگین حداقل دما، معکوس است. این مدل مربوط به فصل زمستان و مرحله‌ی خواب است که حساسیت عملکرد این شهرستان نسبت به میانگین حداقل دما را در این مرحله، نشان می‌دهد. این متغیرها ۷۰/۲ درصد تغییرات عملکرد گندم در فصل رشد را تبیین می‌کنند. این معادله در سطح ۰/۰۱ معنادار است. متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی عملکرد گندم در شهرستان سنندج شامل، تعداد روزهای بارشی و میانگین حداکثر دمای روزانه برای کل فصل رشد بوده‌اند، این دو متغیر با عملکرد محصول رابطه‌ی مستقیم دارند. ۶۵/۶ درصد تغییرات عملکرد گندم در فصل رشد با این دو متغیر قابل تبیین است. همچنین این معادله در سطح ۰/۰۵ معنادار است. در مورد شهرستان دیواندره نیز متغیرهای مستقل پیش‌بینی‌کننده شامل، مجموع بارش با یک ارتباط مستقیم با میزان عملکرد و بیشترین دمای ثبت شده با ارتباط معکوس با میزان عملکرد در کل فصل رشد هستند که ۸۲/۲ تغییرات گندم در فصل رشد را تبیین می‌کنند. این

معادله در سطح ۰/۰۱ معنادار است. مدل‌های ارائه شده با داده‌های کل فصل رشد برای شهرستان‌های سنندج و دیواندره، حساس بودن عملکرد گندم دیم به میزان بارش و دما را در این مناطق به‌خوبی نشان می‌دهد.

آزمون مدل^۱

همان‌طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌شود، میزان عملکرد برآورد شده (به‌جز شهرستان مریوان در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳، و شهرستان سقز که در سال‌های زراعی ۸۳-۱۳۸۲ و ۸۴-۱۳۸۳) بیشتر از میزان پیش‌بینی شده است. در مورد سایر شهرستان‌ها، در هر سه سال زراعی، میزان ثبت شده کمتر از میزان تخمینی است. بهترین پیش‌بینی مربوط به شهرستان بیجار در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ بوده که میزان خطای آن فقط ۰/۲۲ درصد کمتر از میزان عملکرد واقعی است. همچنین بیشترین خطای پیش‌بینی در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ برای شهرستان سقز بوده که میزان خطای آن ۴۹/۸ درصد بیشتر از میزان واقعی است.

جدول ۳. ارزیابی مقادیر تخمین‌زده‌شده‌ی واقعی عملکرد گندم دیم برای شهرستان‌های مورد مطالعه برای سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۸۴ تا ۸۳-۱۳۸۲ و میزان خطای مدل

شهرستان	سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲			سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳			سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴		
	عملکرد واقعی	عملکرد تخمینی	درصد خطا	عملکرد واقعی	عملکرد تخمینی	درصد خطا	عملکرد واقعی	عملکرد تخمینی	درصد خطا
سنندج	۱۲۴۲/۸	۹۵۶/۷۶۱	-۲۳/۰۲	۷۷۱/۹۵۹۵	۹۰۹/۹	-۱۸/۷۶	۱۱۱۵/۱	۱۰۲۵/۴۹۴	-۸/۰۴
قروه	۱۴۰۶	۱۰۳۱/۲۷۵	-۲۶/۶۵	۱۲۷۷/۷۱۶	۹۳۶	-۳۶/۵۱	۱۱۹۸/۷	۱۵۵۰/۰۵۹	-۲۹/۳۱
سقز	۱۲۹۷/۹	۱۹۴۴/۲۴۹	۴۹/۸	۱۱۵۹/۴۹۶	۹۸۵/۴	۱۷/۶۷	۱۲۱۶/۵	۱۰۴۲/۷۶۸	-۱۴/۲۸
پانه	۱۵۱۵/۸	۹۲۱/۹۴۷	-۳۹/۱۸	۱۲۷۱/۸	۱۰۰۰/۶۸۱	-۲۱/۳۲	۱۴۵۶	۸۲۹/۹۹۲۸	-۴۳
بیجار	۱۲۴۷/۶	۷۳۷/۶۷۲۹	-۴۲/۱۳	۹۰۸/۱	۹۰۶/۱۰۱۲	-۲۲	۱۲۴۷/۸	۸۴۳/۶۲۴	-۳۲/۳۹
دیواندره	۱۱۵۳/۴	۸۶۸/۴۶۲۶	-۲۴/۷	۸۲۱/۷	۵۵۰/۳۷۸۶	-۳۳/۰۲	۱۲۳۰/۴	۸۲۲/۵۶۷۸	-۳۳/۱۵
مریوان	۱۴۵۶/۷	۹۶۴/۸۶۶۴	-۳۳/۷۶	۱۱۸۴/۷	۱۲۱۳/۱۴۳	۲/۴	۱۳۸۷	۱۲۹۹/۳۱۳	-۶/۳۲

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیونی استخراج شده در این مطالعه و مقایسه‌ی آن با مطالعات قبلی نشان می‌دهد که با ترکیب پارامترهای اقلیم‌شناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و ورود آنها به‌صورت گام‌به‌گام در مدل‌های رگرسیون خطی، می‌توان درصد بالاتری از تغییرات عملکرد گندم دیم را در منطقه‌ی مورد مطالعه پیش‌بینی کرد. با توجه به جدول ۲ مقادیر R^2 در شهرستان سقز تا میزان ۰/۹۰۶ به‌دست آمده است، درحالی‌که در مطالعه‌ی کین و همکاران (Qian, et al., 2009) با ۴ پارامتر اقلیم‌شناسی و میزان رطوبت خاک و درجه‌ی روزهای رشد، بالاترین میزان

۰/۷۷ بوده است. این میزان در مطالعه‌ی عزیزی و یاراحمدی (۱۳۸۱) برای دشت سیلاخور با ۵ پارامتر اقلیم‌شناسی تنها ۰/۴۷ بوده است (عزیزی و یاراحمدی، ۱۳۸۱). بازگیر و همکاران (Bazgeer, et al., 2007) در مطالعه‌ی خود با ۳ پارامتر اقلیم‌شناسی و ۳ شاخص هواشناسی کشاورزی برای محصول گندم در شهرستان همدان میزان R^2 ، ۸۳ را برای مرحله‌ی دوم رشد رویشی فعال (مرحله‌ی ۴ فنولوژیکی در این مطالعه) به دست آوردند (Bazgeer, et al., 2007). همچنین بازگیر و همکاران (Bazgeer, et al., 2008) و کمالی و همکاران (۱۳۸۷) نیز با ۳ پارامتر اقلیم‌شناسی و ۳ شاخص هواشناسی کشاورزی به پیش‌بینی عملکرد گندم در بخش‌هایی از غرب کشور اقدام کردند که برای شهرستان‌های قروه و سنندج R^2 ، رقم ۶۸ را به دست آوردند. همچنین در هر دو مطالعه، به دلیل بالا بودن میزان انحراف نسبی، موفق نشدند برای شهرستان بیجار مدلی ارائه کنند (Bazgeer, et al., 2008؛ کمالی و همکاران، ۱۳۸۷). مدل‌های ارائه شده‌ی آنها برای پیش‌بینی عملکرد در شهرستان قروه با استفاده از داده‌های مرحله‌ی زایشی (مرحله‌ی ۵ فنولوژیکی در این مطالعه) انجام شد که این مطالعه نیز آن را تأیید می‌کند و برای شهرستان سنندج با استفاده از داده‌های مربوط به مرحله‌ی دوم رشد رویشی پس از خواب (مرحله‌ی ۴ فنولوژیکی در این مطالعه) انجام شده است.

منابع

- Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 2000, **FAO Irrigation and Drainage Paper**, No. 56, Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), p. 215.
- Azizi, Q., Yarahmadi, D., 2003, **Studing the Relationship between Climatological Parameters and Rainfed Wheat Yield Using Regression Models**, (A Case Study: Silakhor Plain), Geographical Researches, 44(2003), pp. 23-29.
- Bair, W., 1977, **Crop-weather Models and their Use in Yield Assessments**, Tech Note, pp. 148, World Meteorological Organization, Rome.
- Barnett, V., 2004, **Environmental Statistics - Methods and Applications**, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, p. 20.
- Barnett, V., Landau, S., Colls, J.J., Craigon, J., Mitchell, R.A.C., Payne, R.W., 1997, **Predicting Wheat Yields: the Search for Valid and Precise Models**, In: Bock, G.R., Goode, J.A. (Eds.), Precision Engineering, Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality, Novatis Foundation Symposium 210. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, pp. 79-92.
- Bazgeer, Saeed, 2005, **Land use Change Analysis in the Sub mountainous Region of Punjab Using Remote Sensing, GIS, and Agro Meteorological Parameters**, PHD Thesis in Agricultural Meteorology.
- Bazgeer, S., Kamali, GH., Mortazavi, A., 2007, **Wheat Yield Prediction through Agrometeorological Indices for Hamedan**, Iran, Biaban Journal, 12 (2007), pp. 33-38.
- Bazgeer, S., Kamali, GH. A., Sedaghatkerdar, A., Moradi, A., 2008, **Pre-harvest Wheat Yield Prediction Using Agrometeorological Indices for Different Regions of Kordestan Province**, Iran, Research Journal of Environmental Sciences, 2(4), pp. 275-280.

- Boken. V. K, Shaykewich. C. F, 2002, **Improving an Operational Wheat Yield Model Using Phenological Phase-based Normalized Difference Vegetation Index**, International Journal of Remote Sensing, Vol 23, 20, pp. 4155 – 4168.
- Farajzadehasl, M., Zarrin, A., 2002, **Rainfed Wheat Yield Modeling According to Agrometeorological Parameters in West Azarbayjan Provinde**, Modares, 6(2002), pp. 71-96.
- Gilmore, E.C., Rogers, J.S., 1958, **Heat Units as a Method of Measuring Maturity in Corn**, Agtonomy Journal, 50, pp. 611-615.
- Haboudane, D., Miller, J.R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P.J., Strachan, I.B., 2004, **Hyperspectral Vegetation Indices and Novel Algorithms for Predicting Green LAI of Crop Canopies**, Modeling and Validation in Context of Precision Agriculture, Remote Sens, Environ, 90, pp. 337–352.
- Hath, O.S, Carlyl, S., 2003, **The Use Remote Sensing and Geographical Information Systems for the Forecasting of Wheat Field Yield by Ostan in Iran**, The Arab Word Geograpoer (AWG), Vol. 6, No. 4.
- Hodges, T., Kanemasu, E. T., 1977, **Modeling Daily Dry Matter Production of Winter Wheat**, Agron, 69, pp.974-78.
- Iranan Agriculture Ministry, 2009, **Agricultureal Data**, Vol. 1, Yearbook of Crop Yield for 2005-2006, p.14.
- Kamali, GH., Bazgeer, S., 2008, **Rainfed Wheat Yield Predicting Using Agrometeorological Indices in some Regions in West of Iran**, Journal of Agricultural and Naturalresources, 2(2008), pp. 113-121.
- Kramer, P.J., 1997, **Plant and Soil Water Relationship: A Modern Synthesis**, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, p. 296-345.
- Labus, M. P., Nielsen, G., Alawrence, R.L., Engeld, R., Long, S., 2002, **Wheat Yield Estimates Using Multi-temporal NDVI Satellite Imagery Int**, Journal of Remote Sensing, 2002, vol 23, No 20, pp. 4169-4180.
- Mansourfar, K., 2008, **Advanced Statistical Methods Using Applied Software**, Tehrn University Publication, p. 153.
- Mavi, H, S., 1994, **Introduction to Agrometeorology**, Oxford & IBH Publication, Delhi, P. 229.
- Meena, R. P., Dahama, A. K., 2004, **Crop Weather Relationship of Groundnut During Different Phenophases under Irrigated Condition of Western Rajasthan**, Journal of Agromet, 6, pp. 25-32.
- Mozaffari, Gh., 2001, **Evaluation of Environmental Potentials for Wheat Dry Land Farming**, With Emphasis on Agroclimatology, Ph.D Thisis on Climatology, Tarbiat Modarres University.
- Norman, J. 1979, **Modeling the Complete Crop Canopy**, In Modification of the Aerial Environment of the Crop. ASAE, St. Josephs, Michigan, USA, p. 538.
- Norusis, M.J., 2007, **SPSS 15.0 Guide to Data Analysis**, Englewood Cliffs, Prentice Hall, p.523.

- Nuttonson, M. Y., 1955, **Wheat Climate Relationship and Use of Phenology in Ascertaining the Thermal and Photo-thermal Requirement of Wheat**. American Institute of Crop Ecology, Washington D.C, pp. 54-55.
- Qian, B., Jong, R.D., Warren, R., Chipanshi, A., Hill H., 2009, **Statistical Spring Wheat Yield Forecasting for the Canadian Prairie Provinces**, Agricultural and Forest Meteorology, 149 (2009), p. 1022-1031.
- Reddy, T.Y., Reddi, G.H.S., 2003, **Principles of Agronomy**, Kalyani Pulishers, Ludhiana, pp. 48-77.
- Sahu, D.D., 2003, **Agrometeorology and Remote Sensing**, Agrobios, India, pp. 83-85.
- Saini, A.D., Dadhwal, V.K., 1986, **Heat Unit Requirement During the Period of Grain Growth in Wheat and its Application for Adjusting Sowing Dates in Different Regions**, Indian Journal of Agric Sci, 56, pp. 447-52.
- Sastry, P.S.N., Chkravarty, N.V.K., 1982, **Energy Summation Indices for Wheat Crop in India**, Agric Met, 27, pp. 45-48.