

مقاله پژوهشی

## پایش تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان میانراهان با داده‌های ماهواره GRACE

مریم حافظ‌پرست<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۳

### چکیده

تعیین تغییرات سطح آب زیرزمینی در کشور ایران که در نواحی خشک و نیمه خشک قرار دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا استان کرمانشاه با داشتن ۹۵۰ هزار هکتار زمین کشاورزی و باغ یکی از قطب‌های کشاورزی کشور است و افت سطح آب در آبخوان‌های استان به خصوص در قسمت شرقی استان شدیدتر است. در این پژوهش با بررسی سطح آب چاه‌های مشاهداتی آبخوان میانراهان در حوضه جامیشان و نیز پهنه‌بندی مکانی این تغییرات با استفاده از روش کریجینگ در نرم افزار Arc GIS وضعیت موجود منطقه بررسی شده است. در ادامه به منظور ارزیابی داده‌های ماهواره GRACE با مراکز پردازش JPL, GFS, CSR, CRI از کدنویسی در محیط محاسبات ابری گوگل ارث اینجین استفاده شده است. تغییرات ماهانه و سالانه آب معادل مایع (LWE) محاسبه گردید. مقایسه نتایج داده‌های مراکز پردازش داده مختلف نشان می‌دهد مرکز پردازش داده JPL با ضریب  $R=0.66$  بیشترین همبستگی را با داده‌های مشاهداتی دارد. مقدار رطوبت خاک، آب معادل برف و پوشش گیاهی از مدل GLDAS استخراج شده و با کسر از مقدار TWS استخراج شده از ماهواره GRACE با مقادیر مشاهداتی مقایسه شده است که نشان می‌دهد روند کاهش سطح آب زیرزمینی با داده‌های مرکز پردازش JPL معادل  $2/26$  سانتیمتر است. محاسبات در مقیاس یک درجه مربع انجام شده و واحدها به سانتیمتر بیان شده است.

واژه‌های کلیدی: آب معادل مایع، آبخوان میانراهان، پهنه‌بندی کریجینگ، ماهواره GLDAS، ماهواره GRACE

### مقدمه

برای مدیریت آب‌های زیرزمینی محدود به گونه‌ای که عادلانه، پایدار و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی باشد، بایستی قابلیت موجود برای نظارت و پیش‌بینی میزان دسترسی به آب را افزایش داد. اگرچه شبکه‌های پایش زمینی اطلاعات بالایی ارائه می‌دهند اما تنها منبع اطلاعاتی برای ارزیابی منابع آب در مناطق کم پایش داده‌های سنجش از دور است (Alsdorf et al., 2007). دانشمندان زیادی از داده ماهواره گریس برای سنجش آب زیرزمینی استفاده کرده‌اند. این ماهواره تغییرات  $\Delta TWS^2$  را ردیابی می‌کند اما تغییرات اجزای هیدرولوژیکی (به عنوان مثال، آب سطحی، رطوبت خاک و آبهای زیرزمینی) را ردیابی نمی‌کند. تاکنون، تنها روش برای ثبت تغییرات سطح آب زیرزمینی توسط سنجش از دور بررسی تغییرات  $\Delta TWS$  توسط ماهواره GRACE بوده است. سایر اجزای TWS با استفاده از اطلاعات کمکی یا مدل‌های سطح زمین قابل دسترسی است. کانون بسیاری از مطالعات قبلی مقایسه بین تغییرات سطح آب زیرزمینی با تفکیک داده‌های GRACE و استفاده از داده‌های زمینی، با هدف اعتبارسنجی دقت داده‌های GRACE در منطقه موردنظر است (e.g., Henry et al., 2011; Leblanc et al., 2009; Rodell et al.,

آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی تامین نیاز آبی محصولات کشاورزی در کشور ایران و به خصوص در استان کرمانشاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا پایش و آب‌های زیرزمینی که در سالهای اخیر به دلیل کمبود بارش‌ها و اضافه برداشت کشاورزان از منابع آب زیرزمینی نامناسب بودن الگوهای کشت با منطقه مورد نظر و پایین بودن راندمان آب در مزارع و باغات مورد توجه قرار گرفته است از طریق ارزیابی داده‌های چاه‌های پیژومتری امکان‌پذیر است. 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 سطح آب زیرزمینی نیز مورد توجه قرار گرفته است.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(\* - نویسنده مسئول: (Email: m.hafezparast@razi.ac.ir

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.2.16.8

آب‌زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مناسب است (Zhou et al., 2016). طبق گفته بانرجی و کومار، داده‌های ماهواره GRACE نشان می‌دهد که آبهای زیرزمینی در مناطق مرکزی و جنوبی هند افزایش یافته و داده‌های GRACE برای شناسایی فرآیند سطح آب‌زیرزمینی به اندازه کافی کارآمد هستند. نتایج نشان داد که میزان بارندگی دلیل مهمی در سطح آب در بیشتر این مناطق است و روند مثبتی دارد (Banerjee and Kumar, 2018). سان و همکاران نشان دادند که 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). آراست پژوهشی با عنوان ارتباط بین تغییرات تراز سطح آب‌زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهواره GRACE و میزان بارش انجام دادند. نتایج نشان داد تراز سطح آب‌زیرزمینی در وضع موجود حوضه آبریز زاینده‌رود به بارشهای سال قبل بستگی دارد. زمانی که بارش روند نزولی دارد آنگاه روند نوسانات سطح آب‌زیرزمینی به طور گسترده تری تحت تاثیر باران قرار دارد. از طرفی شاخص NDVI بستگی به مقدار سطح آب‌زیرزمینی دارد. به طوری که کمترین مقدار NDVI معادل ۰/۰۷۸ در سال ۲۰۱۶ همزمان با کمترین مقدار سطح آب‌زیرزمینی و نرخ تغذیه معادل ۲۷/۳۶ سانتی‌متر است. شاخص‌های آماری تحلیل داده‌های ماهواره GRACE و چاه‌های مشاهداتی نشان می‌دهد ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۲/۲۳ سانتی‌متر و میانگین مطلق خطا برابر ۳/۲۸ سانتی‌متر و میانگین خطای بایاس برابر ۱/۰۲ سانتی‌متر در مقیاس فصلی است (Arast et al., 2020).

مقیم در پژوهشی از داده‌ها و ابزارهای موجود برای ردیابی تغییرات سطح آب در ایران استفاده کرده‌است. داده‌ها از ترکیب سیستم جهانی جذب داده زمین (GLDAS) و ماهواره ثقل سنجی (GRACE) برای تجزیه و تحلیل تغییرات سطح آب (LWE) در ایران استفاده شده‌است. سیگنال‌های GRACE نشان‌دهنده کاهش زیاد سطح 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. همچنین ایشان ارتباط کاهش بارش و افزایش دما در اثر تغییر اقلیم به میزان سطح آب‌زیرزمینی را بررسی کرده و همبستگی تاخیر دو ماهه بارش و سه ماهه دما را مثبت ارزیابی کرده‌است (Moghimi, 2020).

انتظاری و رحیم زادگان (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی تغییرات آب‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های ماهواره GRACE با استفاده از داده‌های سنجش از دور و پردازش‌های لازم، تغییرات سطح آب بین سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۶ در گام اول برای کل کشور و در

2009, 2007; Scanlon et al., 2012a; Swenson et al., 2008; Syed et al., 2008; Yeh et al., 2006). ماهواره GRACE و مدل سطح زمین GLDAS دو تکنیک مکانی هستند که اطلاعات مفیدی را درباره نوسانات سطح آب‌زیرزمینی در اختیار محققان قرار می‌دهند. ماهواره GRACE با ارائه ارزیابی کمی از تغییر جامع توده آب در طول زمان، به بودجه منابع آب‌زیرزمینی کمک می‌کند (Tregoning et al., 2012). در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی تغییرات آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف با استفاده از ماهواره GRACE انجام شده‌است. این مطالعات در مناطقی از جمله حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی (Rodell and Chen, 2007)، شمال هند (Rodell and Velicogna, 2009; Bhanja and Mukherjee, 2016)، منطقه آتلانتیک میانی (Xiao and He, 2015)، آفریقای شرقی (Nanteza and Linage, 2016)، حوضه سند در پاکستان (Iqbal and Hossain, 2016)، فلات تبت (Xiang and Wang, 2016)، مخزن تری گرجس<sup>۱</sup> چین (Wang and Moiwu and Yang, 2009; Linage, 2011)، دشت شمال چین (Huang and Pavlic, 2013)، آلبرتا در کانادا (Feng and Zhong, 2013) انجام شده‌است. کاستلزی و همکاران از داده‌های ماهواره GRACE و داده‌های سازمان آب ایالتی مکزیک برای تخمین میزان تخلیه آب‌های زیرزمینی در این منطقه استفاده کردند. 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 (Castellazzi et al., 2018). چن و همکاران با هدف یافتن روشی برای افزایش دقت داده‌های GRACE با بررسی داده‌های این ماهواره در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ در یافتن مقایسه تغییرات سطح آب‌زیرزمینی GRACE با داده‌های زمینی نشانگر روند منفی آبخوان است (Chen et al., 2014). در منطقه اردن (Liesch and Ohmer, 2016) و مناطق دیگر که پژوهش‌هایی در این زمینه انجام شده (Miro and Famiglietti, Sahoo et al., 2017, 2018; Zhong et al., 2018) مطابقت خوبی بین تغییرات GWS<sup>۲</sup> ناشی از ماهواره GRACE و GWS مشاهداتی نشان داده‌اند. برای مطالعه مدیریت جامع رودخانه نیل در آفریقا، تغییرات سطح آب در رودخانه توسط ماهواره GRACE و اندازه‌گیری بارندگی را تجزیه و تحلیل کردند و نتایج نشان داد که یک ارتباط قوی بین تغییرات سطح آب‌زیرزمینی و میزان شارژ با تغییرات بارندگی وجود دارد (Khaki et al., 2018). ژو و همکاران تغییرات محلی آب‌زیرزمینی را در ایستگاه وهان بررسی کرد. نتایج نشان داد که عملکرد تخمین GRACE از تغییرات سطح

1- Three Gorges Reservoir  
2- Ground Water Storage

آب‌های زیرزمینی از روی مشاهدات GRACE، با استفاده از مدل CLM4 پیش‌بینی می‌شود. 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 ژوئن ۲۰۱۶ مورد ارزیابی قرار دادند. موجودیت آب (TWS) تولیدشده از داده‌های ماهواره GRACE به همراه داده‌های رطوبت خاک، آب معادل برف، و آب سطح 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  $0.089$  سانتی‌متر در ماه، مطلوب‌ترین پیش‌بینی روند تغییرات ماهانه سطح آب‌زیرزمینی را نشان می‌دهد.

بررسی پژوهش‌های پیشین نشان دهنده‌ی توانایی ماهواره‌ی گریس در تحلیل و پایش خشک سالی و تغییر آب شناختی مناطق مختلف است. این داده‌ها منبعی مطمئن و تخصصی در حوزه‌ی بررسی تغییر تراز منابع آب‌زیرزمینی است. از این رو، با توجه به اهمیت منابع آب‌زیرزمینی در منطقه مطالعاتی از دید کشاورزی و باغداری، ارزیابی و شناسایی کردن تغییر منبع آب‌زیرزمینی که اصلی‌ترین منبع آب منطقه است، اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش نوسان آب‌های زیرزمینی آبخوان میانراهان در بازه‌ی زمانی  $2002/01/01$  تا  $2017/01/01$  با ماهواره‌ی گریس پایش و تحلیل شد. برای تحلیل مکانی نوسان آبخوان میانراهان، نقشه پهنه‌بندی با داده‌های مشاهده‌ای در آبخوان تهیه شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

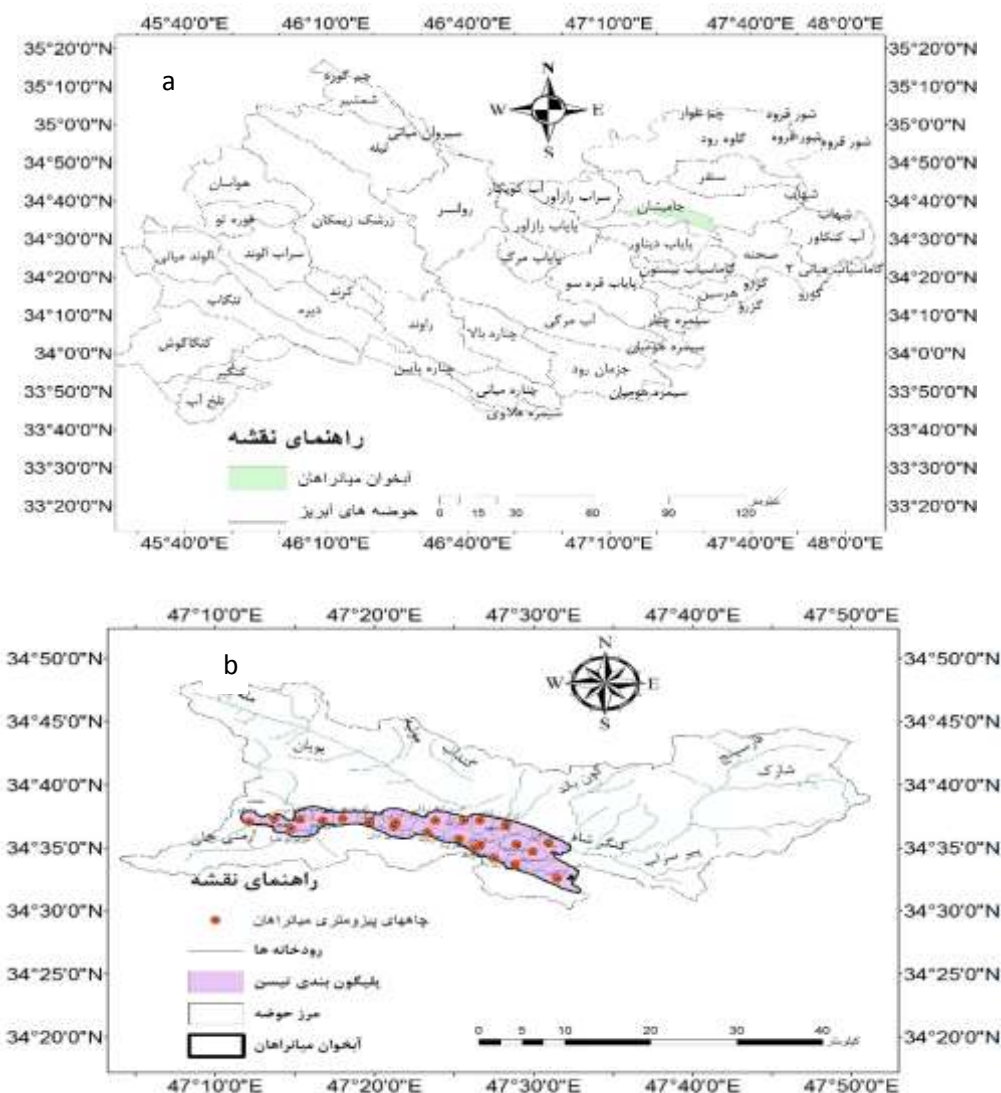
منطقه مطالعاتی میانراهان مرکز بخش دینور از بخش‌های شهرستان کرمانشاه است که در  $60$  کیلومتری شمال شرقی کرمانشاه در مسیر جاده کرمانشاه - سنقر قرار گرفته است. این محدوده بین طول‌های جغرافیایی  $3^{\circ} 47'$  تا  $51^{\circ} 47'$ ،  $34^{\circ} 48'$  درجه شمالی و عرض‌های جغرافیایی  $29^{\circ} 34'$  درجه تا  $34^{\circ} 48'$  درجه شمالی واقع شده که جز شمالی‌ترین مناطق حوضه آبریز کرخه است (شکل ۱). آب و هوای محدوده سرد و نیمه‌خشک است و درجه حرارت متوسط آن بین  $2$  درجه زیر صفر تا  $15$  درجه بالای صفر متغیر است. وسعت این حوضه در حدود  $1173$  کیلومترمربع است که حدود  $843$  کیلومترمربع آن مربوط به ارتفاعات و مابقی مربوط به دشت‌های منطقه می‌باشد. محدوده شامل دو رودخانه اصلی به نام‌های مریم‌نگار و جامیشان است و مطابق آمار سال  $1385$  دارای  $683$  حلقه چاه

گام بعدی برای کلان شهرهای تهران، تبریز، اصفهان، شیراز و مشهد محاسبه کردند که نتایج، روندی نزولی را با مقادیر  $1/57$  - و  $1/84$  - و  $0/43$  - و  $1/47$  - و  $0/94$  - سانتیمتر در سال برای کلان شهرها و همچنین مقدار  $1/23$  - برای کل کشور تخمین زده شد. افتخاری و همکاران (۱۳۹۸) پردازش داده‌ها در سامانه‌ی گوگل ارث اینجین<sup>۱</sup> را با داده‌های سه مرکز پردازش داده JPL، GFZ و CSR برای آبخوان دشت بیرجند انجام داده و نتایج با داده‌های مشاهده‌ای پیرومتری (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷) مقایسه شد. این مقایسه با ایجاد کردن و ایازی خطی بین متغیرهای به دست آمده از مراکز پردازش داده سنجنده‌ی GRACE و داده‌های مشاهده‌ای انجام شد، که نتیجه‌ی آن همبستگی  $69$  درصدی بین متغیرهای به دست آمده از دو روش بود. برای تحلیل مکانی و زمانی، تراز ایستابی آبخوان با نرم افزار ARC GIS پهنه‌بندی شد. نتایج نشان داد که در بازه‌ی زمانی  $1387$  تا  $1397$  به دلیل کمبود بارشها، تغذیه نشدن آبخوان، و برداشت اضافه، تراز ایستابی افت بسیاری کرده است. در پژوهشی مدل GLDAS، با مدل هیدرولوژیکی WMS/HEC-HMS تلفیق شده و از آن به منظور انجام مطالعات بارش - رواناب منطقه پلرود استان گیلان استفاده گردیده و دریافتند مدل تلفیقی HEC-HMS و GLDAS، ابزار قابل قبولی جهت پیش بینی رواناب در مناطق فاقد آمار می باشد (طاهری تیزرو و همکاران،  $1395$ ). تبخیر - تعرق لایسیمتر و تبخیر - تعرق حاصل از GLDAS و همچنین بارش و دمای حاصل از مدل GLDAS و بارش ماهواره TRMM برای سال‌های  $1379$  تا  $1382$  مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد استفاده از داده‌های تبخیر - تعرق، دمای هوا و بارش حاصل از مدل GLDAS به عنوان جایگزینی مناسب برای داده‌های مشاهداتی در مناطق فاقد آمار قابل استفاده می‌باشند (فرجی و همکاران،  $1396$ ).

اشرف زاده و همکاران ( $1395$ ) داده‌های سطح دو ماهواره‌ی GRACE را برای برآورد تغییرات ماهیانه ذخایر آب منطقه جنوب ایران طی دوره مطالعاتی اوت  $2002$  تا دسامبر  $2010$  مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان دهنده 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 پیرومتری جنوب کشور مقایسه شد. 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  $45$  کیلومتر مکعب در هر سال می‌باشد. همچنین اثرات انسانی کاهش آب‌های زیرزمینی با حذف تغییرات طبیعی

جهت انجام محاسبات از آمار این چاهها که به صورت ماهیانه برداشت می‌شوند استفاده شده‌است (نجفی و همکاران، ۱۳۸۹).

بهره‌برداری عمیق و نیمه عمیق، ۲۳۷ دهنه چشمه و ۴۹ رشته قنات میباشد. تعداد ۲۳ حلقه چاه مشاهده‌ای نیز در محدوده موجود است که



شکل ۱- آبخوان میانراهان در حوضه آبریز جامیشان در استان کرمانشاه (a) و پلیگون‌های تیسن چاه‌های مشاهده‌ای آن (b)

### هیدروگراف واحد

با توجه به حاکم بودن شرایط هیدرولوژیکی متفاوت و همچنین وجود اختلاف شدید در میزان برداشت در نقاط مختلف دشت، هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای بر یکدیگر منطبق نبوده و هیدروگراف هر چاه فقط معرف منطقه محدودی در اطراف همان چاه است. برای رفع این مشکل و محاسبه تغییرات سطح آب متوسط کل حوضه لازم است از ابزاری که معرف میانگین هیدروگراف تمام چاه‌های حوضه است استفاده کرد، این هیدروگراف میانگین را هیدروگراف واحد می‌نامند (شمسایی، ۱۳۸۱).

یکی از مرسوم‌ترین روش‌ها جهت رسم هیدروگراف واحد روش

تیسن<sup>۱</sup> می‌باشد. در این روش فرض بر این است که ارتفاع آب اندازه‌گیری شده در هر چاه مشاهده‌ای یا پیزومتر معرف سطح نسبتاً وسیعی است. دقت هیدروگراف رسم شده از این روش به فاکتورهای گوناگونی مانند الگوی توزیع چاه هادر حوضه، دقت اندازه‌گیری سطح آب و مثلث‌بندی و پلیگون‌بندی بستگی دارد. در ابتدا باید چاه‌های مشاهده‌ای یا پیزومترها را بر روی این نقشه پیاده کرد. سپس با استفاده از GIS Arc شبکه تیسن رسم شده و مساحت‌های موثر هر پیزومتر مشخص می‌گردد. میزان سطح متوسط آب در یک زمان مشخص با رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

1- Thiesen

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot a_i}{A} \quad (1)$$

که در آن  $a_i$  مساحت چند ضلعی  $i$  ام،  $h_i$  رقوم سطح آب در هر چاه مشاهده‌ای یا پیژومتر نسبت به سطح مبنا  $A$  مجموع مساحت چندضلعیها و  $n$  تعداد چاههای مشاهده‌ای یا پیژومترها می‌باشند. با محاسبه  $H$  برای زمانهای مختلف می‌توان هیدروگراف واحد حوضه را رسم کرد (شمسائی، ۱۳۸۱)

### ماهواره GRACE

این ماهواره دوقلو، تغییرات میزان آب را در سطح زمین به صورت غیرمستقیم و با تخمین تغییرات میدان ثقل زمین اندازه‌گیری می‌نماید. داده‌های این ماهواره که به صورت ماهانه وجود دارد، با حرکت دو ماهواره که در امتداد یکدیگر حرکت می‌نمایند، به دست می‌آیند. گریس به چهار دسته داده‌های سطح ۰، سطح A-1، سطح B-1 و سطح ۲ تقسیم می‌شوند. وظیفه پردازش و ذخیره‌سازی این داده‌ها توسط سه مرکز لابراتوار JPL در ناسا، موسسه GFZ در آلمان و مرکز تحقیقات فضایی دانشگاه تگزاس آمریکا (UTCSR) صورت می‌گیرد. داده‌های سطح ۰ اطلاعات خام و پردازش نشده‌ای است که توسط مرکز RDC<sup>۱</sup> در موسسه DLR آلمان بایگانی می‌شود. سپس این داده‌ها به واحدهای مهندسی معناداری از قبیل طول کالیبراسیون و فاصله بین دو ماهواره و تغییرات آن‌ها، شتاب‌های غیرجاذبی و داده‌های جی پی اس تبدیل شده که به آن‌ها داده‌های سطح-A<sup>۱</sup> می‌گویند تبدیل می‌شود. مسئولیت پردازش این دو مرحله بر عهده JPL<sup>۲</sup> و GFZ<sup>۳</sup> است. در داده‌های سطح B-1 مشاهدات به صورت صحیح و یکسان زمان بندی می‌شوند. داده‌های سطح ۲ که به علت سختی کار با داده‌های سطح ۱ اغلب در مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرند، ضرائب هارمونیک کروی میدان جاذبه زمین تا ماکزیمم درجه و مرتبه ۱۲۰ در فواصل ماهیانه هستند. پایگاه داده این ضرائب شامل ضرائب JPL تا درجه و مرتبه ۱۲۰، ضرائب GFZ تا درجه و مرتبه ۹۰ و ضرائب UTCSR<sup>۴</sup> تا درجه و مرتبه ۶۰ هستند. 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 (Moghimi, 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 آب زیرزمینی، بسیار بیشتر از سرعت پر شدن طبیعی آن‌ها است <http://www.nasa.gov/grace>

برای بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی از

کدنویسی در محیط محاسبات ابری گوگل ارث اینجین استفاده شد. آبخوان میانراهان را به صورت یک شیپ فایل در این محیط وارد کرده و سری زمانی داده‌ها و نمودارهای تغییرات سطح آب زیرزمینی استخراج گردید. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است شیپ فایل آبخوان میانراهان توسط گوگل ارث اینجین شناسایی شده و سپس برای این منطقه میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی ماهواره گریس که با نام  $LWE^5$  معادل آب مایع می‌باشد براساس کد نوشته‌شده برای دوره زمانی ۲۰۰۲/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۷/۰۱/۰۱ به صورت نمودار سبز رنگ در سمت راست بالای محیط گوگل ارث اینجین نمایش داده می‌شود و نیز سری درازمدت داده‌های آن در همین بخش قابل دانلود و ذخیره‌سازی در اکسل است.

### مدل جهانی سطح زمین GLDAS<sup>۶</sup>

سیستم مدل‌سازی جهانی سطح آب زمین است که از داده‌های مشاهده‌ای ماهواره‌ای و همچنین تحقیقات هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی 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 مدل GLDAS تخمینی واقعی از اجزای اصلی ذخیره آب زیرزمینی برآورد شده توسط ماهواره GRACE فراهم می‌کند. در واقع ذخیره آب به دست آمده از مدل GLDAS مجموع رطوبت چهار لایه از خاک، مقدار تجمعی برف و مجموع آب ذخیره شده در گیاه است (فرجی و همکاران، ۱۳۹۶). در شکل ۳a مقادیر مربوط به رطوبت خاک در چهار لایه خاک از ۰-۱۰، ۱۰-۴۰، ۴۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰ در پنجره سمت چپ در قسمت scripts مشخص می‌باشد که هر بار یکی از این لایه‌ها اجرا شده و داده‌های مرتبط با آن بر اساس کد نوشته‌شده به صورت نمودار سری زمانی نشان داده می‌شود که در سمت راست بالا مشخص می‌باشد و در همین بخش داده‌ها نیز قابلیت دانلود و ذخیره‌سازی دارند که در این شکل نتایج لایه ۱۰۰-۲۰۰ نشان داده شده است. همچنین در ۳b نمودار آب معادل برف ( $SWE^7$ ) برحسب میلیمتر و در ۳c آب معادل پوشش گیاهی ( $CanopInt\_inst^8$ ) برحسب میلیمتر نشان داده شده است.

5- Liquid Water Equivalent

6- Global Land Data Assimilations System

7- Snow Water Equivalent

8- Plant canopy surface water

1- Raw Data Center

2- Jet Propulsion Laboratory

3- Geo Forschungd Zentrum

4- University of Texas Center for Space Research



شکل ۲- اجرای مدل GRACE با مرکز پردازش داده JPL در آبخوان میانراهان در محیط گوگل ارث اینجین

### آب زیرزمینی (GW)

روش‌های متعددی برای مقایسه نتایج ماهواره GRACE با داده‌های مشاهداتی وجود دارد که در برخی از روشها بیان آب با استفاده از خروجی مدل GLDAS محاسبه شده و با خروجی ماهواره GRACE مقایسه می‌شود. در این پژوهش با استفاده از روش (Zhong et.al, 2018) سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های GRACE و GLDAS توسط معادله ۲ برآورد شد:

$$GW = TWS - SM - SWE - CW \quad (2)$$

که در آن ذخیره آب زیرزمینی تخمین زده شده با استفاده از GRACE (سانتی‌متر) است، SM داده رطوبت خاک (سانتی‌متر) و نیز آب معادل برف (SWE<sup>۱</sup>) و آب ذخیره شده در پوشش گیاهان (CW<sup>۲</sup>) به میلی‌متر حاصل از مدل GLDAS است و GW سطح آب زیرزمینی (سانتی‌متر) است. شبکه‌های ماهانه GRACE و GLDAS<sup>۳</sup> برای برآورد GW به صورت ماهانه برای دوره ۲۰۰۲/۰۱/۰۱-۲۰۱۷/۰۱/۰۱ و داده‌های مشاهداتی از ۲۳ چاه پیژومتری در آبخوان میانراهان برای بررسی صحت‌سنجی داده‌های ماهواره GRACE برداشت شد. از آنجا که داده‌های GRACE دارای تفکیک مکانی ۱ درجه هستند، پیکسل GRACE بر اساس مختصات جغرافیایی حوضه برای پوشش کامل منطقه در نظر گرفته می‌شود. در این منطقه به دلیل وجود نداشتن پهنه‌های آبی گسترده از این رابطه استفاده شده است.

### معیارهای ارزیابی آماری

در این پژوهش از شاخص‌های عددی ریشه میانگین مربعات خطا

- 1- Snow Water Equivalent
- 2- plant canopy surface water
- 3- Global Land Data Assimilation System

(RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و ضریب همبستگی R که در آن  $C_i$  مقدار محاسبه شده،  $M_i$  مقدار مشاهده شده، و n تعداد داده است. اگر دو آماره RMSE و MAE برابر با صفر یا نزدیک به صفر باشند، این نشان می‌دهد که روش اعمال شده بسیار دقیق است. هرچه از صفر فاصله می‌گیرد، دقت روش کاهش می‌یابد در صورتی که ضریب تبیین هرچه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است. (Arast et.al, 2020).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(C_i - M_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum(C_i - M_i)}{n} \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (C_i - \bar{C})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (C_i - \bar{C})^2 (M_i - \bar{M})^2}} \quad (5)$$

### بحث و نتایج

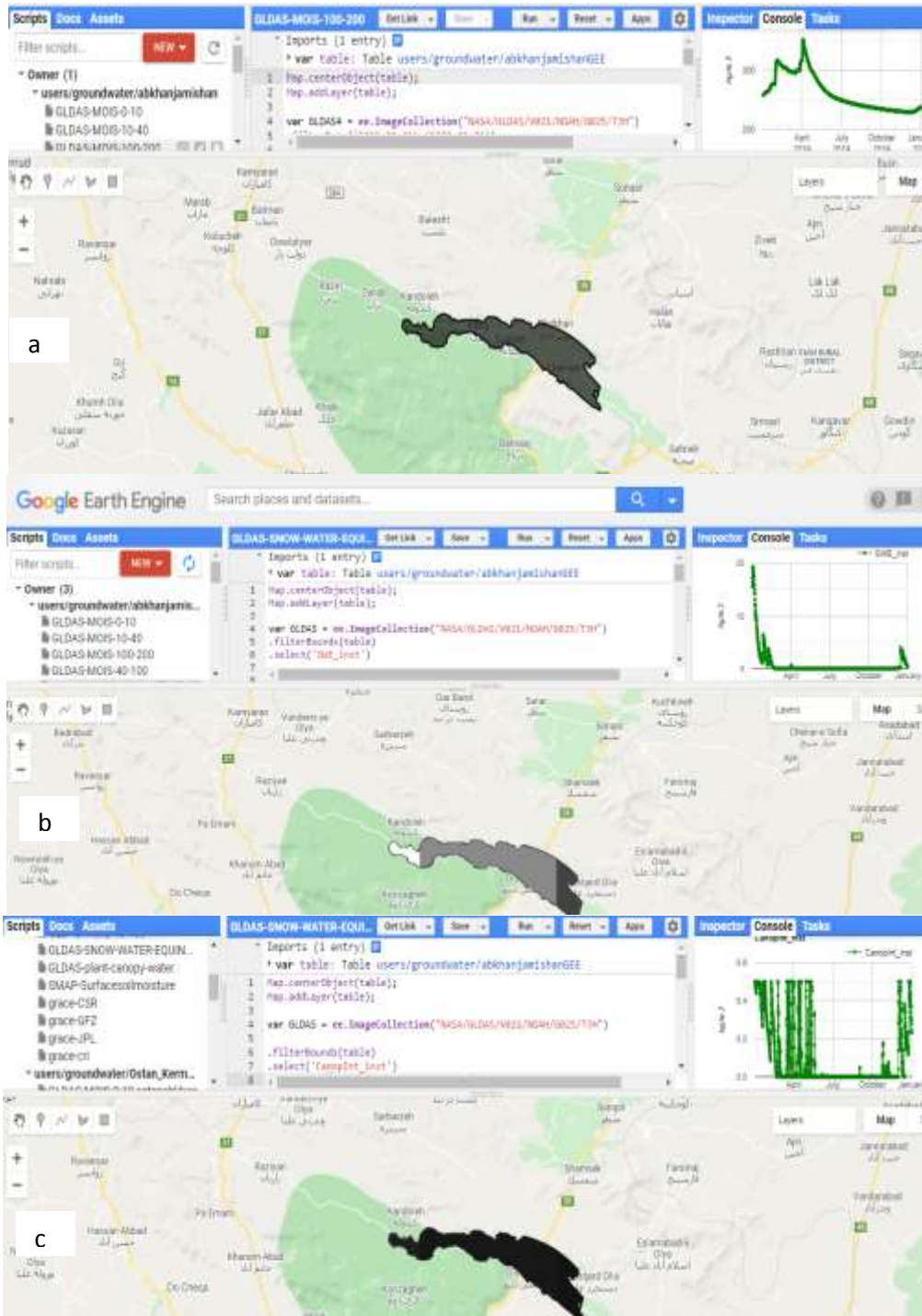
#### هیدروگراف واحد و نقشه میان‌یابی سطح آب زیرزمینی

هیدروگراف واحد آبخوان میانراهان برای سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۸۲ با توجه به مساحت‌های محاسبه شده در پلیگون‌بندی تبسن در منطقه و میزان تراز سطح آب ۲۳ چاه پیژومتری محاسبه گردید و در شکل ۴ نشان داده شده است.

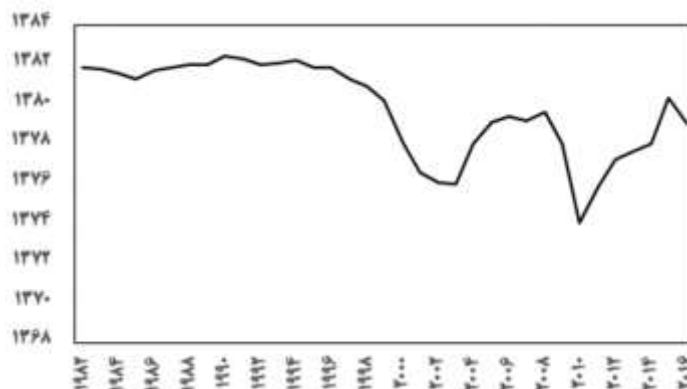
سطح آب زیرزمینی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳ و سپس از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ به شدت کاهش یافته و تا تراز ۱۳۷۵ متر نزول یافته است و با مدیریت آب زیرزمینی در این منطقه و بستن چاه‌های غیرمجاز از سال ۲۰۱۲ روند صعودی داشته است. مناسب‌ترین تراز سطح آب برای این منطقه ۱۳۸۰ متر است که با ادامه مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی

استفاده گردید و این تغییرات به صورت سری درازمدت برای کل چاه-های پیژومتری منطقه بررسی و نقشه میان‌یابی آن به شکل ۵ تهیه گردید.

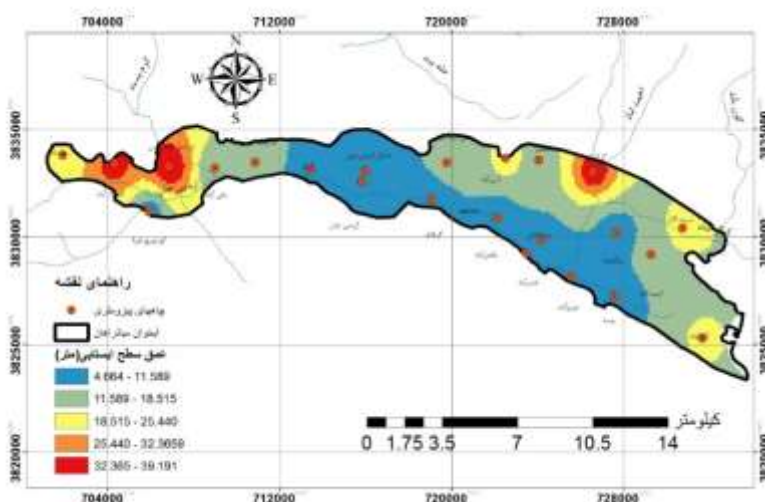
امید است مجدداً این تراز برای آبخوان محقق گردد. به منظور تعیین تغییرات مکانی سطح آب چاه‌های پیژومتری آبخوان میانراهان از روش کریجینگ در نرم افزار Arc GIS



شکل ۳- اجرای مدل GLDAS برای پارامترهای رطوبت خاک (عمق ۱۰۰-۲۰۰ سانتی متر) a، آب معادل برف b و آب معادل ذخیره شده در پوشش گیاهان c، در آبخوان میانراهان در محیط گوگل ارث اینجین



شکل ۴- هیدروگراف واحد آبخوان میانراهان



شکل ۵- تغییرات سطح آب در چاه‌های بی‌زومتری آبخوان میانراهان ۲۰۱۶-۲۰۰۲ با روش کربجینگ در محیط ARC GIS

میانگین درازمدت ماهانه LWE بر اساس مرکز پردازش داده‌های JPL استخراج شده و در شکل ۸ تغییرات ماهانه معادل آب مایع آبخوان میانراهان را از سال ۲۰۰۲-۲۰۱۶ نشان می‌دهد.

تغییرات ماهانه معادل آب مایع (LWE) نشان می‌دهد در ماه آگوست بیشترین کمبود تا ۴۰- سانتی‌متر و سپس در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و سپتامبر کمبودها تا ۳۰- سانتی‌متر وجود دارد. در ماه‌های مارس، آوریل و می بهترین شرایط آبخوان در این دوره زمانی وجود داشته‌است.

#### مقادیر رطوبت خاک، آب معادل برف و آب معادل پوشش گیاهی

با استفاده از مشاهدات مدل هیدرولوژی GLDAS رطوبت موجود در ۴ لایه ریشه‌ای خاک به صورت چهار عدد جداگانه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ در منطقه مطالعاتی با یکدیگر جمع شده و سپس میانگین این مجموع برای ماه‌های سال بدست آمده‌است این اعداد بر اساس سانتی‌متر می‌باشد که در شکل ۹a نشان داده شده‌است.

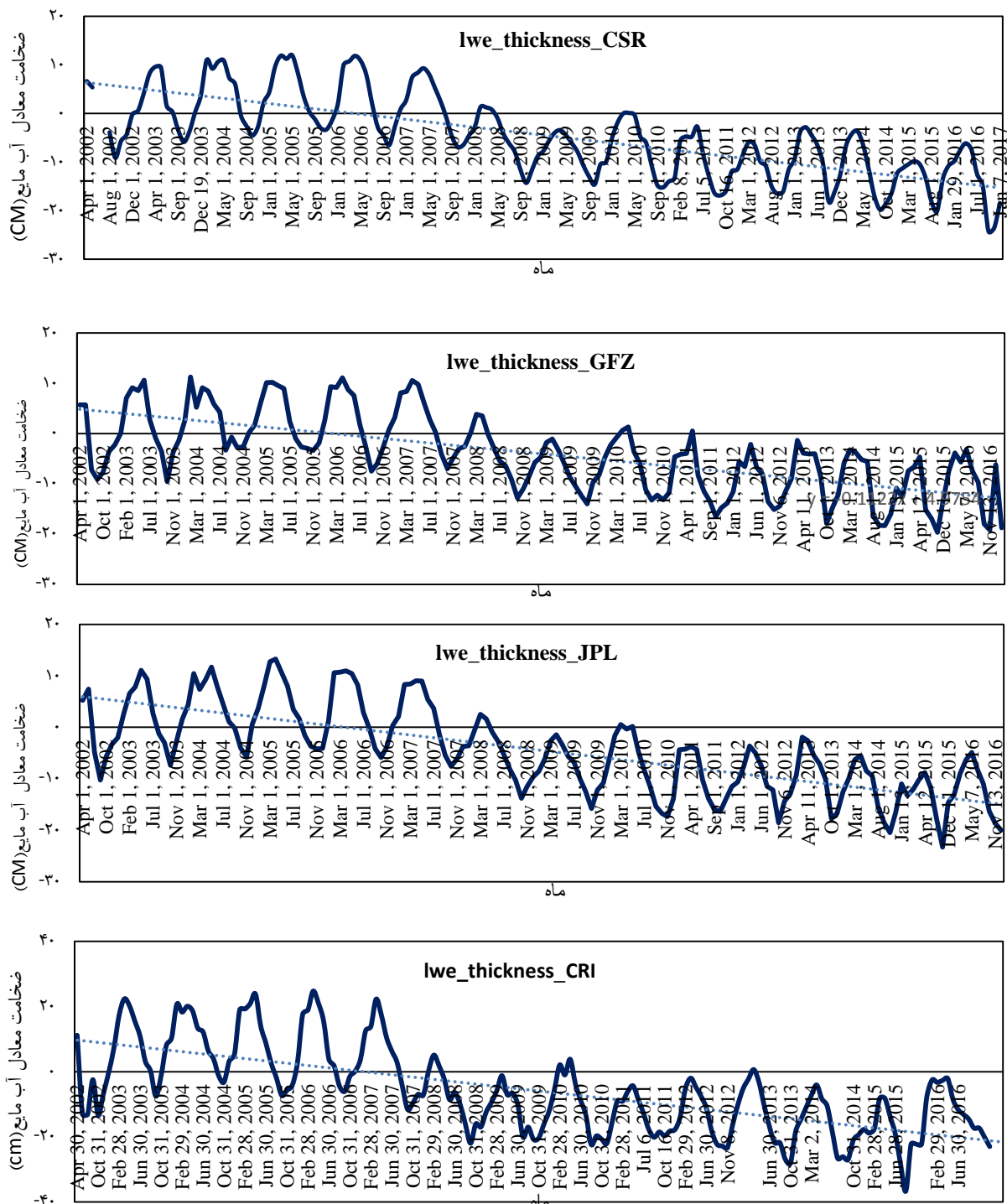
همانطور که در نقشه مشخص می‌باشد قسمت غربی آبخوان میانراهان و پس از آن قسمت شمال شرقی دارای شرایط ناپایدارتر و سطح آب پایین‌تری نسبت به بقیه قسمت‌های آبخوان دارند. قسمت مرکزی آبخوان دارای شرایط مناسب‌تری می‌باشد. حداقل عمق سطح آب ۴/۶ متر و حداکثر آن معادل ۳۹/۱ متر می‌باشد.

#### خروجی ماهواره GRACE

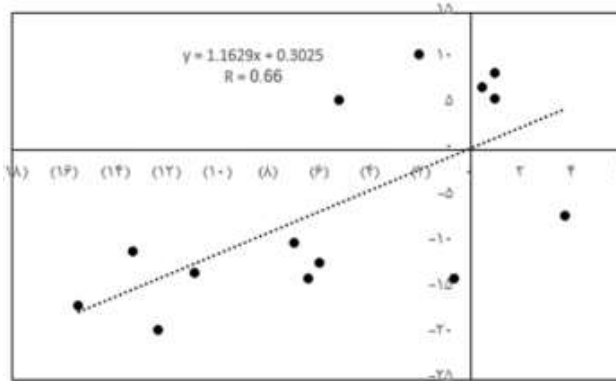
تغییرات ضخامت معادل آب مایع (LWE) در نرم افزار گوگل ارث اینجین برای مراکز پردازش مختلف در منطقه مطالعاتی محاسبه شده و نمودار تغییرات زمانی این پارامتر از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ در شکل ۶ ارائه شده‌است.

در بین مراکز داده پردازش مختلف ماهواره GRACE که در بخش مواد و روشها توضیح داده شده‌است مرکز پردازش داده JPL با مقدار ضریب همبستگی ۰/۶۶ شباهت بیشتر و بهتری با داده‌های مشاهداتی دارد. نمودار همبستگی در شکل ۷ نشان داده شده‌است.

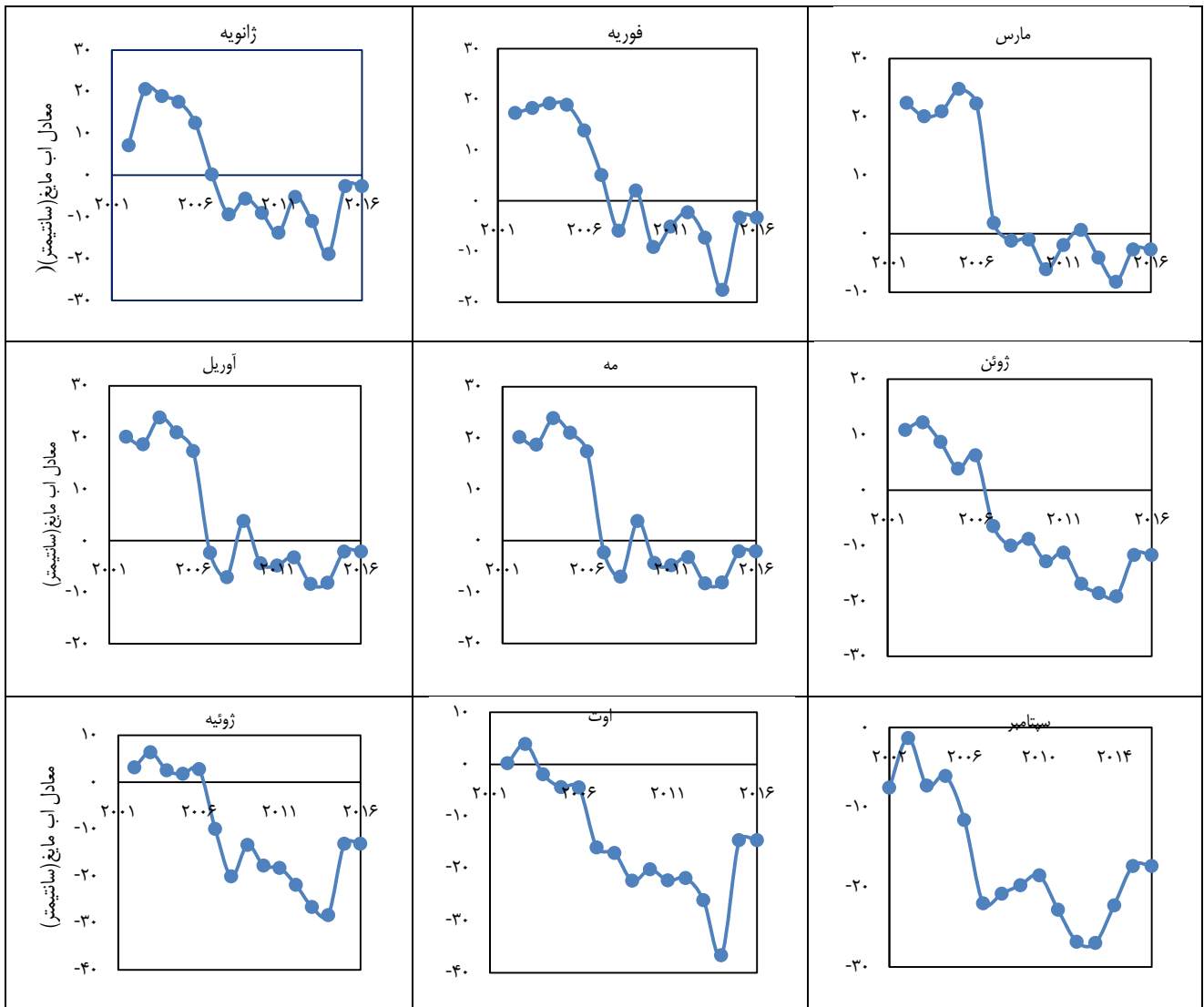


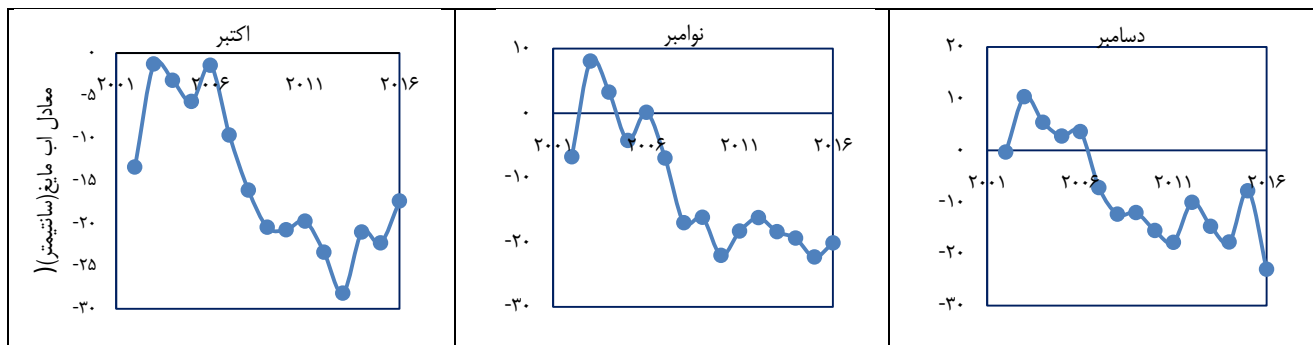


شکل ۶- تغییرات ضخامت معادل آب مایع (LWE) آبخوان میانراهنان ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ حاصل از مرکز پردازش‌های مختلف ماهواره GRACE

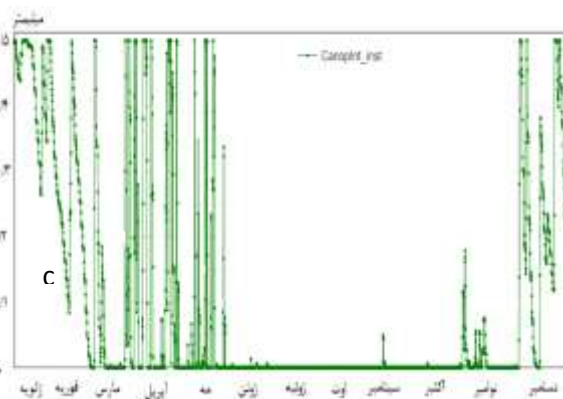
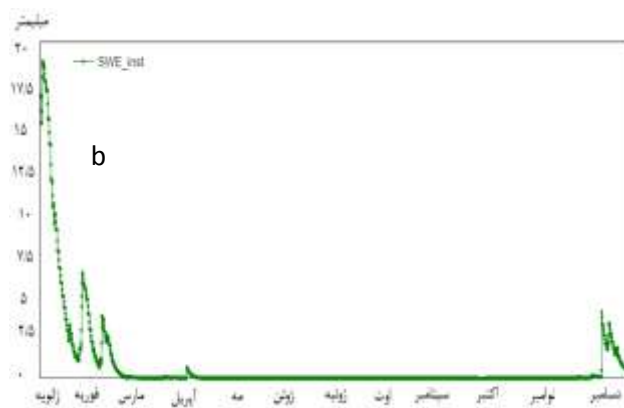
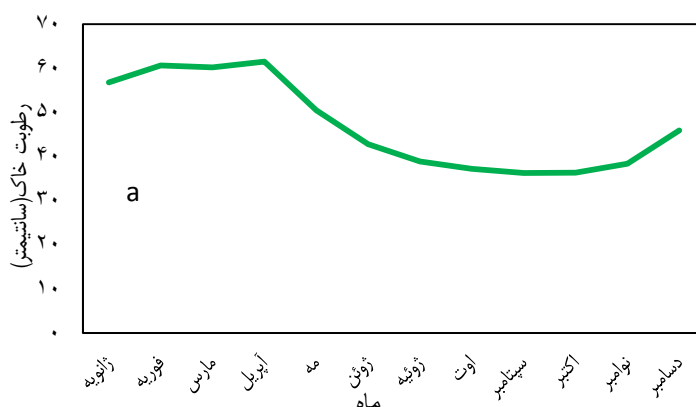


شکل ۷- همبستگی مقادیر مشاهداتی و برآوردی تغییرات سطح آب زیرزمینی ۲۰۰۲-۲۰۱۶ در مرکز پردازش داده‌های JPL

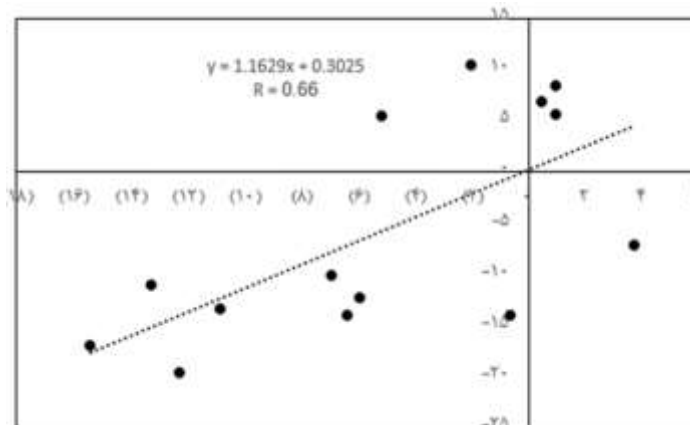




شکل ۸- دامنه تغییرات درازمدت معادل آب مایع (LWE) در ماه‌های مختلف در مرکز پردازش داده‌های JPL



شکل ۹- رطوبت خاک a، آب معادل برف b و آب معادل پوشش گیاهی c حاصل از مدل جهانی سطح زمین GLDAS



شکل ۱۰- تغییرات سطح آب‌زیرزمینی مشاهداتی و ماهواره گریس (سانتی‌متر)

جدول ۱. معیارهای خطای محاسبه‌شده برای مراکز پردازش داده

مختلف ماهواره GRACE			
R	RMSE	MAE	معیارهای خطا
۰/۵۲	۱۰/۵	۹/۸۷	GRACE(GFZ)
۰/۵۸	۶/۵	۴/۱۸	GRACE(CRI)
۰/۶۱	۵/۸۴	۳/۸۳	GRACE(CSR)
۰/۶۶	۴/۸۷	۳/۱۶	GRACE(JPL)

### نتیجه‌گیری

مردم در سراسر جهان با کمبود آب روبرو هستند. اگرچه سطح شدت در کشورهای مختلف متفاوت است اما، عواقب کاهش منابع آب و محیط‌زیست، باعث تخریب شدید در مناطق خاورمیانه و ایران شده‌است. آسیب‌پذیری در برابر کمبود آب خطری است که بخش‌های انرژی، غذا، محیط‌زیست، بهداشت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ناآگاهی از میزان تغییرات آب‌های سطحی و زیرزمینی سبب مدیریت نادرست می‌شود. از اینرو بررسی تغییرات سطح آب در آبخوان‌های کشور و مدیریت صحیح این منابع باعث قدم گذاشتن در مسیر توسعه صحیح و پایدار می‌شود. در این پژوهش مطالعه نتایج تحقیقات پژوهشگران مختلف در سطح جهان و به خصوص در ایران نشان داد که داده‌های ماهواره GRACE می‌تواند برای ارزیابی تغییرات سطح آب‌زیرزمینی در مناطق مختلف نتایج ارزشمندی ارائه دهد. مراکز پردازش داده مختلف این ماهواره در پژوهش حاضر بررسی گردید و نشان داد مرکز پردازش داده JPL با ضریب همبستگی ۰/۶۶ و معیارهای خطای  $RMSE=4/87$  و  $MAE=3/16$  از دقت قابل قبولی برخوردار است. این نتایج با پژوهش نبوی و همکاران (۱۳۹۹) برای خراسان رضوی مطابقت دارد و آنها دریافتند که مرکز پردازش داده JPL بهترین تخمین را بر اساس معیارهای خطا با داده‌های مشاهداتی دارد. نیز

همچنین مقادیر آب معادل برف ( $SWE^1$ ) و آب معادل پوشش گیاهی ( $CanopInt\_inst^2$ ) برحسب میلی‌متر محاسبه گردید و در شکل ۹b و ۹c آورده شده‌است.

همانطور که در شکل ۹ مشخص شده بیشترین میزان رطوبت خاک مربوط به ماه آپریل است که این ماه معادل فروردین و شامل بارش‌های بهاری است و نیز مقدار رطوبت خاک از فصل زمستان و ذوب شدن برف‌ها نیز تاثیرگذار است. به تدریج رطوبت خاک کم شده و در فصل تابستان به حداقل رسیده و مجدداً در آذرماه افزایش می‌یابد. مقدار آب معادل برف با میزان حداکثر ۲ سانتیمتر در ماه ژانویه و حداقل صفر در نه ماه از سال و آب معادل پوشش گیاهی با حداکثر مقدار ۰/۰۵ سانتی‌متر سهم بسیار کوچکی در میزان آب معادل زیرزمینی دارند با کسر مقدار مجموع رطوبت حاصل از خاک، برف و پوشش گیاهی از مقادیر برآوردی GRACE طبق معادله ۲ میزان تغییرات سطح آب‌زیرزمینی GW در مقابل مقادیر مشاهداتی آن در شکل ۱۰ رسم گردید. مقدار روند کاهشی سطح آب‌زیرزمینی در ماهواره GRACE خروجی مرکز داده JPL معادل ۲/۲۶- و در مشاهداتی ۱/۸۶- سانتی‌متر در سال است.

### محاسبه معیارهای ارزیابی

به منظور مقایسه نتایج حاصل از داده‌های ماهواره GRACE و مقادیر مشاهداتی چاه‌های پی‌زومتری شاخص‌های آماری برآورد شده در جدول ۱ نشان داده شده‌است. همانطور که مشخص شده بر اساس معیارهای خطا مدل‌های JPL، CSR، CRI و GFZ به ترتیب بهترین تخمین را برای داده‌های تراز سطح آب چاه‌های پی‌زومتری منطقه داشته‌اند.

1- Snow Water Equivalent  
2- Plant canopy surface water

انتظاری، س و رحیم زادگان، م. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات آب های زیرزمینی با استفاده از داده های ماهواره GRACE. چهارمین کنفرانس بین المللی فناوری های نوین در مهندسی عمران. معماری و شهرسازی. تهران. <https://civilica.com/doc/703043>

شمسایی، ا. ۱۳۸۱. هیدرولیک آب در محیط متخلخل، جلد دوم: مهندسی آبهای زیرزمینی. نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

طاهری تیزرو، ع. پاکدل خشمخی، ح.، معروفی، ص. و وظیفه دوست، م. ۱۳۹۵. تلفیق مدل های HEC-HMS و GLDAS در تخمین رواناب مناطق فاقد آمار. پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۳(۴): ۱۰۱-۱۱۱.

فرج، ز.، کاویان، ع. و اشرف زاد، ا. ۱۳۹۶. ارزیابی داده های ماهواره GRACE در برآورد تغییرات سطح آب زیرزمینی در استان قزوین. اکوهیدرولوژی، ۴(۲): ۴۶۳-۴۶۶.

فرجی، ز.، کاویانی، ع. و شکیبا، ع. ۱۳۹۶. ارزیابی داده های تیخیر- تعرق. بارش و دمای هوای حاصل از مدل سطح زمین (GLDAS) با استفاده از داده های مشاهداتی در استان قزوین. پژوهش های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۳): ۲۸۳-۲۹۷.

نجفی بیامه، م.، کمالی، غ. و عبدالملکی، م. ۱۳۸۹. رسم هیدروگراف واحد با روش زمین آماری کریجینگ و مقایسه آن با روش سنتی تیسس در دشت میانراهان. نخستین کنفرانس پژوهش های کاربردی منابع آب ایران. کرمانشاه.

نبوی، س.، علیزاده، ا. و فرید حسینی، ع. ۱۳۹۹. ارزیابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده های ثقل سنجی ماهواره ای GRACE (مطالعه موردی: خراسان رضوی). آبیاری و زهکشی ایران ۱۴(۳): ۸۶۶-۸۵۵.

نجفی، ز.، کرمی، غ. و کریمی، ح. ۱۳۹۹. تأثیر برداشت از منابع آب آبرفتی بر آبدی چشمه های کارستی (مطالعه موردی: نواحی مرکزی استان کرمانشاه). علوم و مهندسی آبیاری. انتشار آنلاین 10.22055/JISE.2020.30451.1868

Als Dorf, D. E., Rodr\_iguez, E. and Lettenmaier, D. P. 2007. Measuring surface water from space, Reviews of Geophysics. 45. RG2002. doi: 10.1029/2006RG000197.

Arast, M., Ranjbar, A., Mousavi. S. H., Abdollahi, Kh. and Honarbakhsh, A. 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

روند کاهش منابع آب آبخوان را ۰/۰۸۹- سانتی متر در هر سال برآورد کردند که این میزان در آبخوان میانراهان برابر ۲/۲۶- سانتی متر تخمین زده شده است. در این راستا پژوهشی توسط نجفی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه ای تأثیر برداشت از منابع آب آبرفتی بر میزان آبدی چشمه های کارستی در استان کرمانشاه را با هدف برآورد حداقل سطح آب زیرزمینی به منظور حفظ آبدی چشمه ها انجام دادند که دریافتند اگر سطح آب زیرزمینی اطراف چشمه های خضرالیاس به ۱۳۰۳ متر بالاتر از سطح دریا، یاوری به ۱۳۰۵ متر، نیلوفر به ۱۳۱۱ متر و تیران به ۱۳۴۰ متر و یا کمتر برسد این چشمه ها فاقد آبدی می شوند و هر زمانی که به بیشتر از این سطح یعنی حداقل مجاز سطح آب زیرزمینی برسد به صورت موقتی دارای آبدی می شوند. نیز متوسط افت سالانه سطح آب زیرزمینی در محدوده میانراهان ۱۸، کرمانشاه ۴۱، روانسر ۲۵ و ماهیدشت ۱۴۲ سانتی متر ثبت شده است. لذا نیاز به مدیریت و کنترل برداشت از آن ها به شدت احساس می شود که در این پژوهش از داده های ماهواره استفاده شده است. نتایج پژوهش حاضر در مقایسه با افتخاری و همکاران (۱۳۹۸) که پردازش داده ها در سامانه ی گوگل ارث اینجین را با سه مرکز پردازش داده JPL، GGFZ و CSR برای آبخوان دشت بیرجند انجام داد و نتایج را با داده های مشاهده ای پیرومتری (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷) مقایسه کردند و با ایجاد کردن وابازی خطی بین متغیرهای به دست آمده از سنجده ی GRACE و داده های مشاهده ای دریافتند ضریب همبستگی ۶۹ درصدی بین متغیرهای به دست آمده وجود دارد و در پژوهش حاضر ضریب همبستگی بین داده های ماهواره GRACE و مشاهداتی ۰/۷۴ بدست آمد. پژوهش (Moghimi, 2020) مقادیر معادل آب مایع (LWE) را با ماهواره GRACE برای کل ایران ارزیابی کرده و نمودار LWE برای کل ایران در سال ۲۰۱۶ مقدار ۱۵- سانتی متر را نشان می دهد که در ادامه به مقدار افت شدید آن در استان کرمانشاه و در آبخوان کارستی زاگرس اشاره شده و زلزله های اخیر این استان را به این دلیل ربط داده است. از اینرو میزان افت LWE در پژوهش حاضر با میزان ۲۰- سانتی متر در آبخوان میانراهان در سال ۲۰۱۶ با این پژوهش همخوانی دارد.

## منابع

اشرف زاده افشار، ع.، جودکی، غ. و شریفی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی منابع آب های زیرزمینی ایران با استفاده از داده های ماهواره ثقل سنجی GRACE. مجله علوم و فنون نقشه برداری. دوره ۴ (۵): ۷۳-۸۴.

افتخاری، م.، مددی، ک. و اکبری، م. ۱۳۹۸. پایش نوسان آبخوان دشت بیرجند با تصویرهای ماهواره یی گریس و تحلیل های مکانی gis. مجله پژوهش های آبخیزداری. ۴ (۳۲): ۶۵-۵۱.

- integrated observations of the early 21st century multiyear drought in southeast Australia. *Water Resources Research*. 45. W04408. doi:10.1029/2008WR007333.
- Liesch, T., and Ohmer, M. 2016. Comparison of GRACE data and groundwater levels for the assessment of groundwater depletion in Jordan. *Hydrogeology Journal*. 24: 1547–1563.
- Miro, M.E. and Famiglietti, J.S. 2018. Downscaling GRACE Remote Sensing Datasets to High-Resolution Groundwater Storage Change Maps of California's Central Valley. *Remote Sensing*. 10. 143.
- Moiwo, J.P. and Yang, Y.H. 2009. Comparison of GRACE with in situ hydrological measurement data shows storage depletion in Hai River basin, Northern China. *Water SA*. 35: 663–670.
- Moghim, S. 2020. Assessment of Water Storage Changes Using GRACE and GLDAS. *Water Resources Management* 34: 685–697. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02468-5>
- Nanteza, J., and Linage, C.R. 2016. Monitoring groundwater storage changes in complex basement aquifers: An evaluation of the GRACE satellites over East Africa. *Water Resources Research*. 52: 9542–9564.
- Rodell, M., and Chen, J.L. 2007. Estimating groundwater storage changes in the Mississippi River basin (USA) using GRACE. *Hydrogeology Journal*. 15: 159–166.
- Rodell, M. and Velicogna, I. 2009. Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. *Nature*. 460: 999–1003.
- Rodell, M., Velicogna, I. and Famiglietti, J. S. 2009. Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. *Nature*. 460(7258): 999-1002.
- Sahoo, S., Russo, T.A. and Elliott, J. 2017. Machine learning algorithms for modeling groundwater level changes in agricultural regions of the US. *Water Resources Research*. 53:3878–3895.
- Scanlon, B. R., Longuevergne, L. and Long, D. 2012a. Ground referencing GRACE satellite estimates of groundwater storage changes in the California Central Valley. USA. *Water Resources Research*. 48. W04520. Doi: 10.1029/2011WR011312.
- Sun, Z., Zhu, X., Pan, Y., Zhang, J. and 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>
- Swenson, S., Famiglietti, J., Basara, J. and Wahr, J. 2008. Estimating profile soil moisture and groundwater variations using GRACE and 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. 2016. Validation of GRACE based groundwater storage anomaly using in-situ groundwater level measurements in India. *Journal of Hydrology*. 543: 729–738.
- Castellazzi, P., Longuevergne, L., Martel, R., Rivera, A. and 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>
- Chen, Y., Li, W. and Xu, C. 2014. Desert riparian vegetation and groundwater in the lower reaches of the Tarim River basin. *Environment Earth Science*. 8:1–12. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-3002-y>
- 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/s12145-015-238-y>.
- Feng, W. and Zhong, M. 2013. Evaluation of groundwater depletion in North China using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) data and ground-based measurements. *Water Resources Research*. 49: 110–2118.
- Henry, C. M., Allen, D. M., and J. Huang .2011. Groundwater storage variability and annual recharge using well-hydrograph and GRACE satellite data, *Hydrogeology Journal* 19(4): 741-755.
- Huang, J.L. and Pavlic, G. 2016. Mapping groundwater storage variations with GRACE: A case study in Alberta, Canada. *Hydrogeology Journal*. 24: 1663–1680.
- Iqbal, N and Hossain, F. 2016. Satellite Gravimetric Estimation of Groundwater Storage Variations Over Indus Basin in Pakistan. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 9(8): 3524–3534. Doi: 10.1109/JSTARS.2016.2574378
- Khaki, M., Awange, J., Forootan, E., and 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>
- Leblanc, M. J., Tregoning, P., Ramillien, Tweed G., Tweed, S. O., and Fakes, A. 2009. Basin-scale,

Journal. 449: 228–239.

Xiao, R.Y. and He, X.F. 2015. Monitoring Groundwater Variations from Satellite Gravimetric and Hydrological Models: A Comparison with in-situ Measurements in the Mid-Atlantic Region of the United States. *Remote Sens.* 7: 686–703.

Yeh, P. J. F., Swenson, S. C., Famiglietti, J. S. and Rodell, M. 2006. Remote sensing of groundwater storage changes in Illinois using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). *Water Resources Research.* 42. W12203. Doi: 10.1029/2006WR005374.

Zhong, Y., Zhong, M., Feng, W., Zhang, Z. and Shen, Y. Wu. 2018. D. Groundwater Depletion in the West Liaohe River Basin, China and Its Implications Revealed by GRACE and In Situ Measurements. *Remote Sens.* 10. 493.

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>

Oklahoma Mesonet soil moisture data. *Water Resources Research.* 44. W01413. Doi: 10.1029/2007WR006057.

Syed, T. H., Famiglietti, J. S., Rodell, M., Chen, J. and Wilson, C. R. 2008. Analysis of terrestrial water storage changes from GRACE and GLDAS. *Water Resources Research.* 44. W02433. Doi: 10.1029/2006WR005779.

Tregoning, P., McClusky, S., van Dijk, A., Crosbie, RS. and Peña-Arancibia, JL .2012. Assessment of GRACE Satellites for Groundwater Estimation in Australia, Waterlines report; National Water Commission: Canberra, Australia. 36(15): 82- 89,  
<https://doi.org/10.1029/2009GL038718>

Wang, X.W and Linage, C.L. 2011. Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) detection of water storage changes in the Three Gorges Reservoir of China and comparison with in situ measurements. *Water Resources Research.* 47: 1–13.

Xiang, L.W. and Wang, H.S. 2016. Groundwater storage changes in the Tibetan Plateau and adjacent areas revealed from GRACE satellite gravity data. *Earth and Planetary Science Letters*

## Monitoring Groundwater Level Changes of Mianrahan Aquifer with GRACE Satellite Data

M. Hafezparast<sup>1</sup>

Received: Dec.08, 2020

Accepted: Mar.23, 2021

### Abstract

Determining groundwater changes in Iran, which is located in arid and semi-arid regions, is of particular importance. In this regard, Kermanshah province with 950,000 hectares of agricultural land and gardens is one of the agricultural hubs of the country and the water level in the aquifers of the province, especially in the eastern part of the province is more severe. In this study, by examining the water level of the observational wells of Mianrahan aquifer in Jamishan basin and spatial zoning of these changes using Kriging method in GIS software, the current situation of the region has been investigated. In order to evaluate GRACE satellite data with JPL, GFS, CSR, CRI data centers, coding in Google Earth Engine cloud computing environment has been used. Monthly and annual changes of liquid water equivalent (LWE) were calculated. Comparing the results of different data centers show that JPL data center with coefficient of  $R = 0.66$  has the highest correlation with observational data. The amount of soil moisture, snow water equivalent and plant canopy water was extracted from the GLDAS model and subtracted from the amount of TWS extracted from the GRACE satellite and was compared with the observed values, which shows that the trend of decreasing groundwater level is equal to -2.26 cm. Calculations are made on the scale of one square degree and units are expressed in centimeters.

**Keywords:** GLDAS, GRACE, Kriging, Liquid water equivalent, Mianrahan Aquifer, spatial zoning

---

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran

(\*- Corresponding Author Email: m.hafezparast@razi.ac.ir)