



پایش تغییرات تالاب بختگان با استفاده از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای در پلتفرم گوگل ارث انجین و پیش‌بینی پارامترها با مدل Facebook's Prophet

مقاله پژوهشی

محسن دستاران، شاهین جعفری، حسین مسلمی، سارا عطارچی، سید کاظم علوی پناه

دریافت: ۴ مرداد ۱۴۰۰ / بازنگری: ۳۰ شهریور ۱۴۰۰ / پذیرش: ۴ مهر ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۴ مهر ۱۴۰۰ / دسترسی چاپی: ۱۱ دی ۱۴۰۱

چکیده

پیشینه و هدف تالاب‌ها زیستگاه پوشش گیاهی و حیاط وحش هستند و به همین دلیل دارای ارزش زیست‌محیطی بالایی می‌باشند. همچنین تالاب‌ها در هنگام وقوع حوادث ناگوار طبیعی باعث کاهش فرسایش خاک، بازیابی سفره‌های زیرزمینی و ذخیره آب حاصل از بارش می‌شوند و در فراهم کردن آب جهت کشاورزی و یا استفاده دام نقش دارند. این مناطق در برابر دخالت‌ها و تغییرات انسانی مانند زهکشی، گسترش شهر و توسعه زیرساخت‌ها و بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب‌های زیرزمینی آسیب‌پذیر هستند.

محسن دستاران^۱، شاهین جعفری^۲، حسین مسلمی^۳، سارا عطارچی^۴،

سید کاظم علوی پناه^۵

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۴. استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۵. استاد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: satarchi@ut.ac.ir

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.685454>

<https://dori.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.4.1.5>

پیش‌بینی وضعیت تالاب‌ها در آینده، نیازمند داشتن درک درست از سیر تحول تالاب‌ها و تعیین روند تغییرات آن‌ها است. امروزه فناوری سنجش‌ازدور برای نگاشت تالاب‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و توانایی آن در پایش تغییرات تالاب‌ها به دلیل وسعت متغیر و پویایی تالاب، ارزش این علم را در این زمینه دوچندان کرده است. سنجش‌ازدور با تأمین تصاویر در زمان‌های مختلف و از طریق مدل‌سازی فضایی پویا می‌تواند ابزاری مؤثر برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی فرایندهای تخریب تالاب باشد. در این مطالعه به دلیل اهمیت بالای زیست‌محیطی و گردشگری تالاب بختگان و اثرات خشک شدن تالاب بر شرایط زیستی و سلامت افراد بومی و همچنین گردشگری منطقه به پایش تغییرات این تالاب پرداخته شده است و پیش‌بینی پارامترهای بارش، سطح آب‌های زیرزمینی و دما انجام گرفته است. برای این امر پلتفرم گوگل ارث انجین برای اخذ و پردازش تصاویر مورد استفاده قرار گرفت. پلتفرم گوگل ارث انجین پلتفرمی است که در کمترین زمان و با سرعت بالا می‌توان اقدام به اخذ و پردازش تصاویر کرد. بر این اساس با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین تغییرات پهنه آبی دریاچه به همراه تغییرات دما، سطح آب‌های زیرزمینی و بارش استخراج و مورد پایش قرار گرفته شد. همچنین مقایسه‌ای بین این پارامترها صورت

نتایج و بحث در این مطالعه روند تغییرات سطح آب تالاب بختگان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین پایش شد. همچنین با استفاده از روش پیش‌بینی Prophet که توسط فیس‌بوک توسعه و منتشر شده است، اقدام به پیش‌بینی پارامترهای موثر گردید. بررسی روند تغییرات نشان داد که سطح آب تالاب در طی دو دهه کاهش چشمگیری داشته است. در همین راستا، روند سطح آب‌های زیرزمینی، دما و بارش منطقه مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی این عوامل مشخص شد هم‌زمان با کاهش ۵۸/۳٪ سطح آب تالاب، کاهش ۲۶٪ نیز در سطح آب‌های زیرزمینی منطقه رخ داده است. با این حال تغییرات مقدار بارش منطقه در مقایسه با پارامترهای دیگر کمتر بوده است و حدود ۲۹٪ کاهش داشته است. این روند کاهش با استفاده از آزمون آماری من-کندال نیز اثبات شد. برای پیش‌بینی پارامترها نیز، مدل Prophet با استفاده از داده‌ای گسسته توانسته است برای ۱۵۰۰ روز پیش‌بینی را به‌صورت داده پیوسته انجام دهد. خروجی مدل نشان داد که برای پارامترهای بارش و سطح آب‌های زیرزمینی یک‌روند نزولی در طی ۱۵۰۰ روز آینده قابل پیش‌بینی است که این روند کاهشی برای مقادیر بارش با شدت کم اما برای سطح آب‌های زیرزمینی با شدت زیاد هست. پیش‌بینی دما نشان داد که دما دارای الگوی فصلی است و نوسان زیادی در طول یک سال دارد، اما روند سالیانه آن نشان از ثبات در سال‌های پیش رو دارد. نتایج مدل برای سطح آب تالاب نیز نشان از یک‌روند صعودی نسبتاً کم دارد که دارای احتمال تغییر ± 12.5 کیلومتر مربعی است. همچنین خطای پارامترها در سطح معنی‌داری ۹۵٪ دارای مقادیر قابل قبول هستند که نشان از صحت پیش‌بینی دارد. از شاخص خودکار آب به‌منظور استخراج سری زمانی پهنه آبی تالاب مورد نظر استفاده شد. با استفاده از میانگین سری زمانی استخراج‌شده بیشترین و کمترین مساحت پهنه آبی تالاب به ترتیب به سال ۲۰۰۶ با $629/23$ کیلومتر مربع و سال ۲۰۱۴ با $156/82$ کیلومتر مربع تعلق دارد. سری زمانی تغییرات این تالاب نشان می‌دهد که وضعیت آب تالاب طی دو دهه سیر نزولی را طی کرده است. براساس این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که روند تغییرات سطح آب تالاب روبه کاهش بوده است. تغییرات دریاچه براساس روند تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی که به صورت نزولی می‌باشد گویای کاهش آب منطقه است. بدلیل اینکه روند تغییرات بارش دارای یک ثباتی بوده، مدیریت نامناسب می‌تواند دلیلی بر کاهش سطح آب دریاچه و استفاده بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی باعث کاهش سطح آب‌های

گرفت تا مشخص شود چه تغییراتی طی دو دهه در این دریاچه اتفاق افتاده است. برای پیش‌بینی پارامترها با استفاده از مدل Prophet اقدام به پیش‌بینی و تحلیل روند تغییرات شد. مهم‌ترین مزیت مدل Prophet توانایی در تبدیل داده‌های گسسته به داده‌های پیوسته است تا پیش‌بینی به بهترین شکل انجام بپذیرد. این روش در شناسایی روند فصلی بودن داده‌ها به‌صورت خودکار عمل می‌کند و در صورت وجود روند تغییرات فصلی آن‌ها را نمایش می‌دهد.

مواد و روش‌ها برای انجام پایش تالاب اقدام به اخذ تصاویر از پلتفرم گوگل ارث انجین شد. از تصاویر لندست ۷ و ۸ برای استخراج پهنه آبی، برای استخراج تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی از داده‌های گریس، برای استخراج پوشش گیاهی و دمای سطح تالاب از پروداکت مادیس و برای استخراج مقادیر بارش از پروداکت تصاویر TRMM استفاده شد. برای استخراج پهنه آبی تالاب از شاخص استخراج خودکار آب (Automated water extraction index) استفاده شد. برای استخراج سطح آب‌های زیرزمینی از سنجنده گریس استفاده شد. برای به دست آوردن سری زمانی دمای سطح زمین برای منطقه مورد مطالعه از پروداکت سنجنده مادیس استفاده شد. برای استخراج سری زمانی بارش، از داده‌های تجمعی ماهانه ماهواره TRMM (3B43V7) با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه جغرافیایی با استفاده از گوگل ارث انجین استخراج و روند تغییرات مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. آزمون Mann-Kendall یکی از پرکاربردترین آزمون‌های غیر پارامتری برای تشخیص روند داده‌های آب و هواشناسی و زیست‌محیطی است که برای تشخیص خط روند یکنواخت به کار می‌رود، این آزمون از آنجاکه روشی غیر پارامتری است نیازی نیست از داده‌هایی با توزیع نرمال پیروی کند. مدل پیش‌بینی Prophet، کتابخانه پیش‌بینی کننده Prophet که توسط فیس‌بوک توسعه یافته است در زبان‌های برنامه‌نویسی R و Python در دسترس است. این کتابخانه از روش‌های Additive model (پشتیبانی می‌کند و مقادیر گسسته را می‌تواند به‌خوبی و به‌صورت مقادیر پیوسته پیش‌بینی کند. نام این قابلیت «تعطیلات» است. از دیگر قابلیت‌های این کتابخانه شناسایی خودکار روندهای روزانه هفتگی، فصلی و سالانه است. میانگین خطای مطلق یا به‌اختصار (MAE) به‌صورت پیش‌فرض در کتابخانه Prophet وجود دارد. این خطا معیار طبیعی‌تری از خطای متوسط را نشان می‌دهد و برخلاف خطای RMSE بدون ابهام است.

جهت بررسی‌های بیشتر می‌توان از پلتفرم گوگل ارث انجین بدون نیاز به اخذ تصاویر و صرف زمان و هزینه زیاد، اقدام به فراخوانی سری زمانی تصاویر کرده و پردازش‌هایی در این پلتفرم انجام داد. در بحث پیش‌بینی نیز در مطالعات آتی می‌توان از مدل Prophet به دلیل استفاده از داده‌های گسسته و درعین‌حال ارائه دقت مطلوب، استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تالاب بختگان، مدل پیش‌بینی Prophet، آزمون من-کندال، گوگل ارث انجین

زیرزمینی باشد. بدلیل همین کاهش سطح آب دریاچه، دما هم تا ۳ درجه سانتی‌گراد کاهش داشته است

نتیجه‌گیری بر اساس این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که سطح آب‌های زیرزمینی و بارش در آینده روندی نزولی خواهند داشت که باعث می‌شود سطح آب تالاب - که خود دارای احتمال نوسان در آینده است - کاهش یابد و روند به‌صورت نزولی ادامه یابد. با روند پیش رو، تنها راه، برنامه‌ریزی‌های مناسب در جهت حفظ تالاب است. در صورت ادامه این روند، شاهد نابودی تالاب خواهیم بود. پیشنهاد می‌شود با توجه به روند ماهانه سطح تالاب در فصل تابستان بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب‌های زیرزمینی صورت نگیرد.

مقدمه

تالاب‌ها زیستگاه پوشش گیاهی و حیات وحش هستند و به همین دلیل دارای ارزش زیست‌محیطی بالایی می‌باشند (۱۰). همچنین تالاب‌ها در هنگام وقوع حوادث ناگوار طبیعی باعث کاهش فرسایش خاک، بازیابی سفره‌های زیرزمینی و ذخیره آب حاصل از بارش می‌شوند و در فراهم کردن آب جهت کشاورزی و یا استفاده دام نقش دارند. این مناطق در برابر دخالت‌ها و تغییرات انسانی مانند زهکشی، گسترش شهر و توسعه زیرساخت‌ها و بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب‌های زیرزمینی آسیب‌پذیر هستند (۲۷). تالاب‌ها نقشی حیاتی در چشم‌انداز هیدرولوژی منطقه ایفا می‌کنند. وجود تالاب‌ها باعث کاهش خطر سیل، جلوگیری از خشکسالی و در برخی موارد جلوگیری از آتش‌سوزی می‌شود (۵). پیش‌بینی وضعیت تالاب‌ها در آینده، نیازمند داشتن درک درست از سیر تحول تالاب‌ها و تعیین روند تغییرات آن‌ها است. امروزه فناوری سنجش‌ازدور برای بررسی تغییرات تالاب‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و توانایی آن در پایش تغییرات تالاب‌ها به دلیل وسعت متغیر و پویایی تالاب، از اهمیت بالایی برخوردار است (۱۴). سنجش‌ازدور با تأمین تصاویر در زمان‌های مختلف و از طریق مدل‌سازی فضایی پویا می‌تواند ابزاری مؤثر برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی وضعیت تالاب باشد (۱۱ و ۱۷). مطالعات گسترده‌ای شرایط تالاب‌ها را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی کرده‌اند. چن و همکاران (۴) در تحقیقی با نام نظارت پویا بر تغییرات پوشش تالاب با استفاده از تصاویر سری زمانی مودیس (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)، روشی را برای طبقه‌بندی انواع پوشش تالاب بر اساس زمان طغیان آن توسعه داده‌اند. گولاچی و کوواکس (۹) در تحقیق آشکارسازی و پایش تالاب‌ها در محیط گوگل ارث انجین (Google Earth Engine) با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و اعمال شاخص MNDVI (Modified Normalized Difference Water Index) از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ اقدام به پایش تالاب در تیزا کردند. آن‌ها با استفاده از دو روش کاملاً مجزا در محدوده‌های طیفی مختلف توانستند نتایجی با مطابقت بالادست

آورند که ضریب همبستگی پیرسن (Pearson) آن بین ۰/۵۴ تا ۰/۸۴ است. کلماس (۱۶) در سنجش از دور تالاب مقایسه تکنیک‌های علمی، با استفاده از تصاویر لندست به مطالعه حوضه آبریز خلیج چسپیک پرداختند و دریافتند که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای همراه با مشاهدات زمینی، به محققان اجازه می‌دهد تا روندهای بلند مدت و تغییرات کوتاه مدت پوشش گیاهی و هیدرولوژی تالاب‌ها را به طور موثری تعیین کنند. ساها و همکاران (۲۱) در تحقیقی با عنوان پایش بینی مساحت و عمق تالاب با استفاده از مدل رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی توانستند با استفاده از تصاویر لندست و روش Cellular Automata (ANN-CA) به پایش بینی شرایط تالاب در حوضه آبریز رودخانه Atreye بپردازند. بر اساس نتایج این تحقیق پایش بینی شد که در بیست سال آینده ۱۶۴ کیلومترمربع از مساحت تالاب کاهش می‌یابد.

بر همین اساس، پایش بینی و پایش شرایط تالاب‌ها با استفاده از سنجش‌ازدور در سال‌های گذشته رشد فزاینده‌ای داشته و روش‌های متنوعی برای این امر توسعه داده شده است. در این مطالعه نیز به دلیل اهمیت بالای زیست‌محیطی و گردشگری تالاب بختگان و اثرات خشک شدن تالاب بر شرایط زیستی و سلامت افراد بومی به پایش تالاب و پایش‌بینی پارامترهای مؤثر سطح آب، بارش، سطح آب‌های زیرزمینی و دما پرداخته شده است.

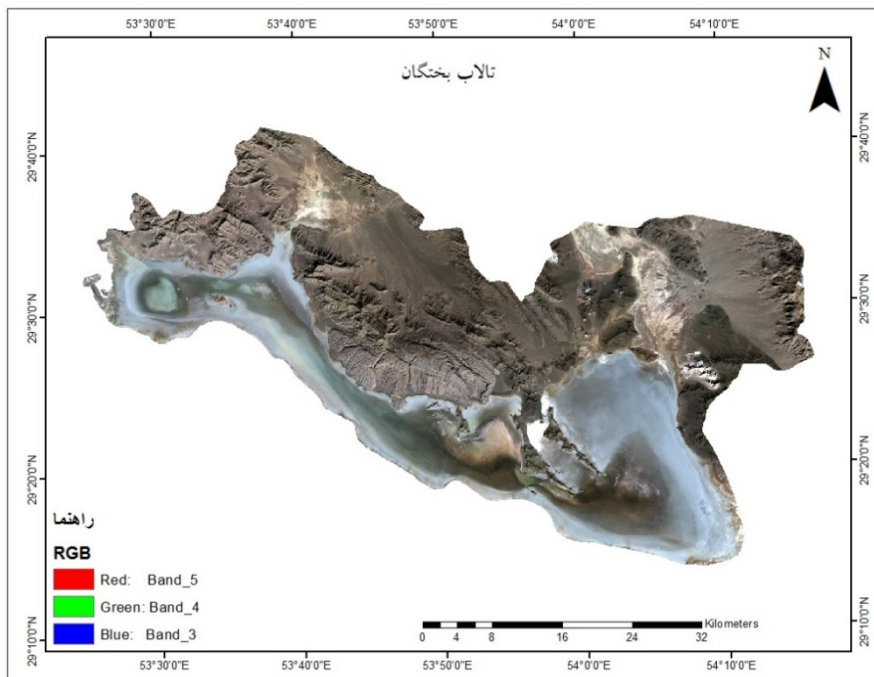
روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

تالاب بختگان در قسمت شمال غربی و غرب شهر نیریز استان فارس واقع شده است. این تالاب در محدوده بین طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی قرار دارد. دریاچه بختگان از نظر وسعت دومین دریاچه داخلی کشور محسوب می‌شود. در این تالاب، دامنه تغییرات دما بین ۲۸- درجه سانتی‌گراد (در قسمت شمال و شمال غربی) و ۴۵ درجه سانتی‌گراد (در جنوب و جنوب

جاذبه‌های گردشگری و تحقیقاتی دارای ارزش زیادی هست (۲). در دهه‌های اخیر، بهره‌برداری بی‌رویه در بخش کشاورزی و همچنین کاهش بارش، این تالاب را رو به خشکی کشانده است (۲۳).

در نوسان است (۲۴). متوسط بارندگی سالانه ۲۱۰ میلیمتر در سال است و حداقل ارتفاع منطقه ۱۵۵۵ متر و ارتفاع حداکثر آن ۳۲۷۰ متر می باشد. این منطقه دارای پوشش گیاهی ایرانی-تورانی است و درمنه و گون از مهم‌ترین گیاهان این منطقه است. گونه‌های گیاهی و جانوری این محدوده به دلیل



شکل ۱. نقشه تالاب بختگان (لندست ۸)

Fig.1. Bakhtegan Wetland Area (Landsat 8)

داده‌های مورد استفاده برای استخراج پوشش گیاهی و دمای سطح تالاب از تصاویر TRMM (Tropical Rainfall Misurment Mission) استفاده شد (جدول ۱).
 (۱)

داده‌های مورد استفاده برای ایدام به اخذ تصاویر از پلنفرم گوگل ارث انجین شد. برای استخراج پهنه آبی از تصاویر لندست ۷ و ۸، برای استخراج تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی از داده‌های

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورداستفاده

Table 1. Specifications of the images used in this article

آب زیرزمینی	بارش	سطح آب	دما	
GRACE	TRMM/3B43V7	Landsat7/8	MODIS/MOD11A2	ماهواره
۲۰۱۷-۲۰۰۲	۲۰۲۰-۲۰۰۰	۲۰۲۰-۲۰۰۰	۲۰۲۰-۲۰۰۰	دوره زمانی
۰/۵ درجه (۵۵/۵ کیلومتر)	۰/۲۵ درجه (۲۷/۷۵ کیلومتر)	۳۰ متر	۱۰۰۰ متر	دقت مکانی
ماهانه	ماهانه	۱۶ روزه	چندروزه	دقت زمانی

روش تحقیق

با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین تغییرات پهنه آبی تالاب به همراه تغییرات دما، سطح آب‌های زیرزمینی و بارش در دو دهه گذشته استخراج شد. همچنین تغییرات این پارامترها در مقایسه با تغییرات پهنه آبی تحلیل شد. سپس با استفاده از مدل Prophet که توسط فیس‌بوک در سال ۲۰۱۷ منتشر شده است، روند تغییرات تالاب در آینده پیش‌بینی و تحلیل شد.

برآورد استخراج پهنه آبی

برای استخراج پهنه آبی تالاب از شاخص استخراج خودکار آب (Automated water extraction index) استفاده شد. شاخص استخراج خودکار آب یک شاخص مؤثر برای شناسایی پیکسل‌های غیر آب به‌خصوص پیکسل‌های سایه و تیره در نواحی‌ای مانند مناطق شهری و کوهستانی است و با حذف پیکسل‌های سایه، دقت استخراج پیکسل‌های آب را بالا می‌برد. شاخص Automated water extraction index (AWEI_sh) ضعیف‌های شاخص Automated (shadow)، ضعیف‌های شاخص Automated (water extraction index _ no shadow) را پوشانده و دقت استخراج پیکسل‌های آب را بالا می‌برد (۸). این شاخص برای استخراج نواحی آبی به‌خصوص در نواحی کوهستانی که سایه‌های عمیق سبب خطا در طبقه‌بندی می‌شوند، کارا است. شاخص AWEI_sh بر اساس رابطه ۱ به دست می‌آید: باند ۱، ۲، ۴، ۵ و ۷ به ترتیب باندهای آبی، سبز، مادون‌قرمز نزدیک، مادون‌قرمز موج‌کوتاه ۱ و مادون‌قرمز موج‌کوتاه ۲ است (۸).

$$AWEI_{sh} = \rho_{band1} + 2.5 \times \rho_{band2} - 1.5 \times (\rho_{band4} + \rho_{band5}) - 0.25 \times \rho_{band7} \quad [1]$$

برای بررسی روند تغییرات سطح آب، این شاخص در پلتفرم گوگل ارث انجین از ۲۳۶ تصویر لندست ۷ و لندست ۸ بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۰ استخراج شد.

استخراج سطح آب‌های زیرزمینی

برای استخراج سطح آب‌های زیرزمینی از سنجنده GRACE استفاده شد. برای به دست آوردن تغییرات سطح آب زیرزمینی، تغییرات ذخیره آب معادل برف، آب سطحی، رطوبت خاک از تغییرات ذخایر آب مشاهدات GRACE کسر می‌شود (رابطه ۲).

$$G = S - SWE - SW - S \quad [2]$$

در این رابطه؛ G سطح آب زیرزمینی، S ذخایر آب مشاهدات GRACE، SWE آب معادل برف، SW آب سطحی و SM رطوبت خاک است. برای بررسی روند تغییرات در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷، تصاویر این سنجنده در این بازه فقط قابل دسترسی است، از ۱۶۳ تصویر در داخل گوگل ارث انجین استفاده شد (۱۳).

استخراج دما

برای مطالعه دمای سطح زمین از پروداکت (MOD/11A2) سنجنده مادیس (۹۱۳ تصویر) بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ استفاده شد (۱۹).

استخراج بارش

برای استخراج سری زمانی بارش، با استفاده از گوگل ارث انجین از داده‌های تجمعی ماهانه ماهواره TRMM (3B43V7) با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه جغرافیایی استفاده شد و روند تغییرات مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. محصول داده 2A12 ماهواره TRMM، تخمین‌های لحظه‌ای بارندگی را از TMI (TRMM Microwave Image) و با استفاده از الگوریتم GPROF (The Goddard Profiling Algorithm) استخراج می‌کند (۷).

$$\text{Prob}(RP \mid BT) = \text{Prob}(RR) \times \text{Prob}(BT \mid RR) \quad [3]$$

در این رابطه؛ Prob (RR)، احتمال مشاهده بارندگی، Prob(BT | RR)، احتمال مشاهده دمای درخشندگی به شرط

برای آزمایش روند یکنواخت در سطح معناداری α ، اگر مقدار مطلق آماره آزمون استاندارد Z بیش از مقدار $Z_{1-\alpha/2}$ به دست آمده از جداول توزیع تجمعی نرمال باشد، فرضیه جایگزین روند پذیرفته می‌شود. علامت مثبت آماره آزمون نشان‌دهنده روند افزایشی و علامت منفی نشان‌دهنده روند کاهشی است (۲۰).

مدل پیش‌بینی Prophet

کتابخانه پیش‌بینی کننده Prophet که توسط فیس‌بوک توسعه یافته است، در زبان‌های برنامه‌نویسی R و Python در دسترس است. این کتابخانه از روش‌های (additive model) پشتیبانی می‌کند و مقادیر گسسته را می‌تواند به خوبی و به صورت مقادیر پیوسته پیش‌بینی کند. نام این قابلیت «تعطیلات (Holiday)» است. Prophet مدل مناسبی برای مدیریت داده‌های از دست رفته (Missing Data) است و داده‌های پرت (Outlier) را به خوبی از داده‌های استاندارد جدا می‌کند (۲۵). این قابلیت در مطالعات سنجش‌از دور بسیار حائز اهمیت است؛ زیرا اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای اغلب دارای داده‌های پرت هستند. از دیگر قابلیت‌های این کتابخانه شناسایی خودکار روندهای روزانه هفتگی، فصلی و سالانه است. این مدل همانند مدل GAM (Generalized additive model) از زمان به عنوان متغیر مستقل استفاده می‌کند و با استفاده از رابطه ۹ پیش‌بینی را انجام می‌دهد.

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + e(t) \quad [9]$$

در این رابطه؛ $g(t)$ روند تغییرات غیر دوره‌ای، $s(t)$ تغییرات دوره‌ای فصلی، $h(t)$ داده‌های گسسته بیشتر از یک روز (قابلیت تعطیلات) را نشان می‌دهد و $e(t)$ تغییرات ناگهانی در داده‌ها را نادیده می‌گیرد. مطالعه منابع نشان داد که تعداد مقادیر پیش‌بینی شده مدل Prophet می‌تواند بین ۱۵-۲۵ درصد داده‌های اولیه است. در این تحقیق، تعداد روزهای پیش‌بینی شده ۱۵۰۰ روز معادل ۲۰٪ کل روزهای بازه زمانی مورد مطالعه در نظر گرفته شده است (۲۲ و ۲۸).

داشتن پروفایل باران و Prob (RP I BT) احتمال مشاهده پروفایل باران به شرط داشتن دمای درخشندگی است (۱۲).

تحلیل روند با آزمون من-کندال

آزمون من-کندال یکی از آزمون‌های پرکاربرد غیر پارامتریک است که برای تشخیص وجود یا عدم وجود روند یکنواخت داده‌های آب و هواشناسی و زیست‌محیطی به کار می‌رود. از آنجاکه این آزمون روشی غیر پارامتریک است به داده‌هایی با توزیع نرمال نیاز ندارد (۳). فرضیه صفر این آزمون H_0 داده‌ها را بدون روند و فرضیه جایگزین یعنی H_A روند افزایشی یا کاهشی برای داده‌ها فرض می‌کند و از رابطه ۴ محاسبه گردید (۱۸).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad [4]$$

در این رابطه؛ N تعداد نقاط داده، x_i و x_j به ترتیب مقادیر داده‌ها در دفعات استفاده از i و j ($j > i$) و $(x_j - x_i)$ است و از طریق رابطه ۵ به دست می‌آیند.

[۵]

$$\text{Sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ 1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \end{cases}$$

آماره S به طور معمول با پارامترهای $E(S)$ و واریانس $V(S)$ به شرح رابطه‌های ۶ و ۷ توزیع می‌شود.

$$E(S) = 0 \quad [6]$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^m t_k(k)(k-1)(2k+5)}{18} \quad [7]$$

در این رابطه؛ n تعداد نقاط داده، m تعداد گروه‌های گروه‌خورده و t_k تعداد پیوندهای اندازه k را نشان می‌دهد و آماره آزمون استاندارد Z با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad [8]$$

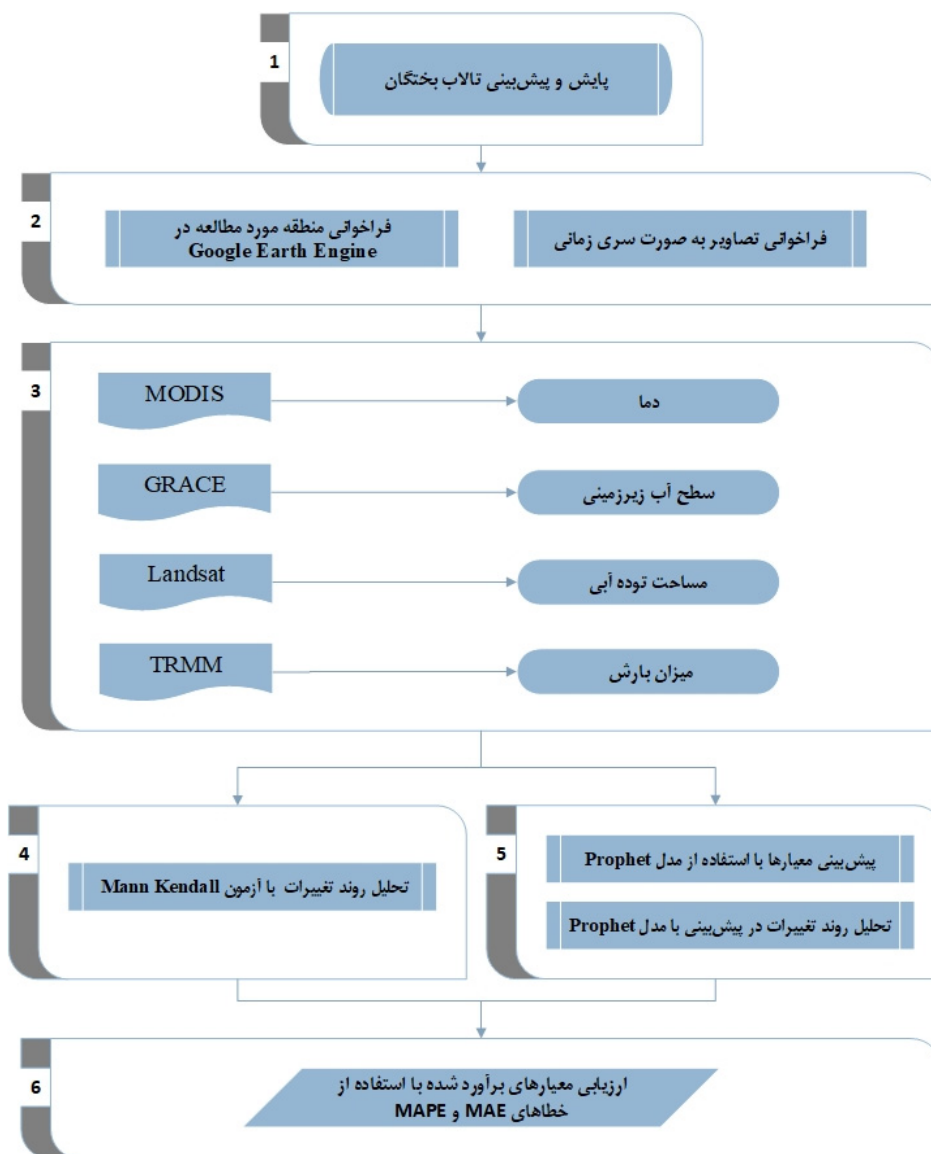
$$MAE = [n^{-1} \sum_{i=1}^n |e_i|] \quad [10]$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad [11]$$

در این رابطه؛ F_t مقدار واقعی و A_t تعداد دفعاتی که عملیات جمع اتفاق می‌افتد، N میانگین خطای درصد مطلق، $MAPE$ پیش‌بینی است. در شکل (۲) مراحل انجام کار آورده شده است.

ارزیابی صحت

میانگین خطای مطلق یا به اختصار (MAE) (رابطه ۱۰) به صورت پیش فرض در کتابخانه Prophet وجود دارد. این خطا برخلاف خطای $RMSE$ بدون ابهام است (۲۶). به همین دلیل در این پژوهش، این خطا محاسبه شده است. برای ارزیابی اعتبار پیش‌بینی و مقایسه آن با معیارهای دیگر از $MAPE$ (Mean Absolute Percentage Error) استفاده شد (رابطه ۱۱). این خطا، MAE را به صورت درصدی نشان می‌دهد (۱).



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

Fig. 2. The research flowchart

نتایج و بحث

در این مطالعه از شاخص خودکار آب برای استخراج پهنه آبی تالاب استفاده شد. با استفاده از میانگین سری زمانی استخراج شده (جدول ۲) بیشترین و کمترین مساحت پهنه آبی تالاب به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ با ۶۲۹/۲۳ کیلومتر مربع و ۲۰۱۴ با ۱۵۶/۸۲ کیلومتر مربع است. سری زمانی تغییرات این تالاب نشان می‌دهد که وضعیت آب تالاب طی دو دهه سیر نزولی را طی کرده است (جدول ۲). میانگین ۵ ساله

اول مساحت تالاب ۴۸۸/۸ کیلومتر مربع است و در ۵ ساله آخر مقدار میانگین ۲۵۷/۸ کیلومتر است که نشان‌دهنده کاهش مساحت آب تالاب در طی این سال‌ها است. طبق نتایج آزمون من-کندال (جدول ۳) p value (۰/۰۰۱) از alpha (۰/۰۵) کوچک‌تر است و در نتیجه فرض H_0 رد می‌شود و فرض H_1 پذیرفته می‌شود. این بدان معنی که روند تغییرات در سطح پهنه آبی منطقه، معنادار است و با گذشت زمان، مساحت تالاب کاهش می‌یابد.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مورد بررسی

Table 2. The values of the examined parameters

سال	بارش (mm/h)	سطح آب (Km ²)	آب زیرزمینی (cm)	دما (K)
۲۰۰۰	۰/۰۲۸	۵۲۶	-	۳۰۷/۵۲
۲۰۰۱	۰/۰۱۶	۴۲۰	-	۳۰۲/۶۵
۲۰۰۲	۰/۰۲۹	۶۲۹	۱/۶۷	۳۰۳/۷۶
۲۰۰۳	۰/۰۳۷	۳۸۸	۱/۲۴	۳۰۱/۶۴
۲۰۰۴	۰/۰۵۸	۴۸۱	۳/۲۶	۳۰۱/۶۱
۲۰۰۵	۰/۰۳۲	۵۲۷	۵/۹۷	۳۰۲/۸۷
۲۰۰۶	۰/۰۲۶	۴۴۹	۳/۸	۳۰۳/۸۳
۲۰۰۷	۰/۰۱۶	۳۷۶	۰/۸۸	۳۰۶/۱۶
۲۰۰۸	۰/۰۱	۳۱۳	-۴/۶۲	۳۰۶/۴۵
۲۰۰۹	۰/۰۲۲	۲۱۳	-۶/۹۵	۳۰۶/۸۷
۲۰۱۰	۰/۰۰۶	۱۹۰	-۸/۲۲	۳۰۶/۸۷
۲۰۱۱	۰/۰۲۲	۲۳۷	-۸	۳۰۵/۴۷
۲۰۱۲	۰/۰۲۱	۲۰۴	-۱۰/۱۲	۳۰۵/۳۲
۲۰۱۳	۰/۰۲۳	۲۸۷	-۹/۳۳	۳۰۵/۳
۲۰۱۴	۰/۰۲۱	۱۵۷	-۹/۰۸	۳۰۶/۵۱
۲۰۱۵	۰/۰۲۶	۲۶۹	-۱۰/۸۶	۳۰۵/۵۴
۲۰۱۶	۰/۰۰۹	۲۳۶	-۱۰/۵	۳۰۷/۶
۲۰۱۷	۰/۰۴۵	۳۳۴	-۱۰/۲	۳۰۵/۷۳
۲۰۱۸	۰/۰۱۳	۱۹۲	-	۳۰۷/۱۴
۲۰۱۹	۰/۰۳۱	۲۵۸	-	۳۰۵/۸

جدول ۳. نتایج آزمون من- کندال بر روی پارامترها

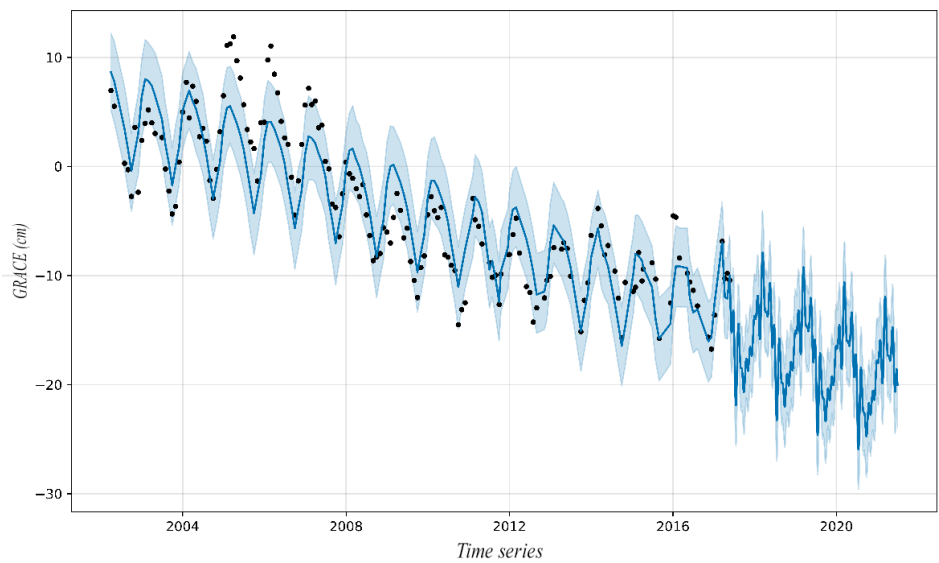
Table 3. Mann-Kendall test results on parameters

P value	alpha	Kendall's tau	متغیر
< ۰/۰۰۰۱	۰/۰۵	-۰/۷۵۰	آب زیرزمینی
۰/۴۱۷	۰/۰۵	-۰/۱۳۷	بارش
۰/۰۲۷	۰/۰۵	۰/۳۶۴	دما
۰/۰۰۳	۰/۰۵	-۰/۴۶۷	سطح آب

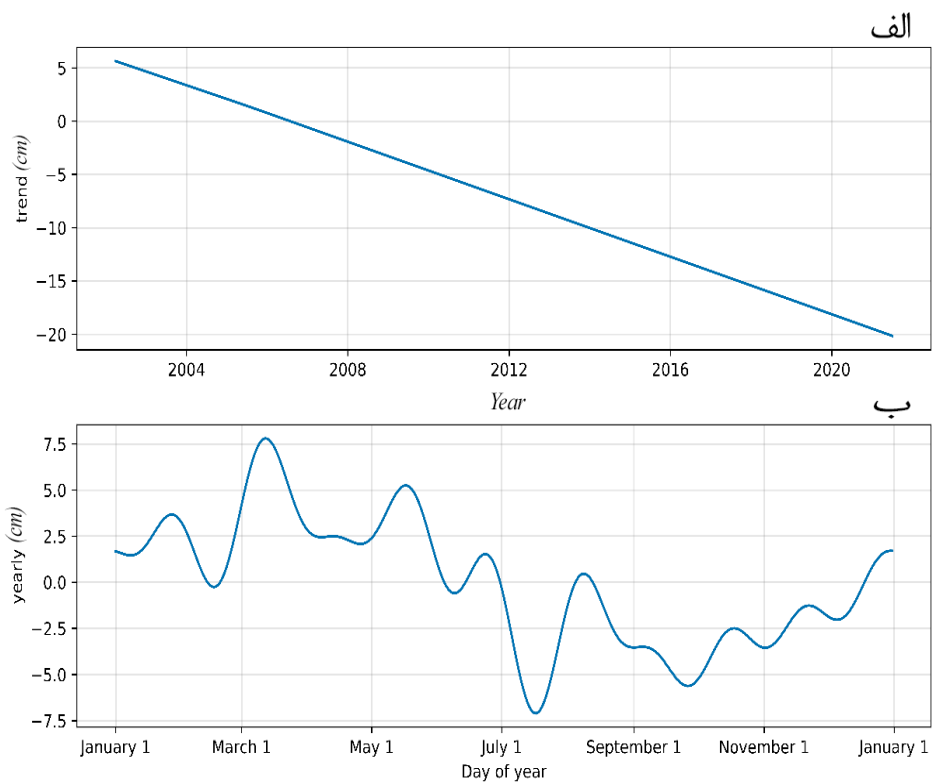
در این آزمون، در سطح معنی دار ۹۵٪ به دلیل بزرگ‌تر بودن p value از α ، فرض H_0 رد نمی‌شود و مقدار ریسک آزمون برای رد فرض H_0 معادل ۴۱/۷۳٪ است. در شکل‌های ۳ و ۴ خروجی پیش‌بینی مدل Prophet برای سطح آب‌های زیرزمینی و بارش در ۱۵۰۰ روز، نمایش داده شده است. این مدل داده‌ها را به صورت داده گسسته دریافت کرده و به صورت داده پیوسته پیش‌بینی کرده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند که داده‌های پرت نادیده گرفته شده‌اند و مدل، پیش‌بینی را بدون در نظر گرفتن آن‌ها انجام داده است. تاریخ پیش‌بینی شده (شکل ۳) از سال ۲۰۱۷ تا اواسط سال ۲۰۲۱ است.

شکل ۴-الف، نشان‌دهنده ثبات در روند نزولی سالانه است و روند تغییرات در یک‌سال در شکل ۴-ب نشان می‌دهد که حدفاصل خرداد تا شهریور سطح آب زیرزمینی به کمترین میزان و در اسفند و فروردین به میزان حداکثر می‌رسد. مقادیر محور عمودی در نمودارهای روند فصلی (هفتگی یا ماهانه) نشان‌دهنده مقداری است که در هر گام به روند افزوده یا از آن کاسته می‌شود. لذا تمامی واحدهای محور عمودی در این نمودارها، با نمودار پیش‌بینی خود واحدی یکسان دارند. تاریخ پیش‌بینی شده شکل ۵ از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۲۴ است.

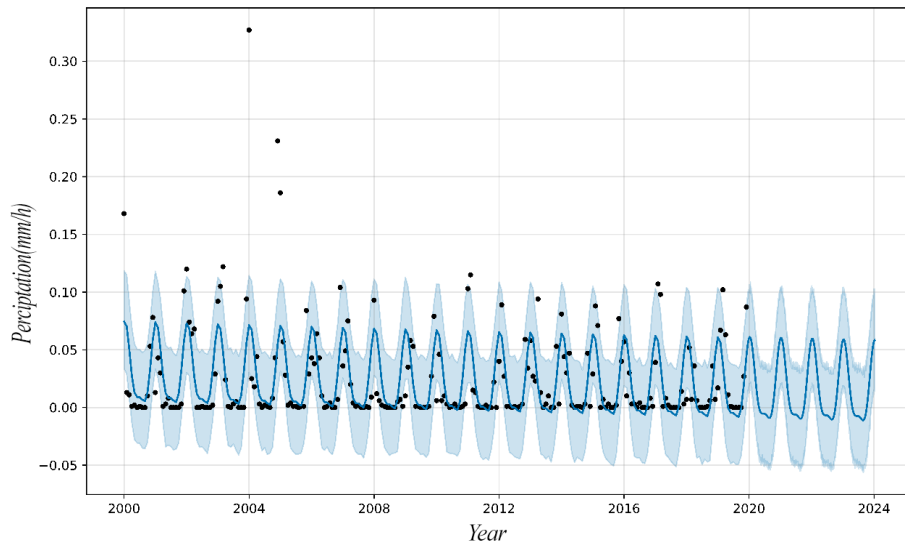
بررسی سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه نشان‌دهنده تغییرات شدید در بازه زمانی مورد مطالعه است. قبل از سال ۲۰۰۸ مقادیر سطح آب‌های زیرزمینی مثبت بوده، اما بعد از سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۷ تغییرات سطح آب زیرزمینی روند نزولی داشته و مقدار آن تا ۱۰- سانتی‌متر هم رسیده است که نشان از افت قابل توجه سطح آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه است. در ارزیابی نتایج آزمون من-کندال بر روی میانگین سالیانه سطح آب زیرزمینی فرض H_0 رد می‌شود. با پذیرفته شدن فرض H_1 در آزمون من-کندال وجود روند نزولی در این داده‌ها اثبات می‌شود (جدول ۳). با بررسی روند تغییرات دمای سطح زمین، یک افزایش جزئی دما برای منطقه مورد مطالعه نمایان می‌شود. داده‌های دما نشان می‌دهد که در ۵ سال اول تحقیق، میانگین دما ۳۰۳ کلوین و در ۵ سال آخر میانگین دما برابر ۳۰۶ کلوین است که نشان‌دهنده افزایش ۳ درجه کلوین در طی این سال به صورت میانگین ۵ ساله است. بر اساس ارزیابی آزمون من-کندال دما (جدول ۳)، به دلیل کوچک‌تر بودن p value از α در سطح معنی دار ۹۵ درصد فرض H_0 رد می‌شود و فرض H_1 پذیرفته می‌شود که این به معنای وجود روند صعودی در داده‌های دما است. آزمون من-کندال (جدول ۳) بر روی داده‌های بارندگی نشان می‌دهد که روند معنادار در تغییرات بارندگی وجود ندارد.



شکل ۳. نمودار پیش‌بینی مدل Prophet برای سطح آب‌های زیرزمینی
 Fig. 3. Prediction chart of the Prophet model for groundwater level



شکل ۴. روند تغییرات سالانه و ماهانه سطح آب‌های زیرزمینی با مدل Prophet
 Fig. 4. Trend of annual and monthly changes in groundwater level with the Prophet model

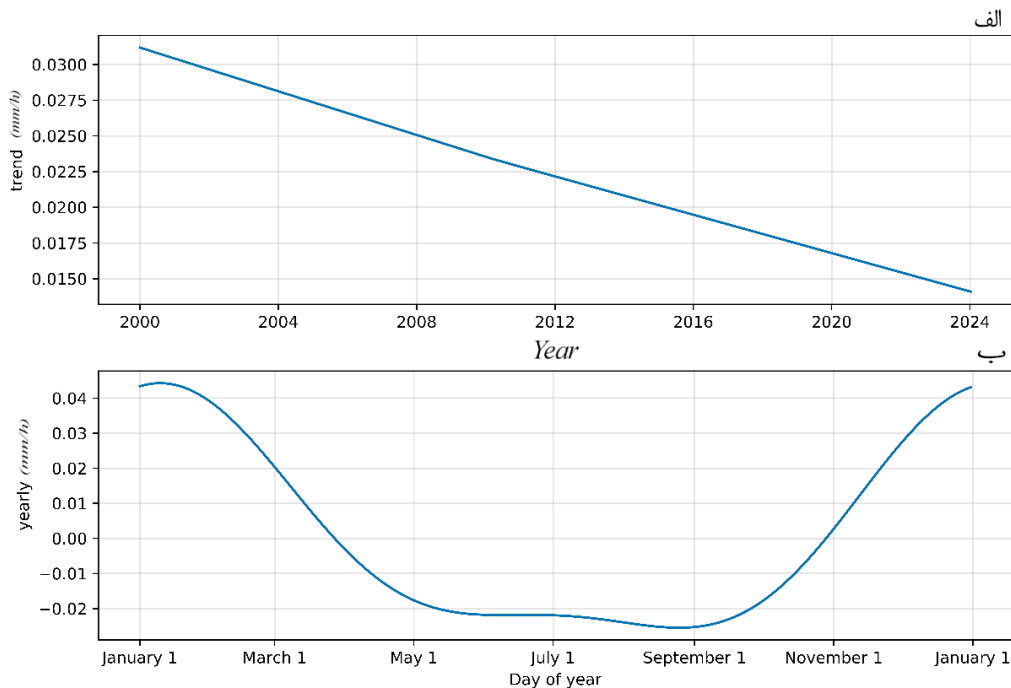


شکل ۵. نمودار پیش‌بینی مدل Prophet برای بارش

Fig. 5. Prediction chart of the Prophet model for precipitation

ماه‌های خرداد تا مهر مقدار بارش به کمترین میزان می‌رسد و در ماه‌های آبی تا اواسط دی، مقدار بارش روند صعودی دارد.

شکل ۶-الف نشان‌دهنده روند نزولی بارش با شیب کم در سال‌های مورد بررسی است و شکل ۶-ب نشان می‌دهد که بین

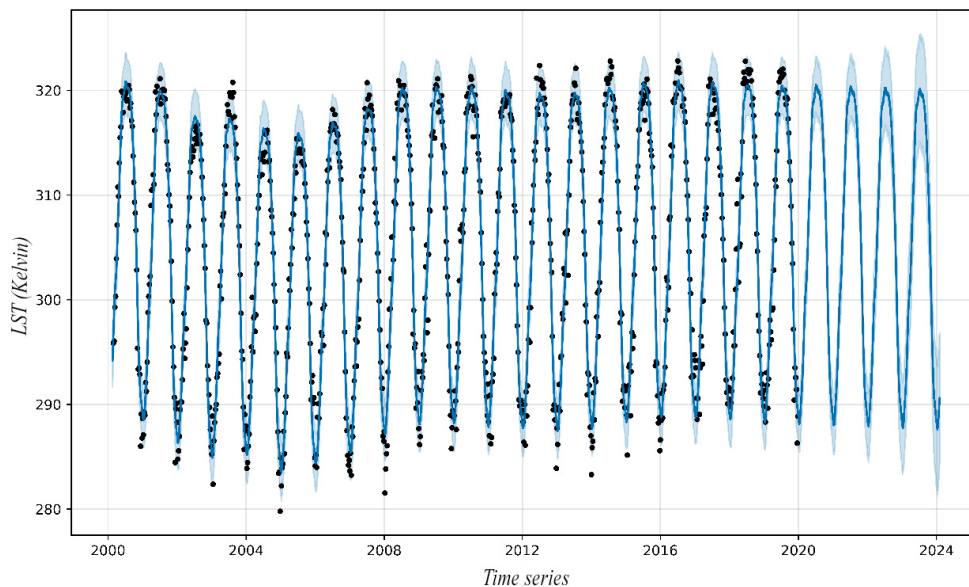


شکل ۶. روند تغییرات سالانه و ماهانه بارش با مدل Prophet

Fig. 6. Trend of annual and monthly changes in precipitation with the Prophet model

این پیش‌بینی نیز داده‌های پرت در نظر گرفته نشده‌اند. حاشیه خطای این پیش‌بینی متغیر است و به‌طور میانگین ± 5 کلوین است.

شکل ۷ خروجی مدل Prophet را برای مقادیر دما در ۱۵۰۰ روز آینده (از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۲۴) نشان می‌دهد که دارای روند فصلی است و مقدار نوسان نسبتاً بالایی دارند.



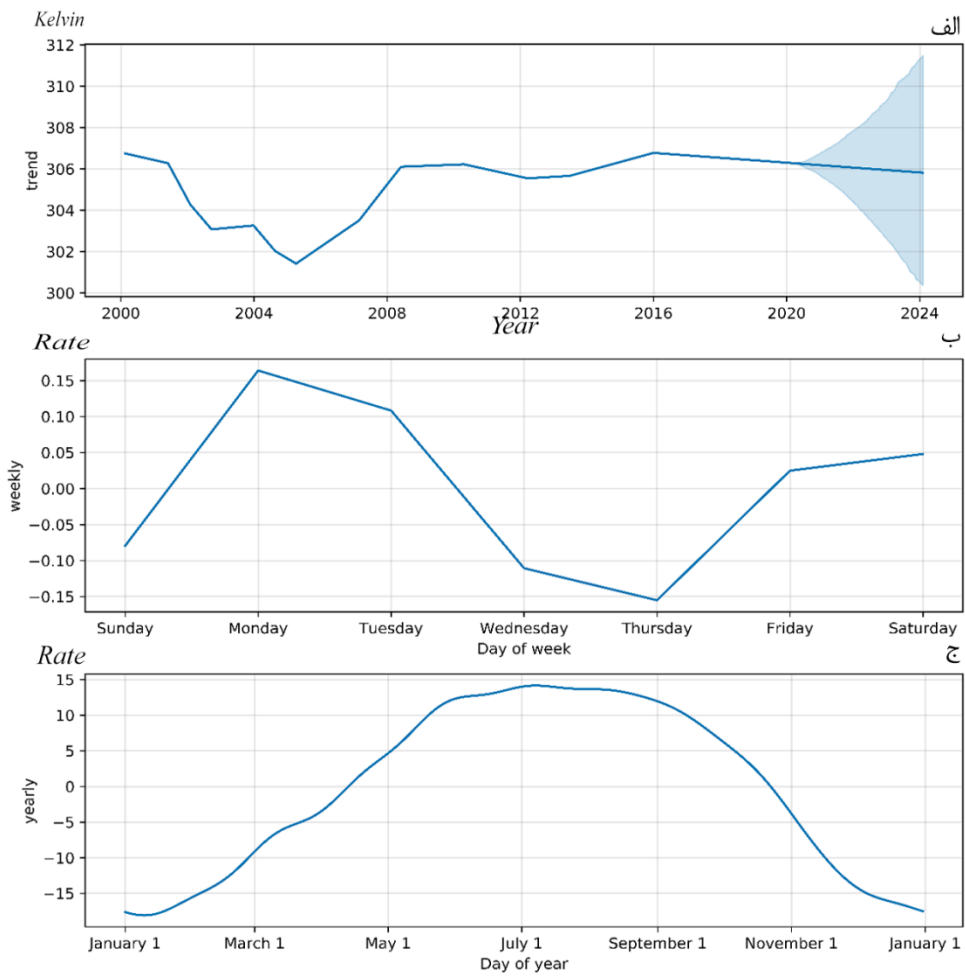
شکل ۷. نمودار پیش‌بینی مدل Prophet برای دما

Fig. 7. Prediction chart of the Prophet model for Land surface temperature

در ماه‌های بعدی روند نزولی دارد. روند ماهانه دما تقریباً برعکس روند ماهانه بارش است.

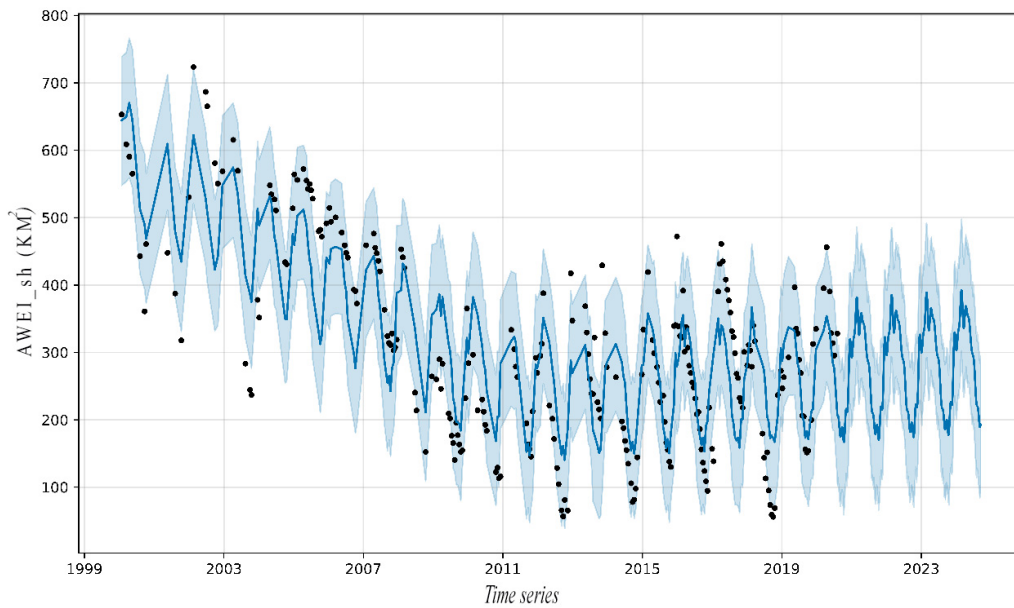
برای شاخص آب باوجود داده‌های پرت مدل Prophet توانسته، پیش‌بینی نسبتاً دقیقی انجام دهد که فصلی بودن تغییرات مقدار این شاخص در آن قابل مشاهده است (شکل ۹). رنگ آبی کم‌رنگ احتمال نوسان در پیش‌بینی را نشان می‌دهد. در شکل ۹، مقادیر شاخص از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۲۴ پیش‌بینی شده است.

در شکل ۸- الف روند سالانه دما بعد از سال ۲۰۱۶ تغییرات زیادی ندارد، بااین‌حال مدل Prophet حاشیه خطای بالایی را برای آن در نظر گرفته است که ناشی از نوسان شدید داده‌های دما است. خروجی این مدل روند هفتگی را نیز نشان می‌دهد (شکل ۸- ب)، اما با توجه به نوسان نامفهوم آن و منطقی نبودن روند هفتگی می‌توان آن را تصادفی دانست. در روند ماهانه (شکل ۸- ج)، مقدار دما در حدفاصل خرداد تا مهر زیاد شده و



شکل ۸. روند تغییرات سالانه، ماهانه و هفتگی دما با مدل Prophet

Fig. 8. Trend of annual and monthly and weekly changes in for LST with the Prophet model

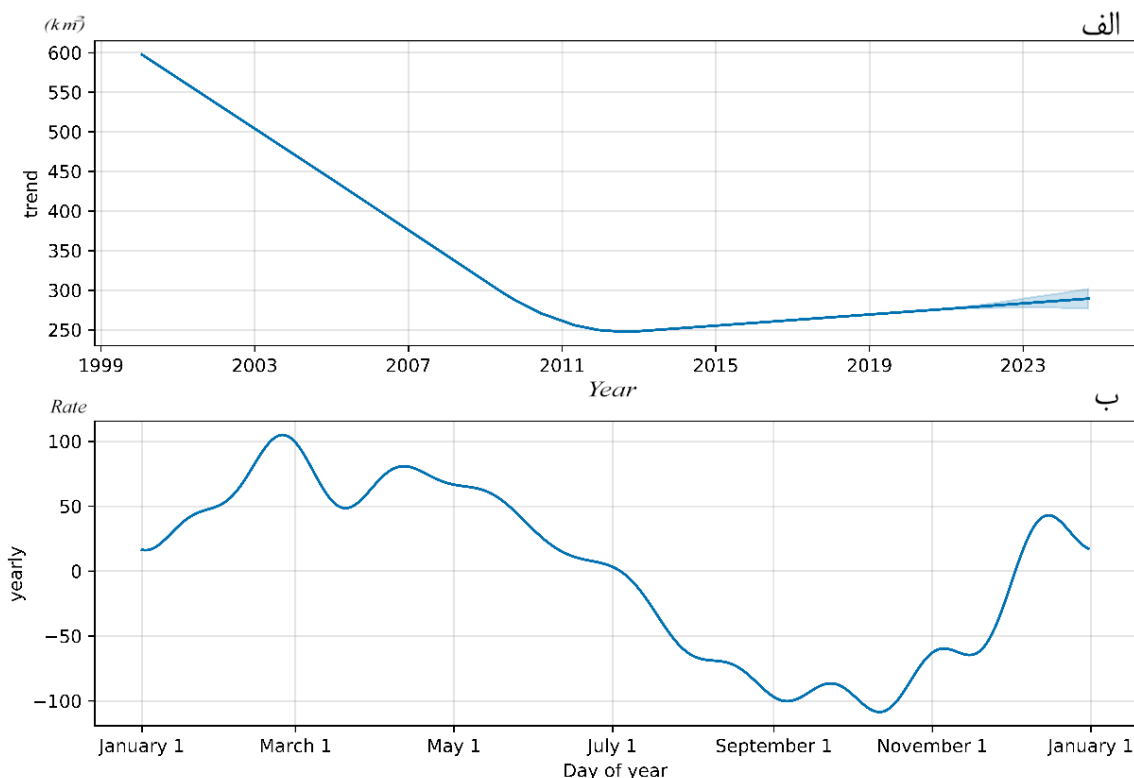


شکل ۹. نمودار پیش‌بینی مدل Prophet برای شاخص آب

Fig. 9. Prediction chart of the Prophet model for Water area

روند تغییرات در طی یک سال نشان می‌دهد که مساحت پهنه آبی در فصل تابستان هر سال به کمترین میزان خود می‌رسد و حداکثر مساحت در فصل بهار دیده می‌شود.

در شکل ۱۰-الف نشان داده شده است که مقادیر شاخص آب تا سال ۲۰۱۲ روند نزولی شدید داشته است و این روند در همین سال متوقف شده و سپس با شیب کم صعودی می‌شود. میزان خطای مدل پیش‌بینی ± 12.5 کیلومتر مربع است. بررسی



شکل ۱۰. روند تغییرات سالانه و ماهانه شاخص آب با مدل Prophet

Fig. 10. Trend of annual and monthly changes in Water area with the Prophet model

دقیق و همچنین عملکرد مناسب مدل Prophet در تشخیص فصلی بودن پارامتر دما است. شایان ذکر است که به دلیل وجود مقادیر صفر در داده‌های بارش، امکان در صدگیری و مقایسه این معیار وجود ندارد؛ اما در شکل ۱۴ می‌توان میزان تناسب مدل را مشاهده کرد.

طبق جدول ۴ پیش‌بینی پهنه آبی دارای $24/85\%$ خطا است و این خطا نشان‌دهنده این است که مدل توانسته در حد قابل قبولی مساحت را متناسب با مقادیر واقعی پیش‌بینی کند. خطای پیش‌بینی مقادیر آب زیرزمینی $19/8\%$ است. میزان خطا در پیش‌بینی دما، $0/61\%$ است. میزان خطای پایین به دلیل وجود داده‌های

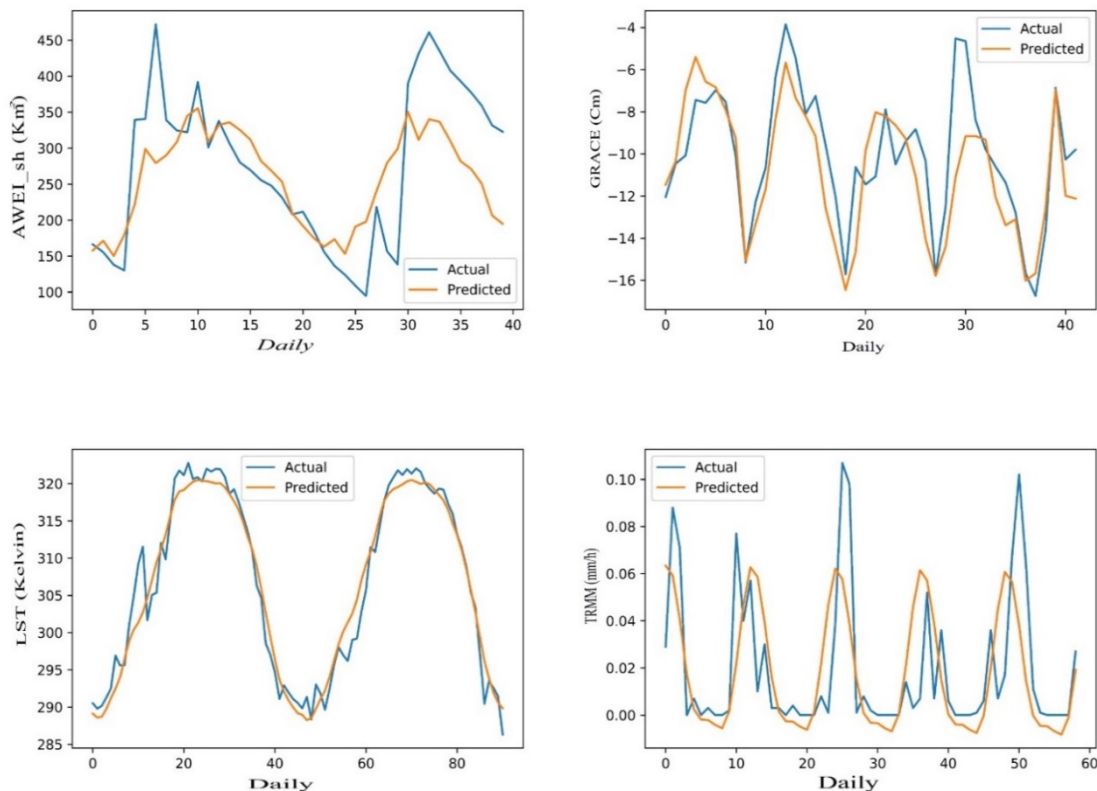
جدول ۴. خطای MAE و MAPE پارامترها

Table 4. MAE and MAPE Errors

خطا	بارش	سطح آب	آب زیرزمینی	دما
MAE	۰/۰۲۱	۶۰/۳۱۰	۱/۵۶۶	۱/۸۵۶
MAPE	-	۲۴/۸۵۵	۱۹/۸۹۵	۰/۶۱۰

خطا بر y true (مقادیر واقعی) $\times 100$ است که برای مجموعه داده‌هایی خطا در آن‌ها ۰ یا نزدیک به ۰ است فرآیند تقسیم در آن‌ها اتفاق نمی‌افتد. مدل Prophet تناسب نسبتاً بالایی را با در نظر نگرفتن مقادیر پرت نشان می‌دهد که به‌خوبی توانسته الگوهای فصلی بودن داده‌های بارش را در نظر بگیرد. در ارزیابی مدل Prophet مقادیر حداقل با درصد خطای کمتری پیش‌بینی شده‌اند و بیشتر خطاهای مشاهده‌شده در مقادیر حداکثر است. این مسئله می‌تواند ناشی از این علت باشد که بیشتر داده‌های پرت دارای مقادیر بالا هستند.

نمودار تناسب مقادیر پیش‌بینی‌شده در مقابل مقادیر واقعی در شکل ۱۵ نمایش داده شده است. یکی از ویژگی‌های مدل Prophet، ارزیابی پیش‌بینی با استفاده از داده‌های موجود است، به‌طوری‌که نتایج را بر اساس داده‌های موجود سالم ارزیابی کرده و بعد از آن خطای پیش‌بینی را مورد بررسی قرار می‌دهد. تفاوت این روش با سایر مدل‌ها تفکیک دقیق داده‌های سالم با داده‌های پرت است. بر اساس این پیش‌بینی، دما تناسب بسیار بالایی دارد. پهنه آبی و GRACE توانسته‌اند تناسب قابل قبولی را ارائه دهند. به دلیل نبود خطای MAPE برای TRMM از نمودار آن برای تحلیل استفاده می‌شود. الگوریتم خطای MAPE حاصل تقسیم



شکل ۱۱. روند تغییرات پارامترها (آبی) و پیش‌بینی مدل Prophet (نارنجی)

Fig. 11. Trend of parameter changes (blue) and Prophet model prediction (orange)

هم در طی این دوره، کاهش سطح آب تالاب را توجیه می‌کند. جالب‌توجه است که در این بازه مقادیر بارش کاهش نداشته است و دارای ثبات بوده است. در نتیجه، علت اصلی کاهش سطح تالاب، کاهش سطح آب زیرزمینی است که بر اثر برداشت

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که در طی سال‌های مورد مطالعه، سطح آب تالاب کاهش یافته است و در سال‌های آخر با ثبات نسبی همراه بوده است. کاهش چشمگیر سطح آب‌های زیرزمینی

References

1. Alic E, Das M, Kaska O. 2019. Heat flux estimation at pool boiling processes with computational intelligence methods. *Processes*, 7(5): 293. <https://doi.org/10.3390/pr7050293>.
2. Bagheri M, Bagheri A, Sohooli GA. 2016. Analysis of changes in the Bakhtegan lake water body under the influence of natural and human factors. *Iran-Water Resources Research*, 12(3): 1-11. (In Persian).
3. Bagherpour M, Seyedian M, Fathabadi A, Mohamadi A. 2017. Study of Mann-Kendall test performance in detecting the series of autocorrelation. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 11(36): 11-21. <https://dorl.net/dor/20.1001.1001.20089554>. (In Persian).
4. Chen L, Jin Z, Michishita R, Cai J, Yue T, Chen B, Xu B. 2014. Dynamic monitoring of wetland cover changes using time-series remote sensing imagery. *Ecological Informatics*, 24: 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2014.06.007>.
5. Endter-Wada J, Kettenring KM, Sutton-Grier A. 2020. Protecting wetlands for people: Strategic policy action can help wetlands mitigate risks and enhance resilience. *Environmental Science & Policy*, 108: 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.01.016>.
6. Fan D, Wu H, Dong G, Jiang X, Xue H. 2019. A Temporal Disaggregation Approach for TRMM Monthly Precipitation Products Using AMSR2 Soil Moisture Data. *Remote Sensing*, 11(24): 2962. <https://doi.org/10.3390/rs11242962>.
7. Feyisa GL, Meilby H, Fensholt R, Proud SR. 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140: 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>.
8. Gulácsi A, Kovács F. 2020. Sentinel-1-imagery-based high-resolution water cover detection on wetlands, Aided by Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(10): 1614. <https://doi.org/10.3390/rs12101614>.
9. Halabian AH, Shabankari M. 2016. Study the trend of temporal-spatial variation in mesopotamian Marshlands and effective factors. *Human & Environment*, 14(4): 9-24. (In Persian).
10. Hu T, Liu J, Zheng G, Zhang D, Huang K. 2020. Evaluation of historical and future wetland degradation using remote sensing imagery and land use modeling. *Land Degradation & Development*, 31(1): 65-80. <https://doi.org/10.1002/ldr.3429>.
11. Iguchi T, Kozu T, Meneghini R, Awaka J, Okamoto Ki. 2000. Rain-profiling algorithm for the TRMM precipitation radar. *Journal of applied meteorology*, 39(12): 2038-2052. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<2038:RPAFTT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<2038:RPAFTT>2.0.CO;2).

بی‌رویه از آب زیرزمینی بوجود آمده است. این امکان وجود دارد که کاهش سطح آب تالاب سبب افزایش دمای سطح منطقه شده باشد. پیش‌بینی پارامترهای موردبررسی نشان داد که پارامترهای بارش و سطح آب‌های زیرزمینی یک‌روند نزولی در طی ۱۵۰۰ روز آینده خواهند داشت، مقادیر بارش تغییرات کم‌تر اما سطح آب‌های زیرزمینی تغییرات شدیدتری را تجربه خواهند کرد. روند تغییرات این دو پارامتر در یک سال گویای آن است که کاهش و افزایش سطح آب‌های زیرزمینی وابستگی شدیدی به بارش داشته و در ماه‌هایی که بارش کم است، سطح آب‌های زیرزمینی به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. بر اساس این مدل، دما دارای یک‌روند ثابتی است اما در ۱۵۰۰ روز آینده احتمال تغییرات وجود دارد. مدل سطح آب تالاب را با یک‌روند صعودی کند برآورد کرده است. لازم به ذکر است تفاوت میان روند در دو روش ذکرشده ناشی از در نظر گرفتن مقادیر پیش‌بینی‌شده در مدل Prophet است. خطای پیش‌بینی پارامترها، قابل قبول هستند که نشان از صحت پیش‌بینی دارد. دما تناسب بسیار بالایی را نشان داده است. پهنه‌آبی و GRACE توانسته‌اند تناسب قابل قبولی را ارائه دهند. تناسب TRMM با توجه به نمودار آن خوب است. بر اساس این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که سطح آب‌های زیرزمینی و بارش در آینده روندی نزولی خواهند داشت که باعث می‌شود سطح آب تالاب - که خود دارای احتمال نوسان در آینده است - کاهش یابد و روند به‌صورت نزولی ادامه یابد. با روند پیش‌رو، تنها راه حفظ تالاب با برنامه‌ریزی‌های مناسب است. پیشنهاد می‌شود با توجه به روند ماهانه سطح تالاب در فصل تابستان بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع آب‌های زیرزمینی صورت نگیرد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که پلتفرم گوگل ارث انجین با فراخوانی سری زمانی تصاویر بدون نیاز به اخذ تصاویر و صرف زمان و هزینه زیاد، ابزار موثری در پایش تالاب است. در مطالعات آتی می‌توان از مدل Prophet به دلیل استفاده از داده‌های گسسته و درعین‌حال ارائه دقت مطلوب در پیش‌بینی‌ها استفاده کرد.

12. Joodaki G. 2014. Earth mass change tracking using GRACE satellite gravity data. Doctoral Thesis. <http://hdl.handle.net/11250/232785>.
13. Kaplan G, Avdan U. 2018. Monthly analysis of wetlands dynamics using remote sensing data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10): 411. <https://doi.org/10.3390/ijgi7100411>.
14. Klemas V. 2011. Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques. *Journal of Coastal Research*, 27(3): 418-427. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-10-00174.1>.
15. Liu Y, Hu Y, Long S, Liu L, Liu X. 2017. Analysis of the effectiveness of urban land-use-change models based on the measurement of spatio-temporal, dynamic urban growth: A cellular automata case study. *Sustainability*, 9(5): 796. <https://doi.org/10.3390/su9050796>.
16. Mann HB. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13(3): 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.
17. Neteler M. 2005. Time series processing of MODIS satellite data for landscape epidemiological applications. *International Journal of Geoinformatics*, 1(1): 133-138.
18. Patakamuri SK, Muthiah K, Sridhar V. 2020. Long-term homogeneity, trend, and change-point analysis of rainfall in the arid district of Ananthapuramu, Andhra Pradesh State, India. *Water*, 12(1): 211. <https://doi.org/10.3390/w12010211>.
19. Saha TK, Pal S, Sarkar R. 2021. Prediction of wetland area and depth using linear regression model and artificial neural network based cellular automata. *Ecological Informatics*, 62: 101272. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101272>.
20. Sahay A, Amudha J. 2020. Integration of prophet model and convolution neural network on Wikipedia trend data. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 17(1): 260-266. <https://doi.org/10.1166/jctn.2020.8660>.
21. Salmanpour A, Salehi MH, Mohammadi J, Naderi M. 2016. Monitoring soil salinity around Bakhtegan lake, Fars province, Iran, using Landsat data. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 6(1): 177-190. <https://doi.org/10.22069/EJSMS.2016.3010>. (In Persian).
22. Tabouzadeh S, Zarei H, Bazrafshan O. 2016. Analysis of severity, duration, frequency and zoning map of meteorological drought of Bakhtegan river basin. *Irrigation Sciences and Engineering*, 38(4): 109-123. (In Persian).
23. Vishwas B, Patel A. 2020. Hands-on Time Series Analysis with Python. Springer. p. XVII, 407. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5992-4>.
24. Willmott CJ, Matsuura K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, 30(1): 79-82. <https://doi.org/10.3354/cr030079>.
25. Winter TC. 2000. The vulnerability of wetlands to climate change: a hydrologic landscape perspective 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36(2): 305-311. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04269.x>.
26. Zunic E, Korjenic K, Hodzic K, Donko D. 2020. Application of facebook's prophet algorithm for successful sales forecasting based on real-world data. *arXiv preprint arXiv:200507575*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.07575>.



Original
paper

Monitoring Bakhtegan wetland using a time series of satellite data on the Google Earth Engine platform and predicting parameters with Facebook's Prophet model

Mohsen Dastaran, Shahin Jafari, Hossein Moslemi, Sara Attarchi, Seyed Kazem Alavipanah

Received: 26 July 2021 / Received in revised form 21 September 2021 / Accepted: 26 September 2021
Available online 28 September 2021 / Available print 1 January 2023

Abstract

Background and Objective Wetlands are habitats for vegetation and wildlife and because of this, they have a high environmental value. Also, wetlands reduce soil erosion, restore aquifers, store rainwater in a flood event, and provide water for agriculture or livestock. Wetlands are vulnerable to human interventions and changes such as drainage, urban sprawl, infrastructure development, and over-exploitation of groundwater resources. Prediction of the condition of wetlands in the future requires a correct understanding of the evolution of wetlands and identifying their trend of change. Nowadays, Remote Sensing technology is widely used for mapping wetlands, and its ability to monitor the changes in wetlands regardless of the diversity of wetlands has significantly increased the

value of this science in this field. Remote Sensing can be an effective means of simulating and predicting wetland degradation processes by providing images at different times and through dynamic spatial modeling. In this study, the changes in the Bakhtegan wetland have been monitored. This wetland has high environmental and tourism importance and its drying affects negatively the living conditions and health of local people as well as tourism in the region. In addition, predictions of precipitation parameters, groundwater level, and temperature have been conducted. For this purpose, the Google Earth Engine platform was used to capture and process images. Google Earth Engine is a platform that can capture and process images in the shortest time and at high speed. In this regard, using Google Earth Engine, changes in the lake water area along with changes in temperature, groundwater level, and precipitation were extracted and monitored. Moreover, a comparison took place between these parameters to determine the changes that have taken place in the lake over the past two decades. To predict the parameters, the changing pattern was predicted and analyzed using the Prophet model. The most important advantage of the Prophet model is its ability to convert discrete data to continuous data to make the best predictions. This method automatically detects the trend of seasonal data and displays the trend of seasonal changes.

M. Dastaran¹, **Sh. Hafari**², **H. Moslemi**³, **S. Attarchi**⁴, **S. K. Alavipanah**⁵

1. MSc. Student of Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2. MSc. Student of Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
3. MSc. Student of Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Humanities, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
4. Assistant Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
5. Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

e-mail: satarchi@ut.ac.ir

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.685454>

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.4.1.5>

Materials and Methods Satellite images were acquired from the Google Earth Engine platform to monitor the wetland. Landsat 7 and 8 images were used for water body extraction, GRACE Data were

used for extraction of groundwater level changes, MODIS product was used for extraction of vegetation and wetland surface temperature, and TRMM image product was used to extract precipitation values. An automated water extraction index was used to extract the wetland body water. The groundwater level was extracted from the GRACE sensor. MODIS sensor product was used to obtain the surface temperature time series for the study area. For the extraction of precipitation time series, the monthly cumulative data of the TRMM (3B43V7) satellite with a spatial resolution of 0.25° was extracted using Google Earth Engine and the trend of changes was evaluated and analyzed. The Mann-Kendall test is one of the most widely used non-parametric tests for detecting meteorological and environmental data trends, which is used to detect a monotonic trend line since this test is a non-parametric method, it does not need that the data follow a normal distribution. The Prophet predictive model is a predictive library developed by Facebook and is available in R and Python programming languages. This library supports additive modeling methods and can properly predict discrete values continuously. This feature is called "Holiday". Another feature of this library is the automatic detection of daily, weekly, seasonal and annual trends. The mean absolute error (MAE), by default, exists in the Prophet library. This error represents a more natural standard than the mean error and unlike the RMSE error, it is unambiguous.

Results and Discussion In the present study, we monitored the Bakhtegan wetland using the Google Earth Engine platform to observe the trend of water level changes in this wetland from 2000 to 2020. In addition, Parameters were also predicted using the Prophet Prediction method which is developed and published by Facebook. By examining this trend, it can be observed that the water level of the wetland has been significantly reduced during two decades. In this regard, the trend of groundwater level, temperature, and precipitation in the area was investigated. Examining these factors, it was found that along with a 58.3% decrease in the water level of the wetland, there was a 260% decrease in the groundwater level of the region, although the amount of rainfall in the region has been less compared to other factors and has been decreased about 29%. Using Mann-Kendall statistical test, the trend of this decline was proved. To predict the parameters, the Prophet model has been able to make predictions for 1500 days as continuous data using discrete data. The output of the model has shown that for rainfall parameters and groundwater level a downward trend is predictable over the next

1500 days which is low intensity for precipitation but with high intensity for groundwater level. Temperature prediction indicated that it has a seasonal trend, and has a high amount of fluctuation within a year, but its annual trend indicates stability in the coming years. The results of the model for the water level of the wetland also show a relatively low upward trend that has a probability of change of ± 12.5 Square kilometers. Also, the error of the parameters at the 95% significant level has acceptable accuracy, which indicates the validity of the prediction. An automated water extraction index was used in this study to extract the time series of the water body of the wetland. Using the mean time series extracted, the maximum and minimum wetland's water body area belongs to 2006 with 629.23 square kilometers and 2014 with 156.82 square kilometers, respectively. The time series of changes in this wetland indicates that the water volume of the wetland has been declining in the last two decades. According to this study, it can be concluded that the trend of changes in the water level of the wetland has been decreasing. The descending changes in the lake based on the trend of changes in groundwater levels indicates a decrease in water volume in the area. Considering that the trend of precipitation changes has been stable, it can be assumed that improper management and excessive use of groundwater may be a reason for lowering the water level of the wetland. Due to the same decrease in the water level of the lake, the temperature has also decreased by about 3°C.

Conclusion According to this study, it can be concluded that groundwater levels and precipitation will have a downward trend in the future, which will lead to a decrease in the water level of the wetland, which itself has the potential to fluctuate in the future, and the downward trend continues. With the current trend, the only solution is to plan properly to preserve the wetland. If this trend continues, we will face the destruction of the wetland. Given the monthly trend of the wetland surface, it is suggested not to over-exploit groundwater resources, especially in the summer. For further research, the Google Earth Engine platform can be used without the need to download the images and spend a lot of time and money, to obtain the time series of images. Regarding the prediction, in future studies, the Prophet model can be applied, since it uses discrete data and at the same time provides the desired accuracy.

Keywords: Bakhtegan wetland, Prophet prediction model, Mann-Kendall test, Google earth engine