مجله کشاورزی، دوره ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۸۸، صص ۸۶-۷۱

پیش‌بینی فنولوژی گندم پاییزه بر مبنای داده‌های هواشناسی در سه نمونه اقلیمی ایران

سید فاضل ضیایی اصل *، علی خلیلی ** و نوذر قهرمان ***

تاریخ وصول مقاله: ۸۷/۷/۲۰ و تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۱/۲۱

چکیده

گندم (*Triticum aestivum*) از مهمترین گیاهان زراعی در سطح جهان و ایران می‌باشد. هر گونه برنامه‌ریزی در جهت افزایش عملکرد گندم مستلزم آگاهی از مراحل مختلف زندگی گیاه و تأثیر عوامل مختلف هواشناسی و زراعی است. هدف از این تحقیق، جستجوی مدل‌های آماری مناسبی است که به کمک آن‌ها بتوان با استفاده از داده‌های هواشناسی دمای کمینه، بیشینه و میانگین، مجموع بارندگی و متوسط رطوبت نسبی هوا در هر یک از مراحل فنولوژی گندم، طول دوره را تخمین زد. این مدل‌ها در سه منطقه اقلیمی پارس‌آباد مغان، قراخیل قائم‌شهر و حسن‌آباد داراب به‌ترتیب بر پایه ۱٤، ۱۰ و هشت سال آمار معتبر موجود جستجو شدند. باتوجه به محدودیت دوره آماری، مدل‌های فوق با یک تا سه متغیر مستقل برای هر مرحله فنولوژی براساس آماره‌های R^2، RMSE، MAE و Index of Agreement در سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد انتخاب شدند. پیش‌بینی تاریخ وقوع مراحل فنولوژی برای مراحل سبز شدن، پنجه زدن، ساقه رفتن، گل‌دهی، شیری شدن، خمیری شدن و رسیدگی کامل انجام گرفت. نوع معادله ریاضی مابین متغیرهای مستقل و وابسته براساس بالاترین ضریب تبیین از بین توابع خطی، نمایی، توانی و لگاریتمی انتخاب شدند. نتایج تحقیق در ایستگاه پارس‌آباد مغان نشان داد که به‌جز مراحل پنجه زدن و رسیدگی کامل در بقیه مراحل مدل‌ها در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار بودند. در دو ایستگاه دیگر تعداد کمتری از مدل‌های پیش‌بینی مراحل فنولوژی معنی‌دار بودند. پیچیدگی سیستم‌های کشاورزی و تغییرپذیری سالانه عوامل هواشناسی و به‌خصوص اثرات متقابل آن‌ها در محیط‌های مختلف باعث بروز خطا در مدل‌ها می‌شود که ضرورت تکمیل مدل‌های آتی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: فنولوژی، گندم پاییزه، متغیرهای هواشناسی، مدل‌های رگرسیون

* – فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته هواشناسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، البرز – ایران

** – استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، البرز – ایران

*** – استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، البرز – ایران **(نویسنده مسئول مکاتبات)**

(E-mail: nghahreman@ut.ac.ir)

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum*) از مهمترین گیاهان زراعی دنیاست و در ایران نیز گیاه زراعی اصلی محسوب می‌شود و نقش بارزی در تغذیه مردم دارد. باتوجه به اهمیت و نقش گندم در نظام‌های زراعی کشور، به‌نظر می‌رسد استفاده از زمینه‌های تحقیقاتی جدید و فن‌آوری‌های نو می‌تواند نقش زیادی در افزایش تولید داشته باشد.

امروزه فن‌آوری اطلاعات امکان شبیه‌سازی پدیده‌های مختلف فیزیکی، زیستی و اقلیمی را در عرصه‌های مختلف پژوهشی امکان‌پذیر ساخته است. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی جنبه‌های مختلف علمی شامل هواشناسی کشاورزی، فیزیک خاک، شیمی خاک، فیزیولوژی گیاهان زراعی، اصلاح گیاهان و زراعت را به‌وسیله روابط ریاضی برای پیش‌بینی رشد و نمو و عملکرد به‌کار می‌گیرند (۹ و ۱۲).

به‌طورکلی، دو دسته عوامل در توسعه کشت مطرح می‌شوند. دسته اول، عوامل پایدار یا عوامل ثابت در زمان مانند شیب زمین و نوع خاک و دسته دوم، عوامل ناپایدار همچون نوع بذر میزان کود و اقلیم هستند. با پیشرفت‌هایی که امروزه در بخش‌های مختلف کشاورزی به‌عمل آمده است یک سری از این عوامل را می‌توان کنترل کرد. اما کنترل اقلیم با نیاز محصول، تنها در مقیاس گلخانه‌ای آن هم در مقیاس کوچک امکان‌پذیر است. تغییرات شدید در وضع هوا و اقلیم موجب تغییرات عمده در میزان بازده محصول می‌شود. بررسی روابط بین محصول و عوامل جوی موضوعی است که از چنین روابطی برای پیش‌بینی عملکرد و مراحل فنولوژی استفاده می‌شود. میزان تولید محصول گندم، صرف‌نظر از بستگی به خصوصیات ژنتیکی رقم، شرایط ادافیکی، فنآوری، داشت و برداشت و غیره، به‌شدت تابع روند وقوع رویدادهای اقلیمی است و در این میان کیفیت نزول بارش و چگونگی هم‌زمانی آن با دما در طول دوره رشد گیاه، شدت و جهت وزش باد و تبخیر و تعرق از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (۱، ٦ و ١٤). رابطه بین شاخص‌های هواشناسی‌کشاورزی و هیدرولوژی وابسته به دما، رطوبت، بارندگی و تابش خورشید با عملکرد گندم توسط محققین مختلف بررسی شده است. شاخص‌های محاسبه شده و به‌کار رفته در این پژوهش‌ها شامل واحدهای حرارتی، بارش تجمعی، دمای مدت روشنایی (Phototemperature)، دمای مدت تاریکی (Nyctotemperature)، واحد گرمای نوری (Photothermal Unit) و کمبود فشار بخار بودند. درمجموع نتایج حاصله نشان داده است که دما و بارش عامل عمده توجیه‌کننده تغییرات عملکرد هستند (۲ و ٤). وجود یک رابطه خطی بین دماهای کمینه و بیشینه و رشد و نمو ارقامی از گندم گزارش شده است (۳ و ۱۷). مراحل مختلف رشد و نمو و فرآیندهای رشد گندم (اسیمیلاسیون کربن، تنفس و تخصیص‌های گیاهی) با استفاده از داده‌های هواشناسی، میزان و زمان آبیاری یا بارندگی، در رژیم‌های مختلف رطوبتی از زمان سبز شدن تا انتهای دوره قابل شبیه‌سازی است (۱۰ و ١٦).

در ایران پژوهش‌های محدود انجام شده در زمینه استفاده از مدل‌های رگرسیونی، عمدتاً با هدف برآورد عملکرد گندم با استفاده از متغیرهای هواشناسی بوده است (٦، ١٤ و ١٥). به این جهت

ضرورت دارد تا بررسی‌های جامع‌تری انجام شود. هدف از این تحقیق، جستجوی مدل‌های آماری مبتنی بر رگرسیون می‌باشد که به‌کمک آن‌ها بتوان تاریخ وقوع مراحل فنولوژی گندم را در چند نمونه اقلیمی کشور پیش‌بینی نمود.

مواد و روشها

داده‌های موردنیاز این پژوهش را آمار روزانه دماهای میانگین، بیشینه و کمینه، بارش و رطوبت نسبی و تاریخ‌های وقوع مراحل مختلف فنولوژی گندم پاییزه آبی در ایستگاه‌های تحقیقات هواشناسی کشاورزی پارس‌آباد مغان (با طول جغرافیایی ´٤٦ °٤٧ شرقی و عرض جغرافیایی ´٣٩ °٣٩ شمالی و ارتفاع ٣٢ متر از سطح دریا)، حسن‌آباد داراب (با طول جغرافیایی ´١٧ °٥٤ شرقی و عرض جغرافیایی ´٤٧ °٢٨ شمالی و ارتفاع ١٠٩٨ متر از سطح دریا) و گندم دیم در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر (با طول جغرافیایی ´٤٦ °٥٢ شرقی و عرض جغرافیایی ´٢٧ °٣٦ شمالی و ارتفاع ١٥ متر از سطح دریا) تشکیل می‌دهد. در ایستگاه پارس‌آباد مغان داده‌های فنولوژی ارقام گندم شیرودی و مغان، در ایستگاه حسن‌آباد داراب رقم چمران و در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر ارقام شانگ‌های، اینیا، گلستان و تجن مورد بررسی قرار گرفت. در هر سه ایستگاه، کشت به صورت فاریاب بوده است. براساس سیستم طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن گسترش یافته خلیلی، اقلیم ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان، حسن‌آباد داراب و قراخیل قائم‌شهر به‌ترتیب نیمه خشک معتدل (A_2M_3)، خشک بیابانی معتدل ($A_{1.2}M_3$) و نیمه مرطوب معتدل (A_4M_3) می‌باشد (٧). کلیه آمار هواشناسی و فنولوژی موردنیاز این مطالعه از سازمان هواشناسی و ایستگاه‌های مورد بررسی اخذ شده است. سال‌های زراعی مورد بررسی در هر سه ایستگاه مورد مطالعه در جدول (١) آمده است.

اجزای مدل رگرسیون شامل پنج متغیر هواشناسی دمای کمینه (T_{min})، دمای بیشینه (T_{max})، دمای میانگین (T_{mean})، رطوبت نسبی هوا (RH) و بارندگی روزانه (P) در طول دوره رشد گندم در سه ایستگاه مورد بررسی می‌باشد. به منظور ارزیابی ارتباط ریاضی این عوامل با تاریخ وقوع مراحل فنولوژی گندم از مدل‌های رگرسیونی متعددی استفاده شده است. متغیرهای مستقل پیش‌بینی را میانگین چهار عامل دمای میانگین، دمای بیشینه، دمای کمینه و رطوبت نسبی و مجموع بارندگی روزانه از ابتدای کشت تا روز قبل از شروع مرحله فنولوژی مورد پیش‌بینی تشکیل می‌دهد. قبل از ترکیب متغیرهای مستقل در قالب مدل‌های دو یا چند متغیره، شکل تابعی بهینه آن‌ها از نظر نوع رابطه با مراحل فنولوژی گندم مشخص گردید. بدین‌منظور رابطه هر یک از متغیرهای اقلیمی با مراحل فنولوژی در قالب چهار شکل تابعی شامل خطی، لگاریتمی، نمایی و توانی تعیین گردید. در این مرحله، در سه ایستگاه مجموعاً ٤٨٠ معادله (ترکیب هشت مرحله فنولوژی، پنج متغیر اقلیمی، چهار شکل تابعی و سه ایستگاه) ارزیابی گردید. سپس برای هر یک از ایستگاه‌ها و هر متغیر اقلیمی طی مرحله پیش‌بینی، بهترین شکل تابعی براساس بالاترین ضریب تبیین، تعیین شد و درنهایت ١٣٥ معادله شکل تابعی انتخاب گردید. پس از تشخیص شکل تابعی بهینه هر متغیر اقلیمی، ترکیب متغیرهای مستقل به فرم تابعی در قالب

مدل‌های رگرسیونی یک، دو و سه متغیره انجام و خطای آن‌ها ارزیابی گردید. در این مرحله، ۱۶۸ رابطه رگرسیون خطی و غیرخطی چندمتغیره بررسی شد. مدل‌های رگرسیونی نیز با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطاها (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطاها (MAE)، نمایه توافق (Index of Agreement, d) و ارزیابی ضرایب معادلات به‌دست آمده بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی مورد[1] بررسی قرار گرفت.

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2\right]^{2} \quad (۱)$$

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|P_i - O_i| \quad (۲)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}[(P_i - O_{avg}) + (O_i - O_{avg})]^2}\right] \quad (۳)$$

در این فرمول‌ها، O_i مقدار مشاهده شده، P_i مقدار برآورد شده کمیت و O_{avg} میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشند.

محاسبات آماری این تحقیق با نرم‌افزار آماری MINITAB نسخه ۱۴ انجام شد و ضرایب معادلات رگرسیون و شاخص‌های آماری موردنیاز به‌دست آمدند.

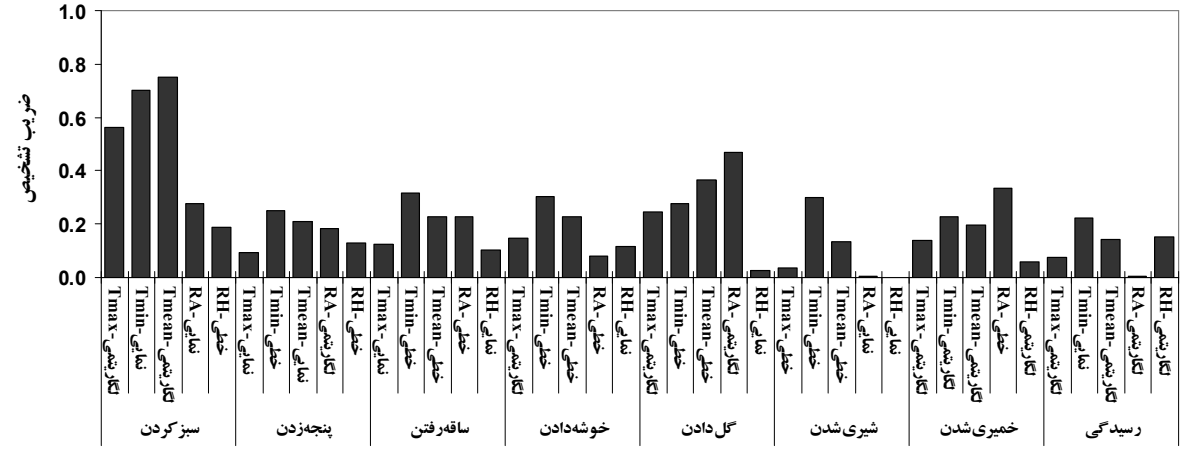
جدول ۱ - سال‌های زراعی مورد بررسی به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1 - Study period in each station

پارس‌آباد مغان Parsabad	حسن‌آباد داراب Hasanabad	قراخیل قائم‌شهر Gharakhil
1987-88	1998-99	1985-86
1988-89	1999-00	1992-93
1989-90	2000-01	1995-96
1990-91	2002-03	1999-00
1991-92	2003-04	2001-02
1998-99	2004-05	2002-03
1999-00	2005-06	2003-04
2000-01	2006-07	2004-05
2001-02	–	2005-06
2002-03	–	2006-07
2003-04	–	–
2004-05	–	–
2005-06	–	–
2006-07	–	–

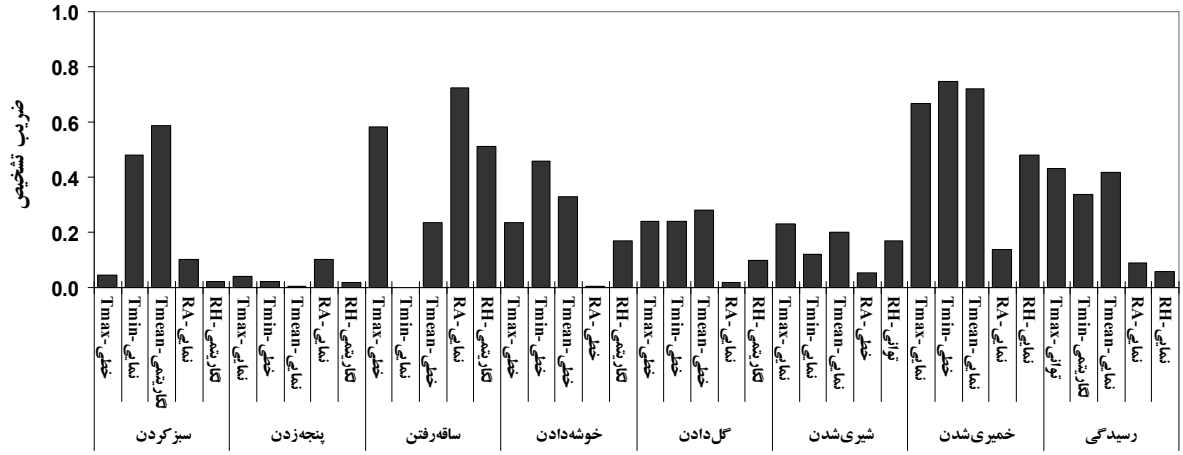
نتایج و بحث

ضرایب تشخیص شکل‌های تابعی بهینه متغیرهای هواشناسی در مراحل فنولوژی مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) آمده است. در این شکل‌ها، دماهای بیشینه، میانگین و کمینه به‌ترتیب با T_{max}، T_{mean} و T_{min} و رطوبت نسبی هوا و بارندگی به‌ترتیب با RH و RA نشان داده شده است.



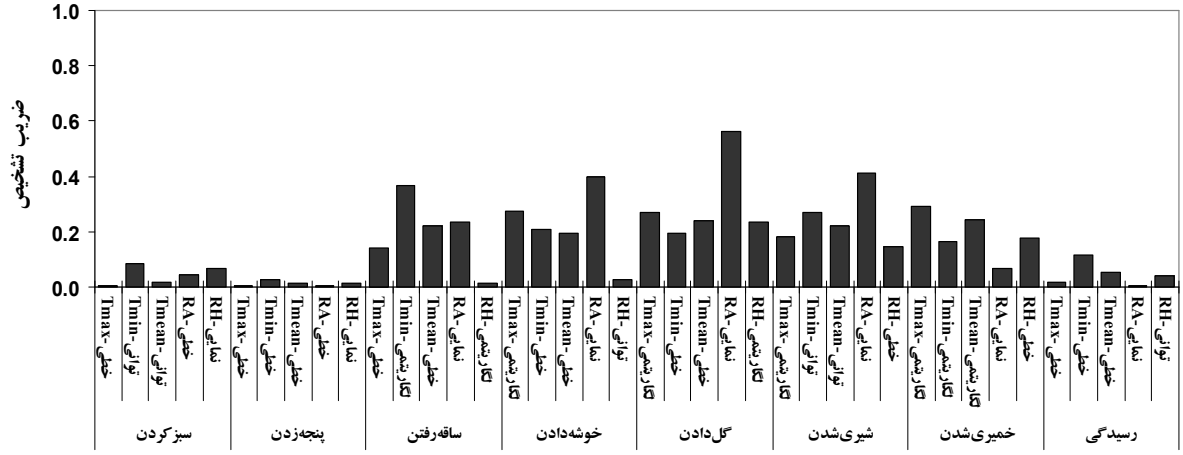
شکل ۱ – ضرایب تبیین برازنده‌ترین شکل‌های تابعی متغیرهای هواشناسی در مراحل مختلف پیش‌بینی فنولوژی در ایستگاه پارس‌آباد مغان

Fig. 1 . Coefficients of determination of the best fitted functions for prediction of different phenological stages in Pasabad station



شکل ۲ – ضرایب تبیین برازنده‌ترین شکل‌های تابعی متغیرهای هواشناسی در مراحل مختلف پیش‌بینی فنولوژی در ایستگاه حسن‌آباد داراب

Fig. 2 . Coefficients of determination of the best fitted functions for prediction of different phenological stages in Hasanabad station



شکل ۳ - ضرایب تبیین برازنده‌ترین شکل‌های تابعی متغیرهای هواشناسی در مراحل مختلف پیش‌بینی فنولوژی در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر

Fig. 3 . Coefficients of determination of the best fitted functions for prediction of different phenological stages in Gharakhil station

پس از تعیین شکل‌های تابعی بهینه متغیرهای هواشناسی، واسنجی مدل‌ها در هر یک از ایستگاه‌های سه‌گانه مورد بررسی براساس سه متغیر هواشناسی که بالاترین ضریب تبیین را در هر مرحله کسب کرده‌اند، انجام شد. به دلیل عدم امکان نشان دادن آنالیز خطای مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی مراحل مختلف فنولوژی در هر سه ایستگاه در این مجال، در زیر تنها جداول آنالیز ایستگاه پارس‌آباد مغان نشان داده شده است. در این جداول علامت (*) و (**) به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد می‌باشد و حروف a تا d به‌ترتیب ضرایب اختصاصی متغیرهای هواشناسی مورد استفاده در مدل‌های مذکور می‌باشد.

جدول ۲ - آنالیز خطای مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی مراحل مختلف فنولوژی گندم در ایستگاه پارس‌آباد مغان

Table 2 - Error analysis of regression models for prediction of wheat phenology in Parsabad station

الف) مرحله سبز شدن

کد مدل	تعداد متغیر	ضرایب مدل‌های رگرسیون				R^2	value p-	RMSE	MAE (Day)
		a	b	c	d				
1	3	10.1	-445.6	-10.4	446.1	0.792	0.001**	12.5	8.1
2	2	-16.1	263.1	94.6	-	0.754	0.000**	13.0	8.9
3	2	7.7	-394.5	-	408.0	0.792	0.000**	12.0	8.1
4	2	-6.2	-	34.3	221.4	0.780	0.000**	12.3	9.7
5	1	-4.6	865.4	-	-	0.563	0.002**	16.6	14.1
6	1	-6.8	-	118.9	-	0.732	0.000**	13.0	10.2
7	1	-2.7	-	-	300.9	0.773	0.000**	12.0	10.0

ادامه جدول ۲

Table 2 - Continued

ب) مرحله پنجه زدن

کد مدل	تعداد متغیر	ضرایب مدل‌های رگرسیون				R^2	p-value	RMSE	MAE (Day)
		a	b	c	d				
1	3	1110.4	-14.7	-1153.7	127.3	0.350	0.211	22.2	16.3
2	2	-241.7	-9.4	407.8	-	0.248	0.208	22.7	18.2
3	2	51.8	-9.7	-	79.7	0.322	0.118	21.6	17.0
4	2	-793.8	-	895.4	60.1	0.202	0.290	23.6	18.1
5	1	154.1	-11.5	-	-	0.241	0.075	21.9	18.0
6	1	-1181.1	-	1374.3	-	0.173	0.139	22.8	19.3
7	1	12.2	-	-	108.2	0.159	0.157	23.0	18.2

ج) مرحله ساقه رفتن

کد مدل	تعداد متغیر	ضرایب مدل‌های رگرسیون				R^2	p-value	RMSE	MAE (Day)
		a	b	c	d				
1	3	123.5	1.3	4.9	0.6	0.625	0.017*	11.3	7.4
2	2	166.7	5.1	-0.3	-	0.315	0.125	14.5	9.9
3	2	155.1	5.8	-	0.5	0.537	0.014*	12.0	8.5
4	2	117.5	-	6.0	0.7	0.619	0.005**	10.8	7.5
5	1	165.0	4.8	-	-	0.314	0.037*	13.9	9.9
6	1	149.6	-	3.4	-	0.219	0.092	14.9	11.6
7	1	171.4	-	-	0.3	0.096	0.281	16.0	12.5

د) مرحله سنبله‌دادن

کد مدل	تعداد متغیر	ضرایب مدل‌های رگرسیون				R^2	p-value	RMSE	MAE (Day)
		a	b	c	d				
1	3	3373.6	-2287.3	-31.3	77.5	0.451	0.099	9.5	6.8
2	2	222.9	-23.6	5.1	-	0.298	0.142	10.2	7.7
3	2	739.8	-394.1	-	12.1	0.340	0.101	9.9	7.6
4	2	186.9	-	4.9	-0.2	0.296	0.145	10.2	7.6
5	1	4.5	125.2	-	-	0.140	0.188	10.8	8.2
6	1	185.7	-	4.7	-	0.296	0.044*	9.8	7.6
7	1	172.9	-	-	3.6	0.234	0.080	10.2	8.0

ادامه جدول ۲

Table 2 - Continued

ه) مرحله گل دادن

کد مدل	تعداد متغیر	ضرایب مدل‌های رگرسیون				R^2	p-value	RMSE	MAE (Day)
		a	b	c	d				
1	3	-0.9	1.4	1.2	185.1	0.686	0.007**	6.7	4.1
2	2	179.3	0.9	2.3	-	0.380	0.072	8.9	6.1
3	2	-5.9	2.3	-	199.6	0.661	0.003**	6.6	4.4
4	2	5.7	-	2.2	177.4	0.651	0.003**	6.7	4.6
5	1	198.2	2.7	-	-	0.277	0.053	9.2	6.8
6	1	178.6	-	2.9	-	0.366	0.022*	8.6	6.5
7	1	1.7	-	-	126.7	0.459	0.008**	8.0	5.1

و) مرحله شیری شدن

کد مدل	تعداد متغیر	ضرایب مدل‌های رگرسیون				R^2	p-value	RMSE	MAE (Day)
		a	b	c	d				
1	3	192.3	40.7	44.0	-81.1	0.413	0.135	8.4	5.3
2	2	198.6	-0.2	3.6	-	0.299	0.141	8.7	6.2
3	2	200.2	-3.6	-	6.9	0.279	0.165	8.9	6.3
4	2	199.1	-	3.8	-0.4	0.301	0.140	8.7	6.2
5	1	223.7	0.6	-	-	0.037	0.509	9.8	7.0
6	1	196.1	-	3.4	-	0.297	0.044*	8.4	6.2
7	1	206.2	-	-	1.8	0.127	0.211	9.3	6.7

ز) مرحله خمیری شدن

کد مدل	تعداد متغیر	ضرایب مدل‌های رگرسیون				R^2	p-value	RMSE	MAE (Day)
		a	b	c	d				
1	3	-8.7	-174.1	294.0	0.7	0.594	0.024*	7.6	5.4
2	2	-8.0	125.5	31.4	-	0.231	0.236	10.0	6.7
3	2	67.9	109.5	-	0.4	0.442	0.040*	8.5	6.3
4	2	-18.2	-	145.0	0.5	0.547	0.013*	7.7	5.8
5	1	4.3	135.0	-	-	0.228	0.084	9.6	6.7
6	1	3.5	-	137.2	-	0.191	0.119	9.8	6.8
7	1	242.2	-	-	0.5	0.334	0.030*	8.9	6.7

ادامه جدول ۲

Table 2 - Continued

ح) مرحله رسیدگی کامل

کد مدل	تعداد متغیر	ضرایب مدل‌های رگرسیون				R^2	p-value	RMSE	MAE (Day)
		a	b	c	d				
1	3	-76.8	710.7	-528.6	567.4	0.474	0.082	6.5	4.6
2	2	93.3	448.1	-212.1	-	0.265	0.184	7.4	5.2
3	2	-163.1	196.3	-	292.2	0.305	0.135	7.2	5.2
4	2	-99.1	-	102.6	287.9	0.195	0.303	7.7	5.8
5	1	-1.9	229.4	-	-	0.260	0.085	7.2	5.4
6	1	11.5	-	154.3	-	0.129	0.207	7.7	5.9
7	1	1.2	-	-	391.3	0.148	0.174	7.6	5.9

شکل کلی روابط رگرسیونی چندمتغیره در هر یک از مراحل فنولوژی و ایستگاه‌های تحت مطالعه به‌صورت زیر است. در این روابط، LP (Length of period) طول دوره فنولوژی معین برحسب روز و X_1 تا X_5 به‌ترتیب عبارت است از میانگین دمای بیشینه روزانه (T_{max})، میانگین دمای کمینه روزانه (T_{min})، میانگین دمای متوسط روزانه (T_{mean})، جمع بارندگی روزانه (P) و میانگین رطوبت نسبی روزانه (RH) در طول یک دوره فنولوژی معین می‌باشند.

۱ - مرحله سبز شدن

- ایستگاه پارس‌آباد مغان (٤) $$LP = ۱۰/۱ - ۴۴۵/۶e^{-۰/۹۴۱۷X_۱} - ۱۰/۴e^{-۰/۰۹۰۷X_۲} + ۴۴۶/۱X_۳^{-۰/۶۵۰۸}$$
- ایستگاه حسن آباد داراب (۵) $$LP = ۱۷۴/۸ + ۴۷/۰e^{-۰/۰۴۸۴X_۲} - ۶۲/۳Ln(X_۳) + ۴۳/۴e^{-۰/۰۰۱۳X_۴}$$
- ایستگاه قراخیل قائم‌شهر (٦) $$LP = -۱۴۲/۹ + ۲۱۸/۰X_۲^{-۰/۰۷۱۷} - ۴/۰X_۴ + ۱۰۱/۱e^{-۰/۰۰۴۹X_۵}$$

۲ - مرحله پنجه زدن

- ایستگاه پارس‌آباد مغان (۷) $$LP = ۱۱۱۰/۴ - ۱۴/۷X_۲ - ۱۱۵۳/۷e^{-۰/۰۰۶۴۴X_۳} + ۱۲۷/۳X_۴^{۰/۰۷۶۷}$$
- ایستگاه حسن‌آباد داراب (۸) $$LP = -۱۰۹/۵ + ۱۷۲/۹e^{-۰/۰۱۴۴X_۱} + ۴/۷X_۲ + ۷۳/۳e^{۰/۰۰۱۷X_۴}$$
- ایستگاه قراخیل قائم‌شهر (۹) $$LP = ۲۸۶/۶ + ۱۳/۲X_۲ - ۱۲/۴X_۳ - ۱۲۰/۸e^{-۰/۰۰۲۶X_۵}$$

۳ - مرحله ساقه دادن

- ایستگاه پارس‌آباد مغان (۱۰) $$LP = ۱۲۳/۵ + ۱/۳X_۲ + ۴/۹X_۳ + ۰/۶X_۴$$
- ایستگاه حسن‌آباد داراب (۱۱) $$LP = -۴۷/۲ + ۳/۸X_۱ + ۱۲۲/۰e^{-۰/۰۰۱۸X_۴} + ۴/۳Ln(X_۵)$$
- ایستگاه قراخیل قائم‌شهر (۱۲) $$LP = -۲۲/۶ + ۲۹/۴Ln(X_۲) - ۱/۳X_۳ + ۱۵۳/۲e^{۰/۰۲۹X_۴}$$

٤ - مرحله سنبله‌دادن

- ایستگاه پارس‌آباد مغان (۱۳) $LP = ۳۳۷۳/۶ - ۲۲۸۷/۳X_۱^{۰/۱۸۵۲} - ۳۱/۳X_۲ + ۷۷/۵X_۳$
- ایستگاه حسن‌آباد داراب (۱٤) $LP = ۱۵۳/۷ + ۱۲۸/۶X_۱ + ۱۴۷/۶X_۲ - ۲۶۵/۶X_۳$
- ایستگاه قراخیل قائم‌شهر (۱۵) $LP = ۲۰/۶ - ۰/۳Ln(X_۱) + ۰/۳X_۲ + ۱۹۵/۶e^{-۰/۰۴۰۵X_۴}$

۵ - مرحله گل دادن

- ایستگاه پارس‌آباد مغان (۱٦) $LP = -۰/۹ + ۱/۴X_۲ + ۱/۲X_۳ + ۱۸۵/۱X_۴^{۰/۰۲۱۹}$
- ایستگاه حسن‌آباد داراب (۱۷) $LP = ۱۳۸/۶_۰ + ۴۴/۹X_۱ + ۴۴/۲X_۲ - ۸۶/۵X_۳$
- ایستگاه قراخیل قائم‌شهر (۱۸) $LP = -۱۱/۸ + ۳/۹Ln(X_۱) - ۴/۴X_۳ + ۲۲۳/۸e^{-۰/۰۲۷۸X_۴}$

٦ - مرحله شیری شدن

- ایستگاه پارس‌آباد مغان (۱۹) $LP = ۱۹۲/۳ + ۴۰/۷X_۱ + ۴۴/۰X_۲ - ۸۱/۱X_۳$
- ایستگاه حسن‌آباد داراب (۲۰) $LP = -۵۱۵/۷ + ۱۸۰۰/۷e^{۰/۰۰۴۸X_۱} - ۱۲۱۷/۰e^{۰/۰۰۵۹X_۲} + ۰/۹X_۵$
- ایستگاه قراخیل قائم‌شهر (۲۱) $LP = ۴۲/۰ + ۳۷۰/۶X_۲^{۰/۰۶۰۹} - ۳۷۲/۳X_۳^{۰/۰۷۰۳} + ۲۱۵/۳e^{-۰/۰۱۷۶X_۴}$

۷ - مرحله خمیر شدن

- ایستگاه پارس‌آباد مغان (۲۲) $LP = -۸/۷ - ۱۷۴/۱X_۲^{۰/۱۷۸۲} + ۲۹۴/۰X_۳^{۰/۱۹۲۸} + ۰/۷X_۴$
- ایستگاه حسن‌آباد داراب (۲۳) $LP = -۱۱۲۰/۲ - ۱۵۸۵/۴e^{۰/۰۰۵۴X_۱} - ۸/۷X_۲ + ۲۹۰۸/۴e^{۰/۰۰۶۱X_۳}$
- ایستگاه قراخیل قائم‌شهر (۲٤) $LP = ۶۶/۸ + ۱۵۲/۹Ln(X_۱) - ۱۱۹/۹Ln(X_۳) + ۰/۶X_۵$

۸ - مرحله رسیدگی کامل

- ایستگاه پارس‌آباد مغان (۲۵) $LP = -۷۶/۸ + ۷۱۰/۷e^{۰/۰۱X_۲} - ۵۲۸/۶X_۳^{۰/۱۶۱۹} + ۵۶۷/۴X_۵^{-۰/۰۹۳۴}$
- ایستگاه حسن‌آباد داراب (۲٦) $LP = ۱۶۹/۹ + ۳۸۲/۴X_۱^{۰/۲۶۸۴} + ۹۷/۰Ln(X_۲) - ۹۳۵/۷e^{۰/۰۰۹۵X_۳}$
- ایستگاه قراخیل قائم‌شهر (۲۷) $LP = ۷۷۹/۸ + ۱۲/۴X_۲ - ۱۱/۸X_۳ - ۳۳۸/۴X_۵^{۰/۰۸۰۱}$

اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی پیش‌بینی فنولوژی

براساس اصول اساسی علم آمار، باتوجه به کافی نبودن آمار فنولوژی در ایستگاه‌های حسن‌آباد داراب و قراخیل قائم‌شهر، در این دو ایستگاه از اعتبارسنجی مدل‌ها به جهت کم بودن درجه آزادی مدل‌های رگرسیونی اجتناب شده است و اعتبارسنجی مدل‌ها صرفاً در ایستگاه پارس‌آباد مغان انجام شد. فرآیند اعتبارسنجی در شش مرحله فنولوژی که مدل‌های رگرسیونی معنی‌دار بودند، صورت گرفت. این مراحل شامل سبز شدن، ساقه رفتن، سنبله دادن، گل دادن، شیری شدن و خمیری شدن می‌باشند. مدل‌های معنی‌دار اعلام شده در ایستگاه پارس‌آباد مغان در جدول (۳) آمده است.

اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی تاریخ وقوع مراحل فنولوژی گندم (مدل‌های معنی‌دار اعلام شده فوق) در ایستگاه پارس‌آباد مغان در شکل (٤) آمده است.

جدول ۳ - شکل کلی معادلات رگرسیونی اعتبارسنجی شده در ایستگاه پارس‌آباد مغان

Table 3 - Validated regression models in Parsabad station

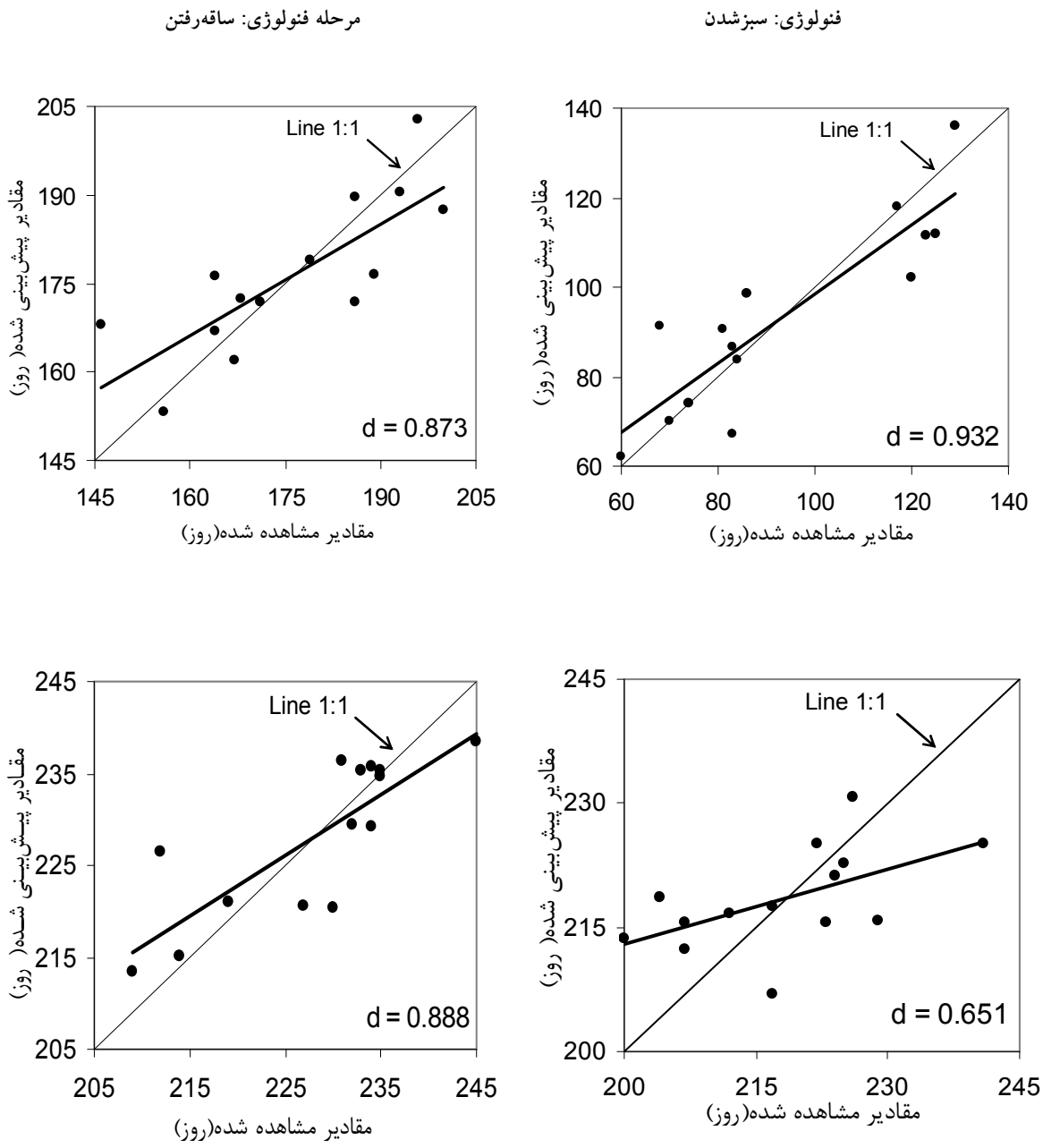
نام مرحله	مدل‌های رگرسیونی	سطح اعتماد (α)
مرحله سبز شدن	$LP = -2/7 + 300/9(Tmean)^{-0/6508}$	0.01
مرحله ساقه دادن	$LP = 117/5 + 6/0(Tmean) + 0/7(P)$	0.01
مرحله سنبله دادن	$LP = 185/7 + 4/7(T\min)$	0.05
مرحله گل دادن	$LP = -5/9 + 2/3(T\min) + 199/6(P)^{0/0219}$	0.01
مرحله شیری شدن	$LP = 196/1 + 3/4(T\min)$	0.05
مرحله خمیری شدن	$LP = -18/2 + 145/0(Tmean)^{0/1928} + 0/5(P)$	0.05

LP - طول دوره فنولوژی معین برحسب روز می‌باشد. P - بارندگی برحسب میلی‌متر

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق، پس از بررسی و ارزیابی‌های دقیق بر روی متغیرهای هواشناسی مورد مطالعه و داده‌های فنولوژی، شکل تابعی بهینه روابط رگرسیونی بین طول مرحله نمو با هر یک از عوامل هواشناسی در تک تک مراحل فنولوژی در سه ایستگاه مورد مطالعه تعیین شد. سپس مدل‌های رگرسیونی معنی‌دار شده در سطح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد استخراج شدند (شکل‌های ۱، ۲ و ۳).

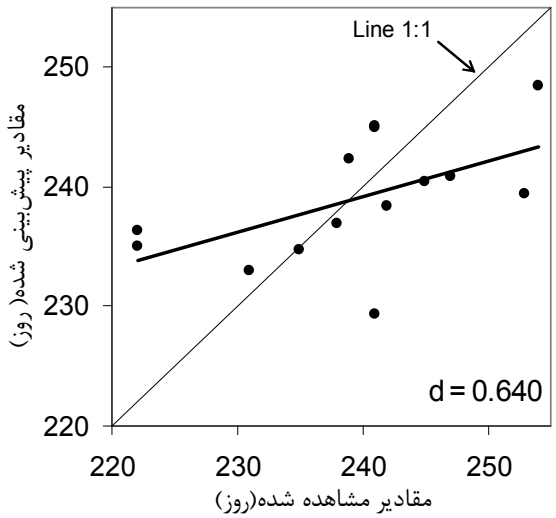
براساس ضریب تشخیص، در مرحله سبز شدن، شکل تابعی بهینه در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان، حسن‌آباد داراب و قراخیل قائم‌شهر برای پارامتر دمای متوسط به‌دست آمده است. طی این مرحله متغیرهای رطوبت نسبی در پارس‌آباد مغان و حسن‌آباد داراب و دمای متوسط در قراخیل قائم‌شهر کمترین همبستگی را با تاریخ سبز شدن داشتند. در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر، متغیرهای دمای کمینه، دمای متوسط، بارندگی و رطوبت رابطه نزولی با تاریخ سبز شدن حسب روز (با مبدأ ۲۳ سپتامبر یا اول مهر هر سال) داشت، درحالی‌که متغیر دمای بیشینه رابطه صعودی با تاریخ سبز شدن نشان داد. همچنین در پارس‌آباد مغان به‌غیر از متغیر بارندگی که رابطه صعودی با تاریخ مرحله سبز شدن داشت، مابقی متغیرهای به‌کار رفته رابطه نزولی با تاریخ مرحله مذکور داشتند. درحالی‌که در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر به‌غیر از متغیر رطوبت نسبی که رابطه صعودی با تاریخ مرحله سبز شدن داشت، مابقی متغیرهای به‌کار رفته رابطه نزولی با طول این مرحله داشتند.



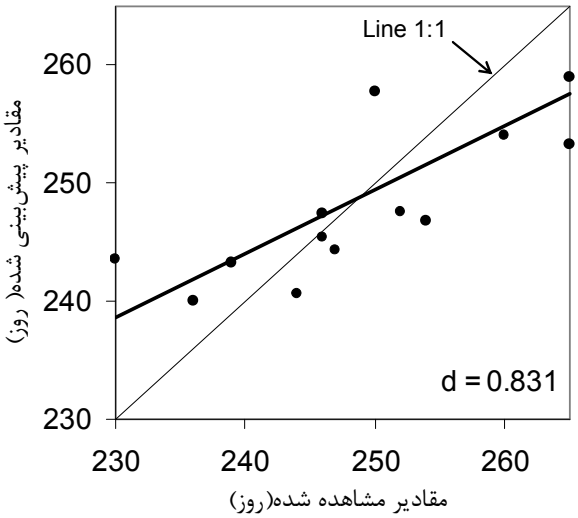
شکل ٤ – مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تاریخ وقوع مراحل فنولوژی گندم در ایستگاه پارس‌آباد مغان

Fig. 4 . Observed and predicted dates of wheat phenological events in Parsabad station

مرحله فنولوژی: شیری شدن



مرحله فنولوژی: خمیری شدن



ادامه شکل ٤

Fig. 4 . (Continued)

براساس ضریب تشخیص، در مرحله پنجه زدن، شکل تابعی بهینه در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان و قراخیل قائم‌شهر برای متغیر دمای کمینه و در حسن‌آباد داراب برای متغیر بارندگی به‌دست آمد، اما در هر سه ایستگاه ضریب تشخیص از ۰/۲۵ تجاوز نکرد. طی این مرحله متغیرهای بارندگی در پارس‌آباد مغان، دمای متوسط در حسن‌آباد داراب و دمای بیشینه در قراخیل قائم‌شهر کمترین همبستگی را با طول مرحله پنجه زدن داشتند. در پارس‌آباد مغان به‌غیر از متغیر بارندگی، بقیه متغیرها با طول این مرحله رابطه نزولی نشان داده، درحالی‌که در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر به‌جز متغیر رطوبت نسبی، بقیه متغیرها رابطه صعودی با تاریخ وقوع این مرحله نشان دادند. همچنین در ایستگاه حسن‌آباد داراب متغیرهای دمای کمینه، بارندگی و رطوبت نسبی رابطه صعودی، درحالی‌که بقیه متغیرهای هواشناسی دارای رابطه نزولی با طول مرحله پنجه‌زنی داشتند. براساس ضریب تشخیص، در مرحله ساقه دادن، شکل تابعی بهینه در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان و قراخیل قائم‌شهر برای متغیر دمای کمینه و در حسن‌آباد داراب برای متغیر بارندگی به‌دست آمده است. طی این مرحله متغیرهای بارندگی و رطوبت نسبی در پارس‌آباد مغان، دمای کمینه در حسن‌آباد داراب و رطوبت نسبی در قراخیل قائم‌شهر کمترین همبستگی را با طول مرحله ساقه دادن داشتند. در پارس‌آباد مغان به‌جز متغیر رطوبت نسبی، بقیه متغیرها با طول مرحله ساقه دادن رابطه صعودی نشان دادند. از طرفی دیگر در حسن‌آباد داراب متغیرهای دمای بیشینه و

دمای متوسط رابطه صعودی و متغیرهای رطوبتی (بارندگی و رطوبت نسبی) با طول این مرحله رابطه نزولی نشان دادند. در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر رابطه‌ای صعودی مابین کلیه متغیرهای مورد بررسی با طول مرحله‌ی مذکور مشاهده شد. براساس ضریب تشخیص، در مرحله سنبله دادن، شکل تابعی بهینه در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان و حسن‌آباد داراب برای متغیر دمای کمینه و در قراخیل قائم‌شهر برای متغیر بارندگی به‌دست آمده است. طی این مرحله متغیرهای بارندگی در پارس‌آباد مغان و حسن‌آباد داراب و رطوبت نسبی در قراخیل قائم‌شهر کمترین همبستگی را با تاریخ سنبله دادن داشتند. در ایستگاه پارس‌آباد مغان به‌غیر از متغیر رطوبت نسبی، بقیه متغیرها رابطه صعودی با طول این مرحله نشان دادند، این درحالی است که در ایستگاه حسن‌آباد داراب و قراخیل قائم‌شهر هر سه متغیر دمایی رابطه صعودی و هر دو متغیر رطوبتی رابطه نزولی با طول مرحله مذکور داشتند. براساس ضریب تشخیص، در مرحله گل دادن، شکل تابعی بهینه در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان و قراخیل قائم‌شهر برای متغیر بارندگی و در حسن‌آباد داراب برای متغیر دمای متوسط به‌دست آمده است. طی این مرحله متغیرهای رطوبت نسبی در پارس‌آباد مغان و قراخیل قائم‌شهر و متغیر بارندگی در حسن‌آباد داراب کمترین همبستگی را با تاریخ گل دادن داشتند. در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان و حسن‌آباد داراب به‌جز متغیر رطوبت نسبی، بقیه متغیرها رابطه صعودی با طول این مرحله نشان دادند. همچنین در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر هر سه متغیر دمایی رابطه صعودی و هر دو متغیر رطوبتی رابطه نزولی با طول مرحله فوق داشتند. براساس ضریب تشخیص، در مرحله شیری شدن، شکل تابعی بهینه در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان، حسن‌آباد داراب و قراخیل قائم‌شهر به‌ترتیب برای متغیرهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی به‌دست آمده است. طی این مرحله متغیرهای رطوبت نسبی در پارس‌آباد مغان و قراخیل قائم‌شهر و بارندگی در حسن‌آباد داراب کمترین همبستگی را با تاریخ شیری شدن داشتند. در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان و حسن‌آباد داراب همانند مرحله فنولوژی قبل، به‌جز متغیر رطوبت نسبی هوا، بقیه متغیرها رابطه صعودی با طول این مرحله نشان دادند. همچنین در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر هر سه متغیر دمایی رابطه صعودی و هر دو متغیر رطوبتی رابطه نزولی با طول مرحله فوق داشتند. براساس ضریب تشخیص، در مرحله خمیری شدن، شکل تابعی بهینه در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان، حسن‌آباد داراب و قراخیل قائم‌شهر به‌ترتیب برای متغیرهای بارندگی، دمای کمینه و دمای بیشینه به‌دست آمده است. طی این مرحله متغیرهای بارندگی در قراخیل قائم‌شهر و حسن‌آباد داراب و رطوبت نسبی در پارس‌آباد مغان کمترین همبستگی را با تاریخ مرحله خمیری شدن داشتند. در ایستگاه‌های پارس‌آباد مغان و حسن‌آباد داراب همانند دو مرحله فنولوژی قبل، به‌جز متغیر رطوبت نسبی، بقیه متغیرها رابطه صعودی با طول این مرحله نشان دادند. همچنین در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر همانند مرحله فنولوژی قبل، هر سه متغیر دمایی رابطه صعودی و هر دو متغیر رطوبتی رابطه نزولی با طول مرحله خمیری شدن داشتند.

براساس ضریب تشخیص، در مرحله رسیدگی کامل، شکل تابعی بهینه در ایستگاه‌های پارس‌آباد

مغان و قراخیل قائم‌شهر برای متغیر دمای کمینه و در ایستگاه حسن‌آباد داراب برای متغیر دمای بیشینه به‌دست آمده است. طی این مرحله، متغیر بارندگی در قراخیل قائم‌شهر و پارس‌آباد مغان و متغیر رطوبت نسبی در حسن‌آباد داراب کمترین همبستگی را با تاریخ رسیدگی کامل داشتند. در ایستگاه پارس‌آباد مغان متغیرهای دمایی رابطه صعودی و متغیرهای رطوبتی رابطه نزولی با طول مرحله رسیدگی کامل گندم نشان دادند. در ایستگاه حسن‌آباد داراب تنها شاهد به‌دست آمدن رابطه نزولی متغیر رطوبت نسبی با طول این مرحله بودیم و بقیه متغیرها دارای رابطه صعودی بودند. قابل توجه این‌که در ایستگاه قراخیل قائم‌شهر در این دوره کلیه متغیرهای هواشناسی تحت بررسی رابطه صعودی با طول دوره داشتند. به دلیل محدودیت سال‌های آماری، فرایند اعتبارسنجی مدل‌های فنولوژی معنی‌دار شده صرفاً در ایستگاه پارس‌آباد انجام شد که نتایج نشان داد دقت مدل‌ها در پیش‌بینی تاریخ مراحل مختلف فنولوژی متفاوت است و این امر احتمالاً به دلیل نوسان متغیرهای هواشناسی در سال‌های زراعی مختلف، تفاوت ارقام کشت شده و محدودیت سال‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد. بررسی دقیق‌تر معادلات به ویژه معادلات اعتبارسنجی شده در ایستگاه پارس‌آباد مغان، حاکی از تأثیرات قوی‌تر عوامل دمایی (دمای بیشینه، کمینه و میانگین) بر نمو و طول دوره‌های فنولوژی گندم درمقایسه با عوامل رطوبتی می‌باشد که کاملاً با یافته‌های موجود در سایر منابع علمی هم‌خوانی دارد. همچنین نتایج اعتبارسنجی و مقادیر نمایه توافق نشان می‌دهد که در مراحل اولیه (رشد رویشی) تطابق بیشتری بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده در مقایسه با مراحل پایانی (رشد زایشی و رسیدگی) وجود دارد. دلیل این امر تا حدی براساس حساسیت بیشتر مراحل اخیر به نوسانات دمای هوا قابل توجیه است (۱۱ و ۱۷). هرچند آماره نمایه توافق در تمام مراحل، مقادیر بالایی (از ۰/٦٤ تا ۰/۹۳۲) دارند.

عوامل محیطی کنترل نشده دیگری نیز که به دلیل ملاحظات آماری یا عدم دسترس به داده کافی در مدل‌ها لحاظ نگردیده‌اند بر نتایج حاصله تأثیرگذار بوده است. درنهایت پیشنهاد می‌شود ضمن بررسی اثر متقابل طول دوره‌های مختلف فنولوژی، امکان توسعه و واسنجی یک مدل یک‌پارچه جهت کاربرد در اقلیم‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف بررسی گردد. باتوجه به امکان غیرخطی بودن رابطه طول مراحل فنولوژی و عوامل هواشناسی، استفاده از سیستم‌های هوشمند از جمله شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل-سازی دقیق‌تر مراحل نموی و تلفیق آن با مدل‌های کلاسیک موجود توصیه می‌شود.

References

1 . Bechini L and Bocchi S (2006) A parsimonious, multiple-regression model of wheat to environment. Environ. Modell. Softw. 21: 1042-1054.

2 . Bazgeer S, Kamali Gh and Mortazavi A (2007)Wheat yield prediction through agrometeorological indices for Hamadan, Iran. Biaban. 12S: 33-38.

3 . Cutforth HW and Shaykewich CF (1990) A temperature response function for crop development. Agric. For. Meteorol. 50: 159-171.

4 . Dalezios NR, Loukas A and Bampzelis D (2002) The role of agrometeorological and agrohydrological indices in the phenology of wheat in central Greece. Phys. Chem. Earth. 27: 1091-1023.

5 . Esfandiary F, Aghaie G and Dolati Mehr A (2009) Wheat yield prediction through agrometeorological indices for Ardebil district. Proc. World Academy of Sciences, Engineering and Technology 37: 2070-3740.

6 . Ghorbani, K (2006) Regional prediction of wheat yield based on precipitation data and presentation of results in GIS media. M.Sc. Thesis, College of Agriculture and Natural Resources. University of Tehran. Karaj. Iran. (In Farsi).

7 . Khalili A (1997) Integrated water plan of Iran. Meteorological studies, Ministry of power, Iran. Vol. 4.

8 . Landau S and Mitchell RAC (2000) A parsimonious, multiple-regression model of wheat to environment. Agric. For. Meteorol. 101: 151-166.

9 . Lawless C and Semenov M (2005) Assessing lead-time for predicting wheat growth using a crop simulation model. Agric. For. Meteorol. 135: 302-313.

10 . Noriemamzadehei MR, Kashkoli HA, Kashani A and Banayan Aval M (2005) A model for simulation growth and development of wheat in different moisture regims. The Scientific J. Agric. 27: 1-18. (In Farsi)

11 . Porter JR and Gawith M (1999) Temperature and the growth and development of wheat: a Review. Eur. J. Agron. 10: 23-36.

12 . Ritchie JT, Singh U, Gowdin DC and Bowen WT (1998) Cereal growth, development and yield. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.) Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, the Netherlands. Pp. 79-98.

13 . Robertson GW (1974) Wheat yield for 50 years at swift current, Saskatchewan in relation to weather. Can. J. Plant Sci. 54: 625-650.

14 . Safa B, Khalili A and Teshnehlab M (2003) Prediction of wheat yield using artificial neural networks. Nivar. 48(49): 47-61. (In Farsi)

15 . Shahvali A (2004) Statistical modeling for predicting the date of harvest of winter wheat using the heat units and the meteorological factors. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. University of Tehran. Karaj. Iran (In Farsi).

16 . Singh R, Singh Y, Prihar SS and Singh P (1975) Effects of N fertilization on yield and water use efficiency of dryland winter wheat as affected by stored water and rainfall. Agron. J. 67: 599-603.

17 . Slafer GA and Rawson HM (1995) Rates and cardinal temperature for processes of development in wheat: effects of temperature and thermal amplitude. Aust. J. Plant Phisiol. 22: 913-926.

18 . Wang E and Engel T (1998) Simulation of phenological development of wheat crops. Agric. Syst. 58: 1-24.

Prediction of winter wheat phenology using meteorological data in three different climatic regions of Iran

S. F. Ziayee asl *, A. Khalili ** and N. Ghahreman ***

Abstract

Wheat (*Triticum aestivum*) is one of the major crops in the world and Iran. Any plan for improvement of wheat yield requires sufficient information on different stages of crop life cycle and the effects of meteorological parameters. The purpose of this study was developing suitable regression models for prediction the length of pheonological stage of winter wheat in three different regions of Iran namely; Parsabad, Gharakheil and Hasanabad and using daily maximum, minimum and average temperature, relative humidity and total rainfall in each phenological stages. The models were developed and tested in existing record period (14, 10 and eight years for three stations respectively). The best form of equation between meteorological variables and length of pheonological stage were chosen out of four different types of linear, logarithmic, exponential and power based on the R^2, RMSE, MAE statistics at 95 and 99% level of significance. The comparison between simulated and observed dates of phonological events was done using index of agreement. The results showed that in the case of Parsabad station except for tillering and ripening stages, the relation of other stages were significant at 95% level of confidence. In the other stations, less number of equations was significant. Due to complexity of agricultural systems, annual variation of meteorological variables and their interactions, to come to valid conclusions, all the models should be tested at other stations of Iran.

Keywords: Meteorological variables, Phenology, Regression models, Winter wheat

* -Former MSc student of Agrometeorology,University of Tehran, Tehran - Iran

** -Professor, Department of Irrigation and Reclamation, College of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Alborz - IRan

*** - Assistant professor, Department of Irrigation and Reclamation, College of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Alborz - Iran