

مدل سازی آماری-جغرافیایی برآورد عملکرد نخود دیم در مناطق کشت عمده آن

در استان کرمانشاه

سیدعرفان مومن پور^۱، معصومه مقبل^۱، سعید بازگیر^{۲*}، عطاءاله عبدالهی کاکرودی^۱، حسین محمدی^۱، سیدموسی حسینی^۲

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

لزوم توجه به تفاوت‌های مکانی و زمانی به‌عنوان هسته‌ی علم جغرافیا و شناسایی موثرترین شاخص تاثیرگذار بر عملکرد نخود دیم در مناطق عمده کشت آن در استان کرمانشاه، از ویژگی‌های مهم این تحقیق است. برای رسیدن به این هدف ابتدا با استفاده از آمارنامه سطح زیرکشت و عملکرد محصولات زراعی، نقشه مناطق کشت عمده نخود دیم در استان کرمانشاه ترسیم شد. در مرحله بعد، با داشتن لایه نقشه رقومی مزارع نخود، مزارع این محصول بر روی تصاویر دریافتی سنجنده مادیس در سال‌های زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ استخراج گردید. در گام بعدی ۹ شاخص طیفی گیاهی در مرحله گل‌دهی این گیاه برای چهار منطقه اقلیمی کشت عمده آن، در بازه زمانی ۲۲ سال محاسبه گردید. این ۹ شاخص طیفی همراه با متغیر مجموع بارش دوره، به‌عنوان متغیر مستقل و داده‌های عملکرد به‌عنوان متغیر وابسته، وارد مدل رگرسیونی گام به گام گردید. نتایج نشان داد که در دوره گل‌دهی نخود، موثرترین شاخص‌ها بر تغییرپذیری عملکرد آن در شهرستان کرمانشاه، دو شاخص NDVI و بارش و در شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب، دالاهو و سنقر نیز به‌ترتیب، شاخص‌های NDVI، PVI و SAVI می‌باشند. نتایج اعتبارسنجی نیز نشان داد که میزان صحت مدل آماری شهر کرمانشاه در مقایسه با سایر شهرستان‌ها بیشتر بود. ضریب همبستگی مدل آماری تخمین عملکرد نخود در این شهرستان ۰/۶۹ با خطای معیار ۸۴ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین مقادیر انحراف نسبی مدل آماری این شهرستان نسبت به سایر مدل‌ها کمتر بود.

واژه‌های کلیدی: کشت دیم، عملکرد نخود، مدل آماری، کرمانشاه

مقدمه

نخود محصولی است که یک باران برای آن کم است و دو باران برای آن زیاد است. این عبارت بیانگر این واقعیت است که حتی در خشکسالی‌هایی که بارندگی برای تولید اقتصادی گندم کم است، این میزان بارندگی برای نخود کافی است (حق‌پرست، ۱۳۹۷). نخود گیاهی است که با ۵۰ تا ۶۰ میلی‌متر بارش بهاره حدود ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد می‌دهد و از گیاهانی است که در تناوب با غلات در شرایط دیم کاشت می‌شود و به دو سیستم کشت پاییزه و بهاره در تناوب با گندم قرار می‌گیرد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۵). از مزایای افزون نخود در سیستم تناوب کشت غلات می‌توان به افزایش حاصل‌خیزی خاک در اثر تثبیت ازت هوا، کاهش علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها در سال بعد برای مزرعه غلات اشاره کرد (ملا مصطفی، ۱۳۸۱). در سال‌های زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ که سال‌های کم باران و پرتنش در بیشتر مناطق دیم سردسیر و معتدل سرد در ایران بودند، مزارع نخود دیم از نظر عملکرد، برتری قابل توجهی نسبت به مزارع گندم داشت. براساس داده‌های حاصل از مشاهدات میدانی نگارنده در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، در روستای همیانک شهرستان کنگاور با بارش سالیانه ۲۸۰ میلی‌متر، عملکرد بعضی از مزارع نخود پاییزه حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار ولی عملکرد دانه گندم دیم ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در روستای چغاماران بخش میان‌در بند شهرستان کرمانشاه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ عملکرد بعضی از مزارع نخود بهاره ۹۵۰ کیلوگرم در

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشکی از جهان واقع شده است و تنش خشکی و بحران کم‌آبی تهدیدی جدی برای محصولات کشاورزی و امنیت غذایی بخصوص در میان اقشار کم‌درآمد، می‌باشد (محمدجانی و یزدانیان، ۱۳۹۳). در چنین شرایط بحرانی از نظر کمبود آب و تغییرات اقلیمی، کاشت و مصرف سرانه محصولات عمده غذایی در ایران مانند برنج که نیاز آبی زیادی هم دارد بالا است به طوری که مصرف بیش از حد آن‌ها سلامتی مردم ایران را با خطر جدی مواجه کرده است و شاهد این ادعا، آمار مرگ و میر بیماری‌های غیرواگیردار وابسته به تغذیه غلط است (عبدی و همکاران، ۱۳۹۴). براساس منابع موجود، کشور ایران خاستگاه اصلی برنج نیست و فقط سه استان گلستان، مازندران و گیلان که از لحاظ اقلیمی، آب و هوای آن‌ها مشابه مناطق خاستگاه اصلی برنج است از شرایط نسبتاً مناسب‌تری برخوردار هستند و در این مناطق برنج با فشار کمتری بر طبیعت و نیاز آبی کمتری از منابع آبی زیرزمینی تولید می‌شود (جهانگیری و همکاران، ۱۳۹۵)، درحالی که با استناد به منابع مهم گیاه‌شناسی و باستان‌شناسی، نخود حداقل ۹۵۰۰ سال قبل در منطقه هلال خیز از ترکیه تا ایران کشت می‌شده است و سپس به سایر مناطق دنیا گسترش یافته است (Yadav et al, 2006). بنابراین، نخود با شرایط مناطق کشورهای خاورمیانه سازگار است (Duke, 1981). طبق تجربیات کشاورزان پیشرو در استان کرمانشاه،

(NDVI^۱) سنجنده مادیس^۲، لوبل و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با به‌کارگیری یک روش نقشه برداری به نام SCYM^۳ و همچنین جانسون و همکاران (۲۰۱۶) با به‌کارگیری شاخص‌های گیاهی NDVI و EVI^۴ سنجنده مادیس و AVHRR^۵ در قالب مدل‌های رگرسیون چند متغیره و روش‌های یادگیری ماشین شبکه عصبی بیزین و MOB^۶ به تخمین عملکرد محصولات جو، کلزا و گندم بهاره پرداختند و به این نتیجه رسیدند که شاخص NDVI سنجنده مادیس، موثرترین شاخص گیاهی جهت تخمین عملکرد هر سه محصول می‌باشد. هولزمن و همکاران (۲۰۱۸) نیز با استفاده از شاخص خشکی دما-پوشش گیاهی (TVDI^۷) سنجنده مادیس که رطوبت سطحی خاک و تنش آبی گیاه را نشان می‌دهد عملکرد سه محصول گندم، ذرت و سویا را در مناطق اقلیمی کشاورزی پایای آرژانتین تخمین زدند و به این نتیجه رسیدند که بستگی به نوع محصول و منطقه، این شاخص با ضریب تعیین ۰/۵۵ تا ۰/۸۲ و خطای نسبی ۱۳ تا ۳۴ درصد، نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان داد که محاسبه شاخص TVDI در مناطق نیمه خشک می‌تواند در تخمین دقیق‌تر عملکرد محصول بسیار راهگشا باشد. از دیگر تحقیقات در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های

هکتار بود در حالی که در همین سال عملکرد مزارع گندم کمتر از ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. حیواناتی مانند نخود آن قدر مهم هستند که سازمان ملل متحد و سازمان خواربار و کشاورزی سال ۲۰۱۶ میلادی را برای مقابله با بحران کم آبی، افزایش حاصل‌خیزی خاک و ارتقای سلامت به نام سال حبوبات نام‌گذاری کرده است (مرادی حیدری، ۱۳۹۷). در رابطه با سلامت، نخود حدود ۲۰ درصد پروتئین (درحد گوشت) و ۶۰ درصد کربوهیدرات و الیاف غذایی محلول و نامحلول دارد که برای کاهش کلسترول و قند خون بسیار موثر است. همچنین این گیاه از فیبر، ویتامین B1، B2، B6، B9، آهن، فسفر، روی و ویتامین C، پتاسیم و منیزیم تشکیل شده است (مجنون حسینی، ۱۳۹۴). با این وجود آمارها نشان می‌دهد که سرانه مصرف سالانه گندم در ایران بین ۱۴۰ تا ۱۶۷ کیلوگرم، برنج ۳۶ تا ۴۲ کیلوگرم، گوشت ۳۶ کیلوگرم و نمک ۵ کیلوگرم، اما محصولی مانند نخود که نیاز آبی بسیار کمتر و ارزش غذایی بالایی دارد ۲/۹۶ کیلوگرم در سال است یعنی ۱۰ برابر کمتر از قند و دو کیلوگرم کمتر از نمک (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۵). با در نظر گرفتن این نکات و قیمت نخود در بازار، می‌توان به برتری اقتصادی نخود در سال‌های کم باران و ارزش این محصول پی برد.

در زمینه برآورد عملکرد محصولات زراعی تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است. مخابلا و همکاران (۲۰۱۱)، با محاسبه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده

1. Normalized Difference Vegetation Index

2. MODIS

3. Satellite-based Crop Yield Mapper (SCYM)

4. Enhanced Vegetation Index

5. Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)

6. Model-based Recursive Partitioning (MOB)

7. Temperature-Vegetation

Dryness Index (TVDI)

تحقیق نشان داد که استفاده از مدل بومی شده و شاخص‌های طیفی به برآورد این محصول با دقت مناسب کمک فراوانی می‌کند. یاقوتی و همکاران (۱۳۹۷) با برقراری روابط رگرسیونی بین عملکرد ارقام محلی و پرمحصول برنج در سال ۱۳۹۱ و شاخص‌های گیاهی NDVI، SAVI، RVI^۴ و DVI^۵ مستخرج از تصاویر ماهواره لندست ۷ در شالیزارهای شهرستان شفت، به این نتیجه رسیدند که بیشترین همبستگی بین عملکرد و شاخص‌ها در مرحله گلدهی برنج دیده می‌شود و شاخص NDVI بهترین شاخص جهت برآورد عملکرد برنج در منطقه است. شبیری و همکاران (۱۳۹۷)، کمالی و همکاران (۱۳۹۷)، باقری و همکاران (۱۳۹۹) و قربانی و همکاران (۱۴۰۰) از پژوهشگران دیگری هستند که با بهره‌گیری از مدل‌های آماری به بررسی رابطه شاخص‌های طیفی گیاهی یا متغیرهای مدیریت انسانی در رابطه با تخمین عملکرد یک محصول خاص در مناطق مختلف کشور پرداختند و مدل‌های ارائه شده توسط آن‌ها دقت قابل قبولی در برآورد عملکرد این محصول داشته است.

مکان و زمان دو مفهومی هستند که هسته اصلی تمام مطالعات جغرافیایی را تشکیل می‌دهند. لزوم توجه به تفاوت‌ها و تشابهات مکانی و سری‌های زمانی با یک دید ترکیبی و کلی در روند تحقیقات جغرافیایی بسیار با اهمیت است (شکوئی، ۱۳۹۲). اگرچه، در تحقیقات داخلی ذکر شده، شاخص‌های طیفی مختلفی در رابطه با

فرانچ و همکاران (۲۰۱۹)، فو و همکاران (۲۰۲۰)، ژائو و همکاران (۲۰۲۰) و رضاپور و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد که همگی با استفاده از فراسنج‌های سنجش از دور و روش‌های یادگیری ماشین عملکرد محصولات مختلف را مورد واکاوی قرار داده‌اند و به مدل‌های آماری مناسب با خطای کم در برآورد این محصولات دست یافته‌اند. در داخل کشور نیز می‌توان به پژوهش ثنائی نژاد و همکاران (۱۳۹۲) اشاره نمود که به وسیله تصاویر ماهواره لندست^۱، سنجنده TM و ETM+ سیزده مزرعه ی گندم را در دو سال ۱۳۸۸ و ۱۳۸۹ در شهرستان مشهد جهت تخمین عملکرد گندم آبی مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین همبستگی را با میزان عملکرد، شاخص‌های طیفی از نوع PD داشتند. محنت کش و همکاران (۱۳۹۵) به منظور تخمین عملکرد گندم دیم با استفاده از ۲۰۲ نقطه نمونه برداری شده، ۵۴ خصوصیت مختلف خاک، متغیرهای پستی و بلندی، بارندگی و مدیریت را به‌عنوان ورودی مدل‌های شبکه عصبی و رگرسیون چندگانه به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی کارایی بهتری در مقایسه با رگرسیون چندگانه خطی دارد. همچنین صدوقی و همکاران (۱۳۹۵) به کمک مدل بسیار ساده بومی و شاخص‌های گیاهی NDVI و SAVI^۲ و شاخص سطح برگ LAI^۳ سنجنده های مادیس و لندست ۸، به برآورد عملکرد برنج در ۲۰ مزرعه استان گیلان پرداختند. نتایج این

^۱ . Landsat

^۲ . Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)

^۳ . Leaf Area Index (LAI)

^۴ . Ratio Vegetation Index (RVI)

^۵ . Difference Vegetation Index (DVI)

می‌شود و دلیل اصلی انتخاب این استان به عنوان مکان جغرافیایی در این پژوهش همین مورد بوده است.

برای اجرای این پژوهش گام‌های متعددی طی شده است که بر حسب اولویت به مراحل زیر تقسیم بندی می‌شود:

الف) شناسایی مناطق عمده کشت نخود

در استان: بدین منظور از آمارنامه‌های سطح زیرکشت و عملکرد محصولات زراعی وزارت جهاد کشاورزی از بازه زمانی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹-۱۴۰۰ استفاده شد. شکل ۴ خوشه‌بندی مناطق مختلف استان کرمانشاه را از نظر سطح زیرکشت محصول نخود نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است مناطق عمده کشت نخود با رنگ قرمز و خطوط مرزی برجسته‌تر نشان داده شده‌اند و این مناطق شامل شهرستان‌های کرمانشاه با میانگین سطح زیرکشت ۳۲۳۰۷ هکتار، اسلام‌آباد غرب با میانگین سطح زیرکشت ۱۸۰۷۶ هکتار، کردکوی غرب با میانگین سطح زیرکشت ۱۵۰۶۹ هکتار و شهرستان سنقر با میانگین سطح زیرکشت ۱۲۰۱۲ هکتار می‌باشد. لازم به ذکر است که شهرستان‌های نامبرده طبق روش طبقه بندی اقلیمی کشاورزی پاپاداکیس دارای اقلیم مدیترانه‌ای بری بوده و جزء مناطق نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های خنک به حساب می‌آیند. البته در این میان دو منطقه کردکوی غرب و سنقر نسبت به کرمانشاه و اسلام‌آباد غرب اقلیم سردتری دارند (بازگیر و همکاران، ۱۳۹۷).

عملکرد مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفته است و طبق نتیجه‌گیری‌های حاصل از این تحقیقات، مدل‌های قابل قبولی ارائه گردیده است اما بیشتر این پژوهش‌ها، مطالعه موردی شان را تنها به یک منطقه محدود کرده‌اند و یا اینکه منطقه مورد مطالعه آن‌ها بسیار کوچک است. از نظر زمانی هم، این تحقیقات در یک دوره اقلیمی بلندمدت انجام نشده است. بنابراین این پژوهش قصد دارد که ابتدا مناطق کشت عمده نخود را در استان کرمانشاه که همواره از قطب‌های اصلی تولید نخود در کشور بوده است شناسایی کرده و سپس برای هر منطقه جغرافیایی با اجرای مدل رگرسیونی گام به گام، مهم‌ترین شاخص تاثیرگذار بر نوسانات عملکرد این محصول را تعیین کند. متغیرهای مستقل مورد استفاده در این مدل، شاخص‌های طیفی گیاهی و بارش هستند و عملکرد محصول نخود به‌عنوان متغیر وابسته در مدل به کار رفته است.

مواد و روش‌ها

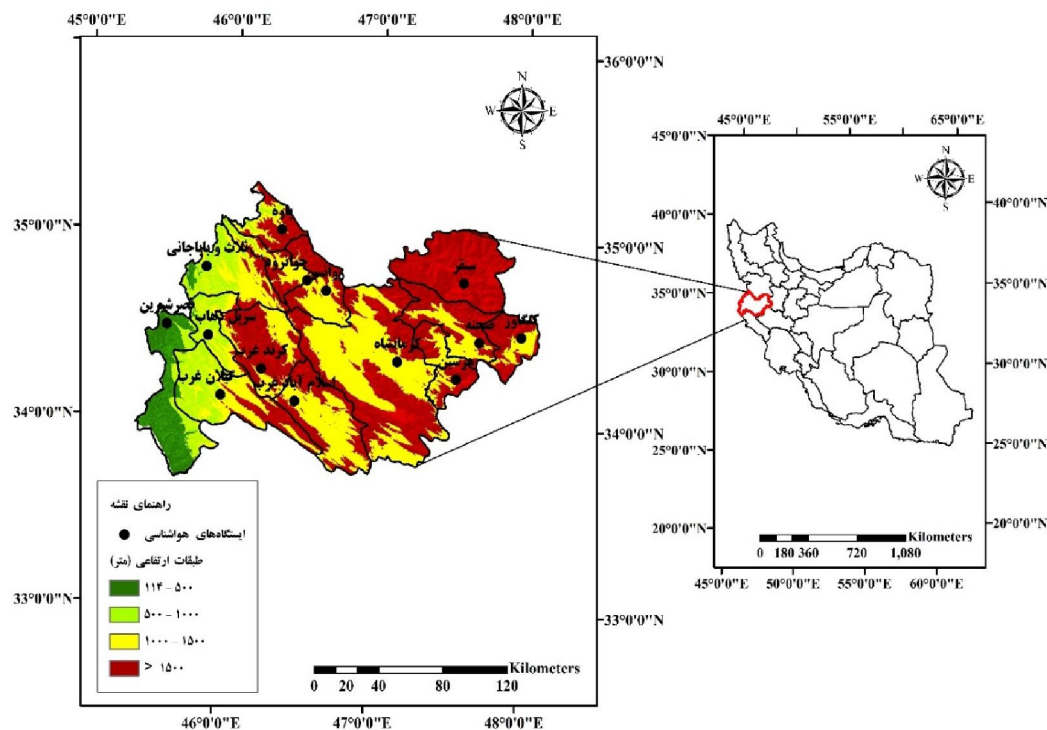
منطقه مورد مطالعه: استان کرمانشاه از استان‌های غربی کشور است (شکل ۱) که براساس آمارنامه محصولات زراعی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸-۱۳۹۹ با میانگین سطح زیرکشت ۱۳۰۷۳۷ هکتار (شکل ۲) و میانگین عملکرد ۴۷۷ کیلوگرم در هکتار (شکل ۳) در مقایسه با سایر استان‌ها و سطح کشور، همواره به عنوان قطب اصلی تولید نخود بوده و حدود ۲۷ درصد نخود کشور تنها در این استان تولید

بخش دریافت گردید. در جدول ۱ چهار مرحله

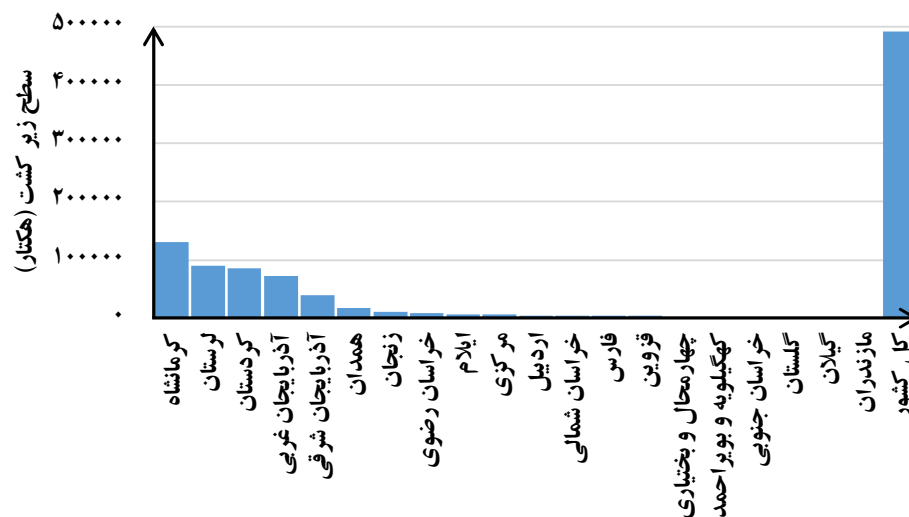
ب) دریافت اطلاعات مربوط به کاشت و

مراحل رشد گیاه نخود: با مراجعه به سازمان

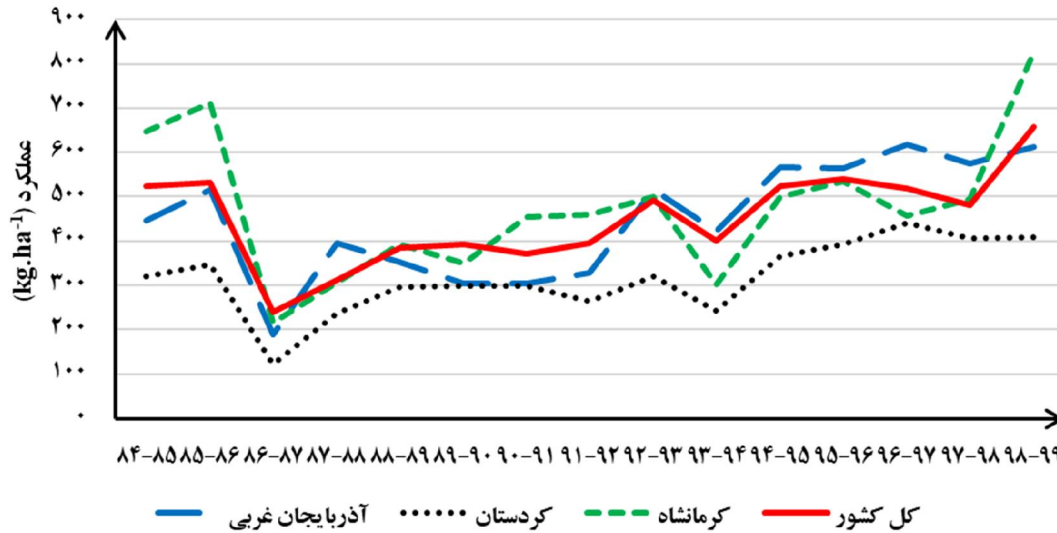
جهاد کشاورزی استان کرمانشاه اطلاعات این



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی استان کرمانشاه به همراه ایستگاه‌های هواشناسی



شکل ۲- نمودار میانگین سطح زیر کشت نخود در استان کرمانشاه در مقایسه با سایر استان ها و کل کشور (۱۳۹۸-۱۳۸۴)



شکل ۳- نمودار روند تغییرات عملکرد نخود استان کرمانشاه در مقایسه با دو قطب دیگر نخود و کل کشور (۱۳۹۸-۱۳۸۴)

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 بعدی 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 با فراخوانی نقشه رستری کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ موسسه پژوهش‌های زیست محیطی (ESRI) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، زمین‌های زراعی آن برای کل استان از نقشه رستری^۲ جدا شد. این نقشه دارای دقت مکانی ۱۰ متری است. در مرحله بعد این نقشه را به صورت یک شیب فایل^۳ فرشرده در محیط Google Earth Engine فراخوانی کرده و سپس تمامی تصاویر بازتاب

مهم رشد نخود برای هریک از شهرستان‌های استان نمایش داده شده است که در این پژوهش تخمین عملکرد نخود در مرحله گل‌دهی مدنظر بوده است. بنابراین با کمک اطلاعات مربوط به درجه روز- رشد مراحل مختلف، زمان رسیدن به مراحل مذکور، برای سال‌های زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ استخراج گردید.

ج) شناسایی زمین‌های زراعی کشت نخود در مناطق مختلف استان کرمانشاه:

برای شناسایی زمین‌های کشت نخود در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ ابتدا با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی مدل گارمین (Garmin, 2020). به ۱۴ منطقه مورد مطالعه رفته و موقعیت جغرافیایی ۱۰۰ قطعه زمین زراعی که بیش از دو دهه در سال‌های زوج و فرد به تناوب در آن‌ها نخود و گندم کاشت می‌شد ثبت گردید. از این ۱۰۰ مزرعه، ۵۰ قطعه نخود و ۵۰ قطعه آن گندم بودند. علت ثبت موقعیت جغرافیایی زمین‌های

¹ . Environmental Systems Research Institut (ESRI)

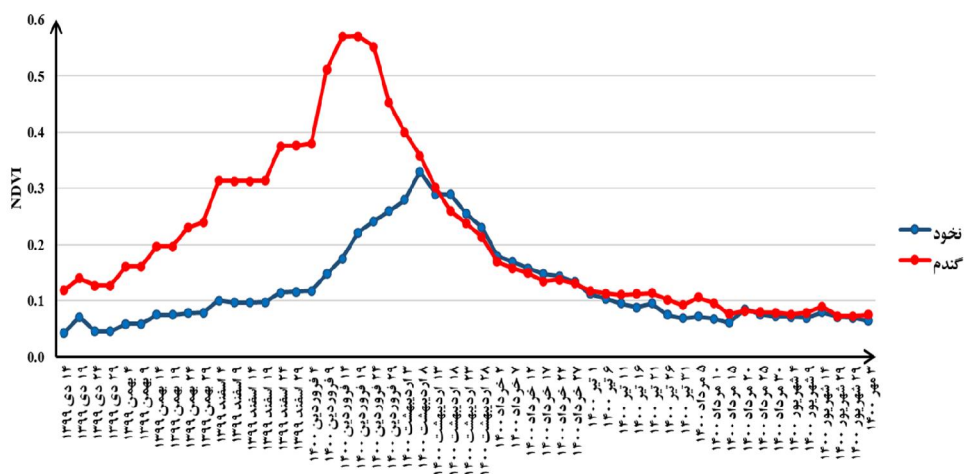
² . Raster Map

³ . Shape File

جدول ۱- مراحل رشد نخود بهاره در مناطق مختلف اقلیمی استان کرمانشاه

درجه	شهرستان‌ها		شهرستان‌ها		شهرستان‌ها		مراحل رشد
	کنگاور، سنقر و کرد	کرمانشاه، اسلام آباد غرب، جوانرود، روانسر، پاوه، صحنه، هرسین و بخش گوار گیلان غرب	سرپل ذهاب، گیلان غرب، ثلاث باباجانی و قصر شیرین	تعداد روز	بازه زمانی کشت	تعداد روز	
روز-رشد	۱ فروردین	۱۵ اسفند	۲۰ بهمن	-	-	-	تاریخ کاشت
جوانه زنی تا سبز شدن	۲۰ تا ۱ فروردین	۱۸ تا ۱۵ اسفند	۱۴ تا ۲۰ بهمن	۱۱۵	۱۷ فروردین تا ۴ اسفند	۱۴ تا ۲۰ بهمن	۴ تا ۲۰ بهمن اسفند
سبز شدن تا ساقه دهی	۲۰ فروردین تا ۵ خرداد	۴۴ تا ۴ فروردین	۴۳ تا ۱۷ فروردین	۶۷۱	۱۷ فروردین تا ۴ اسفند	۴۳ تا ۱۷ فروردین	۱۷ فروردین تا ۴ اسفند
گلدهی	۲۲ تا ۵ خرداد	۲۱ تا ۱۷ اردیبهشت	۲۰ تا ۱۷ فروردین	۹۹۴	۱۷ فروردین تا ۶ اردیبهشت	۲۰ تا ۱۷ فروردین	۱۷ فروردین تا ۶ اردیبهشت
رسیدگی	۲۰ تا ۲۷ خرداد	۱۹ تا ۷ خرداد	۱۸ تا ۶ اردیبهشت	۱۱۴۰	۶ اردیبهشت تا ۲۴ اردیبهشت	۱۸ تا ۶ اردیبهشت	۶ اردیبهشت تا ۲۴ اردیبهشت
فصل رشد	۱۰۸ تا ۱۰۲	۱۰۲ تا ۹۵	۹۵ تا ۲۲۴۸	۲۲۴۸	۹۵ تا ۲۲۴۸	۹۵ تا ۲۲۴۸	۹۵ تا ۲۲۴۸
برداشت	نیمه دوم تیر	اواخر خرداد	آخر اردیبهشت				

۹. لازم به ذکر است که برای نخود پاییزه تاریخ کاشت در بازه زمانی ۱۵ آبان تا ۱۵ آذر بعد از اولین بارندگی موثر می باشد که برای تمامی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۷۸ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در نرم افزار Excell محاسبه گردید. تاریخ مراحل ساقه دهی، گل دهی و رسیدگی نخود پاییزه همانند نخود بهاره می باشد.



شکل ۵- نمونه‌ای از میانگین بیشینه رفتار NDVI در دو قطعه زمین نخود و گندم در دهستان کوزران شهر کرمانشاه (

(۲۰۲۱)

سال‌های زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ هستند.

د) دریافت تصاویر پوشش گیاهی و دمای

سطح زمین سنجنده مادیس: در این مرحله برای بازه زمانی گل‌دهی نخود که تاریخ آن قبلاً در جدول ۱ ذکر شد، تصاویر پوشش گیاهی سنجنده مادیس نوع پروداکت: (MOD13Q1 Version 6) و تصاویر دمای سطح زمین آن (MYD11A2 Version 6)، از وبگاه سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS.gov) مطابق با جدول ۲ دریافت گردید. با ذکر این نکته که تمامی این تصاویر، تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری بر روی آن‌ها صورت گرفته و تصاویر بازتاب سطح زمین^۳ هستند.

ه) محاسبه نمایه‌های گیاهی همراه با شاخص خشکی سطح خاک (TVDI)

بر روی تصاویر پروداکتی اخذ شده مرحله قبل (MOD13Q1 Version 6)، فقط دو شاخص NDVI و EVI محاسبه شده است و محدوده اعتبار^۴ آن‌ها ۲۰۰۰- تا ۱۰۰۰۰ است که باید کل اعداد تصویر در ضریب فاکتور^۵: ۰/۰۰۰۱ ضرب شود تا در محدوده +۱ تا -۱ قرار بگیرند. سایر شاخص‌ها از جمله: شاخص‌های DVI، GEMI^۶، ARVI^۷، SAVI^۸، MSAVI^۸، PVI^۹، LAI بر روی

سطح زمین^۱ مربوط به ماهواره سنتینل ۲ در سال ۲۰۲۱ را در این محیط فرخوانی و NDVI مربوط به آن‌ها محاسبه شد.

در گام بعدی مختصات ۱۰۰ قطعه زمینی که از قبل مشخص شده بود را روی نقشه NDVI ثبت کرده و از این طریق، رفتار NDVI زمین‌های حاوی نخود و گندم، با اجرای یک کد دستوری در قالب نمودار همانند شکل ۵ به دست آمد و در نهایت با استفاده از روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان^۲ که خطای کمتری داشت با دادن نقاط آموزشی (مختصات زمین‌ها) نقشه زمین‌های زراعی نخود و گندم به دست آمد و سپس در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، لایه زمین‌هایی که نخود بودند برای سال ۲۰۲۱ جدا شد که نقشه آن در شکل ۶ مشاهده می‌شود. برای سال ۲۰۲۰ نیز با کمک رفتار طیفی NDVI شناسایی شده نخود و گندم و با استفاده از اطلاعاتی که از مراحل رشد نخود از سازمان جهاد کشاورزی در مرحله الف به دست آمده بود مطابق همین روند نقشه پلیگونی زمین‌های زراعی نخود به دست آمد. اما برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ بسته به زوج یا فرد بودن آن‌ها از همان لایه‌های پلیگونی زمین‌های نخود سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۰، برای شناسایی مناطق نخود استفاده شد زیرا بیشتر این زمین‌های نخود برای سال‌های پیاپی ثابت هستند و نخود در آن‌ها کاشت می‌شود. لازم به ذکر است که سال‌های میلادی ۲۰۰۰-۲۰۲۱ معادل با

۳. Surface Refelctance

۴. Valid Range

۵. Scale Factor

۶. Global Environmental Monitoring Index (GEMI)

۷. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)

۸. Modified Soil-adjusted Vegetation Index (MSAVI)

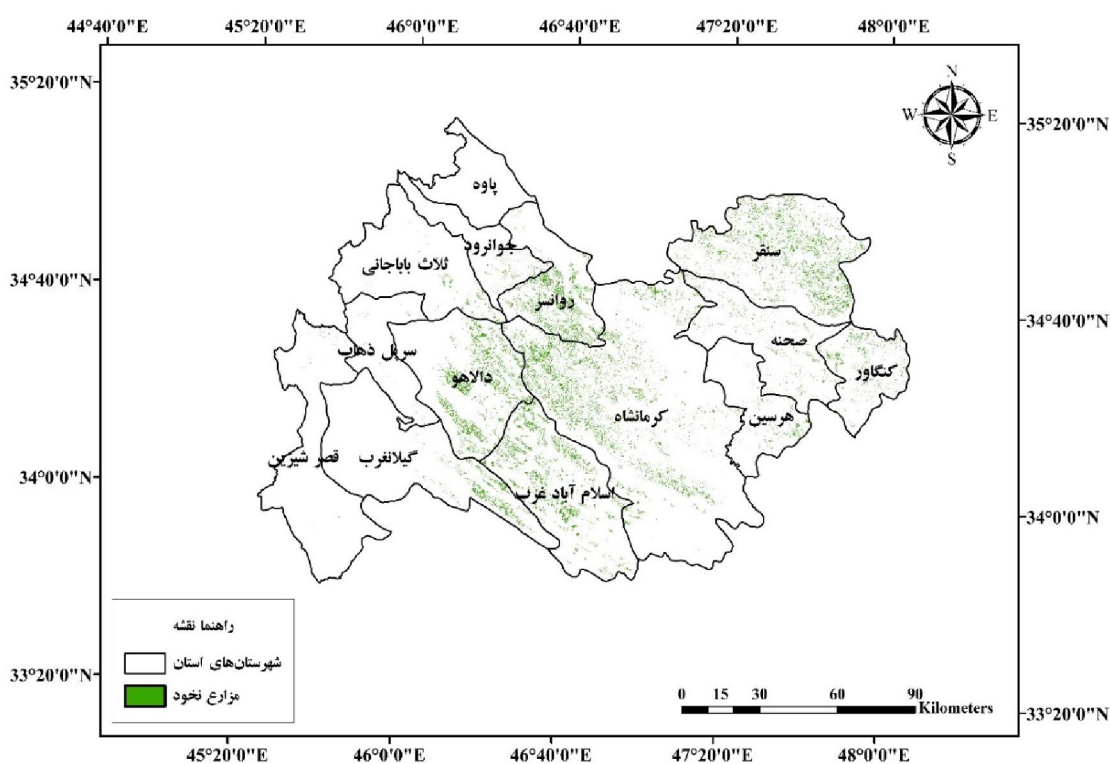
۹. Perpendicular Vegetation Index (PVI)

۱. Surface Refelctance

۲. Support Vector Machine (SVM)

به‌عنوان متغیرهای پیشگو (مستقل) محاسبه گردید. شاخص TVDI نیز با استفاده از معادله آن و به‌کارگیری تصاویر دمای سطح زمین (MYD11A2 Version 6) و تصاویر NDVI تهیه شده برای سال‌های مذکور در این مناطق محاسبه گردید (جدول ۳).

تصاویر محاسبه نشده و توسط خود نویسندگان برای هریک از سال‌های زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ تا ۱۴۰۰ در هریک از چهار شهرستان کرمانشاه، سنقر، اسلام آباد و کرند غرب محاسبه شد. این شاخص‌ها با استفاده از معادلات آن‌ها و محاسبات ریاضی بین باندهای قرمز، مادون قرمز و آبی تصاویر مادیس (MOD13Q1Version 6.1)



شکل ۶- نقشه زمین‌های نخود دیم استان کرمانشاه در سال ۲۰۲۱

جدول ۲- اطلاعات مربوط به تصاویر دانلود شده سنجنده مادیس در سال‌های (۲۰۰۰-۲۰۲۱)

نام و نوع تصویر مادیس	تعداد	تاریخ تصویر دریافت شده از منطقه در مرحله گل دهی
MOD13Q1Version 6	۲۲ تصویر در ۲۲ سال	برای مناطق کرمانشاه و اسلام آباد غرب (۴ یا ۵ خرداد هر سال)
MYD11A2 Version 6		برای مناطق سنقر و کرند غرب که اقلیم سردتری دارند (۲۰ یا ۲۱ خرداد هر سال)

جدول ۳- روابط نمایه‌های مورد استفاده در این تحقیق

منبع	رابطه	اختصار	نام شاخص
Jensen, 2005	NIR - RED	DVI	شاخص گیاهی تفاضلی
Rouse <i>et al</i> , 1974	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	NDVI	شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده
Huete <i>et al</i> , 1997	$G \times \frac{(NIR - RED)}{NIR + C_1 \times RED - C_2 \times BLUE + 1}$	EVI	شاخص گیاهی بهبود یافته
Pinty and Verstraete, 1992	$\eta \times (1 - 0.25\eta) - \frac{RED - 0.125}{1 - RED}$	GEMI	شاخص نظارت زیست محیطی جهانی
Kaufman and Tanre, 1992	$\frac{NIR - (2 \times RED - BLUE)}{NIR + (2 \times RED - BLUE)}$	ARVI	شاخص گیاهی مقاوم در برابر عوامل جوی
Hute, 1988	$\frac{((1 + L) \times (NIR - RED))}{(NIR + RED + L)}$	SAVI	شاخص گیاهی تعدیل شده اثر خاک
Qi <i>et al</i> , 1994	$S \times \frac{(NIR - S \times RED - a)}{(a \times NIR + RED - a \times S + X \times (1 + S \times S))}$	MSAVI	شاخص گیاهی تعدیل شده اثر خاک بهبود یافته چندطیفی
Richardson and Wiegand, 1977	$\sin(a) \times NIR - \cos(a) \times RED$	PVI	شاخص گیاهی عمود شده
Boegh, 2002	$3.618 \times EVI - 0.118$	LAI	شاخص سطح برگ (روش تجربی)
Sandholt <i>et al</i> , 2002	$\frac{T_s - T_{smin}}{a + b(NDVI) + T_{smin}}$	TVDI	شاخص خشکی دما-پوشش گیاهی

^a در معادلات بالا، منظور از NIR باند مادون قرمز، RED باند قرمز و BLUE باند آبی می باشد.

^b در محاسبه شاخص EVI استخراج شده از تصاویر مادیس، مقدار G برابر با ۲/۵ و مقادیر C₁ و C₂ به ترتیب برابر با ۶ و ۷/۵ می باشد.

^c مقدار η در معادله شاخص GEMI از طریق رابطه مقابل به دست می آید: $\eta = \frac{2 \times (NIR^2 - RED^2 + 1.5 \times NIR^2 + 0.5 \times RED)}{(NIR + RED + 0.5)}$

^d در معادله SAVI، L فاکتور تصحیح کننده خاک است و مقدار آن می تواند از صفر تا ۱ باشد (تراکم کم گیاهی: ۱، تراکم متوسط: ۰/۵ و تراکم بالا: ۰).

^e در معادله MSAVI: a عرض از مبدا خط خاک S شیب خط خاک X فاکتور تعدیل کننده نویز خاک که مقدار آن در مقالات علمی برابر با: ۰/۰۸ است.

^f در معادله TVDI: T_s: دمای سطح زمین (کلوین) T_{smin}: کمینه دمای سطح زمین (کلوین) $a + b(NDVI)$ همان T_{smax} یا بیشینه دمای سطح زمین (کلوین) می باشد که a و b به ترتیب عرض از مبدا و شیب رابطه خطی بین بیشینه دما و پوشش گیاهی (NDVI) هستند.

۱۳۷۸-۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ معادل با سال‌های (۲۰۰۰-۲۰۲۱) استفاده شد.

ز) داده‌های عملکرد گیاه نخود (متغیر وابسته): داده‌های مذکور از وزارت جهاد کشاورزی بخش آمار و فناوری اطلاعات در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹-۱۴۰۰ برای هر یک از چهار شهرستان کرمانشاه، اسلام

و) دریافت داده های اقلیمی (متغیر پیشگو)

در این بخش از داده های مربوط به بارش (Baresh) ایستگاه‌های هواشناسی چهار شهرستان کرمانشاه، اسلام آباد غرب، دالاهو و سنقر در مقیاس زمانی روزانه برای دوره کاشت تا گل دهی محصول در هریک از سال‌های زراعی

سال آن نزدیک به میانگین و سال دیگر پایین تر از میانگین باشد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۸). در نهایت برای هریک از شهرستان‌ها مدلی انتخاب گردید که نسبت به سایر مدل‌ها در مرحله آموزش، دارای بیشترین ضریب تعیین تعدیل شده^{۲۵} و کمترین خطای جذر میانگین مربعات^{۲۶} و در مرحله اعتبارسنجی نیز دارای کمترین مقدار انحراف نسبی^{۲۷} باشد (بازگیر، ۱۳۹۴). معادله ۱ نحوه محاسبه شاخص انحراف نسبی را نشان می‌دهد:

$$RD = ((Y_e - Y_a) / Y_a) \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، RD مقدار انحراف نسبی و Y_e و Y_a به ترتیب مقدار عملکرد تخمینی و عملکرد واقعی می‌باشند.

در شکل ۷ طرح واره فرایند انجام تحقیق حاضر نشان داده شده است.

نتایج و بحث

مطابق با آنچه در بخش روش تحقیق بیان شد نه شاخص طیفی گیاهی در دوره گل‌دهی برای هریک از مناطق عمده کشت نخود در استان کرمانشاه در بازه زمانی ۲۲ سال یعنی از سال زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ تا ۱۴۰۰-۱۳۹۹ محاسبه شد که به دلیل تعداد بسیار زیاد تصاویر و رعایت

آباد غرب، دالاهو و سنقر اخذ گردید (وزرات جهاد کشاورزی، ۱۴۰۰).

ح) مدل مورد استفاده: متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق که شامل شاخص‌های طیفی گیاهی و متغیر بارش می‌شد با همدیگر همبستگی بالایی دارند. زمانی که همبستگی بین متغیرها شدید باشد و این متغیرها به مدل خطی آماری وارد شوند، مدل ایجاد شده دارای اعتبار نخواهد بود و ضرایب متغیرها نیز خیلی بزرگ یا کوچک خواهند بود و مشکلاتی مانند بیش‌برازش و کم‌برازش در تخمین عملکرد سال‌هایی که برای اعتبارسنجی کنار گذاشته شده‌اند رخ خواهد داد. یکی از راه‌حل‌ها برای رفع این مشکل استفاده از مدل رگرسیونی گام به گام است (افتخاری و همکاران، ۱۳۹۷). در روش گام به گام با ورود هر متغیر پیشگوی 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 گام به گام 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 (فرج‌زاده، ۱۳۹۴).

ط) اعتبارسنجی مدل و نحوه انتخاب مدل نهایی: بدین منظور از روش اعتبارسنجی Hod Out استفاده شد به این صورت که برای هر شهرستان ۱۹ نمونه از داده‌ها به‌عنوان متغیرهای مستقل و وابسته جهت آموزش و سه نمونه باقیمانده جهت اعتبارسنجی مدل به کار برده شد. سه سال اعتبارسنجی طوری انتخاب شدند که یک سال آن مقدار عملکرد بالاتر از میانگین، یک

²⁵ . Adjusted R²

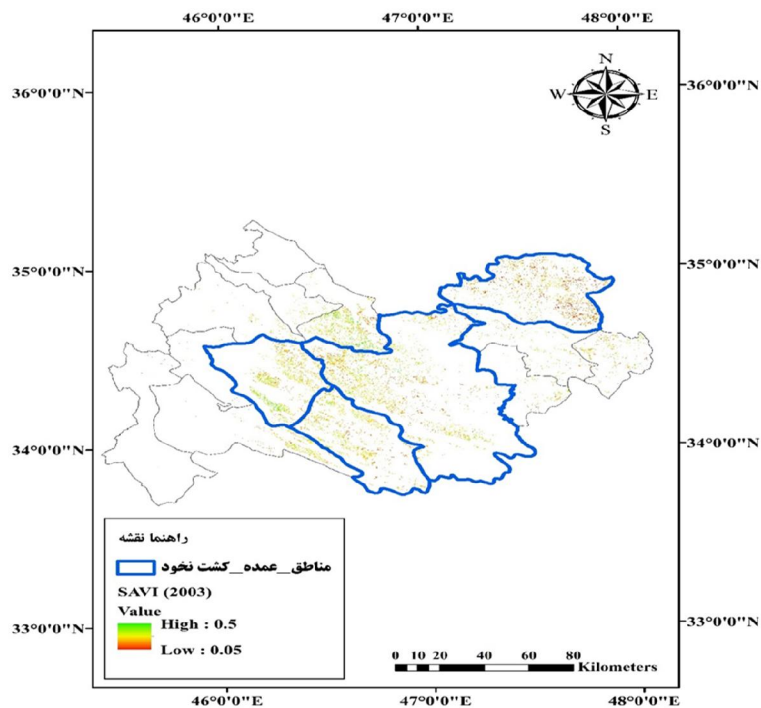
²⁶ . Root Mean Square Error

²⁷ . Relative Deviation

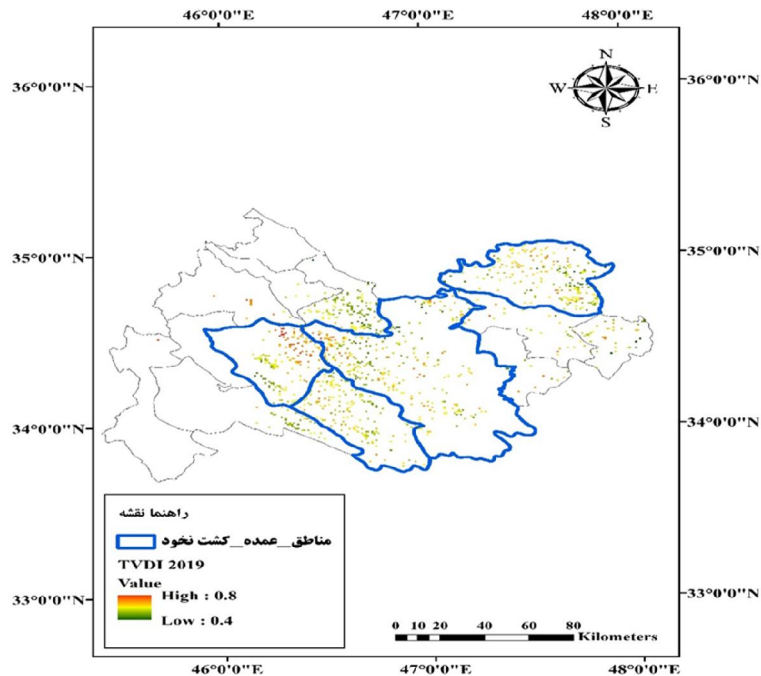
ایجاز، تنها دو نمونه از تصاویر مربوط به این دوره در اشکال ۸ و ۹ آورده شده است.



شکل ۷- روند نمای مراحل انجام روش پژوهش



شکل ۸- نمایه گیاهی SAVI مزارع نخود در استان کرمانشاه (سال زراعی ۱۳۸۱-۱۳۸۲)



شکل ۹- نمایه گیاهی TVDI مزارع نخود در استان کرمانشاه (سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸)

برای مرحله گل‌دهی در شهرستان‌هایی که کشت نخود در آن‌ها به‌طور عمده صورت می‌گیرد نشان می‌دهد. در جدول ۴ نتایج این مدل‌ها در مرحله آموزش و در جدول ۵ نتایج آن‌ها برای مرحله اعتبارسنجی، محاسبه شده است. لازم به ذکر است که تمامی شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش، با مقدار عملکرد نخود در مناطق مورد بررسی، همبستگی خطی قابل توجهی داشتند اما طبق نتایج مدل رگرسیونی گام به گام که در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است متوجه می‌شویم که موثرترین شاخص‌ها بر تغییرپذیری عملکرد در دوره گل‌دهی نخود، برای شهرستان کرمانشاه دو شاخص NDVI و بارش هستند. برای شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب، دالاهو و سنقر نیز به ترتیب، NDVI، PVI و SAVI تاثیرگذارترین شاخص‌ها بر نوسانات عملکرد نخود در طی ۲۲ سال مورد بررسی می‌باشند. براساس شکل ۱، ارتفاع شهرستان‌های دالاهو و سنقر نسبت به دو شهرستان کرمانشاه و اسلام‌آباد غرب خیلی بالاتر است. با استناد به همین شکل و مطابقت آن با شکل ۶ مشخص می‌شود که در دو شهرستان نامبرده، بخش عمده‌ای از زمین‌های نخود با شیب تنیدی در کوهپایه‌های همین ارتفاعات واقع شده‌اند. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در این مناطق شاخص‌های تعدیل‌کننده اثر خاک مانند PVI و SAVI بهتر می‌توانند نوسانات عملکرد نخود را پیش‌بینی کنند.

نتایج مدل رگرسیونی گام به گام در جدول ۴ نشان می‌دهد که ۴۲٪ تغییرات عملکرد نخود در

در شکل ۸، وضعیت شاخص SAVI مناطق عمده کشت نخود شامل شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، دالاهو و سنقر در سال ۱۳۸۲-۱۳۸۱ آورده شده است. با نگاه به این نقشه و رنگ‌بندی وضعیت این شاخص در قسمت راهنمای آن، متوجه می‌شویم که مقادیر این شاخص در مزارع شهرستان دالاهو از سایر شهرستان‌های تحت مطالعه بیشتر است. در این سال عملکرد نخود در این شهرستان ۴۳۵/۷ کیلوگرم در هکتار بوده و بالاترین میزان عملکرد را داشته است. کمترین میانگین شاخص SAVI با مقدار ۰/۲۲ در شهرستان سنقر بوده و مقدار عملکرد نخود این شهرستان در این سال ۳۸۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. در شکل ۹ نتایج شاخص TVDI برای استان کرمانشاه و مناطق عمده کشت آن (رنگ مرزی آبی) در سال ۱۳۹۷-۱۳۹۸ ارائه شده است. براساس نتایج بدست آمده از این شاخص چنین استنباط می‌شود که بیشتر زمین‌های نخود، دوره‌ای به دور از تنش آبی را تجربه کرده‌اند و سال مذکور سال پربارشی بوده است. در این سال زراعی، شهرستان‌های دالاهو، اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه و دالاهو به ترتیب ۸۸۸، ۸۱۳، ۶۵۷ و ۵۰۱ میلی‌متر بارش داشته‌اند. لازم به ذکر است که مقدار شاخص TVDI از ۰ تا ۱ می‌باشد که مقادیر نزدیک به صفر بیان‌گر رطوبت سطحی بیشتر و هر قدر این شاخص به ۱ نزدیک شود نشان از وجود تنش گیاهی از نظر رطوبت و خشکسالی شدید است. جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب نتایج مدل رگرسیونی گام به گام را در تخمین عملکرد نخود

جدول ۴- نتایج مدل رگرسیون گام به گام در مناطق کشت عمده نخود استان کرمانشاه (مرحله آموزش)

ردیف	نام شهرستان	معادله رگرسیونی	مرحله آموزش مدل		
			RMSE (Kg.h ⁻¹)	Adjusted R ²	R
۱	کرمانشاه	Yield = 99.1 + 426.4 (NDVI) + 0.4 (Baresh)	84.2	0.42	0.69*
۲	اسلام آباد غرب	Yield = -116.9 + 1690.2 (NDVI)	70.4	0.75	0.87**
۳	دالاهو	Yield = 679.2 + 2742.2 (PVI)	91.8	0.43	0.68**
۴	سنقر	Yield = - 158.3 + 2449.5 (SAVI)	73.9	0.57	0.77**

* معنی دار در سطح ۵ درصد (p<0.05).

** معنی دار در سطح ۱ درصد (p<0.01).

جدول ۵- نتایج مدل رگرسیون گام به گام در مناطق کشت عمده نخود استان کرمانشاه (مرحله اعتبارسنجی)

ردیف	نام شهرستان	مقدار انحراف نسبی (%)		
۱	کرمانشاه	سال ۱۳۸۵-۱۳۸۴	سال ۱۳۹۲-۱۳۹۱	سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰
		- ۳۵/۵	- ۸/۳	۱۳/۷
۲	اسلام آباد غرب	سال ۱۳۸۴-۱۳۸۳	سال ۱۳۹۰-۱۳۸۹	سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶
		- ۳۳/۷	۱۰۴/۳	۱۳/۳
۳	دالاهو	سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵	سال ۱۳۹۰-۱۳۸۹	سال ۱۳۹۹-۱۳۹۸
		- ۱۸/۷	۶۸/۳	- ۰/۳
۴	سنقر	سال ۱۳۸۲-۱۳۸۱	سال ۱۳۸۵-۱۳۸۴	سال ۱۳۹۰-۱۳۸۹
		۰/۰۵	- ۳۹/۸	۸۳/۴

NDVI و بارش می باشد. با اجرای تابع relweights در محیط R مشخص شد که اثر متغیر بارش بر تغییرپذیری عملکرد نخود در مرحله گل دهی بیشتر از شاخص NDVI است (شکل ۱۰).

با نگاه و تحلیل جدول ۴ درمی یابیم که در شهرستان های اسلام آباد غرب، دالاهو و سنقر نیز به ترتیب سه شاخص NDVI، PVI و SAVI در دوره گل دهی نخود، علت ۷۵٪، ۴۳٪ و ۵۷٪ از نوسانات عملکرد گیاه نخود می باشند. RMSE

شهرستان کرمانشاه ناشی از دو شاخص NDVI و بارش در دوره گل دهی این گیاه است به شرطی که سایر متغیرهای تاثیرگذار، ثابت باشند. مقدار خطای این مدل در مرحله آموزش ۸۴/۲ کیلوگرم در هکتار می باشد. نمایه های عامل تورم پراش (VIF^۱) و مقدار تحمل^۲ این مدل رگرسیونی به ترتیب برابر با ۱/۵ و ۰/۷ و همچنین مقدار آماره داربین واتسون^۳ آن برابر با ۱/۳ بود (جدول ۶) که براساس منابع معتبر (امینی و همکاران، ۱۳۹۸ و عساکره، ۱۳۹۰) مقدار این آماره ها بیانگر نبود هم خطی بین متغیرهای مستقل

1. Variance Inflation Factor

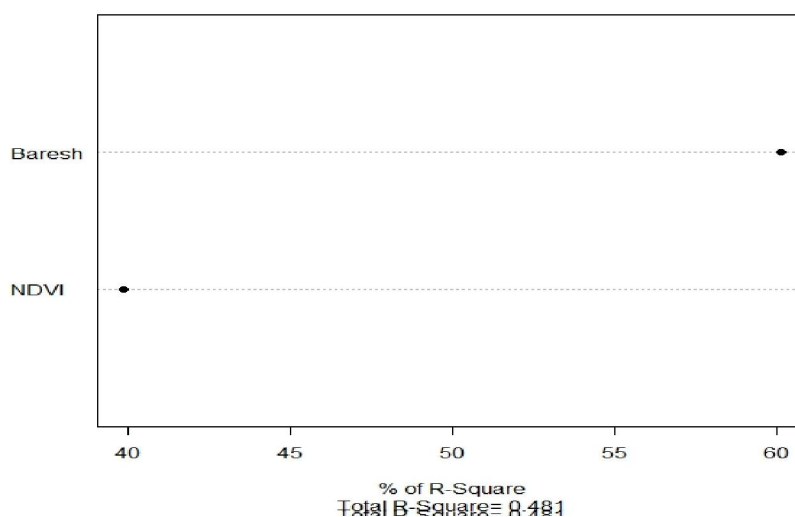
2. Tolerance

3. Durbin Watson

جدول ۶- نتایج رابطه هم خطی بین متغیرهای مستقل بارش و NDVI مدل رگرسیون گام به گام برای شهرستان کرمانشاه

Model	Unstandardized Coefficients		Collinearity Statistics		Durbin-Watson
	B	Std. Error	Tolerance	VIF	
Kermanshah (Constant)	99.123	92.316			
Baresh	.399	.183	.661	1.513	1.3
NDVI	426.423	324.191	.661	1.513	

Relative Importance of Predictor Variables



شکل ۱۰- میزان اهمیت و تاثیر دو متغیر بارش (Baresh) و NDVI بر تغییرپذیری عملکرد نخود در دوره گل دهی در شهرستان کرمانشاه

در مرحله اعتبارسنجی، مدل رگرسیونی مناطق اسلام آباد غرب، دالاهو و سنقر برای سال زراعی ۱۳۸۹-۱۳۹۰ خوب عمل نکرده است. در این سال، اختلاف مقدار عملکرد تخمینی از عملکرد واقعی در مدل این شهرستانها به ترتیب برابر با ۱۰۴/۳، ۶۸/۳ و ۸۳/۴ درصد است و این مقادیر بسیار زیاد هستند. علت بروز چنین مشکلی از یک سو، به تعداد کم داده‌های آموزشی در مرحله آموزش مدل برمی‌گردد که باعث می‌شود مدل رگرسیونی با داشتن این تعداد از داده‌ها به خوبی آموزش نیبند. دلیل دیگر این امر، به مقادیر

مدل رگرسیونی اسلام آباد غرب در مرحله آموزش نسبت به مدل سایر شهرستانها کمتر است اما نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که در مرحله اعتبارسنجی، میزان دقت مدل رگرسیونی شهر کرمانشاه در مقایسه با مدل سایر شهرستانها بیشتر است زیرا، شاخص انحراف نسبی (RD) مدل این شهرستان که گویای اختلاف مقدار عملکرد تخمینی از عملکرد واقعی بر حسب درصد می‌باشد، در سالهایی که برای اعتبارسنجی آن انتخاب شده‌اند نسبت به شاخص انحراف نسبی مدل سایر شهرستانها کمتر است.

اشاره نمود که رفتار طیفی NDVI نخود که در این پژوهش در شکل ۵ نشان داده شده است با نتایج کارهای پژوهشی گوما و همکاران (۲۰۲۰) و احمد و همکاران (۲۰۲۱) مشابه است.

نتیجه گیری

هدف اصلی این تحقیق، درک اهمیت تفاوت‌ها و تشابهات مکانی و توجه به روند زمان در زمینه ایجاد مدل‌های آماری تخمین عملکرد نخود و تحلیل متغیرهای اثرگذار بر تغییرپذیری آن می‌باشد. با در نظر داشتن این نکات و تجزیه و تحلیل ورودی مدل‌ها، نتایج این تحقیق نشان داد که در شهرستان کرمانشاه متغیر بارش و در شهرستان اسلام‌آباد غرب نمایه NDVI موثرترین شاخص‌ها در تعیین تغییرپذیری نخود در دوره گل‌دهی بوده هرچند که در شهرستان کرمانشاه NDVI نیز نقش مهمی را داشت. آب و هوای مناطق سنقر و کرند غرب علی‌رغم اینکه براساس روش‌های طبقه بندی اقلیمی پاپاداکیس و یونسکو، مشابه دو شهرستان کرمانشاه و اسلام‌آباد غرب نیمه خشک است اما این مناطق زمستان‌های سردتری دارند و از لحاظ توپوگرافی نیز در ارتفاعات بالاتری نسبت به این دو شهر قرار گرفته‌اند. در این مناطق به دلیل تغییرات شدید توپوگرافی و وجود زمین‌های لخت با شیب زیاد، نمایه‌های تعدیل کننده خاک مانند PVI در کرند غرب و SAVI در سنقر مهم‌ترین عامل در نوسانات عملکرد نخود در دوره گل‌دهی بودند. تجزیه و تحلیل نتایج مدل‌ها در مرحله اعتبارسنجی نشان داد که در بعضی از سال‌ها،

عملکرد ثبت شده محصول نخود در بعضی از سال‌های زراعی توسط سازمان جهاد کشاورزی بازمی‌گردد زیرا، در مرحله پردازش داده‌ها گاهی اوقات دیده می‌شد که علی‌رغم بارش کم در دوره رشد گیاه و پایین بودن مقدار تمام شاخص‌های طیفی که سلامت گیاه را نشان می‌دهند اما مقادیر میانگین عملکرد سالانه نخود زیاد ثبت شده‌است که این موضوع بیانگر این است که احتمالاً داده‌ها در بعضی از سال‌ها تابع سیاست‌های دولت‌های در جریان کار بوده‌اند و یا اینکه خطای روشهای نمونه برداری بالا بوده است.

نتایج این پژوهش برای مناطق کرمانشاه و اسلام‌آباد غرب با نتایج تحقیقات مخابلا و همکاران (۲۰۱۱)، جانسون و همکاران (۲۰۱۶) و رضاپور و همکاران (۲۰۲۱) و تحقیقات یاقوتی و همکاران (۱۳۹۷)، کمالی و همکاران (۱۳۹۷) مشابه است. در تحقیقات ایشان نیز شاخص NDVI بیشترین سهم را در تغییرات عملکرد محصولات زراعی مختلفی که بررسی کرده‌اند دارا می‌باشد. از طرفی دیگر یافته‌های تحقیق اخیر با نتایج پژوهش‌های ثنائی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲)، باقری و همکاران (۱۳۹۹) و قربانی و همکاران (۱۴۰۰) متفاوت است زیرا در تحقیقات آن‌ها شاخص NDVI بیشترین سهم را در تغییرپذیری عملکرد محصول نداشته است. البته باید توجه داشت که اقلیم و نوع محصول مورد بررسی آن‌ها با آنچه که در تحقیق جاری بررسی شده، متفاوت بوده و محصول زراعی مورد بررسی این محققان گندم بوده است. همچنین باید

رطوبت خاک، تراکم و فاصله بوته‌ها در کنار شاخص های اقلیمی و سنجش از دور به نتایج دقیق تری در خصوص تخمین عملکرد محصول دست یافت. نتایج این تحقیق می‌تواند کمک‌کننده مسئولان و مدیران اجرایی کشور در امر صادرات و واردات محصول نخود باشد به این دلیل که اگر قبل از برداشت محصول مقدار عملکرد این محصول راهبردی با دقت قابل قبول ارائه شود، می‌توان از مازاد یا کمبود این محصول آگاهی یافت و نسبت به صادرات و واردات به صورت برنامه ریزی شده، اقدام نمود. همچنین، با مشخص شدن شاخص‌های طیفی تاثیرگذار بر عملکرد نخود در دوره گل‌دهی و شناسایی زمین‌های زراعی آن با استفاده از نمودار رفتار طیفی آن‌ها، می‌توان نسبت به طراحی نرم‌افزارهای آندوریدی و کامپیوتری حوزه کشاورزی نخود، با هدف آمایش و برنامه ریزی این محصول اقدام نمود.

مقدار عملکرد تخمینی توسط مدل منتخب با مقدار واقعی عملکرد تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد که دلیل این امر از یک سو، به تعداد کم داده‌های آموزشی در مرحله آموزش مدل برمی‌گردد که باعث می‌شود مدل رگرسیونی با داشتن این تعداد از داده‌ها به خوبی آموزش نبیند و دلیل دیگر آن، به مقادیر عملکرد ثبت شده محصول نخود در بعضی از سال‌های زراعی توسط سازمان جهاد کشاورزی مربوط می‌شد زیرا در مرحله پردازش داده‌ها گاهی اوقات دیده می‌شد که علی‌رغم بارش کم در دوره رشد گیاه و پایین بودن مقدار کلیه شاخص‌های طیفی که سلامت گیاه را نشان می‌دهند، مقادیر عملکرد سالانه نخود با اعداد بالا ثبت شده که این موضوع با منطق منافات دارد. شاید سیاست دولت‌های وقت و یا خطای روش‌های نمونه برداری از دلایل این موضوع باشد. در پایان پیشنهاد می‌گردد با افزایش حجم نمونه (قطعات زراعی) به صورت اندازه‌گیری‌های میدانی و لحاظ نمودن متغیرهای مهمی مانند

منابع

- افتخاری مهابادی ثمانه، امینی سیدمرتضی، پارسیان احمد، زمانی حسین. ۱۳۹۷. تحلیل رگرسیون خطی با R، انتشارات علمی پارسیان، ۲۹۲ صفحه.
- امینی سید مرتضی، روزبه مهدی، زمانی، حسین. ۱۳۹۸. تحلیل رگرسیون پیشرفته با R، انتشارات علمی پارسیان، ۲۳۸ صفحه.
- بازگیر سعید. ۱۳۹۴. تخمین عملکرد ذرت دانه ای به کمک شاخص های اقلیم شناسی کشاورزی در مناطق غربی و جنوب غربی ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۵ (۳۹): ۷-۳۲.
- بازگیر سعید، مومن پور سیدعرفان، محمدی حسین. ۱۳۹۷. مطالعه تطبیقی سه روش طبقه بندی اقلیمی جهت تعیین مناطق مطلوب کشت گندم دیم در استان کرمانشاه، نشریه هواشناسی کشاورزی، ۶ (۱): ۵۰-۶۱.

- باقری میلاد، درویشی بلورانی علی، حمزه سعید، جلوخانی نیارکی محمدرضا. ۱۳۹۹. برآورد محصول و کاه گندم دیم با استفاده از تصاویر Landsat OLS. نشریه پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۵۲ (۴): ۶۰۴-۵۸۹.
- ثنایی نژاد حسین، نصیری محلاتی مهدی، زارع حسین، صالح نیا نسیرین، قائمی مرجان. ۱۳۹۲. تخمین عملکرد گندم آبی به وسیله تصاویر ماهواره لندست در برخی از مزارع شهرستان مشهد. نشریه پژوهش های تولید گیاهی، ۲۰ (۴): ۶۳-۴۵.
- جهانگیری عادل، افرند کلثوم، افشار امیرحسین، حق پرست رضا، خان محمدی علی، صادق زاده اهری داود، صباغ نیا ناصر، محمدی مراد، مرادی ناصر، ناصری ملکی زهید، یاوری ایرج. ۱۳۹۵. راهنمای نخود (کاشت، داشت و برداشت). نشر آموزش کشاورزی، چاپ اول، ۱۸۱ صفحه.
- حق پرست رضا. ۱۳۹۷. نخود برتر از گوشت. نشر شانلان، چاپ اول، ۱۴۶ صفحه.
- شبییری سیده سودابه، خرسندی هادی، کامل مسعود. ۱۳۹۷. اثر فاصله خطوط کشت و میزان بذر بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد دو رقم عدس در شرایط سردسیر دیم. نشریه زراعت دیم ایران، ۷ (۲): ۱۲۵-۱۴۱.
- شکوئی حسین. ۱۳۹۲. فلسفه جغرافیا. انتشارات گیئاشناسی، چاپ ۱۶، ۳۲۸ صفحه.
- صادقی حدیث، عزیزی قاسم، بازگیر سعید. ۱۳۹۸. رابطه متغیرهای اقلیمی با عملکرد و طول دوره ی مراحل رشد ذرت و گندم آبی در حسن آباد داراب، استان فارس. نشریه علوم جغرافیایی، ۱۵ (۳۱): ۷۴-۶۰.
- صدوقی لیلا، همایی مهدی، نوروزی علی اکبر، اسدی کپورچال صفورا. ۱۳۹۵. برآورد عملکرد برنج با استفاده از مدل VSM و تصاویر ماهواره ای در استان گیلان. نشریه تحقیقات غلات، ۶ (۳): ۳۹۷-۴۱۰.
- عبدی فاطمه، عطاردی کاشانی زهرا، میرمیران پروین، استکی ترانه. ۱۳۹۴. بررسی و مقایسه الگوی مصرف غذایی در ایران و جهان: یک مقاله مروری، ۵ (۲): ۱۶۷-۱۵۹.
- عساکره حسین. ۱۳۹۰. مبانی اقلیم شناسی آماری. انتشارات دانشگاه زنجان، ۵۴۸ صفحه.
- غفاری عبدالعلی، قاسمی وحیدرضا، دپائو ادی. ۱۳۹۴. پهنه بندی اقلیمی کشاورزی ایران با استفاده از روش یونسکو. نشریه زراعت دیم ایران، ۴ (۱): ۹۵-۶۳.
- فرج زاده منوچهر. ۱۳۹۴. تکنیک های اقلیم شناسی، انتشارات سمت، ۳۰۴ صفحه.
- قربانی خلیل، تیموری رضا، سالاری جزی میثم. ۱۴۰۰. برآورد عملکرد گندم با استفاده از تصاویر ماهواره های در استان گلستان. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۹ (۱): ۳۸-۵۲.
- کمالی لقمان، کاویانی عباس، نظری بیژن، لیاقت عبدالمجید. ۱۳۹۷. تخمین عملکرد محصول گندم با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: دشت مغان). نشریه آب و خاک ایران، ۴۹ (۵): ۱۰۴۲-۱۰۳۲.
- مجنون حسینی ناصر. ۱۳۸۷. زراعت و تولید حبوبات (حبوبات در ایران). انتشارات جهاد دانشگاهی (واحد تهران)، چاپ چهارم، ۲۸۴ صفحه.

محمدجانی اسماعیل، یزدانیان نازنین. ۱۳۹۴. تحلیل وضعیت بحران آب در کشور و الزامات مدیریت آن. فصلنامه روند، ۲۱ (۶۶-۶۵): ۱۴۴-۱۱۷.

محنت کش عبدالمحمد، ایوبی شمس اله، جلالیان احمد، دهقانی امیرمحمد. ۱۳۹۵. مقایسه مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برآورد عملکرد گندم دیم در مناطقی از زاگرس مرکزی. نشریه زراعت دیم ایران، ۵ (۲): ۱۱۹-۱۳۳.

مرادی حیدری صغری. ۱۳۹۷. مکان‌یابی اقلیمی کشت نخود دیم در استان لرستان. نشر قلم اعظم، چاپ اول، ۹۰ صفحه.

مسعودیان سید ابوالفضل. ۱۳۹۱. آب و هوای ایران، نشر شریعه توس، ۲۸۸ صفحه.

ملا مصطفی حسین. ۱۳۸۱. ارزیابی ارقام نخود زراعی از لحاظ کارایی تثبیت نیتروژن تحت شرایط رطوبتی و کود نیتروژنه متفاوت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته کشاورزی گرایش اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

نصوحی غلامحسین. ۱۳۸۶. هواشناسی و محصولات کشاورزی. نشر نصوحی، چاپ سوم، ۱۸۴ صفحه.

وزارت جهاد کشاورزی. ۱۴۰۰. بخش آمار و فناوری اطلاعات، آمار سطح زیر کشت و عملکرد نخود در شهرستان‌های استان کرمانشاه.

یاقوتی حدیث، پذیرا ابراهیم، امیری ابراهیم، مسیح آبادی محمد حسن. ۱۳۹۷. کاربرد تصاویر ماهواره ای و فناوری سنجنش از دور برای تخمین عملکرد برنج. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۷ (۳): ۵۵-۶۸.

یوسفی بنفشه، بسحاق بهزاد، عبادوز غلامرضا، بهرامی سیامک، طهماسبی غلامرضا، برزکار مریم، کرمی روح‌اله، مجدم مانی. ۱۳۹۵. زراعت و اصلاح حیوانات دیم، انتشارات تحقیقات، آموزش کشاورزی، چاپ اول، ۱۹۵ صفحه.

Ahmad N, Iqbal J, Shaheen A, Ghfar A, AL-Anazy MM, Ouladsamne M. 2021. Spatio-temporal analysis of chickpea crop in arid environment by comparing high-resolution UAV image and LANDSAT imagery. Journal of Environmental Science and Technology: 1-16. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03502-z>.

Boegh E. 2002. Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. Remote Sensing of Environment, 81: 179-193.

Duke JA, 1981. Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press, New York: 52-57.

Francha B, Vermoteb EF, Skakuna S, Rogera JC, Becker-Reshefa I, Murphya BE, Justice C. 2019. Remote sensing based yield monitoring: Application to winter wheat in United States and Ukraine. Journal of Appl Earth Obs Geoinformation, 76:112-127. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.11.012>.

Fu Z, Jiang J, Gao Y, Krienke B, Wang M, Zhong K, Cao Q, Tian Y, Zhu Y, Cao W, Liu W. 2020. Wheat Growth Monitoring and Yield Estimation based on Multi-Rotor

- Unmanned Aerial Vehicle. *Journal of Remote Sensing*, 12(3): 2-19. <https://doi.org/10.3390/rs12030508>.
- Garmin. 2020. Garmin company: 223-224, 2nd Floor, Jasola District Centre, New Delhi-110025, India.
- Gumma MK, Tummala K, Dixit S, Collivignarelli F, Holecz F, Kolli R.N, Whitbread AM. 2020. Crop type identification and spatial mapping using Sentinel-2 satellite data with focus on field-level information. *Journal of Geocarto International*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1805029>.
- Holzman ME, Carmona F, Rivas R, Nièls R. 2018. Early assessment of crop yield from remotely sensed water stress and solar radiation data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 145: 297- 308. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.03.014>.
<https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>
- Huete AR, Liu, HQ, Batchily K, Van Leeuwen W. 1997. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59: 440–451.
- Huete AR. 1988. A soil-adjusted vegetation index(SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3): 295-309.
- Jensen J. 2005. *Introductory Digital Image Processing*, 3rd Ed, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 526 pages.
- Johnson MD, Hsieh W, Cannon AJ, Davidson A, Bédard F. 2016. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies by remotely sensed vegetation indices and machine learning methods. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 218–219: 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.003>.
- Kaufman YJ, Tanre D. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS, *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing*, 30(2): 261-270.
- Lobell D, Thau D, Seifert C, Engle E, Little B. 2015. A scalable satellite-based crop yield mapper. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 164: 324–333. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.04.021>.
- Mkhabela MS, Bullock P, Raj S, Wang S, Yang Y. 2011. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3): 385–393. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.012>.
- Papadakis j. 1970. *Climate of the World and Their Agricultural Potentialities*. Buennos Aires. pp. 1-48.
- Pinty B, Verstraete MM. 1992. Gemi: Anon –linear index to monitor Global Vegetation from Satellites, *Vegetation*, 101:15-20.
- Qi J, Chenbouni A, Huete AR, Kerr YH. 1994. Modified Soil Adjusted Vegetation Index(MSAVI). *Journal of Remote Sensing of Environment*, 101: 15-20.
- Rezapour Sh, Jooyandeh E, Ramezanzade M, Mostafaeipour A, Jahangiri, M, Issakhov A, Chowdhury Sh, 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. <https://doi.org/10.3390/su13094607>.
- Richarson AJ, Wiegand CL. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Journal of Remote Sensing and Environment*, 8: 307-312.

- Rouse JW, Hass Jr, Schell JA, Deering D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In proceeding ERTS-1 Symposium, Third, Greenbelts, MD, 1. NASA SP-351. NASA, Washington, DC: 309-317.
- Sandholt I, Rasmussen K, Andersen J. 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 79: 213 – 224.
- Yadav SS, Redden R, Chen W, Sharma B. 2006. Chickpea breeding and management. Cromwell Press, Trowbridge, 638 pages.
- Zhao Y, Potgieter A, Zhang WB, Hammer GL. 2020. Predicting Wheat Yield at the Field Scale by Combining High-Resolution Sentinel-2 Satellite Imagery and Crop Modelling. *Journal of Remote Sensing*, 12(6): 2-20. <https://doi.org/10.3390/rs12061024>

DOI: 10.22092/IDAJ.2023.359139.377

Statistical-geographical modeling for estimating the yield of rainfed chickpeas in its major cultivation areas in Kermanshah province

Seyed Erfan Momenpour¹, Masoumeh Moghbel², Saeed Bazgir^{2*}, Ataullah Abdollahi Kakroudi², Hossein Mohammadi², Seyed Mousa Hosseini²

1- *PhD student, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.*

2- *Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.*

Abstract

The main objective of this research is to identify the most effective indicator as well as the effect of spatial and temporal differences on the yield of rainfed chickpeas in major cultivation areas of Kermanshah province. To do so, a map of major rainfed chickpea cultivation areas in the province was drawn by crop statistics. Then, the farms of this crop were extracted using the digital map layer of chickpea fields on the received images of Modis sensor from 2000 to 2021. In the next step, 9 plant spectral indices for chickpeas over the four climatic regions of Kermanshah in the flowering growth stage were calculated during a period of 22 years. These 9 spectral indices, together with the variable of total precipitation as independent variables and yield data as a dependent variable entered into the stepwise regression model. The results showed that NDVI and precipitation indices are the most effective indices of yield variability during flowering stage of chickpea in Kermanshah. Furthermore, NDVI, PVI and SAVI indices in the cities of Islamabade Gharb, Dalahou and Songhar are the most effective indices during the studied period, respectively. The results of validation revealed that the statistical model of Kermanshah city was more accurate than other cities. The correlation coefficient of the statistical model for estimating chickpea yield in this city was 0.69 with a standard error of 84 kg/ha⁻¹. In addition, the relative deviation values of the statistical model of this city were less than other models.

Keywords: Rainfed farming, Chickpea yield, Statistical Model, Kermanshah.

* Corresponding author: sbazgeer@ut.ac.ir

Submit date:2022/06/23

Accept date: 2023/01/31