

## تعیین مدل پیش‌بینی عملکرد کلزا براساس شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در شهرستان مشهد

سیدجواد رسولی<sup>۱</sup> - مهدی نصیری محلاتی<sup>۲\*</sup> - محمدتقی نصری پور یزدی<sup>۳</sup> - رضا قربانی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۳۰

### چکیده

پیش‌بینی صحیح عملکرد گیاه زراعی جهت مدیریت مناسب سیستم‌های اقتصادی و زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تحقیق، به منظور مدل‌سازی آماری و پیش‌بینی عملکرد کلزا در شهرستان مشهد، بر مبنای ۵ شاخص هواشناسی کشاورزی و ۱۲ پارامتر اقلیمی در طی دوره سال زراعی ۷۹-۷۸ الی ۹۳-۹۲ انجام شد. تاریخ کاشت بر اساس دمای مطلوب زمان کاشت بر اساس احتمال وقوع ۷۵٪ به کمک فرمول ویبول تعیین شد. شروع و خاتمه مراحل فنولوژی کلزا (جوانه زدن، سبز شدن، یک برگ، رزت، ساقه رفتن، گل دادن، غلاف‌بندی و رسیدن) با درجه روز رشد (GDD) معینی برای هر مرحله محاسبه شد. با استفاده از روش همبستگی و تحلیل مدل‌های آماری، مدل‌های چند متغیره بین عملکرد سالانه کلزا و متغیرهای مستقل (پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی) در طی سال‌های زراعی ۷۹-۷۸ الی ۸۹-۸۸ برای هر مرحله فنولوژیکی (۸ مرحله) و کل فصل رشد کلزا تعیین شد. مدل برتر با توجه به مقادیر ضریب تعیین  $R^2$  و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) انتخاب شد. آزمون مدل انتخابی با تخمین عملکرد کلزا برای سال‌های زراعی ۹۰-۸۹ الی ۹۳-۹۲ که در تعیین مدل شرکت نداشتند انجام شد. سپس ضریب تصحیح محاسبه و در نهایت مدل پیش‌بینی عملکرد انتخاب شد. این مدل بر اساس میانگین دمای حداکثر روزانه (Tmax) و مجموع بارش (R) در طی کل دوره رشد، عملکرد کلزا را پیش‌بینی کرد. این متغیرها ۸/۸۶ درصد تغییرات عملکرد در فصل رشد را توصیف کرده و در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار بودند.

**واژه‌های کلیدی:** شاخص‌های اقلیم کشاورزی، عملکرد کلزا، مدل‌سازی، مدل‌های چند متغیره، مشهد

### مقدمه

در کنجاله، از دانه‌های روغنی عمده جهان در دهه‌های اخیر به شمار می‌رود (۳۴). در سال‌های اخیر توسعه کشت کلزا به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی در اغلب نقاط کشور مورد توجه قرار گرفته است (۴۰). عوامل محیطی بر عملکرد گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارد و پارامترهای اقلیمی از مهمترین عوامل محیطی است که رشد، نمو و عملکرد گیاه را کنترل می‌کند. تولیدات کشاورزی همیشه با خطر نوسانات آب و هوا و تغییرات بازارهای بین‌المللی همراه بوده است گرچه این احتمال خطر، هرگز به طور کامل حذف نمی‌شود، اما می‌توان با شناخت پارامترهای مختلف مؤثر در رشد گیاه و محصول و تخمین میزان محصول قبل از فصل برداشت، خسارات پدیده‌های زیان‌بخش جوی و اقلیمی آنها را به حداقل رساند (۲۳). در این میان نقش آب و هوا بسیار بارزتر است. پیش‌بینی محصول و ابزار تحلیل احتمال خطر نوسان محصول، در مناطقی که دارای نشانه‌های نوسان و فشارهای اقلیمی هستند، بیشتر بوده است (۲۹). مارلتو و همکاران (۲۴) در مطالعه‌ای عملکرد گندم دیم را با استفاده از مدل‌های تجربی پیش‌بینی نمودند. متغیرهایی که در این مدل استفاده شد داده‌های

در ایران بدلیل افزایش رشد جمعیت و همچنین تغییرات رژیم غذایی مردم، مصرف روغن‌های گیاهی از چهار دهه گذشته به طور چشمگیری افزایش یافته است. به همین دلیل کشور با کمبود روغن خوراکی مواجه است، بطوری‌که تولید روغن داخلی، به سختی فقط ۱۰ درصد از کل نیاز روغن را تامین می‌کند و ۹۰ درصد روغن مورد نیاز با هزینه بسیار بالایی از خارج کشور تامین می‌شود (۱۱). کلزا (*Brassica napus L.*) از خانواده *Cruciferae* یکی از گیاهان روغنی مهم است که به دلیل دارا بودن اسید چرب غیراشباع زیاد و وجود پروتئین بعنوان یکی از سالم‌ترین روغن‌های خوراکی کاربرد دارد. این روغن حاوی امگا-۳ بوده و سرشار از ویتامین‌ها و مواد معدنی ضروری است (۳۴). دانه کلزا با داشتن بیش از ۴۰ درصد روغن

۱، ۲، ۳ - به ترتیب دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، استاد، استادیار و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
\* نویسنده مسئول: (Email: mnassiri@um.ac.ir)

بارندگی در طی فصل رشد و مجموع روزهای یخبندان است. عزیزی و یاراحمدی (۴) به بررسی پارامترهای اقلیمی و عملکرد گندم در دشت سیلاخور با مدل‌های رگرسیونی اقدام کردند و نتایج آنان نشان داد بین عملکرد گندم دیم و متغیرهای میزان بارش پاییزه و بهاره و همچنین تعداد روزهای بارانی دوره مرطوب سال، ارتباط مستقیم وجود دارد، اما بین متغیرهای تعداد روزهای یخبندان بهاری و تاخیر در اولین بارش پاییزه، ارتباط معکوس برقرار بود. جعفری و همکاران (۱۸) در ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای توصیف سرعت ظهور گیاهچه سه رقم کلزا نسبت به دما اعلام کرد برای کمی‌سازی واکنش سرعت ظهور ارقام کلزا به دما از مدل‌های بتا و دو تکه‌ای استفاده کرد و از پارامترهای محاسبه شده از آنها در تهیه مدل پیش‌بینی زمان سبز شدن گیاهچه کلزا در مزرعه استفاده کرد و نتایج نشان داد که واکنش سبز شدن رقم RGS003 و رقم Syn3 به دما به وسیله تابع بتا بهتر از سایر مدل‌ها بود. رسولی (۳۰) پیش‌بینی عملکرد کلزا بر اساس دماهای مطلوب و محدود کننده مراحل فنولوژی در استان‌های خراسان انجام و در مرحله غلاف‌بندی و رسیدن معادلات پیش‌بینی عملکرد کلزا را معرفی کرد.

محققین مختلف مدل‌سازی رشد را برای گیاهانی نظیر سورگوم، آفتابگردان، سویا، ذرت و گندم تهیه کردند. در ایران نیز، باوجود اقلیم نیمه خشک و نوسان فراوان بارندگی سالانه و بیشتر از یک سال عوامل اقلیمی، توجه به پیش‌بینی محصول قبل از فصل برداشت کاملاً احساس می‌شود. هدف از اجرای این تحقیق تعیین مدل رگرسیون چند متغیره خطی پیش‌بینی عملکرد کلزا بر اساس شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در شهرستان مشهد بود که در این تحقیق انجام شد و از دیگر اهداف مهم این تحقیق، محاسبه و برآورد زمان کاشت و تاریخ وقوع مراحل فنولوژیکی با استفاده از پارامترهای اقلیمی بود.

### مواد و روش‌ها

این مطالعه در شهرستان مشهد استان خراسان رضوی با مشخصات جغرافیایی طول جغرافیایی ۵۹/۳۸ و عرض جغرافیایی ۳۶/۱۶ با ارتفاع ۹۹۸ متر از سطح دریا می‌باشد. آمار داده‌های اقلیمی به مدت ۱۵ سال (سال زراعی ۷۹-۷۸ الی ۹۳-۹۲) از سازمان هواشناسی دریافت شد. برای پر کردن خلاءهای آماری و بلند مدت کردن آمار از روش تفاضل‌ها<sup>۱</sup> و نسبت‌ها<sup>۲</sup> استفاده گردید و به منظور کنترل تصادفی بودن همبستگی آمار از آزمون‌های آماری استفاده گردید (۱). در بعضی موارد به علت نزدیکی دو ایستگاه و کامل بودن آمارهای آنها برای پر کردن خلاءهای آماری از همبستگی بین دو

هواشناسی و خاکشناسی بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از این داده‌ها می‌توان، عملکرد گندم دیم را از دو ماه قبل پیش‌بینی نمود. اروانه و عباسی (۳) صحت‌سنجی و واسنجی مدل AquaCrop را برای کلزا در شرایط مزرعه انجام دادند و گزارش کردند که مدل عملکرد محصول، تغییرات رطوبت خاک، عمق توسعه ریشه و وزن اندام هوایی را به خوبی در مزرعه مورد مطالعه پیش‌بینی نمود. هنر و همکاران (۱۷) واسنجی مدل گیاهی CropSyst جهت تخمین عملکرد و شبیه‌سازی رشد گیاه کلزا انجام و گزارش کردند که نتایج خروجی بیانگر تخمین مناسب مدل بود به نحوی که مجذور ضریب همبستگی میان مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده وزن ماده خشک و شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف به ترتیب بیشتر از ۰/۹۹ و ۰/۹۵ محاسبه گردید. میرهاشمی و بنایان اول (۲۶) شبیه‌سازی سطح برگ و عملکرد کلزا تحت شرایط تنش آب در اقلیم نیمه خشک را انجام دادند. آنها مشخص کردند که در طی دوره مورد مطالعه مدل از شاخص سطح برگ و عملکرد پیش‌بینی قابل قبولی نشان داد. پارکو هوانگ (۲۸) در آزمایشی برای مطالعه امکان پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی در دشت‌های آمریکا، در شرایط مختلف خاک و مدیریت زراعی، از سه روش مختلف شامل مدل‌های خطی عمومی، درخت رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. در این مطالعه مشخص شد که درخت رگرسیون مناسب‌ترین روش برای پیش‌بینی عملکرد گیاه زراعی در این منطقه است. پیش‌بینی محصول گندم در بخش‌هایی از ایالت پنجم با مدل‌های رگرسیونی مختلفی ارائه شد و نشان داد که بیشترین همبستگی بین عملکرد گندم آبی 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 و روپنگر ایالت پنجم هندوستان وجود دارد. در این مطالعه ثابت شد که ۶۱ درصد از تغییرات عملکرد محصول گندم به دلیل تغییرات پارامترهای مذکور بوده است (۷). بازگیر و همکاران (۶) با شاخص‌های مختلف هواشناسی کشاورزی برای استان‌های همدان و کردستان به پیش‌بینی محصول گندم اقدام کردند که نتایج آنان نشان داد در همدان ۸۳ درصد از تغییرات عملکرد متأثر از تغییرات پارامترهای هواشناسی بود. کمالی و بازگیر (۲۰) عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی را در برخی از بخش‌های استان‌های کرمانشاه و کردستان پیش‌بینی کردند که در کرمانشاه ۹۱، در سندج و قروه ۶۸ درصد درصد و کنگاور ۸۱ درصد از تغییرات عملکرد محصول گندم دیم، متأثر از تغییرات پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی بود.

فرزاده و زرین (۱۴) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، عملکرد گندم دیم را در استان آذربایجان غربی پیش‌بینی نموده و گزارش کرد که مهمترین عوامل تعیین کننده تولید گندم دیم در این منطقه،

1- Differences Method

2- Proportion Method

که از معادله (۳) به دست آمد (۳۴).  
PTU مجموع واحدهای حرارتی- نوری برای هر مرحله فنولوژیکی  
که از معادله (۴) به دست آمد (۳۴).

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

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

N حداکثر ساعت های آفتابی ممکن و n ساعت های آفتابی واقعی است.

VPD مجموع کمبود فشار بخار آب برای هر مرحله فنولوژیکی که از معادله (۵) به دست آمد (۲۲).

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

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

در این معادله (۵)  $e_s$  فشار بخار آب اشباع (میلی بار) که تابعی از دمای متوسط هواست.  $e_a$  فشار بخار آب واقعی و  $RH_{mean}$  میانگین رطوبت نسبی هوا (درصد) است (۲).

#### محاسبه تاریخ

از سال نامه آماری در هر سال زراعی تاریخ شروع دمای کاشت مناسب (۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد) استخراج شد سپس به هر تاریخ یک وزن عددی بر مبنای اول مهر ماه داده شد و اعداد وزن داده شده برترتیب صعودی مرتب گردید و در نهایت تاریخ مناسب کاشت بر اساس احتمال وقوع ۷۵٪ به کمک رابطه ویبول<sup>۶</sup> (معادله ۷) محاسبه شد (۱).

$$P = \frac{m}{n} * 100 \quad (۷)$$

P = تاریخ کشت با احتمال ۷۵ درصد، m = شماره ردیف و n = تعداد داده‌ها که معادل سال‌های آماری می‌باشد.

دمای پایه کلزا ۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد و برای تکمیل مراحل فنولوژی کلزا درجه روز رشد معینی لازم بود که محاسبات بر اساس جدول (۱) انجام پذیرفت.

با استفاده از این شاخص‌ها در هر مرحله فنولوژی در طی دوره آماری تاریخ شروع مرحله فنولوژی بعدی محاسبه گردید. آمار عملکرد کلزا در طی سال‌های مورد مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی استان دریافت شد (۳۳).

با استفاده از روش همبستگی و تحلیل مدل‌های آماری، یک مدل چند متغیره با استفاده از نرم‌افزار SPSS بین عملکرد کلزا و متغیرهای

ایستگاه مجاور استفاده شده است (۲۰). متغیرهای مهم هواشناسی تاثیرگذار بر رشد گیاه و میزان محصول عبارت از تابش خورشید، دما، بارش (مقدار و پراکندگی آن)، رطوبت نسبی و سرعت باد بود. برای شناسایی بهتر اثر برخی پارامترهای پنهان مرتبط از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی استفاده شد (۱۹، ۱۶، ۳۴ و ۲۵). بنابراین متغیرهای مستقل تحقیق عبارت بودند از:

پارامترهای اقلیمی در هر مرحله فنولوژیکی رشد کلزا شامل میانگین دمای حداکثر روزانه (Tmax)، میانگین دمای حداقل روزانه (Tmin)، مطلق کمترین دما (Tbmin)، مطلق بیشترین دما (Tbmax)، تعداد روزهای بارش بیشتر از ۱ میلی‌متر (Rday)، مجموع بارش (R)، میانگین تبخیر و تعرق (Mpet)، مجموع تبخیر و تعرق (Tpet)، میانگین سرعت روزانه باد (FF)، حداکثر مطلق سرعت باد (FFbmax)، مجموع ساعات آفتابی (SH) و میانگین درصد رطوبت نسبی (RH) بود. میانگین تبخیر و تعرق و مجموع تبخیر و تعرق به روش پنمن- مانتیس با استفاده از نرم‌افزار CropWat محاسبه شدند.

شاخص هواشناسی کشاورزی در هر مرحله فنولوژیکی مجموع اختلاف دمای حداکثر و حداقل روزانه (TD)<sup>۱</sup>، مجموع درجه‌ی روزهای رشد (GDD)<sup>۲</sup>، مجموع واحدهای حرارتی- آفتابی (HTU)<sup>۳</sup>، مجموع واحدهای حرارتی- نوری (PTU)<sup>۴</sup> و مجموع کمبود فشار بخار آب (VPD)<sup>۵</sup> بود که با معدلات ۱ تا ۶ محاسبه شدند.

در این معادله (۱) Tmax دمای حداکثر، Tmin دمای حداقل (درجه‌ی سانتی گراد)، a تاریخ شروع و b تاریخ اتمام هر مرحله‌ی فنولوژیکی است (۱۵).

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

مجموع درجه‌ی روزهای رشد (GDD) بر حسب درجه سانتی گراد در روز برای هر مرحله فنولوژیکی که از معادله (۲) به دست آمد (۱۵).

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

$T_{min}$  و  $T_{max}$  به ترتیب دمای حداکثر و حداقل روزانه بر حسب درجه سانتی گراد و  $T_b$  دمای پایه (درجه سانتی گراد)، a و b به ترتیب تاریخ شروع و خاتمه مرحله رشد بود.

HTU مجموع واحدهای حرارتی- آفتابی برای هر مرحله فنولوژیکی

- 1- Temperature Difference
- 2- GrowthDegree Days
- 3- Heliothermal Units
- 4- Photothermal Units
- 5- Vapor Pressure Deficit

مستقل (۱۲ متغیر اقلیمی و ۵ متغیر هواشناسی کشاورزی) در هر مرحله فنولوژی و کل فصل رشد انجام شد.

جدول ۱- درجه روز رشد (GDD) مورد نیاز مراحل فنولوژی کلزا (۵، ۱۹، ۳۱، ۳۸ و ۳۹)

Table 1- Growing degree days (GDD) for phenological stages of Canola

مرحله فنولوژی Phenological stages	شماره مرحله فنولوژی Number phenological	GDD
جوانه زدن Germination	1	40
سبز شدن Emergence	2	140
یک برگ One leaf	3	190
رزت Rosette	4	520
ساقه رفتن Noding	5	650
گل‌دادن Flowering	6	850
غلاف‌بندی Pod formation	7	1100
رسیدن Maturity	8	1400
کل دوره The whole period	9	1400

در این معادله:  $RD^3 = \text{انحراف نسبی}$  از میزان واقعی عملکرد محصول،  $Y_a = \text{میزان عملکرد واقعی}$  و  $Y_e = \text{مقدار عملکرد محاسبه شده}$  از مدل است. سپس ضریب تصحیح<sup>۴</sup> (رابطه داده‌های مدل و عملکرد واقعی عملکرد محصول) از این روش محاسبه و در فرمول تاثیر داده و در نهایت مدل پیش‌بینی عملکرد معرفی شد. برای محاسبه و برازش معادلات آماری از نرم‌افزارهای Minitab Ver. 13.0 و Ver. 16.0 Excel استفاده شد.

### نتایج و بحث

متوسط، بیشترین و کمترین عملکرد کلزا در شهرستان مشهد به ترتیب ۱۳۲۹/۵، ۲۱۵۹ و ۸۳۲/۵ کیلوگرم در هکتار بود. عملکرد کلزا در فاصله سال‌های زراعی ۷۸-۷۹ الی ۹۲-۹۳ روند رو به افزایش نشان داد (شکل ۱) که دلیل آن بهبود روش‌های به زراعی و مکانیزاسیون می‌باشد. که این نتیجه همسو با آمارهای سازمان خواربار و غذای سازمان ملل متحد است. بر اساس آمار فائو در سال‌های اخیر

با توجه به زیاد بودن متغیرهای مستقل، این متغیرها به روش گام به گام<sup>۱</sup> آنالیز و با توجه به مقادیر ضریب تبیین  $R^2$  و جذر میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (RMSE) بهترین مدل انتخاب شد. مجذور میانگین مربعات خطا مبین میزان خطای مدل بوده که مقدار صفر مناسب‌ترین حالت و از معادله (۸) محاسبه شدند (۳۶).

$$RMSE (\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (8)$$

میانگین مقادیر مشاهده است.  $\bar{O}$  و به ترتیب مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده،  $n$  تعداد داده‌ها  $O_i$  و  $P_i$  در معادله قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که مقدار RMSE کمتر از ۱۰٪ عالی، بین ۱۰ تا ۲۰٪ خوب، بین ۲۰ تا ۳۰٪ متوسط و بالاتر از ۳۰٪ باشد ضعیف برآورد می‌شود (۳۵).

صحت‌سنجی مدل با تخمین محصول برای سال‌های زراعی ۹۱-۱۳۹۰ الی ۹۳-۱۳۹۲ که در مدل‌سازی شرکت نداشت انجام و برای این مقایسه از معادله (۹) استفاده شد (۸).

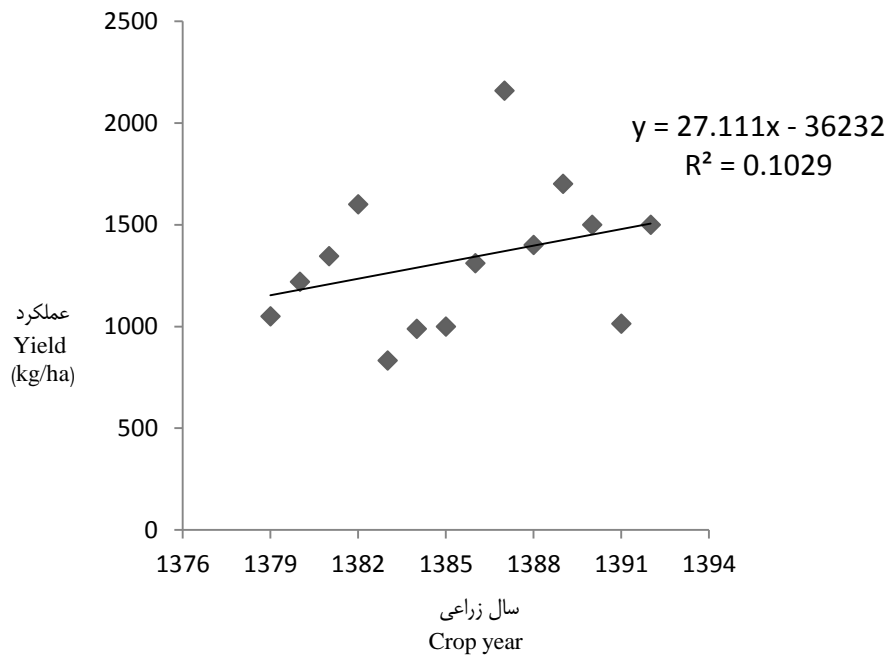
$$RD = \frac{(Y_e - Y_a)}{Y_a} \times 100 \quad (9)$$

3- Relative Deviation  
4- Correction Factor

1- Stepwise  
2- Root Mean Square Error

گزارشات اخیر، کلزا بعد از سویا و پنبه سومین دانه روغنی با بیشترین سطح کشت شده در جهان می‌باشد (۱۲).

رشد سالانه تولید کلزا، از سایر دانه‌های روغنی بیشتر بوده است و تولید جهانی آن از رتبه پنجم به چهارم ارتقاء پیدا کرده است. طبق



شکل ۱- روند تغییرات عملکرد کلزا طی سال زراعی ۷۹-۷۸ الی ۹۳-۹۲  
Figure 1- Trends in the canola crop year 79-78 to 93-92

مختلف استان خوزستان از لحاظ زمان شروع و پایان مراحل جوانه‌زنی و سبز شدن، دوره رویشی، دوره زایشی و دوره رسیدگی گیاه کلزا متفاوت می‌باشند، که این می‌تواند به دلیل وجود شرایط آب و هوایی و اقلیمی متفاوت در اقلیم منطقه مطالعاتی باشد (۹). اگر چه زمان شروع و پایان مراحل فنولوژی کلزا در مشهد و شهرستان‌های خوزستان با استفاده از درجه روز رشد (GDD) مختلف می‌باشد ولی مقدار درجه روز رشد (GDD) در هر مرحله فنولوژی در تمام نقاط مشابه و یکسان می‌باشد.

همه مدل‌های رگرسیونی حاصل به لحاظ معنی‌داری ضرر ایب رگرسیونی، نرمال بودن، هم راستایی و هم خطی مورد آزمون قرار گرفتند. هر مدل در صورت عدم احراز هر یک از فرضیات فوق حذف گردید که در نهایت ۹ مدل باقی ماند و مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۳).

مدل‌های عملکرد کلزا در مراحل رشد نشان می‌دهد که در هر مدل پارامترهای مختلفی از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و اقلیمی به شرح ذیل در عملکرد موثر می‌باشد (جدول ۴).

برای مشهد تاریخ کاشت کلزا اول مهرماه محاسبه شد. با توجه به اقلیم نیمه خشک سرد مشهد شرایط کاشت از نظر دمایی در اوایل مهر مهیا می‌باشد (۳۱). بهترین تاریخ‌های کاشت کلزا با روش واحدهای حرارتی فعال در شهرکرد با احتمال ۷۵ درصد تا روز ۲۱ شهریور، در شهرستان بروجن تا روز ۱۶ شهریور در شهرستان لردگان تا روز ۷ مهر و برای شهرستان کوه‌رنگ تا روز ۱۴ شهریور بدست آمد (۲۱). دلیل دیرتر بودن تاریخ کاشت کلزا در مشهد نسبت به شهرستان‌های مذکور به جز لردگان، بالا بودن میانگین دمای شهریور مشهد، تفاوت اقلیم و تاخیر در آماده بودن شرایط کاشت از نظر دمایی بود.

زمان وقوع مراحل فنولوژی کلزا در شهرستان مشهد بر اساس درجه روز رشد (GDD) بالاتر از ۵ درجه سانتی‌گراد از مرحله جوانه زدن در ۳ مهر لغایت مرحله رسیدن در ۱۴ خرداد محاسبه گردید (جدول ۲). زمان وقوع مراحل فنولوژی تقریباً هم‌زمان با غلات می‌باشد بنابراین با توجه به کمبود آب در منطقه مورد مطالعه از کلزا می‌توان در تناوب کشت استفاده کرد (۳۱). با استفاده از درجه رشد تجمعی تاریخ شروع و پایان مراحل مختلف رشدی گیاه کلزا در استان خوزستان بدست آمد که از نتایج این تحقیق مشخص شد که نقاط

جدول ۲- زمان وقوع مراحل فنولوژی کلزا بر اساس درجه روز رشد (GDD) در شهرستان مشهد

Table 2- The timing of phenological stages of canola based on growing degree days (GDD) in the city of Mashhad

شماره مرحله فنولوژی Number phenological	مرحله فنولوژی Phenological stages	(GDD)	تاریخ وقوع
1	جوانه زدن Germination	40	۳ مهر 3 Mehr
2	سبز شدن Emergence	140	۱۱ مهر 11 Mehr
3	یک برگ One leaf	190	۱۵ مهر 15 Mehr
4	رزت Rosette	520	۱۵ اسفند 15 Esfand
5	ساقه رفتن Noding	650	۱۵ فروردین 15 Farvardin
6	گل دادن Flowering	850	۱ اردیبهشت 1 Ordibehesht
7	غلاف‌بندی Pod formation	1100	۲۵ اردیبهشت 25 Ordibehesht
8	رسیدن Maturity	1400	۱۴ خرداد 14 khordad

جدول ۳- فهرست مدل‌های باقیمانده پس از حذف بوسیله آزمون‌های مختلف

Table 3- Remaining after removal by testing different models

مرحله فنولوژی Phenologic	مدل Model	Tmax	Tmin	Tabsmin	absmaxT	Rday	R	Mpet	Tpet	FF	FFabsmax	SH	RH	DT	DDG	HTU	PTU	VPD
3	1							*			*							*
3	2								*				*					
4	3		*			*												*
4	4	*																
6	5			*						*		*						
8	6						*											
9	7	*					*											
9	8													*				
9	9					*		*										

میانگین دمای حداکثر روزانه (Tmax)، میانگین دمای حداقل روزانه (Tmin)، مطلق کمترین دما (Tabsmin)، مطلق بیشترین دما (Tabsmax)، تعداد روزهای بارش بیشتر از ۱ میلی‌متر (Rday)، مجموع بارش (R)، میانگین تبخیر و تعرق (Mpet)، مجموع تبخیر و تعرق (Tpet)، میانگین سرعت روزانه باد (FF)، حداکثر مطلق سرعت باد (FFabsmax)، مجموع ساعات آفتابی (SH)، میانگین درصد رطوبت نسبی (RH)، مجموع اختلاف دمای حداکثر و حداقل روزانه (TD)، مجموع درجه روزهای رشد (GDD)، مجموع واحدهای حرارتی آفتابی (HTU)، مجموع واحدهای حرارتی نوری (PTU) و مجموع کمبود فشار بخار آب (VPD)

مدل ۱ عملکرد کلزا را در مرحله یک برگ بر اساس میانگین تبخیر و تعرق (Mpet)، حداکثر مطلق سرعت باد (FFabsmax) و مجموع کمبود فشار بخار آب (VPD) با استفاده از رگرسیون گام به گام پیش رونده پیش‌بینی کرد. بر اساس این مدل رابطه عملکرد کلزا با هر دو عامل رابطه منفی داشت. مدل ۳ عملکرد کلزا را در مرحله رزت بر اساس

مدل ۱ عملکرد کلزا را در مرحله یک برگ بر اساس میانگین تبخیر و تعرق (Mpet)، حداکثر مطلق سرعت باد (FFabsmax) و مجموع کمبود فشار بخار آب (VPD) با استفاده از رگرسیون گام به گام پیش رونده پیش‌بینی کرد. بر اساس این مدل رابطه عملکرد کلزا با میانگین تبخیر و تعرق (Mpet) و حداکثر مطلق سرعت باد

افزایش دما رابطه مثبت بر سرعت ظهور گیاهچه سه رقم کلزا داشت که دلیل آن تاثیر مثبت افزایش دما بر سرعت رشد در این مرحله می باشد (۱۸). همچنین در شبیه سازی سطح برگ و عملکرد کلزا تحت شرایط تنش آب در اقلیم نیمه خشک داده های آب و هوای تشعشع خورشیدی، حداقل و حداکثر دما و بارندگی در شبیه سازی سطح برگ و عملکرد کلزا در طول فصل رشد تاثیر مختلفی بر عملکرد داشت (۲۶).

میانگین دمای حداقل روزانه (Tmin) با رابطه منفی، تعداد روزهای بارش بیشتر از ۱ میلی متر (Rday) و مجموع کمبود فشار بخار آب (VPD) با رابطه مثبت پیش بینی کرد. مدل ۴ عملکرد کلزا را در مرحله رزت بر اساس میانگین دمای حداکثر روزانه (Tmax) پیش بینی کرد. بر اساس این مدل رابطه عملکرد کلزا با میانگین دمای حداکثر روزانه (Tmax) رابطه منفی داشت زیرا افزایش دما باعث کوتاه بودن مرحله رزت می شود ولی در مدل پیش بینی رگرسیون غیرخطی،

جدول ۴- ضرایب رگرسیون، عرض از مبدا و ضرایب متغیرهای مدلها  
Table 4- Regression coefficients, intercept and the coefficients of the variables of the model

مدل Model	R <sup>2</sup> adj	R <sup>2</sup>	β <sub>0</sub>	T <sub>max</sub>	T <sub>min</sub>	T <sub>absmin</sub>	R <sub>day</sub>	R	M <sub>pet</sub>	T <sub>pet</sub>	FF	FF <sub>absmax</sub>	SH	RH	DT	VPD
1	0.861	0.902	2585						-388.3			-201.1				33.2
2	0.744	0.795	4369							-93.3				-37.8		
3	0.798	0.866	-1414		-280.1		25.0									4.0
4	0.334	0.408	3773	-184.9												
5	0.859	0.902	4295			84.2					-344.5		-10.1			
6	0.328	0.395	1091					31.2								
7	0.835	0.868	-2406	153.7				4.8								
8	0.417	0.476	-2880												1.4	
9	0.717	0.773	4831				-38.2		-1020							

دوره رشد با رابط مثبت برای عملکرد پیش بینی کرد. مدل ۹ عملکرد کلزا را بر اساس تعداد روزهای بارش بیشتر از ۱ میلی متر (Rday) و میانگین تبخیر و تعرق (Mpet) کل دوره رشد با رابطه منفی پیش بینی کرد.

ابتدا مدل های منتخب پیش بینی کننده عملکرد کلزا با توجه به مقادیر بالاتر ضریب تبیین R<sup>2</sup> تعیین و سپس با F و RMSE ارزیابی شد (جدول ۵). به نظر می رسد که مدل های ۱، ۵، ۷ و ۳ به ترتیب با داشتن ضرایب تبیین ۰/۹۰۲، ۰/۸۶۸، ۰/۸۶۶ و ۰/۸۶۶ پیش بینی کننده بهتر عملکرد کلزا باشند. بر اساس نتیجه به دست آمده، عملکرد کلزا بر اساس مدل ۱ عملکرد کلزا را در مرحله یک برگگی با میانگین تبخیر و تعرق (Mpet)، حداکثر مطلق سرعت باد (FFabsmax) و با مجموع کمبود فشار بخار آب (VPD)، مدل ۵ عملکرد محصول کلزا را در مرحله گل دادن بر اساس مطلق کمترین دما (T<sub>absmin</sub>)، میانگین سرعت روزانه باد (FF) و مجموع ساعات آفتابی (SH)، مدل ۳ عملکرد محصول کلزا را در مرحله رزت بر اساس میانگین دمای حداقل روزانه (T<sub>min</sub>)، تعداد روزهای بارش بیشتر از ۱ میلی متر (R<sub>day</sub>) و مجموع کمبود فشار بخار آب (VPD) و مدل ۷ عملکرد محصول کلزا را بر اساس میانگین دمای حداکثر روزانه (T<sub>max</sub>) و مجموع بارش (R) کل دوره رشد پیش بینی کرد (جدول ۵).

در کرمانشاه مجموع بارندگی طی دوره ساقه دهی و اسلام آباد سرعت باد در دوره رسیدگی بیشترین تاثیر را بر عملکرد کلزا داشت و در شهرستان های روانسر رطوبت نسبی در دوره جوانه زنی، سر پل زهاب رطوبت نسبی در دوره گل دهی و در کنگاور سرعت باد در دوره روزت نیز موثرترین عامل بر عملکرد کلزا بود (۲۷). رطوبت نسبی در دوره گل دهی در سر پل زهاب بعلت فراهمی رطوبت و افزایش گلدی در اقلیم آنجا موثر بر عملکرد بود. مدل ۵ در مرحله گل دادن عملکرد کلزا را بر اساس مطلق کمترین دما (T<sub>absmin</sub>) با رابطه مثبت، میانگین سرعت روزانه باد (FF) و مجموع ساعات آفتابی (SH) با رابطه منفی پیش بینی کرد و دلیل آن این است که پایین بودن مطلق کمترین دما، مجموع ساعات آفتابی و میانگین سرعت روزانه باد کمتر طول مرحله گل دادن را افزایش داده که نهایتا منجر به عملکرد محصول بیشتر می شود.

مدل ۶ عملکرد کلزا را در مرحله رسیدن بر اساس مجموع بارش (R) پیش بینی کرد. بر اساس این مدل رابطه عملکرد کلزا با مجموع بارش (R) رابطه مثبت دارد. مدل ۷ عملکرد کلزا را بر اساس میانگین دمای حداکثر روزانه (T<sub>max</sub>) و مجموع بارش (R) کل دوره رشد با رابط مثبت برای هر دو عامل پیش بینی کرد. مدل ۸ عملکرد کلزا را بر اساس مجموع اختلاف دمای حداکثر و حداقل روزانه (TD) کل

جدول ۵- مدل‌های منتخب پیش‌بینی کننده عملکرد کلزا  
Table 5- Selected models predict canola yield

مرحله فنولوژی Phenological stages	مدل	$\beta_0$	معادله Equation	$R^2$	%RMSE	F	سطح معنی داری Significanc
یک برگ One leaf	1	2585	$y = \beta_0 - (\beta_{mpet}) - (\beta_{ffabmax}) + (\beta_{VPD})$	0.902	9.4	21.6	% 5
رزت Rosette	3	-1414	$y = \beta_0 - (\beta_{Tmin}) + (\beta_{Rday}) + (\beta_{VPD})$	0.866	20.5	12.9	% 5
گل‌دادن Flowering	5	4295	$y = \beta_0 + (\beta_{Tmin}) - (\beta_{ff}) - (\beta_{sh})$	0.902	15.1	21.6	% 5
کل دوره رشد The whole period	7	-2406	$(\beta_R + (\beta_{Tmaxin})) + y = \beta_0$	0.868	4.7	26.3	% 5

صحت‌سنجی مدل ۷ با تخمین محصول برای سال‌های زراعی ۱۳۹۰-۹۱ الی ۱۳۹۲-۹۳ انجام شد که متوسط عملکرد پیش‌بینی شده به ترتیب ۱۴۷۰، ۱۶۳۹ و ۱۲۲۶ با میانگین ۱۴۴۵ کیلوگرم در هکتار بود. درصد خطا (انحراف نسبی از میزان واقعی عملکرد محصول) نیز در سال‌های فوق به ترتیب ۴۵/۱، ۹/۳ و ۷/۱- با میانگین ضریب ۱۵/۷ محاسبه شد. قدرت پیش‌بینی مدل برای تمام سال‌های فوق عالی بود (جدول ۶).

برای آزمون قدرت پیش‌بینی این مدل‌ها، از شاخص RMSE استفاده شد که هر چقدر کمتر باشد قدرت پیش‌بینی مدل بهتر می‌باشد. بر این اساس قدرت پیش‌بینی مدل‌های ۱ و ۷ عالی، مدل ۵ خوب و مدل ۳ متوسط محاسبه شد (۳۵).

اگر چه قدرت پیش‌بینی مدل‌های ۱ و ۷ عالی بود ولی مدل ۷ به علت RMSE کمتر و نیز تعداد پارامتر کمتر موثر در پیش‌بینی عملکرد محصول مناسب‌ترین مدل در طی دوره رشد بود (معادله ۱۰).

$$y = \beta_0 + (\beta_{Tmaxin}) + (\beta_R)(10)$$

جدول ۶- ارزیابی مقادیر تخمین زده شده، واقعی و میزان خطای مدل عملکرد کلزا برای سال‌های ۱۳۹۰-۹۳

Table 6- Evaluation of estimated and actual amounts for the years 1390-93 and the error rate performance of canola yield

سال زراعی Crop year	عملکرد واقعی Actual yield (Kg/h)	عملکرد پیش‌بینی شده Predictive yield (Kg/h)	درصد خطا Error percent	%RMSE
1390-91	1014	1470	45.1	9.4
1391-92	1500	1639	9.3	2.6
1392-93	1320	1226	-7.1	2.3
متوسط Average	1278	1445	15.7	4

معنی‌دار است.

کمالی و بازگیر (۲۰) با ۳ پارامتر اقلیم‌شناسی و شاخص هواشناسی کشاورزی به پیش‌بینی عملکرد گندم در بخش‌هایی از غرب کشور اقدام کردند که برای شهرستان‌های قروه و سنج‌ضریب  $R^2$  ۶۸ به دست آوردند. در تحقیق مدل‌سازی میزان عملکرد محصول گندم در توجه به معیارهای اقلیم‌شناسی کشاورزی در استان آذربایجان غربی نشان می‌دهد که معیارهای مجموع بارش

یعنی کاهش ۱۵/۷ درصد متوسط عملکرد واقعی برای تصحیح خطا مدل پیش‌بینی عملکرد کلزا (مدل ۱) حاصل شد و در نهایت مدل نهایی پیش‌بینی عملکرد کلزا معرفی گردید (معادله ۱۱).

$$y = [\beta_0 + (\beta_{Tmaxin}) + (\beta_R)] - ((Y_{Avg} * \%15.7)(11))$$

متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی عملکرد کلزا در شهرستان مشهد در کل دوره رشد بر اساس میانگین دمای حداکثر روزانه ( $T_{max}$ ) و مجموع بارش (R) بود و ۸۶/۸ درصد تغییرات عملکرد محصول در فصل رشد را نشان می‌دهند. این معادله در سطح ۰/۰۵



توسط مدل گیاهی CRPSM حاکی از دقت بالای مدل و میزان  $R^2$  با ضریب ۹۸ در تخمین میزان محصول و آب خاک بود (۳۸).  
به طور کلی با وجود آن که امکان پیش‌بینی کلزا بر اساس شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در شهرستان مشهد با دقت قابل قبولی از طریق مدل‌های رگرسیونی وجود دارد. این امر با استفاده از داده‌های خاکشناسی و بکارگیری روش‌های دقیق‌تر کامل‌تر می‌شود.

### سپاسگزاری

از اداره کل هواشناسی خراسان رضوی که همکاری لازم جهت اجرای طرح را داشتند تقدیر و تشکر می‌گردد.

سالیانه و میانگین تعداد روزهای یخبندان سالیانه سهم بیشتری در تولید مدل‌سازی میزان عملکرد محصول گندم داشت (۱۴). فرجی (۱۳) واکنش عملکرد دانه به افزایش خارج قسمت فتوترمال با توجه به دیررس‌تر بودن ژنوتیپ‌های زمستانه کلزا و خردل زراعی نسبت به دو ژنوتیپ کلزای تیپ بهاره و شلغم روغنی و مصادف شدن مراحل زایشی آنها با دماهای بالاتر بیشتر بود. برتری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های بهاره کلزا نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر تأیید سازگاری این ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی منطقه بود. بازگیر و همکاران (۶) با ۳ پارامتر اقلیم شناسی و ۳ شاخص هواشناسی کشاورزی برای پیش‌بینی عملکرد گندم در شهرستان همدان ضریب  $R^2$ ، ۸۳ برای مرحله ۴ فنولوژی بدست آوردند. در شبیه‌سازی آب خاک و عملکرد گیاه کلزا

### منابع

- 1- Alizadeh A. 1995. Applied Hydrology Perinciples. Astan Qodse Razavi Publications.
- 2- Allen R. G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 2000. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), p. 215.
- 3- Arvaneh H., and Abbasi F. 2014. Validation and calibration of the model Aqua Crop for Brassica napus in field conditions. Journal of Iran Water Research. 14: 9-17. (in Persian with English abstract).
- 4- Azizi Gh., and Yarahmadi D. 2003. Evaluate the relationship between climatic parameters and yield of wheat using a regression model ( case study Silakhoor plain). Geographical Research. 29: 23-44. (in Persian with English abstract)
- 5- Azizi M., and Soltani A. 2008. Physiology, agronomy, breeding biology of rape. SID Mashhad. (Translation)
- 6- Bazgeer S., Kamali GH., and Mortazavi A. 2007. Wheat Yield Prediction through Agrometeorological Indices for Hamedan, Iran, Biaban Journal, 12: 33-38. (in Persian with English abstract)
- 7- Bazgeer S. 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.
- 8- Bazgeer S., Kamali GH. A., Sedaghatkerdar A., and Moradi A. 2008. Pre-harvest wheat yield prediction using agrometeorological indices for different regions of Kordestan Province, Iran. Research Journal of Environmental Sciences, 2: 275-280. (in Persian with English abstract)
- 9- Cheraghi R. 2014. The importance of cumulative growing degree days to determine the different phenological stages of canola in Khuzestan plain. Available at [http://www.civilica.com/Paper-HBHEAITH01-HBHEAITH01\\_119.html](http://www.civilica.com/Paper-HBHEAITH01-HBHEAITH01_119.html) (in Persian with English abstract)
- 10- Fanaei H. M., Akbari Moghaddam H., Keikha Gh. A., Narouie Rad M.R., and Modarese Najafaadi. 2007. Effect of harvest time on the yield of Brassica napus in Sistan. 22: 55-74. (in Persian with English abstract)
- 11- FAO. 2006. Available at <http://faostat.fao.org/site,336,default.aspx>. (10 September 2006)
- 12- FAO. 2010. Food outlook, Global Market Analysis. Available at <http://www.fao.Food outlook.com>. 2 May 2011.
- 13- Faraji A. 2010. Seed Yield in Three Species of Brassica (*Brassica napus* L., *B. rapa* L., *B. juncea* L.): Effect of Rainfall and Photothermal Quotient in Rainfed Conditions of Gonbad. Seed and Seedling Journal of Agriculture. 2-26(4): 109-121. (in Persian with English abstract)
- 14- Farajzadeh M. 2002. Modeling of wheat yield according to criteria of agricultural climatology in West Azerbaijan province. MA thesis agriculture. Tehran University. (in Persian with English abstract)
- 15- Gilmore E.C., and Rogers J.S. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn, Agronomy Journal, 50, pp. 611-615.
- 16- Hodges T., and Kanemasu E. T. 1977. Modeling daily dry matter production of winter wheat, Agron, 69, pp. 974-78.
- 17- Honar T., Sarverestani A., Kamgarhaghigly A. A., and Shams Sh. 2012. CropSyst calibration model to predict performance and simulation of plant growth. Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology). 25(3): 593-605. (in Persian with English abstract)
- 18- Jafari N., Esfahani M., and Sabouri A. 2011. Evaluation of nonlinear regression models to describe the rate of appearance of the three varieties of canola to temperature. Iranian Journal of Field Crop Science. 42(4): 857- 868. (in Persian with English abstract)
- 19- Kafy M. 2009. Climate and crop yield. SID Mashhad. (Translation).

- 20- Kamali G., and Bazghir S. 2008. Prediction of meteorological parameters of wheat farming in some areas of the West. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 2: 113-121 (in Persian with English abstract)
- 21- Khakian D. Gh., Kamali Gh., Hajjam S., and Abrahimi A. 2011. Canola planting date with the degree of development to cope with the cold winter days in the province Chahar Mahal and Bakhtiari. (Tehran University, Department of Irrigation Engineering. (in Persian with English abstract). Available at [http://www.civilica.com/Paper-NCAGM01-NCAGM01\\_114.html](http://www.civilica.com/Paper-NCAGM01-NCAGM01_114.html).
- 22- Kramer P.J. 1997. *Plant and Soil Water Relationship: A Modern Synthesis*, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, p. 296-345.
- 23- Labus M. P., Nielsen G., Alawrence R.L., Engeld R., and 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.
- 24- Marletto V., Ventura F., Fontana G., and Tomei F. 2007. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and numerical model. *Agricultural and forest meteorology*. 146: 85-99.
- 25- Meena R. P., and 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.
- 26- Mirhashemi M., and Banayan Aval M. 2012. Simulation of leaf area and yield of oilseed rape under conditions of water stress in the semi-arid climate. *22-2: 392-403*. (in Persian with English abstract)
- 27- Omidvar K., and Dstmorady S. 2013. Relationship with the elements of rape in Kermanshah province. (Industrial and Technology Graduate University for Advanced. (in Persian with English abstract). Available at [http://www.civilica.com/Paper-COLIMACONF01-COLIMACONF01\\_031.html](http://www.civilica.com/Paper-COLIMACONF01-COLIMACONF01_031.html)
- 28- Park S. J., and Hwang C. S. 2005. Comparison of adaptive techniques to predict crop yield response under varying soil and land management condition. *Agricultural systems*. 85: 59-81.
- 29- Qian B., Jong R.D., Warren R., Chipanshi A., and Hill H. 2009. Statistical Spring Wheat Yield Forecasting for the Canadian Prairie Provinces, *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1022-1031.
- 30- Rasooli S. j., Rasool A. S., and Habibi Nowkhandan M. 2012. Canola yield prediction based on the desired temperature and phenology limiting in Khorasan provinces. *Second National Conference on Advances in oil production plant origin*. Islamic Azad University Bojnourd. (in Persian with English abstract)
- 31- Rasooli S. J., and Ghaemi A. 2010. Canola cultivation temperature on climate zoning requirements with the use of GIS in Khorasan. *Electronic Journal of Crop Production*. 3(1): 121-138. (in Persian with English abstract)
- 32- Raymer P.L. 2002. Canola: An emerging oilseed crop. p. 122-126. In: J. Janick and A. Whipkey (eds.), *ASHSPress*. Alexandria, VA.
- 33- Razavi Agriculture Organization of Khorasan. 2013. In a statistically. *Agriculture Organization of Khorasan Razavi*.
- 34- Reddy T.Y., and Reddi G.H.S. 2003. *Principles of Agronomy*. Kalyani Publishers, Ludhiana, pp.48-77.
- 35- Rinaldy M., Losavio N., and Flagella Z. 2003. Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. *Agricultural systems*. 78: 17-30
- 36- Sedaghatkerdar A., and Fatahi A. 2008. Early warning indicators of drought. *Geography and Development*, University of Sistan and Baluchestan. 11: 59-76 (in Persian with English abstract)
- 37- Shabani A., Kamgarhqqy A., Sepaskhah A. R., Imam Y., and Honar T. 2009. Effects of water stress on the phenological characteristics of the plant. *Journal of Soil and Water Sciences*. 41: 31- 42. (in Persian with English abstract)
- 38- Shariati Sh., and Ghazi Shahni zade. 2009. Canola. *Publications of the Ministry of Agriculture*, 79/16.
- 39- Zavare M., and Imam Y. 2000. Identification Guide to life in Canola. *Journal of Crop Science*. 2 (1): 1-14. (in Persian with English abstract)
- 40- Zomorodian A., Kavooosi Z., and Momenzadeh L. 2010. Determination of EMC isotherms and appropriate Mathematical models for canola. *Food and Bioproducts Processing*. In Press.

## Determining Prediction Model of the Canola (*Brassica napus L.*) Yields Based on Agrometeorological and Climatic Parameters in Mashhad Region of Iran

S. J. Rasouli<sup>1</sup>- M. Nassiri Mahalati<sup>\*2</sup>- M. T. Naseri pooryazdi<sup>3</sup>- R. Ghorbani<sup>4</sup>

Received: 22-04-2015

Accepted: 20-01-2016

**Introduction:** Environmental factors which affect crop yield are one of the most important factors in increasing yield. Accurate prediction of crop yield for economic management and farming systems is of particular importance.

**Materials and Methods:** This research was done in order to statistically model and predict the canola growth and yield in Mashhad region based on 5 agricultural meteorology indices and 12 climatic parameters during 1999 – 2014 period. The date of planting determined with regard to the optimum temperature at planting with probability of 75% based on Weibull formula. Beginning and the end of the phenological stages of canola (germination, emergence, Single leaf, rosette, stemming, flower, podding and ripening) were calculated on the basis of growing degree days (GDD) for each set. Calculation and statistical equations was done using Minitab Ver. 13.0, 16. Ver SPSS and Excel softwares. Correlation analysis, statistical models and multivariate models were used to determine the relationship between the annual yield of canola and independent variables, including climatic parameters and agricultural meteorology indices during the growing season between 1999- 2000 and 2009-2010 for each phenological stage (8 stages). The best model was selected with respect to the values of the coefficient of determination (R<sup>2</sup>) and root mean square error (RMSE). If the predictive power is estimated of the model RMSE values of less than 10% excellent, between 10 and 20% good, 20 to 30% average, and higher than 30% weak. The model tested by estimating the yield of canola for the 2010 to 2014 years and the correction factor was calculated and the effect.

**Results and Discussion:** Canola planting date was calculated for 23 September in Mashhad region. The phenology of canola was calculated based on growing degree days (GDD) above 5 ° C. Germination calculated for 25 September, emergence in 3 October, appearance single leaf in 7 October, rosette in 6 March, stemming in 4 April, flowering in 21 April, podding in 15 May and ripening in 4 Jun. The time of the phenological stages of cereals is virtually the same time. Therefore, due to the water scarcity in the studied region -canola can be used in crop rotation. Average, the highest and the lowest yield of canola were 1329.5, 2159 and 835.5 kg per hectare, respectively. Canola crop yield showed a rising trend during 1999 – 2014 period due to improving farming techniques and mechanization. All models are significant regression coefficients were tested normal, alignment and line. Each model in the absence of proof of any of these hypotheses was removed and the 9 remaining models were compared. Model 1 predicted canola crop yield in the single leaf stage with an average yield of canola evapotranspiration ((M<sub>pet</sub>, absolute maximum wind speed (FF<sub>absmax</sub>) and the sum of the vapor pressure deficit (VPD). Model 5 predicted canola yield in the flowering stage based on the absolute lowest temperature (T<sub>absmin</sub>), average daily wind speed (FF) and total sunshine hours (SH). Model 3 predicted canola yield in the rosette stage based on the average of daily minimum temperature (T<sub>min</sub>), the number of days with precipitation greater than 1 mm R (day) and total pressure loss water vapor (VPD). Model 7 predicted canola yield during the whole growing season based on the average of daily maximum temperature (T<sub>max</sub>) and total precipitation (R). After R<sup>2</sup> models with higher coefficient of 1, 5, 7 and 3, respectively, with coefficients of determination 0.902, 0.902, 0.868 and 0.866 respectively. Then F and RMSE were evaluated forecasting models 1 and 7 excellent, 5 good model and version 3 was average. Model 7 due to lower RMSE and the number of parameters during growing season was the most appropriate model. Model validated by means of recorded crop yields during 2011 and 2014 years. The simulated yields were 1470, 1639 and 1226 with average of 1445 kg per hectare. Error percent was 45.1, 9.3 and -7.1 for the following years with an average of 15.7. RMSE was 9.4, 2.6

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student Agroecology, Professor, Assistant Professor and Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

(\*- Corresponding Author Email: mnassiri@um.ac.ir)

and 2.3 with average of 7.4. The predictive value of the model was excellent for all these years.

**Conclusion:** Model predicted the yield of canola based on the average maximum temperature (Tmax) and total precipitation (R) with error correction to reduce 15.7. These variables described 86.8 percent yield in the growing season and were significant at 5 percent. Canola planting date was calculated for 23 September. Time phenology was germinated 25 September until ripening 4 Jun.

**Keywords:** Agriculture climate indices, Canola yields, Mashhad, Multivariate models, Modelling