

# ارائه راهکاری بمنظور کالیبراسیون بین سنجنده‌های مدل مدل‌های تخمین رطوبت خاک در تصاویر نوری

## و حرارتی با حد تفکیک مکانی پایین

بهنام ولاشجردی<sup>\*</sup>، علیرضا صفدری نژاد<sup>۲</sup>، مرضیه جعفری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشگاه تفرش

۲- استادیار گروه ژئودزی و مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تفرش  
safdarinezhad@tafreshu.ac.ir

۳- استادیار گروه ژئودزی و مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تفرش  
jafari@tafreshu.ac.ir

## چکیده

پارامتر محیطی رطوبت خاک، در ارزیابی، توزیع ناشی از بارش، رفتار تبخیر تفرق خاک و گیاهان و همچنین جریان‌های انرژی و چرخه کربن بین سطح زمین و جو اثر گذار است. به همین منظور اندازه‌گیری این کمیت تاثیر محسوسی در مدل‌سازی چرخه‌های مذکور خواهد داشت. اندازه‌گیری رطوبت خاک بصورت سنتی بکمک راهکارهای میدانی بسیار وقت‌گیر و پرهزینه بوده و در بسیاری از مناطق امکان اندازه‌گیری آن بصورت مستقیم میسر نیست. بر این اساس استفاده از فن‌آوری سنجش از دور را می‌توان بعنوان رویکردی جایگزین و قابل اعتماد در این حوزه انتخاب نمود. چالش‌های مختلفی در حوزه تخمین رطوبت خاک بکمک مشاهدات ماهواره‌ای وجود داشته که در این مقاله مساله کالیبراسیون داده‌های ماهواره‌ای بعنوان رویکرد تحقیق انتخاب شده است. بواسطه‌ی پویایی رفتار رطوبت خاک استفاده از ماهواره‌ها با قدرت تفکیک زمانی بالا ترجیح پذیر بوده اما بواسطه‌ی ارتباط معکوس میان حد تفکیک مکانی و زمانی این سنجنده‌ها عمدتاً حد تفکیک مکانی پایینی (۱۰۰ متر تا چند کیلومتر) را برخوردارند. بدیهی است که نسبت دادن یک اندازه‌گیری نقطه‌ای با وسعتی حدود ۲ تا ۳ متر مربع به یک پیکسل با حد تفکیک مکانی پایین دقت خوبی در برآورد رطوبت خاک را به همراه نخواهد داشت. بر این اساس در این مقاله کالیبراسیون مدل تخمین رطوبت خاک در تصاویر سنجنده‌ی MODIS بعنوان یک سنجنده با حد تفکیک مکانی پایین بکمک مدلی که بصورت هم‌زمان از تصاویر راداری sentinel1 و تصاویر چندطیفی Landsat8 استفاده می‌کند، برآورد شده است. نتایج مدل‌سازی کمیت رطوبت خاک بکمک روش کالیبراسیون بین سنجنده‌ای دقت‌هایی معادل  $RMSE = 0.027$  و  $R^2 = 0.83$  را به همراه داشته که در زمان استفاده از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای و میدانی این دقت‌ها معادل  $RMSE = 0.055$  و  $R^2 = 0.476$  بودند. نتایج کسب شده حاکی از بهبود دقت تخمین رطوبت خاک در تصاویر MODIS بکمک کالیبراسیون بین سنجنده‌ای است.

**واژه‌های کلیدی:** رطوبت خاک، کالیبراسیون بین سنجنده‌ای، تصاویر با حد تفکیک مکانی پایین، تصاویر راداری

## ۱- مقدمه

بهره‌برداری از کشاورزی نقش مهمی در توسعه اقتصادی بسیاری از کشورها دارد و به شدت به دسترسی آب وابسته است. بنابراین، مدیریت منابع آب در مزارع و سطح منطقه یک مسئله جهانی است که باید مورد توجه قرار گیرد. به دست آوردن اطلاعات دقیق در مورد رطوبت خاک یک عامل اصلی در تهیه یک طرح مدیریت منابع آب است [۱]. رطوبت خاک در مقیاس‌های مختلف فضایی و زمانی، کاربردهای بسیاری از جمله پیش‌بینی آب و هوا و مدل‌سازی هیدرولوژیکی دارد [۲ و ۳]. به ویژه، برآورد رطوبت خاک می‌تواند کیفیت نظارت خشکسالی را بهبود بخشد و خطر وقوع سیل که مشکلات زیادی در بسیاری از مناطق جهان است را پیش‌بینی کند [۴]. رطوبت خاک به رغم آنکه بخش بسیار اندکی (۰/۱۵ درصد) از آب موجود بر روی کره زمین را شامل می‌شود، تأثیر بسزایی بر گردش آب، انرژی و کربن در طبیعت دارد [۵]. آگاهی از زمان، پراکندگی و میزان تنش آبی وارد آمده بر درختان و مراتع در فصول گرم و خشک نیز از جمله دلایل مهم لزوم سنجش تنش آبی و همچنین میزان رطوبت خاک می‌باشد [۶]. از این‌رو اندازه‌گیری رطوبت خاک بسیار حائز اهمیت می‌باشد. که غالباً روش‌های زمینی تخمین رطوبت خاک شامل: روش مستقیم گرانشی، استفاده از ثابت دی الکتریک و تشخیص پراکندگی نوترون می‌باشد [۷]. این نوع اندازه‌گیری‌ها وقت‌گیر و گران است. اگرچه پروب‌های مدرن در حال حاضر روند را تسهیل می‌بخشند، اما اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از این پروب‌ها هنوز هم وقت‌گیر

<sup>\*</sup>نویسنده مکاتبه کننده: استان مرکزی، شهرستان تفرش، - ابتدای جاده تهران، دانشگاه تفرش، دانشکده مهندسی نقشه برداری، کدپستی: ۷۹۶۱۱-۳۹۵۱۸  
تلفن: ۰۹۳۰۸۷۲۳۳۷۶

و پرهزینه است و هنوز هم با استفاده از روش گرانیتری مستقیم نیاز به کالیبراسیون دارد. نصب پروب‌های دائمی می‌تواند به کاهش تلاش مورد نیاز برای جمع‌آوری اطلاعات رطوبت خاک کمک کند، اما این نیز نمی‌تواند یک روش عملی برای مناطق بزرگ باشد. علاوه بر این، ضعف ذاتی اندازه‌گیری زمینی رطوبت خاک، هر اندازه‌گیری می‌تواند وضعیت رطوبت را برای یک منطقه کوچک، احتمالاً چند متر، در مورد مکان اندازه‌گیری نماید. با توجه به مشکلات موجود در اندازه‌گیری‌های سنتی رطوبت خاک، جامعه علمی اعتبار زیادی برای استفاده از سنجش از دور در برآورد سطح رطوبت خاک نشان داده است. سنجش از دور برای برآورد سطح رطوبت خاک به دلیل خاصیت جمع‌آوری داده‌های منحصر به فرد، امیدوارکننده است. مزایای استفاده از سنجش از دور برای برآورد محتویات رطوبت خاک (یعنی سرعت، بازبینی منظم، پوشش گسترده و مقرون به صرفه بودن) بر روشهای سنتی، انگیزه‌ای برای تحقیق گسترده در این زمینه بوده است اندازه‌گیری‌های سنجش از دور همچنین غیر مخرب هستند، زیرا ما نیازی به لمس خاک برای ارزیابی آن در فضایی نداریم [۸]. از سوی دیگر رطوبت خاک بسیار وابسته به زمان بوده و حتی در طول شبانه روز نیز تغییر می‌کند. بهمین منظور تخمین رطوبت خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک زمانی بالا همانند تصاویر مودیس<sup>۱</sup> ملزم بنظر می‌رسد. اما بدلیل اینکه قدرت تفکیک مکانی و زمانی با یکدیگر نسبت معکوس دارند و از طرفی غالباً مدل‌های تخمین رطوبت خاک براساس یک رابطه ریاضی بین شاخص‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای و مقادیر اندازه‌گیری شده زمینی بدست می‌آیند. استفاده از تصاویر سنجنده‌های دیگر همانند سنتینل ۱<sup>۲</sup> و لندست ۸<sup>۳</sup> که قدرت تفکیک مکانی بالاتری دارند بمنظور رفع نقص استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی در تصاویر مودیس ضروری می‌باشد. بهمین منظور در این مقاله ابتدا با استفاده از تصویر ماهواره‌های سنتینل ۱<sup>۲</sup> و لندست ۸<sup>۳</sup> اندازه‌گیری‌های زمینی یک مدل برای رطوبت خاک استخراج شد. سپس با استفاده از نقشه رطوبتی بدست آمده از این مدل به تخمین رطوبت خاک با استفاده از سنجنده مودیس پرداخته شد.

## ۲- تکنیک‌های سنجش از دور برای برآورد رطوبت خاک

تکنیک‌های سنجش از دور برای برآورد رطوبت خاک شامل روش‌های نوری، مادون قرمز حرارتی و مایکروویو فعال و غیرفعال هستند که هر کدام نقاط ضعف و قوت خود را دارند.

### ۲-۱- استفاده از تصاویر نوری و حرارتی در تخمین رطوبت خاک:

در روش‌های نوری ارتباط بازتاب از سطح خاک با مقدار رطوبت خاک بررسی می‌شود که در این میان تاثیر سایر عوامل بر بازتاب خاک باعث ایجاد خطا در مقادیر رطوبت برآورد شده می‌گردد و در روش مادون قرمز، میزان گسیل گرما از سطح زمین با طول موج‌های ۳/۵ تا ۱۴ میکرومتر اندازه‌گیری می‌شود. تخمین رطوبت خاک با این روش، نیاز به برآورد دمای سطحی خاک و شاخص گیاهی دارد [۹]

یکی دیگر از شاخص‌های حرارتی، شاخص NDMI است که با تلفیق با شاخص NDVI برای بررسی وضعیت خشکسالی و همچنین برآورد مقدار رطوبت خاک استفاده شده است [۱۰ و ۱۱]. که با برقراری ارتباط رگرسیون خطی بین شاخص‌های حرارتی به برآورد رطوبت خاک می‌پردازند.

در بررسی روش‌های تخمین رطوبت سطحی خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸<sup>۳</sup>، ۱۳ شاخص ماهواره‌ای و ۱۱ باند تصویر ماهواره لندست ۸<sup>۳</sup>، مجموعاً ۲۴ متغییر استخراج نمودند که در جدول ۱ مندرج شده است [۱۲].

جدول ۱: نمایه های رطوبتی، نسبت گیری های بانندی، باندهای طیفی و شاخص های گیاهی مورد استفاده [۱۲]

منبع	دامنه	نمایه	ردیف
(۱۹۹۶)Gao	$(\rho_{Green} - \rho_{NIR}) / (\rho_{Green} + \rho_{NIR})$	NDWI <sup>ε</sup>	۱
(۲۰۰۶)Xu, Hanqiu	$(\rho_{Green} - \rho_{MIR}) / (\rho_{Green} + \rho_{MIR})$	MNDWI <sup>ο</sup>	۲
(۱۹۸۸)Huete	$((\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red} + L)) * (1 + L)$	SAVI <sup>ι</sup>	۳
Qi, J. et al., 1994	$(1/2) * (2\rho_{NIR} + 1) - \text{SquareRoot}((2\rho_{NIR} + 1)^2 - 8(\rho_{NIR} - \rho_{Red}))$	MSAVI <sup>ν</sup>	۴
(۱۹۹۵)Liu & Huete	$G * ((\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + C1 * \rho_{Red} - C2 * \rho_{Blue} + L))$	EVI <sup>α</sup>	۵
Rouse, J.W.; Haas, (۱۹۷۳)R.H.; Schell, J.A	$(\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$	NDVI <sup>ξ</sup>	۶
(۲۰۰۳)Shaunet al.,	$(\rho_{NIR} - \rho_{MIR}) / (\rho_{NIR} + \rho_{MIR})$	NDMI <sup>η</sup>	۷
(۱۹۰۱)Karl Pearson	PCA1	PCA <sup>θ</sup>	۸
	PCA2		۹
	PCA3		۱۰
Kauth & Thomas (1976)	Brightness (TAS1)	TAS <sup>ι</sup>	۱۱
	Greenness (TAS2)		۱۲
	Wetness (TAS3)		۱۳
NASA, (2015)	0/451-0/435 (μm)	باند ۱	۱۴
	0/512-0/452 (μm)	باند ۲	۱۵
	0/590-0/525 (μm)	باند ۳	۱۶
	0/673-0/636 (μm)	باند ۴	۱۷
	0/879-0/851 (μm)	باند ۵	۱۸
	1/651-1/566 (μm)	باند ۶	۱۹

<sup>ε</sup>Normalized Difference Water Index

<sup>ο</sup>Modified Normalized Difference Water Index

<sup>ι</sup>Soil-Adjusted Vegetation Index

<sup>ν</sup>Modified Soil Adjusted Vegetation Index

<sup>α</sup>Enhanced Vegetation Index

<sup>ξ</sup>Normalized Difference Vegetation Index

<sup>η</sup>Normalized Difference Moisture Index

<sup>θ</sup>Principal Components Analysis

<sup>ι</sup>Tasseled Cap Transformation

<sup>ι</sup>band

	2/294-2/107 (µm)	۷باند	۲۰
	0/676-0/503 (µm)	۸باند	۲۱
	1/384-1/363 (µm)	۹باند	۲۲
	11/19-10/60	۱۰باند	۲۳
	12/51-11/50	۱۱باند	۲۴

سپس از بین این ۲۴ متغییر وابسته ترین متغیرهای پیش بینی کننده ی متغیر پاسخ انتخاب شدند و در ۱۸ مدل تخمین رطوبت خاک با سه دسته بندی رطوبت کمتر از ۴٪، رطوبت بین ۴٪ و ۵٪ و رطوبت بالای ۵٪ قرار گرفتن که نتایج بررسی دقت این مدل ها نشان داد مدل استپویز برای رطوبت بین ۴٪ تا ۵٪ که شامل شاخص های NDWI و PCA3 و NDVI می باشد با  $RMSE = 0/585$  بهترین دقت را دارد [۱۲].

### ۱-۲- استفاده از داده های رادار در تخمین رطوبت خاک:

سنجش از دور میکروویو را می توان به دو بخش فعال و غیرفعال تقسیم کرد. در سنجش از دور غیرفعال منبع ایجاد انرژی خورشید است. اما در سنجش از دور فعال باز پخش توسط دستگاه فرستنده ارسال می شود. یک تفاوت عمده بین سنجش از دور ماکروویو فعال و غیرفعال، قدرت تفکیک مکانی تولید شده توسط آنهاست. سنجنده های میکروویو فعال با نام رادار شناخته می شوند.

سنجش از دور میکروویو غیر فعال تابش الکترومغناطیسی را در محدوده ی امواج الکترومغناطیسی در طول موج ۰٫۵ تا ۱۰۰ سانتیمتر اندازه گیری می کند. برای ماهواره های سنجش از دور در محدوده میکروویو فقط طول موج های بزرگتر از ۵ سانتیمتر موثر است، زیرا که این محدوده ی طول موجی کمتر تحت تاثیر پوشش گیاهی و اتمسفر قرار می گیرد، عمق بیشتری از خاک را تشخیص می دهند و به رطوبت خاک بیشتر حساس هستند [۱۳ و ۱۴].

پایه و اساس سنجش از دور میکروویو فعال برای رطوبت خاک، تقابل ثابت دی الکتریک خاک خشک و مرطوب و رابطه بین ضریب بازتاب فرسئل و ثابت دی الکتریک است. یک سنجنده راداری شامل فرستنده و گیرنده است. فرستنده یک موج الکترومغناطیسی در محدوده امواج میکروویو تولید و ارسال می کند و گیرنده موج بازگشتی از سطح را دریافت می کند. اطلاعاتی که از این موج بازتابی قابل استخراج است، دو گونه است. اولین داده قابل استخراج، فاصله دستگاه راداری و هدف است که از اندازه گیری زمان رفت و برگشت موج و با توجه به ثابت بودن سرعت امواج الکترومغناطیس قابل محاسبه است (فاز). دومین داده از شدت موج بازگشتی نسبت به موج اولیه قابل استخراج بوده و ویژگی های پخش کنندگی امواج رسیده توسط هدف را مشخص می کند (شدت). این پارامتر به صورت ضریب بازتابی قابل ارائه است، که با علامت اختصاری  $\sigma_0$  نشان داده می شود [۱۵].

از داده های ASAR در پلاریزاسیون های HH, VV برای برآورد رطوبت خاک در باغات زیتون و مزارع گندم اقلیم نیمه خشک تونس استفاده کردند. بر اساس نتایج، مدل رگرسیون خطی قادر بود مقدار  $RMSE$  برابر  $3/8 - 6/4$  می باشد [۱۶].

از پلاریزاسیون مختلف سنجنده ASAR در تخمین رطوبت خاک در اسپانیا استفاده نمودند. بر اساس نتایج مقدار  $RMSE$  در حدود  $0/006$  سانتیمتر مکعب برسانتیمتر مکعب بدست آمد [۱۷].

### ۳- منطقه مورد مطالعه و داده های مورد استفاده

با توجه به اینکه داده های رطوبت خاک بیشتر مربوط به غرب آمریکا می باشد. منطقه ای مورد مطالعه قرار گرفت که بیشترین تعداد ایستگاه زمینی اندازه گیری رطوبت خاک در یک تصویر لندست ۸ را دارا باشد. بنابراین منطقه مورد نظر ما

در ایالت کالیفرنیا آمریکا قرار گرفت. که در محدودی با عرض جغرافیایی ۳۶/۹۵ و ۳۵/۰۱ و طول جغرافیایی ۱۲۱/۲۶- و ۱۲۰/۱۱- واقع شده است. شکل ۱ موقعیت ایستگاه های زمینی و منطقه مورد مطالعه را نمایش می دهد.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه ها و منطقه مورد مطالعه

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود ۹ ایستگاه در منطقه وجود دارد.

داده های تخمین رطوبت خاک از سایت XENON.COLORADO.EDU جمع آوری شده است. این سایت ۱۵۵ ایستگاه زمینی دارد که حدودا از سال ۲۰۱۱ به جمع آوری داده های رطوبت خاک پرداخته است. پراکندگی ایستگاه های اندازه گیری نیز بیشتر معطوف به غرب کشور امریکا می باشد. و در اکثر روزهای سال داده ها را جمع آوری می کند. اطلاعاتی که هر ایستگاه در اختیار کاربران قرار می دهد علاوه بر داده های رطوبت خاک، طول و عرض جغرافیای هر ایستگاه، تاریخ اخذ و انحراف معیار هر ایستگاه می باشد.

#### ۴- متدلوژی

یکی از سنجنده های مورد استفاده در این مقاله لندست ۸ می باشد. که دارای ۱۱ باند می باشد. از بین این باندها باندهای شماره ۱ تا ۴ و ۸ در محدوده دید انسان قرار داشته و بقیه باندها خارج از محدوده مرئی می باشد. باندهای مادون قرمز نزدیک ئالمیده می شود. این طیف برای اکولوژی مهم است زیرا سلامت گیاهان را نشان می دهد. باندهای ۶ و ۷ در محدوده مادون قرمز کوتاه قرار دارد<sup>۱۰</sup>. این باندها برای تمایز و تشخیص زمین های مرطوب از خشک بکار می رود. باند ۹: این باند کمترین جزئیات را نشان میدهد با این حال یکی از جالب توجه ترین باندهای لندست ۸ است. باندهای ۱۰ و ۱۱ مادون قرمز حرارتی<sup>۱۱</sup> هستند. که گرمای سطح زمین و اشیای داخل آن را نشان می دهند.

برای پردازش تصاویر لندست ۸ با استفاده از نرم افزار انوی ۵/۳ ابتدا تصحیح رادیومتریک را به تصویر اعمال سپس با تصحیح اتمسفری فلش<sup>۱۲</sup> اتمسفری تصاویر حذف گردید. بعد از حذف اثر اتمسفر در تصاویر به علت آن که مقادیر بازتابندگی، اعداد بزرگی بود با استفاده از رابطه زیر در نرم افزار انوی، نرمال گردید.

$$\text{float}((b1 \leq 0)*0 + (b1 \geq 10000)*1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 < 10000)*\text{float}(b1/10000.0))$$

یکی دیگر از سنجنده های مورد استفاده در این مقاله مودیس می باشد. این سنجنده یکی از ابزارهای علمی است که توسط ناسا بر روی ماهواره ترا ڈر سال ۱۹۹۹ و بر روی ماهواره آکوا ڈر سال ۲۰۰۲ در مدار قرار گرفت. این سنجنده

<sup>۱</sup>Near InfraRed  
<sup>۲</sup>SWIR  
<sup>۳</sup>Thermal InfraRed  
<sup>۴</sup>Envi5.3  
<sup>۵</sup>FLAASH  
<sup>۶</sup>Terra

۴۹۰ دیتکتور را حمل می کند و با آنها داده ها را در ۳۶ باند در محدوده طیفی ۰/۴ میکرومتر تا ۱۴/۴ میکرومتر و با قدرت تفکیک طیفی متفاوت شامل ۲ باند ۲۵۰ متری، ۵ باند ۵۰۰ متری و ۲۹ باند یک کیلومتری ذخیره می کند. این سنجنده ها با هم سطح زمین را در هر یک تا دو روز تصویر برداری می کند. همچنین پردازش تصویر مودیس نیز به علت آن که از محصول با پسوند MOD09GA<sup>۲</sup> استفاده شد، نیاز به تصحیح رادیومتریکی و فلش نداشته و تنها این تصاویر در نرم افزار انوی نرمال و زمین مرجع گردیدند. آخرین سنجنده مورد استفاده سنتینل ۱ می باشد. این سنجنده در باند C راداری به تصویربرداری از سطح زمین می پردازد. و در چهار حالت مختلف، تصویربرداری با وضوح قابل قبول تا حد ۵ متری و پوششی در عرض ۴۰۰ کیلومتر را فراهم می آورد. مدار قطبی بودن آن و قابلیت قطبش دوگانه این ماهواره باعث تحویل سریع داده ها از ماهواره به ایستگاه های زمینی شده است. این ماهواره از یک رادار با روزنه مجازی برخوردار است که تصاویری با قدرت تفکیک بالا را ارائه می دهد.

برای پردازش تصاویر سنتینل ۱ از نرم افزار اسنپ<sup>۳</sup> استفاده شد. پردازش این تصاویر بترتیب ذیل صورت پذیرفت: ۱- تصحیح رادیومتریکی (تولید سیگما صفر) ۲- مولتی لوکینگ<sup>۴</sup> تصویر (تغییر قدرت تفکیک مکانی) ۳- تصحیح هندسی تصویر ۴- حذف نویز اسپیکل با وجود اینکه سنتینل ۱ رزولوشن حدود ۱۰ متر ولندست ۸ رزولوشن حدود ۳۰ متر دارد رطوبت خاک با رزولوشن ۵۰ متر تخمین زده می شود تا از عدم قطعیت ناشی از انواع مختلف ناهمگونی ها در زمین های کشاورزی مانند تغییرات محلی در زبری خاک و ناهمگونی در پوشش گیاهی و غیره کاسته شود [۱۸]. بعد از انجام پردازش های لازم بر روی تصاویر و استخراج شاخص های لازم از تصاویر که اکثر این شاخص ها، شاخص های می باشد که در سایر مقالات بعنوان پارامترهای مدل تخمین رطوبت در نظر گرفته شده است. که برای بدست آوردن مدل رطوبت خاک از برنامه متلب<sup>۵</sup> استفاده می شود.

### ۵- سنجش آماری نتایج

به منظور بررسی میزان ارتباط بین مقدار رطوبت خاک سطحی و شاخص های بدست آمده از تصاویر، از ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد. دقت آزمایی نتایج با استفاده از آماره های میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME) بدست آمده است.

$$RMSE = (1/n \sum (y-y_i)^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$ME = 1/n \sum (y-y_i) \quad (2)$$

### ۶- ارتباط بین شاخص ها و رطوبت خاک

همانطور که گفته شد بدلیل اینکه نمونه های اندازه گیری شده زمینی نهایتاً رطوبت چند متری از ایستگاه را نشان می دهند و بسط دادن این اندازه گیری به یک پیکسل ۵۰۰ متری از سنجنده مودیس با دقت خوبی روبرو نخواهد شد. پس ابتدا یک مدل ریاضی بین شاخص های استخراج شده از تصاویر سنتینل ۱ و لندست ۸ که پیکسل سایز هر دو تصویر را به ۵۰ متر تغییر داده ایم ایجاد می کنیم. در اینجا مدل ریاضی یک چند جمله ای درجه یک بین سیگما صفر از تصویر سنتینل ۱ و شاخص های  $ndwi, ndvi, evi$  از تصویر لندست ۸ می باشد. که مدل بدست آمده بین رطوبت خاک و شاخص های گفته شده به شکل زیر می باشد:

$$SM = 1.068 + 0.382 * \sigma_0 + 3.577 * ndwi + 2.549 * ndvi + 0.39 * evi \quad (3)$$

<sup>۲</sup>Aqua

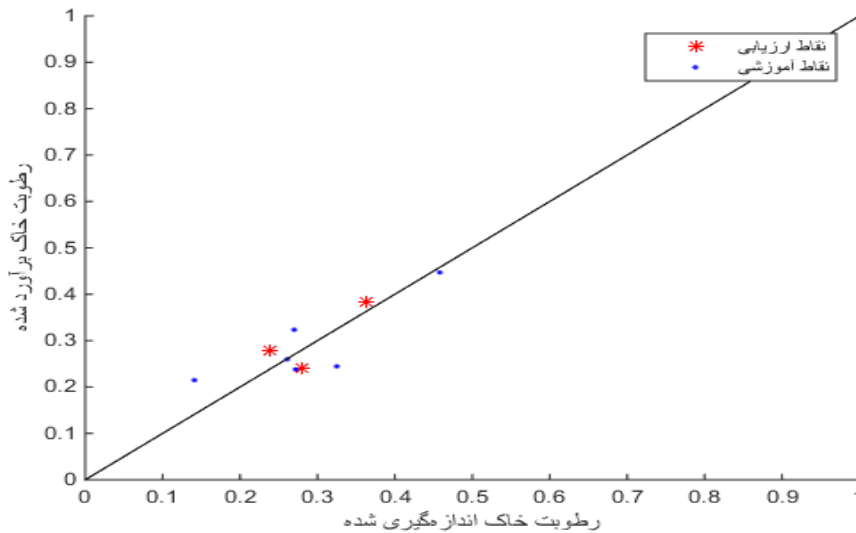
<sup>۳</sup> یکی از محصولات سنجنده مودیس می باشد که تصویر مودیس را هر روز در ۷ باند در اختیار کاربران قرار می دهد.

<sup>۴</sup>SNAP

<sup>۵</sup>Multi-looking

<sup>۶</sup>Matlab

که  $R^2$  برای نقاط ارزیابی ۰/۵۹۴ و مقدار RMSE برابر ۰/۳۳ و ME برابر ۰/۰۷- و مقدار  $R^2$  برای تمامی نقاط (ارزیابی و آموزشی) برابر ۰/۶۸۴ می باشد.



شکل ۲: نمودار  $R^2$  نقاط ارزیابی و آموزشی معادله ۳

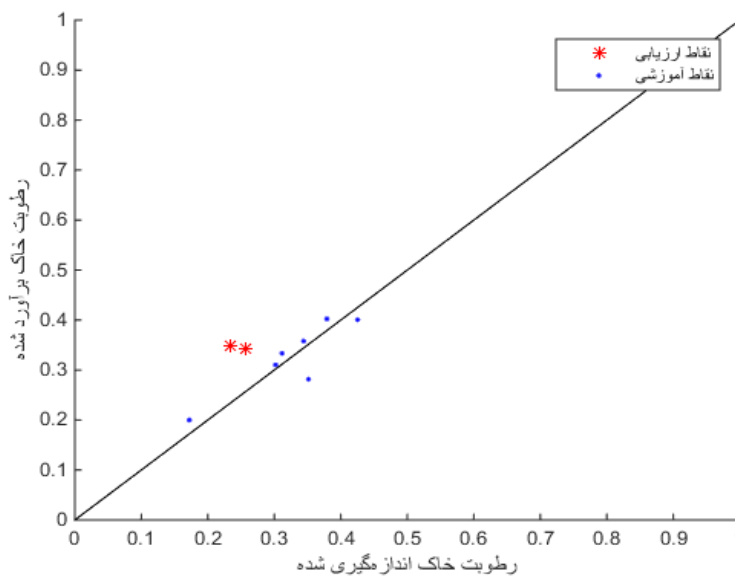
بعد از بدست آوردن نقشه رطوبتی منطقه با تفکیک مکانی ۵۰ متر حال نوبت به تصویر مودیس آن منطقه و در همان روز می رسد. ابتدا پیکسل های متناظر تصویر مودیس را در نقشه رطوبتی ۵۰ متر تشخیص می دهیم. سپس یک پنجره ۹\*۹ به مرکزیت این پیکسل در نقشه رطوبتی در نظر گرفته و میانگین این پنجره را بعنوان مقادیر رطوبتی تصویر مودیس در نظر می گیریم.

برای آنکه نشان دهیم نسبت دادن اندازه گیری های زمینی رطوبت خاک که تنها چند متر مربع را اندازه گیری می کند درست نیست ابتدا مدلی بین رطوبت خاک اندازه گیری شده توسط ایستگاه زمینی و شاخص های حاصل از تصویر مودیس بدست آوردیم.

$$SM = 0.032 + 4.073 * Band6 + ۱/۲۳۱ * red - 35.576 * blue - 0.359 * Band7 \quad (\xi)$$

که نتایج آن به شرح زیر می باشد:

$$R^2 = 0.476 \text{ و } ME = -0.099 \text{ و } RMSE = ۰/۰۵۵$$



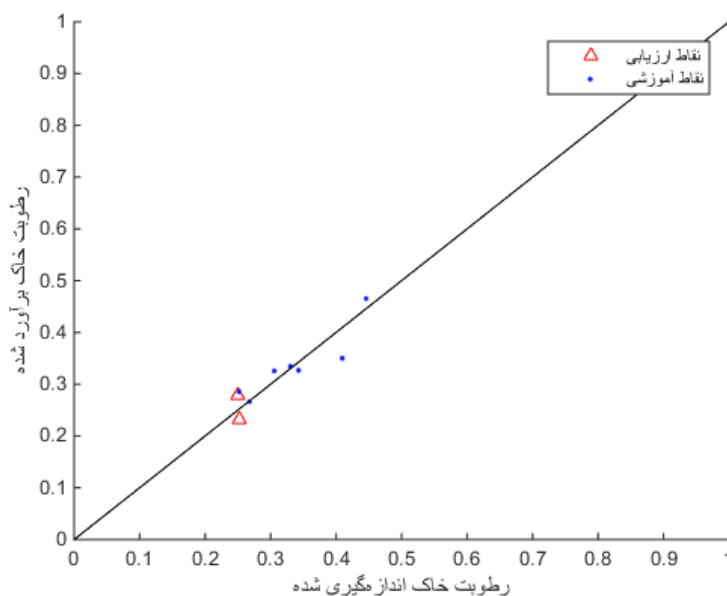
شکل ۲: نمودار  $R^2$  نقاط ارزیابی و آموزشی معادله ۴

بعد از این به تخمین رطوبت خاک با استفاده از تصاویر مودیس و البته با نتایج حاصل از تصاویر سنتیل ۱ و لندست ۸ که در مرحله قبل بدست آمد خواهیم پرداخت. مدلی که با آن رطوبت خاک را برای تصویر مودیس تخمین خواهیم زد از باند ۶، باند قرمز، باند آبی و باند ۷ تصویر مودیس استفاده شده است.

$$SM = 0.212 + 0.988 * \text{Band6} - 11.518 * \text{red} + 25.122 * \text{blue} - 1.831 * \text{Band7} \quad (5)$$

که نتایج حاصل از این مدل به شرح زیر می باشد.

$$R^2 = 0.83 \text{ و } ME = -0.0009 \text{ و } RMSE = 0.027$$



شکل ۴: نمودار  $R^2$  نقاط ارزیابی و آموزشی معادله ۵

## ۷- نتیجه گیری و پیشنهادات

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد برای رسیدن به دقت بهتر در تخمین رطوبت خاک با استفاده از تصاویر مودیس نیاز به تصاویری با حد تفکیک مکانی بالاتر می باشیم. هر چند که مزیت تصاویر مودیس تفکیک زمانی یک روزه آنهاست و این مزیت کمک می کند تا بتوانیم با استفاده از این تصاویر رطوبت منطقه وسیعی را هر روز بدست آوریم. از این رو پیشنهاد می شود ابتدا با استفاده از تصاویری با تفکیک مکانی بالاتر یک مدل تخمین رطوبت را برای تصاویر مودیس کالیبره نماییم و سپس با استفاده از این مدل هر روز به تخمین رطوبت منطقه بپردازیم.

## منابع

- ۱-Heathman, G. C., P. J. Starks, L. R. Ahuja, and T. Jackson (۲۰۰۳). \_Assimilation of surface soil moisture to estimate pro\_le soil water content\_. In: Journal of Hydrology 279.1-4, pp. 1\_17.
- ۲-Anantharaj, A., G. Mostovoy, and P. J. Fitzpatrick (۲۰۰۸). \_Impact of soil moisture initialization on numerical weather forecasting over the Mississippi Delta region\_. In: 88<sup>th</sup> Annual Meeting of the American Meteorological Society. (New Orleans, LA, USA).
- 3-Houser, P. R., W. J. Shuttleworth, J. S. Famiglietti, H. V. Gupta, K. H. Syed, and D. C. Goodrich (1998). \_Integration of soil moisture remote sensing and hydrologic modeling using data assimilation\_. In: Water Resources Research 34.12, pp. 3405\_3420.
- 4-Shao-E, Y. and W. Bing-fang (2010). \_Agricultural drought monitoring using web-serviced remote sensing data\_. In: Proceedings of the International Conference on e-Education, e-Business, e-Management, and e-Learning (IC4E). (Sanya, Hainan, China). IEEE, pp. 532\_535.



- ۵- بابائیان، ابراهیم، مهدی، همایی، و علی اکبر نوروزی، (۱۳۹۲). برآورد رطوبت خاک سطحی با استفاده از تصاویر رادار ENVISAT/ASAR. نشریه پژوهش آب در کشاورزی (ب) جلد ۲۷
- ۶- فشائی محمد، سید حسین ثنائی نژاد و کامران داوری سال ۱۳۹۴، (نشریه آب و خاک) علوم و صنایع کشاورزی، جلد ۲۹، شماره ۶
- [7] Schmugge, T. J., T. J. Jackson, and H. L. McKim (1980). \_Survey of methods for soil moisture determination\_. In: Water Resources Research 16.6, pp. 961\_979.
- [8] Mazaheri Tehrani Habib Soil Moisture Estimation with Polarimetric SAR Data, DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY, CALGARY, ALBERTA, 2014.
- [9] Wang, L. and J. Qu, J. 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring. Earth Science, 3: 237-247.
- [10] Yang, X., Wu, J. J., Shi, p. j. and Yan, F. 2008. Modified Triangle Method to Estimate Soil Moisture Status with Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Products. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science.
- [11] Lin, M. L. 2009. Monitoring Drought Dynamics in the Ejin Oasis using Drought Indices from MODIS Data. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4: 834-837.
- ۱۲- دادرسی سبزواری ابوالقاسم، علی محمد آخوندعلی، فریدون رادمنش، علی اکبر نوروزی (۱۳۹۴). مدل سازی سطوح مختلف رطوبت خاک سطحی در گستره ی داده های حرارتی و انعکاسی.
- [13] Topp, G. C., Davis, J. L., & Annan, A. P. (1980). "Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines". *Water Resources Research*, 16(3), 574-582.
- [14] Walker, J. P. (1999) . "*Estimating soil moisture profile dynamics from near-surface soil moisture measurements and standard meteorological data*". (Doctoral dissertation, The University of Newcastle).
- [15] Baronti, S., Carla, R., Sigismondi, S., & Alparone, L. (1994, August). "Principal component analysis for change detection on polarimetric multitemporal SAR data". In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1994. IGARSS 94. Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis and Interpretation.*, International IEEE, 4.
- [16] Zribi, M., Chahbi, A., Shabou, A., Lili-Chabaane, Z., Duchemin, B., Baghdadi, N., Amri, R. and Chehbouni, A. 2011. Soil surface moisture estimation over a semi-arid region using ENVISAT ASAR radar data for soil evaporation evaluation. *Hydrology and Earth System Science J.*, 15: 345-358.
- [17] Wagner, W., Pathe, C., Doubkova, M., Sabel, D., Bartsch, A., Hasenauer, S., Bloschl, G., Scipal, K., Martinez-Fernandez, J. and Low, A. 2008. Temporal stability of soil moisture and radar backscatter observed by the Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR). *Sensors J.* 8:1147-1197.
- [18] Qi Gao, Mehrez Zribi, Maria Jose Escorihuela and Nicolas Baghdadi. Synergetic Use of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data for Soil Moisture Mapping at 100 m Resolution, 22 August 2017;