نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دوازدهم. شماره چهل و هشت. تابستان ۱۴۰۱

پایش تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از ماهوارهGRACE و GLDAS در استان کرمانشاه

مریم حافظ پرست*[۱]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۲/۱۹

مقاله پژوهشی

چکیده

پایش آبهای زیرزمینی از دیرباز به عنوان یکی از منابع اصلی تامین آب کشاورزی مورد توجه بوده‌است. در این راستا برداشت بی رویه از این منبع خدادادی و نیز احداث چاه‌های غیرمجاز و کمبود بارشها سبب افت سطح آب در بسیاری از آبخوان‌های کشور شده‌است. دشت‌های استان کرمانشاه با داشتن شرایط آب و هوایی خوب و خاک حاصلخیز از قطبهای کشاورزی و باغداری ایران است. از اینرو در این پژوهش داده‌های چاه‌های پیزومتری در دوره ۱۳۶۰-۱۳۹۷و داده‌های ماهواره GRACE با رزولوشن یک درجه در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ با روش‌های JPL,GFZ وCSR برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان‌های استان کرمانشاه استفاده‌گردید. مقدار رطوبت خاک، آب حاصل از پوشش گیاهی و آب حاصل از ذوب برف با استفاده از ماهوارهGLDAS با وضوح یک درجه از محیط محاسبات ابری گوگل ارث اینجین استخراج گردید. نقشه‌های پهنه‌بندی کلیه آبخوان‌های استان برای سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ با روش کریجینگ در نرم‌افزار ARC GIS رسم‌گردید که نتایج نشان داد تعدادی از آبخوان‌ها از جمله حسن آباد- شیان و سنجابی و دینه‌ور در شرایط بحرانی هستند. داده‌های درازمدت ماهانه و سالانه تراز آب آبخوان‌ها برای دشتهای مختلف با توجه به مساحت‌های موثر آنها نیز به روش تیسن محاسبه و نمایش داده شده‌است. نقشه تغییرات رطوبت خاک، تبخیر-تعرق واقعی، بارش تجمعی استان کرمانشاه توسط ماهواره TERRAکه دارای رزولوشن ۰/۰۴ معادل تقریبا ۴ کیلومتر در ۴ کیلومتر است استخراج گردید که تغییرات این پارامترها را در دسامبر ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. مقادیر تغییرات سطح آب‌زیرزمینی TWS با کسر مقادیر رطوبت خاک، آب حاصل از پوشش گیاهی و آب حاصل از ذوب برف در مقابل داده‌های مشاهداتی آبخوان رسم‌گردید.

واژه‌های کلیدی: تغییرات سطح آب زیرزمینی، پهنه بندی، گوگل ارث اینجین ، ماهوارهGRACE، ماهوارهGLDAS

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، نویسنده مسئول،ایمیل: m.hafezparast@razi.ac.ir

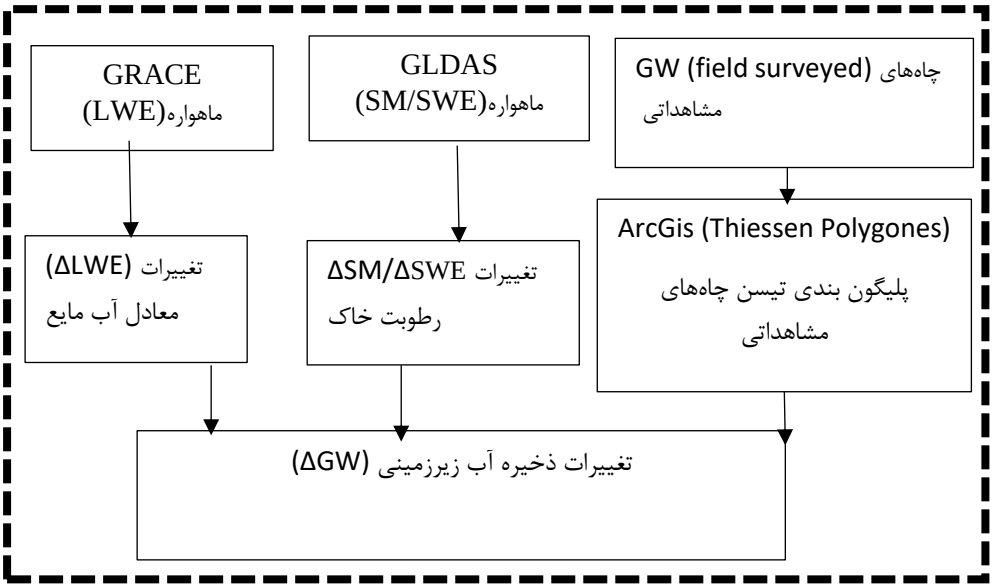
مقدمه

علم سنجش از دور که در حال حاضر به منظور بررسی پوشش گیاهی، منابع آب سطحی، بررسی نوع و بافت خاک، رطوبت خاک، میزان بارش، دما و دیگر پارامترهای موثر در مطالعات کشاورزی، هیدرولوژیکی و ... کاربرد دارد در زمینه سنجش تغییرات ذخیره آب زیرزمینی نیز مورد توجه قرار گرفته‌است. در کشور ایران به دلیل شرایط متغیر و عدم قطعیت بالای متغیرهای آب و هوایی آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی تامین نیاز آبی محصولات کشاورزی محسوب می‌شود. در استان کرمانشاه با داشتن دشتهای وسیع، اراضی کشاورزی و باغداری گسترده تغییرات ذخیره آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ایی برخوردار است. در این راستا پایش و مانیتورینگ آبهای زیرزمینی که به دلیل کمبود بارشها مورد توجه است از طریق ارزیابی داده‌های چاه‌های پیزومتری و علم سنجش از دور امکان پذیر است. مطالعات زیادی در بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی انجام شده که در این پژوهش مطالعاتی که با استفاده از سنجش از دور این موضوع را بررسی‌کرده‌اند در نظر گرفته شده‌است. انتظاری و رحیم زادگان(1396) با بررسی تغییرات آب‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهواره‌GRACE و پردازش‌های لازم، تغییرات سطح آب بین سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۶ را برای کل کشور و سپس برای کلان شهرهای تهران، تبریز، اصفهان، شیراز و مشهد محاسبه کردند که نتایج، روندی نزولی را با مقادیر ۱/۵۷-و۱/۸۴-و۰/۴۳-و۱/۴۷-و۰/۹۴- سانتیمتر در سال برای کلان شهرها و همچنین مقدار ۱/۲۳- سانتیمتر در سال برای کل کشور برآورد کرد. ارتباط بین تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهواره GRACE و میزان بارش را برآورد کرد(Arast et.al, 2020). زمانی که بارش روند نزولی دارد آنگاه روند نوسانات ذخیره آب زیرزمینی به طور گسترده تری تحت تاثیر باران قرار دارد. از طرفی شاخص NDVI بستگی به مقدار ذخیره آب زیرزمینی دارد. به طوری که کمترین مقدارNDVI معادل ۰/۰۷۸ در سال ۲۰۱۶ همزمان با کمترین مقدار ذخیره آب‌زیرزمینی و نرخ تغذیه معادل ۲۷/۳۶ سانتی‌متر است. ریشه میانگین مربعات خطا برای داده‌های ماهواره GRACE و چاه‌های مشاهداتی برابر ۲/۲۳ سانتی‌متر و میانگین مطلق خطا برابر ۳/۲۸ سانتی‌متر و میانگین خطای بایاس برابر ۱/۰۲ سانتی‌متر در مقیاس فصلی است. Castellazzi و همکاران (۲۰۱۸) داده‌های ماهواره GRACE و داده‌های سازمان آب ایالتی مکزیک برای تخمین میزان تخلیه آب های زیرزمینی در این منطقه استفاده‌کردند. آنها نشان دادند که تخمین ماهواره GRACE با داده‌های زمینی سازگار است و همچنین برای برنامه‌های مدیریت آب مناسب است. آنها همچنین میزان تخلیه بیشتر آبهای زیرزمینی و روند منفی در زمین‌های کشاورزی در شمال مکزیک را نشان دادند. تغییرات محلی آب‌زیرزمینی در ایستگاه ووهان نشان داد که عملکرد تخمین GRACE از تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مناسب است(Zhou et al,2016) . دانشمندان زیادی از داده ماهواره GRACE برای سنجش آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند. این ماهواره تغییرات ΔTWS را ردیابی می‌کند اما تغییرات اجزای هیدرولوژیکی (به عنوان مثال، آب سطحی، رطوبت خاک، و آبهای زیرزمینی) را ردیابی نمی‌کند. تاکنون، برای ثبت تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی از ماهواره GRACE و ثبت شاخصΔTWS استفاده شده‌است. سایر اجزای TWS با استفاده از اطلاعات کمکی یا مدل‌های سطح زمین قابل دسترسی است. در مطالعات قبلی مقایسه بین تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی با تفکیک داده‌های GRACE و استفاده از داده‌های زمینی ، با هدف اعتبار سنجی دقت داده‌های GRACE در منطقه موردنظر است (Scanlon et al., 2012). افتخاری و همکاران (۱۳۹۸) پردازش داده‌ها در سامانه‌ی گوگل ارث اینجین را با داده‌های سه مرکز داده JPL، GFZو CSR برای آبخوان دشت بیرجند انجام داده و نتایج با داده‌های مشاهده‌یی پیزومتری (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷) مقایسه‌شد. این مقایسه با ایجادکردن وایازی خطی بین متغییرهای به دست آمده از الگوریتم‌های سنجنده‌ی GRACE و داده‌های مشاهده‌یی انجام‌شد، که نتیجه‌ی آن همبستگی ۶۹ درصدی بین متغییرهای به دست آمده از دو روش بود. برای تحلیل مکانی و زمانی، تراز ایستآبی آبخوان با نرم افزارARC GIS پهنه‌بندی شد. نتایج نشان داد که در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ به دلیل کمبود بارشها، تغذیه نشدن آبخوان، و برداشت اضافه، تراز ایستآبی افت بسیاری کرده‌است. نبوی و همکاران (۱۳۹۹)

در پژوهشی با عنوان ارزیابی منابع آب‌زیرزمینی با استفاده از داده‌های ثقل‌سنجی ماهواره‌ی GRACE در خراسان رضوی، تغییرات سطح آب‌زیرزمینی ماهواره GRACE را در بازه اوت ۲۰۰۲ تا ژوئن۲۰۱۶ مورد ارزیابی قرار دادند. موجودیت آب (TWS) تولیدشده از داده‌های ماهواره GRACE به همراه داده‌های رطوبت خاک، آب معادل برف، و آب ذخیره شده در تاج پوشش گیاهان مستخرج از مدل GLDAS به صورت ماهانه ارائه شد. نتایج نشان داد داده‌های GRACE(CENS) کمترین تخمین و داده‌های GRACE(JPL) بهترین تخمین را بر اساس معیارهای خطا با داده‌های مشاهداتی داشته‌اند. نیز داده‌های GRACE(CSR) با ارائه روند ۰/۰۸۹- سانتی‌متر در ماه، مطلوب‌ترین پیش‌بینی روند تغییرات ماهانه سطح آب‌زیرزمینی را نشان می‌دهد. برای مطالعه مدیریت جامع رودخانه نیل در آفریقا ، تغییرات ذخیره آب در رودخانه توسط ماهواره GRACE و اندازه‌گیری بارندگی را تجزیه و تحلیل کردند و نتایج نشان داد که یک ارتباط قوی بین تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی و میزان شارژ با تغییرات بارندگی وجود دارد (Khaki et al, 2018). داده‌های ماهواره GRACE می‌توانند به طور موثر برای ارزیابی ویژگی‌های خشکسالی و تغییرات آب‌های زیرزمینی استفاده شوند و این داده‌ها می‌توانند در مورد ویژگی‌های خشکسالی‌های قوی قابل اعتماد و در مناطق وسیع آموزنده باشند(Sun et al,2018). داده‌های ماهواره GRACE نشان می‌دهد که آبهای زیرزمینی در مناطق مرکزی و جنوبی هند افزایش یافته و داده‌های G RACEبرای شناسایی فرآیند ذخیره آب زیرزمینی به اندازه کافی کارآمد هستند. نتایج نشان داد که میزان بارندگی دلیل مهمی در ذخیره آب در بیشتر این مناطق است و روند مثبتی دارد(Banerjee and Kumar, 2018). اشرف‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) داده‌های سطح دو ماهواره‌ی GRACE را برای برآورد تغییرات ماهیانه ذخایر آب منطقه جنوب ایران طی دوره مطالعاتی اوت ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۰ مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده کاهش شدید روند ذخایر آب بر روی غرب و جنوب ایران است. با تصحیح اثر دریای خزر و خروجی مدل‌های هیدرولوژی GLDAS و CLM4 دریافتند که بیشتر کاهش آب در طولانی مدت به دلیل کاهش آب‌های زیرزمینی است. برای اعتبارسنجی نتایج، با مشاهدات ماهیانه چاه‌های پیزومتری جنوب کشور مقایسه‌شد. اثرات هیدرولوژی مانند رطوبت خاک، برف، آب‌های سطحی با استفاده از مدل GLDAS از روی ذخایر آب مشاهدات GRACE حذف گردید. نتایج نشان دهنده کاهش آب زیرزمینی در حدود ۴۵ کیلومتر مکعب در هر سال می‌باشد. همچنین اثرات انسانی کاهش آب‌های زیرزمینی با حذف تغییرات طبیعی آب‌های زیرزمینی از روی مشاهدات GRACE، با استفاده از مدل CLM4 پیش‌بینی می‌شود. در پژوهشی از داده‌ها و ابزارهای موجود سنجش از دور برای ردیابی تغییرات ذخیره آب در ایران استفاده شده‌است. داده‌ها از ترکیب سیستم جهانی جذب داده زمین (GLDAS) و ماهواره ثقل سنجی (GRACE) برای تجزیه و تحلیل تغییرات ذخیره آب (LWE) در ایران استفاده شده‌است. سیگنال‌های GRACE نشان‌دهنده کاهش زیاد ذخیره آب و نوسانات شدید سطح آب در شمال ایران در امتداد ساحل دریای خزر (بزرگترین مجموعه جهانی آب داخلی) می‌باشد. تکامل اجباری و طبیعی باعث شده که بیشترین میزان کاهش LWE در استان کرمانشاه رخ دهد که یک سلسله زمین لرزه در سال‌های(۲۰۱۷ ، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹) را تجربه کرده‌است. نیز ارتباط کاهش بارش و افزایش دما در اثر تغییراقلیم به میزان ذخیره آب‌زیرزمینی را بررسی‌کرده و همبستگی تاخیر دو ماهه بارش و سه ماهه دما را مثبت ارزیابی کرده‌است (Moghim,2020). از تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی (TWS) مدلGRACE برای برآورد شاخص خشکسالی جهانی TSDI استفاده شد که نتایج نشان داد با شاخص‌های خشکسالی دیگر همبستگی دارد و این شاخص برای پایش خشکسالی جهانی موثر است (Nie et al,2018). نوسانات آب‌زیرزمینی در مانسون تابستانی هند با استفاده از داده‌های ماهواره GRACE و GLDAS بررسی‌شد. نتایج GRACE نشان داد تغییرات ذخیره آب زیرزمینی در دوره مطالعاتی در هند ۱۵ سانتی‌متر است. نیز نشان دادند داده‌های ماهواره GRACE انعطاف پذیری مناسبی برای تغییرات آب‌زیرزمینی دارد (Singh et al,2019). حوضه آبریز بختگان، منطقه مهم کشاورزی در

جنوب غربی ایران، در سالهای اخیر دچار تخلیه آبهای زیرزمینی شده است. داده های ماهواره‌ای بازیابی جاذبه و آزمایش اقلیم (GRACE) می‌توانند به تعیین تغییرات توده آب در حوضه‌های آبریز و ارزیابی تغییرات حجم آب کمک کنند. در این مطالعه ، داده های توده آب مشتق شده از GRACE در برابر تغییرات حجم آب‌زیرزمینی مشاهده شده رسم گردید. کارایی داده‌های گرفته شده از GRACE در حوضه‌های آبریز کوچکتر از ۲۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع توصیه شده‌است. برای دوره مطالعاتی (ژانویه ۲۰۰۲ تا دسامبر ۲۰۱۱)، داده‌های GRACE کاهش سالانه ۷/۶ سانتی‌متر در سطح آب‌زیرزمینی و کاهش حجم کل۲/۶کیلومتر مکعب در طول دوره را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری‌های ماهانه سطح آب‌های زیرزمینی کاهش متوسط ۱۰ متر در سفره‌های زیر زمینی را در طول دوره مطالعاتی نشان داد. این میزان تخلیه با کاهش ثبت شده در میزان بارش به ویژه در دوره پس از خشکسالی از سال ۲۰۰۷ همخوانی دارد. این نتایج نشان می‌دهد که GRACE می‌تواند ابزاری مفید برای نظارت بر کاهش آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های خشک آب باشد (Abou Zaki et al., 2019).

با توجه به مطالعات انجام شده و نیز کاهش شدید ذخایر آب‌زیرزمینی استان کرمانشاه با وجود دو حوضه آبریز کرخه و حوضه مرزی غرب کشور که عمده کسری مربوط به حوضه آبریز کرخه است که البته پتانسیل آبی بیشتری هم دارد و حوضه مرزی غرب کشور از کسری مخازن آب‌زیرزمینی استان حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیون مترمکعب است(ملکی و رحمتی، ۱۳۹۶). تاثیر اضافه برداشت از منابع آب‌زیرزمینی بر وضعیت دشت‌ها و محدوده‌های مطالعاتی استان به این صورت است که از ۲۳ محدوده مطالعاتی که در استان وجود دارد، هم اکنون ۱۳ محدوده مطالعاتی ممنوعه است .ممنوعیت این محدوده‌های مطالعاتی تا سال ۱۴۰۰ و یا ۱۴۰۱ ادامه خواهد داشت. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی استان کرمانشاه به عنوان یکی از قطبهای کشاورزی و باغداری ایران است. از اینرو استفاده از علم سنجش از دور در کنار داده‌های مشاهداتی از منطقه می‌تواند به پایش آبهای زیرزمینی در این استان کمک‌کند. الگوریتمی برای سنجش تغییرات آب‌زیرزمینی با ماهواره GRACE توسط (Skaskevych, 2014) ارائه شده که راهنمای خوبی برای این منظور است.

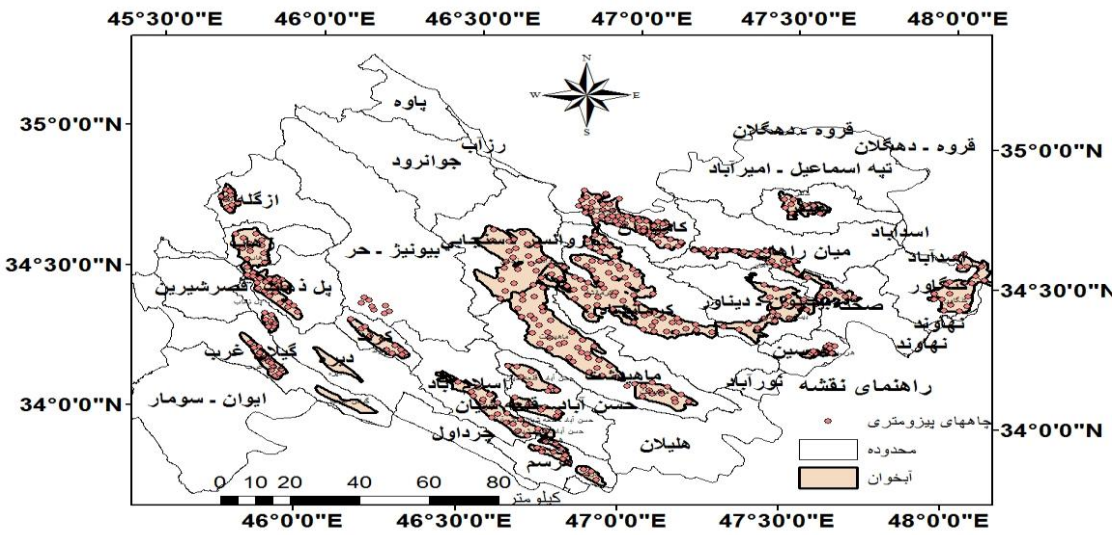


شکل(۱):فلوچارت تخمین آب‌زیرزمینی با ماهواره GRACE (Skaskevych, 2014)

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

باتوجه به کمبود آب شیرین در جهان بیشک یکی از مسایل مهم جهان در قرن ۲۱ مساله آب خواهد بود. به عبارت دیگر، آب کلید توسعه هر کشور است. بدون داشتن منابع آب پایدار برنامه‌ریزی و مدیریت حوضه‌های آبخیز و آمایش سرزمین غیرممکن است برداشت بیش ازحد از سفره‌های آب‌زیرزمینی به علت عدم مدیریت صحیح منجر به کاهش سطح آبهای زیرزمینی شده‌است و ازآنجاییکه اقتصاد روستا بر پایه کشاورزی است و کشاورزی نیز وابسته به آب است، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی رفاه کشاورزان را تحت تاثیر قرار میدهد .استان کرمانشاه با وسعت ۲۵۰۴۵ کیلومتر مربع به مرکز شهرکرمانشاه در میانه ضلع غربی کشور بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و۴۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته و از شمال به استان کردستان، از جنوب به استانهای لرستان و ایلام و از شرق به استان همدان و از غرب با ۳۳۰ کیلومتر مرزمشترک با کشور عراق همسایه است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد در حدود ۱۲۰۰ متر است. به لحاظ مساحت شهرستان کرمانشاه با ۵۶۴۷/۱ کیلومتر مربع بزرگترین و شهرستان جوانرود با ۷۷۷/۷ کیلومتر مربع مساحت کوچکترین شهرستان می باشد. در استان کرمانشاه ۱۲ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک وجود دارد. استان کرمانشاه در معرض جبهه‌های مرطوب مدیترانه‌ای قرار داشته، برخورد این جبهه‌ها با ارتفاعات زاگرس موجب ریزش برف و باران می‌گردد. متوسط میزان بارندگی در مناطق مختلف استان بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر در نوسان است و به طور کلی متوسط میزان بارندگی در سطح استان را ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی متر می‌توان در نظر گرفت.



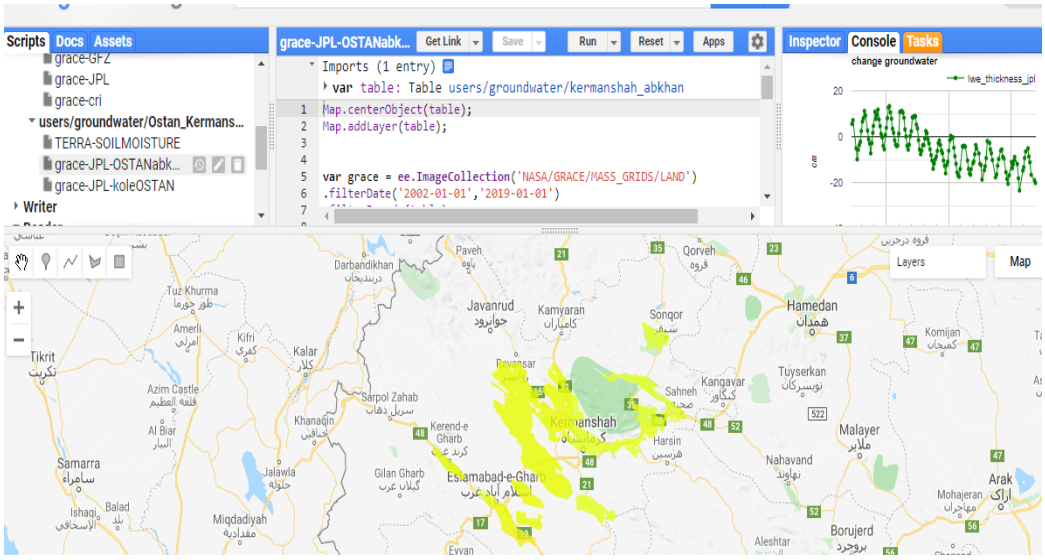
شکل(۲):آبخوان‌های موجود در استان کرمانشاه و چاه‌های پیزومتری

ماهواره GRACE

ماهواره‌های گریس می‌توانند هر گونه تغییر در جاذبه‌ی نقاط مختلف زمین را تشخیص دهند. زمانی که میزان آب در یک سفره‌ی آب کم می‌شود، نیروی جاذبه‌ی آن نقطه کاهش می‌یابد (Moghim, 2020). ماهواره‌های گریس یافته‌اند که ۱۳ عدد از ۳۷ سفره‌ی آب بزرگ دنیا، در حال تمام شدن هستند. طبق گفته‌ی پژوهشگران، هشت سفره از این تعداد دیگر توانایی پر شدن به صورت طبیعی را ندارند. میزان برداشت از سفره‌های آب‌زیرزمینی، بسیار

بیشتر از سرعت پر شدن طبیعی آن‌ها است[1]. پروژه Gravity Recovery And Climate Experiment یا به اختصار GRACE یکی از ماموریت‌های ماهواره‌ای که به‌منظور تعیین تغییر میدان گرانش زمین طراحی شده‌است. این پروژه توسط NASA آمریکا و DLR آلمان در تاریخ ۱۷ مارس ۲۰۰۲ از ایستگاه پلستیک روسیه صورت گرفت. این ماهواره دوقلو به صورت غیر مستقیم تغییرات سطح آب را در زمین و با تخمین مقدار ثقل زمین اندازه‌گیری می‌نماید. مقیاس زمانی داده‌های این ماهواره ماهانه است. تغییرات ثقل زمین از فاصله بین دو ماهواره که در فاصله ۲۲۰ کیلومتری از هم و در ارتفاع ۵۰۰ کیلومتری از زمین حال حرکت هستند بدست می‌آید که نشان دهنده تغییرات موجودیت آب زمین (TWS) هستند (Bhanja et al., 2016). تغییرات فاصله بین آنها توسط سیستم فاصله‌یابی مایکروویو توسط یک سری محاسبات پیچیده ابتدا به تغییرات زمانی و مکانی ثقل زمین و سپس به تغییرات TWS2 تبدیل می‌گردد (Abou Zaki et al., 2019). برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی از کدنویسی در محیط محاسبات ابری گوگل ارث اینجین استفاده‌شد. آبخوان‌های استان کرمانشاه را به صورت شیپ فایل در این محیط وارد کرده و سری زمانی داده‌ها و نمودارهای تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی استخراج‌گردید

.



شکل (۳): اجرای ماهواره GRACE با داده های مرکز داده JPL برای پایش سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های استان کرمانشاه در گوگل ارث اینجین

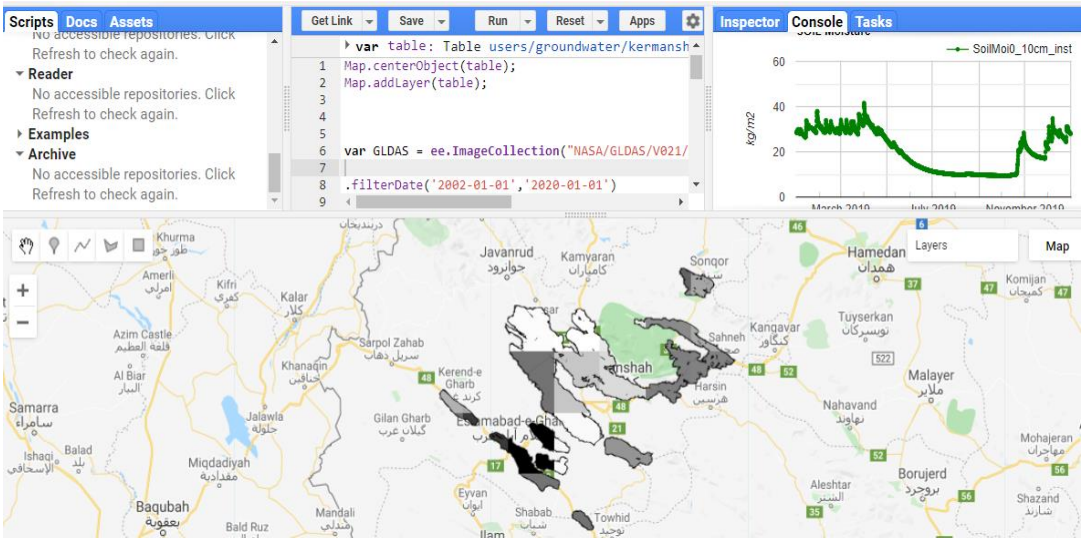
مدل جهانی سطح زمین GLDAS

سیستم مدل‌سازی جهانی سطح آب زمین است که از داده‌های مشاهده‌ای ماهواره‌ای و همچنین تحقیقات هیدرولوژیکی برای شبیه سازی پیشرفته آب و هوا استفاده می‌کند. این مدل یک مدل عددی است که داده‌های سطح آب معادل را با قدرت تفکیک زمانی و مکانی یک ماه و یک درجه تامین می‌کند. سیستم تحلیل و شبیه‌سازی زمین در پوشش جهانی یا همان GLDAS یک کار مشترک بین دانشمندان ناسا، GSFC،NOAA و NCEP است (نبوی و همکاران، ۱۳۹۹). رطوبت خاک، رواناب و تبخیر- تعرق حاصل از مدلGLDAS تخمینی واقعی ازاجزای اصلی ذخیره آب‌زیرزمینی برآورد شده توسط ماهواره GRACE فراهم می‌کند. در واقع ذخیره آب به دست آمده از

[1] http://www.nasa.gov/grace

[2] terrestrial water storage

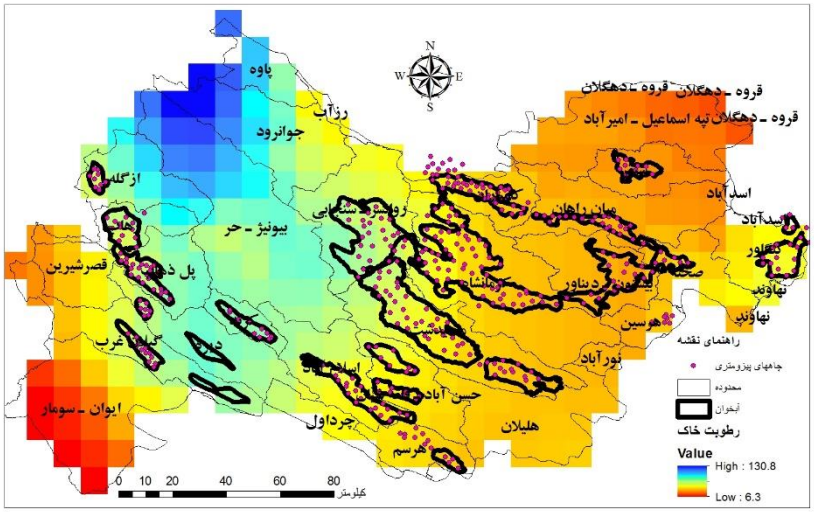
مدلGLDAS مجموع رطوبت چهار لایه از خاک، مقدار تجمعی برف و مجموع آب ذخیره شده در گیاه است. برآورد دقیق ذخیره آب مشکل است، ولی درک کامل از کل اجزای ذخیره آب حتی از حل یک چالش هیدرولوژیکی نیز دشوارتر است (فرجی و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل(۴):اجرای ماهواره GLDAS برای پایش تغییرات رطوبت خاک در آبخوان‌های استان کرمانشاه در گوگل ارث اینجین

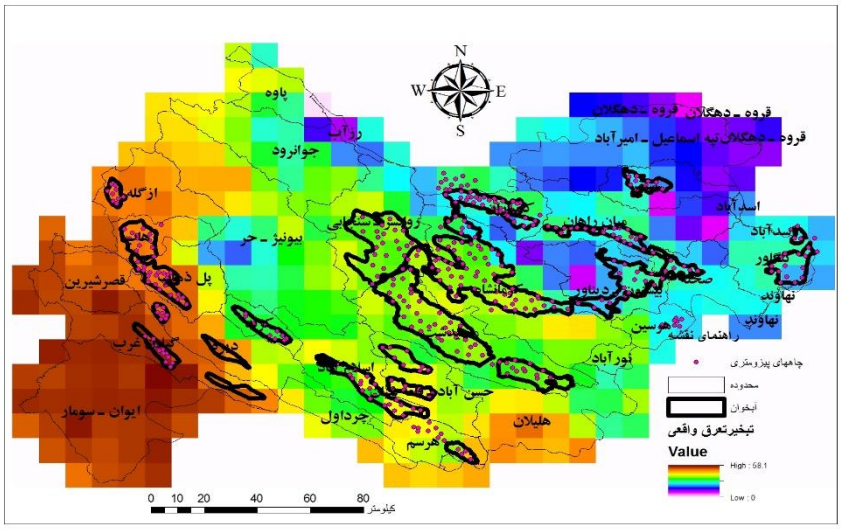
ماهواره TERRA

از آنجائیکه که دقت مدل GLDAS و ماهواره GRACE یک درجه معادل ۱۰۰ کیلومتر *۱۰۰ کیلومتر است برای تعیین نقشه تغییرات رطوبتی خاک، تبخیر تعرق واقعی و بارش تجمعی منطقه مطالعاتی از ماهواره TERRA استفاده‌گردید زیرا این ماهواره با رزولوشن ۰/۰۴ درجه معادل تقریبا ۴ کیلومتر * ۴ کیلومتر به خوبی می‌تواند تغییرات این پارامترها را در منطقه نشان‌دهد. از آنجا که خروجی های این ماهواره به صورت ماهانه در دسترس است نتایج آخرین ماه موجود در این ماهواره معادل دسامبر ۲۰۱۹ برای نمایش انتخاب گردید.



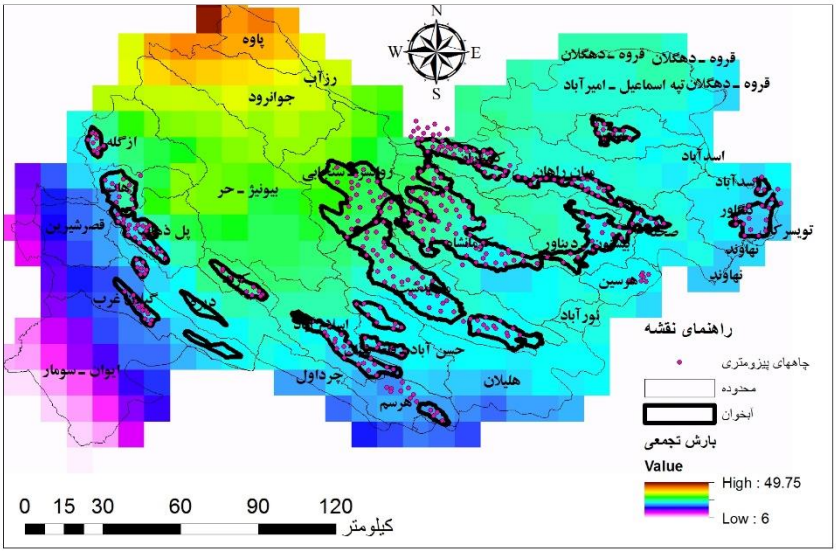
شکل (۵): تغییرات رطوبت خاک در دسامبر ۲۰۱۹ماهواره TERRA

همانطور که مشخص است تغییرات رطوبت خاک در اخرین ماه داده‌های موجود این ماهواره، برای مناطقی که با رنگ نارنجی و قرمز مشخص شده‌اند کم و هرچه رنگها به سمت آبی تیره میرود نشان دهنده رطوبت بیشتر خاک است. در دسامبر ۲۰۱۹ مناطق پاوه، جوانرود و حر از رطوبت خوبی برخوردار هستند و مناطق سومار و قصرشیرین و سنقر از رطوبت کمتری برخوردارند.



شکل(۶): نقشه تبخیر تعرق واقعی در دسامبر ۲۰۱۹ ماهواره terra

نقشه مقادیر تبخیر تعرق واقعی در ماه دسامبر ۲۰۱۹ نشان می‌دهد روند افزایشی مقدار تبخیر تعرق واقعی از سمت شرق استان به سمت غرب آن وجود دارد. رنگ بنفش و ابی پررنگ مقادیر کم تبخیر تعرق و مقادیر زرد و قهوه ایی شدت بیشتر تبخیر تعرق واقعی را نشان می‌دهد.



شکل(۷): بارش تجمعی در دسامبر ۲۰۱۹ ماهواره TERRA

مقادیر بارش تجمعی در قصرشیرین و سومار بسیار کم و در جوانرود و حر بیشتر و در پاوه ماکزیمم مقدار را در ماه دسامبر۲۰۱۹ داشته‌است.

تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی

اطلاعات مربوط به سطح آب‌زیرزمینی ماهانه در استان کرمانشاه از ۴۱۸ چاه پیزومتری موجود در آبخوان‌های این استان در دسترس است. به دلیل اینکه ماهواره GRACE

به صورت ماهانه تغییرات آب‌زیرزمینی را محاسبه می کند. تغییرات آب زیزمینی به صورت Δ GW در کل محدوده مطالعاتی به صورت معادله ۱ بررسی می‌شود (Abou Zaki et.al, 2019).

$$\Delta GW = \sum \frac{GW_I * A_I}{A_T} \quad (۱)$$

GW_I تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در آبخوان، A_I مساحت آبخوان I و A_T مساحت کل آبخوان می‌باشد. برای هر دوره زمانی تغییرات آب‌زیرزمینی تجمعی ΔGW_I برابر است با رابطه ۲.

$$\Delta GW_I = \sum \Delta GW \quad (۲)$$

در این رابطه ΔGW_I تغییرات حجم ذخیره آب‌زیرزمینی را نشان می‌دهد. آب‌زیرزمینی استخراج شده بیشتر برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود بنابراین مستقیما مرتبط با رطوبت خاک است. بنابراین ΔGW_I می‌تواند با تغییرات حجم آب‌زیرزمینی استخراج شده از ماهواره GRACE مقایسه شود.

روشهای متعددی برای مقایسه نتایج ماهواره GRACE با داده‌های مشاهداتی وجود دارد که در برخی از روشها بیلان آب با استفاده از خروجی مدلGLDAS محاسبه شده و با خروجی ماهواره GRACE مقایسه می‌شود. در این پژوهش با استفاده از روش (Chinnasamy and Sunde 2015; Arast et.al, 2020) ذخیره آب‌زیرزمینی با استفاده از مدل‌های GRACE و GLDAS توسط معادله ۳ برآوردشد:

$$GW = TWS - SM \quad (۳)$$

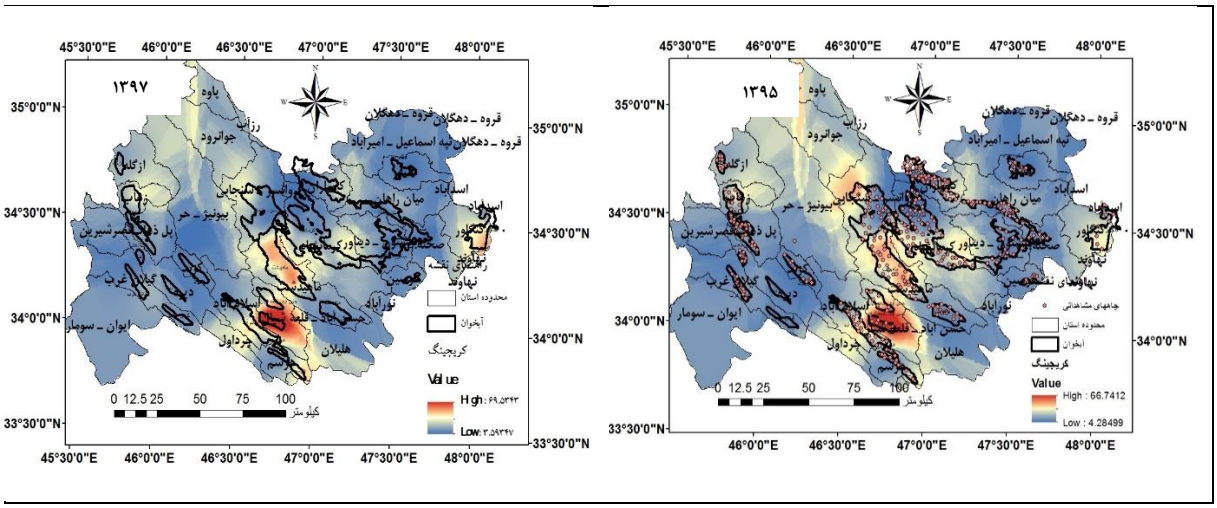
که در آن TWS ذخیره آب‌زیرزمینی تخمین زده شده با استفاده از GRACE (سانتی‌متر) است ، SM مجموع رطوبت چهار لایه از خاک، مقدار تجمعی برف و مجموع آب ذخیره شده در گیاه توسط مدل GLDAS (سانتی‌متر) است و GW سطح آب‌زیرزمینی (سانتی‌متر) است. شبکه‌های ماهانه GRACE و GLDAS1 برای برآورد GW به صورت ماهانه برای دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۹ و داده‌های مشاهداتی از ۴۱۸ چاه پیزومتری در آبخوان‌های استان کرمانشاه برای بررسی صحت‌سنجی داده‌های ماهواره GRACE برداشت‌شد. داده‌های GRACE دارای تفکیک مکانی ۱ درجه هستند.

بحث و نتایج

تغییرات مکانی سطح آب‌زیرزمینی

به منظور تعیین تغییرات مکانی سطح آب‌زیرزمینی در استان کرمانشاه از مشخصات سطح آب ۴۱۳ چاه پیزومتری از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۷در این منطقه استفاده‌شد که تعدادی از چاهها کاملا خشک شده و حذف گردیدند و تعدادی از ماهها اندازه‌گیری نشده بود که فایل داده‌ها تکمیل گردید و نهایتا سطح آب ۴۰۳ چاه پیزومتری در سال ۹۵ آماده‌گردید و از آنجائیکه داده‌های سطح آب به صورت ماهانه برای چاه‌ها ثبت شده‌اند میانگین سالانه آنها برای پهنه‌بندی در نظر گرفته‌شد. سپس در نرم افزارARC GIS و با روش کریجینگ پهنه‌بندی آن انجام شد و در شکل۸ برای سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ نشان داده شده‌است.

[1] Global Land Data Assimilation System



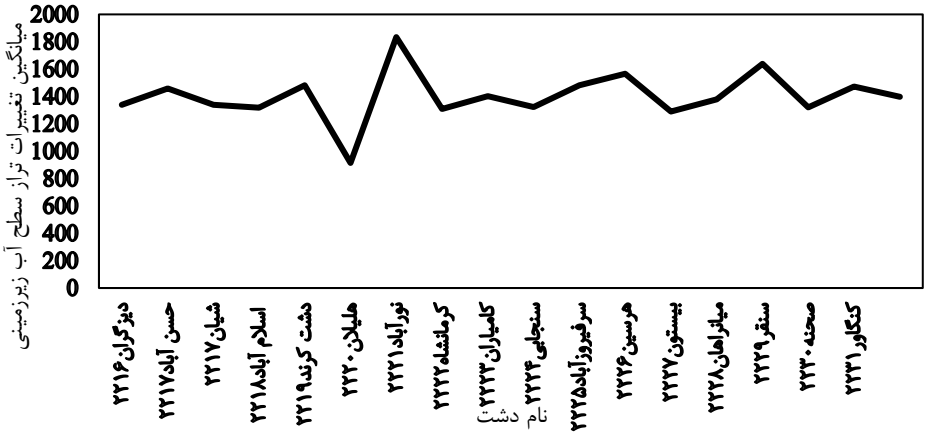
شکل(۸) پهنه‌بندی تغییرات سطح آب‌زیرزمینی استان کرمانشاه در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷

همانطور که از نقشه پهنه‌بندی مشخص است مناطق بحرانی‌تر به لحاظ سطح آب‌زیرزمینی به رنگ زرد و متمایل به قرمز و رنگهای آبی تیره مناطق پایدارتر را نشان می‌دهد. محدوده حسن آباد- شیان بحرانی ترین وضعیت را نسبت به مناطق دیگر در سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ دارد که از جمله دشت‌های ممنوعه است. پس از آن ماهیدشت، سنجابی، کنگاور، دینه‌ور، دشت زهاب نیز در سال ۱۳۹۵در شرایط نامناسبی قرار دارند. در سال ۱۳۹۷ دشت سنجابی از وضعیت بحرانی خارج شده‌است اما بقیه دشتها همچنان شرایط مشابهی با سال ۱۳۹۵ دارند. تعدادی از محدوده‌های مشخص شده فاقد آبخوان و چاه پیزومتری هستند و این عامل سبب ایجاد خطای اندکی در این مناطق شامل جوانرود- پاوه و حر می‌شود.

.

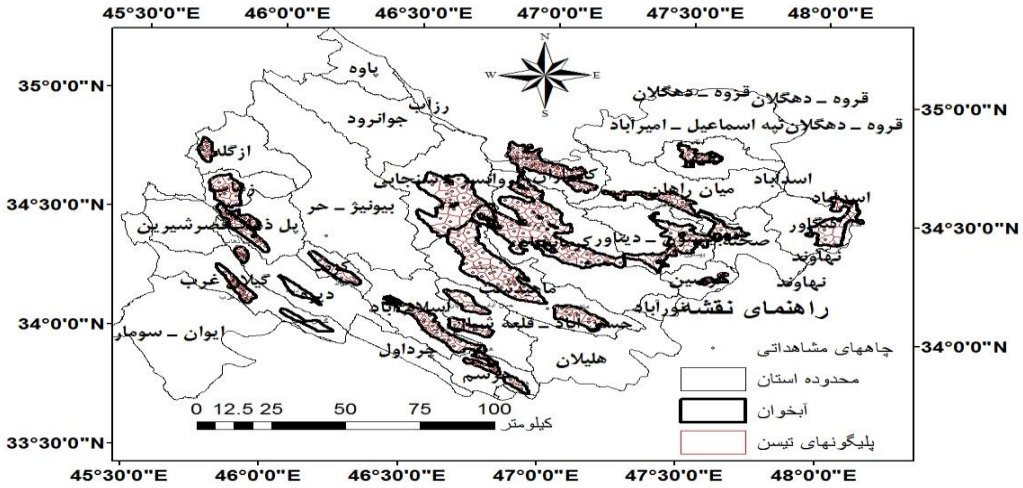
تغییرات بلندمدت آب‌زیرزمینی دشتهای استان کرمانشاه

با توجه به اطلاعات در دسترس برای دشت‌های استان کرمانشاه، داده‌های تراز سطح آب‌زیرزمینی به صورت ماهانه بررسی‌گردید و از آنجائیکه اشتراک زمانی به لحاظ سالهای نمونه‌برداری از چاه‌های پیزومتری یکسان نبود میانگین بلندمدت سالانه هر یک از دشت ها محاسبه گردید. این داده‌ها به صورت تقریبی در دشت‌های مختلف از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۷ برداشت شده و نمودار سالانه آن برای هر دشت در شکل۹ ارائه شده‌است

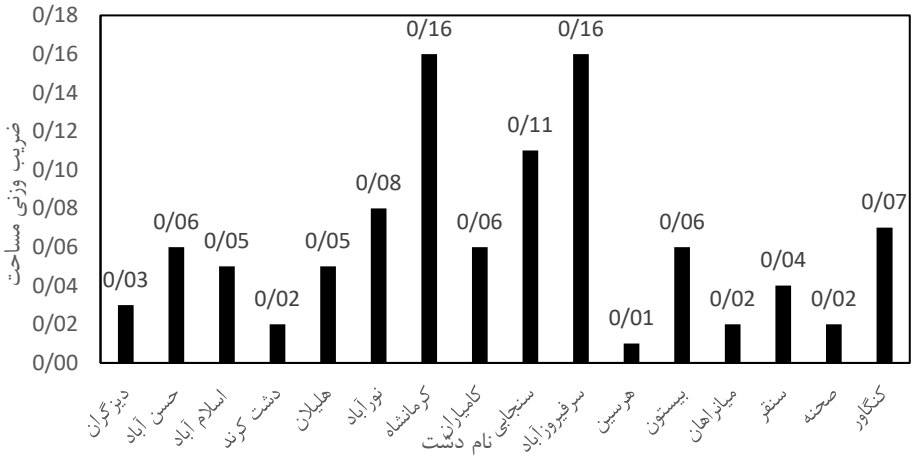


شکل(۹): میانگین درازمدت تغییرات تراز سطح آب‌زیرزمینی دشتهای استان کرمانشاه

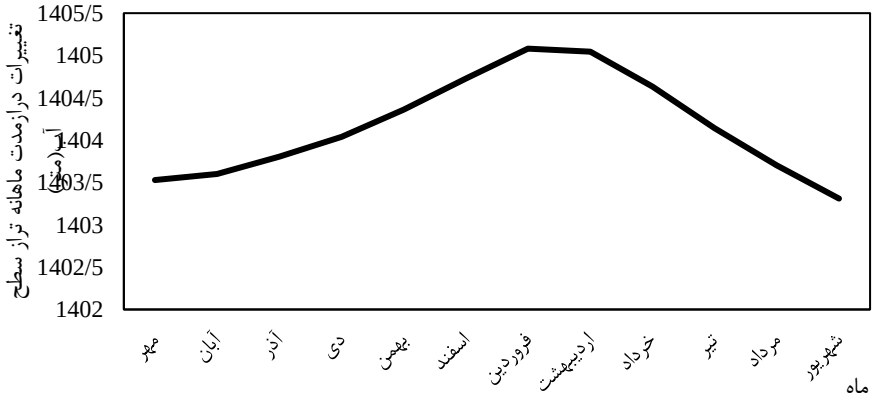
به منظور بررسی ماهانه تغییرات تراز آب‌زیرزمینی آبخوان استان کرمانشاه، میانگین ماهانه بلندمدت طبق رابطه (۱) بر اساس مساحت موثر دشت‌ها که در شکل۱۱ نشان داده شده‌است با روش پلیگونهای تیسن محاسبه (شکل۱۰) و نیز تغییرات سالانه آبخوان‌ها از سال ۱۳۶۰-۱۳۹۷ تا جایی که برای هر آبخوان ثبت شده در شکل ۱۲ ارائه شده‌است.



شکل(۱۰):پلیگون‌های تیسن چاه‌های پیزومتری استان کرمانشاه

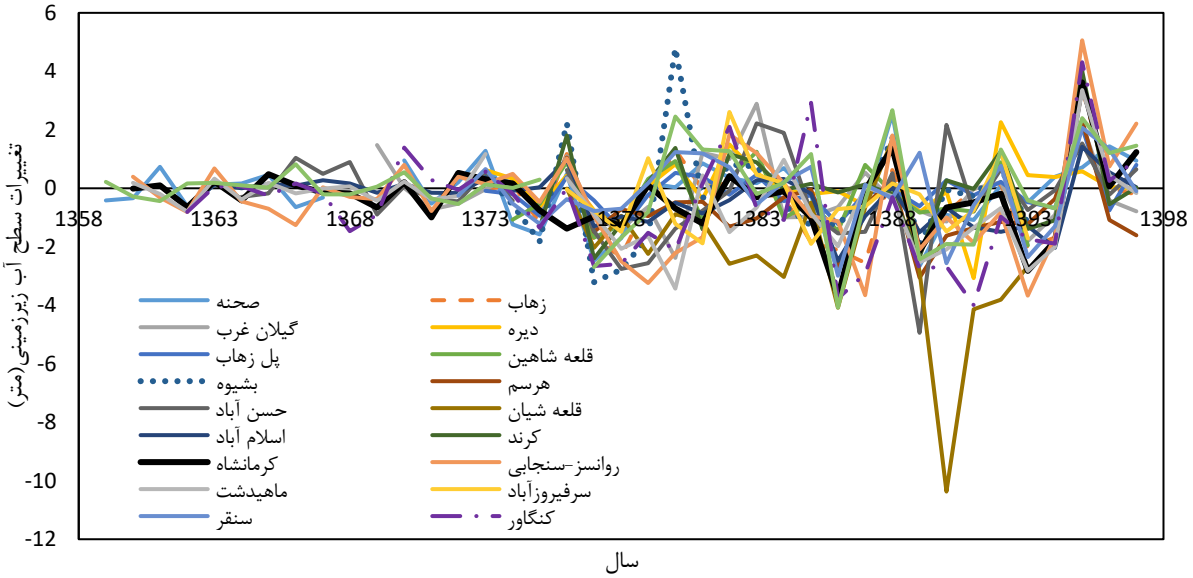


شکل(۱۱): مساحت و درصد وزنی مساحت دشتهای استان کرمانشاه



شکل(۱۲):تغییرات درازمدت ماهانه تراز سطح آب در کل استان کرمانشاه

تراز سطح ایستابی در دشت‌های مختلف بر اساس تراز چاه متفاوت می‌باشد. میانگین کل تراز سطح ایستابی دشت‌های استان سبب گردیده تا این تغییرات کمتر نشان داده‌شود. بیش‌ترین تراز سطح آب در ماههای اسفند، فروردین و اردیبهشت که بیشترین میزان بارشها و ذوب برف وجود دارد پدید می آید. به‌منظور بررسی دشتها به صورت مجزا، تغییرات سالانه سطح آب‌زیرزمینی در هر یک از دشتها با توجه به داده های موجود در شکل۱۳ رسم گردیده‌است.



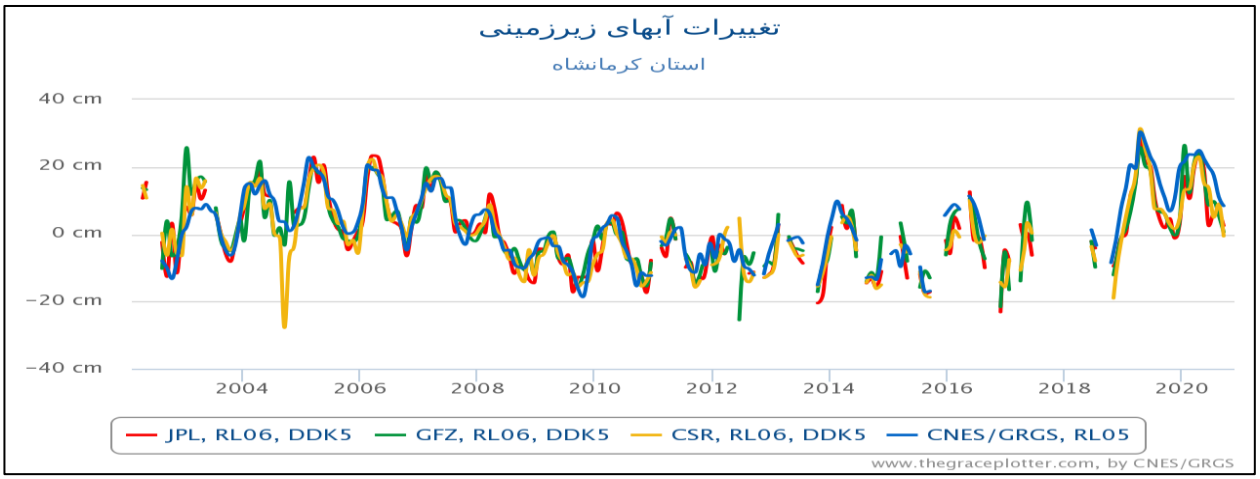
شکل(۱۳):تغییرات سطح آب‌زیرزمینی سالانه دشتهای استان کرمانشاه

بررسی تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در هر یک از دشتها نشان می‌دهد دشت قلعه شیان با بیشترین افت سطح آب بحرانی‌ترین وضعیت را به خصوص در سال ۱۳۹۰ داشته‌است. از آن سال به بعد شرایط بهتری یافته و در سال ۹۵ تغییرات سطح آب آن مثبت گردیده‌است. دشت روانسر-سنجابی در سالهای ۱۳۷۹، ۱۳۸۷و ۱۳۹۳بسیار بحرانی و از سال ۱۳۹۴ به بعد شرایط بهتری یافته‌است. دشت کنگاور از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ شرایط بحرانی را طی کرده و از سال ۱۳۹۵ در شرایط مناسب تری قرارگرفته‌است.

تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی استان کرمانشاه بر اساس خروجی ماهواره GRACE

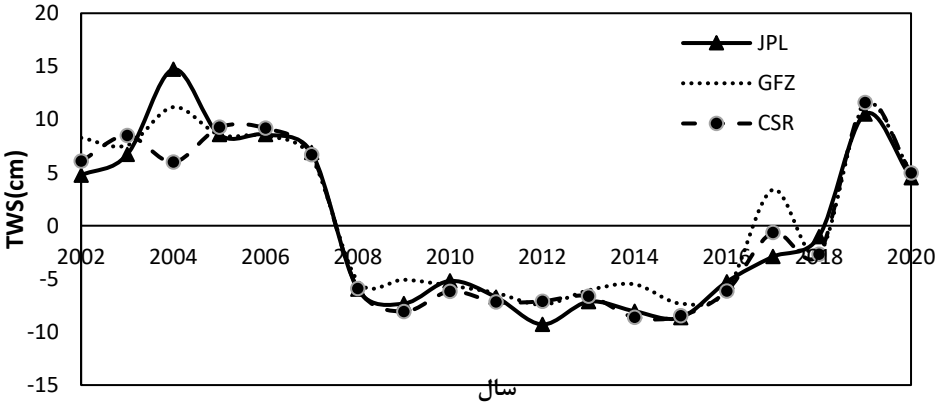
خروجی ماهواره GRACE که با دقت یک درجه تقریبا معادل (۱۰۰ km*۱۰۰km) است، برای استان کرمانشاه که بین طول جغرافیایی ۴۵/۲۴ تا ۴۸/۰۷ قرار گرفته تقریبا در سه سلول قرار می‌گیرد. از طرفی اطلاعات موجود در گوگل ارث اینجین تا سال ۲۰۱۷ می‌باشد. بنابراین با کمک وبسایت[1]میتوان به اطلاعات تغییرات سطح آب‌زیرزمینی تا سال ۲۰۲۰ دست‌یافت. خروجی تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی در الگوریتم‌های مختلف در این وبسایت قابل دسترسی می‌باشد. با آپلود کردن شیپ فایل منطقه مطالعاتی و انتخاب الگوریتم مورد نظر تغییرات کلی در سطح جهانی به صورت نقشه و نمودار استخراج شد. در شکل ۱۴ تغییرات ماهانه سطح آب‌زیرزمینی در استان کرمانشاه که حاصل از خروجی این وبسایت است از سال ۲۰۰۲ تا سپتامبر ۲۰۲۰ نمایش داده شده‌است.

[1] http://thegraceplotter.com



شکل(۱۴):خروجی وبسایت از نمودار تغییرات سطح آب‌زیرزمینی استان کرمانشاه بر اساس الگوریتم های مختلف ماهوارهGRACE تا سال ۲۰۲۰

به روز بودن اطلاعات این وبسایت کمک می‌کند افزایش تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی استان در سال ۲۰۱۹ نسبت به سالهای قبل قابل مشاهده باشد. این نکته بسیار حائز اهمیت است و استفاده از داده‌های ماهواره در تحلیل و تصمیم‌گیری را برای مدیران ارزشمند می‌کند. همانطور که مشخص می‌باشد علارغم روند کاهشی تا سال ۲۰۱۶ در سالهای بعد تا سال ۲۰۲۰ افزایش کم میزان ذخیره آب زیرزمینی وجود دارد. البته با توجه به مصرف بیشتر از حدمجاز آب‌زیرزمینی در ایران معادل ۶۰ تا ۷۰ درصد و با توجه به حد مجاز مصرف جهانی معادل با ۴۰درصد همچنان بایستی ملاحظات کاهش مصرف آب‌زیرزمینی به صورت جدی ادامه یابد و جلوگیری از حفر چاه‌های غیرمجاز تا رسیدن به پایداری کامل آبخوان‌های استان اجراشود (Aldaya, 2017). خروجی‌های ماهواره GRACE برای سه الگوریتم JPL، GFZ، CSR به صورت سالانه میانگین‌گیری گردید و نتایج آن در شکل۱۵ نشان داده شده‌است.



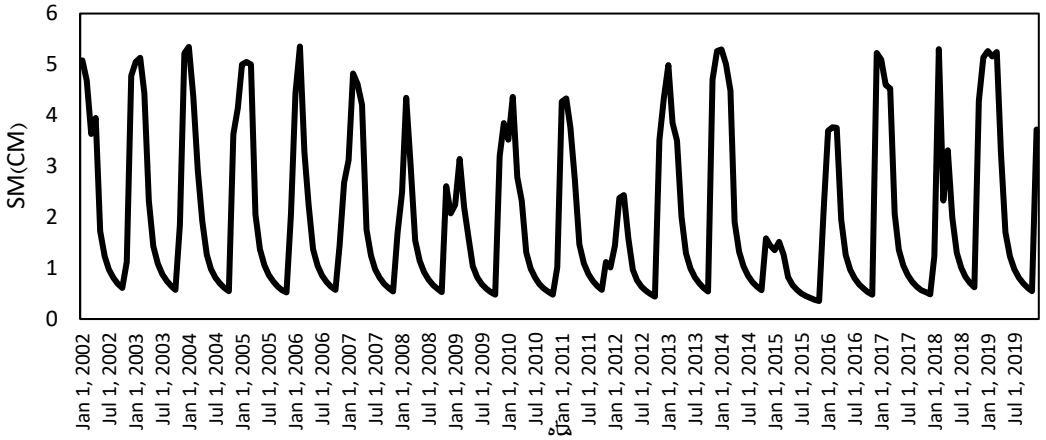
شکل(۱۵):تغییرات سالانه سطح آب‌زیرزمینی ماهواره GRACE در الگوریتم های مختلف

نمودارهای رسم شده از میانگین‌های سالانه تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی ماهوارهGRACE نشان می‌دهد از سال۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ وضعیت آبخوان‌های استان کرمانشاه کاملا مثبت و پایدار بوده‌است اما متاسفانه از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ تقریبا ده سال پیاپی وضعیت ذخیره تغییرات آب‌زیرزمینی در شرایط بسیار بحرانی قرار داشته‌است و سال ۲۰۱۵ بحرانی‌ترین سال در این دوره شامل بیشترین افت ذخیره آب‌زیرزمینی بوده است که به لحاظ مدیریتی نیز تمهیدات زیادی در این بازه در نظر گرفته‌شد. خوشبختانه با تمهیدات لحاظ شده و افزایش بارشهای جوی از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰روند ذخیره تغییرات آب زیرزمینی مثبت و در سال ۲۰۱۹ در هر چهار الگوریتم وضعیت بسیار مناسبی

برای آب‌زیرزمینی پدید آمده‌است و این افزایش تقریبا معادل با سال ۲۰۰۴ و در واقع ماکزیمم مقدار ذخیره آب از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ می‌باشد. اما در سال ۲۰۲۰ تا ماه سپتامبر معادل با شهریور ماه ۱۳۹۹ مجددا تغییرات ذخیره آب روند کاهشی دارد و می‌توان گفت ادامه روند بستگی کامل به بارشهای ۶ ماه دوم سال ۱۳۹۹دارد.

خروجی مدلGLDAS

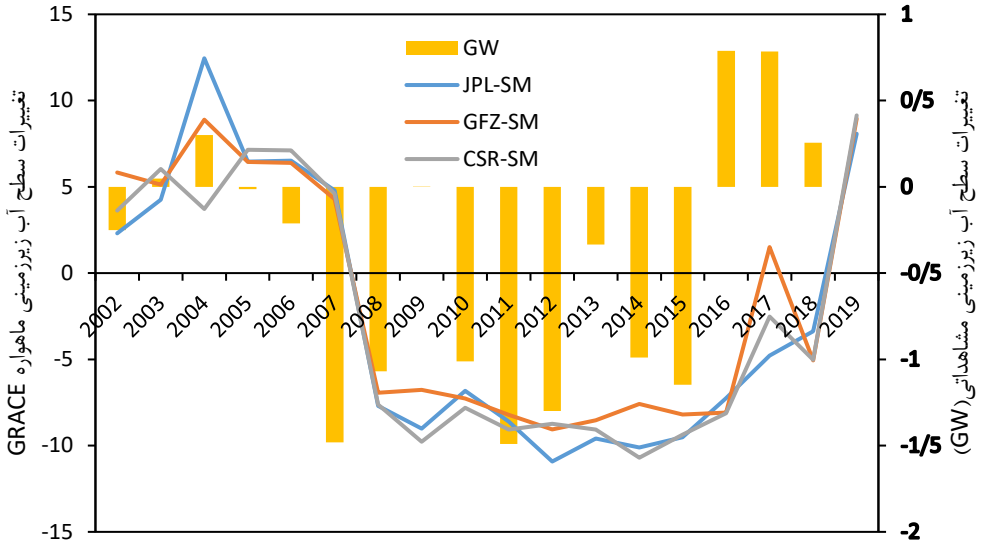
با استفاده از مشاهدات مدل هیدرولوژی GLDAS رطوبت موجود در ۴ لایه ریشه‌ای خاک از صفر تا دو متر به صورت چهار عدد جداگانه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ در کل استان با یکدیگر جمع شده و برای هرسال به صورت میانگین محاسبه شده‌است و مقدار تجمعی برف و مجموع آب ذخیره شده در گیاه نیز استخراج گردید و مجموعا در شکل۱۵ نشان داده شده‌است. مقادیر SM به ترتیب در سالهای ۲۰۱۵و ۲۰۱۲ و ۲۰۰۹ کمترین مقدار بوده است. در کل دوره کمترین میزان رطوبت مربوط به ماههای اکتبر و نوامبر بوده‌است.



شکل(۱۶): تغییرات ماهانه SM در استان کرمانشاه

تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی(GW)

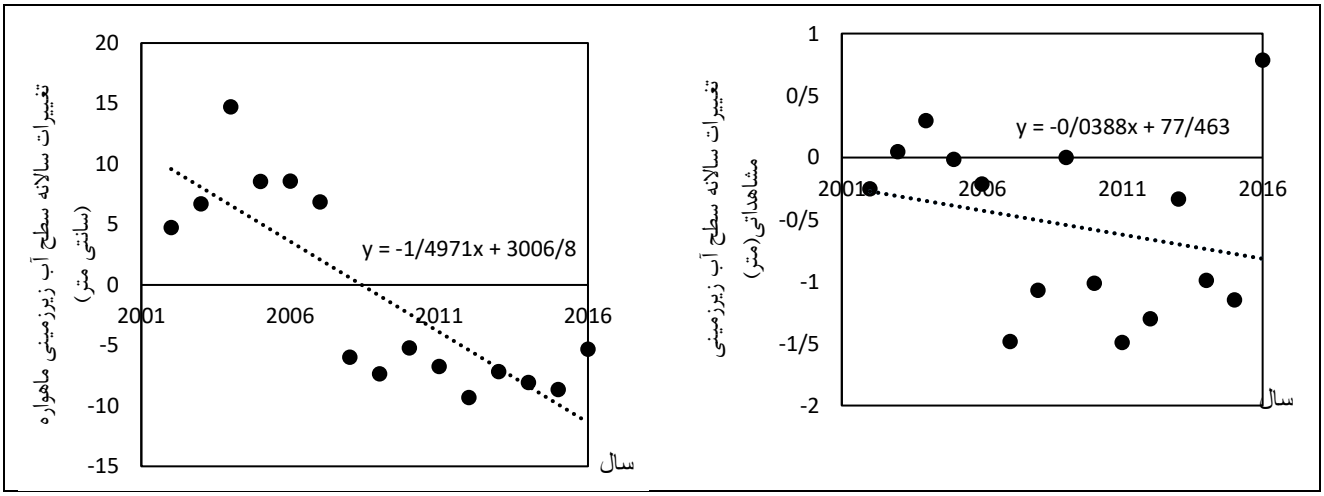
برطبق معادله (۳) با کسر مقدار رطوبت از مقادیر برآوردی GRACE میزان تغییرات ذخیره آب‌زیرزمینی با نامهای JPL-SM و GFZ-SMو CSR-SM در شکل ۱۶نشان داده شده‌است. از طرفی مقادیر مشاهداتی تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در دسترس برای دشت‌های مختلف کل استان به صورت سالانه در بازه ۱۳۹۷-۱۳۸۱ معادل سالهای ۲۰۱۸ تا ۲۰۰۲ میانگین‌گیری گردید و سپس به سال میلادی تبدیل‌گردید و در شکل ۱۷ نشان داده‌شد. تغییرات سطح آب‌زیرزمینی مشاهداتی به متر و تغییرات سطح آب ماهواره GRACE به سانتی‌متر می‌باشد. مقادیر افزایش و کاهشی آبخوان‌های کل استان با داده‌های ماهواره همخوانی داشته و داده‌های مشاهداتی سالهای ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ در دسترس نبود اما ماهواره GRACE قابلیت نمایش این سالها را نیز داشته و این امر نشان می‌دهد در سال ۲۰۱۹ مقادیر سطح آب‌زیرزمینی افزایش قابل توجهی نسبت به سالهای قبل داشته و این مورد با بارشهای فراوان این سال که منجر به سیلهای شدیدی در کشور به خصوص در لرستان، شیراز و اهواز شد نشان می‌دهد ذخیره آب‌زیرزمینی نیز در اثر نفوذ این بارشها به آبخوان‌های استان کرمانشاه اثرات مثبتی داشته‌است.



شکل(۱۷):تغییرات سطح آب زیرزمینی مشاهداتی و خروجی ماهواره GRACE در استان کرمانشاه

روند کاهشی افت سطح آب‌زیرزمینی

روند کاهشی سطح آب‌زیرزمینی در استان کرمانشاه به صورت میانگین در سالهای ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ بررسی گردید. از آنجائیکه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ روند کاهشی و پس از آن به صورت افزایشی است، بنابراین بازه زمانی مورد نظر برای برازش خط رگرسیون انتخاب‌گردید و شیب این خط حاکی از کاهش سطح آب زیرزمینی است که هم در داده های حاصل از ماهواره GRACE و هم در داده‌های مشاهداتی قابل مشاهده می‌باشد. همانطور که در شکل ۱۸ نشان داده شده‌است بحرانی‌ترین شرایط در بین سالهای ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۵ در هر دو دسته داده ماهواره‌ایی و مشاهداتی مشترک می‌باشد. کاهش سطح آب‌زیرزمینی در داده‌های حاصل از ماهواره GRACE معادل ۱/۵- سانتی‌متر در سال و داده‌های حاصل از چاه‌های پیزومتری معادل ۰/۰۳۸- متر در سال معادل ۳/۸- سانتی‌متر در سال است. افت آب زیرزمینی حاصل از داده‌های مشاهداتی تقریبا دو برابر افت حاصل از داده‌های ماهواره‌ایی است که این امر بایستی در مطالعات دقیق تری در پارامترهای موثر در بیلان آب زیرزمینی مورد پژوهش قرار گیرد.



شکل(۱۸):روند کاهشی سطح آب‌زیرزمینی مشاهداتی و خروجی ماهواره GRACE در استان کرمانشاه

نتیجه گیری

در این پژوهش با بررسی داده‌های مشاهداتی چاه‌های پیزومتری در استان کرمانشاه در بازه ۱۳۶۰-۱۳۹۷و نیز بررسی داده‌های حاصل از ماهواره GRACE با داده های مراکز داده GFZ،JPL و CSR در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ به بررسی تغییرات سطح آب‌زیرزمینی استان کرمانشاه پرداخته‌شد. در این راستا مقادیر مشاهداتی چاه‌های پیزومتری در مقیاس زمانی در بازه‌های ماهانه و سالانه و در مقیاس مکانی در هر یک از دشتهای این استان تحلیل‌گردید. باتوجه به نتایج مطالعاتی که به منظور تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در دشتهای استان کرمانشاه انجام شده‌است در مقایسه با نتایج پژوهش حاضر می‌توان به روند تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی در دشت سنجابی استان کرمانشاه توسط (خبازی و صفایی،۱۳۹۵) اشاره‌کرد که نشان داد در طول سه بازه ۱۳۷۲، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ روند تغییرات سطح آب در منطقه با روش درونیابی (IDW) و (Kriging)در GIS بیانگر افت شدید در سطح آب چاه‌های منطقه در سه بازه زمانی موردمطالعه است. مقادیر افت به صورت میانگین معادل ۴/۶۱ متر در سال ۱۳۷۲، ۱۰/۱۳ متر در سال ۱۳۸۲ و ۲۰/۲۳ متر در سال ۱۳۹۴ به روشنی بیانگر این است که درصورتیکه وضعیت فعلی برداشت ادامه پیدا کند در آینده‌ی نه چندان دور این منطقه با بحران آب به شکلی جدی مواجه خواهد بود. در پژوهش حاضر نیز نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد دشت سنجابی در سال ۱۳۹۵ از مناطق فوق بحرانی است و با تمهیداتی که انجام شده و ممنوعیت برداشت در این دشت در سال ۱۳۹۷از حالت فوق بحرانی خارج شده ولی همچنان تا رسیدن به شرایط پایدار بایستی مدیریت صحیح و داشتن برنامه مشخص جهت استحصال منابع را ادامه داد. در پژوهش دیگری که نیکزاد و همکاران(۱۳۹۷) تغییرات زمانی و مکانی سطح ایستابی آبخوان دشت بیستون استان کرمانشاه را با روش‌های زمین‌آماری محاسبه کردند، نشان داد داده‌های سطح آب زیرزمینی دشت مطالعاتی شامل ۲۱ حلقه چاه مشاهده‌ای است که با روش‌های مختلف درون‌یابی شامل کریجینگ معمولی(OK)، وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) با توان‌های یک تا پنج و کوکریجینگ (COK)با متغیر کمکی برای تخمین سطح ایستابی مورد استفاده قرار گرفتند. سپس نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی در ابتدا و انتهای دوره مورد مطالعه تهیه و نهایتاً نقشه هم‌افت سطح آب‌زیرزمینی در محیط نرم‌افزاری Arc GIS 10.4.1 ترسیم‌شد و نشان داد افت سطح آب زیرزمینی در بیشتر نقاط دشت وجود دارد. به‌طوری که حداکثر این افت معادل ۲۲ متر در قسمت جنوب غربی دشت و حداقل افت معادل پنج متر در قسمت مرکزی دشت طی دوره ۱۳۷۰-۱۳۹۴ برآورد شد. مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش حاضر نشان میدهد قسمت جنوب غربی دشت بیستون که به دشت دینه‌ور می‌رسد در نقشه پهنه‌بندی پژوهش حاضر نیز در شرایط بحرانی قرارگرفته‌است. نقشه پهنه‌بندی کل استان در سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ در شکل ۸ نشان داده شده‌است. در پژوهش ملکی و رحمتی (۱۳۹۶) بررسی اثرات طبیعی و انسانی کانال انتقال آب سد گاوشان بر دشت میان دربند در استان کرمانشاه انجام‌شد. بدین‌منظور ابتدا داده‌های پیزومتری سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۹۲-۱۳۷۰ ارزیابی و نقشه تغییرات سطح ایستابی در بازه زمانی ۲۲ ساله تهیه‌گردید. میزان تغییرات مورفولوژی رودخانه رازآور به واسطه تغییرات دبی از محل دریافت آب از کانال نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بازه زمانی مورد نظر بررسی شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد علی رغم کاهش بارندگی در بازه فوق سطح آب زیرزمینی از سال بهره‌برداری از کانال (۱۳۸۴) در نقاطی از دشت افزایش یافته‌است. بنابراین در پژوهش حاضر که در کل استان انجام شده چنانچه بخش‌هایی از دشتهای کرمانشاه بر اثر احداث سدها و احداث شبکه های انتقال آب از سد باعث تغذیه آبخوان شده‌باشد، این امر می‌تواند نتایج افت مقدار سطح آب زیرزمینی در کل استان را که به صورت میانگین ارائه می‌گردد تحت تاثیر قرار دهد.

با توجه به تحلیلهای انجام شده از آنجائیکه از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۶ روند کاهشی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی کل استان حاکم است و پس از آن یعنی از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ به دلیل بارشهای مناسب جوی و نیز محدودیتهایی که برای برداشت بی‌رویه انجام شده و نیز بستن بسیاری از چاه‌های غیرقانونی در دشتهای استان، روند افزایشی دارد. برای داده‌های خروجی حاصل از ماهواره از

سال۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۶ کاهش سطح آب زیرزمینی معادل ۱/۵- سانتی‌متر در سال است در حالی که برای داده‌های مشاهداتی ۰/۰۳۸- متر در سال معادل ۳/۸- سانتی‌متر در سال به طور میانگین در کل استان کرمانشاه می‌باشد.

از شرکت آب منطقه‌ایی استان کرمانشاه برای در اختیار قراردادن داده‌های مورد نیاز این پژوهش قدردانی می‌نماید.

منابع

اشرف زاده افشار، ع.، جودکی، غ.، شریفی، م.۱۳۹۵. ارزیابی منابع آب‌های زیرزمینی ایران با استفاده از داده‌های ماهواره ثقل سنجیGRACE ، مجله علوم و فنون نقشه برداری، دوره چهارم، شماره ۵، صفحه ۷۳ - ۸۴.

افتخاری، م.، مددی، ک.، اکبری، م. ۱۳۹۸. پایش نوسان آبخوان دشت بیرجند با تصویرهای ماهواره‌ِیی گریس و تحلیلهای مکانی gis . دوره ۳۲، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۲۵، پژوهش‌های آبخیزداری، صفحات۶۵-۵۱

انتظاری، س و رحیم‌زادگان، م.۱۳۹۶. بررسی تغییرات آب های زیرزمینی با استفاده از داده های ماهوارهGRACE ،چهارمین کنفرانس بین المللی فناوری های نوین در مهندسی عمران،معماری و شهرسازی،تهران

خبازی، م و صفایی، ا.۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات سطح آب های زیرزمینی در دشت سنجابی استان کرمانشاه با استفاده از روش زمین آمار،ششمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران

فرجی، ز.، کاویانی، ع.، اشرف زاده، ا. ۱۳۹۶. ارزیابی داده‌های ماهواره GRACE در برآورد تغییرات روش‌های سطح آب زیرزمینی در استان قزوین، اکوهیدرولوژی،دوره چهارم شماره (۲)، ۴۷۶-۴۶۳

ملکی، ا.، رحمتی خورشیدی م. ۱۳۹۶. ارزیابی اثرات طبیعی و انسانی انتقال آب سد گاوشان بر دشت میان دربند در استان کرمانشاه. جغرافیای طبیعی، دوره سوم ، شماره(۱۰). ۳۱-۴۴

نبوی، س.، علیزاده، ا.، فرید حسینی، ع. ۱۳۹۹. 'ارزیابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های ثقل سنجی ماهواره‌ای GRACE(مطالعه موردی: خراسان رضوی)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، دوره چهاردهم، شماره (۳) .۸۶۶-۸۵۵.

نیکزاد، م.، مرادی، ح.، جلیلی، خ. ۱۳۹۷. 'برآورد تغییرات زمانی و مکانی سطح ایستابی آبخوان دشت بیستون استان کرمانشاه با روش‌های زمین‌آماری ,'نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران ، دوره هشتم، شماره(۴)، صفحات ۷۹-۹۲

Aldaya, M. Eating ourselves dry. Nature 543, 633–634 (2017). https://doi.org/10.1038/543633a.

Abou Zaki, N.; Torabi Haghighi, A.; M. Rossi, P.; J. Tourian, M.; Kløve, B. Monitoring Groundwater Storage Depletion Using Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Data in Bakhtegan Catchment, Iran. Water 2019, 11, 1456.

Arast M, A Ranjbar, S. H Mousavi, Kh Abdollahi, and A Honarbakhsh. 2020. Relationship between groundwater level variations using Grace satellite data and rainfall. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management. 173:4, 189-198

Banerjee D C and Kumar N .2018. Assessment of Surface Water Storage trends for increasing groundwater areas in India. Journal of Hydrology, 562:780-788, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.05.052

Bhanja S.N and Mukherjee, A. Validation of GRACE based groundwater storage anomaly using in-situ groundwater level measurements in India. J. Hydrol. 2016. 543, 729–738.

Bhanja, S.N., Mukherjee, A., Saha, D., Velicogna, I. and Famiglietti, J.S. 2016. Validation of GRACE based groundwater storage anomaly using in-situ groundwater level measurements in India. Journal of Hydrology. 543. Part B:729-738

Castellazzi P. Longuevergne L. Martel R. Rivera A. Chaussard E .2018. Quantitative mapping of groundwater depletion at the water management scale using a combined GRACE/InSAR approach. Remote Sensing of Environment, 205:408-418, https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.025

Chinnasamy P and Sunde MG.2015. Improving spatiotemporal groundwater estimates after natural disasters using remotely sensed data—A case study of the Indian Ocean Tsunami. Earth Science Informatics, 9(1):101-111, https://doi.org/10.1007/s12145-015-0238-y.

Khaki M. Awange J. Forootan E. Kuhn M .2018. Understanding the association between climate variability and the Nile's water level fluctuations and water storage changes during 1992–2016. Science of The Total Environment, 645(15):1509-1521, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.212

Moghim, S. Assessment of Water Storage Changes Using GRACE and GLDAS. Water Resources Management 34, 685–697 (2020). https://doi.org/10.1007/s11269-019-02468-5

Nie N, ZhangW, Chen H et al (2018) A global hydrological drought index dataset based on gravity recovery and climate experiment (GRACE) data. Water Resources Management 32:1275–1290

Singh. A.K., Tripathi. J.N., Kotlia. B.S., Singh. K.K., Kumar.A.2019. Monitoring groundwater fluctuations over India during Indian Summer Monsoon (ISM) and Northeast monsoon using GRACE satellite: Impact on agriculture. Quaterenary International, 507:342-351.https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.10.036

Scanlon, B. R., L. Longuevergne, and D. Long .2012. Ground referencing GRACE satellite estimates of groundwater storage changes in the California Central Valley, USA, Water Resources Research., 48, W04520, doi: 10.1029/2011WR011312.

Skaskevych, A .2014. A Comparison Study of Grace-Based Groundwater Modeling for Data-Rich and Data-Scarce Regions, Ms.C Thesis. Department of Geosciences. University of Missouri--Kansas City

Sun Z .Zhu X .Pan Y .Zhang J .Liu J .2018. Drought evaluation using the GRACE terrestrial water storage deficit over the Yangtze River Basin, China. Science of the Total Environment, 634(1):727-738, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.292

Zaki, N.A., Haghighi, A.T., Rossi, P.M., Tourian, M.J. and Kløve, B. 2018. Monitoring groundwater storage depletion using gravity recovery and climate experiment (GRACE) data in the semi-arid catchments. 11.1456

Zhou J .Sun H .Xu J .Zhang W .2016. Estimation of local water storage changes by space- and ground-based gravimetric. Journal of Applied Geophysics, 131:23-28, https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.05.007

Monitoring of Groundwater Level Changes Using GRACE and GLDAS Satellites in Kermanshah Province

Maryam Hafezparast*[1]

Abstract

Groundwater monitoring has long been considered as one of the main sources of agricultural water supply. . In this regard, indiscriminate harvesting of this God-given resource, as well as the construction of unauthorized wells and lack of rainfall have caused the water level to drop in many aquifers of the country. The plains of Kermanshah province with its good climate and fertile soil are the agricultural and horticultural hubs of Iran. Therefore, in this study, piezometric well data in the period 1360-1397 and GRACE satellite data with a resolution of one degree in the period 2002 to 2020 with JPL, GFZ and CSR methods were used to study the changes in groundwater levels of aquifers in Kermanshah province. The amount of soil moisture was extracted from Google Earth Engine cloud computing environment using GLDAS model with a resolution of one degree. Zoning maps of all aquifers in the province for the years 1395 and 1397 were drawn by kriging method in ARC GIS software. The results showed that a number of aquifers, including Hassanabad-Shian, Sanjabi and Dinehvar are in critical condition. Long-term monthly and annual water level data of aquifers for different plains according to their effective areas have also been calculated and displayed by Thissen method. The map of changes in soil moisture, actual evapotranspiration, and cumulative precipitation in Kermanshah province was extracted by TERRA satellite with a resolution of 0.04 degrees equivalent to 4 km by 4 km, which shows the changes in these parameters in December 2019. The values of TWS groundwater level changes were plotted by subtracting soil moisture values against the aquifer observational data and the changes in groundwater level decreasing trend in Kermanshah province indicate a decrease of -1.5 cm and -3.8 cm in the period 2002 to 2016 by GRACE satellite and observational values respectively While from 2016 to 2020, groundwater level changes have been increasing.

Keywords: changes in groundwater level, GRACE satellite, GLDAS model, google earth engine, Zoning.

[1] Assistant Professor of Water Engineering Department, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

Research Paper

Monitoring of groundwater level changes using GRACE satellite and GLDAS model in Kermanshah province

Maryam Hafezparast[1]

[1] Assistant Professor of Water Engineering Department, Faculty of Science and Agricultural Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

10.22125/IWE.2021.266006.1466.

Received:
05.January.2020
Accepted:
09.May.2021
Available online:
June.01.2022

Keywords:
changes in groundwater level, GRACE satellite, GLDAS model, google earth engine, Zoning.

Abstract

Groundwater monitoring has long been considered as one of the main sources of agricultural water supply. . In this regard, indiscriminate harvesting of this God-given resource, as well as the construction of unauthorized wells and lack of rainfall have caused the water level to drop in many aquifers of the country. The plains of Kermanshah province with its good climate and fertile soil are the agricultural and horticultural hubs of Iran. Therefore, in this study, piezometric well data in the period 1360-1397 and GRACE satellite data with a resolution of one degree in the period 2002 to 2020 with JPL, GFZ and CSR methods were used to study the changes in groundwater levels of aquifers in Kermanshah province. The amount of soil moisture was extracted from Google Earth Engine cloud computing environment using GLDAS model with a resolution of one degree. Zoning maps of all aquifers in the province for the years 1395 and 1397 were drawn by kriging method in ARC GIS software. The results showed that a number of aquifers, including Hassanabad-Shian, Sanjabi and Dinehvar are in critical condition. Long-term monthly and annual water level data of aquifers for different plains according to their effective areas have also been calculated and displayed by Thissen method. The map of changes in soil moisture, actual evapotranspiration, and cumulative precipitation in Kermanshah province was extracted by TERRA satellite with a resolution of 0.04 degrees equivalent to 4 km by 4 km, which shows the changes in these parameters in December 2019. The values of TWS groundwater level changes were plotted by subtracting soil moisture values against the aquifer observational data and the changes in groundwater level decreasing trend in Kermanshah province indicate a decrease of -1.5 cm and -3.8 cm in the period 2002 to 2016 by GRACE satellite and observational values respectively While from 2016 to 2020, groundwater level changes have been increasing

1. Introduction

Remote sensing science which is currently used to study vegetation, surface water resources, soil type and texture, soil moisture, rainfall, temperature and other effective parameters in agricultural, hydrological, etc. In this way, studies in measuring changes Groundwater storage has also been considered. There are many studies about measuring groundwater level by GRACE data. Terrestrial water storage (TWS) changes were used to estimate the global drought index TSDI, which showed that it is correlated with other drought indices and this index is effective for monitoring global drought (Nie et al, 2018). Groundwater fluctuations in Indian summer monsoon were investigated using GRACE and GLDAS model data. GRACE results show that the change in groundwater storage during the study period in India is 15 cm. They also showed that GRACE satellite data has good flexibility for groundwater changes (Singh et al, 2019). Bakhtegan catchment area, an important agricultural area in southwestern Iran, has suffered from groundwater discharge in recent years. Gravity data from the Gravity Retrieval and Climate Testing (GRACE) satellites can help determine changes in water mass in catchments and assess changes in water volume. In this study, GRACE-derived water mass data were plotted against the observed groundwater volume changes. The efficiency of GRACE-derived data was evaluated in catchments smaller than 200,000 sq km of the recommended area when using GRACE. For the study period (January 2002 to December 2011), GRACE data show an annual decrease of 7.6 cm in groundwater level and a decrease in total volume of 2.6 cubic kilometers during this period. Monthly groundwater level measurements showed an average decrease of 10 m in groundwater aquifers during the study period. This rate of discharge is consistent with the recorded decrease in rainfall, especially in the post-drought period since 2007. These results indicate that GRACE can be a useful tool for monitoring groundwater depletion in arid watersheds (Abou Zaki et al., 2019).

According to the studies and the severe reduction of groundwater reserves in Kermanshah province, despite the two Karkheh catchment area and the western border basin of the country, the main deficit is related to Karkheh catchment, which of course has more water potential and the western border basin share of the deficit. The province's groundwater reservoirs are about 100 to 150 million cubic meters. The effect of over-extraction of groundwater resources on the status of plains and study areas of the province is such that out of 23 study areas in the province, 13 study areas are currently prohibited. The prohibition of these study areas will continue until 1400 or 1401. Therefore, the purpose of this study is to investigate the changes in groundwater storage in Kermanshah province as one of the agricultural and horticultural centers of Iran. Therefore, the use of remote sensing science along with observational data from the region can help monitor groundwater in this province.

2. Materials and Methods

Given the shortage of fresh water in the world, one of the most important issues in the world in the 21st century will undoubtedly be water. In other words, water is the key to the development of any country. Without sustainable water resources, planning and management of watersheds and land management is impossible. Excessive abstraction of groundwater aquifers due to lack of proper management has led to lower groundwater levels and since the village economy is based on agriculture and agriculture is also dependent on water. Declining groundwater levels affect the welfare of farmers. Kermanshah province with an area of 25045 square kilometers to the center of Kermanshah city in the middle of the western side of the country between the geographical orbit of 33 degrees and 40 minutes to 35 degrees and 18 minutes north latitude of the equator and 45 degrees and 24 minutes to 48 degrees and 7 minutes east longitude of the meridian Greenwich located.

GRACE satellite

Grace satellites can detect any change in the gravity of different parts of the earth. As the amount of water in an aquifer decreases, the gravitational force of that point decreases (Moghim, 2020). Grace satellites have found that 13 of the world's 37 largest aquifers are running out. According to researchers, eight of these tables are no longer able to fill naturally. Extraction from groundwater aquifers is much higher than their natural rate of filling http://www.nasa.gov/grace. The Gravity Recovery And Climate Experiment project, or GRACE for short, is a satellite mission designed to determine the Earth's gravitational field.

GLDAS model

A global surface water modeling system that uses satellite observational data as well as hydrological research to advanced climate simulation. This model is a numerical model that provides equivalent water level data with a temporal and spatial resolution of one month and one degree. GLDAS is a joint venture between NASA, NOAA, GSFC and NCEP scientists (Nabavi et al., 2016).

Information about the monthly groundwater level in Kermanshah province is available from 418 piezometric wells in the aquifers of this province. Because the GRACE satellite calculates groundwater changes on a monthly basis. Groundwater changes in GW are studied in the whole study area as Equation 1 (Abou Zaki et.al, 2019).

$$\Delta GW = \sum \frac{GW_I * A_I}{A_T} \quad (1)$$

GW_IGroundwater level changes in the aquifer, A_I is the area of the aquifer I and A_T is the total area of the aquifer. For each period of time, the cumulative groundwater changes $\Delta GW_I$are equal to Equation 2.

$$\Delta GW_I = \sum \Delta GW \quad (2)$$

In this regard, ΔGW_I shows the changes in the volume of groundwater storage. Extracted groundwater is mostly used for agricultural purposes so it is directly related to soil moisture. Therefore ΔGW_Ican be compared with changes in the volume of groundwater extracted from the GRACE satellite.

There are several methods to compare the results of GRACE satellite with observational data. In some methods, the water balance is calculated using the output of the GLDAS model and compared with the output of the GRACE satellite. In this study, using the method (Chinnasamy and Sunde 2015; Arast et.al, 2020) groundwater storage using GRACE and GLDAS models was estimated by Equation 3:

$$GW = TWS - SM \quad (3)$$

Where TWS is the groundwater storage estimated using GRACE (cm), SM is the summation of soil moisture, snow water equivalents and plant canopy surface water data derived from GLDAS (cm) and GW is the groundwater level (cm). Monthly GRACE and GLDAS networks for estimating GW on a monthly basis for the period 2002-2019 and observational data were collected from 418 piezometric wells in aquifers of Kermanshah province to verify the GRACE satellite data. GRACE data has a 1 degree spatial resolution.

3. Results

In this study, by observing the observational data of piezometric wells in Kermanshah province in the period 1367-1397 and also examining the data obtained from GRACE satellite with JPL, GFZ and CSR algorithms in the period 2002 to 2020, the groundwater level changes in Kermanshah province were investigated. In this regard, the observational values of piezometric wells were analyzed on a time scale in monthly and annual intervals and on a spatial scale in each of the plains of this province.

According to the results of studies conducted to change the groundwater level in the plains of Kermanshah province with the results of the present study can be referred to the trend of groundwater level changes in the Sanjabi plain of Kermanshah province by (Khabazi and Safaei, 2016), 2003 and 2015 The trend of water level changes in the region by interpolation (IDW) and (Kriging) in GIS method indicates a sharp drop in water level of wells in the region in three time periods studied. The average drop values of 4.61 meters in 1372, 10/13 meters in 1382 and 20, 23 meters in 1394 clearly indicate that if the current harvest situation continues in the not too distant future, this region with the water crisis will be serious. In the present study, the zoning map shows that Sanjabi plain is one of the supercritical areas in 2016 and with the measures taken and the ban on harvesting in this plain in 1397, it has been removed from the supercritical state, but still to achieve stable conditions, proper management and The specific program for resource extraction continued.

In another study in which Nikzad et al. (2015) calculated the temporal and spatial changes of the aquifer water level of Bistoon plain of Kermanshah province by geostatistical methods, showed that the

groundwater level data of the study plain includes 21 observation wells with different interpolation methods including conventional kriging, distance weighting (IDW) with powers of one to five and cokriging with auxiliary variables were used to estimate the water table.Then, spatial zoning maps were prepared at the beginning and end of the study period and finally the groundwater level map was drawn in Arc GIS 10.4.1 software environment and showed that there is a drop in groundwater level in most parts of the plain. So that the maximum drop of 22 meters in the southwestern part of the plain and the minimum drop of five meters in the central part of the plain during the period 1370-1394 was estimated. Comparison of the results of this study with the present study shows that the southwestern part of Biston plain reaches Dinevar plain, which is also in critical condition in the zoning map of the present study.

4. Discussion and Conclusion

According to the analysis, since from 2002 to 2016, there is a decreasing trend in groundwater changes in the whole province, and after that, from 2016 to 2020, due to good rainfall and restrictions on uncontrolled harvesting, and the closure of many illegal wells in the plains of the province is also increasing. Therefore, the data trend in the declining section shows that for the output data from the satellite from 2002 to 2016, the decrease in groundwater level is equivalent to -1.5 cm per year, while for observational data-0.038 m per year is equivalent 3.8 cm per year in the whole province of Kermanshah.

5. Six important references

1. Abou Zaki, N.; Torabi Haghighi, A.; M. Rossi, P.; J. Tourian, M.; Kløve, B. Monitoring Groundwater Storage Depletion Using Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Data in Bakhtegan Catchment, Iran. *Water* 2019, *11*, 1456.
2. Arast M, A Ranjbar, S. H Mousavi, Kh Abdollahi, and A Honarbakhsh. 2020. Relationship between groundwater level variations using Grace Satellite data and rainfall. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management. 173:4, 189-198
3. Chinnasamy P and Sunde MG.2015. Improving spatiotemporal groundwater estimates after natural disasters using remotely sensed data—a case study of the Indian Ocean Tsunami. *Earth Science Informatics,* 9(1):101-111, https://doi.org/10.1007/s12145-015-0238-y.
4. Singh. A.K., Tripathi. J.N., Kotlia. B.S., Singh. K.K., Kumar.A.2019. Monitoring groundwater fluctuations over India during Indian Summer Monsoon (ISM) and Northeast monsoon using GRACE satellite: Impact on agriculture. Quaterenary International, 507:342-351.https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.10.036
5. Nie N, ZhangW, Chen H et al (2018) A global hydrological drought index dataset based on gravity recovery and climate experiment (GRACE) data. Water Resources Management 32:1275–1290
6. Moghim, S. Assessment of Water Storage Changes Using GRACE and GLDAS. Water Resources Management 34, 685–697 (2020). https://doi.org/10.1007/s11269-019-02468-5

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to regional water company of Kermanshah for sharing required data for this research.