



بهره‌گیری از گوگل ارث انجین و داده‌های ماهواره‌ای

در پایش تغییرات زیر حوضه تالاب هورالعظیم

هادی عبدالعظیمی^۲

حشمت کرمی^۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶

چکیده

تالاب هورالعظیم اکوسیستم آبی مهمی در استان خوزستان است که از بین رفتن آن، منجر به تغییر وضعیت اقلیمی و اقتصادی-اجتماعی منطقه خواهد شد. این پژوهش به بررسی سری زمانی بدنه‌های آبی، پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، بارش، تبخیر و تعرق و سطح آب زیرزمینی تالاب هورالعظیم در دوره سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ می‌پردازد. پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی روند تغییرات پارامترهای مختلف، از آزمون من-کندال و همبستگی اسپیرمن بهره گرفته است. پردازش سری زمانی در سامانه‌ی متن‌باز گوگل ارث انجین انجام شد. در سری زمانی تراز آب زیرزمینی و پوشش گیاهی، روند معنی‌داری مشاهده نشد اما باتوجه به مقدار منفی آماره من-کندال تراز آب زیرزمینی و مقدار مثبت پوشش گیاهی، یکی از علل روند کاهشی غیر معنی‌دار سطح آب زیرزمینی می‌تواند افزایش اراضی کشاورزی و بهره‌گیری از آب‌های زیرزمینی باشد. نتایج آزمون من-کندال برای پارامتر تبخیر و تعرق، دمای سطح زمین و بارش در تالاب هورالعظیم نیز روند معنی‌داری را نشان نداد. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که بدنه‌های آبی علیرغم فرضیه‌ی پژوهش، از روند افزایشی برخوردارند. به نظر می‌رسد این موضوع نتیجه‌ی سیل‌های چند سال اخیر و دخالت‌های انسانی باشد. به‌منظور بررسی این واقعیت که تغییرات بدنه‌ها چقدر متأثر از تغییر اقلیم مثل سیلاب و سدسازی بوده است از داده‌های کاوشگر جهانی آب‌های سطحی (GSWE) بهره گرفته شد. نتایج بررسی این مجموعه داده نشان داد که وجود آب از نظر مکانی-زمانی، کاهشی و به‌شدت بحرانی است. همچنین افزایش آب فصلی بر اثر شدت بارندگی و رخداد سیل و عوامل دخالت انسانی مانند سد کرخه در بالادست تالاب هورالعظیم تأیید شد. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نیز نشان داد که تغییرات اقلیمی مانند تغییر الگوی بارش و فعالیت‌های انسانی می‌توانند به عواملی تبدیل شوند که بر سطح بدنه آبی تالاب هورالعظیم تأثیرگذار باشند. نتایج این پژوهش می‌تواند در مدیریت تالاب هورالعظیم و تالاب‌های با شرایط مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: گریس، شاخص آب، تحلیل روند، آزمون من-کندال، سیلاب

۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گرایش مطالعات آب و خاک، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه هرمزگان
heshmat0939@gmail.com

۲- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران (نویسنده مسئول) hadiabdolazimi@gmail.com

۱- مقدمه

تالاب‌ها زیست‌بوم‌های مهمی بر روی زمین هستند که خدماتی از جمله ذخیره آب و کربن، حفاظت و بهبود کیفیت آب، تأمین زیستگاه‌های ضروری و دسترسی به غذا را برای ساکنین اطراف تالاب ارائه می‌دهند (et al, 2021). (L. Peters, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2020; Schmitt And Brisco, 2013; Adeli, et al, 2020) علی‌رغم اهمیت تالاب‌ها، این اکوسیستم‌ها در حال حاضر با برداشت‌های شدید آب برای آبیاری، توسعه صنعت، ساخت مخازن و سدها (Schmitt And Brisco, 2013; Adeli, et al, 2020) و تغییر الگوی بارندگی (Cowardin, et al, 1979; Adeli, et al, 2020) تهدید می‌شوند. نظارت و پایش این توده‌های آبی می‌تواند تغییرات مکانی و وسعت و کیفیت آن‌ها را قانون‌مند سازد و دستگاه‌های اجرای را مجاب در حفظ و نگهداری این عرصه‌ها نماید (et al, 2010; Dang, et al, 2021; Akumu, et al, 2020) پژوهش‌های متعددی تأثیر فعالیت‌های انسانی، از جمله کشاورزی، شهرنشینی و اقدامات مدیریتی/بازسازی را بر تغییر تالاب مورد بررسی قرار داده‌اند (Kirwan and Magonigal, 2013; Pijl et al., 2018; Viero et al., 2019; Zorrilla-Miras et al, 2020). Wang, et al, 2021; et al. (2014) روش‌های مختلفی برای پایش و نظارت بر تغییرات تالاب‌ها وجود دارد از جمله روش‌های سنتی و اندازه‌گیری‌های میدانی که البته بسیار زمان‌بر و مستلزم صرف هزینه‌ی زیاد هستند لذا استفاده از روش‌های سنتی و بازدیدهای میدانی برای نظارت مکرر تالاب‌ها در دنیای امروز دور از انتظار به نظر می‌رسد (Adam, et al, 2009; Adeli, et al, 2020). بنابراین استفاده از روش‌های دورسنجی ماهواره‌ای شرایطی را فراهم می‌سازد که در بازه‌های زمانی مختلف بتوان ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تالاب‌ها را پایش نمود (Lefebvre, et al, 2019).

در سال‌های اخیر، پژوهشگران متعددی به اهمیت سنجنش ازدور در مدیریت و پایش تالاب‌ها اشاره داشته‌اند. پژوهش (Guo, et al, 2017) به بررسی پیشینه کاربرد سنجنش ازدور در تالاب پرداخته و هفت نوع سنجنده‌ی مختلف و مزیت آن‌ها را برای تحقیقات تالاب مورد بررسی قرار داده است.

در این مطالعه به ادغام داده‌های مختلف ماهواره‌ای مانند MODIS و Landsat، ضمن در نظر گرفتن تأثیر مقیاس، در تحقیقات تالاب‌ها تأکید شده است.

(Bhaga, et al, 2020) در پژوهشی، توانایی سنجنش ازدور ماهواره‌ای در نظارت بر منابع آبی کپ غربی، آفریقای جنوبی را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه وسعت بدنه‌های آبی با تبخیر و تعرق ماهانه، بارندگی و دما ارتباط داشت. در این پژوهش MNDVI مشتق شده از داده‌های Landsat-8 دارای بالاترین دقت بود. به منظور آشکارسازی تغییرات تالاب‌ها در بازه‌های زمانی طولانی، نیاز به پردازش تصاویر زیادی است که خوشبختانه پلت فرم گوگل ارث انجین این قابلیت را فراهم آورده تا در حداقل زمان، نتایج مورد نیاز پژوهش‌های مربوط تولید شود.

جعفری و همکاران (۱۳۹۹) در بستر گوگل ارث انجین به بررسی بدنه‌های آبی، پوشش گیاهی، تراز آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق و بارش تالاب مهارلو در دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰ در حوضه‌ی آبریز گشنگان در استان فارس پرداختند. در این پژوهش، تحلیل روند پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از آزمون من-کندال صورت گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که تغییرات بدنه‌های آبی، پوشش گیاهی، میزان بارش و تراز آب زیرزمینی به ترتیب دارای روند کاهشی، افزایشی، افزایشی و کاهشی بوده است و در رابطه با مقادیر تبخیر و تعرق، روندی مشاهده نشد.

در پژوهش (Mu, et al, 2020) از سری زمانی NDVI (۲۰۱۷-۲۰۰۰) که از تصاویر MODIS اخذ شده بود برای ثبت تغییرات وضعیت رشد پوشش گیاهی تالاب دریاچه پویانگ چین استفاده شد. نتایج کلی نشان داد سطح پوشش گیاهی ۱۵/۵٪ در محدوده دریاچه طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ افزایش داشته است. یافته‌های این مطالعه به خوبی ارتباط میان تغییرات سالانه‌ی وسعت دریاچه با کنترل عمق آب دریاچه را ارائه نمود. نظارت بر شرایط هیدرولوژیکی تالاب‌ها برای تشخیص روندهای طولانی‌مدت و مطالعه

در پژوهشی که توسط (Fadel, et al, 2020) انجام شد، با استفاده از (GEE) میزان تبخیر با سایر متغیرهای دریاچه مانند دمای سطح بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ مقایسه شد. در این پژوهش، کمترین میزان تبخیر ماهانه در ماه دسامبر (۳۰ میلی‌متر) و بیشترین مقدار مربوط به ماه آگوست (بالای ۲۰۰ میلی‌متر) بود. بیشترین تغییرات نیز بین ماه می و آگوست دیده شد. یافته‌های این پژوهش، بر رابطه بین تبخیر و متغیرهایی مانند دمای سطح تأکید داشت.

در پژوهش (Pekel, et al., 2016) نقشه‌برداری با وضوح بالا از آب‌های سطحی جهانی به عمل آمد و تغییرات درازمدت آن مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه پارامترهای این مجموعه داده مانند وجود آب، شدت تغییرات آب و تغییر فصلی آب‌های سطحی معرفی شدند. همچنین در پژوهش (Ashok, et al, 2021) از داده‌های کاوشگر جهانی آب‌های سطحی (GSWE) به منظور بررسی سری زمانی پهنه آبی و پوشش گیاهی تالاب رنوکا هند استفاده شد. نتایج این پژوهش بیانگر درک بهتر تغییرات مکانی-زمانی بدنه‌های آبی با استفاده از این مجموعه داده بود.

با توجه به کارکردهای اقتصادی-اجتماعی تالاب هورالعظیم بر معیشت جوامع حاشیه تالاب و نقش آن در کنترل گرد و غبارها، بررسی تغییرات آن به منظور بهبود مدیریت و حفاظت از این منطقه حائز اهمیت است. بررسی منابع نشان می‌دهد پژوهشگران مختلف دنیا توانسته‌اند نتایج ارزنده‌ای را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سامانه‌ی گوگل ارث انجین در راستای مدیریت مطلوب اکوسیستم تالاب‌ها به جامعه‌ی علمی و اجرایی عرضه نمایند. لذا با توجه به اینکه در حال حاضر، تالاب هورالعظیم با مشکلات مختلفی برای ادامه‌ی بقا دست‌وپنجه نرم می‌کند، هدف از انجام این پژوهش بهره‌گیری از گوگل ارث انجین و داده‌های ماهواره‌ای به منظور مطالعه‌ی عوامل اثرگذار مانند بارش، تبخیر و تعرق، سطح آب زیرزمینی، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین بر روند تغییرات تالاب است.

فرآیندهای کنترل تعادل آب تالاب‌ها حیاتی است (Conly And Van der Kamp, 2001)

در پژوهش (Landerer, et al, 2020)، به اهمیت و نقش مهم آب‌های زیرزمینی در به حداقل رساندن پیامدهای خشکسالی اشاره شده است. در این مطالعه از داده‌های ماهواره‌ی GRACE-FO استفاده شد. در طول دوره مورد مطالعه، GRACE-FO تغییرات نوسانات آب زیرزمینی را نشان داد. این محققین در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند، با تفاوت فاصله‌ی ۱۱ ماهه در برداشت ماهواره GRACE تفاوت قابل‌توجهی در نتایج ناشی از داده‌های GRACE و GRACE-FO وجود ندارد. علاوه بر تغییرات تراز آب، تغییر در افزایش دما امکان دارد بیوژئوشیمی و عملکرد تالاب را تا حدی تغییر دهد که این موضوع می‌تواند تأثیر بسزایی در نحوه‌ی عملکرد تالاب داشته باشد (Salimi, et al, 2021).

(Song, et al., 2016) تغییرات مکانی و زمانی دمای سطح دریاچه در سراسر فلات تبت را با استفاده از محصول MODIS LST (MOD11A2) بررسی نمودند. نتایج نشان داد عمق، مساحت، حجم آب دریاچه، موقعیت جغرافیایی و منابع تأمین آب، بر تغییرات مکانی و زمانی دمای سطح دریاچه در سراسر فلات تبت تأثیر می‌گذارد. علاوه بر دما، میزان تغییرات بارش نیز تأثیر بسزایی در روند تغییرات سطح و حجم آب تالاب‌ها دارند.

(Sacré Regis, et al., 2020) در پژوهش خود به منظور تغییرات در شدت و مقدار بارش غرب آفریقا، از مجموعه داده CHIRPS^۱ استفاده کردند. این مطالعه بر تغییرات زمانی و مکانی شش شاخص آب و هوایی سالانه در پنج کشور طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۵ تمرکز داشت. نتایج این پژوهش نشان داد میانگین بارندگی منطقه‌ای در هر پنج کشور نسبت به گذشته افزایش داشته است. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر روند تغییرات سطح و حجم آب تالاب‌ها، میزان تبخیر و تعرق منطقه‌ای است که تالاب در آن واقع شده است.

1- the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station

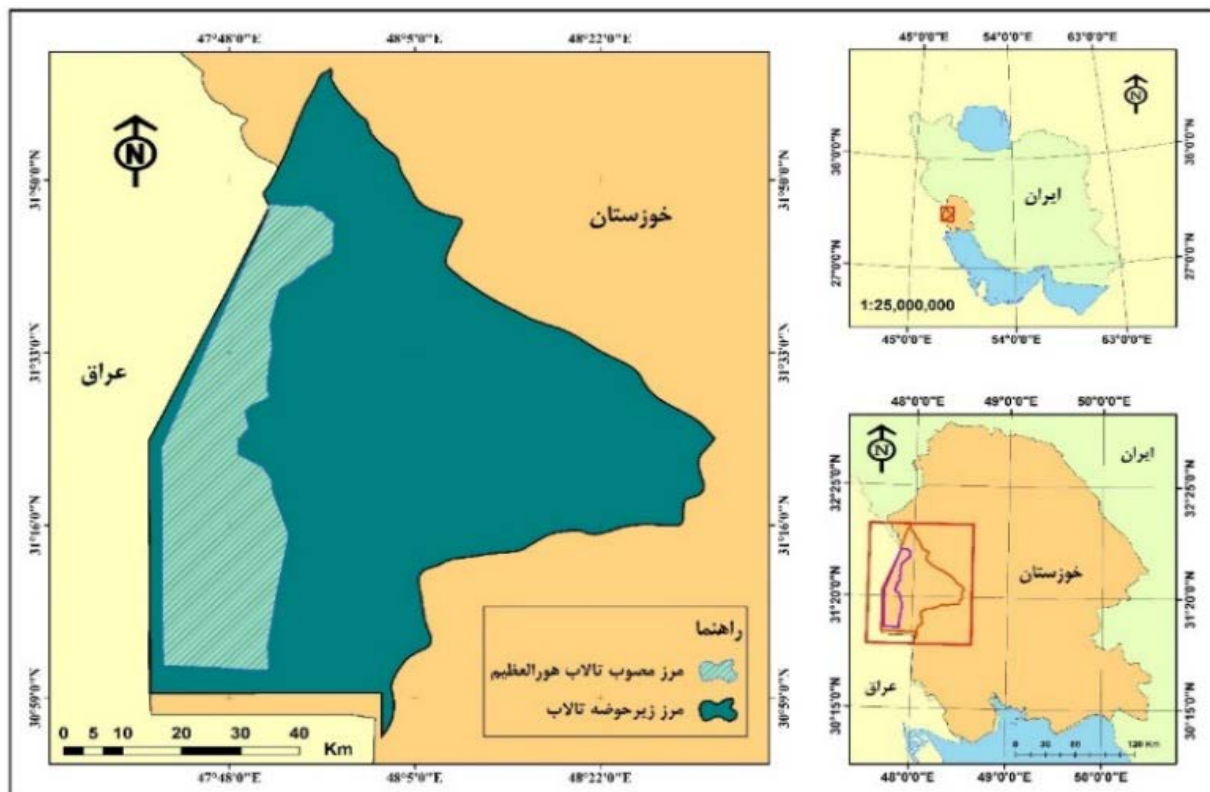
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی محدوده مورد مطالعه

تالاب بزرگ هویزه یا هورالعظیم در غرب استان خوزستان در انتهای رود کرخه در منطقه مرزی دشت آزادگان بین دو کشور ایران و عراق واقع شده است. مساحت کل تالاب حدود ۵۰۰ هزار هکتار است که حدود ۱۱۷ هزار هکتار آن در بخش ایران قرار دارد. دارای طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی است (نگاره ۱). بیش از ۷۰ درصد از جامعه گیاهی هور را نی‌ها تشکیل می‌دهند (امینی نسب و همکاران، ۱۳۹۱). تالاب هورالعظیم از نظر اقلیمی در منطقه گرم و خشک قرار دارد به طوری که میزان بارش آن اندک و دما بسیار بالاست. همچنین میانگین تبخیر و تفرق سالانه آن برابر ۳۶۴۱ میلی‌متر است (عباسی و همکاران، ۱۴۰۰).

۲-۲- آماده‌سازی داده‌ها

در این پژوهش برای تهیه داده‌های بدنه آبی، پوشش گیاهی، بارش، تبخیر و تفرق و دما از سیستم GEE استفاده شده است. Google Earth Engine یک کاتالوگ چند پتابیتی از تصاویر ماهواره‌ای و مجموعه داده‌های مکانی را با قابلیت‌های تجزیه و تحلیل در مقیاس جهانی ترکیب می‌کند. متخصصین، محققان و توسعه‌دهندگان از Earth Engine برای تشخیص تغییرات، نقشه‌برداری از روندها



نگاره: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (زمین و محیط) / شماره ۱۲۱ / بهار ۱۳۹۵

جدول ۱: مشخصات داده‌های ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش

نام متغیر	نوع محصول	قدرت تفکیک مکانی	زمان در دسترس بودن داده‌ها	قدرت تفکیک زمانی
MNDWI	MOD09A1.006	500m	۲۰۰۰-۲۰۲۲	8-Day
NDVI	MOD13Q1.006	250m	۲۰۰۰-۲۰۲۲	16-Day
Precipitation	UCSB-CHG/CHIRPS/ PENTAD	5566m	۱۹۸۱-۲۰۲۲	Month, Pentad, Year
Evapotranspiration	MOD16A2.006	500m	۲۰۰۱-۲۰۲۲	8-Day
Water equivalent thickness	GRACE-FO	0.5(arc) cm	۲۰۰۲-۲۰۲۲	Monthly
LST	MOD11A2.006	1Km	۲۰۰۰-۲۰۲۲	8-Day

رابطه (۱)
$$MNDWI = \frac{Green(B4) - SWIR(B7)}{Green(B4) + SWIR(B7)}$$
 در این شاخص از باندهای سبز (Green) و مادون قرمز موج کوتاه SWIR^۲ یا مادون قرمز میانی (MIR) به منظور بارز کردن ویژگی‌های آب سطحی در تصاویر استفاده شده است (Xu, 2006).

۲-۳-۲- شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده^۳

محصول MOD13Q1 V6، یک عدد شاخص گیاهی (VI) را بر اساس هر پیکسل ارائه می‌دهد. محصول MODIS NDVI از بازتاب‌های سطحی تصحیح شده اتمسفر محاسبه شده‌اند که برای آب، ابرها، ذرات معلق در هوا و سایه‌های ابر ماسک شده‌اند (Kamel and et al, 2015). شاخص NDVI اغلب در سراسر جهان برای نظارت بر خشکسالی و نقشه‌برداری بیابان‌زایی استفاده می‌شود (Lillesand 2004). معادله‌ی NDVI برای باندهای داده‌های MODIS بر اساس رابطه (۲) است:

$$NDVI = \frac{NIR(B2) - Red(B1)}{NIR(B2) + Red(B1)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

این شاخص علمی مقادیری بین ۱/۰- و ۱/۰+ را تولید می‌کند که نشان‌دهنده تراکم پوشش گیاهی است (Lillesand 2004).

و تعیین کمیت تفاوت‌ها در سطح زمین استفاده می‌کنند (Andrew, 2022). در این پژوهش، روند داده‌ها در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۱ مشخصات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۳-۳- بررسی پارامترها

۲-۳-۱- شاخص اصلاح شده‌ی تفاضلی نرمال شده آب^۱
محصول MOD09A1.006 تخمینی از بازتاب طیفی سطحی باندهای ۱ تا ۷ MODIS Terra/Aqua را با قدرت تفکیک مکانی متوسط ارائه می‌دهد که برای شرایط جوئی مانند گازها، ذرات معلق در هوا و پراکندگی ریلی تصحیح شده است (Eric, 2015). به منظور استخراج بدنه آبی، شاخص اصلاح شده‌ی تفاضلی نرمال شده آب که توسط (Xu, 2006) ارائه شده است، مورد استفاده قرار گرفت. MNDWI می‌تواند ویژگی‌های آب‌های سطحی را افزایش داده و درعین حال به طور مؤثر از نویز مناطق ساخته شده و همچنین پوشش گیاهی و نویز خاک جلوگیری کند و یا آن‌ها را حذف نماید (Xu, 2006). بر این اساس در پژوهش حاضر از MNDWI به منظور استخراج بدنه‌های آبی در محدوده‌ی مورد مطالعه استفاده شد. معادله‌ی این شاخص برای باندهای داده‌های MODIS به شرح رابطه (۱) است.

2- Short-Wave InfraRed

3- Normalized Difference Vegetation Index

1- The Modified Normalized Difference Water Index

۳-۳-۲- سطح آب زیرزمینی

۲-۳-۶- بارش

با توجه به فقدان داده‌های مشاهدات زمینی، در این پژوهش از تخمین‌های بارش ماهواره‌ای استفاده شد. به این منظور از داده‌های بارندگی CHIRPS^۲ نسخه ۲ که توسط گروه مخاطرات آب و هوایی دانشگاه کالیفرنیا تهیه شده بهره گرفته شد. این تصاویر ماهواره‌ای با وضوح $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ، شبکه‌ای مناسب برای تحلیل روند و پایش خشکسالی فصلی را فراهم نموده‌اند. این مقادیر در ابتدا به صورت پنج‌روزه (۵ روز) محاسبه می‌شوند و می‌توانند به صورت تجمع (دهه‌ای و ماهانه) و یا تفکیک‌شده (روزانه) تهیه شوند (UC, Santa Barbara, 2022).

۲-۳-۷- آزمون من-کندال

در این پژوهش از آزمون من-کندال به منظور ارزیابی و تجزیه و تحلیل روند تغییرات پارامترهای محیطی استفاده شد. آزمون روند Mann-Kendall تاکنون رایج‌ترین روش برای تشخیص روند در داده‌های سری زمانی پارامترهای آب و هواشناسی و هیدرولوژیکی بوده است. آماره آزمون روند من-کندال به شکلی است که نخست باید مقدار S را که مربوط به همه‌ی شمارش‌ها می‌باشد، مشخص نمود.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i)$$

رابطه (۳)

در رابطه (۳) n تعداد داده‌ها، X_i و X_j به ترتیب مقدار داده‌ها در سری زمانی i و j و علامت تابع به صورت رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} 1; & \text{if } X_j > X_i \\ 0; & \text{if } X_j = X_i \\ -1; & \text{if } X_j < X_i \end{cases}$$

رابطه (۴)

Grace Phosty-On (Grace-Fo) میراث گریس را برای ردیابی حرکت آب در سراسر کره زمین ادامه می‌دهد. پایش ذخیره آب زیرزمینی، میزان آب در دریاچه‌ها، منظره‌ای منحصربه‌فرد از آب و هوای زمین را فراهم می‌سازد و فواید بسیار زیادی برای بشر دارد (NASA JPL, 2022). در این پژوهش از ابزار تجزیه و تحلیل داده‌های^۱ NASA GRACE (DAT) استفاده شد. به دلایل محاسباتی، تمام داده‌ها به یک شبکه $1^\circ \times 1^\circ$ درجه درونیابی شده‌اند. در این ابزار برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی از الگوریتم `lwe_thickness_jpl` استفاده می‌کند. این الگوریتم یک نمودار میانگین تغییرات ذخایر آب زیرزمینی را نشان می‌دهد (NASA JPL, 2022). از طریق لینک <https://grace.jpl.nasa.gov/data/data-analysis-tool> می‌توان به این ابزار دسترسی داشت.

۲-۳-۴- تبخیر و تعرق

محصول Mod16A2.006، میزان تبخیر و تعرق یا شار گرمای نهان را نشان می‌دهد و یک محصول ترکیبی ۸ روزه با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر است. الگوریتم مورد استفاده برای جمع‌آوری محصول داده MOD16 بر اساس منطق معادله پنمن-مانیتث است که شامل ورودی داده‌های هواشناسی روزانه و داده‌های MODIS مانند ویژگی‌های گیاهی، آلبدو و پوشش زمین است (Steven and et al. 2019).

۲-۳-۵- دمای سطح زمین (LST)

این محصول MOD11A2 V6 میانگین دمای ۸ روزه سطح زمین (LST) را در یک شبکه 1200×1200 کیلومتری فراهم می‌کند. هر عدد پیکسل در MOD11A2 میانگین ساده‌ای از تمام پیکسل‌های LST MOD11A1 است که در دوره‌ی ۸ روزه جمع‌آوری شده است. در این محصول به همراه هر دو باند مربوط به دمای روز و شب، باندهای ۳۱ و MODIS ۳۲ و هشت لایه مرئی نیز وجود دارد (Zhengming, 2013).

2- CHIRPS Pentad: Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations (version 2.0 final)

1- Data Analysis Tool

۲-۳-۸- کاوشگر جهانی آب‌های سطحی (GSWE)

مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا این مجموعه داده آب جدید را در چارچوب برنامه کوپرنیکوس توسعه داده است. این نقشه‌ها مکان و توزیع زمانی سطوح آب را در مقیاس جهانی در طول ۳۲ سال گذشته نشان می‌دهند (European Commission, JRC., 2022). این مجموعه داده از سایت <https://global-surface-water.appspot.com/download> قابل دریافت است. مطابق قوانین برنامه کوپرنیکوس، برای استفاده از این محصولات به عنوان نقشه در پژوهش‌ها باید داده‌ها به منبع 'Source: EC 'JRC/Google' ارجاع داده شود. در این پژوهش از مجموعه داده کاوشگر جهانی آب‌های سطحی (GSWE) به عنوان مکمل برای بررسی دقیق‌تر تغییرات بدنه آبی و تأثیرات تغییر اقلیم مانند سیلاب بر زیرحوضه تالاب هورالعظیم استفاده شد. نگاره (۲) مراحل کلی پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تجزیه و تحلیل روند و همبستگی پارامترها

۳-۱-۱- تجزیه و تحلیل نتایج آزمون من کندال

در این پژوهش از شاخص اصلاح‌شده‌ی تفاضلی نرمال شده آب (MNDWI) برای بررسی روند بدنه‌های آبی در زیر حوضه تالاب هورالعظیم استفاده شد. همان‌طور که نگاره (۳) نشان می‌دهد از سال ۱۳۸۶ (۲۰۰۷) تا ۱۳۹۷ (۲۰۱۹) روند بدنه آبی افزایشی است که سال ۱۳۸۶ حداقل آن و سال ۱۳۹۷ حداکثر آن است و علت آن آبیگری ۹۰ درصدی تالاب هورالعظیم در قسمتی که مربوط به کشور ایران می‌باشد، بوده است (مولا، ۱۳۹۷؛ سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۹). همچنین علت افزایش بدنه آبی در سال ۱۳۹۵ (۲۰۱۷)، بارش‌های شدیدی برابر با ۱۶۳/۸ میلی‌متر بود (زین‌الدینی و همکاران، ۱۳۹۷) که منجر به وقوع سیل و سرریز شدن سد کرخه در زیر حوضه تالاب هورالعظیم شد (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۵). در سال ۱۳۹۷ و سال‌های ۱۳۹۸ (۲۰۲۰)، ۱۳۹۹

مقدار Z استاندارد به صورت رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}; & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}; & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

رابطه (۵)

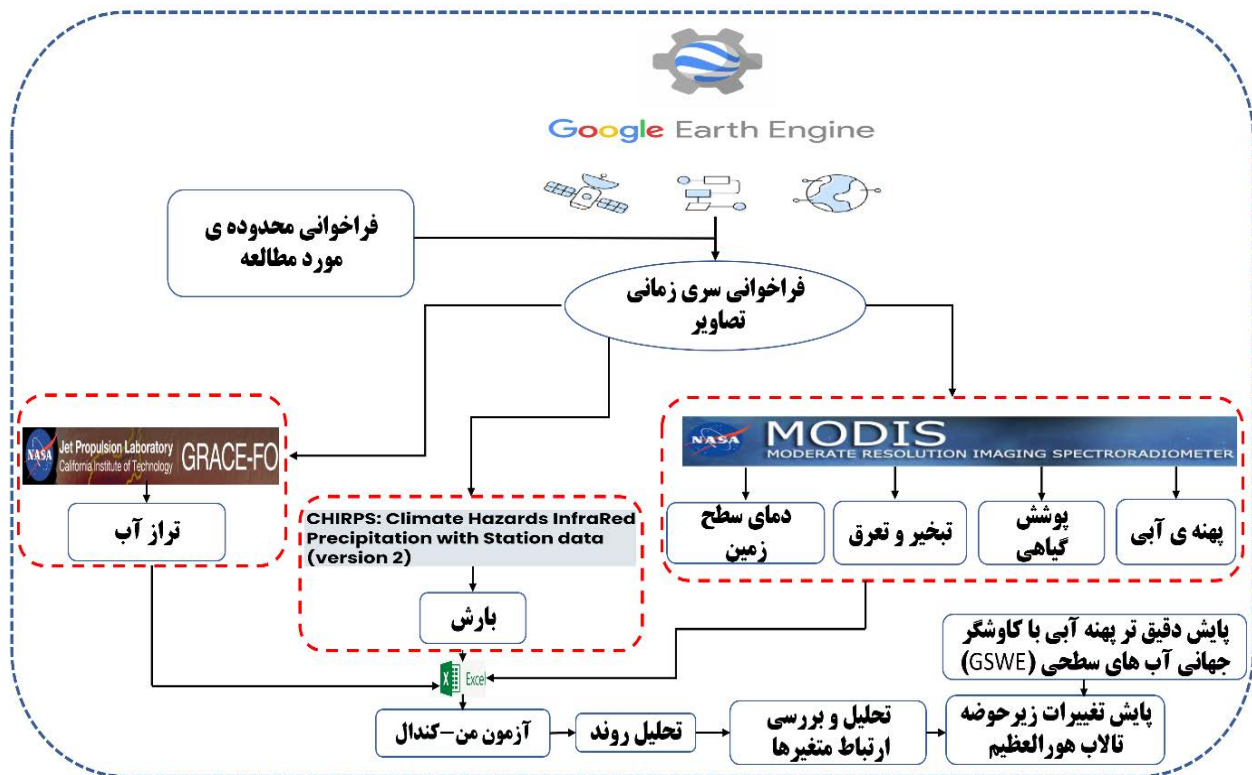
در رابطه (۵) مقدار انحراف معیار به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$Var(S) = \frac{1}{18} n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^P t_i(t_i-1)(2t_i+5)$$

رابطه (۶)

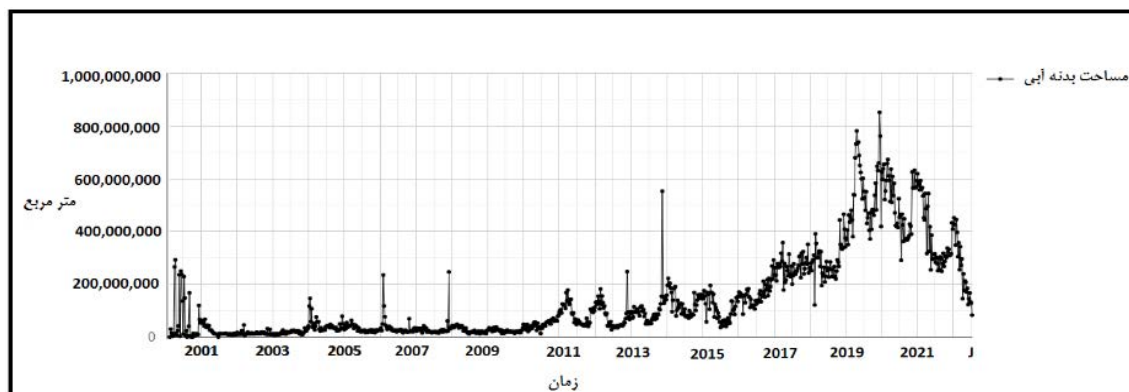
که در رابطه (۶) t_i تعداد مقادیر مشابه برای مقدار P و P تعداد مقادیر مشابه در سری را نشان می‌دهند. برای تعیین روند در سطح معنی‌داری a ، اگر مقدار مطلق Z از مقدار $Z_{1-a/2}$ که از جدول‌های توزیع تجمعی نرمال استاندارد استخراج می‌شود بزرگ‌تر باشد فرض صفر مبنی بر نداشتن روند رد می‌شود (Mann, 1945 & Kendall, 1975; Khazaei, et al, 2019).

در این پژوهش سطح معنی‌داری $a=0.05$ به کاررفته است. پس از اعمال شاخص‌ها و کدنویسی در سامانه‌ی گوگل ارث انجین و تهیه‌ی نمودارهای مربوط به تغییرات مساحت آب تالاب، مقدار بارش، دما، تبخیر- تعرق، سطح آب زیرزمینی و پوشش گیاهی، با استفاده از افزونه XLSTAT در اکسل از آزمون من- کندال به منظور ارزیابی روند کاهشی یا افزایشی تغییرات و یا عدم وجود روند، بهره گرفته شد. در این مطالعه برای بررسی روند داده‌ها با آزمون من کندال، دامنه زمانی ۲۶ فوریه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ به عنوان نماینده انتخاب شد. پارامترهای بدنه آبی، تبخیر، بارش و LST مربوط به این دوره زمانی هستند. با این حال، پوشش گیاهی با اختلاف ۸ روزه مربوط به ۱۸ فوریه و آب زیرزمینی با اختلاف ۱۱ روزه مربوط به ۱۵ فوریه به عنوان نماینده دوره زمانی انتخاب شدند. این اختلاف‌ها در زمان انتخاب نماینده‌ها به دلیل وجود تفاوت‌های زمانی در دسترسی به داده‌ها بوده است.



نگاره ۲: مراحل کلی انجام پژوهش

(۲۰۲۱)، بدنه آبی روند افزایشی قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد که علت آن تغییر رفتار اقلیمی و رخداد سیلاب‌ها در این سال‌ها است (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۹). در نهایت روند پهنه‌ی آبی تا جولای (تیرماه) ۱۴۰۱ (۲۰۲۲) سیر نزولی پیدا می‌کند. نتایج بررسی دقیق روند داده‌ها توسط آزمون من-کندال نشان داد که مقدار P-value محاسبه‌شده (۰/۰۵) کمتر از سطح آلفای معنی‌داری است (۰/۰۰۱) لذا وجود روند در داده‌های ۸ روزه در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه، مشاهده شد. مقدار آماره من-کندال (Kendall's tau) نیز روند افزایشی را تأیید می‌کند. جدول (۲) نتایج بررسی روند آزمون من-کندال پارامترهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.



نگاره ۳: سری زمانی پهنه آبی زیر حوضه تالاب هورالعظیم

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سام)

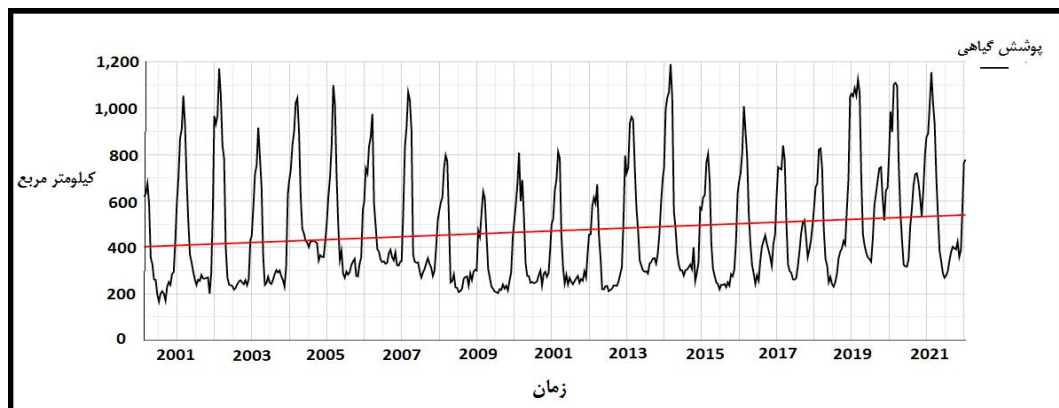
بهره‌گیری از گوگل ارث انجین و داده‌های ماهواره‌ای در پایش تغییرات ... / ۱۲۵

جدول ۲: مقادیر آماره‌های استخراج‌شده از آزمون من-کندال

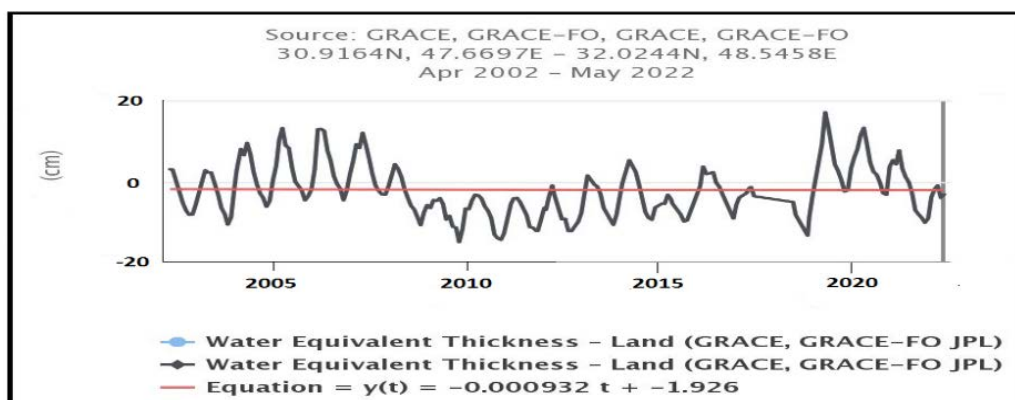
پارامترهای مورد مطالعه				
پارامتر	Kendall's tau	p-value (Two-tailed)	alpha	sen's slope
مساحت بدنه آبی	۰/۷۹۴	۰/۰۰۰۱ >	۰/۰۵	۱۶/۹۶۴
مساحت پوشش گیاهی	۰/۱۹۵	۰/۲۱۹	۰/۰۵	۱۱/۲۷۵
سطح آب زیرزمینی	-۰/۱۳۵	۰/۴۴۷	۰/۰۵	-۰/۲۱
تبخیر-تعرق	-۰/۲۳۴	۰/۱۴۷	۰/۰۵	۰/۰۷۷
دمای سطحی زمین (LST)	-۰/۲۴	۰/۱۱۵	۰/۰۵	-۰/۰۹۲
بارش	-۰/۱۴۶	۰/۳۴۷	۰/۰۵	۰/۰۱۶

۹۵ درصد دارای روند معنی‌داری نیست و این موضوع را بیانگر تأثیر دخالت انسان در تنظیم میزان جریان ورودی به تالاب توسط سد کرخه در بالادست به‌خصوص در زمان خشکسالی و سیلاب دانسته‌اند. با توجه به دوره‌ی زمانی پژوهش حاضر (۲۰۱۸-۱۹۹۹ میلادی) و سیلاب‌های چند سال اخیر در استان خوزستان (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۹) و تأثیرات آن بر زیر حوضه تالاب هورالعظیم به نظر می‌رسد روند افزایشی پهنه‌ی آبی در سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ در این مطالعه، نتیجه‌ی سیل‌های چند سال اخیر است که در نظر گرفتن تنها این پارامتر و این داده‌ها منجر به خطا در مطالعه و بررسی وضعیت تالاب هورالعظیم می‌شود. در این پژوهش از شاخص تفاضلی نرمال‌شده‌ی پوشش گیاهی (NDVI) برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی زیرحوضه تالاب هورالعظیم استفاده شد. نگاره ۴ سری زمانی تغییرات پوشش گیاهی را در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ژانویه ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. نتایج آزمون من-کندال در رابطه با شاخص پوشش گیاهی زیر حوضه تالاب هورالعظیم نشان داد که مقدار P-value محاسبه‌شده (۰/۲۱۹)، بیشتر از سطح آلفای معنی‌داری است (۰/۰۵)، پس باید فرضیه صفر (عدم وجود روند در داده‌ها) را پذیرفت. از طرف دیگر، مقدار آماره من-کندال (Kendall's tau) برای شاخص پوشش گیاهی (۰/۱۹۵) است که بیانگر وجود یک رابطه مثبت معتدل بین شاخص پوشش گیاهی و زیرحوضه تالاب هورالعظیم

در مورد بررسی تالاب هورالعظیم، امیری و همکاران (۱۴۰۰) پژوهشی به‌منظور بررسی تغییرات سطح آب و تأثیر آن بر دمای سطح تالاب با استفاده از شاخص‌های NDVI، MNDWI و AWEI انجام دادند که نتایج پژوهش این پژوهشگران نشان داد شاخص MNDWI از کارایی بهتر و دقت بالاتری برخوردار است. همچنین بررسی روند تغییرات سطح تالاب هورالعظیم با استفاده از آزمون من-کندال نیز در پژوهش امیری و همکاران (۱۴۰۰) نشان داد که میزان تغییر مساحت بدنه آبی در سطح اطمینان



نگاره ۴: سری زمانی تغییرات پوشش گیاهی زیر حوضه تالاب هورالعظیم



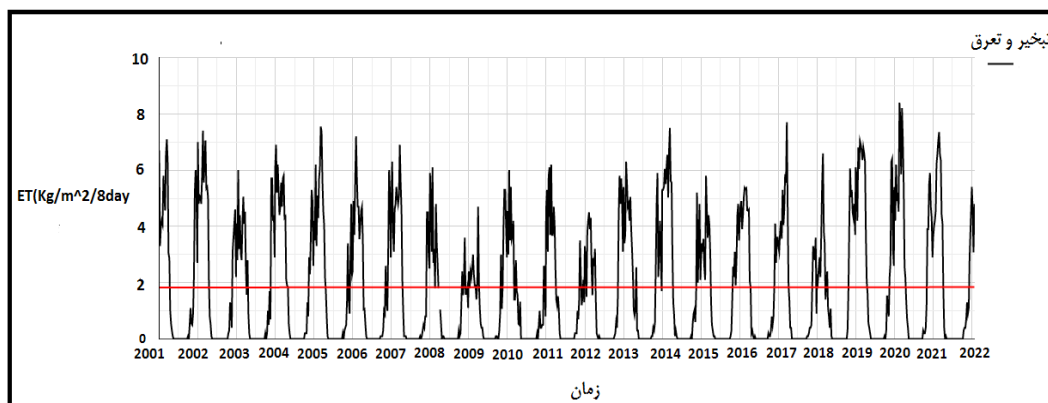
نگاره ۵: سری زمانی تغییرات سطح آب زیرزمینی زیر حوضه تالاب هورالعظیم

چند سال گذشته در محدوده‌ی مورد مطالعه بوده (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۹) و در انتهای دوره‌ی زمانی، دوباره سطح تراز به سمت منفی میل کرده است. مقدار آماره من-کندال (Kendall's tau) برای سطح آب زیرزمینی (۰/۱۳۵-) در جدول (۲) نیز مقدار منفی را نشان می‌دهد که با توجه به روند مثبت سری زمانی پوشش گیاهی، یکی از علل روند کاهش غیر معنی‌دار سطح آب زیرزمینی می‌تواند افزایش مراتع و زمین‌های کشاورزی باشد. آمینی پارسا و همکاران (۱۳۹۹) ارتباط مستقیم بین توسعه زمین‌های کشاورزی و مناطق انسان‌ساخت و کاهش مراتع با روند کاهش عمق سطح آب زیرزمینی را مورد تأیید قرار دادند. در پژوهش حاضر به منظور بررسی تبخیر و تعرق، از داده‌های ماهواره‌ی مودیس در سامانه گوگل ارث انجین استفاده شد. نگاره ۶ سری زمانی تغییرات تبخیر و تعرق در زیر حوضه‌ی تالاب هورالعظیم را در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا اوایل ۲۰۲۲ نشان می‌دهد.

نتایج بررسی روند داده‌های تبخیر و تعرق نشان داد که p-value محاسبه شده (۰/۱۴۷) بیشتر از سطح معنی‌داری (۰/۰۵) است، پس می‌توان فرضیه صفر (عدم وجود روند در داده‌ها) را قبول نمود. مقدار آماره من-کندال (Kendall's tau) برای تبخیر و تعرق (۰/۲۳۴-) در جدول (۲) نیز مقدار منفی را نشان داد. در این پژوهش، برای بررسی دمای سطح زمین از داده‌های ماهواره‌ی مودیس استفاده شد. نگاره ۷

است. مکرونی و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه‌ای با بررسی پایش تغییرات کاربری اراضی تالاب هورالعظیم در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ به این نتیجه رسیدند که به وسعت کاربری‌های مسکونی و مرتع اضافه شده و از سطح تالاب و اراضی کشاورزی کاسته شده است. همچنین افراخته‌نژاد، (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی دینامیک پوشش گیاهی در تالاب هورالعظیم با استفاده از سنجش از دور طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ پرداخته است. در این پژوهش، بررسی تغییرات پوشش گیاهی نشان داد میزان تأثیر بارش در مساحت تالاب و پوشش گیاهی بسیار مشهود است. برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی زیر حوضه تالاب هورالعظیم از داده‌های ماهواره‌ی Grace-Fo استفاده شد. نگاره ۵ تغییرات سطح آب زیرزمینی زیر حوضه تالاب هورالعظیم را برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا اوایل ۲۰۲۲ نشان می‌دهد.

نتایج آزمون من-کندال برای روند کلی تراز آب زیرزمینی زیر حوضه تالاب هورالعظیم بیانگر آن بود که مقدار p-value محاسبه شده (۰/۴۴۷) بیشتر از سطح آلفای معنی‌داری است (۰/۰۵)، پس می‌توان فرضیه صفر (عدم وجود روند در داده‌ها) را قبول کرد. نگاره ۳ نشان می‌دهد که سطح تراز آب زیرزمینی در دهه‌ی اول مثبت بوده و از اواخر این دهه، سطح تراز عموماً منفی شده و در سال‌های اخیر مثبت بوده که به نظر می‌رسد مربوط به سیل‌های

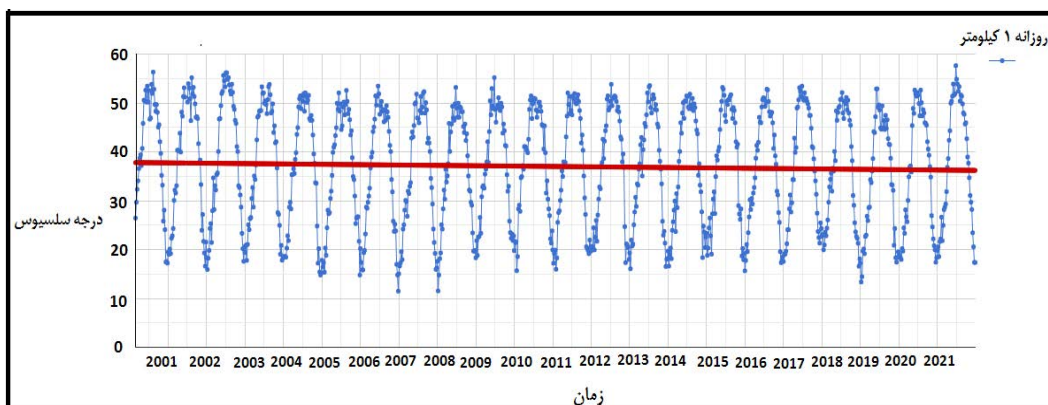


نگاره ۶: سری زمانی تغییرات تبخیر و تعرق زیر حوضه تالاب هورالعظیم

ندارد. همچنین در پژوهش امیری و همکاران (۱۴۰۰) روند صعودی دما در ارتباط با پهنه‌ی آبی تالاب هورالعظیم مورد ارزیابی قرار گرفته است و به این نتیجه رسیدند که با افزایش پهنه‌ی آبی در طول دوره‌ی زمانی، تغییرات دما روندی رو به کاهش را نشان داده است و بالعکس زمانی که میزان تغییرات پهنه‌های آبی کاهش می‌یابد، روند تغییرات دما صعودی بوده است. همچنین در زمان‌هایی رابطه‌ی تغییرات دما و پهنه آبی از مسیر معکوس خارج شده و به صورت مستقیم و همسو با یکدیگر رفتار می‌کنند که علت آن را ناشی از اثرات متقابل عوامل دیگری مانند فعالیت‌های انسانی، تغییرات کاربری، بر روی دما دانسته‌اند. نگاره ۸ میانگین دمای سطح زمین را برای زیرحوضه‌ی تالاب هورالعظیم نشان می‌دهد که برای درک بهتر وضعیت این پارامتر، مناسب است.

سری زمانی دمای سطحی زمین در زیر حوضه تالاب هورالعظیم را نشان می‌دهد.

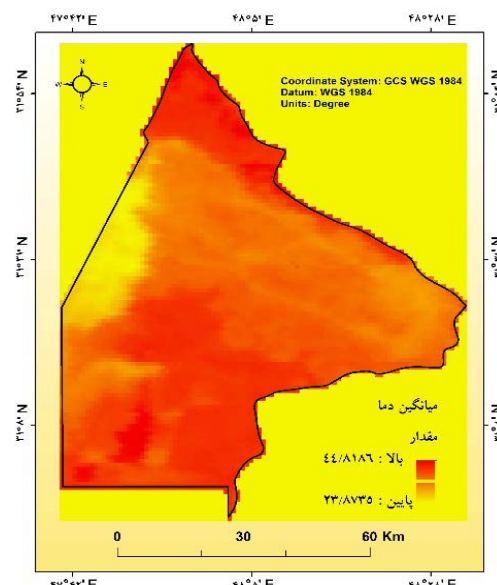
نتایج آزمون من کندال دمای سطح زمین در زیرحوضه تالاب هورالعظیم نشان داد که مقدار P-value محاسبه شده (۰/۱۱۵) بیشتر از سطح آلفای معنی داری است (۰/۰۵)، پس باید فرضیه صفر (عدم وجود روند در داده‌ها) را قبول کرد. مقدار آماره من-کندال (Kendall's tau) برای دمای سطح زمین، ۰/۲۴- بود. علوی‌نیا و زارعی (۱۴۰۰) در پژوهش خود با عنوان آنالیز روند تغییر اقلیم استفاده از شاخص‌های حدی داده‌های بلندمدت بارش و دما در جنوب شرق ایران به این نتیجه رسیدند که با توجه به نبود روند معنی‌دار در اکثریت قریب به اتفاق شاخص‌ها، تغییرات و نوسانات رخ داده در منطقه‌ی مطالعاتی ارتباطی با پدیده تغییر اقلیم



نگاره ۷: سری زمانی تغییرات دمای سطح زمین در زیر حوضه تالاب هورالعظیم

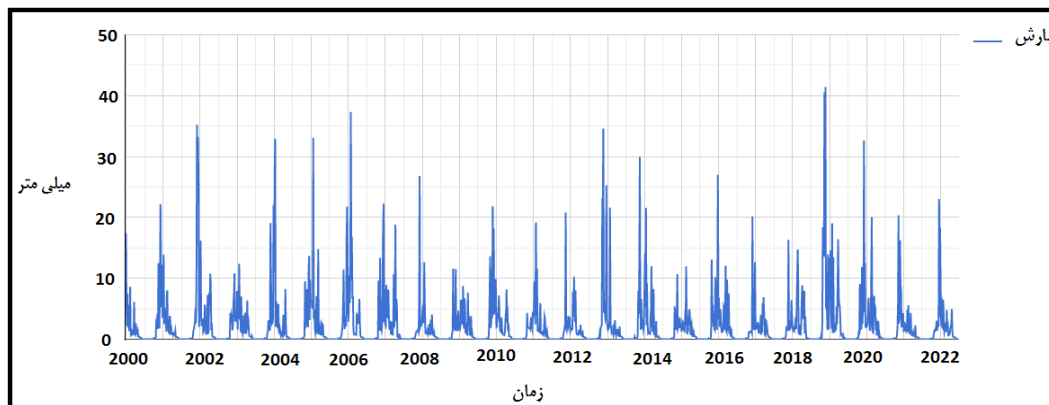
ماهواره‌ای CHIRPS استفاده شد. نگاره ۹ سری زمانی بارش را برای زیر حوضه تالاب هورالعظیم نشان می‌دهد. نگاره ۹ نشان می‌دهد که پارامتر بارش در سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۰ روند صعودی داشته که منجر به سیل‌های اخیر در محدوده‌ی مورد مطالعه (سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۹) شده و همچنین در اکثر دوره‌های زمانی، بارش باران زیر ۱۰ میلی‌متر بوده است. نتایج آزمون من-کندال برای پارامتر بارش در زیرحوضه تالاب هورالعظیم نشان داد که مقدار P-value محاسبه شده (۰/۳۴۷)، بیشتر از سطح آلفای معنی‌داری است (۰/۰۵)، پس باید فرضیه صفر (عدم وجود روند در داده‌ها) را قبول کرد. مقدار منفی آماره من-کندال (Kendall's tau) برای پارامتر بارش (۰/۱۴۶) در جدول (۲) نیز نشان‌دهنده‌ی وجود رابطه‌ی منفی و ضعیف بین بارش و زمان است.

قصاب فیض و اسلامی، (۱۳۹۶) در پژوهش خود به بررسی روند تغییرات زمانی بارندگی ۳۳ ساله (۱۳۶۰ تا ۱۳۹۳) با داده‌های ۴۷ ایستگاه هواشناسی استان خوزستان و استفاده از روش من-کندال و رگرسیون خطی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که هرچند همه‌ی ایستگاه‌ها دارای روند منفی یا مثبت هستند اما فقط سه ایستگاه (سوسن، سپیددشت سزار و ملاثانی) روند معنی‌دار دارند و با توجه به عدم معنی‌داری روندها در بیشتر ایستگاه‌ها نمی‌توان نتیجه گرفت که تغییر اقلیم رخ داده ولی با توجه



نگاره ۸: میانگین دمای سطح زمین (LST) زیر حوضه تالاب هورالعظیم

نگاره ۸ نشان می‌دهد که متوسط دمای سطح زمین در زیر حوضه‌ی تالاب هورالعظیم بین ۲۴/۷۰ تا ۴۴/۷۷ درجه سلسیوس است. مناطق شمال غربی و جنوب شرقی تا قسمتی از منطقه‌ی مرکزی زیر حوضه، بالاترین دما را دارند؛ و قسمت غربی که شامل مرز تالاب هورالعظیم می‌شود تا بخشی از جنوب غربی، پایین‌ترین دما را دارند و بخش عمده‌ی قسمت مرکزی، دمای پایین‌تری را دارد که یکی از علل آن می‌تواند وجود پوشش گیاهی و توسعه‌ی اراضی کشاورزی باشد. برای بررسی پارامتر بارش از داده‌های



نگاره ۹: سری زمانی تغییرات بارش در زیر حوضه تالاب هورالعظیم

را نشان داد. دلایل این همبستگی ضعیف می‌تواند شامل تبخیر و تعرق با همبستگی مثبت و تغییرات اقلیمی باشد که باعث تغییر الگوی بارش (همبستگی ضعیف) شده و در نتیجه همبستگی بین متغیر بارش و بدنه آبی کاهش یافته است. همچنین، مصارف آب برای کشاورزی، صنعت و... نیز می‌تواند علت دیگر کاهش این همبستگی باشد. به علاوه رابطه‌ی بدنه آبی با پوشش گیاهی همبستگی مثبتی دارد که تأثیر بارش بر پوشش گیاهی، فعالیت‌های انسانی، تغییر الگوی تبخیر و تعرق در منطقه، ممکن است در این رابطه تأثیرگذار باشند. دمای سطح زمین با بدنه آبی همبستگی منفی و قابل توجهی دارد که می‌تواند به این معنی باشد که با افزایش دما، بدنه آبی کاهش می‌یابد و با در نظر گرفتن عوامل دیگر مانند بارش و تبخیر و تعرق بیانگر تأثیر و حساسیت این پارامتر بر این دو متغیر و در نهایت بر وضعیت بدنه آبی باشد.

۲-۳-۲- کاوشگر جهانی آب‌های سطحی (GSWE)

۲-۳-۱- وجود آب^۱

این داده اطلاعات مربوط به دینامیک کلی آب، فرکانس و وقوع آب در گام‌های زمانی ماهانه، تغییرات بین سالانه و درون سالانه را ثبت می‌کند (Global Surface Water, 2020). مکان‌های وقوع آب‌های سطحی بین سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۲۱ در نگاره ۱۰ نشان داده شده است. رنگ آبی، بیانگر وقوع آب دائمی (۱۰۰٪) است و کاهش در فرکانس با رنگ‌های مختلف از صورتی تا بنفش را نشان می‌دهد. وقوع آب در زیرحوضه‌ی تالاب هورالعظیم از نظر مکانی-زمانی به تدریج در حال کاهش است. این کاهش به خصوص در قسمت‌های شمالی مرز تالاب بیشتر محسوس است و به مرز صفر رسیده است. بخش جنوبی نیز در صورت عدم مدیریت و برنامه‌ریزی اصولی به سرنوشت بخش شمالی دچار خواهد شد.

به این‌که بیش‌تر ایستگاه‌ها شاهد روند کاهشی بارندگی هستند، این مسئله هشداردهنده است.

۳-۱-۲- بررسی ضریب همبستگی اسپیرمن بدنه آبی با سایر متغیرها

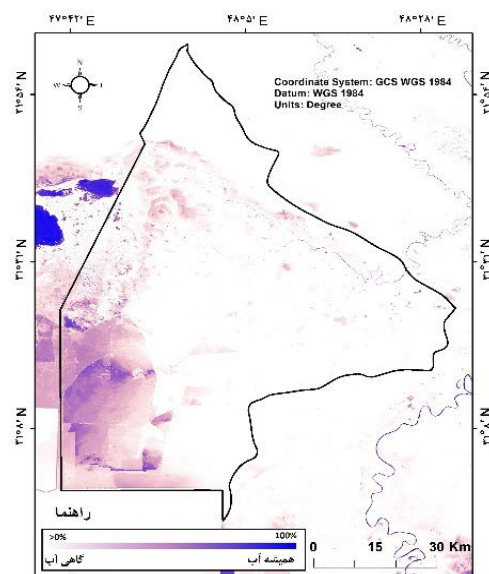
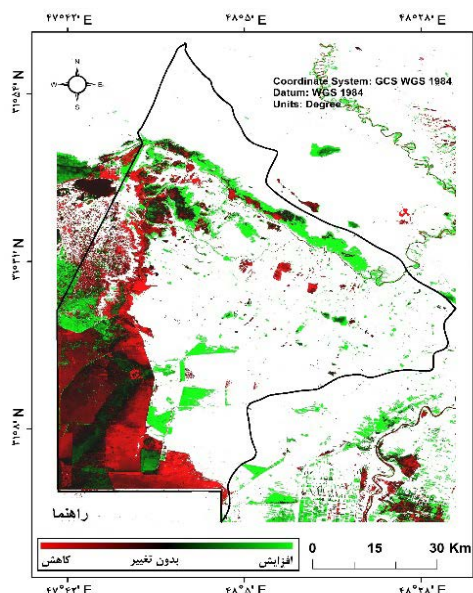
برای بررسی ارتباط بین متغیرهایی که بیشترین تأثیر و حساسیت را بر بدنه آبی دارند ارتباط بین این پارامتر و متغیرهای بارش، پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق، سطح آب زیرزمینی و دمای سطح زمین با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن تجزیه و تحلیل شد که در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳: میزان همبستگی اسپیرمن با سایر متغیرها

متغیرها	ضریب همبستگی اسپیرمن بدنه‌ی آبی با متغیر
بارش	۰/۲۰۰
تبخیر و تعرق	۰/۳۵۱
پوشش گیاهی	۰/۱۰۹
سطح آب زیرزمینی	-۰/۲۶۷
دمای سطح زمین	-۰/۵۴۲

نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نشان داد که بدنه آبی تالاب هورالعظیم با متغیر تبخیر و تعرق به صورت مثبت همبستگی دارد. عوامل مختلفی مانند شدت تبخیر در منطقه، تعرق گیاهان اطراف تالاب، ورود آب به تالاب، تغییرات فصلی و به طور کلی متأثر شدن بدنه آبی از شرایط هوا و آب محیط اطراف را می‌توان به عنوان دلایل همبستگی مثبت بین بدنه آبی و تبخیر و تعرق در نظر گرفت. رابطه بدنه آبی با سطح آب زیرزمینی نیز ضعیف بوده است. به عبارت دیگر، با کاهش سطح آب زیرزمینی، میزان بدنه آبی نیز کاهش می‌یابد. تغییرات اقلیمی و مصارف آب برای کشاورزی، صنعت و همچنین وقوع خشک‌سالی می‌تواند دلایلی برای همبستگی ضعیف بین بدنه آبی و سطح آب زیرزمینی باشد. بدنه آبی با متغیر بارش همبستگی ضعیفی

و آبیگری دریاچه‌ی آن) را در زیرحوضه تالاب هورالعظیم
مورد تأیید قرار داد.



نگاره ۱۰: وجود آب در دوره ۱۹۸۴-۲۰۲۱

۳-۲-۲- شدت تغییر وجود آب^۱

نگاره ۱۱: شدت تغییر وجود آب در دوره ۱۹۸۴-۲۰۲۱

۳-۲-۳- وجود آب فصلی

این داده، رفتار درون سالانه سطح آب (دائمی از فصلی در طول سال) را بررسی می‌کند (Global Surface Water, 2020). نگاره ۱۲ وجود آب فصلی در زیر حوضه تالاب هورالعظیم را نشان می‌دهد. می‌توان اشاره کرد که افزایش فصلی در وقوع آب (رنگ آبی تیره)، مشاهده شد درحالی‌که کاهش فصلی در مناطق آب دائمی (رنگ آبی روشن) وجود دارد. نواحی (به رنگ آبی روشن) در قسمت جنوبی و بخش‌های کمی از شمال تالاب نشان‌دهنده افزایش غیر طبیعی حجم آب فصلی است. دلایل افزایش حجم غیرطبیعی آب فصلی تالاب هورالعظیم می‌تواند شامل عوامل طبیعی مانند تغییر الگوی بارش به دلیل تغییرات اقلیمی و عوامل انسانی مانند سد کرخه در بالادست منطقه و تغییر کاربری و برداشت غیرمجاز آب از رودخانه‌ها و آبرسانی برای مصارف کشاورزی و صنعتی باشد. برخی از نواحی به‌ویژه قسمت شمالی، حوضه رودخانه کرخه و لبه‌های بخش جنوبی نشان‌دهنده از دست دادن آب فصلی در زیر حوضه تالاب

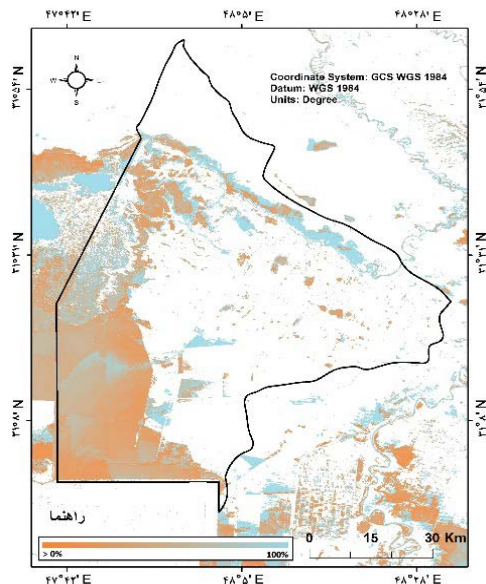
این مجموعه داده، کاهش یا عدم‌تغییر و شدت آب سطحی را برای دوره زمانی (۱۹۸۴-۲۰۲۱) نشان می‌دهد (Global Surface Water, 2020). نقشه‌ی شدت تغییر درجه وجود آب برحسب درصد در نگاره ۱۱ نشان داده شده است. در این نقشه بدنه آبی بدون‌تغییر به رنگ مشکی، بدنه آبی کاهشی به رنگ قرمز و بدنه آبی افزایشی به رنگ سبز و تن‌های روشن‌تر این رنگ‌ها نمایانگر تغییرات بزرگ در شدت است (Global Surface Water, 2020). برخی از مناطق تالاب در سمت شمال، رنگ سبز را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده افزایش وجود آب است و می‌تواند مربوط به دریاچه‌ی سد کرخه باشد. برخی از مناطق به رنگ سیاه هستند، زیرا این مکان‌ها داده‌های کافی برای محاسبه تغییر زمانی در دسترس بودن آب را ندارند. بااین‌حال، نتایج نشان می‌دهد که افزایش معنی‌داری در سطح آب در ضلع غربی، محدوده‌ی شمالی (دریاچه سد کرخه) و قسمت‌هایی از جنوب تالاب وجود دارد. همچنین شدت تغییر وقوع آب در بیش‌تر محدوده تالاب در وضعیت کاهشی قرار دارد. بررسی این مجموعه داده، دخالت انسانی (ایجاد سد کرخه

1- Water occurrence change intensity

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (زمین)

بهره‌گیری از گوگل ارث انجین و داده‌های ماهواره‌ای در پایش تغییرات ... / ۱۳۱

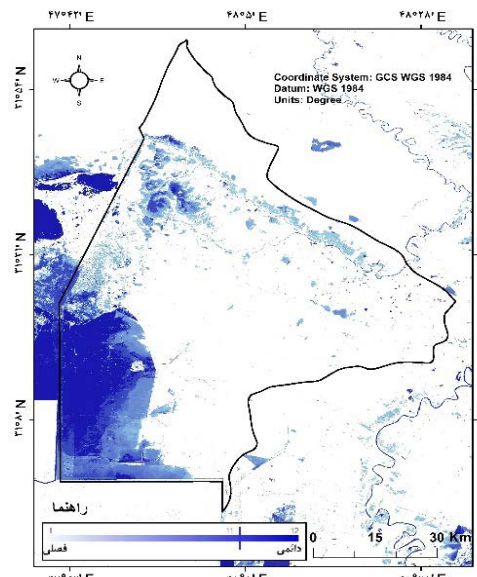
به‌طور مرتب سیلابی می‌شوند. این مجموعه داده وجود رخداد و تأثیرات سیل بر زیر حوضه‌ی تالاب هورالعظیم را مورد تأیید قرار داد.



نگاره ۱۳: عود یا بازگشت سالانه آب در دوره ۱۹۸۴-۲۰۲۱

۳-۲-۵- نقشه‌های محدوده تغییر یا گذر آب^۲
تغییرات در طبقات آب‌های سطحی در نگاره ۱۴ از نظر نقشه انتقال آب نشان داده شده است. کلاس‌های آب می‌توانند به‌عنوان اسامی بدون آب، آب فصلی و دائمی طبقه‌بندی شوند (پکل و همکاران، ۲۰۱۶). تغییرات انتقال در مناطق گسترش آب در دوره مورد مطالعه، محاسبه شده و در نگاره (۱۴ الف) نشان داده شده است. پروفیل‌های زمانی که تاریخچه کامل هر پیکسل را ثبت می‌کنند، مبنای بلندمدت وجود یا عدم وجود آب در طول دوره مطالعه را مشخص می‌نمایند. در منطقه‌ی مورد مطالعه، وضعیت انتقال آب، نقشه‌برداری و به‌صورت نمودار دایره‌ای نشان داده شده است نگاره (۱۴ ب). سطوح آب دائمی بدون تغییر، ۱۱٪ است؛ سطوح آب دائمی جدید حدود ۴٪ (تبدیل زمین به آب دائمی)؛ سطوح آب فصلی بدون تغییر ۲۹٪؛ سطوح آب فصلی جدید ۱۷٪ (تبدیل زمین به آب فصلی)؛ سطوح

هورالعظیم است.



نگاره ۱۲: وجود آب فصلی در دوره ۱۹۸۴-۲۰۲۱

۳-۲-۴- عود یا بازگشت سالانه آب^۱

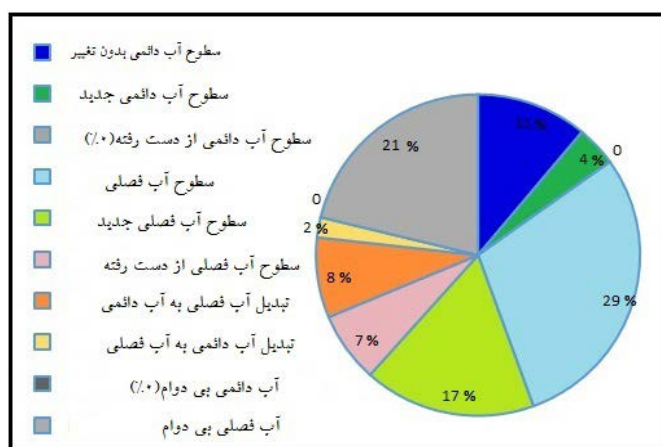
نقشه بازگشت سالانه آب، تنوع بین سالانه و فراوانی در دسترس بودن آب را در طول هر سال ثبت می‌کند (واحد درصد) (Global Surface Water, 2020). در نگاره ۱۳، عود سالانه آب در طول سال‌های ۱۹۸۴-۲۰۲۱ در تمام جهات زیر حوضه‌ی تالاب هورالعظیم نشان داده شده است. درصد پایین، مشخص‌کننده مکان‌هایی است که سیلاب و آب‌گرفتگی در آن‌ها از حالت سیستماتیک دور است، به‌طوری‌که هر چه رنگ روشن‌تر باشد، منطقه آب‌گرفته بیشتر است. این نگاره همچنین تمایز بین مناطقی را که به‌صورت اپیزودیک یا رویدادی (به رنگ نارنجی) و همچنین مناطقی که به‌طور مرتب و قابل پیش‌بینی سیلابی می‌شوند (به رنگ آبی) را نشان می‌دهد. در هنگام بارندگی احتمال سیل وجود دارد و ناحیه‌ی بارنگ آبی روشن، نشان‌دهنده منظم بودن سطح آب به‌وسیله منطقه غرقابی است. در قسمت‌های شمالی مرز تالاب و بخش رودخانه‌ای کرخه و قسمت‌هایی از جنوب در زیر حوضه تالاب هورالعظیم جزء مناطقی هستند که

سال اخیر و بازشدن سد کرخه است که در نظر گرفتن تنها این پارامترها و این داده‌ها منجر به خطا در مطالعه و بررسی وضعیت تالاب هورالعظیم می‌شود. در سری زمانی تراز آب زیرزمینی و پوشش گیاهی روند معنی‌داری مشاهده نشد اما باتوجه به مقدار منفی آماره من-کندال تراز آب زیرزمینی و مقدار مثبت پوشش گیاهی، یکی از علل روند کاهشی غیر معنی‌دار سطح آب زیرزمینی می‌تواند افزایش اراضی کشاورزی و بهره‌گیری از آب‌های زیرزمینی باشد. نتایج آزمون من-کندال برای پارامتر تبخیر و تعرق، دمای سطح زمین و بارش در تالاب هورالعظیم نیز روند معنی‌داری را نشان نداد. با استفاده از نقشه جهانی کاوشگر آب سطحی در دوره ۲۰۲۱-۱۹۸۴، وجود آب، شدت تغییر، عود سالانه و محدوده تغییر آب مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج بررسی این مجموعه داده نشان داد که روند دینامیک کلی آب کاهشی و شدت آن بحرانی است. همچنین وجود سیلاب‌های رویدادی و غیر سیستماتیک و دخالت عوامل انسانی مانند سد کرخه در بالادست در زیر حوضه‌ی تالاب هورالعظیم تأیید شد. نتایج آزمون همبستگی اسپیرمن نیز

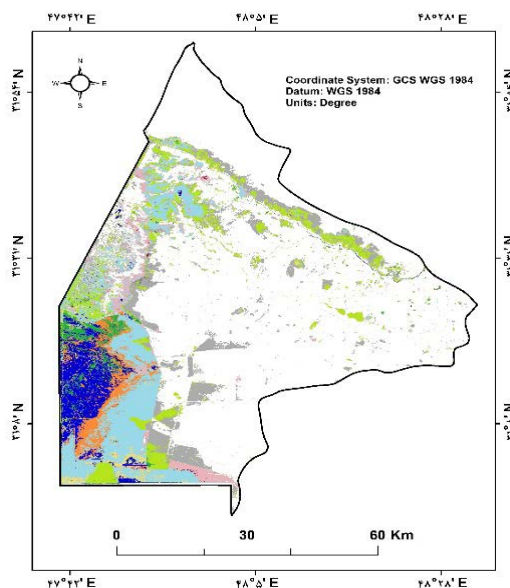
آب فصلی ازدست‌رفته حدود ۷٪ (تبدیل آب فصلی به خشکی)؛ تبدیل آب دائمی به آب فصلی حدود ۸٪؛ تبدیل آب فصلی به آب دائمی حدود ۲٪؛ و آب فصلی زودگذر یا بی‌دوام حدود ۲۱٪ است. نتایج بیانگر این است که تغییرات فصلی زیر حوضه‌ی تالاب، اغلب در طول دوره‌ی مطالعاتی رخ می‌دهد. با توجه به این شواهد زیر حوضه تالاب هورالعظیم نیاز به برنامه‌ریزی در جهت بهبود برای حفظ شرایط مناسب را دارد.

۴- نتیجه‌گیری

تالاب هورالعظیم خوزستان از وسیع‌ترین تالاب‌های کشور ایران است که نقش بی‌بدیلی در معیشت جوامع حاشیه تالاب و کنترل گرد و غبارها دارد. در این پژوهش، نتایج بررسی دقیق روند داده‌های بدنه آبی توسط آزمون من-کندال روند افزایشی را نشان داد. با توجه به سیلاب‌های من-کندال در استان خوزستان و تأثیرات آن بر زیر حوضه تالاب هورالعظیم به نظر می‌رسد روند افزایشی بدنه آبی در سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ نتیجه‌ی سیل‌های چند



(ب)



(الف)

نگاره ۱۴: (الف) کلاس انتقال آب بر روی زیر حوضه تالاب هورالعظیم و (ب) نمودار دایره‌ای کلاس انتقال

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۴)

بهره‌گیری از گوگل ارث انجین و داده‌های ماهواره‌ای در پایش تغییرات ... / ۱۳۳

آن، همایش بین‌المللی بحران‌های زیست‌محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن، جزیره کیش، <https://civilica.com/doc/201430>

۵- جعفری، حمزه، عبدالعظیمی، عطارچی. (۲۰۲۱). دو دهه پایش تالاب مهارلو با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در گوگل ارث انجین. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۳۰(۱۱۸)، ۱۵۳-۱۶۸.

۶- خزاعی، براتی، قندهاری، صادقی‌فرد. (۲۰۱۹). تحلیل روند بارش با استفاده از روش نوین Sen و مقایسه نتایج روش‌های متداول (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). آب و توسعه پایدار، ۶(۱)، ۴۱-۵۰.

۷- خسروی، حسن‌زاده، حسین‌جانی‌زاده، محمدی. (۱۳۹۹). بررسی تغییرات پهنه‌های آبی با استفاده از شاخص‌های آبی و گوگل ارث انجین (مطالعه موردی: تالاب‌های شهرستان پلدختر، استان لرستان). اکو هیدرولوژی، ۷(۱)، ۱۳۱-۱۴۶.

۸- سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، ژئوپورتال ملی تالاب‌های ایران، <https://wetlands.doe.ir/wetland/54/info> (دسترسی در ۲ آبان ۱۴۰۰).

۹- سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۵. سنجش‌ازدور، پایش ماهواره‌ای زمین، سیل، استان خوزستان. https://rs.isa.ir/index.php?module=cdk&func=loadmodule&system=cdk&sismodule=user/content_view.php&sisOp=view&ctp_id=602&cnt_id=48897&id=1788

۱۰- سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۹. سنجش‌ازدور، اخبار، سیستم‌های RS، تغییر رفتار اقلیمی، علت اصلی رخداد سیلاب‌های اخیر در بسیاری از استان‌های ایران به‌ویژه در مناطق جنوب و جنوب شرق کشور. https://rs.isa.ir/index.php?module=cdk&func=loadmodule&system=cdk&sismodule=user/content_view.php&sisOp=view&ctp_id=585&cnt_id=52277&id=2296

۱۱- سید عادل، مولا. (۱۳۹۷). معاون محیط طبیعی. سازمان حفاظت محیط‌زیست استان خوزستان. سازمان فضایی ایران، ۱۳۹۹. سنجش‌ازدور، اخبار، سیستم‌های، پایش ماهواره‌ای تغییرات سطح آب تالاب هویره (هورالعظیم)

نشان داد که تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی می‌توانند از عواملی باشند که منجر به تغییر در وضعیت تالاب هورالعظیم شوند.

با توجه به این نتایج، پیشنهاد می‌شود که در مدیریت تالاب هورالعظیم و تالاب‌های با شرایط مشابه، به پوشش گیاهی و کنترل بهره‌برداری غیرمسئولانه از منابع آب زیرزمینی و فصلی، توجه شود. برای بهبود وضعیت تالاب هورالعظیم راهکارهای آموزش و ارتقای آگاهی مردم و کشاورزان، ایجاد شبکه‌های همکاری و هماهنگی بین سازمان‌های مرتبط و تأمین حق‌آبه تالاب به‌خصوص در فصول خشک‌سالی پیشنهاد می‌شود. همچنین، تحقیقات بیشتری در زمینه تأثیر سیل‌ها و سدسازی بر روی تغییرات بدنه‌های آبی و حجم آب ورودی به تالاب‌ها، توصیه می‌شود.

منابع و مآخذ

۱- افراخته نژاد، مرضیه، ۱۳۹۵، بررسی دینامیک پوشش گیاهی در تالاب هورالعظیم با استفاده از سنجش‌ازدور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته محیط‌زیست دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، دانشکده منابع طبیعی دریا، گروه محیط‌زیست.

۲- امیری، سید کابلی، محمودی کهن. (۲۰۲۰). مطالعه و پایش تغییرات سطح آب و تأثیر آن بر دمای سطح تالاب با استفاده از شاخص‌های NDWI، MNDWI و AWEI (مطالعه موردی: تالاب‌های شادگان و هورالعظیم). علوم و مهندسی آبیاری.

۳- امینی پارسا، عزیزی، ملک محمدی، خیاط رستمی. (۱۳۹۹). بررسی همبستگی فضایی-زمانی میان روند تغییرات کاربری زمین و نوسانات کمی آب زیرزمینی در دشت اردبیل. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۷)، ۳۰۱-۳۱۷.

۴- امینی‌نسب، آنوش سادات، دوامی، عرفانی؛ ۱۳۹۱، بررسی عوامل تهدید تالاب هورالعظیم و ارائه راهکارهای مدیریتی

Ecol. Manag. 2010, 18, 357-365. [CrossRef]

20- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300(9), D05109.

21- Andrew, Steer. (2022). Meet Earth Engine. <https://earthengine.google.com/>.

22- Ashok, A., Rani, H. P., & Jayakumar, K. V. (2021). Monitoring of Dynamic Wetland Changes using NDVI and NDWI based Landsat Imagery. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 100547.

23- Bhaga, T. D., Dube, T., & Shoko, C. (2020). Satellite monitoring of surface water variability in the drought prone Western Cape, South Africa. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 102914.

24- Conly, F. M., & Van der Kamp, G. (2001). Monitoring the hydrology of Canadian prairie wetlands to detect the effects of climate change and land use changes. Environmental Monitoring and Assessment, 67(1), 195-215.

25- Cowardin, L.M.; Carter, V.; Golet, F.C.; LaRoe, E.T. Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States; U.S. Department of the Interior, U.S. Fish and Wildlife Service: Hoboken, NJ, USA, 1979.

26- Dang, A. T., Kumar, L., Reid, M., & Nguyen, H. (2021). Remote Sensing Approach for Monitoring Coastal Wetland in the Mekong Delta, Vietnam: Change Trends and Their Driving Forces. Remote Sensing, 13(17), 3359.

27- Eric F. Vermote, (E. F. Vermote, J. C. Roger, and J. P. Ray) (2015). MODIS Surface Reflectance User's Guide, Collection 6, Version 1.4. P16.

28- European Commission, Joint Research Centre., (2022). Global Surface Water Explorer dataset., Description. <https://data.jrc.ec.europa.eu/dataset/jrc-gswe-global-surface-water-explorer-v1>.

29- Fadel, A., Mhawej, M., Faour, G., & Slim, K. (2020). On the application of METRIC-GEE to estimate spatial and temporal evaporation rates in a mediterranean lake. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 20, 100431.

30- Garg, J. K. (2015). Wetland assessment, monitoring and management in India using geospatial

از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹. https://rs.isa.ir/index.php?module=cdk&func=loadmodule&system=cdk&sismodule=user/content_view.php&sisOp=view&ctp_id=585&cnt_id=59446&id=3802

۱۲- زین الدینی، نیکنام، حسینی؛ حمیدرضا، حسینعلی، غلامعلی. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش، دما و تبخیر- تعرق در حوضه آبریز تالاب هورالعظیم با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. فضای جغرافیایی، ۲۲، ۱۹۹-۲۱۸.

۱۳- عبیات، لندی، عامری خواه؛ کوثر، احمد، هادی. (۱۴۰۰). بررسی میزان تغییرات سبخاهای ناشی از تالاب هورالعظیم در دوره بیست‌ساله با استفاده از تصاویر لندست. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۸(۱)، ۱۶۵-۱۸۱.

۱۴- علوی‌نیا، زارعی. (۱۴۰۰). آنالیز روند تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی داده‌های بلندمدت بارش و دما در جنوب شرق ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۱(۴۴)، ۱۱۹-۱۳۴.

۱۵- قصاب فیض، اسلامی. (۲۰۱۷). ارزیابی روند تغییرات بارندگی با روش من کندال و رگرسیون خطی در استان خوزستان. فصلنامه علمی تخصصی مهندسی آب، ۵(۲)، ۱۱۳-۱۲۱.

۱۶- مکرونی، سرور، سبزقبایی، یوسفی خانقاه، سلطانیان، ستار. (۲۰۱۶). آشکارسازی روند تغییرات کاربری اراضی تالاب هورالعظیم با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۳)، ۸۹-۹۹.

17- Adam, E.; Mutanga, O.; Rugege, D.; Ismail, R. Field Spectrometry of Papyrus Vegetation (Cyperus papyrus L.) in Swamp Wetlands of St Lucia, South Africa; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2009; Volume 4, pp. 260-263.

18- Adeli, S., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L. J., Brisco, B., Tamiminia, H., & Shaw, S. (2020). Wetland monitoring using SAR data: A meta-analysis and comprehensive review. RemoteSensing, 12(14), 2190.

19- Akumu, C.E.; Pathirana, S.; Baban, S.; Bucher, D. Monitoring coastal wetland communities in north-eastern NSW using ASTER and Landsat satellite data. Wetl.

- and GIS for Natural Resources, 7(3), 89-99.
- 43- Mann H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13: 245-259.
- 44- Mu, S., Li, B., Yao, J., Yang, G., Wan, R., & Xu, X. (2020). Monitoring the spatio-temporal dynamics of the wetland vegetation in Poyang Lake by Landsat and MODIS observations. *Science of The Total Environment*, 725, 138096.
- 45- NASA Jet Propulsion Laboratory, 2022, GRACE-FO, Measuring Earth's Surface Mass and Water Changes, <https://gracefo.jpl.nasa.gov/>.
- 46- NASA Jet Propulsion Laboratory, 2022, GRACE Tellus | Gravity Recovery & Climate Experiment, GRACE(-FO) Data Analysis Tool, <https://grace.jpl.nasa.gov/data/data-analysis-tool/>.
- 47- Neupane, R. P., & Kumar, S. (2015). Estimating the effects of potential climate and land use changes on hydrologic processes of a large agriculture dominated watershed. *Journal of Hydrology*, 529, 418-429.
- 48- Peters, D. L., Niemann, K. O., & Skelly, R. (2021). Remote Sensing of Ecosystem Structure—Part 2: Initial Findings of Ecosystem Functioning through Intra-and Inter-Annual Comparisons with Earth Observation Data. *Remote Sensing*, 13(16), 3219.
- 49- Pekel, J., Cottam, A., Gorelick, N. and Belward, A., Global Surface Water - Data Access, *Nature*, 2016, doi:10.1038/nature20584, JRC109054.
- 50- Pijl, A., Brauer, C.C., Sofia, G., Teuling, A.J., Tarolli, P., 2018. Hydrologic impacts of changing land use and climate in the Veneto lowlands of Italy. *Anthropocene* 22, 20-30.
- 51- Sacré Regis M, D., Mouhamed, L., Kouakou, K., Adeline, B., Arona, D., Houebagnon Saint. J, C., ... & Issiaka, S. (2020). Using the CHIRPS dataset to investigate historical changes in precipitation extremes in West Africa. *Climate*, 8(7), 84.
- 52- Salimi, S., Almuktar, S. A., & Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, 286, 112160.
- 53- Schmitt, A.; Brisco, B. Wetland Monitoring Using techniques. *Journal of environmental management*, 148, 112-123.
- 31- Gautam, Ambika P., et al. "Land use dynamics and landscape change pattern in a mountain watershed in Nepal." *Agriculture, ecosystems & environment* 99.1-3 (2003): 83-96.
- 32- Global Surface Water. 2020. EXPLORE. Identification. (1984-1999 to 2000-2020). <https://global-surface-water.appspot.com/map>.
- 33- Guo, M., Li, J., Sheng, C., Xu, J., & Wu, L. (2017). A review of wetland remote sensing. *Sensors*, 17(4), 777.
- 34- <https://global-surface-water.appspot.com/map>
- 35- Iran Environmental Protection Organization, National Geoportal of Iranian Wetlands, <https://wetlands.doe.ir/wetland/54/info> (accessed on 24 October 2021).
- 36- Kamel Didan, Armando Barreto Munoz, Ramon Solano, Alfredo Huete, 2015. MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series). Version 3.00, (Collection 6).
- 37- Kendall M.G. 1975. Rank Correlation Methods. Charless Griffin, London.
- 38- Kirwan, M.L., Megonigal, J.P., 2013. Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature* 504 (7478), 53-60.
- 39- Landerer, F. W., Flechtner, F. M., Save, H., Webb, F. H., Bandikova, T., Bertiger, W. I., ... & Yuan, D. N. (2020). Extending the global mass change data record: GRACE Follow-On instrument and science data performance. *Geophysical Research Letters*, 47(12), e2020GL088306.
- 40- Lefebvre, G., Davranche, A., Willm, L., Campagna, J., Redmond, L., Merle, C., ... & Poulin, B. (2019). Introducing WIW for detecting the presence of water in wetlands with landsat and sentinel satellites. *Remote Sensing*, 11(19), 2210.
- 41- Lillesand, T. M., et al., Remote Sensing and Image Interpretation, fifth edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, New York, 2004.
- 42- Makrouni, S., Sabzghabaei, G. R., Yousefi Khanghah, S., & Soltanian, S. (2016). Detection of land use changes in Hoor Al Azim wetland using remote sensing and geographic information system techniques. *Journal of RS*

on 29 August 2020).

59- Viero, D.P., Roder, G., Matticchio, B., Defina, A., Tarolli, P., 2019. Floods, landscape modifications and population dynamics in anthropogenic coastal lowlands: The Polesine (northern Italy) case study. *Sci. Total Environ.* 651, 1435–1450.

60- Wang, J., Chen, J., Wen, Y., Fan, W., Liu, Q., & Tarolli, P. (2021). Monitoring the coastal wetlands dynamics in Northeast Italy from 1984 to 2016. *Ecological Indicators*, 129, 107906.

61- Zhengming Wan. 2013. Collection-6, MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide. ERI, University of California, Santa Barbara.

62- Zorrilla-Miras, P., Palomo, I., Gomez-Baggethun, E., Martín-Lopez, B., Lomas, P.L., Montes, C., 2014. Effects of land-use change on wetland ecosystem services: a case study in the Donana ~ marshes (SW Spain). *Landscape Urban Plann.* 122, 160–174.

the Curvelet-Based Change Detection Method on Polarimetric SAR Imagery. *Water* 2013, 5, 1036–1051. [CrossRef].

54- Shafiei Moghadam, H., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2018). Assessment of evapotranspiration and its components in a semi-arid wetland using remote sensing data: a case study of Hoor al-Azim Wetland, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77(12), 448.

55- Song, K., Wang, M., Du, J., Yuan, Y., Ma, J., Wang, M., & Mu, G. (2016). Spatiotemporal variations of lake surface temperature across the Tibetan Plateau using MODIS LST product. *Remote Sensing*, 8(10), 854.

56- Steven W. Running, Qiaozhen Mu, Maosheng Zhao, Alvaro Moreno, 2019. ser's Guide MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (MOD16A2/A3 and Year-end Gap-filled MOD16A2GF/A3GF) NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm (For Collection 6).

57- University of California, Santa Barbara (2022) CHRIPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations, <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chrips/>.

58- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Why Are Wetlands Important? Available online: <https://www.epa.gov/wetlands/why-are-wetlands-important> (accessed

COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)

