

ارزیابی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت جیرفت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

GRACE

فرشاد سلیمانی ساردو: استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران

الهام رفیعی ساردوئی: استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران

سعیده ناطقی*: استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،

تهران، ایران

علی آذره: استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه‌ی مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰)

چکیده

در چند دهه‌ی اخیر، استفاده‌ی بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به افت سطح این آب در بسیاری از دشت‌های ایران منجر شده‌است. با توجه به ضرورت موضوع، در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گریس به بررسی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در دشت جیرفت در دوره‌ی ۲۰۱۶ - ۲۰۰۳ پرداخته شد. در این راستا، ابتدا داده‌ها در سامانه‌ی شبکه‌ی موتور گوگل ارث انجین با سه الگوریتم JPL، GFZ و CSR پردازش و نتایج آنها با داده‌های مشاهداتی (پیزومتری) ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ مقایسه شد. این مقایسه، با بررسی همبستگی خطی بین تغییرات به دست آمده از الگوریتم‌های سنجنده‌ی GRACE و داده‌های مشاهداتی صورت گرفت و نتایج، همبستگی بالایی را بین الگوریتم‌ها و داده‌های مشاهداتی نشان داد. بر طبق نتایج، مدل JPL با ۶۴ درصد همبستگی، مناسب‌ترین مدل برای پایش سطح آب‌های زیرزمینی دشت جیرفت بود. همچنین پهنه‌بندی مکانی سطح آب زیرزمینی، با نرم‌افزار ArcGIS و روش کریجینگ صورت گرفت. نتایج پهنه‌بندی در طی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ نشان داد که افت سطح آب زیرزمینی در قسمت مرکزی، غربی و جنوب غربی دشت جیرفت بیش از سایر نقاط آبخوان است که علت آن، وجود تعداد زیاد چاه‌های بهره‌برداری و گسترش فعالیت‌های کشاورزی در این قسمت‌ها است. همچنین بررسی آماری روند نوسانات سطح این آب نیز نشان داد که هم داده‌های مشاهداتی و هم الگوریتم‌های JPL، CSR و GFZ، روندی کاهشی و معنی‌دار در سطح ۵ درصد دارند. یکسان بودن روند داده‌های مشاهداتی و الگوریتم‌ها نیز از صحت نسبتاً بالای تصاویر GRACE در بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی حکایت دارد.

واژگان کلیدی: آبخوان، پهنه‌بندی، سنجش از دور، همبستگی پیرسون.

۱- مقدمه

از جمله مهم‌ترین عوامل ایجاد مشکلات منابع آب در دنیای امروز، افزایش روزافزون جمعیت، تغییرات اقلیمی و توسعه‌ی تکنولوژی است که به استفاده‌ی بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی منجر شده و بیلان منفی آب زیرزمینی را

تشدید کرده است. اولین نتیجه‌ی بیلان منفی آب زیرزمینی در مناطق مختلف، افت سطح آب زیرزمینی است. افت سطح سفره‌های آب زیرزمینی - که دومین منبع آب شیرین در دنیا است - به‌عنوان چالشی جدی در بیشتر کشورهای ایجاد شده است (Cunningham et al, 2003). پمپاژ زیاد آب، چهره‌ی زمین را دگرگون کرده، کیفیت آب‌ها را کاهش و هزینه‌ی استحصال آن را نیز افزایش داده است (Nie et al, 2019 & Isazade and Argany, 2020 & Riyahi et al, 2020 & Sarkar et al, 2020 & Brown et al, 2007). در چند سال اخیر در دشت‌های مختلف کشور ما نیز افت سطح آب زیرزمینی شکل گرفته و استفاده از تکنیک سنجش از دور در زمینه‌های مختلف زیست محیطی به‌ویژه منابع آب زیرزمینی گسترش یافته است. داده‌های ماهواره‌ی گریس^۱، ابزاری جدید و ارزشمند برای پایش آب‌های زیرزمینی است و در حال، تنها ماهواره‌ی سنجش از دوری است که می‌تواند بر تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی نظارت داشته باشد (Henry et al, 2011 & Abiy and Melesse, 2017 & Xiang et al, 2016 & Wang et al, 2020 & Singh and Raju, 2020). کاربرد اصلی ماهواره‌ی گریس، تعیین تغییرات هیدرولوژیکی با اندازه‌گیری تغییرات پیوسته‌ی آب موجود در سفره‌های آب، خاک، مخازن سطحی و برف با دقت چند میلی‌متر در ترم‌های ارتفاع آب با قدرت تفکیک ۴۰۰ کیلومتر است (Swenson and Wahr, 2009).

پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی بررسی سطح آب زیرزمینی با تصاویر گریس انجام شده است که به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. Farokhnia و Morid (۲۰۱۴)، قابلیت داده‌های ماهواره‌ای گریس را در برآورد بیلان آب و تغییرات ذخیره‌ی آب زیرزمینی در حوزه آبخیز دریاچه‌ی ارومیه بررسی کردند. مقایسه‌ی مقادیر برآورد شده‌ی تغییرات بیلان کل آب در حوضه توسط ماهواره‌ی گریس و تغییرات مشاهداتی حجم آب دریاچه، مشابهت روند سالانه‌ی سری‌های زمانی آنها را نشان می‌دهد. Voss و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی تخلیه‌ی آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی دجله و فرات و غرب ایران در ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ با ماهواره‌ی گریس، کاهش بیش از ۱۷ میلی‌متر بر سال و کاهش بیش از ۹۱ کیلومتر مکعب حجم آب‌های زیرزمینی را نشان داد. Forootan و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی نوسان آب زیرزمینی مناطق مرکزی و شمال غرب با ماهواره‌ی گریس نشان دادند که از سال ۲۰۰۵ به بعد، تراز آب زیرزمینی در مناطق مرکزی و شمال غرب ایران به طور متوسط ۱۵ میلی‌متر در سال افت کرده است. Faraji و همکاران (۲۰۱۷) با هدف ارزیابی منابع آب زیرزمینی استان قزوین، از داده‌های ماهواره‌ای گریس استفاده و برای اعتبارسنجی این داده‌ها، از مدل سطح زمین GLDAS و داده‌های مشاهداتی چاه‌ها در منطقه استفاده کردند. نتایج نشان داد که ماهواره‌ی گریس، برآورد خوبی از روند تغییرات ذخیره‌ی آب و تغییرات سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد. Eftekhari و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی نوسان آبخوان دشت بیرجند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گریس پرداختند. آنها به پردازش داده‌ها در سامانه‌ی شبکه‌ای موتور گوگل ارث انجین^۲ با سه الگوریتم GFZ، JPL و CSR پرداختند و نتایج را با داده‌های مشاهداتی در طول ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ مقایسه کردند. این مقایسه، با ایجاد کردن همبستگی خطی بین تغییرهای به دست آمده از الگوریتم‌های سنجنده‌ی گریس و داده‌های مشاهداتی انجام شد که نتیجه‌ی آن، همبستگی ۶۹ درصدی بین تغییرهای به دست آمده از داده‌های مشاهداتی و الگوریتم‌ها بود. Hao و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی رابطه‌ی بین تغییرات آب زیرزمینی و فعالیت‌های انسانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

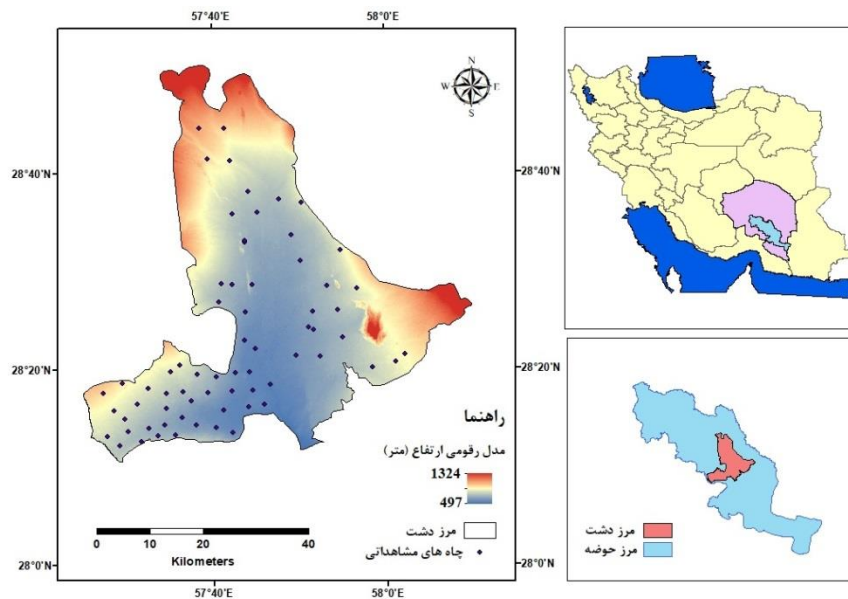
¹ Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE)

² Google Earth Engine

GLDAS، MODIS و GRACE پرداختند. سپس تغییر پوشش گیاهی و آب‌های زیرزمینی را با مدل‌های همبستگی خطی تحلیل کردند. نتایج نشان داد در محل‌هایی که فعالیت‌های انسان بیشتر بود، مصرف منابع آب‌های زیرزمینی هم بیشتر شده است. همچنین آنها بر اساس داده‌های مختلف، حوزه‌ی گسترش فعالیت‌های انسانی را در محیط طبیعی و مناطق تأثیر یافته تخمین زدند. بررسی پژوهش‌های پیشین، توانایی ماهواره‌ی گریس را در تحلیل و پایش خشکسالی و تغییر آب‌شناختی مناطق مختلف نشان می‌دهد. این داده‌ها، منبعی مطمئن و تخصصی در حوزه‌ی بررسی تغییر تراز منابع آب زیرزمینی است. دشت جیرفت یکی از قطب‌های اصلی کشاورزی در کشور است و در چند سال گذشته نیز روند فعالیت‌های کشاورزی در آن گسترش یافته است. بخش عمده‌ای از آب مصرفی این دشت در بخش کشاورزی، از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود؛ بنابراین، بررسی و شناسایی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت جیرفت اهمیت ویژه‌ای دارد و از سوی دیگر، تعداد چاه‌های مشاهداتی دارای آمار و اطلاعات مناسب در بازه‌ی طولانی مدت، کم است؛ بنابراین، استفاده از روش‌های سنجش از دور برای پایش سطح آب زیرزمینی ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش، نوسان آب‌های زیرزمینی دشت جیرفت در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ با ماهواره‌ی گریس بررسی و تحلیل شد. پهنه‌بندی و تحلیل مکانی نوسان سطح آب زیرزمینی دشت جیرفت در طول ۱۳۸۲-۱۳۹۵، براساس اطلاعات چاه‌های مشاهداتی موجود در منطقه با استفاده از روش کریجینگ انجام شد و در نهایت، برای مقایسه‌ی داده‌های مشاهداتی چاه‌ها و داده‌های ماهواره‌ی گریس، همبستگی خطی بین تغییرات به دست آمده از الگوریتم‌های سنجنده‌ی GRACE و داده‌های مشاهداتی بررسی شد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت جیرفت در عرض جغرافیایی $28^{\circ}10'$ تا $28^{\circ}55'$ درجه‌ی شمالی و طول جغرافیایی $58^{\circ}10'$ تا $57^{\circ}25'$ درجه‌ی شرقی، در جنوب شرق ایران در استان کرمان واقع شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه دارای مساحت $2239/2$ کیلومتر مربع است و متوسط بارش سالانه‌ی آن در بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۸-۱۹۸۹)، $172/7$ میلی‌متر بوده است. حداقل ارتفاع و حداکثر ارتفاع در منطقه، به ترتیب ۴۹۷ و ۱۳۲۴ متر از سطح دریا است. دشت جیرفت از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن، تحت تأثیر آب و هوای نیمه‌بیابانی و بیابانی قرار دارد. دمای متوسط سالانه‌ی این منطقه در بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۱۸-۱۹۸۹)، در حدود ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است. کاربری غالب منطقه‌ی مورد مطالعه نیز کشاورزی و مرتع است. در شکل ۱، موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان کرمان و ایران نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان کرمان و ایران

۳- مواد و روش

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش برای ارزیابی روند تغییرات سطح آب زیرزمینی، داده‌های ماهواره‌ی گریس (ارتفاع آب معادل)^۱ — که در واقع معادل ذخیره‌ی آب زیرزمینی^۲ است در ابعاد $1^\circ \times 1^\circ$ — از ژانویه‌ی ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۶ استخراج شد. همچنین داده‌های ۶۸ چاه مشاهداتی موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه در طول دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶، از سازمان مدیریت منابع آب ایران (تماب) تهیه شد.

ماهواره‌ی گریس

پروژه‌ی گریس، یکی از مأموریت‌های ماهواره‌ای است که به منظور تعیین تغییر میدان گرانش زمین طراحی شده- است. این پروژه توسط NASA آمریکا و DLR آلمان در تاریخ ۱۷ مارس ۲۰۰۲ از ایستگاه پلستیک روسیه صورت گرفت. این ماهواره‌ی دوقلو، تغییرات میزان آب در سطح زمین را به طور غیر مستقیم و با تخمین تغییرات میدان ثقل زمین اندازه‌گیری می‌کند. داده‌های این ماهواره — که به صورت ماهانه است — با حرکت دو ماهواره که در امتداد یکدیگر حرکت می‌کنند، به دست می‌آید (Vishwakarma et al, 2018). در واقع، تغییرات فاصله بین این دو ماهواره که در فاصله‌ی ۲۲۰ کیلومتری از هم و در ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری از سطح زمین در حال حرکت هستند، بیانگر تغییرات ثقل زمین و به عبارتی دیگر، تغییرات موجودیت آب زمین (TWS) در منطقه‌ی عبوری است (Bhanja et al, 2016). هنگامی که مقدار ثقل زمین در زیر ماهواره‌ی جلو افزایش می‌یابد، سرعت حرکت آن نسبت به ماهواره‌ی عقب‌تر نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه، فاصله‌ی بین آنها بیشتر می‌شود. تغییرات فاصله‌ی مذکور توسط سیستم فاصله‌یابی میکروویو (K-Band)، طی یک روند محاسباتی پیچیده به تغییرات زمانی و مکانی ثقل زمین و در نتیجه به تغییرات TWS تبدیل

¹ Equivalent Water Height (EWH)

² Terrestrial Water Storage (TWS)

می‌شود (Zaki et al, 2018). داده‌های ماهواره‌ی گریس به صورت ماهانه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ از سامانه گوگل ارث انجین دانلود شد.

پردازش تصاویر GRACE

تغییر در توزیع جرم زمین به تغییر در میدان ثقل آن منجر می‌شود؛ بنابراین، با اندازه‌گیری تغییر میدان ثقل می‌توان به تغییر ایجاد شده در توزیع جرم پی برد و کاهش و افزایش جرم را تعیین کرد. برای بررسی میدان ثقل زمین در بازه‌های زمانی مختلف، می‌توان از ماهواره‌ی ثقل‌سنجی گریس کمک گرفت. برای تعیین وضعیت بهینه‌ی سطح زمین و حذف کردن اثرهای آب‌شناسی، از مدل آب‌شناسی استفاده می‌شود که در ماهواره‌ی گریس، مدل GLDAS است (Tajdarul et al, 2008). اثرهای آب‌شناختی، با ترکیب کردن سنجه‌های خروجی مدل GLDAS، تعیین می‌شود و ضریب هم‌ساز کروی^۱ محاسبه و اثرهای آب‌شناختی از آن حذف می‌شود (Wahr et al, 1998). اختلاف ضریب کروی هم‌ساز که اثرهای آب‌شناسی از روی آن برداشته شده‌است، با ضریب به دست آمده از ماهواره‌ی گریس محاسبه می‌شود. در مرحله‌ی آخر، از موجک برای تصفیه کردن (Filtering) استفاده می‌شود تا تغییر آب‌های زیرزمینی برآورد شود. موجک، ابزار مناسبی برای پالایش (فیلتر) کردن، محلی کردن پیام (سیگنال) و بررسی کردن اثر تغییر محلی و زمانی در میدان جاذبه است. از آن جا که گریس می‌تواند تغییرات جرم را در قالب مهم‌ترین اثرها مثلاً تغییر در ذخیره‌ی آب رصد کند؛ اگر هدف، بررسی تغییر آب‌های زیرزمینی باشد حذف اثرهای آب‌شناسی ضروری است. سامانه‌ی تحلیل و شبیه‌سازی زمین در پوشش جهانی، ترکیبی از داده‌های ماهواره‌ای و مشاهداتی زمین - مرجع است که براساس مدل‌های پیشرفته‌ی خشکی و روش‌های پیشرفته‌ی ترکیب داده‌ها ایجاد شده است و وضعیت بهینه‌ای از شکل سطح زمین را تعیین می‌کند (Springer et al, 2017). داده‌های ثقل‌سنجی ماهواره‌ی گریس، در سامانه‌ی موتور گوگل ارث انجین با سه الگوریتم سازمان‌های GFZ^۲، CSR^۳ و JPL^۴ پردازش شد. به کار بردن سامانه‌ی موتور گوگل ارث انجین برای پردازش داده‌های ثقل‌سنجی، مشکلاتی را آسان می‌کند؛ از قبیل حجم زیاد داده‌ها، نیاز به تهیه‌ی سامانه‌های قدرتمند برای پردازش داده‌ها و مشکلات پیش‌پردازش داده‌ها را برطرف و تحلیل کردن مجموعه زمانی موضوع‌های مختلف مانند پایش نوسان تراز آب‌های زیرزمینی. برای اعتبارسنجی الگوریتم‌ها و پهنه‌بندی تراز ایستابی آبخوان، داده‌های مشاهداتی ماهانه‌ی چاه‌های موجود در دشت جیرفت در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۳ - ۲۰۱۶ از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمان استخراج شد. در بررسی تغییر مکانی این تراز، پهنه‌بندی در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 با روش کریجینگ^۵ انجام شد. بر طبق مطالعات پیشین، روش درون‌یابی کریجینگ مناسب-ترین روش برای پهنه‌بندی آب زیرزمینی است (Esfandiari et al, 2019). در نهایت، برای بررسی الگوریتم‌های داده شده‌ی ماهواره‌ی گریس، بین تغییر به دست آمده از داده‌های این ماهواره براساس هر سه الگوریتم و تغییر به دست آمده از چاه‌های مشاهداتی، همبستگی پیرسون اعمال شد.

¹ Spherical Harmonic Coefficients

² Geoforschungszentrum

³ Center for Space Research at the University of Texas

⁴ Jet Propulsion Laboratory

⁵ Kriging

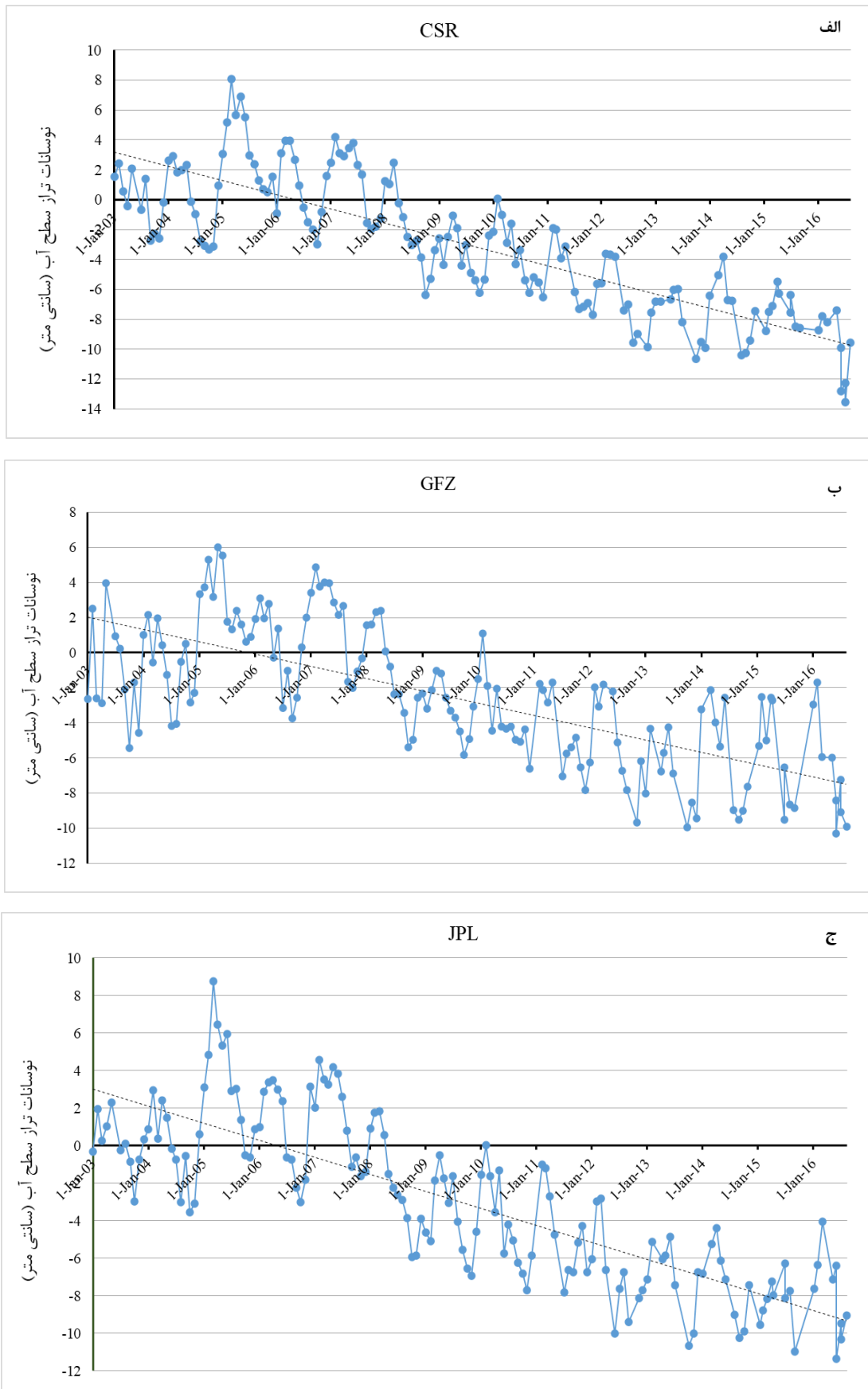
بررسی روند نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از آزمون من - کندال

آزمون ناپارامتری من - کندال، ابتدا توسط Mann (1945) ارائه شد، سپس توسط Kendall (1975) بر پایه‌ی رتبه‌ی داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. این روش، جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی است. از مزایای این روش، مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی است که پیرو توزیع آماری خاصی نیستند. این روش به وسیله‌ی سازمان جهانی هواشناسی (WMO) در سال ۱۹۸۸ پیشنهاد و برای بررسی معنی‌داری روند سری‌های اقلیمی در موارد مختلف استفاده شد. فرض صفر این آزمون، بر تصادفی بودن و فقدان روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر)، دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. در این تحقیق به منظور تعیین روند سری‌های زمانی نوسانات آب زیرزمینی، از آزمون ناپارامتری من - کندال استفاده شد که علت آن، تأثیر نپذیرفتن از داده‌های پرت و نامعمول و مقاوم بودن نسبت به خطاهای احتمالی است (Khorrooshi et al, 2017). برای بررسی روند این داده‌ها، از نرم‌افزار XLSTAT 2019 استفاده شد.

۴- نتایج

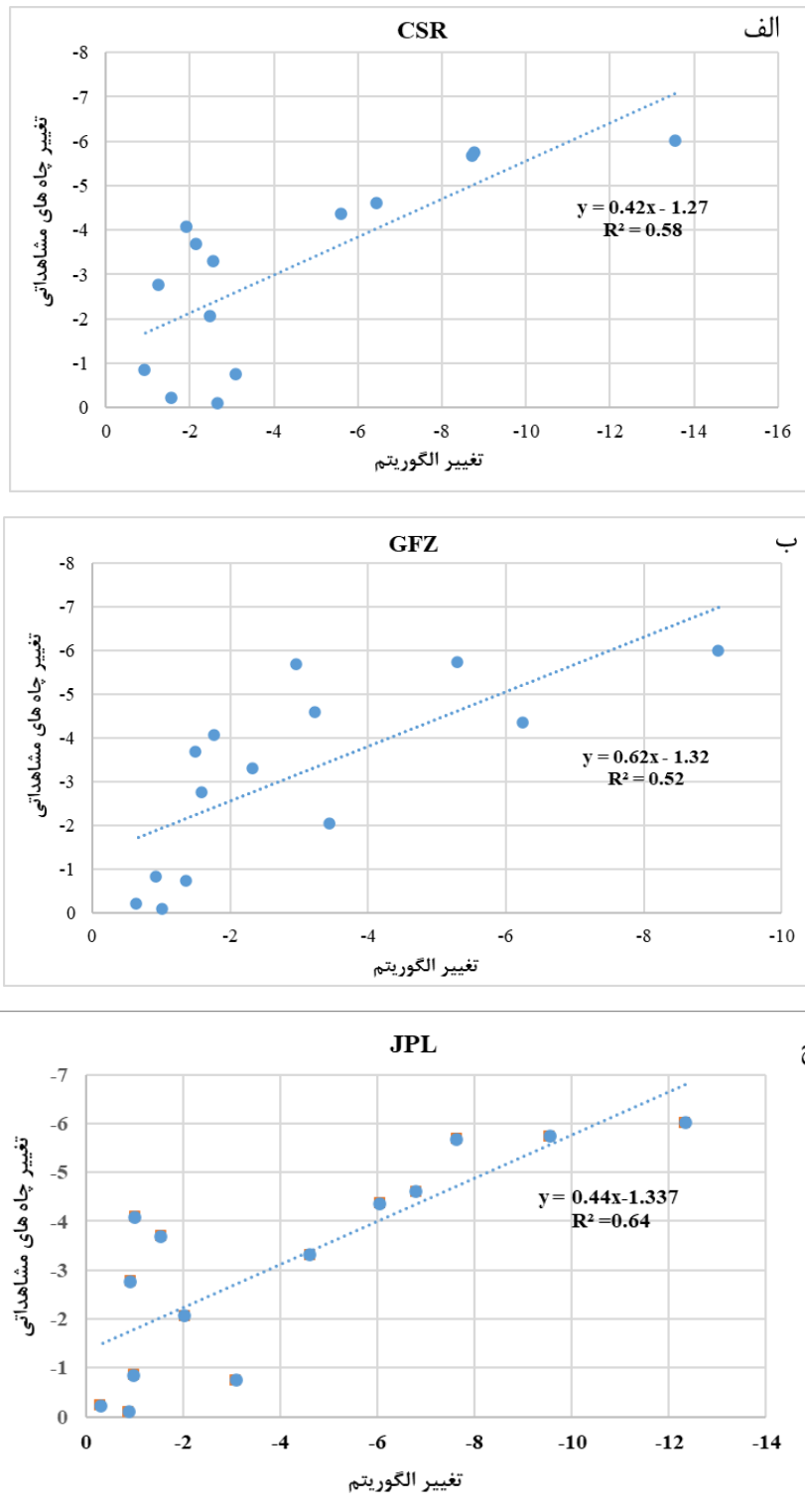
تغییرات سطح آب زیرزمینی

در این پژوهش، روند تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از تصاویر گریس به دست آمد. شکل ۲، تغییر تراز ایستتابی آبخوان را با داده‌های ماهواره‌ی گریس و سه الگوریتم CSR، GFZ و JPL، در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ در نرم‌افزار گوگل ارث انجین نشان می‌دهد.



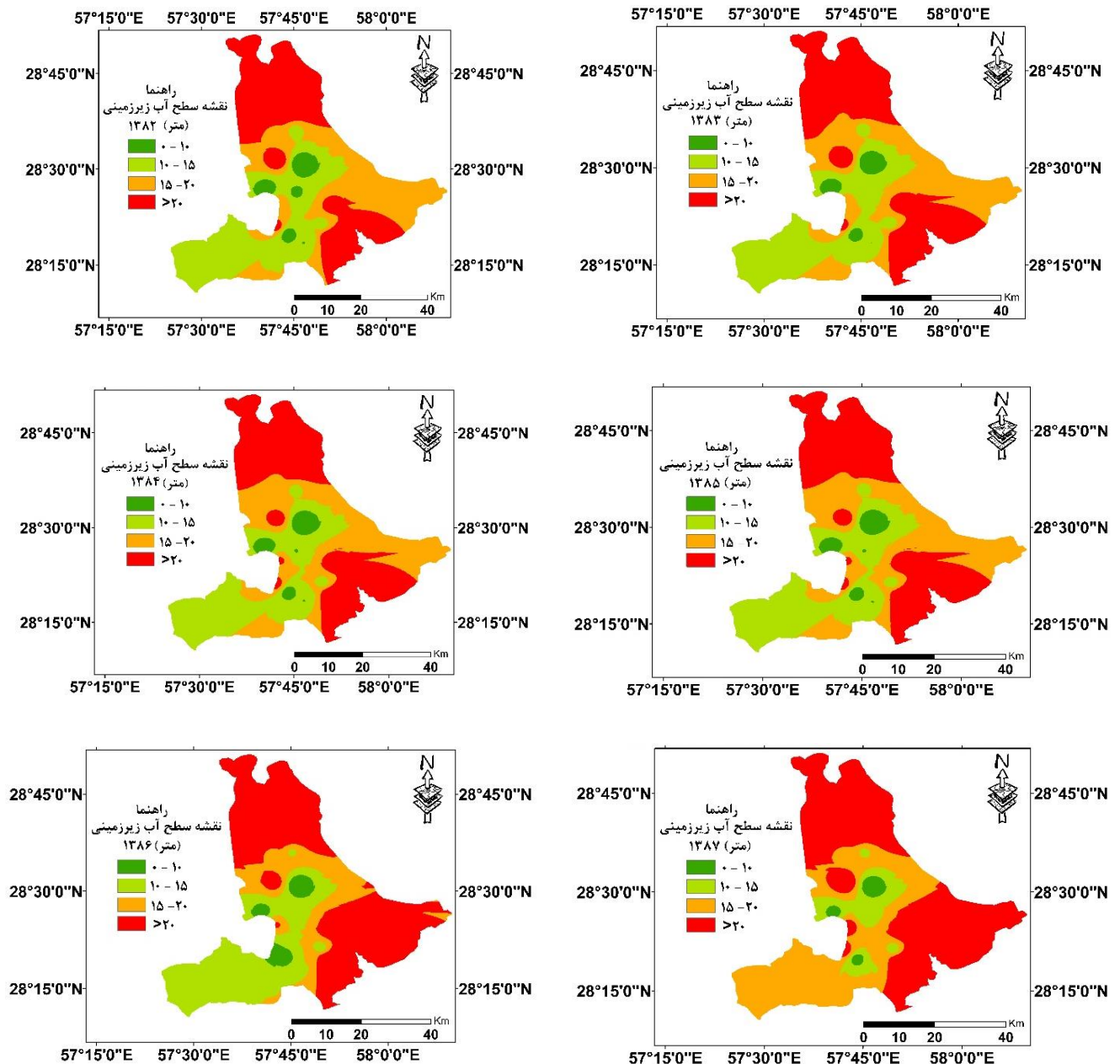
شکل ۲: نوسان تراز آبخوان دشت جیرفت با الگوریتم‌های ماهواره‌ی گریس الف (CSR)، ب (GFZ)، و ج (JPL)

برای بررسی الگوریتم‌های داده شده‌ی ماهواره‌ی گریس، بین تغییر به دست آمده از داده‌های این ماهواره براساس هر سه الگوریتم و تغییر به دست آمده از چاه‌های مشاهداتی، همبستگی خطی پیرسون اعمال شد (شکل ۳).

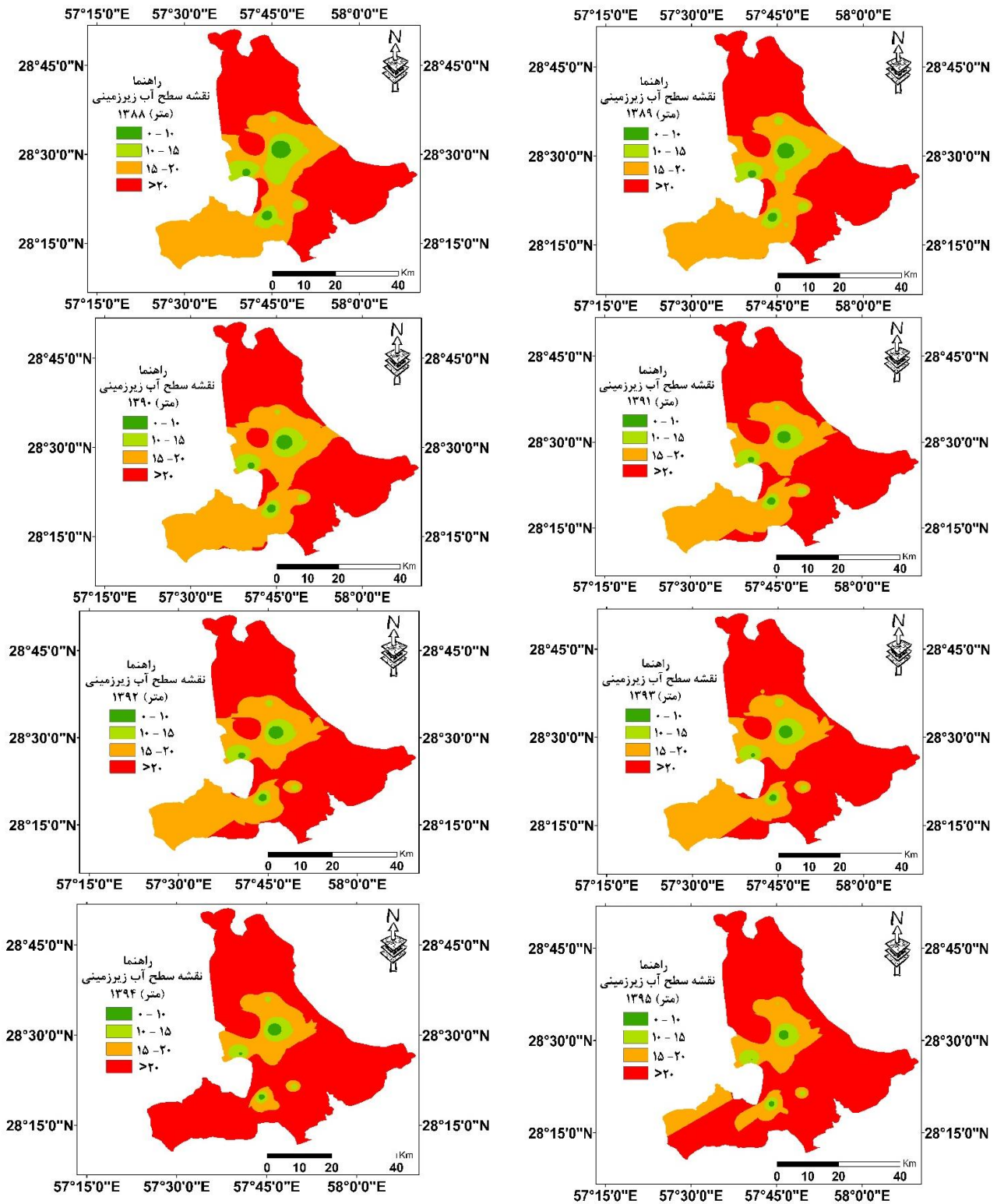


شکل ۳: همبستگی خطی الگوریتم‌ها و چاه‌های مشاهداتی آبخوان دشت جیرفت الف) CSR، ب) GFZ و ج) JPL

ضریب همبستگی خطی بین مدل‌های JPL، GFZ و CSR به ترتیب ۶۴، ۵۲ و ۵۸ درصد به دست آمد. بر طبق نتایج، مدل JPL با ضریب تبیین بالاتر، برای پیش‌گویی کمیت آب‌های زیرزمینی دشت جیرفت مناسب‌ترین مدل است. نتیجه‌ی پهنه‌بندی به روش درون‌یابی کریجینگ برای تحلیل مکانی تراز ایستایی این آبخوان، با داده‌های مشاهده‌ای در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده‌است.



شکل ۴: نقشه‌ی سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۷ (۲۰۰۳-۲۰۰۸)

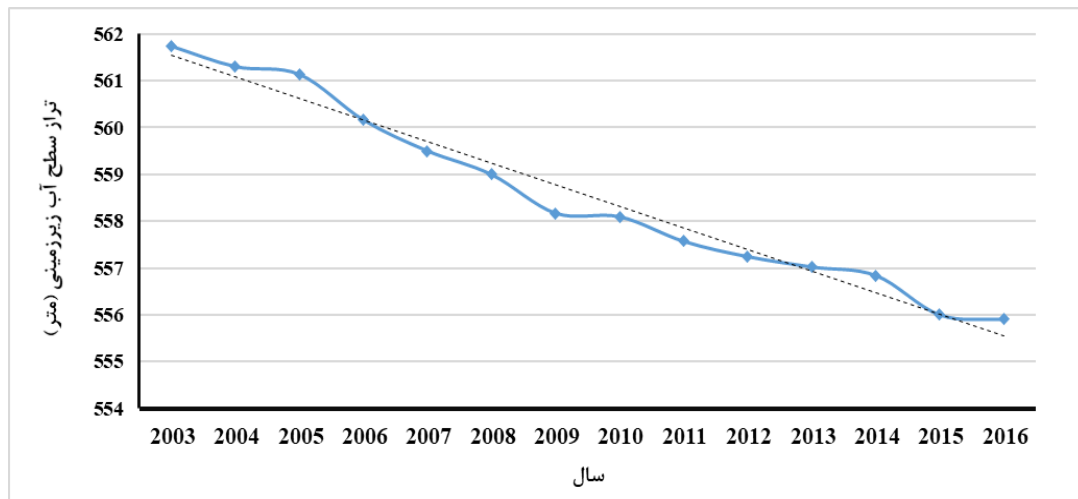


شکل ۵: نقشه‌ی سطح آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۹۵ (۲۰۰۹-۲۰۱۶)

نتایج پهنه‌بندی بیانگر این است که افت سطح آب زیرزمینی در قسمت مرکزی، غربی و جنوب غربی دشت جیرفت بیش از سایر نقاط آبخوان است که علت آن، تعداد بیشتر چاه‌های بهره‌برداری و گسترش فعالیت‌های کشاورزی در این قسمت می‌باشد؛ به طوری که با گذشت زمان، سطح آب زیرزمینی در این قسمت‌ها از ۱۰ متر در سال

۱۳۸۲ به بیش از ۲۰ متر در سال ۱۳۹۵، کاهش یافته‌است. همچنین با گذشت زمان، مساحت مناطق با تراز ایستابی پایین‌تر نیز در دراز مدت گسترش یافته‌است.

مشابه با نتایج به دست آمده از داده‌های گریس روند کلی تغییر سطح آب زیرزمینی از روی نقشه‌های پهنه‌بندی، کاملاً نزولی است و تراز آب در این آبخوان افت کرده‌است که بررسی الگوریتم‌های سنجنده‌ی گریس نیز برای این حوزه بیانگر افت سطح آب در این آبخوان می‌باشد. همچنین نمودار تراز سطح آب زیرزمینی دشت جیرفت در طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ (۱۳۸۲-۱۳۹۵)، افت و روند کاهشی تراز سطح آب را در این آبخوان نشان می‌دهد (شکل ۶).



شکل ۶: هیدروگراف آبخوان دشت جیرفت طی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۶

- بررسی روند نوسانات سطح آب زیرزمینی

نتایج حاصل از بررسی روند نوسانات سطح آب زیرزمینی برای الگوریتم‌های مختلف و داده‌های مشاهداتی، با استفاده از آزمون من - کندال در دشت جیرفت در دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۶ میلادی در جدول ۱ نشان داده شد. با توجه به جدول ۱، مشخص است که نوسانات آب زیرزمینی هم در داده‌های مشاهداتی و هم در الگوریتم‌های CSR، JPL و GFZ، روند نزولی و معنی‌دار در سطح ۵ درصد دارد.

جدول ۱: نتایج حاصل از بررسی روند نوسانات سطح آب زیرزمینی برای الگوریتم‌های مختلف و داده‌های مشاهداتی (دوره آماری ۲۰۰۳-۲۰۱۶)

پارامتر	Z value	p-value (Two-tailed)	بررسی معنی‌داری روند در سطح ۵ درصد
CSR	-۴/۹	۰/۰۰۰۵	دارای روند کاهشی
GFZ	-۲/۴۶	۰/۰۰۰۴	دارای روند کاهشی
JPL	-۳/۷۸	۰/۰۰۰۱	دارای روند کاهشی
داده‌های مشاهداتی	-۵/۸۳	۰/۰۰۰۷	دارای روند کاهشی

۵- بحث و نتیجه گیری

در سال‌های اخیر، خشکسالی‌ها و افزایش تعداد چاه‌های بهره‌برداری به کاهش سطح این آب‌ها منجر شده‌است؛ از این‌رو، ارزیابی نوسانات سطح آب زیرزمینی در دشت جیرفت امری ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش، از داده‌های ماهواره‌ای گریس برای ارزیابی نوسان تراز آب در دشت جیرفت استفاده شد. برای تحلیل مکانی و زمانی تراز ایستابی دشت، پهنه‌بندی براساس سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهداتی دشت جیرفت و به تفکیک از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ در نرم‌افزار ArcGIS به روش کریجینگ معمولی انجام شد. نتایج پهنه‌بندی آب زیرزمینی در طول ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ نشان داد که بیشترین افت مربوط به قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوب غربی دشت جیرفت است که علت اصلی آن، تمرکز چاه‌های بهره‌برداری و زمین‌های کشاورزی و در نتیجه برداشت غیر اصولی از منابع آب زیرزمینی در این نواحی است که در راستای نتایج Hao و همکاران (۲۰۱۹) می‌باشد. همبستگی خطی بین نتایج سه الگوریتم GFZ، JPL، CSR و پیزومترها، بیانگر همبستگی خوب بین الگوریتم‌ها و داده‌های مشاهداتی بود. بر طبق نتایج، مدل JPL با ۶۴ درصد همبستگی، مناسب‌ترین مدل برای پایش کمیت آب‌های زیرزمینی دشت جیرفت است. استفاده‌ی تنها از داده‌های چاه‌های مشاهداتی در دشت جیرفت، برای پایش و تحلیل افت سطح آب زیرزمینی مناسب به نظر نمی‌رسد؛ این امر به دلیل گپ آماری موجود در دوره آماری طولانی مدت و پراکنش نامناسب چاه‌های مشاهداتی است؛ از این‌رو، می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای گریس به عنوان روشی کم هزینه و آسان برای پایش و تحلیل کردن نوسان تراز آب‌های زیرزمینی در مناطقی که با مشکل کمبود داده مواجه هستند، استفاده کرد. همبستگی مناسب به دست آمده بین داده‌های گریس و مقادیر مشاهداتی، گویای این مطلب است که با نتایج Farokhnia و Morid (۲۰۱۴)، Nabavi و همکاران (۲۰۲۰) و Faraji و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. بررسی روند نوسانات آب زیرزمینی نشان داد که هم داده‌های مشاهداتی و هم الگوریتم‌های JPL، CSR و GFZ، دارای یک روند کاهشی و معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. یکسان بودن روند داده‌های مشاهداتی و الگوریتم‌ها نیز گویای صحت نسبتاً خوب تصاویر GRACE در بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌باشد. نتایج به دست آمده از مطالعات Farokhnia و Morid (۲۰۱۴) در حوزه آبخیز دریاچه‌ی ارومیه نیز بیانگر مشابهت روند تغییرات کل بیلان آب حوزه به دست آمده براساس تصاویر ماهواره‌ای گریس و داده‌های مشاهداتی بود. به طور کلی نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر، قابلیت مناسب داده‌های GRACE را برای برآورد سریع و کم هزینه‌ی سطح آب زیرزمینی در اکثر دشت‌های ایران نشان می‌دهد.

منابع

1. Abiy, A. Z., & A. M. Melesse., (2017). Evaluation of watershed scale changes in groundwater and soil moisture storage with the application of GRACE satellite imagery data. *Journal of Catena*. 153, 50-60.
2. Bhanja, S. N.; Mukherjee, A.; Saha, D.; Velicogna, I.; & J. S. Famiglietti, 2016. Validation of GRACE based groundwater storage anomaly using in-situ groundwater level measurements in India, *Journal of Hydrology*, 543, 729-738.
3. Brown, L. E.; Milner, A. M.; & D. M. Hannah, 2007. Groundwater influence on alpine stream ecosystems, *Journal of Freshwater Biology*, 52(5), 878-890.

4. Cunningham, A. B.; Sharp, R. R.; Hiebert, R.; & G. James, 2003. Subsurface biofilm barriers for the containment and remediation of contaminated groundwater, *Bioremediation Journal*, 7(3-4), 151-164.
5. Eftekhari, M.; Madadi, K.; & M. Akbari, 2019. Monitoring the Fluctuations of the Birjand Plain Aquifer Using the GRACE Satellite Images and the GIS Spatial Analyses, *Journal of Watershed Management Research*, 32(4), 51-65.
6. Faraji, Z.; Kaviani, A.; & A. Ashrafzadeh, 2017. Assessment of GRACE satellite data for estimating the groundwater level changes in Qazvin province, *Journal of Eco Hydrology*, 4(2), 463-476.
7. Farokhnia, A., & S. Morid., (2014). Assessment of GRACE and GLDAS Capabilities for Estimation of Water Balance in Large Scale Areas, a Case Study of Urmia Lake Watershed. *Journal of Iran-Water Resources Research*. 10(1), 51-62.
8. Forootan, E.; Rietbroek, R.; Kusche, J.; Sharifi, M. A.; Awange, J. L.; Schmidt, M.; & J. Famiglietti, 2014. Separation of large-scale water storage patterns over Iran using GRACE, altimetry and hydrological data, *Journal of Remote Sensing of Environment*, 140, 580-595.
9. Hao, Z.; Zhao, H.; Zhang, C.; Zhou, H.; Zhao, H.; & H. Wang, 2019. Correlation analysis between groundwater decline trend and human-induced factors in Bashang Region, *Journal of Water*, 1(3), 473-496.
10. Henry, C. M.; Allen, D. M.; & J. Huang, 2011. Ground water storage variability and annual recharge using well-hydrograph and GRACE satellite data, *Hydrogeology Journal*, 19(4), 741-755.
11. Isazade, V., & M. Argany., (2020). Changes in water surface of aquifers using GRACE satellite data in the Google Earth engine (study area: Urmia Lake watershed, 2002 to 2017). *Town and Country Planning*.
12. Kendall, M. G., 1975. Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London.
13. Mann, H. B., 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13, Math Science Net, pp 245-259.
14. Nabavi, S. N.; Alizadeh, A.; & A. R. Faridhosseini, 2020. Evaluation of groundwater resources using GRACE Satellite Gravimetric Data (Case study: Khorasan Razavi), *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(3), 855-866.
15. Nie, W.; Zaitchik, B. F.; Rodell, M.; Kumar, S. V.; Arsenault, K. R.; & A. Getirana, 2019. Assimilating GRACE into a land surface model in the presence of an irrigation-induced groundwater trend, *Journal of Water Resources Research*, 55(12), 11274-11294.
16. Riyahi, M. M.; Jafarpour, M.; Emadali, L.; & M. A. Sharifi, 2020. The Impact of outlier detection to estimate groundwater fluctuations using GRACE satellite data; Case Study: Khuzestan Province, Iran, *Journal of Hydraulic Structures*, 6(1), 90-104.
17. Sarkar, T.; Kannaujiya, S.; Taloor, A. K.; Ray, P. K. C.; & P. Chauhan, 2020. Integrated study of GRACE data derived interannual groundwater storage variability over water stressed Indian regions, *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100376.
18. Singh, A., & A. Raju., (2020). Application of Grace Satellite data for assessment of groundwater resources in central Ganga alluvial plain, Northern India, In *Environmental Concerns and Sustainable Development*, pp, 153-162. Springer, Singapore.
19. Springer, A.; Eicker, A.; Bettge, A.; Kusche, J.; & A. Hense, 2017. Evaluation of the water cycle in the European COSMO-REA6 Reanalysis Using GRACE, *Journal of Water*, 9(4), 289-313.
20. Swenson, S., & J. Wahr., (2009). Monitoring the water balance of Lake Victoria, East Africa, from space. *Journal of Hydrology*. 370(1-4), 163-176.

21. Tajdarul, H.; Syed James, S.; Famiglietti, M.; Rodell, J.; Chen, C.; & R. Wilson, 2008. Analysis of terrestrial water storage changes from GRACE and GLDAS, *Water Resources Research*, 44,1-15.
22. Vishwakarma, B. D.; Devaraju, B.; & N. Sneeuw, 2018. What is the spatial resolution of GRACE satellite products for hydrology?, *Remote Sensing*, 10(6), 852-868.
23. Voss, K. A.; Famiglietti, J. S.; Lo, M.; de Linage, C.; Rodell, M.; & S. C. Swenson, 2013. Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region, *Journal of Water Resource Research*, 49(2), 904-914.
24. Wahr, J.; Molenaar, M.; & F. Bryan, 1998. Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE, *JGR Solid Earth*, 103 (12), 30205-30229.
25. Wang, S.; Liu, H.; Yu, Y.; Zhao, W.; Yang, Q.; & J. Liu, 2020. Evaluation of groundwater sustainability in the arid Hexi Corridor of Northwestern China, using GRACE, GLDAS and measured groundwater data products, *Journal of Science of the Total Environment*, 705, 135829.
26. Xiang, L.; Wang, H.; Steffen, H.; Wu, P.; Jia, L.; Jiang, L.; & Q. Shen, 2016. Groundwater storage changes in the Tibetan Plateau and adjacent areas revealed from GRACE satellite gravity data, *Earth and Planetary Science Letters*, 449, 228-239.
27. Zaki, N. A.; Haghghi, A. T.; Rossi, P. M.; Tourian, M. J.; & B. Kløve, 2018. Monitoring groundwater storage depletion using gravity recovery and climate experiment (GRACE) data in the semi-arid catchments, 11.1456.

Evaluation of groundwater level fluctuations in Jiroft plain using GRACE satellite images

Farshad Soleimani Sardoo: Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Kerman, Iran

Elham Rafiiei sardooi: Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Kerman, Iran

Saeedeh Nateghi*¹: Assistant Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Ali Azareh: Assistant Professor, Department of geography, University of Jiroft, Kerman, Iran

Article History (Received: 2021/01/28

Accepted: 2021/03/10)

Extended Abstract

1-Introduction

In recent decades, the excessive use of groundwater resources has led to a drop in groundwater levels in most plains of Iran. To this end, the use of remote sensing techniques has recently expanded to study the fluctuations of groundwater levels. GRACE satellite data is a valuable new tool for groundwater monitoring and is currently the only remote sensing satellite which is capable of monitoring groundwater level changes. Hence, considering the special and critical conditions of Jiroft plain from the point of view of water resources, the study on the identification of the change of groundwater resources (as the main water resource in the region) have special importance. Therefore, the purpose of this study is to investigate and analyze the fluctuations of groundwater levels in Jiroft plain using GRACE satellite images from 2003 to 2016

2-Methodology

This study investigates the trend of groundwater level changes in Jiroft plain using GRACE satellite images during 2003-2016. In this regard, the data was firstly processed in Google Earth Engine based on three algorithms, including JPL, GFZ, and CSR, and their results were compared with observational data (piezometric) from 2003 to 2016. This comparison was performed by examining the linear correlation between the changes obtained based on the GRACE satellite algorithms and the observational data. Also, for temporal and spatial analysis, the aquifer water level was mapped using Kriging method in ARCGIS software.

3- Results

The results showed a good correlation between algorithms and observational data. According to the results, JPL algorithm with 64% correlation was the most suitable model for monitoring the quantity of groundwater in Jiroft plain. The results of groundwater mapping from 2003 to 2016 indicated the most drop of groundwater level in the central, western and southwestern parts of Jiroft plain, due to more wells and the expansion of agricultural activities in these regions. The examination of groundwater change trend showed that both observational data and JPL, CSR, and GFZ algorithms had a significant decreasing trend at the level of 5%. The similarity trend of observational data and algorithms also indicated the relatively good accuracy of GRACE images to investigate the groundwater level fluctuations.

4-Discussion and conclusion

The recent droughts and increasing the number of exploitation wells have led to the decrease in groundwater levels. Therefore, the assessment of groundwater level fluctuations of Jiroft plain is necessary. In this study, GRACE satellite data were used to evaluate groundwater level fluctuations in Jiroft plain. The results of groundwater mapping from 2003 to 2016 indicated the most drop of groundwater was related to regions with more wells and more agricultural

* Coressponding Author: Nateghi@rifr-ac.ir

activities that are in line with Hao *et al.*, 2019. The study of linear correlation between the results of the three algorithms of GFZ, CSR, JPL, and piezometers, showed a good correlation between the algorithms and the observational data. According to the results of JPL model with 64% correlation, it was the most suitable model for monitoring the groundwater level in Jiroft plain. Considering the appropriate correlation obtained, it can be concluded that researchers and organizations can apply GRACE data as a low-cost and easy method to monitor and analyze groundwater level fluctuations that are compatible with the findings of Farokhnia and Morid (2014); Faraji *et al.*, (2017) and Nabavi *et al.*, (2020). Investigating the change trend of groundwater showed that both observational data and JPL, CSR, and GFZ algorithms have a significant decreasing trend at the level of 5%. The similarity trend of observational data and algorithms also indicated the relatively good accuracy of GRACE images to investigate the groundwater level fluctuations. The findings of Farokhnia *et al.*, (2014) also showed the similarity of changes trend of the total water balance of the basin by the Grace satellite and the observational data.

Keywords: Aquifer, Mapping, Remote Sensing, Pearson Correlation.