

کاربرد رهیافت یادگیری ماشین در تخمین عملکرد نخود بر اساس نمایه‌های اقلیمی-کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)

سید عرفان مؤمن پور^۱، سعید بازگیر^{۲*}، معصومه مقبل^۳، حسین محمدی^۴، سید موسی حسینی^۵، عطاء اله عبدالهی کاکرودی^۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵

چکیده

هدف این پژوهش تخمین عملکرد نخود بهاره با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین از نوع مدل‌های رگرسیونی خطی در شهرستان کرمانشاه است. فراسنج‌های هواشناسی، نمایه‌های هواشناسی کشاورزی و سنجش از دور در بازه زمانی ۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷-۱۳۹۶ به عنوان متغیرهای پیشگو و داده‌های عملکرد سازمان جهاد کشاورزی به عنوان متغیر پاسخ در چهار مرحله نمو استفاده گردید. ۲۴ سال از داده‌ها برای آموزش و ۳ سال برای اعتبار سنجی مدل‌ها به کار گرفته شد. نتایج بیانگر آن بود که از میان انواع مدل‌های خطی، مدل لاسو با ضریب تعیین ۶۷ درصد و خطای معیار ۵۹/۸ کیلوگرم در هکتار به عنوان مناسب‌ترین مدل برای تخمین عملکرد نخود در مرحله‌ی سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی انتخاب شد. انحراف نسبی این مدل به میزان ۰/۴، ۰/۳- و ۳/۵ درصد به ترتیب برای سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۷۷، ۱۳۸۵-۱۳۸۴ و ۱۳۹۰-۱۳۸۹، بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، عملکرد نخود، مدل‌های خطی، کرمانشاه

مقدمه

و مدیران کشور نیز مربوط می‌شود که از میزان تولیدات داخلی محصول خاصی اطلاع نداشته‌اند و یا اینکه تخمین عملکرد از آینده آن محصول قبل از زمان برداشت، صحیح نبوده است (Vaseghi and Esmaili, 2008). همچنین، این مسئله برای کشاورزان کشور که میزان درآمدشان به فروش محصولات کشاورزی وابسته است می‌تواند پیامدهای ناگوار و خطرناکی از بعد روانی و اقتصادی در برداشته باشد. برای نمونه، می‌توان به واردات بی‌رویه شکر در سال ۱۳۸۵ اشاره کرد که هنوز هم بعد از گذشت چندین سال آثار آن بر صنعت قند و شکر نمایان است (Nazafpour, 2013). مسئله دیگر این است که در سه دهه گذشته، تنها یک چهارم افزایش تولیدات غذایی در جهان مربوط به افزایش سطح

تخمین عملکرد محصولات کشاورزی قبل از برداشت محصول به دلیل امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین گام‌ها در امر برنامه‌ریزی، واردات و صادرات می‌باشد. این امر می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران اجرایی کشور کمک شایانی نماید (Bazgeer, 2015). ضریب خودکفایی یکی از مولفه‌های اساسی بحث امنیت غذایی است و عبارت است از تأمین مواد غذایی از بخش داخلی با حداقل وابستگی به واردات به کشور (Samiei nasab et al., 2016). با در نظر داشتن این موضوع، در سال‌های زراعی مختلف دیده می‌شود که فاکتور خودکفایی با فراز و نشیب‌های بسیاری همراه بوده است که دلیل آن علاوه بر رخداد مخاطراتی طبیعی مانند خشکسالی، تگرگ و غیره، به سوءمدیریت‌های سیاست‌گذاران

^۱ استادیار آب و هواشناسی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
^۲ استادیار آب و هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
^۳ دانشیار منابع آب، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
^۴ دانشیار سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

^۱ دانشجوی دوره دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران
^۲ دانشیار هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
(*نویسنده مسئول: sbazgeer@ut.ac.ir)

نحوه ارجاع مقاله:

مؤمن پور، س.ع.، بازگیر، س.، مقبل، م.، محمدی، ح.، حسینی، س.م.، عبدالهی کاکرودی، ع. ۱۴۰۱. کاربرد رهیافت یادگیری ماشین در تخمین عملکرد نخود بر اساس نمایه‌های اقلیمی-کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۳۷-۵۱. DOI: 10.22125/agmj.2022.330478.1131

Momenpour, S. E., Bazgeer, S., Moghbel, M., Mohammadi, H., Hossaini, S. M., Abdollahi Kakroudi, A. 2023. Application of machine learning approach for Chickpea yield estimation based on Agroclimatological Indices (Case Study: Kermanshah region). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 37-51. DOI: 10.22125/agmj.2022.330478.1131

به منظور کاشت، به کشاورزان توصیه می‌کنند (Khoorani, 2010). علی‌رغم اینکه در داخل کشور تحقیقات فراوانی در مورد تخمین عملکرد محصولات کشاورزی مختلف صورت گرفته است و ارزیابی نتایج تخمین آن‌ها در مقایسه با مقدار واقعی، در حد قابل قبولی بوده، با این وجود بیشتر این مطالعات با محدودیت‌هایی مواجه بوده‌اند که می‌توان آن‌ها را در سه بخش عمده طبقه‌بندی نمود. گروه اول شامل مطالعاتی هستند که مقیاس‌شان بسیار کوچک بوده به طوری که در سطح یک یا چندین مزرعه انجام گرفته است و نیازمند داده‌های زیاد، وقت و هزینه فراوانی می‌باشند. به‌عنوان مثال می‌توان به مطالعاتی که (Honar et al., 2011; Saadati et al., 2012; Ebrahemi et al., 2015; Zareie et al., 2017 and Khalvandi et al., 2017) انجام داده‌اند اشاره کرد. گروه دوم مطالعاتی هستند که تنها با استفاده از شاخص‌های طیفی (سنجش از دور) آن‌ها در مقیاس چندین مزرعه، عملکرد محصولات زراعی را تخمین زده‌اند که از این قبیل می‌توان به تحقیقات (Sanaeinejad et al., 2013; Sadoughi et al., 2016; Kamali et al., 2018 and Yaghouti et al., 2018, Ghorbani et al., 2021) اشاره کرد و در نهایت، گروه سوم مطالعاتی هستند که اگرچه مقیاس منطقه مورد مطالعاتی آن‌ها وسیع بوده اما تنها به فراسنج‌هایی از یک جنس (مانند هواشناسی و هواشناسی کشاورزی) توجه کرده‌اند، که به عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های (Farajzadeh et al., 2012; Akbarpour et al., 2013; Bazgeer, 2015 and Khadempour et al., 2020, Sadr and Eslami, 2021, Saei, 2021) اشاره نمود. در زمینه تحقیقات خارجی نیز، می‌توان به کارهای پژوهشی (Balla et al., 1975; Chmielewski and Potts, 1996; Anwar et al., 2001; Dalezios, Loukas and Bampzelis, 2002) اشاره کرد که با ارتباط میان چندین شاخص هواشناسی، هواشناسی کشاورزی و هیدرولوژی با عملکرد، میزان عملکرد محصول گندم را مشخص کرده‌اند. همچنین (Sharma et al., 2004) با استفاده از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی عملکرد گیاه گندم را در منطقه هیمالچال پرادش^۲ پیش‌بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که دو نمایه درجه روز-رشد و اختلاف جمعی دماهای بیشینه و کمینه با عملکرد محصول همبستگی منفی دارند. (Khazaei et al., 2008) عملکرد

زیر کشت بوده و بقیه از طریق بهبود تولید و عملکرد محصولات از لحاظ کمی و کیفی در واحد سطح بوده است (IFPIR^۱, 1994). همچنین، باتوجه به تغییرات شدید در الگوهای اقلیمی مانند بارش‌های فصلی و بروز فراوان تر سال‌های خشک، روش‌های مدیریت زراعی و الگوی کشت نیز باید تغییر کنند و سبد غذایی هر کشوری با محصولاتی پر شوند که با شرایط اقلیمی آن کشور سازگار باشند. یکی از این محصولات نخود است که می‌تواند جایگزین مناسب برنج، نان، گوشت و لبنیات برای تأمین پروتئین، الیاف گیاهی، املاح معدنی مانند کلسیم، منیزیم و کربوهیدرات گردد و درعین حال تولید آن به آب خیلی کمتری نیاز دارد. متأسفانه در حال حاضر این موضوع در ایران رعایت نشده و در سفره مردم ایران محصولات غذایی مانند برنج مصرف می‌شود که نیاز آبی بالا و ارزش غذایی کمتری دارد (Haghparsat, 2018). نخود قانع‌ترین کشت کشور از نظر نیاز آبی است. نخود بهاره با ۵۰ تا ۶۰ میلی‌متر بارندگی، ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد خواهد داشت و به نظر می‌رسد در شرایط کنونی و با توجه به بحران کم‌آبی پرداختن به کشت آن سودمند باشد (Yousefi et al., 2016). نخود نیاز آبی خود را از ذخایر رطوبتی خاک‌های عمیق که طی فصل بارندگی قبلی رطوبت در آن‌ها ذخیره شده است، تأمین می‌نماید و قادر است آب را از عمق بیش از ۱۵۰ سانتی‌متری خاک جذب کند (Moradi heidari, 2018). با این وجود گیاه نخود قسمت عمده‌ی آب مورد نیاز خود را از سطح خاک تا عمق ۶۵ سانتی‌متری نیم‌رخ خاک که محل اصلی تمرکز ریشه‌های فعال است، تأمین می‌کند. تحمل به خشکی صفت خوبی برای محصولی مانند نخود است که بطور عمده از رطوبت ذخیره شده در خاک استفاده می‌نماید (Yousefi et al., 2016). با توجه به اثرات بارز اقلیم بر عملکرد محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین گام‌ها در رابطه با افزایش عملکرد، مدل‌های تخمین عملکرد محصولات کشاورزی می‌باشند، در فرآیند پیش‌بینی توسط این مدل‌ها مهم‌ترین فراسنج‌های تأثیرگذار بر عملکرد محصولات شناسایی شده و یافته‌ها و نتایج این مدل‌ها از فراسنج‌های مذکور، در اختیار متخصصان اصلاح بذر و ژنتیک قرار می‌گیرد و آن‌ها با توجه به اقلیم مناطق و اثرات این فراسنج‌ها، مناسب‌ترین رقم محصول سازگار با محیط را

¹ International Food Policy Research Institute

² Himachal Pradesh

در تخمین عملکرد گیاه باجرا^۷ در منطقه راجستان^۸ هندوستان، (Khaki et al., 2020) در تخمین عملکرد ذرت و سویا در ۱۳ ایالت آمریکا با کمک شبکه عصبی پیچشی^۹ و شبکه عصبی بازگشتی^{۱۰} و (Amaratunga et al., 2020) در تخمین عملکرد شلتوک در سریلانکا از دیگر تحقیقاتی است که در این زمینه کار شده و می‌توان به آن‌ها اشاره کرد. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی از تحقیقات انجام شده خارجی در این بخش می‌توان به پژوهش (Klompenburg et al., 2020) مراجعه کرد که در یک مقاله مروری نظام‌مند با واکاوی ۵۶۷ مقاله از ۶ پایگاه داده و انتخاب ۵۰ مطالعه تحقیقی به‌عنوان معیار به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین متغیرهای مورد استفاده در تخمین عملکرد محصولات، دما، بارش و بافت خاک و بیش‌ترین الگوریتم مورد استفاده شبکه عصبی مصنوعی بود. سطح زیر کشت نخود در ایران ۷۰۰ هزار هکتار می‌باشد که در این بین، حدود ۹۵ درصد (۶۶۵ هزار هکتار) آن به‌صورت دیم کاشت می‌شود (Kazemi and Sadeghi, 2014). این محصول در ۳۵ کشور جهان از جمله ایران کشت می‌شود که ایران بعد از کشورهای هند، پاکستان، ترکیه و استرالیا پنجمین کشور تولیدکننده نخود در دنیا است (Kanouni, 2016). این محصول در دنیا پس از لوبیا رتبه سوم و در جنوب آسیا، رتبه اول را در بین حبوبات دارد (Parizadeh Moghadam et al., 2014). همچنین استان کرمانشاه همواره جزء چهار استان برتر کشور در زمینه تولید نخود دیم بوده است. این استان با میانگین سطح زیر کشت ۱۲۱ هزار هکتار نخود بهاره، ۶۰ هزار هکتار نخود پاییزه و در مجموع ۱۸۱ هزار هکتار نخود، رتبه اول را در میان سایر استان‌ها کسب نموده و پس از آن استان‌های لرستان، کردستان و آذربایجان غربی قرار دارند. میانگین عملکرد (۴۵۹ کیلوگرم در هکتار) نخود دیم استان نیز در بین استان‌های کشور بسیار قابل‌توجه است (Ahmadi et al., 2018). بر اساس آنچه در مورد اهمیت و ضرورت تحقیق و نتیجه‌گیری از تحقیقات داخلی بیان شد هدف از انجام این مطالعه تخمین عملکرد نخود دیم بهاره به کمک یک شاخص طیفی گیاهی (سنجش از دور) و متغیرهای اقلیمی و اقلیمی-کشاورزی در شهرستان

گیاه نخود را با کمک مدل شبکه عصبی مصنوعی در مناطق عمده کاشت نخود در ایران تخمین زدند. نتایج مطالعه آن‌ها بیانگر این بود که مدل شبکه عصبی قادر است تا ۹۰/۳ درصد عملکرد گیاه نخود را با دامنه خطای نسبی (± ۵٪) پیش‌بینی کند. (Olgun and Erdogan, 2009) نیز با کمک متغیرهای اقلیمی و در قالب مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی^۱ عملکرد گندم را در بخش‌های شرقی آناتولی تخمین زدند و به این نتیجه رسیدند که رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در قیاس با مدل OLS^۲ در زمینه تخمین عملکرد گندم بهتر عمل می‌کند. (Jumrani and Bhatia, 2014) در تحقیقی اثرات افزایش دما را بر عملکرد سه رقم نخود بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در دو دمای ۳۴/۲ و ۳۸/۲ درجه سلسیوس به ترتیب، عملکرد نخود به میزان ۶۴ و ۷۸ درصد کاهش می‌یابد. (Everingha et al., 2016) با استفاده از داده‌های اقلیمی و شاخص زیست توده در قالب یک مدل رگرسیون تصادفی جنگل، عملکرد گیاه نیشکر را در منطقه تولی^۳ واقع در شمال شرقی استرالیا تخمین زدند و به این نتیجه رسیدند که با دقت ۸۶/۳۶ درصد در سال‌های مورد بررسی، این امکان وجود دارد که در اوایل سپتامبر سال قبل از برداشت؛ عملکرد نیشکر را پیش‌بینی کرد. (Das et al., 2018) عملکرد محصول برنج را در سواحل غربی کشور هند از طریق ارزیابی چهار روش رگرسیون چندگانه‌ی گام به گام، رگرسیون لاسو^۴، رگرسیون الاستیک نت^۵ و مدل شبکه عصبی پیش‌بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که در این میان رگرسیون لاسو بهترین روش و مدل ترکیبی شبکه عصبی با مولفه‌های اصلی در مقایسه با سایر روش‌ها ضعیف‌ترین مدل برای پیش‌بینی عملکرد این محصول است. (Mathieu and Aires, 2018) با ارزیابی بیش از ۵۰ شاخص اقلیمی-کشاورزی بر روی محصول ذرت در ایالت‌های کاشت عمده این محصول در کشور آمریکا به این نتیجه رسیدند که دو شاخص دما و بارش-تبخیر تعرق استاندارد شده^۶ در ماه ژوئیه دارای بیش‌ترین تأثیر در عملکرد ذرت می‌باشند. پژوهش‌های (Chauhan et al., 2019) در تخمین دقیق زمان گل‌دهی دو محصول گندم و نخود در شمال استرالیا، (Dharmaraja et al., 2019)

⁶ Standardized Precipitation–Evapotranspiration Index (SPEI)

⁷ Bajra

⁸ Rajasthan

⁹ Convolutional Neural Networks (Cnns)

¹⁰ Recurrent Neural Networks (Rnns)

¹ Geographically Weighted Regression (GWR)

² Ordinary Least Squares (OLS)

³ Tully

⁴ Lasso regression

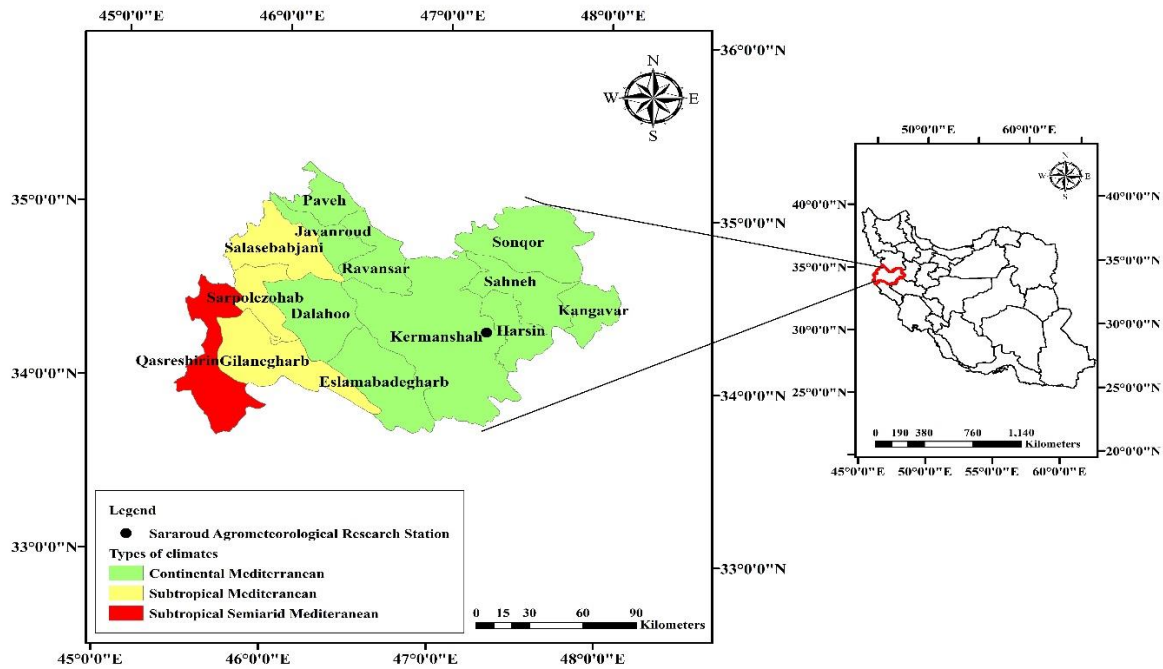
⁵ Elastic net regression

سردتر از بخش مرکزی و فیروزآباد می‌باشد (Jahangiri and Haghparast, 2021). ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش نیز، ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی سرآرود است که در ۲۰ کیلومتری جاده کرمانشاه - همدان با دارا بودن ۱۶۷ هکتار مساحت جزء مناطق نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود. موقعیت جغرافیایی آن در ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا واقع شده و در سال ۱۳۶۵ این ایستگاه به منظور تحقیق و بررسی محصولات کشت شده منطقه تاسیس شده است. در این پژوهش ابتدا با استناد به مقالات معتبر علمی و داده‌های اخذ شده از اداره جهاد کشاورزی شهرستان کرمانشاه، مراحل مختلف رشد گیاه نخود شناسایی و سپس این مراحل برای استفاده در این تحقیق به چهار مرحله الف) مرحله کاشت تا سبز شدن، ب) سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی، ج) ۵۰٪ گل‌دهی تا رسیدگی و د) کل دوره رشد تقسیم گردید. در گام بعدی با استفاده از درجه روزهای-رشد مورد نیاز برای هر مرحله از رشد و مطابقت دادن آن‌ها با تاریخ‌های رسیدن به هر چهار مرحله رشد طبق نظر کارشناسان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه (شکل ۲) و (جدول ۱)، تاریخ رسیدن به این مراحل در سال‌های زراعی (۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷-۱۳۹۶) در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی سرآرود کرمانشاه استخراج گردید. لازم به ذکر است که تاریخ کاشت نخود بهاره ۱۵ اسفند ماه و دمای پایه آن صفر درجه سلسیوس در نظر گرفته شد (Wish and Cocks, 2011). در مرحله بعد، نمایه‌های هواشناسی، هواشناسی کشاورزی و نمایه نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) به‌عنوان متغیرهای پیشگو در بازه زمانی ۲۷ ساله (۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۷) برای هر مرحله فنولوژیکی و داده‌های عملکرد نخود به‌عنوان متغیر پاسخ در این بازه زمانی برای هر سال زراعی، استخراج شدند. لازم به ذکر است که سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۰ به دلیل نداشتن آمار عملکرد از فرآیند محاسبه حذف گردید. همچنین از میان بازه زمانی موردنظر، سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۷۶، ۱۳۸۵-۱۳۸۴ و ۱۳۹۰-۱۳۸۹ جهت اعتبارسنجی مدل و بقیه سال‌ها به‌منظور آموزش مدل رگرسیونی در نظر گرفته شدند (Bazgeer, 2015). در ادامه هریک از نمایه‌های هواشناسی، هواشناسی کشاورزی و نمایه نرمال شده پوشش گیاهی بیان شده‌اند.

کرمانشاه از طریق روش‌های یادگیری ماشین می‌باشد. این شهرستان در بازه زمانی ۲۷ ساله (۱۳۷۰-۱۳۶۹ تا ۱۳۹۷-۱۳۹۶) با دارا بودن میانگین سطح زیر کشت ۴۷۲۳۲ هکتار و عملکرد ۳۹۴ کیلوگرم در هکتار از قطب‌های اصلی کشت نخود دیم در استان کرمانشاه می‌باشد و در بین شهرستان‌های استان از نظر سطح زیر کشت دارای مقام اول است. نوآوری این تحقیق نیز روش‌ها و مدل‌های به کار گرفته شده در آن جهت تخمین عملکرد نخود در حوزه اقلیم‌شناسی کشاورزی می‌باشد با این هدف که یک مدل ساده خطی که نیازمند صرف وقت و هزینه فراوان نباشد و از طرفی دیگر تخمینی نزدیک به واقعیت را داشته باشد، ارائه گردد. رعایت کردن زاویه دید ترکیبی و جغرافیایی از سوی محقق با ترکیب شاخص‌ها اقلیمی، اقلیمی کشاورزی، شاخص‌های طیفی گیاهی و ایجاد یک مدل ساده خطی، کم هزینه و معنی‌دار همچون لاسو و ریج و همچنین شناسایی مزارع نخود و رفتار طیفی گیاهی آن در مقایسه با محصول گندم از مزایای این تحقیق است که تاکنون در مورد گیاه نخود در داخل کشور انجام نگرفته است.

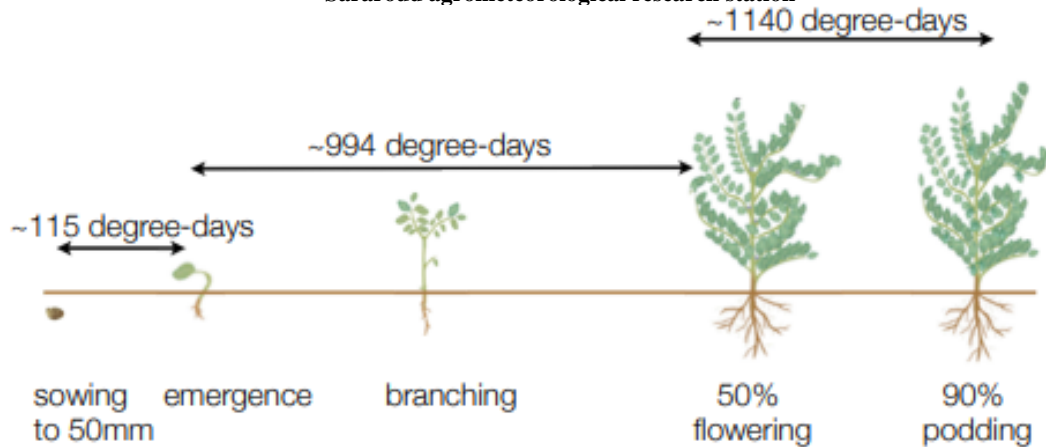
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان کرمانشاه می‌باشد. این شهرستان، با مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۴۲۰ متر از سطح دریا و با میانگین بارندگی ۴۳۵ میلی‌متر و میانگین ۸۹ روز یخبندان در طول سال، در کنار رود قره‌سو قرار دارد. این شهرستان از شمال با شهرستان روانسر، از غرب با شهرستان دالاهو و اسلام‌آباد غرب از جنوب با استان ایلام، از شرق با شهرستان‌های صحنه و هرسین و از شمال شرق هم با شهرستان سنقر کلیایی همجوار است. طبق روش طبقه‌بندی یونسکو، شهرستان کرمانشاه دارای اقلیم نیمه‌خشک با تابستان گرم و زمستان‌های خنک (Bazgeer et al., 2018) و بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی -کشاورزی پاپاداکیس دارای آب و هوای مدیترانه‌ای بری می‌باشد (شکل ۱). بنابراین با استناد به این دو روش طبقه‌بندی شهرستان کرمانشاه از یک اقلیم معتدل تا معتدل سرد برخوردار است. به طوری که، طبق نظر کارشناسان اقلیمی منطقه، بخش‌های ماهیدشت و کوزران



شکل ۱- نقشه طبقه‌بندی اقلیمی -کشاورزی در استان کرمانشاه به روش پاپاداکیس و موقعیت ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی سرارود

Figure 1- Agro-Climatic classification map for Kermanshah province using Papadakis method and location of Sararoud agrometeorological research station



شکل ۲- درجه روزهای رشد نخود برای مراحل مختلف رشد (Whish and Cocks, 2011)

Figure 2- Growing Degree-Days of chickpea for different growth stages (Whish and Cocks, 2011)

جدول ۱- میانگین تاریخ رسیدن مراحل رشد نخود بهاره به همراه درجه روزهای رشد (Organization Of Agriculture- Jahad- (Kermanshah, 2021; Whish and Cocks, 2011)

Table 1- Average date of spring chickpea growth stages with Growing Degree-Days (Organization Of Agricultural- Jahad-Kermanshah Province, 2021; Whish and Cocks, 2011)

Growing stages	number of days	Date of reaching to each stage	Growing Degree-Days
Planting to emergence	18	24 March	115
Emergence to 50%flowering	54	17 May	994
50%flowering to 90%podding	30	16 June	1140
The whole period of growth	102	-	2248
Harvesting		Late June	

نمایه‌های هواشناسی

این نمایه‌ها شامل کمینه دما (T_{min})، بیشینه دما (T_{max})، میانگین دمای روزانه (T_{mean})، مجموع بارش ۲۴ ساعته (R_{24})، تعداد روزهای بارانی مساوی و بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر ($Rainy_{0.1}$)، تعداد روزهای بارانی مساوی و بیشتر از ۱ میلی‌متر ($Rainy_1$)، تعداد روزهای بارانی مساوی و بیشتر از ۵ میلی‌متر ($Rainy_5$)، تعداد روزهای بارانی مساوی و بیشتر از ۱۰ میلی‌متر ($Rainy_{10}$)، کمینه رطوبت نسبی (RH_{min})، بیشینه رطوبت نسبی (RH_{max}) و میانگین رطوبت نسبی روزانه (RH_{mean})، ساعت آفتابی (SH)، سرعت باد روزانه در ارتفاع ۲ متری (W)، دمای کمینه سطح خاک (T_g) و تاخیر تعرق روزانه (ET)، که به روش پنمن مونتیث که از طریق نرم‌افزار Cropwat 8.0 محاسبه گردید، هستند.

نمایه‌های هواشناسی کشاورزی

شامل اختلاف تجمعی دمای کمینه و بیشینه روزانه (TD)^۱، درجه روزهای رشد (GDD)^۲، واحدهای حرارتی-آفتابی (HTU)^۳ و واحدهای حرارتی-نوری (PTU)^۴ بودند که با استناد به تحقیق (Farajzadeh Asl et al., 2012; Bazgeer, 2015) محاسبه شدند.

نمایه نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)

به منظور استخراج این شاخص در ابتدا، با کمک ثبت مختصات جغرافیایی ۳۰ مزرعه نخود و گندم در مناطق مختلف شهرستان کرمانشاه به وسیله دستگاه موقعیت‌یاب مدل گارمین^۵ و با بهره‌گیری از تاریخ مراحل رشد نخود و گندم که از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان کرمانشاه اخذ گردیده بود رفتار NDVI زمین‌های حاوی نخود در مقایسه با گندم از طریق فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در سال زراعی (۱۳۹۹-۱۴۰۰) در سامانه Google Earth Engine شناسایی شد (شکل ۳) و در نهایت با استفاده از این رفتار طیفی، نقشه زمین‌های نخود با بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۶ برای سال مذکور در سامانه Google Earth Engine با دقت ۱۰ متری تهیه گردید (شکل ۴). علت ثبت موقعیت جغرافیایی زمین‌های زراعی گندم به این دلیل بود که نخود در تناوب زراعی با گندم کاشت می‌شود و معمولاً

زمینی که در یک سال معین گندم است در سال بعد نخود در آن کاشت می‌گردد. دلیل دیگر برای انجام این کار این است که کاشت گندم در پاییز صورت می‌گیرد و مراحل رشد آن به مراحل رشد نخود نزدیک است. در اقدام بعدی به وسیله رفتار طیفی شناخته شده NDVI زمین‌های نخود که از نقشه سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ به دست آمده بود، نقشه زمین‌های زراعی نخود برای تک تک سال‌های زراعی (۱۳۶۹-۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۷) با استفاده از تصاویر تصحیح شده ماهواره‌های سنتینل ۲، لندست ۸، ۷ و ۵ در سامانه Google Earth Engine استخراج شد و در نهایت بیشینه NDVI نخود هر یک از این سال‌ها در سامانه مذکور برای هر سال زراعی محاسبه شد و سپس با وارد کردن آن در سامانه ArcGIS 10.7 و برش دادن آن با نقشه زمین‌های زراعی با دقت ۱۰ متری محصول موسسه پژوهش سامانه‌های زیست محیطی^۷، میانگین بیشینه NDVI زمین‌های شناسایی شده نخود در هر سال در دو مرحله سبزشدن تا ۵۰٪ گل‌دهی و مرحله کل دوره رشد، محاسبه گردید (Gumma et al., 2020). همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است رفتار طیفی نخود و گندم علی‌رغم مشابهت‌هایی که در مراحل اولیه و اواخر رشد دارند در سایر مراحل کاملاً با هم متفاوت است. میزان نمایه نرمال شده پوشش گیاهی در نخود پایین‌تر از گندم است و تاریخ رسیدن به نقطه اوج در آن‌ها نیز با یکدیگر متفاوت است. مقادیر NDVI گندم در نقطه اوج، بین ۰/۶ تا ۰/۷ بوده در حالی که در نخود این مقدار به کمتر از ۰/۴ می‌رسد. در مرحله بعد، به منظور ساخت مدل تخمین عملکرد از روش‌های یادگیری ماشین نظارت شده (نوع رگرسیون) بهره گرفته شد. یادگیری ماشین به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی تابع برنامه‌ای است که در ماشین شکل می‌گیرد و دانشی است که به کامپیوتر توانایی یادگیری می‌دهد. دو نوع اصلی آن یادگیری نظارت شده و یادگیری نظارت نشده هستند (Géron, 2019). در یادگیری نظارت شده هدف آموزش ماشین و ساخت مدل برای انجام کاری خاص با راهنمایی کاربر است، در حالی که در آموزش نظارت نشده ماشین این کار را به‌خودی‌خود انجام می‌دهد. به عبارت دیگر، در یادگیری نظارت شده از قبل مشخص است

⁵ Garmin⁶ Support Vector Machine⁷ Environmental Systems Research Institute (ESRI)¹ Temperature Difference² Growing Degree-Days³ Helio-thermal Units⁴ Photo-thermal Units

و کمترین میزان خطای معیار^۱ در مرحله آموزش و کمترین میزان انحراف نسبی^۲ در مرحله اعتبارسنجی مدل بود. برای اطلاع از نحوه محاسبه شاخص انحراف نسبی به (Sadeghi et al., 2019) مراجعه شود. در ادامه به ارائه توضیحات مختصری در مورد هر یک از این روش‌ها پرداخته شده است. به منظور اطلاعات بیشتر در مورد هر یک از این روش‌ها به (Eftekhari et al., 2018; Amini et al., 2019) مراجعه گردد.

انواع روش‌های انتخاب مدل

روش پیش‌رو

در این روش، نخست فرض می‌شود هیچ متغیر پیشگویی در مدل نباشد. سپس به ترتیب اولویت، متغیرهای پیشگو تأثیرگذار به مدل اضافه خواهد شد. این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که همبستگی متغیر پیشگویی جدید با مانده‌های به‌دست‌آمده از برازش گام پیش چشم‌گیر نباشد.

روش پس‌رو (عقب‌گرد)

این روش عکس روش پیش‌رو می‌باشد. در این روش نخست فرض می‌شود تمام متغیرهای پیشگو در مدل باشند. سپس به ترتیب متغیرهای پیشگویی کم‌اهمیت، از مدل حذف می‌شوند.

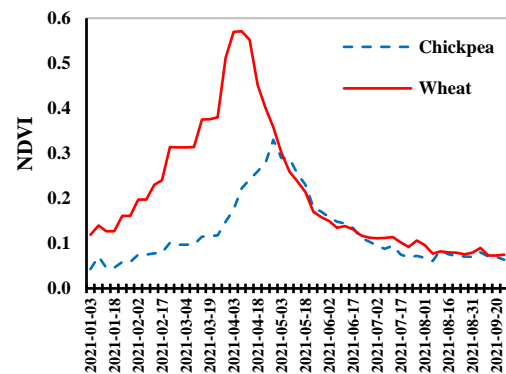
روش گام‌به‌گام

با ترکیب دو روش پیش‌رو و پس‌رو، روش گام‌به‌گام به دست می‌آید. در روش گام‌به‌گام با ورود هر متغیر پیشگویی جدید به مدل با روش پیش‌رو، تمامی متغیرهای موجود در مدل با به‌کارگیری آماره آزمون آن برای حذف از مدل، مورد بررسی قرار می‌گیرند. روش گام‌به‌گام تا زمانی ادامه می‌یابد که ورود و یا حذف هیچ یک از متغیرهای خارج از مدل و داخل مدل بر اساس آزمون فیشر معنی‌دار نباشد.

روش لاسو

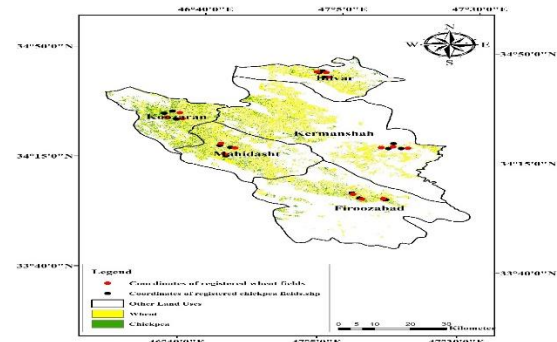
یکی دیگر از روش‌های انتخاب مدل، حالتی است که به آن عملگر انتخاب و کم‌ترین قدر مطلق انقباض، لاسو گفته می‌شود. در واقع، این حالت از مدل رگرسیونی نه تنها باعث انقباض برآوردهای ضریب‌های رگرسیونی به سمت صفر می‌شود، بلکه سبب صفر شدن برآورد ضرایب متغیرهای کم‌اثر در متغیر پاسخ و در نتیجه حذف آن‌ها از مدل نیز می‌شود که به چنین تأثیری تنک‌سازی مدل گفته می‌شود. بیش‌برازش و کم‌برازش، از مسائلی است که ممکن است که

داده‌های ورودی آموزش مدل، دارای چه خروجی‌های واقعی هستند و هدف آن است که بر اساس آن خروجی‌ها، مدل آموزش داده شود (Alborzi and Alikhani, 2018).



شکل ۳- نمودار تغییرات NDVI در طول فصل رشد نخود و گندم در کرمانشاه (۱۳۹۹-۱۴۰۰)

Figure 3- NDVI changes during growth season of chickpea and wheat in Kermanshah (2021)



شکل ۴- توزیع جغرافیایی مزارع نخود و گندم در شهرستان کرمانشاه (۱۳۹۹-۱۴۰۰)

Figure 4- Geographical distribution of chickpea and wheat fields in Kermanshah city (2020)

در این پژوهش با ایجاد روابط همبستگی پیرسون بین انواع متغیرهای هواشناسی، اقلیم‌شناسی، نمایه نرمال شده پوشش گیاهی و داده‌های عملکرد نخود و شناسایی رابطه خطی بین آن‌ها در محیط نرم‌افزار R و Eviews12 آن دسته از متغیرهایی که با داده‌های عملکرد رابطه خطی معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد داشتند استخراج شدند و مدل رگرسیون خطی چندگانه در سطح تشکیل شد. سپس از میان چهار روش انتخاب مدل شامل روش گام به گام، عقب‌گرد، پیش‌رو و لاسو و از میان روش‌های اصلاح هم خطی چندگانه، روش‌های رگرسیون ریبج استفاده (Eftekhari et al., 2018; Amini et al., 2019) و در نهایت مدلی انتخاب گردید که دارای بیشترین ضریب تعیین تعدیل شده

² Relative Deviation (RD)

¹ Standard Error of Estimate (SEOE)

روش اصلاح هم خطی چندگانه (رگرسیون ریج)

در روش رگرسیون ریج نیز مانند روش لاسو قاعده‌سازی و تاوان برای ضرایب مدل رگرسیونی اعمال می‌شود با این تفاوت که به جای استفاده از تابع تاوان قدر مطلق از تابع تاوان درجه ۲ استفاده می‌شود. بعلاوه، در روش ریج، ضرایب متغیرهای پیشگو به سمت صفر کشیده می‌شود اما هیچ وقت مقدار آن‌ها صفر نمی‌شود. به عبارتی دیگر، هیچ تغییری از مدل حذف نمی‌شود، اما در رگرسیون لاسو با به کارگیری یک تابع تاوان صفر کننده ضرایب رگرسیونی متغیرهای پیشگوی بی‌تأثیر صفر می‌شوند و از مدل نهایی حذف می‌شوند. در معادله ۲ مدل رگرسیون ریج ارائه شده است (Horel, 1970).

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^p \beta_j^2 \quad (2)$$

در شکل ۵ مراحل انجام تحقیق نشان داده شده است.

نتایج و بحث

مدل رگرسیونی در مرحله کاشت تا سبزشدن گیاه

در این مرحله هیچ‌کدام از متغیرهای پیشگو با مقدار عملکرد محصول به‌عنوان متغیر وابسته همبستگی و همچنین رابطه خطی معنی‌داری نداشتند؛ بنابراین مدلی برای تخمین عملکرد در این مرحله از رشد گیاه ایجاد نشد.

مدل رگرسیونی در مرحله سبزشدن تا ۵۰٪ گل‌دهی گیاه

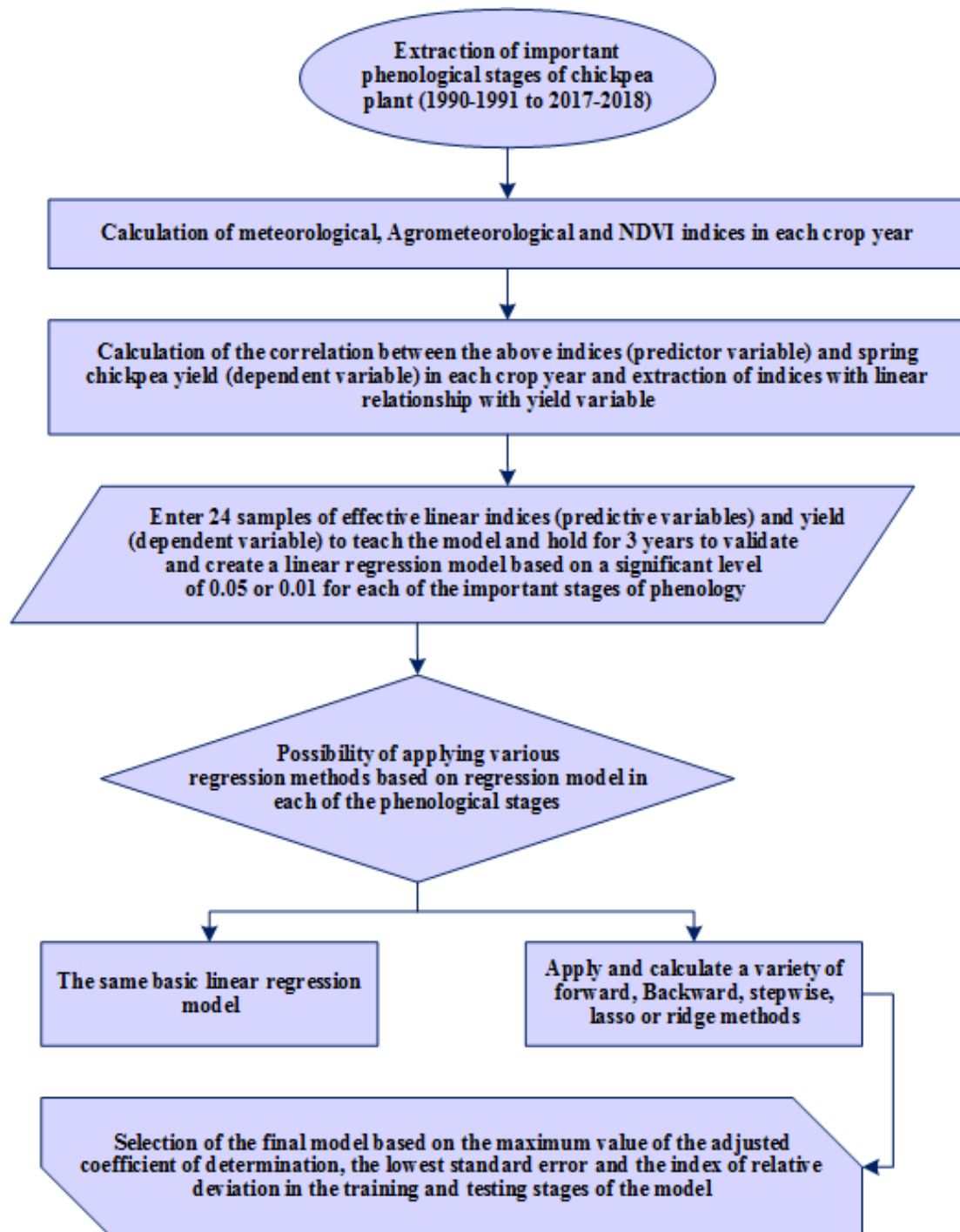
شکل کلی مدل رگرسیونی مبنا در جدول ۲ آمده است. طبق معادله این جدول، دمای بیشینه و میانگین دمای روزانه در این مرحله تأثیری مثبت در میزان عملکرد دارند و این افزایش به این صورت است که به‌ازای هر درجه افزایش بیشینه دما، ۱۴/۲ کیلوگرم در هکتار مقدار عملکرد افزایش می‌یابد به شرطی که سایر متغیرها ثابت در نظر گرفته شوند و در مورد میانگین دما میزان این تأثیر به‌ازای هر واحد افزایش، ۲۶/۸ کیلوگرم در هکتار است. دمای مناسب در این مرحله برای نخود بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس است و زمانی که دما از ۳۵ درجه سلسیوس فراتر رود وضعیت برای رشد نخود بحرانی می‌شود.

در رگرسیون چندگانه رخ دهد. یکی از راه‌های جلوگیری از این مشکلات، قاعده‌سازی است. به این معنی که مدل رگرسیونی را با توجه به تعداد متغیرهای آن جریمه کرد تا تعداد آن‌ها به یک مقدار بهینه برسد. به این ترتیب پیچیدگی مدل کاهش یافته، بدون آن که از کارایی آن کاسته شود. قاعده‌سازی به خصوص در مواردی نظیر (۱) تعداد زیاد متغیرهای توصیفی یا پیشگو، (۲) زیاد بودن تعداد متغیرها نسبت به تعداد مشاهدات و (۳) هم‌خطی یا هم‌خطی چندگانه در بین متغیرهای توصیفی کارساز است. در رگرسیون لاسو، نحوه قاعده‌سازی بر اساس تابع تاوان قدر مطلق انجام می‌شود. در نتیجه تابع هدف در رگرسیون لاسو به‌صورت معادله ۱ نوشته می‌شود.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\beta_j| \quad (1)$$

در این معادله $\sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij} \beta_j)^2$ همان مجموع توان دوم خطاها و $\sum_{j=1}^p |\beta_j|$ تابع تاوان قدر مطلق و λ پارامتر تنظیم کننده در میزان تاوان و قاعده‌سازیست به این معنی که اگر مقدار λ برابر با صفر باشد، مدل به رگرسیون عادی تبدیل شده و همه متغیرها در آن حضور خواهند داشت و اگر مقدار آن افزایش یابد تعداد متغیرهای پیشگو در مدل کاهش خواهند یافت. بنابراین با انتخاب ∞ برای λ در واقع هیچ متغیری در مدل وجود ندارد. به طور معمول، تعیین مقدار برای این پارامتر توسط روش اعتبارسنجی متقابل^۱ انجام می‌شود. به عبارتی دیگر، نقش تابع تاوان قدر مطلق به همراه پارامتر تنظیم کننده آن (λ) این است که در ازای افزایش مقدار ناچیزی آریبی، واریانس را کاهش و دقت مدل را افزایش دهد. برای مشخص کردن مقدار مناسب λ ، مقادیر ضرایب متغیرهای پیشگو روی محور عمودی در مقابل مقادیر λ روی محور افقی به صورت یک نمودار رسم می‌گردد. زمانی که، برآوردگرهای بیشتر متغیرها بصورت تقریبی دارای ضرایب ثابتی شدند، بایستی کوچکترین مقدار لاندا را که دارای بیشترین میزان دقت و کم‌ترین خطای میانگین مربعات است، در نظر گرفت. لازم به ذکر است که در رگرسیون لاسو، فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌ها وجود ندارد. همچنین مقدار ثابت یا عرض از مبدا هم در قاعده‌سازی دخیل نمی‌شود.

¹ Cross Validation



شکل ۵- روند نمای مراحل انجام روش پژوهش

Figure 5- Scheme of steps of conducting research method

بر عملکرد نخود منفی خواهد بود. در پژوهش حاضر، مقادیر رطوبت نسبی در تمامی سال‌های زراعی مورد بررسی کمتر از ۳۰ درصد بود و به همین دلیل ضریب رگرسیونی این شاخص در معادله منفی شده است. تعداد روزهای بارانی ۵ و ۱۰ میلی‌متر و بیشتر نیز تأثیر مثبت در افزایش عملکرد دارند. جدول ۳ نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون خطی مبنا و انواع روش‌های انتخاب مدل در مرحله آموزش و

در تمامی سال‌های زراعی مورد بررسی بیشینه دما از ۲۴ درجه سلسیوس بالاتر نرفته و مقدار میانگین دما نیز مناسب بوده و به همین دلیل در مدل رگرسیونی تأثیر آن مثبت بوده است. نکته جالب توجه در این مدل، تأثیر نمایان NDVI و اثر منفی کمینه رطوبت نسبی در این مرحله است (Rezapor et al., 2021). مقدار رطوبت نسبی در این مرحله از رشد اگر کمتر از ۳۰ درصد باشد، تأثیر آن

مدل رگرسیونی در مرحله ۵۰٪ گل‌دهی تا رسیدگی در این مرحله تنها متغیر بیشینه رطوبت نسبی دارای رابطه خطی معنی‌دار در سطح ۱ درصد با میزان عملکرد بود (جدول ۵). مقدار خطای و دقت مدل در این مرحله نسبت به مدل‌های مرحله سبز شدن تا ۵۰ درصد گل‌دهی بسیار بالاتر بود (جدول ۵ و ۶).

جدول ۴ نتایج آن را در مرحله آزمون مدل برای سه سال زراعی منتخب نشان می‌دهد. طبق نتایج این دو جدول مدل رگرسیونی لاسو با داشتن ضریب تعیین ۶۷ درصد و خطای معیار ۵۹/۸ کیلوگرم در هکتار در مرحله آموزش و انحراف نسبی ۰/۴، ۰/۳- و ۳/۵ درصد (جدول ۴) در سال‌های منتخب آزمایش مدل، بهترین مدل از میان مدل‌های مورد بررسی است.

جدول ۲- مدل رگرسیونی خطی مبنا در مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی (آموزش مدل)

Table 2- Baseline linear regression model in the emergence stage to 50% flowering (model training)

Intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg ha ⁻¹)
-183.1	14.2*T _{max} + 2.79*Rainy ₅ + 25.16*Rainy ₁₀ + 26.8*T _{mean} - 3.098*RH _{min} - 21.64*TD + 573.45*NDVI	0.87**	0.65	63.6

*P<0.05 ; **P<0.01

جدول ۳- نتایج انواع مدل‌های رگرسیونی در مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی (بخش آموزش مدل)

Table 3- Results of different regression models in the emergence stage to 50% flowering (model training)

Model type	Intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg.ha ⁻¹)
Backward	-180.4	22.7* Rainy ₁₀ + 38.8*T _{mean} - 15.9*TD + 569.5*NDVI	0.86**	0.69	60.06
Forward	124.9	-1.2* Rainy ₅ + 23.4* rainy ₁₀ + 600.5*NDVI	0.84**	0.67	62.6
Stepwise	124.7	22.05* Rainy ₁₀ + 588.24*NDVI	0.84**	0.68	62
Lasoo	63.5	20.2* Rainy ₁₀ + 17.01*T _{Mean} - 9.98*TD + 523.96*NDVI	0.84**	0.67	59.8
Ridge	28.9	1.7*T _{max} + 5.7* Rainy ₅ + 14.32* Rainy ₁₀ + 23.1*T _{mean} - 0.8*RH _{min} - 13.96*TD + 433.4*NDVI	0.76**	0.61	67.2

*P<0.05 ; **P<0.01

جدول ۴- ارزیابی انواع مدل‌های رگرسیونی خطی در مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی (اعتبارسنجی مدل)

Table 4- Evaluation of different regression models in the emergence stage to 50% flowering (model validation)

Model name	Years of validation								
	1997-1998			2005-2006			2010-2011		
	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)
Baseline	277.8	279.1	0.5	634.7	659.7	3.9	385	398.4	3.5
Backward	277.8	273.8	-1.4	634.7	656.7	3.5	385	400.8	3.9
Forward	277.8	268.3	-3.4	634.7	665.7	4.9	385	390.7	1.5
Stepwise	277.8	267.6	-3.7	634.7	659.4	3.9	385	394.1	2.3
Lasso	277.8	278.9	0.4	634.7	632.6	-0.3	385	398.9	3.5
Ridge	277.8	286.6	3.2	634.7	591.7	-6.8	385	415.1	7.8

جدول ۵- نتیجه مدل رگرسیونی خطی در مرحله ۵۰٪ گل‌دهی تا رسیدگی (آموزش مدل)

Table 5 - The result of linear regression model at 50% flowering to maturity stage (model training)

Intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg.ha ⁻¹)
-29.6	9.95RH _{max}	0.46**	0.37	86.1

*P<0.05 ; **P<0.01

جدول ۶- نتیجه مدل رگرسیونی خطی در مرحله ۵۰٪ گل‌دهی تا رسیدگی (اعتبارسنجی مدل)

Table 6- The result of linear regression model at 50% flowering to maturity stage (model validation)

Model name	Years of validation								
	1997-1998			2005-2006			2010-2011		
	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)
Baseline	277.8	363.8	30.9	634.7	375.5	-40.8	385	369.2	-4.1

مدل رگرسیونی در دوره رشد

کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا ۵۰ درصد گل‌دهی، ۵۰ درصد گل‌دهی تا رسیدگی و کل دوره رشد را نشان می‌دهد مشخص می‌گردد که مناسب‌ترین مدل انتخابی، مدل رگرسیونی لاسو در مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی است. در واقع، با مقایسه جداول ۲ تا ۹ نشان داده می‌شود که مدل لاسو در این مرحله با داشتن ضریب تعیین ۶۷ درصد و خطای معیار ۵۹/۸ کیلوگرم در هکتار در مرحله آموزش و انحراف نسبی ۰/۴، ۰/۳- و ۳/۵ درصد به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۷، ۲۰۰۶-۲۰۰۵ و ۲۰۱۱-۲۰۱۰ نسبت به نتایج سایر مدل‌ها برتری دارد.

جداول ۷ تا ۹ نتایج مدل‌های رگرسیونی را در بخش‌های آزمایش و آزمون در این مرحله نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌های جدول ۸ و ۹ در این مرحله؛ مدل عقب‌گرد با داشتن ضریب تعیین ۶۶ درصد و خطای معیار ۶۲/۸ کیلوگرم در هکتار در بخش آموزش مدل و انحراف نسبی ۱۱/۶، ۷/۹- و ۹/۲ درصد در بخش آزمون مدل به ترتیب در سال‌های زراعی منتخب، مناسب‌ترین مدل در این مرحله تشخیص داده شد. با استناد به نتایج و جداول ۲ تا ۹ که نتایج انواع مدل‌های رگرسیونی را در چهار مرحله رشد یعنی

جدول ۷- مدل رگرسیونی خطی مبنا در کل دوره رشد (آموزش مدل)

Table 7- Baseline linear regression model in the whole growth period (model training)

intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg.ha ⁻¹)
50.6	25.2*T _{max} + 3.3* Rainy ₅ + 24.7* Rainy ₁₀ + 8.9*RH _{max} - 30.7*TD + 415.5*NDVI - 14.7*RH _{Mean}	0.86**	0.63	65.9

*P<0.05 ; **P<0.01

جدول ۸- نتایج انواع مدل‌های رگرسیونی خطی برای کل دوره رشد (بخش آموزش مدل)

Table 8- Results of different regression models for the whole growth period (model training)

Model type	intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg.ha ⁻¹)
Backward	-151.2	31.4*T _{max} + 22.7* Rainy ₁₀ - 31.4*TD + 490.4*NDVI	0.85**	0.66	62.8
Forward	133.3	12.2* Rainy ₁₀ + 435.9*NDVI	0.79**	0.58	69.7
Stepwise	133.3	12.2* Rainy ₁₀ + 435.9*NDVI	0.79**	0.58	69.7
Lasoo	357.4	17.7* Rainy ₁₀ - 10.5*TD + 417.78*NDVI	0.81**	0.63	64.04
Ridge	276.7	11.7*T _{max} + 4.8* Rainy ₅ + 13.9* Rainy ₁₀ + 0.34*RH _{max} - 2.03*RH _{mean} - 20.6*TD + 368.03*NDVI	0.72**	0.56	70.8

*P<0.05 ; **P<0.01

جدول ۹- نتایج انواع مدل‌های رگرسیونی خطی برای کل دوره رشد (اعتبارسنجی مدل)

Table 9- Results of different regression models for the whole growth period (model validation)

model name	Years of validation								
	1997-1998			2005-2006			2010-2011		
	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)
Baseline	277.8	330.7	19.1	634.7	575.2	-9.4	385	440.7	14.5
Backward	277.8	310.2	11.6	634.7	584.6	-7.9	385	420.4	9.2
Forward	277.8	266.6	-4.1	634.7	552.7	-12.9	385	425.1	10.4
Stepwise	277.8	266.6	-4.1	634.7	552.7	-12.9	385	425.1	10.4
Lasso	277.8	313.5	12.8	634.7	556.8	-12.3	385	419	8.8
Ridge	277.8	309.4	11.4	634.7	532.5	-16.1	385	429.1	11.5

می‌شود. در واقع، نقش این تابع تاوان به همراه پارامتر تنظیم‌کننده آن (λ) این است که در ازای افزایش مقدار ناچیزی آریبی، واریانس را کاهش و دقت مدل را افزایش دهد (Amini et al., 2019). همان‌طور که در شکل ۶ مقادیر ضرایب متغیرها در مقابل لاندا ترسیم شده است، زمانی که تخمین‌گرهای بیشتر متغیرها بصورت تقریبی دارای ضرایب ثابتی شدند، بایستی کوچکترین مقدار لاندا را که دارای

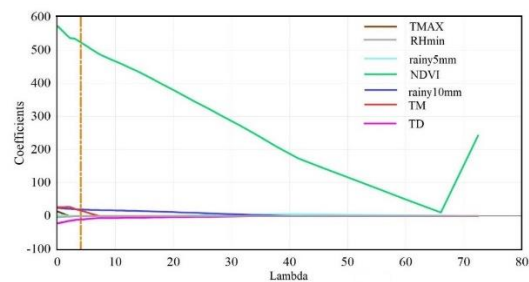
شکل ۶ مقدار مناسب λ توسط نرم افزار Eviews برای این مدل رگرسیونی در مرحله سبز شدن تا ۵۰ درصد گل‌دهی را نشان می‌دهد که مقدار آن ۴/۰۵ است (خط عمودی نارنجی رنگ). با توجه به توضیحاتی که در بخش مواد و روش‌ها در خصوص روش لاسو داده شد قاعده‌سازی و انقباض ضرایب متغیرها از طریق به کارگیری یک تابع تاوان قدر مطلق که λ تنظیم‌کننده آن است، مشخص

که موجب افزایش بیشتر دقت مدل می‌شود، لحاظ نشده است. بر اساس پژوهش (Das et al., 2018) مدل رگرسیون لاسو در مقایسه با سایر روش‌های رگرسیون گام‌به‌گام، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون مولفه‌های اصلی و رگرسیون شبکه تور کشسان^۱ بهترین مدل در تخمین عملکرد برنج در سواحل شرقی هند شناخته شد که نتایج آن در زمینه برتری این روش با نتایج تحقیق ما مشابه است. با در نظر گرفتن سه شاخص آماری ضریب تعیین (R^2) و میزان خطای معیار (SEOE) و شاخص انحراف نسبی (RD) در زمینه ارزیابی دقت مدل، مشخص می‌گردد که نتایج این تحقیق نسبت به مطالعات پژوهشی (Ghorbani et al., 2008; Farajzadeh et al., 2012; Bazgeer, 2015; Sadeghi et al., 2019) که همگی با استفاده از انواع روش‌های رگرسیونی ورود متغیرها شامل روش عقب‌گرد، پیش‌رو، گام‌به‌گام و ترکیب شاخص‌های اقلیمی و اقلیم‌شناسی کشاورزی به تخمین عملکرد محصولاتی مانند گندم و ذرت پرداخته‌اند دارای دقت بیشتری است. همچنین، نتیجه تحقیق حاضر بر خلاف نتایج پژوهش (Abyaneh, 2013) است که در آن رگرسیون ریج نسبت دو روش همزمان^۲ و گام به گام در برآورد چهار محصول گندم، جو، نخود و هندوانه در دو شهر بیرجند و مشهد برتری داشت؛ زیرا در تحقیق حاضر مدل رگرسیونی ریج نسبت به سایر روش‌های رگرسیونی محاسبه شده در دو مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی و کل دوره رشد دارای دقت کمتری است و این رگرسیون لاسو است که از بیشترین میزان دقت نسبت به سایر روش‌های رگرسیونی برخوردار است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق مشخص شد که از میان انواع مدل‌های یادگیری خطی، روش رگرسیون لاسو بهتر عمل می‌کند و بر اساس شاخص‌های اعتبارسنجی، می‌توان به نتایج آن اعتماد کرد. اثر بارز نمایه‌های اقلیمی میزان بارش ۱۰ میلی‌متر، میانگین دما، شاخص اختلاف دمایی و NDVI به عنوان مهم‌ترین فاکتورهای آب و هوایی مؤثر بر عملکرد نخود برای کشاورزان منطقه و متخصصان حوزه اصلاح بذر و ژنتیک تعیین گردید و آن‌ها را متوجه این امر می‌سازد که با یک بینش خاص علمی به این فاکتورها، تقویم زراعی

بیشترین میزان دقت و کم‌ترین خطای میانگین مربعات است، در نظر گرفت. این مقدار در شکل ۶ برابر با ۴/۰۵ است که در این مقدار، اثر متغیرهای پیشگوی دمای بیشینه (T_{max})، بارش ۵ میلی‌متر و بیشتر ($rainy_5$) و رطوبت نسبی کمینه (RH_{min}) در مدل به صفر رسیده و بایستی از مدل حذف شوند. ضرایب بقیه متغیرها نیز نسبت به مدل رگرسیون خطی مینا در این مرحله (جدول ۲) منقبض و کوچک‌تر شده‌اند که باعث جلوگیری از مشکل بیش‌برازش و کم‌برازش می‌شود.



شکل ۶- نمودار مقادیر λ در مقابل ضرایب متغیرهای مستقل در مدل رگرسیونی لاسو در مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی.

Figure 6- Diagram of λ values versus coefficients of independent variables in Lasso regression model in emergence stage up to 50% of flowering

در مقایسه با تحقیقات خارجی می‌توان نتایج تحقیق جاری را با پژوهش‌های (Bazgeer et al., 2006; Becker-Reshef et al., 2010; Mkhabela et al., 2012; Das et al., 2018; Rezapour et al., 2021) مقایسه کرد. وجه تشابه پژوهش حاضر با تحقیقات (Bazgeer et al., 2006; Becker-Reshef et al., 2010; Mkhabela et al., 2012) همبستگی مثبت و بسیار خوب شاخص NDVI با محصول گندم و در کار پژوهشی (Rezapour et al., 2021) با محصول نخود از میان سایر شاخص‌های طیفی گیاهی است. برای مثال در پژوهش (Bazgeer et al., 2006) با اضافه شدن شاخص NDVI به مدل هواشناسی کشاورزی میزان R^2 تعدیل شده از ۰/۵۱ به ۰/۸۰ افزایش می‌یابد و میزان خطای معیار از ۲۹۳/۲ کیلوگرم در هکتار به ۱۲۶/۸ کیلوگرم در هکتار تنزل پیدا می‌کند. تفاوت این تحقیق با تحقیقات (Becker-Reshef et al., 2010; Mkhabela et al., 2012) این است که در پژوهش این افراد تنها به شاخص‌های سنجش از دور توجه شده و ترکیب این شاخص‌ها با عوامل هواشناسی و هواشناسی کشاورزی مؤثر

². Enter

¹ Net Elastic Regression

- Rafiei, M. 1991-2019. Agricultural Statistics, Ministry of Agricultural Jihad. Crop cover.
- Akbarpour, A., Khorashadizadeh, O., Shahidi, A and Ghochanian, E. 2013. Performance evaluation of artificial neural network models in estimate production of yield saffron based on climate parameters. *Journal of Saffron Research*, 1(1), 27-35. (In Farsi)
- Alborzi, M and Alikhani, M. 2018. Machine Learning .Tehran: Sharif University of Technology Scientific Publication, 386 pages. (In Farsi)
- Amini, S.M., Roozbeh, M and Zamani, H. 2019. Advanced regression analysis with R. Tehran: Parsian Scientific Publications, 226 pages. (In Farsi)
- Anwar, M.R., McKenzie, B.A., Hill, G.D and Peri., P.L. 2001. A predictive model of chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield, *Journal of Agronomy N.Z.* (31), 1-11.
- Balla, L., Szunics, L and Pletserr, J. 1975. Efected of meteorological factors on the yield of winter wheat at Martovansar. *Acta Agronomica Academiae scietiarum Hungaricae*. Vol21:386-390.
- Bazgeer, S; Mohammadi, H and Momenpour, S.E. 2018. Comparative study of three agroclimatic classification methods for determination of suitable regions of rainfed wheat cultivation, *Journal of Agricultural Meteorology*, 6(1), 50-60. (In Farsi)
- Bazgeer, S. 2015. Estimation of corn yield using agroclimatic indices in western and southwestern regions of Iran, *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 15(39), 7-32. (In Farsi)
- Bazgeer, S., Mahey, R.K., Sharma, P.K., Sood, A and Sidhhu, S.S. 2006. Pre-harvest wheat yield prediction using agromet-spectral-trend-yield models for Hoshiarpur and Rupnagar districts of Punjab *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 34(3), 269-277.
- Becker-Reshef, I, Vermote, E; Lindeman, M and Justice, C. 2010. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data, *Journal of Remote Sensing of Environment*, 114(6), 1312-1323.
- Chauhan, Y., Ryan, M., Chandra, S and Sadras., V. 2019. Accounting for soil moisture improves prediction of flowering time in chickpea and wheat, *Scientific Reports*, 9 (7510), 1-11.
- Chmielewski, F.M and Potts, J. M. 1996. The relationship between crop yields from on experiment in Southern England and long-term climate variation. *Agri and Forest Met* 73:43-66.
- Dalezios, N.R., Loukas.A., Bampzelis, D. 2002. Assessment of NDVI and Agrometeorological indices in the phenology of wheat in central Greece, *Physics and Chemistry of the Earth*. 27(23-24), 1019-1023.
- Das, B., Nair, B., Reddy., V.K and Venkatesh., P. 2018. Evaluation of multiple linear, neural network and penalized regression models for prediction of rice yield based on weather parameters for west coast of

کشت گیاه نخود را تنظیم کنند و از ارقامی استفاده کنند که بهترین سازگاری را با این فاکتورهای تأثیرگذار داشته باشد. اگرچه استفاده از ترکیب انواع نمایه‌های اقلیمی، اقلیمی-کشاورزی و نمایه طیفی گیاهی NDVI در قالب مدل‌های رگرسیونی پیشرفته مانند لاسو و ریج از مزایای این پژوهش به شمار می‌آید ولی باید توجه داشت که استفاده از متغیرهای انسانی مانند تنظیم فاصله بین بوته‌ها، تعداد دفعات وجین علف‌های هرز، استفاده از ارقام مقاوم نسبت به بیماری‌های قارچی و آفات، نوع کشت کردن گیاه نخود و استفاده از میزان کودهای فسفر و نیتروژن در محاسبات مدل و شناسایی مهم‌ترین عوامل در میزان عملکرد می‌تواند دقت کار را بسیار بالا ببرد (Yousefi et al., 2016). همچنین اندازه‌گیری عملی رطوبت خاک، دمای خاک در مراحل مختلف رشد، اندازه‌گیری وزن تر و خشک، وزن هزار دانه در مزارع نمونه نخود در اقلیم‌های متفاوت استان کرمانشاه توسط خود پژوهشگر و وارد کردن این نمایه‌ها در فرآیند محاسبات و پردازش مدل‌های یادگیری ماشین، می‌تواند جهت ایجاد یک مدل با دقت بالا بسیار کمک کننده باشد. در واقع واضح است که داده‌های عملکرد سازمان جهاد کشاورزی به صورت یک میانگین از کل منطقه بوده و بیانگر عملکرد خرد اقلیم‌های منطقه وسیعی نمی‌باشد. چون یک اقلیم‌شناس کشاورزی همبستگی معنی‌دار میان داده‌های هواشناسی با میزان عملکرد را در دوره‌های آماری بلندمدت (برای مثال ۳۰ سال) بررسی می‌کند، گاهی اوقات دیده می‌شود که در سال‌های میانی به دلیل پیشرفت‌های حوزه ژنتیک کشاورزی، کشاورزان از یک بذر مقاوم به تنش‌های خشکی، دمایی یا سایر متغیرها استفاده کرده‌اند که همین امر باعث می‌شود ارتباط بین این دو فاکتور اقلیمی با میزان عملکرد چندان معنی‌دار نباشد. در حالی که، این مشکل با انجام مشاهدات میدانی در سال‌های متوالی و اندازه‌گیری متغیرهایی که در قسمت بالا ذکر شد و اطلاع از نوع رقم مورد استفاده در هر منطقه توسط کشاورزان رفع شده و باعث می‌شود دقت تخمین نیز افزایش یابد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که محققانی که در این زمینه کار خواهند کرد حتما این موارد را مدنظر داشته و دیدی کاملاً ترکیبی و اقلیمی داشته باشند.

منابع

- Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H., Hosseinpour, R., Abdshah, H., Kazemian, A and

- chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Field Crops Research*, 164(1), 90-97.
- Kamali, L., Kaviani, A., Nazari, B and Liaqat, 2018. Wheat yield estimation by satellite imageries Landsat 8 (Case study: Moghan Plain), *Iranian Journal of Water and Soil*.49(5), 1032-1042.(In Farsi)
- Kanouni, H., Taleei, A., and Okhovat, M. 2011. Ascochyta blight of pea breeding strategies for resistance. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*,5(1), 1-22.
- Kazemi, H and Sadeghi, S. 2014. Land suitability evaluation of Aq-Qalla region for rainfed Chickpea cropping by Boolean logic and analytical hierarchy process (AHP). *Iranian Journal of Rainfed Agriculture*,2(1), 1-19.(In Farsi)
- Khaki, S., Wang, L and Archontoulis, S.V. 2020. A CNN-RNN Framework for Crop Yield Prediction, *Journal of Frontiers in Plant Science*, 10(1750), 1-14.
- Khalvandi, N., Soltani Mohammadi, A and Boroumandnasab, S. 2017. Simulation of soil moisture and maize yield under irrigation with saline water by SALTMED model, *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(1), 231-246.(In Farsi)
- Khazaei, J., Naghavi, M.R., Jahansou, M.R and Salimi-Khorshidi, G. 2008. Yield Estimation and Clustering of Chickpea Genotypes Using Soft Computing Techniques, *Journal of Agronomy*, Vol 100(4), 1077-1087.
- Khoorani, A. 2010. Statistical rainfed wheat yield modeling based on agroclimatological and spectral indices in Kurdistan, Iran, requirements for the Ph.D in geography, Tarbiat Modares university.
- Klompenburg, T., Kassahun, A and Catal, C. 2020. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review, *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, Vol 177: 1-18.
- Mathieu, J and Aires, F. 2018. Assessment of the agro-climatic indices to improve crop yield forecasting., *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 253-254:15-30.
- Mkhabela, M.S; Bullock, P; Raj, S; Wang, S and Yang, Y. 2011. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data, *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 385-393.
- Moradi heidari, S. 2018. Climatic location of rainfed chickpea cultivation in Lorestan province, Great Pen Publishing, 90 pages.(In Farsi)
- Najafpour, Z. 2013. A look at the sugar market in Iran during the years 1380-1391. *Economic Journal*, 13(11), 131-142.(In Farsi)
- Olgun, M and Erdogan, S. 2009. Modeling crop yield potential of Eastern Anatolia by using geographically weighted regression, *Journal of Agronomy and Soil Science*, Vol 55(3), 255-263.
- Organization Of Agricultural-Jahad-Kermanshah Province. 2021. Chickpea planting calendar, 21 pages.
- India. *International Journal of Biometeorology*, 62:1809-1822.
- Dharmaraja., S, Jain., V, Anjoy., P and Chandra., H. 2019. Empirical Analysis for Crop Yield Forecasting in India, *Journal of Agric Res*, Vol 9(1), 132-138.
- Ebrahimi, M., Rezavardinejad, V and Majnooni-Harris, A. 2015. Dynamic Simulation through Aqua Crop of Maize Growth under Different Management Decisions of Water Application and Nitrogen Fertilizer Use, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(2), 207-220.(In Farsi)
- Eftekhari Mahabadi, S., Amini, S.M., Parsian, A and Zamani, H. 2018. Linear regression analysis with R. Tehran: Parsian Scientific Publications, 291 pages.(In Farsi)
- Everingham, Y., Sexton, J., Skocaj, D and Inman-Bamber, G. 2016. Accurate prediction of sugarcane yield using a random forest algorithm, *Journal of Agron.Sustain. Dev.*36(27), 1-9.
- Farajzadeh Asl, M., Khoorani, A., Bazgeer, S and Ziaei, P. 2012. The analysis of the agroclimatological indices and climatic elements effect on rainfed wheat in different phenological stages in Kurdistan province. *Journal of Spatial Planning (modares human sciences)*,15(4), 1-17.(In Farsi)
- Géron, A. 2019. *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn Keras and TensorFlow*, O'Reilly Media; 2nd edition:856 pages.
- Ghorbani, Kh; Khalili, A and Iran nejad, P. 2008. Regional estimation of rainfed wheat yield based on precipitation data. *Journal of agricultural research*, 8(1), 89-101.(In Farsi)
- Ghorbani, Kh; Teimourey, R and Salarijazi, M. 2021. Wheat yield estimation using satellite images in Golestan province, *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1), 38-52.(In Farsi)
- Gumma, M.K; Tummala , K; Dixit, S; Collivignarelli, F; Holecz, F; Kolli, R and Whitbread, A.M. 2020. Crop type identification and spatial mapping using Sentinel-2 satellite data with focus on field-level information, *Journal of GEOCARTO INTERNATIONAL*, <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1805029>:1-17.
- Haghpars, R. 2018. chickpea over meat. Tehran: Shalan Publishing, 147 pages.(In Farsi).
- Honar, T., Sabet Sarvestani, A., Kamgar Haghghi, A.A and Shams, S. 2011. Calibration of crop system model for growth simulation and yield estimation of canola. *Journal of Water and Soil*, 25 (3), 593-605.(In Farsi)
- IFPRI. 1994. World food trends and future food security. Food Policy Report, The International Food Policy Research Institute, Washington, DC: 25 pages.
- Jahangiri, A. and Haghpars, R. 2021. Personal interview. 2021/07/14.
- Jumrani, K and SinghBhatia, V. 2014. Impact of elevated temperatures on growth and yield of

- Sanainejad, H., Nasiri Mahallati, M., Zare, H., Salehnia, N and Ghaemi, M. 2013. Wheat yield estimation using landsat images and field observation: a case study in mashhad. *Journal of Plant Production*, 20(4), 45-63. (In Farsi)
- Sharma, A., Sood, R.K. and Kalubarme, M.H. 2004. Agrometeorological wheat yield forecast in Himachal Pradesh. *Journal of Agromet*, Vol6:153-160.
- Vaseghi, E and Esmaeili, A.A.K. 2008. Investigation of the economic impacts of climate change on iran agriculture: a ricardian approach (case study: wheat), *Journal of water and soil science*, 12(45), 685-696. (In Farsi)
- Whish, j and Cocks, B. 2011. Sowing date and other factors that impact on pod-set and yield in chickpea. GRDC Update paper Goondiwindi, Qld, www.grdc.com.au/Research-and-Development/GRDC-Update-Papers/2011/04/Sowing-date-and-other-factors-that-impact-on-podset-and-yield-in-chickpea
- Yaghouti, H., Pazira, E., Amiri, E and Masihabadi, M.H. 2018. Application of satellite imagery and remote sensing technology to estimate rice yield, *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 7(3), 55-68. (In Farsi)
- Yousefi, B., Boshag, B., Ebadouz, G., Bahrami, S., Tahmasebi, G., Barzegar, M., Karami, R and Majdam, M. 2015. Dry Beans Cultivation and Breeding. Tehran: Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Publications, 170 pages. (In Farsi)
- Zarei, F and Ganji Khorramdal, N. 2017. Simulation of Wheat Yield under Different Irrigation Management by CropSyst in ZARAGHAN, FARS Province, *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 8(29), 164-174. (In Farsi)
- Pirzadeh Moghaddam, M., Bagheri, A., and Malekzadeh-Shafaroudi, S., and Ganjeali, A. 2014. Multivariate statistical analysis in chickpea under limited irrigation. *Iranian Journal of Pulses Research*, (5)2:99-110.
- Rezapour, Sh; Jooyandeh, E; Ramezanzade, M; Mostafaeipour, A; Jahangiri, M; Issakhov, A; Chowdhury, Sh and Techato, K. 2021. Forecasting Rainfed Agricultural Production in Arid and Semi-Arid Lands Using Learning Machine Methods: A Case Study, *Journal of Sustainability*, 13(9), 2-28.
- Saadati, Z., Pirmoradian, N., Amiri, E and Rezaei, M . 2012. Assessment of WOFOST model in simulating yields of two rice varieties under different irrigation regimes, *Journal of Water Research in Agriculture*, 26 (3), 323-337. (In Farsi)
- Sadeghi, H; Azizi, Gh and Bazgeer, S. 2019. The relationship between climatic variables with yield and duration of growth stages of corn and irrigated wheat in Hasan Abad, Darab, Fars Province, *Journal of Geographical Sciences (Applied Geography)*, 15(31), 60-74. (In Farsi)
- Sadooghi, L., Homae, M., Norouzi, A and Asadi Kapourchal, S. 2015. Estimating rice yield using VSM model and satellite images in Guilan province, *Journal of Cereal Research*, 6(3), 397-410. (In Farsi)
- Sadr, S; Eslami, M. 2021. Determination of effective weather variables on pistachio yield using C&R decision tree algorithm, *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1), 53-62. (In Farsi)
- Saei, M. 2021. Effect of short and long term climate variations on rainfed wheat yield in Kerman province, *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1), 26-37. (In Farsi)
- Samiei nasab, M; Soleimani, Y; Abdi, S. 2016. Optimal Conceptual Model of Food Security of the Islamic Republic of Iran in the System of Resistance Economy, *Journal of Security Horizons*, 9(30), 65-96. (In Farsi)



Application of machine learning approach for Chickpea yield estimation based on Agroclimatological Indices (Case Study: Kermanshah region)

S. E. Momenpour¹, S. Bazgeer^{2*}, M. Moghbel³, H. Mohammadi⁴, S. M. Hossaini⁵, A. Abdollahi Kakroudi⁶

Received: 19/02/2022

Accepted: 27/08/2022

Abstract

This study aims to estimate the yield of spring chickpea using machine learning methods of linear regression models in Kermanshah region, west of Iran. The meteorological variables, agrometeorology and remotely-sensed based indices as predictor variables and yield data of Agricultural Jihad Organization of Kermanshah as a response variable were used for four growth stages during 1990-1991 to 2017-2018. Twenty four and three years data were used for training and model validation, respectively. The results revealed that among the linear models, Lasso model with a coefficient of determination of 67% and a standard error of 59.8 kg.ha⁻¹ was chosen as a best model for crop yield estimation in the emergence to 50% of flowering stages. This model has relative deviations of 0.4, -0.3 and 3.5 for the years 1997-1998, 2005-2006 and 2010-2011, respectively.

Keywords: Climate, Chickpeas Yield, Linear Models, Kermanshah



¹ Ph. D. Student, Agricultural Climatology, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran

² Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

(*Corresponding Author Email Address: sbazgeer@ut.ac.ir)

³ Assistant Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran

⁴ Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran

⁵ Associate Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran

⁶ Associate Professor, Remote Sensing and GIS Department, Faculty of Geography, University of Tehran

نحوه ارجاع مقاله:

مؤمن پور، س.ع.، بازگیر، س.، مقبل، م.، محمدی، ح.، حسینی، س.م.، عبدالهی کاکرودی، ع. ۱۴۰۱. کاربرد رهیافت یادگیری ماشین در تخمین عملکرد نخود بر اساس نمایه‌های اقلیمی-کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۳۷-۵۱.
DOI: 10.22125/agmj.2022.330478.1131

Momenpour, S. E., Bazgeer, S., Moghbel, M., Mohammadi, H., Hossaini, S. M., Abdollahi Kakroudi, A. 2023. Application of machine learning approach for Chickpea yield estimation based on Agroclimatological Indices (Case Study: Kermanshah region). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 37-51. DOI: 10.22125/agmj.2022.330478.1131