

پایش تغییرات رطوبت خاک در تالاب هورالعظیم و ارتباط آن با طوفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران

مهدی صداقت^۱

حمید نظری پور^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۲/۲۴

چکیده

رطوبت خاک نقش مهمی در تبادل ماده و انرژی میان سطح زمین و جو دارد. کمبود یا فقدان رطوبت خاک، به عنوان یکی از عوامل شتاب دهنده به ایجاد و گسترش کانون‌های گرد و غبار شناخته می‌شود. تالاب هورالعظیم در جنوب غرب ایران، در دهه‌های اخیر به دلایل مختلف با تنش‌های آبی مواجه بوده است. هدف از این بررسی، پایش تغییرات زمانی-مکانی رطوبت خاک در تالاب هورالعظیم و ارتباط آن با فراوانی رخداد طوفان‌های گرد و غبار در جنوب غرب ایران می‌باشد. برای این منظور، پایش تغییرات زمانی-مکانی رطوبت خاک برپایه اطلاعات سنجنش از دور بررسی گردیده است. تصاویر ۸ روزه از سنجنده مادیس ماهواره اکوا در دوره ۱۵ ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۳) اساس این بررسی را شکل می‌دهد. در سوی دیگر، فراوانی سالانه رخداد‌های گرد و غبار در جنوب غرب ایران در دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۷ جهت بررسی پاسخ شرایط جوی به تغییرات محیطی تالاب مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمایه‌های سنجنش از دور شامل دمای رویه زمین (LST)، شاخص پوشش گیاهی تعدیل کننده اثر خاک (SAVI) و شاخص رطوبت خاک عمودی (PSMI) می‌باشند. نتایج این بررسی، بیانگر روند افزایشی دامنه شاخص‌های دور سنجی می‌باشد. دامنه شاخص پوشش گیاهی، رو به ارزش‌های بیشتر می‌رود که به مفهوم کاهش تراکم پوشش گیاهی می‌باشد. ارزش‌های شاخص رطوبت خاک عمودی نیز روند افزایشی دارد که بیانگر کاهش رطوبت خاک می‌باشد. آزمون‌های آماری نشان داد که فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های بستان و صفی آباد دزفول در سطح معنی داری ۰/۰۱ و سایر ایستگاه‌ها در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ روندهای افزایشی داشته‌اند. همچنین مقادیر بتا نشان داد که هر ساله حدود یک روز به تعداد روزهای گرد و غبار در ایستگاه‌های صفی آباد و بستان افزوده شده است. بنابراین کاهش رطوبت خاک و کاهش تراکم پوشش گیاهی منجر به افزایش دمای رویه زمین شده که این تغییرات شرایط محیطی تالاب هورالعظیم بر فراوانی رخداد طوفان‌های گرد و غبار اثر می‌گذارند.

واژه‌های کلیدی: شاخص پوشش گیاهی، شاخص رطوبت خاک، دمای رویه زمین، تحلیل روند، رگرسیون خطی، ایران.

۱- استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول) sedaghat.me@pnu.ac.ir

۲- استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران hamid.nazari.3488@gmail.com

۱- مقدمه

خاک اثرات بارزی در کنترل آستانه سرعت اصطکاک و شدت انتشار دارد (Munkhtsetseg et al., 2016: 131). رطوبت خاک و جو بر انتشار گرد و غبار بسیار تأثیرگذار می‌باشد (Ju et al., 2018: 14). فن‌آوری سنجش از دور، یک روش مؤثر برای محاسبه رطوبت خاک است. پیشینه بهره‌گیری از سنجش از دور برای برآورد جریان شار انرژی و میزان آب خاک سطحی به دهه ۱۹۷۰ می‌رسد. این روش‌ها، نخست توسط زمین‌شناسان برای کمک به یافتن ذخایر معدنی و سپس توسط هواشناسان برای برآورد نوسان سطحی شار انرژی و میزان آب خاک سطحی مورد استفاده قرار گرفته است (Carlson, 2007). دمای رویه زمین^۱ متناسب با نوسان جریان‌های انرژی نسبت به محتوای آب خاک حساسیت دارد. لذا به منظور استخراج میزان آب خاک و نوسان جریان‌های انرژی، می‌توان از روش‌های مبتنی بر دمای تابش سطحی و مدل انتقال آب بین جو، پوشش گیاهی و خاک^۲ استفاده نمود (Petropoulis et al., 2006). از ترکیب متغیرهای پوشش گیاهی و درجه حرارت سطحی شاخص‌های متعددی برای پایش رطوبت خاک توسعه داده شده است. شاخص‌های رطوبت خاک (SMI)^۳، آب خاک (SWI)^۴، خشکی دما- گیاه (TVDI)^۵ و شاخص عمودی رطوبت خاک (PSMI)^۶ از جمله آنها هستند. اخیراً چندین سنسور ماهواره‌ای داده‌های ارزشمندی از رطوبت خاک سطحی در شرایط مختلف فراهم نموده‌اند. از جمله، طیف سنجی پیشرفته (Bartalis et al., 2007)^۷، رطوبت خاک و شوری اقیانوس (Kerr et al., 2012)^۸ و رادیوگرافی پیشرفته اسکن مایکروویو (Parinussa et al., 2014)^۹ را می‌توان نام برد. پژوهشگرانی نیز با هدف پایش مداوم نوسانات رطوبتی خاک اقدام به طراحی یک شاخص تجربی نموده‌اند (Carrão

رطوبت خاک یک پارامتر کلیدی در زمینه‌های هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی بوده و برآورد توزیع زمانی- فضایی آن به درک روابط بارش، تبخیر، چرخه آب و ... کمک می‌کند (Gao et al., 2013: 606). درعین حال، کاهش رطوبت خاک از طریق ایجاد کانون‌های مستعد گرد و غبار می‌تواند توسعه منطقه‌ای را با چالش مواجه نموده و تأثیرات آنها به لحاظ اجتماعی-اقتصادی از سطح خرد تا کلان فضایی و زمانی متفاوت می‌باشد (Wang, 2015: 82). متأسفانه هنوز مطالعه سازمان یافته‌ای برای شناسایی مکانیزم‌های طوفان‌های گرد و غبار در بسیاری از بخش‌های جهان صورت نگرفته است (Tong et al., 2012: 5189). مانع اصلی درک اقلیم‌شناسی گرد و غبار و توسعه روش‌های پیش‌بینی عددی آن، عدم ثبت مداوم طوفان‌های گرد و غبار است (Chin et al., 2009: 3440). پژوهش‌های اخیر بر روی ثبت دقیق زمان رخداد طوفان‌های گرد و غبار متمرکز شده‌اند (O'Loingsigh et al., 2014: 30). این مشاهدات شامل برداشت‌های منظم هواشناسی، مشاهدات کیفیت هوا، مشاهدات نوری ثابت و مجموعه داده‌های ماهواره‌ای می‌شود (Ginoux et al., 2012: 3). اولین تخمین از منابع بالقوه گرد و غبار، از ویژگی‌های خاک حاصل می‌شود. تخریب خاک در کانون‌های گرد و غبار، ناشی از کیفیت پایین تغذیه خاک به عنوان بستر رشد و توسعه پوشش گیاهی می‌باشد (قاضی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱). کاهش رطوبت خاک و گذر سرعت باد از آستانه معین، باعث تشکیل طوفان‌های گرد و غبار می‌شود. سرعت آستانه به طور قابل ملاحظه‌ای بستگی به رطوبت نسبی جو دارد. در مناطق خشک تغییر در رطوبت هوا موجب تغییرات در رطوبت سطحی خاک می‌شود (Ravi and D'Odorico, 2005: 1). مطالعات میدانی نشان داده است که افزایش ۳ درصدی رطوبت خاک سطحی قادر به کاهش چشمگیر غلظت گرد و غبار می‌باشد (نورزاده حداد و بهرامی، ۱۳۹۳: ۱۶۷). علاوه بر آن، تحلیل برداشت‌های میدانی گرد و غبار و رطوبت خاک با استفاده از روش‌های گرانشی نشان داده است که رطوبت

1- Land Surface Temperature

2- Soil Vegetation Atmosphere Transfer

3- Soil Moisture Index

4- Soil Water Index (SWI)

5- Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI)

6- Perpendicular Soil Moisture Index (PSMI)

7- Advanced Scatter meter (ASCAT)

8- Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS)

9- Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 (AMSR2)

ادیب و همکاران (Adib et al., 2018:333) تأثیر سرعت باد و خصوصیات خاک در تولید طوفان‌های گرد و غبار را در تالاب هورالعظیم در جنوب غرب ایران مطالعه نموده‌اند. بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) نیز با استفاده از شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی^۴ و پارامترهای اقلیمی، طوفان‌های گرد و غبار استان خوزستان را مدل‌سازی نموده‌اند.

هدف پژوهش حاضر، پایش تغییرات رطوبت خاک سطحی بر پایه روش‌های مبتنی بر سنجش از دور و بررسی ارتباط آن با فراوانی رویدادهای گرد و غباری در محدوده تالاب هورالعظیم در جنوب غرب ایران می‌باشد. برای این منظور از نمایه‌های سنجش از دوری دمای رویه زمین، پوشش گیاهی اصلاحی خاک و رطوبت خاک عمودی استفاده گردیده است. امتیاز این بررسی نسبت به پژوهش‌های پیشین آن است که از شاخص پوشش گیاهی اصلاحی خاک^۵ برای پایش تغییرات پوشش گیاهی استفاده شده است، که نسبت به سایر شاخص‌های پوشش گیاهی دارای برآورد دقیق‌تر به ویژه در مناطق با تراکم اندک پوشش گیاهی (مناطق بیابانی) می‌باشد (علوی پناه، ۱۳۸۲). همچنین از شاخص رطوبت عمودی خاک برای پایش تغییرات رطوبت خاک استفاده شده که نمایه‌ای بسیار خوب برای مقیاس‌های خرد (مانند مزرعه) تا مقیاس منطقه‌ای می‌باشد (Shafian and Maas, 2015).

۲- داده‌ها و روش‌شناسی

تالاب هورالعظیم یکی از بزرگترین تالاب‌های جنوب غرب ایران و مشترک با کشور عراق می‌باشد. این تالاب در چارچوب جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی تا ۳۱ درجه و ۵۰ درجه شمالی و ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی تا ۴۷ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی قرار دارد. مساحت قسمت ایرانی این تالاب ۶۴۱۰۰ هکتار در دهه ۱۹۷۰ بوده است؛ در حالی که امروزه این مساحت فقط ۲۹۰۰۰ هکتار می‌باشد. کل مساحت این تالاب از ۳۰۷۰۰۰ هکتار در دهه ۱۹۷۰

(et al., 2016: 75). ارتباط ما بین سه متغیر پوشش گیاهی، درجه حرارت سطحی و رطوبت خاک را گاهی با نام روش مثلثی (Younis & Iqbal, 2015: 152) و در برخی موارد با نام روش دوزنقه‌ای (Yang et al., 2015:8250) نام‌گذاری کرده‌اند. در همین رابطه کشاورز و همکاران (۱۳۹۰) روند تغییرات شاخص آب خاک را با استفاده از داده‌های سنجنده مادیس^۱ و بهره‌گیری از مفهوم فضای مثلثی، مورد بررسی قرار دادند. شفیعیان و مَس (Shafian and Maas, 2015:2352) با تأکید بر روش دوزنقه‌ای و پیشنهاد شاخص رطوبت خاک عمودی، همبستگی معنی‌داری بین مقادیر شاخص و برداشت‌های میدانی در دشت‌های مرتفع تگزاس یافته‌اند.

با رویکرد مطالعه گرد و غبار، محققین با استفاده از داده‌های ماهواره اسموس و رادیوگرافی پیشرفته اسکن مایکروویو به همراه سیستم جهانی گردآوری داده‌های زمین (Rodell et al., 2004:384)^۲، به مدل‌سازی گسترش گرد و غبار در مناطق بیابانی شرق آسیا پرداخته‌اند (Kim et al., 2017:2). در این پژوهش، روابط بین رطوبت خاک، سرعت باد و عمق نوری هواویزه^۳ برای تخمین گسترش گرد و غبار استفاده شده است. نامداری و همکاران (Namdari et al., 2016:191) به تحلیل زمانی-مکانی مقادیر شاخص عمق نوری هواویزه در غرب ایران پرداخته‌اند. در پژوهشی دیگر، رابطه بین گرد و غبار برآورد شده از شاخص عمق نوری هواویزه و پارامترهای هواشناسی (بارش، دما، فشار و میدان باد) با استفاده از داده‌های ماهانه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ برای مناطق بیابانی عراق، سوریه و عربستان سعودی بررسی شده است. نتایج این بررسی نشان داده است که کاهش طولانی مدت در میزان بارندگی باعث کاهش رطوبت خاک و پوشش گیاهی گردیده که در نهایت منجر به انتشار شدیدتر گرد و غبار می‌شود (Namdari et al., 2018:256). شعاعی و همکاران (۱۳۹۴) با رویکرد سنجش از دور، نشان داده‌اند که میزان رطوبت خاک، در نواحی غربی استان ایلام کاهش یافته است.

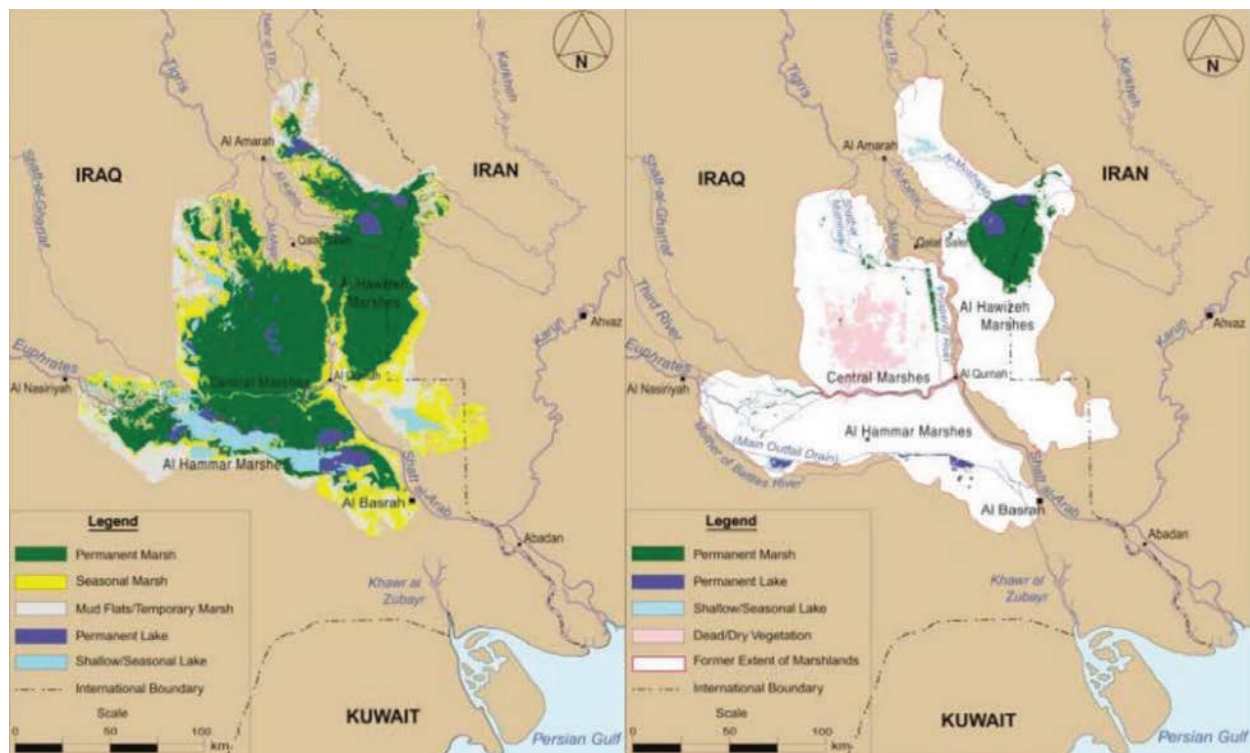
1- MODIS

2- Global Land Data Assimilation System (GLDAS)

3- Aerosol Optical Depth (AOD)

4- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

5- Soil Adjusted Vegetation Indices (SAVI)



نگاره ۱: تغییرات پوشش زمین در تالاب هورالعظیم از ۱۹۷۳ (a) و ۲۰۰۰ (b). برگرفته شده از (UNEP, 2001)

شامل داده‌های دید طوفان گرد و غبار (دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر) در ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان می‌باشد (نگاره ۲، سمت راست).

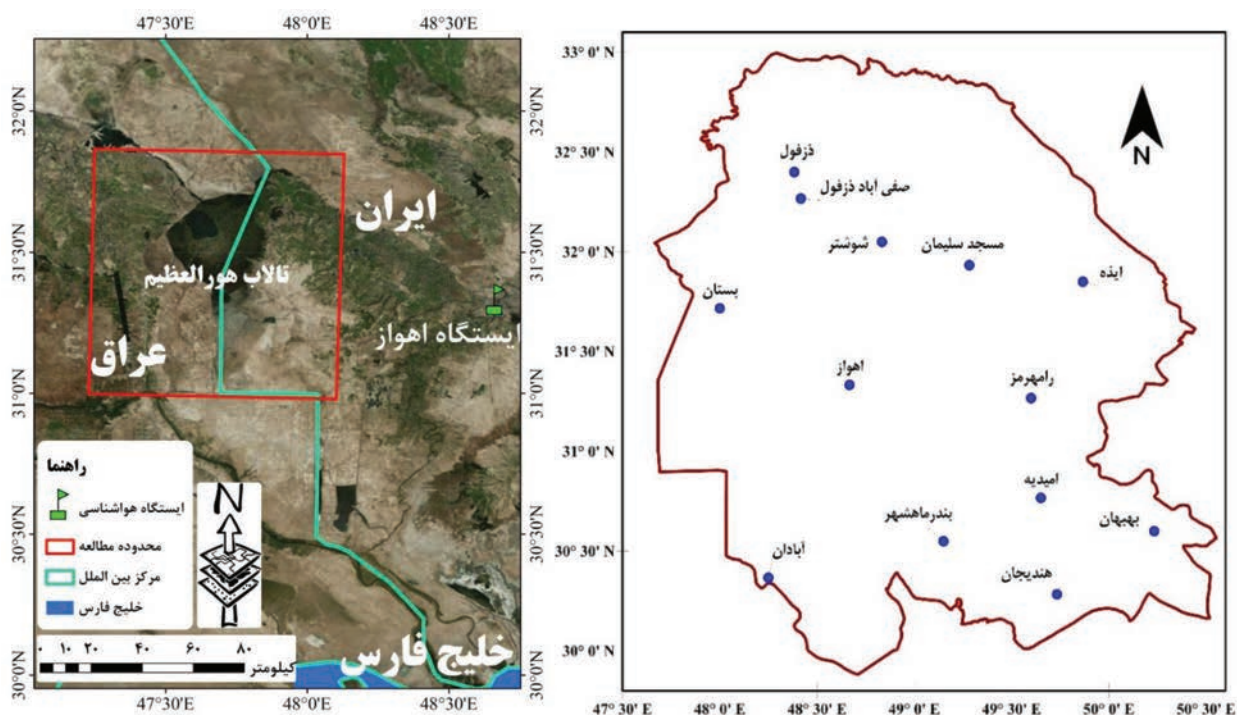
روش‌شناسی محاسبه دمای رویه زمین (LST)، شاخص پوشش گیاهی (SAVI) و شاخص رطوبت خاک (PSMI) و به شرح زیر است.

۲-۱- شاخص دمای رویه زمین (LST)

برای محاسبه مقادیر دمای رویه زمین (LST) از نسخه ۶ محصول مادیس با کد MYD11A2 استفاده شده است که دمای متوسط ۸ روزه رویه زمین و انتشار را با تفکیک یک کیلومتر در هر پیکسل از شبکه ارائه می‌دهد. مشخصات این محصول در تارنمای سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا موجود است. ارزش‌های رقومی دمای رویه زمین با اعمال فاکتور مقیاس (۰/۰۲) به درجه سلسیوس تبدیل گردیده است (رابطه ۱).

به ۱۰۲۰۰۰ هکتار در حال حاضر کاهش یافته است. این تالاب در ۸۰ کیلومتری جنوب غرب شهر اهواز واقع شده است و توسط دو شاخه از رودخانه تیگریس و هم چنین رودخانه کرخه تغذیه می‌شود. بخش‌های شمالی و مرکزی تالاب دائمی و بخش‌های جنوبی آن فصلی می‌باشد (Adib et al., 2018:336). تغییرات پوشش زمین در تالاب هورالعظیم از ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۰ در نگاره (۱) نشان داده شده است (UNEP, 2001). متوسط سالانه بارش و دما در تالاب هورالعظیم به ترتیب ۲۰۰ میلیمتر و ۲۵ درجه سلسیوس می‌باشد. ارتفاع این تالاب ۵ تا ۸ متر بالای تراز دریا می‌باشد.

داده‌های این پژوهش دو دسته می‌باشند. دسته اول داده‌های دورسنجی هستند که از محصولات سنجنده مادیس ماهواره اکوا^۱ گرفته شده‌اند. این محصولات شامل تصاویر مسیر ۵ و ردیف ۲۲ ماهواره اکوا با کدهای MYD09Q1 و MYD11A2 است. این تصاویر برای دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۷ و گردآوری شده است (نگاره ۲، سمت چپ). دسته دوم،



نگاره ۲: موقعیت ایستگاه های هواشناسی مورد استفاده و موقعیت محدوده مورد مطالعه (سمت چپ)

رابطه (۲)

رابطه (۱)

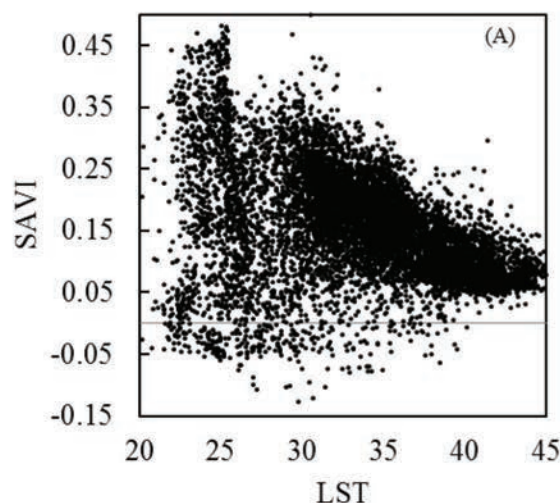
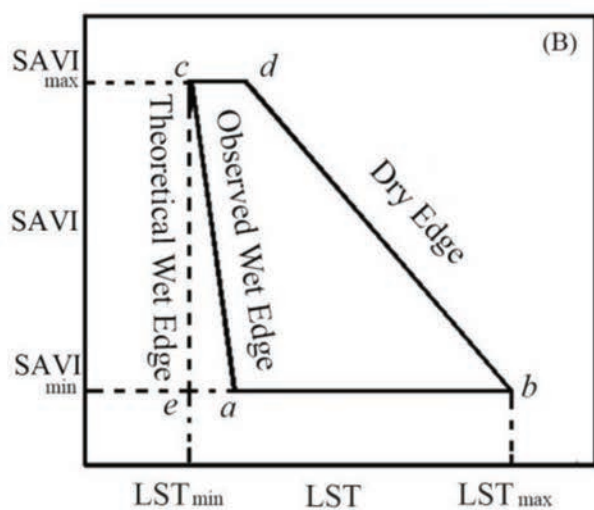
$$SAVI = ((NIR - Red) / (NIR + Red + L)) \times (1 + L) \quad LST(^{\circ}C) = DN * 0.02 - 273.15$$

در این رابطه، L فاکتور اصلاح روشنایی خاک است. ارزش های L با مقدار یا سطح گیاهان سبز متفاوت است: در مناطق با پوشش گیاهی خیلی زیاد، ارزش L برابر صفر و در نواحی بدون پوشش گیاهی برابر یک است. به طور کلی، ارزش 0.5 برای آن در اکثر شرایط خوب کار می کند و مقدار پیش فرض برای آن انتخاب شده است. هنگامی که $L=0$ باشد در آن صورت $SAVI=NDVI$ خواهد بود. در این بررسی، با توجه به شرایط پوشش گیاهی منطقه از $L=0.5$ استفاده شده است.

علاوه بر آن، NLR ارزش های بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و RED بازتاب در باند قرمز است. لازم به ذکر است که در داده MOD09، باند ۲ بیانگر بازتاب مادون قرمز نزدیک (۸۷۱-۸۷۶ نانومتر) و باند ۱ بیانگر بازتاب قرمز (۶۷۰-۶۲۰ نانومتر) است.

۲-۲- شاخص پوشش گیاهی (SAVI)

شاخص های متعددی برای بارزسازی اطلاعات پوشش گیاهی در تصاویر دورسنجی موجود است که معمولاً از باند فروسرخ (بازتاب بالای پوشش گیاهی) و سرخ (جذب بالای رنگدانه) بهره می گیرند (Xu, 2007:1382). شاخص پوشش گیاهی اصلاحی خاک (SAVI) یکی از این شاخص ها است که برای کاهش تأثیر خاک زمینه و بارزسازی عوارض پوشش گیاهی استفاده می شود (Huete, 1988: 295). این شاخص به ویژه در محیط های خشک و نیمه خشک با پوشش گیاهی کمتر از ۳۰ درصد کارایی بهتری نسبت به شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) دارد (Pech et al., 1986: 1729). بنابراین از این شاخص، برای برآورد و پایش تغییرات پوشش گیاهی استفاده شده است. این شاخص با استفاده از رابطه (۲) بدست می آید.



نگاره ۳: نمودار پراکنش مقادیر SAVI و LST تاریخ ۲۰۰۴/۰۴/۰۷ (A) و نمودار شماتیک توزیع دوزنقه ای (B)

قابل درک است که با افزایش ارزش میزان رطوبت خاک

D_i کاهش می یابد (نگاره ۳).

این رابطه ناقص است؛ زیرا، با افزایش فاصله از نقطه e در نگاره (۳) روی خط افزایش D_i بایستی رطوبت کاهش یابد. اما در عمل این گونه نیست و در نقطه h که پوشش گیاهی بیشتر می شود (کاهش دمای رویه زمین)، رطوبت افزایش می یابد و در نقطه g که دمای رویه زمین افزایش می یابد (خاک لخت)، رطوبت کاهش می یابد. برای رفع این مشکل از رابطه (۴) استفاده می شود (Shafian and Maas, 2015:2359)

رابطه (۴)

$$PSMI = D_i / (1 + SAVI_i)$$

تغییرات زمانی ارزش های مکانی شاخص های دورسنجی و هم چنین فراوانی رویدادهای طوفان گرد و غبار با استفاده

از رگرسیون خطی ساده مورد بررسی قرار می گیرد.

از بین ۱۳ ایستگاه هواشناسی موجود در استان خوزستان (نگاره ۲ سمت راست) تعداد ۹ ایستگاه دارای دوره آماری ۳۰ ساله می باشند (جدول ۱) و تغییرات سالانه فراوانی طوفان های گرد و غبار در آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲-۳- شاخص رطوبت خاک (PSMI)

با بهره گیری از دو شاخص دمای رویه زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی اصلاحی خاک (SAVI) می توان شاخص رطوبت خاک عمودی (PSMI) را محاسبه نمود. همانگونه که در مقدمه اشاره شد، نمودار پراکنش متناظر مقادیر پوشش گیاهی (SAVI) و مقادیر دمای رویه زمین (LST) در هر پیکسل، الگوی مشخصی را نشان می دهند که به روش دوزنقه ای موسوم است (نگاره ۳). توزیع نقاط در نگاره (۳A) نشان می دهد که محتوای رطوبت خاک از شرایط نسبتاً مرطوب در امتداد لبه مرطوب به شرایط نسبتاً خشک در امتداد لبه خشک متغیر است. شیب تغییرات مقادیر رطوبت خاک باید تقریباً عمود بر جهت لبه خشک باشد. به منظور جلوگیری از ایجاد خطا در مقادیر کم شاخص SAVI، لبه مرطوب فرضی به جای لبه مرطوب واقعی لحاظ شده است (Shafian and Maas, 2015:2357).

در ادامه، میزان رطوبت خاک با استفاده از مقادیر پوشش گیاهی (SAVI) و دمای رویه زمین (LST) از طریق اعمال رابطه (۳) بر روی تصاویر به دست می آید.

رابطه (۳)

$$D_i = (LST_{i,norm} + SAVI_i) / \sqrt{2}$$

۳- نتایج و بحث

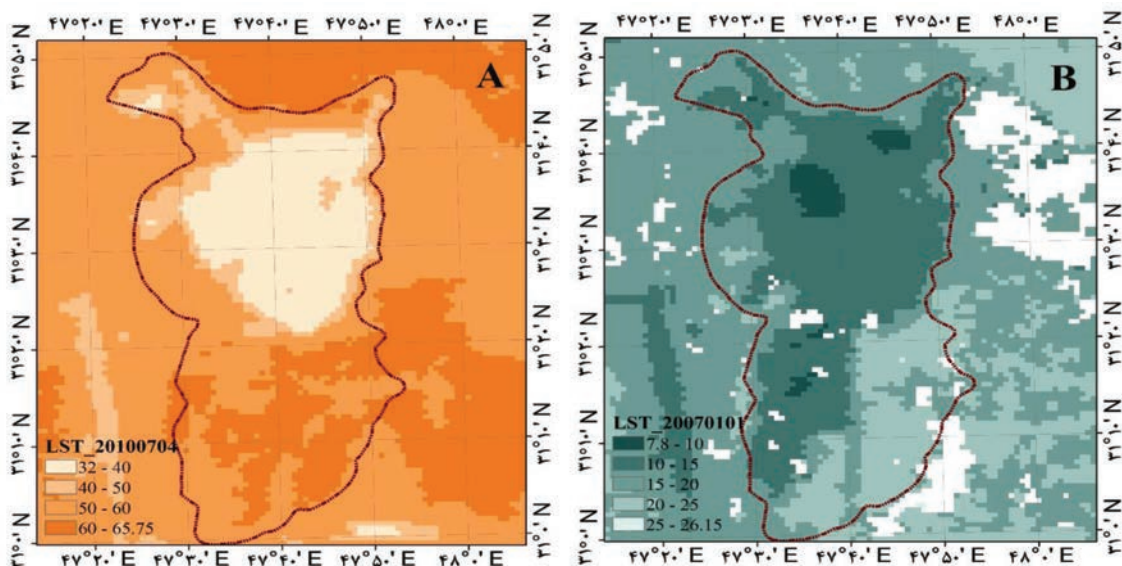
۳-۱- تغییرپذیری دمای رویه زمین (LST)

کمینه دمای رویه زمین را نشان می‌دهد که مربوط به فصل زمستان سال ۲۰۰۷ می‌باشد. محدوده تغییرات دما بین ۷ تا ۲۶ درجه سلسیوس می‌باشد.

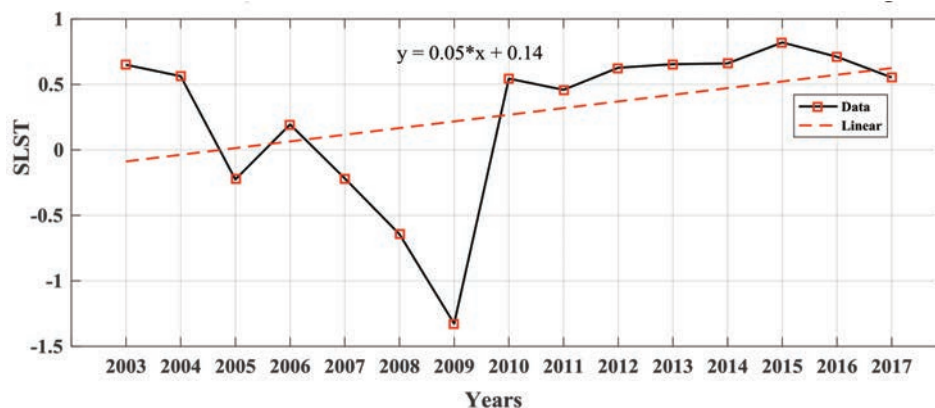
دمای کمینه در اوج فصل سرد هیچ‌گاه به زیر ۵ درجه سلسیوس اُفت نمی‌کند. بنابراین پوشش گیاهی در این منطقه دارای فعالیت می‌باشد. تغییرات سالانه ارزش‌های متوسط منطقه‌ای شاخص دمای رویه زمین به شکل استاندارد شده در نگاره (۵) نشان داده شده است.

یک سیر افزایشی تدریجی در دمای رویه زمین در تالاب هورالعظیم به خوبی از نگاره (۵) مشخص است. تغییرات سالانه نیز بیانگر آن است که از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ دمای

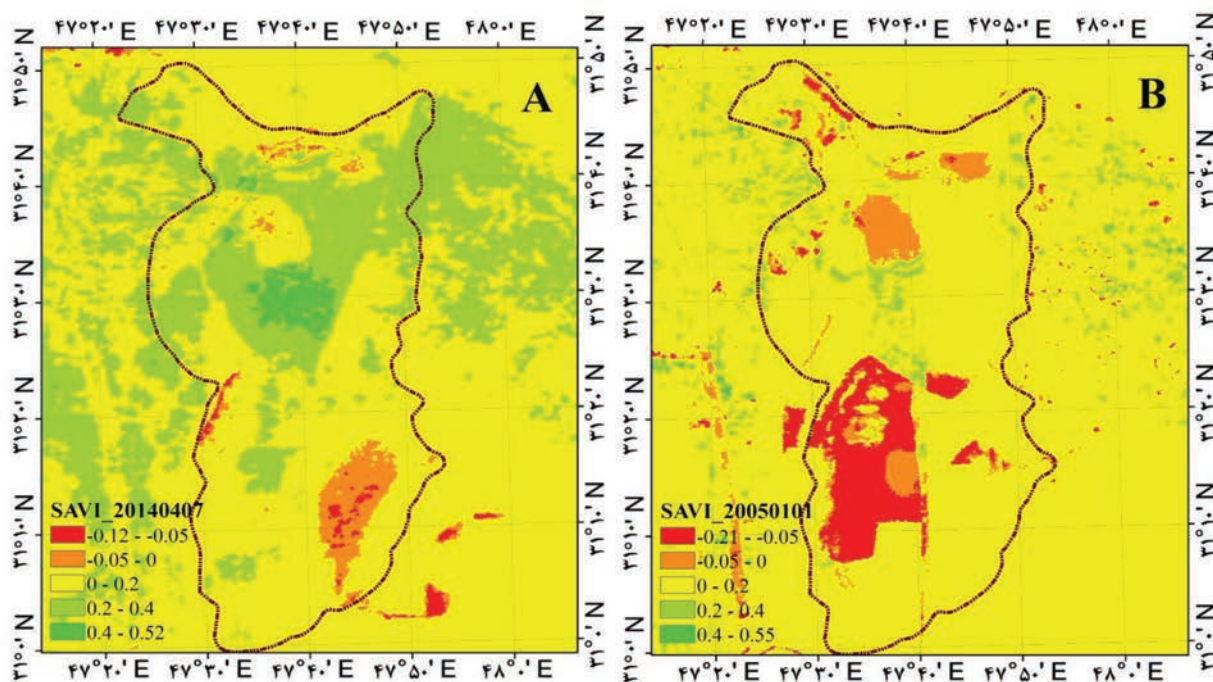
پراکنش مکانی مقادیر دمای رویه زمین (LST) به صورت فصلی و سالانه محاسبه گردیده است. به عنوان نمونه تصاویر مربوط به حداکثر (۲۰۱۰/۰۷/۰۴) و حداقل (۲۰۰۷/۰۱/۰۱) دمای رویه زمین به ترتیب در نگاره‌های (A) و (B) نشان داده شده است. همانگونه که از نگاره A مشخص است مقادیر دمای رویه زمین در قسمت‌های پُرآب تالاب به دلیل خاصیت گرمای ویژه آب در حدود ۳۲ تا ۴۰ درجه سلسیوس و در قسمت‌های خشک آن فراتر از ۶۰ درجه سلسیوس می‌باشد. نگاره B



نگاره ۴: توزیع مکانی مقادیر شاخص استاندارد شده دمای رویه زمین (SLST) در گرم‌ترین (A) و سردترین فصل (B)



نگاره ۵: تغییرات زمانی میانگین منطقه‌ای شاخص استاندارد شده دمای رویه زمین SLST



نگاره ۶: توزیع مکانی مقادیر شاخص پوشش گیاهی (SAVI) در مرطوب ترین (A) و خشک ترین فصل (B)

است. در سوی مقابل، در اوایل زمستان سال ۲۰۰۵ (نگاره ۶B) پایین ترین مقادیر شاخص پوشش گیاهی ثبت شده است. در این زمان از سال، به دلیل شرایط آبی تالاب، رشد و نمود پوشش گیاهی مطلوب بوده است. تغییرات سالانه ارزش های متوسط منطقه ای شاخص پوشش گیاهی نیز در نگاره (۷) نشان داده شده است. یک سیر افزایشی تدریجی در ارزش شاخص پوشش گیاهی در تالاب هورالعظیم وجود دارد.

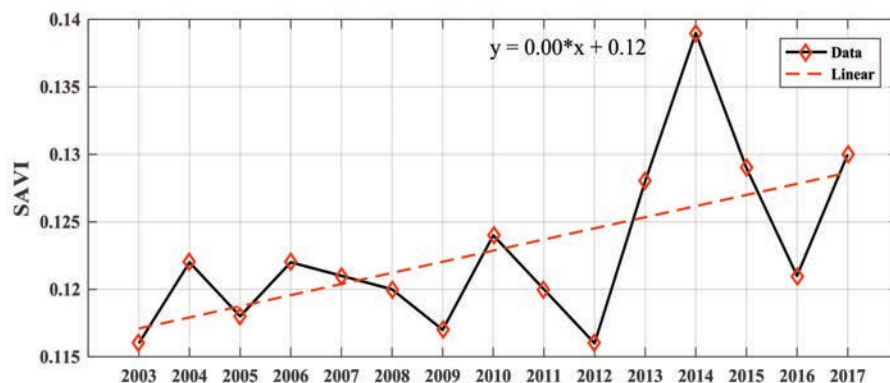
این گرایش ارزش های شاخص به سمت ارزش یک بیانگر کاهش تراکم پوشش گیاهی می باشد. بنابراین به تدریج از گستره و تراکم پوشش گیاهی در تالاب هورالعظیم کاسته می شود. تغییرات سالانه ارزش های شاخص پوشش گیاهی نیز تطبیق خوبی با ارزش های شاخص دمای رویه زمین دارد. برای درک تطابق بهتر لازم است ارزش های شاخص پوشش گیاهی با تأخیر حداقل فصلی با ارزش های دمای رویه زمین مقایسه گردد. سال های ۲۰۰۳، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ وضعیت تراکم پوشش گیاهی تالاب مطلوب و در سال ۲۰۱۴ نامطلوب بوده است.

رویه زمین در تالاب هورالعظیم بالا بوده است و در سال های اخیر (۲۰۱۷-۲۰۱۶) یک افت غیر محسوس در روند مشاهده می گردد که مربوط به وضعیت ترسالی و افزایش پوشش گیاهی تالاب می باشد.

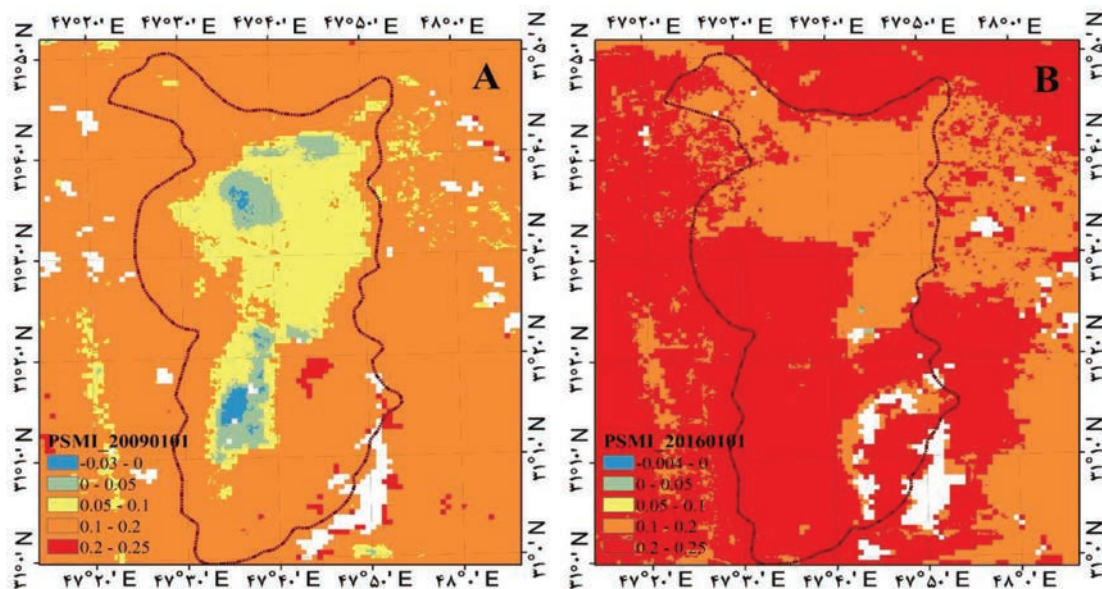
۳-۲- تغییرپذیری پوشش گیاهی (SAVI)

پراکنش مکانی مقادیر شاخص پوشش گیاهی (SAVI) نیز به صورت فصلی و سالانه محاسبه گردیده است. به عنوان نمونه تصاویر مربوط به حداکثر (۲۰۱۴/۰۴/۰۷) و حداقل (۲۰۰۵/۰۱/۰۱) ارزش شاخص پوشش گیاهی به ترتیب در نگاره های (۶A) و (۶B) نشان داده شده است. همانگونه که از تصویر ۶A مشخص است بیشینه ارزش شاخص پوشش گیاهی به مفهوم کاهش تراکم پوشش گیاهی می باشد. بنابراین در آغاز فصل بهار سال ۲۰۱۴ شرایط پوشش گیاهی تالاب نامطلوب بوده است و به معنی کمبود آب و شرایط بارندگی و سایر شرایط تشدید کننده انسانی می باشد.

میانگین منطقه ای ارزش شاخص در این زمان ۰/۲ بوده



نگاره ۷: تغییرات زمانی میانگین منطقه‌ای شاخص پوشش گیاهی SAVI

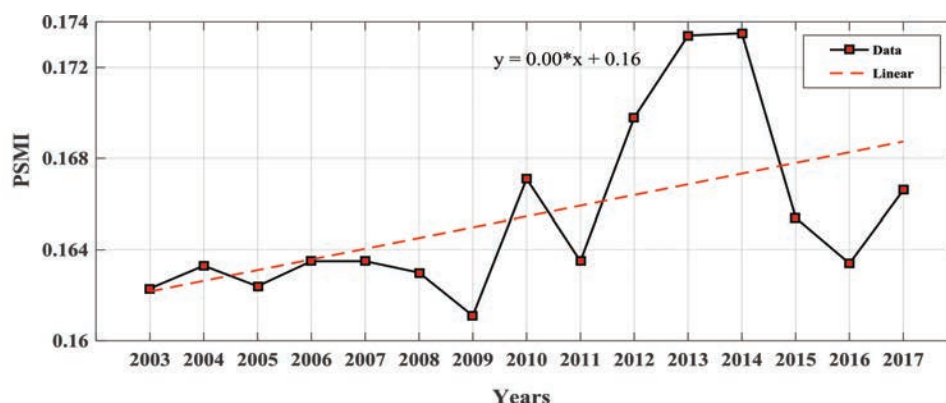


نگاره ۸: توزیع مکانی مقادیر شاخص رطوبت خاک (PSMI) در مرطوب‌ترین (A) و خشک‌ترین فصل (B)

۳-۳- تغییرپذیری رطوبت خاک (PSMI)

ترکیب دمای رویه زمین و شاخص پوشش گیاهی اطلاعات مفیدی جهت پایش کمی توزیع زمانی- مکانی شرایط رطوبت خاک در منطقه مورد مطالعه را فراهم آورده است. همانگونه که در روش‌شناسی نیز بیان شده است هر اندازه که مقادیر شاخص رطوبت خاک عمودی بالاتر باشد بیانگر شرایط خشکی بیشتر و مقادیر پایین‌تر و منفی بیانگر شرایط مرطوب خاک می‌باشد. پراکنش مکانی مقادیر شاخص رطوبت خاک (PSMI) نیز به صورت فصلی و سالانه محاسبه گردیده است. به عنوان نمونه تصاویر مربوط

به حداکثر (۲۰۱۶/۰۱/۰۱) و حداقل (۲۰۰۹/۰۱/۰۱) ارزش شاخص پوشش گیاهی به ترتیب در نگاره‌های (۸B) و (۸A) نشان داده شده است. بنابراین زمستان سال ۲۰۱۶ و سال ۲۰۰۹ شرایط رطوبت خاک به ترتیب خشک و مرطوب بوده است. توزیع مکانی ارزش‌های شاخص رطوبت خاک در زمستان سال ۲۰۱۶ به خوبی نشان می‌دهد که در بخش‌های جنوبی تالاب شرایط رطوبت خاک مطلوب نیست و تنها در بخش‌های شمالی تالاب که عمدتاً بخش دائمی و پرآب تالاب نیز در این قسمت قرار دارد؛ شرایط رطوبت خاک مطلوب است. تغییرات سالانه ارزش‌های متوسط منطقه‌ای



نگاره ۹. تغییرات زمانی میانگین منطقه ای شاخص رطوبت خاک PSMI

جدول ۱: تغییرات سالانه فراوانی طوفان‌های گرد و غبار (دید کمتر از ۱۰۰۰ متر) مشاهداتی از ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷

آماره های تحلیل رگرسیون					مشخصات جغرافیایی ایستگاه				ردیف
P Value	α	B	R Square	R	دوره آماری	سال تأسیس	ارتفاع	ایستگاه	
۰/۲۳	-۳۸۷/۲۳	۰/۲۶۸	۰/۰۵	۰/۲۲	۱۹۸۷-۲۰۱۷	۱۹۵۱	۲۳	اهواز	۱
۰/۰۰۰۱	-۱۰۵۶/۸۹	۰/۸۳۲	۰/۳۸	۰/۶۲	۱۹۸۷-۲۰۱۷	۱۹۸۷	۸۳	صفی آباد دزفول**	۲
۰/۰۳۲	-۶۸۹/۲۳	۰/۳۵۴	۰/۱۹	۰/۴۴	۱۹۸۷-۲۰۱۷	۱۹۶۱	۱۴۳	دزفول*	۳
۰/۰۰۰۱	-۱۷۰۸/۳۱	۰/۹۲۱	۰/۴۶	۰/۶۸	۱۹۸۷-۲۰۱۷	۱۹۸۶	۸	بستان**	۴
۰/۰۲۸	-۷۶۸/۳۲	۰/۴۶۳	۰/۱۹	۰/۴۴	۱۹۸۷-۲۰۱۷	۱۹۸۷	۶	بندر ماهشهر*	۵
۰/۰۰۳	-۷۷۲/۹۴	۰/۳۵۶	۰/۱۷	۰/۴۱	۱۹۸۷-۲۰۱۷	۱۹۸۵	۳۲۱	مسجد سلیمان*	۶
۰/۰۱۲	-۴۲۶/۴۲	۰/۱۳۵	۰/۲۵	۰/۵۰	۱۹۸۷-۲۰۱۷	۱۹۸۷	۱۵۱	رامهرمز*	۷
۰/۰۱۹	-۶۵۲/۳۶	۰/۲۶۸	۰/۲۹	۰/۵۴	۱۹۸۷-۲۰۱۷	۱۹۸۳	۳۵	امیدیه*	۸
۰/۰۲۱	-۱۲۳۴/۲	۰/۶۵۲	۰/۱۹	۰/۴۴	۱۹۸۷-۲۰۱۷	۱۹۵۱	۷	آبادان*	۹

سطح معنی داری ۰/۰۱ (***) و سطح معنی داری ۰/۰۵ (*)

خوزستان در همجواری تالاب هورالعظیم جهت بررسی پاسخ شرایط جوی به تغییرات محیطی تالاب مورد ارزیابی قرار گرفته است. همان گونه که از جدول (۱) مشخص است، فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ایستگاه‌های بستان و صفی‌آباد دزفول در سطح معنی داری ۰/۰۱ و سایر ایستگاه‌ها به جزء ایستگاه اهواز در سطح معنی داری ۰/۰۵ دارای روند افزایشی می‌باشند. ایستگاه بستان به دلیل نزدیکی به تالاب هورالعظیم می‌تواند نماینده خوبی از پاسخ شرایط جوی (طوفان‌های گرد و غبار) به تغییرات محیطی تالاب هورالعظیم باشد. بنابراین کاهش رطوبت خاک در تالاب هورالعظیم که با کاهش تراکم پوشش گیاهی و افزایش دمای

شاخص رطوبت خاک نیز در نگاره (۹) نشان داده شده است. یک سیر افزایشی در ارزش‌های شاخص رطوبت خاک در تالاب هورالعظیم به خوبی از نگاره (۹) مشخص است. این سیر افزایشی به مفهوم کاهش رطوبت خاک می‌باشد. تغییرات سالانه ارزش شاخص رطوبت خاک نیز به خوبی گویای شرایط آبی تالاب در دوره‌های زمانی مختلف می‌باشد.

۳-۴- تغییرپذیری طوفان‌های گرد و غبار

تغییرپذیری فراوانی سالانه رویدادهای طوفان گرد و غبار با معیار دید کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایستگاه‌های استان

سطح زمین و رطوبت خاک گزارش نشده است. لیکن پژوهش حاضر نشان داد که متغیر دمای سطح زمین نقشی کلیدی در تغییرات رطوبت خاک دارد.

تغییرات پوشش گیاهی در سطح منطقه نشان می‌دهد که با تغییر سیاست‌های مربوط به اکتشافات نفتی از سوی دو دولت همسایه ایران و عراق میزان تنش‌های آبی وارده به اراضی تالاب در هر دو سوی مرز را تشدید نموده است. به عنوان نمونه به دنبال تغییر رویکرد جمهوری اسلامی ایران در سال ۲۰۱۵ با جلوگیری از پروژه‌های حفاری نفت با تکنولوژی‌های منسوخ شده در منطقه غرب کارون با توجه به پیامدهای احتمالی زیست محیطی برای تالاب هورالعظیم، میزان رطوبت خاک و به تبع آن سطح پوشش گیاهی منطقه به خصوص در سمت ایران، افزایشی نسبی داشته است. لیکن غرب کارون با در بر داشتن میادین نفتی یاران و منصوری و همچنین میدان‌های مشترک یادآوران و آزادگان شمالی و جنوبی با کشور عراق یک منطقه غنی از نفت بوده که آشکارا و پنهان به سیاست‌های اقتصادی درمواجهه با پروتکل‌های زیست محیطی، اولویت خواهد داد.

۵- منابع و مآخذ

۱. بهرامی، ح.ع.، جلالی، م.، درویشی بلورانی، ع. و عزیزی، ر. (۱۳۹۲). مدل‌سازی مکانی-زمانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در استان خوزستان. سنجش از دور و GIS ایران، سال ۵، شماره ۲، صفحه ۹۵-۱۱۴.
۲. شعاعی، ض.، مددی، غ.، نوروزی، ع.ا. و کلاهی، ع. (۱۳۹۴). بررسی رطوبت خاک در مناطق تولید گرد و غبار (مطالعه موردی استان ایلام). اولین کنفرانس بین‌المللی گرد و غبار، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳. علوی‌پناه، س.ک. (۱۳۸۲). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (خاک). انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
۴. قاضی، م.، بهرامی، ح.ع.، درویشی بلورانی، ع. و میرزایی، س. (۱۳۹۶). تخمین میزان آهک خاک در کانون‌های گردوغبار با استفاده از طیف سنجی VNIR و تصاویر

رویه زمین همراه می‌باشد منجر به تشدید کاهش کیفیت محیطی و از آن جمله افزایش فراوانی رویدادهای گردوغبار می‌شود. نتایج این مطالعه همانند مطالعه کیم و همکاران (۲۰۱۷) به ما امکان استفاده از مجموعه داده‌های رطوبت خاک را برای بررسی و پیش‌بینی انتشار و گسترش گردوغبار می‌دهد و به تجزیه و تحلیل روند انتشار گردوغبار کمک خواهد کرد.

۴- نتیجه‌گیری

هدف این بررسی، تغییرات زمانی - مکانی رطوبت خاک در تالاب هورالعظیم با استفاده از داده‌های دورسنجی و ارتباط آن با فراوانی رویدادهای گرد و غبار در جنوب غرب ایران بود. نتایج این بررسی، بیانگر روند افزایشی دامنه شاخص‌های دورسنجی می‌باشد. دامنه شاخص پوشش گیاهی، رو به ارزش‌های بیشتر می‌رود که به مفهوم کاهش تراکم پوشش گیاهی در تالاب می‌باشد. ارزش‌های شاخص رطوبت خاک عمودی نیز روند افزایشی دارد که بیانگر کاهش رطوبت خاک می‌باشد. با کاهش رطوبت خاک، تراکم پوشش گیاهی نیز کاهش یافته و دمای روبه زمین افزایش می‌یابد. نتایج آزمون‌های آماری نیز به خوبی گویای نقش تغییرات شرایط محیطی تالاب هورالعظیم و اثر آن بر افزایش فراوانی رخداد طوفان‌های گرد و غبار می‌باشد. به طور کلی، پیش‌بینی می‌گردد، بخش عظیمی از تالاب هورالعظیم در آینده به خاستگاه طوفان‌های گرد و غباری تبدیل و سبب تشدید این رویداد محیطی-جوی در جنوب غرب ایران گردد که اثرات بسیار نامطلوبی به ویژه در بخش سلامت دارد.

علاوه بر آن نتایج این بررسی نشان داد که شاخص رطوبت خاک عمودی (PSMI) از توان بالایی جهت پایش تغییرات رطوبت خاک سطحی با اهداف ارزیابی استعداد اراضی در تولید گرد و غبار برخوردار می‌باشد. با وجودی که ارتباط بین رطوبت خاک و پوشش گیاهی با دمای سطح زمین مفروض است، تا کنون هیچ رابطه مستقیمی بین دمای

- W., & Feng, H. (2013). A method of estimating soil moisture based on the linear decomposition of mixture pixels. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(3-4), 606-613.
13. Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T. E., Hsu, N. C., & Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3).
14. Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309.
15. Ju, T., Li, X., Zhang, H., Cai, X., & Song, Y. (2018). Effects of soil moisture on dust emission from 2011 to 2015 observed over the Horqin Sandy Land area, China. *Aeolian research*, 32, 14-23.
16. Kerr, Y. H., Waldteufel, P., Richaume, P., Wigneron, J. P., Ferrazzoli, P., Mahmoodi, A., ... & Leroux, D. (2012). The SMOS soil moisture retrieval algorithm. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 50(5), 1384-1403.
17. Kim, H., Zohaib, M., Cho, E., Kerr, Y. H., & Choi, M. (2017). Development and assessment of the sand dust prediction model by utilizing microwave-based satellite soil moisture and reanalysis datasets in East Asian desert areas. *Advances in Meteorology*, 2017.
18. Munkhtsetseg, E., Shinoda, M., Gillies, J. A., Kimura, R., King, J., & Nikolich, G. (2016). Relationships between soil moisture and dust emissions in a bare sandy soil of Mongolia. *Particuology*, 28, 131-137.
19. Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, G., & Sehatkashani, S. (2018). Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmospheric environment*, 173, 265-276.
20. Namdari, S., Valizade, K. K., Rasuly, A. A., & Sarraf, B. S. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), 191.
21. O’Loingsigh, T., McTainsh, G. H., Tews, E. K., Strong, C. L., Leys, J. F., Shinkfield, P., & Tapper, N. J. (2014). The Dust Storm Index (DSI): A method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological
- ماهواره‌ای سنجنده OLI. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، سال ۸، شماره ۴، صفحه ۱۶-۱.
۵. کشاورز، م.، وظیفه‌دوست، م.، علیزاده، ا. و اسدی، ع. (۱۳۹۰). استخراج و روندیابی رطوبت خاک به کمک داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس مطالعه موردی: استان اصفهان. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، شماره ۲، جلد ۵، صفحه ۲۰۹-۲۱۹.
۶. نورزاده‌حداد، م. و بهرامی، ح.ع. (۱۳۹۳). بررسی ارتباط غلظت ریزگرد با رطوبت سطحی و توزیع اندازه ذرات خاک با استفاده از شبیه‌ساز متحرک فرسایش بادی در نواحی بیابانی غرب استان خوزستان. *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*. سال ۳، شماره ۱، صفحه ۱۸۳-۱۶۷.
7. Adib, A., Oulapour, M., & Chatroze, A. (2018). Effects of wind velocity and soil characteristics on dust storm generation in Hawr-al-Azim Wetland, Southwest Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 16(4), 333-347.
8. Bartalis, Z., Wagner, W., Naeimi, V., Hasenauer, S., Scipal, K., Bonekamp, H., ... & Anderson, C. (2007). Initial soil moisture retrievals from the METOP/IA Advanced Scatterometer (ASCAT). *Geophysical Research Letters*, 34(20).
9. Carlson, T. (2007). An overview of the "triangle method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery. *Sensors*, 7(8), 1612-1629.
10. Carrão, H., Russo, S., Sepulcre-Canto, G., & Barbosa, P. (2016). An empirical standardized soil moisture index for agricultural drought assessment from remotely sensed data. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 48, 74-84.
11. Chin, M., Diehl, T., Dubovik, O., Eck, T. F., Holben, B. N., Sinyuk, A., & Streets, D. G. (2009, September). Light absorption by pollution, dust, and biomass burning aerosols: a global model study and evaluation with AERONET measurements. In *Annales Geophysicae* (Vol. 27, No. 9, pp. 3439-3464). Copernicus GmbH.
12. Gao, Z., Xu, X., Wang, J., Yang, H., Huang,

J., & Batelaan, O. (2015). Estimation of surface soil moisture from thermal infrared remote sensing using an improved trapezoid method. *Remote Sensing*, 7(7), 8250-8270.

33. Younis, S. M. Z., & Iqbal, J. (2015). Estimation of soil moisture using multispectral and FTIR techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 151-161.

records. *Aeolian Research*, 12, 29-40.

22. Parinussa, R. M., Yilmaz, M. T., Anderson, M. C., Hain, C. R., & De Jeu, R. A. M. (2014). An intercomparison of remotely sensed soil moisture products at various spatial scales over the Iberian Peninsula. *Hydrological Processes*, 28(18), 4865-4876.
23. Pech, R. P., Davis, A. W., Lamcraft, R. R., & Graetz, R. D. (1986). Calibration of Landsat data for sparsely vegetated semi-arid rangelands. *International Journal of Remote Sensing*, 7(12), 1729-1750.
24. Petropoulis, G. P., Wooster, M. J., & Drake, N. J. (2006). Investigating the Performance of a Coupled SVAT/Model Remote Sensing Method to Derive Spatially Explicit Maps of Land Atmosphere Energy Fluxes. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 634)
25. Ravi, S., & D'Odorico, P. (2005). A field scale analysis of the dependence of wind erosion threshold velocity on air humidity. *Geophysical Research Letters*, 32(21).
26. Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U. E. A., Gottschalk, J., Mitchell, K., Meng, C. J., ... & Entin, J. K. (2004). The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3), 381-394.
27. Shafian, S., & Maas, S. (2015). Index of soil moisture using raw Landsat image digital count data in Texas high plains. *Remote Sensing*, 7(3), 2352-2372.
28. Tong, D. Q., Dan, M., Wang, T., & Lee, P. (2012). Long-term dust climatology in the western United States reconstructed from routine aerosol ground monitoring. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(11), 5189-5205.
29. UNEP, W. (2001). IPCC Third Assessment Report 'Climate Change 2001'.
30. Wang, J. X. (2015). Mapping the global dust storm records: Review of dust data sources in supporting modeling/climate study. *Current Pollution Reports*, 1(2), 82-94.
31. Xu, H. (2007). Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic oriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(12), 1381-1391.
32. Yang, Y., Guan, H., Long, D., Liu, B., Qin, G., Qin,

