

میین رطوبت غلاف گیاه نیشکر با کمک تصاویر ماهواره سنتینل-۲

مریم سلطانی کاظمی^۱، سعید مینایی^۲، حسین شفیع زاده مقدم^۳ و علیرضا مهدویان^۴

^۱، ^۲ و ^۴ به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد* و استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ استادیار، گروه مدیریت منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: minaee@modares.ac.ir

چکیده

اهمیت نقش وضعیت آب در بافت گیاهی در ارتباط با رشد نیشکر، منجر به اندازه گیری رطوبت گیاه در ارتباط با نیاز آبی آن شد. رطوبت غلاف برگ یکی از پارامترهایی است که می توان با اندازه گیری آن به میزان رطوبت موجود در بافت گیاه پی برد. هدف از این پژوهش بر آورد رطوبت غلاف برگ با کمک تصاویر ماهواره سنتینل-۲ می باشد. این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۹ در مزارع کشت و صنعت امیرکبیر در تیر ماه بر روی واریته CP69-1062 انجام شد. به این منظور ۹ مزرعه انتخاب شد و میزان رطوبت غلاف برگ در ۴۵ نقطه اندازه گیری گردید. به طور همزمان تصویر ماهواره اخذ شد و شاخص های NDVI، NDWI و باندهای B4، B8 و B12 توسط نرم افزار SNAP محاسبه شدند. از مدل رگرسیون خطی چندگانه، و روش درونیایی RBF با تابع انتقال خطی به منظور مدلسازی و استخراج رطوبت غلاف برگ استفاده شد. نتایج نشان داد از بین همه متغیرهای NDVI، NDWI، B4، B8 و B12 که بعنوان ورودی به هر دو مدل داده شد، روش انتخاب ویژگی SFS توانست بر اساس معیار کمترین خطا، برای مدل رگرسیون خطی چندگانه دو متغیر B8، B4؛ همچنین برای روش درونیایی RBF دو متغیر NDVI، B8 را برای فرآیند مدلسازی رطوبت غلاف برگ انتخاب نماید. مقادیر R^2 و MSE برای مدل رگرسیون خطی چندگانه به ترتیب ۰/۵۱ و ۰/۱۹ و برای روش درونیایی RBF با تابع انتقال خطی مقدار این دو به ۰/۷۷ و ۰/۰۹ بهبود یافت. از مقایسه نتایج دو مدل می توان نتیجه گرفت که روش درونیایی RBF با تابع انتقال خطی توانایی بالاتری نسبت به روش رگرسیون خطی چندگانه در تخمین رطوبت غلاف برگ نیشکر دارد. با کمک تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و پردازش های مناسب، می توان با دقت خوبی میزان رطوبت موجود در غلاف گیاه نیشکر را بر آورد کرد.

کلیدواژه: نیشکر، رطوبت بافت گیاهی، روش های یادگیری ماشین، روش درونیایی

مقدمه

نیشکر نام علمی (Saccharum officinarum L.) از خانواده Poaceae، گیاهی چندساله است که در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری دنیا کشت می شود. منطقه جنوبی ایران، استان خوزستان منطقه ای مناسب برای کشت این گیاه محسوب می شود [۱]. گیاه نیشکر بدلیل دوره طولانی رشد، چندساله بودن، عملکرد بالای محصول نیاز به پایش و کنترل وضعیت مزرعه دارد. یکی از روش های نظارت و پایش رشد گیاه نیشکر، روش پایش محصول (crop log) است که توسط کلمنتس در سال ۱۹۶۰ ارائه شده است [۲]. در این روش، رشد و توسعه مزارع تحت کشت با اندازه گیری دستی

پارامترهایی از جمله رطوبت غلاف برگ، نیتروژن و ارتفاع تحت کنترل قرار می گیرد. غلاف برگ های فعال گیاه دارای سلول های پارانشیمی و محل ذخیره موقت رطوبت است. رطوبت غلاف بشدت تحت تاثیر شرایط دمایی و رطوبتی خاک و جو است و در صورت کمبود رطوبت، اولین علائم تنش در غلاف برگ ایجاد می گردد. بیشترین میزان رطوبت غلاف برگ در صبح است، چون شب جذب رطوبت توسط ریشه بالا و تبخیر و تعرق حداقل است. بنابراین کاهش رطوبت غلاف برگ در صبح نشان از عدم تامین رطوبت توسط خاک و در نتیجه نیاز به آبیاری است [۳]. بنابراین محتوای آب پوشش گیاهی^۱ (VWC) یک متغیر مهم برای نظارت بر محصول و برای دستیابی سریع و دقیق عملکرد در طول رشد مهم است. با این حال اندازه گیری محتوای رطوبت محصول در گیاهان به طور سنتی از طریق بدست آوردن وزن تر و وزن خشک و سپس محاسبه محتوای آب محصول تعیین شده است. با این حال، این روش وقت گیر، هزینه بر و در مناطق وسیع غیر قابل اجرا است [۴]. در سال های اخیر، توسعه سریع فناوری سنجش از دور، برای نظارت بر محتوای آب بافت گیاه در مزارع گسترده به کار برده می شد [۵]. شاخص های پوشش گیاهی که برای محاسبه محتوای آب گیاهان استفاده می شود، بر اساس باندهای حساس به آب است. این باندها عمدتاً در منطقه فرورسرخ نزدیک (NIR) و فرورسرخ موج کوتاه (SWIR) قرار دارند [۶]. ترکیبی از NIR و SWIR برای محاسبه محتوای آب کانوپی برگ لازم است [۷]. بازتاب ۸۶۰ نانومتر به دلیل توانایی نفوذ تاج پوشش نسبتاً بهتر، یک باند مرجع موثر برای تخمین VWC است. شاخص ها NDWI بعنوان شاخصی است که توسط مک فیترز (۱۹۹۶) برای بررسی تغییرات رطوبت گیاه ارائه شده است [۸]. طی پژوهشی که توسط Jackson در سال ۲۰۰۴ انجام شد. رطوبت گیاه سويا و ذرت با دو شاخص NDVI و NDWI از ماهواره MODIS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص NDWI رطوبت گیاه را با دقت بیشتری نسبت به شاخص NDVI تشخیص داد [۹]. همچنین در پژوهش دیگری که توسط Wu و همکاران در سال ۲۰۰۹ انجام گرفته، رطوبت گندم با استفاده از شاخص NDWI با درصد قابل قبولی استخراج شد [۱۰ و ۱۱]. Chen و همکاران در سال ۲۰۰۵، از دو باند NIR-SWIR مستخرج از تصاویر MODIS، توانست رطوبت پوشش گیاه سويا را استخراج کند [۱۲].

علاوه بر انتخاب شاخص مناسب برای تخمین محتوای آب پوشش گیاهی، گزینش ماهواره ای که علاوه بر داشتن دو باند NIR-SWIR، رزولوشن مکانی و مکانی آن هم برای مساله پایش حائز اهمیت است. ماهواره سنتینل-۲ با توجه به خصوصیاتی که دارد می تواند جزء آن دسته از ماهواره هایی باشد که برای تخمین رطوبت غلاف مورد استفاده قرار می گیرد. این ماهواره به عنوان نخستین ماهواره توان تفکیک بالا است که توسط اتحادیه اروپا طراحی و ساخته شده است. هر دو ماهواره سری سنتینل-۲ (Sentinel-2A و Sentinel-2B) می توانند تصاویری با توان تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر از سطح زمین اخذ نمایند. همچنین از داده ها و اطلاعات بدست آمده از این ماهواره می توان در زمینه کشاورزی، تولید نقشه های خاک، کاربری اراضی، مدیریت بحران و غیره استفاده نمود. همچنین توان تفکیک زمانی این ماهواره شرایط و امکانی را فراهم آورده است تا بتوان از این طریق فرآیندهای طبیعی که در سطح سیاره زمین در حال رخ دادن است را در فواصل زمانی کوتاه شناسایی نماییم. همچنین می توان از داده های این ماهواره برای مطالعات مربوط به متغیرهایی چون پوشش برگ گیاهان، کلروفیل موجود در آنها و همچنین رطوبت گیاهان استفاده نمود [۱۳]. ماهواره سنتینل-۲ از ۱۳ باند طیفی در محدوده های مرئی تا مادون قرمز طول موج کوتاه تشکیل شده که ۴ باند از توان تفکیک ۱۰ متر، ۶ باند از توان تفکیک ۲۰ متر و ۳ باند نیز توان تفکیک ۶۰ متر در آن برخوردار است.

¹ Vegetation water content

هدف از این مطالعه ارزیابی پتانسیل باندهای Sentinel-2 و شاخص‌های NDWI و NDVI و باندهای B4، B8 و B12 برای پیش‌بینی میزان رطوبت غلاف نیشکر است. با استفاده از دوروش رگرسیون خطی چندگانه و درونیایی RBF با تابع انتقال خطی، به بررسی روابط به بین متغیرهای طیفی و شاخص رطوبتی با رطوبت غلاف برگ پرداخته شد. مورد دیگری که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد، شناسایی بهترین متغیرهای طیفی در فرآیند مدلسازی با استفاده از روش انتخاب ویژگی جستجوی رو به جلو در پیش‌بینی رطوبت غلاف برگ می‌باشد، که برای اهداف تهیه نقشه رطوبتی مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند به طور عملیاتی برای توصیف و مدیریت مزارع نیشکر برای دستیابی به بهره‌وری مطلوب به کار گرفته شود.

مواد و روش‌ها

مزارع نیشکر بزرگترین مزارع خوزستان هستند که بیش از ۸۴۰۰۰ هکتار را در بر می‌گیرند. حدوداً ۹۶۷۰ هکتار از مزارع تحت کشت، متعلق به شرکت امیرکبیر می‌باشند. منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی 31° درجه و $00'$ دقیقه و $20''$ نایب شمالی و طول جغرافیایی 48° درجه و $15'$ دقیقه و $23''$ نایب شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). برای تحقیق حاضر، ۹ مزرعه از وارپته CP69-1062 انتخاب شد. از هر مزرعه ۵ نقطه انتخاب و مشخصات نقاط با دستگاه GPS گرفته شد.



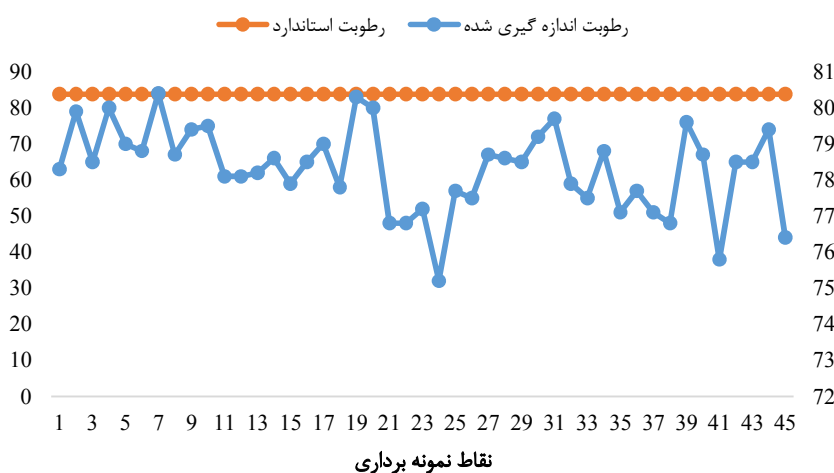
شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

اندازه‌گیری میزان رطوبت غلاف برگ‌های سوم تا ششم

اندازه‌گیری میزان رطوبت غلاف برگ در هر مزرعه از ساعت ۷:۳۰ الی ۹:۳۰ صبح در ۵ نقطه به روش دستی انجام گرفت و نمونه‌ها درون یک کیسه پلاستیکی قرار داده شد. بعد از رساندن نمونه‌ها به آزمایشگاه، برگ‌های شماره سوم تا ششم جدا شده و وزن تر غلاف برگ نمونه (FW) اندازه‌گیری شد. زمان بین جدا کردن غلاف تا وزن غلاف‌ها باید حتی‌الامکان کوتاه باشد. سپس نمونه‌های توزین شده برای خشک کردن به آزمایشگاه انتقال و به مدت ۲۴ ساعت در آون تهویه‌دار با دمای ۸۵ درجه سلسیوس قرار داده شد. بعد از خشک شدن غلاف‌ها، نمونه‌ها توزین و وزن خشک آنها (DW) ثبت می‌شود. سپس با استفاده از فرمول (۱)، درصد رطوبت غلاف برگ بر پایه تر (SWC) بدست می‌آید [۳]. نکته قابل توجه این است که از مختصات نقاطی اندازه‌گیری شده، نمونه برداری‌های زمینی و ماهواره‌ای صورت گرفت.

$$SWC (\%) = \frac{FW - DW}{FW} \times 100 \quad (1)$$

شکل ۲ نمودار میزان رطوبت غلاف برگ طبق استانداردهای تنظیم شده توسط موسسه مرکز تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری برای ۴۵ نقطه برای این تحقیق را نشان می‌دهد. کاهش سطح رطوبت غلاف (رطوبت اندازه‌گیری شده) به زیر یک حد بحرانی (رطوبت استاندارد) به منزله زمان آبیاری تلقی می‌شود [۱۴].



شکل ۲: نمودار مربوط به مقادیر استاندارد و مقادیر اندازه‌گیری شده

تصاویر ماهواره سنتینل-۲

ماهواره سنتینل-۲ از ۱۳ باند طیفی در محدوده‌های مرئی تا فرورسرخ طول موج کوتاه تشکیل شده که ۴ باند از توان تفکیک ۱۰ متر، ۶ باند از توان تفکیک ۲۰ متر و ۳ باند نیز توان تفکیک ۶۰ متر در آن برخوردار است. اطلاعات باندهای این ماهواره در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر اخذ شده توسط سنتینل-۲ [۱۵]

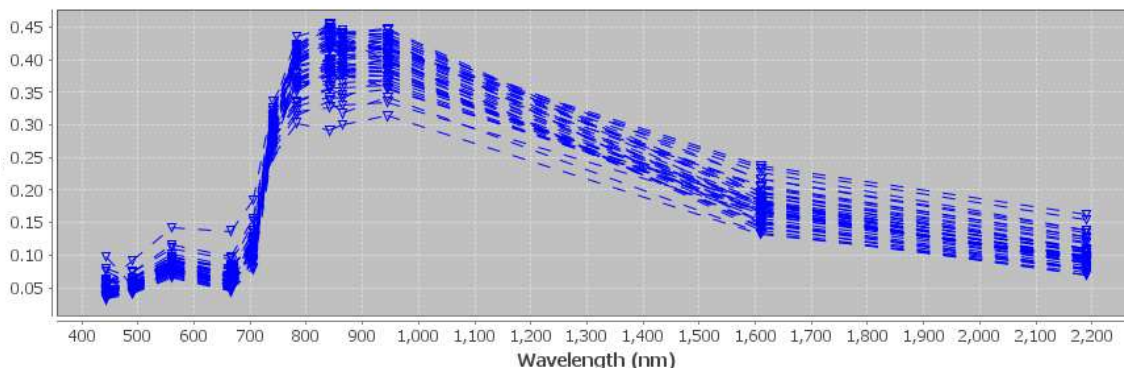
باند	نام باند	میانگین طول موج	طول موج مرکزی (نانومتر)	توان تفکیک مکانی (متر)
B1	Coastal aerosol	۰/۴۳	۴۴۲/۷	۶۰
B2	Blue	۰/۴۹	۴۹۲/۴	۱۰
B3	Green	۰/۵۶	۵۵۹/۸	۲۰
B4	Red	۰/۶۵	۶۶۴/۶	۱۰
B5	Vegetation Red Edge	۰/۷۰	۷۰۴/۱	۲۰
B6	Vegetation Red Edge	۰/۷۴	۷۴۰/۵	۲۰
B7	Vegetation Red Edge	۰/۷۸	۷۸۲/۸	۲۰
B8	NIR	۰/۸۴	۸۳۲/۸	۱۰
B8A	Narrow NIR	۰/۸۶	۸۶۴/۷	۲۰
B9	Water vapor	۰/۹۴	۹۴۵/۱	۶۰
B10	SWIR – Cirrus	۱/۳۷	۱۳۷۳/۵	۶۰
B11	SWIR	۱/۶۱	۱۶۱۳/۷	۲۰
B12	SWIR	۲/۱۹	۲۲۰۲/۴	۲۰

نمودار طیفی گیاه

شکل ۳، نمودار طیفی پوشش گیاهی^۱ در تاریخ مورد نظر را نشان می‌دهد. در واقع بازتاب گیاه در طول موج‌های محدوده بین ۴۹۲/۴ - ۲۲۰۲/۴ نانومتر می‌باشد. باندهای ۸ (NIR) و ۱۲ (SWIR) مربوط به رطوبت گیاه هستند.

¹ Plant canopy

Spectrum View



شکل ۳: نمودار طیفی مربوط به نقاط نمونه برداری

شاخص‌های مرتبط با رشد گیاه

باندها و شاخص‌های گیاهی شامل B4، B8، B12، NDWI و NDVI از تصویر ماهواره سنتینل-۲ توسط نرم افزار SNAP افزونه تصاویر نوری محاسبه شدند.

NDWI¹

شاخص تفاضلی نرمال شده (رابطه ۲) برای اولین بار توسط McFeeters در سال ۱۹۹۶ معرفی گردید که انعکاس دهنده مقدار رطوبت در گیاه و خاک است [۸]. این شاخص برای رطوبت موجود در گیاه با استفاده از انعکاس فرورسرخ نزدیک (NIR) و فرورسرخ موج کوتاه (SWIR) محاسبه می‌شود، که آن را به تغییرات میزان آب مایع و مزوفیل اسفنجی تاج پوشش گیاهی حساس می‌کند [۱۶]. مقادیر این شاخص بین -۱ تا ۱ با توجه به شرایط رطوبتی گیاه تغییر می‌کند. برای وقتی که گیاه در شرایط رطوبتی مناسب باشد، مقدار این شاخص افزایش می‌یابد و برای زمان تنش گیاهی این شاخص به کمترین مقدار خود می‌رسد. نکته قابل ذکر اینکه تصویر از نوع L-2A بود به پیش پردازش (تصحیحات اتمسفری و هندسی) نیاز نداشت. با توجه به اینکه باندهای ۸ و ۱۲ به ترتیب دارای توان تفکیک مکانی ۱۰ و ۲۰ متر هستند. برای یکسان‌سازی، به توان تفکیک ۱۰ متر تبدیل^۲ شدند.

$$NDWI_{10m} = \frac{\text{Band 8} - \text{Band 12}}{\text{Band 8} + \text{Band 12}} \quad (2)$$

NDVI³

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی یک اندازه‌گیری غیرمستقیم از فعالیت فتوسنتزی است. دامنه این شاخص بین -۱ و برای حداقل میزان و +۱ برای حداکثر میزان فعالیت فتوسنتزی است. به طور کلی NDVI توسط Braun and Herold در سال ۲۰۰۴ به صورت فرمول ۳ ارائه شده است [۱۷].

¹ Normalized difference water index

² Resample

³ Normalized difference vegetation index

$$NDVI = \frac{Band8 - Band4}{Band8 + Band4} \quad (3)$$

در این شاخص برای سطوح دارای پوشش گیاهی، طول موج‌های سرخ و فرورسرخ نزدیک به ترتیب با جذب بالا و بازتاب پایین مشخص می‌شوند [۱۷].

پیاپی سازی مدل و تخمین رطوبت غلاف نیشکر

از سه باند B12، B8، B4 و دو شاخص NDVI و NDWI بعنوان ورودی به مدل به منظور تخمین رطوبت غلاف برگ به کار گرفته شد. قبل از انجام مدل سازی به منظور آگاهی از مسئله هم خطی بین متغیرهای مستقل، از آنالیز همبستگی پیرسون و محاسبه ضریب تورم واریانس (VIF) استفاده گردید. در مرحله بعد، مدل رگرسیون خطی چندگانه^۱ و روش درونیایی^۲ تابع پایه شعاعی^۳ با تابع انتقال خطی به منظور مدل سازی و مقایسه با روش رگرسیون خطی چندگانه برای برآورد بکار گرفته شد. قابل ذکر است که از روش انتخاب ویژگی جستجوی رو به جلو^۴ به منظور انتخاب متغیر موثر در هر مدل استفاده شد، و اساس انتخاب متغیر مبتنی بر کمترین خطا بوده است.

مدل رگرسیون خطی چندگانه (MLR)

ارتباط خطی بین متغیرهای مستقل x_1, x_2, \dots, x_n و متغیر Y در مدل MLR، به شرح زیر است:

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + e \quad (4)$$

که در آن، a_0 عرض از مبدا و پارامترهای a_1, a_2, \dots, a_n ضرایب رگرسیون می‌باشند [۱۸].

روش درونیایی تابع پایه شعاعی با تابع انتقال خطی

در مواردی که از تابع پایه شعاعی برای درونیایی استفاده می‌شود، به منظور دستیابی به دقت بالا، تعداد مراکز با بعد داده‌های ورودی برابر در نظر گرفته می‌شود. برای انجام درونیایی می‌توان از روش RBF تعمیم یافته استفاده کرد [۱۹]. توابع انتقال به کار رفته در تابع پایه شعاعی عبارتند از: خطی، مکعبی، صفحه باریک، گوسی، کشی، ربعی و ارون، چند ربعی و چند ربعی و ارون. در این پژوهش از تابع انتقال خطی $(\theta(r)=r)$ استفاده گردید.

هم خطی توام

¹ Multiple Linear Regression

² Interpolation

³ Radial basis function

⁴ Sequential Forward Selection (SFS)

مسئله جدی که می‌تواند مدل رگرسیونی را با اشکال مواجه کند، هم خطی یا وابستگی خطی نزدیک بین متغیرهای رگرسیونی است. وجود همبستگی خطی توانایی برآورد دقیق و صحیح ضرایب مدل رگرسیون را با مشکل مواجه می‌کند. اگر بین متغیرهای مستقل همبستگی وجود داشته باشد، در این حالت به کار بردن MLR بدون در نظر گرفتن اثر مذکور می‌تواند گمراه کننده باشد [۲۰]. روشی که برای پی بردن به هم خطی در نظر گرفته شد، روش آنالیز همبستگی پیرسون و استفاده از ضریب تورم واریانس (VIF) می‌باشد:

$$VIF = \frac{1}{1-R^2} \quad (5)$$

که در آن R^2 ضریب تبیین ناشی از همبستگی بین دو متغیر مستقل می‌باشد. در این مطالعه هر متغیری که ضریب VIF آن بیشتر از ۱۰ بدست آید، به عنوان متغیری که باعث هم خطی توأم می‌شود در نظر گرفته می‌شود [۲۰].

ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی مدل، از پارامترهای ضریب تبیین^۱ (R^2)، میانگین مربعات خطا^۲ (MSE) استفاده شد.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6)$$

در معادلات بالا، n تعداد نمونه را نشان می‌دهد. y_i نشان دهنده مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت غلاف، \hat{y}_i مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل می‌باشد.

تحلیل نتایج

همبستگی بین متغیرهای ورودی

جدول ۲ نتایج آنالیز همبستگی پیرسون بین باندها و شاخص‌های طیفی را نشان می‌دهد. در آنالیز صورت گرفته، باند B12 با باند B4 و برای دو شاخص NDWI و NDVI به ترتیب در سطح احتمال ۵ درصد به ترتیب همبستگی متوسط و بالایی وجود دارند. با وجود همبستگی بین آنها، VIF آنها کمتر از ۵ می‌باشد. بدین معنی است که مشکل هم خطی در مدل نخواهند داشت. بعلاوه بین سایر باندها همبستگی کم یا منفی است. بنابراین، مشکل هم خطی بین متغیرها وجود ندارد، و هر چهار باند B4، B8، B12 و شاخص‌های NDVI و NDWI بعنوان ورودی در مدل مناسب هستند.

جدول ۲: همبستگی پیرسون بین باندها و شاخص‌های گیاهی

B4	B8	B12	NDVI	NDWI
----	----	-----	------	------

¹ Coefficient of determination

² Mean Square Error

B4	۱				
B8	-۰/۵۰**	۱			
B12	۰/۶**	۰/۱۲	۱		
NDVI	-۰/۵۹**	۰/۳۴*	۰/۳۸**	۱	
NDWI	-۰/۵۵**	۰/۱۹	-۰/۵۷**	۰/۷۱**	۱

** Correlation is significant at the 0.01 level

* Correlation is significant at the 0.05 level

پیش‌بینی رطوبت غلاف برگ توسط باندهای B4، B8 و B12 و شاخص‌های گیاهی NDVI و NDWI جدول ۳، نتایج پیش‌بینی رطوبت غلاف برگ نیشکر توسط رگرسیون خطی و درونیایی RBF را نشان می‌دهد. روش انتخاب ویژگی رو به جلو از بین تمام متغیرهای مستقل داده شده به مدل، قادر بود مدل را بر اساس دو باند B4 و B8 برازش نماید. میزان خطا و ضریب تبیین برای مدل رگرسیون خطی به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۵۱ پیش‌بینی گردید. برای روش درونیایی RBF با تابع انتقال خطی دو متغیر B8 و NDVI از طریق روش جستجوی رو به جلو انتخاب شدند. مقدار MSE و R² یان روش به ترتیب ۰/۰۰۹ و ۰/۷۷ رطوبت تخمین زده شد. با مقایسه هر دو مدل می‌توان نتیجه گرفت روش تابع پایه شعاعی با تابع انتقال خطی باعث بهبود میزان خطا و ضریب تبیین شده است، و می‌تواند بعنوان روش موثری در تخمین میزان رطوبت با درصد قابل قبولی استفاده شود.

جدول ۳: نتایج مربوط به رگرسیون خطی و درونیایی RBF

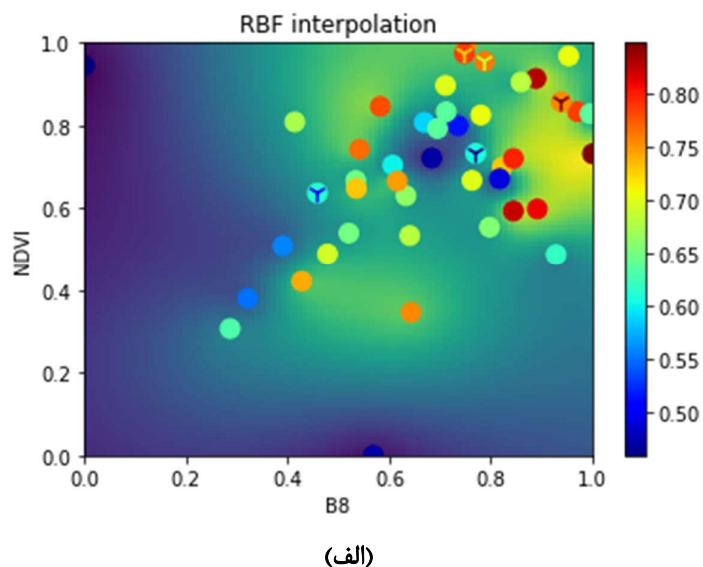
	RBF interpolation: ['B8', 'NDVI']	Linear regression: ['B4', 'B8']
R ²	0.77	0.51
MSE	0.009	0.019

از نتایج ارائه شده توسط مدل رگرسیون خطی چندگانه و روش درونیایی RBF با تابع انتقال خطی، شاخص NDVI و باندهای B4 و B8 بعنوان شاخص و باندهای موثر در فرآیند مدلسازی انتخاب شدند؛ همچنین ذکر این نکته ضروری است که NDVI در واقع تفاوت نرمال شده بین مادون قرمز نزدیک (B8) و باند قرمز (B4) می‌باشد، و به تغییرات محتوای کلروفیل، سبزیگی و فضاهای داخل سلولی در مزوفیل اسفنجی برگ گیاهان پاسخ می‌دهد. وقتی که پوشش گیاهی متراکم است؛ میزان بازتاب باند فرورسرخ نزدیک و میزان جذب در باند سرخ بیشتر می‌شود. در همین راستا، مقادیر بالاتر NDVI نشان دهنده قدرت بیشتر و ظرفیت فتوسنتزی (یا سبزی) تاج پوشش گیاهی است. در حالی که مقادیر کمتری NDVI برای همان دوره زمانی بازتاب تنش رویشی است که منجر به کاهش کلروفیل و تغییر در ساختار داخلی برگها به دلیل پژمردگی می‌شود [۲۱]. همچنین اولین علایم کمبود رطوبت در ظاهر گیاه قابل رویت است. شاخص‌های مرفولوژی نظر افتادگی برگ‌ها و کاهش آبدار بودن بافت‌های گیاهی، می‌توانند در تشخیص زمان

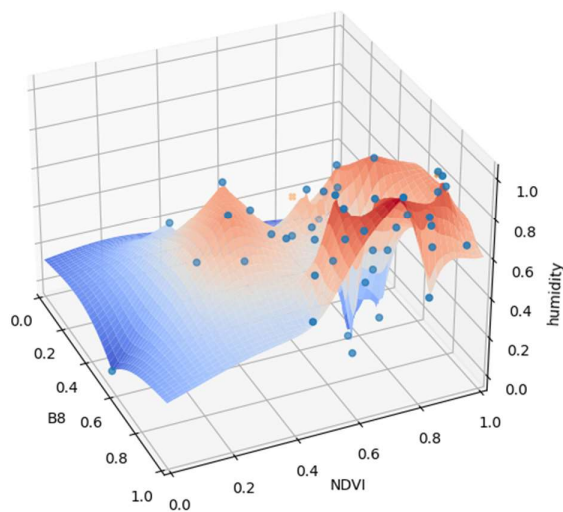
آبیاری گیاه مورد استفاده قرار گیرند. در شرایط کمبود آب، بافت سبز و تازه گیاه از رنگ سبز به رنگ زرد متمایل می‌شود [۱۴]. با توجه نتایج پژوهش حاضر و با توجه به تفسیر مربوط به شاخص NDVI و رنگ ظاهری گیاه می‌توان استنباط نمود که تغییرات رطوبت غلاف نیشکر با شاخص NDVI رابطه قابل قبولی دارد، و می‌توان از طریق این شاخص به تغییرات رطوبت غلاف نیشکر پی برد.

نمودار سه بعدی و دوبعدی حاصل از روش درونیابی RBF

شکل ۴ نتیجه مدل سازی درونیابی تابع پایه شعاعی با تابع انتقال خطی توسط نمودار دو بعدی (الف) و سه بعدی (ب) را نشان می‌دهد. در نمودار شکل (الف) مربوط به تابع درونیابی RBF با تابع انتقال خطی است، در واقع محور افقی و عمودی در نمودار مربوط به متغیرهایی هستند که توسط روش جستجوی رو به جلو انتخاب شدند؛ و نمودار ارتفاعی (z در فضای سه بعدی) مقادیر رطوبت را نشان می‌دهد. ۵ نقطه به صورت ضربدر نشان داده شده که در واقع نمایش نقاط آزمون هستند. همانطور هم که نشان داده، این نقاط به خوبی روی نقاط آموزش برازش شدند.



RBF interpolation



(ب)

شکل ۴: نمودار NDVI و B8 برای مقدار رطوبت غلاف اندازه‌گیری شده

نتیجه‌گیری

رطوبت غلاف برگ برای تنظیم برنامه زمانبندی آبیاری در مزارع حائز اهمیت می‌باشد. با این حال رطوبت غلاف به صورت سنتی از طریق اندازه‌گیری وزن تر و وزن خشک گیاه قابل محاسبه است. این روش علاوه بر صرف زمان زیاد، هزینه بر بوده و در سطح وسیع قابل اجرا نمی‌باشد. بنابراین فناوری سنسور از دور می‌تواند نقش بسزایی در حل این مشکل داشته باشد. در این پژوهش از ماهواره سنتینل-۲ به منظور تخمین رطوبت غلاف نیشکر استفاده گردید. شاخص‌های NDVI و NDWI و باندهای B4، B8 و B12 از تصویر سنتینل-۲ استخراج شدند. از دو مدل رگرسیون خطی چندگانه و روش درونیایی RBF با تابع انتقال خطی به منظور مدلسازی و تخمین رطوبت غلاف استفاده شد. با توجه به نتایج، مدل درونیایی RBF با تابع انتقال خطی در مقایسه با مدل رگرسیون خطی چندگانه قادر بود تخمین قابل قبول‌تری از رطوبت غلاف داشته باشد. همچنین، شاخص NDVI در مقایسه با شاخص NDWI در تخمین رطوبت غلاف عملکرد بهتری داشته است.

منابع

- Grof, C. P., and Campbell, J. A. 2001. Sugarcane sucrose metabolism: scope for molecular manipulation. *Functional Plant Biology*, 28(1), 1-12.
- Clements, H.F. 1960. Recent developments in crop logging of sugarcane. In *Proceedings of the International Society of Sugarcane Technologists; 10th Congress, Hawaii, 1959. 1960.*
- بی‌نام. ۱۳۹۲. فن آوری تولید نیشکر در ایران - جلد اول: مجموعه دستورالعمل‌های عملیات زراعی تولید محصول. انتشارات رسواژه، خوزستان.
- Cheng, T.; Riano, D.; Koltunov, A.; Whiting, M.L.; Ustin, S.L.; Rodriguez, J. Detection of diurnal variation in orchard canopy water content using MODIS/ASTER Airborne simulator (MASTER) data. *Remote Sens. Environ.* 2013, 132, 1-12.

5. Martin, R.E.; Asner, G.P.; Francis, E.; Ambrose, A.; Baxter, W.; Das, A.J.; Vaughn, N.R.; Paz-Kagan, T.; Dawson, T.; Nydick, K.; et al. Remote measurement of canopy water content in giant sequoias (*Sequoiadendron giganteum*) during drought. *For. Ecol. Manag.* 2018, 419, 279–290.
 6. Thomas, J.R.; Namken, L.N.; Oerther, G.F. Estimating Leaf Water Content by Reflectance Measurement. *Agron. J.* 1971, 63, 845–847.
 7. Ceccato, P.; Flasse, S.; Tarantola, S.; Jacquemoud, S.; Gregoire, J.M. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sens. Environ.* 2001, 77, 22–33.
 8. McFeeters, S.K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* 1996, 17, 1425–1432.
 9. Jackson, T.J., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Doriaswamy, P. and Hunt, E.R., 2004. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sensing of Environment*, 92(4), pp.475-482.
 10. Wu, C., Niu, Z., Tang, Q. and Huang, W., 2009. Predicting vegetation water content in wheat using normalized difference water indices derived from ground measurements. *Journal of plant research*, 122(3), pp.317-326.
 11. Zhang, C., Pattey, E., Liu, J., Cai, H., Shang, J. and Dong, T., 2017. Retrieving leaf and canopy water content of winter wheat using vegetation water indices. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(1), pp.112-126.
 12. Chen, D., Huang, J., and Thomas J. Jackson, T.J. 2005. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. *Remote Sensing of Environment*. 98, Pages 225-236.
 13. Immitzer, M., Vuolo, F., Atzberger, C., 2016. First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe. *Remote Sens.* 8.
۱۴. شینی دشتگل، ع. ۱۳۹۸. اصول مدیریت کاربردی آب در نیشکر. چاپ دوم. موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان.
15. MultiSpectral Instrument (MSI) Overview". Sentinel Online. European Space Agency. Retrieved 3 December 2018.
 16. Gao, B.-C. 1996. NDWI -A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58: 257-266.
 17. Braun, M. and Herold, M., 2004, February. Mapping imperviousness using NDVI and linear spectral unmixing of ASTER data in the Cologne-Bonn region (Germany). In *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology III* (Vol. 5239, pp. 274-284). International Society for Optics and Photonics.
 18. Balan B, S Mohaghegh, and Ameri S. 1995. State- of- Art- in permeability determination from well log data: Part 1- A comparative study. *Model develop-ment. SPE.* 30978:17-25.
 19. Wright, G. B., 2003- Radial basis function interpolation: numerical and analytical developments. Ph.D. thesis. University of Colorado, Boulder.
 20. Bowker A.H, and Lieberman G.J. 1972. *Engineering Statistics.* Prentice-Hall.
 21. Mulianga, B., Bégué, A., Clouvel, P. and Todoroff, P., 2015. Mapping cropping practices of a sugarcane-based cropping system in Kenya using remote sensing. *Remote Sensing*, 7(11), pp.14428-14444.

Estimation of sugarcane sheath moisture using Sentinel-2 satellite imagery

Maryam Soltani kazemi ¹, Saeid Minaei ^{*2}, Hossein Shafizadeh Moghadam ³ and Ali Reza Mahdavian ⁴

^{1,2 and 4} PhD student, Professor* and Assistant Professor Department Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, respectively

³ Assistant professor, Department Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

*Correspond: minae@modares.ac.ir

The importance of the role of water status in plant tissue in relation to sugarcane growth led to the measurement of plant moisture in relation to its water requirement. Leaf sheath moisture is one of the parameters that can be measured to determine the moisture status of plant tissue. The aim of this study was to investigate and estimate the moisture content of leaf sheath with the help of Sentinel-2 satellite images. This research was conducted in the crop year of 2020 in Amirkabir agro-industrial farms in July on CP69-1062 variety. For this purpose, 9 farms were selected and in the next step, the sheath moisture content of 45 leaf sheath was measured. Satellite imagery was taken simultaneously and NDWI, NDVI indices and bands B4, B8 and B12 were calculated using SNAP software. Multiple linear regression model and RBF interpolation method with linear transfer function were used to model and extract leaf sheath moisture. According to the results among all the variables (NDWI, NDVI, B4, B8 and B12) that were given as input to both models, the SFS feature selection method could be best used based on the least error criterion for the multiple linear regression model of two variables B4, B8. In addition, for the RBF interpolation method, two variables B8, NDVI for the leaf sheath moisture modeling process were selected. The values of R² and MSE for the multiple linear regression model were 0.51 and 0.019, respectively, and for the RBF interpolation method with the linear transfer function, the values of these two were improved to 0.77 and 0.009. Comparing the results of the two models, it can be concluded that the RBF interpolation method with linear transfer function has a higher ability than the multiple linear regression method in estimating the moisture content of sugarcane leaf sheaths. With the help of Sentinel-2 satellite images and appropriate processing, it is possible to accurately estimate the moisture content of sugarcane sheaths.

Keywords: Sugarcane, Plant tissue moisture content, Machine learning methods, Interpolation technique