



## برآورد عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص های اقلیم - کشاورزی و سنجش از دور در استان کردستان

منوچهر فرج زاده<sup>۱</sup>، اسداله خورانی<sup>۲\*</sup>، سعید بازگیر<sup>۳</sup>، پرویز ضیاییان<sup>۴</sup>

۱. دانشیار دانشگاه تربیت مدرس

۲. استادیار دانشگاه هرمزگان

۳. استادیار دانشگاه تهران

۴. دانشیار دانشگاه خوارزمی تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۴/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۲۵

### چکیده

هدف از این مطالعه مدل سازی آماری عملکرد گندم دیم در استان کردستان است. به این منظور از مدل های رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شده، که متغیر وابسته آنها میزان عملکرد گندم دیم است و متغیرهای مستقل شان سه دسته اند: نخستین گروه، عناصر اقلیمی و شاخص های اقلیم کشاورزی هستند. دومین گروه از متغیرهای مستقل در این تحقیق را شاخص های گیاهی استخراج شده از سنجنده AVHRR از ماهواره NOAA برای زمان حداکثر سبزینگی (حداکثر شاخص سطح برگ)، تشکیل داده اند. سومین گروه متغیرهای مستقل تحقیق، ترکیب دو گروه متغیرهای مستقل فوق است. روش باز نمونه گیری بوت استرپ روی همه مدل های استخراج شده اجرا، و بر مبنای نتایج آن، میزان عملکرد برای سال های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ تخمین زده شده است. تحلیل های انجام شده نشان می دهد که با ورود عناصر اقلیمی و شاخص های اقلیم کشاورزی به عنوان متغیرهای مستقل به مدل های رگرسیون خطی، مناسب ترین مدل های برآورد عملکرد گندم دیم در کل استان کردستان و شهرستان های سلقر و بیجار، داده های مرحله زایشی (۲۳ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد) است. در شهرستان دیوان دره، بهترین مدل از مجموع دو مرحله دوم رویشی و مرحله زایشی به دست آمده است. در شهرستان میروان بهترین مدل، با توجه به داده های مرحله خواب (۲۲ آذر تا ۲۵ اسفند)، و در دو شهرستان سنندج و قروه با توجه به داده های کل فصل رشد به دست آمده است. همچنین نتایج نشان می دهد که استفاده از شاخص های گیاهی استخراج شده شاخص DVI برای مدل سازی و پیش بینی عملکرد گندم دیم مناسب تر است. افزون بر اینها، مدل های ترکیبی شامل ترکیب عناصر اقلیمی و شاخص های اقلیم کشاورزی با شاخص های طیفی گیاه، مدل هایی با دقت بالاتر به دست می دهند. کاربرد روش باز نمونه گیری بوت استرپ روی مدل های رگرسیونی به دست آمده، در مطالعات مدل سازی محصول - که تعداد نمونه ها زیاد نیست - دقت درون مدلی را افزایش می دهد و به همین دلیل می توان از آن برای عملکرد محصول گندم دیم استفاده کرد.

**کلیدواژه ها:** پیش بینی عملکرد، اقلیم کشاورزی، شاخص های گیاهی، بوت استرپ، رگرسیون خطی، کردستان.

\* نویسنده مکاتبه کننده: هرمزگان، بندرعباس، دانشگاه هرمزگان، شماره تماس: ۰۹۱۲۴۸۰۳۲۴۲

## ۱- مقدمه

نخستین تلاش‌ها در زمینه مدل‌سازی میزان عملکرد محصولات گوناگون و از جمله محصول گندم دیم بر مبنای ارتباط مستقیم پارامترهای اقلیمی مانند دما و بارش با میزان محصول بوده است. شمار زیادی از مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول، با استفاده از متغیرهای محصول و متغیرهای اقلیمی که حاصل روابط محصول - خاک - اتمسفرند، برای کسب اطلاعات عملکرد محصول قبل از فصل برداشت ساخته شده‌اند (Monteith, 1977). بیشتر این مدل‌ها به زمان‌ها یا مکان‌های مشخصی محدود می‌شوند و ناشی از تغییرات فضایی و زمانی ویژه‌ای هستند که در متغیرهای مورد نظر ایجاد شده‌اند (Zhang et al., 2005).

بنابراین، ارتباط بین اقلیم و کشاورزی به دلیل تغییرات زمانی و مکانی محیط فیزیکی و نتایج بیوفیزیکی ناشی از آن بسیار پیچیده است (Steiner & Hatfield, 2008) و مطالعه آن با پارامترهای ساده اقلیمی به تنهایی امکان‌پذیر نیست. به این ترتیب، در مراحل بعد، در مدل‌سازی عملکرد محصول، برای دخالت دادن اثر برخی پارامترهای غیرمستقیم و ناشناخته، شاخص‌های گوناگون اقلیم‌شناسی کشاورزی، استخراج و بررسی شده‌اند (کین و همکاران، ۲۰۰۹). به عنوان مثال، شاخص اختلاف دمایی<sup>۱</sup> (TD) برای مطالعه اثر نوسانات دمایی به جای پارامترهای حداکثر یا حداقل دما به کار برده شد (خورانی، ۱۳۸۹؛ فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

از سوی دیگر، داده‌ها و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی استخراج‌شده از آن‌ها ممکن است تغییرپذیری وضعیت گیاه را - به ویژه در شرایطی که منظور از کمی‌سازی رشد گیاه بررسی تأثیرات اقلیم بر گیاهان است - به خوبی نمایش ندهد (Zhang, et al., 2004). این موضوع که داده‌های سنجش از دور، امکان به دست آوردن اطلاعات مشخص با تفکیک زمانی و مکانی دلخواه را برای پژوهشگران - به خصوص در مناطقی که شبکه ایستگاه‌های هواشناسی کافی نیست-

فراهم کرده است؛ و نیز توجه به این مقوله که این داده‌ها مزایای دیگری مانند دید همه‌جانبه و کلی، صرفه اقتصادی، تصویربرداری منظم و تکرارشدنی از سطح زمین دارند (Johnson et al., 1993) امروزه، به طور گسترده در مطالعات مدل‌سازی عملکرد محصول به کار برده می‌شوند. به این صورت که شاخص‌های گوناگونی از نسبت باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک به دست می‌آیند و در مدل‌های مختلف به کار گرفته می‌شوند. ترکیب شاخص‌های طیفی مذکور و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی ممکن است به تخمین‌های اعتمادپذیرتری از عملکرد محصول منجر شود (Dadhwal & Ray, 1998). از سوی دیگر، استفاده از این شاخص‌ها در زمان اوج سبزیگی و یا به صورت سری‌های زمانی می‌تواند برآیند تمام پارامترهای تأثیرگذار بر رشد محصول باشد؛ از جمله پارامترهای انسانی، که به سادگی برای کمی‌سازی مناسب نیستند.

شاخص‌های هواشناسی کشاورزی و شاخص‌های طیفی گیاهی<sup>۲</sup> استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای به طور وسیعی در مدل‌سازی و پیش‌بینی عملکرد محصول گندم دیم به کار برده شده‌اند (Hatfield et al., 2008; Dalezios et al., 2002; Bazgeer, 2005).

در مطالعه حاضر سعی شده است ترکیب مناسبی از شاخص‌های به کار برده شده شامل شاخص‌های اقلیم‌شناسی، کشاورزی، و شاخص‌های طیفی گیاهی استخراج‌شده از تصاویر سنجنده AVHRR از ماهواره NOAA، وارد مدل‌های برآورد محصول گندم دیم شود. از آنجا که یکی از مشکلات مطالعات مدل‌سازی عملکرد محصول با داده‌های اقلیمی، کمبود داده‌های ثبت‌شده مورد نیاز است، در این مطالعه از روش بازنمونه‌گیری بوت‌استرپ استفاده شده است. پروست<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) نیز در مطالعه‌اش برای تحلیل میزان پیش‌بینی محصول گندم

1. Temperature difference  
2. Spectral Vegetation Indices  
3. Prost

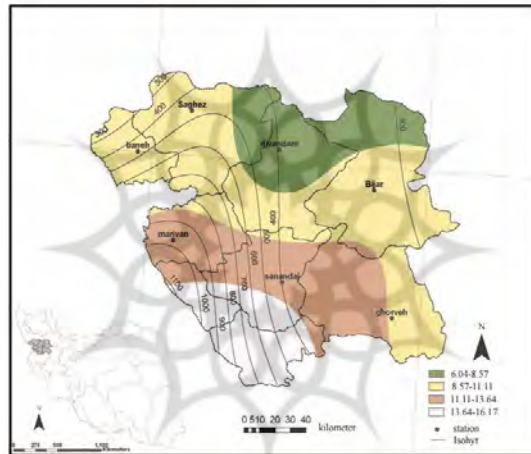
برآورد عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های اقلیم - کشاورزی و سنجش از دور در استان کردستان

۲-۱- داده‌های عملکرد گندم دیم استان کردستان داده‌های عملکرد گندم دیم در کلیه شهرستان‌های استان کردستان شامل بیجار، سنندج، سقز، قروه، مریوان، و دیوان‌دره برای سال‌های زراعی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۸۵-۱۳۸۴ از وزارت جهاد کشاورزی تهیه گردید. به‌طور کلی، نمودارهای ارائه‌شده، روندی پرنوسان و ضعیف، اما افزایشی را در میزان عملکرد محصول در دوره مطالعه‌شده نشان می‌دهند. این درحالی‌است که سطح زیر کشت تقریباً ثابت مانده است و روند افزایشی یا کاهش‌ی مشخصی را نشان نمی‌دهد (شکل ۲).

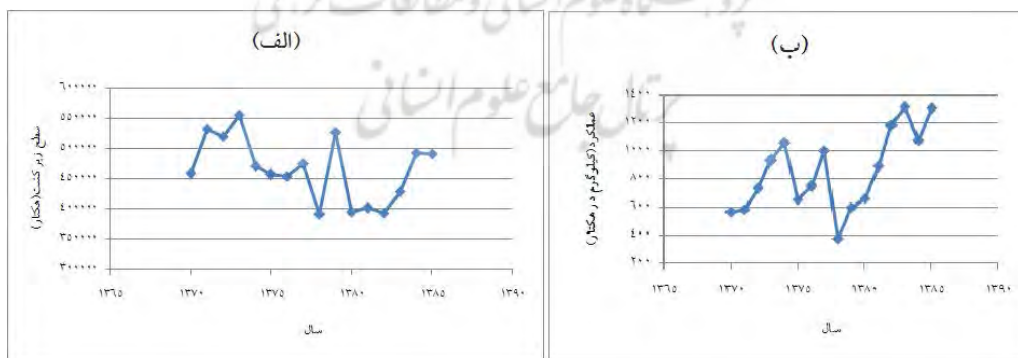
به‌دست آمده با روش‌های گام‌به‌گام<sup>۱</sup> و مدل میانگین‌گیری بیزین<sup>۲</sup>، از روش بوت‌استرپ بهره گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده در این تحقیق استان کردستان با موقعیت جغرافیایی بین  $34^{\circ}44'$  تا  $36^{\circ}30'$  شمالی و  $45^{\circ}31'$  تا  $48^{\circ}16'$  شرقی است (شکل ۱). گندم دیم پاییزه بیشترین سطح زیرکشت استان را به خود اختصاص داده است. این میزان در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ برابر ۱۱/۸۳ درصد سطح زیر کشت و ۱۳/۶۷ درصد میزان تولید گندم دیم کل کشور بوده است (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۸، ۲۴).



شکل ۱. موقعیت استان کردستان و میانگین دما ( $^{\circ}C$ ) و بارش (mm) روزانه در طول دوره آماری انتخاب‌شده



شکل ۲. روند عملکرد گندم دیم و سطح زیر کشت برای سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵ در استان کردستان

1. Stepwise Selection
2. Bayesianmodel averaging

## ۲-۲- داده‌های هواشناسی استفاده‌شده

همه داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه‌های سینوپیک بانه، بیجار، سنندج، سقز، قروه، مریوان، و زرینه‌باتو (شهرستان دیوان‌دره) از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۵ از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. نواقص آماری موجود به روش همبستگی و نزدیک‌ترین ایستگاه‌های همسایه بازسازی شد. با توجه به تأسیس ایستگاه هواشناسی مریوان از سال ۱۳۷۱ مدل‌سازی این شهرستان با داده‌های موجود انجام شد.

## ۳-۲- متغیرهای مستقل

متغیرهای مهم هواشناسی که بر رشد گیاه و میزان محصول تأثیر می‌گذارند عبارت‌اند از: تابش خورشید، دما، بارش (مقدار و پراکندگی آن)، رطوبت نسبی، و سرعت باد (هادگس و کانماسو<sup>۱</sup>، ۱۹۷۷، ردی و ردی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳ و مینا و داهاما<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴). از این رو، متغیرهای مستقل این مطالعه به صورت زیر انتخاب و استفاده شد. الف) شاخص‌های هواشناسی کشاورزی استخراج‌شده شامل این موارد است:

TD مجموع اختلاف دمای حداکثر و حداقل روزانه دما در هر مرحله فنولوژیکی که از رابطه (۱) به دست می‌آید.

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

در این معادله  $T_{\max}$  دمای حداکثر،  $T_{\min}$  دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)،  $a$  تاریخ شروع و  $b$  تاریخ اتمام هر مرحله فنولوژیکی است. این شاخص برای شناخت اثر نوسانات حداکثر و حداقل روزانه دما روی عملکرد محصول محاسبه شده است.

HTU<sup>۴</sup> مجموع واحدهای حرارتی - آفتابی برای هر مرحله فنولوژیکی است که از رابطه (۲) به دست می‌آید (ردی و ردی، ۲۰۰۳).

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{HTU} = \sum_a^b (\text{GDD} * n)$$

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{GDD} = \sum_a^b \left[ \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) - T_b \right]$$

در رابطه (۳) (گیلمور و راجرز<sup>۵</sup>، ۱۹۵۸)

$T_{\max}$  = حداکثر دمای روزانه برحسب درجه سانتی‌گراد،  $T_{\min}$  = حداقل دمای روزانه برحسب درجه سانتی‌گراد و  $T_h$  = دمای پایه، پایین‌ترین دمایی است که فرض می‌شود هیچ رشدی در دمای پایین‌تر از آن صورت نمی‌گیرد. در اینجا با توجه به نظر نوتونسون<sup>۶</sup> (۱۹۵۵) دمای پایه گندم ۴/۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است.  $b$  = تاریخ خاتمه مرحله رشد مورد نظر و  $a$  = تاریخ شروع مرحله رشد مورد نظر؛ و  $n$  در رابطه (۲) ساعت‌های آفتابی واقعی است.

VPD<sup>۷</sup> مجموع کمبود فشار بخار آب برای هر مرحله فنولوژیکی است که از رابطه (۴) به دست می‌آید (کرامر<sup>۸</sup>، ۱۹۹۷).

$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{VPD} = e_s - e_a$$

$$\text{رابطه (۵)} \quad e_a = (\text{RH}_{\text{mean}} * e_s) / 100$$

در این معادله  $e_s$  فشار بخار آب اشباع (میلی‌بار) که تابعی از دمای متوسط هواست (الن<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۰) و  $e_a$  فشار بخار آب واقعی و  $\text{RH}_{\text{mean}}$  میانگین رطوبت نسبی هوا به درصد است. کمبود فشار بخار آب نقش تأثیر دو پارامتر رطوبت نسبی و دما را در یک شاخص نشان می‌دهد و تأثیر بسزایی در تبخیر و تعرق گیاه دارد (رائو، ۲۰۰۳).

PET<sup>۱۰</sup> میانگین تبخیر و تعرق است که به روش فائو پنمن - مانتیس در هر مرحله فنولوژیکی با استفاده از نرم‌افزار CropWat محاسبه گردیده است.

ب) پارامترهای اقلیم‌شناسی شامل موارد زیر است:  $R$  = مجموع بارش در هر مرحله فنولوژیکی؛

1. Hodges & Kanemasu
2. Reddy & Reddi
3. Meena & Dahama
4. Helio Thermal Units
5. Gilmore & Roger
6. Nuttonson
7. Water Vapour Pressure Deficit
8. Kramer
9. Allen
10. Potential Evapo Transpiration

نرم‌افزاری ENVI تصحیح‌پذیر است. در تصاویری که به‌رغم استفاده از این روش، تصحیح هندسی به‌طور دقیق انجام نشده باشد، برای حذف انحراف در تصاویر، با استفاده از معادله افاین<sup>۲</sup>، از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شده است. به‌منظور تصحیح اثر اتمسفر نیز روش رگرسیون به کار برده شده است. در این روش پهنه‌های آبی عمیق انتخاب و ارقام این پیکسل‌ها در باندهای مادون قرمز و مرئی روی محورهای x و y (به ترتیب)، در مقابل هم رسم شدند. سپس با استفاده از روش کمترین مربعات<sup>۳</sup> بهترین خط مستقیم برازش‌یافته یا خط رگرسیون<sup>۴</sup> از نقاط تعیین شده، گذرانده شد. در صورتی که در آمار و داده‌های باندهای مرئی پخش و پراکنش اتمسفری تأثیری نداشته باشد، خط رگرسیون از نقطهٔ مبدأ خواهد گذشت و هرگونه فاصله از مبدأ در محور باند مرئی (a) نشان‌دهندهٔ تأثیرات اتمسفری بر داده‌های آن باند است (Flotd & Sabins, 1987). برای اصلاح آن مقدار، انحراف از مبدأ (a) از کل داده‌های باند مرئی کسر شد.

$R(\text{day}) = \text{تعداد روزهایی که رخداد بارش (بیش از } 0.1 \text{ میلی‌متر) در هر ایستگاه ثبت شده است}$ ؛ و  $\text{FF}_{\text{abs}(\text{max})}$  حداکثر مطلق سرعت باد در هر مرحله فنولوژیکی. هر کدام از این ۷ متغیر برای هر مرحله از رشد گیاه محاسبه شده‌اند.

ج) شاخص‌های گیاهی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای شاخص‌های طیفی گیاهی، در زمان مشخصی از فصل رشد، با میزان عملکرد محصول ارتباط بیشتری دارند. در این پژوهش، تصاویر مورد نیاز که مربوط به زمان حداکثر سبزی‌نگی گندم دیم‌اند (۵ تا ۱۵ اردیبهشت هر سال و در مجموع ۱۶ تصویر)، از سنجنده AVHRR ماهواره NOAA به‌دست آمد ([www.clas.ncdc.noaa.gov](http://www.clas.ncdc.noaa.gov)). در انتخاب تصاویر سعی شده است که از تصاویر بدون ابر استفاده شود و منطقه مطالعه‌شده در نادر<sup>۱</sup> تصویر قرار گیرد. پس از انجام تصحیحات لازم (انواع تصحیح هندسی و تصحیح اتمسفری)، شاخص‌های طیفی گیاهی مورد نظر برای هر تصویر استخراج شد. برای تصحیح هندسی تصاویر، از نقاط کنترل زمینی برداشت‌شده به‌وسیله ماهواره استفاده شد که در محیط

جدول ۱. شاخص‌های طیفی گیاهی استخراج‌شده برای دوره حداکثر سبزی‌نگی در این مطالعه

روش محاسبه	مرجع
$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$	روز و همکاران ۱۹۷۴ NIR= Near Infrared
$\text{RVI} = \frac{\text{NIR}}{\text{RED}}$	جوردن ۱۹۶۹
$\text{DVI} = \text{NIR} - \text{RED}$	توکر ۱۹۷۹
$\text{TNDVI} = \text{SQRT} \left[ \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \right] + 0.5$	توکر ۱۹۷۹، سابینز ۱۹۸۷، جنسن ۱۹۹۶
$\text{RVI}_1 = \text{SQRT} ( \text{IR} / \text{R} )$	توکر ۱۹۷۹، سابینز ۱۹۸۷، جنسن ۱۹۹۶

۱. خط قائمی که از مرکز تصویر می‌گذرد، صفحه منفی فیلم را با صفحه تصویر در نقطه‌ای به نام نقطه نادر یا نقطه شاغولی قطع می‌کند. این نقطه در عکس با n و در زمین با N نمایش داده می‌شود. اگر عکس‌برداری به صورت قائم باشد، نقطه نادر با نقطه اصلی یکی می‌شود.

2. Affine
3. Least Squares Method
4. Regression Line

به‌دست‌آمده اجرا شد. با توجه به این‌که طول دوره مطالعه‌شده کوتاه بود (۱۳ سال) این روش به میزان زیادی به افزایش نمونه‌ها و نزدیک‌شدن ویژگی‌های نمونه به جامعه آماری (کل داده‌ها اقلیمی و عملکرد در بلندمدت) انجامید. روش بوت استرپ برای مطالعه عدم قطعیت در مورد نتایج حاصل از روش‌های انتخاب پارامترها به‌کار می‌رود (Buckland et al., 1997; Chatfield, 1995; Miller, 2002). در این روش قاعده کلی این است که تعداد زیادی نمونه از داده‌های اصلی به صورت تصادفی و به‌روش جایگزینی انتخاب می‌شوند (Efron and Tibshirani, 1993). از این رو، از میان ۱۳ سال داده (نمونه) موجود، ۱۰۰۰۰ نمونه تصادفی انتخاب شد و مدل‌های رگرسیونی انتخاب‌شده، مجدداً روی این نمونه بزرگ اجرا شدند و مشخصات مدل‌ها و ضرایب پارامترهای نهایی استخراج شد و سرانجام، دوباره دقت مدل‌های حاصل برای سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ (۸۴ و ۸۵ برای شهرستان مریوان) آزموده شدند. در این مطالعه برای اجرای روش بوت‌استرپ از بسته نرم‌افزاری R استفاده شده است.

گروه دوم از متغیرهایی که وارد مدل‌های رگرسیونی خطی چندمتغیره شدند، شاخص‌های طیفی گیاهی‌اند. مانند مرحله قبل، این مدل‌ها برای ۱۳ سال تهیه شدند و با داده‌های سه سال باقی‌مانده آزمون شدند. روش آماری بوت‌استرپ روی این مدل‌ها نیز اجرا شد.

در مرحله بعد، با توجه به مدل‌های به‌دست‌آمده، شاخص یا شاخص‌های طیفی مناسب در دوره حداکثر رشد انتخاب، و به مدل‌های گروه اول (به‌دست‌آمده از عناصر اقلیمی و شاخص‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی) اضافه شد. مطابق مدل‌های قبل، روش آماری بوت‌استرپ روی این مدل‌ها نیز اجرا شد و مدل‌های به‌دست‌آمده از داده‌های ۱۳ ساله، با داده‌های ۳ سال آزمون شدند.

شاخص‌های گیاهی استخراج‌شده، از ساده‌ترین و پرکاربردترین شاخص‌های طیفی گیاهی در محدوده مطالعات پوشش گیاهی‌اند و از روابط جدول ۱ به‌دست آمده‌اند.

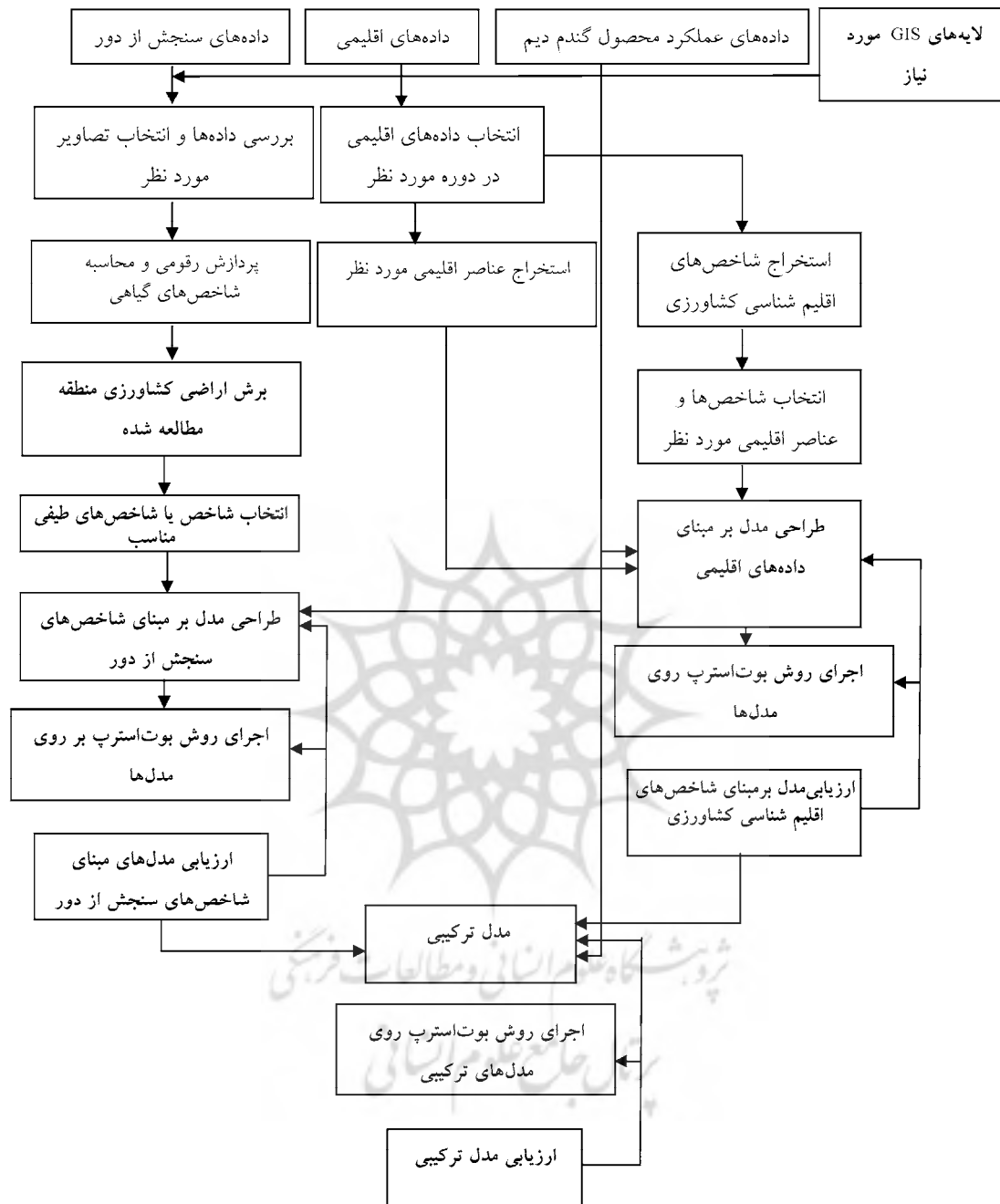
شاخص‌های طیفی گیاهی مذکور در جدول ۱ به‌صورت ارزش‌های میانگین برای کل اراضی کشاورزی استان کردستان و شهرستان‌های آن استخراج و به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل‌های رگرسیون عقب‌گرد<sup>۱</sup> شدند که متغیر وابسته آن میزان عملکرد محصول گندم دیم است.

شکل ۳ مدل مفهومی مطالعه انجام‌شده را نشان می‌دهد. در این مطالعه ابتدا با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود و داده‌های عملکرد گندم دیم، برای هر شهرستان دوره آماری مشترک برای مطالعه انتخاب شد. سپس با توجه به متفاوت بودن اثر پارامترهای گوناگون اقلیمی در هر مرحله از رشد گیاه، فصل رشد به ۶ مرحله فنولوژیکی متفاوت تقسیم شد. این مراحل شامل مرحله کاشت تا سه‌برگی شدن (۱۶ مهر تا ۱۶ آبان)، مرحله اول رشد رویشی (۱۷ آبان تا ۲۱ آذر)، مرحله خواب (۲۲ آذر تا ۲۵ اسفند)، مرحله دوم رشد رویشی پس از خواب (۲۶ اسفند تا ۲۱ اردیبهشت)، مرحله زایشی (۲۲ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد)، و مرحله رسیدگی کامل (۲۱ خرداد تا ۲۰ تیر) هستند. آغاز و پایان مراحل فوق با انجام مطالعات محلی و مرور منابع گوناگون تعیین شد. با مدل‌سازی برای کل دوره رشد و برای مجموع مراحل ۴ و ۵ کوشش شد تا بهترین متغیرهای مستقل برای شهرستان‌های گوناگون معرفی شدند.

در مرحله بعد با استفاده از مدل رگرسیونی عقب‌گرد، امکان پیش‌بینی عملکرد گندم دیم قبل از فصل برداشت در استان کردستان بررسی شد. به‌این‌منظور، ابتدا عناصر اقلیمی و شاخص‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی انتخاب‌شده به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره شدند و سپس، روش آماری بوت‌استرپ روی مدل‌های

1. Backward

برآورد عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص های اقلیم - کشاورزی و سنجش از دور در استان کردستان



شکل ۳. مدل مفهومی استخراج و شرح و بسط مدل پیش بینی عملکرد گندم دیم

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل آماری عملکرد گندم دیم

میانگین سطح زیر کشت گندم دیم در استان کردستان ۴۶۵۴۸۵ هکتار بوده است. کمترین مقدار سطح

زیرکشت مربوط به سال ۱۳۷۸ و به میزان ۳۹۲۱۵۷ هکتار و بیشترین سطح زیر کشت مربوط به سال ۱۳۷۳ و به میزان ۵۵۵۸۱۵ هکتار بوده است. میانگین میزان عملکرد در استان کردستان در دوره مطالعه شده

۳-۲- تبیین مدل پیش‌بینی عملکرد بر مبنای عناصر اقلیمی و شاخص‌های اقلیم - کشاورزی  
متغیرهای مستقل یا همان پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های هواشناسی کشاورزی به همراه ضرایب آن‌ها در مدل‌های رگرسیونی برای کل استان کردستان و همچنین ۷ شهرستان این استان در جدول‌های ۲ و ۳ آمده‌اند، که جدول ۲ بر مبنای مدل رگرسیونی و در جدول ۳ بر مبنای روش بوت‌استرپ استخراج شده‌اند. این مدل‌ها با داده‌های سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۲ استخراج شده‌اند و نتایج مدل‌های به‌دست آمده را در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ آزمون کرده‌اند.

۸۵۷/۵ کیلوگرم در هکتار بوده است که کمترین این میزان برای سال ۱۳۷۸ با میزان ۳۷۸/۱ و بیشترین آن مربوط به سال ۱۳۸۳ و با میزان ۱۳۱۵/۴ کیلوگرم در هکتار بوده است. یعنی در سال‌های اولیه دوره مطالعه‌شده سطح زیر کشت بیشتر و میزان عملکرد کمتر بوده، اما در سال‌های پایانی برعکس بوده است. بررسی‌های اولیه عملکرد گندم دیم استان کردستان در طول دوره مطالعه‌شده افزایش ضعیف اما پرنوسان این داده را نشان می‌دهد، در حالی که سطح زیر کشت، تغییر چندانی در طول این دوره نداشته است. این افزایش عملکرد محصول ممکن است به دلیل افزایش سطح تکنولوژی و بهبود روش‌های مدیریتی (از قبیل استفاده از واریته‌های پربازده، و استفاده از کود) صورت گرفته باشد.

جدول ۲. مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده برای همه شهرستان‌های مطالعه‌شده و مراحل فنولوژیکی مناسب برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم

ایستگاه	مرحله فنولوژیکی	متغیرهای مستقل و ضرایب مرتبط	R	SEOE (kg/ha)	نسبی مدل در سال‌های آزمون	درصد خطای
سندج	کل دوره	$Y=3001.78+((-1.11*TD)+(0.18*HTU) + (-385.4 *PET) + (53.3*FF_{absmax}))$	۰/۸۴*	۱۶۶	۱۷/۳۶	
سقز	۵	$Y=-803.57 + ((3.37 * TD) + (-4.2 * VPD) + (37.89 * R_{day}) + (96.44 * FF_{absmax}))$	۰/۹۴۳**	۸۹/۴	۱۲/۶۷	
قروه	کل دوره	$Y=-202.8+((-0.07* HTU)+(1.73*R)+(-529.1 *PET)+ (318.99*T))$	۰/۹۷۸**	۷۴/۶۹	۱۵/۲۹	
بیجار	۵	$Y=-1102.82+((-5.56 * VPD) + (-54.57 * FF_{absmax}) + (269.58 * T))$	۰/۸۷۱**	۱۵۸/۳	۲۴/۱۵	
دیوان‌دره	۵ و ۴	$Y= -84.01+((0.8*HTU)+(-8.01*VPD)+(17.79* R_{day}) + (60.02+FF_{absmax}))$	۰/۸۳۶*	۱۵۵/۸	۱۱/۴۳	
مریوان	۳	$Y= 420.4+((1.38 * HTU)+(1.43 * R)+(-69.87 * T))$	۰/۹۲۵**	۱۱۹/۰۱	۲/۱۶	
کل استان	۵	$Y=-2492.61+((0.46 * HTU)+(-15.59 * VPD)+ (-8.9 * R)+(564.11 * PET)+(243.43 * T))$	۰/۹۶۶**	۷۷/۴۶	۸/۸۶	

SEOE، خطای استاندارد تخمین؛ HTU، واحدهای حرارتی-آفتابی؛ VPD، کمبود فشار بخار آب جمعی؛ TD، اختلاف جمعی حداکثر و حداقل دمای روزانه؛ PET، میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل؛ R، مجموع بارش؛ R(day)، تعداد روزهایی که رخداد بارش بالاتر از ۰/۱ میلی‌متر داشته‌اند؛

FF<sub>absmax</sub>، حداکثر سرعت باد؛ T، میانگین دما

\* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

\*\* معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد



برآورد عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های اقلیم - کشاورزی و سنجش از دور در استان کردستان

جدول ۳. مدل‌های رگرسیونی ارائه شده برای همه شهرستان‌های مطالعه شده و مراحل فنولوژیکی مناسب برای پیش‌بینی عملکرد گندم دیم بعد از اجرای روش بوت‌استرپ

ایستگاه	مرحله فنولوژیکی	متغیرهای مستقل و ضرایب مرتبط	R	SEOE (kg/ha)	نسبی مدل در سال‌های آزمون	درصد خطای
سنندج	کل دوره	$Y=3153.28+((-1.16*TD)+(0.18*HTU)+(-383.02*PET)+(57.12*FF_{absmax}))$	۰/۹*	۱۲۱/۸	۱۷/۲	
سقز	۵	$Y=-895.98+((3.35*TD)+(-3.85*VPD)+(41.48*R_{day}+(95.33*FF_{absmax}))$	۰/۹۵۳*	۶۶/۲۱	۱۳/۸۹	
قروه	کل دوره	$Y=-172.55+((-0.07*HTU)+(1.78*R)+(-509.46*PET)+(304.08*T))$	۰/۹۸۵**	۵۱/۷۴	۱۵/۳۱	
بیجار	۵	$Y=-1056.18+((-5.48*VPD)+(-52.38*FF_{absmax}+(264.39*T))$	۰/۸۹۸**	۱۲۲/۶	۲۳/۸۹	
دیوان‌دره	۵ و ۴	$Y=-73.12+((0.73*HTU)+(-7.68*VPD)+(17.69*R_{day}+(74.49*FF_{absmax}))$	۰/۸۹۵*	۱۱۲/۸	۱۳/۳۶	
مریوان	۳	$Y=471.71+((1*HTU)+(1.27*R)+(-61.91*T))$	۰/۹۳۸**	۹۳/۲	۶/۴۱	
کل استان	۵	$Y=-2807.3+((0.44*HTU)+(-15.59*VPD)+(-5.79*R)+(729.94*PET)+(206.52*T))$	۰/۹۸۱**	۴۶/۷۴	۷/۰۳	

SEOE، خطای استاندارد تخمین؛ HTU، واحدهای حرارتی-آفتاب‌ی؛ VPD، کمبود فشار بخار آب جمعی؛ TD، اختلاف جمعی حداکثر و حداقل دمای روزانه؛ PET، میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل؛ R، مجموع بارش؛ R(day)، تعداد روزهایی که رخداد بارش بالاتر از ۰/۱ میلی‌متر داشته‌اند؛ FF<sub>absmax</sub>، حداکثر سرعت باد؛ T، میانگین دما.

\* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

\*\* معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

اسفند) و در دو شهرستان سنندج و قروه، بهترین مدل با داده‌های کل فصل رشد به‌دست آمد.

با توجه به جدول ۲ میزان ضریب همبستگی مدل‌های رگرسیونی ارائه شده قبل از اجرای روش بوت‌استرپ از ۰/۸۳۶ در شهرستان دیوان‌دره تا ۰/۹۷۸ در شهرستان قروه متغیر است. میزان ضریب همبستگی کل استان نیز ۰/۹۶۶ است. همچنین میزان انحراف معیار یا SEOE نیز از ۷۴/۶۹ کیلوگرم در هکتار برای مدل مربوط به شهرستان قروه تا ۱۶۶ کیلوگرم در هکتار برای مدل شهرستان سنندج متفاوت است.

جدول‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهند که بهترین مدل‌های رگرسیونی عملکرد گندم دیم در کل استان کردستان، و همچنین شهرستان‌های سقز، بانه، و بیجار، با توجه به متغیرهای مستقل وارد شده به مدل، داده‌های مرحله زایشی (۲۳ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد) است. در شهرستان دیوان‌دره، بهترین مدل مربوط به مجموع دو مرحله دوم رویشی و مرحله زایشی (۲۶ اسفند تا ۲۱ اردیبهشت) بود. در شهرستان مریوان بهترین مدل با توجه به متغیرهای مستقل وارد شده به مدل‌ها برای داده‌های مرحله خواب (۲۲ آذر تا ۲۵

به مدل‌سازی با شاخص‌های استخراج‌شده برای ۱۳ سال و آزمون آن در سه سال دیگر شد. نتایج این مدل‌سازی و اجرای روش بوت‌استرپ روی آن در جدول‌های ۴ و ۵ ذکر شده‌اند. برای سه شهرستان سقز، قروه و بیجار مدل‌هایی در سطح معنی‌داری ۵ درصد به‌دست نیامد. ضرایب همبستگی به‌دست آمده با این شاخص‌ها هم قبل از اجرای روش بوت‌استرپ و هم بعد از آن، کمتر از مدل‌های ارائه‌شده با ورود عناصر اقلیمی و شاخص‌های اقلیمی - کشاورزی (جدول‌های ۲ و ۳) است و میزان خطای SEOE این مدل‌ها افزایش نشان می‌دهد. این امر احتمالاً به‌دلیل پایین‌بودن قدرت تفکیک مکانی تصاویر سنجنده AVHRR است. شاخص DVI به‌جز در مدل استخراج‌شده برای شهرستان بانه، در سایر مدل‌ها وارد شده و در سه مدل، تنها شاخص واردشده در مدل‌هاست.

درحالی‌که با توجه به جدول ۳ میزان ضریب همبستگی مدل‌های رگرسیونی بعد از اجرای روش بوت‌استرپ از ۰/۸۹۵ برای مدل مربوط به شهرستان دیوان‌دره تا ۰/۹۷۸\* در شهرستان قروه متفاوت بوده و این میزان برای کل استان معادل ۰/۹۶۶ است. میزان خطای معیار مدل‌های به‌دست‌آمده بعد از اجرای روش بوت‌استرپ نیز از ۵۱/۷۴ کیلوگرم در هکتار در شهرستان قروه تا ۱۲۲/۶ کیلوگرم در هکتار در شهرستان بیجار متغیر بوده است. در مدل ارائه‌شده برای کل استان میزان خطای ۴۶/۷۴ کیلوگرم در هکتار است. نتیجه آزمون مدل‌های به‌دست‌آمده با سه سالی که در مدل‌سازی وارد نشده‌اند در این دو جدول مشاهده می‌شود.

### ۳-۳- تبیین مدل پیش‌بینی عملکرد با شاخص‌های طیفی گیاه

به‌منظور مدل‌سازی با شاخص‌های طیفی گیاه نیز، اقدام

جدول ۴. مدل‌های رگرسیونی (عقب‌گرد) ارائه‌شده با شاخص‌های طیفی استخراج‌شده برای ۱۳ سال دوره مطالعه‌شده (بدون سال ۱۳۸۰)

ایستگاه	متغیرهای مستقل و ضرایب مرتبط	R	SEOE (kg/ha)
سنندج	$Y=21209.92+(5.03*DVI)+(6325.85*RVI)+(-36406.03*TNDVI)$	۰/۸۱**	۱۷۹/۲
سقز	-	-	-
قروه	-	-	-
بیجار	-	-	-
دیوان‌دره	$Y=398.05+(4.42*DVI)$	۰/۶۰۴*	۱۸۸/۷
مریوان	$Y=572.53+(3.98*DVI)$	۰/۸۹۲**	۱۳۱/۰۳
بانه	$Y=18236.2+((5337.21*RVI)+(-30747.03*TNDVI))$	۰/۷۶۵*	۱۶۱
کل استان	$Y=473.81+(4.05*DVI)$	۰/۶۹۵*	۱۷۳/۵

SEOE، خطای استاندارد تخمین؛ DVI، شاخص اختلاف گیاهی؛ RVI، شاخص نسبت‌های گیاهی؛ TNDVI، شاخص اختلاف گیاهی نرمال‌شده و تغییر یافته

\* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

\*\* معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

برآورد عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های اقلیم - کشاورزی و سنجش از دور در استان کردستان

جدول ۵. مدل‌های رگرسیونی (عقب‌گرد) ارائه‌شده با شاخص‌های طیفی استخراج‌شده برای ۱۳ سال دوره مطالعه‌شده (بدون سال ۱۳۸۰)

ایستگاه	متغیرهای مستقل و ضرایب مرتبط	R	SEOE (kg/ha)
سنندج	$Y=23177.81+(6.39*DVI)+(7079.83*RVI)+(-40206.16*TNDVI)$	۰/۸۵۵**	۱۴۱/۲
سقز	-	-	-
قروه	-	-	-
بیجار	-	-	-
دیوان‌دره	$Y=340.71+(5.63*DVI)$	۰/۶۴۲*	۱۶۷/۷
مربوان	$Y=561.01+(4.14*DVI)$	۰/۸۸۳**	۱۱۶/۳
بانه	$Y=18416+((5347*RVI)+(-30980*TNDVI))$	۰/۸۳۲*	۱۲۶/۲
کل استان	$Y=402.58+(5.35*DVI)$	۰/۷۲۵*	۱۵۱/۴

SEOE، خطای استاندارد تخمین؛ DVI، شاخص اختلاف گیاهی؛ RVI، شاخص نسبت‌های گیاهی؛ TNDVI، شاخص اختلاف گیاهی نرمال‌شده و تغییر یافته

\* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

\*\* معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

جدول ۶. مدل‌های رگرسیونی (عقب‌گرد) ارائه‌شده با ترکیب شاخص‌های اقلیم کشاورزی، و داده‌های اقلیمی

درصد خطای نسبی مدل در سال‌های آزمون	ایستگاه	متغیرهای مستقل و ضرایب مرتبط	R	SEOE (kg/ha)
۳/۴	سنندج	$Y=2614.09+((-0.88*TD)+(0.14*HTU)+(-378.57*PET)+(39.63*FF_{absmax})+(2.97*DVI))$	۰/۹۳۷**	۱۱۴/۱۴
۱۴/۲۸	سقز	$Y=-1038.57+((3.94*TD)+(-4.68*VPD)+(42.03*R_{day})+(114.26*FF_{absmax})+(-1.21*DVI))$	۰/۹۵۴**	۸۶/۰۶
۲۴/۶۲	قروه	$Y=-76.27+((-0.06*HTU)+(1.7*R)+(-603.65*PET)+(327.36*T)+(-0.57*DVI))$	۰/۹۷۸**	۷۸/۶۶
۱۶/۸۵	بیجار	$Y=-1379.97+((-5.88*VPD)+(-44.32*FF_{absmax})+(278.87*T)+(2.09*DVI))$	۰/۹۴۳**	۱۴۷/۷۱
۲۹/۵۱	دیوان‌دره	$Y=-352.11+((0.81*HTU)+(-8.17*VPD)+(18.99*R_{day})+(46.81*FF_{abs})+(2359.56*NDVI))$	۰/۹۲۵**	۱۱۵/۳
۶/۲۷	مربوان	$Y=426.78+((1.03*HTU)+(1.05*R)+(-67.8*T)+(1.63*DVI))$	۰/۹۷۲**	۷۸/۸۴
۱۱/۶۷	کل استان	$Y=-2401.61+((0.37*HTU)+(-15.07*VPD)+(-11.02*R)+(517.74*PET)+(250.75*T)+(1198.52*NDVI))$	۰/۹۸۳**	۵۸/۷۸

SEOE، خطای استاندارد تخمین؛ HTU، واحدهای حرارتی-آفتابی؛ VPD، کمبود فشار بخار آب جمعی؛ TD، اختلاف جمعی حداکثر و حداقل دمای روزانه، PET، میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل؛ R، مجموع بارش؛ R(day)، تعداد روزهایی که رخداد بارش بالاتر از ۰/۱ میلی‌متر داشته‌اند؛ FF<sub>absmax</sub>، حداکثر سرعت باد؛ T، میانگین دما؛ DVI، شاخص اختلاف گیاهی؛ NDVI، شاخص اختلاف گیاهی نرمال‌شده.

\* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

\*\* معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد

۳-۴- تبیین مدل ترکیبی بر مبنای شاخص‌های اقلیم کشاورزی و شاخص‌های طیفی گیاه

شاخص‌های طیفی استخراج‌شده (NDVI، RVI، TNDVI و RVI<sub>1</sub>) بیش از ۹۷ درصد همبستگی با هم

را نشان داده‌اند. در این مطالعه برای استخراج مدل‌های ترکیبی، از مناسب‌ترین مدل‌های به‌دست‌آمده با شاخص‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی و داده‌های اقلیمی (جدول‌های ۶ و ۷) و از دو شاخص طیفی NDVI و

همه مدل‌های ارائه شده به این روش نیز در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار هستند. میانگین درصد خطای نسبی مدل‌ها در سه‌سالی که وارد مدل‌سازی نشده‌اند نیز در چهار مدل کاهش و در سه مدل افزایش اندکی نشان می‌دهد.

نتایج اجرای روش بوت‌استرپ روی مدل‌های ترکیبی ارائه شده، در جدول ۷ ذکر شده است و نشان می‌دهد که ضریب همبستگی این مدل‌ها افزایش و میزان خطای استاندارد تخمین آن‌ها کاهش یافته است. نتیجه تخمین میزان عملکرد با توجه به مدل‌های ترکیبی ارائه شده در شکل ۴ نشان داده شده است.

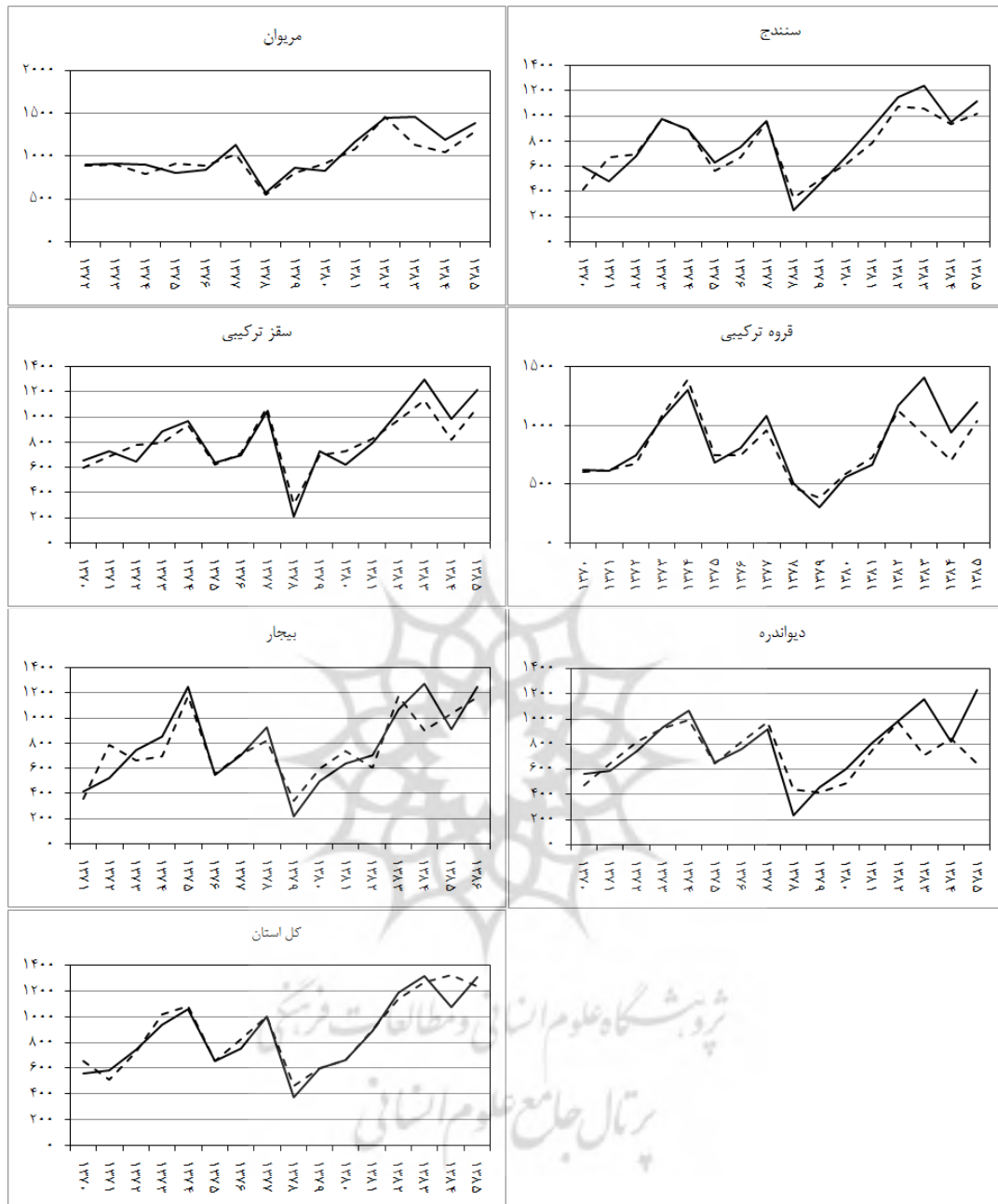
DVI استفاده شده است. به این صورت که ابتدا متغیرهای مستقلی که در مناسب‌ترین مدل‌های به دست آمده (۲ و ۳) وارد شده‌اند به صورت هم‌زمان<sup>۱</sup>، و دو شاخص طیفی NDVI و DVI به روش مرحله‌ای در ورود متغیرها (گام به گام) وارد مدل‌های رگرسیون خطی شدند. میانگین درصد خطای نسبی مدل‌ها در سه سالی که وارد مدل‌سازی نشده‌اند، در چهار مدل کاهش، و در سه مدل افزایش اندکی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در همه مدل‌های ترکیبی ارائه شده، میزان ضریب همبستگی مدل‌ها افزایش، و میزان خطای استاندارد تخمین آن‌ها کاهش یافته است.

جدول ۷. مدل‌های رگرسیونی (عقب‌گرد) ارائه شده با ترکیب شاخص‌های طیفی، شاخص‌های اقلیم کشاورزی، و داده‌های اقلیمی، بعد از اجرای روش بوت‌استرپ

ایستگاه	متغیرهای مستقل و ضرایب مرتبط	R	SEOE (kg/ha)	نسبی مدل در سال‌های آزمون	درصد خطای
سندج	$Y=2856.17+((-0.89*TD)+(0.14*HTU)+(-430.49*PET)+(42.16*FF_{absmax})+(2.11*DVI))$	۰/۹۷۱**	۶۳/۹۲	۸/۱۴	
سقز	$Y=-1152.84+((3.93*TD)+(-4.2*VPD)+(44.57*Rday)+(109.84*FF_{absmax})+(-1.1*DVI))$	۰/۹۷۱**	۵۲/۹۳	۱۳/۶۶	
قروه	$Y=-297.41+((-0.06*HTU)+(1.92*R)+(-491.62*PET)+(295.11*T)+(0.08*DVI))$	۰/۹۸۸**	۴۹/۰۳	۲۴/۵۵	
بیجار	$Y=-1670.75+((-6.33*VPD)+(-41.3*FF_{absmax})+(305.82*T)+(2.1*DVI))$	۰/۹۳۱**	۱۰۲/۸	۱۶/۶۲	
دیوان‌دره	$Y=-389.79+((0.84*HTU)+(-8.51*VPD)+(20.014*Rday)+(53.14+FF_{absmax})+(2169.12*NDVI))$	۰/۹۶۴**	۶۸/۱۷	۲۹/۴۷	
مریوان	$Y=427.21+((0.03*HTU)+(0.98*R)+(-60.94*T)+(1.94*DVI))$	۰/۹۷۹**	۵۴/۸۸	۹/۳۴	
کل استان	$Y=-2639.43+((0.32*HTU)+(-14.79*VPD)+(-9.43*R)+(654.69*PET)+(220.72*T)+(1618.33*NDVI))$	۰/۹۹۶**	۱۹/۱۸	۱۰/۷	

SEOE، خطای استاندارد تخمین؛ HTU، واحدهای حرارتی-آفتابی؛ VPD، کمبود فشار بخار آب جمعی؛ TD، اختلاف جمعی حداکثر و حداقل دمای روزانه؛ PET، میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل؛ R، مجموع بارش؛ R(day)، تعداد روزهایی که رخداد بارش بالاتر از ۰/۱ میلی‌متر داشته‌اند؛ FF<sub>absmax</sub>، حداکثر سرعت باد؛ T، میانگین دما؛ DVI، شاخص اختلاف گیاهی؛ NDVI، شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده.

برآورد عملکرد گندم دیم با استفاده از شاخص‌های اقلیم - کشاورزی و سنجش از دور در استان کردستان



شکل ۴. عملکرد واقعی (خط ممتد) و پیش‌بینی‌شده (خط نقطه‌چین) گندم دیم در سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵ برای استان کردستان با شاخص‌های ترکیبی

##### ۵- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیونی عملکرد گندم دیم در کل استان کردستان، و همچنین شهرستان‌های سقز و بیجار، با ورود عناصر اقلیمی و شاخص‌های اقلیم‌شناسی

کشاورزی به‌عنوان متغیرهای مستقل به مدل، داده‌های مرحله زایشی (۲۳ اردیبهشت تا ۲۰ خرداد) است. در شهرستان دیوان‌دره، بهترین مدل متعلق به مجموع دو مرحله دوم رویشی و مرحله زایشی (۲۶ اسفند تا ۲۱ خرداد) است. در شهرستان مریوان بهترین مدل با توجه

مطالعات اقلیم‌شناسی کشاورزی نیز تأیید می‌کند و همچنین نتیجه به‌دست‌آمده به‌وسیله پروست و همکاران (۲۰۰۸) در محدوده مطالعاتی پیش‌بینی محصول گندم را تأیید می‌کند. با توجه به این‌که از مشکلات عمده مطالعات در حیطه اقلیم‌شناسی کشاورزی در کشور دشواری دسترسی به داده‌های با طول دوره بلندتر است، برای حل این مشکل از روش بوت‌استرپ استفاده می‌شود.

نتیجه آزمون مدل‌های استخراج‌شده با ورود داده‌های اقلیمی و شاخص‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی نشان می‌دهد که کمترین میزان میانگین درصد خطای نسبی همه مدل‌ها، در سه سالی که وارد مدل‌سازی نشده‌اند، مربوط به مرحله پنجم از مراحل فنولوژی گندم دیم است. این میزان برای همه مدل‌های استخراج‌شده در این مرحله، ۱۹/۶ بوده است. پس از این مرحله کمترین میانگین درصد خطای نسبی مربوط به مجموع دو مرحله چهارم و پنجم بوده است و میانگین آن برای همه مدل‌های استخراج‌شده در این مرحله ۲۰/۱۲ بوده است. بالا بودن درصد خطای نسبی تخمین در مراحل اول رشد، مربوط به فاصله زمانی زیاد از رسیدگی کامل و احتمال وقوع حوادث ناگهانی و پیش‌بینی نشده در مدت زمان باقی‌مانده از فصل رشد است. به‌همین دلیل، مناسب‌ترین مدل‌های استخراج‌شده، اکثراً مربوط به مرحله پنجم، و مجموع مراحل چهارم و پنجم، از فنولوژی گندم دیم بوده است. فقط در شهرستان مرطوب‌تر و معتدل‌تر مریوان که امکان حوادث ناگهانی کمتر است، مناسب‌ترین مدل مربوط به مرحله سوم از فنولوژی گندم دیم بوده است.

#### ۶- منابع

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 2000, **Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop water Requirements)**, FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56.

به متغیرهای مستقل وارد شده به مدل‌ها و داده‌های مرحله خواب (۲۲ آذر تا ۲۵ اسفند)، و در دو شهرستان سنندج و قروه بهترین مدل با توجه به داده‌های کل فصل رشد به‌دست آمده است. مدل‌های به‌دست‌آمده برای مراحل اولیه رشد در این شهرستان‌ها دقت بالاتری داشته‌اند اما درصد خطای نسبی تخمین آن‌ها نیز بالاتر بوده است. در این زمینه بازگیر و همکاران (۲۰۰۸) و کمالی و همکاران (۱۳۷۸)، برای شهرستان سنندج بهترین مدل را با استفاده از داده‌های مرحله دوم رشد رویشی فعال پس از خواب، و برای شهرستان قروه، با داده‌های مرحله زایشی استخراج کردند و در هر دو مطالعه، موفق نشدند که برای شهرستان بیجار مدلی با میزان انحراف نسبی مناسب ارائه کنند. مدل‌های ارائه‌شده در این مطالعه ضریب همبستگی بیشتر و میزان خطای کمتری دارند.

مدل‌سازی با شاخص‌های طیفی گیاهی استخراج‌شده از سنجده AVHRR ماهواره NOAA (جدول‌های ۴ و ۵) نشان می‌دهد که در این مدل‌های شاخص DVI علاوه بر همبستگی بیشتر با میزان عملکرد گندم دیم در اکثر مدل‌های استخراج‌شده با شاخص‌های طیفی گیاه، وارد مدل‌های نهایی شده و در بیشتر آن‌ها، تنها متغیر پیشگو بوده است. دلیل این امر شاید دامنه وسیع‌تر این شاخص در مقایسه با دیگر شاخص‌هاست. در بیشتر مطالعات انجام‌شده در مقوله مدل‌سازی با شاخص‌های طیفی گیاه از شاخص NDVI استفاده شده است. همچنین امکان کسب تصاویر NDVI استخراج‌شده به‌وسیله پایگاه اطلاعاتی سنجنده‌های گوناگون دلیل استفاده از آن است.

نتایج اجرای روش بازنمونه‌گیری بوت‌استرپ روی تمامی مدل‌های استخراج‌شده در این مطالعه نشان می‌دهد که در مواردی که تعداد مشاهده‌ها (در طول دوره مطالعه شده در این تحقیق) کم است کاربرد این روش موجب استخراج مدل‌هایی با ضریب همبستگی بالاتر و میزان خطای استاندارد کمتر، می‌شود. این نتیجه کاربرد روش بازنمونه‌گیری بوت‌استرپ را در

- Bair, W., 1977, **Crop-weather Models and Their Use in Yield Assessments**, Tech Note, world meteorological organization, Rome, PP. 148.
- Barnett, V., 2004, **Environmental Statistics—Methods and Applications**, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.
- Barnett, V., Landau, S., Colls, J.J., Craigon, J., Mitchell, R.A.C., Payne, R.W., 1997, **Predicting Wheat Yields: The Search for Valid and Precise Models**, In: Bock, G.R., Goode, J.A. (Eds.), Precision Engineering: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality, Novatis Foundation Symposium 210, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, PP. 79–92.
- Bazgeer, Saeed, 2005, **Land use Change Analysis in the Sub Mountainous Region of Punjab using Remote Sensing, GIS, and Agro Meteorological Parameters**, Ph.D. Thesis in Agricultural Meteorology, Punjab Agricultural University.
- Bazgeer., S., Kamali., Gh., Mortazavi., A., 2007, **Wheat Yield Prediction Through Agrometeorological Indices for Hamedan, Iran**. Biaban Journal, 12, PP. 33-38.
- Bazgeer, S., Kamali., GH.A., Sedaghatkerdar, A., Moradi, A., 2008, **Pre-Harvest Wheat Yield Prediction Using Agrometeorological Indices for Different Regions of Kordestan Province, Iran**, Research journal of environmental sciences, 2(4), PP. 275-280.
- Boken, V.K., Shaykewich, C.F., 2002, **Improving an Operational Wheat Yield Model Using Phenological Phase-based Normalized Difference Vegetation Index**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 23, 20, PP. 4155 – 4168.
- Buckland, S.T., Burnham, K.P., Augustin, N.H., 1997, **Model Selection: An Integral Part of Inference**, Biometrics, 53, PP. 603–618.
- Chatfield, C., 1995, **Model Uncertainty**, Data Mining and Statisticalinference, J.R. Statist. Soc, A 158, PP. 419–466.
- Chatterjee S., Hadi A.S., 2006, **Regression Analysis by Example**, New York University, Forth Edition, John Wiley & Sons, INC.
- Dadhwall, V.K., Ray, S.S, 1998, **Crop Assessment Using Remote Sensing-II: Crop Condition and Yield Assessment**, Proc National Seminar of Remote Sensing and Agricultural Statistics, PP. 55-67, Space Application Center, Ahmadabad, India.
- Dalezios, N.R., Loukas, A., Bampzelis, D., 2002b, **Assessment of NDVI and Agrometeorological Indices for Major Crops in Central Greece**, Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 27, PP. 1019–1023.
- Efron, B., Tibshirani, R.J., 1993, **An Introduction to the Bootstrap**, Chapman & Hall, New York.
- Flotd, F., Sabins, J. R., 1987, **Remote Sensing Principles and Interpretations**, New York.
- Frajzadeh, Manuchehr, Khorani, Asadolah, Bazgeer, Saeed, Zyeeyan, Parviz, 2009, **Reorganization and Analysis of Effects of Climatic Parameters and Agroclimatic Indexes in Different Phonological Stages of Rainfed Wheat In Kurdistan Province**, Accepted paper foe publish in Modares Journal- spatial planning.
- Gilmore, E.C., Rogers, J.S., 1958, **Heat Units as a Method of Measuring Maturity in Corn**, Agtonomy Journal, 50, PP. 611-615.

- Hatfield, J.L. et al., 2008, **Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions**, Agron. J, vol.100, PP. S-117–S-131.
- Hodges, T., Kanemasu, E.T., 1977, **Modeling Daily Dry Matter Production of Winter Wheat**, Agron, 69, PP. 974-78.
- Jensen, J.R., 1996, **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**, 2d ed, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Jihad Keshavarzy Ministry, 2010, **Agricultural Statistics**, Volume 1, Agricultural products.
- Johnson, G.E., Achutuni, V.R., Thiruvengadachari, S., Kogan, F., 1993, **The Role of NOAA Satellite Data in Drought Early Warning and Monitoring: Selected Case Studies**, In: Wilhite, D.A. (Ed.), **Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies**, Kluwer Academic, PP. 31–49.
- Jordan, C.F., 1969, **Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on the Forest Floor**, Ecology, Vol. 50, PP. 663-666.
- Kamali, Gholamali, Bazgeer, Saeed, 2007, **Forecasting of Rainfed Wheat Using Agroclimatic Indices in some Rejoins of West of Iran**, Journal of agricultural sciences and natural resources, No. 2, PP. 121-113.
- Khorani, Asadolah, 2010, **Modeling of Rainfed weath Yield Using Agroclimatic and Remote Sensing Indices**, Ph.D. thesis of Tarbiat Modares University.
- Kramer, P.J., 1997, **Plant and Soil Water Relationship: A Modern Synthesis**, Tata McGraw Hill publishing company, New Delhi, PP. 296-345.
- Meena, R.P., Dahama, A.K., 2004, **Crop Weather Relationship of Groundnut During Different Phenophases Under Irrigated Condition of Western Rajasthan**, Journal of agromet 6, PP. 25-32.
- Monteith, J. L., 1977, **Climate and the Efficiency of Crop Production in Britain**, Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B 281, PP. 277–294.
- Miller, A., 2002, **Subset Selection in Regression**, 2nd ed. Chapman & Hall/CRC, New York.
- Nuttonson, M.Y., 1955, **Wheat Climate Relationship and Use of Phenology in Ascertaining the Thermal and Photo-thermal Requirement of Wheat**, American Institute of Crop Ecology, Washington DC, pp. 54-55.
- Prost, L., Makowski, D., Jeuffroy, M.H., 2008, **Comparison of Stepwise Selection and Bayesian Model Averaging for Yield Gap Analysis**, Ecological Modelling 2 1 9, PP. 66–76.
- Qian, B., Jong, R.D., Warren R., Chipanshi, A., Hill H., 2009, **Statistical Spring Wheat Yield Forecasting for the Canadian Prairie Provinces**, Agricultural and Forest Meteorology, 149, PP. 1022–1031.



- Rao, G.S.L.H.V.P., 2003, **Agricultural Meteorology**, Director of Extinction, Kerala Agricultural University, Thrissur, Kerala, India, PP. 95-112.
- Reddy, T.Y., Reddi, G.H.S., 2003, **Principles of Agronomy**, Kalyani Publishers, Ludhiana, PP. 48-77.
- Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974, **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**, Third ERTS symposium, NASA SP-351, 1, PP. 309-317.
- Sabins, F.F., 1987, **Remote Sensing Principles and Interpretation**, 2d ed. New York: W. H. Freeman & Co.
- Steiner, J.L., Hatfield, J.L., 2008, **Winds of Change: A Century of Agroclimate Research**, Agron J, vol. 100, PP.S-132-S-152.
- Tucker, C.J., 1979, **Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation**, Remote Sensing of Environment, Vol.8, PP.127-150.
- Zhang, P. et al., 2004, **Climate Related Vegetation Characteristics Derived from MODIS LAI and NDVI**, J. Geophys. Res, 109, D20105 doi:10.1029/2004JD004720.
- Zhang, P. et al., 2005, **Potential Monitoring of Crop Production Using a Satellite-Based Climate-Variability Impact Index**, Agricultural and Forest Meteorology, Vol, 132, PP. 344-358.

