

برآورد ضریب گیاهی گندم پاییزه با استفاده از داده‌های سنجش از دور با رویکرد کاهش داده

لاله پرویز^{۱*}

(^{۱*}) استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۴

چکیده:

استفاده بهینه از آب آبیاری نیاز به برنامه‌ریزی دقیق آبیاری دارد و برآورد دقیق ضریب گیاهی به‌خصوص در مقیاس‌های وسیع پیش‌نیاز آن است. هدف از این تحقیق مقایسه برخی از رویکردهای پیش‌پردازش داده‌های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی: رگرسیون و کاهش داده (تحلیل مؤلفه‌های اصلی و چرخشی) در برآورد ضریب گیاهی با شاخص‌های NDVI، RI، TVI، MSAVI، SAVI، mTVI، EVI، MNDVI، TVX، NVSWI در جهت مدل‌سازی ضریب گیاهی گندم در استان آذربایجان شرقی بود. مقایسه عملکرد رویکرد کاهش داده و رگرسیون بیانگر کاهش معیارهای خطا در رویکرد کاهش داده بود، به‌عنوان نمونه درصد افزایش آماره RMSE از حالت چرخشی به رگرسیون ۱۱/۸ و از حالت تحلیل مؤلفه‌های اصلی به رگرسیون ۲۲/۷ بود. رویکردهای مورد استفاده در برآورد ضریب گیاهی از تخمین بیش‌برآوردی برخوردار بودند به طوری که میزان افزایش متوسط ضریب گیاهی دوره صحت‌سنجی از ضریب گیاهی فائو به رویکرد پیش‌پردازش با رگرسیون، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و چرخشی به ترتیب ۱۳/۷، ۶/۷ و ۴/۶ درصد بوده است. بنابراین استفاده از چرخش در تحلیل کاهش داده میزان دقت تخمین را بالا می‌برد. کاهش ۳۹/۱۳ درصد ضریب همبستگی از شاخص MSAVI نسبت به NDVI، حاکی از این است که شاخص‌های توسعه‌یافته براساس شرایط منطقه در افزایش کارایی برآورد ضریب گیاهی با تصاویر ماهواره‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

کلید واژه‌ها: پیش‌پردازش؛ چرخشی؛ شاخص‌های توسعه‌یافته؛ کاهش داده

مقدمه

تجربی برآورد تبخیر- تعرق نیاز به تعیین ضریب گیاهی است و ضریب گیاهی تابعی از مقاومت سطحی و آیرودینامیک است (Flores-Magdaleno and Palacios- Véllez, 2013). از جمله مشکلات پیشرو، برآورد مؤلفه‌های نیاز آبی در مناطق بزرگ مانند مناطق آبیاری و یا حوضه‌های بزرگ می‌باشد که با استفاده از تکنیک سنجش از دور و جمع‌آوری داده‌های مکانی در مقیاس وسیع تا حدی از مشکلات مربوط کاسته می‌شود. در بیان وضعیت پوشش گیاهی منطقه میزان بازتاب طیفی گیاهان از اهمیت چشم‌گیری برخوردار است. در این راستا

افزایش تقاضا در تأمین مواد غذایی به‌علت رشد جمعیت، استفاده بهینه از منابع طبیعی موجود را ضروری کرده است که در این میان تاثیرگذاری منابع آب در تأمین مواد غذایی و رشد گیاهی نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان جهت استفاده بهینه از منابع آب در زمینه آبیاری از اهمیت چشم‌گیری برخوردار است. برآورد تبخیر- تعرق در بخش‌های مدیریتی، کشاورزی و محیط‌زیستی مانند مطالعات هیدرولوژیکی، برنامه‌ریزی آبیاری، مدل‌سازی گیاهان لازم می‌باشد. در روش‌های

شاخص‌های گیاهی با فرمول‌بندی ریاضی میزان بازتاب در محدوده‌های طیفی مختلف، برای ارزیابی و بررسی گیاهان طراحی شده‌اند و از کاربرد وسیعی برخوردار هستند.

سیفی و همکاران (۱۳۸۹) با توسعه مدل ترکیبی رگرسیون چندگانه- تحلیل مؤلفه‌ها و عامل‌های اصلی به پیش‌بینی تبخیر- تعرق مرجع در ایستگاه کرمان پرداختند. اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر بر تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از تحلیل عاملی مورد ارزیابی قرار گرفت. دو مؤلفه PC_1 و PC_2 که ۸۰ درصد واریانس کل را به خود اختصاص داده بودند به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی و بقیه به‌عنوان اختلال در نظر گرفته شده بود. طبق نتایج مؤلفه اول اهمیت بیش‌تری نسبت به مؤلفه دیگر دارد، بنابراین اهمیت متغیرهای شدت تابش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، دمای کمینه و دمای بیشینه در برآورد تبخیر- تعرق نسبت به سایر متغیرها آشکار شد. غلامی و همکاران (۱۳۸۹) به برآورد ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق واقعی گندم با تصاویر سنجنده MODIS^۱ در حوضه گرگانرود پرداختند. در این تحقیق سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI^۲ جهت محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گندم در طول دوره رشد استفاده شد. نتایج آماری حاصل از این روش در مقایسه با مدل پنمن- مانیتث- فائو نشان داد که استفاده از این روش دارای خطای جذر میانگین مربعات^۳ ۱۸ میلی‌متر، خطای مطلق ۱۶ میلی‌متر در کل فصل رشد گندم است. امیر مرادی و بهمنی (۱۳۹۳) به برآورد دمای روزانه خاک با شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شیراز در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۸ در سه عمق ۵، ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری پرداختند. به‌علت تعداد زیاد متغیرهای مورد استفاده در برآورد دمای خاک، شناخت متغیرهای مؤثر بر شبکه می‌تواند باعث بهبود نتایج شود که به این منظور از تحلیل

مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. هشت متغیر هواشناسی به چهار مؤلفه اصلی که بیش از ۹۹ درصد واریانس کل را به خود اختصاص می‌دهند کاهش یافت. نتایج آماره‌های خطا در ارزیابی کارایی دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی مصنوعی - تحلیل مؤلفه‌ها حاکی از نقش موثر پیش‌پردازش روی متغیرها با استفاده از تحلیل مؤلفه‌ها می‌باشد (به‌عنوان نمونه ضریب همبستگی عمق ۵ سانتی‌متری در شبکه عصبی ۰/۹۷۷ و در شبکه عصبی مصنوعی- تحلیل مؤلفه‌ها ۰/۹۸۴). میرحانی و همکاران (۱۳۹۳) به برآورد ضریب گیاهی در دشت خوزستان با استفاده از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 پرداختند. با تقسیم تبخیر- تعرق واقعی گیاه بر تبخیر- تعرق مرجع، ضریب گیاهی ذرت برای هر پیکسل محاسبه شد. به‌منظور صحت‌سنجی ضریب گیاهی برآورد شده، مقادیر ضریب گیاهی برآوردی با مقادیر ضریب گیاهی فائو مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که همبستگی بسیار بالا بین ضریب گیاهی فائو و ضریب گیاهی برآوردی در تمامی مراحل رشد گیاهی وجود دارد. با استفاده از مقادیر ضریب گیاهی برآوردی و شاخص‌های گیاهی SAVI و NDVI نقشه سری زمانی ضریب گیاهی، به‌دست آمد. ضریب همبستگی ضریب گیاهی ذرت با شاخص گیاهی SAVI بیش‌تر بوده، بنابراین از رابطه رگرسیونی ضریب گیاهی و شاخص SAVI برای تولید نقشه سری زمانی استفاده شد. Rymuza و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی به ارزیابی مشخصه‌های گندم بهاره در لهستان و دوره آماری ۲۰۰۴-۲۰۰۶ پرداختند. ضریب همبستگی به‌دست آمده حاکی از این بود که ارتباط بین مشخصه‌های گندم وابسته به سیستم رشد (خاک‌ورزی سنتی- کاشت مستقیم) است و تحلیل مؤلفه‌های اصلی امکان ارزیابی پیچیده‌ای را بین مشخصه‌ها داد. به‌کارگیری تحلیل مؤلفه‌های اصلی امکان کاهش هفت مشخصه اصلی به سه مشخصه جدید را می‌دهد (با دربرداشتن ۷۵٪

شاخص‌های گیاهی با فرمول‌بندی ریاضی میزان بازتاب در محدوده‌های طیفی مختلف، برای ارزیابی و بررسی گیاهان طراحی شده‌اند و از کاربرد وسیعی برخوردار هستند.

سیفی و همکاران (۱۳۸۹) با توسعه مدل ترکیبی رگرسیون چندگانه- تحلیل مؤلفه‌ها و عامل‌های اصلی به پیش‌بینی تبخیر- تعرق مرجع در ایستگاه کرمان پرداختند. اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر بر تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از تحلیل عاملی مورد ارزیابی قرار گرفت. دو مؤلفه PC_1 و PC_2 که ۸۰ درصد واریانس کل را به خود اختصاص داده بودند به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی و بقیه به‌عنوان اختلال در نظر گرفته شده بود. طبق نتایج مؤلفه اول اهمیت بیش‌تری نسبت به مؤلفه دیگر دارد، بنابراین اهمیت متغیرهای شدت تابش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، دمای کمینه و دمای بیشینه در برآورد تبخیر- تعرق نسبت به سایر متغیرها آشکار شد. غلامی و همکاران (۱۳۸۹) به برآورد ضریب گیاهی و تبخیر- تعرق واقعی گندم با تصاویر سنجنده MODIS^۱ در حوضه گرگانرود پرداختند. در این تحقیق سری زمانی ۱۶ روزه شاخص گیاهی NDVI^۲ جهت محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گندم در طول دوره رشد استفاده شد. نتایج آماری حاصل از این روش در مقایسه با مدل پنمن- مانیتث- فائو نشان داد که استفاده از این روش دارای خطای جذر میانگین مربعات^۳ ۱۸ میلی‌متر، خطای مطلق ۱۶ میلی‌متر در کل فصل رشد گندم است. امیر مرادی و بهمنی (۱۳۹۳) به برآورد دمای روزانه خاک با شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شیراز در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۸ در سه عمق ۵، ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری پرداختند. به‌علت تعداد زیاد متغیرهای مورد استفاده در برآورد دمای خاک، شناخت متغیرهای مؤثر بر شبکه می‌تواند باعث بهبود نتایج شود که به این منظور از تحلیل

¹ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

² Normalized Difference Vegetation Index

³ Root Mean-Square Error (RMSE)

برآورد ضریب گیاهی گندم با شاخص‌های استخراجی تصاویر سنجنده MODIS است. ضرایب گیاهی حاصل از فائو در ارزیابی نتایج حاصل از پیش‌پردازش داده‌ها در مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌کار گرفته شدند.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از گندم پاییزه رقم MV17 استفاده شد که اطلاعات نقاط برداشت شده با GPS مشخص شدند. مکان نقاط برداشت شده، زمین‌های کشاورزی محدوده بستان‌آباد در استان آذربایجان شرقی بوده است که منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. اقلیم این منطقه براساس شاخص دومارتن نیمه‌خشک و براساس اقلیم‌نمای آمبرژه نیمه‌خشک سرد برآورد شد.

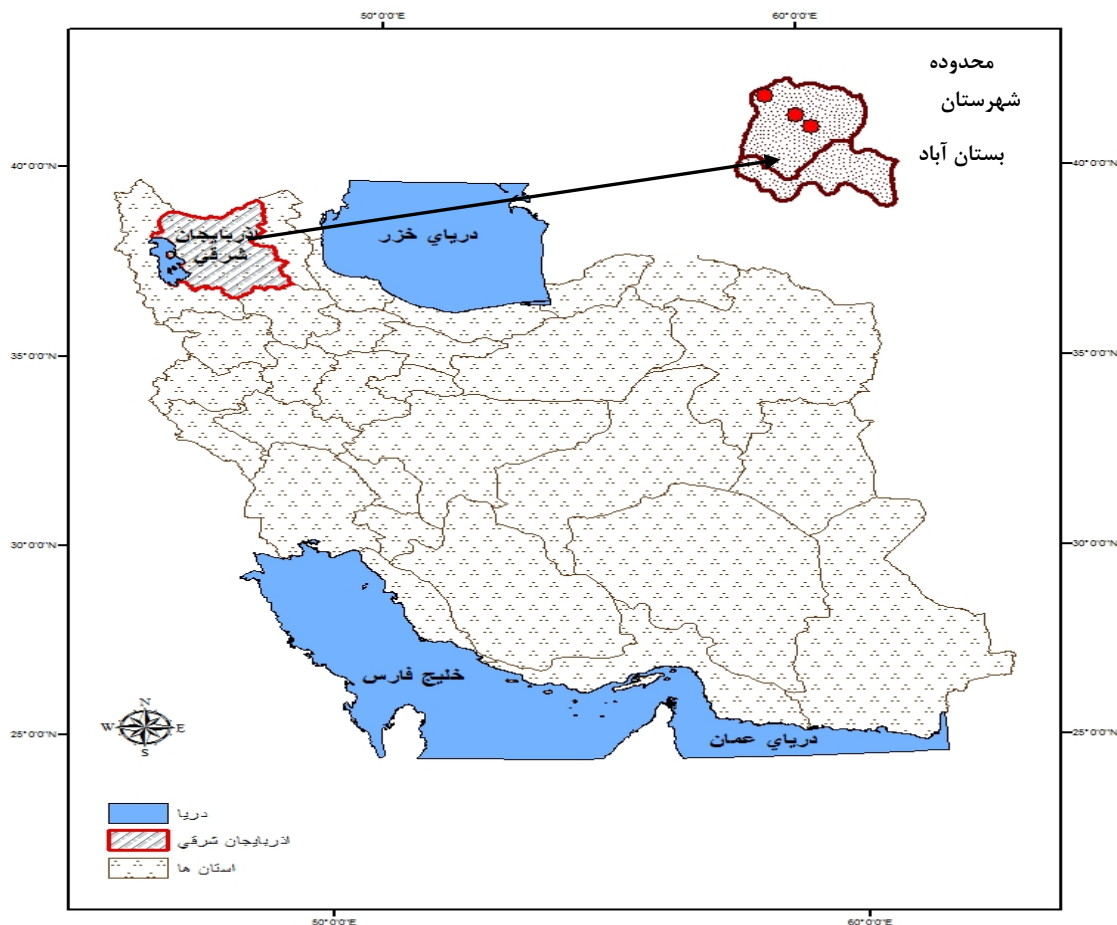
با توجه به اقلیم منطقه، نزدیکی به دریاچه ارومیه و اهمیت محصول مورد بررسی، جهت افزایش بازده تولید محصول و ارتقاء میزان تولید و بهره‌وری از آب، برآورد صحیح مقدار آب مورد نیاز، زمان آبیاری ضروری بنظر می‌رسد. به همین دلیل تعیین ضریب گیاهی به‌عنوان مؤلفه‌ای از نیاز آبی، گام مهمی در جهت استفاده بهینه از آب، خاک و کشاورزی پایدار در منطقه خواهد بود و ضرورت برداشت نقاط نمونه‌برداری جهت تعیین ضریب گیاهی هرچه بیشتر آشکار می‌شود.

یکی از تکنیک‌های برآورد پارامترها در مقیاس مکانی وسیع، استفاده از سنجنش از دور است. بنابراین سعی در برآورد ضریب گیاهی با اطلاعات باندهای انعکاسی و حرارتی در قالب شاخص‌های گیاهی بود. اسامی شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در شکل ۲ آورده شده است.

اطلاعات داده‌های ورودی در کاشت مستقیم و ۸۰٪ در خاک‌ورزی سنتی). بنابراین تحلیل مؤلفه‌های اصلی تکنیک قوی برای توصیف ارتباطی بین مشخصه‌های گندم بهاره بود. Reyes-Gonzalez و همکاران (۲۰۱۵) ضریب گیاهی یونجه و ذرت در مکزیک را با تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آوردند. هدف آن‌ها برقراری ارتباط شاخص NDVI با ضریب گیاهی بوده است. نتایج حاکی از کارایی شاخص در برآورد ضریب گیاهی است به‌طوری‌که ضریب همبستگی بین شاخص NDVI و ضریب فائو ۰/۹۷ برآورد شد. میزان آب مصرفی برای ذرت و یونجه به ترتیب برابر با ۴۷۶ و ۹۴۵ میلی‌متر بر هکتار تخمین زده شد. Adamala و همکاران (۲۰۱۶) به برآورد تبخیر-تعرق گندم با استفاده از شاخص NDVI حاصل از تصاویر Landsat در هند پرداختند. در این تحقیق به‌طور مستقیم از شاخص NDVI استفاده نشد بلکه شاخص گیاهی براساس توان دوم شاخص شرایط پوشش گیاهی محاسبه شد. بیشینه تبخیر-تعرق برابر ۵/۵۷ میلیمتر بر روز برآورد شد.

بررسی تحقیقات انجام گرفته حاکی از به‌کارگیری تعداد کمی از شاخص‌های گیاهی تصاویر ماهواره‌ای در تخمین ضریب گیاهی است به‌طوری‌که در بیشتر تحقیقات از شاخص NDVI استفاده شده است که این شاخص نیز براساس منطقه مورد مطالعه و پوشش گیاهی حاکم نیاز به تصحیحاتی دارد. بنابراین بررسی دامنه وسیعی از شاخص‌های گیاهی در برآورد ضریب گیاهی ضروری به‌نظر می‌رسد. شاخص‌های مورد بررسی تحقیق شامل شاخص‌های NDVI، TVI، SAVI، MSAVI، mTVI، EVI، MNDVI، TVX، NVSWI بودند.

هدف این تحقیق مقایسه دو رویکرد پیش‌پردازش داده‌های ورودی، رویکرد رگرسیونی و کاهش داده در



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور (استان مورد بررسی) به همراه نقاط نمونه برداری - دایره (محدوده شهرستان بستان آباد)

شبکه عصبی مصنوعی

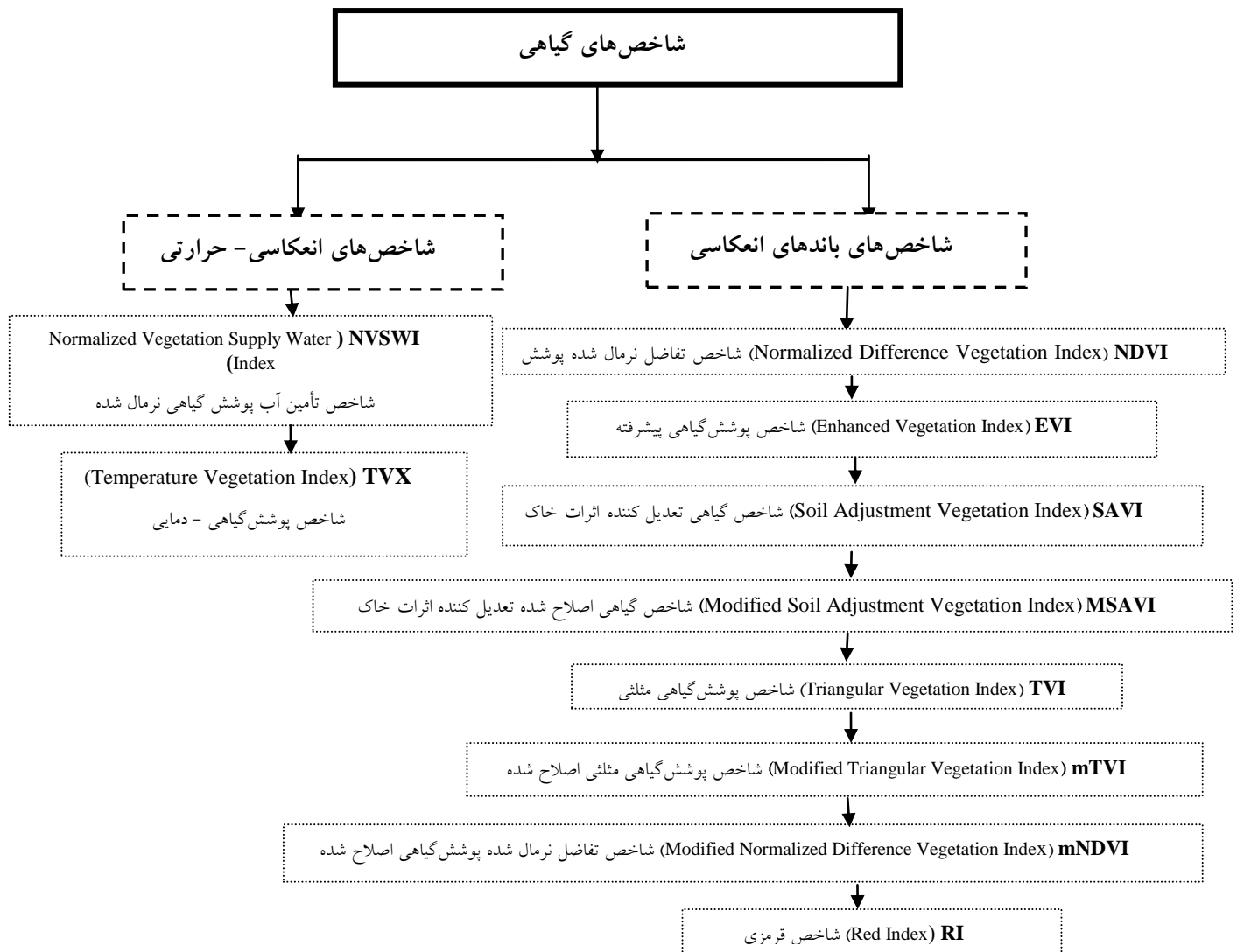
مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل سازی بین شاخص های گیاهی و ضریب گیاهی مورد استفاده قرار گرفت. پایه اصلی محاسبات شبکه عصبی مدل کردن ویژگی های مغز انسان است به طوری که با الهام گیری از این مدل سازی، سعی در فرمولاسیون بین متغیرهای ورودی و خروجی براساس استفاده از داده های مشاهداتی می باشد. روند کلی شبکه عصبی به این صورت می باشد:

- ۱- پردازش در اجزایی بنام نورون ها انجام می گیرد
- ۲- اطلاعات بین نورون ها از طریق ارتباطات موجود بین آنها رد و بدل می شود.
- ۳- هر یک از ارتباطات وزنی دارند که در اطلاعات انتقال یافته از یک نورون به نورون دیگر

ضرب می شود و وزن ها بیانگر اطلاعات مورد نیاز حل مساله است. ۴- هر یک از نورون ها برای محاسبه خروجی خود یک تابع تحریک به ورودی هایش اعمال می نماید (کارآموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۴).

در مدل سازی سیستم ها، پیش پردازش داده های ورودی به همراه نوع مدل سازی و نوع داده های ورودی یکی از مراحل مهم و مؤثر می باشد. در صورت عدم استفاده از مرحله پیش پردازش، امکان مدل سازی با تعداد زیاد عوامل ورودی محدود می شود. آشکار است که انتخاب عامل مهم از بین عوامل ورودی با تعداد زیاد می تواند دقت نتایج را بالا ببرد (قبایی و همکاران، ۱۳۸۹). رویکرد رگرسیونی و کاهش داده (تحلیل مؤلفه های اصلی و

چرخشی) جهت تعیین داده‌های ورودی به شبکه عصبی یا پیش‌پردازش مورد استفاده قرار گرفتند.



شکل ۲. قالب‌بندی شاخص‌های گیاهی مورد استفاده

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

می‌شوند. هر مؤلفه اصلی می‌تواند با دنباله ارائه شده در رابطه ۱ تا ۳ مشخص شود.

$$PC_1 = w_{11} x_1 + w_{12} x_2 + \dots + w_{1p} x_p \quad (1)$$

$$PC_2 = w_{21} x_1 + w_{22} x_2 + \dots + w_{2p} x_p \quad (2)$$

$$PC_p = w_{p1} x_1 + w_{p2} x_2 + \dots + w_{pp} x_p \quad (3)$$

PC_i معرف مؤلفه مورد نظر، w_{ij} : ضریب مربوط به متغیرهای اولیه، x_i : متغیر اولیه.

اجرای چرخش مناسب بر روی ماتریس ضرایب مؤلفه‌ها مرحله‌ای است که به تجزیه و تحلیل فاکتورهای

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره است که می‌توان از آن برای کاهش تعداد متغیرها و تفسیر بهتر اطلاعات استفاده کرد. در روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی p متغیر اصلی همبسته به p مؤلفه متعامد تبدیل می‌شوند. مؤلفه‌های ایجاد شده ترکیبی خطی از متغیرهای اصلی می‌باشند. با استفاده از این روش، ترکیباتی از p متغیر اولیه x_1, x_2, \dots, x_p برای ایجاد حداکثر p مؤلفه مستقل به صورت PC_1, PC_2, \dots, PC_p ایجاد

O_i : مقادیر مشاهداتی، S_i : مقادیر شبیه‌سازی، n : تعداد داده‌ها، RMSE: خطای جذر میانگین مربعات، MARE^۱: میانگین نسبی خطای مطلق (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Demaria et al., 2007).

نتایج و بحث

استخراج اطلاعات جهت محاسبه شاخص‌های گیاهی براساس تصاویر دانلود شده سنجنده MODIS سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۶ از ماه‌های می تا جون می‌باشند و سال آخر به‌عنوان دوره صحت‌سنجی بود (قابل ذکر است در بررسی شاخص‌ها از دمای سطح زمین^۲ به‌عنوان نمادی از باندهای حرارتی استفاده شد). تاریخ تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

در تحقیق Sekhar Panda و همکاران (۲۰۱۰) به برآورد شاخص SAVI با فاکتور تصحیح اثرات خاک برابر با ۰/۵ پیشنهاد شده است که در این تحقیق نیز از این مقدار در محاسبات استفاده شد. ضریب همبستگی بین شاخص‌های مورد بررسی و ضریب گیاهی حاصل از فائو حاکی از کاهش ۳۹/۱۳ درصد ضریب همبستگی از شاخص MSAVI نسبت به NDVI، کاهش ۳۲/۲۵ درصد از شاخص SAVI نسبت به شاخص NDVI و ۱۰/۱۴ درصد از شاخص MSAVI نسبت به شاخص SAVI بوده است. بنابراین اثرات خاک زمینه تاثیر خود را در میزان انعکاس باندها نشان داده‌اند و استفاده از شاخص‌های تصحیح شده میزان دقت را بالا می‌برد به‌طوری‌که ضریب همبستگی شاخص‌ها و ضریب گیاهی افزایش داشته است. در تحقیق Gontia و Tiwari (۲۰۱۰) از شاخص‌های NDVI و SAVI در قالب رگرسیون ساده با ضریب گیاهی فائو جهت برآورد ضریب گیاهی گندم استفاده کردند که استفاده از شاخص SAVI در برابر NDVI دقت محاسبات را افزایش داد. رضایی و همکاران (۱۳۹۳) نیز در برآورد عملکرد برنج در بخشی از شبکه سفیدرود گیلان با

اصلی نیز مشهور است. در این مرحله متغیرهایی که ضرایب بالایی در مؤلفه‌های اصلی استخراج شده دارند به‌عنوان متغیرهای مهم جهت ورود به مدل سازی انتخاب می‌شوند (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۱).

تعیین ضریب گیاهی با روش فائو

جهت ارزیابی نتایج پیش‌پردازش داده‌ها در مدل شبکه عصبی مصنوعی، از ضرایب گیاهی حاصل از فائو استفاده شد. ضریب گیاهی برای هر مرحله از رشد را می‌توان با فرض ثابت بودن مقدار ضریب گیاهی K_c مراحل اولیه و میانی رشد تحت شرایط مشخص تعیین کرد. ضرایب گیاهی مرحله توسعه گیاه و پایانی رشد بین دو مقدار یعنی بین ضرایب گیاهی انتهای مرحله قبل ($K_{c\text{prev}}$) و ابتدای مرحله بعد ($K_{c\text{next}}$)، که همان مرحله پایانی رشد $K_{c\text{end}}$ باشند، به‌صورت خطی تغییر می‌کنند.

$$K_{ci} = K_{c\text{prev}} + \left[\frac{i - \sum L_{\text{prev}}}{L_{\text{stage}}} \right] (K_{c\text{next}} - K_{c\text{prev}}) \quad (4)$$

i : شماره روز از فصل رشد، K_{ci} : ضریب گیاهی در روز i ، L_{stage} : طول دوره مرحله رشد مورد نظر (روز)، $\sum L_{\text{prev}}$: مجموع طول دوره‌های مراحل قبل (روز).

آماره‌های مورد استفاده جهت ارزیابی عملکرد شاخص‌های گیاهی در برآورد ضریب گیاهی

آماره‌های مورد استفاده جهت ارزیابی عملکرد روش‌های آماری و شاخص‌های گیاهی در برآورد ضریب گیاهی در ادامه آورده شده است که کمینه مقدار آماره حاکی از عملکرد بهتر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2} \quad (5)$$

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - S_i}{O_i} \right|}{n} \quad (6)$$

^۱ Mean Absolute Relative Error

^۲ Land Surface Temperature (LST)

رگرسیون خطی چندگانه ۲- رویکرد کاهش داده‌ها: الف: تحلیل مؤلفه‌های اصلی ب- تجزیه و تحلیل فاکتورهای اصلی (چرخشی).

در روش اول پیش‌پردازش یعنی استفاده از رگرسیون خطی چندگانه، بعد از انجام رگرسیون ساده نتایج معنی‌داری شاخص‌های مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است.

استفاده از تصاویر ماهواره Landsat به این نتیجه رسیدند که شاخص SAVI در مقایسه با NDVI و LAI بالاترین دقت را دارد.

در این تحقیق جهت تعیین ضریب گیاهی با شاخص‌های تصاویر ماهواره‌ای از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. متغیرهای ورودی شبکه عصبی یا پیش‌پردازش با دو رویکرد تعیین شدند. ۱- رویکرد

جدول ۱. تاریخ تصاویر دانلود شده

۲۰۱۳/۵/۶	۲۰۱۴/۵/۵	۲۰۱۵/۵/۵	۲۰۱۶/۵/۵
۲۰۱۳/۵/۱۴	۲۰۱۴/۵/۱۷	۲۰۱۵/۵/۱۵	۲۰۱۶/۵/۱۵
۲۰۱۳/۵/۲۵	۲۰۱۴/۵/۲۵	۲۰۱۵/۵/۲۵	۲۰۱۶/۵/۲۵
۲۰۱۳/۶/۴	۲۰۱۴/۶/۷	۲۰۱۵/۶/۴	۲۰۱۶/۶/۴
۲۰۱۳/۶/۱۱	۲۰۱۴/۶/۱۸	۲۰۱۵/۶/۱۴	۲۰۱۶/۶/۱۴
۲۰۱۳/۶/۲۷	۲۰۱۴/۶/۲۳	۲۰۱۵/۶/۲۴	۲۰۱۶/۶/۲۴

جدول ۲. نتایج معنی‌داری شاخص‌ها در روش رگرسیون

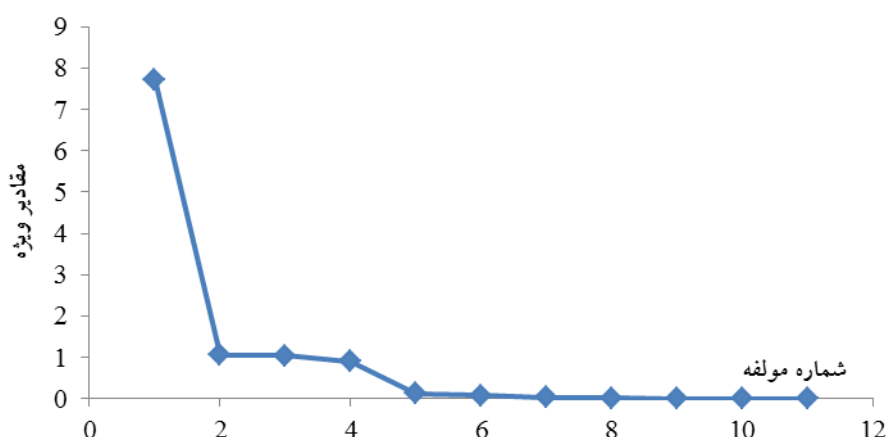
NVSWI	TVX	LST	mNDVI	EVI	mTVI	SAVI	MSAVI	TVI	RI	NDVI	احتمال معنی‌داری
۰/۰۰۲	۰/۲۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۱۴	۰/۱۰۸	۰/۱۵	۰/۱۵۴	۰/۳۶۲	۰/۱۸۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	

مقادیر KMO بالای ۰/۵ حاکی از مناسب بودن داده‌های مورد استفاده جهت تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. مقدار فاکتور KMO برابر با ۰/۵۲ محاسبه شد که حاکی از مناسب بودن داده‌ها برای اجرای رویکرد کاهش داده‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی در شکل ۳ و جدول ۳ آورده شده است.

در بررسی پارامترهای معنی‌دار (پارامترهای ورودی)، از محدوده‌های بالا و پایین ۰/۰۵ استفاده شد، به طوری که محدوده‌های بالای ۰/۰۵، غیرمعنی‌دار و محدوده‌های پایین‌تر از ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشند، بنابراین شاخص‌های NDVI، RI، mNDVI، LST و NVSWI نسبت به ضرایب گیاهی برآوردی فائو از معنی‌داری برخوردار هستند.

قبل از اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی، تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل مؤلفه باید مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور از فاکتور KMO^۶ با محاسبات ضرایب همبستگی ساده و جزئی متغیرها استفاده شد که

^۶ Kaiser-Meyer-Olkin



شکل ۳. نمودار واریزه‌ای جهت تحلیل مؤلفه‌های اصلی

جدول ۳. مشخصات واریانس حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های ارزیابی شده

مؤلفه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
درصد از واریانس	۷۰/۲۶۶	۹/۶۱۲	۹/۴۵	۸/۲۴۴	۱/۱۶۳	۰/۷۴۱	۰/۲۹۵	۰/۱۴۲	۰/۰۸۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
درصد تجمعی	۷۰/۲۶۶	۷۹/۸۷۵	۸۹/۳۳۱	۹۷/۵۷۵	۹۸/۷۳۷	۹۹/۴۷۸	۹۹/۷۷۳	۹۹/۹۱۵	۹۹/۹۹۷	۹۹/۹۹۹	۱۰۰

جدول و شکل ۳ حاکی از کاهش مقادیر ویژه در برابر افزایش تعداد مؤلفه‌ها است که این مساله در تحقیق سیفی و همکاران (۱۳۸۹) نیز مشاهده شد. مؤلفه‌های منتخب براساس مقادیر ویژه بزرگتر از یک شامل سه مؤلفه اول می‌باشند که این سه مؤلفه در مجموع ۸۹/۳۳۱ درصد از پراکندگی داده‌های اصلی را بیان می‌کنند. مؤلفه اول به تنهایی ۷۰/۲۶۶ درصد پراکندگی کل را به خود اختصاص داده است که بیش‌ترین تعداد ضرایب شاخص با مقادیر بالا در مؤلفه اول قرار دارند. در جدول ۴ مقادیر بردارهای ویژه برای شاخص‌های مورد بررسی در دو حالت بدون چرخش -۱- و با چرخش -۲- آورده شده است که ضرایب هر مؤلفه را برای محاسبه آنها نشان می‌دهد.

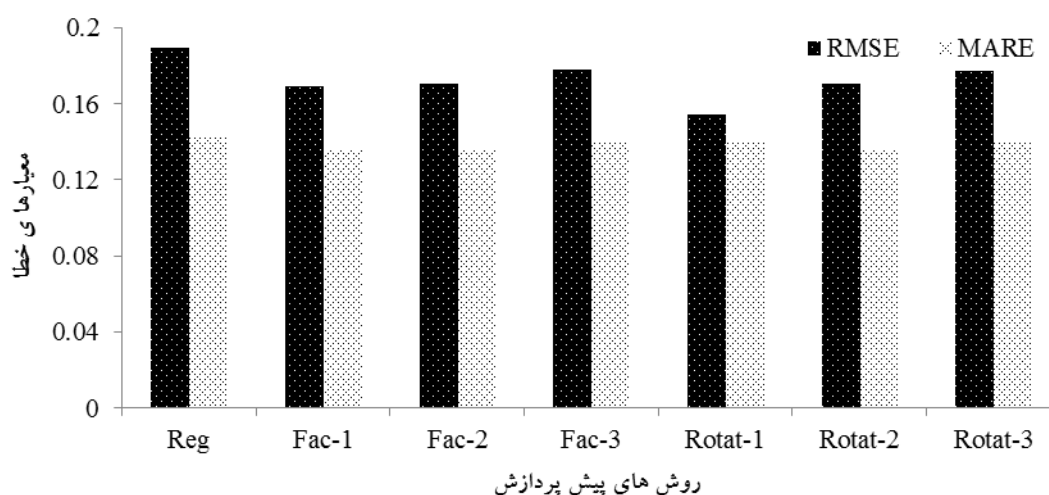
جدول ۴. بردارهای ویژه شاخص‌های مورد بررسی

شاخص‌ها	NDVI	RI	TVI	MSAVI	SAVI	mTVI	EVI	mNDVI	LST	TVX	NVSWI
مؤلفه اول-۱	۰/۹۴۷	۰/۹۵۳	۰/۹۴۶	۰/۹۸۸	۰/۹۸۹	۰/۹۵۸	۰/۵۸۱	۰/۲۴۴	۰/۲۸۲	-۰/۹۱۸	۰/۹۱
مؤلفه دوم-۱	۰/۱۳۲	۰/۱۰۸	-۰/۰۶۴	۰/۰۶۶	۰/۰۷۸	-۰/۰۶۷	-۰/۳۵۱	-۰/۱۴۸	۰/۹۰۵۹	۰/۱۲۰۹	-۰/۱۶۶۷
مؤلفه سوم-۱	۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۴۳	-۰/۰۳	-۰/۰۱۵	-۰/۰۹۷	-۰/۴۵۲	۰/۸۸۲	-۰/۰۰۲	-۰/۲۰۳	۰/۰۴۵
مؤلفه اول-۲	۰/۹۱۷	۰/۹۳۱	۰/۹۴۶	۰/۹۷۱	۰/۹۶۹	۰/۹۶۴	۰/۶۶۳	۰/۱۶۴	۰/۱۷۲	-۰/۸۹۹	۰/۹۱۳
مؤلفه دوم-۲	۰/۲۵۱	۰/۲۲۵	۰/۰۵۲	۰/۱۸۸	۰/۲	۰/۰۴۷	-۰/۳۰۶	-۰/۰۵۴	۰/۹۳۱	-۰/۰۰۹	-۰/۰۴۷
مؤلفه سوم-۲	۰/۱۰۱	۰/۰۶۴	۰/۰۵۳	۰/۰۶	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲	-۰/۳۶۳	۰/۹۱۱	-۰/۰۴۹	-۰/۳	۰/۱۴۷

نتایج معیارهای خطا در دوره صحت‌سنجی برای رویکردهای مختلف پیش‌پردازش رگرسیون (Reg)، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Fac)، چرخشی (Rotat) در شکل ۴ آورده شده است.

در روش تحلیل مؤلفه‌ها و در روش چرخشی کمینه خطا مربوط به مؤلفه اول است، بنابراین ضرایب هم در این حالت درست تعیین شده‌اند و هم واریانس‌ها توجیه کننده هستند. معیارهای خطا در رویکرد کاهش داده نسبت به رویکرد رگرسیون کاهش داشته است، به‌عنوان نمونه درصد افزایش آماره RMSE از حالت چرخشی به رگرسیون ۱۱/۸ و درصد افزایش آماره RMSE از حالت تحلیل مؤلفه به رگرسیون ۲۲/۷ بود. تعداد نورون‌های لایه میانی و نوع توابع تحریک از پارامترهایی هستند که صحت مدل سازی شبکه عصبی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای این منظور تحلیل حساسیت پارامترها با هدف کمینه‌سازی معیارهای خطا انجام گرفت. نتایج تحلیل حساسیت توابع تحریک در جدول ۵ آورده شده است.

با توجه به جدول ۴ در حالت بدون چرخش در مؤلفه اول شاخص‌های NDVI، RI، TVI، MSAVI، SAVI، mTVI و NVSWI در مؤلفه دوم شاخص LST و در مؤلفه سوم شاخص mNDVI دارای بیش‌ترین مقدار ضریب می‌باشند. در حالت با چرخش در مؤلفه اول شاخص‌های NDVI، RI، TVI، MSAVI، TVI، mTVI، SAVI و NVSWI در مؤلفه دوم شاخص LST و در مؤلفه سوم شاخص mNDVI دارای بیشترین مقدار همبستگی هستند. تأثیر چرخش بر روی ضرایب شاخص‌ها در مؤلفه‌ها کاملاً مشهود است. برای تعیین متغیرهای ورودی به شبکه عصبی از مؤلفه‌ها که از ضرب مقادیر شاخص‌ها در بردارهای ویژه تشکیل می‌شود، استفاده شد. از شبکه عصبی مصنوعی با شبکه پیش‌خور با الگوریتم پس انتشار خطا (با سه لایه)، تعداد نورون ۲ و توابع تحریک میانی و خروجی تانژانت زیگموئیدی استفاده شد. استانداردسازی داده‌های ورودی و تقسیم داده‌ها به دو سری واسنجی و صحت‌سنجی از مراحل قبل از اجرای شبکه عصبی مصنوعی بود. در حالت چرخشی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی عوامل ورودی به‌صورت ۱: تنها مؤلفه اول ۲: مؤلفه اول و دوم ۳: مؤلفه اول، دوم و سوم در نظر گرفته شدند.



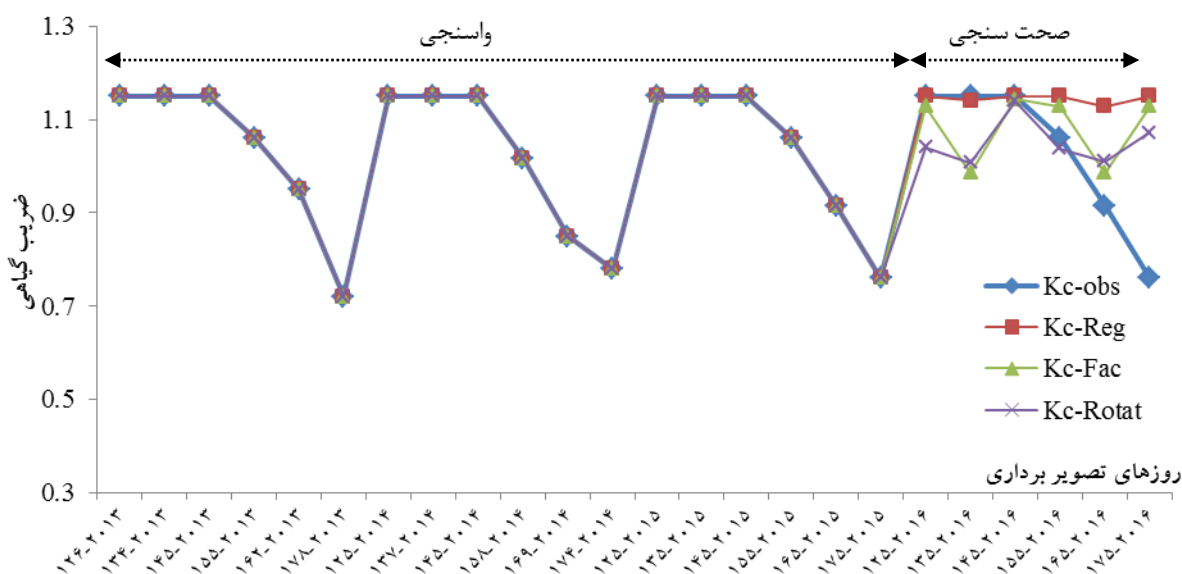
شکل ۴. معیارهای خطای رویکردهای پیش‌پردازش

جدول ۵. بررسی انواع توابع تحریک لایه میانی و خروجی

تأثرات زیگموئیدی لگاریتم		تأثرات زیگموئیدی خطی		خطی خطی		لگاریتم زیگموئیدی لگاریتم		تأثرات زیگموئیدی		لایه میانی لایه خروجی
MARE	RMSE	MARE	RMSE	MARE	RMSE	MARE	RMSE	MARE	RMSE	مقادیر آماره ها
۰/۱۳	۰/۱۶۹	۰/۱۱۵	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۵۱	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۵۴	
تأثرات زیگموئیدی خطی		تأثرات زیگموئیدی لگاریتم		خطی خطی		خطی خطی		تأثرات زیگموئیدی		لایه میانی لایه خروجی
MARE	RMSE	MARE	RMSE	MARE	RMSE	MARE	RMSE	MARE	RMSE	مقادیر آماره ها
۰/۱۳	۰/۱۵۳	۰/۱۳	۰/۱۵۴	۰/۱۳	۰/۱۶۴	۰/۱۳	۰/۱۶۴	۰/۱۳	۰/۱۶۹	

تأثیر قابل توجهی نداشتند و با بررسی بیش تر تعداد نورون برابر با ۳ مقادیر RMSE برابر با ۰/۱۵ و MARE برابر با ۰/۱۱۵ محاسبه شد. در حالت دیگر نمودار ضریب گیاهی حاصل از فائو (Kc-obs)، ضریب گیاهی مؤلفه های اصلی با کمینه خطا (Kc-Reg)، ضریب گیاهی چرخشی با کمینه خطا (Kc-Rotat) در شکل ۵ ترسیم شد.

با توجه به جدول ۵ تابع تحریک خطی با کاهش خطا همراه است. توابع میانی و خروجی خطی دارای کمینه معیار خطاهای RMSE و MARE می باشند. با توجه به جدول ۵ توابع تحریک تأثرات زیگموئیدی و لگاریتم زیگموئیدی در لایه میانی از کم ترین خطا و تابع خطی در لایه های میانی و خروجی از بیش ترین خطا برخوردار می باشند. تغییرات تعداد نورون های میانی در مقادیر خطا



شکل ۵. نمودار ضریب گیاهی در طی دوره واسنجی و صحت سنجی

رویکرد رگرسیون، تحلیل مؤلفه های اصلی و چرخشی است به طوری که اگر از ضریب گیاهی در دوره صحت سنجی متوسط گرفته شود نتایج بیانگر افزایش ۱۳/۷ درصد ضریب گیاهی از ضریب گیاهی فائو به

با توجه به شکل ۵ اختلاف قابل ملاحظه ای بین رویکردهای پیش پردازش داده ها توسط رگرسیون با رویکرد پیش پردازش تحلیل مؤلفه ها و چرخشی وجود دارد. مسأله دیگر بیش برآورد هر سه روش پیش پردازش

رویکرد پیش‌پردازش با رگرسیون، ۶/۷ درصد از ضریب گیاهی فائو به رویکرد پیش‌پردازش تحلیل مؤلفه‌ها، ۴/۶ درصد از ضریب گیاهی فائو به رویکرد پیش‌پردازش چرخشی بوده است. کم‌ترین میزان افزایش درصد نسبت به ضریب گیاهی فائو مربوط به رویکرد چرخشی بوده است که حاکی از بهبود نتایج با بکارگیری روش چرخشی می‌باشد. در تحقیق شیخ الاسلامی و همکاران (۱۳۹۳) بیان شد که چرخش سبب می‌شود که وابستگی عوامل بارگذاری با مؤلفه‌های اصلی آشکارتر شده و تشخیص این که تغییرات هر یک از مؤلفه‌های اصلی متأثر از عوامل بارگذاری می‌باشد، آسان‌تر شود. در نتایج تحقیق امیرمرازی و بهمنی (۱۳۹۳) در برآورد دمای روزانه خاک با دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی مصنوعی - تحلیل مؤلفه‌های اصلی، استفاده از روش اخیر دارای کمینه خطا بود که برای مشخص نمودن موثرترین متغیرها در شکل‌گیری چهار مؤلفه اصلی اول چرخش واریمکس بر روی ضرایب متغیرها انجام شد.

نتیجه‌گیری

از عوامل مؤثر در مدل‌سازی ضریب گیاهی و شاخص‌های تصاویر ماهواره‌ای با شبکه عصبی مصنوعی، تعیین شاخص‌های مؤثر یا پیش‌پردازش متغیرهای ورودی است. رویکرد رگرسیون خطی چندگانه، کاهش داده‌ها: تحلیل مؤلفه‌های اصلی و چرخشی از روش‌های مورد استفاده جهت پیش‌پردازش متغیرهای ورودی جهت برآورد ضریب گیاهی بودند. در رویکرد کاهش داده، مقادیر ویژه در برابر افزایش تعداد مؤلفه‌ها کاهش داشته است. رویکرد کاهش داده نسبت به رگرسیون مقدار خطا را به نحو ملاحظه‌ای کاهش داد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی

منابع مورد استفاده

امیر مرادی، ک. و بهمنی، ا. ۱۳۹۳. برآورد دمای روزانه خاک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۸ (۳): ۵۴۳-۵۵۶.

یک روش ریاضی جهت کاهش تعداد متغیرهای مورد بررسی است. بنابراین تبدیل متغیرهای مورد بررسی به تعدادی مؤلفه با ضرایب معلوم دقت شبیه‌سازی را افزایش می‌دهد. تحلیل مؤلفه‌ها امکان بررسی ساختار داده و شناسایی عوامل ایجاد تغییرات در داده‌ها را ممکن می‌سازد. در رویکرد کاهش داده نیز استفاده از چرخش به علت آشکارسازی عوامل بارگذاری با مؤلفه‌های اصلی منجر به کاهش خطا شده است. بنابراین بررسی جامع شاخص‌ها می‌تواند دقت شبیه‌سازی را به شدت بالا ببرد که استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در بررسی شاخص‌ها با تعداد زیاد و تبدیل آن‌ها به مؤلفه‌ها با بردارهای ویژه نقش بسزایی را ایفا کرد. بررسی بردارهای ویژه شاخص‌ها، حاکی از اهمیت باندهای انعکاسی و حرارتی در برآورد ضریب گیاهی می‌باشد. هر دو رویکرد رگرسیون و کاهش داده نسبت به روش فائو دارای بیش‌برآورد بودند که میزان بیش‌برآورد در رویکرد رگرسیون افزایش داشته است. کاهش ۳۹/۱۳ درصد ضریب همبستگی از شاخص MSAVI نسبت به NDVI، حاکی از این است که شاخص‌های توسعه‌یافته براساس شرایط منطقه در افزایش کارایی برآورد ضریب گیاهی با تصاویر ماهواره‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند زیرا که اثرات خاک زمینه را در میزان انعکاس باندها تصحیح می‌کنند. همچنین تحلیل حساسیت مدل شبکه عصبی مصنوعی از جمله توابع تحریک نیز از مراحل مهم در رسیدن به جواب‌های دقیق می‌باشد. به‌طور کلی، در استفاده از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای، نوع مدل ریاضی و باندهای مورد استفاده در کاهش خطای مدل‌سازی تأثیر چشمگیری دارند.

- رضایی، م.، رائینی سرجاز، م.، شاهنظری، ع. و وظیفه دوست، م. ۱۳۹۳. برآورد عملکرد برنج در بخشی از شبکه سفیدرود گیلان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: صومعه سرا). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳ (۸): ۵۹۱-۶۰۱.
- سیفی، ا.، میرلطیفی، س.م. و ریاحی، ح. ۱۳۸۹. توسعه مدل ترکیبی رگرسیون چندگانه -تحلیل مؤلفه‌ها و عامل‌های اصلی (MLR-PCA) در پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع (مطالعه موردی: ایستگاه کرمان). نشریه آب و خاک، ۲۴ (۶): ۱۱۸۶-۱۱۹۶.
- شیخ الاسلامی، م.، قهرمان، ب.، مساعدی، ا.، داوری، ک. و مهاجرپور، م. ۱۳۹۳. پیش‌بینی تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETO) با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و توسعه مدل رگرسیونی خطی چندگانه (MLR-PCA) مطالعه موردی: ایستگاه مشهد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۲): ۴۲۰-۴۲۹.
- شیخ الاسلامی، ع.، باقری خلیلی، ف. و محمودآبادی، ع. ۱۳۹۱. کاهش متغیرهای ورودی در فرآیند مدل سازی تصادفات آزادراه‌ها با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی. مهندسی حمل و نقل، ۳ (۴): ۳۲۵-۳۳۸.
- غلامی سفید کوهی، م.ع.، میرلطیفی، س.م.، محمدی، ک. و علی‌محمدی، ع. ۱۳۸۹. برآورد ضریب گیاهی و تبخیر-تعرق واقعی گندم با استفاده از سنجش از دور مطالعه موردی: حوضه گرگانرود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲ (۴): ۲۲۲-۲۳۱.
- قبایی سوق، م.، مساعدی، ا.، حسام، م. و هزارجریبی، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی تأثیر پیش پردازش پارامترهای ورودی به شبکه عصبی مصنوعی (ANNs) با استفاده از روش‌های رگرسیون گام به گام و گاما تست به منظور تخمین سریع‌تر تبخیر و تعرق روزانه. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴ (۳): ۶۱۰-۶۲۴.
- کارآموز، م. و عراقی نژاد، ش. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ۳۲۰-۳۳۷.
- میرخانی، س.، میرلطیفی، س.م. و اکبری، م. ۱۳۹۳. برآورد ضریب گیاهی و تبخیر تعرق ذرت در دشت خوزستان با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- Adamala, S., Anand Rajwade, Y. and Krishna Reddy, Y.V. 2016. Estimation of wheat crop evapotranspiration using NDVI vegetation index. *Journal of Applied and Natural Science*. 8(1): 159-166.
- Demaria, E.M., Nijssen, B. and Wagener, T.H. 2007. Monte Carlo sensitivity analysis of land surface parameters using the variable infiltration capacity model. *Journal of Geophysical Research*, 112: 1-15.
- Gontia, N.K. and Tiwari, K.N. 2010. Estimation of crop coefficient and evapotranspiration of wheat (*Triticum aestivum*) in an irrigation command using remote sensing and GIS. *Water Resources Management*. 24: 1399-1414.
- Palacios-Vélez, E. and Flores-Magdaleno, H. 2013. Crop Evapotranspiration Estimation through the Use of Satellite Images. *Journal of Earth Science and Engineering*, (3): 663-671.
- Reyes-Gonzalez, A., Hay, C., Kjaersgaard, J. and Neale, C. 2015. Use of remote sensing to generate crop coefficient and estimate actual crop evapotranspiration. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 152-168.
- Rymuza, K., Turska, E., Wielogórska, G. and Bombik, A. 2012. Use of principal component analysis for the assessment of spring wheat characteristics. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 11(1): 79-90.
- Sekhar Panda, S., Ames, D.P. and Panigrahi, S. 2010. Application of vegetation indices for agricultural crop yield prediction using neural network techniques. *Remote Sensing*, 2: 673-696.



ISSN 2251-7480

Wheat crop coefficient estimation using remote sensing data with data reduction approach

Laleh Parviz^{1*}

^{1*} Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

*Corresponding author email: laleh_parviz@yahoo.com

Received: 30-11 -2017 Accepted: 05 -07-2018

Abstract

Optimal use of irrigation water requires to the precise irrigation planning and the accurate crop coefficient estimation is the prerequisite of that particularly in the global scale. The aim of research was the comparison of preprocessing approaches of artificial neural network: regression and data reduction (principle component analysis and rotation) for crop coefficient estimation using NDVI, RI, TVI, MSAVI, SAVI, mTVI, EVI, MNDVI and TVX for wheat crop coefficient of East Azarbaijan Province. The performance of regression and data reduction approaches indicated the error criteria decreasing of data reduction approach, for example RMSE increasing from rotation to regression and from principle component analysis to regression was 11.8 and 22.7%, respectively. The used approaches of crop coefficient estimation has overestimation as the average increase of crop coefficient in the validation period showed 7.7, 6.13 and 4.6% increasing of crop coefficient from FAO to the regression, principle component and rotation approaches, respectively. Therefore, using the rotation in the data reduction analysis increased the accuracy of estimation. Decreasing of correlation coefficient-39.13% - from MSAVI to NDVI indicated that the improved indices basis on the study area condition increased the performance of crop coefficient estimation using satellite images.

Keywords: Data Reduction, Improved Indices, Preprocessing, Rotation