

مقاله علمی-پژوهشی

کاربرد روش ماشین بردار پشتیبان در شبیه‌سازی عملکرد جو با استفاده از شاخص‌های خشکسالی

هادی رمضانی اعتدالی^{۱*}، مژگان احمدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

چکیده

تخمین به موقع و دقیق عملکرد محصول برای تنظیم مدیریت زراعی و تضمین پایداری کشاورزی مهم است. هدف از این پژوهش بررسی کاربرد روش رگرسیون بردار پشتیبان در شبیه‌سازی عملکرد جو با استفاده از شاخص‌های خشکسالی NDVI، MSAVI و EVI در ده مزرعه انتخابی در دشت قزوین طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۹ است. برای شاخص‌های خشکسالی از ماهواره سنتینل ۲ استفاده شد. نتایج با استفاده از آماره‌های R^2 ، RMSE و ME ارزیابی شد. به منظور بررسی کاربرد روش رگرسیون بردار پشتیبان در شبیه‌سازی عملکرد جو با استفاده از شاخص‌های خشکسالی مذکور، هفت سناریو تعریف شد. نتایج ارزیابی ارتباط بین شاخص‌های NDVI، MSAVI و EVI با عملکرد جو نشان داد که روش رگرسیون بردار پشتیبان در همه سناریوها به جز سناریو اول در مرحله آزمون با احتمال معنی‌داری ۹۵٪ (P-value=0.0) و ضریب تبیین بیش از ۰/۷۰ و مقدار کم شاخص RMSE تخمین مناسبی از عملکرد محصول جو داشته است. نتایج این پژوهش، کاربرد مفیدی در مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه کشت جو بر اساس شاخص‌های خشکسالی در آینده خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های خشکسالی، سنتینل ۲، رگرسیون بردار پشتیبان، عملکرد جو

مقدمه

بخش غذا و کشاورزی بزرگترین بخش از تولید ناخالص جهان را تشکیل می‌دهد. با توجه به افزایش جمعیت جهان، تغییرات آب و هوای جهانی، بدتر شدن محیط زیست نظیر آلودگی نیتروژن و بیابان‌زایی، انتظار می‌رود بخش کشاورزی برای تأمین تقاضای فزاینده شدید با مشکلات قابل توجهی مواجه شود. جو یکی از منابع غذایی حیاتی برای جمعیت جهان است و رشد و نظارت بر آن را برای افزایش امنیت غذایی در سراسر جهان ضروری می‌سازد. مشاهده مؤثر این محصول برای رسیدگی به مسائل تولید و کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی ضروری است. پیشرفت در فناوری سنجش از دور به طور قابل توجهی فرآیندهای مشاهده و تخمین را بهبود بخشیده است

(Faqe Ibrahim et al., 2023). برآورد به موقع و دقیق بازده محصولات کشاورزی برای امنیت غذایی ضروری است. سنجش از دور راه‌حل‌های عملی‌تر و کم‌هزینه‌تری نسبت به روش‌های مرسوم برای پیش‌بینی عملکرد محصول ارائه می‌کند. ماهواره‌های سنتینل ۲ به دلیل باندهای پوشش گیاهی و همچنین داشتن بالاترین وضوح مکانی در باندهای قرمز، سبز، آبی و مادون قرمز نزدیک پتانسیل بالایی برای کاربردهای سنجش از دور کشاورزی دارند (Demirpolat and Leloğlu, 2018).

جو یکی از مهمترین محصولات زراعی است که در داخل کشور به صورت گسترده کشت می‌شود. ایران به دلیل شرایط خاص آب و هوایی که دارد، برای کشت جو مناسب است زیرا جو محصولی است که برای رشد به آب کم نیاز دارد. شهرهای قزوین، فارس، همدان، شهرکرد، خوزستان، قم، گلستان از جمله شهرهایی هستند که تأمین جو داخلی کشور را به عهده دارند. جو به دلیل داشتن مواد مغذی، یکی از غلات مؤثر در غذای انسان و نهاده‌های دامی در کشور می‌باشد که همواره مورد توجه دامداران و مرغداران بوده است. جو به صورت صنعتی کشت و برداشت می‌شود و به تمام نقاط ایران ارسال

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
۲- دانش آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)

قادر و همکاران عملکرد گندم و جو را با استفاده از شاخص‌های خشکسالی EVI و NDVI در عراق بررسی کردند و بدین نتیجه دست یافتند که میزان خطای نسبی پیش‌بینی گندم و جو با استفاده از شاخص‌های NDVI و EVI به ترتیب بین ۲۰- تا ۲۰ درصد و ۴۵- تا ۲۸ درصد متغیر بود (Qader et al., 2018).

ساز و همکاران به بررسی برآورد عملکرد گندم و جو با استفاده از شاخص NDVI در سه استان اسپانیا طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۹ پرداختند که بدین نتیجه دست یافتند که بین عملکرد دانه و شاخص NDVI بیشترین همبستگی وجود داشت (Sáenz et al., 2024).

مطالعات متعدد داخلی (دستی مریولی و همکاران، ۱۳۹۹؛ خوشخو، ۱۴۰۱؛ آراسته و همکاران، ۱۳۹۶؛ یعقوب زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ زند و همکاران، ۱۳۹۶) و خارجی (Miroslavljević et al., 2018; Panek & Gozdowski, 2021; Pavlovskaya et al., 2021; Patel et al., 2024; Boulaaras & Bouregaa, 2024;

در ارتباط با شاخص‌های خشکسالی و عملکرد جو انجام شده است. در پژوهش حاضر از تصاویر سنتینل ۲ در برآورد عملکرد جو در دشت قزوین استفاده شد. هدف اصلی این پژوهش بررسی کاربرد روش رگرسیون بردار پشتیبان در شبیه‌سازی عملکرد جو با استفاده از شاخص‌های خشکسالی EVI، MSAVI و NDVI در منطقه است.

مواد و روش‌ها

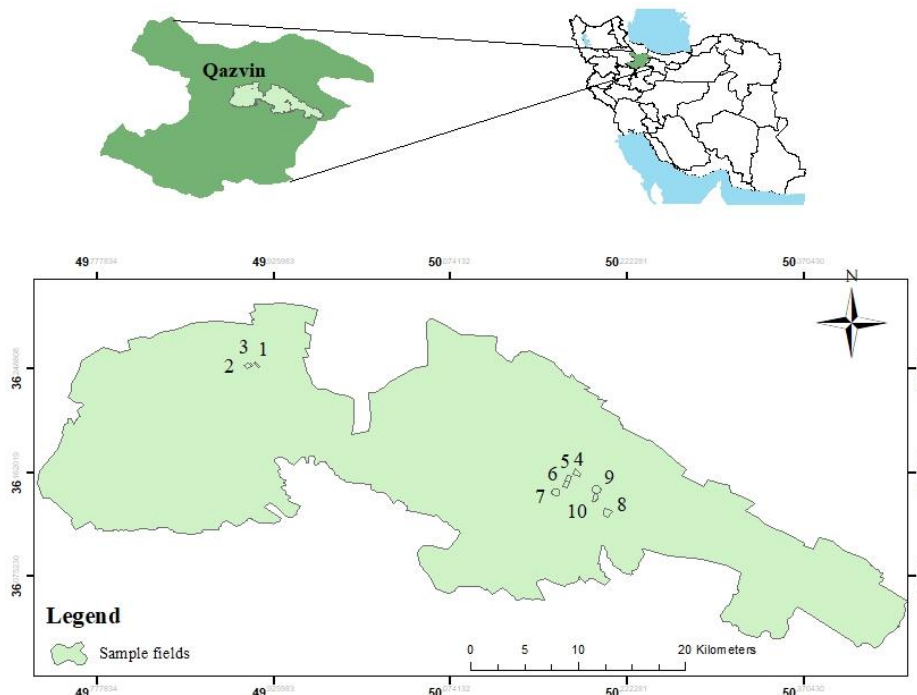
منطقه مورد مطالعه

استان قزوین یکی از استان‌های ایران در بخش شمال غربی کشور واقع شده است و مساحتی بالغ بر ۱۵۸۲۰ کیلومتر مربع را دربر گرفته است. این استان در حوزه مرکزی ایران بین ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد و با استان‌های مازندران، گیلان، همدان، زنجان، مرکزی و البرز همسایه است. محدوده مورد مطالعه اراضی پایین‌دست شبکه آبیاری دشت قزوین می‌باشد که در فاصله ۱۵۰ کیلومتری غرب پایتخت و در فواصل جغرافیایی بین عرض‌های شمال ۳۶°۰۰' تا ۳۶°۲۰' و طول‌های شرقی ۴۹°۴۰' تا ۴۹°۳۵' قرار گرفته است. محصولات زراعی عمده استان شامل گندم، جو و ذرت می‌باشد. در این پژوهش عملکرد ده مزرعه جو از سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۹ دریافت شد (شکل ۱).

می‌شود. جو در قزوین یکی از عناصر تأثیرگذار در جیره خوراکی دامی و طیور است و به همین دلیل، پیش‌بینی عملکرد جو بسیار مهم است. سنجش از دور به عنوان یک ابزار ارزشمند برای تولید اطلاعات مکانی و زمانی در مورد پاسخ‌های بیوفیزیکی محصول به شرایط اقلیمی و مدیریتی شناخته شده است. عملکرد محصول نقش مهمی در توسعه کشاورزی جهان دارد. با این حال، اثرات ترکیبی تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت جهانی و تخریب منابع آب و خاک نیازمند روش‌های اصلی است که ارزیابی به موقع و دقیقی از تولید محصولات کشاورزی ارائه می‌کند و به افزایش پایداری تولید مواد غذایی کشاورزی کمک می‌کند (FAO, 2017; Chen et al., 2007; Jeong et al., 2016). طی چند سال گذشته، رشد داده‌های ماهواره‌ای در دسترس عموم و ظهور فناوری‌های جدید، پتانسیل تولید و کاوش سطح جدیدی از داده‌ها با وضوح‌های مختلف مکانی، زمانی و طیفی را فراهم کرده است (Dhillon et al., 2020; Emelyanova et al., 2013; Luo et al., 2018; Dhillon et al., 2016; Zhu et al., 2022). با این حال، الزامات اساسی داده‌های مصنوعی جدید تولید شده، یعنی وضوح مکانی یا زمانی بهینه آنها در پیش‌بینی دقیق عملکرد محصول، هنوز باید بررسی شود (Dhillon et al., 2023). امروزه روش‌های یادگیری ماشین به طور فزاینده‌ای در مدل‌سازی محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند (Chlingaryan et al., 2018). تکنیک‌های یادگیری ماشین در رابطه با روابط پیچیده و غیرمنتظره بین متغیرهای متعدد بسیار انعطاف‌پذیرتر هستند (Sutanto et al., 2019; Feng et al., 2019; Kang et al., 2020; Peichl et al., 2021). تحقیقات زیادی در ارتباط با عملکرد محصول و تکنیک‌های یادگیری ماشین انجام شده است.

پناهی و همکاران (۱۴۰۱)، به مدل‌سازی عملکرد محصولات دیمی گندم و جو و یونجه با استفاده از روش رگرسیون بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی ژنتیک در آذربایجان شرقی پرداختند. آنها از شاخص‌های RDI و SPI استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد در شهر سراب روش رگرسیون بردار پشتیبان با $RMSE = 0.7$ (kg/ha) پیش‌بینی دقیق تری ارائه کرده است.

شرفی و محمدی قلعه نی (۱۴۰۱) به بررسی تأثیر عملکرد گندم و جو دیم در اقلیم‌های مختلف ایران با استفاده از شاخص‌های SPI و SPEI پرداختند و بدین نتیجه رسیدند که شاخص‌های خشکسالی محاسبه شده در مقیاس‌های زمانی مختلف SPI و SPEI بیشترین همبستگی را با عملکرد گندم و جو دیم به ترتیب در اقلیم‌های نیمه‌خشک، خشک، خیلی خشک و مرطوب داشتند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

ویژه در مناطق دارای پوشش متراکم تصحیح کند.

EVI =

$$2.5 \times ((NIR - RED) / (NIR + (6 * RED) - (7.5 * BLUE))) + 1 \quad (3)$$

در این روابط، NIR باند مادون قرمز نزدیک، RED باند قرمز و BLUE باند آبی تصاویر سنتینل ۲ است. برای ارزیابی ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی و عملکرد جو، هفت سناریو در نظر گرفته شده است (جدول ۱).

جدول ۱- معرفی سناریوها

شماره سناریو	شاخص
S1	NDVI
S2	MSAVI
S3	EVI
S4	NDVI-MSAVI
S5	NDVI-EVI
S6	MSAVI-EVI
S7	NDVI-MSAVI-EVI

ماشین بردار پشتیبان

ماشین بردار پشتیبان (SVM) یک الگوریتم ناپارامتریک نظارت‌شده یادگیری ماشین است که برای مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌شود. بردارهای پشتیبان، مجموعه‌ای از نقاط در فضای n بعدی داده‌ها هستند که مرز دسته‌ها را مشخص می‌کنند. ماشین بردار پشتیبان، یک دسته‌بندی یا مرزی است که با معیار قرار دادن بردارهای پشتیبان، بهترین دسته‌بندی و تفکیک بین داده‌ها با

شاخص‌های خشکسالی

شاخص NDVI

شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) یک روش سنجش از دور است که از بازتاب نور در طول موج‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک (NIR) برای تعیین میزان و سلامت پوشش گیاهی در یک منطقه استفاده می‌کند. شاخص NDVI به طور گسترده در کشاورزی، جنگل‌داری و بوم‌شناسی برای نظارت بر رشد و سلامت پوشش گیاهی و شناسایی مناطق استرس‌زا یا آسیب استفاده می‌شود. مقادیر NDVI همچنین می‌تواند برای نقشه‌برداری و طبقه‌بندی انواع پوشش گیاهی و تشخیص تغییرات پوشش گیاهی در طول زمان استفاده شود.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

شاخص MSAVI

شاخص گیاهی تعدیل شده خاک (MSAVI) اثر خاک را بر شاخص گیاهی تنظیم شده خاک (SAVI) به حداقل می‌رساند.

$$MSAVI = (2 \times NIR + 1 - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - RED)}) / 2 \quad (2)$$

شاخص EVI

این شاخص در واقع همان شاخص NDVI بهینه شده است. این شاخص اختراع شد تا اثرات جوی و سیگنال‌های پس زمینه خاک، به

اندازه‌گیری شده، \bar{P}_i : میانگین مقادیر داده‌های شبیه‌سازی شده و n : تعداد داده‌ها است. RMSE میانگین مقادیر انحراف شبیه‌سازی شده را از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. هرچه مقدار RMSE کوچکتر باشد به معنی مطلوب بودن مدل می‌باشد. مقدار ME بیانگر بیشترین خطا در مدل است. مقدار زیاد ME نشان دهنده بدترین حالت کارکرد مدل است. ضریب همبستگی بین ۱- و ۱ قرار می‌گیرد. در نتیجه R^2 که توان دوم آن است بین صفر و یک قرار خواهد داشت. اگر این همبستگی زیاد باشد (نزدیک یک)، مدل داده‌ها را خوب برازش کرده است، در حالی که اگر همبستگی پایین (نزدیک به صفر) باشد، مدل برازش خوبی از داده‌ها ارائه نداده است.

نتایج و بحث

برای محاسبه رابطه بین شاخص‌های NDVI، MSAVI و EVI و عملکرد جو در مزارع انتخابی دشت قزوین از سری زمانی تصاویر سنتینل ۲ استفاده شد. ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد برای محاسبه شاخص‌ها در نظر گرفته شد. عملکرد جو با استفاده از شاخص‌های خشکسالی تحت ۷ سناریو (جدول ۱) و به کارگیری روش رگرسیون بردار پشتیبان شبیه‌سازی شد (شکل ۲). ۷۰ درصد داده‌ها برای بخش واسنجی و ۳۰ درصد برای بخش صحت‌سنجی انتخاب شد. رابطه بین شاخص‌های خشکسالی و عملکرد جو با استفاده از آماره‌های آماری بررسی شد (جدول ۲).

مشخص می‌کند. در ماشین بردار پشتیبان فقط داده‌های قرار گرفته در بردارهای پشتیبان مبنای یادگیری ماشین و ساخت مدل قرار می‌گیرند و این الگوریتم به سایر نقاط داده حساس نیست و هدف آن هم یافتن بهترین مرز در بین داده‌ها است به گونه‌ای که بیشترین فاصله ممکن را از تمام دسته‌ها (بردارهای پشتیبان آنها) داشته باشد. رگرسیون بردار پشتیبان ابر صفحه‌های رگرسیون بهینه را با به حداقل رساندن ضرایب رگرسیون خطی در تلورانس‌های خطای مشخص شده شناسایی می‌کند. رگرسیون غیر خطی با تبدیل داده‌ها به یک فضای ویژگی با ابعاد بالا با استفاده از یک تابع هسته (توابع کرنل) انجام می‌شود. در این پژوهش از نرم افزار R برای کدنویسی ماشین بردار پشتیبان استفاده شده است.

آماره‌های ارزیابی

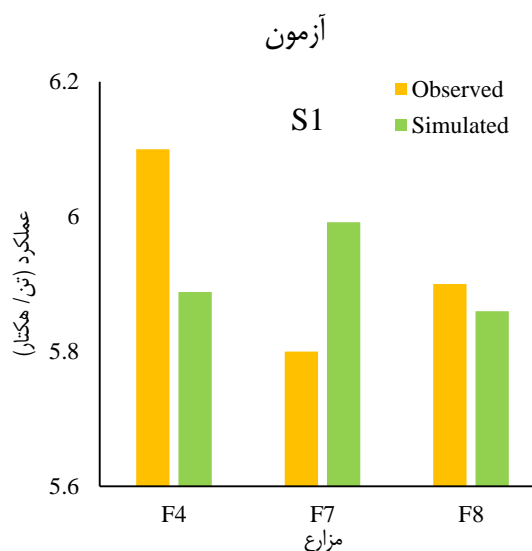
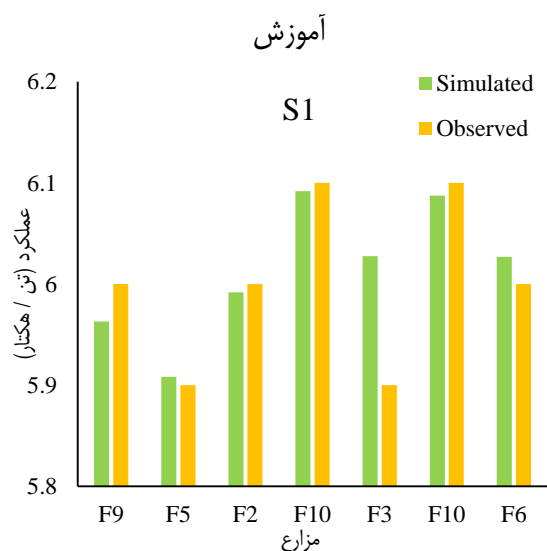
برای ارزیابی نتایج به دست آمده از آماره‌های ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، حداکثر خطا (ME) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد.

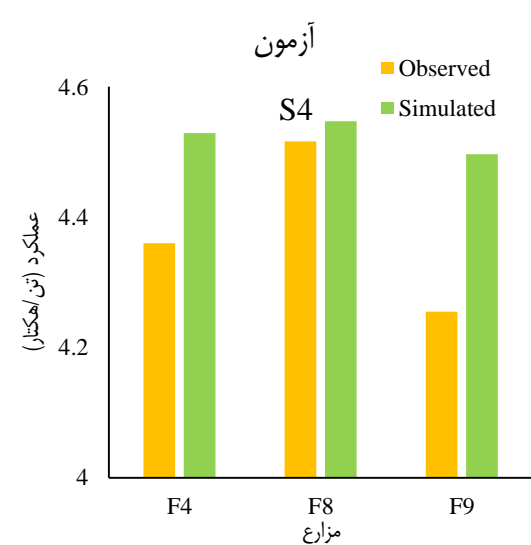
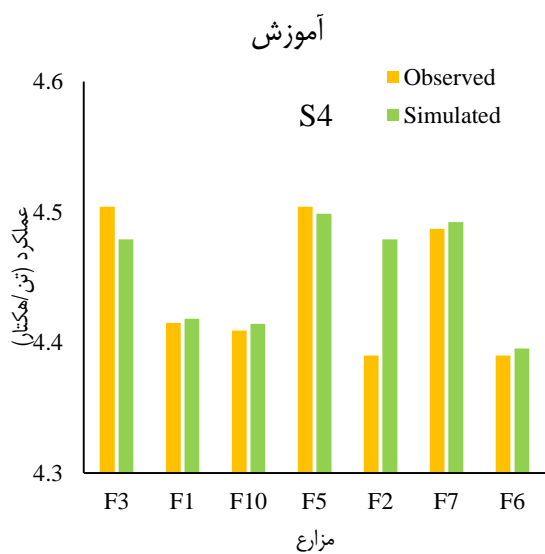
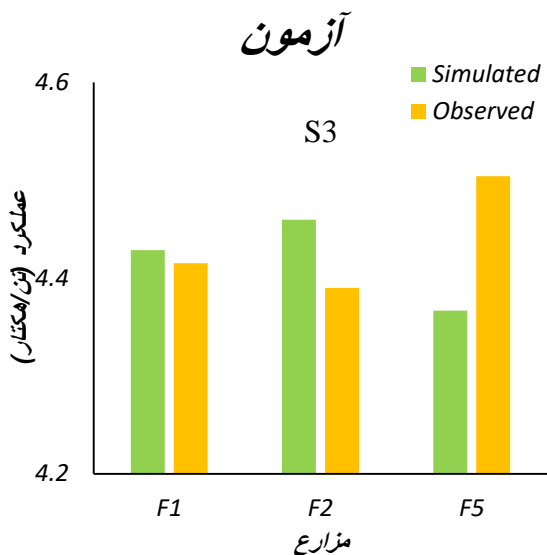
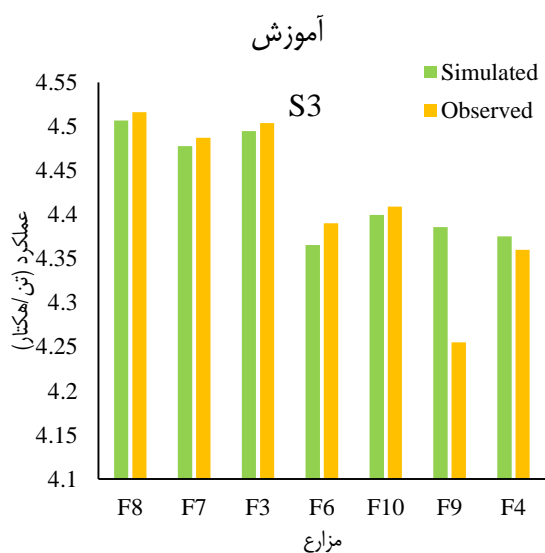
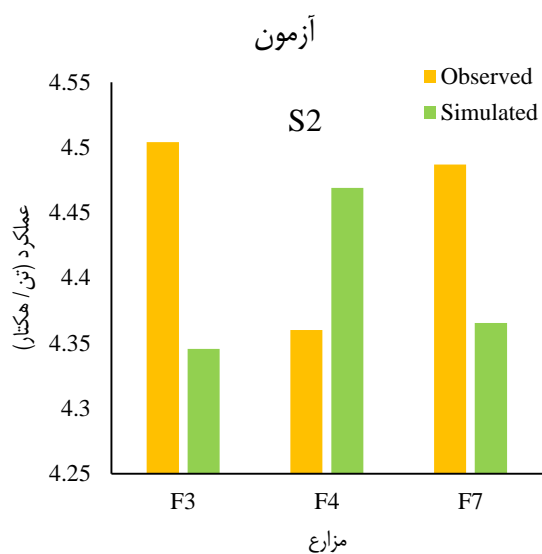
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (4)$$

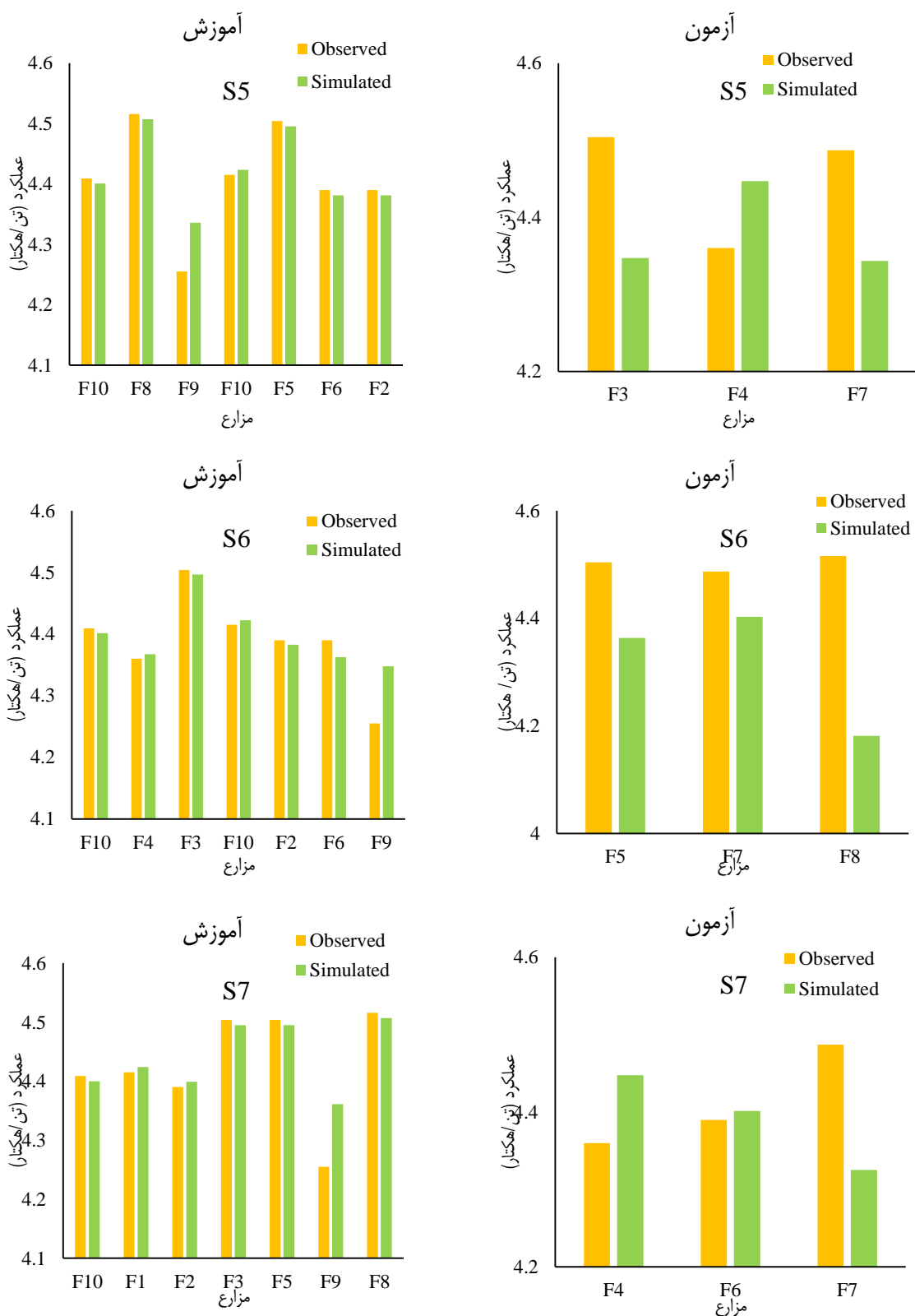
$$ME = \max |O_i - P_i| \quad (5)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)(P_i - \bar{P}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)^2}} \right)^2 \quad (6)$$

در روابط یادشده O_i : مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده، P_i : مقادیر داده‌های شبیه‌سازی شده، \bar{O}_i : میانگین مقادیر داده‌های







شکل ۲- شبیه سازی عملکرد جو با استفاده از شاخص‌های خشکسالی تحت سناریوهای مختلف

جدول ۲- ارزیابی آماری رابطه بین شاخص‌های خشکسالی و عملکرد مزارع جو

سناریو	مرحله	R ²	RMSE (ton/ha)	ME (ton/ha)
S1	آموزش	۰/۵۷	۰/۰۵	۰/۱۳
	آزمون	۰/۳۷	۰/۱۷	۰/۲۱
S2	آموزش	۰/۴۲	۰/۰۷	۰/۱۴
	آزمون	۰/۹۹	۰/۱۳	۰/۱۶
S3	آموزش	۰/۷۱	۰/۰۵	۰/۱۳
	آزمون	۰/۹۸	۰/۰۹	۰/۱۴
S4	آموزش	۰/۵۴	۰/۰۴	۰/۰۹
	آزمون	۰/۹۳	۰/۱۷	۰/۲۴
S5	آموزش	۰/۹۰	۰/۰۳	۰/۰۸
	آزمون	۰/۹۸	۰/۱۳	۰/۱۶
S6	آموزش	۰/۷۶	۰/۰۴	۰/۰۹
	آزمون	۰/۸۱	۰/۲۱	۰/۳۳
S7	آموزش	۰/۸۹	۰/۰۴	۰/۱۱
	آزمون	۰/۹۸	۰/۱۱	۰/۱۶

پشتیبان (SVM)، رگرسیون فرایند گوسی (GPR)، درخت تصمیم (DT) و نزدیک‌ترین همسایه (KNN) استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد روش‌های ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و رگرسیون فرایند گوسی بهتر از روش‌های درخت تصمیم و نزدیک‌ترین همسایه عملکرد گندم را پیش‌بینی کردند (Han et al., 2020). خلیلی و همکاران به پیش‌بینی عملکرد گندم و جو با استفاده از روش رگرسیون بردار پشتیبان پرداختند و بدین نتیجه رسیدند که روش رگرسیون بردار پشتیبان خطای کمی در پیش‌بینی عملکرد محصول دارد (Khalili et al., 2022) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

تخمین عملکرد محصولات زراعی چند هفته قبل از برداشت به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا امنیت غذایی را در کشور خود تضمین کنند. در این پژوهش مدل‌سازی عملکرد جو در ده مزرعه انتخابی دشت آبیاری استان قزوین با استفاده از روش رگرسیون بردار پشتیبان انجام شد. در این پژوهش از شاخص‌های NDVI، EVI و MSAVI طی دوره ۲۰۱۹-۲۰۲۰ استفاده شد. نتایج نشان داد که دقت مدل در حالت آموزش و آزمون مناسب و قابل قبول می‌باشد. نتایج برای ترکیب شاخص‌های خشکسالی در مراحل آموزش و آزمون بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد مدل رگرسیون بردار پشتیبان در حالت ترکیب شاخص NDVI و EVI در مرحله آزمون با احتمال معنی داری به ترتیب ۹۵٪ (P-value=...) و ضریب تبیین ۰/۹۸ و مقدار اندک RMSE تخمین مناسبی از عملکرد جو داشته است. به طور کلی نتایج نشان داد که روش رگرسیون بردار پشتیبان برآورد خوبی از

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد مدل رگرسیون بردار پشتیبان در سناریوهای دو و سه (شاخص‌های MSAVI و EVI) در مرحله آزمون با احتمال معنی‌داری به ترتیب ۹۵٪ (P-value=...) و ضریب تبیین بیش از ۰/۹۸ و مقدار اندک RMSE تخمین مناسبی از عملکرد جو داشته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد حداکثر خطا (ME) در حالت سناریو شش رخ داد است. در بررسی سناریوهای یک تا سه که هر کدام از شاخص‌های خشکسالی به صورت جداگانه در نظر گرفته شده است، سناریو سه در مرحله آموزش با ضریب تبیین ۰/۷۱ و RMSE ۰/۰۵ تخمین مناسبی از عملکرد جو داشته است. در بررسی سناریوهای چهار تا هفت که شاخص‌های خشکسالی به صورت ترکیبی تعریف شده است، سناریو پنج و هفت در مرحله آموزش، ضریب تبیین بالاتری نسبت به سناریوهای چهار و شش داشتند. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که روش رگرسیون بردار پشتیبان برآورد مناسبی از عملکرد جو در منطقه مورد مطالعه دارد. بوربور و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی برآورد عملکرد جو دیم و آبی بر اساس داده‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با استفاده از داده‌های اقلیمی، شاخص‌های خشکسالی و شاخص‌های گیاهی سنجش از دوری و الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان به طور قابل قبولی برآورد عملکرد محصول جو را در مناطق مختلف کشور با اقلیم‌های متفاوت انجام داد. در پژوهش آنها میزان خطای RMSE در حد قابل قبول بین ۰/۴۱ تا ۰/۷۷ تن در هکتار قرار داشت که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. هان و همکاران به پیش‌بینی عملکرد گندم زمستانه با استفاده از روش یادگیری ماشین در چین پرداختند. آنها در این پژوهش از شاخص‌های NDVI و EVI و الگوریتم‌های جنگل تصادفی (RF)، ماشین بردار

بر آورد عملکرد جو بر اساس داده های سنجنش از دور و الگوریتم های یادگیری ماشین XGBoot و SVM، مدیریت آب و آبیاری، ۱۳ (۴): ۱۱۳۷-۱۱۲۰.

Demirpolat. C. and Leloğlu. U. M. 2018. Barley yield estimation with Sentinel-2 vegetation indices. In 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.

Faqe Ibrahim. G. R. Rasul. A. and Abdullah. H. 2023. Sentinel-2 accurately estimated wheat yield in a semi-arid region compared with Landsat 8. *International Journal of Remote Sensing*, 44(13): 4115-4136.

Chlingaryan. A. Sukkariéh. S. Whelan. B. 2018. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: a review *Comput. Electron. Agric.* 151: pp. 61-69.

Van Klompenburg. T. Kassahun. A. and Catal. C. 2020. Crop yield prediction using machine learning: a systematic literature review *Comput. Electron. Agric.* 177. Article 105709.

Sutanto. S.J. van der Weert. M. Wanders. N. Blauhut. V. and Van Lanen. A.H.J. 2019. Moving from drought hazard to impact forecasts *Nat. Commun.* 10: 4945.

Kang. Y. Ozdogan. M. Zhu. X. Ye. Z. Hain. C. and Anderson. M. 2020. Comparative assessment of environmental variables and machine learning algorithms for maize yield prediction in the US Midwest *Environmental Research Letters*, 15 (6): Article 064005

Peichl. M. Thober. S. Samaniego. L. Hansjürgens. B. and Marx. A. 2021. Machine learning methods to assess the effects of a non-linear damage spectrum taking into account soil moisture on winter wheat yields in Germany *Hydrol. Hydrology and Earth System Sciences*, 10.5194/hess-2021-9

Feng. P. Wang. B. Liu. D.L. Waters. C. and Yu. Q. 2019. Incorporating machine learning with biophysical model can improve the evaluation of climate extremes impacts on wheat yield in south-eastern Australia *Agricultural and Forest Meteorology*, 275, 100-113.

Qader. S. H. Dash. J. and Atkinson. P. M. 2018. Forecasting wheat and barley crop production in arid and semi-arid regions using remotely sensed primary productivity and crop phenology: A case study in Iraq. *Science of the total Environment*, 613: 250-262.

Miroslavljević. M. Momčilović. V. Čanak. P. Acin. V. Jocković. B. and Vujošević. B. 2018. Variation in NDVI values and relationship with grain yield in

عملکرد جو با استفاده از شاخص های EVI، NDVI و MSAVI دارد. بنابراین حدود چند هفته قبل از برداشت جو، می توان عملکرد جو را تخمین زد و از نتایج این پیش بینی در برنامه ریزی های مدیریتی و اقتصادی استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می دانند از پژوهشگاه فضایی ایران که در پیشبرد پژوهش حاضر صمیمانه همکاری نموده، تشکر و قدردانی نمایند. همچنین از داوران محترم که با ارائه نظرات ارزنده خود بر غنای علمی این مقاله افزودند، کمال سپاسگزاری به عمل آید.

منابع

پناهی، س.، صمدیان فرد، س. و ناظمی، ا. ۱۴۰۱. مدل سازی عملکرد محصولات دیمی گندم، جو و یونجه با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان و برنامه ریزی ژنتیک. دانش آب و خاک، ۳۲ (۲): ۹۷-۱۱۱.

دشتی مریولی، م.، کامکار، ب. و کاظمی، ح. ۱۳۹۹. مقایسه شاخص های گیاهی در تخمین زیست توده بقایای محصولات زراعی بهاره و پاییزه (در حوضه های آبخیز جنوب غرب استان گلستان). پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۷ (۶): ۱۳۶-۱۲۱.

شرفی س. و محمدی قلعه نی، م. ۱۴۰۱. تأثیر خشکسالی بر عملکرد گندم و جو دیم در اقلیم های مختلف ایران. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۶ (۵): ۱۰۲۵-۱۰۱۰.

خوشخو، ی. ۱۴۰۱. امکان سنجنی پیش بینی میزان عملکرد سالانه جو دیم بر اساس شاخص های مختلف خشکسالی. پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۹ (۲): ۲۴-۱.

آراسته، م.، کابلی، ح. و یزدانی، م. ۱۳۹۶. بررسی تأثیرات خشکسالی های هواشناسی بر عملکرد دو محصول گندم و جو دیم (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). هواشناسی کشاورزی، ۵ (۱): ۲۵-۱۵.

یعقوب زاده، م.، احمدی، م.، کابلی، ح. و زمانی، غ. ۱۳۹۶. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص های ETDI و SPI. پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۴ (۴): ۶۱-۴۳.

زند، م.، میری، م.، دمی زاده، م. و پرهمت، ج. ۱۴۰۱. ارزیابی تاثیر خشکسالی بر زراعت آبی استان لرستان. سامانه های سطوح آبگیر باران، ۱۰ (۱): ۷۹-۶۸.

بوربور، ه.، عبداللهی پور، م.، عبداللهی ح. و مشعل، م. ۱۴۰۲.

- Dhillon. M.S. Dahms. T. Kuebert-Flock. C. Borg. E. and Conrad. C. 2020. Ullmann, T. Modelling Crop Biomass from Synthetic Remote Sensing Time Series: Example for the DEMMIN Test Site, Germany. *Remote Sensing*. 12: 1819.
- Emelyanova. I.V. McVicar. T.R. Van Niel. T.G. Li. L.T. and Van Dijk. A.I.J.M. 2013. Assessing the accuracy of blending Landsat-MODIS surface reflectances in two landscapes with contrasting spatial and temporal dynamics: A framework for algorithm selection. *Remote Sens. Environ.* 133: 193-209.
- Luo. Y. Guan. K. and Peng. J. 2018. STAIR: A generic and fully-automated method to fuse multiple sources of optical satellite data to generate a high-resolution, daily and cloud-/gap-free surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*. 214: 87-99.
- Zhu. X. Helmer. E.H. Gao. F. Liu. D. Chen J. and Lefsky. M.A. 2016. A flexible spatiotemporal method for fusing satellite images with different resolutions. *Remote Sens. Environ.* 172: 165-177.
- Dhillon. M.S. Dahms. T. Kuebert-Flock. C. Rummler. T. Arnault. J. Stefan-Dewenter. I. and Ullmann. T. 2023. Integrating random forest and crop modeling improves the crop yield prediction of winter wheat and oil seed rape. *Front. Remote Sensing*. 3: 109.
- Han. J. Zhang. Z. Cao. J. Luo. Y. Zhang. L. Li Z. and Zhang. J. 2020. Prediction of Winter Wheat Yield Based on Multi-Source Data and Machine Learning in China. *Remote Sens.* 12: 236.
- Sáenz. C. Bermejo-Saiz. A. Cicuéndez. V. Pugni. T. Madruga. D., Palacios-Orueta. A., and Litago. J. 2024. Estimation and Prediction of Cereal Production Using Normalized Difference Vegetation Index Time Series (Sentinel-2) Data in Central Spain. *Engineering Proceedings*. 68(1): 26.
- Khalil. Z. H. and Abbas. A. H. 2022. Object-oriented Model to Predict Crop Yield Using Satellite-based Vegetation Index. *iJIM*, 16(15): 141.
- two-rowed winter barley. *Ratarstvo i povrtarstvo/Field and Vegetable Crops Research*. 55(3): 118-124.
- Panek. E. and Gozdowski. D. 2021. Relationship between MODIS derived NDVI and yield of cereals for selected European countries. *Agronomy*. 11(2): 340.
- Pavlovskaya. N. Rodimtsev. S. Borodin. D. Vershinin. S. Gagarina. I. and Mikhaylova. Y. 2021. Application of satellite images for assessing winter wheat and spring barley crops on the average NDVI value. In *E3S Web of Conferences*. 279: p. 03012. EDP Sciences.
- Patel. M. Ryu. D. Western. A. W. Fitzgerald. G. J. Perry. E. M. Suter. H. and Young. I. M. 2024. A new multispectral index for canopy nitrogen concentration applicable across growth stages in ryegrass and barley. *Precision Agriculture*. 25(1): 486-519.
- Boulaaras. H. and Bouregaa. T. 2024. Cereal yield forecasting in semi-arid region of Algeria using MODIS-NDVI. *Journal of Aridland Agriculture*. 10: 7-14.
- FAO. 2017. The future of food and agriculture-Trends and challenges. *Annul. Reports*. 296, 1-180.
- Chen. Z. Chidthaisong. A. Friedlingstein. P. Gregory. J. Hegerl. G. Heimann. M. and Hewitson. B. 2007. The Physical Science Basis. In *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers*; IPCC Secretariat: Geneva, Switzerland. 21p.3.
- Jeong. J.H. Resop. J.P. Mueller. N.D. Fleisher. D.H. Yun. K. Butler. E.E. Timlin. D.J. Shim. K.-M. Gerber. J.S. and Reddy. V.R. 2016. Random forests for global and regional crop yield predictions. *PLoS ONE* 11, e0156571. Dhillon. M.S. Dahms. T. Kübert-Flock. C. Steffan-Dewenter. I. Zhang. J. and Ullmann. T. 2022. Spatiotemporal Fusion Modelling Using STARFM: Examples of Landsat 8 and Sentinel-2 NDVI in Bavaria. *Remote Sensing*. 14.677.

Application of Support Vector Machine Method in Simulating Barley Yield Using Drought Indices

H. Ramezani Etedali^{*1}, M. Ahmadi²

Received: Jul.11, 2023

Accepted: Sep.17, 2023

Abstract

Timely and accurate crop yield estimation is important to regulate crop management and ensure agricultural sustainability. The purpose of this research is to investigate the application of the support vector regression method in the simulation of barley yield using NDVI, MSAVI, and EVI drought indices in ten selected farms in the Qazvin Plain during the period of 2019-2020. To investigate the application of the support vector regression method in simulating the barley yield using the mentioned drought indices, seven scenarios were defined. The results of evaluating the relationship between NDVI, MSAVI, and EVI indices with barley yield showed that the support vector regression method in all scenarios except the first scenario in the test phase with a significant probability of 95% (P-value=0.0) and an explanatory coefficient of more than 0.7 and the low value of the RMSE index has a good estimate of the barley yield product. The results of this research will be useful in managing and planning the development of barley cultivation based on drought indices in the future.

Keywords: Barley yield, Drought indices, Sentinel 2, Support vector regression

1 Professor, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2 Ph.D. Graduate in Irrigation and Drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin., Iran

(* - Corresponding authorEmail: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)